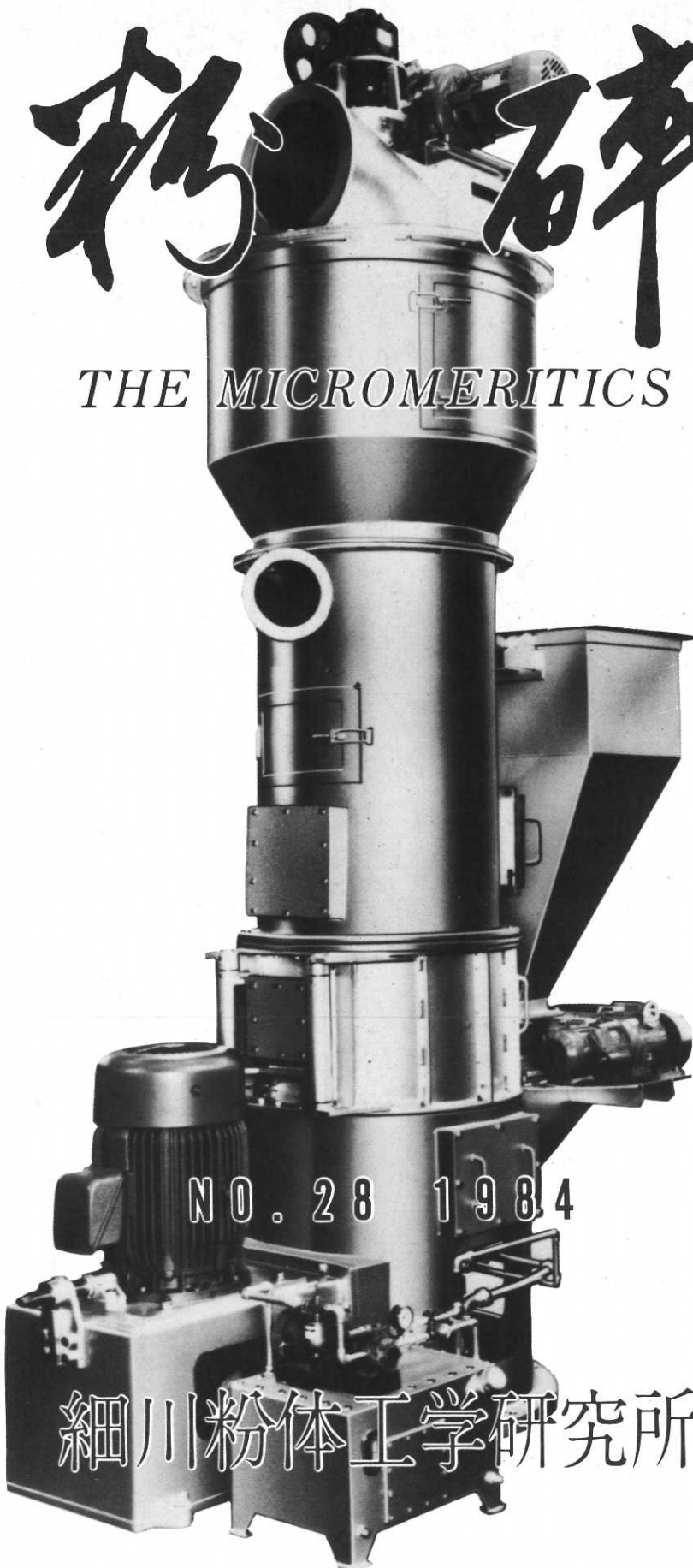


新 研

THE MICROMERITICS



NO. 28 1984

細川粉体工学研究所

【巻 頭 言】	粉体工学の歩みと国際交流について……………愛 知 工 業 大 学 井伊谷鋼一………… (2)
【研 究 報 告】	摩擦帯電によるプラスチック類の 種別選別装置の試作……………北 海 道 大 学 中島 耀二………… (4) 田中 達夫
【研 究 報 告】	湿潤粉体の混合操作における 混練状態の評価……………大 阪 府 立 大 学 寺下敬次郎………… (14) 塚口 英世 木村 照雄 神家 規寿 宮南 啓
【研 究 報 告】	ブロータンク内の粒子運動に及ぼす ノズル, 挿入物および空隙率の影響……………九 州 工 業 大 学 富田 侑嗣………… (22) 楨本 茂
【参 考 資 料】	空気輸送における固体粒子の 平均速度の計算式……………大 阪 大 学 森川 敬信………… (29)
【総 説】	粒子のランダム充填と配位数……………豊 橋 技 術 科 学 大 学 吉木 啓………… (32) 後藤 圭司
【参 考 資 料】	異方性粉体の粉碎特性と砕製物 の評価に関する基礎的検討……………関 細 川 粉 体 工 学 研 究 所 横山 藤平………… (36) 山口 朝行 京 都 大 学 荒川 正文 関 ク ラ レ 井本 三郎 林 克巳
【参 考 資 料】	秋田大学鉱山学部物性工学講座 の開設について……………秋 田 大 学 牧野 和孝………… (41)
【総 説】	セメント用ボールミルにおける 粉碎媒体径の影響……………小 野 田 セ メ ン ト 関 小沼 栄一………… (44) 梅木 健二
【随 筆】	米国微粒子学会太平洋地域会議に出席して……………関 細 川 粉 体 工 学 研 究 所 横山 豊和………… (54)
【総 説】	粉粒体の比表面積測定技術……………山 形 大 学 高坂 彬夫………… (58)

＜特集＞ 超微粉体の物性と技術

粉の細かさと粉の化学的性質……………京 都 大 学 荒川 正文………… (70)
--

粉碎操作による超微粉の生成と

応用へのアプローチ	・ 細川粉体工学研究所 横山 藤平	(76)
超微粉の凝集と分級効率	・ 東京大学 菅沼 彰	(82)
超微粉の分級	・ 同志社大学 奥田 聡	(85)
サブミクロン粒子の分離	・ 金沢大学 江見 準	(93)
クリーンルームの実際	・ ホソカワ環境 エンジニアリング 大熊 芳郎	(104)

【新製品紹介】	ホソカワミクロン ミクロン パーテックミルについて	・ ホソカワミクロン 東京事業本部	(127)
【新製品紹介】	クリーンルーム塵埃集中連続監視 管理システム, ポータブル塵埃計, 発信機内蔵微差圧計	・ ホソカワ環境 エンジニアリング 環境事業部	(130)
【新製品紹介】	微粉末用真空圧縮充填システムについて	・ 細川粉体サービス 網 ホソカワ東京機器サービス 網	(134)
【新製品紹介】	沈降式自動粒度分布測定装置 ホソカワミクロンセジメンピュータ	・ 細川粉体工学研究所	(136)
【新製品紹介】	ホソカワミクロンミクロンチェッカ ホソカワニュース	・ 細川粉体工学研究所	(139) (142)

豆 ニ ュ ース

第17回粉体工学に関する講演討論会催される (3)

特 許 一 言 メ モ

“G マーク” とは (No.44) (21) 先願主義 (No.45) (28) 特許の「ゲンボ」
(No.46) (43) 商品の区分 (No.47) (53) 商標の更新登録 (No.48) (69)
出願は積極的に (No.49) (75) “特許” を生きものにたとえると (No.50) (81)
どんなものが “特許” になるか (No.51) (84) どんなものが “実用新案” にな
るか (No.52) (103) 出願最多の日本 (No.53) (126) 意匠登録とは (No.54)
(129) 商標とブランド (No.55) (133) “製めん機事件” 解決す (No.56) (141)

Original Reports:

- Triboelectric Separator for Plastics Sorting System Y. Nakajima (4)
T. Tanaka
- Performance Evaluation of Mixing and Mulling Process of Wet Powders K. Terashita (14)
H. Tsukaguchi
T. Kimura
N. Shinke
K. Miyunami
- Influence of Nozzle, Flow-corrective Insert and
Voidage on Particle Flow in a Blow Tank Solids Conveyor Y. Tomita (22)
S. Makimoto

【表 紙】 堅型微粉砕機ホソカワミクロンミクロンパーテックミル
(詳細は127頁参照)

粉体工学の歩みと国際交流について

井伊谷鋼一*

Kōichi Inoya

今から約30年近く前に粉体工学研究会が名古屋で産声をあげて間もなく細川粉体工学研究所が設立され、本誌が発刊されることになりました。現在は前者の改称した粉体工学会が京都に事務所をうつし、(社)日本粉体工業技術協会と表裏一体の関係で粉体工学と粉体技術の発展に尽力しています。細川粉体工学研究所も粉体技術談話会主催の講演討論会をすでに17回開催し、関西を本拠として学協会と協力して粉体技術の啓蒙に努力しておられることは御同慶の至りであります。会誌としても工学会が研究会誌年2回刊から季刊さらに10回刊をへて学会誌の月刊へと生長し、21巻となっておりますし、細川粉体工学研究所は「粉碎」誌(英文名マイクロメリテックス)を年刊で既に27号出され、本年より談話会は英文誌「KONA (Powder Science and Technology in Japan)」の発行を開始されました。学会は会員制のため発行部数が千数百部ですが、粉碎誌は寄贈の関係もあって約5千部の発行であり、KONA 誌は2千部発行とのことで、年1回ではありますが、普及度は学会誌よりも広く、うらやましいところであります。

粉体工学はこのように我が国では世界に先がけて早くから活動を始めており、各大学にも粉体工学の名称をもった研究施設や講座が散見されるようになりました。しかし、未だ学問体系としては未完成で少年期と言えるかもしれません。これから若い人達の精進努力によって、その骨組みが段々とでき上がってゆくことを期待しております。従来は経験的技術あるいは実験的工学であったものが、少しずつでも解析的理論によって裏づけされ、設計計算や性能推定がそれによって可能となることが待たれる次第です。



ハワイ会議にて (1983年8月)

中国科学院 化工冶金研究所

郭(Kwauk) 所長と共に

粉体工学の範囲は乾いた細かい粉末のみならず湿った粉体も含み、さらに気体あるいは液体中に分散した粒子すなわちエアロゾルやスラリー等を包含すると共に、大きな粒や塊状物質をはじめ、液滴粒子あるいは気泡も含むと解釈されます。このようにすべての粒子状物質を総称して英語では Particulate というようです。一方、微細な方向へはサブミクロンの壁をのりこえて各種の粉体が生成され操作されつつあり、その計測方法と共に将来の大きな研究分野を提供しております。粉体工学と粉体技術は正に21世紀の花形主題となることを約束されているように見えます。

さて粉体技術の国際化はすでに技術提携、あるいは輸出入製品等によって始まっておりますし、粉体工学も過去何回かの国際セミナーやシンポジウムの開催によってその交流は活発であります。もう一步という感じがいたします。これはよく言われることでありますが、我々日本人の語学力の不足と、遠隔のため旅費調達の不利が

* 京都大学名誉教授、愛知工業大学教授、粉体工学会会長、(社)日本粉体工業技術協会専務理事

大きな障害となっております。

真の国際交流は文通による文献の交換や会議参加だけでは不十分で、長年の間に何回も会って討論し、信頼関係の上にたった友情を個人的にもつようになる必要があると考えます。欧米をはじめ世界中にそのような技術上のあるいは研究上の友人を沢山もつようになれば、自然と最新の的確な研究情報もそのネットワークを通じて容易に見聞することができます。それにはこちらにもそれ相応の資本と会話力と情報源をもつ必要があり、誰にでもできることではないと思います。特に語学力は特殊な才能であり、技術交流や国際会議での理解力と発言力は日本人の最も不得手とするところでありますから、専門

家の養成を今後考慮する必要があるのではないのでしょうか。この点、本誌の母体である細川粉体工学研究所とホソカワミクロン株式会社は戦後間もなく先見の明をもって、そのような方向に進んでおられ、技術外交官とも言える社員を育成され、国内外に国際化の子会社を設立されており、見習うべきところの多い企業と拝見しております。当粉体技術談話会も今回前記のごとく英文学術誌の刊行にふみきられ、学術国際交流への一翼を担われますことはまことに時宜に適したことで存じます。粉体工学及び技術とその国際化の一層の発展を願って拙文を終わることといたします。

豆ニュース

第17回粉体工学に関する講演討論会催される

粉体技術談話会主催「第17回粉体工学に関する講演討論会」が去る昭和58年9月8日（木）東京の健保会館大会議室で開催された。

この講演討論会は例年関西で、年一回開催されてきたが、今回は場所を東京に移し、特に関東の方々に当談話会の活動を知っていただくと共に、近年注目を浴びている「超微粉」にスポットをあて、企画されたものである。

当日は会場一杯の多数の出席者（約170名）のもと、午前9時30分から午後5時30分まで熱心で活発な講演と討論が行われた。引き続き場所を替え、立食パーティーが開かれ、和気あいあいの内に午後7時すぎ散会した。

テーマ：超微粉体の物性と技術

プログラム

◎開会挨拶

中部工業大学 教授

粉体技術談話会々長

吉田 哲夫氏

◎講演

「粉の細かさと粉の化学的性質」

京都大学化学研究所 助教授 荒川 正文氏

「粉碎操作による超微粉の生成と応用へのアプローチ」

細川粉体工学研究所 所長 横山 藤平氏

「超微粉の分級」

同志社大学 教授

奥田 聡氏

「超微粉の凝集と分級効率」

東京大学 助教授

菅沼 彰氏

「サブミクロン粒子の分離」

金沢大学 教授

江見 準氏

「クリーンルームの実際」

ホソカワ環境エンジニアリング

常務 大熊 芳郎氏

◎総括討論

司会 京都大学 教授

吉岡 直哉氏

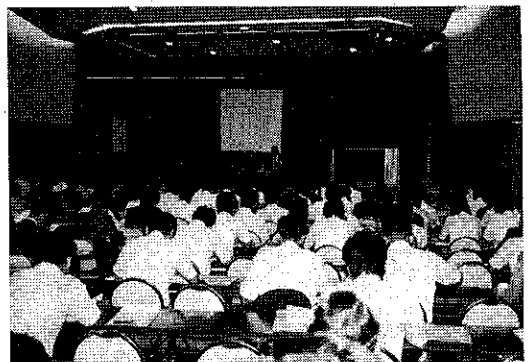
◎閉会挨拶

細川粉体工学研究所 社長

粉体技術談話会

副会長

細川 益男氏



摩擦帯電によるプラスチック類の 種別選別装置の試作

Triboelectric Separator for Plastics Sorting System

中島 耀二*, 田中 達夫*
Yōji Nakajima Tatsuo Tanaka

Abstract

The triboelectric charging characteristics of various kinds of plastics were examined to control the polarity of the charge by the environmental conditions for charging. It was found that the polarity can be changed for most plastics by adjusting the humidity and the temperature of air.

An apparatus for separating a specified plastics from other kinds was devised, which consisted of two separating sections for the both polarities and a controlled charging section. The separating sections were directly mounted at the both sides of the charging section. This configuration enabled the electric field for separation to penetrate through the charging section, so that the charged particles could effectually be removed into the separating sections in response to the polarity of the particle charges.

The experiments were carried out for some 20 binary mixtures of several kinds of plastics pellets, and the results showed that the triboelectric method was more feasible for a plastics sorting system than might have been expected.

著者摘録

摩擦帯電に及ぼす温度、湿度、外部電界の効果を簡便に測定する装置を製作し、各種プラスチックペレットの摩擦帯電特性を調べた。その結果、プラスチック類の帯電極性は、殆んどの場合、温湿度などの調整により制御可能であることを見出した。この特性を利用してプラスチックの種別選別を行なう装置を試作して実験したところ、20種以上の組み合わせのうち PS-PVC 系を除き、すべての原料混合物を悪くても90%以上の純度で選別することができた。

1. 緒言

周知のとおり、プラスチック類は耐蝕性、機械的強度、電気絶縁性、加工性、着色性など優れた特性をもち、かつ安価、軽量であるため、あらゆる分野に大量に使用されている。このため、種々雑多なプラスチック廃棄物が発生し、しかもその耐蝕性がかえって災し、その

処理、処分の観点からすればやっかいものとなっている。現在のところ廃プラスチックの処理は、省資源という立場よりも、環境保全の立場からの要請でなされており、性状の安定した一部の工業廃棄物を除けば、循環再利用や燃料化されることは少なく、単なる焼却や埋立処分にまわされているようである。それですら焼却炉の耐久性や地耐力に悪影響を及ぼすなど、種々の問題を生じている。

最近の都市ごみ等の処理技術では、有価金属の回収や生ごみの堆肥化を目的とした有効な選別システムが開発

* 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) 716-2111(内)6591

されており、その処理の際にプラスチック類やガラスは不純物として分別できるようになった。そこでもし、プラスチック類の種別選別が可能になれば、都市ごみに含まれるような種々雑多な廃プラスチックも、工業廃棄物なみの再利用が可能になると期待できる。

ところで、プラスチック類の機械的な性質（比重、破壊強度、反発係数など）は類似したものが多く、比重選別法などの機械的な手段だけでは完全な選別は不可能である。一方、化学組成の方は似たような物性のプラスチックでもかなり異なっているため、化学組成に強い関連をもつ諸特性の差を利用すれば効果的な選別が可能になると思われる。筆者らは、プラスチックの化学組成に深い関連をもつとされている摩擦帯電特性に着目し、これを利用した静電選別法を実験的に検討した。

静電選別法は原料の乾燥や温度の調整など、やや面倒な前処理を要することもあるが、比重選別法や反発選別法などでは十分に選別できない物質に対しても有効な場合が多く、選別技術として古くから利用されてきている。しかし、現在実用化されている選別装置は、物質の電気伝導度や誘電率の差を利用しているものであって、化学組成や結晶化度にもっと敏感な摩擦帯電を利用する選別装置は殆んど実用化されておらず、構想や試験的な装置がいくつか報告されているにすぎない。これは摩擦帯電という現象が非常に複雑な複合現象であるため、理論的な解明はもとより、実験の再現性すら危ぶまれていることが一因になっている。とくにプラスチック類の帯電については、接触帯電に関してのみ仮説が組み立てられてはいるが¹⁾、それ以外の重要な帯電機構（破断、変形などに伴う帯電、焦電効果、エクソ電子放出²⁾など）に関しては研究が進んでいない。さらに摩擦点（ホットスポット）分離過程の電荷逆流の問題、分離後の電荷緩和の問題など、解明されていない点が多岐にわたる。しかも電荷逆流の問題のように、ホットスポットの状態、つまりは摩擦条件によって一変してしまうかもしれない現象も含まれているので、実用的な見地からすれば、摩擦帯電特性は実際の帯電装置にできるだけ近い条件で測定しなければならない。本報ではまず、プラスチックペレットの摩擦帯電特性測定装置について説明し、次に選別実験について報告する。

2. 摩擦帯電特性の測定と結果

2.1 摩擦帯電法

2種の物質を摩擦するか、同一物質でも非対称摩擦をすると、一方は正に、他方は負に帯電する。とくに異物質間の摩擦では、どちらが正になるかはおおむね物質によってきまり、いわゆる帯電列³⁻⁵⁾が存在することは古

Table 1 Triboelectric Series

(positive end)	
window glass	
NY6, 66, 11 (Nylon 6, 66, 11)	
wool and silk	
PA (polyacetal, DURAON)	
PMMA (polymethylmethacrylate, ACRYL resin)	
paper	
ebonite	
metals	{ Cr steel Au Cu Ni
sulfur	
amber	
ABS (acrylonitrile-butadiene-styrene)	
PS (polystyren)	
PVC(S) (polyvinylchloride with DOP)	
PVC(H) (polyvinylchloride without plasticizer)	
PP (polypropylene)	
PE (polyethylene)	
PTFE (polytetrafluoroethylene, TEFLON)	
(negative end)	

くから指摘されている。プラスチック類の帯電列を調べると、電気伝導度や誘電率には大差がなくても、Table 1に示したように、帯電列のほぼ上端（positive end）から下端にまで広く分布している。ただし、この順序は雰囲気条件によって変動し、測定者によってもかなり異なるため、単なる目安にすぎない。なかには帯電閉円環⁶⁾といって、この序列がリングを形成してしまうものさえ知られている。

静電選別を目的に粒子を摩擦帯電させるには、

- 1) 例えば流動層などによって、粒子同士の摩擦で帯電させる方式。
- 2) 例えばサイクロンなどによって、粒子と固体壁間の摩擦を主として帯電させる方式。

が考えられる。1)の方式は、帯電列上で十分に離れた2物質をほぼ等量含んだ原料粒子を帯電させる場合には効率的な方式であるが、摩擦力が弱く、かつ摩擦速度も遅いため粒子の帯電量が小さいこと、原料の粒度分布を狭い範囲に調整する必要があること、さらに混合比が片よると同種粒子間の摩擦でも粒子が正負に帯電するため選別成績が著しく低下する恐れがあること、などの欠点が予想される。一方、2)の方式では上記の欠点はかなり改善されるであろうが、摩擦用の壁材の選定が問題である。つまり壁材の帯電列上の位置が選別物質の中間に

あるような壁材を準備しなければならないが、壁材が粒子との摩擦によって不均等に帯電すると付着が起こるうえ、粒子の帯電特性にもその影響が現われる。これを防止するため、摩擦用の壁材は接地した金属を使用しなければならない注1)

ところで金属の帯電列上の位置の分布範囲はあまり広くなく、とくに耐久性に優れた安価な金属となると、ほぼ中位のごく狭い部分に限られてしまう。しかしすでに述べたように、帯電列は摩擦時の雰囲気によって変化できるのである。そこで筆者らは、サイクロン型の帯電装置に工夫を加え摩擦帯電特性測定装置に改造し、各種雰囲気条件によって摩擦帯電量とその符号がどの程度制御できるかを検討した。

2.2 帯電特性測定装置

筆者らが試作した装置のうち、最後のものの主要部をFig. 1に示す。装置は2重円筒構造をとっており、内筒と外筒および上下2コのフランジFLで囲まれた円環状の空間が帯電室であって、ここに試料ペレットを1コだけ入れる。外筒にとりつけた2本のノズルNから調

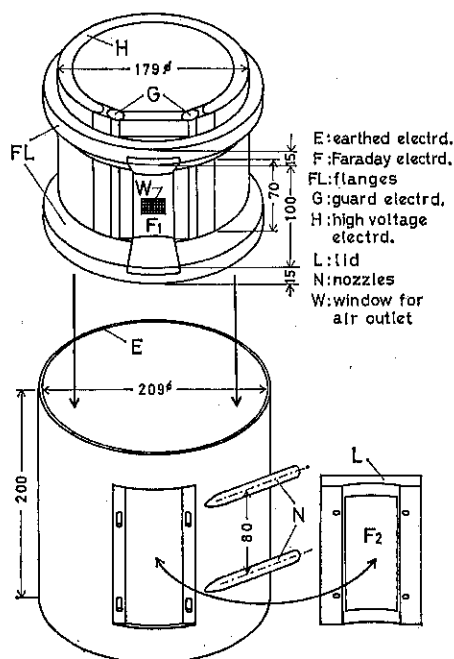


Fig. 1 Testing apparatus for triboelectric charging characteristics of plastics pellet under influence of electric field, humidity and temperature of environment

注1) 接地することは、摩擦帯電には何の効果も与えないが、安全のために必要である。

温、調湿した空気を吹き込み、帯電室内に施回空気流を作る。排気は電極 F_1 上の金網付の窓 W を通して行なう。粒子はこの気流によって施回し、主として接地電極 E (外筒)の内面と摩擦して帯電する。この際、内筒の一部に設けた電極 H (肉厚鋼管クロームメッキ仕上)に直流高電圧を印加して、強電界雰囲気での摩擦帯電を行なわせることができる。帯電室の一部は内筒上の電極 F_1 と、とじぶた L 上の電極 F_2 でおおわれており、これが近似的なファラデー・ケージを構成する。なお、電極 F_1 は図のようにフランジ上まで延長されており、ふた L を閉じたときにその部分で F_2 と接触する。帯電粒子がこのファラデー・ケージの中を通過する度に電気パルスが得られ、そのパルス高から粒子の帯電量が、パルス頻度から粒子の施回速度が求められる。また、パルス列の変動状態(分散)から帯電量の短期的な変動状態を知ることができ、後に述べるように粒子のイオン付着性に関する知見が得られる。

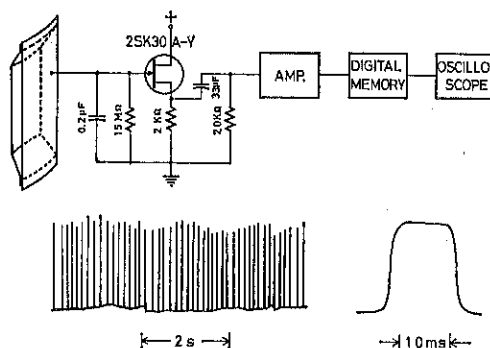


Fig. 2 Sketch of electric pulses from Faraday cage

Fig. 2 はこのようなパルス列の観察例であるが、1個のパルスを拡大してみると頂部がほぼ平坦になっていることから、この装置に用いたような開口のあるファラデー・ケージでも、粒子からの電気力線を殆んど完全にとらえており、帯電量の絶対値も精度よく測定できることがわかる。ただし、粒子の電気伝導度が高い場合には、粒子がファラデー電極に接触した際に電荷移動が起こってしまい、このようなパルスは得られない。その場合に対して装置を改造できないこともないが、当面、この装置は絶縁粒子専用と考えておいた方がよい。

内筒の電極 G はファラデー・ケージを高電位から保護することを目的にした接地電極である。また、粒子ができるだけフランジに接触しないようにするためと、電極 $H-E$ 間のフランジ面上の沿面放電を少しでも起こりにくくするために、フランジには外広りの傾斜をつけてある。このようにしても気流を流すと沿面放電が起こり

易く、低温度で約 20 kV、高温度では 15 kV が実用耐圧であった。外筒 E およびファラデー電極 F_2 は摩擦材になるので、この装置に対しては Ni メッキと Cr メッキの 2 種を用意した。フランジ FL 、ふた L および電極間の絶縁物は工作の都合上アクリル (PMMA) を用いたが、できれば吸湿性がなく、高温度でも表面抵抗が高い材料を使うのがよい。

空気の調温、調湿は、コンプレッサからの空気を高圧状態のまま冷却して除湿した後に減圧し、あらためて昇温、加湿した。しかし、多量の空気流量が必要であったため、温湿度の長期的な安定性は期待できず、それぞれ $\pm 2^\circ\text{C}$ および $\pm 5\%$ 程度変動したことがあった。帯電量測定そのものは 10 点程度の電界強度について測定しても 1 粒子あたり 10 分以下であるのでこの変動はあまり問題にならない。しかし、プラスチック類の帯電特性には、それが置かれていた雰囲気の状態が関係することがあるため、測定前に試料粒子を測定条件の温湿度の気流中に少なくとも数時間放置しておく必要があり、その間の変動が測定結果に影響する可能性がある。ナイロン (8%), PMMA (2%), ABS (1%), PA (1%), PVC (S) (0.5%) (カッコ内は実験に用いた試料の吸湿率実測値、重量%) など、プラスチックの吸湿性は意外に高く、とくに PMMA は固体内部での水の拡散速度が遅いため、こうした履歴が問題になり易いようである。次節の測定結果の温湿度は、すべて測定時における値であるので注意してほしい。

2.3 測定結果

摩擦帯電では摩擦時間が帯電量に関係することは当然である。とくにプラスチック類では表面の電荷が固体内部に拡散する傾向をもつので、数時間にも及ぶ摩擦を行なう場合にはかなり面倒な問題が生じる。しかし、たかだか 10 分程度の摩擦時間では異常は認められず、よく指摘されているとおり、帯電量は単純な 1 次おくれ特性を示して最終値に達する。そのときの時定数は物質の種類や摩擦条件にも関係するが、この装置では数秒から数十秒であって、橋高ら⁹⁾の結果と同じオーダーである。逆に摩擦時間が非常に短くて、摩擦によって進行する粒子表面の汚れや電荷中和層の剝離の過渡的状況が問題になれば、帯電符号の逆転などの異常がみられることがあるが⁷⁾、サイクロン型の帯電方式では摩擦が激しく、このような現象は観測されなかった。

次に摩擦速度と応力が帯電量に与える効果をガラス球で実測したところ Fig. 3 に示す結果が得られた。実験範囲は 3 ~ 8 rps (2 ~ 5 m/s) であって、これに応じた遠心効果は 4 ~ 27 G に及ぶ。時おり帯電量に関連づけ

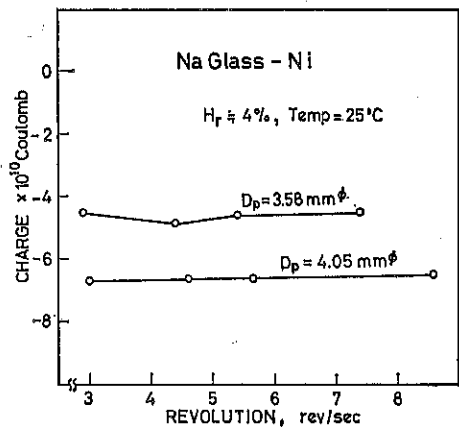


Fig. 3 Effect of rotating velocity of particle

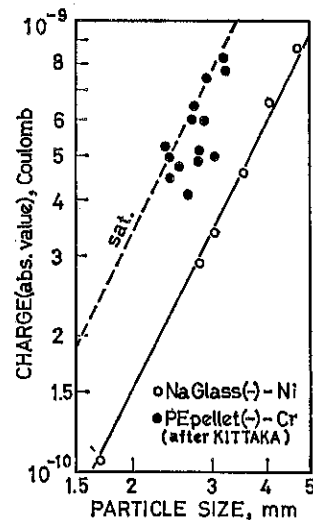


Fig. 4 Effect of particle size

られる摩擦の仕事率で言えばさらに広い変化範囲に対応しているわけであるが、それにもかかわらず帯電量はあまり変化していない。もし粒子の帯電量が後に述べる飽和値に達しているならばこの結果は当然なのであるが、Fig. 3 の粒子は飽和値の 50% の帯電量しかもたない。また、実際問題として、3 rps 以下では粒子がフランジに接触したり静電鏡像力によって壁に付着したりするし、巡回速度があまりに大きいと粒子が破壊されることがある。これらの事を考慮して、この実験では摩擦速度や応力の効果を度外視し、4 ~ 5 rps (3 m/s 前後) の巡回速度で測定した。

Fig. 4 は粒度と帯電量の関係で、筆者らのガラス球に関するデータは帯電量が粒度の 2 乗に比例することを示している。同様な関係は直方体形の PVC (S) (軟質塩ビ) ペレットについても得られている。しかし、橋高

ら⁹⁾のPE（ポリエチレン）ペレットではこの関係が乱れている。このことは次のように説明できる。粒子が帯電すると粒子表面の電界強度が上昇し、ある帯電量になると空気の絶縁破壊をひき起こして局所的な放電が生じる。このとき発生する多量のイオンにより粒子の電荷のかなりの部分が一気に中和される。このことから粒子が保持できる最大の電気量（飽和帯電量）が計算できる。図中の破線は、空気の絶縁破壊強度を30kV/cmとしたときの球形粒子に対する飽和帯電量である。橋高らのデータは原報⁹⁾でも述べているとおり、この飽和値に達している。このため橋高らの装置内では、“帯電→絶縁破壊による放電→帯電”のプロセスが繰り返されているはずで、放電直後の帯電量が測定されれば帯電量は低くなるし、放電直前ならば飽和帯電量に近い値が得られるので、結果としてデータがばらついて見えるのであろう。実際の摩擦帯電では飽和値まで帯電できることは殆んどないので、通常は帯電量が粒度の2乗に比例すると考えてよい。

上記の予備的な測定では帯電室に電界を作用させていない。摩擦帯電は非常にゆっくりしたプロセスであるし、粒子の表面電気伝導度はガラスやプラスチックといえどもかなり高くなることがあるので、電界の効果は静電誘導による導体粒子への電荷移動として説明できるかもしれない。筆者らの数値計算によれば、接地された導体平板上に置かれた直径 D [m] の導体球に、粒子側の空間から接地電極に向かう強度 E [V/m] の電界により誘導される電荷 Q [Coulomb] は

$$Q \approx -4\epsilon_0 D^2 E$$

となる^{注2)}。ここで ϵ_0 は真空（ $\approx$ 空気）の誘電率であって 8.85×10^{-12} Coulomb²/Nm² である。もし前述の単純

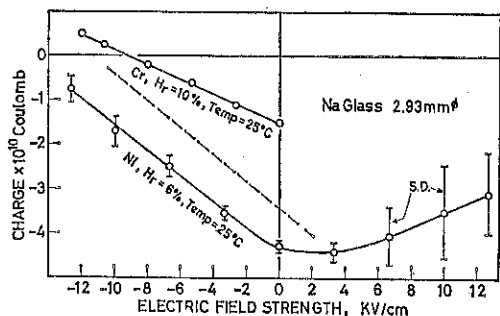


Fig. 5 Effect of electric field (radial direction being positive) along with positive ion affinity of glass

注2) Cho⁹⁾は $Q = -5.18\epsilon_0 D^2 E$ としているが、その計算の根拠を明らかにしておらず、筆者らには確認することができなかった。いずれにせよ結論には影響しない。

な仮定が正しいならば、電界をかけたときの摩擦帯電量は、電界がないときの帯電量に上記の Q を加えれば近似的に求められることになる。Fig. 5 はガラス球の帯電量に及ぼす電界の効果を測定した結果であるが、Ni 摩擦面の場合には測定値の直線部の勾配が上式から計算した勾配（破線）とだいたい一致しており、前述の仮定が成立するように見える。ところが摩擦面を Cr にすると、やや湿度が高く表面電気伝導度が高くなっているにもかかわらず、勾配は明らかに低くなっている。このように摩擦金属の種類によって電界の効果が変化するのはガラスの場合に限らず、かなり一般的にみられた現象である。中には静電誘導の効果とは逆の勾配を示す場合さえあった。(Fig. 15B) したがって、電界の効果は静電誘導電荷との単純和としては説明できず、おそらく電子論的な帯電機構に直接作用するのであろう⁹⁾。

Fig. 5 の電界強度が正（内筒電極 H に正電位を印加）の領域では、帯電量は静電誘導の効果とは反対に正側にずれる傾向をもち、同図に示したパルス列の分散も電界が負の領域に比較してずっと大きくなっている。このことは、電界が正の領域では、発生頻度が比較的低い確率過程がガラス粒子の帯電に関与するようになることを示しており、次のような現象として解釈できる。

空気中では、宇宙線や自然放射能により、毎秒 1 cm^3 あたり数個から数十個の気体分子が電離して正イオンと電子に分かれる。通常の空気中では、電子は O_2 , H_2O , CO_2 などの電子親和性の強い分子に付着して負イオンを形成する。いま電極 H に高電圧が印加されていると、絶縁物表面に付着するイオンのために、絶縁物と電極 H の境界付近の空間では、電界強度が局部的に高くなる。この空間で気体の電離が起きると、電子は他の分子に付着するまでに電界によって十分に加速されて電離能力をもつようになり、局所的な電子なだれを発生させる。そのとき生成される多量のイオンはその極性に応じ電極 H あるいは E および G に向かって流れて行く。このイオン流は、流路全体の電界強度が火花放電に至るほど高くない限り、局所的な高電界域で気体分子の電離が起きる度に、ある程度の時間持続した後に停止する。このため H に正電位を印加すれば摩擦電極 E には正イオンが、負電位では負イオンが、時間的な濃度のゆらぎを伴って飛来する。このようなイオンが粒子に付着すると、粒子の帯電量はイオン濃度のゆらぎに応じて変動するため、測定パルス列の分散が大きくなる。逆にパルス列の分散が大きい場合にはイオンの付着が起きていると考えてよい。

ガラス球のデータ (Fig. 5) では、 H を正電位にしたときに帯電量の分散が大きくなり、帯電量は正側にず

れているので、正イオンがガラスに付着していることが推定される。一方、 H を負電位にしたときには、摩擦電極には負イオンが飛来しているにもかかわらず、帯電量はその影響を受けていない。したがって、ガラスは負イオンよりも正イオンを付着させ易いと結論できる。ただし、これはガラスが負イオンを付着させないという意味ではなく、ガラス粒子上のイオン付着部が摩擦電極と接触したときに、負イオンはガラス面上に留まるよりも電極面上に移動して放電し易いという意味に解釈すべきであるから、この特性に摩擦材側の性質が関係する可能性がある。

ところで、今までに報告されている多数の帯電列では、ガラスは例外なく金属よりも上位に位置し、殆んど最上位付近にある。ところが Fig. 3 ~ 5 の条件では負に帯電しており奇妙である。実はこれは低湿度の測定条件のためであって、ガラスが特殊であったわけではない。実際、湿度が40%では同じガラスが正に帯電する。このことは、物質の帯電列での順序を湿度によって大幅に変化できることを示しており、静電選別装置の制御手段として湿度の調整が有効であることを予想させる。

Fig. 6 は摩擦材を変えたときの NY 6 (ナイロン6) の帯電特性である。なお、Cu 電極のデータは以前に試作した類似装置によるものである。電界の効果を表わす勾配が前図より小さいのは主として粒度が小さいためである。NY 6 の場合にはガラスと逆に負イオンを付着させ易い傾向がみられる。しかもそれが湿度や摩擦金属の影響も受けていることが分かる。このように物質や摩擦条件によって正負イオンの付着性が異なれば静電選別法に利用できる性質である。

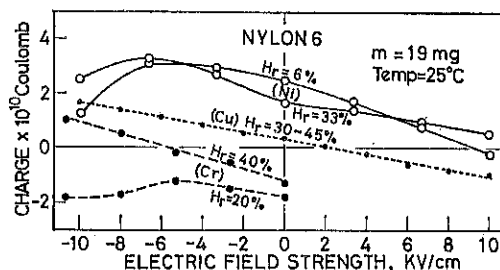


Fig. 6 Triboelectric characteristics of NYLON 6 against Ni, Cu and Cr

プラスチックと金属の接触帯電に関しては、金属の種類でできる仕事関数と、個々のプラスチックに仮想した表面準位 (および電子トラップ準位) から帯電量とその極性がうまく説明できるとされている¹⁾。一方、よく知られているように、金属の帯電列は接触電位差、つまりは仕事関数の順に並べたものである。そこで摩擦帯電の

データから金属の帯電列を調べてみると、Fig. 6 では $Cr \rightarrow Cu \rightarrow Ni$ となるが、Fig. 5 (および Fig. 7) では逆に $Ni \rightarrow Cr$ となる。このように摩擦帯電では金属の帯電列 (したがって仕事関数の順序) が、接触する相手の物質によって逆転してしまうように見える。勿論、ここでの金属表面は汚れた実用表面であるし、湿度も一定でないから接触帯電の理論の反証にはなり得ないが、摩擦帯電を接触帯電の類推でとらえることがいかに困難であるかを示している。

Fig. 7 は PMMA (アクリル樹脂) の帯電特性である。

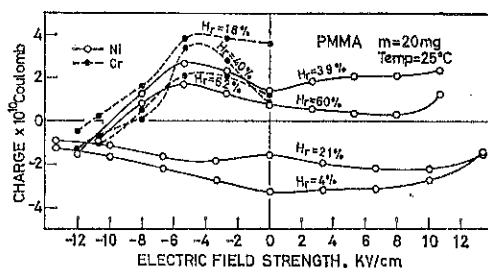


Fig. 7 Triboelectric characteristics of PMMA showing inversion of polarity by humidity

Ni と Cr では湿度に対する特性が非常に異なっており、Ni を用いると湿度調整により帯電極性を逆転させることができる。イオンの付着性は比較的高湿度で負イオンをよく付着させるが、低湿度ではあまり付着させない。なお、相対湿度18%のCr電極と21%のNi電極では負イオンの付着性に大きな差がみられるが、これが摩擦電極の差によるものか、あるいは前節で述べた履歴の差異の効果が表われたのかははっきりしない。電界の効果はある程度みられるが、電界によって帯電符号を反転させることはできそうもない。

Fig. 8 は PVC(S) (軟質塩ビ) の粒度を変えたときの

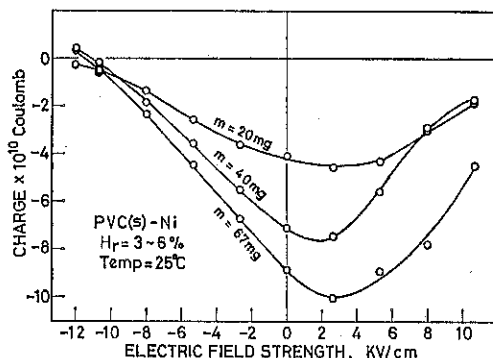


Fig. 8 Triboelectric characteristics of PVC(S) showing size dependency of nonspherical particle

結果である。外部電界 0 のところで比較すると、帯電量は質量の約 2 乗、つまり粒度の 2 乗に比例することがわかる。また、外部電界の効果を示す直線部の勾配も粒度の 2 乗に比例するため、帯電符号を反転させるのに要する電界強度は粒度によらず、ほぼ一定値であることがわかる。Fig. 9 は湿度を変化したときの結果である。表

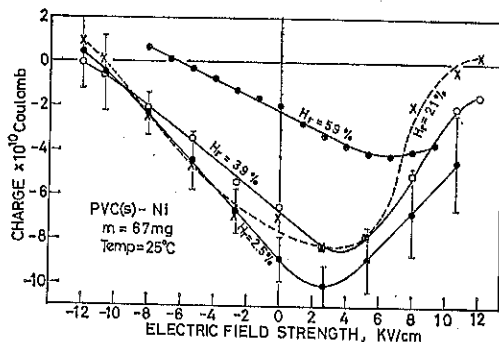


Fig. 9 Triboelectric characteristics of PVC(S)

面電気伝導度を上げるために湿度を高くしても、外部電界の効果はかえって減少するが、帯電量が全体的に正側に移動するため、結果的には比較的低い電界で帯電符号を逆転できる。

Fig. 10 は PVC (H) (硬質塩ビ) の帯電特性である

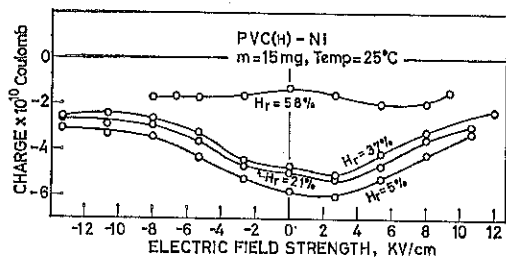


Fig. 10 Triboelectric characteristics of PVD(H)

が、PVC (S) とはイオンの付着性に差があり、PVC (S) では正イオンだけに付着性を示すのに対し、PVC (H) は正負両イオンに付着性を示す。PVC (S) は液状の可塑剤 (DOP) を PVC に多量 (20~40%) により込んだものであって、粒子表面はおそらく DOP でおおわれているであろう。摩擦の際には DOP が押しのけられ PVC 本体と摩擦材が接触し、イオンの付着に対しては表面の DOP の性質が表われるとするならば、電界 0 付近では両者の帯電特性に差異がなく、イオンの付着が起こる所で差異が生じることが理解できる。このことは、摩擦帯電では表面が少々汚れていても、イオンの付着性以外の帯電特性はあまり変化しないのではなかろうかという期待をもたせる。

Fig. 11, 12 はそれぞれ PS (ポリスチレン) と AB

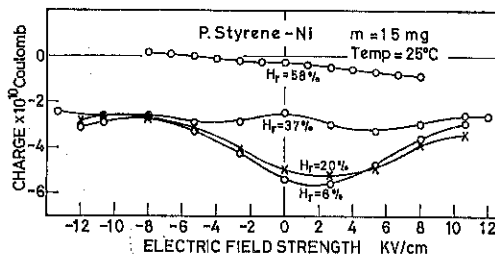


Fig. 11 Triboelectric characteristics of PS

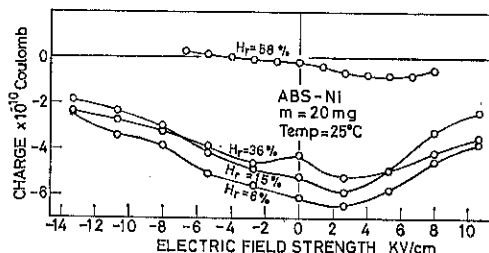


Fig. 12 Triboelectric characteristics of ABS

S の帯電特性であるが、PVC (H) とよく似ており、この 3 者の選別はかなり困難であることを予想させる。

ここでは湿度と外部電界の効果、正負両イオンの付着性および摩擦材の影響を調べた。どの因子も互いに影響し合うため、それらの効果を系統だてて説明することはできないが、静電選別法にとって有用と思われる知見をここにまとめる。

1. 湿度の調整によって帯電符号を逆転できる物質がかなりある。
2. PVC と ABS の選別実験の項で後述するが、温度の効果も大きい。
3. 摩擦材としての金属の選定によって、温湿度の調整や電界の効果はかなり変化する。
4. 物質によって正負両イオンの付着性に差があり、それは湿度の影響を受ける。
5. 電界の効果は温湿度や摩擦材にも関係し、単なる静電誘導現象としては説明できない。電界だけで帯電極性を反転できる物質は少なく、当面はあまり利用価値がないが、電界の効果は電子論的な帯電機構に直接作用している可能性が高いので、プラスチックの表面準位に影響する紫外線と併用すると優れた制御手段になると期待できる。

3. 静電選別装置と選別実験

正負に帯電した粒子をその極性に応じて選別するのは粒度が数 mm 程度の場合には容易であって、1~2 kV/cm の選別用水平電界中に粒子を重力落下させればよい。

粒度がこれにより大きいと粒子の比電荷が小さくなるため選別用の電界を強くしなければならない。逆に粒度が小さくなると正負粒子が電気力で凝集し、選別性能が劣化する。筆者らの経験では粒度2～3mmの普通のペレットでさえこの問題が生じた。これを防止するためには選別用の電界を強くして凝集粒子を引きはがせばよいのであるが、それに要する電界強度は粒度に逆比例する。このため原料粒度が大きくても小さくても選別用の電界強度を上げる必要がある。工業装置では5kV/cm程度の電界強度が実用限界とされているので、結局この選別方式では原料の粒度分布をよく揃えなければならない欠点が避けられない。そこで筆者らは帯電部と分別部を一体化し、旋回気流によって粒子の凝集を防止し、原料の粒度をあまり問題にする必要がない選別装置を試作した。

3.1 試作選別装置

Fig. 13 に示した試作装置では、原料の混合ペレット

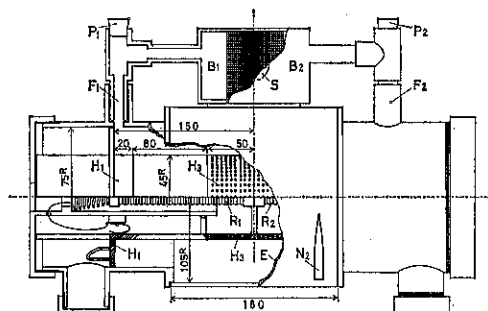


Fig. 13 Triboelectric separator

B: recovering boxes E: earthed electrode for triboelectricification F: feed and recovery pipes H: high voltage electrodes N: nozzles for air inlet P: rubber plugs R: resistors (200 MΩ, 100KV) S: suction pipe

をパイプFを通して本体中に落とし込む回転式になっているが、適当な供給機によって原料を粒子旋回用の気流に乗せて供給すれば、このままで連続式にできる。Eはメッキを施した鋼管製の摩擦電極であって接地してある。メッキの種類は帯電特性測定装置と同様に、NiとCrの2種のものを用意した。摩擦電極内に落とし込まれた粒子は左右対称位置に設けたノズルN₁, N₂ (図ではN₂しか見えない) からの空気流によってE内を旋回し、帯電する。電極H₁と、それに対称位置にとりつけたH₂ (図では見えない) に正負の高電圧をかけて軸方向の電界をつくり、これを選別用の電界とする。中央の電極H₃には多数の小孔(1mmφ)が開けてあり、排気は主にここから行なわれる。H₃はH₁, H₂と高電圧用の高抵

抗R₁, R₂(200MΩ)を介して接続されており、H₁とH₂に印加する電圧のバランスを故意にくずして帯電部に電界がかけられるように計画した。しかし現実には、旋回気流を送入すると予想以上に低い電圧で火花放電が起こり、実用耐圧は50kVに低下してしまうことがわかった。このため電界による帯電量制御は実施できなくなった。

今回の分別実験ではH₁に-50kV, H₂に+30kV(これは電源の制約のためである)を印加して行なったが、Fig. 14にこの場合の等電位面(軸対称)を5kV間隔

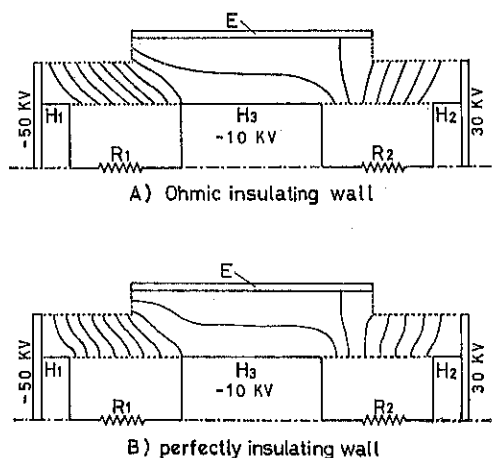


Fig. 14 Electric field in separator (A: Ohmic insulating wall B: perfectly insulating wall)

で示した。A図は、電極間の絶縁体(PMMA)の表面電気伝導度がある程度高く、壁表面がオーム性を示す場合である。B図の方は、絶縁が完全で、壁に付着するイオンが放電できず、電気力線が壁に入射できなくなるまで電荷が蓄積する場合である。実際の状態はおそらくB図に近いであろう。この図ではわかりにくいですが、数値計算結果を調べてみると、B図の場合、電極H_{1,2}と内筒の絶縁管の境界付近に電荷の蓄積による高電界域ができる。高速気流によってこの付近のイオンがかき乱されることが火花放電の原因と考えられ、高压電極と絶縁管の接続部の形状を改良すれば放電は避けられるはずである。A, Bいずれの場合も選別部の平均的な電界強度は大差なく、負粒子(正電極)側で3kV/cm, 正粒子側で5kV/cm程度である。この装置では選別用の軸方向電界が帯電室内に入り込んでおり、粒子が帯電すればその符号に応じて左右どちらかの選別室に引き入れられる。粒子を摩擦によって十分に帯電させるには通常1～2分の摩擦旋回時間が必要なので、この機能は連続式の場合には特に重要である。

この装置の最大の欠陥は回収部にある。装置の製作時には、選別室に流入した粒子は選別室の円筒壁に沿って回転しながら電極 H_1 あるいは H_2 に近づくであろうと想像し、図のような吸引式の回収部とした。ところが実際には、粒子が強く帯電すると、電極 H_1 , H_2 上に粒子が何層にもはりつき、管壁に沿って回転する粒子は帯電量が小さいわずかな量であった。帯電量の小さな粒子にはかなりの混入粒子が含まれており、回収箱での製品純度を低下させる。電極にはりついた粒子の純度は、次節の実験結果で選別可能と判定したものでは、殆んどの場合 100%、悪くても 90% であった。粒子は静電力により電極に強力にはりついており、少々吸引したぐらいでは取り出せないが、例えば H_1 , H_2 の極性を鏡像力が打ち消せる程度に間歇的に短時間反転させるとか、電極を改造して弱いコロナ放電を起こさせて付着粒子の電荷を中和するなどの工夫によって、付着粒子を効率よく取り出せるような改良が必要である。

3.2 選別実験の結果

前述のとうり、この装置で利用できる影響因子は湿度と温度、それに 2 種の摩擦材の選択だけになったが、それでもかなり広い範囲の物質の選別が可能になった。ただし、試料はすべて新品のプラスチックペレットであって粒度はよく揃っており、充填材は含まれていない。また、原料混合物は特に記した場合を除き、各成分 50 cc (かさ体積) ずつの 2 成分系である。

説明の都合上、Table 1 に示した帯電列で金属より上の物質を P 物質、下のものを N 物質と呼ぶことにする。まず、P 物質と N 物質の混合物は、P 物質が正に帯電する条件は簡単にみつき、高純度の選別が可能であった。次に P 物質同士の選別は試料が NY 6, PA, PMMA の 3 種しかないが、いずれの物質も湿度と摩擦金属の選定により帯電極性を反転でき、かつ帯電量も大きいので P-N 系と同様に困難なく選別できた。しかし、NY 6-PMMA 混合物に Cr 摩擦材を用いたときに下記のような異常が起こった。

Fig. 6, 7 に示した帯電特性から、Cr を摩擦材にして温度 25°C、湿度 20% で選別すれば、NY 6 は負、PMMA に正に帯電して選別できると考えられる。実際、選別はこの条件でもよい成績で可能なのであるが、NY 6 は正、PMMA は負に帯電して回収された。このことは、選別装置内の摩擦帯電では、粒子と金属壁の間の摩擦だけでなく、NY 6 と PMMA の摩擦も関係した多体間摩擦帯電¹⁰⁾ となり、帯電特性測定装置内での 2 体間摩擦帯電とは特性がすっかり変化してしまう場合があることを示している。このような系では原料の混合比も選別

成績に影響するはずなので、NY 6 を 75%、PMMA を 25% とする原料を分別したところ、負電極の付着粒子 (正粒子) は 100% NY 6 であったが、正電極側では少量の負に帯電した NY 6 が付着し PMMA 純度を 80% に劣下させた。しかし、PMMA は 25% から 80% に濃縮されたわけだから、混合比依存性はそれほど強くないといえる。筆者らが実験した 20 数種類の 2 成分系では、単一物質の帯電特性と矛盾する結果はこの系以外になかったが、NY 6-PA-PS の等量 3 成分混合物の 2 段階選別実験の際に PA (ジュラコン) が似たような挙動を示した。この装置での帯電は、摩擦壁と粒子間の摩擦応力が粒子同士のそれに比較してはるかに大きいので、基本的には 2 体間摩擦帯電とみなせると考えるが、上記の少数の例のように多体間摩擦帯電とみなさなければならぬ場合には、製品のリサイクルによって帯電室内の粒子の混合比をある程度調節する必要があるかもしれない。

最後に N 物質同士の選別であるが、ポリエチ、ポリプロは比重選別法によって他のプラスチックと分離できるし、テフロンはまだ多量には使用されていないので、当面の選別対象から除外した。PS, ABS, PVC の 3 者は帯電特性が非常によく似ており、静電選別が最も困難と思われる系であって、PS-PVC 系についてはまだ成功していない。ここでは ABS-PVC の選別について述べる。

PVC には硬質 (H) と軟質 (S) があり、ABS には A 社製のものと N 社製のものがある。この 4 物質の種

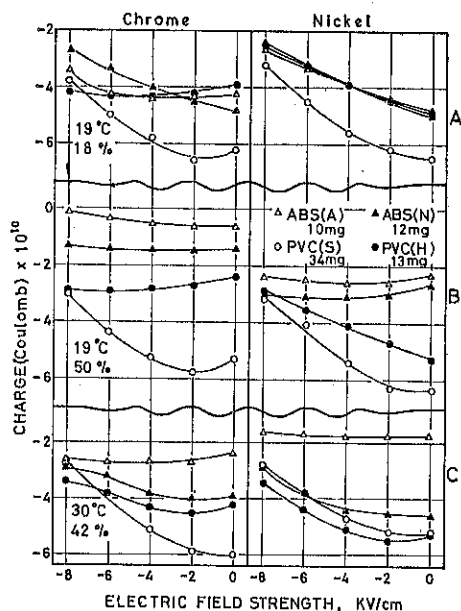


Fig. 15 Triboelectric characteristics of ABS and PVC for variety of charging conditions

々の帯電条件での特性を Fig. 15 に示した。PVC (S) は他の試料に比較して粒度が大きいことを考慮すると、Ni 摩擦材では 19°C, 18%においてこの4者の帯電特性には殆んど差がない。しかし、摩擦材を Cr にすると同一の温湿度でも多少の差がみられる。ところが、ABS (A) が ABS (N) よりも PVC (H) に近い特性を示し、この付近の条件では選別できそうもない。同じ温度で湿度を50%に上げると (B図)、今度はかなりはっきりした差が表われ、ABS は2種とも正側にずれる。さらに湿度も上げると (C図) (相対湿度は42%に低下してしまっただが)、今度は ABS (N) が PVC (H) と似た特性を示すようになってしまう。これらのことから、もし、ABS と PVC が分離できるとするならば、比較的低温高湿の状態であることが見当づけられる。またABS を正に帯電させたいのであるから、Fig. 15B から摩擦材に Cr を使う方が有利であることがわかる。このような推測のもとに選別実験をしたところ、湿度60%、湿度は11~25°Cの範囲で、ABS は2種とも正粒子として負粒子の PVC (S) および (H) から選別できた。ただし、この系の製品純度は他の系に比較してやや劣り、おおむね90%程度であった。これは ABS, PVC (H) の帯電量が、このような低温高湿の条件では低くなるためである。さらに湿度を上げ70%以上にすると、PVC (H), (S) とともに弱い正に帯電する傾向をもち、選別性能は劣るものの PE と PVC の選別が一応可能であった。ABS と PS の分別は上記の ABS と PVC の場合と同じ条件で可能であったが、PS と PVC の系は種々の温湿度条件で試みたが分離できなかった。

4. 結 言

湿度と温度の調整および摩擦用の金属の選定により、かなりの種類のプラスチックを摩擦帯電を利用して種別に選別することができた。この装置での帯電方式は、基本的には2体間摩擦帯電を利用しているので、原料粒子の混合比による選別性能変化が比較的少なく、少数の例外的な場合を除けばリサイクルなどによる原料混合比の調整は不要であろう。このため多成分系の分離についても多段プロセスによって、比較的容易に実現できるものと考えている。しかし、帯電極性の制御をここでの選別

実験のように温湿度だけの調整にたよるのは不十分であるし不経済でもあるから、プラスチック類の帯電特性のところで述べた正負イオンの付着に対する選択性や電界の効果などを積極的に利用すべきである。とくに、紫外線的作用によってプラスチックの電気伝導度が高まったり電子の放出が起こったりすることを考えれば、これと電界の併用には期待がもてる。残念ながら、これらの制御因子が総合的にどのような効果を発揮するかは、各因子が互いに影響し合うために予測できず、当面はここで用いたような測定装置によって個々の物質、個々の条件について実測してみる他ないであろう。最近では絶縁物やプラスチック類の帯電機構に関する研究も進んできており、その成果により各種因子の効果を系統だてて予測できるようになれば、静電選別法の応用分野は格段に広がり、一般の粉体プロセスにも利用できるようになる。

この研究は昭和49年から55年にわたりなされたものであるが、その間、多数の装置の試作や実験に協力された本学卒業生、上野光保、小林康裕、中川朝晴、新妻護、竹中壽の諸氏に深謝する。またこの研究に対し、昭和50年度文部省科学研究費 (一般C, 055014) の補助を受けたので付記して謝意を表する。

参 考 文 献

- 1) たとえば村田雄司: 静電気学会誌, **3** (1979), No. 2, 76, 下記の文献2) にも詳しい解説がある。
- 2) 静電気学会編: 静電気ハンドブック (昭56, オーム社刊), p. 67
- 3) 同上, p. 59, p. 448
- 4) 高分子学会編: 静電気ハンドブック (昭44, 地人書館刊), p. 72
- 5) 上田実ら: 静電気工学シリーズ1 “静電気の基礎” (昭46, 朝倉書店刊), p. 12
- 6) S. Kittaka and Y. Murata: J. Electrostatics, **2** 111 (1976),
- 7) 静電気学会編: 静電気ハンドブック (既出), p. 66
- 8) A. Y. H. Cho: J. Appl. Phys., **35** (1964), 2561
- 9) 静電気学会編: 静電気ハンドブック (既出), p. 68
- 10) 村崎憲雄ら: 静電気学会誌, **3** No. 3, 167 (1979),

湿潤粉粒体の混合操作における混練状態の評価

Performance Evaluation of Mixing and Mulling Processes of Wet Powders.

寺下敬次郎* 塚口 英世* 木村 照雄*
Keijiro Terashita Hideyo Tsukaguchi Teruo Kimura
神家 規寿* 宮南 啓*
Norihisa Shinke Kei Miyanami

Abstract

Mixing and mulling processes in several conventional batch mixing and kneading (mulling) equipments of silica sand-water and silica sand-bentonite-water (green mold sand) have been investigated under various experimental conditions, to elucidate the interrelationships among the state or degree of mixing and mulling in the product mixture, the power requirement and the tensile strength and breakup characteristics of the product mixtures, the state of mulling has also been observed by a scanning electron microscope.

It has been found that:

- 1) Completeness of mulling can be assessed by observing the steadiness of the power requirement or mixing torque.
- 2) The state of mulling is clearly reflected on the tensile strength and breakup energy requirement of the product mixture.
- 3) The performance of mixing and kneading equipments can be evaluated on the basis of the tensile breakup energy requirement of the product mixture per the energy requirement for mixing and mulling.

著者摘録

混練状態の評価、混練機の性能ならびに混練所要動力と引張破断エネルギーの関係などを検討するために、けい砂-水系および生型砂（けい砂-ベントナイト-水系）の混練を、混練機の種類や試料の配合方法あるいは水分量などを変化させて行なった。混練過程における攪拌電力（あるいは攪拌トルク）を測定するとともに、混練物の引張破断エネルギーあるいは混練物中の水分の標準偏差（混合度）などを求めた。その結果、つぎのような結論を得た。

- 1) 走査型電子顕微鏡による混練状態の観察、混合度および引張破断エネルギーなどに基づいて混練状態が評価できる。また、混練は定常攪拌トルク（定常攪拌電力）が得られる状態で終了していることを明らかにした。
- 2) 湿潤粉粒体に微粉をコーティングする混練操作は、粉粒体と微粉の混合物に液体をコーティングする混練操作に比べて、混練所要動力および引張破断エネルギーがともに大きい値を示す。すなわち、混練に要するエネルギーが大きいほど良好な混練状態が得られるといえる。
- 3) 加水混合のような湿潤粉粒体の混練においては混練機の性能に大差が見られない。しかし、ねる操作が必要とする場合は、混練エネルギーが有効に働くシン普森ミルが攪拌羽根形式の混練機に比べて良好な混練状態が得られる。

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

1. 緒 言

混練は粉粒体に少量の液体を加え、各粒子を液体でコーティングし、均質な可塑性物質やペースト状物質などを作る操作、および粉体や高粘度物質のゾルなどに微量の固体・液体添加物を強力に練り込むあるいは被覆する操作に大別できる。このような混練操作は多くの工業において用いられている重要な単位操作である。しかし、現在まだ混練機の設計や性能比較あるいは最適操作条件などの決定に重要な混練状態の評価方法^{1,5,6,7)} および混練所要動力に関する研究^{5,7,13)} は極めて少ない。

われわれは、すでに、湿潤粉粒体の搅拌トルクに及ぼす固液系の充てん特性と引張強度の関係⁸⁾ および混練所要動力と引張破断エネルギーの関係^{9,12)} を検討するとともに、引張強度、圧密特性および混練物中の水分の標準偏差（混合度）より混練状態が評価できることを示した^{10,12)}。

ここでは、混練状態の評価、混練機の性能および混練所要動力と引張破断エネルギーなどの関係をさらに検討するために、けい砂—水系および生型砂（けい砂—ベントナイト—水系）の混練を混練機の種類、試料の配合方法ならびに添加水分量などを変化させて行なった。走査型電子顕微鏡による混練状態の観察、混合度、搅拌トルク（搅拌電力）の時間的変化ならびに引張破断エネルギーなどの結果を総合して混練状態を評価することを試みるとともに、混練機の性能も比較検討したので、それらの結果を報告する。

2. 実験装置、実験方法および粉粒体試料

混練機として用いたシンプソンミル^{4,10)} と万能ミキサ

一の概略⁴⁾ および垂直円筒型搅拌機^{7,9)} の搅拌羽根を Fig. 1 に示した。シンプソンミル (Fig. 1 (a)) は、パン面上にあるかきとり羽根で側面や底面の対象物質を混練域に移し、ホイールの圧縮やホイール内外両側の速度差に基づくせん断、折りたたみなどの作用により混練を行なう。ホイールの回転速度 N は 0.62s^{-1} である。垂直円筒型搅拌機においては Fig. 1 (b) に示す二段十字重ね搅拌羽根を搅拌槽（内径 140mm、深さ 260mm のメタクリル樹脂製）内に装着し、下側の羽根が混練物をかき上げるように $N=1\text{s}^{-1}$ で回転させた。すなわち、羽根間における圧延・圧縮作用ならびに羽根回転によるせん断作用などにより混練が促進される。Fig. 1 (c) に示す万能ミキサーでは、搅拌翼が公転と自転運動するいわゆるハイポ・サイクロイド曲線を描くことにより対象物質に混練効果を与える。搅拌翼にはフックおよびスクリーピーター⁴⁾ と呼ばれているものを用いた。搅拌翼を公転速度 1.03s^{-1} 、自転速度 3.1s^{-1} で回転させて混練を行なった。さらに比較のために手練りによる混練も試みた。

混練過程および混練所要動力を調べるために、シンプソンミルと万能ミキサーの搅拌電力を電力計により、また、垂直円筒型搅拌機の搅拌トルクは歪ゲージ式トルク変換器により測定した⁹⁾。

混練物の引張破断試験には吊り下げ式粉体層付着力測定機^{2,3,8)}（コヒテスター、ホソカワミクロン製）を用いた。引張破断試験の実験方法は前報⁸⁾ と同一であるので、ここでは省略する。

混練はけい砂—水系および生型砂（けい砂—ベントナイト—石炭粉—水系）について行なった。生型砂の基本的な試料の配合割合（重量基準）はけい砂（骨材）100、ベントナイト（粘結剤）7、石炭粉（焼結防止剤）1.5 および水 3 である¹⁰⁾。本研究においてはこれらの試料の配合

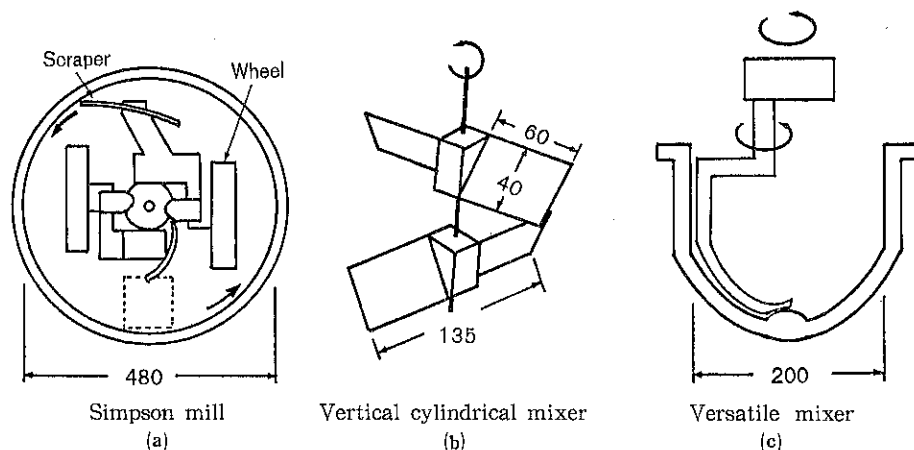


Fig. 1 Experimental kneaders.

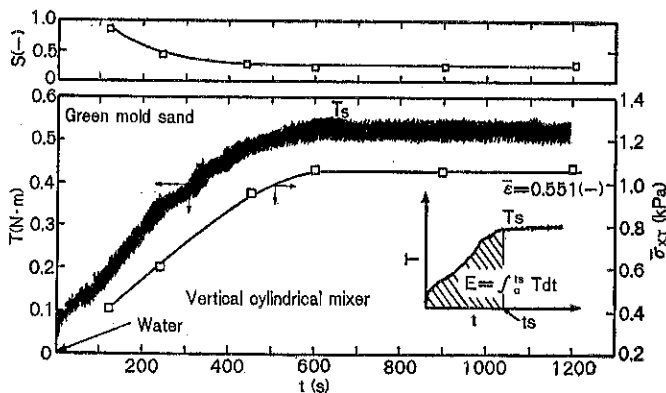


Fig. 2 Relationship between mixing torque and tensile strength and standard deviation of moisture content in samples.

方法や粘結剤量ならびに添加水分量を変化させて混練を行なった。

試料砂などの配合方法は以下に述べる方法を採用した。1) けい砂にベントナイトを混合し、次にこの混合物に石炭粉を添加混合して、最後に水を一度に加えて混練する(配合方法1)。2) けい砂にベントナイトと石炭粉を同時に添加混合した後に、水を加え混練する(配合方法2)。3) けい砂にまず水を加え混練し、その混練物にベントナイトと石炭粉を同時に添加してさらに混練する(配合方法3)。いずれの配合方法においても得られる混練物はシンプソンミルでは3.304kg、垂直円筒型攪拌機と万能ミキサーでは1.34kgである。なお、本研究においては特にことわらない限り配合方法1で、先述の配合割合である。

けい砂(骨材)には豪州産のフラタリーサンド($\rho = 2610 \text{ kg/m}^3$, $\sigma_g = 1.36$, $D_{50} = 345 \mu\text{m}$), ベントナイト(粘結剤)としては米国産のボルクレー(Na系, $\rho = 2370 \text{ kg/m}^3$, $D_s = 7.2 \mu\text{m}$), および焼結防止剤の石炭粉には日本産($\rho = 1370 \text{ kg/m}^3$, $\sigma_g = 1.69$, $D_{50} = 120 \mu\text{m}$)のものをを用いた。いずれの試料も110°Cで24時間乾燥してから使用した。

3. 結果および考察

3.1 混練過程

混練過程を知るために攪拌トルク T の時間的変化と任意の混練時間 t における混練物の引張強度 $\bar{\sigma}_{x,T}$ およ

び混練物中の水分の標準偏差(混合度) S^* を調べた結果の一例を Fig. 2 に示した。前報^{10,12)} において引張強度 $\bar{\sigma}_{x,T}$ が大きく、標準偏差 S の値が小さい状態ほど良好な混練状態であることが確かめられている。図からわかるように、けい砂とベントナイトおよび石炭粉の混合物に水を添加し混練を開始すると、攪拌トルク T は混練時間 t の増加にともない増大したのち定常値 T_s を示している。すなわち、攪拌トルク対混練時間の関係は、局所的に添加された水が分散されて粘結剤が膨潤ベントナイトとなり、それがけい砂をコーティングしてゆく過程をあらわしていると考えられる。また、攪拌トルクの定常値 T_s を示している混練時間 $t \geq 650$ 秒で得られた混練物の引張強度 $\bar{\sigma}_{x,T}$ および混合度 S はそれぞれ一定の値を示していることがわかる。この結果から、混練は定常攪拌トルクが得られる状態で終了しているといえる。このことは、けい砂-水系の混練物あるいは混練機の種類が異なっても同様であることを確かめている。

Fig. 3 は混練状態を走査型電子顕微鏡で観察した結果の一例を示したものである。混練時間 $t = 240$ 秒の場合(Fig. 3(a))は、粘結剤のベントナイトがけい砂粒子表面に塊状のような状態で付着し(写真では左上方)、混練が不充分である。これに対し、攪拌トルク T が定常値 T_s を示している $t = 900$ 秒(Fig. 3(b))では、膨潤ベントナイトがけい砂粒子をよくコーティング(写真では白い蜘蛛の巣状)しているので、混練状態が良好であることがわかる。

Fig. 2 および 3 の結果から、定常攪拌トルク(定常攪拌電力)が得られると、ミクロ的にも混練が十分行なわれていることがわかる。そこで定常攪拌トルク(定常攪拌電力)を確認すると混練操作を終了し、この条件下で得られた混練物について引張破断試験を行なうとともに混合度 S を求め、混練状態を評価することにした。

* $S = \sqrt{\frac{1}{15} \sum_{i=1}^{15} (C_0 - C_i)^2}$ ここで C_i はサンプル中の含水率、 C_0 は平均の含水率であり、1 サンプルの重量は5gである。 S の値が小さいほど混練物での水分の偏りが小さいことから、混練(混合)状態が良好である。

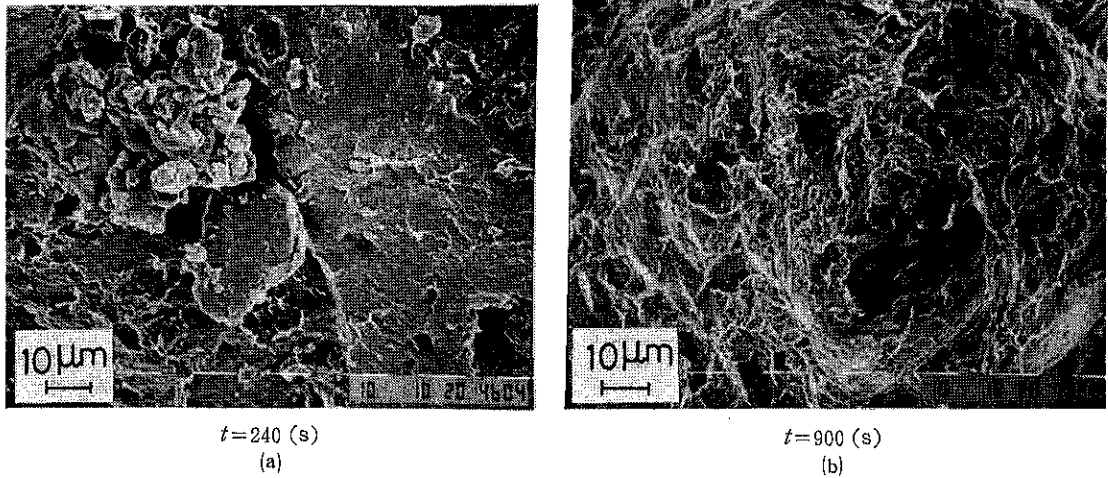


Fig. 3 Scanning electron microscopic picture of inter-particle binder.

3.2 各種混練機の性能

Fig. 4には各種混練機で得られたけい砂-水系混練物の引張強度 $\bar{\sigma}_{x,T}$ と水分の標準偏差 S (混合度) を示した。また、Fig. 5には万能ミキサーを用い生型砂を混練した場合の $\bar{\sigma}_{x,T}$ および S と、前報¹⁰⁾ で得たシンプソンミルなどの結果を併せて示した。Fig. 4からわかるように、各種混練機で得られたけい砂-水系混練物の $\bar{\sigma}_{x,T}$ と S は同じような値を示している。すなわち、混練機の性能に明らかな差異が見られないといえる。これに対し、生型砂 (Fig. 5) の場合は、他の混練機に比べてシンプソンミルの引張強度 $\bar{\sigma}_{x,T}$ が大きく、か

つ、混合度 S も小さいことがわかる。したがって、シンプソンミルで得られる混練物の混練状態は最も良好であるといえる。ついで万能ミキサーおよび手混練が良く、垂直円筒型攪拌機の混練状態が最も劣っている。これらの結果から、粗粉の加水混合のような場合は混練機の混合機構の特徴があらわれにくい、粘結剤を添加して練る作用が必要な場合はニーディング、スデアリングおよびスパチュレート的作用が有効に働くシンプソンミルにおいて良好な混練状態が得られることになる¹⁰⁾。さらに Fig. 5 において興味あることは、手による搅拌運動を機械化した万能ミキサー (▲印) と手混練 (△印)

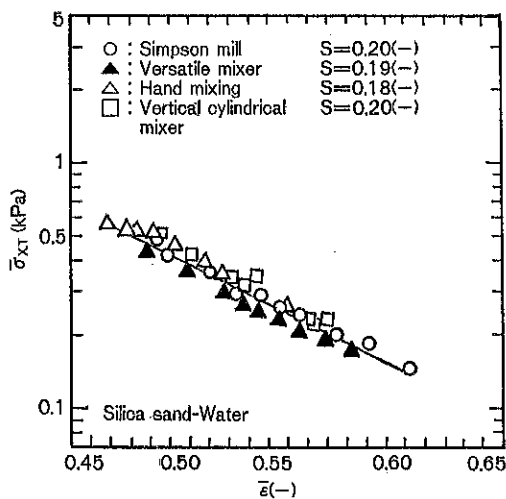


Fig. 4 Tensile strength-porosity relation by three types of kneaders. (silica sand-water system).

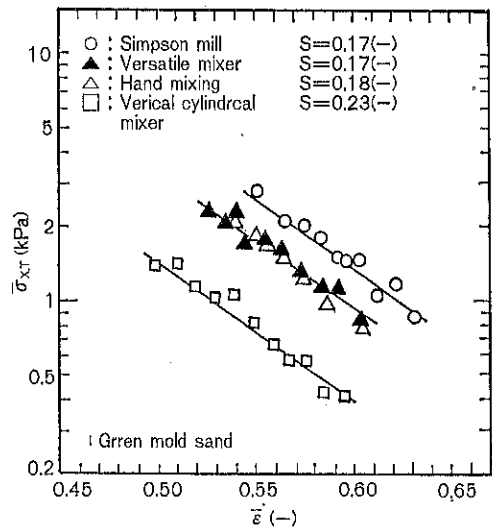


Fig. 5 Tensile strength-porosity relation by three types of kneaders. (green mold sand).

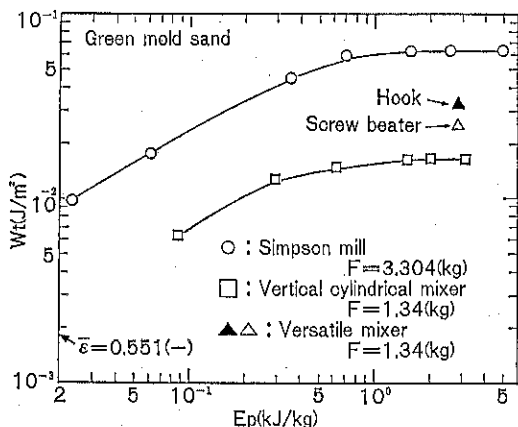


Fig. 6 Relation between tensile breakup energy and mulling power requirement by three types of kneaders.

で得られた混練状態に差異が見られないことである。このことは混練状態を引張強度で評価することの妥当性を示していると考えられる。このように引張強度や混合度あるいは前節の走査型電子顕微鏡による混練物の観察結果に基づいて混練状態だけでなく、混練機の性能も評価できるが、混練所要動力の面からも考察を加えることにした。

Fig. 6 は引張破断エネルギー W_t と混練所要動力 E_p の関係を示したものである。引張破断エネルギー W_t は (1) 式で、混練所要動力 E_p は (2) 式であらわすことができる^{9,12}。

$$W_t = \int_0^{\delta_{x,T}} \bar{\sigma}_x d\delta_x \dots \dots \dots (1)$$

$$E = \int_0^{t_s} T dt, \quad E_p = \int_0^{t_s} T dt / F \dots \dots \dots (2)$$

ここで、 $\delta_{x,T}$: 破断変位、 $\bar{\sigma}_x$: 引張応力、 δ_x : 水平変位、 t_s : 混練所要時間、 T : 撹拌トルク、 t : 混練時間である。さらに F は混練処理量であるので、 E_p は単位処理量当りの混練エネルギーとなる。Fig. 6 からわかるように、シンプソンミルで得られた混練物の破断エネルギー W_t は他の混練機のものに比べて大きい値を示している。すなわち、混練機に同一の混練エネルギーを加えた場合、シンプソンミルが最も良好な混練状態が得られることになる。さらに、Fig. 6 から万能ミキサーの混練エネルギーは垂直円筒型撹拌機よりも有効に働いていることがわかる。また、万能ミキサーにおいては、フックがスクリーピーターに比べて良好な混練状態が得られているといえる。以上の結果から、引張破断エネルギーと混練エネルギーに基づいて、混練機の性能に加えて撹拌翼の混練状態も評価できることがわかった。

3.3 撹拌電力に及ぼす粘結剤量および水分添加量の影響

生型砂の混練にはシンプソンミルを用いると良好な混練状態が得られることがわかった。ここでは、この混練機を用いて、混練操作において重要な粘結剤および水分の添加量と定常撹拌電力の関係を検討するとともに、水分量と引張破断エネルギー W_t の関係についても調べた。

ベントナイト量 B_w (粘結剤) および水分量 W_w (粘結液) を変化させて定常撹拌電力 P_s (Fig. 9 参照) を測定した結果を Fig. 7 に示した。ここで、ベントナイト量 B_w を変化させる場合は水分量 3% 一定に保ち、水分量 W_w の変化においては粘結剤量 7% 一定である。Fig. 7 からわかるように、定常撹拌電力 P_s の値は、水分量 $W_w \leq 4\%$ ではほぼ一定で、 $5 < W_w < 8\%$ においては水分量の増加とともに増大し、 $W_w \geq 8\%$ ではほとんど変化していない。水分量 $W_w \geq 8\%$ において定常撹拌電力 P_s が一定の値を示しているのは、混練機内 (パン) の多くの混練物 (生型砂) がスクレパーに付着し共

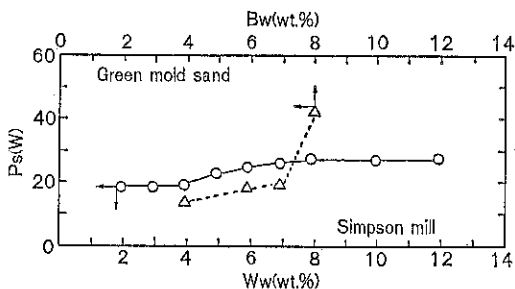


Fig. 7 Relationship between steady mixing power and water content and binder content.

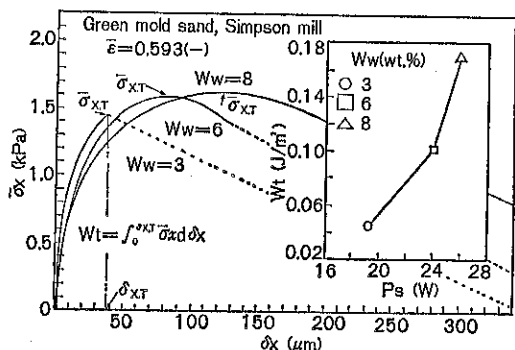


Fig. 8 Tensiling process curves, and between tensile breakup energy and steady mixing power.

回り現象が生じていることによる。したがって、水分量 $W_w \geq 8\%$ においては微視的な混練はあまり期待できないといえる。さらに Fig.7 から、定常搅拌電力 P_s はベントナイト量の増加とともに増大していることがわかる。これは、粘結剤量が増加すると、けい砂粒子をコーティングする膨潤ベントナイト量が多くなり、引張強度 $\bar{\sigma}_{x,T}$ が大きい値を示す¹⁾ ことに起因していると考えられる。

Fig.8 には水分量 W_w を変化させて得られた混練物（生型砂）の破断過程曲線（引張応力 $\bar{\sigma}_x$ 対水平変位 δ_x の関係）の一例と引張破断エネルギー W_f 対定常搅拌電力 P_s の関係を示した。水分量 W_w が増加しても引張強度 $\bar{\sigma}_{x,T}$ の値にそれほど大きな変化は見られないが、引張破断エネルギーは水分量の増加に伴い明らかに大きい値を示していることがわかる。この結果から、けい砂粒子間の水膜が粘度の高い膨潤ベントナイトに変化し、その液膜により付着力が生じるが、ベントナイト層間の過剰な水は砂粒子間の引張強度よりむしろ液橋の伸びとしてあらわれ引張破断エネルギー W_f を大きくすると考えられる。さらに Fig.8 の図中の結果から、引張破断エネルギー W_f の大きい値を示す混練物を搅拌しようとする場合、大きな搅拌電力を必要とすることがわかる。すなわち、搅拌電力は混練物を引張破断試験することで評価できるといえる。

なお、垂直円筒型搅拌機を用い、水分量を変化させて

生型砂の混練を行なった場合においても、シンプソンミルの場合と同様な結果を得ている。

3.4 混練状態に及ぼす液体および微粉の添加順序の影響

混練においては粉粒体（粗粉）の回りに微粉と液体をコーティングする操作が多く用いられている。このような場合、微粉と液体の添加順序によって混練所要動力と引張破断エネルギーがどのような関係にあるのかわかっていない。そこで微粉の添加順序（以下、配合方法と呼ぶ）を変化させて搅拌電力 P の時間的变化を調べ、その結果の一例を Fig.9 に示した。Fig.9(a) に示す配合方法1（2節参照）では、搅拌電力 P が混練時間 t の経過とともに単調に増大し定常値 P_s に到達していることがわかる。つぎに配合方法2（Fig.9(b)）における搅拌電力は、いくぶん振動しながらも定常値 P_s に近づく。この搅拌電力の微振動は、けい砂（粗粉）とベントナイト（微粉）および石炭粉の混合が不十分であったことによるものと考えられる。さらに Fig.9(c) に示す配合方法3では他の方法に比べて定常搅拌電力 P_s が明らかに大きいことがわかる。これらの結果から、水（粘結液）である程度コーティングされた粗粉に微粉を練り込む操作の方が、粗粉と微粉の混合物（乾燥状態）に水を添加し被覆する操作に比べて、大きな搅拌電力を必要とすることがわかる。

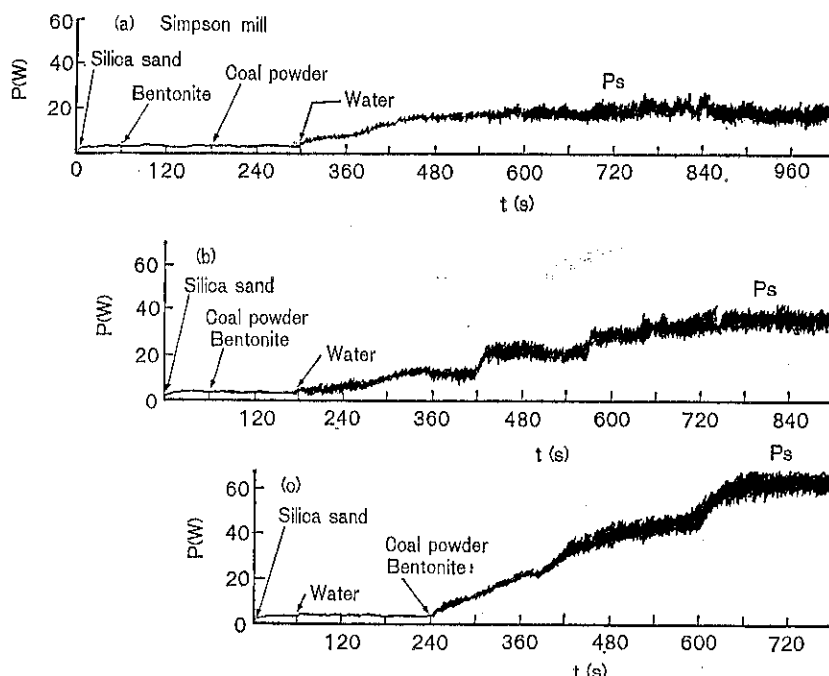


Fig. 9 Relationship between mixing power and mulling time.

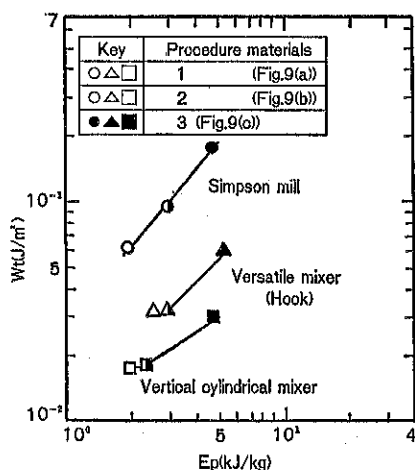


Fig. 10 Relationship between tensile breakup energy and mulling power requirement.

Fig. 10 は各種の配合方法で得られた混練物の引張破断エネルギー W_t と混練所要エネルギー E_p の関係を示したものである。配合方法3の混練操作では、いずれの混練機においても W_t と E_p がともに大きい値を示していることがわかる。すなわち、混練エネルギーが大きいと良好な混練状態の混練物が得られるといえる。

4. 結 言

混練状態は従来から良い測定法（判定法）がなく五感にたよって判定していた。われわれは走査型電子顕微鏡による混練状態の観察、混合度、引張破断エネルギーおよび混練所要動力などを測定し、それらの関係に基づいて混練状態を評価できることを示した。混練状態の良好な混練物は粉体のまわりに粘結剤などが良好にコーティングし、混合度の値が小さく、引張破断エネルギーは大きい値を示す。また、定常撹拌トルク（定常撹拌電力）が得られる状態で混練は終了していることを明らかにした。湿潤粉粒体に微粉をコーティングする、あるいは練り込む混練操作は、粉粒体と微粉の混合物（乾燥状態）に液体を被覆する混練操作に比べて、混練所要動力および引張破断エネルギーがともに大きい値を示すことがわかった。すなわち、混練に要するエネルギーが大きいと良好な混練状態の混練物が得られる。さらに加水混合のような湿潤粉粒体（粗粉）の混練においては混練機の性能に大差が見られないといえる。しかし、ねる操作を必要とする場合は、混練エネルギーが有効に働くシンプソンミルが撹拌羽根（パドル）形式の混練機に比べて良好な混練状態が得られることなどもわかった。

謝辞：吊り下げ式粉体層付着力測定機（コヒテスタ）は粉体技術談話会より借用したものである。ここに記して謝意を表わす。

使用記号

B_w	ベントナイト添加量	(wt%)
D_s	比表面積径	(μm)
D_{50}	50%粒子径	(μm)
E	混練所要動力	(kJ)
E_p	単位処理量当りの混練所要動力	(kJ/kg)
N	回転速度	(s^{-1})
P	撹拌電力	(W)
P_s	定常撹拌電力	(W)
S	標準偏差（混合度）	(—)
T	撹拌トルク	(N·m)
T_s	定常撹拌トルク	(N·m)
t	混練時間	(s)
W_t	引張破断エネルギー	(J/m²)
W_w	添加水分量	(wt%)
δ_x	水平変位	(μm)
$\delta_{x,T}$	破断変位	(μm)
$\bar{\epsilon}$	空隙率	(—)
ρ	真密度	(kg/m^3)
σ_a	見掛け密度	(kg/m^3)
$\bar{\sigma}_g$	幾何標準偏差	(—)
ρ_x	引張応力	(kPa)
$\sigma_{x,T}$	引張強度	(KPa)

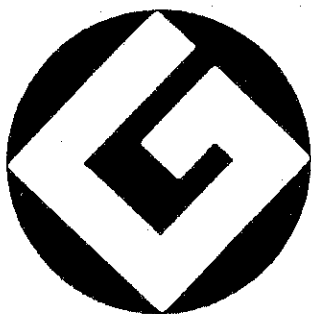
引用文献

- 1) 荒木征雄, 山本真樹, 船越嘉郎: 第12回粉体に関する討論会要旨集, p. 34 (1974) 仙台
- 2) 藤井謙治, 彼谷憲美, 浦山 清, 横山藤平: 粉碎, No. 23, 46 (1978)
- 3) 藤井謙治, 横山藤平: 粉体工学会誌, 16, 686 (1976)
- 4) 日本粉体工業協会編: “混合混練技術” 日刊工業新聞社 (1980)
- 5) Michosels, A. S. and V. Puzinauskas: Chem. Eng. Progr. 50, 604 (1950)
- 6) 森 芳郎, 神保元二, 高城 真, 鷺尾文郎: 化学工学, 25, 806 (1961)
- 7) 佐藤宗武, 吉田純二, 宮南 啓: 粉体工学会誌, 20, 604 (1983)
- 8) 寺下敬次郎, 宮南 啓, 小西孝信, 吉田純二: 材料, 30, 873 (1981)

- 9) 寺下敬次郎, 宮南 啓, 木村照雄: *ibid.*, 32, 958 (1983)
- 10) 寺下敬次郎, 宮南 啓, 木村照雄, 森 正博: 粉体工学会誌, 20, 548 (1983)
- 11) 寺下敬次郎, 木村照雄, 塚口英世, 宮南 啓: *ibid.*, 20, 733 (1983)
- 12) Terashita, K. and K. Miyanami: *Particulate Science and Technology, An International Journal*. 投稿中.
- 13) 梅屋 薫, 鈴木勘弘, 相島悠二: 化学工学, 28, 682 (1964)

特許一言メモ No. 44

“G マ ー ク” と は



グッドデザイン選定
認定番号〇〇〇〇〇

「Gマーク」のついた文房具やオーディオ製品を買われた方もあると思うが、この「Gマーク」は、グッドデザイン商品として選定された商品にのみつけることができるものである。

このグッドデザイン商品の選定制度は特許法や意匠法とは別に、意匠の創作を奨励する目的から制定されたものであり、優れた商品をグッドデザイン商品として一般

需要者に推奨し、企業のデザイン水準の向上と国民生活の文化的向上、および、輸出の振興を図るために実施されている。

この選定は通産省によって毎年行われ、デザインと品質の両面で優れた商品に対して与えられている。

なお、この対象となる商品は、家具・調理用具・音響機器・事務用機器などであり、選定されるための条件としては

- ① 材料がその商品に適合していること
- ② 機能美に優れている
- ③ 独創性があること
- ④ 品質に優れ安全性が認められること
- ⑤ 量産できること

などの条件を満たしていることが必要である。

こうして選定（合格）されると、その商品に対し「Gマーク」を使用できる。したがって「Gマーク」の付いた商品は、内容も含めたデザイン面で優れていると公に保証されているともいえるわけである。

(技術資料室)

ブロータンク内の粒子運動に及ぼす ノズル、挿入物および空隙率の影響

Influence of Nozzle, Flow-corrective Insert and Voidage
on Particle Flow in a Blow Tank Solids Conveyor

富田 侑嗣* 榎本 茂*
Yuji Tomita Shigeru Makimoto

Abstract

Velocity field of polyethylene pellets of 920kg/m^3 material density and 3.37mm mean diameter is examined in a blow tank solids conveyor in which the conveying pipe exits at the upper part of the tank. The mass flow rate of particles is increased when the convergent inlet nozzle is attached at the pipe inlet and is independent of the voidage in a tank and of inserting a flow-corrective object. The particles flow region enlarges when the voidage is large and the particles flow becomes a mass flow by inserting the object in this large voidage condition. When the nozzle is attached, the particles flow region becomes narrow since the downward velocity of particles are increased.

著者摘録

粒径 3.37mm 、真密度 920kg/m^3 の円板状ポリエチレンペレットのブロータンク輸送機内における流動状態を調べた。輸送量はタンク内の空隙率や挿入物の存在によって影響されず、ラッパ状のノズルをつけることにより同一吹き込み空気速度に対して増加する。これに対しタンク内の流れの場は空隙率が大きいと流動域は広くなり、この状態で挿入物を取りつけるとタンク内の流れはマスフロー的になる。ノズルがあるとタンク中央部の流下速度が増し、流動域は狭くなる。

1. はじめに

粉粒体の圧送式空気輸送で使用されるブロータンクには輸送管がタンクの上部から出るものと下部から出るものがある。両者において重力の方向が反対のため最小輸送空気速度は前者の方が大きい。ブロータンクに入る空気管として輸送用の主空気を吹き込むものの他にブロータンク内の粉粒体を流動化するもの、輸送濃度を調整するものなどがある。しかしブロータンクによる粉粒体の輸送量 G_s は、与えられたブロータンクについて、輸送管入口での空気速度 U によって定まる¹⁾。そして与えられる U に対して大きな G_s を出せるものほど多様な使

用条件に対応できるので供給機としての性能は良いことになる。そこで与えられた粉粒体の輸送に対して G_s を大きくするにはどうすればよいのかという問題が生ずる。

本研究では輸送管がタンク上部から出るブロータンクについて粒体を輸送する場合、この問題をブロータンク内の粒体の流れとの関連において実験的に調べようとするものである。粒体として球相当径 3.37mm 、真密度 920kg/m^3 の円板状ポリエチレンペレットを使用した。この粒子は浮遊速度が 5.8m/s 、流動化開始速度は空隙率が 0.36 のとき 0.842m/s と大きく、本実験範囲内ではタンク底部から吹き込まれる空気流によって流動化されることはなかった。この場合、 G_s は輸送管入口に何もつけない円筒状入口のときタンクの大きさによらず入口径のみによること、更に輸送管入口の多孔板からの高さについても輸送管径以上では入口高さにもよらないことを示した²⁾。そこで本文では輸送管入口をこの高さ以上に

* 九州工業大学機械工学第二学科
(〒804 北九州市戸畑区仙水町1)
Tel. (093) 871-1931 内線 312

固定して輸送管入口にラッパ状のノズルをつけることの効果やホッパーからの重力排出の際、円滑な流れの促進と定量性の保持のために使用される円錐状の挿入物の効果などについて調べる。

2. 実験装置と方法

Fig. 1 は本研究に使用したブロータンクを示す。タ

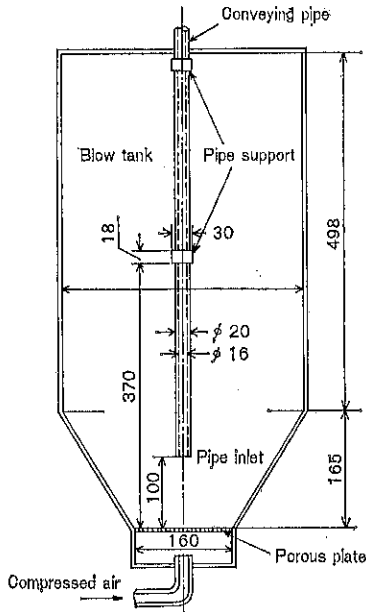


Fig. 1 Diagrammatic sketch of blow tank

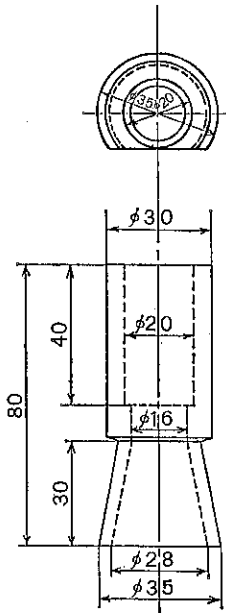


Fig. 2 Inlet nozzle

ンク内の粒子の流動状態を観察するため、横断面は半円形とし、軸を通る断面を透明のアクリル樹脂板で作った。輸送管は円形のままで内径16mm、外径20mmである。Fig. 2は輸送管入口に取りつけるノズルを示す。これを取りつけるときノズル入口端の多孔板からの高さは、取り付けないときの輸送管入口端と同じく100mmとした。Fig. 3は挿入物を示す。これを使うときはその下端が多孔板底部から190mmに来るように取りつけた。吹き込む空気流量は四分円ノズルで、粒体の輸送量はロードセルによって測定した。タンク内の粒子の速度分布を求めるため流動状態を時間を追って写真撮影し、着目粒子の移動距離と移動時間を求めて種々の水平断面における半径方向の粒子の速度分布を時間的に調べた。空隙率 ϵ の影響をみるためタンク内の充てん方法を2通り変えた。ここでは密に充てんした場合 $\epsilon=0.353$ を ϵ 小、粗に充てんした場合 $\epsilon=0.399$ を ϵ 大と呼ぶ。タンク吹き込み空気の質量流量を輸送管断面積とタンク内の空気密度 ρ_t で除したものを u_i と置き、これをタンク吹き込み速度と吹ぶ。ブロータンクから輸送管に入る空気の質量流量はタンク内の粒体の排出に伴う置換空気のため吹き込み空気の質量流量に比べて $\rho_t G_s / \sigma$ だけ少ない。ここで σ は粒子の真密度とする。そこで吹き込み空気の質量流量からこの値をさし引いたものを輸送管路入口部断面積と ρ_t で除したものを u_a とし、タンク出口の見かけの空気速度と称する。

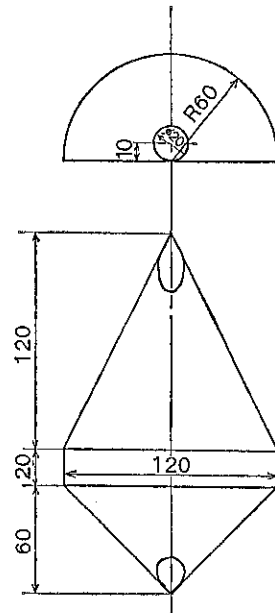


Fig. 3 Flow-corrective insert

3. 実験結果と考察

3.1 輸送量に対する影響

Fig. 4 は G_s と u_i の関係に及ぼすノズル, 空隙率および挿入物の効果を調べたものである. Table 1 に図の記号の説明を示す. Fig. 4 から G_s はノズルの有るなしのみによって異なり, ϵ の大小, 挿入物の有るなしに関係しないことがわかる. そしてノズルをつけることによって与えられた u_i に対して G_s を大きくすることが示されている. 空隙率の影響についてはホッパーからの重力排出においても, その排出量が ϵ によらないことが Brown らによって報告されている³⁾. 挿入物はコアフローをマスフローにしたり, ホッパー出口上方に形成されるアーチによる流れの脈動をとり定量性をはかるものとされている⁴⁾. この意味でタンク内の粒体の流動状態を改善するのに効果があるものと予想されるが, G_s そのものは変えられないといえる. 本研究のように吹き込み空気によって流動化されない場合, タンク内の粉粒体の流動特性は重力流れの特性と類似なものと考えられ

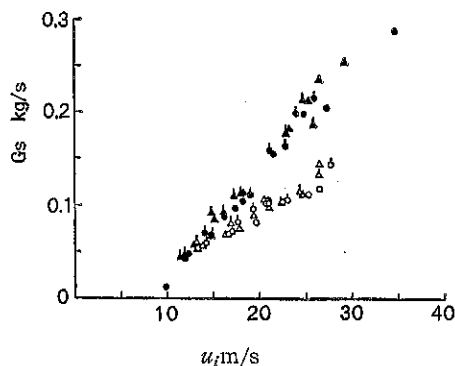


Fig. 4 Mass flow rate vs. blowing air velocity

Table 1 Key for Fig. 4

	nozzle	ϵ	insert
○	N*	0.353	N
○	N	0.353	U**
△	N	0.399	N
△	N	0.399	U
●	U	0.353	N
●	U	0.353	U
▲	U	0.399	N
▲	U	0.399	U

*not used, **used

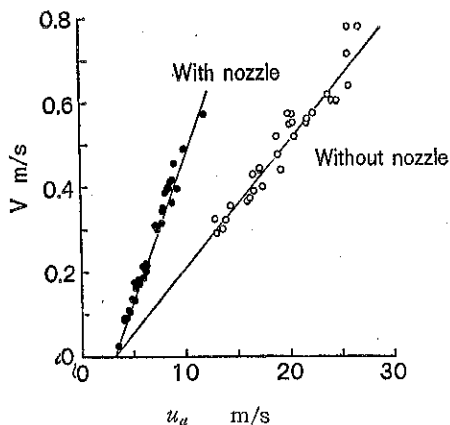


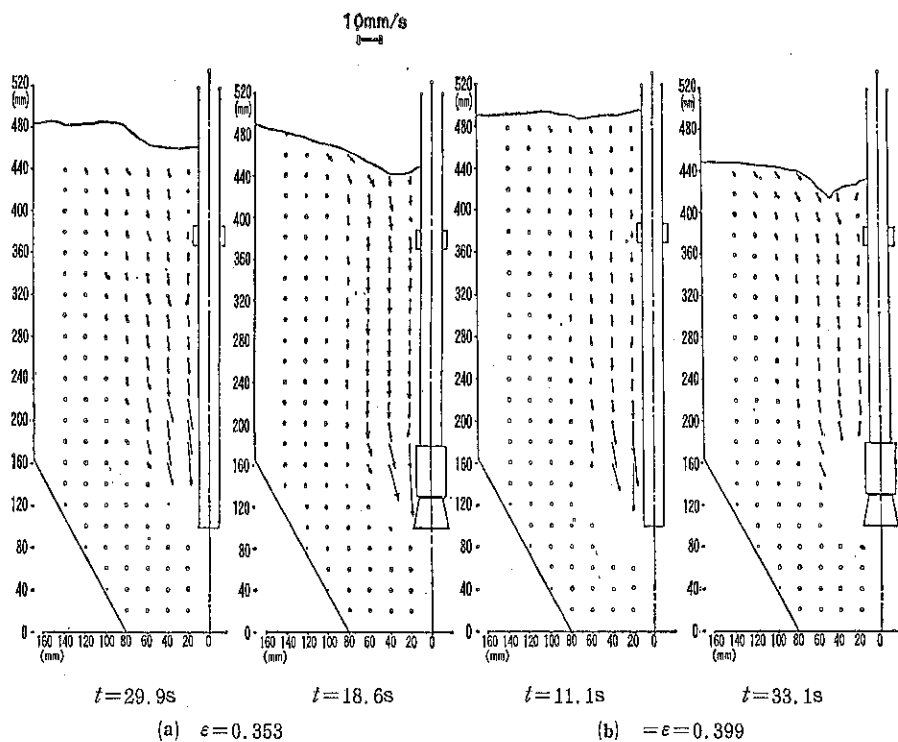
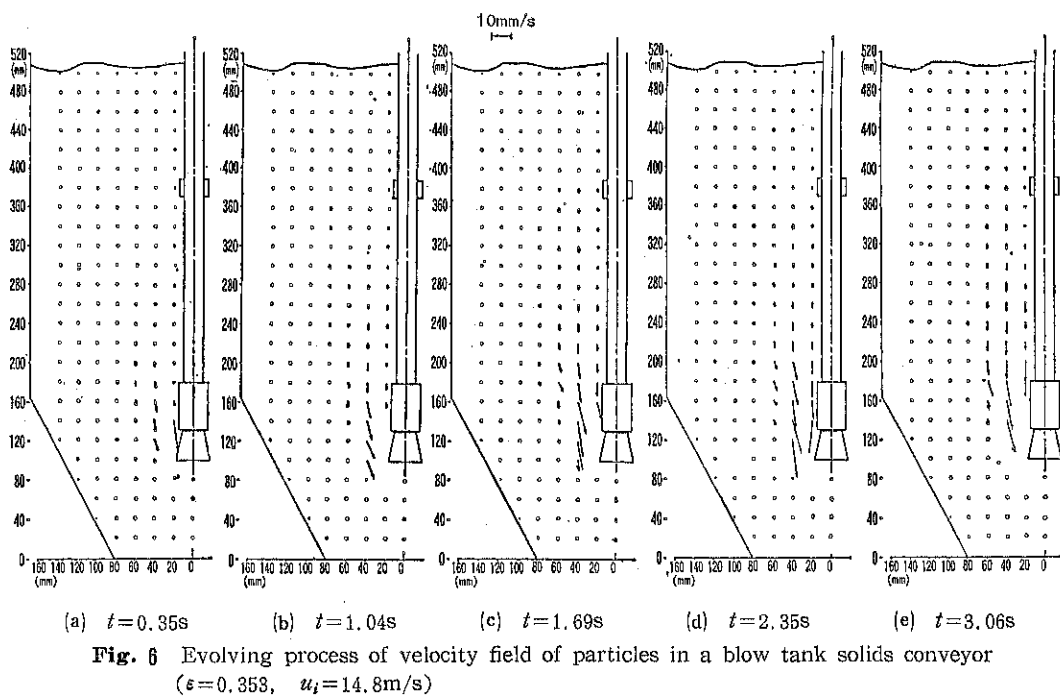
Fig. 5 V vs. u_a

る. 粒状体の重力流れの大きな特徴は水などの流れと異なり, その流れは局所的な条件によって支配され, ヘッドなどの流れの大局的な条件の影響を受けないことだといわれている. このことは G_s もまた輸送管入口部近傍のみの条件によって定まり, タンク内の流れによらず, したがってノズルの有るなしの影響だけが出てきたものと考えられる. Fig. 5 は Fig. 4 の関係を V と u_a でノズルの有るなしについて整理したものである. V は G_s を輸送管入口部断面積と σ で除したものである. ノズルをつけた場合の V , u_a の計算には入口断面積としてノズル入口端の断面積を使っている. 粒体の浮遊速度は 5.8 m/s であるが, 輸送管内を上昇するためには管内空気速度は少なくともこれ以上でなければならないはずである. ノズルつきの場合入口端での u_a は 5.8 m/s よりかなり小さい. このことについてはノズル近傍の流れの状態, たとえば粒子の気流への乗り込み状況もしくは粒子の飛び出しについて調べる必要があると思われる. Fig. 5 によるとノズルの有るなしによらず, $V=0$ となる u_a の値は見かけ上同じようである.

3.2 タンク内の流動状態に対する影響

3.2.1 輸送開始直後の流動状態

ブロータンクに高圧空気を送り込むとまず輸送管入口付近の粒子が輸送管に吸い込まれ, それに続いて上方の粒子が落下してくる. この輸送開始直後の粒子の挙動についてはあまり詳しく調べられてない. そこで輸送管入口にノズルを取りつけたときの粒子の運動を調べた. Fig. 6 は吹き込み空気をパルス的に 18 l/min, すなわち $u_i=14.8$ m/s まで上げて測定したときの粒子の速度の時間経過を示す. Fig. 6(a) では多孔板から 220 mm 程度までの粒子しか運動を始めておらず, それ以上の高さ



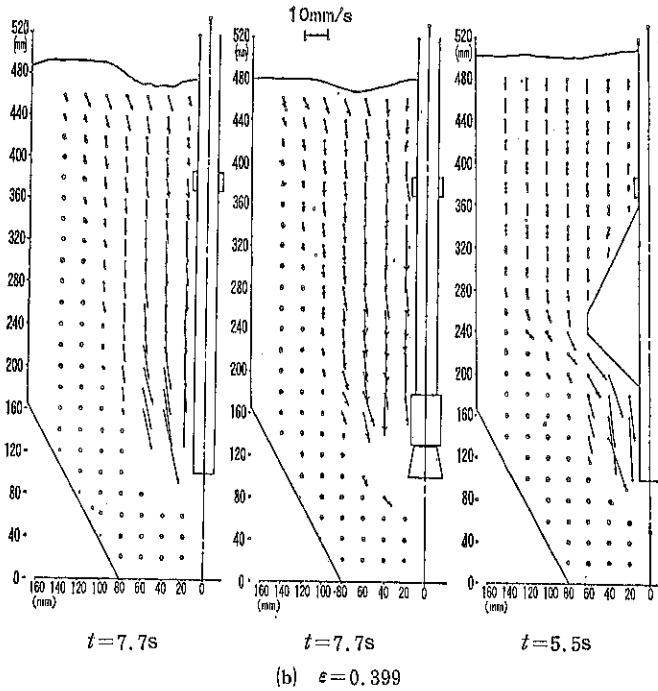
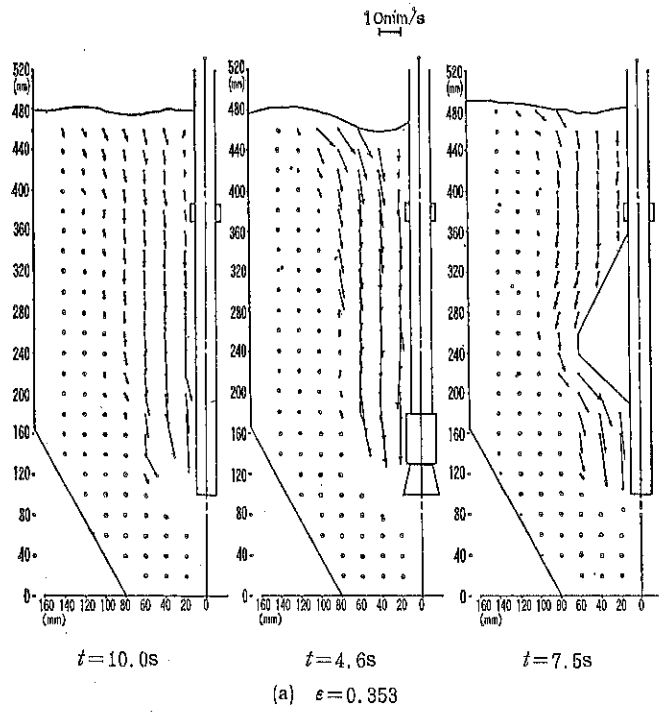
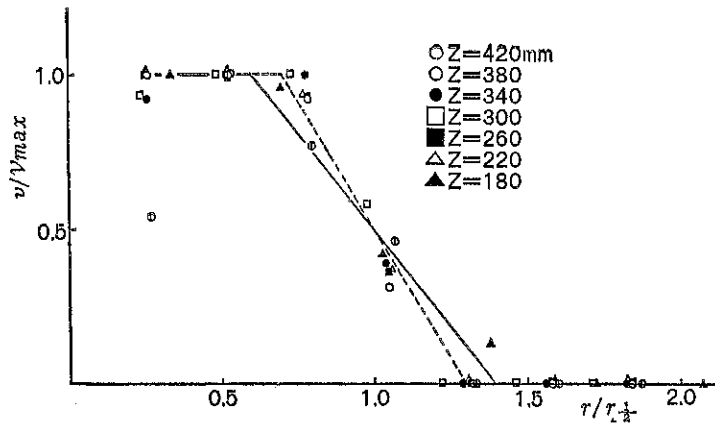
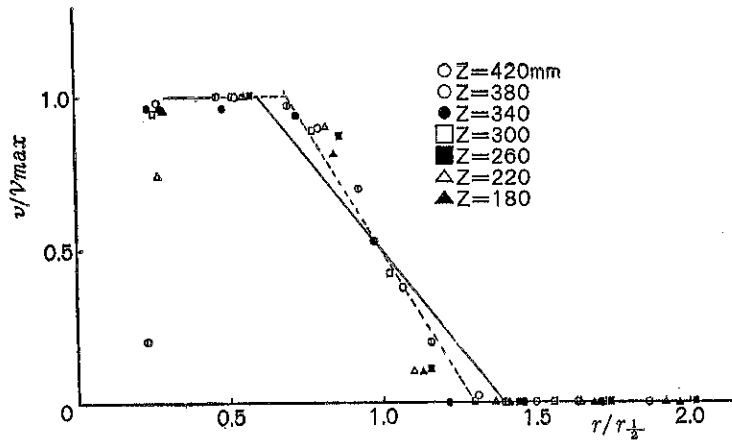


Fig. 8 Velocity field of particles in a blow tank solids conveyor ($u_i=24.8\text{m/s}$)



(a) $u_a = 12.4 \text{ m/s}$, $\epsilon = 0.353$



(b) $u_a = 24.8 \text{ m/s}$, $\epsilon = 0.353$

Fig. 9 Dimensionless velocity profile of particles when the nozzle is attached.

にある粒子は静止している。その後、しだいに上方の粒子も落下し始め、ノズル入口に近い粒子は速度を増加させている。ただしノズル直下 20 mm 以下のところにある粒子はほとんど動いていない。このようにタンク内の粒子運動はまず輸送管付近の粒子が落下し、そこにできた空隙に更に上の粒子が落下していくという挙動が繰り返されて表層部分の粒子まで伝播していくことにより生じている。Fig. 6 (c) で、 $Z=160 \text{ mm}$ 付近の粒子はすでに定常速度に達しており、このあたりでは空隙率はかなり大きくなっている、ここで Z : 多孔板から鉛直上方距離。しかし $Z=200 \sim 380 \text{ mm}$ ではまだ速度も空隙率も増加していて、流れが発達している段階である。 $Z=400 \text{ mm}$ 以上ではまだ下部の流動の影響を受けず静止し

ている。つまり空隙率の変化の影響で輸送管入口付近の粒子の挙動が瞬時にタンク全体に伝わらず、定常な流れに落ち着くまでにかなりの時間を要するのが粒体の運動の特徴といえる。Fig. 6 では 3.06 秒以後は示していないが、その後、表層の輸送管に近い部分が下がり、表層部分が内側へと傾斜する。この傾斜が安息角に近づくと表層部分の粒子は表層をすべり、タンク中央から輸送管入口へ向かって落下していく。流動域は半径方向にも発達し、ある一定の死水域を残して定常になる。

3.2.2 ノズル、空隙率および挿入物の影響

Fig. 7 は $u_i = 12.4 \text{ m/s}$ の場合についてノズルのあるなし、空隙率の大小によるタンク内の流動様式の違いをみたものである。Fig. 4 から分かるように、 $u_i = 12.4 \text{ m/s}$

ではいずれの場合も G_s は同じ程度である。ノズルがつくと中央近くの粒子速度が増加し、表層部分の傾斜は大きくなり、表層域の存在が顕著である。死水域は多少増加し、特に表層に近い部分で増している。空隙率が大きくなると流動域は増加している。しかし粒子速度は減少する。ノズルをつけない場合と似て、表層域の傾斜はゆるやかになる。Fig. 8 は $u_i = 24.8 \text{ m/s}$ の場合を示す。ノズルをつけると G_s は他の場合よりかなり増加している。ノズルや空隙率の流動状態に及ぼす影響は $u_i = 12.4 \text{ m/s}$ の場合と同じである。したがって、空隙率が小さく、ノズルがついている場合、タンク中央部の粒子速度は最も大きく、流動域は最も狭くなる。これを無次元速度分布によって比較したものが Fig. 9 である。各 Z 断面での最大速度 $v_{\max}$ と速度の半値幅 $r_{1/2}$ で無次元化した鉛直方向成分 v の速度分布である。ここで r は半径位置である。実線はノズルをつけなく、空隙率が大きい場合の分布を示す⁵⁾。この結果からノズルをつけることによって静止域が実際に増加していることがわかる。挿入物の影響については Fig. 8 からわかるように、空隙率が大きい場合に顕著に現われており、挿入物の上部の流れがマスフロー的になることが明らかである。しかし、空隙率が小さい場合むしろ流動域は狭くなっている。

4. ま と め

流動化されていない粒体のブロータンクからの排出はホッパーからの重力排出と類似し、輸送量は輸送管入口付近の条件によって定まり、ノズルをつけることによって輸送量は増加する。ノズルがあるとタンク中央部の粒子の落下速度が結果として増加する。タンク内の空隙率が大きいと流動域は増加し、この場合に挿入物を入れると流れはマスフロー的になるが、輸送量の変化はない。挿入物の影響についてはその取り付け位置などについてなお検討の余地があると思われる。最後に本研究に協力された高間秀幸君に感謝します。

引 用 文 献

- 1) 富田外3名, 日本機械学会 論文集, 44 [377] 92 (1978)
- 2) Tomita, Y., et al., Powder Technol., 26, 29 (1980)
- 3) Brown, R. L. & Richards, J. C., Trans. Instn Chem. Engrs., 37, 108 (1959)
- 4) Johanson, J. R., Trans. ASME, J. Engng. Industry 224 (1966)
- 5) Tomita, Y., et al., Powder Technol., 32, 1 (1982)

特許一言メモ No. 45

先 願 主 義

わが国の特許制度では、「先願主義」といって、新しく発明したものは、特許庁に「出願」することによって、特許を受ける権利が発生する。だから発明が完成したら、一日も早く出願することが大切である。また、頭の中で考えただけとか、その内容を新聞や雑誌、テレビ

などに発表しただけでは「特許」にはならない。逆に、そんなものに発表したら「その出願当時、公知のもの」という証拠になってしまい、特許はとれなくなってしまう。

(技術資教室)

空気輸送における固体粒子の平均速度の計算式

Equations for Calculating Mean Particle Velocity in Pneumatic Conveying

森川 敬信*

Yoshinobu Morikawa

1. ま え が き

固体粒子の空気輸送に付随する種々の現象を取り扱う場合に、固体粒子の平均速度がよく用いられる。ただし固体粒子が非常に小さい場合には、その空気抵抗はきわめて大きいので、空気速度と粒子の速度との間には、ほとんどすべりがなく、両者の平均速度がほぼ等しいことが、理論的にも証明することができる。比較的あらい固体粒子を対象とするときには、空気と固体粒子との間のすべりが大きく、固体粒子の平均速度を求めるために、今までにかなり多くの式が導かれた。ここでは、その中の三つの式について考えることにする。

2. 固体粒子の平均速度を求める式

固体粒子の平均速度を求めるために導かれた式のうち、ここでは式の形そのものが、比較的簡単な三つをとり上げる。

断面積 A の円管の、長さ dl の部分に含まれる固体粒子群の質量 dQ は

$$dQ = G_p(dl/v_p) = \rho_{ds} A dl \quad (1)$$

で表わされる。上式において、 G_p は固体粒子の質量流量、 v_p は固体粒子の平均速度、 ρ_{ds} は粒子群の平均分散密度である。式(1)から

$$v_p = G_p / (\rho_{ds} A) \quad (2)$$

の関係がある。空気輸送における全圧力損失 Δp から、

気流の単相流による圧力損失 Δp_a を減じた、いわゆる付加圧力損失を Δp_s で表わし、粒子群に働く流体抵抗 D を用いれば

$$\Delta p_s = \Delta p - \Delta p_a = D/A \quad (3)$$

である。流体抵抗 D を

$$D = \rho_{ds} g A dl \left(\frac{v - v_t}{v_t} \right)^2 \quad (4)**$$

で表わすことにする。上式の v は気流の平均速度、 v_t は固体粒子の終末速度である。式(2)および(4)を式(3)に代入すれば、

$$\frac{v_p/v}{\{1 - (v_p/v)\}^2} = \frac{gvG_p dl}{Av_t^2(\Delta p - \Delta p_a)} = \frac{gvG_p dl}{Av_t^2 \Delta p_s} \quad (5)$$

が得られる。一般に、 g 、 v 、 G_p 、 A 、 v_t は既知の値であることが多いので、 $\Delta p_s/dl$ の値がわかるときには、上式によって粒子群の平均速度あるいは速度比を求めることができる。式(5)によって得られる v_p あるいは v_p/v の値が測定値とよく合うことは、すでに実証されている¹⁾²⁾。

一方、水平管に対する研究から、固体粒子の平均直径を D_p とし、比重を s として、

$$v_p = v(1 - 1.41 D_p^{0.3} \sqrt{s}) \quad [\text{ft/s}] \quad (6)$$

が得られている³⁾。この式を用いる場合、単位はインチおよびポンドである。式(6)は水平管についての研究から

** 固気二相流、固液二相流の分野では、物体に働く流体抵抗を

$D = C_D \frac{\rho}{2} v^2 A_p$ 、 C_D : 抵抗係数、 A_p : 物体の投影面積の形で表わす以外に、式(4)の形が広く用いられる。

* 大阪大学工学部産業機械工学科
(〒565 吹田市山田丘2番1号)
Tel. (06) 877-5111

得られた結果であるが、鉛直管の場合に対しても、そのまま使用されている。式(6)は簡単で、粒径 D_p と比重 s だけで、速度比が定まる。

輸送条件が同じであれば、固体粒子の平均速度は、水平管と鉛直管内とでは、あいことなるのが普通である。しかし式(6)によれば、水平管と鉛直管に対して、 v_p あるいは v_p/v の値は同じになる。これに反して、式(5)によれば、水平管と鉛直管の相違は、 $\Delta p_s/\Delta l$ の中に含まれ、 v_p あるいは v_p/v の値は、水平管と鉛直管の場合とであいことなる。

3. 計算結果の比較

水平管⁵⁾および鉛直管⁶⁾についての輸送実験値 $\Delta p_s/\Delta l$ およびそれらの実験において用いられた固体粒子のうち、Table 1 に示した粒子の場合について、式(5)および(6)により計算した結果を、比較して示せば、水平管の場合はFig. 1～Fig. 3、鉛直管の場合は Fig. 4～Fig. 7 のようになる。なお、これらの図には、

$$v_p = v - v_t \quad (7)$$

Table 1 固体粒子の平均粒径と終速度

	固体粒子	D_p [mm]	v_t [m/s]
水平管	ポリスチレン・ペレット 1	1.02	3.75
	ポリスチレン・ペレット 2	1.27	4.95
	ポリスチレン・ペレット 3	2.7	6.5
鉛直管	ポリスチレン・ペレット 4	1.0	3.5
	ポリスチレン・ペレット 5	1.66	4.8
	ガラス球	1.21	7.8
	鋼球	1.13	12.0

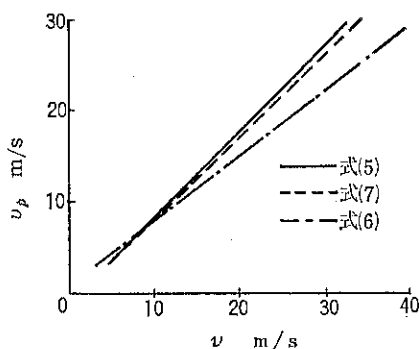


Fig. 1 水平管内におけるポリスチレン・ペレット 1 の平均速度

によって求めた値も記入してある。

すでに述べたように、式(5)は測定値にほぼ近い値を与えるが、式(7)から得られる値は、図からわかるように、式(5)による値に、きわめて近い。また鉛直管の場合の方が、式(7)の値は水平管に対するよりも、式(5)による値に近いことがわかる。さらに、水平管の場合には、式(5)による値は、式(7)による値よりもやや大きく、反対に鉛直

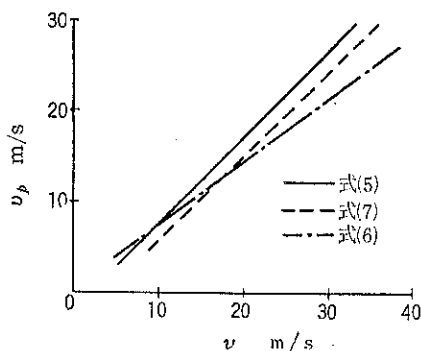


Fig. 2 水平管内におけるポリスチレン・ペレット 2 の平均速度

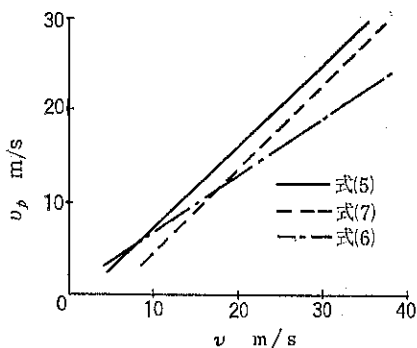


Fig. 3 水平管内におけるポリスチレン・ペレット 3 の平均速度

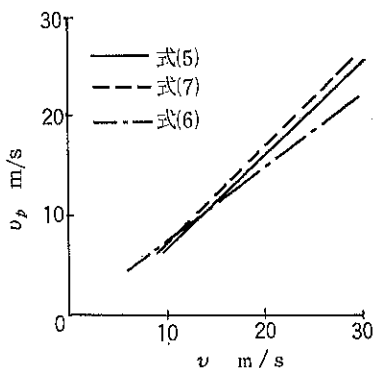


Fig. 4 鉛直管内におけるポリスチレン・ペレット 4 の平均速度

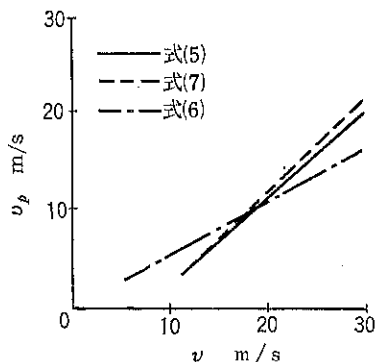


Fig. 5 鉛直管内におけるポリスチレン・ペレット 5 の平均速度

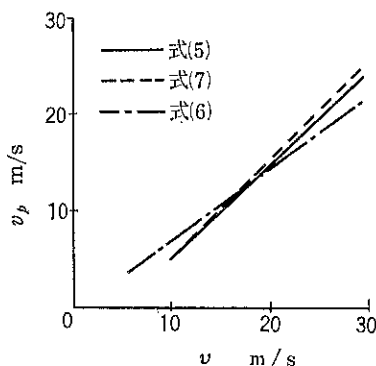


Fig. 6 鉛直管内におけるガラス球の平均速度

管の場合には、式(5)による値は、式(7)による値よりもやや小さいことがわかる。以上の結果は、水平管の場合、管径が5, 10, 20および40 cmについて、鉛直管の場合、管径が5, 10および20 cmについて得られたもので、管径にかかわらず、また混合比にかかわらず、成立する。

式(6)による値は、水平管の場合には、Fig. 1～Fig. 3に見られるように、 $v < 20 \text{ m/s}$ の範囲で、式(5)および(7)による値とほぼ同じ値を与えるが、 $v > 20 \text{ m/s}$ では、式(5)および(7)による値よりも、かなり小さい値を与える。鉛直管の場合には、式(6)による値は Fig. 4～Fig. 7に見られるように、 v の特定の値に対して、式(5)および(7)による値と同じ値を与えるが、それ以外の v に対しては、式(5)および(7)による値とかなりの差のあることがわかる。本来、水平管に対して得られた式を、そのまま鉛直管に適用したこと、その一因があるものと考えられる。

輸送実験から得られた鉛直管の dp_s/dl を用い、式(5)によって求めた v_p の値を、固体粒子の終速度をパラメータとしてまとめると、Fig. 8 が得られる。この図に

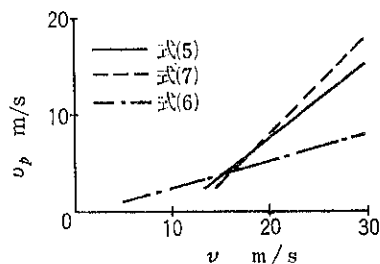


Fig. 7 鉛直管内における鋼球の平均速度

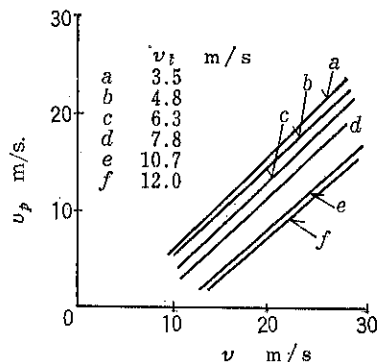


Fig. 8 鉛直管内の粒子平均速度に及ぼす終速度の影響

は、Table 1 に示した粒子以外のものも含まれている。

4. あとがき

空気輸送において、固体粒子の平均速度を求める三つの式を比較検討した。式の形が簡単で、粒子径および粒子の比重だけで、速度比が得られる式(6)は、さほど望ましい関係式でないことがわかる。一方、式の形そのものが、きわめて簡単な式(7)による値と、理論式(5)による値との比較から、 v_p の近似値を求める上での、式(7)の有用性が認識させられる。

引用文献

- 1) 森川, 辻, 深尾, 森安, 辻野: 機械学会論文集, 45, 399 (1979), 1632/1641
- 2) 森川, 辻, 村上, 平林, 蝶野: 機械学会論文集, 46, 405 (1980), 884/892
- 3) Hinkle, B. L.: Ph. D. Thesis, Georgia Institute of Technol. (1953)
- 4) Richards, P. C., Wiersma, S.: Paper A1, *Pneumotransport* 2, (1973), BHRA.
- 5) Siegel, W.: *VDI-Forsch.-Heft* 538 (1970)
- 6) Flatow, J.: *VDI-Forsch.-Heft* 555 (1973)

粒子のランダム充填と配位数

吉本 啓*, 後藤 圭司*
Akira Yoshigi Keishi Gotoh

1. ま え が き

粒子集合体の力学的、電気的、熱的特性等の研究のためには、その集合体の内部構造を知ることが必要である。その1つとして、粒子間の相互作用が遠距離にまでは直接及ばない場合には、任意の中心粒子周りに配位する粒子数が重要である。粒子充填体の空隙率と平均配位数との関係は多くの研究によって報告されているので、それらを本稿でまとめてみた。まず第2章では実験方法と結果を、第3章では電算機シミュレーション実験方法と結果を概説し、第4章で平均配位数と空隙率の関係をまとめた。

2. 実験方法と結果

粒子集合体の構造を実験によって調べる場合、多くはベアリングボール^{1),2),3)}や、ナイロン球⁴⁾などが用いられる。ベアリングボールを使用する場合は、重力の影響を避けるため、水中あるいは油中で充填することが多い²¹⁾。配位数を求める方法は、大別して2通りある。1つは、塗料に浸した後、粒子の1つ1つについて、塗料のつき方を調べることによって接触点数を知る方法である⁵⁾。この方法によれば、リング状に残る塗料の模様は真の接触であり、点となつて残るものは、わずかに離れている粒子であるとみなすことができる。しかし、これらを明確に判別することは極めて困難であり、配位数は実際より大きくなる。また、Wade²⁶⁾は、粒子表面及び粒子間に吸着する水分量によって平均配位数を求めている。

配位数を求める他の方法は、各粒子の座標を測り、それらの座標から接触している粒子の個数を知る方法である^{6),8)}。この方法によれば、正確に座標を測ることができれば、真の配位数を求めることができる。しかし、座標を測定する精度には限界があり、また、その操作は煩

雑である。

等球のランダム充填体についての、配位数に関する実験は、Smithら²²⁾、BernalとMason⁵⁾などによって行なわれている。

BernalとMason⁵⁾は、ベアリングボールを用いて、ランダム密充填とランダム疎充填について、近接粒子（任意の中心粒子から粒子直径の5%以内の距離に存在する粒子）数と、接触粒子数を調べ、その和を配位数と考えた。その結果、配位数には分布があり、ランダム密充填（空隙率 $\epsilon=0.38$ ）では、配位数は8~9が多く、その内訳は6~7個の接触粒子と、1~2個の近接粒子から成っており、平均配位数は8.5であった。なお、最近接粒子数は6.4であった。一方、ランダム疎充填（ $\epsilon=0.40$ ）では、配位数は7~8の場合が多く、この値には5~6個の接触粒子が含まれている。配位数の平均値は7.1で、接触粒子数の平均値は5.5である。また疎、密いずれの充填においても、粒子が互いに安定するためには最小で4、最大12、平均で6の配位数を持つことが必要であること、近接粒子が存在することがこれらの充填体の特徴であることなどが指摘されている。

Smith²²⁾は、種々の充填率について、配位数と空隙率の関係を調べた。その結果、空隙率が高い場合には、配位数の分布はガウス分布で表わされるが、空隙率が減少するに従い、その分布は配位数が大きき方へずれて、ガウス分布から離れていく。空隙率が0.36~0.37にまで低くなると、粒子の配列に規則性が表われ、10~12の配位数の出現確率が高くなる。空隙率と平均配位数との関係は、直線関係であると結論し、 $\epsilon=0.48$ で平均配位数 $\bar{N}$ は6、 $\epsilon=0.74$ で $\bar{N}=12$ となっている。

Bernalら⁶⁾は、鋼球のランダム充填体について、各粒子の座標を光学的に計測する装置を試作し、実験を行なった。その結果、 $\epsilon=0.37$ に対し、平均配位数6.0を得ている。

粒径分布をもつ粒子の充填体については、荒川と西野³⁾の研究がある。彼らは、直径1~6mmの発泡ポリスチレンの球形粒子を、ふるいによって何種類かの粒子

* 豊橋技術科学大学エネルギー工学系
(〒440 豊橋市天伯町字雲雀ヶ丘1-1)
Tel. (0532) 47-0111

径に分け、それらの組み合わせとして正規分布形、矩形分布形、均一形の粒径分布をもつ粒子群をつくった。試料を数種類の空隙率にランダムに充填し、塗料による方法によって配位数の分布を調べた。その結果、当然のことであるが、空隙率が小さいほど、平均配位数は大きくなっている。また、大粒子と小粒子の両方共に多く含む矩形分布の場合が、正規分布や均一径の場合よりも配位数が大きくなっている。これは、大粒子の周りには多数の小粒子が配位できるためである。また、粒度分布がある場合でも、空隙率が小さいほど、平均配位数は大きくなる。均一径粒子については、その配位数分布は、ほぼ正規分布で表わされることが示された。

平均配位数と空隙率の関係について、従来の実験結果の代表的なものを Table.1 に示す。

Table 1 実験による平均配位数と空隙率の関係

	空隙率 ϵ	平均配位数 $\bar{N}$	文 献
等 球	0.38	6.4	Bernal and Mason ^{5),21)}
	0.40	5.5	
	0.36	9.1	
	0.37	9.5	Smith et al. ²²⁾
	0.43	8.1	
	0.44	7.3	
	0.45	7.0	
	0.37	6.0	Bernal et al. ⁹⁾
正 規 分 布	0.39	7.7	Arakawa and Nishino ³⁾
	0.44	7.5	
	0.56	5.1	
	0.64	4.4	
矩 形 分 布	0.39	7.2	Arakawa and Nishino ³⁾
	0.46	6.6	
	0.57	5.1	
矩 形 分 布	0.37	8.9	Arakawa and Nishino ³⁾
	0.43	7.4	
	0.51	6.2	

3. 電算機シミュレーションと結果

電算機シミュレーションによって充填層モデルを作る場合、Bennet⁴⁾の方法による場合が多い。これは、既に充填層表面に存在する3つの粒子に接触して安定するように、新しい粒子を1個ずつ加えてゆくことによって、所定の粒子数の充填層を作る方法である。Bennet⁴⁾は、ある固定された中心点の方向に対して各粒子の安定な位置を選ぶことによって、球状の充填体を作った⁴⁾。その空隙率は、中心付近では低く、中心から離れるほど

高くなっている(0.33~0.39)。それに従って、局所平均配位数は中心部の最大8.5から周辺部の最小6.0まで減少し、平均配位数は6.0となっている。

一方、Matheson¹³⁾は一方向の充填シミュレーションについて、ある平面に最も近い順番に粒子の安定な位置を選ぶことによって、均一な充填率を有する粒子充填層を作った。その平均空隙率は $\epsilon=0.39$ 、平均配位数は5.99となっている。

Tory ら²³⁾は、x, y 座標をランダムに選び、粒子を落下させ、既に安定している充填層の粒子、あるいは充填容器底面に接触して3点支持で安定するまで、既存の粒子表面をころがり落ちる粒子の低速沈降堆積電算機シミュレーション実験を行なった。ただし、粒子に摩擦、慣性、付着性はないものと仮定し、ひとたび安定した粒子は、他の粒子との衝突によって動くことはないとした。さらに、仮定の容器側面に当たった粒子は、反対側の側面から出現するようにして、x, y 方向に周期性を持たせ、容器の側壁の影響を除いた。この充填体モデルは、均一な空隙率($\epsilon=0.42$)をもっており、粒子の平均配位数は6.0である。

上述の Tory らの電算機シミュレーションでは、空隙率は $\epsilon=0.42$ であり、種々の空隙率を有する充填層を作ることはできない。そこで、鈴木ら²⁴⁾は、粒子間に付着性を仮定し、落下後はじめて衝突する粒子の接触点の天頂角が、ある値以下ならば落下粒子はその位置に静止するように Tory らの電算機プログラムを改良した。したがって、所定の天頂角を変えれば、充填層の平均空隙率が変わる。この空隙率の変化範囲は、 $\epsilon=0.58\sim0.46$ であり、平均配位数もそれとともに6.00から4.14まで変化した。

鈴木らとは別に、中垣と砂田¹⁶⁾は、第1の衝突で、粒子は、 $(1-p)$ の確率で付着すると仮定することによって、同様のモデル充填層を作っている。彼らは、 $\epsilon=0.40\sim0.82$ の範囲でシミュレーション実験を行ない、配位数の変化を調べた。しかし、このシミュレーションでは、 ϵ が大きい(p が小さい)と、粒子が樹枝状に配列し、等方性ではなくなる場合が起こる。等方性を満足しているのは $\epsilon=0.40\sim0.55$ の範囲である²⁴⁾。

不均一径球形粒子の充填シミュレーションは、Boudreaux ら⁷⁾、及び Powell¹⁸⁾などにより行なわれている。

Boudreaux ら⁷⁾は、Bennet⁴⁾と同様、球状に粒子充填体を作るシミュレーション方法によって、2種類の粒径(直径比=1.39)をもつ粒子群を、予め定めた成分比で充填した。その際、小粒子が大粒子の間隙を通して落下する深さは、定められた値以下であるという条件をつ

けることによって、計算を簡単化している。このような充填体中には、小粒子の局所平均配位数が6.0になるような領域が存在することが示された。

また、Powell¹⁸⁾は、対数正規分布をもつ球形粒子の充填シミュレーション実験を、Matheson¹³⁾の方法を改良することによって行なった。その結果、等球に対しては $\varepsilon=0.41\sim0.42$ で、平均配位数は6.00を得た。また、対数正規分布をもつ場合には、 ε は約0.41、平均配位数は約5.9で等球の場合と殆んど差がない。さらに、配

数の分布については、等球の場合は正規分布になる。粒径分布がある場合には、その標準偏差 σ が大きくなるに従い、配位数分布は広がり、正規分布から離れていき、そのピークは配位数の小さい方へとずれていくことを示した。

従来のシミュレーション実験結果の代表的なものを、Table. 2 に示す。

4. 空隙率と平均配位数の関係式

従来から、実際のデータを基礎とした実験式が Rumpf²⁰⁾、Meissner ら¹⁴⁾、Ridgway と Turbuck¹⁹⁾、Haughey と Beveridge¹⁰⁾、中垣と砂田¹⁶⁾などにより報告されている。岩田と本間¹¹⁾は、規則充填からの補間によって平均配位数を表わし、Smith ら²²⁾は、実験データと規則配列との組み合わせによる式を報告している。さらに、後藤⁹⁾は、局部充填率の平均値と分散が不変な2つの規則充填のランダム混合モデルから、また鈴木ら^{12), 23), 24)}は、粒子の存在確率密度分布関数に基づくモデル式を導出している。

以上のものは、等球のランダム充填に適用できるが、大内山と田中¹⁷⁾によって提案された式は粒径の異なる粒子群に対しても成立する。

従来、報告された配位数についての関係式の代表的なものを、Table. 3 と Fig. 1 に示す。なお、Fig. 1 には、実験結果と電算機シミュレーション実験結果も示してある。式(1)~(3)は実験式である。また、いずれの式も、最密充填 ($\bar{N}=12$, $\varepsilon=0.2595$) を境界条件としてい

Table 2 電算機シミュレーションによる平均配位数と空隙率の関係

	空隙率 ε	平均配位数 $\bar{N}$	文 献
等 球	0.39	6.0	Bennet ⁴⁾
	0.39	5.99	Matheson ¹³⁾
	0.42	6.01	Tory et al. ³⁵⁾
	0.42	6.00	Suzuki et al. ²⁴⁾
	0.45	5.49	
	0.49	4.84	
	0.51	4.46	
	0.54	4.14	Nakagaki and Sunada ¹⁶⁾
	0.40	5.72	
	0.55	3.75	
	0.41~0.42	6.00	Powell ¹⁸⁾
対分 数正 規布	0.41~0.42	5.99($\sigma=0.233$)	Powell ¹⁸⁾
	0.42	5.95($\sigma=0.511$)	
	0.40~0.41	5.98($\sigma=0.916$)	

Table 3 平均配位数と空隙率の関係式

$\bar{N}=3.1/\varepsilon$	(1)	Rumpf ²⁰⁾
$\bar{N}=2e^{2.4(1-\varepsilon)}$	(2)	Meissner et al. ¹⁴⁾
$\varepsilon=1.072-0.1192\bar{N}+0.00431\bar{N}^2$	(3)	Ridgway and Turbuck ¹⁹⁾
$\bar{N}=22.47-39.39\varepsilon$ ($\varepsilon\leq 0.5$)	(4)	Haughey and Beveridge ¹⁰⁾
$\bar{N}=1.61\varepsilon^{-1.48}$ ($\varepsilon\leq 0.82$)	}	Nakagaki and Sunada ¹⁶⁾
$\bar{N}=4.28\times 10^{-3}\varepsilon^{-17.3}+2.00$ ($0.82<\varepsilon$)		
$\bar{N}=26.49-10.73/(1-\varepsilon)$ ($\varepsilon<0.595$)	(6)	Smith et al. ²²⁾
$\bar{N}=20.7(1-\varepsilon)-4.35$ ($0.3\leq\varepsilon\leq 0.53$)	}	Gotoh ⁹⁾
$\bar{N}=36(1-\varepsilon)/\pi$ ($0.53\leq\varepsilon$)		
$(1-\varepsilon)^{-1/3}=\frac{1+(b/D_p)^2}{1+(\frac{b}{D_p})e^{(D_p/b)^2\cdot E_{ref}(\frac{D_p}{b})}}$	}	Suzuki et al. ²⁴⁾
$\bar{N}=2.812\cdot\frac{(1-\varepsilon)^{-1/3}}{(\frac{b}{D_p})^2\{1+(b/D_p)^2\}}$		
$\bar{N}=\frac{32}{13}(7-8\varepsilon)$	(9)	Ouchiyaama and Tanaka ¹⁷⁾

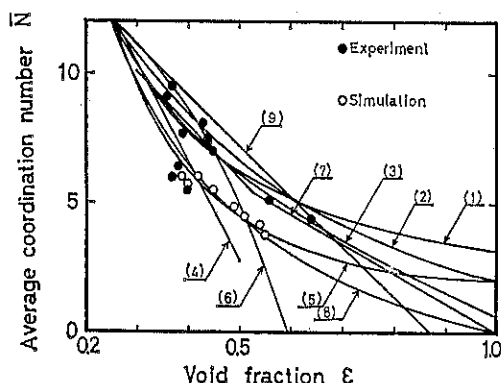


Fig. 1 平均配位数と空隙率の関係

るが、 $\epsilon=1.0$ で $\bar{N}=0$ となるのは式(7)と(8)のみである。実験結果は、上下2つのグループに大別され、下部のグループに属するものは真の接触粒子数を配位数とし、接触粒子数と近接粒子数の和を配位数と考えた場合は上部のグループに属すると考えられる。そこで、(8)式を変形して、粒子直径の20%の距離以内に存在する近接粒子の個数を配位数と考えると、上部の実験点によく一致させることができる。ところが、BernalとMason⁵⁾によれば、接触非接触の誤差は粒子直径の約5%以内であり、誤差を20%とするのは問題である。また(9)式は、2成分系に関する田中ら¹⁷⁾の理論を等球の場合に適用した式であるが、式中の空隙率 ϵ は、理論上、幾何学的に求めた局所空隙率であり、粒子集合体がランダムであることの意味を含んでいない。

5. む す び

配位数と空隙率の関係は、実験及び電算機シミュレーションによって数多く研究されてきた。実験による場合は、測定誤差のために配位数が大きくなることが多い。また、シミュレーションによる場合には、空隙率は約0.40から0.55の範囲であり、これより大きい空隙率の場合には等方性が満足されず、また、これより低い空隙率の充填体を電算機シミュレーションによって作ることは容易でない。空隙率と平均配位数の関係式については、多くの実験式や規則充填の組み合わせ等によるモデル式が提案されており、鈴木ら²⁴⁾によるモデル式は、実験及びシミュレーション結果と比較的によく一致しているように思われるが、全ての実験結果を表現するには充分とはいえない。

引用文献

1) Akao, Y., T. Noda and K. Inoue: J. Soc. Pow. Tech., Japan, **8**, 326, (1971)

2) Arakawa, M.: J. Soc. Mat. Sci., Japan, **16**, 319, (1967)
 3) Arakawa, M. and M. Nishino: Zairyo, **22**, 658, (1973)
 4) Bennet, C. H.: J. Appl. Phys., **43**, 2727, (1972)
 5) Bernal, D. J. and J. Mason: Nature, **188**, 910, (1960)
 6) Bernal, D. J., I. A. Cherry, J. L. Finney and K. R. Knight: J. Phys., E-3, 388, (1970)
 7) Boudreaux, D. S. and J. M. Gregor: J. Appl. Phys., **48**, 152, (1977)
 8) Gotoh, K.: Nature Phys. Sci., **231**, 108, (1971)
 9) Gotoh, K.: J. Soc. Pow. Tech., Japan, **15**, 220, (1978)
 10) Haughey, D. P. and G. S. G. Beveridge: Can. J. Chem. Eng., **47**, 130, (1969)
 11) Iwata, H. and T. Homma: Pow. Tech., **10**, 79, (1974)
 12) Makino, K., K. Saiwai, M. Suzuki, T. Tamamura and K. Iinoya: Kagaku Kogaku Ronbunshu, **4**, 439, (1978)
 13) Matheson, A. J.: J. Phys., C, **7**, 2569, (1974)
 14) Meissner, H. P., A. S. Michaels and R. Kaiser: Ind. Eng. Chem., Process Design and Dev., **3**, 202, (1964)
 15) Nakagaki, M. and H. Sunada: Yakugaku Zasshi, **83**, 73, (1963)
 16) Nakagaki, M. and H. Sunada: Yakugaku Zasshi, **88**, 651, (1968)
 17) Ouchiya, N. and T. Tanaka: Ind. Eng. Chem. Fundam., **19**, 338, (1980)
 18) Powell, M. J.: Pow. Tech., **25**, 45, (1980)
 19) Ridgway, K. and K. J. Tarbuck: Brit. Chem. Eng., **12**, 384, (1967)
 20) Rumpf, H.: Chemie.-Ing.-Techn., **30**, 144, (1958)
 21) Scott, G. D. and D. M. Kilgour: Brit. J. Appl. Phys., **2**, 863, (1969)
 22) Smith, W. O., P. D. Foote and P. F. Busang: Phys. Rev., **34**, 1271, (1929)
 23) Suzuki, M., K. Makino, T. Tamamura and K. Iinoya: Kagaku Kogaku Ronbunshu, **5**, 616, (1979)
 24) Suzuki, M., K. Makino, M. Yamada and K. Iinoya: Kagaku Kogaku Ronbunshu, **6**, 59, (1980)
 25) Tory, E. M., B. H. Church, M. K. Tam and M. Ratner: Can. J. Chem. Eng., **51**, 484, (1973)
 26) Wade, W. H.: J. Phys. Chem., **69**, 322, (1965)

異方性粉体の粉碎特性と碎製物の 評価に関する基礎的検討

横山 藤平* 山口 朝行*

Tohei Yokoyama Tomoyuki Yamaguchi

荒川 正文** 井本 三郎*** 林 克巳***

Masafumi Arakawa Saburo Imoto Katsumi Hayashi

1. はじめに

繊維状あるいは板状の方向異方性を有する粒子を充填材として用いることにより、従来に見られなかった優れた特性を示す新材料が使われるようになってきている。

この異方性粉体の一つであるマイカは、従来より電気絶縁用途などには用いられてきたが、最近高機能な高分子複合材料の充填材として注目されるようになった。

ところで、この用途にマイカを用いるためには、マイカ原鉱を精製し目的粒度に調整しなければならないのは勿論のことであるが、これと同時にマイカのフレーク形態、特にフレークの厚みも考慮する必要があることが指摘されている¹⁾。従って、この目的に合った粉体プロセスと碎製物の評価法の確立が望まれるが、現在のところこの方面の検討は余りなされていないようである。

以上のことから、マイカの工業的利用のための予備段階として、本報ではマイカの粉碎特性と碎製物の評価について基礎的な検討を行った。

2. 粉碎試験及び結果

2.1 粉碎試験の概要

本試験では、脈石が除去され粗粉碎を終えた精製マイカを碎料とした。ロータップ篩分法により求めた碎料の粒度分布を Fig. 1 に示す。

粉碎試験には、Table 1 および以下に示すような5種

* 佛細川粉体工学研究所 (〒573 枚方市 招提田近1-9)

** 京都大学化学研究所 (〒611 宇治市五ヶ庄)

*** 鶴クラレ (〒530 大阪市北区梅田1丁目12番39号)

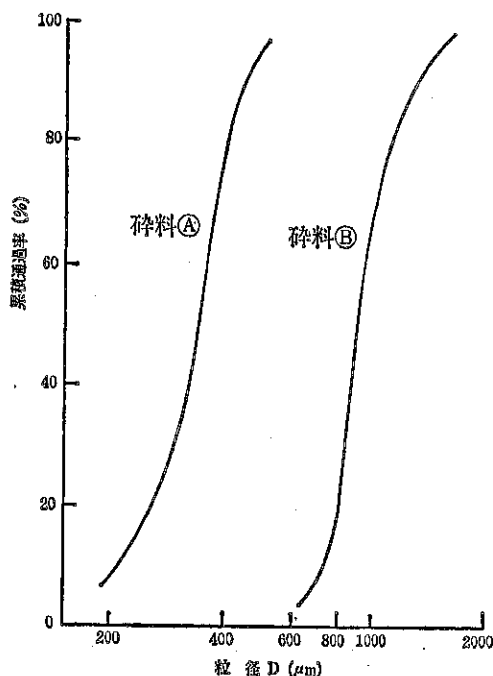


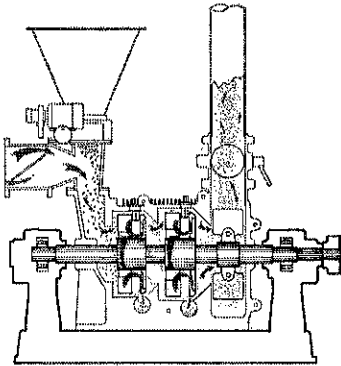
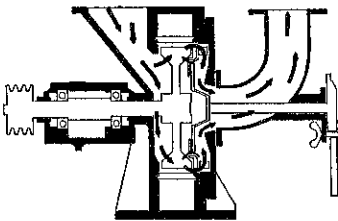
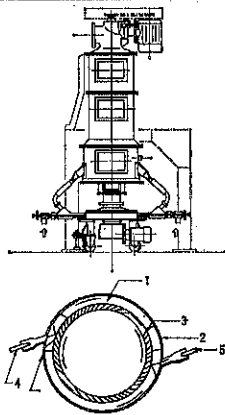
Fig. 1 碎料の粒度分布 (ロータップ篩分法)

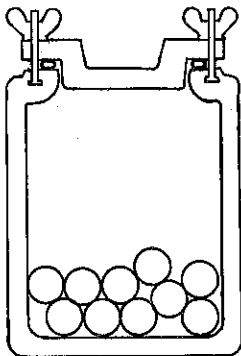
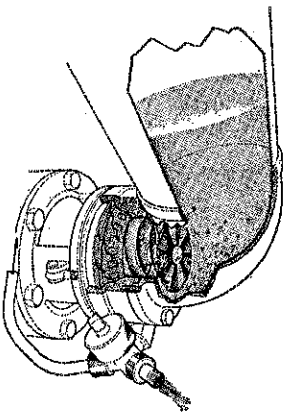
類の粉碎機を用いて、通常の連続運転時での最微粉化に近い条件となるように運転を行った。なお本試験では、粉碎特性を比較するために分級は行わず、粉碎プロセスのみについて検討を行った。また、碎料(鶴クラレ・スゾライトマイカ)には粒度の細かい試料①を使用し、一部比較のために粗めの試料②を用いた。

スーパーミクロンミル

軸流型の衝撃式微粉碎機で、衝撃と同時に剪断、摩砕などの作用により粉碎が進む。本機は分級用スクリーン

Table 1 粉砕機の概要

スーパーミクロンミル	ファインビクトリーミル	ジェットミル
型 式: M52NC 粉 碎 方 式: 乾式 定 格 動 力: 5.5kW ミル回転数: 4300rpm ミル通過風量: 7m³/min 処 理 量: 25.5kg/Hr	型 式: FVP-1 粉 碎 方 式: 乾式 定 格 動 力: 5.5kW ミル回転数: 7480rpm ミル通過風量: 3m³/min 処 理 量: 19.7kg/Hr	(試 験 機) 粉 碎 方 式: 乾式 コンプレッサ動力: 15kW ミル通過風量: 1.4m³/min 処 理 量: 7.8kg/Hr
		

ボールミル	ディスパミル
(小型ポットミル) 粉砕方式: 乾式及び湿式(回分) ポット容積: 4700cm³ ミル回転数: 60rpm 処 理 時 間: 12Hr	型 式: D-1 粉 碎 方 式: 湿式循環 定 格 動 力: 2.2kW ミル回転数: 8000rpm 処 理 時 間: 20min
	

や格子を用いず、粒度調整は主として粒度調整用リングとミル内通過風量により行われる。

ファインビクトリーミル

分級部を内蔵した衝撃式微粉砕機である。粉砕室内で高速回転する多数のブレードを取付けたロータによる衝撃と、全周配置されたライナーとの衝撃により微粉砕が行われる。分級部には回転部分がなく、スリットの開度変化により分級点の調整が行われる。

ジェットミル

上記の機械衝撃式粉砕機より更に細かい砕製物を得るために、衝突板衝突式のジェットミルを用いた。本試験では、粉砕効果を検討することが目的であるので、通常行われるような粗粉循環による閉回路粉砕は行っていない。

ボールミル

本試験では磁製の小型ポットミルを用いて、乾式及び湿式粉砕を行った。ポットミルとボールの材質はアルミナである。

ディスパミル

本機は乳化機であり、湿式循環粉砕が可能である。粉砕部は油浴式の軸受け部と乳化を行うシリンダ部で構成され、シリンダ内周部の間隙調整により粒度調整が行われる。

2.2 粉砕試験結果

(1) 砕製物の粒度

機械衝撃式の粉砕では、砕製物の平均粒度（コールターカウンタ基準）は、Fig. 2 のように数 $10\mu\text{m}$ である。本試験で用いた 2 種類の機械衝撃式粉砕機では粉砕品平均径を $10\mu\text{m}$ 以下にすることは難しいようである。なおこの場合には、砕料の粒度分布の影響は余り受けない傾向が見られた。

一般にジェットミルを用いると超微粉が得られるが、本試験でも機械衝撃式と比較してかなり細かい砕製物が得られており、条件次第では平均径を $10\mu\text{m}$ 以下にすることも可能と思われる。また、ジェットミルの場合には砕料の粒度分布の影響がより強く現われるようである。

以上は乾式粉砕の結果であるが、本試験では参考までに湿式粉砕も試みた。湿式粉砕には、ポットミルとディスパミルを用いたが、装置が小型ということもあって特に乾式法と比較して、より細粒化されるという傾向は見られなかった。なおポットミルでは、乾湿両粉砕法を試みたが特に顕著な差は見られなかった。

(2) 砕製物の形状特性

砕製物の平面形状は Fig. 3 のように必ずしも規則的で

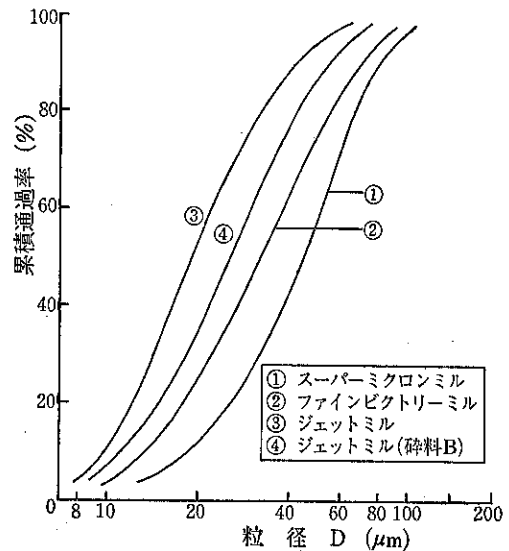


Fig. 2 (a) 砕製物の粒度分布(コールターカウンタ法)

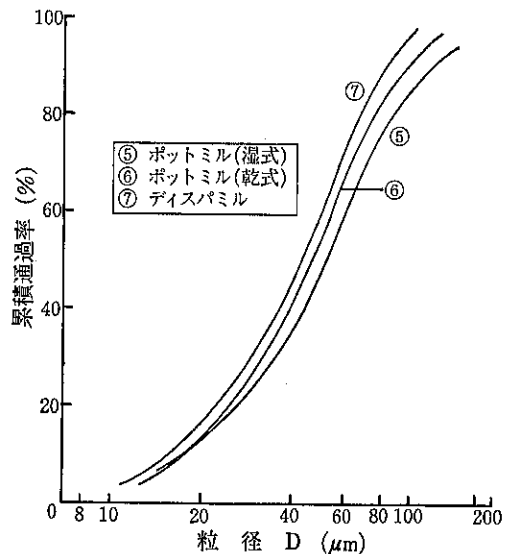
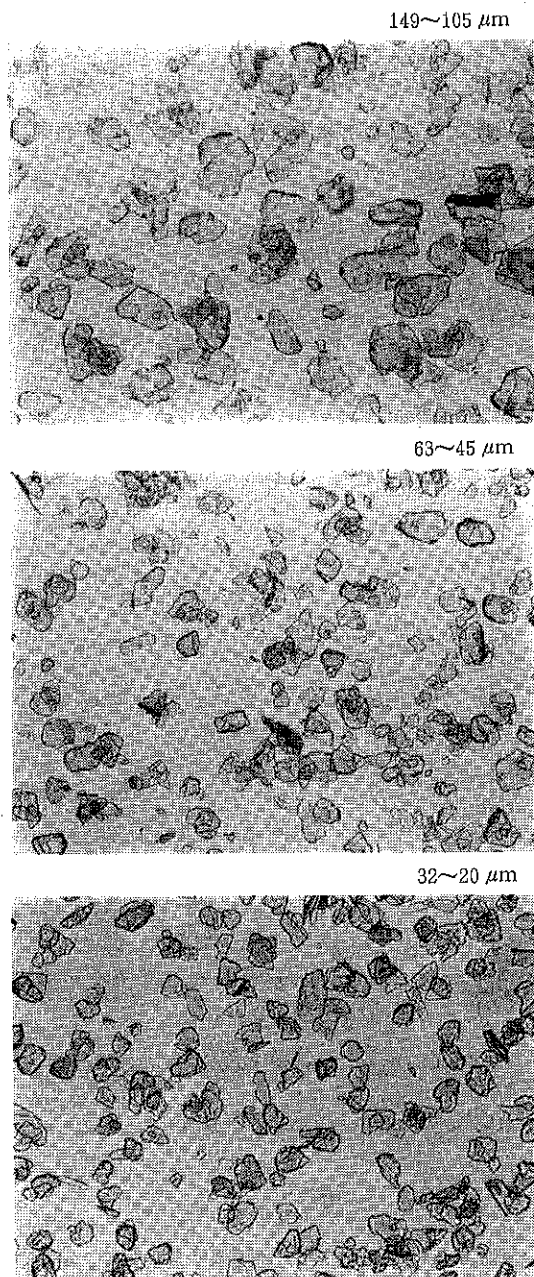


Fig. 2 (b) 砕製物の粒度分布(コールターカウンタ法)

はないが、粒度が小さくなるにつれて長短比が大きく細長くなる傾向が見られた。一方、充填材としての補強効果に最も影響を与える因子は、フレークの相対的な厚みであり、この相対的な厚みはアスペクト比（フレーク径/フレーク厚さ）によって評価される。本試験では、マイクロシープの節目の大きさからフレーク径を求め、厚みについては水面単粒子膜法²⁾を用いて測定した。

砕製物のアスペクト比

砕製物の平均径とアスペクト比の関係を Fig. 4 に示す。



(JIS 標準篩およびマイクロシープによる分級品)

Fig. 3 マイカ砕製物の顕微鏡写真

本図の横軸の平均径はマイクロシープの目開きに $\sqrt{2}$ を剰じて補正したものである。本図からわかるように、粒度が小さくなるに従ってアスペクト比が減少し、本試験の範囲では次式のように直線的な関係を得た。

$$A_s = 0.36D_m + 16$$

$$20 \leq D_m \leq 90$$

但し、 D_m : マイクロシープ平均径 $\times \sqrt{2}$ [μm]

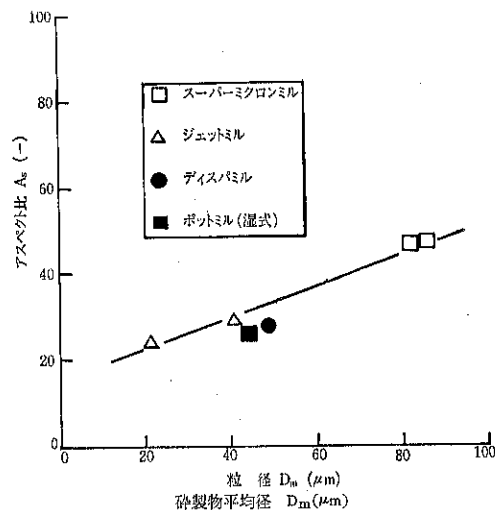


Fig. 4 粉碎粒度とアスペクト比の関係

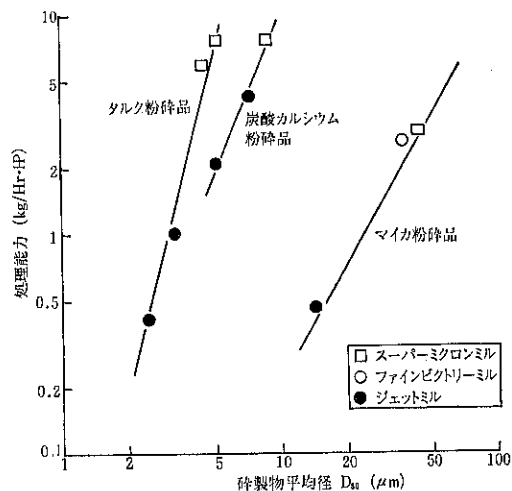


Fig. 5 粉碎粒度と処理能力の関係

A_s : アスペクト比 [-]

(3) 粉碎能力

実際の粉碎プロセスでは、粉碎機の処理能力は経済的観点から重要である。Fig. 5 に、粉碎能力と砕製物の平均粒度（コールターカウンタ基準）の関係を示した。比較のために、炭酸カルシウムとタルクの例も併記したが、マイカはこれらと比較してかなり難砕のようである。また、マイカの場合粉碎能力についても、平均粒度との間には直線状の関係が見られる。従って、本試験の範囲では概略ではあるが、砕製物の粒度、アスペクト比、粉碎能力の間に一意的な関係が存在するようである。従って、アスペクト比あるいは処理能力を高めるためには、層間剝離効果の大きい粉碎機が必要と思われる。

流動特性値

Table 2 パウダテストによる測定結果

粉 体 名	平均粒径 (μm)	見掛比重(g/cc)			圧縮度		安息角		スパチュラ角			凝集度 均一度		流動性 指数計	流動性 の程度
		ゆるみ	固め	動的	測定値	指数	測定値	指数	測定値	指数	測定値	指数			
マイカ砕料	840	0.25	0.43	0.33	41.9	2	35	20	前58 後56	57	16	1.2	25	63	普 通
マイカ粉碎品	34	0.27	0.66	0.50	59.1	0	57	7	前74 後73	73.5	12	33.7	7	26	不 良

噴流特性値

粉体名	流動性		崩潰角		差角		分散度		噴流性 指数計	噴流性 の程度
	指数	表2に よる	度	指数	度	指数	%	指数		
マイカ砕料	63	25	22	21	13	12	18	12	70	かなり強い
マイカ粉碎品	26	3	34	16	23	19.5	40	21	59.5	かなり強い

(4) 粉体特性

今回試験に用いた砕料と砕製品の諸特性を、パウダテストを用いて評価した。この一例を Table 2 に示す。この Table 2 中の評価欄に示されているように、数10 μm 程度に微粉化すると流動性がかなり悪くなることがわかる。これは、粗大粒子の時には薄片形状に起因した滑りにより流動性が良好であるのに対し、微粉の場合には比表面積の増大と、アスペクト比低下による形状異方性の減少により流動性が悪化するためと考えられる。

3. 粒度測定に関する検討

粒度測定器には種々の型式があるが、工業用途などでは実用性の高い装置が望まれる。操作が容易で迅速測定が可能な粒度測定器の一つにコールターカウンタがあり、本試験でも主として本装置を用いて評価した。

ところで、コールターカウンタは、細孔(アパチャー)を通過する粒子の電気抵抗変化を計数するため、測定する粒度に応じたアパチャー径を用いる必要があり、有効測定範囲はアパチャー径の2~40%とされている。

Fig. 6 に、トナーとマイカについて夫々同じ試料を用いて測定した結果を示した。トナーは顕微鏡観察により、ほぼ球状塊と認められたものである。トナーもマイカも、いずれもアパチャー径の有効測定範囲に入っているにも拘らず、後者は前者と比較するとアパチャー径による影響がかなり強く現われていることがわかる。

この原因の一つとして、マイカの形状異方性に基いた表面電気特性の不均一性がコールターカウンタの計数時に何らかの影響を与えているのではないかと考えられる。

以上のことから、マイカのような異方性を示す試料の粒度分布を測定する場合には、アパチャー径の選択と測

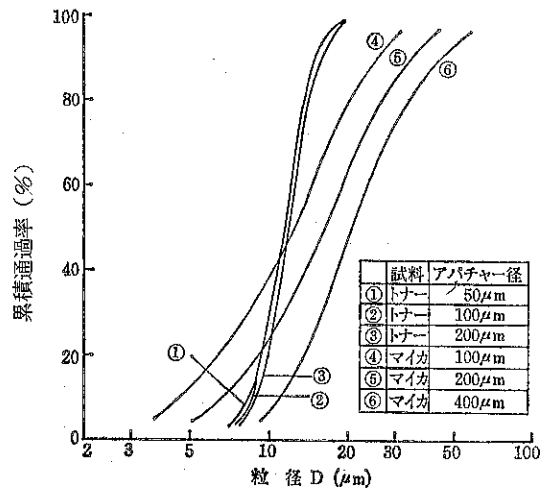


Fig. 6 アパチャー径の粒度分布に及ぼす影響

定結果の評価には十分注意する必要があるといえる。

4. 結 言

マイカを試料として、異方性粉体の粉碎特性と粒度測定結果の一例を示した。本試験は予備検討段階のものであり、不十分な点も多いが、この方面に関心のある方々に少しでも参考になれば幸いである。

引用文献

- 1) J. Lusis, R. T. Woodams & M. Xanthos: Polymer Engineering and Science, 13, [2] 139 (1973)
- 2) 西野操, 荒川正文: 材料, 27, 666 (1978)

参考資料

秋田大学・鉱山学部・物性工学講座の 開設について

牧野 和孝*

Kazutaka Makino

1. はじめに

“粉碎”誌読者の皆様に一言ごあいさつを申しあげる機会を頂きまして誠に光栄と存じ上げる次第でございます。

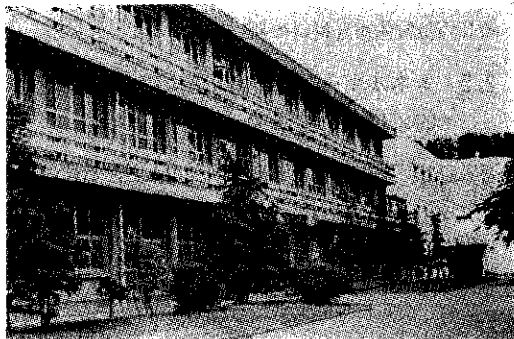
私、この度昭和58年4月1日付にて京都大学・工学部・化学工学科・助教授から秋田大学・鉱山学部・資源化学工学科・物性工学講座担当教授として赴任いたしました。これまでの19年間のながきにわたる京都大学・工学部・化学工学科井伊谷鋼一研究室時代には大変御世話になりまして心から御礼申し上げる次第でございます。新任地の秋田大学・物性工学講座では粉粒体材料物性の研究を中心としてやって行きたいと考えておりますので今後とも宜しく御指導の程御願い申し上げます。この機会に秋田大学・鉱山学部・資源化学工学科と物性工学講座につきましの御紹介を申し上げまして、皆様に対する私のごあいさつとさせていただきます。

2. 秋田大学・鉱山学部・燃料化学科& 資源化学工学科

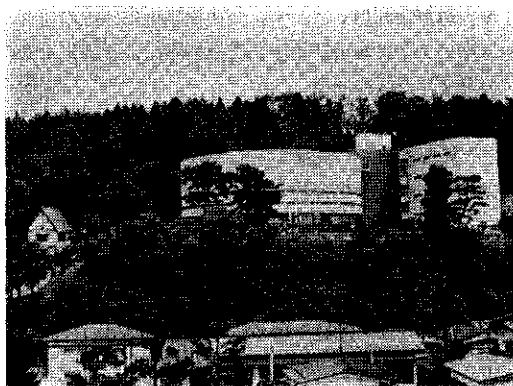
明治43年に設立された秋田鉱山専門学校の第3番目の学科として私ども資源化学工学科の親学科である燃料化学科（現在の燃料化学科）が昭和4年に誕生した。さらに、詳しくのべると資源化学工学科の源流はこの燃料化学科の中の一講座である化学工学講座（大橋弘保教授担当）の設立にある。そして、大橋教授をはじめとした燃料化学科の諸先生方の積年の夢の実現として、昭和56年4月、秋田大学・鉱山学部の最も新しい学科として資源化学工学科の誕生を見た。

資源化学工学科は資源分離工学講座（大橋弘保教授）、資源循環工学講座（木村哲教授）、資源変換講座（菅原拓

男教授）と物性工学講座（小生担当）の4講座から構成されており、Chemical plant & process engineering から Chemical plant, process & material engineering へをスローガンとしている。私の担当する物性工学講座



燃料化学科・資源化学工学科校舎、手前が旧館、奥が新館



鉱業博物館

資源化学工学科

講 座	資源分離工学	資源循環工学	資源変換工学	物 性 工 学
授 業 科 目	分離装置工学 移動速度論 粉体工学	資源利用システム工学 資源再生工学 高分子工学	資源変換プロセス工学 反応工学 プロセス制御工学	資源物性論 機械分析学 材料設計学

* 秋田大学鉱山学部資源化学工学科物性工学講座
（〒010 秋田市平形学園町1-1）
Tel. (0188) 33-5261

は粉粒体・固体材料を中心とした Chemical material engineering に対する研究と教育が期待されているものと理解している。これについては次節で簡単に触れるので、ここでは当燃料化学科・資源化学工学科で行なわれている最近の主な研究を以下に列挙しておく。

2.1 エネルギー・資源問題

- 石炭のガス化、脱硫、脱灰など、石炭のクリーンエネルギー化プロセス
- 石油系残渣のアップグレーディングプロセスや脱硫プロセスの開発
- ジルコン系耐火物などのセラミックス耐熱材料の開発
- 含酸素燃料など新合成燃料の開発
- イオン交換と水の電解を併用した原子炉の化学制御方式の研究
- 太陽光エネルギーの化学エネルギーとしての貯蔵プロセスに関する研究
- 新しい粉粒体複合材料の研究

2.2 エネルギー・資源問題に関する応用化学的、化学工学研究

- 石炭のアシル化、石炭灰の有効利用など、石炭の化学原料化プロセスの開発
- 石油化学プロセスから出る各種未利用物質の有効利用の研究
- 石油の3次回収や排水処理に有効なエマルジョン破壊剤の合成
- 省エネルギーのために有効な低分子および高分子触媒の合成
- 水の電解を利用したイオン交換樹脂再生装置の研究
- 尿素アダクトおよびイオン交換樹脂による炭化水素の分離プロセスの開発
- 放射線あるいは海水に強いシリカ系バリウムセメントなどの無機物質の開発
- 光分解型高分子化合物の合成
- 粉粒体材料物性の計測と制御

2.3 ファインケミカルズに関する研究

- 新しいプロセス開発をめざす中間化学原料の合成と応用
- シクラメンの香りをもつ香料など、新しい香料、化粧品合成
- 導電性およびエネルギー変換機能をもつ機能性高分子の開発
- 食品、医薬品、半導体製造などに必要な紫外線殺菌システムの開発

- はつ水、はつ油性を与えるためのフッ素系界面活性剤の開発およびそれらの添加による高分子表面の改質
- 超微粉セラミックスの成形操作の最適化

2.4 環境保全に関わる研究

- イオン交換樹脂を用いた廃水プロセスの開発
 - 廃水処理に有効な高分子凝集剤の合成
 - ハロゲン化炭化水素の気相反相の研究
 - 粉粒体プロセス（集じんなど）中の堆積粉じんの物性推算法に関する研究
- などからわかるように非常に広範なテーマが研究されている。

3. 燃料化学科・資源化学工学科の教育の特徴

私どもの教育の特徴は燃料化学科・資源化学工学科の両学科の学生に全く同じ授業科目による教育を行っている点にある。これは守備範囲の広い工学系化学を専門とするには是非とも応用化学、化学工学全体にわたる知識が必要と考え、入学後、まず化学、および工学の基礎をかため、その上に資源、エネルギー、材料、プロセスなどの広い応用分野を積み上げるというカリキュラム体系をとっている。

4. 物性工学講座の目的

本講座は粉粒体材料を中心とした物性工学的研究を展開してゆくことを主な目的としている。粉粒体材料の物性工学的研究を大きく次の2つの側面に分けて考えている。

i) 粉粒体物性と粉粒体装置設計との間のギャップの解明

ii) 粉粒体物性設計と粉粒体装置との間のギャップの解明

いずれも粉粒体物性と粉粒体装置との間のギャップという観点では同じである。最も大きな相違点は設計という視点が物性側につくか装置側につくかということである。

たとえば、i) に属する研究テーマとしては次のようなものを考えている。

- 工業バグフィルタ、EPなどの操作中での堆積捕集粉じんの力学的物性推算法に関する研究
- 一般の粉粒体プロセスのバルク・ハンドリング中に発生する粒子高密度の伝播に関する研究など
- ii) に属するものとしては
- 均質成形体の製造技術開発に関する研究
- 高配向性粒子集合体の製造技術開発に関する研究

などがある。つまり、前者では粉粒体の静的ならびに動的物性の推算法の上に目的とする性能を有するプロセス装置の設計法を検討するという考え方であり、後者は装置構造、操作条件の物性におよぼす影響を解明することによって目的の粉粒体物性を得るための最適な粉粒体製造プロセスの装置構造ならびに操作条件を検討するという立場である。

さらに、当講座が将来の目標としているものとしての次のテーマがある。

iii) 粉粒体材料と固体との間のギャップの解明

以上の研究課題はいずれもその解決が一朝一夕にしてできるものではないが、今後長期的な観点からじっくりと取り組んで行きたいものである。

秋田大学・資源化学工学科 物性工学講座の主要設備

- 1) 剪断・引張・圧密試験装置 3 セット
- 2) 30ton 万能試験装置一式
- 3) 透視型 X 線撮影装置・イメージ・インテンシファイヤー式
- 4) Acoustic Emission 測定装置一式
- 5) 動歪測定器一式

5. おわりに

以上、秋田大学・鉱山学部・資源化学工学科・物性工学講座開設にあたりまして、当燃料化学科・資源化学工学科の御紹介をかねて抱負の一端を述べさせて頂きました。今後とも宜しく御指導のほど御願い申し上げます。

特許一言メモ No. 46

特 許 の「ゲ ン ボ」

「ゲンボ」即ち原簿のことであり、特許の原簿というのは丁度、土地買売のときによく見る登記簿と同じようなものである。

特許出願をし、審査請求もすると運がよければ、否、本当に特許の値打ちのあるものであれば特許査定を受け、初年度から第 3 年度分の特許料を支払えば特許登録され、この時はじめて特許登録原簿に記録され、登録のシーケンス番号が付され一人前の特許権が確立する。そして以降、権利の移転申請があればそれを原簿に記載されることによってその移転が発効するなど、すべてのこ

とが原簿に記載されることによってその効力を発揮することになっている。

したがって、或る特許権が今、あるのか、ないのか、本当の権利者はどうなっているのか、いつまで特許料の支払いが完了しているのかなどその特許権の現況がすぐ判るようにされているのが、この「原簿」である。そしてこの「原簿」はいつでも、誰れでもが特許庁に行って閲覧できるようになっている。

(技術資料室)

セメント用ボールミルにおける粉砕媒体径の影響

小沼 栄一* 梅木 健二*
Eiichi Onuma Kenji Umeki

1. ま え が き

セメント粉砕用ボールミルにおいて、粉砕媒体径が粉砕効率やセメントの粒子組成に及ぼす影響は非常に大きい。従って、セメント粉砕に当たっては、媒体径を適切に選定することが大変重要である。本稿はこのような観点から内外の研究結果を紹介するとともに、これらに関する現時点での知見をとりまとめ、今後の方向をさぐる資料とするものである。

2. 粉砕効率および粒度分布への影響

2.1 Starke の研究¹⁾

Starke はテストミルでセメントクリンカーを粉砕し、次のような結果を導いた。

- (1) ボールのサイズにより、効率的に粉砕できる特定の粒子径が存在する。(Fig. 1)
- (2) (粒子の初期径) / (ボール径)² が同じなら、粉

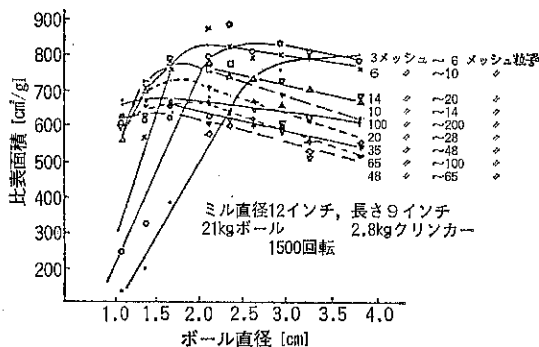


Fig. 1 ボール径と被粉砕物の比表面積

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

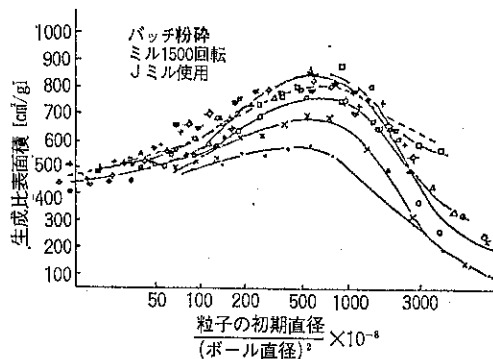
砕効率はボールサイズを変えてもほぼ等しい。この比率が 600×10^{-8} のとき最も被粉砕物の比表面積は大きくなり、粉砕効率も良い。(Fig. 2)

(3) (粒子の初期径) / (ボール径)² が異なると、被粉砕物の比表面積は同じでも粒度分布は異なるが²⁾、同じ比率の場合、同じような粒度分布を示す。

2.2 Slegten の研究²⁾

Slegten らは、長年の研究結果から次のような結論を得た。

- (1) セメントクリンカーの粒径に比して、ボール径が小さすぎると粉砕効率は低下する。
- (2) 9 mm以下のクリンカーを粉砕した場合、 $90 \mu\text{m}$



●	21kg	⅜~⅝	インチボール	28kg	クリンカ
×	21	⅜~⅝		28	
○	21	⅜~⅝		28	
△	21	⅜~⅝		28	
□	21	1~⅝		28	
+	21	⅝~1		28	
◇	21	⅝~⅝		28	
△	21	⅝~⅝		28	
▽	21	⅝~⅝		28	

Fig. 2 (粒子の初期径) / (ボール径)² と生成比表面積

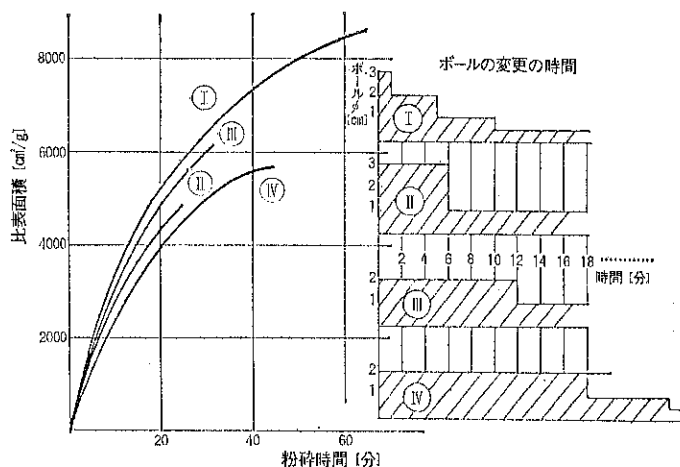


Fig. 3 ボール径が被粉砕物の比表面積に及ぼす影響

残分が60%程度までは、各種サイズを混合したボールの方が、同じサイズのボールだけで粉砕したときより20～25%粉砕効果が大きい。しかし、90 μm 残分が60%以下の粒度範囲では混合ボールの効果は小さく、むしろ単一サイズのボールを用いて、粉砕の進行に伴ないボール径を小さくした方がよい。できれば90 μm 残分が10%減少するごとにボールを小さくする。

2.3 Papadakis の研究³⁾

Slegten と同様、Papadakis の実験からも、粉砕の進行に伴ないボール径は小さくした方が効率よいという結果が得られている。(Fig. 3)

2.4 Bond の研究⁴⁾

Bond は粉砕媒体の寸法を決定する式として、(1)の実験式と(2)の理論式を提案した。

$$d_b = \sqrt{\frac{x_{80} \cdot W_i}{K \cdot C_s}} \sqrt{\frac{\rho}{\sqrt{D_M}}} \quad (1)$$

$$d_b = \sqrt{\frac{x_{80}}{K}} \sqrt{\frac{W_i \cdot \rho}{C_s \sqrt{D_M}}} \quad (2)$$

ただし d_b : 粉砕媒体の直径 [in]

x_{80} : 被粉砕物の80%通過径 [μm]

W_i : 被粉砕物の粉砕仕事指数

C_s : 回転速度割合 [%]

ρ : 被粉砕物の比重

D_M : ミル直径 [ft]

K : 定数

2.5 Beke の研究⁵⁾

Beke は各種ミルによる研究と広範囲な調査の結果、Rosin-Rammler 分布則における n の値が(3)式で示すように、ミル直径 D_M 、ボール直径 d_b 、および粉砕時

間 t の関数で表わせることを示した。

$$n = f\left(\frac{t}{D_M \cdot d_b^p}\right) \quad (3)$$

ただし $P: 3 \leq$

さらに Beke は n 値が大きいほどセメントの品質は良好であり、又セメントの品質は、セメントの比表面積よりも3～30 μm の粒群量ともっとも相関が強いことを述べ、そのようなセメントをつくるためには、粉砕過程における凝集生成を防止する必要がある、その方法として次の3つの方法を提案している。

A) 小径ミルの採用。

B) 小径ボールの採用。

C) 粉砕時間の短縮。

2.6 Bombled の研究⁶⁾

Bombled は実操業ボールミルと同程度の衝撃速度をテストミルにおいて確保する目的で、遊星ミルを使用し、次のような実験結果を得ている。

(1) 被粉砕物の粉末度が細くなるに従い、最適ボール径は次第に小さくなる。(Fig. 4, Fig. 5)

(2) 多くの場合、被粉砕物の比表面積 (S) に関する最適ボール径と、80%通過径 (x_{80}) に関する最適ボール径とは、ほぼ一致している。

(3) 粉砕時間=0に外そうとして求めた最適ボール径 (d_{bo}) と被粉砕物の最大径 (x_{100}) の関係は、Fig. 6の通りである。この関係を実験式で示すと、 $d_{bo} = 4.25 x_{100}^{0.4}$ となり、 x_{80} に変換すると、 $d_{bo} = 4.75 x_{80}^{0.4}$ となる。

(4) ボールの運動速度を V とすれば、 $V = \sqrt{D_M}$ となり、ボールの質量 m は $4.1 d_b$ で与えられる。従って、同一の粉砕効果を与えるためには $x^3 D_M$ は一定と

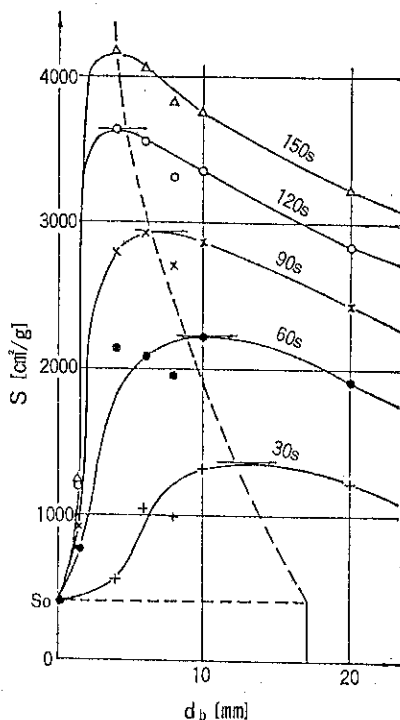


Fig. 4 0～1 mm クリンカーを粉砕した場合の S , d_b , 及び粉砕時間

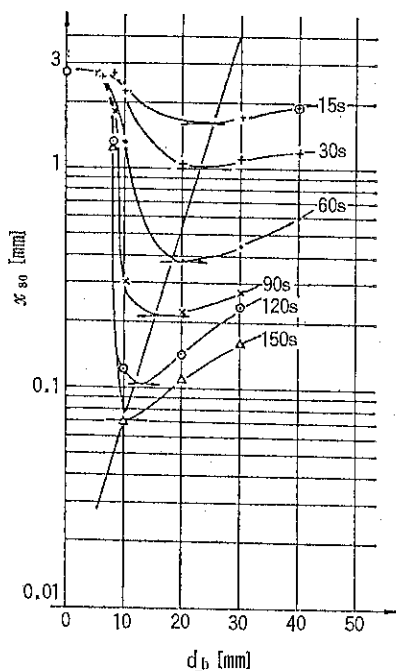


Fig. 5 1～3 mm クリンカーを粉砕した場合の x_0 , d_b , 及び粉砕時間

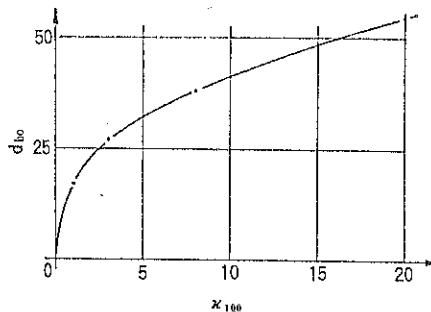


Fig. 6 d_{b0} と x_{100} (被粉砕物最大径)

なり, $d_b = K/\sqrt[3]{D_M}$ (K は定数)と表わされる。

(5) 粒体の破壊に要する力 F は、引張抵抗を T とすれば, $x^2 T$ に比例し、一方加えられる力は d_b^3 に比例するから, $d_b \propto \sqrt[3]{T}$ となる、しかし T は通常測定困難なので、被粉砕性 $B = \Delta S/W$ を用いる。ここで W は加えられた仕事、 ΔS は比表面積の増加量である。 B は T に反比例すると考えて、 $d_b \propto 1/\sqrt[3]{B}$ となる。

(6) 実操業ミルにおけるクリンカー粉砕の実験データから、被粉砕物の粒径を x とすれば $x = (A/S)^2$ の関係が成立する。ここで A は定数であり、 x を [mm] 単位、 S を [cm^2/g] 単位として、 x_{80} のとき $A = 790$ という値になる。又、 L_M をミルの長さ、 l をミル内任意の位置、 S_l と x_l を l の位置における被粉砕物の比表面積及び粒径、 S_0 , x_0 をそれぞれ粉砕前における被粉砕物の比表面積及び粒径とすれば、 $S_l = S_0 + \Delta S \cdot l/L_M$, $S_0 = A/\sqrt{x_0}$ から $x_l = \{A/(A\sqrt{x_0} + \Delta S \cdot l/L_M)\}^2$ が導かれる。

(7) 以上から、ミル内における最適ボール径を求める式として(4)式が得られる。

$$d_b = \frac{b}{\sqrt[3]{B \cdot D_M}} \left(\frac{A}{x_0 + \frac{\Delta S \cdot l}{L_M}} \right)^{0.8} \quad (4)$$

ここで d_b , x_0 を [mm], D_M , L_M を [m], B を [cm^2/Joule], S を [cm^2/g] とすれば、定数 $b = 93$, $A = 790$ である。

(8) $D_M = 2.5$ [m], $L_M = 12$ [m], $x_0 = 15$ [mm], $S_0 = A/x_0 = 200$ [cm^2/g], $B = 70$ [cm^2/Joule], 製品粉末度 $S = 2600$ [cm^2/g], $x = 0.1$ [mm] とし、計算した結果が Table 1 である。

Table 1 ボール配列計算結果

ミル室 No	室長	最適径(平均)	使用するボール径
1	1 m	約 40 mm	30～50 mm
2	3 m	約 20 mm	15～30 mm
3	8 m	約 8 mm	10～20 mm

以上が Bombed の要旨であるが、(4)式で得られるボール径は、一般に実操業ミルで用いられているボール径に比べて、かなり小径側に寄っているようである。

2.7 Schramm の研究⁷⁾

Schramm らは最適ボール径の選定は、ミルの中における被粉砕物の粉碎の進行に伴う、粒径の変化に対応しなければならないという仮定に基づき、1.2mφ×2.5mの1室ミルで、粒度分布のミルの長さ方向の変化を測定したところ、これらの試料の粒径分布はいずれも Rosin-Rammler 分布に従い、指数関数によって近似できることが判明した。従って、最適ボール径も指数関数で表わされるとして(5)式を導いた。

$$d_b = d_{b_{fikt}} \cdot e^{-gl} \quad (5)$$

ただし d_b : ボール径 [cm]

$d_{b_{fikt}}$: 仮想的最大ボール径 [cm]

l : ミル入口からの距離 [m]

g : 組合せ指数 [m^{-1}]

さらに彼は、(5)式で決定したボールの組合せを用い、 $l=2.5m$ のミルで試験したところ、粉碎効率が改善されて、時間当り製品量は2.4 t/Hrから3.0 t/Hrに上昇したと報告している。

2.8 Modeweg-Hansen の研究⁸⁾

Modeweg らは Fig. 7 に示す粒度分布の異なった A, B 2種類のセメントクリンカーを、ボールサイズの

組合せを Table 2 のように変えて、テストミルで粉碎し、Table 3 ~ Table 6 の結果を得た。Table 3 ~ Table 6 において、

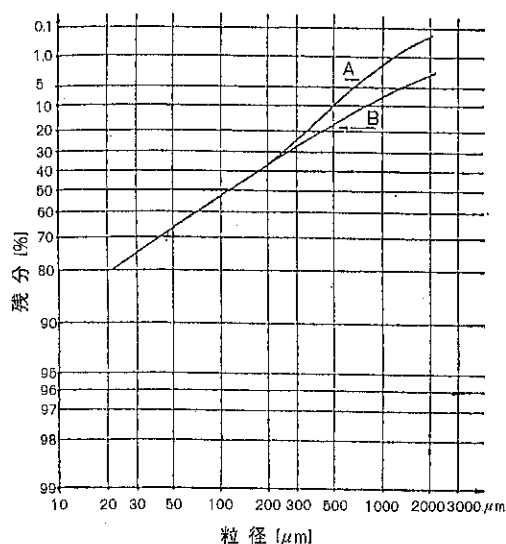


Fig. 7 クリンカー (A及びB) の粒度分布

Table 2 実験に用いたボール径の組合せ

g/個	250	125	31	21	13	5.3	0.95
最大径(mm)	50	40	25	22	19	16	8
最小径(mm)	25	20	13	10	10	6	5

Table 3 Aクリンカーを 25 μm残分が80%~50%となるまで粉碎した場合

媒体1個当り重量 g/個		0.95	5.3	13	21	31	125	250
K(25 micr.)kg/J	$10^{-5}x$	36.4	47.5	44.4	41.1	38.9	26.4	20.6
K(Blaine) m ² /J	$10^{-6}x$	22.5	24.4	24.5	22.6	20.5	16.3	12.6
T3 $\frac{Pa \cdot kg}{J}$		321	466	430	430	395	281	232
T28 $\frac{Pa \cdot kg}{J}$		572	812	784	725	667	466	360

Table 4 Aクリンカーを 25 μm 残分が50%~30%となるまで粉碎した場合

媒体1個当り重量 g/個		0.95	5.3	13	21	31	125	250
K(25 micr.)kg/J	$10^{-5}x$	33.9	29.2	22.5	21.1	18.6	9.4	6.6
K(Blaine) m ² /J	$10^{-6}x$	15.7	18.0	15.4	14.6	14.1	9.1	7.8
T3 $\frac{Pa \cdot kg}{J}$		226	171	149	130	112	54	45
T28 $\frac{Pa \cdot kg}{J}$		239	140	108	108	101	41	43

Table 5 B クリンカーを 25 μm 残分が80%~50%となるまで粉砕した場合

媒体 1 個当り重量 g / 個		5.3	13	21	31	125	250
K(25 micr.)kg/J	$10^{-6}x$	43.9	47.8	43.3	40.0	27.2	21.6
K(Blaine) m^2/J	$10^{-6}x$	27.8	30.5	26.8	24.1	18.0	15.4
T3 $\frac{\text{Pa kg}}{\text{J}}$		386	473	397	356	245	210
T28 $\frac{\text{Pa kg}}{\text{J}}$		733	790	700	632	463	354

Table 6 B クリンカーを 25 μm 残分が50%~30%となるまで粉砕した場合

媒体 1 個当り重量 g / 個		5.3	13	21	31	125	250
K(25 micr.)kg/J	$10^{-6}x$	22.2	20.3	18.6	17.2	8.3	7.2
K(Blaine) m^2/J	$10^{-6}x$	13.6	13.7	14.1	12.2	8.9	8.1
T3 $\frac{\text{Pa kg}}{\text{J}}$		134	113	117	108	61	53
T28 $\frac{\text{Pa kg}}{\text{J}}$		113	97	116	94	51	35

$$K(25 \text{ micr.}) = \frac{1000}{E} \log \frac{R_1(25 \mu\text{m})}{R_2(25 \mu\text{m})}$$

$$K(25 \text{ Blaine}) = \Delta S / E$$

$$T_3 = \Delta \sigma_3 / E$$

$$T_{28} = \Delta \sigma_{28} / E$$

ただし E : 比消費エネルギー

$R_1(25 \mu\text{m})$: 粉砕前のクリンカーの25 μm 残分

$R_2(25 \mu\text{m})$: 粉砕後のクリンカーの比表面積

ΔS : 被粉砕物の比表面積

$\Delta \sigma_3$: 3 日材令圧縮強さ

$\Delta \sigma_{28}$: 28 日材令圧縮強さ

これらの結果によれば、最適ボール径は、クリンカーの粒度や要求される被粉砕物の細かさに応じて変化するが、一般的には小径媒体ほどセメントの品質は向上し、比消費エネルギーは低減するとしている。

3. 粉砕速度論的検討

2 項で述べた研究は、いわば現象論であり、あるいは粉砕仕事率や粒度分布則に基づく研究である。しかしこれらの研究をさらに掘下げ、特に粉砕回路のモデル計算などを行う場合には、粉砕過程に時間の因子を考慮した粉砕速度論的な考察が必要となってくる。ここでは、粉砕速度あるいは粉砕速度定数に対するボール径の影響についての研究結果をいくつか紹介する。

3.1 Bowdish の研究⁹⁾

Bowdish はボールミルの粉砕機構が(6)~(8)の微分方

程式で示されるとし、最大の粉砕速度を与えるボール径 d_b と被粉砕物粒子径 x との間には、 d_b がある臨界値以上でほぼ(9)式が成立すると述べている。

$$0 \text{ 次式: } -dQ/dT = K_0 \quad (6)$$

$$1 \text{ 次式: } -dx/dT = K_1 C \quad (7)$$

$$2 \text{ 次式: } -dx/dT = K_2 AC \quad (8)$$

ただし K_0, K_1, K_2 : 粉砕速度定数

Q : 被粉砕物重量

C : オーバーサイズの百分率

T : ミルの回転数

A : ボールの総表面積

$$d_b/x = 14 \quad (9)$$

3.2 Austin の研究¹⁰⁾

Austin らは、選択関数 $S(x)$ と被粉砕物粒径 x 、粉砕媒体径 d_b 、ミル径 D_M の間の関係式として

$$S(x) = k D_M^{0.6} / d_b^{1.5} x^\alpha Q(Z) \quad (10)$$

$$Z = \log(x/\mu) / \log \sigma \quad (11)$$

$$Q(Z) = (1/\sqrt{\pi}) \int_Z^\infty \exp\{-(\xi/\sqrt{Z})^2\} d(\xi/\sqrt{Z}) \quad (12)$$

$$\mu \propto D_M^{n_1} d_b^2 \quad (13)$$

ここで $n_1 = 0.1 \sim 0.2$, $\alpha = 0.65 \sim 1.33$

をえた。これによれば、 $S(x)$ を最大とする被粉砕物径 x は、 d_b^2 に比例して変化することになる。(10)~(13)式を整理すれば、被粉砕物径 x の変化に対応して最適媒体

径が計算で求められると思われるが、この報告では明示されていない。

3.3 沢田の研究¹¹⁾

沢田らは回分式実験ミルを用い、ボール径 d_b 、ミル径 D_M 及びクリンカー粒径 x を変えて選択関数を求めたところ、選択関数はミル径の 0.7 乗に比例し、ボール径、クリンカー粒径に対して最大値を有し、14式で近似することができると述べている。

$$S(x) = \frac{\alpha x^2 D_M}{d_b^3} \exp\left(-\frac{\beta x^{0.5}}{d_b}\right) \quad (14)$$

ただし α, β : クリンカーにより決まる定数

3.4 Sudoh の研究¹²⁾

Sudoh らは沢田らの結果をもとにして、 $S(x)$ を最大とする最適ボール径 d_{bm} が15, 16式で表わされるとしている。

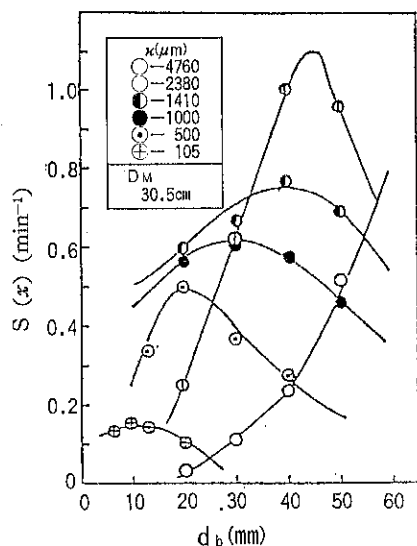


Fig. 8 媒体径 d_b と選択関数 $S(x)$

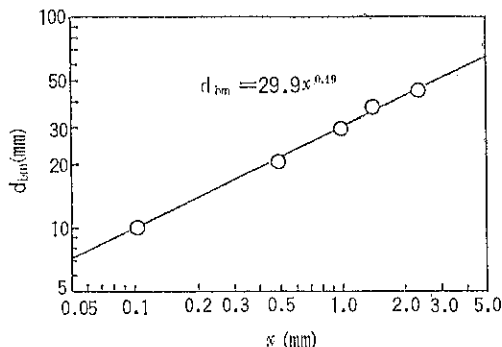


Fig. 9 クリンカー粒径 x と最適媒体径 d_{bm}

$$d_{bm} = (35 - 150 V_1) x^{0.5} \quad x \geq 1 \quad (15)$$

$$d_{bm} = 30 x^{0.5} \quad x < 1 \quad (16)$$

又、 d_{bm} はミル径 D_M によって、ほとんど影響を受けないとしている。これらの関係をFig. 8～Fig. 10に示す。

4. ミル内碎料流通への影響

粉碎媒体がミル内碎料の流通に及ぼす影響について、Climent¹³⁾ は 3.8 mφ×11.5 m の閉回路2室ミルでセメントクリンカーを粉碎し、Fig. 11で示す結果を得た。これによれば、ボールの表面積が大きくなるほど（つまりボール径が小さくなるほど）碎料の通過時間 τ は遅くなり、ミルの効率 (Km²/KWh) は向上している。又、Keienburg¹⁴⁾ らの研究からも、ボール径の減少に伴ない、碎料の通過速度が遅くなる傾向が認められている。

しかしながら、この傾向は必ずしも普遍的なものではなく、また異径ボールの混在状況によっても異なる。これまでの諸報告によれば、粉碎媒体の存在により、ミル内における碎料の流通状況が影響される機構は次の通りであると考えられる。

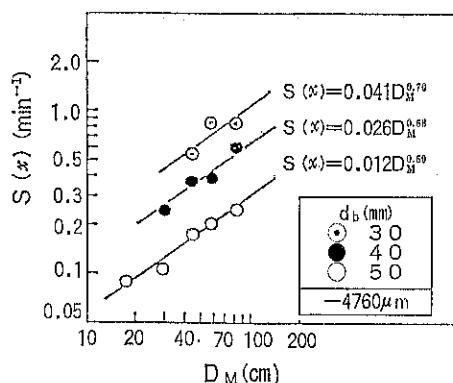


Fig. 10 ミル径 D_M と選択関数 $S(x)$

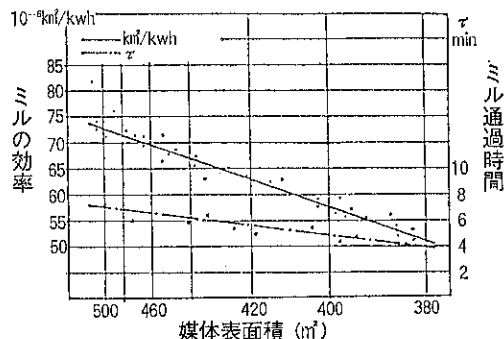


Fig. 11 媒体が粉碎効率に及ぼす影響

(1) 被粉碎物粒子の存在位置が媒体により上方に押し上げられ、そのため、出口のせきや目皿板との相互位置関係が変化する。媒体がない場合は、ミル出口のせきや目皿板から粒子が排出されるに必要な粉体レベルが存在するが、媒体存在時には、媒体による混合作用のため、粉体レベルが開口部より低くても粒子は排出できる。

(2) 媒体の存在は粒子の運動に対する抵抗となるため、粒子層の持上げと下流のサイクルの所要時間が増加し、又、それに伴う軸方向移動量が減少する。この状況は媒体面以下にある粒子と、媒体面以上にある粒子とは大幅に異なる。

(3) 粒子の運動が乱される結果、粒子の軸方向の分散が活発となり、その結果、異種粒径混在の場合の粒径ごとの流通特性の差が解消される。

連続ミルにおいては、このように、媒体径による碎料の通過速度への影響を考慮する必要がある。理想的には、碎料の通過速度を媒体径と独立に、出口スリットによって調節できればよいが、実際には、スリット条件も媒体条件とからみ合っており、単なる現象論からの整理のみで、一概に結論づけることは困難である。

5. その他配慮すべき事項

5.1 媒体の運動状況への影響

媒体の運動状況は媒体径やライナーの形状により影響を受ける。Slegten¹⁵⁾ らによれば、リフターなどのかき上げがないライナーに小径媒体を使用した場合、粉体レベルが過大になるとミル動力が急低下し、粉碎効率が悪化することを示した (Fig. 12)。このような意味で、

小径媒体使用時には、粉体レベルの設定が特に重要となる。

5.2 ミル内粉体レベルの最適化

従来、チューブミルにおいて、粉碎効率が最大となるミル内粉体レベルの値は、ミル静止時において粉碎媒体間の空隙をちょうど埋めつくす程度、すなわち、 $U = \text{被粉碎物容積} / \text{媒体間空隙容積} = 1$ 付近であろうといわれてきた。しかし、最近耐摩耗小径媒体の普及に伴ない、この問題を新たな角度から見直す必要性が生じてきた。

Shoji¹⁸⁾ は、内径 195 mm の小型ミルにおいて 25.4 mm ボールを用いて石英を粉碎した実験結果にもとずき、 $S(x) \propto x^\alpha$ といった場合の α 値と U 値の関係を求めている。これによれば、Fig. 13 で示すように $0.2 < U < 0.3$ の範囲で、 α の値が不連続に変化している。すなわち、 $U \leq 0.2$ では、 α の値が一段小さくなっている。このことは、微粉碎域においては、 U の値がかなり小さい方が、粉碎効率は上昇する可能性があることを示している。この α 値が不連続的に変化する U の限界値は、被粉碎物が媒体どうしの接触の際のクッションにならないための限界値と解釈できる。又、Shoji の別の実験結果によれば、Fig. 14 で示すように、 $U = 0.5$ 付近で、被選択粒子量 $S(x) \cdot f_c$ 値が最大となることが示されている。ここで f_c は被粉碎物充填率である。川村¹⁷⁾ らも同様の実験をテストミルで行ない、小径媒体ほど最適 U 値が低くなることを示した。(Fig. 15)

これらの結果は、従来の現場常識を若干くつがえす結果であり、この関係が、いろいろな被粉碎特性をもつ物質と、媒体径及び被粉碎物粒径の組合せに対し、どのよ

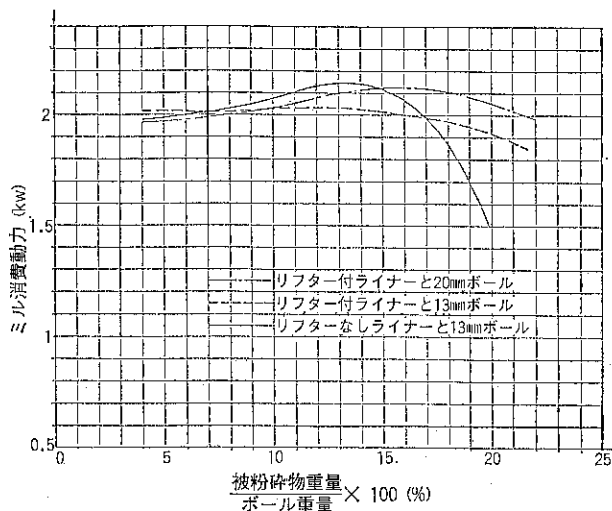


Fig. 12 媒体サイズ、ライナー形状と粉体レベルがミルの効率に及ぼす影響

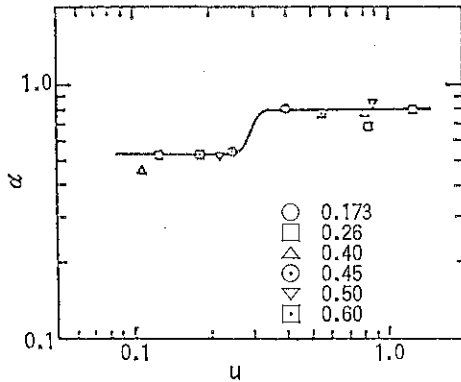


Fig. 13 u 値と α の関係

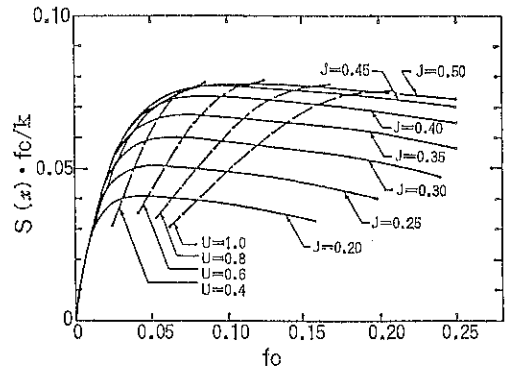


Fig. 14 f_c と $f(x) \cdot f_c$ の関係

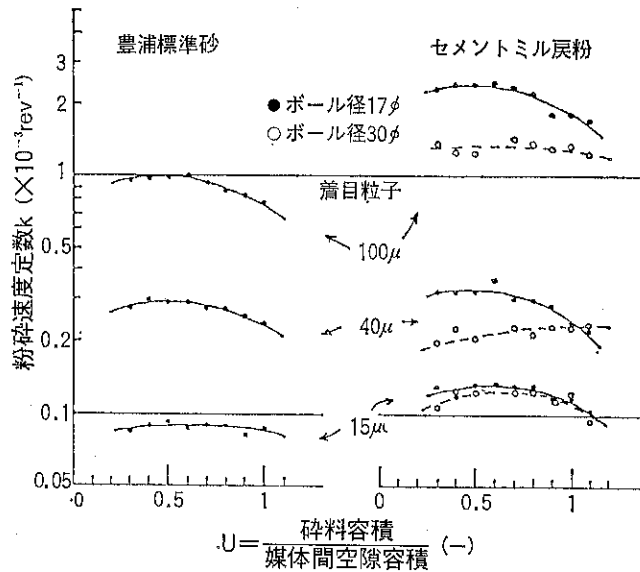


Fig. 15 u と k の関係

うに変化していくか、実用上極めて興味のあるところであらう。

5.3 媒体の摩耗への影響

実操業ミルでは長期連続運転が多く、媒体の煩雑な選別・補充は困難である。従って、媒体径や配列が摩耗に及ぼす影響についても把握しておく必要がある。

Hanke^[8] は媒体の充填が密な場合と粗な場合（単一サイズ）とについて、摩耗後のボール分布を想定し（Table 7），その時の粉碎効率をテストミルで求めた（Fig. 16）。これによれば、密充填の方が摩耗の影響を大きく受けやすく、摩耗が進むほど粉碎効率は低下する。これは小径媒体の方が先に摩耗するため、平均サイズが粗くなるためであるとしている。

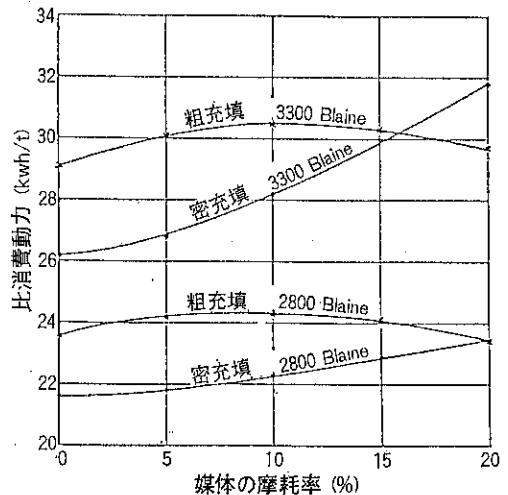


Fig. 16 媒体の摩耗が粉碎効率に及ぼす影響

Table 7

	媒体の摩耗率									
	0%		5%		10%		15%		20%	
	d (mm)	M (kg)	d (mm)	M (kg)	d (mm)	M (kg)	d (mm)	M (kg)	d (mm)	M (kg)
密充填	50,000	19,902	50,000	19,393	49,212	18,915	49,212	18,429	49,212	17,943
	45,000	20,822	44,450	20,439	44,450	20,079	44,450	19,721	42,868	13,952
	40,000	22,706	39,688	21,962	39,688	21,451	39,688	20,571	38,100	20,295
	35,000	24,812	35,000	24,112	34,000	23,412	34,000	22,612	33,338	21,922
	30,000	27,383	30,000	26,505	30,000	25,625	28,575	24,749	28,575	23,797
	25,000	31,007	25,000	29,861	24,000	28,598	24,000	27,349	23,812	26,132
	20,000	35,970	20,000	34,232	19,050	32,379	19,050	30,709	18,256	28,924
	15,000	43,744	14,288	40,948	14,288	38,144	14,000	35,341	13,494	32,522
	10,000	57,658	9,525	52,066	9,525	46,650	9,000	41,375	8,500	36,251
	計	284,004	計	269,518	計	255,253	計	240,956	計	226,738
粗充填	26,000	283,998	25,400	269,471	25,000	255,270	24,000	241,077	23,812	226,765

6. 工業技術としての見直し

以上述べた諸研究の結果は、耐摩耗小径媒体がセメント粉砕用ボールミルに有効であることを示唆しており、最近では実操業ミルに小径媒体を用いたミルが一般的となった。代表的な方式をあげると次の通りである。

6.1 Slegten 方式¹⁹⁾

わが国のセメント工場において、最近ではもっとも一般的に普及している方式であり、これは Fig. 17 に示すように、2室に分級ライナーを装備し、60 mmφ~17 mmφ までの小径媒体を用いている。又、スリットの目幅は、グリットが2室へ流入するのを防止するため小さくされており、低循環率で運転するのが特徴的である。

6.2 FLS 方式²⁰⁾

F. L. Smidth 社では、小径媒体を用いるミルとして次の2つの型式のミルを提案している。Fig. 18 は Minipebs Mill と呼ばれるもので、2基のミルを直列に接続して2段粉砕を行なうのが特徴的である。微粉砕を行なう2段目のミルに数mmオーダーの小径媒体が使用されている。このシステムは、早強セメントなどを開回路（セパレータなし）で粉砕する場合に適用されており、ミル内におけるセメントの凝集を防止するため、粉砕助剤を多量に使用している。Fig. 19 は Combidan Mill と呼ばれるミルであるが、2室に複数のリテーナリングを設置し、小径媒体を使用するのが特徴的である。このミルは開回路・開回路のいずれにも用いられ

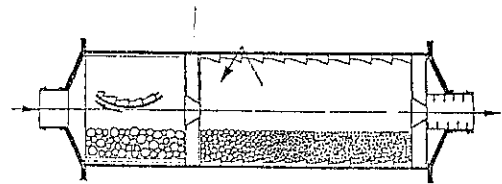


Fig. 17

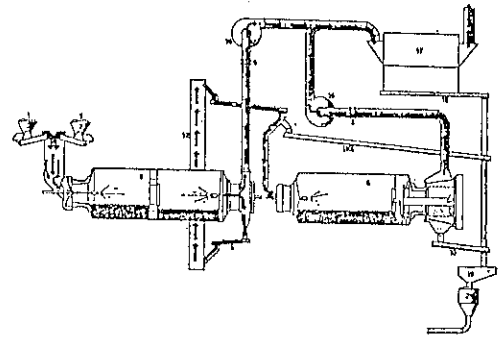


Fig. 18



Fig. 19

る。

7. まとめ

セメントの粉砕において、媒体径が粉砕効率やセメントの粒子組成に大きな影響を与えることは、すでに述べ

た数多くの研究結果からも明らかであり、実操業ミルでもこの点を考慮して種々の工夫がなされている。Slegten方式やF L S方式はその代表的なものであるが、いずれもユーザーの目から見ればまだ完成した技術とは必ずしも位置づけられない。既存の技術や新しく開発された技術をさらに発展させ、あるいは適切に組合せて、ケース別に最も適した技術形態を編み出していくことが今後の重要な課題であろう。

引用文献

- 1) Starke: Rock Products, **15** [7], 40 (1935)
- 2) Slegten: Z-K-G, **17** [11], 503 (1964)
- 3) Papadakis: Aufbereitungs-Tech., **2** [9], 353 (1961)
- 4) Bond: Min. Eng., **10** [5], 592 (1958)
- 5) Beke: Cement-Tech., **4** [2], 47 (1973)
- 6) Bombled: Rev. des Matériaux de construction, [631], 143 (1968) および [632], 198 (1968)
- 7) Schramm: Z-K-G, **27** [7], 330 (1974)
- 8) Modeweg-Hansen: Preprint. Particle Technology 1980 (Amsterdam), A 96 (1980)
- 9) Bowdish: Trans. AIME, **217** [3], 194 (1960)
- 10) Austin: Powder Technology, **14**, 71 (1976)
- 11) 沢田: セメント製造技術シンポジウム報告, **34**, 8 (1977)
- 12) Sudoh: Z-K-G, **31**, 8 (1978)
- 13) Climent: Z-K-G, **25**, 245 (1972)
- 14) Keienburg: European Symp. on Comminution, **3**, 699 (1971)
- 15) Slegten: Ciments, Betons, Plâtres, Chaux, [731], 219 (1981)
- 16) Shoji: Powder Technology, **25**, 109 (1980)
- 17) 川村: セメント製造技術シンポジウム報告, **39**, 16 (1982)
- 18) Hanke: Z-K-G, **25**, 599 (1972)
- 19) Slegten: Int. Cem. Ind. Seminar, **7**, 106 (1971)
- 20) Cleemann: Z-K-G, **25**, [2], 63 (1972)

特許一言メモ No. 47

商品の区分

商標出願する際、願書には指定商品及び商品の区分を記載しなければならない。

ここで、指定商品とは商標が付けられる商品そのものであり、商品の区分とは商標法で定められた第1類から第34類までの分類のことである。そして、これは必ず出願に付き一区分に限定しなくてはならない。

ところで、現在の区分は昭和35年4月に改正されたものであるが、以前には大正11年1月からのものが施行さ

れていた。そして、これを旧分類と呼んで現在の新分類とは区別している。

何故なら、現在は34分類であるが、旧分類では第1類から第70類までに分けられていた。

そのため、同じ商品でありながら新旧では商品の区分が異なっていることにも注意が必要である。

(技術資料室)

米国微粒子学会太平洋地域会議に出席して

横山 豊和*

Toyokazu Yokoyama

1983年8月1日(月)から5日(金)までホノルルにて米国微粒子学会太平洋地域会議が、そして翌6日(土)に同会場で「粒度測定の方法と標準化」に関する国際講演討論会が開催され、それらに出席する機会を得たので、その内容および印象について報告したい。

1. 会議の規模と概要

今回の太平洋地域会議は、米国の微粒子学会(Fine

Particle Society)の主催によるもので、日本の粉体工学会ならびに米国化学工学協会(American Institute of Chemical Engineers)が共催していた。粉体工学会としては海外では初めての共催会議ということである。これに続いた粒度測定に関する講演会は、上記FPSと米国の国立科学財団(National Science Foundation)の共催によるものであった。

米国のFPSは1968年に設立され、会員数は数百名程度で大きくはないが、そのメンバーには産学官の諸分野での実力者が多く、広い範囲にわたって種々の活発な活動をしている。今までに米国FPSの年会で日本人等の外人がレポートを発表したことは何度かあるが、今回のようにこの学会により国際会議が開催されたのは初めてである。

本会議に申し込みのあった講演の数はTable 1のようで、一般講演、特別セッションを含めると合計216件あった。参加国別にみると全部で20カ国あり、アメリカが143件と全体の75%を占めた。続いて日本(29件)、カナダ(10件)で、申し込み件数1桁のインド、オーストラリアを含めた5カ国で全体の90%となった。日本からの講演申し込みは一般講演を含めて29件あったが、粉体・エアロゾルから計測・制御そして薬学・医学に関する分野まで幅広い見地からの講演が行われた。

本会議の参加者数は200人程度とあまり多くはなかったが、アメリカ本国はもとより、日本、インドなどからエアロゾルや粉体の分野のオーソリティが数多く出席していた。日本からは粉体工学会会長井伊谷先生、前副会長上滝先生、現副会長田中先生および神保先生をはじめ5人の常任委員の先生方を含み30人ほどの参加者があった。アメリカからは、粉砕の研究で有名なペンシルバニア州立大のProf. Austin、分級・分離等で著名なカリフォルニア大のProf. Feurstenau、あるいは混相流を専門とされノーベル賞級と評判のあるイリノイ大のProf. Sooや、'81年の京都での粉体工学国際シンポジウムに来日された先生方などをはじめ、そうそうたるメンバーが集まっていた。その他会議ではインド人の活躍も目立



Photo 1 会場となったプリンスキオホテル、会議室は3、4階にあった。

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

Table 1 米国微粒子学会太平洋地域会合（1983年8/1～8/5）国別講演申込件数

No.	国名	プレナリ 講演	特別セッ ション	一般セッ ション	合 計	割合(%)
1	アメリカ	3	7	133	143	66.2
2	日本	1		28	29	13.4
3	カナダ			10	10	4.6
4	インド			7	7	3.2
5	オーストラリア			6	6	2.8
6	西ドイツ			4	4	1.9
7	オランダ			2	2	0.9
8	ハンガリー			2	2	0.9
9	東ドイツ			2	2	0.9
10	英国			1	1	0.5
11	スイス			1	1	0.5
12	ソ連	1		0	1	0.5
13	中国			1	1	0.5
14	チェコスロバキア			1	1	0.5
15	デンマーク			1	1	0.5
16	ニュージーランド			1	1	0.5
17	フィンランド			1	1	0.5
18	ブラジル			1	1	0.5
19	ブルガリア			1	1	0.5
20	ポーランド			1	1	0.5
合 計		5	7	204	216	100

ち、また、ヨーロッパからはデルフト大学に移られた Prof. Scarlett も参加されていた。

2. 会議内容の概要

本会議では毎日午前10時まで大会議室で一般講演があり、その後、4つの小会議室に分かれて各セッションでレポートの発表が行なわれた。研究発表は全部で33（21種類）のセッションに分けられていたが、その分類はあまりはっきりとしたものではなかったようである。発表内容は大別してエーロゾル、粉体、およびそれらに関連したもので衛生のような別の観点からのレポートがあり、広い範囲にわたっていた。その中で私は粉体の粉碎、分級、粒度や物理的諸特性に関する講演を中心に50件余りの発表を聴講したが、同種の発表が平行したセッションで行なわれていたり、1件当たりの発表時間が日本での講演会のようにきっちりとしていなかったこともあり、各セッション間を度々移動しなければならず、途中から聞かねばならないものも多かった。また、会場で新たに追加が公表された講演は7件、出席したセッションで知った限りでは9件のキャンセルがあったが、その連絡が徹底されていなかったりで、会議の運営についてはルーズなところが目についた。

しかしながら講演には興味深いものが少なくなかった。本会議の時間割、日本からの発表申し込みリストおよび会議の詳しい内容については、粉体工学会誌、Vol. 20, No. 11 (1983) の海外報告を参考にされたい。なお、この会議に関しては、アブストラクトのみを集めた予稿集があり、また、「Particulate Science and Technology」の創刊号に本会議での研究発表のフルペーパー数編が掲載されており、続刊が順次発行される予定とのことである。

内容について私が主に聴講した粉体関係で共通して気がついたことは、粉体を扱う際にこれからは単に粒度分布のみでなく、粒子形状が粒子特性の1つの重要なファクターとなり、その定量的把握ならびに実際のプロセスへの応用が肝要になってきているということであった。例えばそれに関しては、同じ目開きの篩を通る同じ大きさの粒子でもその形状によって篩上滞留時間が異なることを利用したシーブカスケードグラフ（ウエストバージニア大の Prof. Meloy）、「粉体プロセスにおける形状解析の応用」（デュポン研究所の Dr. Davies）の講演をはじめ、それを粉碎と結びつけた「フーリエ形状分析と粉砕式の非線型性」や豊橋技科大後藤先生の「翼付回転円筒による粒状物質の形状分級」などにその共通点がみら

れた。

また、最近金属微粉の重要性が特に高まってきていることもあり、その測定上の問題点や各種測定装置による比較などについてのレポートがいくつかあった。

国立科学財団 (NSF) の Dr. Ojalvo 議長により進められた3日目の特別セッションでは、NSFをはじめ原子力調整委員会 (NRC)、国際微粒子研究協会 (IFPRI)、エネルギー省 (DOE) およびオーストラリアの研究機関 CSIRO 等での依託研究についての報告がなされた。

6日の「粒度測定の方法と標準化」の講演会では、午前は米国における標準化のベースや応用分野および材料等についての一般的な話が多く、午後はヨーロッパ、日本およびオーストラリアにおける粉体に関する標準化の現状について紹介があった。この講演会には日本人5名を含み全体で40名ぐらいが参加し夕方まで活発な討論がなされた。

なお、本会議最終日の5日の午後は講演がなく、ハワイ大学の見学が企画されたが、約20名の参加者のうち半

分ぐらいが日本人であった。

3. 印象

本会議の参加者数はあまり多くなかったが、前述の通り大物が多くそれだけ一層意義深く思われた。'81年に来日され粉体技術談話会の講演会で講演して頂いたエロゾルの権威であるカリフォルニア大の Prof. Goren と混合等広い分野で有名なカンザス州立大の Prof. Fan、そして形状解析等で著名でやはり'81年に当研究所に来られたこともある Prof. Meloy らに挨拶したり親しくディスカッションすることができて有意義であった。

また、ヨーロッパの粉体工学界で活躍されているデルフト工科大の Prof. Scarlett には、井伊谷先生の講演中に撮っていた写真を送ってもらえないかと頼まれ、初めてお話しする機会を得た。インドの粉体工学のリーダーのひとりであるインド工科大の Prof. Ramanujam はかなりインド訛りの強い早口の英語が印象的だったが、見かけによらず親しみのある方で気さくによく話しかけてこられ、コヒテスタ等の文献の送付を頼まれたりした。若手では米国農林省に勤務する中国人 Dr. Lai や韓国での粉体工学を開拓しつつある Prof. Kang らといういろいろなテーマについてかなり具体的に話をすることができたが、2人とも熱心であった。Prof. Kang は会議の次の週に我々の研究所を訪問され1週間ぶりの再会が懐しく思えた。

さらに会社関係では、本年度米国微粒子学会で Hausner 賞を受賞されたデュボン研究所の Dr. Davies とパシフィック科学の Dr. Lieberman を井伊谷先生がわざわざ紹介して下さり光栄に思われた。

しかしながらやはり8月のハワイということでホリデーを兼ねてアメリカ本土やまわりの諸国から本会議に出席した人もあったようで、日本人の先生も夏休みを兼ねて家族の方々といっしょに自費で来られ、発表や聴講の合い間をみて観光ツアーに行ったりゴルフをしたりしておられた方々もあったが、それでも全体的にみると日本人が一番まじめだったようだ。私もある先生に近くの島へのツアーに一緒に行こうと度々誘われたが、職務上やむなくお断りして、あらかじめ作っておいたスケジュールを消化すべく会議室をジブシーのごとく転々とした。

内容についての関心度は別にして数多い講演の中で最も印象的であったのはやはり、開会式に続く一番始めの Prof. Acrivos (スタンフォード大) の一般講演であった。講演が始まって間もなく先生は、「ボイコット効果」をデモンストレーションするために運んでこられた大きな四角い古ぼけたトランクをおもむろに机の上に置き、そこからよれよれの白衣を取り出して手を通し、大きなメ



Photo 2 「粒度測定の方法と標準化」の講演会で開会の挨拶をされる Prof. Ariman. この小会議室は、満員で活発な討論がなされた。

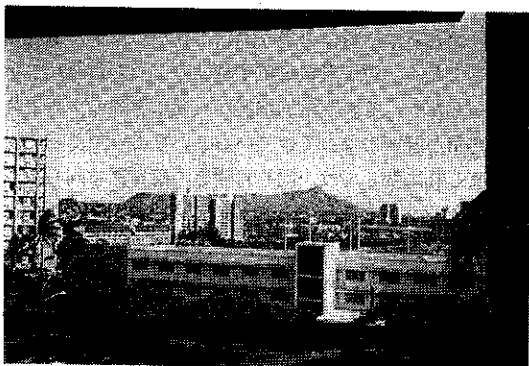


Photo 3 ハワイ大学工学部の廊下から、校舎のむこうにダイヤモンドヘッドが見える。

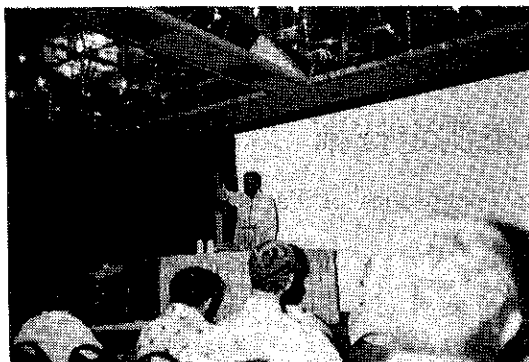


Photo 4 デモンストレーションもまじえて「ボイコット効果」物語を講演される Prof. Acrivos.

スシリンダとそれを傾けて支えるための架台、それから懸濁液の入ったビンを取り出して、机上でその実験を始められた。ボイコット効果というのは、その懸濁液柱を傾斜させると上側のシリンダ壁にそった部分の沈降速度が他の部分に比べてずっと速くなる現象で、先生はその様子をガラスシリンダにスライドの光をあてることにより大会議場の壇上のスクリーンに見事にうつし出してわかりやすく説明された。その不思議な現象を先生に紹介した人の手紙のスライドから、その物理的現象についての深い流体力学的考察まで1つのストーリーをみている気がした。

また、5日目の一般講演はもともとソ連の先生の予定であったが急に出席できなくなり、Prof. Fan がこの会議への出発の前日にその交代の講演をしてほしいという連絡を受けたとかで会議期間中も時々そのことをお聞きした。しかしながら当日は、「けさ5時までかかって講演の準備をしました」と断わられながら「混合現象についてのストカスティックなアプローチ」に関して、先生のいつものあのかんでふくめるような説得力のある講演をされた。

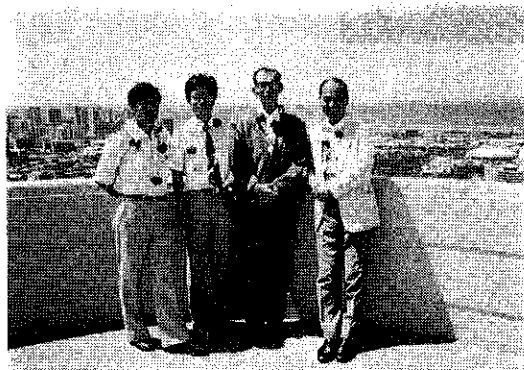
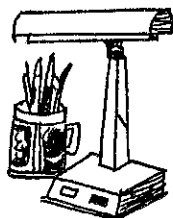


Photo 5 ホノルル空港から会議場への道中、歓迎のレイをかけて（右から神保先生、井伊谷先生、筆者と寺下先生）

今回の会議全体で気がついたのは、女性の参加者が目についたことで、オーストラリア・ニューカッスル大の Raper 女史は講演のほか、「粒子特性と選別Ⅱ」のセッションで座長を務め活躍されていた。彼女はその講演の中で気分転換にコアラのスライドをはさんでアクセントをつけられたが、その後、彼女のことをコアラガールと呼んで、頼んで写真を撮らせてもらっておられた日本人の先生がおられた。そう言えばなんとなく雰囲気似ているように思われたのは先入観によるものだろうか。そのほか、応用物理と工学で2つの博士号を持つクラクソン工科大の Shen 女史の30分にわたる休みなしの立板に水のごとき講演は大変印象的だった。また、ウェイン州立大の Gulari 女史も東大の井上先生と共にセッションの座長を務めておられた。

往路、隣りの席であった日本のエーロゾルの権威である金沢大の江見先生、会期中、相部屋となった大阪府立大の寺下先生、帰路2人だけとなった名大の神保先生とは特にいろいろとお話でき、日常めったにもてないという時間が大変貴重に思われた。



粉粒体の比表面積測定技術

The Specific Surface Area Determination Techniques of Particulate Matter

高坂 彬夫*

Ayao Takasaka

1. はじめに

粉粒体の比表面積を知ることは、化学反応に使用する固体触媒の活性、吸着プロセスにおける吸着剤の分離効率などを検討する上で重要な手がかりとなる。

粉粒体の比表面積を測定する方法を大別すると Table 1 のようになる。これらの測定法の原理は比較的古く、20世紀中頃までに理論的および実験的にほぼ確立されたものが多い^{1)~6)}。

近年、エレクトロニクス、特にセンサおよびマイクロコンピュータの普及に伴って計測技術は急速に進歩した。

本稿においては、粉粒体の比表面積測定法の現状と筆者らが研究開発中の二、三の比表面積測定装置について述べる^{7)~9)}。

Table 1 粉粒体の比表面積測定法

1. 気相吸着法
 - (1) BET法
 - a) 多点法
 - b) 一点法
 - (2) Harkins-Jura の相対法
2. 液相吸着法
3. 湿潤熱法 (Harkins-Jura の絶対法)
4. 流体透過法
 - (1) Kozeny-Carman 法
 - (2) Knudsen 法
5. 沈降法
6. その他の方法

2. 気相吸着法による比表面積の測定

2.1 BET吸着法 (多点法)¹⁰⁾

固体表面の分子は、一側面は内部の分子と結合しているが、他の側面は原子や分子間力が不安定である。このため、固体表面の分子は気体や液体分子を引きつける。

この分子間引力は、系の状態や温度によって物理的である場合と化学的である場合が存在する。物理吸着 (Van der Waals 吸着ともいう) は、固体と気体との間の比較的弱い相互作用の結果生ずるもので、吸着した時と同一温度での排気によって、すべての吸着気体の脱気が可能である。

清浄な固体表面に接触した第一層分子は、Van der Waals 力によって気体分子と結合される一方、蒸気の活性凝縮力は第二層以降の吸着においてその結合エネルギーを増加する。吸着層への気体分子の凝縮速度と吸着層からの蒸発速度を等式にし、無限の吸着層の総和を計算することにより、次式が求められる。

$$V_a = \frac{V_m C P}{(P_s - P) [1 + (C - 1) P / P_s]} \quad (1)$$

ここに、

V_a : 圧力 P における吸着量 [cc]

V_m : 単分子層吸着量 [cc/g]

P : 吸着平衡圧 [mmHg]

P_s : 飽和蒸気圧 [mmHg]

C : 定数

この表現は、低温ガス吸着の大部分について適用できる。このため、一定温度における圧力の関数として、気体の吸着体積の物理測定により、単分子層吸着量 V_m が計算で求められる。

(1)式を線形方程式に書き改めると(2)式になる。

$$\frac{P}{V_a(P_s - P)} = \frac{1}{V_m C} + \left(\frac{C - 1}{V_m C} \right) \frac{P}{P_s} \quad (2)$$

$P/V_a(P_s - P)$ 対 P/P_s をプロットすれば直線になり、

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

Table 2 種々なる気体の分子占有断面積 σ

気 体	温 度 (°C)	断 面 積 (Å ²)	蒸 気 圧 (mmHg)
H ₂	-253	8.3	760
CH ₄	-183	16.0	82
n C ₄ H ₁₀	0	22.6	810
C ₆ H ₆	25	32.3	95
N ₂	-195	15.8	760
NH ₃	-36	14.6	660
O ₂	-183	14.6	760
H ₂ O	25	10.8	24
C ₂ H ₅ OH	25	19.8	20
CO ₂	-78	19.5	1000
Ne	-253	10.0	28
CS ₂	0	37.9	130
C ₂ H ₅ Cl	0	24.8	450
Ar	-195	14.6	250
Kr	-195	18.5	3
I ₂	82	15.6	17

その切片と勾配はそれぞれ $1/V_m C$ と $(C-1)/V_m C$ である。単分子層吸着量 V_m [cc/g] は数点の P/P_s で吸着量 V_a [cc] を測定すれば求められる。このプロットは BET プロットと呼ばれ、相対圧 P/P_s が 0.05~0.3 の間で一直線になることが知られている。

Table 2 から分子占有断面積 σ を用いて試料の比表面積 S_w [m²/g] が求められる。

$$S_w = \frac{\sigma \times 10^{-20} \times 6.023 \times 10^{23}}{22.414 \times 10^3 (\text{勾配} + \text{切片})} \quad [\text{m}^2/\text{g}] \quad (3)$$

液体窒素温度における窒素ガス吸着の場合には、 σ が 16.2 Å² であるので次式のように簡単になる。

$$S_w = \frac{4.35}{\text{勾配} + \text{切片}} \quad [\text{m}^2/\text{g}] \quad (3')$$

Photo. 1 に示すような比表面積・細孔分布解析装置は、専用データ処理装置が用意されており、

- 1) 測定圧力を吸脱着量に換算
 - 2) 試料の比表面積を [m²/g] 単位で求める
 - 3) 細孔体積・細孔分布の計算
- ができる。

また、BET プロット、吸脱着等温線、細孔分布のグラフが求められる。

2.2 BET 吸着法 (一点法)¹¹⁾

BET 吸着の多点法によると、2.1 で述べたように、粉粒体に関する多くの吸着関連データが得られる。しかし、比表面積のみのデータが必要な場合は以下述べるような一点法による測定で十分ことが多い。

一定温度における吸着量と吸着平衡圧を示す BET 式

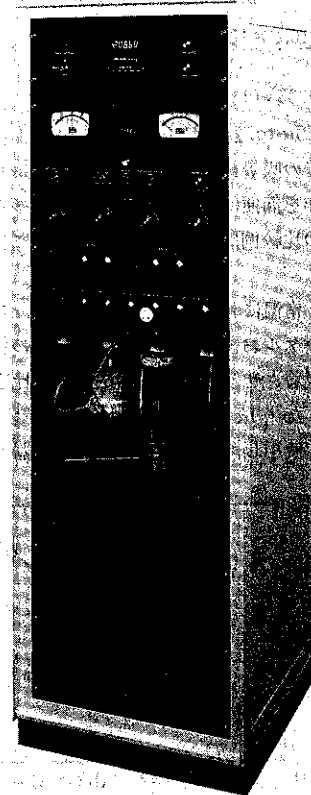


Photo. 1 BET 多点法による比表面積測定装置 (Micromeritics 2100 形)

は、前述のように

$$\frac{P/P_s}{V(1-P/P_s)} = \frac{1}{V_m C} + \frac{C-1}{V_m C} \cdot \frac{P}{P_s} \quad (2')$$

$\xleftrightarrow{\text{縦 軸}} \quad \xleftrightarrow{\text{切片}} \quad \xleftrightarrow{\text{勾配}} \quad \xleftrightarrow{\text{横 軸}}$

であらわされる。

BET 式の切片 $1/V_m C$ と勾配 $(C-1)/V_m C$ の算術和は $1/V_m$ となるが、一般に C の値は大きいので切片を 0、 $C-1 \approx C$ とすると BET の多点法の式は、つぎのように近似できる。(BET 一点法と呼ばれている。)

$$V_m = V(1-P/P_s) \quad (4)$$

これを図示すれば、Fig. 1 のように原点と P/P_s のどこか一つの測定点を結んで、勾配 $1/V_m$ とすることに相当する。実線 IM と点線 OM ($1/V_m$ に相当) との傾きにはそれほど差はなく、一点法は多点法と近似できる¹²⁾。

試料の比表面積 S_w は、この単分子吸着量 V_m [cc/g] にアボガドロ数 (6.023×10^{23}) とガスの分子容 (22414

cc), および 1 個の吸着ガス分子が占める面積 σ (窒素の場合は $16.2 \text{ \AA}^2$) を掛けることにより求められる。

$$S_w = \frac{16.2 \times 10^{-20} \times 6.023 \times 10^{23}}{22414} V_m$$

$$= 4.35 V(1 - P/P_s) \quad [\text{m}^2/\text{g}] \quad (5)$$

例えば, **Photo. 2** および **Fig. 2** に示す装置では, $P/P_s = 0.3$ での吸着量の測定 (一点法) により, 比表面積の測定操作を簡便にしている。一点法と多点 BET 法の測定結果の比較例は, **Table 3** のように報告されている^{(12),(13)}。

筆者らは, 常温において天然ゼオライト, 合成ゼオライト, シリカゲルおよび活性アルミナなどの親水性物質に水蒸気を吸着させる BET 一点法による比表面積測定装置を開発した⁷⁾。その概略を **Fig. 3** に示す。

吸着実験に使用した密閉型のガラス製容器の内容積は

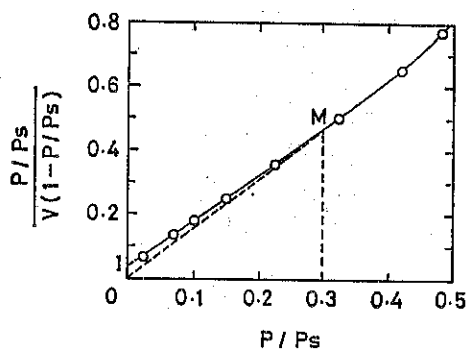


Fig. 1 BET一点法のBET多点法への近似

687.4 cc で, その内部には温度センサーと銅-コンスタンタン熱電対が挿入されている。容器の上部には, 試料保持部と試料投入口が設けられている。

密閉型ガラス容器は, ステンレス製断熱容器 (内容積 2000cc) 中に納められている。密閉ガラス容器中の湿度は, 温度センサーと直列に接続されている CR 発振回路



Photo. 2 BET一点法による比表面積測定装置 (Micromeritics 2200形)

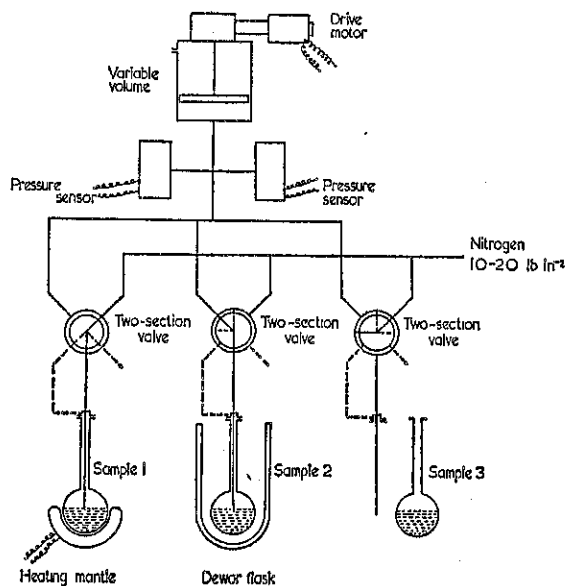


Fig. 2 BET一点法測定装置

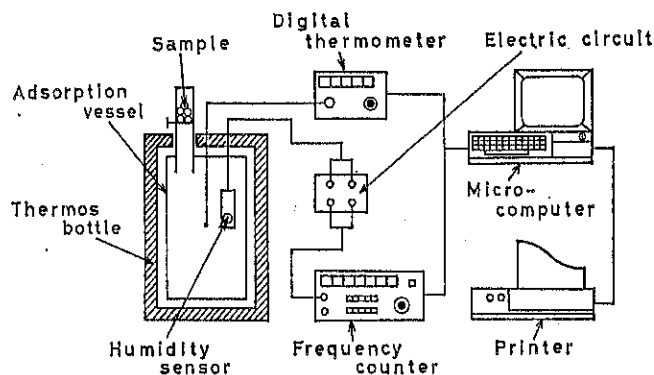


Fig. 3 水蒸気吸着法による比表面積測定装置

Table 3 BET一点法と多点法の比表面積の比較

物質名	一点法[m ² /g]	多点法[m ² /g]
アナターゼ	10.5	10.6
骨炭	70.8	70.7
非結晶シリカ	242.1	242.3
カーボンブラック	87.8	87.2
カーボンブラック	119.0	119.9
ニッケル触媒	119.2	120.0
触媒	309.0	305.0
酸化亜鉛	1.76	1.83
酸化亜鉛	3.65	3.60
酸化亜鉛	5.41	5.33
酸化アルミニウム	13.8	14.2
酸化ジルコニウム	3.95	3.98
触媒	11.9	11.8
活性アルミナ	276.0	277.0
シリカ-アルミナ触媒	165.2	166.1
酸化ウラン	1.48	1.51
カオリン	20.2	20.7
タルク	12.5	12.6
フェライト	6.48	6.56
炭酸マグネシウム	46.0	46.6
炭酸カルシウム	54.0	53.4

を通し、発振周波数に変換してユニバーサルカウンター（岩通UC-8151）で、温度はデジタルマルチ温度計（横河電機 2809）で測定する。

示差熱分析装置（理学電機 8001）で脱水状態をモニタしながら焼成した試料を吸着実験装置にセットし、一定湿度の密閉容器中に投入すると、多孔質試料は容器中の水蒸気を吸着し、ある経過時間後にほぼ平衡状態に達する。この際、密閉容器中の湿度に対応する周波数および温度測定値の経時変化をマイクロコンピュータのキーボードまたは RS-232C 通信回路を通して入力し、各種の

Table 4 親水性多孔質材料の比表面積

No.	Commercial brand	Specific surface area [m ² /g]	
		This method	N ₂ BET
1	Itaya zeolite (1)	288.8	91.83
2	" (2)	243.6	—
3	Itado zeolite	230.8	65.11
4	Kawarago zeolite	317.8	145.6
5	Futatui zeolite	140.1	—
6	Molecular sieve 3A	567.5	34.00
7	" 4A	585.5	10.97
8	" 5A	593.3	457.1
9	Moleculite 515	578.8	—
10	Zeolum A5	529.0	—
11	Baylith K154	528.1	—
12	Itaya silica	4.4	—
13	Silica gel FD	216.1	—
14	Neobead C	124.1	200
15	" D	190.0	320
16	" SA	216.1	400
17	Silbead N	419.6	600

目的に応じた計算が行なわれる。

なお、水蒸気吸着法の場合、重量基準の比表面積は

$$S_w = 2.90 V_m \quad (6)$$

で計算される。

Table 4 は本法によって親水性の多孔質材料の比表面積を測定した一例である⁷⁾。

また、活性炭のような疎水性多孔質材料については、水蒸気の代りにメチルアルコールなどを吸着させることにより比表面積の測定が可能であることが判明した¹⁴⁾。

2.3 Jura-Harkins の相対法

Jura と Harkins¹⁸⁾ は固体表面上の吸着分子の凝縮膜

Table 5 活性炭の窒素吸着へのBET法およびJura-Harkins 法の適用の
プログラムとその実行例

```

10 "BET ノ キュウチャク トウオンシキ
20 DIM A(25),B(25)
30 INPUT"チ" - タズ":N
40 INPUT"キュウチャク カ" スノ キウワツ [mmHg]":P1
50 INPUT"カ" スプ"ンシ 1コフタリノ メンセキ [cm^2]":S
60 INPUT"シリョウ メイ ":A#
70 INPUT"キュウチャク サ"イ ノ シリョウ [g]":D
80 PRINT
90 FOR I=1 TO N
100 INPUT"キュウチャク ウイコウカ" スワ [mmHg]":A(I)
110 INPUT"キュウチャク ノ タイセキ [cm^3]":B(I)
120 PRINT
130 NEXT I
140 LPRINT TAB(18);"■■■■ BET & HJR ノ キュウチャク トウオンシキ ■■■■"
150 LPRINT
160 LPRINT TAB(5);" カ シ リ ョ ウ メ イ ..... ";A#;TAB(45);"No. _____";TAB(58);"_____
* 月 日"
170 LPRINT
180 LPRINT"-----"

190 LPRINT TAB(3);"P [mmHg]";TAB(19);"V [cm^3]";
200 LPRINT TAB(38);"P/Ps=";TAB(53);"P/V (Ps-P)";TAB(68);"1/(V^2)"
210 LPRINT "-----"

220 H=0;J=0;K=0;L=0
230 FOR I=1 TO N
240 LPRINT TAB(3);A(I);TAB(20);B(I);TAB(35);A(I)/P1;
250 LPRINT TAB(51);A(I)/(B(I)*(P1-A(I)));TAB(66);1/(B(I)^2)
260 H=H+A(I)/P1
270 J1=A(I)/(B(I)*(P1-A(I)))
280 J=J+J1
290 K=K+((A(I)/P1)^2)
300 L=L+(A(I)/P1)*J1
310 NEXT I
320 S1=K-(H*H)/N;S2=L-(H*J)/N
330 E1=S2/S1;E2=(J-(S2/S1)*H)/N
340 C=E1/E2+1
350 V1=1/(E2*C)
360 A=S*(V1/22400/D)*(4.02E+23)
370 LPRINT"-----"

380 LPRINT TAB(10);"■ BET ノ キュウチャク トウオンシキ ■"
390 LPRINT
400 LPRINT TAB(12);"          P          = 1          + C-1          P          "
410 LPRINT TAB(12);"          Vm-C          Vm-C          Ps          "
420 LPRINT TAB(12);" V-(Ps-P)          "
430 LPRINT TAB(17);"C=";C
440 LPRINT TAB(17);"Vm=";V1;TAB(50);"[cm^3]"
450 LPRINT TAB(17);"キュウチャク サ"イ ノ ヒョウメンセキ";A;TAB(50);"[cm^2/g]"
460 " HJR (ハ-ケン シ"ユラ-) ノ キュウチャク トウオンシキ
470 LPRINT
480 LPRINT TAB(10);"■ HJR ノ キュウチャク トウオンシキ ■"
490 LPRINT
500 LPRINT TAB(12);"Sw=4.06*SQR(Slope)"
510 Z=0;O=0;U=0;U1=0
520 FOR I=1 TO N
530 Z=Z+1/(B(I)^2)
540 O=O+LOG(A(I)/P1)/2.303
550 U=U+(1/(B(I)^2))*LOG(A(I)/P1)/2.303
560 U1=U1+1/(B(I)^2)*1/(B(I)^2)
570 NEXT I
580 S1=(N*U-Z*O)/(N*U1-Z*Z)
590 S8=ABS(S1)
600 S9=4.06*SQR(S8)*10000
610 LPRINT TAB(17);"Slope = ";S1
620 LPRINT TAB(17);"キュウチャク サ"イ ノ ヒョウメンセキ";S9;TAB(50);"[cm^2/g]"
630 LPRINT CHR$(13)
640 END

```

P [mmHg]	V [cm ³]	P/Ps	P/V (Ps-P)	1/(V ²)
106.67	274.438	.140355	5.94929E-04	1.32774E-05
134.68	290.665	.177211	7.40983E-04	1.18363E-05
241.11	350.596	.31725	1.32536E-03	8.13553E-06

■ BET / キュウチャク トウオンシキ ■

$$\frac{P}{V(Ps-P)} = \frac{1}{Vm \cdot C} + \frac{C-1}{Vm \cdot C} \cdot \frac{P}{Ps}$$

C = 385.337
Vm = 240.845 [cm³]
キュウチャクグアイ / ヒョウメンセキ 1.04858E+07 [cm²/g]

■ HJR / キュウチャク トウオンシキ ■

Sw = 4.06 · SQR(Slope)
Slope = ~68761.3
キュウチャクグアイ / ヒョウメンセキ 1.06463E+07 [cm²/g]

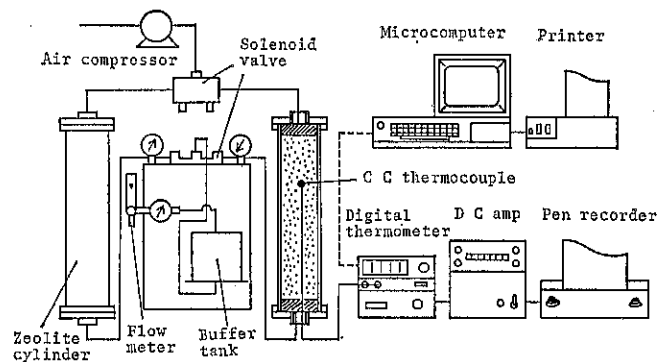


Fig. 4 PSA法による比表面積測定装置

は、液体表面上の凝縮膜と特性がほとんど同じであるという前提から下記の吸着式を提案した。

$$\log(P/P_s) = B - A/V^2 \quad (7)$$

ここで

$$A = \frac{(V_M S_w)^2 a}{2.303 \times 2RTN} \quad (8)$$

Sw : 比表面積 [m²/g]

VM : 気体のモル容積

a : 定数

N : アボガドロ数 [mole⁻¹]

である。

(8) 式は

$$S_w = k\sqrt{A} \quad (9)$$

と書き換えられる。ここに、k は使用気体についての定数（窒素の場合は4.06）である。

したがって、表面積既知の試料について測定からkを

求めておくことと比表面積を知ることができる。

Table 5 は、活性炭による窒素吸着のデータから、BET法および Jura-Harkins の相対法によって比表面積を求める BASIC のプログラム（PC 8801 使用）とその実行例である。

2.4 P S A 法

天然ゼオライトおよび合成ゼオライトは、常温加圧下で窒素を吸着し、吸着熱のためにその充てん層の温度は上昇する。また、常圧にすると窒素を脱着し吸着層の温度は低下する。

Fig. 4 は本測定に利用した PSA (Pressure Swing Adsorption) 装置であり^{15)~17)}、Fig. 5 は PSA 過程におけるゼオライト層の温度変動の一例を示した結果である。この吸脱着熱を標準の試料と比較することにより、比表面積が推算される⁹⁾。

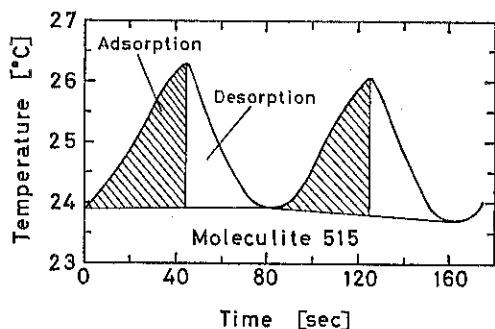


Fig. 5 P S A 過程における試料充てん層の温度変動

なお、気相吸着法によるこの他の測定法としては、容量差法を使用した Ströhline areameter, 高感度の電気天秤を使用したもの(例えば, Cahn Electrobalance), 連続流動法を利用した Nelsen の装置などがあるが省略する。

3. 液相吸着法による比表面積の測定

溶液からの溶質の吸着等温線に, Langmuir 式か B E T 式を適用して単分子吸着量 V_m を求めて比表面積を決定する方法である。

Table 6 に, 液相吸着法の吸着質と測定法を示す⁶⁾。

Table 6 液相吸着法の吸着質と測定法

吸 着 質	測 定 法
染 料	比色法
ヨウ素	滴定法
放射性同位元素	放射能測定
無機電解質イオン	pH 測定, 電導度測定
石鹼, 界面活性剤	表面圧力秤, 電導度滴定, 色素法
脂肪酸エステル	秤量法, 表面圧力秤, 表面張力秤
	干渉分析

液相吸着法は, 気相吸着法のように真空系や複雑な装置を必要としない利点はあるが,

- 溶質分子が粉体表面に単分子飽和吸着していること
 - 溶質 1 分子の占有面積の与え方を誤らないこと
- などの諸点が満足されないと誤った結論を導いてしまうことがあるので注意が必要である。

4. 湿潤熱法¹⁰⁾による比表面積の測定

表面が平滑な粉体を液体の飽和蒸気中におくと, 粉体表面には飽和蒸気と平衡にある吸着膜ができる。この吸着膜は液体と同じ表面状態にあると考えられる。この状態で多量の液体中に浸漬すると, 吸着膜の表面の消失に

伴う発熱がある。この時の単位表面積あたりの発熱量は液体の表面エネルギーであり, 次式で与えられる。

$$\epsilon = \gamma - T \left(\frac{\partial \gamma}{\partial T} \right)_P \quad (10)$$

ここに,

γ : 表面自由エネルギー (表面張力 dyne/cm=erg/cm²)

熱量計で測定した全発熱量 Q と ϵ を用いて

$$\Sigma' = Q / \epsilon \quad (11)$$

により, 吸着膜の表面積 Σ' を求めることができる。

一般に吸着層の厚さは無視できるが, 吸着膜の表面積 Σ' から粉体の真の比表面積 Σ を求めるには次式を用いる。

$$\Sigma = \frac{\Sigma'}{1 + \alpha(t/d)} \quad (12)$$

上式において

α : 補正係数で $4 \sim \pi/2$

t : 吸着層の厚さ

d : Σ' より求めた平均粒子径

である。

この方法は, Jura-Harkins の絶対法ともよばれている¹⁹⁾。

湿潤熱測定の精度を上げるためには, 高感度の熱量計が必要であり, 例えば双子形伝導熱量計が市販されている。

また, 多孔質材料に本法を適用するためには, 毛管凝縮の影響を少なくした試料の前処理が必要である。例えば, シリカゲルの場合は相対圧 P/P_s を 0.2~0.6 として試料の前処理をする必要がある。また, 酸化物 (γ - Al_2O_3 , ZrO_2 , Fe_2O_3 , TiO_2 , SiO_2), 粘土鉱物 (カオリナイト, セリサイト) では P/P_s を 0.3~0.6 で前処理して本法で測定すると B E T 法 (窒素吸着) と相関が良いと報告されている。

筆者らは, Fig. 6 に示すような水晶温度センサーを感熱部とする熱量計を試作し, $P/P_s = 0.2$ で前処理した合

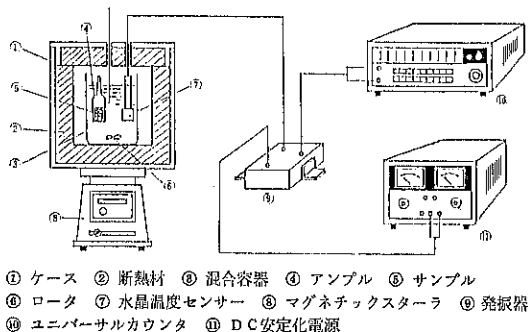


Fig. 6 水晶温度センサーを使用した湿潤熱法による比表面積測定装置

Table 7 湿潤熱法によるゼオライトの比表面積の推定

試料	H ₂ O (%)	H ₂ O吸着法による比表面積 (m ² /g)	湿潤熱法による比表面積 (m ² /g)	BET法による比表面積 (m ² /g)
合成ゼオライト (5A)	14.09	498.8	499.8	380~420 (N ₂ 吸着)
合成ゼオライト (4A)	8.46	299.5	755.4	—
板谷ゼオライト 4mmφ	4.89	173.1	163.9	124 (N ₂ 吸着) 270 (CH ₃ OH 吸着)
板谷ゼオライト 1.6mmφ	4.72	167.1	181.1	
板谷ゼオライト 0.5~1.0mm	5.22	184.8	213.9	

成ゼオライトおよび天然ゼオライトの比表面積を推定した。これを他の水蒸気吸着法、窒素吸着法、メタノール吸着法による測定結果とともに Table 7 に示した²⁾。

各測定値は必ずしも一致する性質のものではないが、毛管凝縮の影響が含まれているとはいえ、本法はゼオライトなど多孔質材料の比表面積推定の目安になるものと考えられる。

5. 流体透過法による比表面積の測定

流体が粉体充てん層を透過するときの透過度から、粉体層を構成している粉体の比表面積を測定することができる。この方法は操作が簡単である上、迅速に測定できるため工業面で広く利用されている。粉体層を流れる流体の流速が粘性流の場合、粉体の比表面積は、Kozeny-Carman の次の関係式から求められる。

$$S_w = \frac{14}{\rho_s} \sqrt{\frac{1}{K} \cdot \frac{\varepsilon^3}{(1-\varepsilon)^2}} \quad (13)$$

ただし、

$$K = \frac{\mu L Q}{\Delta P A t}, \quad \varepsilon = 1 - \frac{W}{\rho_s A L} \quad (14)$$

ここに、

S_w : 粉体の比表面積 [cm²/g]

ε : 試料充てん層の空げき率 [—]

ρ_s : 粉体の密度 [g/cm³]

μ : 流体の粘性係数 [g/cm・sec]

L : 試料層の厚さ [cm]

Q : 試料充てん層内通過流量 [cm³]

ΔP : 試料層両端の圧力差 [g/cm²]

A : 試料層の断面積 [cm²]

t : Q の流量が試料層を通過するに要する時間 [sec]

W : 試料の重量 [g]

したがって、任意の試料層を通過する流体の量と通過に要する時間 t およびその時の圧力 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径 d_m を計算することができる。

$$d_m = \frac{6}{\rho_s S_w} \quad (15)$$

わが国の実験室や研究室などでは、Kozeny-Carman の式に基づく恒圧通気法による比表面積測定²⁰⁾が広く普及している。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がはかれる。

Table 8 に、恒圧通気法による比表面積測定のプログラムとその実行例を示す。(プログラムでは、マイコンの時計機構をストップウォッチとして使用している。)

流体透過法を利用したその他の測定法の例を Table 9 に示した。この中、わが国ではセメントの比表面積の測定法に Blaine 法²¹⁾が用いられている。また、分子流による測定装置としては Knudsen 式透過率計が用いられている²²⁾。

Table 9 流体透過法による比表面積の測定装置

番号	装置名	文献
1	Lea and Nurse permeability apparatus	2)5)6)
2	Fisher sub-sieve sizer	2)5)6)
3	Blaine apparatus	2)5)6)
4	恒圧通気式比表面積測定装置 S S 100形	20)
5	ブレーン空気透過装置、粉末度測定器	21-A)
6	空気透過式比表面積および粒子密度測定装置	21-B)
7	Knudsen-flow permeameter 1041形	22)

6. 沈降法による比表面積の測定

液体中に微粉体を分散させると、その粒子群は Stokes の法則にしたがって沈降する。

$$v = \frac{1}{18} \cdot \frac{(\rho_s - \rho_l) g \cdot d^2}{\mu} \quad (16)$$

ここに、

v : 沈降速度 [cm/sec]

ρ_s : 粒子の密度 [g/cm³]

Table 8 恒圧通気法による比表面積測定プログラムの実行例

```

10 * ヒヒョウメンセキ ソクタイ プログラム
20 WIDTH 80,20
30 CONSOLE ,0
40 LOCATE 33,0:PRINT " タイマー ...":LOCATE 50,0:PRINT "00:00:00"
50 *LOOP
60 LOCATE 22,10:PRINT"* テキトウ ナ Key テ" タイマー カ" Start シマス。"
70 LOCATE 22,12:PRINT"* テキトウ ナ Key テ" タイマー カ" Stop シマス。"
80 STK$=INKEY$
90 IF STK$="" THEN *LOOP
100 TIME$="00:00:00"
110 FOR C=0 TO 9
120 FOR J=1 TO 2.66 STEP .099:NEXT J
130 *****
140 LOCATE 50,0:PRINT TIME$;" ";C
150 STK$=INKEY$
160 IF STK$="" THEN 180
170 GOTO 190
180 NEXT C:GOTO 110
190 IF C=9 THEN C=0
200 S=VAL(RIGHT$(TIME$,2)):M=VAL(MID$(TIME$,4,2)):H=VAL(LEFT$(TIME$,2)):TT=(H*36
00)+(M*60)+S+C/10
210 CLS
220 LOCATE 5,3:PRINT "* トリコンタ" シ"カン = ";TT;" [ SEC ]"
230 PRINT
240 INPUT "* ケイサン ラ ス スメル カ Yes --- 1 : No --- 0 ";F
250 IF F=0 THEN 10
260 CLS
270 INPUT " フンタイ ミット " ;D1
280 INPUT " アツリョク サ " ;P
290 INPUT " タンメンセキ " ;A1
300 INPUT " クウキエント " ;V
310 INPUT " シリョウ アツサ " ;L
320 INPUT " リュウタイ リョウ " ;Q
330 INPUT " シリョウ オモサ " ;W
340 INPUT " シリョウ ナマエ " ;A$
350 G=1-(W/D1/A1/L):M=14/D1*SQR(P*A1*TT*G^3/V/L/Q/(1-G)/(1-G))
360 H=(6/D1/M)*10000
370 LPRINT " *** ヒヒョウメンセキ ソクタイ クッ カ *** "
380 LPRINT
390 LPRINT " _____ 年 ____ 月 ____ 日 "
400 LPRINT " _____ "
410 LPRINT
420 LPRINT "* シリョウメイ _____ ";A$
430 LPRINT "* フンタイ ミット _____ ";D1;TAB(40);"[g/cm ^3]"
440 LPRINT "* アツリョク サ _____ ";P;TAB(40);"[g/cm ^2]"
450 LPRINT "* タンメンセキ _____ ";A1;TAB(40);"[cm ^2]"
460 LPRINT "* クウキエント _____ ";V;TAB(40);"[pois]"
470 LPRINT "* シリョウ アツサ _____ ";L;TAB(40);"[cm]"
480 LPRINT "* リュウタイ リョウ _____ ";Q;TAB(40);"[cc]"
490 LPRINT "* シリョウ オモサ _____ ";W;TAB(40);"[g]"
500 LPRINT " _____ "
510 LPRINT "* シ" カン _____ ";TT;TAB(40);"[sec]"
520 LPRINT "* ヒヒョウメンセキ _____ ";M;TAB(40);"[cm ^2/g]"
530 LPRINT "* リュウタイ _____ ";H;TAB(40);"[micron]"
540 LPRINT
550 LPRINT " ***** "
560 END

```

* シ リ ヨ ウ メ イ	.....	リュウサン カルシウム
* フ ン タ イ ミ ヲ ト	.....	2.32 [g/cm ^3]
* ア ツ リ ヨ ウ サ	.....	25 [g/cm ^2]
* タ ン メ ン セ 中	.....	2 [cm ^2]
* ヲ ウ キ セ ン ト	.....	.000183 [pois]
* シ リ ヨ ウ ア ツ サ	.....	.95 [cm]
* リ ユ ウ タ イ リ ヨ ウ	.....	20 [cc]
* シ リ ヨ ウ オ モ サ	.....	1.98839 [g]
.....		
* シ カ ン	.....	19.5 [sec]
* ヒ ヒ ヨ メ ン セ 中	.....	2880.95 [cm ^2/g]
* リ ユ ウ ケ イ	.....	8.97493 [micron]

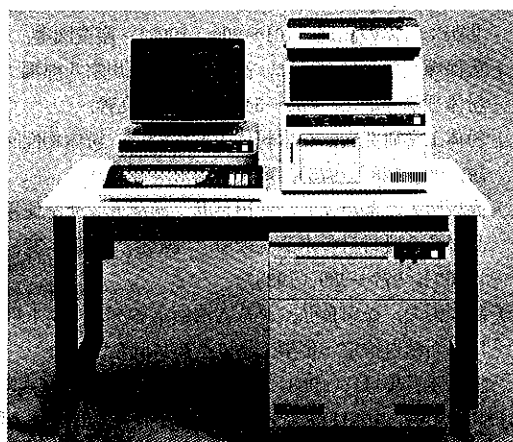


Photo. 3 光透過式粒度分布測定器
(セイシン企業 SKA-5000)

ρ_l : 液体の密度 [g/cm³]

g : 重力の加速度 : [cm/sec²]

μ : 液体の粘度 [g/cm · sec]

d : 粉体の粒径 [cm]

分散媒中に分散した粒子群の t 時間後における沈降量を測定することによって粒度分布を測定することができる。このため、光透過法^{23), 24)}や沈降天秤²⁵⁾など自動記録式のものが工夫されている。Photo. 3 は光透過法の一例である。測定結果から試料の外部比表面積を算出することができる。しかし、吸着法や Photo. 4 の水銀圧入法^{26)~29)}の装置のように多孔質材料の細孔内部の比表面積を算出することはできない。

7. その他の比表面積の測定法

粉体の比表面積は上述の 2 ~ 6 までの他に従来から用

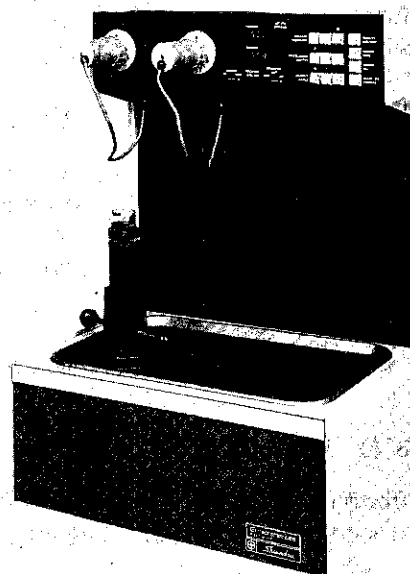


Photo. 4 水銀圧入法による細孔分布比表面積測定装置 (Micromeritics 9300形)

いられている粒度分布測定法³⁰⁾も利用できる。

その主なものを Table 10 に示した。

しかし、これらの大部分は粉体の外部表面積しか算出できず、天然ゼオライト、合成ゼオライト、シリカゲル、活性アルミナなどの親水性多孔質物質、活性炭などの疎水性多孔質材料など内部比表面積が特に支配的な試料の場合は、吸着法、湿潤熱法および水銀圧入法などによる測定結果に頼らざるを得ない。

Table 10 比表面積の算出ができる粒度測定法

番号	測定法	文献**
1	ふるい分け法	30)
2	顕微鏡法	"
	1) 光学顕微鏡法	"
	2) 電子顕微鏡法	"
	3) 限外顕微鏡法	31)32)
3	沈降法*	30)
	1) アンドレアゼンピペット法	"
	2) ケリー・チューブ法	"
	3) 沈降天秤および比重天秤法	25)30)
	4) 遠心沈降法	30)
4	風篩法	"
5	水ひ法	"
6	流体透過法*	20)~23)
7	吸着法*	7)~20)
8	光透過法	23)24)
9	光散乱法	30)
10	X線透過法	"
11	その他の測定法	"
	1) コーンスターカウンター法	30)
	2) ミクロセルカウンター法	"
	3) ホログラム法	"
	4) 水銀圧入ポロシメーター	26)~29)30)
	5) 気体吸着ポロシメーター	10)
	6) カスケードインパクト	30)

* 本稿で取り上げた。

** 文献番号の総説、資料を参考のこと

*** 単行本としては、文献2)~6)などを参照のこと。

8. おわりに

粉粒体の比表面積の測定上重要な Langmuir, BET, Jura-Harkins の相対法および絶対法などの理論は今世紀前半にほぼ確立されている。

また、測定装置の主要なものは国外で開発されたものが多く、わが国では遅れをとっているのが現状である。

近年、エレクトロニクス、特にマイコンやセンサー技術の急速な発展により測定の自動化、省力化が急速に進み、装置の高価なことを除けば便利に利用できるようになった。

粉体の比表面積測定については、外部表面積を対象としたものと、多孔質材料のように内部細孔などを考慮に入れた比表面積とを目的に応じて使い分ける必要がある。

また、今後センサーおよびコンピュータ技術の進歩に伴って単に比表面積ばかりでなく粉体表面や内部の未知な情報が解明されてゆくことを期待したい。

本稿を執筆するにあたり、島津製作所、セイシン企業、アムコ、日科機、筒井理化学器械、伊藤製作所、協和科学、木下理化学工業をはじめ、多くの会社から提供された資料を参考にさせていただいた。また、比表面積測定のためのプログラムの作成については、松田良弘技官の協力を得た。これらの関係各位に心から感謝の意をあらわす。

文 献

- 1) 慶伊富長：吸着，95~131 (1965)，共立出版。
- 2) 粉体工学研究会編：粒度測定技術，299~322，281~298 (1975)，日刊工業新聞社。
- 3) 小石真純，角田光雄：粉体の表面化学，13~51 (1975)，日刊工業新聞社。
- 4) オアー，ダアラアパアル共著，牟田明徳，角田光雄共訳：粉体の測定，101~206 (1968)，産業図書。
- 5) 久保輝一郎，神保元二，高橋 浩，早川宗八郎編：粉体理論と応用，433~541 (1979)，丸善。
- 6) 粉体工学研究会，日本粉体工業協会編：粉体物性図説，99~128 (1975)，産業技術センター。
- 7) 高坂彬夫，菱沼一弘，松田良弘：湿度センサを使用した多孔質材料の水蒸気吸着の測定，材料，32，[360]，977~980 (1983)。
- 8) 高坂彬夫，松田良弘，PSA法によるゼオライトの比表面積の推定，化学工学協会第17回秋季大会講演要旨集111 (1983)。
- 9) 高坂彬夫，松田良弘：水晶温度センサーを使用したゼオライトの浸せき熱の測定，材料，29，[324]，868~872 (1980)。
- 10) 島津製作所：アキュソープ（比表面積細孔分布解析装置）2100-01形，取扱説明書。
- 11) 島津製作所：島津-マイクロメリテックス比表面積自動測定装置 2200形，取扱説明書。
- 12) 島津製作所：マイクロメリテックス，比表面積自動測定装置，カタログ。
- 13) Warren P. Hendix and Clyde Orr Jr, 増田弘昭，井伊谷鋼一共訳：低温 N_2 吸着を用いた迅速表面積測定，粉体工学研究会誌，7，455~458 (1970)。
- 14) 高坂彬夫，松田良弘：未発表。
- 15) 高坂彬夫，松田良弘：板谷産ゼオライトの窒素選択吸着による富酸素空気の製造，材料，28，[312]，(1979)。
- 16) 高坂彬夫，松田良弘：板谷産ゼオライトによる湿潤空気からの水蒸気の除去，材料，30，[336]，852~855 (1981)。
- 17) 高坂彬夫，松田良弘：板谷産ゼオライトおよび合成

ゼオライトの窒素選択吸着による富酸素空気の製造, 粉砕, [26], 12~18 (1982).

- 18) W. D. Harkins, G. Jura: A vapor adsorption method for the determination of the area of a solid without the assumption of a molecular area and the areas occupied by nitrogen and other molecules on the surface of a solid J. Am. Chem. Soc. **66**, 1366~1373 (1944).
- 19) W. D. Harkins, G. Jura: An absolute method for the determination of the area of a finely divided crystalline solid J. Am. Chem. Soc. **66**, 1362~1366 (1944).
- 20) 島津製作所: 粉体比表面積測定装置 S S-100形, 取扱説明書.
- 21-A) 筒井理化学: プレーン空気透過装置, 粉末度測定器(比表面積測定器) JIS, R, 5201, カタログ.
- 21-B) 筒井理化学: 空気透過式比表面積および粒子密度測定装置, PM-02形, カタログ.
- 22) 島津製作所: クヌードセン式透過率計, 1401形, カタログ.
- 23) 高坂彬夫: 光透過法による微粉体の粒度分布測定の進歩, 粉砕, [27], 42~53 (1983).
- 24) セイシン企業: S K A-5000, 取扱説明書.
- 25) 協和科学: 沈降天秤式自動粉体粒度分布測定装置, (S B Q-II) カタログ.
- 26) 島津製作所: オートポア, 9200形, 取扱説明書.
- 27) Micromeritics: Instruction manual Pore sizer, 9300.
- 28) Farmitalia Carloerba: Mercury Pressure Macropore Unit 120 Series カタログ.
- 29) Farmitalia Carloerba: Mercury Pressure Porosimeter 2000 Series カタログ.
- 30) 高坂彬夫: 微粉体の粉度測定技術, 粉砕, [21], 40~49 (1976).
- 31) 高坂彬夫: マイクロコンピュータと粉体の粒度測定, 粉砕, [25], 74~87 (1980).
- 32) 島津製作所: 微粒子解析装置, SA-MID形, カタログ.

特許一言メモ No. 48

商標の更新登録

特許権15年, 実用新案権10年, 意匠権15年, 商標権10年. これは, それぞれの権利の存続期間である. そして, この期間を過ぎれば権利は自動的に消滅してしまうことになる.

ところで, この内商標については例外的に他とは異なり, 引き続き維持させることができる. つまり, 商標権には10年毎の存続期間の更新登録制度があり, その都度更新登録出願を確実に行うことにより, 引き続き権利を維持することができるわけである. この点で商標権は

「永久権」とか「半永久権」とか言われる.

更新登録のためのややこしい手続きは別にして, 「登録商標」は, 例えば「のれん」のようなもので, 商品と共に永い間つちかい育ててきた信用そのものである. そして, 特に過去から現在に至って存在し続けてきた「登録商標」については, この「登録商標」自身の持つ信用をさらに大きく育てていくことこそ大切である.

(技術資料室)

粉の細かさと粉の化学的性質

荒川 正文*

Masafumi Arakawa

1. まえがき

超微粉体とはどのくらいの細かさの粒子群をいうのだろうか？たとえば、啄木が泣きぬれて握りしめた砂の一粒をとってそれを半分に割るという操作を約60回繰り返すと一個の分子になる。これはもはや固体とか液体とかいう状態ではない、その物質の最小単位である。逆に分子が数十個集まれば必ずしも結晶にならないまでも分子が原子の集団——すなわち、クラスターを形成する。このクラスターは、一般にきまった大きさを保つ粒子というには問題があり、部分的に離合集散を繰り返している。安定な微粒子になるにはこのクラスターがもう少し集まってくれなければならない。つまり、数 nm 以上にならなければ固体の粒子として認知されないようである。少なくとも超微粉体の下限はこのあたりにあるとしなければならぬ。こんな程度からせいぜい数 100 nm ぐらいの間を超微粉体と考えるとすれば、こんな微細な固体はバルクの性質とどんなに異なった性状を示すだろうか？。

2. 微粒子物性

2.1 固体の体積減少による特性

a. 磁性：固体が単に体積が小さくなっただけで生じる物性の変化を微粒子物性といい、その代表的な例が磁性である。たとえば、鉄のような強磁性体はその中に無数の磁区をもつ多磁区構造で、磁場においてはそれが規則的に配列して磁化し、磁場を除くともとに戻る。しかし、鉄が磁区の大きさと対応する単磁区構造粒子に

まで微細化されると、抗磁力が大きくなり磁場を除いても磁化したままの安定永久磁石となる。この性質は磁気記録材料として利用できる。さらに粒子が小さくなると、磁区を形成できない超常磁性となり、外部磁場によって磁化するようになる。このような超微粒磁性粉体の油中安定コロイドが磁性流体であり、工業的に幾つもの可能性をもつ材料である。

b. 久保効果（電子状態に関する現象）：バルクの金属の場合には自由電子のもつエネルギー準位の間隔は十分にせまく、その移り変わりは連続的と見なせるが、系がきわめて小さくなるとこの間隔はもはや連続的と見なせなくなり、それにともなって微粒子特有の性質があらわれる。このような性質は 0.1 μm 以下の超微粒子に予想されるもので、重要なことは、このような粒子ではその保有する電子数が非常に正確に一定に保たれていることである。電子の一つのエネルギー状態には $+$ 、 $-$ のスピンの対に対して二個の電子を入れることができるから、一個の微粒子内の伝導電子数が偶数個の場合は、その基底状態は Fig. 1 (a) のようにすべての状態が $+$ —の一对の電子スピンをもって Fermi 準位までつまることになる。これに対して粒子内に奇数個の電子が存在する場合は、Fig. 1 (b) のように Fermi 準位に相手のない電子が一個

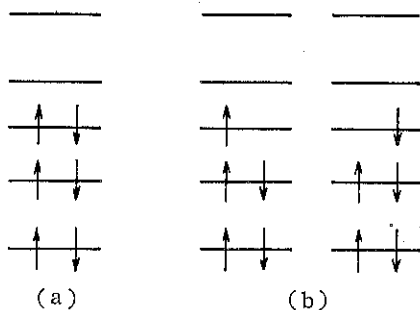


Fig. 1 電子の基底状態における配置

* 京都大学化学研究所
(〒611 宇治市五ヶ庄)
Tel. (0774) 32-3111(代)

残ることになり、そのため磁気モーメントが残る。このように超微粒子では粒子内の伝導電子の数が奇数か偶数かでエネルギー構造が区別され、それから導かれる性質、たとえば比熱、磁性などが変化する。このような現象を久保効果といい、微粒子物性を後述の表面エネルギーでなく電子状態でとらえる考え方である。この現象とその応用はたとえば科学技術庁の創造科学技術プロジェクトにおいて超微粒子をテーマにするチームで検討されている。

2.2 表面エネルギー

粒子が小さくなると全体を構成する分子に対して表面に存在する分子の割合が増す。Fig. 2 に示したような単純立方格子の結晶について、その一辺に並ぶ原子の数と、表面および全体を構成する原子数の割合を比べると Table 1 のようになる。原子間距離を仮に $2\text{\AA}$ としたときのこのモデル結晶の大きさに対応する工業粉体の例もあわせて示しておく。(これらの粉体は単純立方格子結

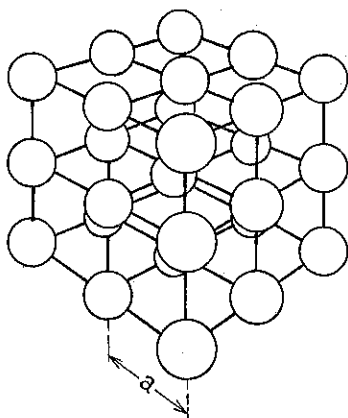


Fig. 2 単純立方格子

晶でなく単なる大きさの目安である。) このように粒子が小さくなると全体に対する表面の割合が増し、 $1\mu\text{m}$ 程度以下になるとこの効果は無視できない。

表面とはある相の連続構造がとぎれた場所であり、一般には必ず他の相に接しているから界面という。ある連続相、たとえば、Fig. 2 の結晶構造の表面の原子は結晶側では隣接原子と結合しているが、外側には何もないからそれだけ余分のエネルギーをもっている。いま、最隣接原子間の相互作用力——結合エネルギーを E とする。原子一個あたりの最隣接原子数——配位数を k 、結晶全体の原子数を n とすると、結晶が充分大きいとき結合エネルギーの総和 H は(1)式で与えられる。

$$H = \frac{Ekn}{2} \quad \dots\dots(1)$$

固体が破断されるときは原子間の結合がきれて両側に新しい表面ができるから、隣接原子間距離を a とすると、単位表面積あたりのエネルギー r は(2)式で与えられる。

$$r = \frac{E}{2a^2} = \frac{H}{kna^2} \quad \dots\dots(2)$$

r は固体の表面自由エネルギー (表面張力) である。 H は固体の凝集エネルギーだから固体の表面自由エネルギーも本質的にはその固体物質の凝集エネルギーであり、その化学結合の様式によって異なってくる。固体が分子性結晶なら London-van der Waals 力、イオン結晶ではクーロン力、金属は金属結合、共有結合結晶は電子対結合である。また、Fig. 2 でわかるように、結晶の稜や角ではその配位数の変化が面より大きいから当然大きなエネルギーをもつ。食塩結晶の粒子径と表面エネルギー、稜エネルギーの関係を Table 2 に示した。化学的に同じ組成でも多形、すなわち、結晶構造が異なると面の原子配列が変わるから表面エネルギーも変わっ

Table 1

1 辺の 原子数	表面の 原子数	全体の 原子数	表面の全体 に対する 割合 (%)	粒子径と粉体の例
2	8	8	100	
3	26	27	97	
4	56	64	87.5	
5	98	125	78.4	
10	488	1 000	48.8	2 nm
100	58 800	1×10^6	5.9	20nm, コロイダルシリカ
1 000	6×10^6	1×10^9	0.6	200 nm 二酸化チタン
10 000	6×10^8	1×10^{12}	0.06	$2\mu\text{m}$ 軽質炭酸カルシウム
100 000	6×10^{10}	1×10^{15}	0.006	$20\mu\text{m}$ 抹茶, 胡粉

Table 2 食塩結晶の粒子径と表面エネルギー、稜エネルギー
(NaCl 1g について)

稜の長さ (cm)	個 数	全 表 面 積 (cm ²)	全稜の長さ (cm)	表面エネルギー (erg/g)	稜エネルギー (erg/cm)
0.77	1	3.6	9.3	1080	2.8×10^{-5}
1×10^{-1}	4.6×10^3	2.8×10	5.5×10^2	8.4×10^3	1.7×10^{-3}
1×10^{-2}	4.6×10^5	2.8×10^2	5.5×10^4	8.4×10^4	1.7×10^{-1}
1×10^{-3}	4.6×10^8	2.8×10^3	5.5×10^6	8.4×10^5	1.7×10^1
1×10^{-4}	4.6×10^{11}	2.8×10^4	5.5×10^8	8.4×10^6	1.7×10^3
1×10^{-5}	4.6×10^{17}	2.8×10^5	5.5×10^{12}	8.4×10^8	1.7×10^7

てくる。

2.3 粒子表面の結晶構造

結晶を構成する原子は各格子点に固定されているのではなく、周囲の原子との相互作用による最も安定な位置で熱振動しながら存在しているから、表面に近いところでは連続相内部と違って電荷の釣合がとれず、格子点から移動してできるだけ安定な位置をとる。すなわち、結晶構造が乱れる。とくに粉砕法で製造された粉体は加えられた機械的エネルギーによる格子歪みも生じるから、たとえば、石英についてこの乱れた表面層の存在はかなり古くから考えられており Beilby 層といわれ、数100Åにも達するといわれている。化学反応で製造された粉体でも、微粒子になると格子定数が変化する。一般に粒子径が小さくなると格子定数が大きくなっているが、金属超微粒子では固体の表面張力によって粒子径が小さい程、格子定数も小さくなるものもある。この圧縮率から金属の表面張力が計算でき、たとえば、金に対して $\gamma = 1400 \pm 65 \text{ erg/cm}^2$ 、銀で $1415 \pm 30 \text{ erg/cm}^2$ という値が得られているが、これらは他の方法で得られた値とほぼ同じである。このような構造変化は当然その物質の性質にも影響する。

実際の結晶は完全な平面で囲まれた多面体ではなく、結晶成長の過程で分子、原子オーダーのステップ、稜、キンクなどが多数存在しているし、また、結晶構造の不整、すなわち転位の存在も無視できない。とくに粉砕により得られた粉体では表面付近に多くの構造不整が多く、物質によっては、極言すれば一種の無定形層で結晶粒子表面が覆われているといってもよい。格子不整による物質のエネルギー増大は結晶構造、不整の種類、程度によって違い、対称性の高いイオン格子や分子格子では熱含量の増加が大きい。このような転位の存在はX線回折や顕微鏡観察でわかるが、最近の高性能電子顕微鏡では分子オーダーでの直接観察も可能である。その例をFig. 3 に示しておく。

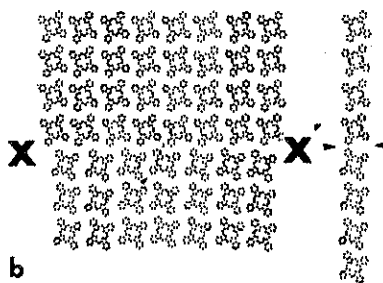
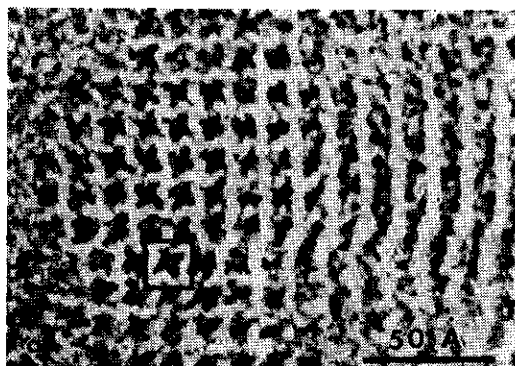


Fig. 3 電子顕微鏡で観察された結晶構造不整

格子不整の一つに本来その構造に含まれない他の原子の混在によるものがある。たとえば、シリカの構造中にAlが混在すると、 Si^{+4} が Al^{+3} と置換されたためにAlの周辺にプロトンが一個引きつけられ固体酸を形成する。このような現象については触媒作用に関係した研究が多い。

2.4 粒子表面の化学構造

粉体粒子の表面は一般にはいわゆる「工業的表面」であって固体物性論的な取扱いができるような「理想的表面」ではない。金以外の金属では空気中では表面に多少とも酸化皮膜が形成されるし、また、表面に吸着、凝縮した水が解離して H^+ または OH^- となり固体表面に化学基を形成することも多い。 SiO_2 、 TiO_2 、その他金属

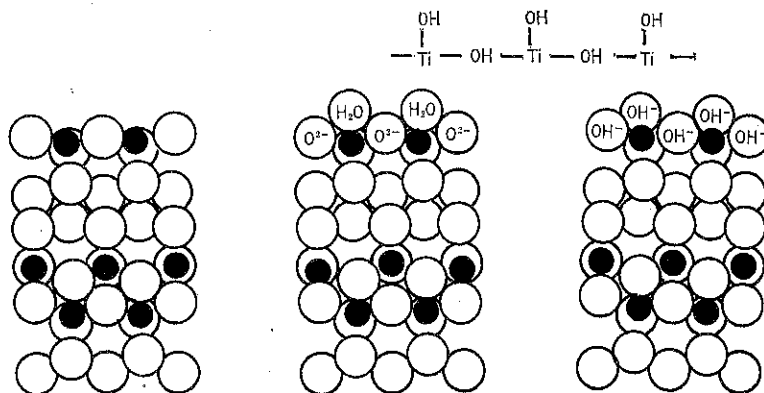


Fig. 4 アナタース形酸化チタンの(001)面における水の吸着と水酸イオンの形成

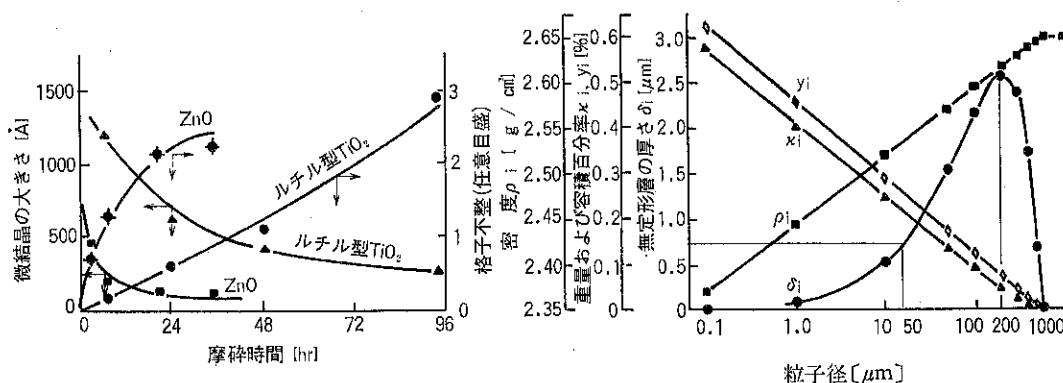


Fig. 5 (a) 摩砕過程におけるルチル型 TiO_2 および ZnO 粉末の粒子径と格子不整の変化

(b) 石英の摩砕における粒子の大きさと無定形化 (実験用ボールミル)

酸化物の表面にはこのような M-OH 基が存在して化学的な活性表面になっている。 TiO_2 についての例を Fig. 4 に示した。これら親水基を介在して、一般の無機粉体粒子表面には水素結合で強く吸着した水分子が存在することが多く、このように表面に化学的に固定された水は通常の乾燥操作では脱離しない。カーボンブラックの表面にも COOH , C=O , >C-OH などの活性基が多数存在し、ゴムに対する補強効果もゴム分子のラジカルとこれら活性基の相互作用によるとされている。

3. メカノケミストリー

前述のように、粉砕や加圧など機械的なエネルギーを加えることによって粒子の構造不整が増し、結晶子の大きさが減少するなど、系が不安定化してエネルギー含量が増加することによって物性が変化することをメカノケミストリーという、Fig. 5 にその例を示しておく。以前から多くの物質について報告されているが、メカノケミカル変化は一般に粉体の活性を増大する方向に働くので、化学反応性の増加や焼結性の改善など工業的な応用への検討が積極的に進められている。しかし、その変

化の程度を計測、制御する方法はまだ確立されていず、主として X 線解析や熱分析などが用いられているが、実験室規模以上にはなっていないようである。とくに表面電子構造に関係するような現象についてはその変化がきわめて微小なるために全く経験的な操作に頼っているのが現状である。なお、粉砕によるメカノケミカル反応は機械的エネルギーによる格子歪であるから、このように変化したものを加熱処理すると元の安定結晶に戻る場合がある。

4. 吸着、濡れ、分散、凝集

粉体はこれまで述べてきたような特性をもつ粒子がきわめて多数集合した状態である。したがって、その比表面積は大きく、コロイダルシリカやカーボンブラックなどでは $100 \text{ m}^2/\text{g}$ 以上のものも珍しくない。このような比表面積の大きい状態にとって、表面と外来分子の相互作用——吸着はきわめて重要な現象である。粒子の表面エネルギーはその固体の凝集エネルギーであるから、吸着機構は外来分子との組合わせで異なってくる。比表面積測定などに用いられる不活性気体の低温吸着では

London-van der Waals 力による。また吸着分子が電気的雙極子 μ をもち、静電場 F のイオン結晶表面に吸着する場合のエネルギー E は $-F\mu$ に等しい。吸着するとその分子は自由度が減るからエントロピーは減少し、吸着は機構にかかわらず発熱過程である。固体と液体の界面では固体の表面に電気二重層が形成され、水中のカチオンかアニオンかが選択的に吸着されてその電荷による電気的反発力と London-van der Waals 力のような粒子間引力の関係で粒子の分散、凝集性が変化する。

粉体の液体に対するぬれも固体-気体界面が固体-液体界面に変化することと定義されるから、これらの界面エネルギーの大小で親媒性が変化する。このとき、固体表面に適当な分子を吸着させることによって表面のエネルギー状態を変化させ、他相との親和性を制御することを粒子の表面改質といい、いろいろ工業的な応用が多い。

5. 超微粉体の計測技術

超微粉体の化学的性質を検討するにあたって必要なことは広い意味の粒度、比表面積などの計測である。しかしながら $1\mu\text{m}$ 程度以下の粉体の粒度測定法で信頼できるものは数少ない。現在、細かい粉をよく用いるファインセラミックス関係の材料は粒度分布よりむしろ比表面積の測定によることが多い。これは媒質との濡れ性や焼結など表面に関連した現象が多いこともあるが、粒度分布を知るための簡便で再現性のある測定法が確立されて

いないことも大きな理由になっている。

前記のような表面の特性に直接関係する現象として浸漬熱がある。これを利用して固体表面の性質を研究する手法は現在すでに広く利用されているが、粉体工学関係ではあまり活用されていない。固体が濡れると、化学反応が起こらなくても発熱することは19世紀末から見出されていた。これは液体分子が固体表面に付着することによるもので、固体の表面積、表面の極性、不均一性、表面電気二重層の形成、液体分子と表面分子の相互作用機構などが関係している。その例を Fig. 6 (a), (b) に示した。浸漬熱一般のすぐれた解説としては、たとえば Zettlemoyer の総説などがある。

浸漬熱 Q は乾燥した固体表面のエンタルピー H_S と固液界面のエンタルピー H_{SL} の差である。エンタルピーの変化量 ΔH と全エネルギーの変化量 ΔE の間には $\Delta H = \Delta E + p\Delta v$ の関係があるが、圧力 p が一定であれば $\Delta v \div 0$ であるから $H \div E$ とみなしてよい。したがって浸漬熱は固体表面が固液表面に変わるとき全エネルギーの変化を示すことになり、上記のように固液界面における液体分子と固体表面分子間の相互作用のすべてがエネルギーの変化として検出されることになる。こうして、いろいろの誘電性固体と液体の浸漬熱の測定から、双極子能率の大きい液体ほど親和性が強い(浸漬熱が大きい)が、無極性粉体ではその影響を受けないことや、金属酸化物の水に対する浸漬熱が粒子表面の電荷に左右されることなどがわかっている。さらに、浸漬液体の蒸気を固

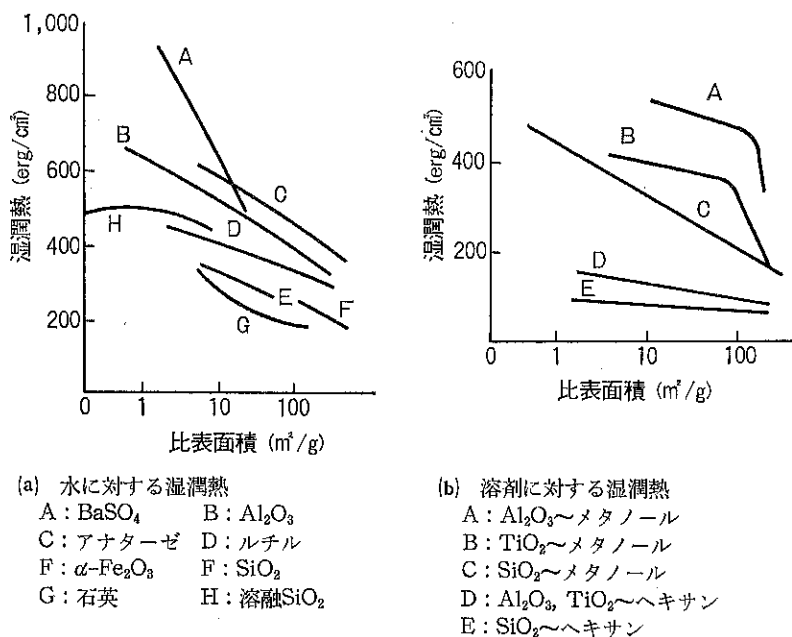


Fig. 6 粉体の粒径と濡れ(湿潤熱)の関係

体粒子表面に少しずつ吸着させ、それを浸漬したときの熱と吸着量の関係——浸漬熱等温線から粒子表面の物理化学的な均一性や、官能基の分布などに関する情報も得られる。このように優れた特長があるので今後積極的にその利用を考えるべきである。

一方、前述のメカノケミカルな諸現象に対しても、統

計的な結晶構造の変化による取扱いが多いが、それはそれとして、こうした表面構造に敏感な計測ももっと活用されねばなるまい。しかし、ある種のセンサーや光電現象のように、きわめて表面付近の電子構造に関係する特性については、まだ基礎的な計測技術は充分に発展しないように思う。今後の重要な課題であろう。

特許一言メモ

No. 49

出願は積極的に

米国の特許審査が先発明(優先)主義であるのに対し、我が国は先願主義であることはすでにご存知のことと思う。

ところで、我々が日頃接している技術の中にもすでに使用されているが、まだ特許権を得ていないもの、あるいは出願はしたが審査請求をしていないもの、さらには出願の手続きさえもしていないものが数多く存在しているものである。

ここで次のような話がある。或る技術を使用して事業を行っているAさんと言う人がいた。Aさんは、この技術について「同業者であれば当然知っているだろうし、また現に使われているだろう」と考え、出願はしなかった。ところが、ここにBさんと言う人がおり、先のAさんの技術と同一、あるいはそれに類する技術を出願し特許権を得るに至った。そして、その時点からBさんは、この技術を使って物を製造し、製造したものを販売し、また、この権利の一部、あるいは全部を第三者に譲渡する権利の一切を所有することとなった。一方、Aさんとはいうと、Bさんが出願する時点ですでに使用していたとの証明がされれば、先使用による「通常実施権」は与えられ、今までの技術を使って物を製造し、販売することはできる。しかしながらAさんには、Bさんと同様の特許権に関する権利の一切が与えられたわけではな

く、特許上から言うとAさんはBさんの技術を単に使わせてもらっている立場にしか過ぎず、たとえ、この技術の実施に当りBさんよりも技術的に価値あるノウハウを持っていようと、工業上権利の根本とも言える特許権を所有していないことはAさんの今後の事業に大きなマイナス面となることは必至である。また、出願時点における技術の実施に関してBさんの方は、まだアイデアの段階に過ぎず、明らかに以前より実施しているAさんの方が技術的に優れていたとしても同様で、実際に出願し特許権を取得したのがBさんであってAさんではなかったことは決定的である。これに対し、当面Aさんには何らの言い訳の余地もなく、ひとえにAさんの特許権に対する「認識不足」と「判断の甘さ」以外によるものではなく、この時の出願しなかったことへの後悔は決して少くはないはずである。

このようにならないためにも、出願に対してはいつも積極的な姿勢が必要であり、その技術が公知であるか否かについての充分な調査の結果にもよるが、くれぐれも消極的な思いと、軽々しい目先だけの判断を下さないことが大切である。また、現在の特許公開制度を意識し、技術の公開を恐れるあまり出願を抑えていたらよそから先に出願されてしまったという事態も起りえる。

(技術資料室)

粉碎操作による超微粉の生成と 応用へのアプローチ

横山 藤平* 浦山 清* 横山 豊和*
Tohei Yokoyama Kiyoshi Urayama Toyokazu Yokoyama

1. はじめに

急速に進歩しつつある先端技術産業を始めとして多くの分野で、近年粉体材料への需要の増大とその粉体特性に対する要求の多様化がみられ、新素材として今までにない特性を持った粉体が要求されている。

粉碎操作は長い歴史のある重要な単位操作の一つであるが、従来の機械的乾式連続粉碎法では、その工業的な生産性を考慮に入れると、平均径2～3μm程度の微粉を得るのが限界のようであった。

今回の当研究所で開発したUMF(Ultra Micro Fine)システムによって、一般的な鉱物からさらに最近注目を集めているファインセラミックス材料となる高硬度物質のサブミクロン粉体を乾式粉碎法で連続的に得る事が可能になった。また、このシステムは粉碎機自体の摩耗によるコンタミネーションが従来の粉碎法に比べて極めて小さいことが特徴である。

そこでここでは、UMFによる粉碎特性、ならびに得られた超微粉の特性の数例とその産業的応用の可能性について述べる。

2. 粉碎粒度と能力

粉碎操作によって、より細かい製品を得ようとすればする程大きな所要動力を必要とし、しかも粉碎原料の特性とその粉碎機構によって碎製品の粒度にはやはり限界がある。従来、微粉を得るためには主に回転式衝撃摩砕機やジェットミル、また湿式ボールミル法などが使用されてきたが、一般的な物質ではFig.1に見られるよう

に、碎製品の平均径は2～3μm前後が限界のようであった。

しかしながら、UMFでは平均0.4μmから1.数μmという超微粉が得られており、しかもその粉碎能力は従来の粉碎機の粉碎粒度と能力の関係から推定される値よりもかなり大きくなっている。中でも特徴的な事は、タルクやマイカのような薄片状粒子ではUMFの粉碎能力が従来の粉碎機と比較して特に大きい事である。

Table 1 はUMFテスト結果の一例を示したものである。体積基準の粉碎所要エネルギー ρE (ρ は密度)をリッチングの式で表わすと

$$\rho E = k \left(\frac{1}{d_1} - \frac{1}{d_0} \right)$$

ここで d_0 , d_1 はそれぞれ原料、碎製品の粒径である。上式の係数 k で定義される粉碎抵抗と、モース硬度と

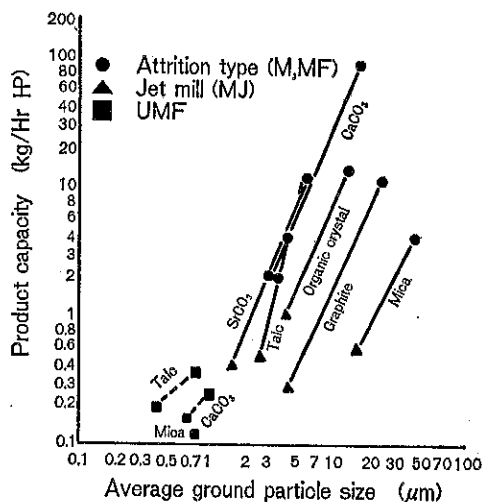


Fig.1 平均粒度と能力

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

Table 1 UMFのテスト例

No.	原料名	モース 硬度	比重	平均径(μm)		粉砕品 比表面積 [m^2/g]
				粉砕品	原料	
1	マイカ	2.8	2.9	0.8	220	18.0
2	マイカ	2.8	2.64	0.7	6.5	22.8
3	電融マグネシア	6	3.58	0.75	250	18.2
4	タルク	1.5	2.74	0.6	18	33.5
5	タルク	1.5	2.73	0.5	50	46.5
6	タルク	1.5	2.73	0.5	30	43.7
7	炭酸カルシウム	3	2.7	0.7	30	8.6
8	炭酸カルシウム	3	2.72	0.75	250	10.2
9	酸化ジルコニウム	6.5	5.6	1.0 ^c	250 ^a	5.3
10	鉛ガラス	7	4.64	1.6	42	1.1
11	窒化ケイ素	9	3.18	1.4	52	9.9
12	ケイ砂	7	2.62	0.4	330	16.4
13	チャイナクレー	2.5	2.6	1.0	180	9.3
14	研磨材	5.5	2.45	1.15 ^c	76 ^s	—

*1. 粒度測定は沈降天秤法による。(ただしSはフルイ法, Cはコールタカウンタ法)

*2. 比表面積の測定はBET法による。

比重の積との間には Fig. 2 に見られるようにかなりの相関関係が認められた。

Table 2 は, UMF で得られた超微粉の特性とその測定法を示したものである。Photo. 1~3 は炭酸カルシウム, タルク, マイカのUMF粉砕品の電子顕微鏡写真であるが, サブミクロン粒子まで細かく粉砕されていることがわかる。また Photo. 4 にみられるように粉

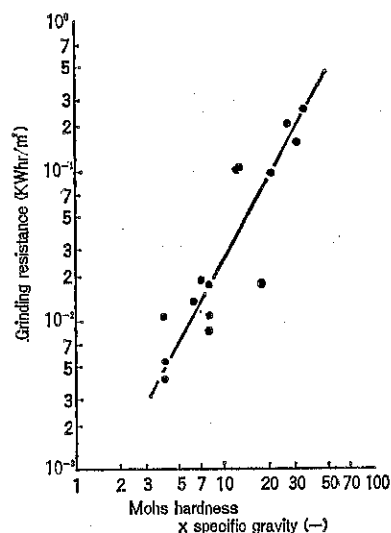


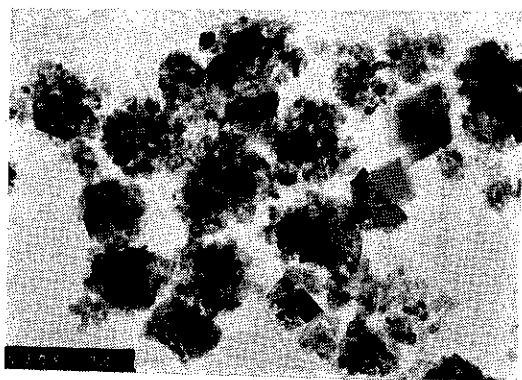
Fig. 2 モース硬度と粉砕抵抗

砕製品は形状が丸みを帯び粒度が比較的そろっているものが多い。

UMF粉砕品は Fig. 3 に示すように原料よりも低い温度で分解する場合が多く, またDTAによる熱分析では例えばチタン酸バリウムのように通常 1460°Cにある立方晶系から六方晶系への転移点が 1000°C 付近まで低下しているように思われる現象もみられる (Fig. 4)。さらに Fig. 5 に示すようにUMF粉砕品の浸漬熱は原料に比べて非常に大きく, 表面活性化が増大していることがわかる。

Table 2 UMFによる超微粉の一般的特徴

特 性		測 定 法	粉 体 例
粒 度	平均径が非常に細かい	沈 降 法 コールタカウンタ法	ケイ砂 (0.4 μm) タルク (0.5 μm) マイカ (0.7 μm) etc
	粒度分布の幅が比較的狭い	電子顕微鏡法	BaTiO ₃ etc.
粒子形状	丸みを帯びている	電子顕微鏡法	BaTiO ₃ 光学ガラス etc.
比表面積	大きい	BET 法	タルク (46.5 m^2/g) マイカ (22.8 m^2/g) MgO (18.2 m^2/g) etc.
熱 特 性	比較的低い温度で重量減少を開始する	TG	炭カル, タルク, マイカ etc.
	転移点が低くなる	DTA	BaTiO ₃
	表面活性が大きい	カロリメータ(浸漬熱)	Si ₃ N ₄ , ZrO ₂ etc.
結晶格子	格子不整の増大がみられる	X線回折	Si ₃ N ₄ , ZrO ₂ , 炭カル, ケイ砂, etc.



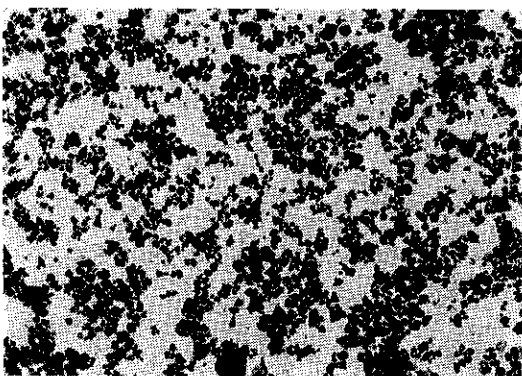
● 0.1 μm

Photo. 1 炭酸カルシウム粉砕品



● 0.1 μm

Photo. 2 タルク粉砕品



● 1 μm

Photo. 3 マイカ粉砕品

また、X線回折によると一般にUMF粉砕品ではその原料に比べて、Fig. 6 にみられるように回折強度ピークの低下、ブロードニングの増大から結晶粒の微細化、結晶格子の不均一歪の増大が推測され、これらが粉体の活性化と強い関連があると考えられる。



● 1 μm

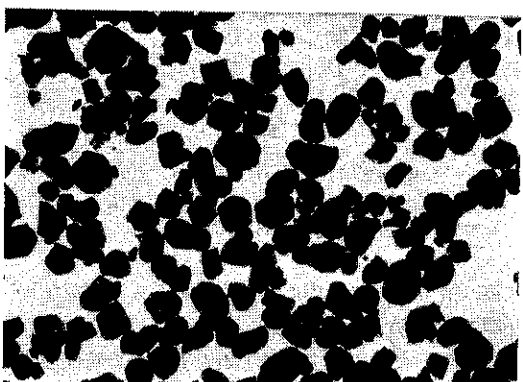


Photo. 4 チタン酸バリウムの原料(上)と粉砕品(下)

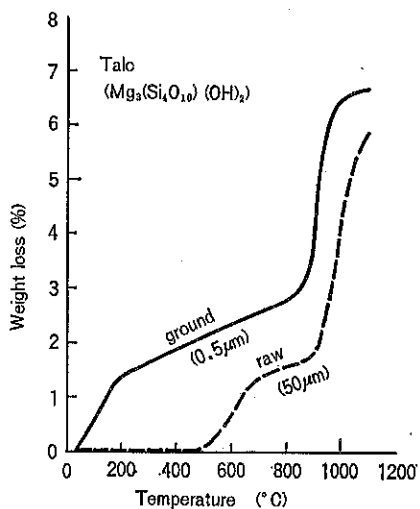


Fig. 3 タルクの熱分解曲線

3. 応用へのアプローチ

上述のようにUMFによって得られたサブミクロン粉体は、従来見られなかった超微粉として種々の特異な性

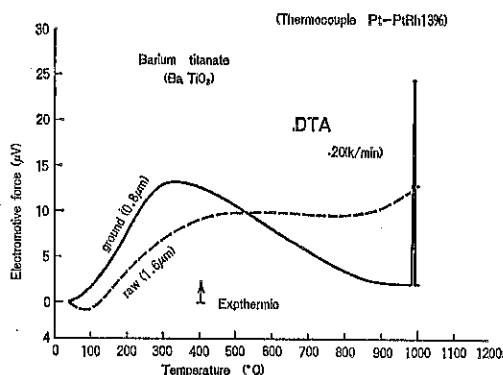


Fig. 4 チタン酸バリウムの示差熱分析

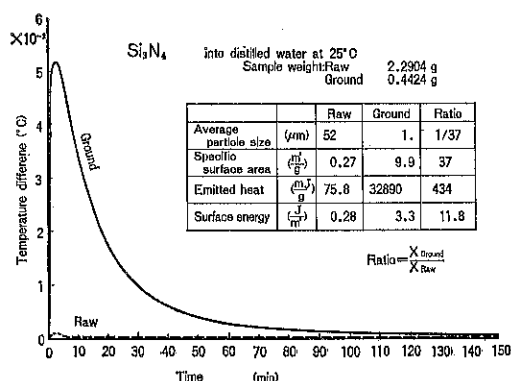


Fig. 5 窒化ケイ素の浸漬熱

質を示すことがわかっており、粉碎機種ならびに得られた超微粉の特性を生かして幅広い応用の可能性が考えられるので、それらのいくつかについて以下に紹介する。

3. ファインセラミックス分野への応用

各種の先進技術分野で新素材として注目されているファインセラミックスの機能と材料の代表例を Table 3 に示した。

これらの原料は粉体の形で取扱われることが多いが、その際、粉体の粒度分布、形状、内部および表面の構造等が焼結過程に非常に大きな影響を与える。超微粉の効果に限界はあるものの、一般に粉体の粒子径が小さくなると単位体積中の接点の数はそのほぼ2乗に反比例して増大し、物質の全移動度が飛躍的に増大して強度も増す。たとえばフェライトメモリコアについて焼結体の結晶粒径 $D^{-1/2}$ と圧壊強度 σ_f はほぼ直線関係にあることが報告されており、焼結体の結晶粒径が小さくなるほど機械的強度が大きくなる。

また、粉体に機械的衝撃等を加えることにより、空孔濃度や結晶歪等を増大させその活性化をはかることによ

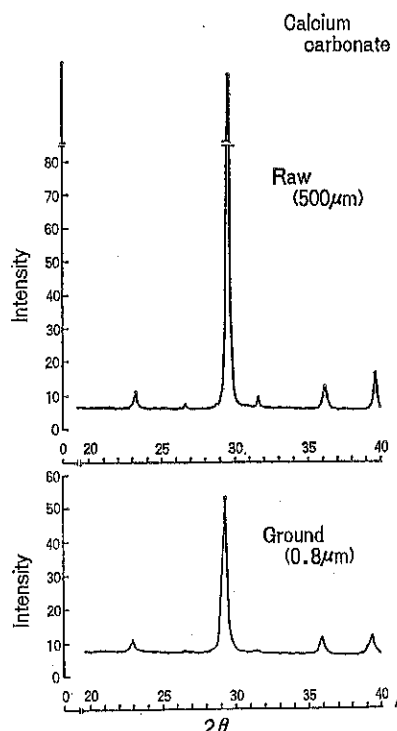


Fig. 6 炭酸カルシウムのX線回折 (Cu-Kα)

って焼結の促進やその強度の向上が期待できる。

一方、セラミックス特性の信頼性向上のためには、粒度分布あるいは粒界の様相が均質で、高密度であることが要求される。

フェライト粉体等では、成形圧力の対数と比密度 (ρ/ρ_0) の間に直線関係が得られており、原料粉体の粉碎効果が大きいほど低い成形圧力で高密度が達成され、圧縮成形処理に有利であり、製品の電気的特性も良い結果が得られている。しかしその反面、細かくなり過ぎると凝

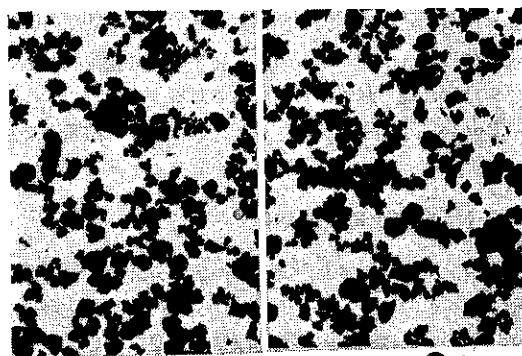


Photo. 5 ZrO_2

Table 3 ファインセラミックスの機能と材料の代表例

機 能	用 途	主 材 料
電氣的機能	I C 基板 コンデンサ 発振子, フィルタ 電気炉 サーミスタ, 温度センサ バリスタ ガスセンサ 電池用固体電解質	Al_2O_3 , SiC BaTiO_3 チタン酸ジルコン酸鉛 LaCrO_3 , SiC BaTiO_3 , ZrO_2 $\text{ZnO-Bi}_2\text{O}_3$ SnO_2 , ZnO $\beta\text{-Al}_2\text{O}_3$, ZrO_2
磁氣的機能	軟磁性 硬磁性	磁気記録ヘッド フェライト磁石 Zn-Mn フェライト, $\gamma\text{-Fe}_2\text{O}_3$ $\text{SrO} \cdot 6\text{Fe}_2\text{O}_3$
光学的機能	透光性 導光性 反射性 蛍光性 電気光学効果	赤外線透過用窓材 光ファイバー 集光材 発光ダイオード 光メモリ素子 $\text{Al}_2\text{O}_3(\text{MgO})$ SiO_2 SnO_2 , TiN GaAs:Si PLZT
熱的機能	耐熱性 断熱性 伝熱性	耐火材, セラミックエンジン 断熱材 大型集積回路放熱板 ZrO_2 , Si_3N_4 , Al_2O_3 $\text{CaO} \cdot n\text{SiO}_2$ BeO
機械的機能	硬質機能 強度機能— —焼結体 —強化体 耐摩耗性	切削工具, セラミックライナ 耐強度材料 エンジニアリングセラミック メカニカルシール Al_2O_3 , WC, TiC, SiC, C Si_3N_4 , SiC 強化ガラス Al_2O_3 , Si_3N_4 , SiC
生物 化学的機能	生物骨材代替性 担体性 触媒性 耐食性	人工骨, 人工歯根 固定化酵素担体 触媒 蒸着容器, 耐食部材 Al_2O_3 Al_2O_3 , SiO_2 , TiO_2 $\text{K}_2\text{O} \cdot n\text{Al}_2\text{O}_3$, フェライト TiB_2 , Si_3N_4 , SiC
原子力 関連機能	原子炉材	核燃料 制御材 減速材 UO_2 , UC B_4C BeO, C

* ゴシック体で示した材料はUMFでテスト経験のある物質である。

集や脱気等, 取扱上の問題が起こり, また焼結品の収縮度の増大等, デメリットの面も発生し, 最適粒度があることは既に知られているところである。

Photo. 5 は酸化ジルコニウム粉砕品の電顕写真である。

3.2 表面改質への応用

塗料, 化粧品, 食品, 薬品等の広い分野で, 粉砕の各種溶媒への分散性の向上, 耐摩耗性塗料や導電性顔料の製造等のために, 粉体の表面改質が重要なプロセスである。表面改質法には, コーディング法, カプセル化法, 沈澱反応法, あるいはコロナ放電等の高エネルギーを利

用する方法などがあるが, その一つとして複合粉砕によるメカノケミカル反応を利用した方法がある。すなわち, 2 種以上の物質の混合物を粉砕機で処理すると, 新生表面の活性化により一方の物質の表面に他物質が吸着しないしは反応・結合して表面改質がはかれる。

UMFにおいては処理される粒子にエネルギーが有効に加えられて粉砕が進行し, 粒子の高度な表面活性化が実現されるために適当な系を選択すれば, 望ましい表面改質が可能であると考えられ, 今後の研究の大きなテーマの一つである。

3.3 触媒への応用

UMF粉碎品の粒度が特に細かく、比表面積が大きく、かつその粉体粒子の結晶格子の乱れによる活性化が大きいという特性は、触媒としての大きな可能性を秘めており、また最も手近なかつ重要な課題の一つとも考えられる。

3.4 複合材料への応用

2種類以上の素材を複合して新しい材料を作り、何らかの有効な機能を生み出すことは科学技術の進歩と産業の発展に寄するところが極めて大きい。

金属、無機、有機物質の組合せにより複合材料の実例は非常にバラエティに富んでいる。この分野でも粉体原料の種類は大変多く、今までにない超微粉を利用することによって従来の複合材料の特性の向上、あるいは新しい材料の開発が可能であると思われる。

例えば、DSR（分散強化ゴム）の補強材としてのカーボンブラックや各種樹脂成形材料等の増量、粘度調節、物性改質のための充填材としての炭カル、タルク、カオリン、マイカ、クレー等多くの物質がある。それら

には分散性の問題もあり適当な粒子径が要求されるが、一般的には平均粒子径のより小さいものほど比表面積が増加し、それと相まって優れた補強性を与える。

4. 今後の問題

UMFシステムは開発後まだ日が浅く、なお研究段階にあるが、種々の材料によるテストによって、その特性が徐々に明らかになってきた。現在のところUMFによる粉碎に適した材料は、固くても脆性のある物質、熱に強い無機材料が主であるが、操作上粉碎の不可能な材料もあり、今後は比較的熱に弱い物質の粉碎についても装置の改良により応用範囲をさらに広げてゆきたい。

一方、砕製品は一般に非常に活性化が強いために、大気中では水分や他の物質を吸着し変質するおそれがあるために、不活性ガス中での粉碎が必要となるであろう。

また、このUMFの活性化のメカニズムを積極的に応用し、種々のメカノケミカル反応を実現したり、さらには他の活性ガスの導入による反応を伴う粉碎操作も今後の課題である。

特許一言メモ No. 50

“特許”を生きものにたとえろと

発明ができた時は「卵」が生まれたとき。特許庁へ出願することはその卵を「ふか器」に入れるようなもので、それから1年半たつと、こんなものがふか器に入ったよ！と世間に紹介、すなわち公開される。

そしてふか器に入れてもふかしなときは審査不合格であり、出願公告されたときはひな鳥の「誕生」ということになる。ここで異議申し立ての期間を無事通過すると特許登録され、人間でいうと一人前の社会人として認められたことになる。ただし存続期間の途中で無効にさ

れてしまい病死することもあり、また存続期間15年を満了して「天寿」を全うすることにもなる。

ところで、その“特許”が立派な社会人であったかどうかは結果的に言っているいろいろあり、役に立つ社会人にするためには“いい発明”をしなければならぬし、いい社会人になるよう上手に育ててゆく不斷の努力が必要である。

辻本著「特許の現場学」ダイヤモンド社 参考

（技術資料室）

超微粉の凝集と分級効率

——迅速分級原理の提案——

菅沼 彰*

Akira Suganuma

1. はじめに

風力分級機は、粉体を気流中に浮遊させた状態で分級する。粗粒か微粒かの判定基準は気流中に浮遊した粒子の空気力学的挙動である。粉体を気流中に浮遊させた場合、微細粒子で構成された大きな凝集体が存在することが多い。凝集二次粒子の空気力学的挙動は、単一粗大粒子の空気力学的挙動に類似しているから、凝集体を構成する一次粒子がいかに微細であっても、風力分級機はこの凝集体を粗大粒子として分級してしまうことになる。分級機に供給する原料粉体をどのようにして一次粒子にまで分散させるか、さらに、分散させた一次粒子の再凝集現象による妨害をどのようにして回避するか、ということが、微粉体の風力分級にとっては重要な課題である。

原料粉体の分散は、適切に設計した空力器具、たとえばエジェクターなどによって実現できるようである。“迅速分級原理”は、エジェクターなどによって一次粒子にまで分散した微粒子が、分級完結以前に再凝集してしまう現象を回避する指針である。再凝集現象による妨害を回避するためには、空力器具で分散させた原料粉体をただちに分級空間に導入しなければならない。これは明らかであり、またその実行も比較的容易であるが、これだけではまだまだ不十分である。分級空間で分級がおこなわれている間に再凝集が進行する現象の影響を回避するためには、分級空間に導入されたすべての粒子が“迅速に”分級されてしまわなければならない。すなわ

ち、分級空間における粒子の滞留時間はごく短時間でなければならない。もしも、分級粒径に等しいかごく近い粒径の粒子の滞留時間が長いならば、このような粒径の粒子は次第に分級空間内に蓄積し、その濃度は非常に高くなる。長い滞留時間と高い粒子濃度は再凝集を促進し、正確な分級を妨害する。

少なくとも結果的には“迅速分級原理”を満足しているように思われる風力分級機はすでにいくつも発表されているが、このような考え方が明白な形で議論されたり、設計や開発に生かされた例は少ないようである。

2. 分級空間内粒子滞留時間

例として、Fig. 1 に示すような仮想的風力分級機を考えることにする。気流は上昇流速 u で鉛直ダクト内を流れていて、分級原料はダクト上端から H_1 、下端から H_2 の位置から供給される。この分級機のカットサイズは、静止空気中における粒子の重力沈降速度を v_g とし

$$u - v_g = 0 \quad (1)$$

で与えられると考えてよいであろう。

重力沈降速度が u よりも小さい微粒子はダクト内を上方に移動して、上端から微粒産物として分級空間を去る。重力沈降速度が u よりも大きい粗大粒子は下方へ移動して下端から粗粒子産物として分級空間を去る。分級空間内における粒子の移動速度を v^* であらわし、上向きの移動を正にとれば、

$$v^* = u - v_g \quad (2)$$

分級空間内における粒子の滞留時間 t^* は次のようになる。

* 東京大学工学部化学工学科

(〒113 東京都文京区本郷7-3-1)

Tel. (03) 812-2111(代)

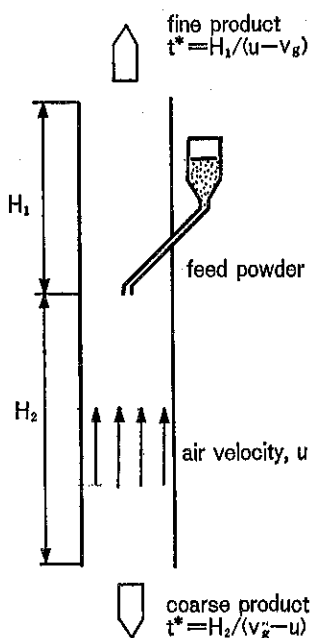


Fig. 1 Particle residence time (t^*) in a simple pneumatic classifier
(v_g : gravitational settling velocity of a particle in air)

$$\text{微粒子 } (v^* > 0) \quad t^* = H_1 / v^* \quad (3)$$

$$\text{粗粒子 } (v^* < 0) \quad t^* = H_2 / (-v^*) \quad (4)$$

粒度がカットサイズに近い粒子の滞留時間は非常に長い。もしも粒子の重力沈降速度 v_g が u に等しいならば、その粒子の v^* はゼロとなり、少なくとも理論的には滞留時間が無限大になってしまう (Fig. 2)。

同様の議論が、旋回気流型の風力分級機に対しても可能である。そのためには、Fig. 1 の仮想分級機における

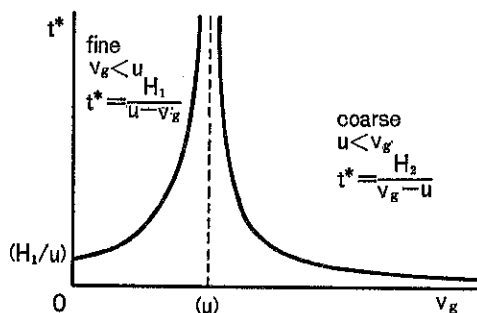


Fig. 2 Gravitational settling velocity in air (v_g) and residence time (t^*) in a classifier shown in Fig. 1

重力を旋回気流の遠心力でおきかえ、上昇気流を旋回気流の半径方向内向き気流速度でおきかえて考えればよい。もしも分級用旋回流が2次元渦で、旋回流中に導入された粒子は旋回流の内縁か外縁に達した場合にのみ分級空間を脱出できるものとするれば、この旋回気流のカットサイズに近い粒度の粒子の滞留時間はきわめて長いものになり、カットサイズに等しい粒子は旋回流から脱出できないことになる。

3. 迅速分級原理

定常状態で運転されている分級機に分級空間内粒子ホールド・アップは、分級空間内粒子滞留時間に比例する。したがって、分級空間のカットサイズに近い粒子の滞留時間が長いということは、分級空間内におけるこのような粒子のホールド・アップが大ききことを意味している。このような粒子が分級空間内へ連続的に導入されると、たとえ供給速度や供給濃度が非常に低くても、粒子は分級空間内に徐々に蓄積していき、分級空間内における濃度は非常に高くなる。滞留時間が長く、濃度が高い状態では再凝集が促進され、正確な分級は望めない。

このような観点からすれば、微粉用の風力分級機は、すべての粒度フラクションをできるだけ迅速に分級するように設計するべきである。分級空間における粒子滞留時間はできるだけ短くするべきであり、どの粒度フラクションの滞留時間も長くはいけない。たとえ一部の粒度フラクションであってもそれが長い滞留時間を持つならば、そのフラクションは分級空間内に蓄積することになる。粒子の蓄積は再凝集を促進し、気流のフロー・パターンをゆがめる。どちらも正確な分級を妨害する。

4. 応用例

筆者らの研究室で開発中の風力分級機^{1,10,11,12,13}は、迅速分級原理という設計思想から出発したものであるが、このほかにも、少なくとも結果的には迅速分級原理という設計思想にそっていると思われる分級機がいくつも発表されている^{5,6,7,8,9}。

5. むすび

超微粉用の風力分級機を開発・完成するに際して有用であろうと思われる設計指針、「迅速分級原理」を提案した。ここに示した我々自身によるこの原理の応用例は、まだ研究途上のものであり、カットサイズはまだ「超微粉」に達していないし、分級精度も不十分である。しかしながらこれらの分級機の性能が、少なくとも 0.4 kg/m^3 程度の高濃度に至るまで、原料供給速度の影響を受けないということは、再凝集による性能低下がほ

とんど起こっていないということを意味している。そしてそれは、粒子滞留時間がすべての粒度フラクションについて数 ms 程度という、迅速な分級によるものと考えられる。

(この内容は、大部分、Pacific Region Meeting of FINE PARTICLE SOCIETY——Honolulu, August, 1983——にて講演したものである。)

参 考 文 献

- 1) Suganuma, A., H. Yamamoto, K. Yoshie and R. Aoki: Proceedings of Int. Sympo. on Powd. Tech. '81 (Kyoto), p. 742 (1982)
- 2) Yamamoto, H., A. Suganuma and D. Kunii: Kagaku Kogaku Ronbunshu, **3**, 12 (1977)
- 3) Yamamoto, H., K. Yoshie, A. Suganuma and R. Aoki: J. Soc. Powd. Tech., Japan, **18**, 920 (1981)
- 4) Yamamoto, H. and A. Suganuma: Kagaku Kogaku Ronbunshu, **9**, 183 (1983)
- 5) Maly, K.: Diss. Universität Karlsruhe (1978)
- 6) Maly, K. and F. Löffler: Acta Pharmaceutica Technologica, Supplement **7**, 27 (1979)
- 7) Löffler, F. and K. Maly: Particle Technology (Proceedings of 1981 Powtech Conference), D2 (1981)
- 8) Yasukuni, J.: Diss. Doshisha University (1978)
- 9) Okuda, S. and J. Yasukuni: Proceedings of Int. Sympo. on Powd. Tech. '81 (Kyoto), p. 771 (1982)
- 10) Yamamoto, H. and A. Suganuma: Kagaku Kogaku Ronbunshu, **8**, 753 (1982)
- 11) Yamamoto, H. and A. Suganuma: Kagaku Kogaku Ronbunshu, **9**, 346 (1983)
- 12) Yoshie, K., H. Yamamoto, A. Suganuma and R. Aoki: Kagaku Kogaku Ronbunshu, **9**, 530 (1983)
- 13) Yoshie, K., A. Suganuma, H. Yamamoto and R. Aoki: Kagaku Kogaku Ronbunshu, **10**, (1984), to be published.

特許一言メモ No. 51

どんなものが“特許”になるか

ごく簡単にいって、「今までにないもので、いま以上に優れた効果のある工業技術上の良い考え」というものが特許になる。

もちろん、この「考え」を特許庁に出願し、ことわけて詳しく説明する。そして一定の審査に合格したものでないと「特許」にはならない。そのうち、「今までにない

もの」とは出願時点で新規なもので、ということであり、「いま以上に優れた効果のある」とは従来のもより進歩していなければならない。

具体的には他の特許公報を読むことによって理解するのが最も判り易いところでもある。

(技術資料室)

超 微 粉 の 分 級

奥田 聡*
Satoshi Okuda

1. 緒 言

超微粉体の定義として、その粉体の種類、普通一般にみられる使用状態に応じてその粒径範囲は異なるが、ここでは概略、ミクロン領域 ($20\ \mu\text{m} \sim 1\ \mu\text{m}$) ないしサブミクロン領域 ($1 \sim 0.1\ \mu\text{m}$) を対象として超微粉体と定義する。また分級法として工業的プロセスで、このような超微粉の分級に最も適合した方法と思われる気流分級法を対象としていかにして高精度、高収率の精密分級を達成するかについて述べたい。

2. 高性能気流分級の原則

気流分級法によって鋭い分級をするための原則としては次の事項が考えられるが、なかなかこれらの総てを満足するような分級器を実現することは難しい。

(1) 原料粉体はできるだけ完全に気流中にまぜ分散させる。

(2) 気流中に分散した原料粉体をできるだけ強力な分離力のもとで来て、分離力を作用させる。この場合、分離力は分級器内部で点あるいは線として瞬間的に働くのではなく、ある帯域に亘ってなるべく長時間働くことが望ましい。

(3) 分級器内の気流はなるべく整流であることが望ましく、局部的渦流は一般に鋭い分級を妨害するものである。

(4) 分離した粗粉と微粉とは再混合しないように速やかに別々の場所へ導き出す必要がある。

以上のような条件に適合した分級器を設計することは

かなり難しいことで、空気力学的基礎と繰り返し試作を重ねる労力がよりよい気流分級器の完成のために必要といえる。

3. 旋回気流型分級器

Fig.1 に旋回気流型の新しい型の一例を示す¹⁾。また Fig.2 に同機による粒度分布曲線を示す²⁾。この分級器において、空気は周囲に配列された案内羽根を通して側壁から中心に向けて吹き込まれ、案内羽根によって円周方向に均等な強力な旋回流を作ることができる。よって Fig.2 に示すようにサブミクロンの領域にわたる

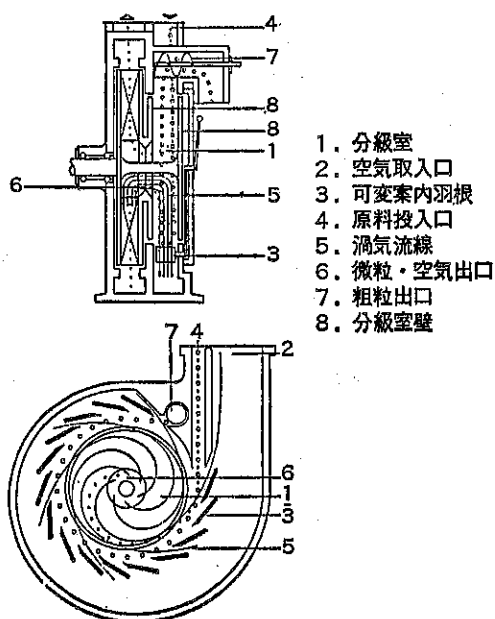


Fig.1 MPS一分級器

* 同志社大学工学部化学工学科

(〒602 京都市上京区今出川通烏丸東入)

Tel. (075) 251-3859

供給量：350 kg/Hr
微粉回収量：88 kg/Hr=28.5%

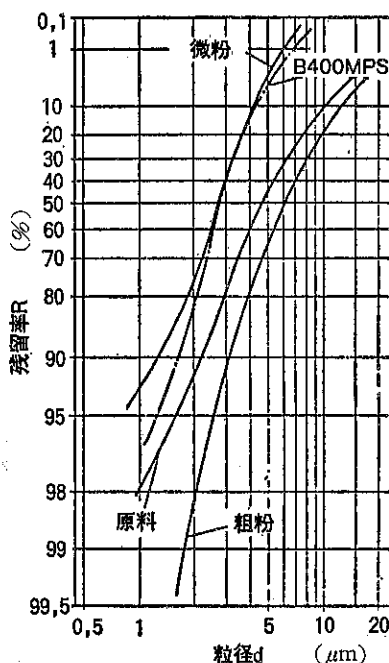


Fig. 2 MPS一分級器 (250MPS) の分級性能の一例 (石炭岩, 比重=2.65)

分級が可能になったものと考えられる。

Fig. 3 は最近開発された Acucut 気流分級器の構造を示す²⁾。

この場合には回転ローター外周より原料は流入し、回転羽根で分散されながら微粉は中央出口より排出される。分級粒径範囲は1~50 μ m で Table 1 に示すよう

に実験用と生産用およびその中間規模の3機種に分かれている。

Fig. 4 は予備的分散と周壁からの二次空気の吸引による均等な旋回気流による効果的分離を目論んだ分級器の一例である。本分級器は機械的可動部分を機体に有せず、単にガスの旋回によって精密な分級を行なおうとするものである。分散室に供給された分級原料粉はこの室内の旋回気流によって分散され、室下部のリング状スリット部より分級室の旋回気流中に落下する。分級室においては、周辺の案内羽根より均等に流入する二次空気流により乱れない半自由渦が形成されている。粗粉と微粉は分級室内で遠心力と内向き気流の平衡によって分級され、微粉は中央部から排気とともに排出される。一方、粗粉は分級室の周辺部から下部に排出され、二次空気は系の吸気運転(減圧運転)によって自動的に分級室内に吸引される。また、この分級器ではファンは図の分級器本体の外に置いてあり、いわゆるファン外部設置型気流分級器といことができる。

Fig. 5 にその部分分難効率曲線を示す。

さらにまた、最もよく考えられた微粉用気流分級器としてミクロンセパレーターを一步進めたスーパーセパレーターMS S型の構造概要をFig. 6 に示す^{6,7,8)}。

原料は搬送空気に乗せられて上部の原料入口①より供給され、分級部に導かれる。分級部ではまず原料はローター⑥の回転により強力な分散を受け、分散状態で分級室に送られるところに本機の特徴の一つがある。Fig. 7 に示すように、ローター周辺には分級域が形成されているが、この分級域では周辺から接線方向に吹き込まれるエアージェットとローターによる強制旋回気流が相まって強力な旋回気流の分級場が形成されているとともに、

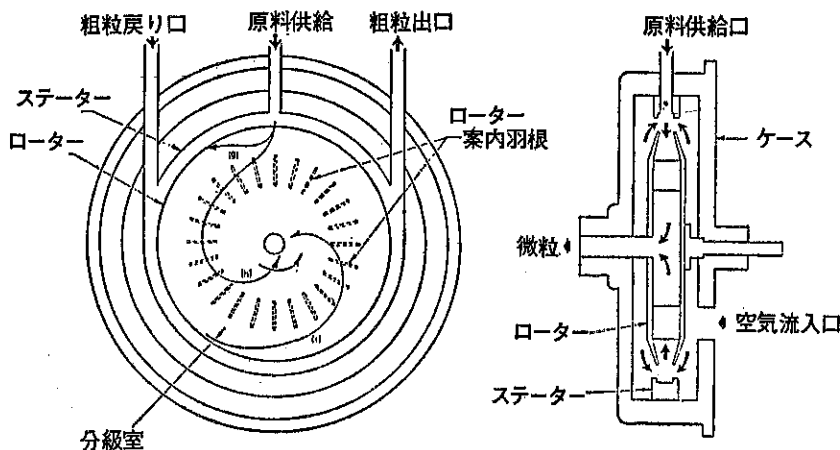


Fig. 3 Acucut 分級器の作動原理

Table 1 Acucut 分級器の性能

項 目	Acucut A12 実 験 用	Acucut B18 実験及び生産用	Acucut C24 生 産 用
分 級 粒 径 範 囲	1.0—30 μm	1.0—35 μm	1.0—50 μm
分 級 の 鋭 さ d_{25}/d_{75}	0.55—0.80	0.55—0.80	0.55—0.80
処 理 量	0.5—10 kg/Hr	10—100 kg/Hr	50—1000kg/Hr
最 小 サ ン プ ル 量	100 g	250—500 g	—
回 転 数	500—4000 rpm	500—3600 rpm	500—3600 rpm
ロ ー タ ー 動 力	0.75 kW	1.5 kW	5.5 kW
圧縮空気量 (4~7 気圧)	0.2 m ³ /min	0.3 m ³ /min	0.6 m ³ /min

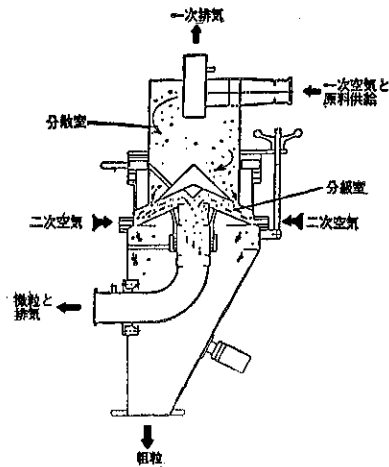


Fig. 4 DS型気流分級器

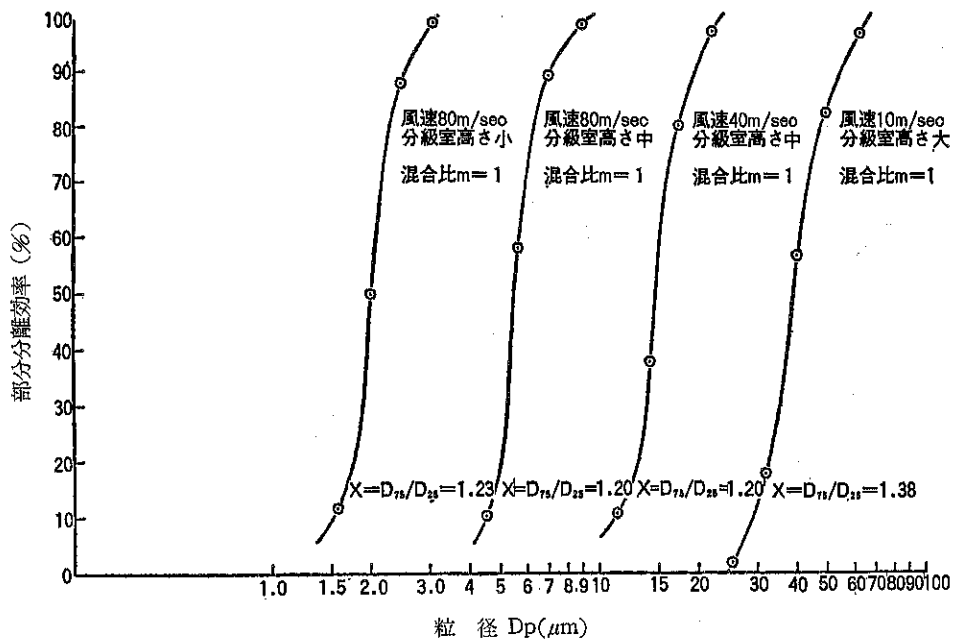


Fig. 5 DS型分級器によるトナーの部分分離効率曲線の一例

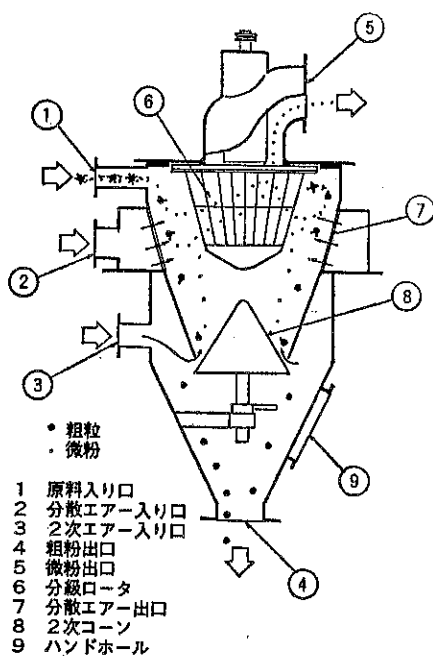


Fig. 6 スーパーセパレーターMSS型の構造概要図

ローターの格子窓（グリッド）による粗粒の反発のため、分級作用が何回も繰り返されるものと考えられる。エアージェットには凝集粉の分散作用があることはもちろんである。

分級された粗粉は Fig. 6 の④よりの2次空気による円錐部での風篩作用を受けて粗粉より微粉を取り除き、鋭い分級を行なう機構をも付加されている。

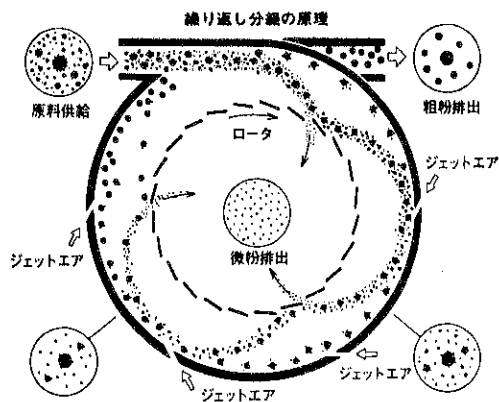


Fig. 7 スーパーセパレーターの分級原理

分級した粗粉は下部の粗粉出口④より排出され、また分級微粉は空気とともに上部出口⑤より排出され、外部の捕集装置により捕集される。

Table 2 はスーパーセパレーター MSS-1型（最大所要動力=5.5 kW, 使用風量=8~12 m³/min, 最高回転数=8000 r.p.m.）の最近の試験結果の一例を示す。

このスーパーセパレーターは、マイクロコンピュータを組み込んだ自動制御装置を別途取付けることにより、自動運転はもちろん最適運転条件、製品粒度のフィードバックによる監視等が可能で、安定した運転、安定した高品質の製品が得られ、省力化が計られる。

4. 流体素子の分級への応用³⁾

Coanda 効果による噴流の壁面への付着流を利用して高速気流を小さい曲率半径で曲げることができる。従って大きい遠心効果を期待することができ、超微粉の分級

Table 2 スーパーセパレーター MSS-1型 による分級例

原料名	処理能力 (kg/Hr)	製品	製品粒度	備考
トナ	35	粗粉側	5 μ m pass 0.1%	良
ゼオライト	95	粗粉側	3 μ m pass 0.2%以下	良
酸化セリウム	30	微粉側	5 μ m pass 100%	良
フェライト	40	微粉側	5 μ m pass 90%以上	良
炭化硅素	35	微粉側	平均径 1.3 μ m	良
炭酸カルシウム	80	微粉側	5 μ m pass 100%	良
金属シリコン	40	微粉側	平均径 2.7 μ m	良
マイカ	70	微粉側	10 μ m pass 90%以上	可
二酸化マンガン	50	微粉側	平均径 1.5 μ m	可
ジルコンサンド	40	微粉側	平均径 1.5 μ m	良
ベントナイト	40	微粉側	10 μ m pass 100%	良
クレー	160	微粉側	5 μ m pass 100%	良
セラミック	35	微粉側	3 μ m pass 99.9%	良

にこの原理を応用することが考えられる。

壁面付着噴流の速度分布を測定するため外径 0.8 φ、内径 0.6 φ のステンレン鋼管でつくったピトー管を用いた。Fig. 8 に主ノズル出口速度 $U_s = 78 \text{ m/s}$ のときの噴流中心に沿ったノズル出口からの各距離における速度分布を示す。また Fig. 8 の各距離における速度分布を縦軸に $U_s/U_{\max}$ 、横軸に y/Y (Y は $U_s = U_{\max}/2$ となる y 座標) にとって示したのが Fig. 9 である。この速度分布はノズルからの二次元自由噴流の速度分布とよく一致している。壁面付着噴流が二次元自由噴流と完全に異なるところは左右対称の速度分布曲線の左方が欠けていることである。またノズル出口速度を 290 m/s まで変えても Fig. 8, Fig. 9 の傾向は変らなかった。そこで噴流中心線の式は円柱の中心を極とし、極から噴流中心線に至る距離を r とする極座標で表わすと、次式で表わされることがわかった。

$$r = (r_0 + W_s/2) + 0.081 \times \theta^2 \quad (2)$$

ただし、 r_0 は円柱の半径、 W_s はノズル幅、 θ はノズル出口からの噴流旋回角度 [rad] である。

上記の噴流中心線の式を用い、また速度分布として二次元自由噴流の式を用いて、壁面付着旋回流中の粒子

の軌跡および速度変化を粒子の運動方程式を用いて数値計算を行なった。ただし抵抗係数 C_D は下記の値を用いた。

$$C_D = 24/R_e \quad (\text{レイノルズ数 } R_e < 2 \text{ のとき}) \quad (3)$$

また、

$$C_D = 10/\sqrt{R_e} \quad (2 < R_e < 500 \text{ のとき}) \quad (4)$$

Fig. 10 および Fig. 11 に粒径範囲が 0.5–50 μm 、ノズル出口速度 U_s がそれぞれ 50 m/s および 200 m/s の場合の粒子の飛行軌跡を示す。50 m/s のときには 5 μm より小さい全粒子は旋回付着流の中に巻き込まれるが、200 m/s のときは、0.5 μm の粒子のみが円柱のまわりの旋回付着流中に巻き込まれるだけである。よってナイフエッジの位置によって任意の粒径で微粒と粗粒に分離することができる。

Fig. 12 は実験装置の概要図、また Fig. 13 に流体素子原理に基づく分級器主要部の詳細を示す。Fig. 14 は Löffler⁴⁾ らによる同一原理と思われる分級器の概要を示す。

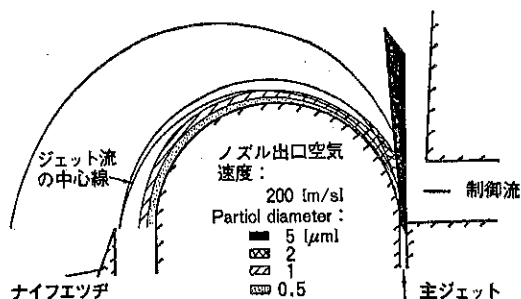


Fig. 8 円柱まわりの付着流中の速度分布: U_s [m/s]

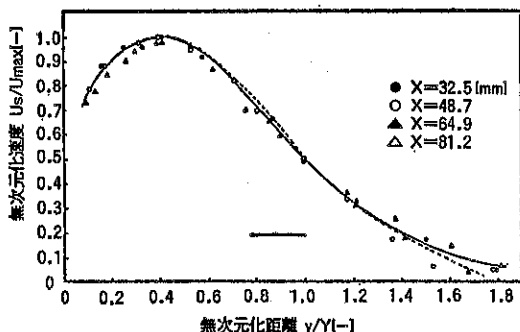


Fig. 9 ジェットの主噴流域の空気流速分布 (Y は $U_s = U_{\max}/2$ の y 軸の距離)

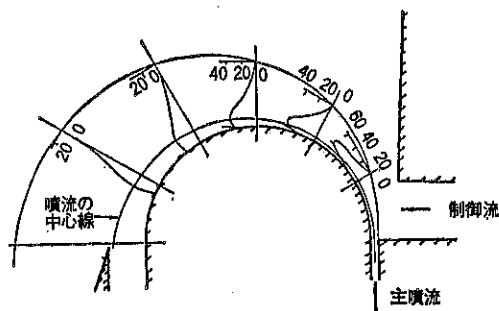


Fig. 10 主ジェットの出口空気速度が 50 m/s の場合の粒子の飛行軌跡

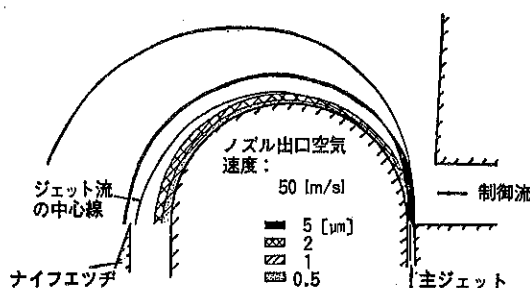


Fig. 11 主ジェットの出口空気速度が 200 m/s の場合の粒子の飛行軌跡

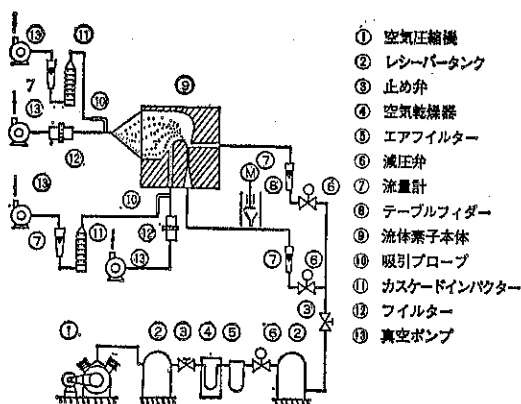


Fig.12 流体素子型分級器実験装置概要

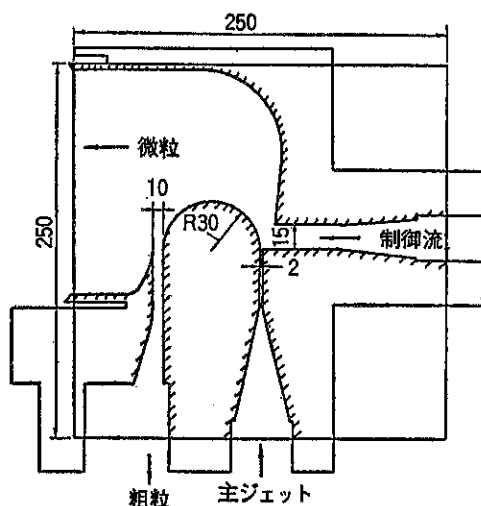


Fig.13 流体素子型分級器の主要部

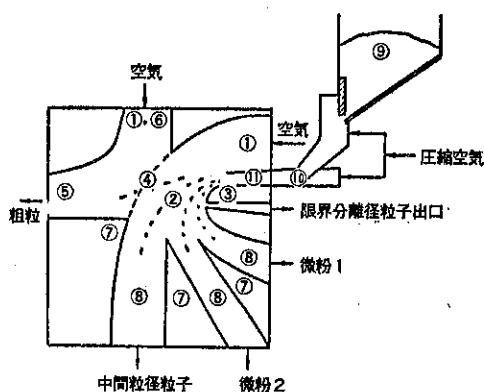


Fig.14 Elbow wind sifter 模式図

5. 微粉分級プロセスの開発

分級器を用いて分級を行なう基本的分級フローシートとしては Fig.15 に示した次の三種類が考えられる。

(A) は空気循環方式で、省エネルギー型であり、熱変形しない原料に適する。

(B) は正圧の押込式の基本型で、概設のバグフィルターの使用ができる。

(C) は負圧の吸引式の基本型で、弱熱性材料にも適する。

高精度の製品、たとえばトナーのように粒径範囲が $20 - 5 \mu\text{m}$ で、その平均値の変動幅は常に $\pm 0.1 - 0.5 \mu\text{m}$ 以内で、さらに $5 \mu\text{m}$ 以下で製品中に入り込む粒子の量、すなわち $5 \mu\text{m}$ 以下で細かすぎて製品にならないものが個数濃度で 3%—24% に任意に調整できるような相当苛酷な要求に答えるようなプロセスの設計を考える。

一般に粉砕機と組合せて使用される場合が多いが、粉砕機の容量が増加するに従って分級器の容量も大きくなり、そのため分級精度は低下する。また二次空気の導入などにより空気流量が増加することによってプロセスの精度、効率が低下するのが一般的である。このような困難に打ち克って目的の高精度のプロセスを作り上げるのはどうしたらよいであろうか。

Table 3⁵⁾ に著者らによって試みられた実験プラント、パイロット、および実装置の三つのプロセスの性能の比較を示す。この場合、幸にして実験装置から実装置にいくに従って精製された製品の収率およびエネルギー効率が増加しているのを見ることができる。

実験装置はジェットミル 1 台 (空気消費量 $5 \text{ m}^3/\text{min}$) と気流分級器 1 台 (空気消費量 $5 \text{ m}^3/\text{min}$) の組合せの粉砕工程で $25 \mu\text{m}$ 以上の粗粒のカットを行ない、気流分級器 1 台 (空気消費量 $5 \text{ m}^3/\text{min}$) の分級工程で $5 \mu\text{m}$ 以下の微粒のカットを行なっている。原料処理量は $10 \text{ kg}/\text{Hr}$ で、空気消費量はすなわち $5 \text{ m}^3/\text{min}$ である。

パイロットプラントにおいては、粉砕工程で上限カットの精度を上げるため気流分級器 (空気消費量 $5 \text{ m}^3/\text{min}$) がもう 1 台増えている。

実装置はジェットミル 1 台 (空気消費量 $30 \text{ m}^3/\text{min}$) と気流分級器 (空気消費量 $10 \text{ m}^3/\text{min}$) および気流分級器 (空気消費量 $5 \text{ m}^3/\text{min}$) による粉砕工程と、気流分級器 ($10 \text{ m}^3/\text{min}$, $5 \text{ m}^3/\text{min}$, および $2 \text{ m}^3/\text{min}$ 型) による分級工程の組合せによるプロセスである。このプロセスにおける原料処理量は $140 \text{ kg}/\text{Hr}$ で、製品としての回収率は $92.5 \text{ wt} \%$ で、実験装置の $70 \text{ wt} \%$ に比べて大きい値を示す。また精製品のエネルギー効率も高い。

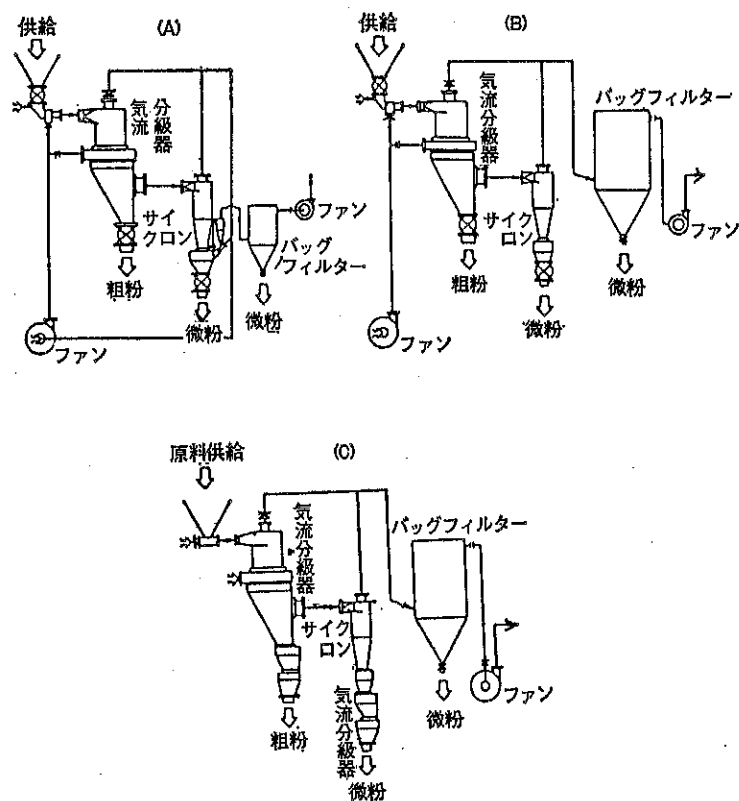


Fig.15 分級器による基本的分級フローシート

Table 3 三つのプロセスの比較

	実 験 装 置	パイロット・プラント	実 装 置
粉 砕 工 程 (粗大粒子カット)	ジェットミル(5 m ³ /min) 1 基 + 気流分級器(5 m ³ /min) 1 基	ジェットミル(5 m ³ /min) 1 基 + 気流分級器(5 m ³ /min) 1 基 + 気流分級器(5 m ³ /min) 1 基	ジェットミル(30 m ³ /min) 1 基 + 気流分級器(10 m ³ /min) 2 基 + 気流分級器(5 m ³ /min) 1 基
分 級 工 程 (微小粒子カット)	気流分級器 1 基 (5 m ³ /min)	気流分級器 1 基 (5 m ³ /min)	気流分級器 各 1 基 (10 m ³ /min) + (5 m ³ /min) + 2 m ³ /min)
原 料 処 理 量	10 kg/Hr	15 kg/Hr	140 kg/Hr
粉砕工程での エネルギー効率 (η_1)	14.99 cm ² /kg·m	18.16 cm ² /kg·m	25.08 cm ² /kg·m
製 品 回 収 率	70 wt %	80 wt %	92.5 wt %
精 製 品 の エネルギー効率 (η_2)	8.02 cm ² /kg·m	12.30 cm ² /kg·m	20.70 cm ² /kg·m
微粉粒子による エネルギー損失 ($\eta_1 - \eta_2$)	6.97 cm ² /kg·m	5.86 cm ² /kg·m	4.38 cm ² /kg·m

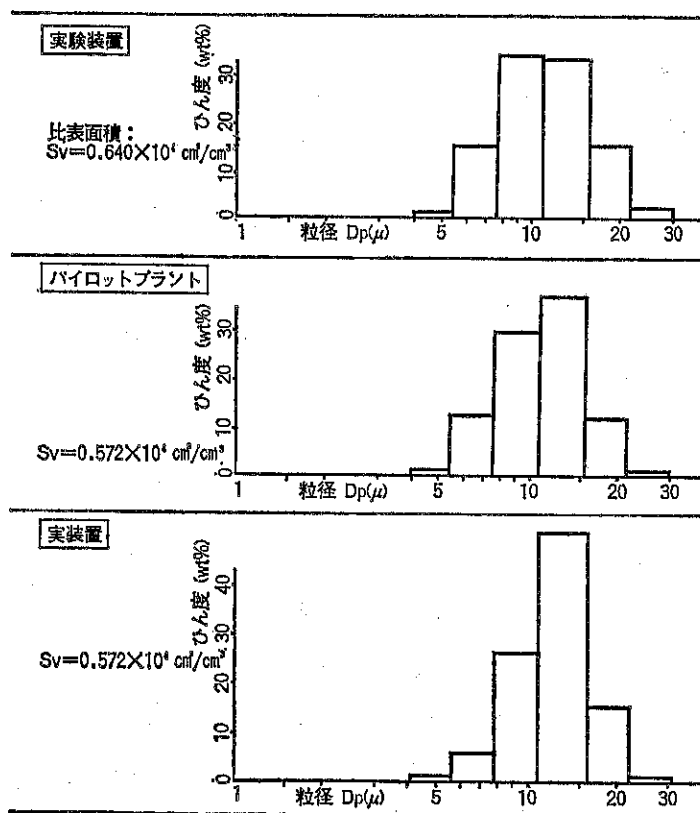


Fig.16 分級プロセス後の製品の粒度分布

Fig.16 は分級プロセス後の粒度分布を示す。実装置では鋭い粒度分布を示しているが、これは分級プロセス以前の粉碎プロセス（すなわち粗粉カットのプロセス）において 25 μm 以上の粗粉のみならず、モード径より小さい微粉側もかなりカットされ、このことが次の分級プロセスにおける多数個直列に接続した分級器による完全分級をかなり助けているものと思われる。

6. 結 言

超微粉を分級するのに最も適していると思われる二種類の分級器すなわち旋回気流型分級器および流体素子を応用した分級器について述べた後に、これらを組合せることにより、その功妙な設計によって精密な微粉精製が可能であることを述べた。

しかしこのような技術は未完成であり、今後さらに完全なものへと発展することが期待される。

参 考 文 献

- 1) U. Schmidt, E. Zeilina, F. Kaiser; *Verfahrenstechnik*, **13** [5], 338 (1979).
- 2) S. R. de Silva, H. Gühne, *Aufbereitungstechnik*, **17** [10], 515 (1976).
- 3) S. Okuda, J. Yasukuni; *Proc. International Sympo. on Powder Technology '81. (KYOTO)*, 771 (1981).
- 4) F. Löffler, K. Maly; *Sympo. on Powder Technology (Birmingham)*, D2 (1981).
- 5) 奥田, 中山, 大堀; *ACHEMA82 (Frankfurt/Main)* で講演 (1982).
- 6) 細川粉体工学研究所; *粉碎*, No. 24, 150 (1979).
- 7) 細川粉体工学研究所; *粉碎*, No. 26, 125 (1982).
- 8) 横山, 水井; *化学装置*, **25**[6]47 (1983).

サブミクロン粒子の分離

江見 準*
Hitoshi Emi

1. はじめに

エネルギー開発と有効利用，産業構造の多様化とファイン化に伴い，そこから生ずる環境問題の解決と緻密な解析が以前にも増して重要となってきた。従来，重量の上では取るに足らないとして無視されてきたサブミクロンエアロゾル粒子除去の問題が，今日注目されているのも，このような産業構造の変化や技術の向上と密接に関わっている。原子力施設から発生する放射性エアロゾル，石炭火力のボイラーから発生する大量の粉塵，ディーゼル排ガス中の微粒子の中で特に人体に悪影響を及ぼすのは $1\mu\text{m}$ 以下の粒子であり，また一方，電子機器をはじめ，食品，製薬，医療機器，病院などでは，きわめて高度な空気清浄度を維持できるクリーンルームの要望が高く，そのためには，サブミクロン粒子を完全に除去しうる高性能フィルターが必要となる。

ここでは，まず粒子分離の基礎となる粒子とガスとの間の相対速度（移動速度）を種々の場について求めて比較することにより，サブミクロン粒子に対してはどのようなメカニズムで分離するのが有効かについての目安を与える。ついで，サブミクロン粒子の分離法として最も効果的なろ過法の概要と，高性能フィルター，静電気効果について説明し，粒子を高効率で気流から除去する方法を探索。

2. 分離機構別移動速度の粒径依存性

エアロゾル粒子の沈着現象は，粒子とガスとの間の相対運動に基づく輸送過程と，捕集体表面での付着過程からなる。したがって，粒子の分離効率，粒子のガスに

対する相対速度すなわち移動速度に依存する。相対速度を生じさせる要因としては，粒子自身の動力学の性質である，慣性とブラウン運動，および重力，遠心力，静電気力，熱泳動力，拡散泳動力など，場起因する各種作用力が挙げられる。Fig. 1 は，これらの要因にもとづく移動速度 d_p に対する変化を示したもので，計算式を以下に示す。

(1) ブラウン運動による1秒間の平均移動距離 $\bar{v}_B$

$$\bar{v}_B = \sqrt{\frac{4D_B}{\pi}} = \sqrt{\frac{4C_m kT}{3\pi^2 \mu d_p}} \quad (1)$$

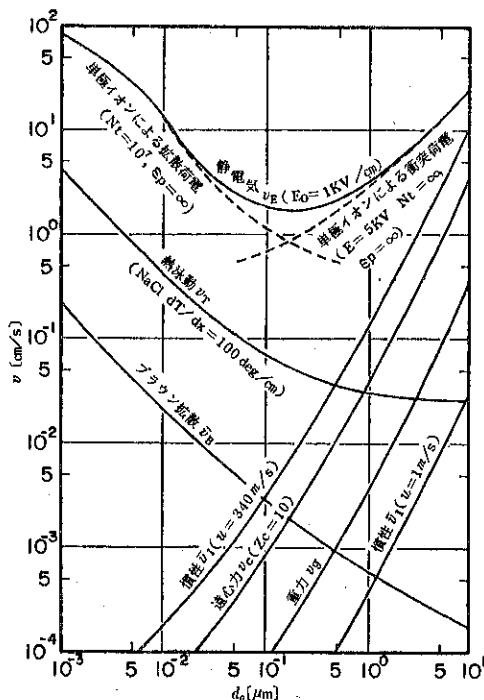


Fig. 1 単位時間あたりの粒子の平均移動距離
(20°C 1気圧空気中)

* 金沢大学工学部化学工学科

(〒920 金沢市小立野2丁目40-20)

Tel. (0762) 61-2101

$D_B = C_m kT / 3\pi\mu d_p$: ブラウン拡散係数, C_m : カニンガムの補正係数, k : ボルツマン定数, T : 絶対温度, μ : 空気粘度, d_p : 粒子直径

(2) 慣性により1秒間に移動する距離 $\bar{v}_I$

初速度 u_0 で静止空气中に打ち出された粒子がストークスの抵抗を受けて停止するまでの距離に等しい,

$$\bar{v}_I = u_0 \tau (1 + e^{-1/\tau}) \approx u_0 \tau \quad (2)$$

$\tau = C_m \rho_p d_p^2 / 18\mu$: 緩和時間, ρ_p : 粒子密度.

(3) 重力場での粒子の沈降速度 v_g

$$v_g = \tau g \quad (3)$$

(4) 遠心力場での粒子の沈降速度 v_c

$$v_c = \tau r \omega^2 = Z_c \tau g \quad (4)$$

ω : 角速度, r : 回転半径, $Z_c = r\omega^2/g$: 遠心効果

(5) 静電場での粒子の移動速度 v_E

$$v_E = -\frac{C_m n_p e E_0}{3\pi\mu d_p} \quad (5)$$

n_p : 粒子荷電数, e : 電気素量, E_0 : 電場の強さ

v_E に大きな影響を与える荷電数 n_p は, 衝突荷電 ($d_p \geq 1\mu\text{m}$) の場合は White の式, 拡散荷電 ($d_p \leq 0.1\mu\text{m}$) の場合は, 超微粒子にまで適用できる Fuchs の式を用いる.

(6) 熱泳動速度

$$v_T = -\frac{\mu}{\rho T} C_m \frac{4\lambda_g + 0.5\lambda_p + C_t Kn \lambda_p}{2\lambda_g + \lambda_p + 2C_t Kn \lambda_p} \frac{dT}{dx} \quad (6)$$

λ_p, λ_g : 粒子および空気の熱伝導度, Kn : クヌッセン数 C_t : 粒子表面での温度の不連続性の補正係数

Fig. 1 より以下ことがわかる.

(i) ブラウン拡散, 熱泳動による各移動速度と拡散荷電粒子の静電沈降速度は $d_p < 0.1\mu\text{m}$ で d_p にほぼ反比例する.

(ii) 慣性, 重力, 遠心力による移動速度は $d_p > 1\mu\text{m}$ で d_p^2 に比例するが, $d_p < 1\mu\text{m}$ では C_m の効果のために勾配がゆるやかになる.

(iii) 慣性とブラウン拡散を比較すると, 慣性の最も大きい音速 ($u_0 = 340\text{ m/s}$) で $d_p = 0.1\mu\text{m}$ 付近で $\bar{v}_I$ と v_B はほぼ同程度となることより, 常圧下では慣性で分離できる最小粒径はせいぜい $0.1\mu\text{m}$ である. また一般的にいて, $u_0 < 1\text{ m/s}$ では $1\mu\text{m}$ 以下の粒子の慣性捕集効果はあまり期待できない.

(iv) 重力沈降速度 v_g と拡散移動距離 $\bar{v}_B$ は $d_p = 0.5\mu\text{m}$ 付近で同程度となる.

(v) 慣性および重力とブラウン拡散とは, 粒径に対する移動速度の傾向が逆になるから, $(\bar{v}_B + \bar{v}_I + v_g)$

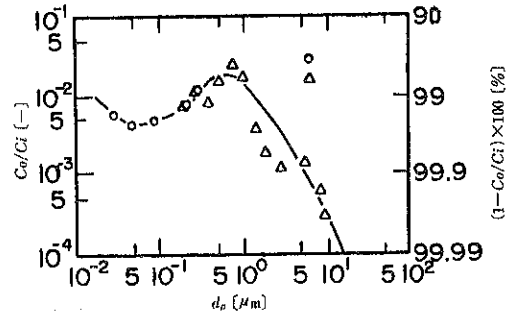


Fig. 2 電気集塵装置の集塵率測定例

(Δ : インパクター
($\circ$: モビリティアナライザ (EAA))

曲線は最小値をもち, そのときの粒径はおおむね $0.1 \sim 1\mu\text{m}$ の範囲にある. 従って機械的捕集効果を利用する充填層集塵や洗浄集塵においては捕集効率が最小となる粒径が存在する.

(vi) 静電気力, 熱泳動力, 遠心力などの強制力を利用させると移動速度が格段に大きくなるが, エネルギー消費の面から最も有利なのは静電気力である. Fig. 1 の例では, 外部電界が 1 kV/cm と, 通常使われている値よりはるかに小さいにもかかわらず, 移動速度は2桁程度大きい.

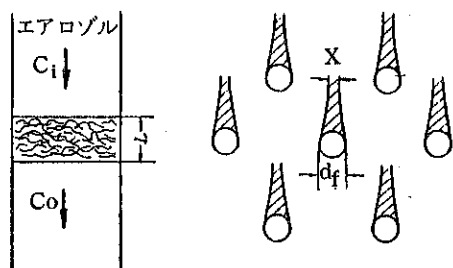
図からわかるように荷電粒子の場合, 移動速度曲線は拡散荷電と衝突荷電の谷間で最小値をもつ. この曲線の傾向は, Fig. 2 に示す電気集塵装置の粒径別集塵率曲線の傾向と一致するが, Fig. 2 で $d_p < 0.1\mu\text{m}$ で集塵率が再び低下するのは, 超微小粒子に対する粒子荷電が十分でないためである. 静電気力による粒子の移動速度は, 他の分離力に比べて, きわめて大きいので, 最近, 機械的集塵装置におけるサブミクロン粒子の捕集効果の向上を目指して, 荷電液滴を用いた帯電スクラバー, 静電バッグフィルタ, 静電エアフィルター(後述)が出現し, 従来型に比べて低圧損, 高効率であることを立証するデータが次々に発表されつつある.

3. エアフィルター汚過理論の概要

現在広く使われているエアフィルターの濾材の大部分は, 空間率が90%以上の繊維充填層であり, 一部サンプリング用として低空隙率(50%以下)のメンブランフィルターが使用される.

3.1 単一繊維捕集効率 η とフィルター捕集効率 E

例えば, 空間率95%の繊維層内の繊維中心間距離は, 平均して繊維半径の8倍にも達する. 従って粒子は層内



(a) 繊維層フィルター (b) 粒子が捕集される領域

Fig. 3 単一繊維モデル

の独立した一本の繊維表面に沈着捕集される。そこで層内部での繊維の配列を空気の流れに直交な円筒群としてモデル化すると Fig. 3 のようになる。同図で、個々の繊維の上流の流れ巾 X 内に入ってくる粒子だけが、直径 d_f の繊維に捕集されると考え、単一繊維捕集効率 η を

$$\eta = X/d_f \quad (7)$$

で定義する。 η とフィルター捕集効率 E

$$E = 1 - C_0/C_1 \quad (8)$$

との間には、次の対数透過式が成立する。

$$E = 1 - \exp\left(-\frac{4}{\pi} \frac{\alpha}{1-\alpha} \frac{L}{d_f} \eta\right) \quad (9)$$

C_1, C_0 : フィルター入口および出口エアロゾル濃度、
 α : フィルター充填率、 L : フィルター厚さ。

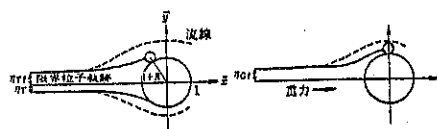
すなわち η が操作変数の関係として与えられておれば、任意の厚さ L 、充填率 α をもつフィルターの捕集効率 E を式(9)を用いて推定することができる。

3.2 捕集機構および単一繊維捕集効率の計算

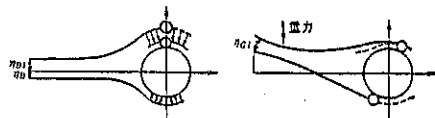
Fig. 4 は円形断面の繊維にエアロゾル粒子が空気の流れに乗って近づき、空気の流線(破線)から外れて円柱に捕集される過程を捕集機構別に示してある。実線は円柱に捕集される最も外側の粒子軌跡で限界粒子軌跡と呼ぶ。同図の座標系は円柱半径($=d_f/2$)で規格化された無次元座標系 $\bar{x}-\bar{y}$ を用いているので、限界粒子軌跡の $\bar{y}$ 座標は式(7)からわかるように η そのものである。また添字は T : 慣性、 D : ブラウン拡散、 G : 重力、 I : さえぎり、 E : 静電気力の各捕集機構を表す。

ブラウン拡散を除く4つの捕集機構による単一繊維捕集効率 η は、次の粒子の運動方程式を解き、得られたいくつかの軌跡の中から限界軌跡を探し出すことによって求まる。

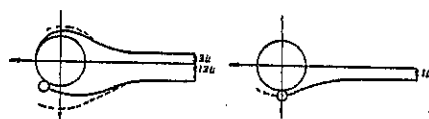
$$Stk \frac{d^2 \bar{x}}{d\bar{t}^2} + \frac{d\bar{x}}{d\bar{t}} - \bar{u}_x = \frac{C_m F_x}{3\pi\mu d_f u_0}$$



(a) 慣性、慣性さえぎり (d) 重力、重力さえぎり (下降流)



(b) 拡散、拡散さえぎり (d') 重力、重力さえぎり (水平流)



(c) さえぎり (e) 静電気、静電気さえぎり

Fig. 4 捕集機構と限界粒子軌跡

$$Stk \frac{d^2 \bar{y}}{d\bar{t}^2} + \frac{d\bar{y}}{d\bar{t}} - \bar{u}_y = \frac{C_m F_y}{3\pi\mu d_f u_0} \quad (10)$$

ここで $\bar{x} = 2x/d_f$, $\bar{y} = 2y/d_f$, $\bar{t} = 2u_0 t/d_f$, $\bar{u}_x = u_x/u_0$, $\bar{u}_y = u_y/u_0$ E は無次元時間, u_0 は円柱への接近速度である。円柱まわりの空気の無次元速度成分 $\bar{u}_x$, $\bar{u}_y$ は

$$(\bar{u}_x, \bar{u}_y) = f(Re, \alpha, \bar{x}, \bar{y}) \quad (11)$$

のように繊維径基準のレイノルズ数, $Re = \rho u_0 d_f / \mu$ とフィルター充填率 α の関数となる。

一方、拡散捕集効率 η_D は拡散方程式を解くことにより求められる。これを無次元円筒座標で表すと、

$$\bar{u}_r \frac{\partial \bar{C}}{\partial r} + \frac{\bar{u}_\theta}{r} \frac{\partial \bar{C}}{\partial \theta} = \frac{2}{Pe} \left(\frac{\partial^2 \bar{C}}{\partial r^2} + \frac{1}{r} \frac{\partial \bar{C}}{\partial r} + \frac{1}{r^2} \frac{\partial^2 \bar{C}}{\partial \theta^2} \right) \quad (12)$$

上式を、さえぎり効果を考慮に入れた境界条件

$$\bar{r} = 1 + R: \bar{C} = 0, \quad \bar{r} = \infty: \bar{C} = 1$$

のもとで解く。拡散さえぎり効率 η_{DI} は次式より求める。

$$\eta_{DI} = \frac{2}{Pe} (1+R) \int_0^\pi \left(\frac{\partial \bar{C}}{\partial r} \right)_{\bar{r}=1+R} d\theta \quad (13)$$

以上の理論的考察からわかるように、 η は無次元パラメータでまとめることができ、それぞれの捕集機構に対

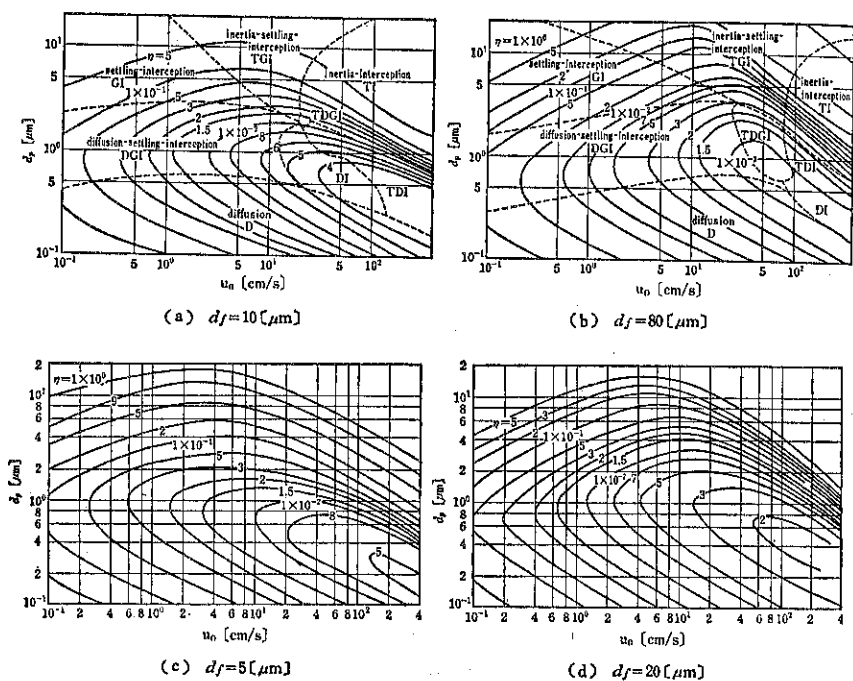


Fig. 5 單一纖維捕集效率推定線圖 ($\alpha=0$)

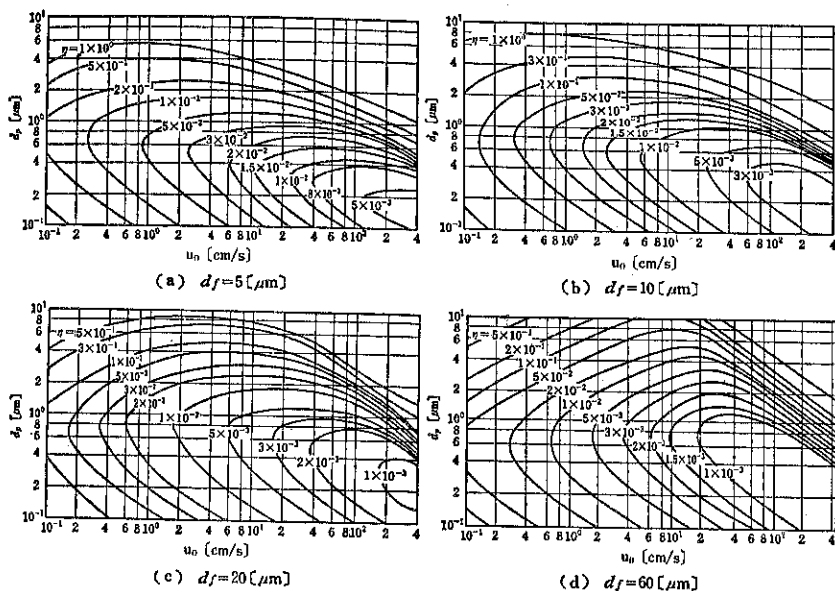


Fig. 6 單一纖維捕集效率推定線圖 ($\alpha=0.03$)

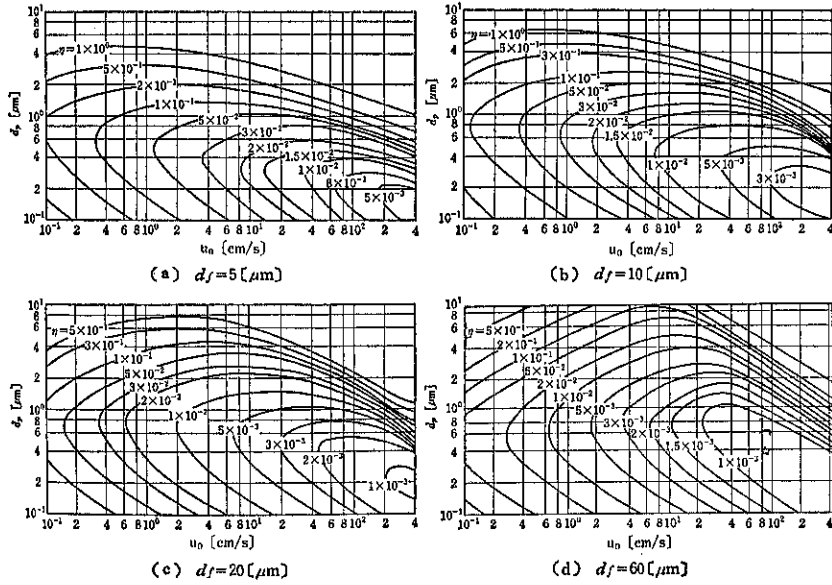


Fig. 7 單一纖維捕集效率推定線圖 ($\alpha = 0.07$)

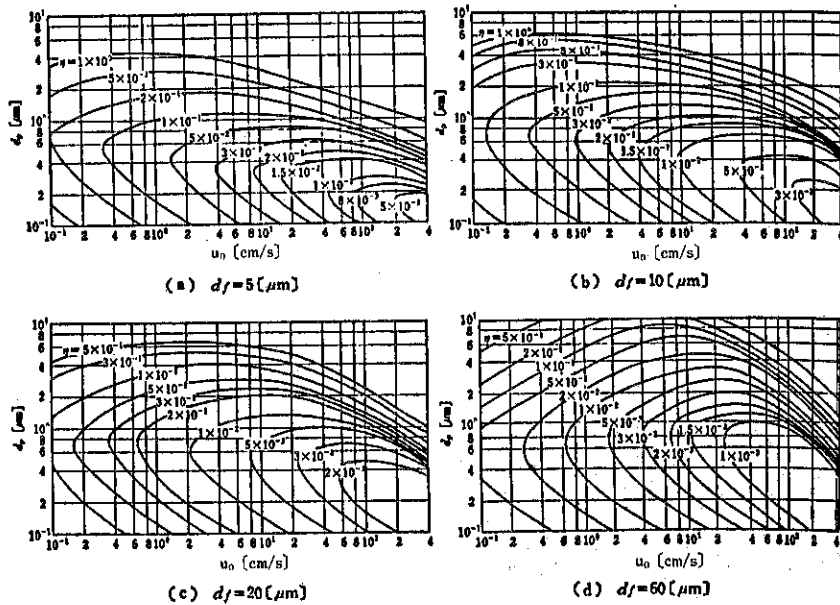


Fig. 8 單一纖維捕集效率推定線圖 ($\alpha = 0.1$)

して、

$$\text{慣性: } \eta_{TI} = f(Re, \alpha, Stk, R) \quad (14)$$

$$\text{拡散: } \eta_{DI} = f(Re, \alpha, Pe, R) \quad (15)$$

$$\text{重力: } \eta_{GI} = f(Re, \alpha, G, R) \quad (16)$$

$$\text{静電気: } \eta_{EI} = f(Re, \alpha, K_E, R) \quad (17)$$

のような関数関係にあり、計算結果は式または線図で与えられている¹⁾。

$Stk = C_m \rho_p d_p^2 u_0 / 9 \mu d_f$: ストークス数, $Pe = u_0 d_f / D_B$: ペクレ数, $G = C_m \rho_p^2 g / \mu u_0$: 重力パラメータ, K_E : 静電気力パラメータ (後述), $R = d_p / d_f$: さえぎりパラメータ。式(14)~(17)に示すように、 η は無次元パラメータの複雑な関数となるので、 η の計算が煩雑で実用上不便である。そこで、各種パラメータを構成する数多くの変数の中から、フィルター設計上、重要な変数である d_p, u_0, d_f, α をとり出し、 $u_0 - d_p$ 座標上に η の等高線を描いた。Fig. 5~Fig. 8 は、4 種の d_f, α に対する η の簡易推定線図 Fig. 5 (a), (b) には有力となる捕集機構の領域をも示した⁹⁾。

4. 高性能フィルター

市販の HEPA フィルターの多くは、Photo. 1 に示すように繊維径が $1 \mu\text{m}$ 以下の極微細繊維層である。これを前述の単一繊維捕集理論にあてはめると、 d_f が小さいので、 Stk, R が大きくなり、一方 Pe は小さくなるので、慣性、拡散、さえぎりによる捕集が促進され、 η は大きくなる。HEPA フィルターの厚さがうすいにもかかわらず、99.9% 以上の高い集塵率を示すのは d_f が極端に小さいからである。その上、 d_f が空気分子の平均自由行程 λ (常温、常圧で $0.065 \mu\text{m}$) とオーダー的に同程度となるので、繊維表面で空気流れにすべりが生じ、 λ を一層大きくする効果がある。この効果は、定量的には繊維まわりの速度分布式にクヌッセン数 $Kn = 2\lambda / d_f$

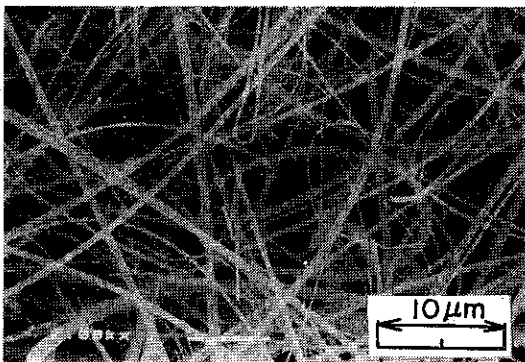


Photo. 1 HEPA フィルターの走査型電顕写真 (Whatman GF/C)

を導入することにより評価され、 Kn が大きいほど η は大きい。

しかし、前述の効率推定法を捕集効率 99.9% 以上の高性能フィルターのデータと比較すると、2~4 桁計算値の方が高くなる。この原因は、理論が、理想化された繊維配列モデルに基づいて組立てられているのに対し、実際のフィルターは、写真からもわかるように、繊維径に分布があり、しかも充填が不均一なため、これらの影響が顕著に現れてくるためと考えられる。そこで従来の汎用理論に沓材構造の影響を考慮に入れた Kirsch の補正方法を紹介し、実験値と比較してみる。

粒径が $1 \mu\text{m}$ 以下で低流速 ($u_0 < 10 \text{ cm/s}$) の場合捕集機構として拡散とさえぎりが有力となる。Kirsch ら²⁾ は、ファンモデルフィルター (繊維配列が流れた垂直かつランダムで均一充填のモデルフィルター) の単一繊維拡散さえぎり効率 η_{DI} を次式で与えた。

$$\eta_{DI}^f = \eta_D^f + \eta_I^f + f(Pe, R) \quad (18)$$

ここで

$$\eta_D^f = 2.7 Pe^{-2/3} (1 + 0.39 k^{-1/3} Pe^{-1/3} Kn) + 0.624 Pe^{-1} \quad (19)$$

$$\eta_I^f = (1/2k) \{ (1+R)^{-1} - (1+R) + 2(1+R) \ln(1+R) + 2.86(2+R)R(1+R)^{-1} Kn \} \quad (20)$$

$$f(Pe, R) = 1.24 k^{-1/2} Pe^{-1/2} R^{2/3} \quad (21)$$

$$k = -0.5 \ln \frac{\alpha}{1+\sigma} - 0.52 + 0.64 \frac{\alpha}{1+\sigma} + 1.43 \left(1 - \frac{\alpha}{1+\sigma} \right) Kn \quad (22)$$

上式の η の上ツキ f はファンモデルであることを示し、 k は水力学因子と呼ばれる。また σ は

$$\sigma = (\bar{d}_f^2 - d_f^2) / d_f^2 \quad (23)$$

で定義される繊維径の分散で、多分散繊維層の場合、充填率 α を $\alpha / (1 + \sigma)$ で置きかえ補正する。一方、充填の均一なファンモデルフィルターの $Kn = 0$ における無次元抗力 F_0^f は次式で与えられる。

$$F_0^f = 4\pi \left(-0.5 \ln \frac{\alpha}{1+\sigma} - 0.52 + 0.64 \frac{\alpha}{1+\sigma} \right) \quad (24)$$

実フィルターの無次元抗力 F_0 は圧力損失データから求められるので、両者の比

$$\delta = F_0^f / F_0 \quad (25)$$

は実フィルターの充填の不均一性の尺度を表す。

実フィルターの透過率 C_0 / C_i のデータから対数透過式を用いて換算して得られる単一繊維捕集効率 η は、充填の不均一性のために、一般に η^f より小さく、

Table. 1 エアフィルターの物性値

フィルターの種類	$d_f[\mu\text{m}]$	$\alpha[-]$	$L[\text{cm}]$	$\sigma[-]$	$\delta[-]$
Whatman GF/A	0.486	0.046	0.0423	0.448	1.34
Whatman GF/C	0.466	0.048	0.0433	0.455	1.47
TOYO GC-90	0.740	0.051	0.0706	0.382	1.14
ガラス繊維マット	3.9	0.05	0.2	0.205	2.34
	10	0.05	0.8	0	1.64
	19	0.05	0.8	0	1.64
	40	0.05	2.94	0	1.24

$\eta=\eta^f/\delta$ で表されると仮定すると、フィルターの粒子透過率 C_0/C_i は式(9)を補正した次の対数透過式で推定できる、

$$C_0/C_i = \exp\left(-\frac{4}{\pi} \frac{\alpha}{1+\sigma} \frac{L}{d_f} \frac{\eta_{Dr}^f}{\delta}\right) \quad (26)$$

筆者らは Table 1 に示すような、繊維径の異なる7種の高性能、中性能フィルターを用いて実験を行ない、上記推定法の妥当性を検討した。使用したエアロゾル粒子は、 $0.01 < d_p < 0.4 \mu\text{m}$ では、DMA (Differential Mobility Analyzer) で分級された単分散 NaCl 粒子、 $0.5 < d_p < 2 \mu\text{m}$ では PSL (Polystyrene Latex) 単分散粒子である。

Fig. 9 は HEPA フィルターの一種である Whatman GF/C フィルターの透過率データと対応する推定線である。この場合、両者の一致は良いが、使用するフィルターによって、推定線の方が1オーダー高くなるものもある。

図より、ある粒径で透過率が最大となる。そこで最もフィルターを透過しやすい粒径 $d_{p, \min}$ について考えてみる。式(18)を d_p に関して微分し、黄金分割法により

$\eta_{\min}$ とそのときの粒径

$$d_{\min} = 0.213 k^{3/2} u^{-1/2} d_f^{1/2} (1 + 0.234 d_f^{-2/5}) \quad (27)$$

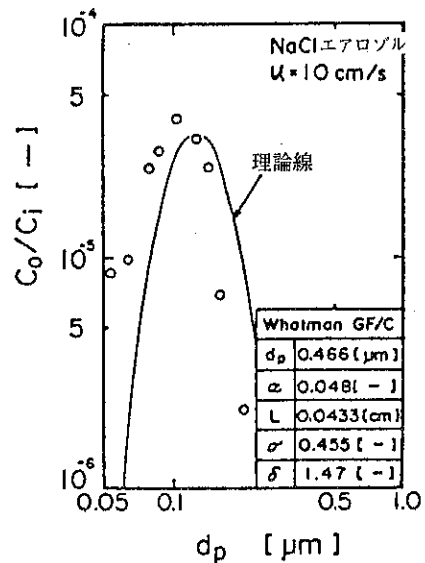


Fig. 9 HEPA フィルターの粒子透過率

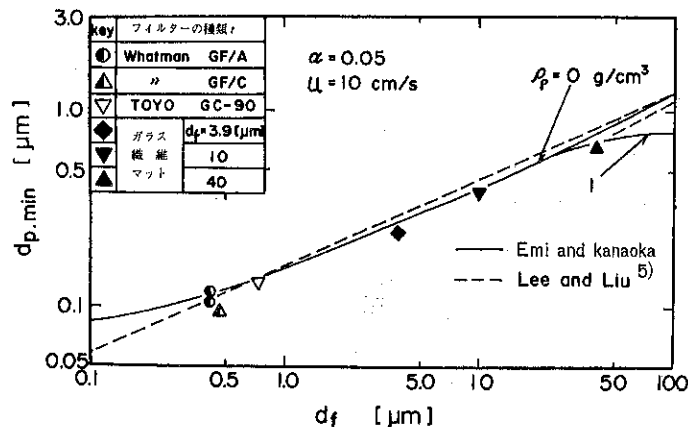


Fig.10 捕集効率が最小となる粒径の繊維径による変化

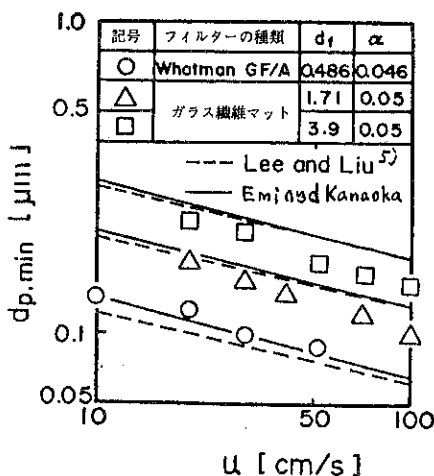


Fig.11 $dd_{p,min}$ の流速速度による変化

ここで単位は d_f [μm], u [cm/s], d_f [μm] を用いる。 $d_{p,min}$ の d_f および u に対する依存性に関する実験データと式(7)による推定線との比較を Fig.10, Fig.11 に示す。式(7)は、エアフィルターの性能試験を行うさい、使用すべき標準粒子の選定の目安を与えるのに役立つ。

5. 帯電フィルター

帯電フィルターには、繊維表面に摩擦あるいは荷電粒子を付着させた表面帯電フィルターと、エレクトレット繊維のように、繊維内部で永久分極を起こしている内部

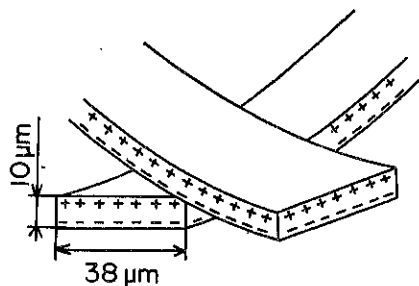


Fig.12 エレクトレットフィルター

帯電フィルターがある。ここでは、帯電状態が半永久的に持続するエレクトレット繊維層の集塵性能について述べる。

筆者らは、Fig.12 に示すような平均繊維幅 $d_f=38 \mu\text{m}$, 荷電量の線密度 $Q=34.2 \text{ nC/m}^3$ の繊維よりなる。充填率 $\alpha=0.75$, 厚さ $L=5 \text{ mm}$ のエレクトレット繊維層の透過率（集塵率）を Fig.13 に示すような装置で実測した⁴⁾。実験では、前述の DMA で分級した NaCl 粒子を、三種の荷電状態すなわち(i) DMA から得られる 1~2 個荷電の状態、(ii) ^{241}Am に通した後の平衡荷電状態、(iii) ^{241}Am に通した後、平行平板電極で荷電粒子を除去した後の無荷電粒子、に調整し、それぞれについて、粒子透過率を測定した。Fig.14 は実験結果の一例である。図中の四角印のデータは、エレクトレットフィルターと同一圧損を示す無帯電ガラス繊維層フィルタで、粒子の荷電状態により差は認められないが、エレクトレットの場合は効率が高く、しかも粒子の荷電状態

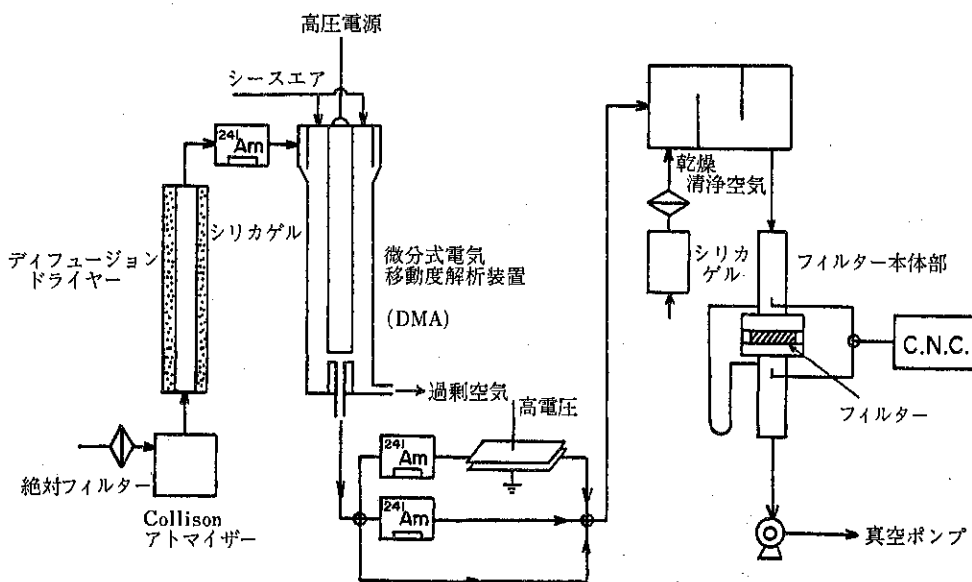


Fig.13 実験装置のフローチャート

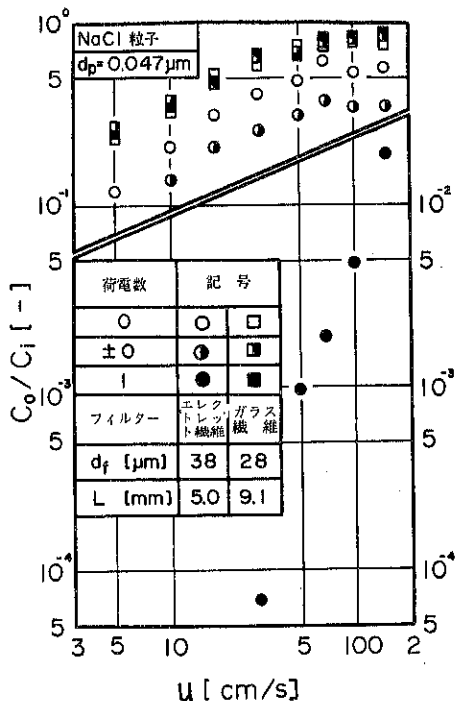


Fig.14 三種の荷電状態の粒子のエレクトレットフィルターによる透過率

により著しい差異がある。粒径範囲 0.01~0.4 μm 、透過速度 5~200 cm/s で変化させた 1~2 個荷電粒子および無荷電粒子に関するすべてのデータをまとめるために、荷電粒子と荷電繊維の間に働くクーロン力、無荷電粒子と荷電繊維の間に働く誘起力を式(10)に代入すること

により導出される無次元パラメータ、

$$K_c = \frac{C_m n_p e Q}{3\pi^2 \epsilon_0 \mu d_f d_p} : \text{クーロン力パラメータ} \quad (28)$$

$$K_{In} = \frac{\epsilon_p - 1}{\epsilon_p + 1} \frac{C_m Q^2 d_p^2}{3\pi^2 \epsilon_0 \mu d_f^2 u} : \text{誘起力パラメータ} \quad (29)$$

を用いてデータを整理した。その結果、単一繊維捕集効率 η は次の実験式

$$\eta = 0.18 K_{In}^{2/5} + 0.2 K_c^{3/4} - 0.05 (K_{In} K_c)^{1/2} \quad (30)$$

でまとめ、Fig.15 に示すように広範囲の実験値と極めて良い相関を示すことがわかった。しかも、式(30)の右辺第 1, 2 項の指数は、粒子軌跡計算結果と一致している⁴⁾。なお式(28), (29)において、 ϵ_0 は真空誘電率、 ϵ_p は粒子の誘電定数である。

6. 誘電フィルター

帯電フィルターのように、特殊な方法で繊維自体に電荷を与えなくても、荷電粒子を用いるか、フィルターに外部電界を印加する方法で集塵率を大幅に向上させることができる。このような静電フィルターの形式として次の三種が考えられる。

- フィルター直前に粒子荷電器を設ける形式
- フィルターに外部電界を与える形式
- (i) と (ii) を並用したもの

これら三種の静電気力を粒子の運動方程式に代入して得られる静電気パラメータとおもな効率推定式をまとめ

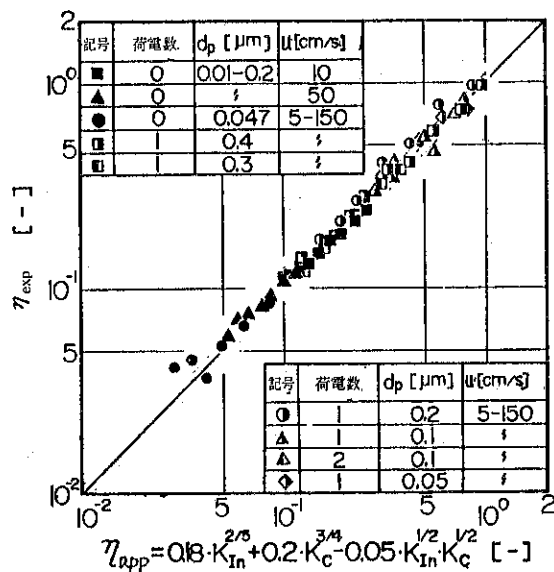


Fig.15 エレクトレットフィルターの効率推定式と実験との相関

て Table 2 に示す。

高橋ら⁷⁾⁸⁾が行なった厳密な実験によると、同表の式(A)は実験値とよく一致するが、外部電界をかけたフィルターに無荷電粒子を通した(ii)の場合は、データは式(C)と(D)の間に集まる。また外部電界をかけたフィルターに荷電粒子を通した(iii)の場合は、実験データは式(E)よりか

なり大きく、荷電粒子と無荷電繊維の間に働く影像力の効果を考慮に入れてはじめて実験値に近づく(Fig.16)。

このように、外部電界下での効率推定式は、現段階では理論と実験の十分な一致は得られていないが、サブミクロン粒子を対象とする高効率静電フィルターの設計には十分役立つと思われる。

Table 2 静電繊維層フィルターの単一繊維捕集効率

荷電形式	静電気パラメータ	効率推定式 η_{EI}	式番 文献	実験条件, η_{exp}	η_{cal}
(i)	$K_M = \frac{\epsilon_f - 1}{\epsilon_f + 1} \cdot \frac{C_m q^2}{12\pi^2 \epsilon_0 \mu u_0 d_p d_f^2}$	$2(K_M/k_K)^{1/2} : R \leq (k_K K_M)^{1/4}$ $R^2/k_K + K_M/R^2 : R \geq (k_K K_M)^{1/4}$	A 7, 9)	$d_p = 0.481 \mu m$ (PSL) $d_f = 15.6 \mu m, \alpha = 0.02$ $u_0 = 8.7 \text{ cm/s}$ $q = 51 \text{ electrons}$ $K_M = 4.63 \times 10^{-4}$ $\eta_{exp} = 3.91 \times 10^{-2}$	3.89×10^{-2}
		$2.3 K_M^{1/2}$ (実験式)	B 10)		4.95×10^{-2}
(ii)	$K_G = \frac{\epsilon_p - 1}{\epsilon_p + 2} \cdot \frac{\epsilon_f - 1}{\epsilon_f + 1} \cdot \frac{2C_m \epsilon_0 d_p^2 E_0^2}{3\mu d_f u_0}$	$f\left(\frac{\epsilon_f - 1}{\epsilon_f + 1}, \alpha, K_G\right), \epsilon_f \neq 0$ (数値解)	C 8)	$d_p = 0.85 \mu m$ (DOP) $d_f = 22.1 \mu m$ $\alpha = 0.024$ $u_0 = 8.7 \text{ cm/s}$ $E_0 = 5 \text{ kV/cm}$ $K_G = 3.78 \times 10^{-2}$ $\eta_{exp} = 5.15 \times 10^{-2}$	4.80×10^{-2}
		$0.8 K_G^{2/3}$ (実験式)	D 11)		9.01×10^{-2}
(iii)	$K_{EC} = \frac{C_m q E_0}{3\pi \mu d_p u_0} \cdot \left(1 - \frac{\epsilon_f - 1}{\epsilon_f + 1} \alpha\right)^{-1}$	$\frac{1}{1 + K_{EC}} \left\{ \eta_I + K_{EC} \left\{ \frac{\epsilon_f - 1}{\epsilon_f + 1} \left(\frac{1}{1 + R} + \frac{6}{P^6} \right) (1 + R)^5 + (1 + R) \right\} \right\}$ ここで $P = (2\pi/\sqrt{3} \alpha)^{1/2}$	E 8)	$d_p = 0.50 \mu m$ (DOP) $d_f = 15.6 \mu m$ $\alpha = 0.02$ $u_0 = 8.7 \text{ m/s}$ $q = 21 \text{ electrons}$ $E_0 = 0.7 \text{ kV/cm}$ $K_E = 4.22 \times 10^{-2}$ $\eta_{exp} = 1.15 \times 10^{-1}$	8.14×10^{-2}

(記号説明) E_0 : 外部電界の強さ [V/m], q : 1 個粒子の帯電量 [C], ϵ_0 : 真空誘電率 $= 8.855 \times 10^{-12}$ [F/m],
 ϵ_f : 繊維の比誘電率, ϵ_p : 粒子の比誘電率, k_K : 桑原の水力学因子

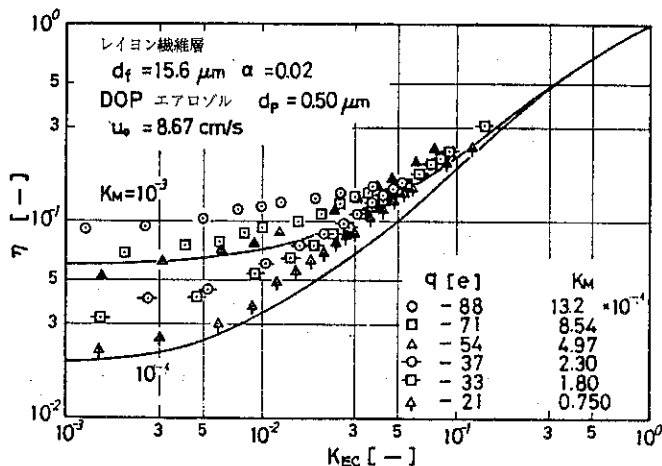


Fig.16 誘電繊維層フィルターによる帯電粒子の単一繊維捕集効率 (高橋)⁹⁾

引用文献

- 1) 井伊谷鋼一編著：「集塵装置の性能」p. 177～222, 産業技術センター
- 2) Kirsch, A. A., Stechkina, I. B. and Fuchs, N. A.: J. Aerosol Science., **6**, 119 (1975)
- 3) Brown, R. C.: The Second World Filtration Congress, p. 291 (1979)
- 4) Fmi, H., Kanaoka, C., Otani, Y. and Ishiguro, T.: Particulate Sci. and Tech., an Inter. J., Submitted.
- 5) Lee, K. W. and Liu, B. Y. H.: J. Air Pollut. Cont. Assoc., **30**, 377 (1980)
- 6) 日本空気清浄協会編：「空気清浄ハンドブック」, p. 268, オーム社 (1981)
- 7) 高橋武士, 金川昭：化学工学論文集, **4**, 446 (1978)
- 8) 高橋武士, 金川昭：同上, **1**, 644 (1975)
- 9) Natanson, G. L.: Dokl. Akad. Nauk, SSSR, **112**, 696 (1957)
- 10) 吉岡直哉, 江見 準, 服部正幸, 田森行男：化学工学, **32**, 815 (1968)
- 11) Kirsch, A. A.: J. Aerosol Sci., **3**, 25 (1972)

特許一言メモ No. 52

どんなものが“実用新案”になるか

第84ページで「特許」, ここでは実用新案について述べる。

これもごく簡単にいって, 「今までになかった物の形状, 構造の組合せにかかる良い考え」が実用新案になる。

そして, 84ページで述べた特許が技術的思想の創作のうち高度のもの, であるのに対し, 平たく言えば高度でなくてもよい。したがって権利化され易いとも言える訳で, うまく活用すると強力な武器ともなる。

また特許の嚮合は「……する方法」という, いわゆる

方法特許というものがあるが, 実用新案ではこれが無く, 必ず実体のともなう「物」が対象となっている。

もう一つ, 特許との違いは実用新案登録を維持するために毎年支払う登録料は特許のそれと比し, 約2分の1と割安であるが存続期間は特許の15年に対し10年と短いことなどが挙げられ, 特許が「大発明」とすると, 実用新案は「小発明」ということになる。

(技術資料室)



クリーンルームの実際

大熊 芳郎*

Yoshiro Okuma

1. 概要

クリーンルーム・バイオクリーンルームの必要性は、産業分野と医療分野に大別される。産業分野では製品の品質の確保と向上、医療分野では患者の病院内感染による死亡率の減少と全治期間の短縮、すなわち安全性の確

保といえる。クリーンルーム・バイオクリーンルームは、環境中に存在する好ましくない物質を、目的に応じて除却する装置として開発されたものであり、導入を検討した分野の順序を Fig.1 に示す。また、その順序を Fig.2 に示す。Fig.3 は、現在の国内における主な利用分野を生産金額によって示した分布比である。

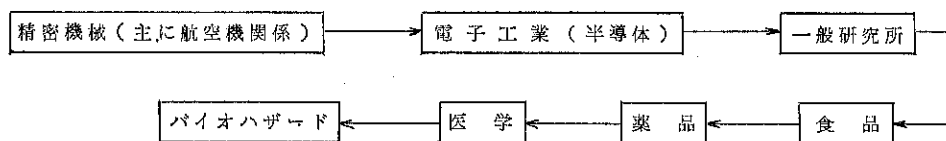


Fig. 1 クリーンルーム・バイオクリーンルームの導入検討順序

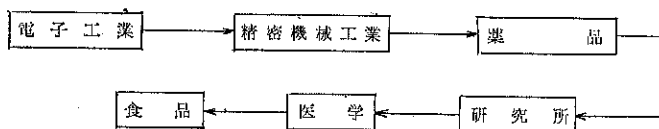


Fig. 2 クリーンルーム・バイオクリーンルームの普及順序

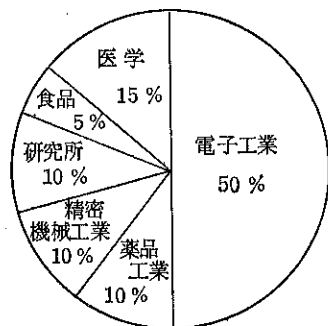


Fig. 3 金額比による利用分野

クリーンルーム・バイオクリーンルームが必要視される主要分野を業種別に纏めたのが Table 1～Table 4 である。この医療、電子工業、薬品、食品以外に精密機械や宇宙産業、原子力産業の分野があげられる。さらに研究所の分野では動物実験施設、遺伝子組換え実験ではバイオハザードシステムとして陰圧のバイオクリーンルームが近年重要視されてきている。このうち、現在法律で規制されているのは医薬品分野で厚生省からGMPが、実験動物施設を対称にGLP、そしてバイオハザード分野の内閣総理大臣名での組換えDNA実験指針があげられる。今後は化粧品、食品分野におけるGMP規制に近い将来実現される事と思われる。

* ホソカワ環境エンジニアリング株式会社
 (〒552 大阪市港区市岡2丁目14番5号)
 Tel (06) 574-7111代

2. 空気清浄設備の対象となる汚染物質と汚染源

JIS のコンタミネーションコントロール用語の規定

(JIS Z8122-1974) で、汚染とは、対象として考えている物体、または物質になんらかの物質が付着、混入または発生することなどによって、その物が本来持っている機能、性能に好ましくない影響が与えられること、または与えられている状態である、と記されている。

Table 1 医薬品工場のバイオクリーンゾーンと当社の対応システム及び関連機器

室名	清浄度 (立方呎当り 0.5 μ 粒子最大数)	粘着マット	エアー シャワー	ハイクリーン コレクター (集塵器内蔵)	ハイクリーン ユニット	BCユニット グリーンブース	B C R システム	パスボックス	クリーン ベンチ
注 射 薬 ・ 点 眼 剤	充 填 室	1,000 (閉塞部100) クリーンブース非併 用は100				○	○	○	
	調 剤 室	5,000~10,000 (2,000)					○	○	
	秤 量 室	10,000 (1,000)		○		○	○	○	
	洗浄、滅菌室	10,000					○		○
	乾 燥 室	50,000 (10,000)			○		○		
	検 査 室	50,000 (10,000)			○		○		
	準 備 室	5,000					○		
	前室、エアー ロック、更衣室	50,000~200,000 (10,000)	○	○			○		
			更衣室、シャワー室、エアーロック室、前室の区別を明確にする。						
			蒸気分離排気を要す。滅菌剤と未滅菌品の交叉汚染防止に留意。						
内 服 固 定 剤	倍散室、粉碎室、 分 粒 室	100,000 (10,000)		○			○		
	秤 量 室	100,000~500,000 (10,000)		○		○	○	○	
	混合室、練合室、 造 粒 室	100,000~500,000 (10,000)		○			○		
	打 錠 室	100,000 (10,000)		○			○		
	糖 衣 室	100,000 (10,000) (糖衣パン内は1,000)		○	○		○		
			糖衣パン給排気は別系統とする。温湿度制御に配慮要す。糖衣パン排気 (循環) に集塵器要す。糖衣パン内は陰圧又は等圧とす。						
	製 丸 室	100,000 (10,000)		○	○		○		
	乾 燥 室	100,000~500,000 (10,000)			○		○		
			乾燥機供給空気の浄化を要す。						
	充 填 室	10,000~100,000 (10,000)			○	○	○		
	包 装 室	100,000~200,000 (100,000)			○	○	○		
	検 査 室	100,000~500,000 (10,000)			○		○		
	前室、エアー ロック、更衣室	50,000~200,000 (10,000)	○	○			○		
			更衣室、シャワー室、エアーロック室、前室の区別を明確にする。						

(注) 1. 清浄度 () は非作業時

2. B C R システム…ラミベント (クリーンベント, モジュベント), フィルターユニット採用。

3. パスボックス…エアーシャワー付パスボックスの採用が望ましい。

Table 2 半導体工業、電子工業のクリーンゾーンと当社の対応システム及び関連機器

室 名 (工程)	清 浄 度 (0.5 μ 粒子数/ft ³)	エ ア ー シャワー	パ ス ボックス	B C R システム	クリーン ブ ー ス	クリーンベン チ, クリー ントンネル
エピキシャル成長工程	1,000~10,000	○	○	○	○	○
		結晶成長過程では高純度の窒素, アルゴン, 水素, フォスフィン, シアン等を使用				
フォトレジスト及び拡散工程	1,000 (室内) 100 (作業面)	○	○	○	○	○
		B C R システムとクリーンベンチの組合せ, フォトレジスト工程は作業面クラス100°D, B 24.5°C~27.8°C, RH10%以下 (クリーンベンチ), 拡散工程, 拡散炉への挿入口, クラス100以下 (クリーンベンチ)				
真空蒸着工程	1,000	○	○	○		
マスク製造工程	アートワーク100,000 感光材料による撮影 及び処理工程 10,000	○	○	○		○
		温度差 $\pm 0.5^{\circ}\text{C}$, 湿度差 $\pm 0.5\%$ Step and Repeat, Print 作業, クラス 100 クリーンベンチ				
組立工程	10,000~100,000 L S I 100	○	○	○		○
		L S I クリーンベンチ				
フォトエッチング工程	1,000 (室内) 作業面クラス 100	○	○	○	○	○
		各工程クリーンベンチ, 特にレジスト塗布から露光までの作業工程, クラス 100 以下クリーンベンチ				

(注) パスボックス……工程によってはエアシャワー付パスボックスの採用が望ましい。

また, NASA SP-5076コンタミネーション・コントロールハンドブック (日本空気清浄協会CC調査専門委員会訳) では, 汚染物とは, 好ましくないあるいは, 被汚染物に悪影響を与えるすべての林料, 物質又はエネルギーと定義されている。汚染の状態とは対象となる物に好ましくない影響が発生していることであり, 対象物によって要求は変ってくる。

空気汚染は, 大気汚染と室内汚染に大別される。空気中の汚染物質としては, 浮遊粒子状汚染物質とガス状汚染物質とに大別されている。汚染源及び汚染物の形態をTable 5に, 粒子状汚染物質の分類を, Table 6に示す。また Table. 7に粉じんの発生源を示す。

大気中に浮遊している粒子は0.01 μ から100 μ と言われているが, 一般に1 μ から100 μ 程度のものを粉塵とよんでいる。Table 8に浮遊微粒子の大きさを, Table 9に動作による汚染発生率を, Table 10に各種動作による発塵粒子の概略径を示す。

ヒュームは, 燃焼, 昇華, 蒸発, 凝縮, 酸化などの状

態変化から発生する。粒径は一般に0.1~1.0 μm 程度のものである。

ミストは, 液体が破砕して微小の液滴となるか, 又は蒸気の凝縮によって生じた小滴の浮遊である。

煙は, 燃焼の過程において生じるものであり, 煙草からの煙は0.1 μm 程度の粒径の粒が多いが, 人間が吸って吐き出した煙は0.5 μm 程度に成長している。

2.1 浮遊微粒子の特性

- (1) 浮遊: 粒子径・粒子及び液体密度によって, ニュートン・アーレン・ストークスの法則による速度で沈降する。
- (2) 拡散・凝集: 微小粒子はブラウン運動により拡散し, 粒子相互の凝集現象を生じる。
- (3) 荷電: コロナ放電, 摩擦, 放射線の照射, 爆発・破砕作用などによって帯電する。
- (4) 熱的付着: 温度変動, 熱反ばつがある場合, 微粒子は低温度の方向に移動する。

Table 3 医療関係のバイオクリーンゾーンと当社の対応システム及び関連機器

分類	区分	清浄度 0.5μ/ft³	方式			B O Rシステム		天吊型ハイ クリーンユニット	ベッド用 B Oユニット	クリーンベンチ バイオハザード	バスポッ クス	エアー シャワー
			垂直	水平	非層流	B Oユニット	ラミベント					
手術室	整形外科	100	○	○		○					○	○
			人工関節置換手術など高度の技術を要する手術の感染防止。									
	脳神経外科	100	○			○					○	○
			高度の技術を要する手術の感染防止。									
	移植手術	100	○	△		○	○				○	△
特殊病室・治療室	一般外科	10,000	○		△		○	△			○	△
			感染の防止。天井吹出しが不可能な場合は、コーナーベント（斜吹出し）の採用。									
	術後回復室	1,000	○	△	△		○	○	○			△
		~ 10,000	手術後の感染防止。									
	I C U C C U	1,000	○		△		○	△	○			△
検査室・研究室		~ 10,000	感染の防止。									
	急性白血病	100	○	○					○			○
			白血球減少による感染防止。									
	重症火傷	100	○	○					○			○
			体表面からの感染防止。（開放治療が可能となり回復が短縮）									
血液センター	ガン治療室	100	○	○				△	○			○
		~ 1,000	強力薬品投与により抵抗が低下するための感染防止。									
	アレルギー性 呼吸器疾患	100	○	○						○		○
		~ 1,000	温湿度制御可能な清浄空気（低風速）での供給が必要。									
	新生児室	1,000	○	△			○					△
動物飼育室	未熟児室	~ 10,000	抵抗力が弱いため菌による感染防止。									
	臨床検査室	1,000	○		○		○	○				
		~ 10,000	心臓カテーテル。心臓他血管造影などを行う検査室、天井吹出しが困難な際は、コーナーベント採用									
	細菌実験室	10,000	○	○	△		○	○		○		
			菌、かび組織の培養検査。雑菌の混入を防止すると共に、排気にも浄化装置を要す。 （クリーンベンチ、バイオハザードの採用）									
動物飼育室	放射能研究 室、R 1関 係	10,000	△		○		○			○		
		~ 100,000	放射能被曝防止のため清浄空気の供給が必要。排気にも浄化装置（H E P Aフィルター、活性炭フィルター使用）を要す。									
	血液、血清 菌	100	○		○		○	○		○		
		~ 10,000	雑菌の混入防止。									
	S P F動物 室	1,000	○	○	△		○					○
動物飼育室		~ 10,000	飼育、繁殖及び研究の無菌化。高精度の温湿度制御と低風速での清浄空気の供給が必要。排気にも 浄化装置（清浄と脱臭）を要す。									
	感染動物室	10,000	○		○		○					○
			S P F飼育室に同じ。									
	R 1動物室	10,000	○		○		○					△
			S R F飼育室に同じ。特に排気の浄化装置（H E P Aフィルター、活性炭フィルター等の使用）に留 意要す。									

注 非層流方式：クリーンベント（H E P Aフィルター内蔵天井吹出口）、コーナーベント

（H E P Aフィルター内蔵斜吹出ユニット）何れかを採用

天井吊型ハイクリーンユニット：消音器付ファンユニットとラミベント（層流型）、又はクリーンベント、

コーナーベントの組合わせユニット

(5) 水滴への付着：微粒子は空気中の微小水滴と接触
又は衝突して重力沈降する。

(6) 光散乱：光により光散乱現象を起こす。

Table 4(1) 食品工場のバイオクリーンゾーンと当社の対応システム及び関連機器

		防虫用 エアーカーテン	エアシャワー	ハイクリーンユニット (床置型、懸垂型)	ハイクリーン コレクター	BCユニット クリーンブース	BCRシステム
農 産 加 工 品	スナックライス (あられ、せんべい)	△	△	○		○	△
	包装豆腐	△	△	○		○	△
	もち	△		○	○	○	△
	納豆	○	△	○			○
	野菜煮物類	○	△	○		○	△
	サラダ	○	△	○		○	△
				連続プレス、冷却機、自動充填結紮機（シール機）が対称。クラス10,000、特に土壌菌の混入防止、空調要す。充填後の加熱（85℃、20分）で細菌胞子は生残る可能性あり。			
				トリミングカットの工程は粉塵発生あり、対称ハイクリーンコレクター。包装室、クラス10,000～50,000。			
				自動回転釜により蒸しあげられた後の納豆菌の接種、自動充填機により盛込充填包装される工程。クラス10,000。			
				煮熱（二重釜）、真空冷却、真空包装機が対称。クラス10,000程度。包装後殺菌されるが（85℃～90℃、15分～25分）細菌胞子は生残するため低温保管要す。			
め ん 類	簡易包装めん	△		○		○	△
	完全包装めん	△		○		○	△
	インスタントラーメン	△		○		○	△
調 味 食 品	ケチャップ (ボトル詰)	△	△	○		○	△
	マヨネーズ (ボトル詰)	○	△	○		○	△
	みそ (包装みそ)	○	△	○		○	○
				こうじ室、仕込攪拌機、熟成室仕込容器、みそこし機、自動定量充填包装機までが対称。内こうじ室は特に空調要す。クラス10,000～50,000。			
乳 製 品	スライスチーズ スティックチーズ	△	△	○		○	△
	コーヒー用ミルク	△	△	○		○	△
	バター (コンシューマーパック)	△	△	○		○	△
	牛乳	△	△	○		○	○
				クリーム分離機からバター充填包装機が対称。クラス10,000～50,000（充填包装機10,000）			
食 肉 加 工 品	テルドビーフ	○	△	○		○	○
				自動充填包装機が対称。クラス10,000以下。			
	ロースハム	○	○	○		○	△
				ブロック肉、ローディング袋詰め、真空包装機の工程が対称。クラス10,000～100,000程度。			
				真空包装機が対称。クラス10,000程度。			

Table 4(2) 食品工場のバイオクリーンゾーンと当社の対応システム及び関連機器

		防虫用 エアーカーテン	エアシャワー	ハイクリンユニット (床置型、懸垂型)	ハイクリン コレクター	BCユニット クリーンブース	BCRシステム
食肉と食肉加工品	スライスソーセージ スライスハム	○	○	○ 原木、洗浄、殺菌後のスライサー無菌包装機の工程が対称。クラス10,000程度（無菌化包装により真空包装後の再加熱は不要）		○	○
	ウインナーソーセージ	○	○	○ スモーク後のピーラー 自動定量包装機が対称。クラス10,000程度。（無菌化包装により真空包装後の再加熱は不要）		○	○
	ハンバーグ	○	△	○ ラード添付、乾燥機、外装機が対称。クラス10,000～50,000。（レトルト殺菌されるハンバーグの工程ではバイオクリーンは不要）		○	△
水産加工品	魚肉ソーセージ	○		○ 高温高压でレトルト殺菌されるため、特にバイオクリーンゾーンを設ける必要はない。但、原料魚の切断から自動定量充填結紮機までの工程は室温18～20℃の空調が必要。			
	坂かまぼこ	○		○ 坂かまぼこの冷却、外装の工程が対称。クラス10,000程度。（リテーナー詰方式の場合はBCR不要）		○	△
	味付いか	○		○ スライサー、味付け機、乾燥機、定量充填包装機が対称。クラス10,000程度。		○	○
清酒・ビールと飲料水	清酒 (紙製容器詰 冷酒充填)		△	△ 冷酒充填の利用。●エネルギーコストの低減、圧入機から貯蔵槽までクラス100,000程度、調合●充填後の冷却が不要。●紙容器の使用が可能。槽から無菌充填包装機工程。クラス10,000。			△
	乳酸飲料 (プラスチック容器)	△	△	○ 乳酸菌以外の雑菌が繁殖すると腐敗するおそれがあるので、培養タンクから自動充填シール機までバイオクリーンゾーン。自動充填シール機。クラス10,000。		○	○
	果汁ジュース (紙製容器)	△	△	○ 調合タンクから、無菌充填包装機まで、酵母、カビ、細菌等微生物混入防止のため、バイオクリーンゾーン。無菌充填包装機は、クラス10,000。		○	○
	生ビール	△	△	○ 低温性カビ、酵母対策で、醗酵槽室、貯酒タンク（クラス100,000）樽、瓶用充填機が対称。充填機室クラス10,000。		○	○
				○		○	○
製菓と製パン	カステラ	○	△	○ 冷却、裁断、包装（ガス充填包装機）が対称。クラス10,000。		○	○
	スポンジカステラ	○	△	○ 連続式冷却装置、連続包装機（含気包装）が対称。クラス10,000。		○	○
	食パン	○		○ 連続式冷却機、スライサー、外装の工程が対称。クラス100,000程度。必ずしもバイオクリーンの要はないが、黒カビや白カビの附着を防止する要あり。		○	○
	あん	○	△	○ 水洗型遠心分離機、連続脱水機、（準BCR）、あん味付調合缶、自動定量充填結紮機の工程は、クラス10,000程度。		○	○
乳製品	アイスクリーム	○	△	○ 原料ブレンドから充填キャッピングまで、大腸菌などの混入防止のためバイオクリーン環境が必要。クラス10,000程度。		○	△
	プリン	○	△	○ 充填キャッピング工程を対称にクラス10,000以下。		○	○
その他	冷凍ギョーザ	○	△	○ 大腸菌の混入防止が特に必要となり、圧延ローラーから急速凍結室までバイオクリーンの対称となる。		○	○

(注) 1. 上表中、ハイクリンユニット、BCユニット、クリーンブース、BCRシステムの各欄に○印記入の項は、状況によって何れかの方式又は、一部併用方式となります。

2. 清浄度の10,000～50,000の記入の内、充填包装工程は10,000以下となります。

Table 5 汚染源及び汚染物の形態

[illegible]

Table 6 粒子状汚染物質の分類

区分	名 称	粒 子 径 (μm)	生 成	発 生 源
固 体 粒 子	粉 じ ん	100~1	固体物質の崩壊	Table 7 参照
	ヒューム	1~0.1	燃焼, 昇華, 蒸発または化学反応による蒸気の凝結	各種金属の溶解炉, 非鉄金属の精錬, アルミニウムの電気炉など
	煙	0.3~0.001	燃料の燃焼過程	ボイラ, 焼却炉など
液 体 粒 子	ミ ス ト	100~1	蒸気の凝結, 化学反応, 液体の噴霧	硫酸工場の硫酸ミストなど
	霧	50~5	水蒸気の凝結	気象現象など

Table 7 粉じんの発生源

種 別	発 生 源
天 然 現 象	火山爆発, 強風砂じん, 地震, 土地崩壊, 温度または混合率変化によるガス体の爆発など, 腐敗, 花粉, 微生物
日 常 生 活	炊事, 暖冷房, 衣類, 清掃, 喫煙, 農林, 漁業, 医療, 娯楽, 教育
商 業 交 易	暖冷房, 調理, こん包輸送, 展示, 集会, 事務活動
産 業	燃焼, 粉碎, 混合, 分離, 化合, 分解, 乾燥, 研磨, 輸送, こん包, 凝縮など物理化学的諸操作全般
交 通	陸海運, 航空
戦 争	核爆発, 軍の移動その他軍の諸作戦全部, 砲撃, 爆撃

2.2 浮遊微生物の特性

微生物の微粒子と異なる点は, 環境(温湿度)条件によっては増殖する点である。いいかえれば, 環境条件で制御する事が可能ともいえる。室内浮遊微生物の大部分は, 人によって運ばれ, クシャミ, 咳, 呼吸により体内より排出したり, 衣服, 頭髮, 皮膚より塵埃と共に飛散する。そして空気中に浮遊或いは床に落下して塵埃と共に再飛散する。室内浮遊微生物の殆んどは浮遊微粒子に伴って存在している。

2.3 汚染物の分類

NASA SP-5076コンタミネーション・コントロールハンドブック(日本空気清浄協会CC調査専門委員会訳)では汚染物を以下のようにグループ分けしている。

- 発生源
- 伝播経路
- 汚染物が一般に見出される環境
- 形態又は状態(粒子・気体・液体・波など)
- 化学成分
- 清浄剤と清浄法への転移反応

g. 材料及び機能への影響

規定材料又はエネルギーは, ある状態では汚染物であっても, 別の他の状態では, 好ましいもの又は汚染物とは考えられないものであるという事が強調される。たとえば次の様なものをあげる事ができる。

- 酸化物は, 通常は汚染物であるが, 酸化が適正に管理されれば, アルミニウムを保護したり, 他の有用な物質にとっては利点となる。
- 光は, 主要な媒体の一つであるが, 写真用暗室内では汚染物となる。
- 微生物は, 多くの有益なサービスをするが, 他の異なる状況下では, 人や動物に病気を起す原因となる。
- 潤滑剤は, 多くの運動部分に必要であるが, 電気接点のような他の多くの機器工具類には絶対に付着してはならない。

このように, 汚染管理の分野では多くの困難さや複雑さが存在する。

汚染物の移動について Table 11に示す。

Table 8 微粒子の大きさ

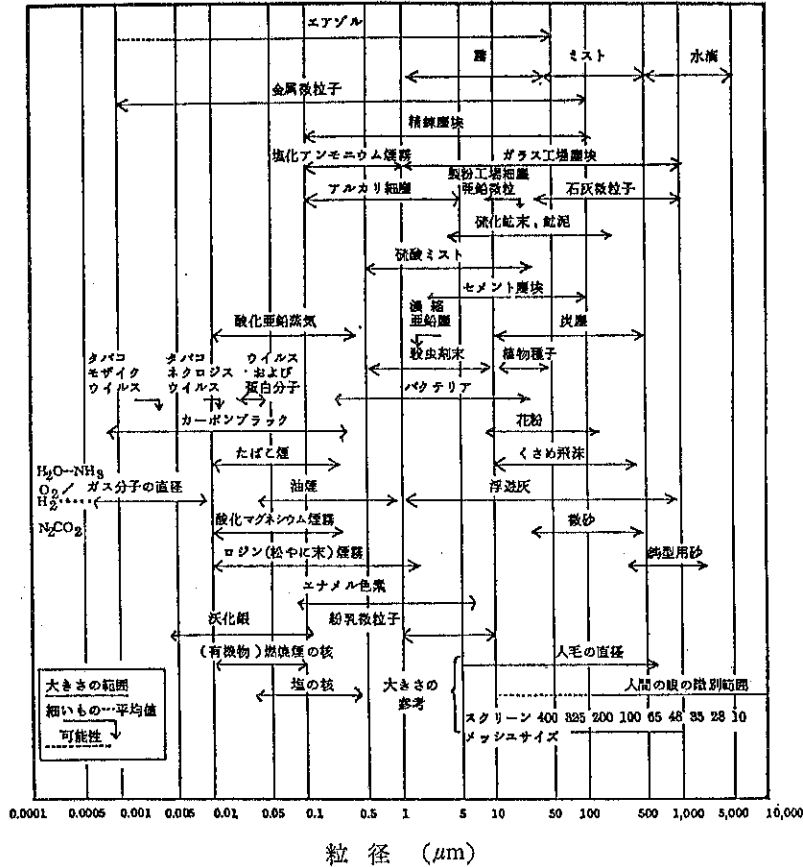


Table 9 汚染発生率

発生率 (個/min)	活動状況
100 000	起立または着席 —— 活動なし
500 000	起立または着席 —— 前腕および頭の軽い運動
1 000 000	起立または着席 —— 全腕、手、頭および胴の運動
2 500 000	いすに座る動作または起立動作
5 000 000	歩行 —— 3.6 km/Hr
7 500 000	歩行 —— 5.6 km/Hr
10 000 000	歩行 —— 8 km/Hr
10 000 000	いすに登る動作
15 000 000	跳躍
30 000 000	

Table 10 各種動作による発じん粒子概略径 (μm)

動作又は各称	概略サイズ (μm)	動作又は名称	概略サイズ (μm)
紙をもんだり折りたたむ	65	ベルト駆動	30
普通の紙にボールペンで書く	20	皮膚をこする	4
ビニールをレンチ等の工具ですりへらす	8	ハンダづけ	3
普通の塗装面をこすってへらす	90	油煙粒子	0.1
椅子を廻らす	30	タバコの粒子	0.5
油をささない金属の滑り面	75		

Table 11 汚染の移動機構

運搬媒体	運動方式
液体	汚染は、液体中に懸架され、吸収され又は溶解する。粒子は、速度低下したときか、又は表面に接触したとき落下する。
固体	固体に埋設するか、付着するか又は吸着された汚染物は、その固体が移動するにつれて移動する。
物理的接触媒体	作業員の手、工具、取付具などによって移動する。
波	熱、光、音などのような多くの場合には、伝播機構は、汚染エネルギーのもつ本来の特性である。

3. クリーンルームの規格

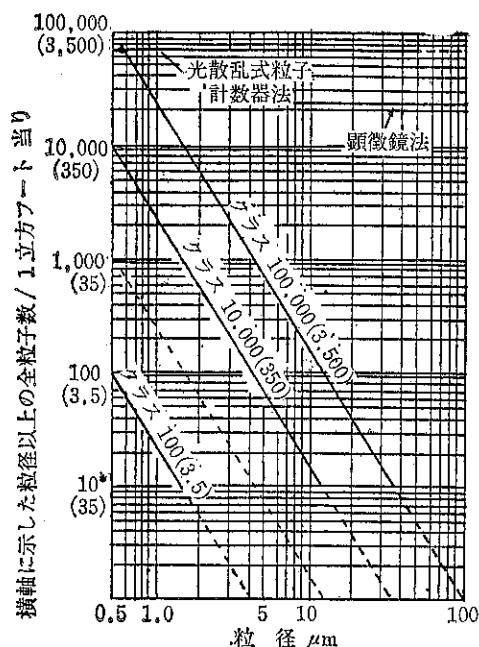
3.1 米国の規格

Table 12 米国連邦基準 (Fed. Std. No. 209) クリーンルームの規格

クリーン ルーム 級 別	粒 子		圧 力 mm Aq	温 度			湿 度			気 流 換気回数	照 度 Lx											
	粒 径 μm	累積粒子数 個/1ft ³		範 囲 °C	奨推値 °C	誤 差 °C	最高 %	最低 %	誤 差 %													
100	≥ 0.5	≤ 100	1.25	19.4	22.2	± 2.8	45	30	± 10	層流方式	1,080											
1,000	≥ 0.5	$\leq 1,000$	以上	{						0.45m/s	{											
	≥ 5.0	$\leq 7^*$								$\pm 0.1\text{m/s}$												
10000	≥ 0.5	$\leq 10,000$		25		特別には ± 0.28				特別には ± 5	乱流方式 $\geq 20\text{回/時}$											
	≥ 5.0	≤ 65																				
100,000	≥ 0.5	$\leq 100,000$																				
	≥ 5.0	≤ 700																				

* 粒子数10個/ft³(0.35個/ℓ)以下の時は、サンプル量が多くないと信頼性に乏ける。

Table 13 Fed Std. No. 209 粒径分布曲線



* 1立方フート当り10個(1ℓ当り0.35個)以下の粒子の計数には多数の見本試料をとらなければ測定値の信頼性は乏しい。

バイオクリーンルームの規格としては、生物微粒子を対象として NASA (宇宙局) NHB 5340 に示されている。

生物粒子の試験方法も NASA NHB 5340. 1*) で示されている。

3.2 ドイツの規格

ドイツでは次の規格が制定され、清浄度クラスに対する許容される粒子濃度を Table 15 のように規定している。

3.3 日本の規格

日本には、Fed. Std. No. 209 のような規格はまだ制定されていないが、JIS B 9922 (クリーンベンチ) 1980 の適用範囲の注で実質的に清浄度クラスを規定している。JIS では微粒子の計数器として、JIS B 9921-1976 (光散乱式粒子計測器) が定められている。

4. クリーンルーム、バイオクリーンルームの計画

クリーンルーム、バイオクリーンルームの計画に当っては、用途や目的に応じてのシステムの構成、機器や使用材料の選択がポイントであり、運転稼動して充分な効

Table 14 NASA NHB 5340 清浄度クラス
(NHB 5340, 2. 1976-08 による)

ク ラ ス (メートル系)	1立方フート 当り 0.5 μm 以上の粒子の 最大数 (1ℓ 当り)	1立方フート 当り 5 μm 以上の粒子の 最大数 (1ℓ 当り)	1立方フート 当りの生物粒 子の最大数 (1ℓ 当り)	1週間当り, 1平方フート 当りの生産粒 子の最大数 (1週間当り 1m ² 当り)
100 (3.5)	100 (3.5)	図 1 の 注 参 照	0.1 (0.0035)	1,200 (12,900)
10,000 (350)	10,000 (350)	65 (2.3)	0.5 (0.0175)	6,000 (64,600)
100,000 (3,500)	100,000 (3,500)	700 (25)	2.5 (0.0884)	30,000 (323,000)

果を上げるためには適切な運営と維持管理がその効果を

* NASA 5340. 1. 1967-08

"NASA Standard Procedures for the Microbiological Examination of Space Hardware"

左右する。これは何れも経済性に直結する。

システムや設備機材の計画検討に入る前に各目的や用途に共通して必要な諸元を列記すれば下記の通りである。

Table 15 清浄度クラスに対し許容される粒子濃度
(個/m³)

VDI 2083 による 清浄度クラス	参 照 粒 度 (μm)		
	0.5	1	5
n	4×10 ⁿ	1×10 ⁿ	0.03×10 ⁿ
3	4×10 ³	1×10 ³	—)*
4	4×10 ⁴	1×10 ⁴	0.03×10 ⁴
5	4×10 ⁵	1×10 ⁵	0.03×10 ⁵
6	4×10 ⁶	1×10 ⁶	0.03×10 ⁶

* 統計的理由から評価されない。

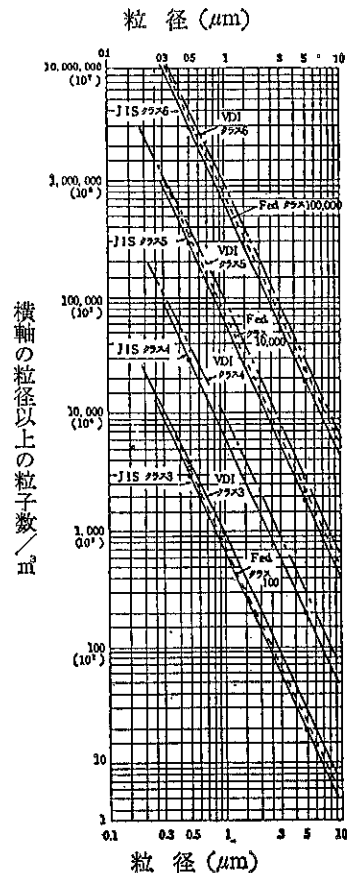
VDI2083 Blatt 1, 1976-12

Reinraumtechnik Grundlagen Definitionen und
Festlegung der Rseinheitsklassen

4.1 計画に当たっての必要諸元と検討事項

- A. 建物の概要 (新築, 増築, 既設, 構造その他)
- B. 施設規模 (清浄域の大きさ即ち面積と必要限度の有効高さその他)
- C. 生産諸元 (生産品目, 生産量, 品質, 作業人員, 作業時間その他)
- D. 生産工程 (作業フロー, 作業条件)
- E. 生産設備 (生産機器の外形寸法と発熱, 発塵負荷, 特殊ガス, 有機溶剤, 圧縮空気設備, 真空設備, 局所排気設備, 配管, 動力配線, その他)
- F. 冷熱源設備 (システム構成, 供給方式, 省エネルギー, 経済性, 保守管理)
- G. 空調並に空気清浄設備 (環境区分, 環境レベル, 環境条件(温度, 湿度, 風速, 清浄度, 空圧, 騒音)), 給気処理方式, 排気処理方式, モニタリング, 保守管理, 省エネルギー, 空調方式, 遮音, 騒音対策, 防震, 震動対策, 自動制御, 設置スペース),
- H. 電源設備 (業務用電源, 自家用発電設備, 受変電設備, 二次変電設備, 無停電電源装置, 電源供給方式, 故障対策)
- I. 電気設備 (照明設備 (照度, 照明器具, 非常灯, 誘導灯, 殺菌灯, 防虫灯)), コンセント設備 (容量, 配置, 仕様その他)), 配線設備 (配線方式, 配線方法)), 弱電設備 (火報, 放送, 電話)), 接地設備 (感電防止, 電位均等化, 静電障害防止, 雷害防止, 通信障害防止)), 防爆設備 (防爆構造の種類, 爆発等級, 発火度, 適用範囲))
- J. 給排水衛生設備 (給水設備 (水質, 給水方式, 給水量)), 給湯設備 (給湯方式, 熱源, 給湯温度, 給湯量)), 消火設備, 排水設備 (排水口, 排水トラップ, 排水処理, 放流基準)), ガス (LPG) 設置の

Table 16 各国の清浄度クラス



有無)。

- K. 中央監視, 制御装置 (方式, 中央処理装置, 伝送システム, 処理システム ((中央式, 分散式)), 製造監理 (監視, モニタリング項目, メンテナンス情報)), 施設管理, 制御項目と目的, 中央監視, 記録項目と目的)。
- L. 建物の内装 (内装材料 (防水の必要性の有無, 不燃材等の仕様)), 床 (耐摩粒性, 耐薬品性, 床勾配の有無)), 壁, 天井, 扉 (寸法, 開閉方式, 視窓, 二重扉)), 窓 (取付の要否, 寸法, 結露防止, 日射防止))。

以上の条件設定によりコストは勿論, システムの構成, 設備占有スペース, 工事期間等が異ってくる。また生産性向上のためには, 物と人の動線の検討も避けられぬ項目である。

以上の項目を検討するに当り, また以上の条件が決定し具体的にシステムを計画するに当たっての参考として, クリーンルームの構成について概要を述べてみよう。

5. クリーンルームの構成要素

- (1) クリーンルーム内（清浄域）に送り込む空気を充分に除塵する。
- (2) クリーンルーム内で発生或いは止むを得ず持ち込まれた塵埃は速やかに回収し、室外に運び出す。
- (3) クリーンルームは隣室に対して陽圧とし、汚染空気の流入を防止する。陰圧クリーンルームについては必ずエアロックの可能な前室を設ける。
- (4) クリーンルーム内には、人、物品等による塵埃の持ち込みを極力防止する。
- (5) クリーンルーム内は塵埃が堆積しないようにする。堆積のおそれのある箇所は、常に清掃可能な構造とする。
- (6) クリーンルーム内は要求に応じた温湿度制御、騒音防止など室内環境を快適な状態に維持する。

6. クリーンルームの構造

6.1 構造用材料

空気の漏洩が生じない気密構造となるため温湿度の変化による膨張収縮の少ない材質が望ましい。また風圧や衝撃による振動と摩擦に影響されない強固な材質の選定が必要である。表面の清掃、再塗装等保守上の費用も考慮の要があり、材料の選択は用途に照らして設備費と維持費の両面からの検討が肝要となる。

6.2 壁、天井、床、建具

- (1) 壁、天井面は凸凹を避け塵埃の付着を防止する。
- (2) 構造的振動や作動による汚染物の発生がないように堅固な構造とする。
- (3) 仕上材の接合箇所は入念にシールされ気密構造とする。
- (4) 全ての壁はできる限り、出っぱりやうねりやその他の不規則性のないものであること。
- (5) 全てのコーナーは清掃容易な丸み構造にする等サニタリーコーナーとする。
- (6) 仕上材としては、表面に塵埃が付着し難い材料で塵埃堆積を防ぐため亀裂など発生せず、表面剝離を起さない材料を選定し、また静電気障害を起すような材料は避けること。
- (7) 湿気を通しにくく、消毒に耐える材質であること。
- (8) 扉及び窓の枠は室内圧力の上昇によるクリーンルームからの空気洩れを防ぐための構造と入念なシールが必要となる。

- (9) 扉は汚染度の高い場所や外部の風の影響を受ける所には設置しない。
- (10) 長時間開放する箇所にはエアーカーテンでエアロックを考慮する。
- (11) 窓は嵌め殺しの構造とする。

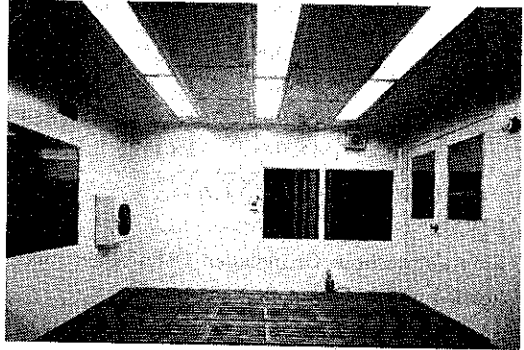


Fig. 4 クリーンルーム（クラス100）の構造

備考

現在一般に使用されている壁、天井仕上材として、化粧鋼板 サンドイッチパネル（スチール製合板）、化粧アルミ板 サンドイッチパネル（アルミ合板）、珪カル化粧板、セラミック化粧板等が用途に応じて選択され、また簡易構造としてクラス100,000程度には、石こう板ビニールシート貼り又は樹脂塗装もコストの面から採用されている。床についてはクラス100垂直層流方式では工場の場合全面格子状床が多く材質はSUS又はSS亜鉛鍍製でプレフィルター付が多く、腰壁吸込の場合の床仕上材は乾式仕様では長尺シート又はコンクリート防塵塗装、湿式では防水コンクリート・防塵塗装が一般に採用されている。

7. 空調並に空気浄化システム

7.1 方式

(1) 冷熱源方式

冷熱源機器に関しては、他系統と運転時間が異なる場合や中央の冷熱源機器からの供給が不可能な場合は単独設置となる。容量と室内温湿度条件によってパッケージ型エアコンが対称にできれば経済的である。熱源は、蒸気又は温水の供給が可能であれば加熱コイル組込みのみでよく、この供給が得られぬ場合は、ヒートポンプ型の採用もしくは電気ヒーターの組込みとなる。

(2) 室内浄化方式（送風方式）

室内をクラス100に維持するためには層流方式の採用となる。層流方式には天井から供給し床面又は

Table 17 垂直層流方式と水平層流方式の比較

項 目	垂 直 層 流 方 式	水 平 層 流 方 式
対象のCRクラス	100 以下 ~ 1,000	100 ~ 10,000
建設費	大 (2重床, フリーアクセスの場合は最大)	大
保守費	大	大
施工性, 設備スペース	天井内及び床下スペース大	壁面 (吹出, 吸込面) 利用不可, 同壁裏面スペース大
クロスコンタミネーション	なし	あり
風速	0.25 ~ 0.4 m/s	0.4 ~ 0.5 m/s
換気回数	200 ~ 500 R/h	100 ~ 300 R/h
作業域	制約なし	気流方向に制約あり
作業性 (フレキシビリティ)	制約なし, 最大	内容によって困難
運転騒音	50 ~ 60 ホン	50 ~ 60 ホン
作業者のストレス	あまりない	多少あり

腰壁面から吸込む垂直層流方式と壁の一面全面から吹出し対向の壁面から吸込む水平層流方式の2方式があるが、室全体を清浄域とする場合は垂直層流方式が多く採用されている。

垂直層流方式と、水平層流方式の比較を Table 17 に示す。水平層流方式では風上で作業者や器物の配置が生じた場合に風下面では著しく汚染される欠点がある。層流方式では塵埃が発生又は持込まれた場合、浮遊することなく室外に速やかに運び出す

のが特徴であり、その為には均一な風速で層流を形成させるだけでなく作業により発生した塵埃の浮遊を防止し押し流す最低の気流速度が必要となる。軽作業 (手作業) により発生した塵埃の浮遊防止には 0.32m/sec の風速が必要となり、この風速からクラス 100 の場合の清浄空気の供給量が算定される。

Fig. 5 はホソカワラミマックスシステムクラス 100 の構成説明図である。

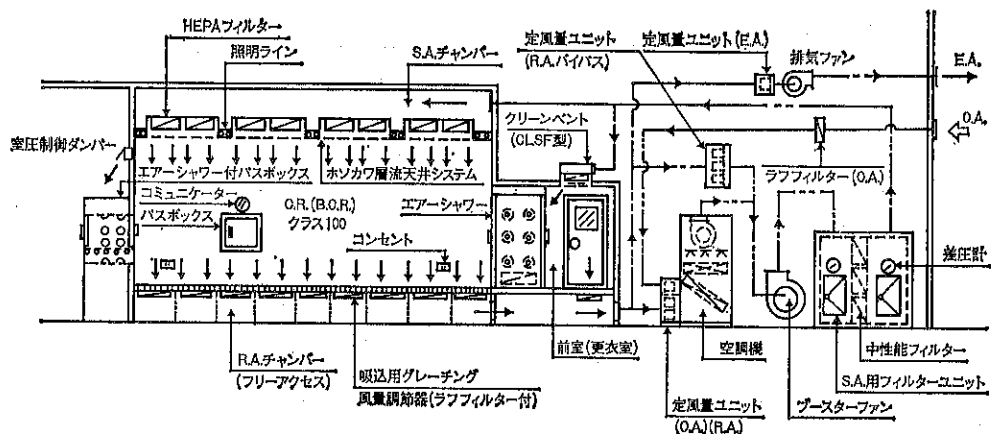


Fig. 5 ホソカワラミマックスシステムクラス 100 構成図

クラス 10,000~100,000 の対称では、通常非層流方式が経済性の面から採用されている。この場合の清浄空気の供給量は清浄化の為に20回/Hr以上の換気回数が必要で、空調負荷と照合しての送風量の決定となる。室内の空気分布が効率面に大きく影響するため吹出口と吸込口の配置が効果を左右する。

(3) 局所浄化方式

Fig. 6 はクラス 10,000 又はクラス 100,000 のクリーンルーム内にクラス 100 の作業域を設けた実施例である。室内供給空気は空調を主体にダクトにて所要のフィルターで浄化された清浄空気を非層流方式で送風され、局所的に要求されるクラス 100 作業域

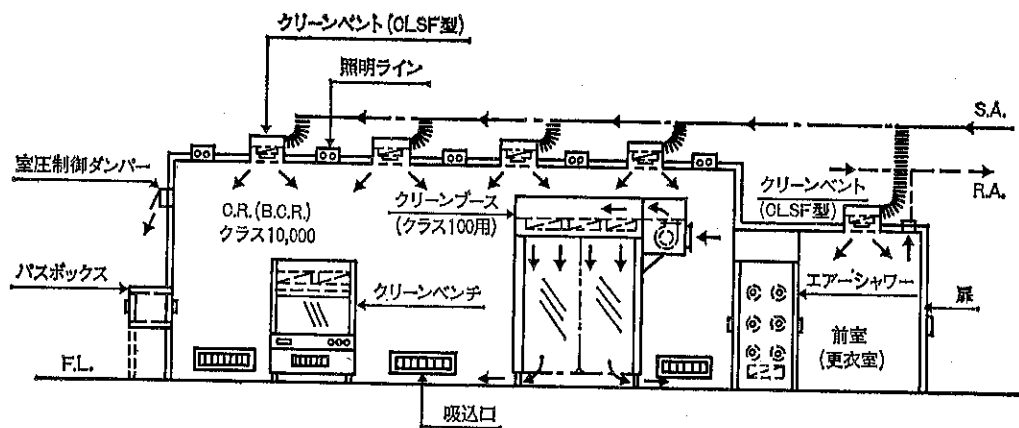


Fig. 6 クリーンルーム (クラス 10,000), 局所作業域クラス 100 システム構成例

をクリーンベンチ、クリーントンネル又はクリーンブース等で実現している。これらの浄化ユニットは室内空気を吸込み、HEPフィルターにて浄化しユニット外に放出するため、周辺の室内清浄度が上昇する利点がある。反面、ユニット内はファンモ-

ーター等の発熱により、吹出される空気温度は上昇する。クリーンブース内での作業者のためには、空調された空気をブースの吸込側に接続するが、吸込口の近くで室内に吹出す等の配慮が必要である。

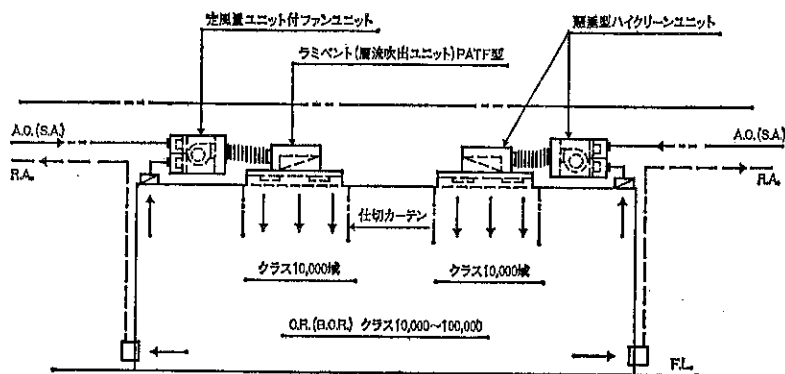


Fig. 7 ホソカワハイクリーンユニットシステム (懸垂型ハイクリーンユニットシステム) 構成例

Fig. 7 はクラス 1,000~10,000 のクリーンルーム内に、クラス 10,000~1,000 の清浄域を設けた一例である。清浄を要求される作業域上部の天井面に HEPA フィルター内蔵層流吹出ユニット (ホソカ

ワラミベント) を取付け、作業に支障のない範囲で仕切板又は仕切カーテンを天井面から取付け層流清浄域を形成している。天井内に設置したブースターファンユニットに空調機からの送風ダクトを接続、必

けた温湿度センサーにより空調機からの送風空気の温湿度を制御し維持される。

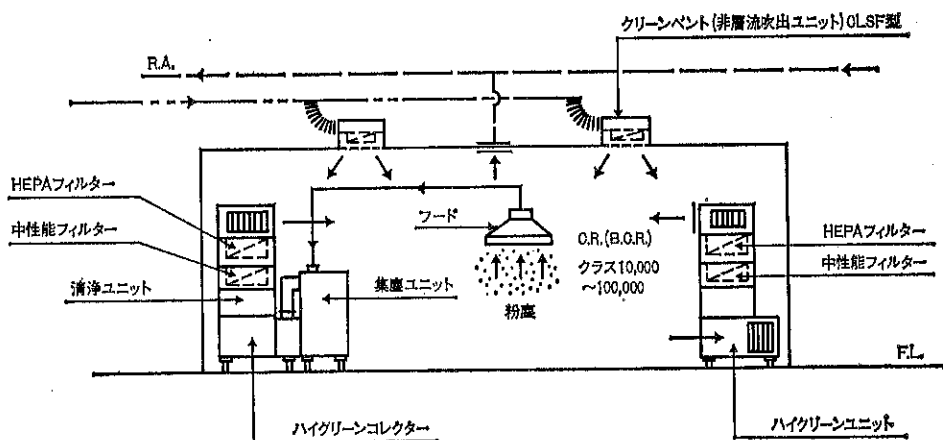


Fig. 8 床置型ハイクリーンユニット，ハイクリーンコレクターシステム構成例

Fig. 8 は、クラス 10,000~100,000 の作業室内で局所で粉塵が発生する場合のシステム構成の一例である。ダクトでは空調に必要な風量が、室内を陽圧にするために必要な外気を混えて浄化され室内に送風される。室内には清浄度に適応したフィルターを内蔵した移動可能なキャスター付ハイクリーンユニットが設置され、室内空気を循環浄化している。粉塵発生箇所は、局所フードにて粉塵を捕集しダクト

にてハイクリーンコレクターの集塵部に接続されバグフィルターにて集塵の後清浄ユニットに導入し中性能フィルター HEPA フィルターを通過し室内に循環浄化している。小規模のクリーンルームの場合は、パッケージ型エアコンをハイクリーンユニットに直接接続し、室圧保持の必要外気量をパッケージ型エアコンに導入して設置することも可能である。

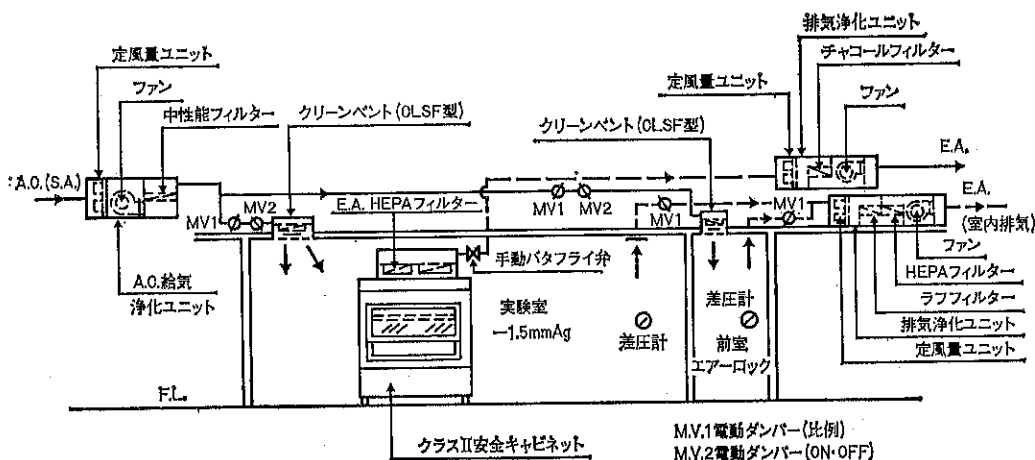


Fig. 9 バイオハザード実験室陰圧クリーンルームシステム構成例

Fig. 9 は、バイオハザード実験室陰圧クリーンルームシステムの構成例である。実験室内には、クラ

スⅡ安全キャビネットが設置され、室内は常時陰圧に保持される。この場合は実験室入口側にエア・ロ

ックの前室が必要であり、安全キャビネットの運転停止に即応した室圧制御が必要となる。安全性の面から室内の給排気は HEPA フィルターでの浄化処理を要し、ファン内蔵の浄化ユニットが、給気側、排気側共に設置される。

7.2 システム構成機器

- (1) 空調機： ファン、冷却器、加熱器、加湿装置を内蔵（パッケージ型エアコンでは圧縮機内蔵）し、空調负荷に応じた処理風量を算定すると共に作業対象と室圧保持の両面から必要外気量を決定し循環空気と混合し処理する。
- (2) ブースターファン： 中性能フィルター、HEPA フィルター、定風量ユニット等の空気抵抗を対象に静圧を決定すること、空調機からの送風空気と室の循環空気とを混合し必要室内送風量を加圧し中性能フィルターユニットに供給する。
- (3) 中性能フィルターユニット： HEPA フィルターの前置フィルターとして NBS（比色法）90% の透過効率のフィルターを必要数内蔵している。フィルターは着脱容易な締付構造でエアリークは完全に防止されている。締付金具他ユニットの材質は防錆、剝離の発生がなく気密型で風圧による振動がない構造となっている。フィルター点検取替用の気密型点検口を強固に取付けフィルターの目詰りを表示する差圧計が確認容易な位置に取付いている。ユニットケーシングの仕上は樹脂焼付塗装で、要求に応じて消音装置を内蔵し、これには剝離飛散防止処理がされている。
- (4) 定風量制御ユニット： 外気量、排気量、循環空気量を一定に制御するため各ダクト系に定風量制御ユニットを設置し、フィルターの目詰り等に影響なく室内供給送風量を一定に制御している。
- (5) HEPA フィルター内蔵吹出口： クラス 100 で

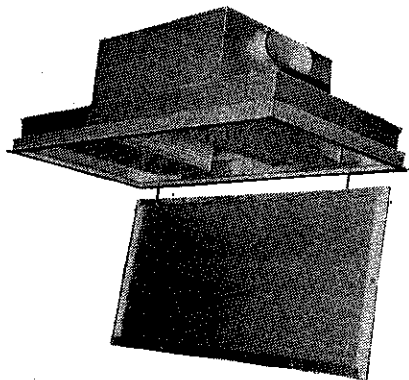


Fig. 10 ラミベント

はホソカワ層流天井システムとして照明ラインが組込まれた全面層流吹出口型を採用する。クラス 1,000, 10,000 では目的に応じて層流型吹出口ユニット（ラミベント（Fig. 10））、非層流型吹出口（クリーンベント）を採用する。何れも HEPA フィルター内蔵多孔板吹出となっている。材質は標準ではラミベントが全アルミ押型成型材アルマイト仕上、クリーンベントは鋼板製樹脂焼付仕上となっているが、要求によってアルミ製、ステンレス製も可能である。

- (6) 吸込口： クラス 100 の床面吸込の場合は、格子型（グレーチング）ラフフィルター付を採用するが、要求により風量調節機構付の製作も可能である。床面から容易に取除しが可能となっている（Fig. 4 参照）。材質は予測される荷重に対しての強度と耐久性を考慮し、ステンレス又は鋼板亜鉛どぶづけ仕上となっている。腰壁取付の吸込口は縦格子型で背面にラフフィルターと風量調節機構を具備し、容易に取除しが可能な構造で、材質は要求により鋼板製樹脂焼付仕上、アルミアルマイト仕上、ステンレス製何れの製作も可能である。
- (7) 室圧制御ダンパー： 所定の室内圧力を維持する目的で通常壁面に取付けられている。所定以上の室圧となると自動的に開き外部に余剰空気を排出し、定める圧力に満たない場合や、運転を停止した場合は閉鎖状態を維持し、汚染空気の逆流を防止している。材質は標準品の場合鋼板製樹脂焼付仕上である。
- (8) 排気ファン： クリーンルーム内での有害ガスの発生、燃焼ガスの除去等の目的で局所排気が必要な場合は排気ファンが設置される。排気の種類によってはファンの材質の検討が必要であり、排気量を考慮しての室圧維持の為の外気量の算定となる。排気ファンの吸込側又は排出側に前記の定風量ユニットの設置が望ましい。
- (9) ラフフィルター： 取入外気の一次透過と循環空気の一次透過用として AFI（重量法での濾過効率）70% 以上の製品を選定し、取外し容易な構造で設置する。洗滌その他による再生可能な材質の製品が一般に採用されている。

8. 電気設備

8.1 照明器具、コンセント

クリーンルームに使用する照明器具は、塵埃の堆積しない構造が条件となる。クラス 100 の場合は気密構造の埋込型が望ましい。この場合は、天井面とのシー

ルと放熱の関係を考慮した特殊器具となる。クラス100以外は直付けの逆富士型が一般に使用されている。コンセントは目的に応じ、接地型コンセントおよびプラグの採用となる。分電盤は通常クリーンルーム外に設置する。

8.2 配管、配線

クリーンルーム内の配管、配線は極力避け、特に横走りの水平部分は可能な限り少なくして、天井内や床下から垂直に立ち下げまたは立上げる方法をとる、構

造体の貫通部は完全にシールにより気密とする事は勿論、配管内の流体による室内の汚染を避けるべく配慮が必要である。

9. クリーンルームの関連機器

9.1 クリーンブース (Fig. 11)

垂直層流式のクリーンユニットで、ファンモーターを内蔵し、ロック付キャスターが取付いているため横方向への移動が可能である。清浄域の確保は四周の側

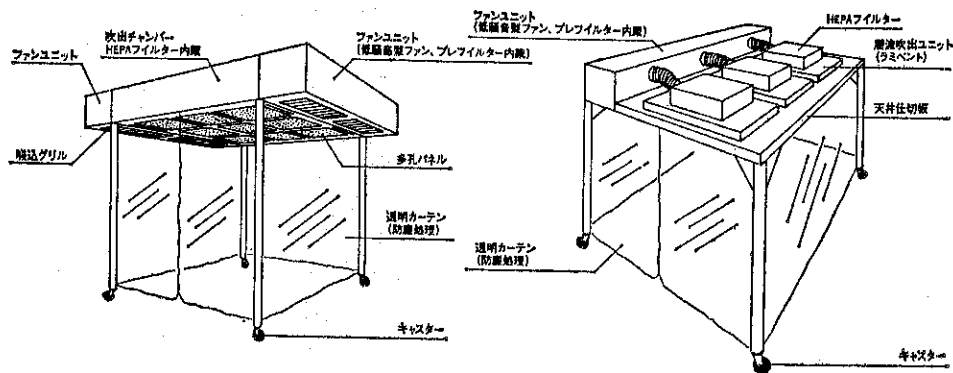


Fig. 11 クリーンブース、クラス 100、クラス 10,000

壁を防塵処理をしたプラスチック製の透明カーテンで床10～25cmまで仕切っている。クラス100用は、天井全面に HEPA フィルターを内蔵し、室断面における気流速度は $0.3\text{m/sec} \sim 0.45\text{m/sec}$ で層流を形成している。クラス 100 のクリーンブースでは清浄化の所要時間は30秒程度である。ブース内の照度は、ブース内の照明と透明カーテンを通してくる光によって倍増する。温度はクリーンブース内では、ファンモーターの発熱、照明器具の発熱等で吸込まれる周囲温度より $1^{\circ}\text{C} \sim 2^{\circ}\text{C}$ 上昇する。ユニットの大きさは作業域に合せての製作が可能である。

9.2 クリーンベンチ (Fig. 12)

垂直層流型と水平層流型の2型式がある。何れも、卓上作業用に局部的な清浄域を作り出す装置といえる。垂直層流型の作業台は作業面に開口率30～40%程度の多孔板を使用している。作業面の奥行は60～75cmで製作され、要求によって前面扉付（上下作動）も可能である。間口は1.2m～1.8mが標準で、連結は可能である。ロック付キャスターを取付けているため移動が容易な構造となっている。清浄度は作業域でクラス

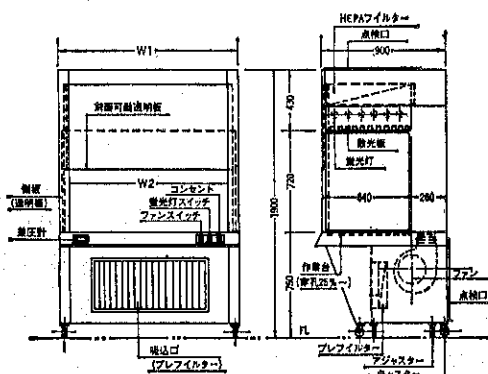


Fig. 12 垂直層流型クリーンベンチ

100以下は容易であり、風速は HEPA フィルター（吹出面）から30cmで $0.45\text{m/sec} (\pm 0.05\text{m/sec})$ 、作業面で 0.32m/sec を確保している。作業の内容により全量排気、そして排気系に HEPA フィルター、活性炭フィルター等の組込み型も製作している。付属品としてコンセント、照明器具、差圧計を取付けている。材質は標準として作業面ステンレス製、その他鋼板製樹脂焼付塗装となっているが、アルミ製、ステンレス

製等目的に応じての製作は可能である。

水平層流ベンチ (Fig. 13) は、作業台の作業表面、両側面及び天井面は HEPA フィルターの有効端と同一平面でしかも直角になっていてキャビネット内は均

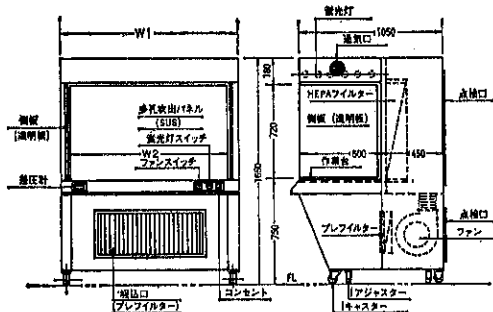


Fig. 13 水平層流型クリーンベンチ

一な層流を形成している。風速は 0.45m/sec 以上で $\pm 0.025\text{m/sec}$ となっている。前面が開放されているので作業面に接近できる利点がある。短時間で自己清浄が可能だが作業台表面は手動で清浄にしないと空気流では清浄にならない。清浄空気を室内に放出するため室全体の清浄度が向上する。材質その他は垂直層流型ベンチと同様である。

9.3 クリーントンネル (Fig. 14)

清浄作業の流れに沿って連結された作業台の作業面を対象に設置され、垂直層流型と水平層流型とある。工程によっての長さの寸法の対応は層流ユニットの連結であるため容易である。ユニットの寸法は、奥行き

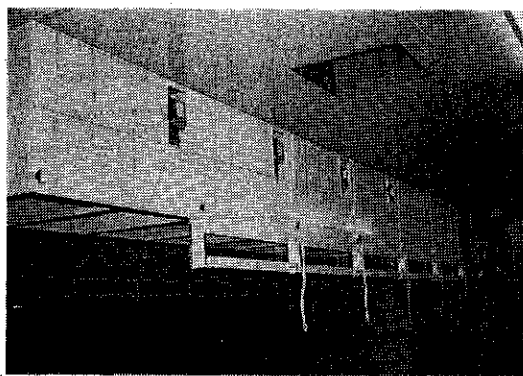


Fig. 14 クリーントンネル (現場取付施工中)

は作業台を基準に、幅は連結設置されるため $1,200 \sim 1,800\text{mm}$ 程度が多い。垂直層流型は天井設置のため天井吊型が多い。HEPA フィルター、ファン、照明等を内蔵し、層流吹出し機構はクリーンベンチと同様で、作業台が別途のためコストはクリーンベンチに比

し安価である。

9.4 ハイクリーンコレクター (Fig. 15)

清浄作業室内で薬塵、粉塵が発生する場合の集塵浄化ユニットである。キャビネットコレクターとハイクリーンユニット (空気浄化ユニット) を一体化したユニットで、局所フードで粉塵を捕集し集塵部に導入す

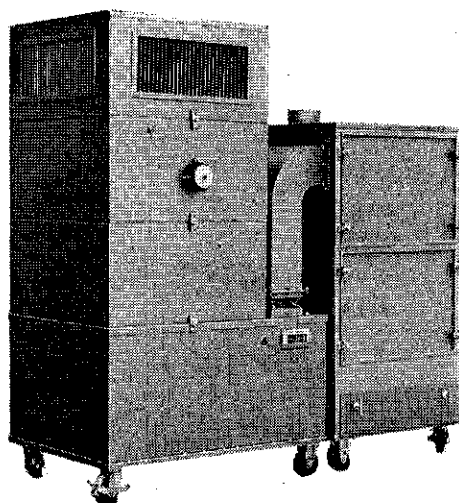


Fig. 15 ハイクリーンコレクター

過された後、目的によって内蔵された中性能フィルター、HEPAフィルターを経た清浄空気を室内に循環送風し室内の清浄度を高める機構となっている。機種は風量 $25\text{m}^3/\text{min}$ と $50\text{m}^3/\text{min}$ の2機種となっていて、何れもロック付キャスターがついているため、移動は容易である。

9.5 ハイクリーンユニット (Fig. 16)

ロック、キャスター付の床置型と天井吊型の2型式があり、吹出ユニット一体型と、ダクト接続型とに別れている。処理風量は標準として床置型では $25\text{m}^3/\text{min}$ と $50\text{m}^3/\text{min}$ 、天井吊型では $15\text{m}^3/\text{min}$ と $30\text{m}^3/\text{min}$ の各2機種になっているが要求によって大風量型も製作している。ファン、中性能フィルター、HEPA フィルター、そして循環空気と一次側空気を混合して処理する場合は定風量制御ユニットの組込みも可能となっている。また低騒音型として消音器内蔵型も製作している。

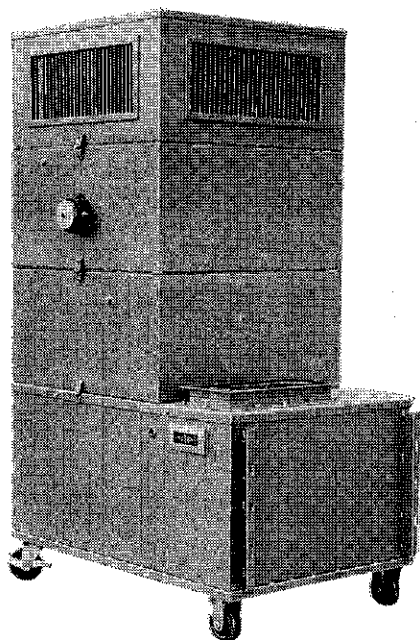


Fig. 16 床置型ハイクリーンユニット

9.6 エアーシャワー（作業員洗浄ユニット） （Fig. 17）

作業員の衣服の外部表面と、露出した皮膚の部分に付着している粒子物質を除去する目的でクリーンルームの入口に設置されるユニットである。汚染された空気が清浄室に流入しないために入口扉と出口扉は同時

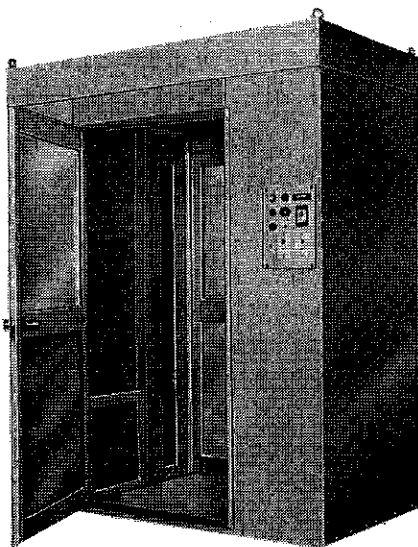


Fig. 17 スイングノズル式エアーシャワー

に開放しないようロックされている。高性能フィルタ

ーにより汙過された空気を 20m/sec 以上の風速で吹きつけ汚染された空気を吸込み循環する機構となっている。従来の製品は固定したパンカルーパーで側面から吹きつけ作業員が回転して洗浄する型式が殆んどであるが、等身大の長さのスリット型ノズルを30°~60°回転させて作業員は固定したままで洗浄する新型式が開発されている（特許出願中）。標準としては1人用と2人用の2型式となっているが、要求に応じて全長を長くした多人数用も製作されている。従来型式に比べて高効率のため関心と注目を浴びている。付属品として、床面に防塵粘着マット、フィルターの目詰り検知用の差圧計を付属としている。

9.7 エアーシャワー付パスボックス、荷物用 エアーシャワー（物品洗浄ユニット） （Fig. 18）

標準品としてはクリーンルームへの物品出入口としてのパスボックスに側面と上下の四周から清浄空気を吹き出すエアーシャワー機構を組み込んだ製品が製作さ

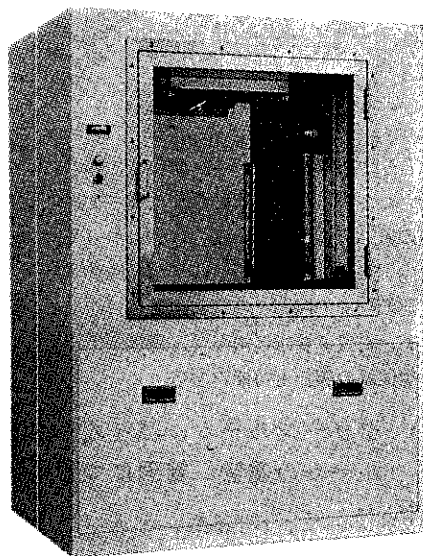


Fig. 18 エアーシャワー付パスボックス

れている。吹出風速は 20~30m/sec で、下面はローラーの下部から吹き出している。ファン、高性能フィルター、照明器具、要求によっては殺菌灯、インターホンを内蔵している。

また、保管庫、原料庫等への搬入搬出口を兼ねた物品洗浄ユニットも製作されている。物品に応じた寸法で包装、容器の表面に付着した塵埃の除却が目的で、電動駆動ローラーコンベアー内蔵も可能であり、高速吹出しの空気洗浄だけでなく、外形寸法に合わせてセッ

ト可能なブラシ内蔵の剝離洗浄型も製作されている。扉は手動、自動何れも要求に合わせて取付ができ、前後のローラーコンベアとの連動運転も可能である。物品を連続して搬入するため扉が長時間開放される場合に対処しての入口側出口側へのエアーカーテンの組込みも可能となっている。目的に応じてのフィルター、ファン、ローラーコンベア、ブラシ、自動又は手動扉、

エアーカーテン、照明器具、殺菌灯、作動スイッチ、表示灯、異常警報装置等を内蔵している。

9.8 エアーカーテン (Fig. 19)

外壁に面した扉に接して取付ける防虫を目的とした強力なエアーカーテンで、上部吹出し下面吸込みと側面吹出し対向側面吸込みの2型式があり、扉の開口寸

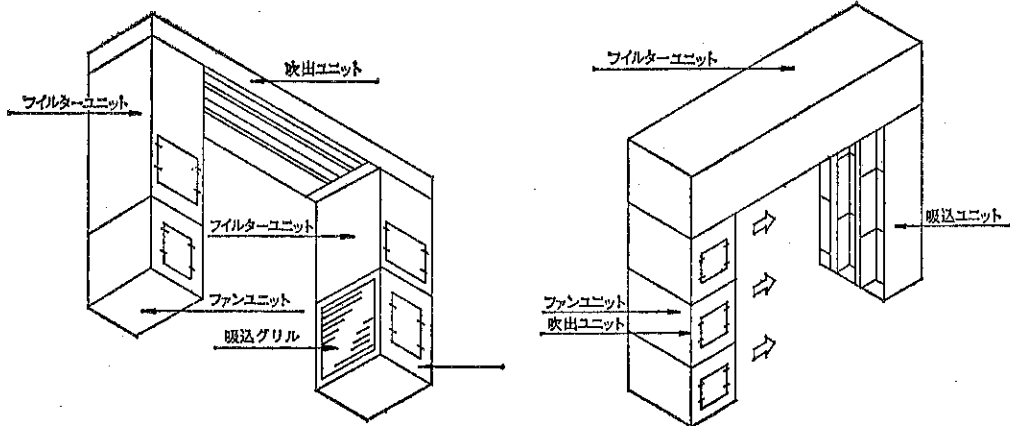


Fig. 19 防虫用エアーカーテン

法に合わせて製作されている。防虫特に蠅の侵入防止を目的としているため開口部全面に亘って最低10m/sec以上の風速を確保している。目的に沿ってのフィルターを内蔵し、ラフフィルターは清掃取替容易な構造で、運転は扉の開閉との連動運転が可能な機構となっている。材質は要求に沿って、鋼板、アルミ、ステンレス等何れの製作も可能である。

10. クリーンルーム、バイオクリーンルームの運営、管理について

クリーンルーム、バイオクリーンルームは、使用するに当って管理技術と作業者の注意でその効果は大きく左右される。汚染塵埃を持ち込まず、発散させない努力と注意が必要となる。特に維持、管理に關しての留意項目を以下に列記する。

- (1) 微粒子の管理
- (2) 着衣に対する注意
- (3) 使用装置の管理
- (4) 監視装置による点検
- (5) 室内条件の維持
- (6) 使用者側の意識

上記(3)の項目については、機器の性能、構造等を熟

知し、年間の運転計画に合わせた管理計画が必要である。

クリーンルーム、バイオクリーンルームの維持管理について日本空気清浄協会の空気清浄装置維持管理基準専門委員会によって、空気清浄装置管理基準 (JACANO, 14-1979) が作成され、詳細に記述されているので参照されたい。

11. クリーンルーム、バイオクリーンルームの今後の課題

サブミクロンの超微粒子への挑戦も最尖端技術では必要であるが、広範囲で共通していえるのは省エネルギーと経済性と思われる。安全を過度に重視し、余裕を見込んだシステムの施工は設備費は勿論、運転費が非常に高価につく。清浄な環境を作るための動力は極めて大きい。

要求に合った清浄空気量の供給、従来の最大負荷による高圧定風量供給システムから、室圧は一定に保持し負荷に応じて必要量供給の可変風量システムへの移行、これは高精度のVAVシステムでは可能であり、ファン容量制御の組込みも容易である。これらを可能にしたホソカワ/タイタス高精度VAVシステムの応用例を以下に

〈空気式〉

- SA, RA(EA)速動制御 (室内圧一定)
- 再熱コイル制御
- SAファン—RA(EA)ファン容量制御
- 外気量制御 (外気冷房)

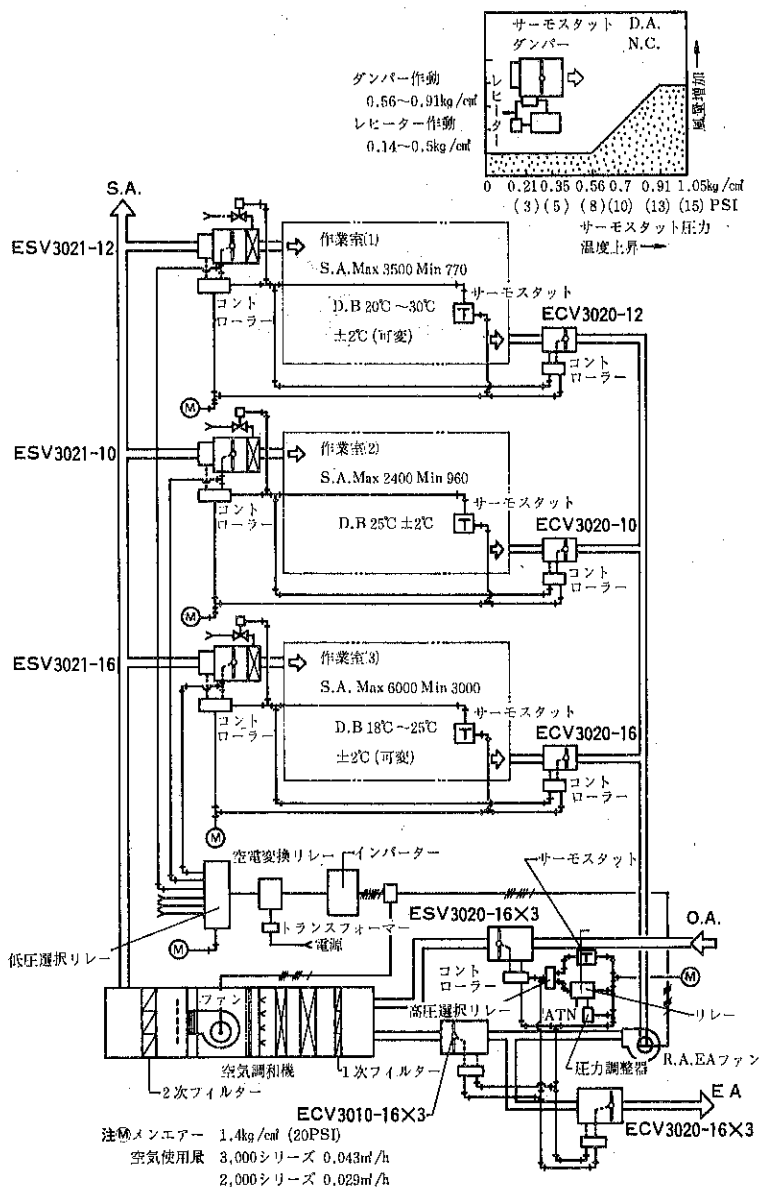
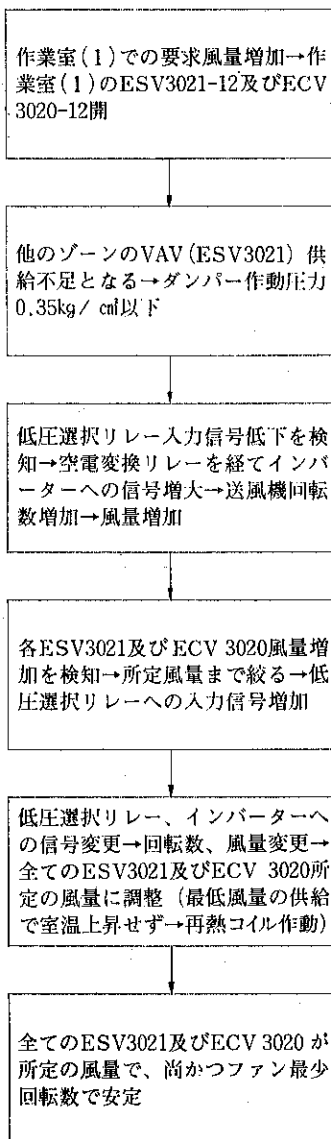


Fig. 21 ホソカワ/タイタスVAVコントロールシステムの一例

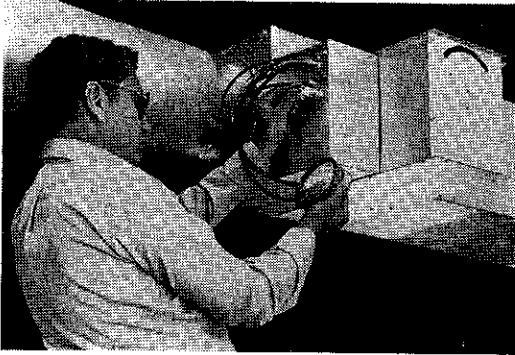


Fig. 20 VAVユニット

紹介する。

- (1) 最高風量，最低風量を設定し空調負荷に応じた室圧一定での供給風量，排気（循環）風量制御。
- (2) 外気温度による外気量，排気量制御。
- (3) 浮遊微粒子数の変化に伴っての風量制御。
- (4) 室圧制御。

- (5) 供給風量，排気量，循環風量の切替による可変定風量制御。

上記システムは全て各VAVユニットより各信号を送り，選択リレーを経て送風機の容量制御が可能なシステムとなっている。Fig. 21 にその一例を示す。

クリーンルーム，パイオクリーンルームの計画に当たっては，過剰設備にならないため充分な打合せと，省エネルギーに徹したシステムの構成と製品の開発が，私達クリーンルームに専門に取り組んでいる技術者の今後の課題といえよう。

参考文献

- ※ 1. 空気清浄ハンドブック（日本空気清浄協会編）
- ※ 2. NASA SP-5076 CONTAMINATION CONTROL HAND BOOK（日本空気清浄協会CC調査専門委員会訳）
- ※ 3. 飯野香：防塵装置（理工図書）
- ※ 4. Austin, P. R. Contamination Index.

特許一言メモ No. 53

出願最多の日本

我が国における特許・実用新案の出願件数は年々増大し，昭56年度では特許・実案併わせて42万件（昭57年度44万件）にも達して世界第1位。これは，出願件数第2位の米国11万件（前年比2%増）を大幅に凌ぐ数である。

しかし，審査件数当りの登録率は昨年度特許・実案合計で44%と，米国の60%台に比べるとあまりよくない。

むしろ，このように膨大な出願量は審査業務の遅延を来し，真に有用な発明に対する迅速，的確な権利の付

与が妨げられるとして，特許庁では出願に先立って十分な事前調査と事前評価を行うよう，出願量の多い主要企業に対し協力を要請し，出願の適正化指導に取り組んでいる。

ちなみに，出願件数の上位を占める大手電機会社6社で約10万件を占めている。また，出願から審査までの期間も米国の2年に比べ，我が国では4年～5年もかかっているのが実状である。

（技術資料室）

新製品紹介

ホソカワミクロン ミクロンパーテックミルについて

東京事業本部*

1. はじめに

近時、産業界の新製品開発、製品品質の安定向上、コスト低減などの活発な動きにより、粉体処理プロセス中の粉砕機に対する要望がつつぎと寄せられている。

それは、高品質のより微粉、超微粉への方向であり、省エネルギーと大量処理である。

ホソカワミクロン ミクロンパーテックミルは今回、ホソカワが新しく開発した主として40 μ m平均の微粉を大量に生産できる堅型微粉砕機である。

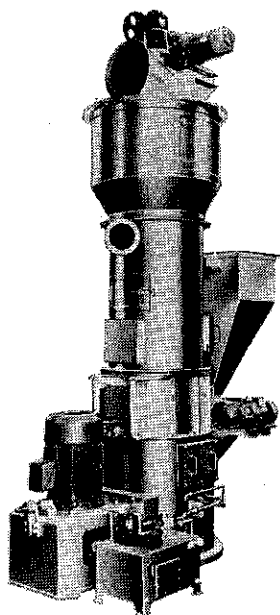


photo.1 ホソカワミクロン
ミクロンパーテックミル

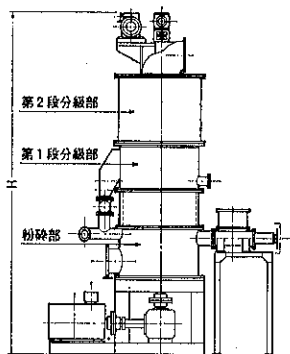
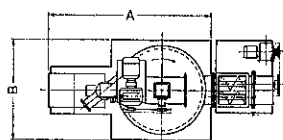


Fig.1 外形図

本機には、粉砕部に従来の大型機には見られない高速衝撃式を採用し、また機内に閉回路2段分級装置を内蔵した消費動力の少ない新時代のエアスエプト型微粉砕機である。その外形図を Fig.1 に示す。

2. 構造

ミクロンパーテックミルは堅型で、下部より粉砕部、第1段分級部、第2段分級部の順序に組立てられている。

2.1 粉砕部

粉砕部は外周に多数の耐摩耗鋼製の角型ハンマを取付けた2段式堅型ロータからなり、モータにより下部より駆動され、高速で回転している。

まず、原料は供給機によって粉砕部に連続して供給され、下段の粗砕ロータに送り込まれる。

下段の粗砕ロータで一定の粒度に粉砕された碎料は更に上段の微粉砕ロータによって細かく微粉砕される。

* ホソカワミクロン(株) 東京事業本部
(〒170 東京都豊島区東池袋3丁目1-1 サンシャイン60内)
Tel (03) 986-8661(代)

上段の微粉碎ロータは粗砕ロータより1段径が大きく、効果的な微粉碎を行なう。

2.2 第1段分級部（粗分級）

微粉碎ロータを出た砕料は機内を流れる空気流により上方の第1段分級部に送られ、その簡易分級機構によって粗分級されます。その際、粗粉のみが下方の微粉碎ロータへ還流して再び微粉碎される。

一方微粉は空気流に乗って更に上方の第2段分級部に送られる。

2.3 第2段分級部（仕上分級）

第2段分級部はホソカワミクロン ミクロンセパレータと同一の構造の分級ロータと強力な風篩機構を組合わせることにより高精度の分級を行うもので分級後の微粉のみが空気流によって上方排出口から取り出され製品として捕集機で分離捕集される。

また、このときの粗粉は一旦機外に取り出され、原料とともに粉碎前へ供給され、再び粉碎作用をうける。

3. 特 長

(1) 大量の微粉が得られ、据付面積が小さい。

縦型高速衝撃式粉碎機構を採用することにより、粉碎部の小型化と高効率の微粉碎が可能となり、更に分級機構とのコンパクトな組合せにより据付面積が小さい。

(2) 消費エネルギーが少ない。

2段の閉回路分級機構が内蔵されているので、過粉碎を防止し、処理能力の増大と消費動力の低減をはかっている。

(3) 安定した運転ができる。

機内滞留量を減らして粉碎負荷の軽減と均一化をはかり、安定した運転を継続することができる。

(4) 製品粒度の調節が簡単

粉碎条件と分級条件をそれぞれ独立して設定することができるので希望の粒度の製品を得るための調節が簡単な操作でできる。

(5) 保守点検が容易

構造が簡単で充分な点検口が備えられているので機内の保守点検や部品の交換はすべて機外から容易に行うことができる。

4. 型式及び仕様

ミクロンパーテックミルの型式及び仕様を Table 1 に示す。

5. 標準フローシート

ミクロンパーテックミルの標準フローシートを Fig.2 に示す。

Table 1 型式及び仕様

型 式	所要動力 (kw)		標準 風量 (m ³ /M ³)	概 略 寸 法		
	粉碎 部	分級 部		A	B	H
MVM-60-2	45	1.5	35	2100	1150	3750
MVM-90-3	45	3.7	60	2100	1150	4100
MVM-100-3	75	3.7	60	2400	1400	4500
MVM-100-4	75	5.5	100	2400	1400	4900
MVM-200-4	150	5.5	120	2900	1700	5550
MVM-200-5	150	7.5	200	2900	1700	6700
MVM-300-5 ^L	220	7.5	180	3200	1900	7200
MVM-300-5 ^H	220	11	300	3200	1900	7200
MVM-500-6 ^L	370	15	300	3550	2350	8400
MVM-500-6 ^H	370	22	500	3550	2350	8400

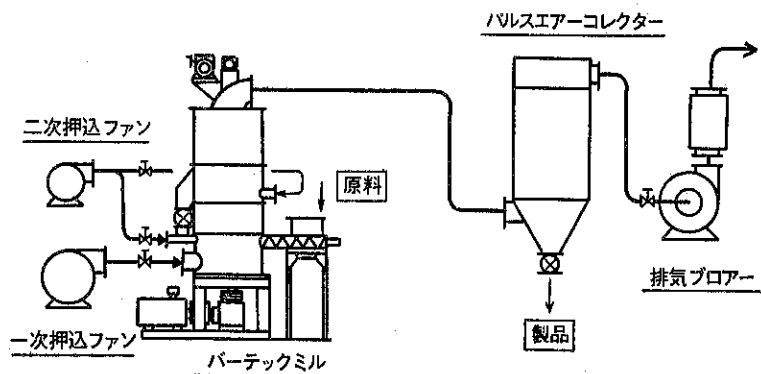


Fig.2 標準フローシート

Table 2 ミクロンパーテックミルの性能例

原 料 名	所 要 動 力 (kw)		処理能力 (kg/Hr)	原 料 粒 度	製 品 粒 度
	粉碎部	分級部			
石油コークス(ディレード)	11	1.5	300	0.25mm以上 80%	200 Mesh Pass 99%
石油コークス(ディレード)	11	1.5	220	0.25mm以上 80%	325 Mesh Pass 99%
石 灰 石	11	1.5	800	32 Mesh on 98%	200 Mesh Pass 90%
セメントクリンカ	11	1.5	600	1~5mm	200 μ 以上 0.1% 44 μ 以下 55%
フェライト(90%)+ ゴム(10%)	11	1.5	200	Ø2~3mm 凝集物	42 Mesh~200 Mesh 76%
石 灰 石	11	1.5	330	5mm以下	200 Mesh Pass 98%
石 灰 石	11	1.5	125	5mm以下	325 Mesh Pass 98%
木 材 チ ッ プ	11	1.5	45	2mm [□] ×10~2mm ^L 棒 状	100 Mesh Pass 85%
木 材 チ ッ プ	11	1.5	150	棒 状	100 Mesh Pass 35%
石 灰 石	55	3.7	3,800	32 Mesh on 98%	325 Mesh Pass 53%
木 材 チ ッ プ	45	—	540	2mm [□] ×10~2mm ^L 棒 状	100 Mesh Pass 65%

6. 適用及び性能

ミクロンパーテックミルは石炭、石油コークス、石灰

石、珪藻土、タルク等、特にミネラル関係の大量処理用に適している。納入例及びテスト例での性能を Table 2 に示す。

特許一言メモ No. 54

意 匠 登 録 と は

工業所有権には特許・実案・商標のほか意匠法がある。

この意匠とは、物品の形状・模様もしくは色彩を通じて美感を起こさせるのをいう、と規定され、なんらかの姿・形のあるもので美的なものということになる。

勿論、特許・実用新案などと重ねて出願してもよい

が、その姿・形に厳密にはとられない特許・実用新案のほうが権利の幅が広いといえる。

また、特許・実用新案にならないので意匠をとる、ということもあるようです。

(技術資料室)

クリーンルーム塵埃集中連続監視管理システム

ポータブル塵埃計（パーティクルカウンター）

発信機構内蔵微差圧計（スーパーマノメーター）

環境事業部*

産業分野、医療分野でクリーンルームが普及してくると共に、その塵埃制御や管理面での高度な要求が一部では望まれてきている。特に半導体製造工程を中心に高精度の塵埃制御の要求につれて、その監視と管理が重要視され始めている。これらの信頼性、安定性、連続性、経済性のニーズに応えて、クリーンルームの専門会社であるホソカワ環境エンジニアリングは、このたび新しく神鋼商事㈱総合開発室と、この面の基礎技術を有するハッピー科学㈱と組み、「クリーンルーム塵埃集中連続監視管理システム」「ポータブル塵埃計」「微差圧計及び室圧制御システム」の共同開発とその販売を開始した。これらの概要を以下簡単に紹介する。

1. クリーンルーム塵埃集中連続監視管理システム

1.1 光ファイバー方式

光ファイバー方式塵埃集中連続監視管理システムは検出部と中央装置で構成され、その間を光ファイバーで結び必要測定箇所の浮遊塵埃数をクリーンルーム外で計測する遠隔集中連続監視管理システムである。検知部門はレンズ系のみで、He—Ne レーザー光源及び検出電子装置等の全てはクリーンルーム外に設置する理想的なシステムとなっている。

1.1.1 特長

- (1) サンプル空気は検出点に到達するまでに管壁に触れないため、正確な塵埃数の計測が可能で、塵埃数の急激な増減にも追従ができてパーキングの操作が不要である。

- (2) 検知部には電気部品、作動部分が皆無のため安全で保守が不要であり、また二次汚染の懸念がない。
- (3) 切換方式（順次測定）なので光源（He—Ne レーザー）及び検出電子装置が1組のため測定箇所による偏差がない。
- (4) ランプを使用しないので短寿命の部品がなく取替や校正の保守管理が容易で、特にクリーンルーム内での保守作業は不要である。

1.1.2 標準仕様

- 検出方式 光散乱式
- 検出粒径 0.3 μm 以上, 0.5 μm 以上, 1.0 μm 以上
- 吸入空気量 2800 cc/2min (1.0ft³/2min)
- 測定時間 120 sec (1 測定当たり)
- 検知部の数 標準 8 箇所 (増減可能)
- 測定周期 17分間 (検知部 8 箇所)
- 表示 カウント数10進 4 桁 1 組
測定点 10進 1 桁 1 組
- アナログ出力 DC 0 ~ 5 V, 0.05V 刻み
最大カウント100, 1,000, 10,000 対応の何れかを選択可能
- 時刻表示 LED 時, 分を24時間表示
- 形状寸法 検知部 壁掛型 210^W×100^D×300^H
重量 2.5 kg
中央装置 ラック型 570^W×700^D×1,750^H

1.1.3 特記仕様（下記仕様の追加が可能）

- (1) 供給風量制御出力信号
クリーンルーム内での塵埃数が減少し測定値が少くなった場合、VAV制御又は送風機の台数制御や回転数制御等への信号（リレー接点の開閉）が可能。標準は4段階。

* ホソカワ環境エンジニアリング㈱ 環境事業部
(〒552 大阪市港区市岡 2 丁目14番 5 号)
Tel. (06) 574-7771(代)

特に塵埃が少ない場合は有利となる。

- (3) 長時間にわたって安定した使用ができるため経済的である。

1.2.2 標準仕様

- ・検出方式 光散乱式
- ・検出粒径 $0.3\mu\text{m}$ 以上, $0.5\mu\text{m}$ 以上, $1.0\mu\text{m}$ 以上, 同時測定
- ・吸入空気量 $2800\text{ cc}/2\text{ min}$ ($1.0\text{ ft}^3/2\text{ min}$)
- ・測定時間 120 sec 連続繰返し
- ・検知部の数 標準 4 箇所 (増減可能)
- ・測定周期 全端末連続繰返し測定
- ・表示 LED 10進 3 桁 3×端末数
- ・アナログ出力 DC $0\sim 5\text{ V}$, 0.05 V 刻み
- ・時刻表示 LED 時, 分を24時間表示
- ・形状寸法 端末器 $145^{\text{W}}\times 220^{\text{D}}\times 145^{\text{H}}$ 吊下げ式

1.2.3 特記仕様 (下記仕様の追加が可能)

- ・供給風量制御出力信号
光ファイバーの項に同じ。

2. ポータブル塵埃計 (パーティクルカウンター)

本塵埃計はクリーンルーム, パイオクリーンルーム, クリーンベンチ, クリーントネル等の清浄作業域内の清浄度測定を目的に開発した自動塵埃濃度測定装置であ

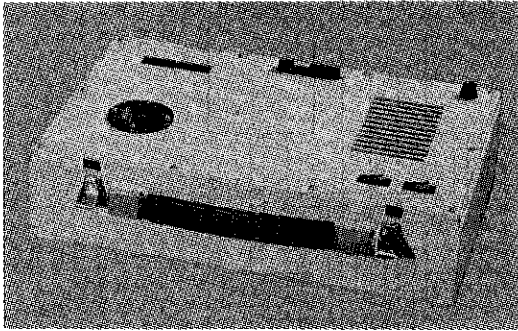


Photo. 1 パーティクル・カウンター

る。小型, 軽量で取扱い容易で必要箇所の微小塵埃浮遊微粒子数を正確に計測できる。安定した高い計測精度で, アナログ出力にレコーダー (オプション) を接続し, 長時間にわたる浮遊塵埃量の変化を記録することにより清浄度の変化に伴う諸現象の解明も容易となる。

2.1 特長

- (1) 光源に He—Ne レーザーを使っているので長時間安定した性能が維持できる。
- (2) サンプルエア吸込部が塵埃を付着飛散させな

い形状であるため, 空気流入部の事前汚染等の影響がなく正確な塵埃数の計測ができる。

- (3) アナログ出力があるためデーターロガー又はレコーダーを接続して長時間の連続記録が可能。
- (4) 小型, 軽量で取扱いが容易。

2.2 仕様

- ・検出粒径 $0.3\mu\text{m}$ 以上, $0.5\mu\text{m}$ 以上, $5.0\mu\text{m}$ 以上, 3 点切換え。
- ・計測風量時間 $280\text{ cc}/60\text{ sec}$ ($0.01\text{ ft}^3/60\text{ sec}$) 50 Hz
 $280\text{ cc}/50\text{ sec}$ ($0.01\text{ ft}^3/50\text{ sec}$) 60 Hz
マニュアルモード……手動スタート, ストップスイッチ付
- ・表示 LED 10進 4 桁デジタル表示, 10 倍切換スイッチ付
- ・アナログ出力 DC $0\sim 5\text{ V}$
- ・形状, 重量 $420^{\text{W}}\times 110^{\text{H}}\times 255^{\text{D}}$ (手提付) 7.5 kg
- ・所要電力 AC 100 V 20 W $50/60\text{ Hz}$
- ・使用温度, 湿度範囲 温度 $0\sim 40^{\circ}\text{C}$, 湿度 85% 以下直射日光下を除く
- ・その他 微粒子数 $3,000,000\text{ ケ}/\text{ft}^3$ 以上オーバーカウント (デジタル表示窓に表示)

2.3 構成部品

本体, ホースアダプター 1 ケ, ホース 2 m , アナログ出力用ジャック 1 ケ, ヒューズ 0.1 A 2 ケ。

3. 発信機構内蔵微差圧計 (スーパーマノメーター)

本器は, クリーンルームその他精密空調室等の室内と室外の僅少な圧力差を測定する目的で開発された装置である。気圧差を数字で表示するだけでなく同時に気圧差に比例するアナログ直流電流による発信が可能で, 従って本装置を使用して室内気圧制御は勿論, 気圧の変動を検知しての高精度の警報の発信等も可能である。

3.1 特長

- (1) 高感度で微小な気圧変化 (水柱 0.1 mm) に対しても追従が可能。
- (2) 平衡方式なので長期安定であり, かつ比例性が良好。
- (3) 気圧に比例もる電流出力があるので室内圧力のコントロールや異常時に正確な警報を必要とする場合等の発信が可能。

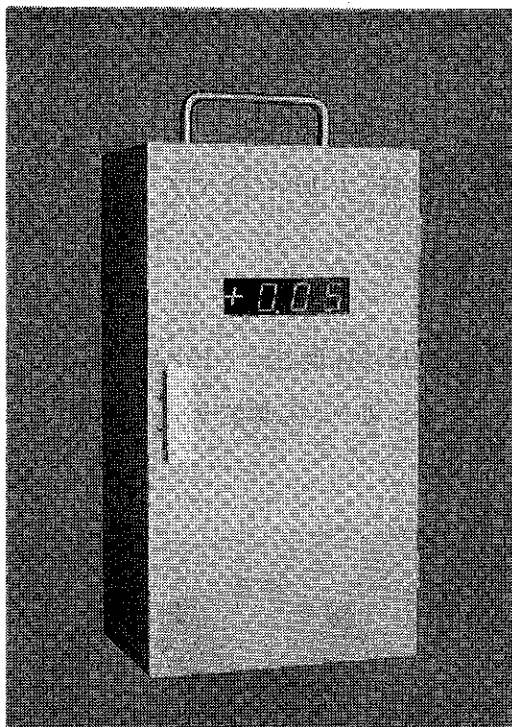


Photo. 2 スーパーマノメータ

3.2 標準仕様

- 測定範囲 I 型 水柱+4.0 mm~-2.0 mm
 II 型 水柱+10.0 mm~-10.0 mm
- 感度分解能 I 型 水柱±0.05 mm
 II 型 水柱±0.15 mm
- 表示 LED 10進3桁と符号
- 出力電流 DC 4 mA~20 mA (負荷抵抗 250 Ω 以内)
- 標準寸法 150^W×100^D×275^H (電源部を除く)
- 形状・重量 壁面取付型 3.5 kg
- 所要電力 DC +15V 0.2A +5V 0.5A
 -15V 0.1A

3.3 特記仕様 (下記仕様の追加が可能)

- トランス等の電源内蔵 (客先供給電源 AC100V 50/60 Hz)
- 警報出力 (上限, 下限, その他)
- アナログ出力以外の制御用出力
- その他条件付出力信号 (例, 設定した下限値を下回る状態が一定時間以上, 例えば20秒経過した場合, 警報を発する出力など)

特許一言メモ

No. 55

商 標 と ブ ラ ン ド

特許権と同じだが、商標権は出願した国においてのみ、その効力を持つ。つまり、日本の特許庁に対して出願された商標は、日本国内でしか権利を主張できないわけであり、国外において他人に使われていても何ら訴えることもできない。したがって、こうした商標権を持つ商品が他国においても同様に商標権を持つには、各々の国に対して、一つ一つ出願しなければならない。

しかし、今日のように流通面での発展により、輸出入

が盛んに行われるにつれて商標権の獲得と維持管理には、相当の出費を余儀なくされることになる。そのため、最近では一つ一つの商品に対して商標権を取得するのではなく、自社のブランド名を一つ設定し、このブランド名を全ての商品に付けることによって間接的に個々の商品に効力がおよぶような方策を取る企業も多い。

(技術資料室)

新製品紹介

微粉末用 真空圧縮充填システムについて

(特許出願中)

細川粉体機器サービス㈱*

ホソカワ東京機器サービス㈱**

1. はじめに

従来、微粉末の充填作業には、発塵や脱気（減容）、定量性等、多くの問題がある。例えば微粉末をホッパから容器に充填するときブリッジやラットホール現象によりスムーズな充填作業ができない場合が多く、混合粉末では粉末の比重差による偏折がおこるとか、定量充填の際、嵩比重の調整が必要で充填に時間がかかり、また粉の発生により作業環境が悪くなる等、多くの問題を抱えている。

本システムはこれ等の問題を解決し、充填作業の合理化を可能にした。

減圧状態で粉末を充填することで、微粉末をあたかも液体のように取扱うことができ、スムーズに脱気と圧縮が充填と殆ど同時に、しかも短時間に行われ、又減圧度を調整することにより嵩比重の調整も可能である。

2. 本システムの概要

本システムは、供給ホッパ、充填室、真空ポンプ、バルブ、コンプレッサ、制御装置等、又必要に応じて計量機との組合せで構成され、ユーザの条件、要求に応じた種々の組合せ設計ができる。従って他の生産機器のような能力に応じた一定の型式はない。

テスト機により粉体にあった条件をつかみ、ユーザの

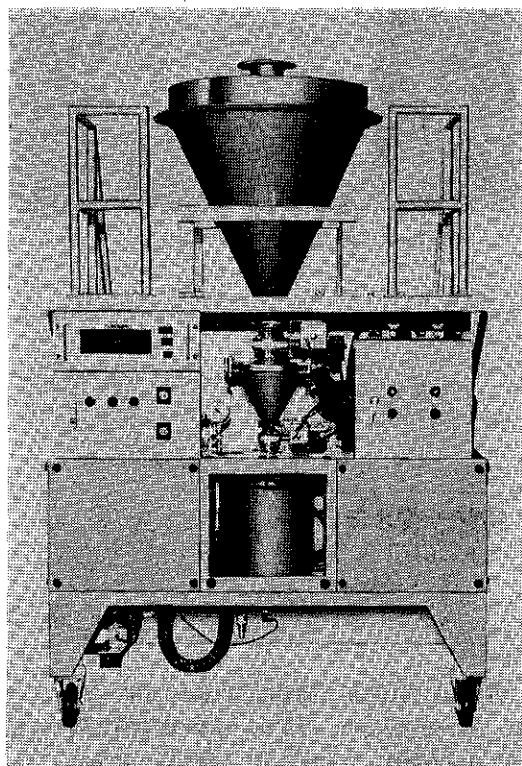


Photo.1 真空圧縮充填システム

要求に応じ立案設計をしている。

本システムは、Photo.1 に示すように、色々な粉体のテスト機として、可搬式にシステムをまとめ、容器又は袋の充填用に設計製作したものである。この場合、容器又は袋の装着、取出しは手動になる。

3. 特 長

(1) 粉体の充填は、ごく短時間(数秒)で終り、発塵が

* 細川粉体機器サービス㈱

(〒552 大阪市港区市岡2丁目14-15)

Tel. (06) 572-5375~9

**ホソカワ東京機器サービス㈱

(〒277 千葉県柏市中十余二字元山407-2)

Tel. (0471) 31-6612

ない。

(2) ホッパから容器に粉体が排出される状態は、ホッパ内の粉体の上面がほぼ水平に下るように排出されるので粉の偏折、分離がおこらない。

(3) 充填容器の減圧状態を一定にし、供給ホッパ排出口のバルブを開くと、圧力差でスムーズに粉体が排出されるのでホッパに粉体の残溜がなく精度の良い定量供給ができる。

(4) 減圧度を変えることにより充填粉体の嵩比重の調整ができる。

(5) 本システムは比較的簡単で且つ、安価な設備で、バルブの自動操作で運転できるのでイニシャル及びランニングコストの面でも有利である。

4. 用 途

次のようなとき本システムは特徴を発揮する。

1) 充填量が多く、発塵が多い。

2) 充填時間を短縮したい。

3) 容器との関連で嵩比重の調整が必要。

4) 充填しにくい容器への充填。

5) 造粒等の前処理としての減容、脱気。

5. 真空度と圧縮の関係

真空度が高いほど充填粉体の圧縮効果が大きく減容率もアップするが、減容率は粉体により差異があり、経済性を考慮すると、50 Torr 位迄が適当である。

6. 減容率と嵩比重

粉体の物性、粒度等によって異なるが、減容率はおおよそ20~40%程度である。実験データ例を Table 1 に掲げる。

7. システムの一例

適用システムの一例を Fig. 1 に示す。

Table 1 テストデータの代表例

粉 末 名	かさ比重	充填室初期真空度 (Torr) とかさ比重/減容率%		
		200	100	50
エポキシ(粉体塗料)	0.75	0.47/17.5%	0.90/20%	0.54/35%
黒 鉛	0.40			
ステアリン酸カルシウム	0.19			
ステアリン酸亜鉛	0.10	0.19/20%	0.7 /20%	0.24/27%
タ ル ク	0.16			
コ ー ク ス 粉	0.57			
カ フ ェ イ ン	0.20	0.39/25%	0.26/28%	0.73/28%
食 品 添 加 物	0.31			
発 泡 剤	0.49			
		0.59/20%	0.64/30%	

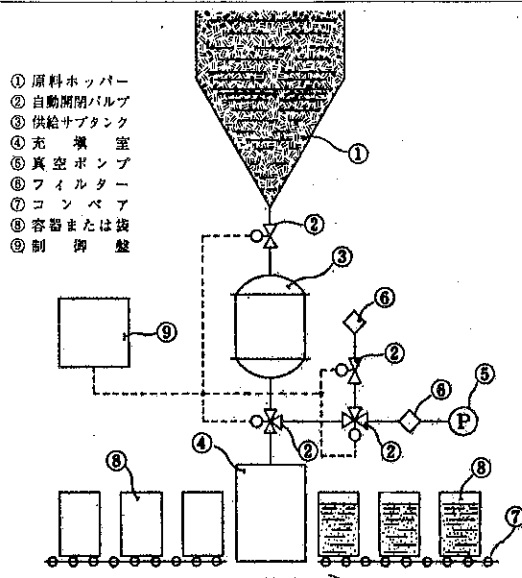


Fig. 1 代表的適用システムの一例

新製品紹介

沈降式自動粒度分布測定装置

ホソカワミクロン セジメンピュータ (SPT-G)

細川粉体工学研究所*

1. はじめに

粒度分布測定法には、数多くの方法があるが、中でも沈降法に基づく測定法が最も基本的で、信頼性の高い測定と考えられる。

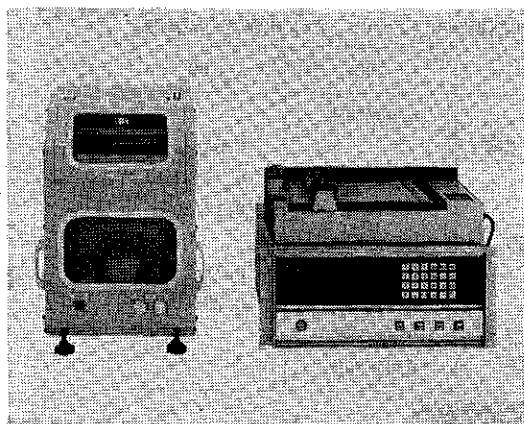


Photo. 1 ホソカワミクロン セジメンピュータ

沈降天秤式粒度分布測定器は、原理的にも簡単で、操作しやすい利点があり、弊社でも多用していたが、近年、一般粉体の微粉域での粒度分布測定業務の増加に伴い、精度の高い粒度分布測定が要求されており、測定の迅速化、自動化がより一層求められるようになってきた。

ホソカワミクロン セジメンピュータ(Photo. 1)は、これらの要求に対する第一段階として、従来の沈降天秤の特長を生かし、更に、測定の自動化と迅速化、測定精度の向上を目的に開発されたものである。

この装置では、測定試料を調製し、測定器にセットすれば、後は自動的に演算器が解析し、X-Yプロットが

粒度分布測定結果を直接描き出す。

また、測定器を4台演算器に接続できるので、最高4個の試料の同時測定が可能であり、測定業務の迅速化、省力化に大きく役立つものと思われる。

2. 測定原理

流体中での粉体の沈降速度 U [cm/sec] は、粒径が小さい場合、次式で示され、Stokes式と呼ばれている。

$$U = g \frac{(\rho_P - \rho_L) D_P^2}{18 \mu_L} \quad (1)$$

ここで、

g : 重力加速度 [cm/sec²]

ρ_P : 粒子密度 [g/cm³]

ρ_L : 媒液密度 [g/cm³]

D_P : 粒子径 [cm]

μ_L : 媒液粘度 [g/cm・sec]

(1) 式より、粗い粒子は沈降速度が大きく、初期の段階で沈降し、細かい粒子は沈降時間が長くなる。

この測定法では、一定の沈降距離に秤量皿をおき、その秤量皿に沈降堆積した粒子重量を正確に測定する。

任意の測定時間における沈降粒子重量の関係(沈降曲線)を数値微分し、(1)式の関係から粒度解析すると、粒度分布が得られる。

従って、原理的には沈降天秤法と同じであり、測定結果も沈降天秤と同一の値を示す。

3. セジメンピュータの機能

セジメンピュータは測定、演算、出力の機能が各々別々にユニット化されて構成されている。

測定器では、自動平衡式電子天秤を利用し、秤量皿に沈降堆積する粒子重量を10mg精度で秤量し、演算器の指示が入力される毎にデータを送信する。

測定器の通信機能は、JIS規格に準拠したシリアル通信を用いるため、演算器の外RS232C通信機能を持つ

* 財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

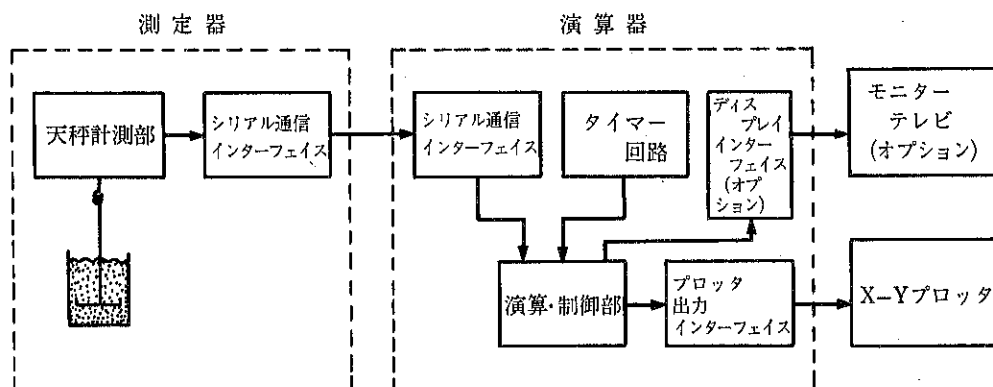


Fig. 1 セジメンピュータのブロック図

ミニコンやパソコンでもデータを受信することが可能である。

演算器はキーボード上で指定された測定条件と、測定器から受信したデータより粒度解析し、粒度分布測定結果を記憶する。

キーボードから指示があれば、X-Y プロッタは演算器からのデータにより、専用記録紙上に累積および頻度分布の形で粒度分布を作図し、所定の欄に数値をプリントし、作表する。

また、平均径も同時に印字する。

4. 特 長

(1) ユニット化

測定器、演算器、X-Y プロッタがユニット化されて演算器1台に、測定器を最大4台まで接続できる。

接続した測定器は同時測定が可能で、最高4種類の試料が同時に測定できる。

また、必要に応じて、演算器の代わりにミニコンやパソコンを接続したり、プリンタに出力させることも可能である。(ソフトウェアはオプション)

X-Y プロッタで得られた粒度分布が、頻度および累積分布の形で、直接作図、作表されます。

(2) 途中結果の出力

測定途中の粒度分布も、X-Y プロッタで出力させることができ、粒度分布測定の適否判断や、推定も簡単に行なえる。

(3) 解析の自動化

演算器が自動的に粒度解析するので、手計算の必要がなく、解析に個人差が生じない。

(4) 測定精度の向上

秤量皿の上下動揺がなく、これに伴う媒液乱れがない。

また、秤量感度は10mgになっており、測定精度が向上している。

(5) 停電対策

演算器には、バッテリーバックアップ機能があり、停電時にもデータは保持される。

従って、電源復帰後停電前までの測定結果は、X-Y プロッタで出力させることができる。

(6) 詳細な資料

沈降式粒度分布測定においては、試料の分散が測定の精度を決定する最も重要な因子である。

弊社の長年に亘る粒度分布測定で蓄積された、分散技術資料が添付されている。

(7) 豊富なオプション

その他、オプションとして測定中に試料が再凝集したとき、警報を出す凝集監視機能、テレビ画面にも粒度分布を表示できるCRT表示機能が準備してある。

5. 仕 様

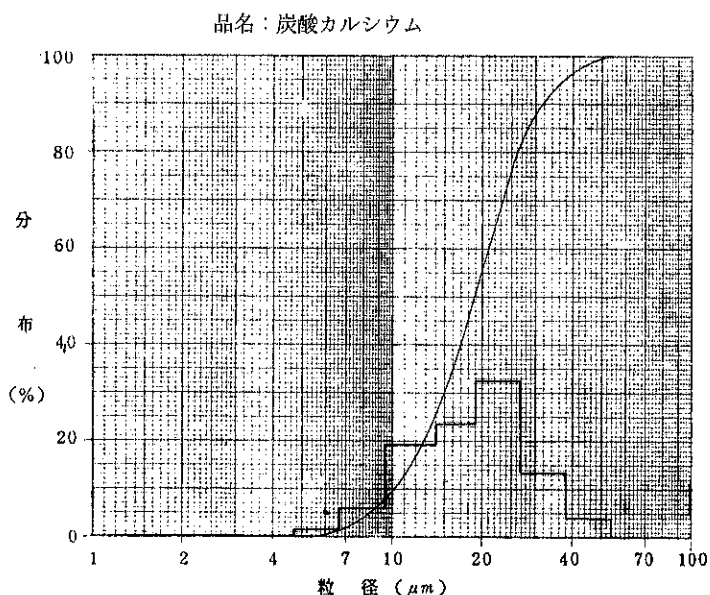
◎測定器

- ・測定方法 液相沈降法による沈降重量方式
- ・重量読取感度 10mg (粒度分布測定するとき)
- ・通信方法 RS232C シリアル通信

- 寸法 300^W×450^D×475^H
- 重量 約30 kg
- ◎演算器
 - 演算処理方法 8bit マイクロプロセッサ処理
 - 通信方法 RS232C シリアル通信
(測定器～演算器間)
 - セントロニクス仕様 8bit パラレル
(演算器～プロッタ間)
- 寸法 430^W×350^D×200^H
- 重量 約10 kg

◎X-Y プロッタ

- 記録表示 粒度分布（累積および頻度分布）の作図
および作表、平均径のプリント
- 有効作図範囲 X軸 245mm×Y軸 180 mm
- 作図精度 0.3 mm
- 通信方法 セントロニクス仕様8bitパラレル
- 寸法 430^W×267^D×113^H
- 重量 約 6.5 kg
- ◎消費電力 AC100V 50/60Hz 2A
- ◎性能
 - 測定範囲 100～0.3 μm
(粒子密度により異なる)
 - 測定サンプル量 5～10 g (測定1回当たり)



青がフルイ下累積分布を、黒が頻度分布を描き右側にその分布データを作表します。
また、平均粒子径も計算しプリントします。

測定年月日：

測定者：

真比重：2.71 [g/cm³]

粒 径 (μm)	累積分布 (%)	頻度分布 (%)
51	100.00	0
38	90.00	4
27	82.5	13.5
19	50.00	32.5
14	20.5	23.5
9.4	7.5	19.00
6.7	1.5	0
4.7	0	1.5
3.3	0	0
2.4	0	0
1.7	0	0
1.2	0	0

$D_{50} = 19 \mu\text{m}$

分散剤：ヘキサメタリン酸ソーダ

Fig. 2 代表的な測定例 (サンプル：炭酸カルシウム)



新製品紹介

ホソカワミクロン ミクロンチェッカ

細川粉体工学研究所*

1. はじめに

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・静のおよび静的状態での粉体特性を把握することは重要なことである。

この粉体特性の中で最も基本的なものに充填特性がある。この充填特性を表わすものとして、実用的には『かさ密度』がよく用いられている。

『かさ密度』にも充填状態の粗密により『ゆるみかさ密度』および『固めかさ密度』が定義されている。また、これ等2つのかさ密度より粉体の被圧縮性の度合を示す圧縮度が定義され、動・静特性の評価の特性値として用いられている。

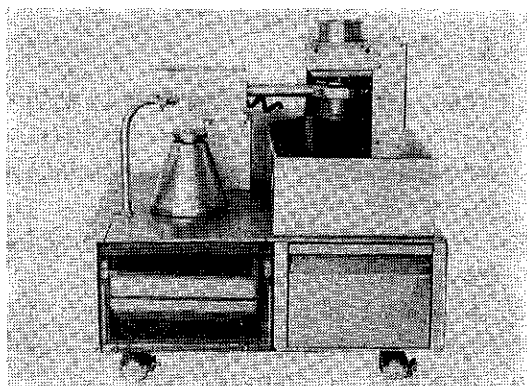


Photo. 1 ホソカワミクロン ミクロンチェッカ

しかし、『かさ密度』の測定では、多くの手作業が伴うため測定者自身による測定面での誤差を生じ易いこと、測定に時間がかかること、測定器具に起因する精度上の問題等があり、特に有毒性や危険性がある試料を取扱う場合には安全管理上の問題もある。

ホソカワミクロン/ミクロンチェッカは、これ等の問

題を解決するべく新しく開発された“連続かさ密度測定器”で、『ゆるみかさ密度』と『固めかさ密度』が共に精度よく測れ、しかも安定した測定値を速く得ることができるものである。

2. ミクロンチェッカの動作

ホソカワミクロン ミクロンチェッカはマイクロコンピュータでコントロールされるので、使用目的および用途によりプログラムを変更し、動作を自由に変更できることが特徴である。

代表的な例について以下簡単に紹介する。

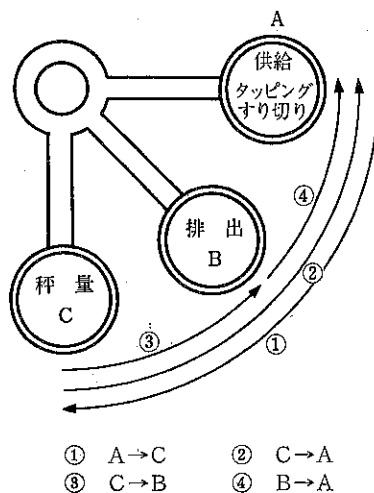


Fig. 1 ミクロンチェッカの動作概念図

Fig. 1にミクロンチェッカの動作概念図を示した。まず、Aの位置において、測定試料が供給機（標準仕様外）より篩を備えたシェーカに導かれる。シェーカ上の試料はシェーカの振動により、その篩網目から均一に降下し、保持リングに保持された秤量カップ内に充填される。供給が終ると、秤量カップは保持リングにより持ち上げられ“すり切り”を行って水平方向にC点まで水平旋回移動する（①の動き）。C点で保持リングは下降し、充填試量の秤量が行われる。測定された秤量値はマイク

* 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

*** ソフトウェア ***

A=ヨルメ カサミツト
B=カタメ カサミツト
X=アッジュクト

16# 24# 1 カイメ
A= .7
B= 1.401
X= 50.035689 [x]

16# 34# 2 カイメ
A= .694
B= 1.404
X= 50.569801 [x]

16# 45# 3 カイメ
A= .703
B= 1.406
X= 50 [x]

16# 55# 4 カイメ
A= .716
B= 1.38
X= 48.115942 [x]

17# 05# 5 カイメ
A= .703
B= 1.404
X= 49.928775 [x]

ソフトウェアイズ= 5

A-サイタイチ= .716
A-サイジョウチ= .694
A-ハイキンチ= .7032
A-ヘンサチ= 7.1944425E-03

B-サイタイチ= 1.406
B-サイジョウチ= 1.38
B-ハイキンチ= 1.399
B-ヘンサチ= 9.6332757E-03

X-サイタイチ= 50.569801 [x]
X-サイジョウチ= 48.115942 [x]
X-ハイキンチ= 49.730041 [x]
X-ヘンサチ= .83860663

Fig.2 プリントアウトデータ例

ロコンピュータで『ゆるみカサ密度』に換算され記憶される。秤量が終了すると、保持リングにより秤量カップは持ち上げられ、水平旋回しAの位置まで移動する(②の動き)。そこでカップに試料を振動供給しながらタッピング充填を行う。タッピング回数は初期設定により自由に変更可能である。タッピング充填が終了すると、秤量カップは再び保持リングにより持ち上げられ、“すり切り”を行ってC点まで水平旋回移動する(①の動き)。C点で保持リングは下降し、充填試料の秤量が行われる。測定された秤量値は同じく『固めカサ密度』に換算され、記憶される。秤量が終了するとカップは保持リングにより持ち上げられBの位置まで移動し(③の動き)、そこで180°回転し、内容物が排出される。カップ内部に固着した内容物を速やかに排出するため、カップはAの位置まで旋回移動し(④の動き)、そこで排出タッピングが行われる。排出が完了すると、カップはBの位置まで水平旋回移動され、そこで反転した後Aの位置にもどされ、1サイクルを終了する。

マイクロコンピュータで演算、記憶された『ゆるみカサ密度』および『固めカサ密度』はプリンタで各々表示されるばかりでなく、両カサ密度より圧縮度も演算表示される。また、各々の演算値の標準偏差等の各種統計値も演算表示できる。Fig.2にそのプリントアウトデータ例を示す。

3. 特 長

- (1) 本機により、ゆるめと固めの両カサ密度を測定することができる。『ゆるめカサ密度』については(社)日本粉体工業技術協会のカサ密度規格に準じた方法が用いられている。
- (2) マイクロコンピュータによる全自動運転のため人手を要せず、省力化に役立つ。
- (3) 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、データ管理が容易に行える。
- (4) 測定精度ならびに再現性が良好である。
- (5) 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)の取付ができる。
- (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る。(プログラムの変更により更に長時間も可能)
- (7) シューカーの振動時間は任意に設定できるので、粉体の種類により最適値が選べる。
- (8) 完全密閉式のため粉塵の発生がなく、毒性のある粉体などにも安全に使用できる。
- (9) 生産プロセスに組込んでオンライン測定が可能なた

め、品質管理の省力化ができる。

4. 仕 様

◎ミクロンチェッカ本体および制御盤

- ・使用電源：AC 100V 50/60Hz
- ・消費電力：270W
- ・試料量：秤量カップ 100cc
- ・寸法：本 体 500^W×500^D×500^H
制御盤 500^W×450^D×150^H

- ・重量：本 体 40kg

制御盤 10kg

◎マイクロコンピュータ

- ・機種：シャープ MZ 731（カラープロッタプリンタ 使用）
- ・使用電源：AC 100V 50/60Hz
- ・消費電力：20W
- ・寸法：440^W×305^D×102^H
- ・重量：4.6kg

特許一言メモ No. 56

“製めん機事件”解決す

最近、当社で起った話。タービュライザを中心にした製めん機プラントに対してK商事という会社から自分のところで発明した小麦粉加水特許に抵触する、として当社ユーザー3社にタービュライザを使用してはならない、という仮処分を東京地裁に申請した事件があった。

そこで当社は裁判所に対し相手の発明とは関係のないこと、タービュライザによる製めんプラントは他社から文句のない独特の技術によるものと理を尽して説明した結果、当社が勝訴した。

また、相手の権利主張のもとになった発明に対して、特許庁に特許異議の申し立てを行った結果、相手の特許自体が取り消されてこの事件は解決した。

ところでこの発端となった相手の発明というのを調べてみると、特許審査の段階では技術内容を小さく限定してやっと公告になったものだが、ひとたび公告されるや、あれもこれも自分の発明に触れるとして、とてつもなく大きな権利を振り回したところに基本的な無理があった。

特許を取得する時にも権利主張をする時にも周辺技術をよく調査しておいて「身のほど」を知ることと、無理があつてはいけないことをあらためて痛感した“事件”であった。

タービュライザ：当社製品、攪拌型混合機の商品名
（技術資料室）

ホソカワ ニュース

○粉粒体プロセス用計測機器新製品発表会開催

昭和58年2月3日、社団法人日本粉体工業技術協会計装分科会主催の新製品発表会が岐阜津製作所東京支社において開催され、当社は粉粒体流量指示制御装置「フロームトロン」を発表し好評を頂きました。

○ホソカワナウタ社 (HOSOKAWA-NAUTA B.V.)

主催の国際販売技術研修会議開催

昭和58年2月27日から3月2日までの4日間、ホソカワナウタ社主催の国際販売技術研修会議が、オランダのルーベンフォルスト kongressentrum で行われ、当社からは社長、田中常務が出席いたしました。参加者はアメリカ、インド、イスラエル、ポルトガルなど20カ国、60数名にのぼり盛況でした。

○ホソカワナウタ社 (英国) (HOSOKAWA-NAUTA (UK)) 創設

昭和58年3月、従来より英国にありましたホソカワヨーロッパ社とナウタミックス社(英国)を統合して新たにホソカワナウタ社(英国)を創設し、当社の英国地域での海外活動を更に積極的に推進していくことになりました。

○乾式超微粉砕装置「UMFシステム」を開発

昭和58年3月、細川粉体工学研究所は乾式粉砕によって平均粒径1ミクロン以下の超微粒子を高効率で工業的に生産できる乾式超微粉砕装置「UMFシステム」を開発いたしました。この成果は今後のニューセラミックスをはじめとする先端技術分野における新素材の開発、製品化に大きく貢献できるものと期待されています。

○ホソカワ東京機器サービス株式会社創設

当社が納入した機械装置の部品販売を中心に修理点検、改造補修などのメンテナンスサービスを専門に行っている細川粉体機器サービス株式会社は、東京事業所を分離して昭和58年3月21日より新たに「ホソカワ東京機器サービス株式会社」を創設し、東日本地域でのサービス活動を更に強化していくことになりました。

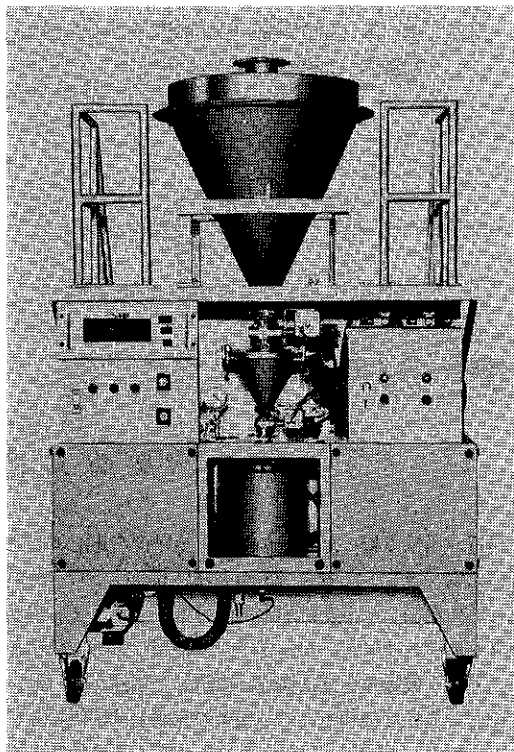
○可変風量制御式空調システムを技術導入

昭和58年4月、当社の精密空調、小型集塵機の関連会社であるホソカワ環境エンジニアリング株式会社は米国の大手空調機器メーカー、フィリップス社から可変風量制御式空調システム「ホソカワ/タイタス エンパイロ マスタ VAV システム」を技術導入いたしました。同

システムはクリーンルーム、バイオクリーンルームの冷熱源エネルギーや送風機の運転エネルギーの節約に効果を発揮いたします。

○微粉末用真空圧縮充填システムを開発

昭和58年4月、細川粉体機器サービス株式会社は微粉末の充填作業の際の発塵、脱気、定量性などの問題を完



全に解消できる真空圧縮充填システムを開発いたしました。同システムは供給サブタンク、充填室、真空ポンプなどで構成され、微粉末が発塵することなく瞬時に容器に充填されます。

○優秀報文表彰制度発足

今回、当社および関連会社社員の自己研修の奨励と、それらの報文の活用を目的として優秀報文表彰制度が発足し、昭和58年4月18日の創立記念日に57年度の発表報文に対して優秀賞2名、奨励賞3名が表彰されました。

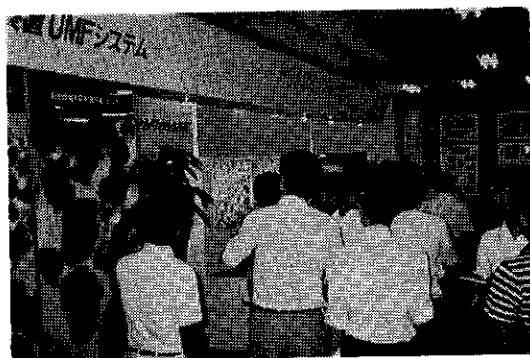
○第1回ホソカワQCサークル体験談発表大会開催

昭和58年7月23日、第1回ホソカワQCサークル体験談発表大会が枚方中小企業団地センターにおいて開催されました。現在、当社および関連会社を含めた小集団活動として約60のQCサークルがありますが、この中から特に優秀な12サークルが日頃の業務改善に取り組んだ諸テーマの成果を発表し、熱心な討議が行われました。そして入賞6サークルが表彰されました。



○ニューテクノロジーショー開催

昭和58年8月4日から8日までの5日間、ニューテクノロジーショーが大阪国際見本市港会場で開催されました。この展示会は大阪21世紀計画の協賛事業として日本経済新聞社、テレビ大阪が主催したもので、当社からは乾式超微粉碎装置「UMFシステム」の粉碎品サンプルや電子顕微鏡写真パネルなどを出品し、多数の反響を得ました。



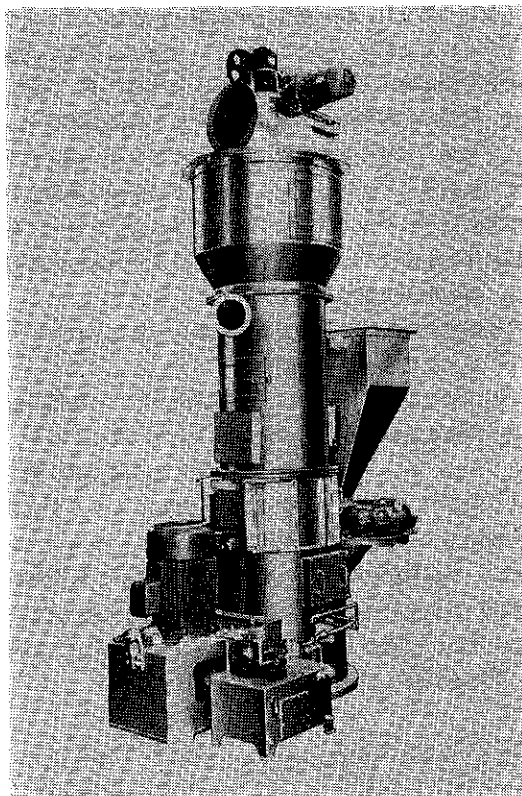
○東京で粉体技術講演討論会開催

昭和58年9月8日、粉体技術談話会主催の「第17回粉体工学に関する講演討論会」が東京の健保会館で開催されました。この講演討論会は例年関西で行われてきましたが、関東の方々にもその活動状況をご理解頂くために初めて東京で開催されたものです。なお、日本の粉体工学の優秀な論文を英文で海外に紹介する専門学術誌「KONA」 Powder Science and Technology in JAPAN が創刊されました。

○大阪、東京で営業技術研修会議開催

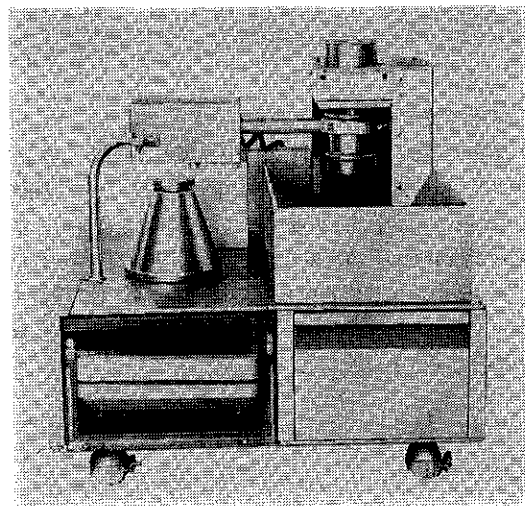
本年度の営業技術研修会議は大阪と東京地区に分かれて開催されました。今回は新しく開発された新製品の紹介や最新の適用技術について集中講義方式で、大阪は9月15日（於、枚方中小企業団地センター）、東京は9月17日（於、京橋会館）に行われ盛会でした。

○大量処理用堅型微粉碎機「ミクロンバーテックミル」を開発



昭和58年9月、当社は主として平均粒子径が40ミクロン程度の微粉を大量に生産できる堅型微粉碎機「ミクロンバーテックミル」を開発いたしました。同機は下部より粉碎部、第1段分級部、第2段分級部の順で構成されており、粉碎部に従来の大型機にはみられない高速衝撃式を採用し、また、機内に閉回路2段分級装置を内蔵した消費動力の少ないエアスエプト型微粉碎機です。

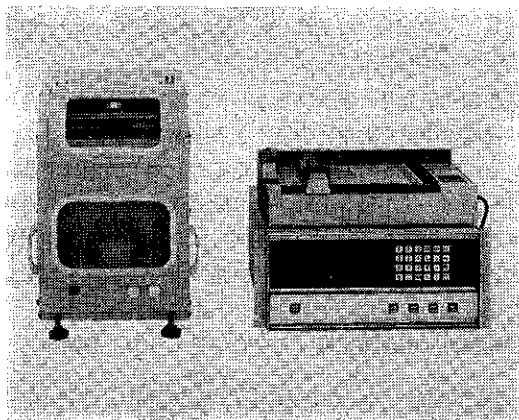
○連続カサ密度測定機「ミクロンチェッカ」を開発



昭和58年9月、細川粉体工学研究所は粉体のかさ密度（ゆるめかさ密度と固めかさ密度）を連続自動的に測定できる測定機「ミクロンチェッカ」を開発いたしました。同機は試料粉体の供給から、秤量、排出およびタッピングまでの動作を全自動で行うことができ、測定された秤量値はマイクロコンピュータでかさ密度に換算されて直ちにデジタルでプリントアウトされます。従って各種粉体の生産ラインと接続することにより大幅な自動化、省力化が実現できます。

○沈降式自動粒度分布測定装置「ホソカワミクロン セジメンピュータ」を開発

昭和58年9月、細川粉体工学研究所は新しい粉体計測器「沈降式自動粒度分布測定装置 ホソカワミクロン セジメンピュータ」を開発いたしました。同装置は測定器、演算器、プロッタで構成され、測定しようとする試料粉体をセットすれば演算器に内蔵されたマイクロコンピュータが自動的に試料の沈降重量を秤量し、粒度解析を行い、粒度分布線図や数値をプロッタで画きだします。また、演算器1台で測定器を最大4台接続でき4種の試料を同時に測定することができます。



○'83化学プラントショー開催

昭和58年9月27日から10月1日までの5日間、'83化学プラントショーが東京晴海の国際貿易センターで開催されました。当社も12小間に多くの新製品を出品し、活発な商談が行われ盛況でした。また、同時に開催された“クリーンエンジニアリングショー”にホソカワ環境エンジニアリング株式会社が精密空調機器を出品し、多数の引合を頂きました。

（出品機種）

- ① 超微粉碎機 ホソカワミクロン ミクロンジェット MJ-7-4型
- ② 微粉碎機 ホソカワミクロン ミクロンパーテックミル MVM-200型
- ③ 分級機 ホソカワミクロン スーパーセパレータ MSS-3型
- ④ 混合機 ナウタ サテライト ツインスクリーマーミキサ
- ⑤ 連続かさ密度測定機 ホソカワミクロン ミクロンチェッカ
- ⑥ 沈降式自動粒度分布測定装置 ホソカワミクロン セジメンピュータ
- ⑦ 微粉末用真空圧縮充填システム
- ⑧ 乾式超微粉碎装置「UMFシステム」
（粉砕品サンプルおよび電子顕微鏡写真）
- ⑨ 連続式流動乾燥機 ナウタ フルード ベッド プロセッサ（パネル展示）



“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 中部工業大学教授 吉田 哲夫氏
“ ” 愛知工業大学教授 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。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等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

2. 原稿の編集

1) 研究報告および技術報告につきましては査読委員の査読結果に従って訂正を求めることがありますので御協力下さい。

2) 原則として年1回発行します。

3) 抜刷を御希望の場合は編集事務局へ御連絡下さい。実費にてお願いいたします。

4) 掲載済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

㈱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60年1月末日

原稿締切 昭和59年8月末日

編集後記

* 第17回粉体に関する講演討論会の講演内容を特集として掲載しました。近年注目を集めています“超微粉”にスポットをあて、その特性と処理技術について著名な先生方の講演をいただき、改めて“粉”のむずかしさと未知の可能性を認識しました。

* 従来乾式粉碎法では不可能とされていたサブミクロン領域の粉碎が、当研究所開発の“UMFシンテム”で可能となり、ますます超微粉の適用分野が広がるものと期待されます。

* 粉体技術談話会より英文誌「KONA」Powder Science and Technology in Japanの創刊号が発行されました。日本の粉体工学の優秀な論文を英文で海外に紹介することを目的に発行された専門学術誌で、海外の研究者、技術者、関係者並に公共機関に配布されることになっています。日本における粉体工学並びに技術の進歩に貢献するものと確信します。(F. N.)

“粉 碎” No. 28 1984年 (非売品)

昭和59年2月6日 印刷

昭和59年2月13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

ホソカワミクロン
スーパーミクロンミル



超微粉碎機

ホソカワミクロン
ミクロンセパレータ



分級機

ホソカワ ナウタ
ナウタミキサ(リアクタ)



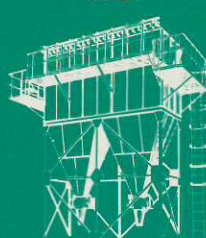
混合機

ホソカワミクロン
ミクロントライヤ



乾燥機

ホソカワ マイクロ
ハルスエアー



集塵機



ホソカワミクロン株式会社は、大正5年に創業以来今日まで、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、供給排出、輸送など各粉体処理単一操作技術の『総合化』によるシステムエンジニアリングを更に推進しております。

粉体技術の**ホソカワ**

ホソカワミクロン株式会社

本社 大阪府枚方市招提田近1丁目9番地 〒573 ☎(0720)55-2221(代)

支店 東京都豊島区東池袋3丁目1番1号(サンシャイン60) 〒170 ☎(03)986-8661(代)