

粉末

THE MICROMERITICS

米国PMC社技術提携記念号

No. 8

SUMMER

1962

細川粉体工学研究所

“粉 碎” 第 8 号 昭 和 37 年 夏 季 号 目 次
 “MICROMERITICS” No. 8 Summer 1962

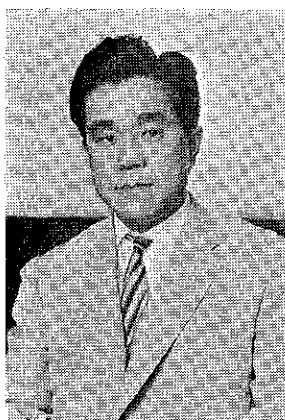
〔巻 頭 言〕	技術尊重の良心	細川鉄工所 社長 細 川 益 男 …… (2)
〔報 文〕	粉 粒 体 の 力 学	九州工業大学 上 滝 具 貞 …… (3) 福岡学芸大学 早 野 延 男
	酸化ウラン黒鉛系核燃料における両者の混合条件と核分裂生成物の挙動との関係	日本原子力研究所 理 博 矢 島 聖 使 …… (15) “ 農 博 渋谷 政 夫
〔綜 説〕	粉体オリフィスの設計	粉体工学研究会 三 輪 茂 雄 …… (25)
〔解 説〕	流動浸漬塗装法について	大阪市立工業試験所 堀 内 光 …… (31) 細工粉化工業株式会社 松 山 卓 蔵 ……
〔講 座〕	化学者のための MICROMERITICS 入門 ……	(35) 武田薬品工業株式会社 美 間 博 之 “ 北 森 信 之
〔製品紹介〕	マイクロ製品の展望	細川鉄工所 社長 細 川 益 男 …… (44) “ 企画室 森 本 益 弘
〔文献紹介〕	衝撃粉碎の応力理論	金 沢 大 学 田 中 達 夫 …… (53)
〔特許紹介〕	粉碎機械に関する最近の特許発明について	特許庁審査第2部 安 達 功 …… (59)
〔随 筆〕	H.E.Rose 教授の思い出	金沢大学工学部 田 中 達 夫 …… (63)
	P. M. C. の 一 日	細 川 鉄 工 所 谷 口 浩 …… (64)
	年 間 行 事 ……	(67)
	編 集 後 記 ……	(68)

(表紙説明 石炭粉碎分級プラント)

技術尊重の良心

(株)細川鉄工所

社長 細川 益 男



日本人は独創性に乏しく模倣が巧みであると言うことは残念乍ら世界的に有名なようである。ホソカワインターナショナルが設立された当初の頃、スーパーミクロンミル、ミクロンセパレーター等の当社製品がヨーロッパの業界に一寸としたセンセーションを巻き起した時のことである。

私はある外人から「此の機械はどこのものを真似して作ったのか」と云う質問を受けた。又ある場合は「どこかの技術導入のライセンスのもとに作っているのか」とも聞かれた。まことに失礼な質問であるが、これは日本製の機械と云うものに対し欧米人がもっている先入観が自然に此の様な質問となって現われたものといえる。私自身腹もたったが優れた機械なればこそこの様な質問を受けたものであり、ましてや模倣品でないれっきとした独自の技術の産物であることでもあり、「日本の細川鉄工所の独創の産物である」と誇りをもって答えることが出来た。然し反而この様な質問を受けたことに対し複雑なそして不愉快な気持を禁じ得なかった。

問題は定説?「模倣の国日本」にある。それは日本の模倣品を作る人及模倣品を買う人の両方が反省しなければならぬ問題であると思う。我国の実情では特許権或は何らかの法権的に規制されるものでなければ何をしてもよい。いかなる真似をしてでも差支えない。商売である以上とも角儲けることが先決とするやり方が今もって横行している。時には特許権をも無視してかかる無法者も未だに存在している。又この様な模倣品が安価に売られ、安直に買われ、模倣するもの、買うもの、の間に何らの反省がなされないとするならば技術の独自性は全く無視されていると云う事であり、残念乍ら定説「模倣の国日

本」を甘受しなければならないと思える。

「創作」とはいかなる対象に於てもそれは創造者の所有する財産であり法に規制されようとされまいと、これを犯すものは犯罪者即ち「ドロボウ」である。道義観念の発達した欧米に於てはいかなる意味に於ても他人の創作を犯すことは最大の破廉恥とされている、まことにうらやむべきことである。

当社においては模倣を恥とする心を徹底させている。私はこの精神がささやか乍ら我社の国際的信用と海外進出の基礎となっているものと自負している。即ち前述のホソカワインターナショナルは以来3年、日本の細川製品のPRに努め、それが優れた独創の機械である事を広く認識させると共に、幸いヨーロッパに於て年々その販売実績を向上しつつある。本年に入って英国の、ダンフォードアンドエリオット社に対し、分級機ミクロンセパレーターの技術輸出契約を結び更に、世界有数の粉砕機メーカーである。米国のパルペライジングマシーナリーカンパニー(P.M.C)との相互技術提携契約に於いては、我社は先方の技術の特許の有無にかかわらず尊重し、粉砕機、収塵機の主製品を導入し彼は又当社の独創を高く評価して粉砕機、分級機の技術を米国に導入、相互信頼のもとに他に例をみぬ強力な提携関係を結ぶことが出来た。これらは何よりも技術の世界に於ける良心の成果であり、模倣を恥とする精神即、独創への努力が生んだ果実であると信じている。今後貿易自由化をまつまでもなく、製品を作る立場のものは、日本にだけ売れるものを作るのではなく、世界中に売れるものを作る心構えが最初から必要である。そのためには品質、価格、サービスに優先すべきものは創造にあり、即ち定説「模倣の国日本」を無くする努力が大切な事であると思う。幸い日本人は充分その才能を持っている。目先の安易につかず造るもの、買うもの共に「コピー」製品を恥ずべきものとして正しく批判する精神さえあれば日本の技術はもっと独創の花を開く機会に恵れてくるものと信じている。

粉 粒 体 の 力 学

九州工業大学 上 滝 具 真
福岡学芸大学 早 野 延 男

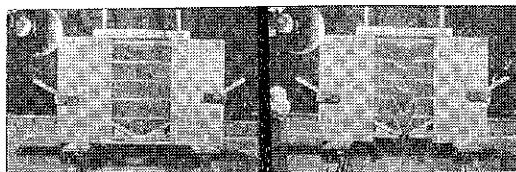
1. ま え が き

粉体や粒体の運動を力学的に解明して応用方面に役立てようという試みは既に以前から行われており、可成りの成果が得られている。今回は粉粒体の流出する現象について、筆者らの研究の一端を述べて行きたいと思う。説明の便宜上、容器内の粒体の運動と流出の機構を別けて考えることにする。

2. 容器内の粒体の活動

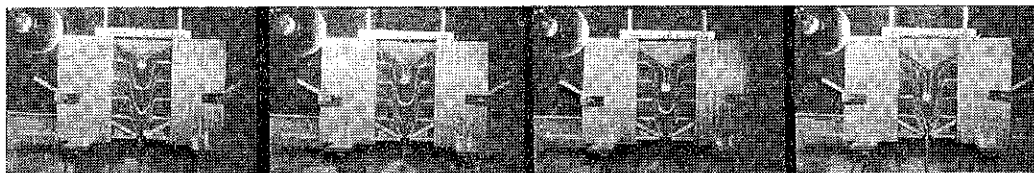
簡単のために粉体に対する外力は重力のみであり運動は2次元的であると考え。 (この制限は粒体の運動の本質的な部分を変えない) 今 Fig. 1 のように座標軸を摂んでおき、流出口の中をE、粒体層のヘッドをH、底部板の傾斜角を θ とし、 (E, θ) を容器常数と呼ぶことにする。また排出された分だけ連続的に粒子を供給する実験を定常実験と呼び、実験の間中、粒子を捕給しない場合を非定常実験と呼ぶことにする。

非定常流動の模様、3秒毎の撮影



0 秒

3 秒

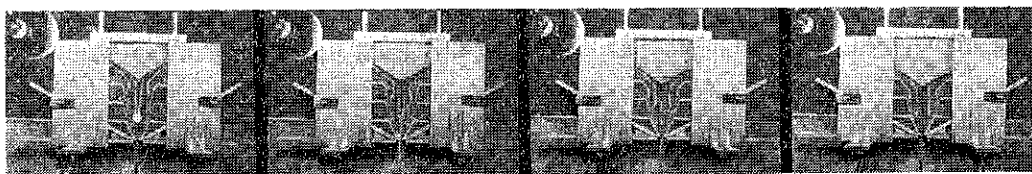


6 秒

9 秒

12 秒

15 秒



18 秒

21 秒

24 秒

27 秒

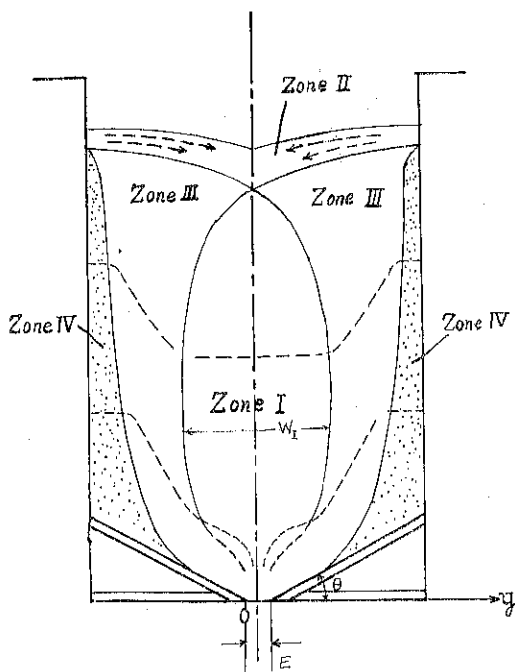
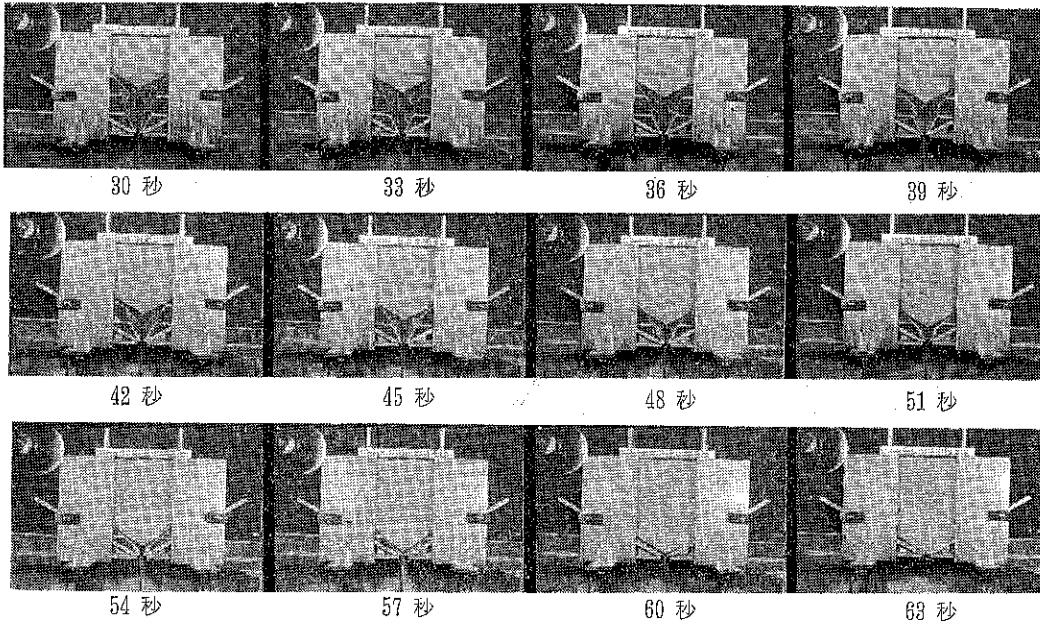


Fig. 1. 運動状態図

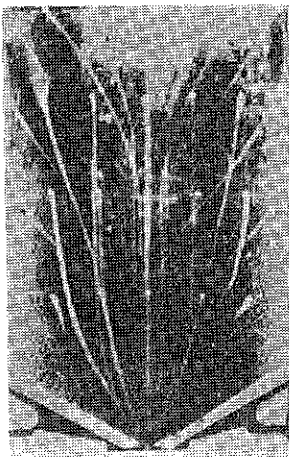
2-1. 非定常実験

粒子として菜種を用いた場合が Photo. 1 に示されている。これらの写真からわれわれは次のような運動状態図なるものを考えることができる。図中 Zone IV の粒

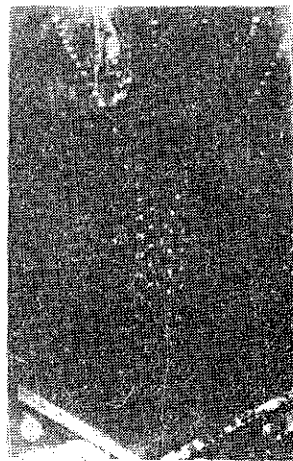


子は運動せず、この Zone は Dead Space と呼ぶことが出来る。Zone III はX方向には加速度なく、Y方向のみに速度勾配 $\frac{\partial u}{\partial y}$ を有している。Zone I では粒子の速度、最も早く、X方向に加速度を有している。しかしY方向には速度勾配はない。Zone II の粒子は主として中央に向かって滑る運動を行い、X方向の速度は無視できるものと考えられる。このような運動状態図は葉種に限らずセメントの粉のような微細な粉体の流出現象¹⁾に対しても適用できるようで一般性を具えたものと云える。これまで粉体、粒体の区別をつけずに用いてきたが、混乱

をさけるために、以下では粒体とは粉体に比して凝集力がほとんどなく、その上粒径がかなり大きなものを意味することにする。したがって、今後は湿度や温度の変化によって粒体の構成素子は変らないと考える。次に P-photo. 2 に流線の模様が示されている。非定常流の写真の特徴として流線が交叉している。これは Zone I にあった粒子が先に流出し、その後に Dead Space にあった粒子が滑り込んでくるためで実際には両者の軌跡の間には時間的なずれがある。これらの写真より上述の Zone に区分する考え方の妥当なことが実証される。



P.2-a. 粒子の運動の軌跡
目印の白球の位置
x = 150, 250, 350 及び 450mm



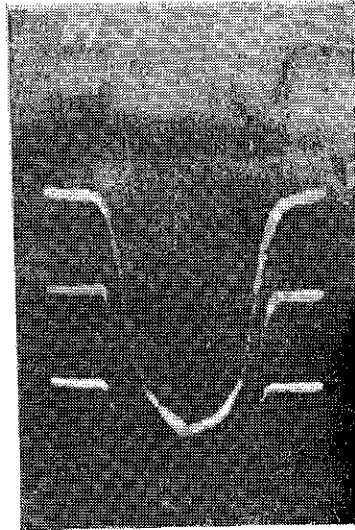
P.2-b. 速度分布測定用
目印の白球の位置 x = 250mm
Δt (フラッシュの点滅時間)
= 1.2 秒 F = 5.6



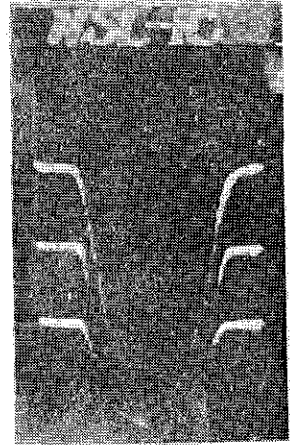
P.2-c. 速度分布測定用
目印の白球の位置 x = 150mm
Δt = 3 秒 F = 5.6



P. 3-a. 0秒



P. 3-b. 24秒



P. 3-c. 48秒

Photo. 3 定常流動の模様 時刻は流動開始後の経過時間

2.2 定常実験

この場合の流動の様子は Photo. 3 である。目印の層（白色の層）は Dead Space に属する部分を残して下の方から順に消えてゆき、Photo. 3-C に示されている形は時間と共に変らない。結局、定常流の場合には Zone II が消滅し、且 Dead Space は不変であるから、粒体の流動はあたかも Fig2 のような仮想的な容器の内を液体が流下するのと同じような現象となる。このような形の容器は理想容器と呼ぶことが出来る。次に Photo. 4

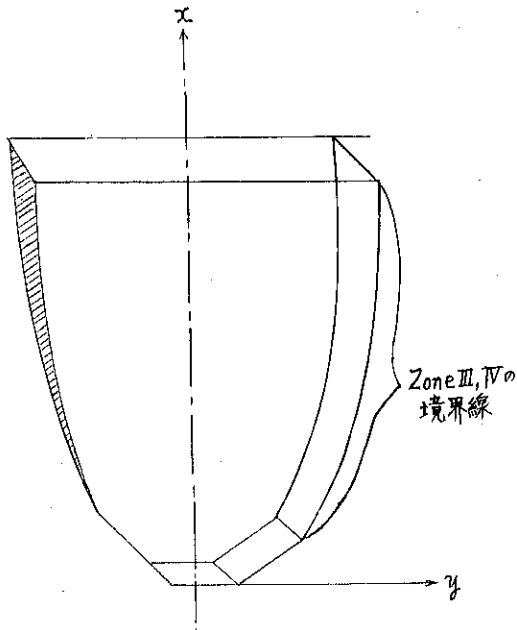
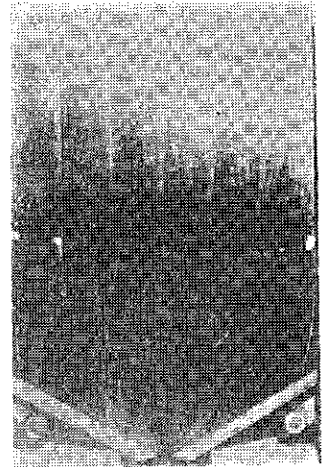


Fig. 2 理想容器図

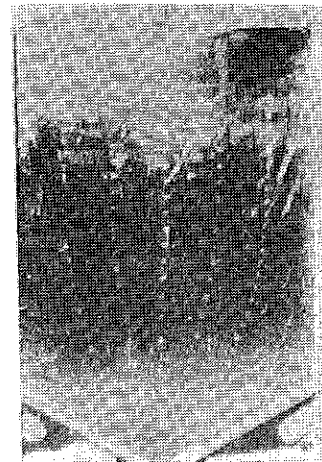
P. 4-a

粒子の運動の軌跡
目印の白球の位置
 $x=200$ 及び 350mm
 $F=4$



P. 4-b

速度分布測定用
目印の白球の位置
 $x=350\text{mm}$
 $\Delta t=1.2$ 秒
 $F=4$



に定常流の流線を示してある。流線はU字型で流線同志の交叉は全く認められない。このことは前にも述べたように定常流では Zone II の影響がないことを示している。

2-3. 流速分布の解析 (実験)

粒体の流動現象を解明するに当って最も基本的な量は容器内の粒子の速度分布であると考えられる。そしてこの速度分布に直接の影響をもつのは出口巾E、底板傾斜角 θ およびヘッドHの三つであろう。このような見方で先づ非定常流の場合における u と (E, θ, H) との関係を調べて見る。

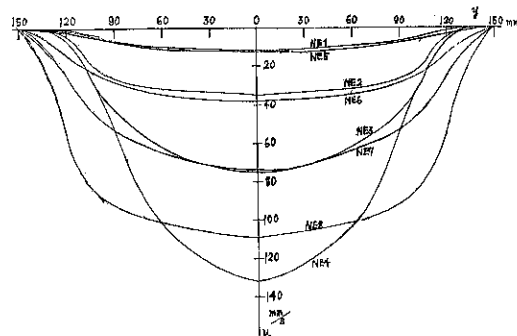


Fig. 3a $x=360\text{mm}$ での速度分布 (出口巾の効果)
; 非定常流

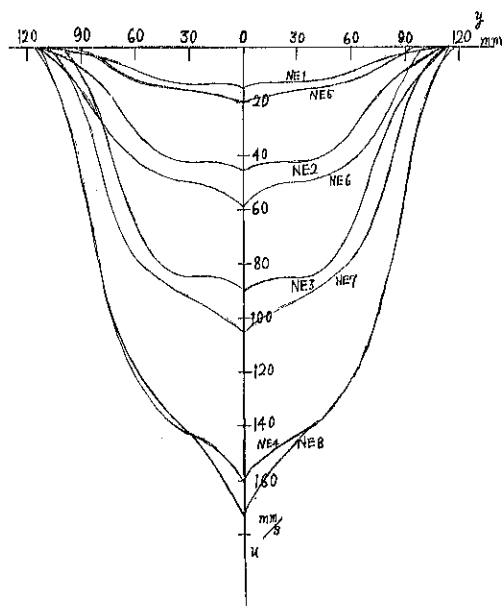


Fig. 3b $x=80\text{mm}$ での速度分布 (出口巾の効果)
; 非定常流

(i) $E-u$ の関係 (Fig. 3a, 3b) : 出口巾が大きくなるにつれて流量は増加する。

P. 4 -c

速度分布測定用

目印の白球の位置

$x=200\text{mm}$

$\Delta t=1.2\text{秒}$

$F=4$

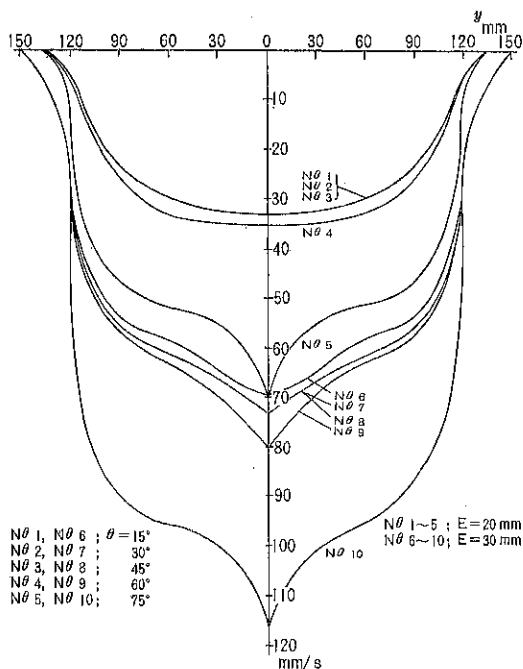


Fig. 4a $x=360\text{mm}$ での速度分布 (θ の効果)
; 非定常流

(ii) $\theta-u$ の関係 (Fig. 4a 4b) : われわれの実験によれば θ と流速 u との間には流速の急増する θ の値 = 閾値 (Threshold Value) θ_{th} があるように思われる。すなわち $60^\circ < \theta_{th} < 75^\circ$ の θ_{th} を境としてこれより大きい角度では中心部の流速が急増している。このように θ に閾値が表れる原因は Zone I の外縁が傾斜した底板に直接触れるようになり、摩擦係数の変化が起るためと考えられる。

(iii) $H-u$ の関係: ヘッドが或る値以上になれば u に対する H の影響は殆んど認められない。このことは粒

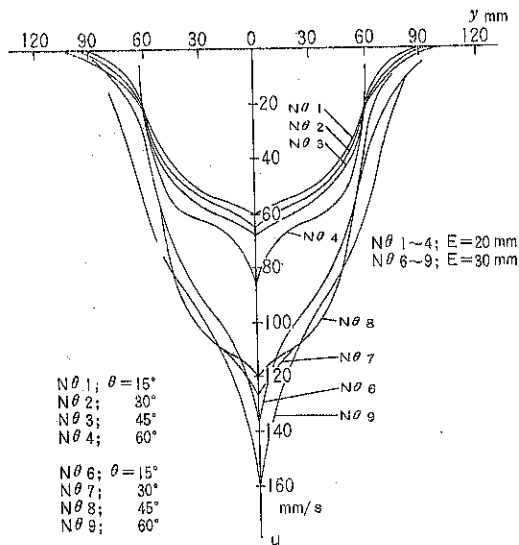


Fig. 4b $x = 100\text{ mm}$ での速度分布 (θ の効果)
; 非定常流

体層の示す平均圧力が或る深さより思われる。4) 深い所では飽和値を示すことにも関係していると思われる。

次に定常流動の場合の速度分布については θ の影響のみについて実験を行った。

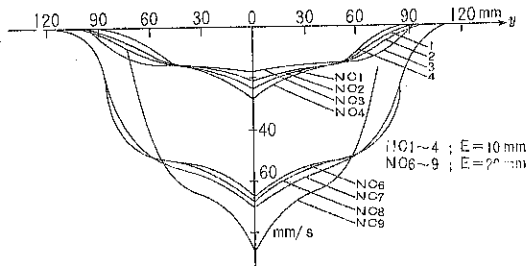


Fig. 5a $x = 100\text{ mm}$ での速度分布 (θ の効果)
; 定常流

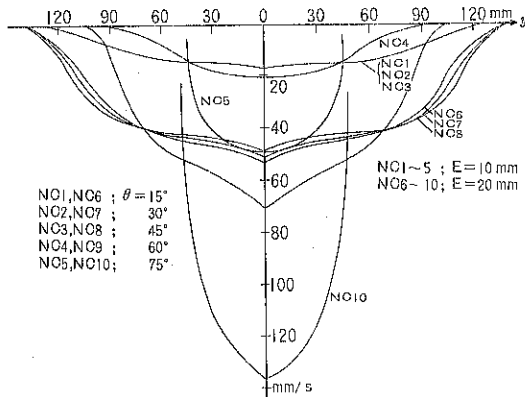


Fig. 5b $x = 150\text{ mm}$ での速度分布 (θ の効果)
; 定常流

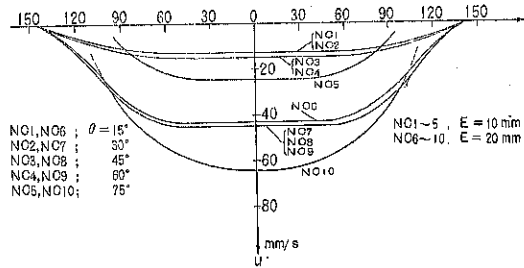


Fig. 5c $x = 300\text{ mm}$ での速度分布 (θ の効果)
; 定常流

(ii') $u-\theta$ の関係 (Fig. 5a, 5b, 5c); これらの図と前掲の非定常流動の場合 (Fig. 4) とを比較すれば、速度分布曲線の形は殆んど変わらないことがわかる。また、閾値も非定常の場合と一致している。

2-4. 定常-非定常問題

前2節の実験を良く調べると、次の事実に気付く。すなわち、定常及び非定常実験での流動の様子は Zone II を除けば全く同じではないかという事である。このため、この節では、1つの粒子の運動状態の時間的経過一

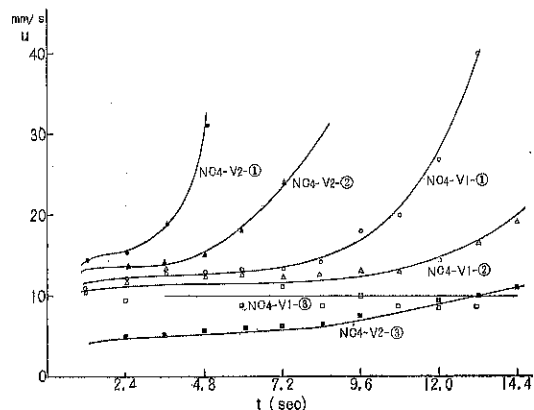


Fig. 6 定常流における流速の比較
V-1; $x = 360\text{ mm}$, V-2; $x = 80\text{ mm}$
①、②および③は流線を示す。

歴史一を調べることにする。Fig. 6 は定常流の場合で、横軸に実験開始後の時間を取り、縦軸にX方向の粒子速度 u を取っている。記号 V-1 は目印の白球を最初粒子層の上部においた場合であり、V-2 は白球を低い所においた場合である。また記号①、②、③は①が中心線上 (X軸上) の位置を示し、②、③とこの順に外側の位置を示している。図より層の下部、すなわち出口に近い粒子程早く加速され、また中心に近い程加速が大きいことが判る。今 V-1 の粒子が V-2 の最初の位置まで降下する時間だけ V-2 曲線群をずらせば、V-1、V-2 両速度曲線群を重ね合わせることが出来る。これは定常

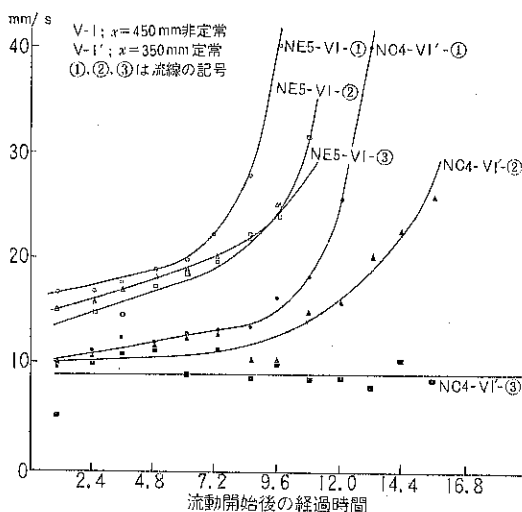


Fig. 7 定常流 (NC4) および非常定常流 (NE5) における流速の比較①、②、③は流線の番号

流であるから当然のことと言える。次に Fig. 7 は容器常数 (E, θ) を等しくした定常および非常定常実験の $u-t$ 曲線が一枚のグラフに描かれている。図中記号 V-1 は $X=250\text{mm}$ を示し、V-1' は $X=200\text{mm}$ を示す。ここでも Fig. 6 の場合と同様に V-1 の粒子が V-1' まで降下する時間だけ V-1' 曲線群をづらせば、V-1'、V-1 両速度曲線群は重ね合わされる。このことは粒子速度が出口からの距離によって決められる傾向を示しており、容器常数が同じであれば、また Zone II の影響を受けない所では定常流と非常定常流を区別する必要はないことになる。いいかえれば、粒子の速度は各位置で変化するが、すべての粒子はどのような高さから降下してきても、また測定時刻にも関係なく、各点の X 方向の速度は各位置によってそれぞれ一定の速度をもつと云うことができる。定常という言葉は上述のような意味で用いることが望ましいと考えられる故、今迄の非常定常という言葉は、この意味では不適当と考えられる。すなわち、これまでの定常流及び非常定常流は粒体の運動から眺めると全く同じで共に定常流となり、非常定常実験は非補給実験という表現を用いる方が適当と考えられる。このことは次のような見方をすれば更に明瞭になる。まず今迄のすべての実験データの内から (E, θ) を等しくするものをグループとしてまとめておき、底板より一定の高さの断面を通過する粒子速度 u を縦軸に、経過時間 t を横軸に取ったものを描いて見ると Fig. 8 のようになり、初期の曲線の立上りの部分を除けば u は時間に無関係となっている。立上りの部分の時間 Δt (図では約 1 秒) が真の意味での非常定常 (過渡) 状態であり、平坦部は定

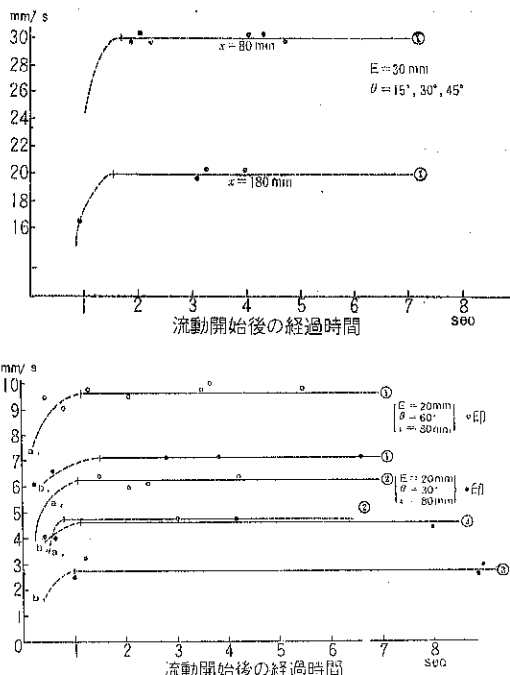


Fig. 8 粒子速度の時間変化、(測定断面固定)

常状態を表わしている。この Δt の部分の長短および傾きは (E, θ) 及び粒子の固有の性質の函数であり、また開口部直上の錐体部分を形成している粒子塊の崩落に密接に関係しているものと思われる。

3. 速度分布の解析 (理論)

これ迄の諸節においてわれわれは流動状態を考察する場合に、運動状態図 (Fig. 1) を考えることによって粒体の動的性質を定性的に理解できることがわかった。また、動的性質のうちでも、収容する容器の形状 (容器常数) によって支配される量と、粒体の個有の性質 (内部摩擦係数等) によって主として影響を受ける量とがあることも知られている。いづれにしても粒体の動力学的性質は、その槽内における速度分布によって特徴づけられていることは明らかである。したがって以下の諸節では主として速度分布の理論的解析を行いながら、併せて他の現象についても調べて行くことにする。

3-1. 統計的取扱い

底部の口を開き粒体が定期的排出され始め前数節の図のような速度分布曲線が槽内に成立したと考える。この節ではこのような分布曲線が乱流における拡散現象の結果として理論的に構成される。乱流における拡散現象は極めて複雑で混合による粒体部分は種々の大きさを持っており、それぞれ或る距離だけ動く間に個性を失い、周囲の性質に融合するものと考えればこれには所謂 Ra-

ndom Walk のモデルが適用できる。今最初 $y=0$ 上にあった粒子が一定の速さ C で y の正または負の方向に距離 ℓ だけ動き、次に再び y の正または負の方向に ℓ だけ動くといった Process (素過程) を繰返すと考え、更に個々の Process において y の正方向に動く確率と負方向に移動する確率とは共に $1/2$ に等しいものとすれば、(従って時 $t=n\ell/C$) 粒子が位置 $y=n\ell$ 、 $(n-2)\ell$ 、 $(n-4)\ell$ 、……に到達する粒子数の割合は夫々 $(1/2 + 1/2)^n$ の展開の各項 $(1/2)^n$ 、 $n(1/2)^n$ 、 $1/2n(n-1)(1/2)^n$ ……に等しい。すなわち、2 項分布で与えられる。そこで、 n 回の試行で丁度 m の位置に粒子が到達する確率 $p(n;m)$ は $n+m=\text{even}$ なら

$$p(n;m) = \binom{n}{n+m} \left(\frac{1}{2}\right)^{n+m} \left(\frac{1}{2}\right)^{(n-m)} \quad \dots\dots\dots(1)$$

で与えられる。 $n \rightarrow \infty$ とすると De Moivre-Laplace の展開定理から

$$p(n;m) \sim \sqrt{\frac{2}{n\pi}} e^{-\frac{m^2}{2n}}$$

となる。これを規格化して

$$p(n;m) = \frac{1}{\sqrt{2\pi n}} e^{-\frac{m^2}{2n}} \quad \dots\dots\dots(2)$$

今出発点を $y=0$ (X 軸) 上に択んでいるから、到達距離の自乗平均=分散は

$$\int_{-\infty}^{\infty} m^2 p(n;m) dm = n \quad \dots\dots\dots(3)$$

に等しい。それ故、充分長い時間 t の後には多数の粒子の到達距離の自乗平均は

$$n\ell^2 = clt \quad \dots\dots\dots(4)$$

となる。今分散を $2\epsilon t$ と書き、 ϵ を拡散係数と呼べば ϵ は

$$\epsilon = \frac{1}{2} cl \quad \dots\dots\dots(5)$$

で与えられる。今運動量の拡散が一樣な流れ (平均流速 U) の中で行われるものとすれば、上述の時間 t は $t = \frac{x}{U}$ と置くことができる。分散を記号 σ^2 で示せば

$$\sigma^2 = 2\epsilon t = 2\epsilon \frac{x}{U}$$

と書け、従って(2)式は

$$p(\sigma^2;y) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{y^2}{2\sigma^2}} = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{U}{4\epsilon x} y^2} \quad \dots\dots\dots(6)$$

となる。

一方実験曲線の方からは中央の狭く尖った部分 (流速が急増している部分) を除けば、これは Gauss 分布に近い模様をしている。そこで近似的に尖った部分迄 Ga-

uss 分布が伸びているとして $U_{\max}$ を試算して、見るとこれは $\frac{1}{\sqrt{x}}$ に比例して x と共に減少して行く。そこで解として上述の 2 つの函数を組合せ、 ξ を規格化常数として次のような形の解が得られる。

$$u(x,y) = \xi \frac{1}{\sqrt{x}} e^{-\frac{y^2}{2\sigma^2}} = \xi \frac{1}{\sqrt{x}} e^{-\frac{U}{4\epsilon x} y^2} \quad \dots\dots\dots(7)$$

$$u(y,t) = \xi \frac{1}{\sqrt{Ut}} e^{-\frac{1}{4\epsilon t} y^2} \quad \dots\dots\dots(7')$$

(7')を用いて微分方程式

$$\frac{\partial u}{\partial t} = \epsilon \frac{\partial^2 u}{\partial y^2} \quad \dots\dots\dots(8)$$

を作れば、(7')は(8)を充す。また変換 $dx = Udt$ を考慮して(8)から

$$\frac{\partial u}{\partial x} = \epsilon U \frac{\partial^2 u}{\partial y^2} \quad \dots\dots\dots(8')$$

を作れば、(7)は方程式(8')を満たしている。すなわち、変数 x と t とは独立ではなく、 t を固定すれば x も決まり、 x の或る特定の位置での y 方向の流速分布を記述するもので底部における吸源からの攪乱の発生より定常状態に至るまでの u の時間依存性を表わすものではなく、このような意味で(8)式は定常状態を表わしているものである。したがって Fig. 9~12 における $t=5, 10, 20$ 秒座…等々は $x=Ut$ の関係より、 t の少なるもの程座標軸の原点に近い所 (下の方) を示していることになる。然るに、われわれは x 方向の平均流速を知らないわけであるから(7')を用いる際に $u(x,y,t) = \xi \frac{1}{\sqrt{x}} e^{-\frac{y^2}{4\epsilon t}}$ と

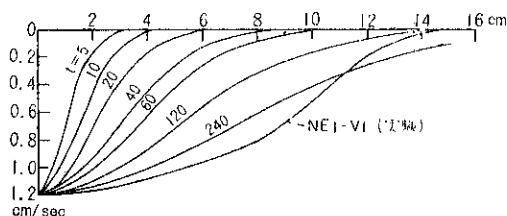


Fig. 9 速度分布 $k^2=0.1$ 、 $x=860\text{mm}$

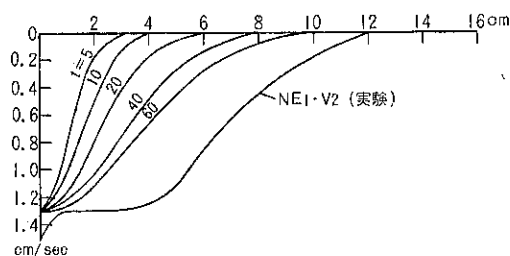


Fig. 10 速度分布 $k^2=0.1$ 、 $x=80\text{mm}$

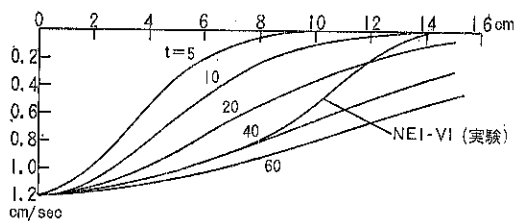


Fig. 11 速度分布 $k^2=1.0$, $x=360\text{mm}$

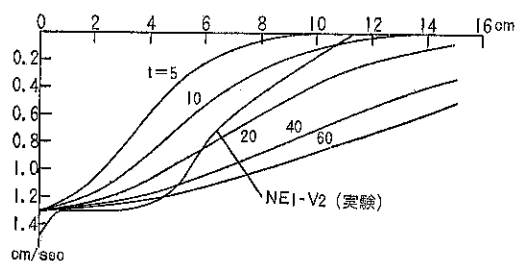


Fig. 12 速度分布, $k^2=1.0$, $x=80\text{mm}$

変形して置き、 x, t をパラメーターとして $u \sim y$ 曲線を求め、特定の x での $u \sim y$ 実験曲線との比較から逆に正しい平均流速の値を知ることができる。Fig. 9, 10 は拡散係数 $e=K^2$ を 0.1 とし、 x を 360mm 及び 80mm として計算し、Fig. 11, 12 は $K^2=1.0$, $x=360\text{mm}$ 及び 80mm としたものである。 $K^2=1.0$ とした場合より、 U の範囲は 6 ~ 9 mm/sec にあることが判る。 $K^2=0.1$ とした計算では y 方向への拡散が少く実験曲線と合わないようである。なお、常数 u は中心線上の流速 $U_{\max}=U(x, 0)$ で規格化されている。

3-2. 流体力学的近似³²⁾

前節では考え方として先づ個々の粒子の運動を追跡し

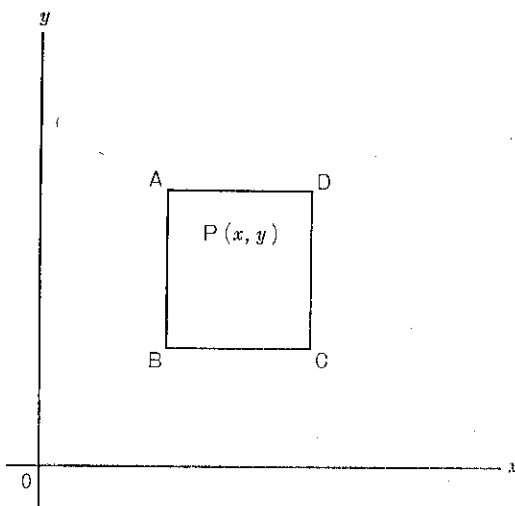


Fig. 13 流体小素片 ABCD

た後、その結果(素過程)を統計的手法を用いて集合体(粒体層)に拡張したものであるが、この節では粒体を全体として把握して、之に対して流体力学的な類推を用いるわけである。2 次的に考えて粒体層中に Fig. 13 の如き小要素を考え、この Element 内の粒子数の増減と粒子の流れより連続方程式

$$\frac{\partial \sigma}{\partial t} + \frac{\partial(\sigma u)}{\partial x} + \frac{\partial(\sigma v)}{\partial y} = 0 \quad \dots\dots\dots(9)$$

が得られる。ただしこの節では記号 σ を粒子の面密度 個/cm² を表わすものとし、 u, v はそれぞれ x 及び y 方向の流速を示す。次に Xx, Yy を Element ABCD の面に垂直に働く力、 Xy, Yx を切線的に働く力として、慣性力と釣合わせれば x 方向の運動方程式は

$$\frac{D(\sigma u)}{Dt} = \sigma K_x - \frac{d}{m} \left\{ \frac{\partial(\sigma Xx)}{\partial x} + \frac{\partial(\sigma Yy)}{\partial y} \right\} \quad \dots\dots\dots(10)$$

y 方に対しては

$$\frac{D(\sigma v)}{Dt} = \sigma K_y - \frac{d}{m} \left(\frac{\partial(\sigma Yx)}{\partial x} + \frac{\partial(\sigma Yy)}{\partial y} \right) \quad \dots\dots\dots(10')$$

を得る。但し、 Kx, Ky は単位質量当りの物体力、 d 及び m は粒子の平均直径及び質量を示す。また小要素 ABCD についての P 点のまわりのモーメントの釣合いから

$$\sigma Xy = \sigma Yx \quad \dots\dots\dots(11)$$

を得る。運動方程式を解くためには応力に対して何らかの仮定を設ける必要がある。流体力学の慣例に倣って次のように置く。

$$\sigma Xx = P - 2\mu \frac{\partial(\sigma u)}{\partial x} \quad \dots\dots\dots(12)$$

$$\sigma Yy = P - 2\mu \frac{\partial(\sigma v)}{\partial y} \quad \dots\dots\dots(13)$$

$$\sigma Xy = \sigma Yx = \mu \left(\frac{\partial(\sigma v)}{\partial x} + \frac{\partial(\sigma u)}{\partial y} \right) \quad \dots\dots\dots(14)$$

但し、 P は平均圧力、 μ は粘性係数類量の量 ($[\mu] = [\frac{\text{gr}}{\text{sec cm}}]$) である。更に(1)粒体は非圧縮性 ($\sigma = \text{一定}$) を持つとし、(2) y 方向の速度成分は殆んど無視できると考え ($v \approx 0$) (3)物体力は重力だけであるから $Kx=g, Ky=0$ (4)平均圧力は深さに比例すると考えれば問題は 1 次元となり、方程式

$$\frac{\partial u}{\partial t} = K^2 \frac{\partial^2 u}{\partial y^2} \quad k^2 = \frac{d}{m} \mu \quad \dots\dots\dots(15)$$

$$[K^2] = [\frac{\text{cm}^2}{\text{sec}}]$$

が得られる。

ここでは上述の 4 つの仮定(1)、(2)、(3)、(4)を検討する

ために § 2 の Moving State Diagram に戻って考える必要がある。取扱いの対象となるのは Zone I、II 及び III である。Zone II は仮定(=)と明らか矛盾する。また Zone I では $\sigma = \text{Const.}$ と仮定することは適当でないと考えられる。然るに Zone III だけは(=)を除いた他の凡てを一応充しているように思われる。平均圧力に対する仮定であるがこれは Janssen⁴⁾ によって深さと共に飽和する性質があることが既に示されている。しかるにこの飽和性は静的な状態に対して導かれたもので、動的な場合には当てはまらないと考えられる。特に Zone III では x 方向の加速度はなく、取扱いをこの Zone に限る場合には仮定(=)は限らずしも不適当とは考えられない。

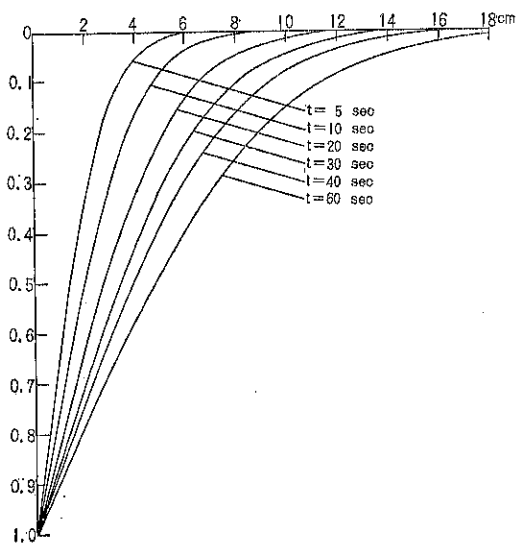


Fig. 14 速度分布曲線 (半無限) $k^2=0.1$

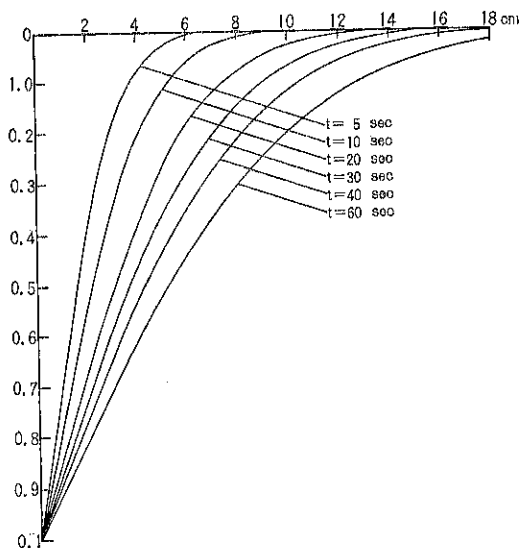


Fig. 15 速度分布曲線 (半無限) $k^2=0.5$

次に(5)に課すべき境界及び初期条件であるが、初期条件としては $t=0, u=0$ と取るべきで、境界条件としては $t>0, y=0, u=u_0+f(x)$ の如き一般的な形を取るべきであろう。しかし、 $f(x)$ の存在を許せば連続の方程式より問題は 2 次元になり、 $v=0$ なる仮定は成立しなくなる。一方、上流に行くにつれて $u(x, 0)$ は $u_0 > f(x)$ から $u_0 \gg f(x)$ の傾向を持つが故に、¹¹⁾ 近似的に $u(x, 0) \cong u_0$ とした計算を行って見る。(若し、上流に遡るにつれて u が減少するとすれば v は逆に増加する故、連続方程式より

$$\frac{\partial (\sigma u)}{\partial x} = -\frac{\partial (\partial v)}{\partial y} \quad \text{となり、方程式は}$$

$$\frac{\partial u}{\partial t} = K^2 \left(\frac{\partial^2 u}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial y^2} \right) \quad \dots\dots\dots (15')$$

となる。)

$$\text{解は } u(y, t) = u_0 \left\{ \frac{2}{\sqrt{\pi}} \int_0^{\alpha} e^{-\alpha^2} d\alpha \right\} \quad \dots\dots\dots (16)$$

$$\alpha = \frac{y}{2K\sqrt{t}}$$

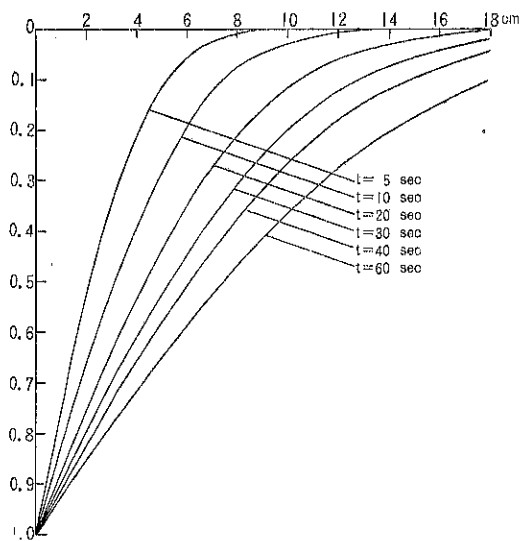


Fig. 16 速度分布曲線 (半無限) $k^2=1.0$

の形になる。Fig. 14, 15, 16 に $K^2=0.1, 0.5$ 及び 1.0 とした場合の計算が示されている。この様な境界及び初期条件によって構成されたモデルは丁度 $y=0$ (この場合の $y=0$ は Zone I と Zone III との境界であることに注意) の所に置かれた x 方向に無限に長い平板を粘性流の中で u_0 の速度で下流に向かって引き下げることに相当する。図から K^2 が大となるにつれて運動量の輸送される割合の増大する模様が見られる。

方程式(15)は初期・境界条件と併せ考えれば確かに非定常(過渡)状態を表わしている。流速の時間的変化を記述する実験曲線は、Fig. 6, 7 及び Fig. 8 の2種類があるが、解(16)は Fig. 8 の方に対応している。(Fig. 8 の立上りの部分) 何故なら、Fig. 8 は測定位置は2次元的に固定されて居り、Fig. 6, 7 の方は流線そのものの速度(一本の流管内の各位置での粒子の速度変化)を表わすものであって、解(16)は σ 一定、 $v=0$ なる仮定のもとに導かれたものである故、(9)式より $\frac{\partial u}{\partial x}=0$ となり x 方向の速度は不変として取扱われている。換言すれば、解(16)では x は既に自動的に固定されていたことになる。このことは次のように、 K^2 をパラメーターとして、Fig. 14, 15, 16 から $u-t$ Diagram を描いて見れば容易に判る。(Fig. 17 参照) Fig. 17 では $t \rightarrow$ 大となるにつ

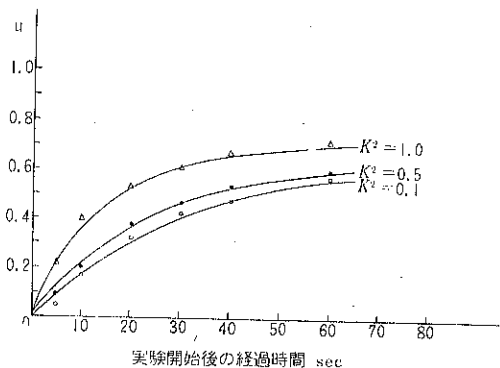


Fig. 17 非定常状態の速度曲線 (半無限体)
; Fig. 14, 15, 16 に基づく、($y = 4$ cm) 速度の値の1.0は u_0 を示す、縦軸は u_0 に対する割合

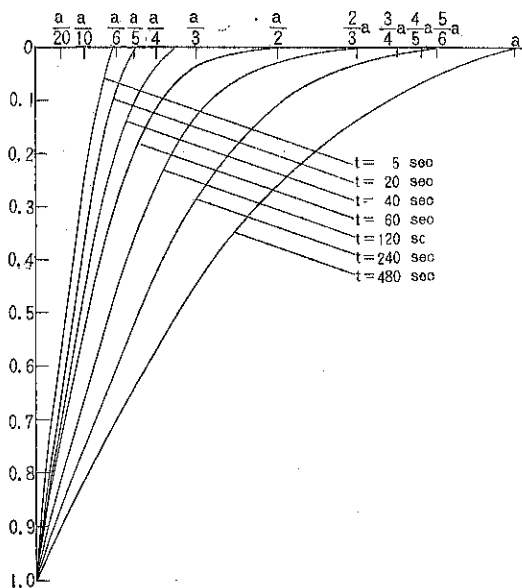


Fig. 18 速度分布曲線、 $a=100d$ 、 $k^2=0.02$

れて確かに飽和性が表われているが、曲線の立上りが緩慢である。これは K^2 、したがって μ の値の取り方が不適当であることを示している。 K^2 は気体及び液体より一応の類推を行ってはいるが、粒体の集団における運動量の輸送(粘性)の大きさから考えれば、 K^2 は 2~5 程度に取るべきかも知れない。従って以上の考察が当を得たものであるとすれば、Fig. 17 における曲線の立上りの模様は可成り改善されるものと期待できる。

式(16)は粒体層を半無限体として解いた場合であるが、若し、容器の巾を有限とした場合には解は

$$u(y, t) = u_0 \frac{a-y}{a} - \frac{4u_0}{\pi} \sum_{s=0}^{\infty} \frac{1}{(2s+1)} e^{-\left\{ \frac{K(2s+1)}{a} \right\}^2 t} \times \sin \frac{(2s+1)\pi y}{a}$$

$$- \frac{2u_0}{\pi} \sum_{s=1}^{\infty} e^{-\left(\frac{k\pi s}{a} \right)^2 t} \times \sin \frac{s\pi y}{a}$$

$$= u_0 \left(1 - \frac{y}{a} \right) - \frac{2}{\pi} \sum_{s=1}^{\infty} \frac{1}{s} e^{-\left(\frac{ks}{a} \right)^2 t} \sin \frac{s\pi y}{a} \dots (17)$$

但し、 $u(y, 0) = 0$

$$u(0, t) = 0, u_0(a, t) = 0$$

a : 容器の巾の半分

となるが、本質的には半無限体の場合と大差はない。

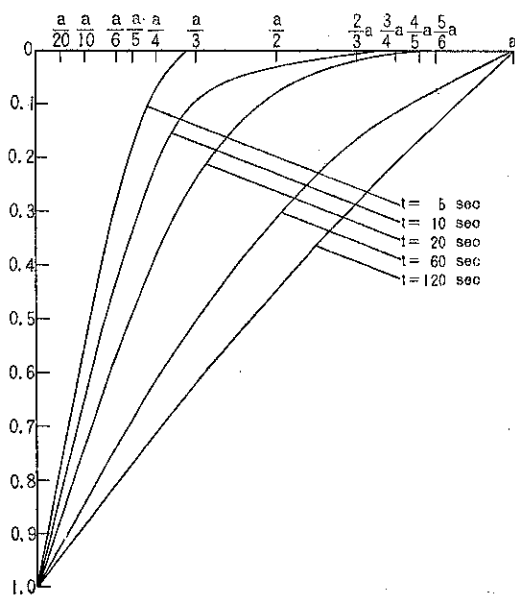


Fig. 19 速度分布曲線、 $a=100d$ 、 $k^2=0.2$

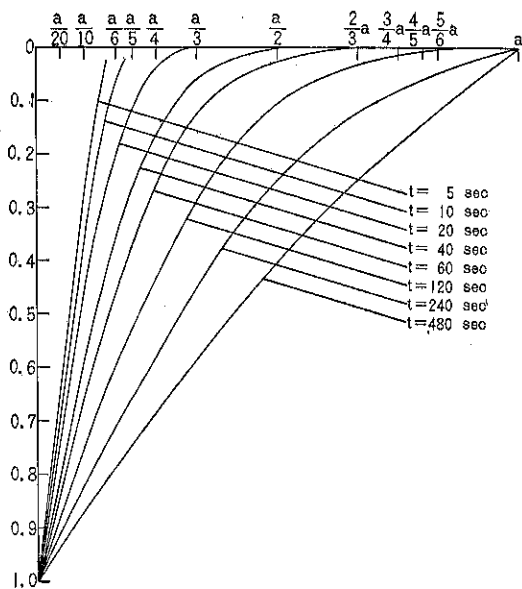


Fig. 20 速度分布曲線、 $a=100d$ 、 $k^2=0.04$

(Fig. 18, 19, 20, 21) 図中の $a=100d$ は容器巾の $\frac{1}{2}$ を粒径の 100 倍に取ったことを意味する。

ここで先述の仮定(=)の代りに、もし粒体層の示す平均圧力が流動状態においても指数函数型の飽和質を持つと考えた場合の解の模様を暫く考えて見よう。この場合、方程式は

$$\frac{\partial u}{\partial t} = K^2 \frac{\partial^2 u}{\partial t^2} + A e^{-\alpha x} + B \quad \dots\dots\dots (18)$$

となり、解は

$$u(x, y, t) \sim v(x, y, t) - \frac{A}{\alpha^2 K^2} e^{-\alpha x} - \frac{1}{2K^2} B x^2 \quad \dots\dots\dots (19)$$

の形となって、(19)式中の第 3 項のために解の収斂性が問題となる。また $v \neq 0$ として 2 次元的に考えれば

$$\frac{\partial u}{\partial t} = K^2 \left(\frac{\partial^2 u}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial y^2} \right) + B e^{-\alpha x} + C \quad \dots\dots\dots (20)$$

より、解は

$$u(x, y, t) \sim v(x, y, t) - \frac{B}{\alpha^2 K^2} e^{-\alpha x} - \frac{C}{4K^2} (x^2 + y^2) \quad \dots\dots\dots (21)$$

となり、解の収斂性と一意性が問題となる。

以上、これまでは可成り一般的な議論をしてきたわけであるが、ここで § 2-4 で導かれた所謂定常状態について一言したい。この場合には微分方程式から時間を含む項がなくなって、

$$\frac{\partial^2 u}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial y^2} = 0 \quad \dots\dots\dots (22)$$

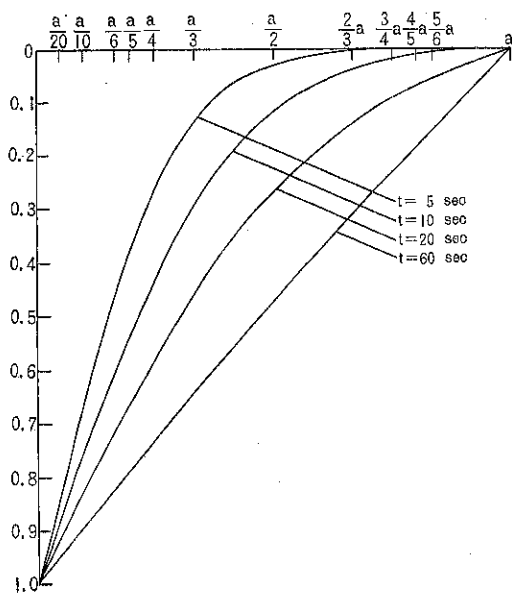


Fig. 21 速度分布曲線 $a=100d$ 、 $k^2=0.5$

の如き形となり、境界条件は、

$$u(0, y) = 0, u(x, 0) = f(x) \quad \dots\dots\dots (23)$$

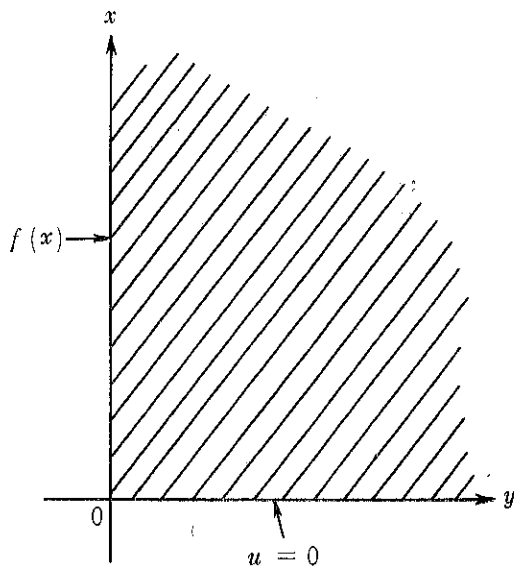


Fig. 22 二次元の定常状態のモデル

なる場合を考えれば良い。(Fig. 22 参照) 原点で $u \neq 0$ であるから $f(x)$ は偶函数で表わされる故、解は

$$u(x, y) = \frac{1}{\pi} \int_0^\infty f(\lambda) \left[\frac{y}{y^2 + (x-\lambda)^2} + \frac{y}{y^2 + (x+\lambda)^2} \right] d\lambda \quad \dots\dots\dots (24)$$

で与えられる。一般にこの型の積分は $f(\lambda)$ が比較的簡

単な場合でも困難で、§ 3-1 で用いられた $f(\lambda) \sim \frac{1}{\sqrt{\pi}}$ の場合についても積分できない。数値積分によるしか手段がないようである。特別な場合として $f(x) = u_0$ なるときは

$$u(x, y) = \frac{2u_0}{\pi} \tan^{-1} \frac{x}{y} \quad \dots\dots\dots (25)$$

と簡単に求められる。

4. 流出の機構-密度変化波の伝播

この節では見方を変えて粒体中を伝わる密度変化波の伝播機構について定性的に触れたいと思う。底部のスリットを開くと、直ぐ上の錐体状の粒体が瞬間的に崩落し、この空隙は直ちに周囲の粒体によって埋められるが、ここ迄の経過を 1Cycle と考えれば、流出口近傍の粒体はこのような Cycle を繰返していると考えても良いと思われる。このような振動現象の周期は粒体の性質、容器常数等によって支配され、この波動はある特定の速度を以て粒体層を上昇すると考えられる。また、この波の特徴として、進行方向の後側で密度 (ρ)、圧力 (p) が小となり、流速は早くなる故、1Cycle を取って見れば

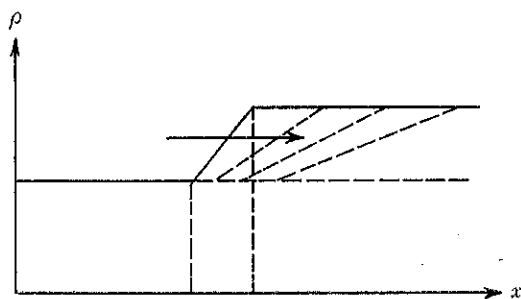


Fig. 23 膨脹波の伝播

ば一種の膨脹波の伝播と見ることが出来る。(Fig. 23 参照) 今、Fig. 23 の如く座標軸を捉へば $4p < 0, u < 0$ であるから密度勾配は次第に減少して開口部において発生した不連続面(密度、圧力についての)は消滅する。故にこの波は衝撃波とはなり得ない。また、媒質の攪乱が無限小という条件にも当てはまらぬ故、音波とも異なる。したがって、この波に対しては表記の如く密度変化波と呼ぶのが適當であろうと考えられる。

5. 結 び

重力によって流出する容器内の粒体の流動現象を調べた結果、流動の定性的解釈には運動状態図による考察が

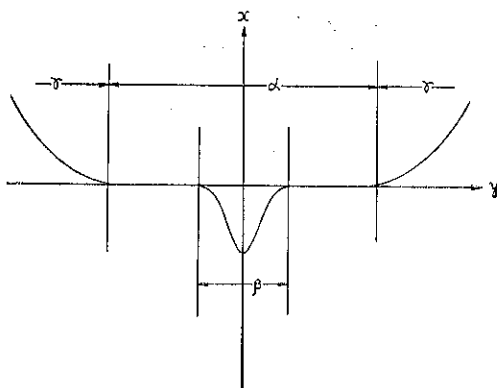


Fig. 24 速度分布の領域別特性

広い適応性を持つことが判ったわけであるが、Fig. 24 の如き速度分布の領域別特性図を描いて見れば更に便利である。図中の領域 α は Zone I に対応するもので粒子間の激しい混合拡散作用により流速の勾配がならされており、その中の領域 β は上記密度変化波の伝播の影響を示すものと考えられる。領域 γ は所謂層流的近似が可能と考えられる部分で Zone III に対応するものと思われる。次に速度分布を理論的に求めるに当って § 3-1 では統計的手法を採り、§ 3-2 では流体力学的な取扱を行ったが、両者は独立に求められた。しかし理論構成の筋道からは前者は本来 Zone I に適用されるものである故、§ 3-2 で求めた Zone III に対す解と § 3-1 の解とを境界に於て滑らかに絡ぐために、次のように両者の対数微分を等しくする必要がある。

$$\left[\frac{\left(\frac{\partial u_I}{\partial y} \right)}{u_{II}} \right]_x = \left[\frac{\frac{\partial u_{III}}{\partial y}}{U_{III}} \right]_x \quad \dots\dots\dots (26)$$

{ }_x: x の特定の値

今後の問題としては、流出のメカニズムに関係が深いと考えられる密度変化波の伝播を定量的に扱った実験(例えば高速度カメラによる撮影など)などを行って見たいと思う。尚、最近容器内の静止粒体層(砂)に対する衝撃の実験が添谷、吉崎、山岡²⁸⁾の諸氏によって行われたことを附記してこの項を終えたいと思う。

引 用 文 献

- 1) 上滝、地頭園: 機械学会九州支部講演前刷 1958年6月
- 2) 上滝、早野: 機械学会関西支部講演前刷 1961年3月
- 3) 上滝、早野: 機械学会九州支部講演前刷 1961年6月
- 4) Janssen; Z. V. D. I. 39 1045 (1895)
- 5) Ketchum; "The Design of Walls, Bins and Grain (24頁へ続く)

酸化ウラン黒鉛系核燃料における両者の混合条件 と核分裂生成物の挙動との関係

日本原子力研究所化学部放射化学研究室副主任研究員

理 博 矢 島 聖 使

同上外来研究員(農林省農業技術研究所化学部)

農 博 渋谷 政 夫

1. 緒 言

酸化ウラン、炭化ウランの粉末を黒鉛粉末中に均一に分布させた分散型燃料における核分裂生成物の挙動に関する研究が著者らによってすでに4年間行われている。分散型燃料の最も特徴は高温燃焼と high burn-up の可能性である。このことは直接、経済的動力炉の開発にむすびつく問題である。日本原子力研究所ではこの燃料を半均質燃料と名付け、これを用いた半均質炉の開発を進めている。一方わが国とほとんど時期を同じくして、英、米、独でも同種の燃料、これを用いた原子炉の開発研究が行われている。上記したように、この分散型燃料は高温と high burn-up に耐える大きな魅力を有しているが、一方燃料中に生じた核分裂生成物の高温における拡散は、一次冷却系その他を汚染する可能性があり、その処理技術が大きな研究課題である。また酸化ウラン、炭化ウラン中に生じた核分裂生成物は反映して黒鉛に捕獲されるので、使用済み燃料の再処理において、黒鉛を核分裂性物質より分離することにより自動的に再処理を行う可能性もこの燃料の大きな魅力であろう。拡散する核分裂生成物の処理および再処理の簡易化のために、酸化ウラン、炭化ウランの粒子を黒鉛基材に均一分散させることを目標として研究が進められている。ここに均一分散度と黒鉛の核分裂生成物捕獲率の関係、分散度のラジオオートグラフによる簡易観察に関して行った実験について述べる。

II 半均質核燃料とは

原子炉はウランの原子核分裂を持続的に起させる装置であって、この装置の性質は減速材と核燃料の組合せ方、核分裂を起す中性子エネルギーおよび冷却材の三つの因子によってほとんど特徴づけられ決定される。

原子炉を類別すると、均質型原子炉と不均質型原子炉に大別されよう。均質型の例としてはわが国の1号炉であるウォーターボイラー型(東海村原子力研究所)があり、ウラン塩を普通の水に溶解したものが燃料と減速材

になっている。不均質型原子炉の例はイギリスのコールダーホール型原子炉があり、これは黒鉛の堆積にあげたチャンネルの中に天然ウランの棒がならべてある。

半均質系燃料を使った半均質炉というのは、燃料と減速材の組合せ方が上述の二者の原子炉型の中間にある。つまり核燃料として粒径数ミクロン以下の酸化ウランまたは炭化ウラン粉末が減速材である黒鉛粉末中に均一分散した状態である。

III 半均質核燃料の特徴

半均質系核燃料では、減速材を基底物質にしてその中に二酸化ウランの細粒が均一分布している状態で、ウラン235が核分裂現象を起す。よく知られているように、分裂にさいしては龐大なエネルギーが発生するが、そのエネルギーの大部分はウラン235が二つに割れた破片、すなわち核分裂片の運動エネルギーとしてあらわれる。この核分裂片は核分裂生成物といわれて、いわゆる“死の灰”とも呼ばれているものであるが、ウラン原子が割れた直後は運動エネルギーを持っているために物質中を飛躍する。飛躍しながらまわりの物質にエネルギーを吸収されこれが熱に変換し核分裂片は静止する。ウラン原子が割れて分裂片が静止するまでの時間はきわめて短い。生じた熱が適当な冷却材によって熱交換器に運ばれ発電を行うことになる。

核分裂片の飛躍する長さは主として通過物質の種類によって異なり、酸化ウラン中で約6ミクロン、黒鉛中で約15ミクロンである。したがって酸化ウランの粒径が6ミクロン以下であれば、その酸化ウラン球中に生じた核分裂片はすべてその球から飛びだしてまわりの黒鉛に突入する。しかし黒鉛の量が少なくて隣接酸化ウラン球が近接していれば黒鉛を通過しさらに余力をもって隣接酸化ウラン球に再突入することになる。したがって酸化ウラン球の大きさが6ミクロン以下で、この球をとりまく黒鉛層が15ミクロン以上であるように両者が均一に混合分布している状態ではウランから飛び出した核分裂生成物

は完全に黒鉛中に捕獲されることになる。この場合、核分裂片の運動エネルギーの大部分も黒鉛で消費され、黒鉛に直接熱を与える。

Ⅲ. 平均質核燃料の再処理

普通の原子炉では核分裂生成物は核燃料物質 (U, Th, Pu, これらの酸化物, 合金など) 内に、ときには減速材の中に入りこんでおり、再処理はこれらを炉からとりだして液状またはガス状の均一状態 (核燃料物質と核分裂生成物がまじりあっているという意味) にしてから抽出や蒸溜その他の手段で分離を行ない、希望するものを回収したり不要のものを除去している。そして回収され除染された核燃料物質は refabrication されて使用する。

平均質系核燃料の再処理 (refabrication も含めて) はどうかというに、前記したように核分裂生成物が黒鉛内へのこらず移っている点に着目して次のように考えられる。酸化ウランと黒鉛を分離して核分裂生成物を黒鉛と一緒に除くか、またはなんらかの方法で使用済み燃料から酸化ウランのみをうまくとってしまうかの方法が考えられ、普通の再処理手段をとるより得策である。核分裂生成物と酸化ウランの物理、化学的性質の著しく異なるものを一緒にして分離するというのは他に方法のない場合にとるべき最後の手段である。

使用済み燃料体から酸化ウランのみ、または核分裂生成物のみをとりだすということは現在のところ目途がついていない。燃料体を砕いて微粉にし、黒鉛と酸化ウランとを各々が個々に単独にわかれた状態にまでした後これを機械的な分離手段を加えて酸化ウランを回収する目的で浮遊選別実験が繰返えし試みられたが、黒鉛と酸化ウランを単独に分ける過程で不成功に終り、浮選法は一応断念している。また酸化ウランを硝酸を用いて溶解し黒鉛と分離し、回収された酸化ウランを再び使用する方法を開発するための基礎実験が現在繰返えされている。この場合問題になるのは黒鉛結晶層間に反跳捕獲された核分裂生成物が硝酸に溶出する傾向である。また試料黒鉛に熱履歴を与えたものとそうでないものは溶出の割合に大きな違いがあることが明かにされた。熱履歴を与えない場合はいづれの元素 (核分裂生成物) もほとんど溶出しない。1000°C、50時間、アルゴン雰囲気中で処理した試料ではいまのところ、核分裂生成物中希土類元素が完全に黒鉛層間にとどまり硝酸処理により溶出しないことが明かにされた。その他の元素は加熱処理により若干溶出する傾向がみられるが詳しいことは研究段階である。

いづれにしても黒鉛とともに核分裂生成物を使用済み燃料より分離する原則をうまく利用すれば、平均質燃料は燃料再処理の点でも一つの大きな特徴をもつことになる。

V. 黒鉛中に捕獲された核分裂生成物の挙動

平均質核燃料の特質は前述したごとくウランから生成する核分裂生成物が黒鉛に反跳捕獲されることである。したがって原子炉工学あるいは核燃料の粉体工学の観点からも、黒鉛中に捕獲された核分裂生成物の挙動が重要視されなければならない。しかも平均質型原子炉の特徴として燃料が相当高温で使用されるので、高温における黒鉛中の核分裂生成物の挙動の研究が必要となる。

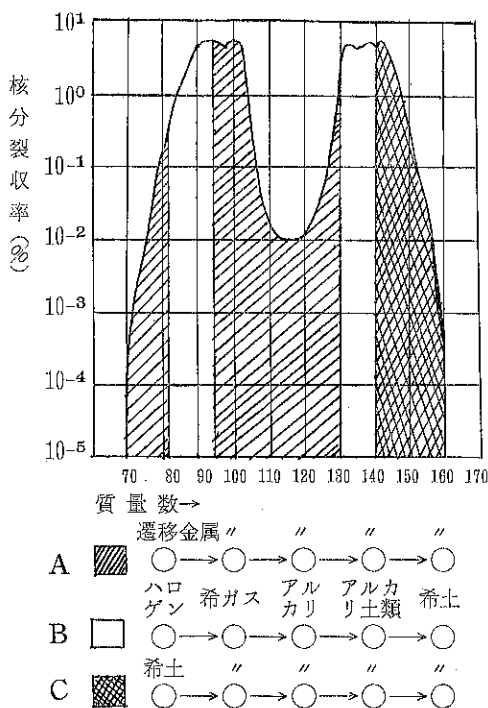


図1 ウラン-235の質量数と核分裂収率との関係

1に示したように、平均質燃料中の核分裂生成物の挙動を三部分に大別して研究を進めるべきであろう。区別の根拠は fission chain 構成核種の物理、化学的性質の相違である。

この三グループのうち、平均質核燃料その他セラミック燃料中の挙動が最も研究されていないのはAグループである。Bグループのうち希ガスの拡散、その他の挙動については外国でも最もよく研究されているが、わが国では、著者の一人矢島等によってBグループ中の希ガス、ハロゲンの挙動について研究が進められている。ハロゲンについては外国でも平均質炉開発研究の一環として若干研究が進められている。Cグループに分類された希土類元素は黒鉛中に反跳捕獲されるが、これが高温で黒鉛中を migrate しないで、例えばカーバイトの形で止まることを期待できる実験結果が著者らの手により明かにされつつある。平均質燃料の再処理は少くとも希土

類元素グループ（核分裂生成物中キセノン135を除けば、このグループが最も大きな中性子吸収位を示す）に関する限り硝酸処理のみで燃料物質と分離できる可能性がある。すなわち使用済み燃料を粉砕し希硝酸に浸漬する処理でウランと黒鉛を分離し、同時に黒鉛中の希土類元素グループを黒鉛と共に除去することになる。

VI 酸化ウラン—黒鉛系核燃料における両者の混合条件と黒鉛の核分裂生成物捕獲率との関係

酸化ウラン黒鉛系核燃料のもっとも重要な特徴は酸化ウラン粉末が減速材である黒鉛粉末中に分散し、酸化ウラン粒子から核分裂片が反跳して黒鉛中に捕獲されることである。生成した核分裂片が酸化ウラン粒子外に100%飛び出すためには、酸化ウラン粒子から反跳して黒鉛中に入り込む核分裂片の飛程にもっとも都合のよい酸化ウラン粒子の大きさ、酸化ウランと黒鉛の混合割合、酸化ウラン粒子の黒鉛中における分布のしかたなどを考慮する必要がある。

すなわち理想的には酸化ウラン粒子の直径が黒鉛中に入り込む核分裂片の飛程6ミクロンより小さく、飛び出した核分裂片がさらに力あまって黒鉛中を通過して隣接する酸化ウラン粒子に再突入することのないように隣接酸化ウラン粒子間の黒鉛量が多いこと、すなわち黒鉛中の酸化ウラン粒子の分布する相互間の距離が飛程よりわずかに大きく、しかも均一に分布していることが望ましい。

表1. 酸化ウラン、黒鉛混合試料

試料番号 比重 1.6	酸化ウラン 比重 2.1	二酸化 ウラン 混合比	混 合 方 法
1	1'	1/20	横 沢 V140分
2	2'	"	" V140分—B15時間一次形成—P
3	3'	"	" V140分—B63時間
4	4'	"	" V140分—B111時間
5	5'	"	" V140分—B15時間 (in benzene)
6	6'	"	マリノック ロット 10ℓ V140分—B15時間
7	7'	"	ガンナマ イン 10ℓ V140分—B15時間
8	8'	"	横 沢 V140分—B60時間 (in benzene)
9	9'	"	マリノック ロット 10ℓ V140分—B60時間
10	10'	"	ガンナマ イン 10ℓ V140分—B60時間
11	11'	1/10	横 沢 V140分
12	12'	"	" V140分—B15時間 (in benzene)

5-1. 二酸化ウランと黒鉛の混合条件

二酸化ウランの種類は横沢、マリノックロット、ガンナマインの三種を用い、酸化ウランと黒鉛の混合比は酸化ウラン1に対して黒鉛10、20とし、V型混合機、ボールミルおよびパルペライザーを用いて表1に示すような種々の混合方法によって混合したのちペレットにした。1個のペレットの大きさは10φmm×10mmでその重量は約2gである。表中に示すVは80リットル容V型混合機、10ℓVは10リットル容V型混合機、Bはボールミル、Pはパルペライザーを示す。また in benzene はベンゼンを加えて潤滑状態で混合したものである。使用した黒鉛は天然黒鉛である。

2. 黒鉛中の二酸化ウランの分散度のラジオオートグラフ的観察

黒鉛中の酸化ウランの分散状態をラジオオートグラフによって調べることができる。すなわちウランから放射されるアルファ線のトラックを写真乾板に記録させ、これを顕微鏡下で観察することができる。しかしこの方法は露出時間が長時間（数10日）かかることと顕微鏡によらねばならない不便がある。

そこで試料を中性子照射して放射化させ、その核分裂片のベータ線トラックを写真乾板に記録させて肉眼的に観察した。ベータ線トラックによるラジオオートグラフの場合には、ベータ線源である核分裂片は反跳して約5ミクロン元のウラン原子の位置から移動しており、しかもそれを中心として放出されるベータ線乾板に記録するためアルファ線トラックによる酸化ウランの観察より分解能が悪いと考えられる。したがって核分裂片の黒鉛中の飛程とベータ線の飛程の和だけ実際の酸化ウランの形状よりボケて写る欠点があるが、短時間の操作によって酸化ウランの分散度を肉眼で観察できるので便利である。写真1は、各試料をJRR-1原子炉を用いて中性子照射し、生成した核分裂片のベータ線トラックによる酸化ウランの黒鉛中の分散を示す写真である。

この写真によると、酸化ウランが均一に分散していると思われるものは、ボールミル混合時間のもっとも長かった試料番号4と、ベンゼンを加えて混合した試料番号5および8である。3種類の二酸化ウラン間では、同じ混合時間の試料と比較してみると、横沢製品（試料番号2）がもっともよく、ガンナマイン（試料番号7）がこれにつき、マリノックロット（試料番号6）がもっとも分散度が悪い。また横沢ウラニヤでは混合時間を長くするに従って均一分散度がよくなっている。

酸化ウランの相違による分散度の相違は酸化ウラン粒

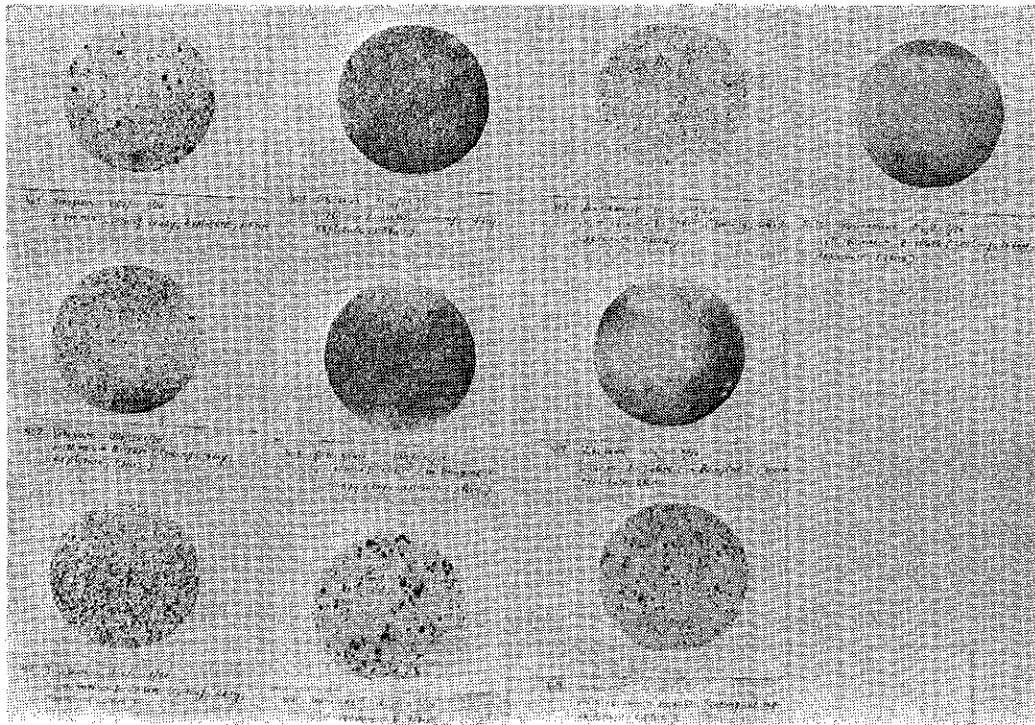


写真1. 各試料のベータ線トラックのオートラジオグラフ

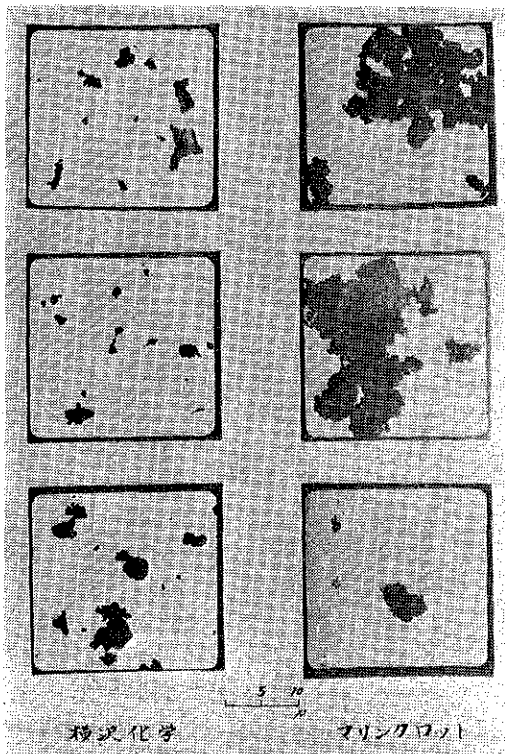


写真2. 二酸化ウランの電子顕微鏡写真

子の状態によるものと考えられるので、横沢製品とマリンクロット製品の電子顕微鏡写真を取り粒子の状態を検査した。写真2がそれである。

写真2で明かなように、横沢製品は小粒であるのに比し、マリンクロットは集団粒となって大粒子を形成していることが均一な分散をさまたげているものと考えられる。

3. 黒鉛中への核分裂生成物の捕獲率と混合条件との関係

ラジオオートグラフ法により簡便に、黒鉛中における酸化ウランの均一分散度を観察することができた。しかし終局的にはウランから生成される核分裂生成物が黒鉛にどれだけ捕獲されたかが問題となる。すなわち黒鉛に捕獲される核分裂生成物が可及的に多いことが望ましい。したがって、上述のような条件で混合した酸化ウラン—黒鉛試料を用いて黒鉛中に捕獲された核分裂生成物を定量的に測定し酸化ウランと黒鉛の混合条件と核分裂生成物の捕獲率との関係をみた。

〔実験I〕

A 実験法

1) 中性子照射

試料を薬包紙で包みさらにポリエチレン袋に入れた後封じ、指定のキャプセルに入れて封じ、JRR-1原子炉の実験孔16番に挿入し、熱中性子束 $4 \times 10^{11} \text{n/cm}^2/\text{sec}$ で

5 分間照射した。

2) 核分裂生成物の分離法

照射試料を約 3 週間冷却した後、磁製乳鉢で摩細し（試料はペレットである）約 1.5 g 前後の粉碎試料をビーカーに定量的に秤取した。これに 1 : 1 硝酸約 20 ml を加えて煮沸近くまで 30 分間加熱した後、約 10 ml の蒸留水を加えて冷し、静置して上澄液を濾過する。再びビーカー中の黒鉛に 1 : 1 硝酸 20 ml を加えて同じ操作を繰返し、その後炉液中に放射能のなくなるまで蒸留水で洗滌し黒鉛と酸化ウランとを分離する。濾紙上の黒鉛は濾紙とともに風乾してポリエチレン製小棒ビンに定量的に移し放射能測定試料とした。

一方濾液には、核分裂生成物中のヨウ素を酸化するため臭素酸カリウム約 20 mg 加え、さらに担体としてランタン、ジルコニウム、バリウムをそれぞれ約 10 mg 加え濃縮して全溶液を約 30 mg とした。これを分液ロウトに移し TBP 液 (30% TBP in kerosin) を用いてウラン

およびネプツニウムを抽出した。TBP は一回の使用液を 30 ml とし、抽出操作を 3 回繰返した。図 2 は上述の処理法の概要を系統図にして示したものである。

上述したように硝酸に溶解した核分裂生成物をウランおよびネプツニウムと分離したのち溶液を濃縮して定量的に測定用ポリエチレン製小棒ビンに移し、硝酸溶解部分の核分裂生成物試料とした。なお核分裂生成物であるキセノン（半減期 1 日以下）やクリプトン（半減期 1 日以下）は、試料は 3 週間冷却しているのほとんど無視できる程度に減衰している。

B 実験結果

1) 黒鉛および硝酸溶解部分中の核分裂生成物の量

上述のように処理してえた黒鉛および硝酸溶解部分中の核分裂生成物の全放射能をアトミック製シングルチャネルシンチレーションカウンタを用いて計数し、その結果を表 2 に示した。表 2 に示した値は試料 1 g 当りに換算した黒鉛および硝酸溶解部分の放射能 cpm で

表 2. 黒鉛および硝酸溶解部分中の核分裂生成物中の全放射能（試料 1g 当りの cpm）

比重 1.6 の ペ レ ッ ト 試 料				比重 2.1 の ペ レ ッ ト 試 料			
試料 番号	黒 鉛 中 の放射能	硝酸溶解部 分の放射能	全 放 射 能 (黒鉛+硝酸)	試料 番号	黒 鉛 中 の放射能	硝酸溶解部 分の放射能	全 放 射 能 (黒鉛+硝酸)
1	17974 63731	6818 20645	24792 84376	1'	16777 117661	5953 42802	22730 160463
2	20124 73968	5759 29154	25883 103122	2'	18979 113294	5358 28722	24337 142016
3	21220 75092	6786 21872	28006 96964	3'	19969 124917	5935 34753	25904 159670
4	80603 50476	14950 8297	95553 58773	4'	22522 163924	4957 35014	27479 198938
5	62989 46383	14856 8993	77795 55376	5'	23209 84934	2458 8233	25667 93167
6	70690 32358	19388 10820	90078 43178	6'	19812 159660	3179 22813	22991 182473
7	72620 42919	9551 8875	82171 51794	7'	20088 89605	2393 7965	22481 97570
8	38725 78145	7314 11033	46039 89178	8'	54493 125059	7194 11232	61637 136291
9	82736 43115	12095 8016	94831 51131	9'	45249 62071	8576 16442	53825 78513
10	37686 63217	7219 9775	44905 72992	10'	101353 175890	11012 17551	112365 193441
11	73151 140896	18689 38167	91840 179063	11'	54657 247731	8744 44915	63401 292646
12	78095 144506	20340 33316	98435 177822	12'	298320 312517	45121 53301	343441 365818

実験は同一試料について 2 回繰返して行った。

図2. 試料の化学処理法の概要図

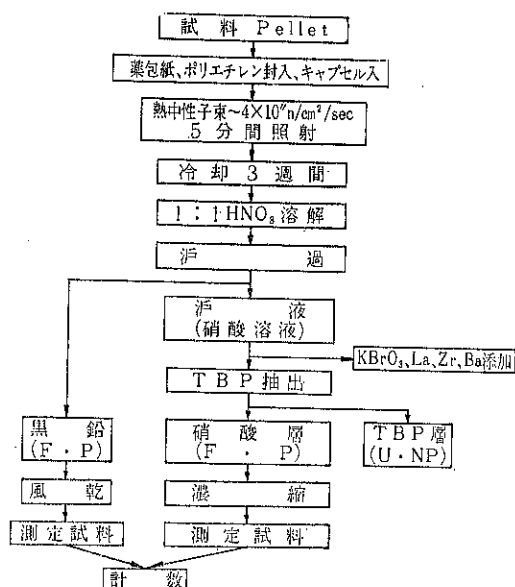


表3. 黒鉛による核分裂生成物の捕獲率 (%)

比重1.6のペレット試料			比重2.1のペレット試料		
試料番号	黒鉛による捕獲率	平均	試料番号	黒鉛による捕獲率	平均
1	72.5 75.5	74.0	1'	78.8 73.3	78.6
2	77.7 71.7	74.7	2'	78.0 79.8	78.9
3	75.8 77.4	76.6	3'	77.1 78.2	77.7
4	84.4 85.9	85.2	4'	82.0 82.4	82.2
5	80.9 83.8	87.4	5'	90.4 91.2	90.8
6	78.5 74.9	76.7	6'	86.1 87.5	86.8
7	88.4 82.9	85.7	7'	89.4 91.8	90.6
8	84.1 87.6	85.9	8'	88.3 91.8	90.1
9	87.2 84.3	85.8	9'	84.1 85.6	84.9
10	83.9 86.6	85.3	10'	90.2 90.9	90.6
11	79.7 78.7	79.2	11'	86.2 84.7	85.5
12	79.3 81.3	80.3	12'	86.9 85.4	86.2

ある。

2) 黒鉛中の核分裂生成物の捕獲率

表2の結果から、生成された全核分裂生成物に対して黒鉛によって捕獲された核分裂生成物の割合(捕獲率)を求めたのが表3である。

表3によれば、黒鉛によって捕獲された核分裂生成物の割合は全試料を通じて73~91%の間に含まれる。

試料は、二酸化ウランの種別、酸化ウラン—黒鉛の混合比、混合時間、ベンゼン添加の有無およびペレットの比重の相違などの要因を含む24個の試料である。したがってこれらの要因に有意性を求めるためには推計学的考察が必要となる。

C 推計学的考察

1) 試料製造処理間およびペレットの比重間の分散分析

化学分析誤差をもとにして各試料の製造処理間およびペレットの比重間、また処理と比重の交互作用の分散比を求めてこれらの間に有意性があるかどうかを分析した。多少蛇足とは思ったが、分散分析表を求めるまでの途中の数値をはぶかずに表示することにした。

まづ分析の計算を簡易化するために、表3に掲げた黒鉛による核分裂生成物の捕獲率(%)の数値より共通値80を差引いた数値を表4に示し、この値をもとにして計算を進めることにする。

表4. 表3の黒鉛による捕獲率(%)値より80を差引いた値

試料番号	比 重 1.6		試料番号	比 重 2.1	
	x_1	x_2		x_3	x_4
1	-7.5	-4.5	1'	-6.2	-6.7
2	-2.3	-8.3	2'	-2.0	-0.2
3	-4.2	-2.6	3'	-1.9	-1.8
4	4.4	4.1	4'	2.0	2.4
5	0.9	6.2	5'	10.4	11.2
6	-1.5	-5.1	6'	6.1	7.5
7	8.4	2.9	7'	9.4	11.8
8	4.1	7.6	8'	8.3	11.8
9	7.2	4.3	9'	4.1	5.6
10	3.9	6.6	10'	10.2	10.9
11	-0.3	-1.3	11'	6.2	4.7
12	-0.7	1.3	12'	6.9	5.4
計	12.4	11.2	計	53.5	62.6

表5は表4の二乗和を示す。

表4および5より

$$a = \sum x_1^2 + \sum x_2^2 + \sum x_3^2 + \sum x_4^2 = 256.63 + 308.76 + 559.57 + 715.52 = 1840.48$$

$$c = \sum x_1 + \sum x_2 + \sum x_3 + \sum x_4 = 12.4 + 11.2 + 53.5 + 62.6 = 139.7 \quad \text{を求める。}$$

表5. 二 乗 和

試 料 番 号	比 重 1.6		試 料 番 号	比 重 2.1	
	x_1^2	x_2^2		x_3^2	x_4^2
1	56.25	20.25	1'	38.44	44.89
2	5.29	68.89	2'	4.00	0.04
3	17.64	6.76	3'	3.61	3.24
4	19.36	16.81	4'	4.00	5.76
5	0.81	38.44	5'	108.16	125.44
6	2.25	26.01	6'	37.21	56.25
7	70.56	8.41	7'	88.36	139.24
8	16.81	57.76	8'	68.89	139.24
9	51.84	18.49	9'	16.81	31.36
10	15.21	43.56	10'	104.04	118.81
11	0.09	1.69	11'	38.44	22.09
12	0.49	1.69	12'	47.61	29.16
計	256.63	308.76	計	559.57	715.52

$$\begin{aligned} \text{つぎに } b \text{ 値} &= \Sigma(x_1+x_2)^2 + \Sigma(x_3+x_4)^2 \\ &= 978.70 + 2518.67 = 3497.37 \end{aligned}$$

$$d \text{ 値} = \Sigma(x_1+x_2+x_3+x_4)^2 = 5716.74$$

$$\begin{aligned} g \text{ 値} &= [\Sigma(x_1+x_2)]^2 + [\Sigma(x_3+x_4)]^2 \\ &= 556.96 + 13479.21 = 14036.17 \end{aligned}$$

a, b, c, d および g 値から

CT (修正項)

$$= C^2/N = 139.7^2/48 = 406.59$$

S_T (全体の平方和)

$$= a - CT = 1840.48 - 406.59 = 1433.89$$

S_I (2 連分析値合計の平方和)

$$= 3497.37/2 - CT = 1748.69 - 406.59 = 1342.10$$

S_R (級内誤差の平方和即ち分析誤差)

$$= S_T - S_I = 1433.89 - 1342.10 = 91.79$$

S_V (処理の平方和)

$$= d/4 - CT = 5716.74/4 - 406.59 = 1022.60$$

S_C (比重の平方和)

$$= g/24 - CT = 14036.17/24 - 406.59 = 178.26$$

以上の結果より表 6 に示す分散分析表がえられた。

表6. 分散分析表-1

要 因	S	f	V=S/f	分 散 比			
				$F \equiv V/RV$	F-表値	$F = \frac{V}{V/(v \times c)v}$	F-表値
全 体 T	1433.89	47	30.51				
級内除全体 I	1342.10	23	58.35				
級内(分析誤差) R	91.79	24	3.82				
処 理 間 V	1022.60	11	92.96	24.3***	$F_{0.01} = 3.17$	7.2**	$F_{0.01} = 4.54$
比 重 間 C	178.26	1	178.26	46.7***	$F_{0.01} = 7.82$	13.9***	$F_{0.01} = 9.65$
交 互 作 用 V×C	141.24	11	12.84	3.4***	$F_{0.01} = 3.17$		

表 6 の分散分析表の結果によると、級内誤差すなわち化学分析誤差は他の誤差に比べてきわめて小さい。この級内誤差をもとにして処理間、比重間、処理と比重の交互作用の分散比を求めると、三者いづれも $F=0.01$ で高い有意差が認められた。

処理と比重の交互作用 ($V \times C$) は級内誤差からの変動ならびに処理の異なるものについての比重の違いの効き方の相違を表わすものであるから、さらにこの交互作用を広義の誤差と考えて、処理間、比重間の分散比を算出してみると、いづれも $F=0.01$ で有意差が認められた。すなわち $V \times C$ の交互作用は処理間、比重間の有意差に比し圧倒的に小さい。

したがって、表 6 からはペレット製造時の各処理の相違による黒鉛中の核分裂生成物の捕獲率およびペレット比重 1.6 と 2.1 の間に有意差がきわめて大きいことが明白に解析されたわけである。

比重 1.6 のペレット試料は固化がゆるく、試料の取扱い中に容易にくずれて粉末状になりやすい。したがって実験に供試した比重 1.6 のペレットは粉末と固形の混合物であって、比重 2.1 の完全固形ペレットとは物理的に異なるものである。一般に比重 2.1 のペレット試料の核分裂生成物の捕獲率は、比重 1.6 のものより高い値を示し、有意差が認められた。

2) 二酸化ウラン種別間の分散分析

つぎに処理間を分解して考察してみよう。すなわち比重の軽重に関係なく、8 種別の二酸化ウランとこれらがボールミルで混合される混合時間の相異間を分析した。

まづ表 4 より表 7 をつくる。

表7. 二酸化ウランとボールミル混合時間との関係

ウラニア種別 (u)	混 合 時 間 (t)				計
	試料 番号	ボールミル 混合 15 時間	試料 番号	ボールミル 混合 60 時間	
横 沢 (u ₁)	2.2'	-12.8	3.3'	-10.5	-23.3
マリングロット (u ₂)	6.6'	7.0	9.9'	21.2	28.2
ガンナマイン (u ₃)	7.7'	32.5	10.10'	31.6	64.1
計		26.7		42.3	69.0

表7より

$$CT = 69.0^2 / 24 = 198.375$$

$$S_T = \frac{-12.8^2 + 7.0^2 + \dots + 31.6^2}{4} - CT = \frac{2827.34}{4}$$

$$-CT = 508.460$$

$$S_u = \frac{-23.3^2 + 28.2^2 + 64.1^2}{8} - CT = \frac{5446.94}{8}$$

$$-CT = 482.493$$

$$S_t = \frac{(42.8 - 26.7)^2}{24} - CT = \frac{15.6^2}{24}$$

$$= 10.14$$

$$S(u \times t) = 508.460 - 482.493 - 10.14 = 15.827$$

を算出し、これより表8に示す分散分析表をえた。

表8. 分散分析表-2

要 因	S 偏差平方和	f 自由度	V=S/f 不偏分散	分 散 比	
				F	F-表値
全 (T) 体	508.460	5			
ウラニア間 (u)	482.493	2	241.25	30.5*	F _{0.05} = 19.0
混合時間間 (t)	10.74	1	10.14	1.29	
交互作用 (u×t)	15.83	2	7.91		

分散分析の結果、横沢、マリクロット、ガンマインの二酸化ウラン間には有意差が認められたが、ボールミル混合時間15時間のものと60時間のものとの間には有意差が認められない。

二酸化ウラン種別のうち外国製二酸化ウランの方が横沢製二酸化ウランより高い捕獲率を示した。

3) ボールミルによる混合時間と捕獲率との関係

つぎにボールミルによる混合時間の核分裂生成物の捕獲率におよぼす影響をみるために、直交多項式にあてはめて分析した(二酸化ウランは横沢製)。

表9は混合時間と黒鉛による核分裂生成物の捕獲率を示す。

表9. 混合時間と核分裂生成物の捕獲率

試料番号	1.1'	2.2'	3.3'	4.4'
混合時間	0時間	15時間	63時間	111時間
核分裂生成物の捕獲率(%)	73.8	76.8	77.4	83.2
(表4から) 処 理 計	-24.9	-12.8	-10.1	12.9

表10はその結果を示す。

表10より混合時間と核分裂生成物の捕獲率との関係は一次項にあてはまる。すなわち捕獲率は時間の関数とみ

表10. 処理平方和の分解

要 目	S 平方和	f 自由度	V 分散	分 散 比	
				F	F-表値
合計 (T)	187.25	3			
一 次 項	167.33	1	167.33	18.22**	F _{0.01} = 7.82
二 次 項	7.98	1	7.98		
三 次 項	11.94	1	11.94		
誤差(級内)	91.79	24	91.79		

なされる。したがってボールミルによる混合時間が長いほど核分裂生成物の捕獲率が高くなる結果となる。

4) ベンゼン処理とボールミル混合時間との有意差

つぎにベンゼン処理を行ってボールミルで混合したものと、ベンゼン処理をしないでボールミルで混合したものととの間でどちらが混合条件として有意であるかを検定した。すなわち特定の二つのものの差の有意性を検定するためにまづ最少有意性をつぎのように求めた。

$$1. s. d = t_{0.05}(f) \sqrt{\frac{2 \times 3.82}{4}} = 2.064 \times \sqrt{1.91} = 2.85$$

$$= t_{0.01}(f) \sqrt{\frac{2 \times 3.82}{4}} = 2.797 \times \sqrt{1.91} = 3.87$$

危険率5%では2.85、1%では3.87となった。したがって有意差を見ようとする2処理間の差の値が2.85より大きければ危険率5%で、3.87より大きい差であれば1%の危険率で両者間に有意性を見出すことができる。

そこでつぎに示す2処理間についてそれぞれ検定を行った。

- i) V-140分→B15時間 (in benzen) - V-140分
→B63時間=87.4+90.8/2-76.6+77.72
=89.1-77.2=89.1-77.2=11.9
- ii) V-140分→B15時間 (in benzene) - V-140時
→B111時間=89.1-83.7=5.4
- iii) V-140分→B60時間 (in benzene) - V-140分
→B15時 (一次形成P) =88.0-76.8=11.2
- iv) V-140分→B60時間 (in benzene) - V-140分
→B63時間=88.0-77.2=10.8
- v) -140分→B60時間 (in benzen) - V-140分
→B111時間=88.0-83.7=4.3

- vi) V-140分→B15時間 (in benzene) - V-140分
→B15時間 (一次形成'-P) =89.1-76.8=12.3
- vii) V-140分→B15時間 (in benzen) - V-140分
→B60時間 (in benzen) =90.8-90.1=0.7

となり、ベンゼンを加えて混合した方がしないものに比しいづれも高い捕獲率をうることができた。しかもベンゼン処理の効果はボールミルで長時間(15時間と60時間の差)混合するよりも高い捕獲率を得た。

さて以上のように、試料番号1～12および1'～12'までの24個の試料について推計学的考察を行った結果を要約してみると

- 1) ペレットの比重2.1が1.6のものより捕獲率が高い。
- 2) 同一比重のペレットでも黒鉛と酸化ウランの混合処理法によって大いに異なった捕獲率となる。
- 3) そのうちでもベンゼンを添加して混合した場合にはもっとも捕獲率が高い。
- 4) ボールミルによる混合時間を長くするほど捕獲率が大きくなる。
- 5) しかしボールミルの混合時間よりも、ベンゼン処理の効果の方が大きかった。

〔実験Ⅱ〕

混合方式を変えた場合の捕獲率の相異

前述した24個の混合処理法の異なった試料でも捕獲率の最高値は90%止りである。このことはV型混合機およびボールミル混合方式での限度を示す傾向と考えられる。そこで混合方式の異なるV型混合機とライカイ混合機を使用して酸化ウランと黒鉛とを混合し、粉体状態のまま、これをペレットにしたものの試料について、

表11. V型混合およびライカイ機混合法における核分裂生成物の捕獲率(%)

混 合 法	試料番号	混合時間	黒鉛による核分裂生成物の捕獲率	
粉 体 試 料	11-1	80分	51.4%	(平均)
10 ℓ V 型	11-2	"	61.8	
攪拌バーなし	11-3	"	34.1	51.1
試料採取位置を異にする	11-4	"	46.3	
	11-5	"	62.1	
粉 体 試 料	21-1	"	77.5	
10 ℓ V 型	21-2	"	74.7	
攪拌バーあり	21-3	"	72.7	73.1
試 料 採 取	21-4	"	67.0	
位置を異にする	21-5	"	73.4	
10 ℓ V 型	11	"	81.9	
攪拌バーなし	11	"	80.4	81.2
ペ レ ッ ト				
10 ℓ V 型	21	"	86.1	
攪拌バーあり	21	"	85.2	86.1
ペ レ ッ ト				
ライカイ機 混 合	101	10分	97.2	
	102	25分	97.1	
	103	40分	97.0	96.6
	104	60分	95.5	
	105	90分	96.4	
	106	120分	96.6	

核分裂生成物の黒鉛による捕獲率の相違を検討した。

すなわち、V型混合では攪拌バーを使用したものではないもの、ライカイ機混合法では混合時間10分、25分、40分、60分、90分、120分の6段階とし、またV型混合については混合度合のパラッキをみる試料の採取をアトラランダムに5カ所より採取した。表10はこれらの処理試料について黒鉛に捕獲された核分裂生成物の捕獲率の値を示す。

表11の結果はV型混合の場合には攪拌バーを使用したものとし、攪拌バー使用の混合が圧倒的に捕獲率が高く、しかも混合の均一性がよいのに反し、攪拌バーの使用しない試料では試料の採取場所によって捕獲率の値が大きくバラツキ均一性がよくない。またこれらの条件によって混合した試料をペレット状にすることによって捕獲率を高める結果となる。しかし攪拌バーの有無による捕獲率の傾向には変りがない。

一方、ライカイ機混合による場合には混合時間の長短にかかわらずV型混合試料よりはるかに高い捕獲率を示した。しかも前述した捕獲率のどれよりも高い値である。このように

V型混合機とライカイ機による相違は、2者の混合機の混合機構の相違によるもので黒鉛中に混合分散する酸化ウランの均一性が捕獲率に大いに関係するものと考えられる。

4. 実験結果の要約

以上の実験結果を要約すると黒鉛に反跳捕獲される核分裂生成物の捕獲率は次のような場合に高い値を示すものと考えられる。

- 1) ペレットの比重は2.1がよい。
- 2) V型→ボールミル混合においてはベンゼン添加がボールミル混合時間を短縮する。
- 3) V型→ボールミル混合では、ボールミルによる混合時間の長いものほど捕獲率が高い。
- 4) V型混合機だけによる混合の場合には攪拌バーを使用したものは使用しないものに比しはるかに高い捕獲率を示し、しかも試料採取場所によるバラツキも小さい。すなわち攪拌バー使用の場合には均一に混合される。
- 5) V型混合の場合には混合試料は粉状よりもペレットに形成した方がよい。
- 6) ライカイ機混合法の場合には、短時間の混合時間で他のいづれの混合条件のものよりも圧倒的に高い捕獲率を示す。

以上の研究によって巨視的および微視的の混合の均一性をうるための混合方式、混合条件がそれぞれに検討究明された。巨視的の均一性をうるためにはV型混合機が

適しボールミルは不適當であるが、ベンゼン添加により短時間のボールミル混合によって微視的の分散の均一がえられるようである。しかしライカイ機だけによる混合で捕獲率のもっとも高い値がえられる結果から考えると、巨視的にも微視的にもスリ潰し機能を有する混合法がもっとも適するものと思われる。

一方、黒鉛中の酸化ウランの分散度と黒鉛中に反跳捕獲される核分裂生成物捕獲率との関係は、ラジオオートグラフによる分散度とよく一致している。したがって、ラジオオートグラフ法は黒鉛と酸化ウランの混合均一度の良否の判定に適用できるものと考えられる。

VII 結 語

酸化ウラン—黒鉛系核燃料の製造において、黒鉛による核分裂生成物の捕獲率を高めるためには、核分裂片の飛躍する長さを考慮して、黒鉛と酸化ウランの混合比および酸化ウランの粒径が重要であることは勿論のことであるが、それよりも大切なことは酸化ウランと黒鉛の両者を均一に分散混合させることである。したがって混合機の選択、混合条件などの検討が実際の平均質核燃料の製造に当って重要視されねばならない。

本研究はその基礎的資料を得るために行った研究の一端を示したものである。

最後に推計学的考察について御助言を賜った日本原子力研究所理事西堀栄三郎博士、ラジオオートグラフの写真を担当した原子炉研修生（広島大学理学部）木曾義之氏に深謝する。

〔14頁より〕

- Elevators" (1907) Mc Grow-Hill
- 6) 高橋; 理研彙報 12輯 12号、(1933)
 - 7) 堀; 土木学会誌 28⑥ (1942)
 - 8) Jaky; 2nd, Int. Conf. Soil Mec. and Found. Eng. (1948)
 - 9) 平井、深谷、島田、三島; 化学機械協会 17 ④ 488 (1953)
 - 10) 古城; 化学機械協会 18 ④ 205 (1954)
 - 11) 田中; セメント・コンクリート、1956年2月、3月、4月号
 - 12) Taubmann; Chem, Ing, Techn, 28 ④ 250 (1956)
 - 13) 田中、川合; 化学工学 20, ④ (1956)
 - 14) 谷本、蔭山; 土と基礎、5 ④ (1959)
 - 15) 北郷、木崎; 土と基礎、7 ⑤ (1959)
 - 16) 大原; 土と基礎
 - 17) Rose & Tanaka; The Engineers Oct, 23 (1959)
 - 18) Brown & Richards; Trans, Inst, Chem, Engrs. 37, 108 (1959)
 - 19) Brown & Richards; Trans. Inst, Chem, Engrs, 38, 243 (1960)
 - 20) 青木; 化学工学 25 ⑩ (1961)
 - 21) Dallavalle; "Micromeritics"
 - 22) 若林、加藤; 応用物理、日本計測学会共催 22 回講演前刷 1961年10月
 - 23) 添谷、吉崎、山岡、応用物理、日本計測学会共催 22 回講演前刷 1961年10月
 - 24) 白木; 岐阜大工、研究報告、5号 1955年
 - 25) 大山、綾木; 化学工学 20, ④ (1956)
 - 26) 増田、山辺; 岐阜大工、研究報告 9号 (1959)
 - 27) Kodaira Geophys. Mag. 1 ④ 14 (1926) Central Meteor. Observ.
 - 28) 最上; 土木学会誌 29 ⑥ 481 (1943)
 - 29) 最上; 土木学会誌 29 ⑩ 744 (1943)
 - 30) Ruckli; 2nd. Int. Conf. Soil Mec. and Found. Eng. (1948)
 - 31) Osterholt, 2nd. Conf. Soil Mec. and Found, Eng. (1948)
 - 32) 松井、白木; 岐阜大工、研究報告、第一号、1951年
 - 33) 植松; 化学機械技術第5集 1953年

粉体オリフイスの設計

粉体工学研究会 三 輪 茂 雄

§ 1. は し が き

付着性のない乾燥した粉体を、容器から流出させる場合、流出速度が粉体層高（ヘッド）に無関係に一定であることは、粉体を扱う場合に非常に便利な性質である。この性質は、簡単な定量フィーダーや、粉体流出量測定に応用されている。しかし、流出速度の計算式は、古くから研究されているが、粉体の複雑な特性のために、一般性のある式をうるものが難しく、決定的な計算式は未だない状態にある。

本文では、これら数多くの従来提出されている式を整理してみることにした。種々の単位で表わされているので、それらを統一単位に直して計算の便をはかり、最後に、1つの例について、各式により計算して比較した。

水平オリフイス（平板に直角にあげ、孔の縦断面が矩形のもの、Fig. 2参照）を主とし、ホッパー形のものも示した。デッド・ストックが差支えなければ、水平オリフイスを用いた方が、簡単で使いやすい。

流出速度には、オリフイスの上面のみが関係し、板の厚みには無関係であるから、パイプの場合にもそのまま適用できる。

特に断りのないものは、下記の統一単位の記号による。特殊な内容の場合は、その都度示すことにした。

使 用 記 号

W	: 重量流出速度	[ton/H]
V	: 容積流出速度	[m ³ /ton]
D	: オリフイス直径	[mm]
d	: 粒 子 径	[mm]
ρ	: 粒子の真密度	[ton/m ³]
ρ_B	: 粉体嵩密度	[ton/m ³]
μ	: 安息角の tan.	(摩擦係数)
ϕ	: 安 息 角	[°]
B	: 容 器 内 径	[mm]
ϕ	: ホッパー開き角	[°]

§ 2. Deming, Mehring の式¹⁾ (1929年)

肥料の散布機の設計に関連して、結晶尿素、燐安、燐鉱石、粒状硝酸カリ、ガラス球、鉛弾、大理石、種子などをを用いて円錐漏斗からの粉体の流出を研究した。

d : 粒子の直径 (球) [L] [mm]

D : オリフイス径 [L] [mm]
 ρ_B : 粒子の嵩密度 [ML⁻³]
g : 重力の加速度 [LT⁻²]
t : 粉体の流出時間 [T/M⁻¹]
(100 g の流出時間 min)

μ : 粉体の安息角の tan. [-]

ϕ : 円錐漏斗開き角 [-]

として、次の無次元式をつくった

$$t \cdot d^{3/2} \cdot D \cdot g^{1/2} = f\left(\frac{d}{D}, \mu, \phi\right)$$

ここに f は研究すべき関数である。μ, φ, g が一定なら $td^{3/2}$ は $\frac{d}{D}$ の関数であるから、同一物質で粒度をかえたテストから1つの曲線が得られる。次に、φをかえて同様のテストを行なって、φをパラメータとする曲線群を得ることができる。次に更に物質をかえてμの種々の値につき、同上のφをパラメータとした曲線群をうる。このようにして次の実験式をつくった。

$$t = \frac{\mu}{D^{5/2}d} \left[34.6 + \left(67.4 + 444 \sin \frac{\phi}{2} \right) \left(\frac{d}{D} + 0.130 - 0.161 \mu \right) \right]$$

ここでdは、用いた上下のフルイ目開きの算術平均値である。

上式を変形して統一単位速度の式に直すと次のようになる。

$$W = \frac{0.006 \cdot D^{2.5} \cdot \rho_B}{\mu \left[34.6 + \left(67.4 + 444 \sin \frac{\phi}{2} \right) \left(\frac{d}{D} + 0.130 - 0.161 \mu \right) \right]} \quad [\text{ton/H}] \quad (1)$$

実験範囲は

D : 1, 2, 3, 5, 10, 73mm
d : 0.131~13.5mm, ($d_1 + d_2$)/2
 ϕ : 30°, 60°, 90° (銅製漏斗)
 μ : 0.330~1.070
 ρ_B : 0.4~6.5

である。尚、上下のフルイ目開き d_1 , d_2 の比が2以上有的时候は、dの値として

$$d = 0.8 \frac{(d_2^5 - d_1^5)}{(d_2^4 - d_1^4)}$$

を用いた方がよいとしている。

後に § 11 のべるように上式は、ホッパー形のオリフイスには適用できるが、水平オリフイスには適用できない。

§ 3. 高橋の式⁴⁾ (1933年)

粒子の動力学の研究を目的として、粒子が孔から落ちる速度について調べている。厚さ1mmの真鍮板に円形の孔をあけ、1~40mmφの範囲につき砂、種子など多くの物質について実験した。

まず

$$t = C_2 \cdot D^{-q}$$

t : 1 cm³ の粉体の流出時間 [sec.]

C_2, q : 物質による定数

なる関係を仮定し、種々の物質について、定数 C_2, q と嵩密度 ρ_B 、粒子径 d (粒子の投影の一定方向の長さ)、最小オリフィス径 (流出可能な)、などとの関係を実験によって調べ、チメンションを考えに入れて、次式を作った。

$$t = \frac{\sqrt{b}}{\sqrt{g}} (f(\mu) \cdot D^{-2.5} + a \cdot d \cdot D^{-3.5})$$

ここに a, b は物質に関しない定数、 μ は安息角 (平らな箱に入れた粉体を、漸次傾けて、崩れだすときの角度) の $\tan, f$ はある関数である。

実験により

$$f(\mu) = 0.3\mu^{3.5}$$

$$a = 0.56, \quad b = 980 \quad (\text{C.G.S単位})$$

なる関係をえた。

上式を変形して統一単位の流出速度の式に直すと次の様になる。

$$W = 1.14 \cdot D^{2.5} \cdot \frac{\rho_B \times 10^{-5}}{(0.3\mu^{3.5} + 0.56 d/D)} \quad (\text{ton/H}) \quad (2)$$

§ 4. Newton の式⁸⁾ (1945年)

0.1~0.2 in. の円筒状触媒粒子の TCC 接触分解装置内における流れの研究を行ない、水平底容器底の水平オリフィスよりの流出速度に関し次式をえた。

$$Q = 8.50 D^{2.98} \cdot H^{0.04}$$

Q : 重量重流出速度 [lb/min]

D : オリフィス径 [in] 1~4" 範囲

H : 粒子層高 [ft] 1~6 ft 範囲

この場合、オリフィス径は粒子径の6倍以上にとる。また用いた触媒粒子の安息角は 38° である。

上式は、実験に用いた粒子についてのみ成立する式で、一般性がないので、掲げるだけに留める。

§ 5. Kelley の式¹⁸⁾ (1945年)

2, 3, 4 in. オリフィスについて、粒状触媒の流出に関し、次式を与えた

$$Q = 0.156 \cdot D^{2.84}$$

Q : 重量流出速度 [lb/sec]

D : オリフィス径 [in]

§ 6. Gregory の式¹⁸⁾ (1952年)

1~50" パイプでの流れについて

$$Q = 0.278 \cdot D^{2.5}$$

(記号は Kelley の式と同じ)

を与えた。この式も一般的な式ではない。しかし、パイプ中の粉体の流れについて興味ある記述をしている。

§ 7. Rausch の式¹⁸⁾ (1948年)

オリフィスからの粉体の流出について、もっとも広汎な研究を行なったとして、Zenz¹⁸⁾ が詳しい紹介をしている。Rausch は、 $\frac{1}{16}$ ~2" 径のオリフィスを用い、種子、アルミ球、鋼球、砂、鉄粉、ガラス球などについて実験し、 D/d にたいし

$$\frac{W \sqrt{\tan \phi}}{C C_0 \sqrt{g} \rho_B D^{2.5}}$$

をプロットして、直線関係をえた。

ここに ϕ は安息角、 C は嵩密度の壁効果 (Wall effect) 補正で D/d の関数で表わされる。 $D/d > 20$ なら約 0.95 となる。 C_0 はホッパー底角に関する補正で、

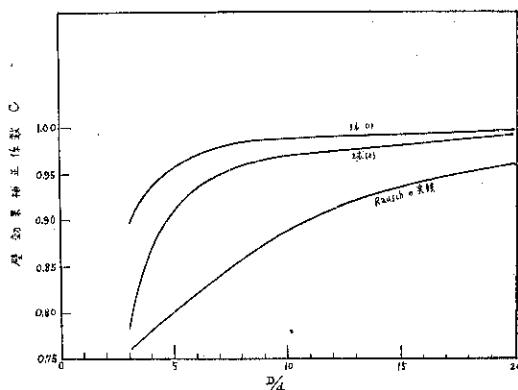


Fig. 1 嵩密度の壁効果補正 C

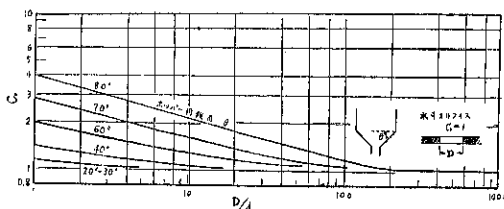


Fig. 2 ホッパー底角補正 C_0

図2に θ をパラメーターとした D/d の関数として与えられる。 $\theta=0$ の場合、すなわち平らなオリフィスでは $C_0=1$ とみてよい。(図1、2参照)

Rausch のプロットから読みとって、統一記号で表わ

すと、次式になる

$$W = 5.78 D^{2.745} \cdot d^{-0.245} \cdot \frac{C \cdot C_0}{\sqrt{\tan \varphi}} \cdot \rho_B \times 10^{-5} \quad (\text{ton/H}) \quad (3)$$

C の値は図1から D/d にたいして読みとればよいが、図中球(1)は、層高無限大の球の場合、球(2)は、有限層高の場合の球についての理論曲線である。実際の粉体では Rausch の実験曲線を用いる。C₀ は図2から求める。

尚、上式の W は大気中の場合の値であるが、液体など他の媒体中の場合の流出速度 W_M は次式で求める。

$$W_M = W \sqrt{\frac{\tan \varphi (1 - \rho_M / \rho)}{\tan \varphi_M}} \quad (\text{ton/H})$$

φ : 大気中の安息角

φ_M : 他の媒体中の安息角

ρ : 粒子の真密度

ρ_M : 他の媒体の真密度

§ 8. 白井の式¹¹⁾ (1952年)

従来、粉体オリフィスには、流体オリフィスの流量計算式をそのまま用いることはできないとされてきたが、流体力学の考えを基として、簡単な式にまとめようとしている点に、他の研究者とはちがった研究方法がみられる。

流体オリフィスの流出速度 u [cm/sec] は一般に次式で表わされる。

$$u = c \sqrt{2g(P/\rho')}, \quad \begin{matrix} P : \text{圧力 (g/cm}^2\text{)} \\ \rho' : \text{流体の密度} \end{matrix}$$

オリフィス部分の粉体圧 P_∞ (層高は十分大きいとき) は

$$\frac{P_\infty}{\rho_B} = \frac{D}{4\mu}$$

で表わされるとして次式を与え、実験から C=0.5~0.7 とした。

$$u = c \sqrt{2gD/4\mu} = c \sqrt{gD/2\mu}$$

統一単位で、重量流出速度に直すと次のようになる。

$$W = 1.19 D^{2.5} \cdot \mu^{-0.5} \rho_B \times 10^{-4} \quad (\text{ton/H}) \quad (4)$$

適用範囲は、30~150 メッシュ、D=9~2.3mm、D/d>10で±15%とのべている。重い金属球には適用しない。

§ 9. 桑井の式¹²⁾ (1953年)

粉体をみたした円筒容器の上部に低い空気圧力を作用させた場合の円形オリフィスからの流出速度について研究した。次元解析と実験より次の関係をえた。

$$W_a = C \cdot \frac{\pi}{4} D^2 \sqrt{2g\rho_B(P+P_0)} (D/H) \quad (\text{gr/sec})$$

$$C = (D/d)^{0.25} \cdot \exp[-5.0(D/B)]$$

ここに

D : オリフィス径 [cm]

H : 粉体層高 [cm]

B : 円筒容器内径 [cm]

P : 空気圧力差 [cmAq]

P₀ : 重力による流出速度 W₀ に対応する仮想圧で次の関係から求まる。

$$W_0 = C A_0 \sqrt{2g\rho_B P_0} D/H \quad (\text{gr/sec})$$

W₀ は実測によって求めるが計算するときには、白井式は過小な値を与えるので Deming, Mehrling の式を用いた方がよいとしている。

適用範囲は、30~120メッシュ、P<20cmAq、

用いたオリフィスは、3mm 厚真鍮板で 2~7.94mm、の水平オリフィスである。

§ 10. 河嶋、村田の式¹⁴⁾ (1955年)

特高圧碍子用鋳込泥漿(陶土)を噴霧乾燥した球状粉体(48, 64, 88μ)を、直立ガラス管の上部から流入し、底部のオリフィスから自然流出させた場合の流出速度を調べ重量流出速度を表わす次式を与えている。

$$W = \frac{\pi}{4} \cdot B^2 \cdot \rho_B \cdot K \cdot D^2 (d-d_0)$$

B : ガラス管(容器)内径

K : 粒子の物理的性質によってくる定数

d₀ : 自由流出のために必要な最小粒子径

この式は、とくに細かい粉体を扱っている点に特徴がある。K が [T⁻¹L⁻²] なる圧力のシメンションを有することから、粒子の回転運動を考慮したときの流出口付近の圧力変化についての考察が必要なこと、および、粉体層高の減少とともに、速度は上昇する傾向をもち、これは粉体粒子の活潑な自転による流動が生じているためであるとしている。

§ 11. Franklin, Johanson の式¹⁵⁾ (1955年)

この研究は、水平オリフィスの外、傾斜オリフィスについても触れていること、および、内部運動角(internal kinetic angle of repose)を考えている点に、特徴がある。(内部運動角については化工便覧 P.672参照) オリフィスは 1/4 in 板で 6~58mmφ、容器は 45~220mmφ のガラス管、粒子はガラスビーズ、レジン球、鉛弾、触媒粒子、など種々の物質を用いている。粒子径は 0.76~5.1mm、真密度 0.073~11.0 の範囲にある。

実験式として、次式を与えた(統一単位に書直して示

す。) 水平オリフィスについて

$$W = \frac{1.921 D^{2.93} \cdot \rho \times 10^{-4}}{\left[(6.288\mu + 23.16) \left(\frac{d}{25.4} - 1.889 \right) - 44.9 \right]} \quad (\text{ton/H}) \quad (5)$$

傾斜オリフィスについては、水平となす角 θ として

$$W_{\theta} = W \cdot \frac{\cos\varphi_1 + \cos\theta}{\cos\varphi_1 + 1}$$

ここに φ_1 : 内部運動角

$$\mu = \tan\varphi_1$$

ρ : 粒子の真密度

誤差は $\pm 7\%$ である。上式はDにたいし

$$\frac{W}{\rho} (0.2475\mu + 0.911) (d + 48.0) - 44.9$$

をプロットすると、すべて1本の直線にのることを示す。

さらに、Deming, Mehrling (2 §) の式に言及し、ホッパー開き角 $\phi < 180^\circ - 2\varphi_1$ までは Deming らの式を用いるが、それ以上の開き角から水平オリフィスまでについては、Franklin らの(5)式を用うべきであると述べている。

§ 12. 田中の式¹⁶⁻¹⁷⁾ (1956年)

Deming らの場合と同じく 90° 、 60° 、 30° の開き角を有するホッパーについて鋼球、砂、破碎ガラス、砂糖の結晶などを用いて流出速度を調べ、次元解析から、次の実験式をえた。統一記号で書き直して

$D/d > 10$ にたいし

$$W = 0.0642 D^{2.7} \cdot d^{-0.2} \left(\mu \tan \frac{\phi}{2} \right)^{-0.32} \rho_B \times 10^{-3} \quad (\text{ton/H}) \quad (6)$$

$10 > D/d > 4.35$ にたいし

$$W = 0.0356 D^{3.0} \cdot d^{-0.5} \left(\mu \tan \frac{\phi}{2} \right)^{-0.32} \rho_B \times 10^{-3} \quad (\text{ton/H}) \quad (6')$$

適用範囲は $d = 0.15 \sim 2 \text{ mm}$ 、 $\phi < 180^\circ - 2 \cdot \varphi$ で平面オリフィスは含まれない。

§ 13. Fowler, Glastonbury の式¹⁰⁾ (1959年)

この研究は、とくに種々のオリフィス形状を用いて実験している点に特色がある。又、粒子形状も考えている。

砂、砂糖、小麦、米、菜種について 3 mm から 50 ムシユ の粒子を用いた。 48 in 長、 $6 \frac{1}{2}$ 、 4 、 $2 \frac{1}{2} \text{ in}$ 径 Pyrex ガラス円筒を容器として、 1.2 mm 厚のオリフィス板に円、正方形、矩形 ($1:1.4 \sim 5.1$)、三角形、ダ円、5角形、6角形の種々の形のオリフィスを設け

た。

次元解析と、実験から次式をえた。

$$\frac{W'}{\rho_B A \sqrt{2gD_h}} = a \cdot \left(\frac{D_h}{d_s} \right)^{0.185} \quad (\text{誤差} \pm 10\%)$$

ここに W' : g/sec

A : オリフィスの開口面積 $[\text{cm}^2]$

D_h : オリフィスの水力直径 ($4 \times A / \text{オリフィス周長}$) $[\text{cm}]$

d_s : 粒子の球相当径 $d_s = \lambda \cdot d$

(λ は Lea, Nurse 法粒子形状係数)
(d はフルイ目の平均)

a : 円形オリフィスについて0.222、ダ円0.247、矩形0.221、正方形0.229、5角形0.226、6角形0.222、8角形0.270となり加重平均 $a = 0.236$ としている。

円形オリフィスについて、統一単位で表すと次の式をうる。

$$W = 0.935 \cdot D^{2.685} \cdot d_s^{-0.185} \cdot \rho_B \times 10^{-4} \quad (\text{ton/H}) \quad (7)$$

$$d_s = \lambda d \quad (\text{mm}) \quad (\lambda \text{ については上記形状係数})$$

§ 14. Brown, Richard²⁰⁾ (1959年)

Brown らの研究は、広汎な研究の一部のみで、尚、今後問題を残しており、その後²⁴⁾も報告を行っている。従って、まだ、明確な式は提出していない。

興味ある点は、従来の研究者が大抵、嵩密度 ρ_B を用いているのに対し、粒子の空隙率が変わっても流出速度は変わらないことを実験によって示し、嵩密度でなく、粒子の真密度を用いるべきであるとしている点である。

また、流出速度にたいする容器径の影響を調べた。容器として $1.45 \sim 14.8 \text{ cm}$ 径のガラス同筒を用い、容器径 B とオリフィス径 D の比 D/B がガラス球粒体で0.75、砂で0.45以下では流出速度に影響しないが、それよりも D が B に近くなると、流出速度が増加することを指摘している。

無次元群としては

$$\phi = \frac{v}{\sqrt{gd}} = \frac{W}{\rho A \sqrt{gd}}$$

v : 流出の線速度 $[\text{cm/sec}]$

g : 重力の加速度 $[\text{cm/sec}^2]$

d : 粒子径 $[\text{cm}]$

W : 重量流出速度 $[\text{g/sec}]$

ρ : 粒子の真密度 $[\text{gr/cm}^3]$

A : オリフィス面積 $[\text{cm}^2]$

をとり、粒子の1個の重さを m グラムとして

$$\frac{1}{2} \phi^2 = \frac{1}{2} \frac{mv^2}{mgd} =$$

($\frac{\text{粒子の運動エネルギー}}{\text{1粒子径分の落下のさいのポテンシャルエネルギー損失}}$)

となる関係から ϕ は粒子の特性と考えられるとのべている。

$$\phi = f \left(\frac{D}{D_b} \right)$$

D : オリフィスの水力直径 (4A/周長)

D_b : 丁度詰って流出しなくなる D

なる関係を指摘しているが、実験データの不足から、明白な形を与えていない。

§ 15. ^{ケネマン} ^{ザローギン} Кенеман, Залогин らの研究²¹⁻²², (1960年)

ソ連の研究者達は1937年に出た Покровский (ポクロフスキー) の動的アーチの考えから出発する。これは、粒体の流出のさいには、上層の圧力はオリフィス面には伝わらず、オリフィス上に、粒子の動的なアーチが形成され、圧力はオリフィス周辺のリング状の面に伝えられるとするものである。動的アーチは実験した粒体ではオリフィス径の0.5~0.7の高さに上限があり、これよりも粒体層が高ければ、層高に無関係に流出量は一定になることを示している。

ホッパー開き角は30°、45°、60°、90°、120°を用いて実験し、流出速度は45°で最小になることを見出している。このことから、ホッパーの傾斜角が安息角をこえようと流出速度が大きくなるという従来の考えは誤りであるとのべている。動的アーチの考えから、ホッパー角度の影響はオリフィス直上の0.5~0.7D付近の角度変化のみが関係することも実証した。

また、円筒容器の直径Bとオリフィス径Dとの比率を変えてゆくと、D/B<0.3で流出量が減少しはじめ D/B<0.67で最少となり次に D/B=1までの間急激に増加することを見出した。

§ 16. Лукьянов らの研究²³ (1960年)

従来の研究にみられる

$$W = C \cdot A^n$$

W : 重量流出速度

C : 定数

n : "

A : オリフィス面積

の形の関係を否定し、全くちがった形の式を提出した。

前述の動的アーチの考えから、オリフィスの中央部での流出と、周辺部境界層での流出とに分け、境界層では速度は線型に変化すると、アーチからの自由落下か

ら計算し、次式をえた

$$V = C \cdot \sqrt{R} (R^2 - n_1 d R (1-K) + \frac{1}{8} n_1^2 d^2 (1-K))$$

V : 容積流出速度 [cm/min]

R : オリフィス半径 [cm]

d : 粒子径 [cm]

C、K、n₁ は実験から求める係数で、球状触媒粒子について C=5730、n₁=2.61、K=0.286をえた。上式を統一単位で書き直すと、次のようになる。

$$W = 1.92 \sqrt{D} (D^2 - 3.84 D d + 6.66 d^2) \rho_B \times 10^{-4} \quad (8)$$

この式は D/d>6 について他の物質にも適用でき、その場合誤差は±17%であるとしている。

尚、実験は球状触媒の外、タブレット触媒、保温剤、活性炭炭、砂について行ない、容器の径232mm、層高100~2500mm、オリフィス 1.7~25.3mm、粒度1~7mmについて行なっている。

§ 17. ^{フィアルコフ} ^{グルジノフ} Фиалков, Грузинов の研究²⁷ (1961年)

フィアルコフ、グルジノフは、孔から粉体が流出する場合の動的アーチ(前記)を研究した。15.4mmφのプラスチック球を孔から流出させ、ガラス板を通して2000~4000コマ/秒の高速カメラで撮影した。(これに似た研究を Brown²⁴ が行っている。16コマ/秒で粒子数を算えた)。これから流出のさいには、孔の上に、瞬間的にアーチが形成され、次に、これが崩壊するという過程をくりかえすことを実証した。次に、球のモデルによって、力の釣合いから、このアーチの曲線を求め、これが回転円面をなし、その離心率εは

$$\epsilon = \sqrt{1 - \mu^2 \left[1 + \frac{d}{R + \frac{d}{2}} \cdot \frac{1 - \mu}{\sqrt{1 + \mu^2}} \right]^2}$$

で与えられるとした。ここに μ は粒子間の摩擦係数、dは粒子径、Rはオリフィス半径である。

次に、粒子の流出はこのアーチからの自由落下によるものとして、粒子の平均流出速度 v [cm/sec] を次式で与えている。

$$v = \frac{1}{2} \sqrt{2g\mu \left[R + d \left(0.5 + \frac{1 - \mu}{\sqrt{1 + \mu^2}} \right) \right]} \quad \text{cm/sec}$$

これは、オリフィス面を離れるときの線速度を与えるものである。

オリフィス面積をAとすると、容積流出速度Vとの間に

$$V = v \cdot A$$

なる関係が成立するものとし、(この関係には問題があると思われるが)、かつ、アーチ形成頻度nと、アーチを構成する粒子の総体積とから、次式を導いた。

$$v = 0.605 \left(1 + 0.5 \frac{d}{R} \right)^2 \left[f \left(\mu - \frac{d}{R} \right) \right] \cdot d \cdot n$$

ここに $f\left(\mu \frac{d}{R}\right)$ は、 μ と R 、 d の関数で計算できる。(図を示している)。従って、 n を知れば v が求まるわけで n を、圧電現象を利用して測定する装置を用いて、流出量のコントロールを行いうるとのべている。

§ 18. ま と め

各式の比較のため、次の例について計算した値を掲げる。

$$D=25\text{mm}, \quad d=1\text{mm}, \quad \rho=4.0,$$

$$\rho_v=2.0 \quad \varphi=35^\circ \quad \tan\varphi=\mu=0.7$$

なお、 μ については、研究者によって、測定法がちがうが簡単のため、ここでは同じ値を用いることにする。円孔水平オリフィスについて示すが、1) と 6) 式はホッパーの場合の式なので $\phi=90^\circ$ とした。従って、円孔水平オリフィスの場合と、そのまま比較できない。

1) Deming	W=0.951	ton/H
2) 高橋	0.660	
3) Rausch	0.910	
4) 白井	0.888	
5) Franklin, Johanson	0.790	
6) 田中	0.848	
7) Fowler, Glastonbury	1.05	
8) Лукьянов (ルキヤノフ)	1.03	
9) Фианков (フィアルコフ)	0.767	

一般に Rausch の式が最も適用性がひろいといえるが、この数値だけで各式の評価を行うことはできない。各式はそれぞれ特徴を有するので、実際の適用にあたっては、最も条件の似通ったものを選ぶのがよいであろう。

現状では計算のみからは、オーダーを知り得る程度である。もし 1 点でも実測データがあれば、 $\log D$ にたいし $\log W$ をプロットし、

$$W \propto D^{2.5}$$

の関係をとれば便利である。

次に、関連文献をあげる。容器が 20° 傾斜したときに流出速度が最大になるなど、色々興味深いことが多いがここには割愛した。*印の文献は、未だ入手していない文献であるが、他の文献から大要を知ったものである。

参 考 文 献

- Deming, W. E., Mehring, A. L.
Ind. Eng. Chem. 21, 661~665 (1929)
"The gravitational flow of fertilizers
and other comminuted solids"
- Mehring, A. L. Ind. Eng. Chem. Anal. Ed.
3, 34~ (1931)
"Measurement of drillability of fertilizers"
- Bingham, E. C., Wikoff, R. W.
J. Rheology 2, 395~ (1931) *
- 高橋浩一郎 理研集報 12, 984~993 (1933)
"器底の孔より流出する粒状物質の流出速度"
- Покровский, Г. И., Арефьев, А. И.
Жур. Тех. Физ. 7, (4) (1937) *
"Об истечении сыпучих тел"
- Линчевский, И. П. Жур. Тех. Физ.
9, (4) (1939) *
- Kelley, A. F. Petroleum Engineer.
16, (13) 136~142 (1945) *
"Measurement of solids in TCC process."
- Newton, R. H., Dunham, G. S., Simpson, T. P.
Trans. A. I. Ch. E. 41, 215~ (1945) *
The oil and gas J. 44, (4) (1945) *
- Brown, R. L., Hawksley, P. G. W.
Fuel. 28, 159~ (1947) *
- Rausch, J. M. Ph D. Thesis.
Princeton University (1948) *
"Gravity flow of solid beds in
vertical towers"
- 白井 隆 化学機械 16, (9) 86~88 (1952)
"オリフィスからの粒体の流出速度"
- Wieghardt, K. Ingenieur Archiv.
20, 109~115 (1952)
- 桑井源禎 化学工学 17, (11) 453~ (1953)
"オリフィスからの粉粒体の流出、"
- 河嶋千尋、村田順松 窯協誌
63, (706) 88~ (1955)
"陶磁器泥漿の噴霧乾燥処理と
粉体成形に関する研究" (第4報)
- Franklin, F. C., Johanson, L. N.
Chem. Eng. Sci. 4, 119~129 (1955)
"Flow of granular material through a
circular orifice."
- 田中達夫 化学工学 20, (12) 709~710 (1956)
"円錐形ホッパーの口径の決定"
- 田中達夫、川合清一 化学工学
20, (4) 144~147 (1956)
"粉粒体がホッパーから流出する速度について"
- Zenz, F. A. Petroleum Refiner,
36, (10) 162~170 (1957)
"How to predict gravity flow rates"
(34頁へ続く)

流動浸漬塗装法について

大阪市立工業研究所 堀 内 光
細川粉化工業株式会社 松 山 卓 蔵

§ 1. 流動浸漬法とは

プラスチックは、溶液又は、エマルジョンの形で塗料として金属その他のコーティングに利用される。又プラスチックを粉末の形で塗装に用いる形式 (Powder coating) の一つに、溶射法 (Flame spraying) 及びここに紹介する流動浸漬塗装法 (Fluidized bed coating) がある。

流動浸漬法は、ドイツ、Griesheim社のE.Germarの特許で、Wirbelsinterverfahren (独) Whirl-Sintering (英) とも称され、我が国では揺動塗粧法、揺動浸漬法、粉末浸漬法、流動浸漬 (塗装) 法とも訳されているが、現在は後者に統一された。流動浸漬法は、第1図に

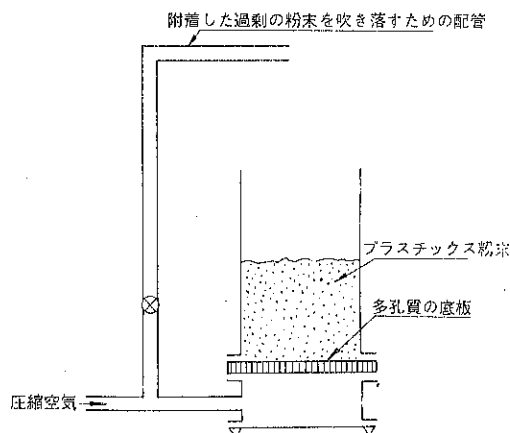


Fig. 1 流動浸漬装置

示す如く器底の多孔板を通じて、圧縮空気を分散送入し、器内のプラスチック粉末層 (平均80~100Mesh) を流動化せしめる。此の流動粉末層に、使用プラスチックの融点以上に予熱された被塗装物を数秒~10数秒浸漬する。この場合、粉末層が流動化状態にあたるために、あたかも液中に固体を浸す如くに殆んど抵抗は感じられない。

流動粉末は、液体の如くにふるまい、被浸漬物の細部迄均一に接触し、その表面を半熔融状態の粉末で覆い、

更に内部からの蓄熱により粉末が完全に溶融して平滑な塗装面を作る。被浸漬物の蓄熱量が少ない場合には、完全な熔融光沢面が得られないので、この場合には後処理として再加熱を行う。

第2図は、金網の連続流動浸漬法である。即ち、間歇

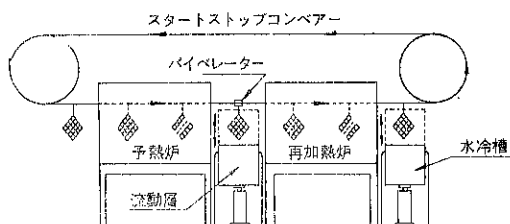


Fig. 2 金網流動浸漬装置

的に移動するチェンコンベアーに懸吊された金網が予熱炉に入り、続いて下よりせりあげられた粉末流動層中に所定時間に浸漬され、後次の再加熱炉で、熱処理され右端の水槽でクエンチされて塗装工程を終える。

第3図は、長尺パイプの内面を流動層によってコーティングする場合であって、加熱はパイプ外周より、リングバーナーにより行われる。

従来粉末状のプラスチックに、加熱した物体をまぶしてコーティングを行う技術は古くから知られていた。しかし均一厚味の被膜を得がたい為に発展しなかった。一方粉体の流動層技術が石油の接触分解、硫化銦の流動焙焼を始め、多方面に工業化されてきた。この両者を組み合わせれば、流動浸漬法の原理となるわけであり、まさにコロンブスの卵の発明である。この流動浸漬法は西独を初めとするヨーロッパ及び米国に広く一般化され、今後我国でも急激に発展する事が予想される。本家のドイツでは、先づポリエチレンの防蝕性、電気絶縁性を利用した工業的用途が多いが、一方米国では、その色彩や光沢に重点をおいて家庭の台所用品、例えば皿掛け、ざる、冷蔵庫金網棚、家具、電気器具ケーシング等に広い加工面を展開しつつある。我が国でも、ポリエチレンの耐蝕性を利用して、養殖真珠用金網籠、台所金網類、電気洗濯

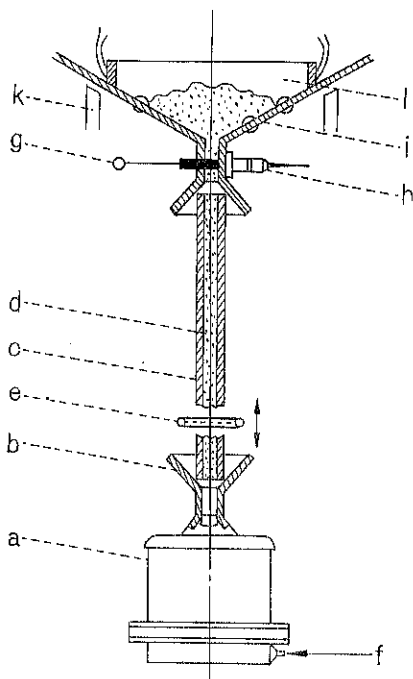


Fig. 3

- a = 揺動塗粧装置
- b = アスベストを張った金属製ロト
- c = 被覆すべき鉄管
- d = 粉 末
- e = リングバーナー
- f = 空 気
- g = 隔 離 板
- h = バイブレーター
- i = アクリル製のぞき窓
- k = 架台 (高さを調節する)
- l = 受 皿

機籠、椅子の脚部金具、フェンス用金網、電気絶縁性を利用して、電柱用金具等が計画され、一部企業化されている。流動浸漬法は、各種プラスチックの発展と相俟ってその特性を生かした、新製品が相当量市販される日が近い。

しからば他の塗装法、即ち鍍金、珐瑯、一般塗装等と比較すれば、値段の点に於いてステンレス生地、クローム鍍金よりは遙かに安価であり、且つ品質も耐触性、電気絶縁性、接着性、耐候性、美しさの点に於いて本法の方は秀でている。現状では、使用粉末価格、特許使用料等の為に塩ビのドブ漬け法、ペイント塗装法に比べて未だ高くつくのが難点であるが、将来はより安価となる事が期待される。

§ 2. 流動層技術

粉末層の底部からガスを多孔板を通じて送入するとガスの送入速度と、流動層圧力損失の間には、Fig. 4. の如

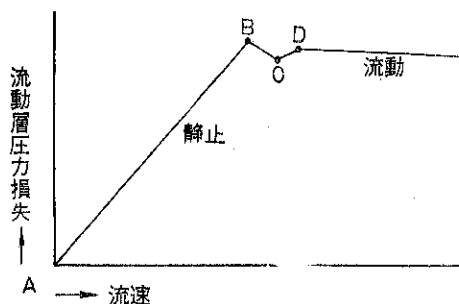


Fig. 4

粉末浴におけるガス送入速度と圧力低下との関係

き関係がある。即ち、ガスの送入速度を増加して行くとAからBの間は、カルマンコゼニーの層流状態で、粉末層は静止している。B点に於いて、粉末が流動化し初めその時の圧力損失は、多孔板の圧力損失と、流動層の圧力損失で後者は、流動層粉末の見掛け比重と、層高さの積である。B、C、Dの近傍では、未だ流動層不安定で、Fig. 5. の(b)(c)(d) Channeling, Bubbling, Slugging状態を流動層の条件により呈する。

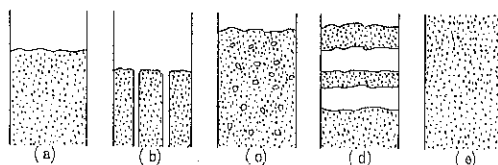


Fig. 5 流動化状態の種類

理想的な流動状態では、Fig. 5. (a) と如くなり容積の膨張は20~100%で流動層全体は均一でフワフワした時に最高の流動塗装が行なわれる。この為には、多孔板の選択が重要であり、一般化学工業用に使われる流動層技術より遙かに均一且つ細孔を有する多孔板を使用し、これに大きな圧力損失を保持されるようにせねばならない。ある場合には、浸漬層に振動を与え、均一な浸漬を行なわせしめる事がある。

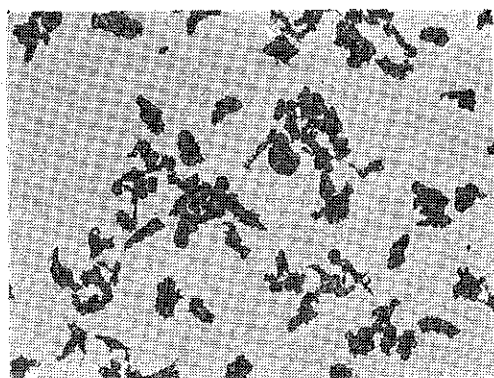
プラスチック粉末の粒度は、一般に80~100メッシュ平均が多く粉末が余りに粗い場合には、流動状態が悪く又Coating厚みがむらになりやすい。他方余りに粉末を小さくすれば発塵しやすく取り扱い作業の支障となる。

例えば、溶媒法による粉末ポリエチレンでは、48メッシュ~100メッシュ28.6%、100~150メッシュ24.6%、150~200メッシュ14.2%、—200メッシュ14.9%であり細川粉化工業の機械的粉砕法によるものは、40~50メ

シユ22%, 50~70メッシュ22%, 70~100メッシュ21%, 100~150メッシュ8.5%, 150~200メッシュ19%である。溶媒法では、一般に粒型が丸く機械的粉碎法(細川粉化)では、不定形である。Fig. 6.



(a) 溶媒法による粉末の形状



(b) 機械粉碎による粉末の形状

Fig. 6

従って流動状態そのものは、溶媒法粉末の方が機械粉碎粉末に優るが塗装後の諸性質及び着色仕上りの点に於いて、機械的粉碎法が秀れている。流動浸漬塗装に於いて、着色に二方法がある。一つは、所謂ゆる、ドライカラーと称するもので、これは透明プラスチック粉末に各種粉末顔料を粉体混合したものである。これに対して、着色ペレットそのものを機械的粉碎して、浸漬塗装する方法が理想的であり、仕上り艶及び着色の均一性に於いて、優っている。

流動浸漬法は、熱によって附着粉末を熔融均一化を計るから、熔融体の流動性が、高い事が望ましい。例えば、メルトインディックス、1.6のスミカセン G202を原料とした流動法塗装物の表面は、平滑さを欠くが、メルトインディックス20のスミカセン G802では、均一で美しい活動塗装面を生む。

§ 3. 塗装物下地の予熱浸漬及び後処理

コーティングされるべき下地は、金属の場合が多い

が、陶磁器ガラス等もこの方法で塗装される。

先づ下地は、被膜の密着性を良くする為に、サンドブラスト、石けん、溶剤等による脱脂処理を行う。より高度の密着を高める為には、下塗用プライマーを使用する事もある。

浸漬する場合の保持法は、或る場合には、ヤットコで挟んで行うが、一般には、ステンレス等の細線で吊す。予熱については、少なくともプラスチックの融点以上でなければならない。薄肉品、厚手品等はそれぞれ熱容量により何度迄予熱するかを実験的に決定する。熱源として、電熱又はガス加熱、赤外線加熱、インダクション、ヒーティング等の場合に於いて選択される。

仕上り被膜の厚みは予熱温度と浸漬時間によって支配されるので厳密に規制する必要がある。又或る場合には、流動層自体の粉末温度をコントロールする事もある。

浸漬に於いては、被塗装物の形状に応じて、これを流動槽中で上下左右に揺り動かす事もしばしば行なわれる。浸漬時間は、大凡数秒~10数秒で充分である。浸漬層から取り出した後は、水平面に残っている過剰の粉末を空気を吹きつけたり、片向けたりして払い落とす。浸漬槽から引き上げた直後は光沢のない半融状態の粉末で被はれているが、漸次下地から熱が伝わってくるにつれて、粉末は完全に熔融し平滑な光沢面を作る。熱容量の小さいものでは、先述の如く、再加熱処理を要する事がある。

§ 4. 流動浸漬用プラスチック粉末

現在浸漬塗装法に使用されるプラスチック粉末の種類は、高圧法ポリエチレン(低圧法ポリエチレンは、光沢が溶着後の収縮の為にやや劣る。)ポリアミド、(ナイロン) 酢酪酸繊維素、塩化ビニール、アクリル、エポキシ、一弗素樹脂、ポリカーボネート、ポリプロピレン、ポリアセタル等種々のものもある。これ等の粉末によって塗装された表面は、本来のプラスチックの性質を持ち、しかも下地の機械的強度が加わる事になる。以下各種プラスチックの特性を概説する。

(a) ポリエチレン

高圧法ポリエチレンは、最も古くから使用されていたもので、耐酸、耐アルカリ耐溶剤等、化学的安定性のために、耐蝕コーティングとして汎用されている。被膜厚味は0.6~1.2mmである。低圧ポリエチレンは、ストレスクラッキングと接着性を改良する目的で、ポリイソブチレンや、カーボンブラックを添化して、品質の改良を計る事が試みられる。

(b) ポリアミド

ナイロンは、耐摩耗性、耐衝撃性の秀れたプラスチ

ックであるが、吸湿性(水中で7%、大気中で3%)の点から寸法安定性が良好とは云えない。所が、金属材料を下地として、その表面にナイロンをコーティングすれば、この欠点を防げるから耐摩耗性をナイロンコーティングに、寸法安定性を下地に持たす事により、その特殊な用途を浸漬法に期待し得る。被膜厚味は0.2~0.5mmの如く薄い方が好結果である。但し粉末ナイロンは、吸湿性が高いので、浸漬層に用ふる空気は乾燥したものでないと流動状態が、不安定である。

(c) ポリアセタル及びポリカーボネート樹脂

何れも耐熱性、耐薬品性、強靱性等に秀れた性質を持ち将来有望なプラスチックで弗素樹脂と、塩ビの中間のギャップを埋めるものとして期待されている。

(d) 酢酪酸繊維素

これを流動浸漬用粉末として用うれば非常に美しい光沢と色彩を与える。耐溶剤性の劣ることが欠点とも云えよう。

(e) 塩化ビニール

可塑剤、安定剤を添加した粉末の試作は試みられている。可塑剤の量により、軟質、硬質が出来るが、肉厚品、大きいものの浸漬は熱的安定性の為に難しい。

(f) エポキシ樹脂

金属との密着性が良く化学的、機械的、電気的性質にも秀でているので、モーターのローター及びステーター、其の他の電気部品に応用される。この樹脂は熱硬化性なる故に、流動浸漬後に、比較的低温での被膜のゲル化、次に高温に保っての完全キュアを行う。

(g) テフロン

耐熱性で最高のプラスチックであるが、価格の点で用途が限られる。

§ 5. 細川粉化のフローセン

細川鉄工所の傍系会社である細川粉化工業KK(社長(細川永一氏)は、ポリエチレンの機械的粉碎法に成功し、殊に着色ペレットのポリエチレン粉末の量産が可能になった。現在、特許出願中のために、その詳細を明らかに発表し得ないが、或る程度の低温と、特殊な粉碎技術を用いたものである。本法による着色ポリエチレン粉末は、浸漬法に用いて、光沢が良く、色むらのない点で、粉末ユーザーの賞讃を受けている。商品名は Flo-The ne である。

[30頁より]

- 19) Fowler, R. T., Glastonbury, J. R.
Chem. Eng. Sci. 10, [9] 150~156 (1959)
"The flow of granular solids
through orifices."
(粉体工学研究会 文献紹介 No.111 (木村訳))
- 20) Brown, R. L., Richards, J. C.
Trans. Inst. Chem. Engrs. (Lond)
37, [2] 108~116 (1959)
"Exploratory study of the flow of
granules through apertures."
- 21) Кенеман, Ф. Е., 他
Инженер-физ Жур. 3, [3] 69~73 (1960)
"О механизме свободного
истечения сыпучих тел."
(粉体工学研究会文献紹介 No.133 (三輪訳))
- 22) Залогин, Н.Г. 他
Инженер-физ Жур. 3, [4] 18~22 (1960)
"О механизме свободного
истечения сыпучих тел"
(粉体工学研究会文献紹介 No.133 (三輪訳))
- 23) Лукьянов П. И. 他
Хим и Технол Топлив. и Масел

- 5, [10] 45~49 (1960)
"О предельной скорости истечения
зернистых материалов"
- 24) Brown, R.L., Richards, J. C.
Trans. Inst. Chem. Engrs
38, [5] 249~256 (1960)
"Profile of flow of granules through apertures."
- 25) Crosby, E. J., Am Perfumer Aromat
75, [9] 43~48 (1960)
"Flow properties of dry particulates."
- 26) Филалков, Б. С., Грузинов, В. К.
Извест Вуз Гор Жур
1961 [2] 9~20 (1961)
"О скорости выхода сыпучих материалов
из отверстия и форме зоны разрыхления."
- 27) Филалков, Б. С. Извест. Вуз. Гор. Жур
1961 [4] 29~32 (1961)
"Контроль истечения сыпучих материалов."
- 28) Reiner, W. Bergbau wissenschaften.
8, [8] 175~189 (1961)
"Beitrag zur Untersuchung der Fließ- und
Druckverhältnisse von gebunkerten
Schüttgütern in Abhängigkeit
von der Bunkerform."

化学者のための Micromeritics 入門 (1)

武田薬品工業株式会社

理 博 美 間 博 之
北 森 信 之

§ 緒 言

最近化学工業あるいはその類縁の工業たとえば薬品、農薬、食品、化粧品などの工業で、粉体を取扱うことが非常に多くなり、それに従って粉砕あるいは粉体に関する知識を化学者が修得する必要に迫られて来ている。しかしこの方面の専門の書はあまりにも工学的で、しかも難解なものが多く、われわれの能力では吸収出来ないしまたその必要のない分野もある。そこで著者らは化学者であるわれわれが理解でき、必要な範囲のものを集め、自分自身の勉強のためにこの講座を書くことにした。Micromeritics とは粉体工学であるが、化学者にとっては粉砕のための機械的力学的な問題よりも、むしろ粉体の物理的・化学的性質の方が重要であると考えるので、Dallavalle の名著 “Micromeritics” および Fischer の “Colloidal Dispersion” をもとにして書くつもりである。

第1章 粒子の形と粒度分布

粒子系を考える場合、まず第1の問題は粒子の形と大きさである。今1つの粒子に注目した場合、球とか立方体のように1つのパラメーター（たとえば径とか辺）を測定するとそのもののすべての様子がわかるような regular な粒子と、そうでなく種々のパラメーターを測定しなければその様子のわからない irregular な粒子とがある。またわれわれは粒子1個を扱うことはまれで、多数の粒子からなる粒子群を扱うのが普通である。この場合粒子群が単一分散すなわち同形同大の粒子からなっているか、多分散すなわち異形異大の粒子からなっているかで問題はさらにやっかいになる。

粒子系 { 単 一 { regular 粒子 (単一パラメーター系)
分散系 { irregular 粒子 (多元パラメーター系)
多 分 { regular 粒子
散 系 { irregular 粒子

そしてわれわれが最も必要なのは、この中で一番やっかいな irregular 粒子からなる多分散系なのである。

このやっかいな系をいかに簡単に、正確に理解するか、そのための基礎理論をこれから述べることにする。その考え方の大体の筋は、まず irregular な単一粒子

を適当な方法で regular な粒子に置き換え、その置き換えた仮想粒子で粒子系全体の平均径を求めたり、その他の種々の知見を得ようとするのである。

§ 1.1 当価粒子形

ある irregular な粒子を、それと当価な粒子にいろいろの方法で置き換えることができる。普通統計的に扱うのに、便利なために球に置き換える。当価な球に置き換えた場合、その球の径を “nominal diameter” d_n という。これはその粒子の体積に等しい体積を持った仮想の球の径である。

球の体積は $\pi d_n^3/6$ であるから、粒子の体積を V とすると

$$V = \frac{\pi d_n^3}{6}$$

$$d_n = \left(\frac{6 \times V}{\pi} \right)^{1/3} \quad (1-1)$$

1つの irregular な粒子を評価するのに他にも方法がある。たとえば落体に対する Stokes の法則に基づく方法である。適当な媒体中で沈降する粒子の平均速度を求め、Stokes の法則によって平均粒子径を求める。この粒子径を “effective diameter” d_e という。

$$\frac{1}{6} \pi d^3 (\rho - \rho') g = 3\pi \eta d \frac{h}{t}$$

$$d_e \equiv d = \sqrt{\frac{18\eta h}{(\rho - \rho') g t}} \quad (1-2)$$

当価粒子の径としては d_n と d_e が広く用いられている。

さてこれまでは irregular な粒子を強引に当価の球に置きかえたが、元の粒子が球形からはずれていればいる程、実際とはかけはなれたものとなり、当価とは言いがたくなってしまふ。従って元の粒子が球からどれだけはずれているかによって、その補正をする必要がある。その補正係数として球度 (sphericity) がある。

$$\frac{S'}{S} = \phi$$

S' は当価の球の表面積、 S は粒子の真の表面積である。粒子が球であれば ϕ は1であることはいうまでもない。球度はそれを決めるのが面倒なので、これと同じ

ような意味を持つ円度 (circularity) が考えられる。

$$\frac{C'}{C} = \phi$$

C' は粒子と同じ断面積を持った円の円周、 C は粒子の断面の周囲である。 ϕ で ϕ のある程度の近似が得られる。

§ 1.2 平均粒子径

個々の粒子についてその径が求まると、多分散系を扱うために系全体の平均が行われる。これには大きく分けて2つの方法がある。1つは数学的平均であり、他の1つは統計的平均である。

1) 数学的平均

(i) 数平均径

径が $d_1, d_2, d_3, \dots$ である粒子が $n_1, n_2, n_3, \dots$ 個づつあるとすれば

$$d_{av} = \frac{n_1 d_1 + n_2 d_2 + n_3 d_3 + \dots + n_n d_n}{n_1 + n_2 + n_3 + \dots + n_n} = \frac{\sum (n d)}{\sum n} \quad (1-8)$$

(ii) 幾何平均径

$$d_g = \sqrt[n_1 + n_2 + \dots + n_n]{d_1 \dots d_1, d_2 \dots d_2, d_3 \dots d_3, \dots, d_n \dots d_n}$$

常用対数で表わすと

$$\begin{aligned} \log d_g &= \frac{n_1 \log d_1 + n_2 \log d_2 + \dots + n_n \log d_n}{n_1 + n_2 + \dots + n_n} \\ &= \frac{\sum (n \log d)}{\sum n} \end{aligned} \quad (1-4)$$

(iii) 調和平均径

$$\begin{aligned} \frac{1}{d_h} &= \frac{\frac{n_1}{d_1} + \frac{n_2}{d_2} + \dots + \frac{n_n}{d_n}}{n_1 + n_2 + \dots + n_n} \\ \frac{1}{d_h} \sum n &= \sum \frac{n}{d} \end{aligned} \quad (1-5)$$

2) 統計的平均

以上の平均は数学的な平均で特別物理的な意味がない。物理化学ではこのような平均はあまり必要でなく、何らかの物理的性質に関係する平均がほしい。そこで Perrott および Green らは次のような物理的性質に関係のある平均径を提称した。

(i) 平均長径 (mean length diameter)

$$d_l = \frac{\sum n d^2}{\sum n d} \quad (1-6)$$

これは表面積の和を直径の和で割ったものである。表面積といっても2次元的なもので、粒子を投影した場合の影の面積のことである。

(ii) 平均体積径 (mean volume diameter)

$$d_v = \sqrt[3]{\frac{\sum n d^3}{\sum n}} \quad (1-7)$$

これは平均の体積を有する粒子 (球) の径を表わす。

粒子の全体積は $V = \sum n d^3$ であり、平均粒子径を d_v とすれば $d_v^3 \sum n = \sum n d^3 \therefore d_v = \sqrt[3]{\frac{\sum n d^3}{\sum n}}$ となる。

(i) 平均面積径 (mean surface diameter)

$$d_s = \sqrt{\frac{\sum n d^2}{\sum n}} \quad (1-8)$$

これは平均の表面積を持つ仮想粒子 (球) の径を表わしている。

(ii) 平均体表面積径 (mean volume-surface diameter)

$$d_{vs} = \frac{\sum n d^3}{\sum n d^2} \quad (1-9)$$

これは粒子の全体積を粒子の断面積の和で割って得られたもので、比体表面積に関係する径である。

(iii) 重量平均径 (weight mean diameter)

$$d_w = \frac{\sum n d^4}{\sum n d^3} \quad (1-10)$$

これは d^4 を含んでいるので少しわかりにくい、単位重量あたりの表面積に関係した平均径である。この外、粒度分布曲線の最大の径すなわち最も数の多い粒子の径を示す "modal diameter" d_{mod} や、累積分布曲線の50%の所の直径すなわちそれより大きい粒子の数と小さい粒子の数が同じである径を示す "median diameter" d_{med} などがある。

これらの平均径はそれぞれ異っており、測定法により、また目的により選択しなければならない。1つの粒度分布をもった粉体の平均径がどのように異なるかの1例として、E.N. Harvey が chrome yellow を電子顕微鏡測定して求めた値を Fig. 1-1 に示す。

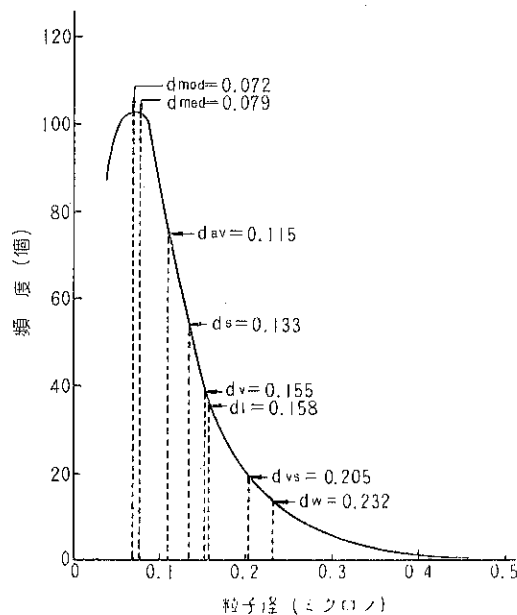


Fig. 1.1. 粒度分布曲線と平均粒子径

普通の粒子径の測定で求められる平均径と測定法の関係は次の通りである。

数平均径 d_{av} 、

顕微鏡、電子顕微鏡、

平均体表面積径 d_{vs}

顕微鏡、電子顕微鏡、吸着、透過法、拡散、濁度、平均体積径 d_v

顕微鏡、電子顕微鏡、濁度、光散乱

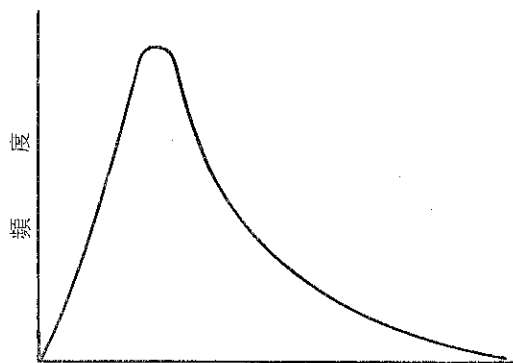
重量平均径 d_w 篩

effective diameter d_e 沈降法、水簸法

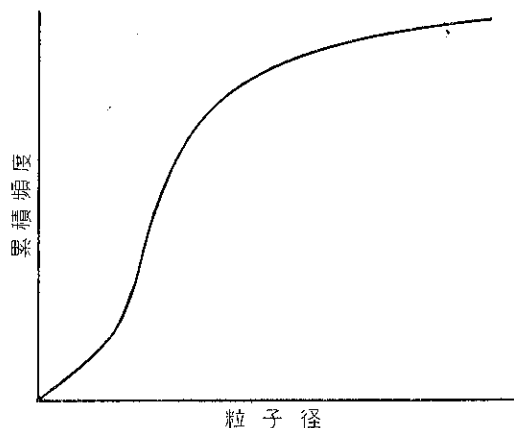
§ 1.3 粒度分布曲線

多分散粒子群の物理化学的研究においては、その系の平均径よりも各粒子径の粒子がどれほどづつからなっているとか、大小粒子の差がどれほどかなどの方が重要な意味を持つ場合が少なくない。

粒度分布曲線には粒子径に対してその頻度をプロットしたものと、粒子径に対してそれより径の小さい粒子



a) 粒度分布曲線



b) 累積粒度分布曲線

Fig. 1-2 粒度分布曲線とそれを累積粒度分布曲線に直したもの

の頻度を累積したものをプロットしたものがあり、(Fig. 1-2) 後者を累積粒度分布曲線といって前者と区別するが、その間には密接な関係がある。数学的にその関係を示すと次のようになる。

$$F(d) = \frac{dq}{d(d)} \quad (1-11)$$

$F(d)$ というのは粒子径の差を無限小にした場合の頻度分布を決定する函数であり、 q は問題とする粒子径 d より小さい (または大きい) 粒子の数の和である。すなわち $q(d)$ が累積曲線を決定する函数ということになる。径 d_1 と d_2 をもつ粒子間では

$$q(d_1) - q(d_2) = \int_{d_2}^{d_1} \frac{dq}{d(d)} d(d) = \int_{d_2}^{d_1} F(d) d(d)$$

であり、 $F(d)$ は分布函数の縦座標となり、 $F(d)d(d)$ が $d_2 - d_1 = \Delta d$ にある粒子数である。

一般に粒度分布曲線は正規分布曲線とはならず、左に歪んだ曲線となるが、粒度の代りに粒度の対数をとると左右対称の正規分布曲線となる。

$$\begin{aligned} dq &= F(d)d(d) = \frac{1}{d} F(d) \cdot d \cdot d(d) \\ &= d(\ln d) \cdot d \cdot F(d) \end{aligned}$$

$$\text{そこで } \frac{dq}{d(\ln d)} = dF(d) \quad (1-12)$$

このようにすると正規確率法則が適用でき、粒子群を評価するのに便利である。

粒度分布曲線に適用された正規確率曲線の式は

$$F(d) = n = \frac{\sum n}{\sigma \sqrt{2\pi}} \exp \left[-\frac{(d - d_{av})^2}{2\sigma^2} \right] \quad (1-13)$$

$F(d)$ は粒子径 d の観測頻度、 $\sum n$ は観測総数、 d_{av} は算術平均径、 σ は次式で与えられる標準偏差である。

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum (n(d - d_{av})^2)}{\sum n}}$$

粒度を対数でとった分布曲線については (1-13) 式は次のようになる。但し $\log d$ の平均であるから平均径は幾何平均径 (1-4式) を用いる。

$$F(d) = \frac{\sum n}{\ln \sigma_g \sqrt{2\pi}} \exp \left[-\frac{(\ln d - \ln d_g)^2}{2 \ln^2 \sigma_g} \right] \quad (1-14)$$

$$\ln \sigma_g = \sqrt{\frac{\sum (n(\log d - \log d_g)^2)}{\sum n}}$$

この他にも粒度分布についての理論が展開されている。その1つは Roller の式ある。

$$W = a \sqrt{d} \cdot \exp \left(-\frac{b}{d} \right) \quad (1-15)$$

W は d より小さい粒子径をもつ粒子の重量パーセントで a 、 b は定数である。

もう一つは Rosin-Rammler の式である。

$$n=100 \cdot \exp\left(-\frac{d}{c}\right)^b \quad (1-16)$$

n は d より大きい粒子径をもつ粒子の 個数パーセント a, b は定数である。

§ 1.4 Hatch-Choate の式

これまでに平均粒子径や粒度分布に関する関係式がどのようにして得られるかを説明したが、次にこのような平均粒子径 (d_{av} , d_s , d_v) と粒度分布函数との間の関係について Hatch, Choate に従って説明する。

(1-14) 式と (1-3)、(1-7)、(1-8) 式を結合すると

$$d_{av} = \frac{\sum nd}{\sum n} = \frac{\sum n}{\sum n \ln \sigma_g \sqrt{2\pi}} \int_0^\infty d \cdot \exp\left[-\frac{(\ln d - \ln d_g)^2}{2 \ln^2 \sigma_g}\right] d(\ln d) \quad (1-17)$$

$$d_s^2 = \frac{\sum nd^2}{\sum n} = \frac{\sum n}{\sum n \ln \sigma_g \sqrt{2\pi}} \int_0^\infty d^2 \cdot \exp\left[-\frac{(\ln d - \ln d_g)^2}{2 \ln^2 \sigma_g}\right] d(\ln d) \quad (1-18)$$

$$d_v^3 = \frac{\sum nd^3}{\sum n} = \frac{\sum n}{\sum n \ln \sigma_g \sqrt{2\pi}} \int_0^\infty d^3 \cdot \exp\left[-\frac{(\ln d - \ln d_g)^2}{2 \ln^2 \sigma_g}\right] d(\ln d) \quad (1-19)$$

となることは容易にわかるであらう。

これらの式は積分すると (註1)

$$d_{av} = \exp(\ln d_g + 0.5 \ln^2 \sigma_g) \quad (1-20)$$

$$d_s^2 = \exp(2 \ln d_g + 2 \ln^2 \sigma_g) \quad (1-21)$$

$$d_v^3 = \exp(3 \ln d_g + 4.5 \ln^2 \sigma_g) \quad (1-22)$$

常用対数に書き換えると

$$\log d_{av} = \log d_g + 1.151 \log^2 \sigma_g \quad (1-23)$$

$$\log d_s^2 = \log d_g^2 + 4.605 \log^2 \sigma_g \quad (1-24)$$

$$\log d_v^3 = \log d_g^3 + 10.362 \log^2 \sigma_g \quad (1-25)$$

(1-23) ~ (1-25) 式からわかるように幾何平均径、幾何標準偏差がわかるとすると平均表面積や平均体積を持つ粒子の径を計算できる。

d_g や σ_g から求まるのはこれだけではない。分布曲線を考慮に入れた irregular な粒子の 表面積や体積をも知ることができる。

球状粒子群の場合 $\frac{V}{d_v^3} = \frac{\pi}{6}$ (定数) であることはあたりまえであるが、irregular な粒子群についても V/d_v^3 = 定数となることが知られている。 S/d_s^2 = 定数も同様である。そしてその定数は球の場合の $\frac{\pi}{6}$ 、 π よりもそれぞれ小さい。それら定数をそれぞれ α_v 、 α_s と

表わすと、

$$V = \alpha_v d_v^3 \quad (1-26)$$

$$S = \alpha_s d_s^2 \quad (1-27)$$

粒子の密度が ρ で単位重量当りの 粒子数を N とすれば

$$V = \frac{1}{\rho N} = \alpha_v d_v^3, \quad N = \frac{1}{\rho \alpha_v} \frac{1}{d_v^3} \quad (1-28)$$

比表面積を S_w とすると

$$S_w = SN = \frac{1}{\rho} \frac{\alpha_s}{\alpha_v} \frac{d_s^2}{d_v^3} \quad (1-29)$$

(1-24)、(1-25) 式を (1-28)、(1-29) 式の対数をとったものに代入すると

$$\log N = \log \frac{1}{\rho \alpha_v} - \log d_g^3 - 10.362 \log^2 \sigma_g \quad (1-30)$$

$$\log S_w = \log \frac{\alpha_s}{\rho \alpha_v} - \log d_g^2 - 5.757 \log^2 \sigma_g \quad (1-31)$$

(30)、(31) 式は α_v 、 α_s がわかっていれば d_g 、 σ_g より N 、 S_w を求めることができることを示している。先に球度とか円度について少し述べたが、ここに出て来た α_v 、 α_s を使っても粒子の形状の尺度となる。すなわち α_s/α_v は球の場合に 6 となるが球からはずれるにつれてその値は大きくなるからである。

$$\text{註1) } d_{av} = \frac{\sum nd}{\sum n} = \frac{\sum n}{\sum n \ln \sigma_g \sqrt{2\pi}} \int_0^\infty d \cdot$$

$$\exp\left[-\frac{(\ln d - \ln d_g)^2}{2 \ln^2 \sigma_g}\right] d(\ln d)$$

$$\frac{\ln d - \ln d_g}{\ln \sigma_g} = Z \text{ とおくと } \ln d = \ln d_g + Z \ln \sigma_g$$

$$d = \exp(\ln d_g + Z \ln \sigma_g) \quad d(\ln d) = \ln \sigma_g \cdot dZ$$

$$d_{av} = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^{\infty} \exp\left[\ln d_g + Z \ln \sigma_g - \frac{Z^2}{2}\right] dZ$$

$$= \frac{\exp \ln d_g}{\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^{\infty} \exp\left[\ln \sigma_g - \frac{Z^2}{2}\right] dZ$$

$$\text{もう一度 } \int_{-\infty}^{\infty} \exp\left[Z \ln \sigma_g - \frac{Z^2}{2}\right] dZ \text{ について}$$

$$\ln \sigma_g = a \text{ とおくと}$$

$$I = \int_{-\infty}^{\infty} e^{aZ - \frac{Z^2}{2}} \cdot dZ$$

$$= \int_{-\infty}^{\infty} \sum_{n=0}^{\infty} \frac{(aZ)^n}{n!} \cdot e^{-\frac{Z^2}{2}} dZ$$

$$\begin{aligned}
&= \sum_0^{\infty} \frac{a^n}{n!} \int_{-\infty}^{\infty} Z^n \cdot e^{-\frac{Z^2}{2}} dZ \\
&= \sum_0^{\infty} \frac{a^{2n}}{(2n)!} \int_{-\infty}^{\infty} Z^{2n} \cdot e^{-\frac{Z^2}{2}} dZ \\
&= \sum_0^{\infty} \left[\frac{a^{2n}}{(2n)!} \cdot \frac{(2n)!}{2^{2n}} \cdot \sqrt{2\pi} \right] \\
&= \sum_0^{\infty} \left[\left(\frac{a^2}{2} \right)^n \cdot \frac{1}{n!} \right] \sqrt{2\pi} \\
&= \sqrt{2\pi} \cdot e^{\frac{a^2}{2}} = \sqrt{2\pi} \cdot \exp\left(\frac{\ln^2 \sigma_g}{2}\right) \\
\therefore d_{uv} &= \frac{\exp d_g}{\sqrt{2\pi}} \cdot \sqrt{2\pi} \cdot \exp\left(\frac{\ln^2 \sigma_g}{2}\right) \\
&= \exp(\ln d_g + 0.5 \ln^2 \sigma_g)
\end{aligned}$$

(註 終)

第2章 粒子径の測定

第1章において個々の粒子の径や粒子群の平均径、粒度分布およびそれらの間の関係などについて述べた。

この章では粒子径を実際に測定する方法と、その方法の基礎理論について説明する。

粒子径の測定法には大別して直接法と間接法がある。その主なものは次の通りである。

篩別法
 顕微鏡法
 沈降法
 波動法
 表面積法
 計数法
 その他

これらの測定法をさらに細分すると随分多くの測定法がある。しかしこれらの測定法はどれも絶対的なものではないから、試料の様子（たとえば非常に細かいか、それとも粗いか、粒度分布が広いのか狭いかなど）や測定値の使用目的（どの種の径が必要かなど）を考えて、数多い測定法のうちからどれを用いるかを判断しなければならない。そのためにはこれらの測定法がどのような理論の基に成り立っているかを知る必要がある。ここではその主なものを解説し、特に沈降法の理論について詳述する。

§ 2.1 篩別法

この方法は粒度分布を求めるのに最も簡単な方法である。すなわち目の大きさのわかった篩を粒子が通るか否かによって、その粒子の大きさを知ろうとするものであ

る。大きな目の篩を上にして順次目の小さいものを下に積み重ね、一番上の篩の中に試料を入れて振動させる。大きい粒子程上の方の篩に残り、小さいもの程下方に落ちる。各篩の中に残った粒子の量(数または重量)を測定すると、その篩の上下の篩の目の大きさの平均と同じ径を持った粒子の量がわかることになり、粒度分布を得ることができる。この方法の欠点は篩の目の規正を十分にしないと誤差が大きくなるということと、比較的粗い粒子に有効であるがあまり細かい場合は篩を作ることも、これを使用する点でも難点があるということである。

現在よく用いられている篩の呼び名と篩の目の開きの関係を Table 2-1 に示す。

Table 2-1 JIS, ASTM, Tyler の篩の対照表

Tyler		ASTM		JIS	
呼び目 (メッシュ 番号)	篩の目の 開き (mm)	番号	篩の目の 開き (mm)	呼び目 (μ)	篩の目の 開き (mm)
		No.			
325	0.043	935	0.044	44	0.044
270	0.053	270	0.053	53	0.053
250	0.061	230	0.062	62	0.062
200	0.074	200	0.074	74	0.074
170	0.088	170	0.088	88	0.088
150	0.104	140	0.105	105	0.105
115	0.124	120	0.125	125	0.125
100	0.147	100	0.149	149	0.149
80	0.175	80	0.177	177	0.177
65	0.208	70	0.210	210	0.21
60	0.246	60	0.250	250	0.25
48	0.295	50	0.297	297	0.297
42	0.351	45	0.350	350	0.35
35	0.417	40	0.42	420	0.42
32	0.495	35	0.50	500	0.50
28	0.589	30	0.590	590	0.59
24	0.701	25	0.71	710	0.71
20	0.833	20	0.84	840	0.84
16	0.991	18	1.00	1000	1.00
14	1.168	16	1.19	1190	1.19
12	1.397	14	1.41	1410	1.41
10	1.651	12	1.68	1680	1.68
9	1.981	10	2.00	2000	2.00
8	2.362	8	2.38	2380	2.38
7	2.794	7	2.83	2830	2.83
6	3.327	6	3.36	3360	3.36
5	3.962	5	4.00	4000	4.00
4	4.699	4	4.76	4760	4.76
3½	5.613	3½	5.66	5660	5.66

§ 2.2 顕微鏡法

これには光学顕微鏡、限外顕微鏡、電子顕微鏡がある。光学顕微鏡は0.5~500 μ 、限外顕微鏡は0.01~1 μ 、電子顕微鏡は0.001~10 μ 位の粒子を測定することができる。

光学顕微鏡に例をとってその操作法を述べると、試料をスライド上に取り、これを適当な分散媒（試料と十分に屈折率の異なるもの）で練り、ガラス棒でスライド上に均一に広げ、これに熱を加えて分散媒を飛ばしてしまう。

このようにして作ったスライドを一つは直接顕微鏡の接眼鏡についた目盛りによって大きさを読む方法、他の一つは一度写真にとり、その写真の粒子の大きさを読んで行く方法がある。近頃写真に写った粒子の大きさと数を半自動的に記録する装置（Zeiss社のParticle size counter：粉砕No.3,3頁参照）もあるので、後者の方が少し簡単であろう。光学顕微鏡は焦点深度が浅いので写真にすると焦点平面内のものだけで、それをはずれたものははっきりした映像が得られない。それに対し、電子顕微鏡は比較的深度が深い。

顕微鏡法の欠点は解像限界の距離よりさらに接近した粒子はそれを区別することができないことである。従って凝集体の詳細を知ることが難しい。また粗大粒子が見落される危険もある。

§ 2.3 波動法

分散系に光をあてると一部は種々の方向に散乱し（scattering）、一部は吸収され（absorption）、一部は透過する（transmission）。入射光の減少や散乱光は粒度と濃度との函数である。粒子が非常に小さく、また用いた波長の光を吸収することがないとすると、単一分散系では散乱光または透過光を測定することによって粒子径や分散系の濃度を知ることができる。しかし多分散系の場合には散乱光や透過光の測定だけでは粒度分布を求めることができない。このような場合に沈降法などと組合わせて用いることが必要である。

まず散乱光から研究する場合、用いる波長が分散粒子の径に比べて長い短かい、または同程度であるかによって散乱のし方が異なり、従って異った解析をしなければならない。光散乱の詳しい説明はここでは略す。

透過光より解析するには、粒子がその光を吸収しないという仮定を置いて、次式から粒子径を求める。

$$\frac{I}{I_0} = \exp(-K\pi r^2 n l) \quad (2-1)$$

(n は分散系単位体積中の粒子数、K は全体の散乱係数である。)

§ 2.4 表面積法

粒子の比表面積を測定すると、密度がわかれば平均体

表面積径 d_{vs} を求めることができる。すなわち

$$d_{vs} = \frac{6}{\text{比重} \times \text{比表面積}} = \frac{6}{\frac{W}{\Sigma n \pi d^2} \times \frac{\Sigma n \pi d^3}{W}} = \frac{\Sigma n d^3}{\Sigma n d^2}$$

表面積の測定法として主なものは透過法と吸着法とである。

1) 透過法

気体とか液体が多孔質中を流れる時、その空隙の径、両端の圧力差、流体の粘度など種々の要因による流れに対する抵抗がある。

Kozeny-Carman は Poiseuille の式を基にしてこれについての関係式を導びいた。

$$S_w^2 = \frac{\epsilon^3}{(1-\epsilon)^2} \cdot \frac{g}{k\eta\mu\rho^2} \left(\frac{\Delta P}{L} \right) \quad (2-2)$$

S_w : 比表面積、 μ : 流体の流速、 ϵ : 空隙率
 η : 流体の粘度、 ρ : 流体の密度、 ΔP : 多孔質の厚さ L の間の圧力差、 k : 定数

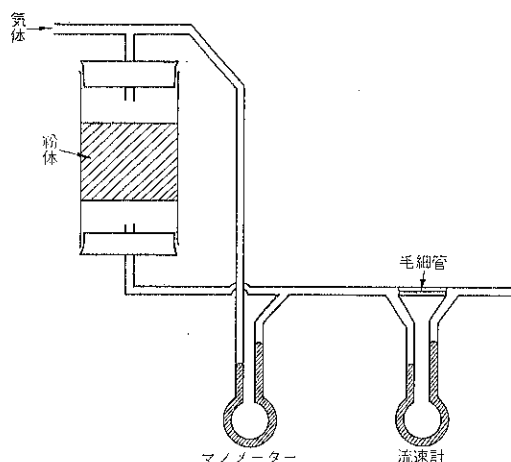


Fig. 2-1 空気透過法による比表面積測定装置の原理図

これには Fig. 2-1 のような装置を用いる。この比表面積から d_{vs} が求められる。この装置で上式の右辺の空隙率 ϵ 以外はすべて求められる。空隙率は他から求めると、その比表面積および d_{vs} が求められる。最近この原理を応用して直立式の平均粒度を測定する器械が出て来ており、（粉砕7、17頁1961年参照）、簡単に平均粒子径が求められるが、試料の詰め方などに多少の問題がある。

2) 吸着法

気体または溶液中の溶質を粒子表面に吸着させ、その吸着等温線を求める。これから吸着分子が単分子吸着し

た場合の吸着量を求め、その吸着分子の断面積が分っていれば表面積が求められることになる。

気体の吸着等温式には Freundlich の式、Langmuir の式、B.E.T. の式 (Brunnauer, Emmett and Teller)、H.J. の式 (Harkins and Jura) があり、一番良く適合するものを用いる。一般に B.E.T. の式が一番良く用いられる。

(i) Freundlich の式

これは実験式である。あまり用いられていないから、式をかかげるだけにする。

$$x = ap^{\frac{1}{n}}$$

x が吸着量、 a 、 n は定数、 p は圧力、

(ii) Langmuir の式

これは吸着等温式を理論的に扱った始めである。表面に site (吸着点) があり、そこにのみ吸着が起り、吸着する分子は互に独立であるような単分子吸着を考える。site の全数を B 、そのうち A だけがふさがっているとすると

新たに吸着の起る量 $\propto p(B-A)$

脱着の起る量 $\propto A$

吸着と脱着の平衡になった時

$$ap(B-A) = A$$

$$A = \frac{aBp}{1+ap} \quad (2-3)$$

圧力の極く小さい場合には $A \approx aBp$ となり、吸着量は圧力に比例する。また圧力が大きい場合は $A \approx B$ となり、吸着量は単分子で site をすべてふさいだことを示している。

(i) B.E.T. の式

これは多分子吸着までを考えに入れた吸着等温式である。まず次の2つを仮定する。

i) 単分子層においては Langmuir と同じことを仮定する。

ii) 第2層以上ではその下の層で吸着の起っている場所を site の全数と考えて、各層に Langmuir の吸着平衡が成立するものとする。また吸着エネルギーをすべて液化エネルギーに等しいとする。

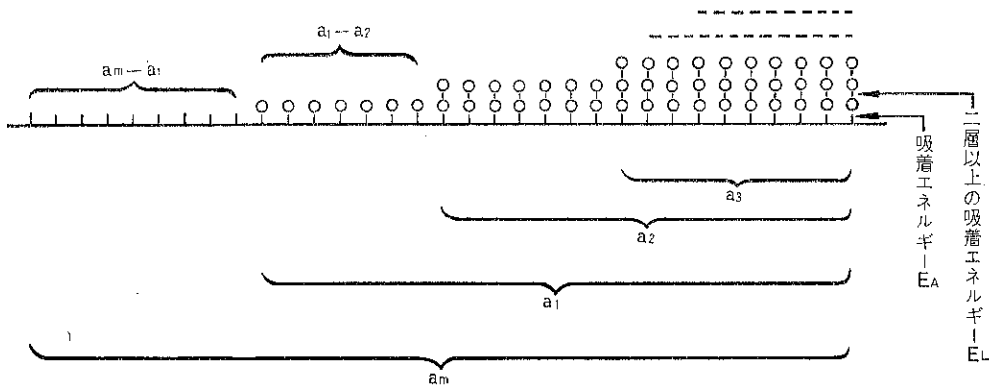


Fig. 2-2 多分子吸着模式図

いま表面の site の数を a_m とすると (Fig. 2-2 参)

第1層での吸着平衡は

$$\alpha_1 p(a_m - a_1) = (a_1 - a_2)e^{-\frac{E_A}{RT}} \quad (\text{註1})$$

$$\text{第2層} \quad \alpha_2 p(a_1 - a_2) = (a_2 - a_3)e^{-\frac{E_L}{RT}}$$

...

$$\text{第} i \text{層} \quad \alpha_i p(a_{i-1} - a_i) = (a_i - a_{i+1})e^{-\frac{E_L}{RT}}$$

$$\left. \begin{aligned} \alpha_i p e^{\frac{E_L}{RT}} &= x \quad (\alpha_i \text{は const. と考える}) \\ \frac{\alpha_1}{\alpha_i} e^{\frac{E_A - E_L}{RT}} &= c \end{aligned} \right\} \text{とおくと}$$

$$cx(a_m - a_1) = a_1 - a_2$$

$$x(a_1 - a_2) = a_2 - a_3$$

$$\frac{x(a_{i-1} - a_i) = a_i - a_{i+1}}{a_m cx - a_1(c-1)x - xa_i = a_1 - a_{i+1}} \quad (+)$$

$i \rightarrow \infty$ で

$$a_1 = \frac{a_m cx}{1 - x + cx}, \quad a_2 = \frac{a_m cx^2}{1 - x + cx}, \dots$$

$$a = \sum_{i=1}^{\infty} a_i = \frac{a_m cx}{1 - x + cx} \cdot \frac{1}{1 - x}$$

$p \rightarrow p_0$ (飽和蒸気圧) となった場合、 $a \rightarrow \infty$ となるであろうが、前の式からその場合には $x \rightarrow 1$ にならなければならない

$$\text{すなわち } x = \alpha p e^{\frac{E_L}{RT}}, \quad x_{p=p_0} = \alpha p_0 e^{\frac{E_L}{RT}} = 1$$

従って $x=p/p_0$

これを前の式に代入すると

$$a = \frac{a_m c p}{(p_0 - p)(1 + (c-1)p/p_0)}$$

$$\frac{p}{a(p_0 - p)} = \frac{1}{a_m c} + \frac{c-1}{a_m c} \left(\frac{p}{p_0} \right) \quad (2-4)$$

これが B. E. T. の吸着等温式である。

(註1) 第1層での吸着平衡は吸着していない空いた site とすでに1層吸着しているところとの間の平衡である。空いた site の数は Fig. 2-2 より分るように $a_m - a_1$ であるから、新たに吸着の起る量は $p(a_m - a_1)$ に比例する。ここで p は吸着されるガスの圧力である。

また現在1層吸着しているもののうちで、吸着エネルギー E_A より大きいエネルギーを得たものは吸着をふり切って脱着を起す。この量は $(a_1 - a_2)e^{-\frac{E_A}{RT}}$ に比例する。従って吸着と脱着の平衡が成り立つためには

$$\alpha_1 p (a_m - a_1) = (a_1 - a_2) e^{-\frac{E_A}{RT}}$$

でなければならない。ここで α_1 は比例定数である。以下同様である。

(註 終)

(二) H. J. の式

液体表面上の凝縮膜 (condensed film) と同様の関係式が固体表面の吸着膜にも適用できるという前提のもとに出された式である。

$$\ln \frac{p}{p_s} = B - \frac{A}{V^2} \quad (2-5)$$

$$B \text{ は定数, } V \text{ は吸着量, } A = \frac{10^{20} a S^2 M^2}{2 R T N_A}$$

は定数、 S は固体の表面積、 M は分子容である。

$\frac{1}{V^2}$ を $\ln(p/p_s)$ に対してプロットし、直線の勾配から A は表面積 S と上の関係式があるから、

$$S = k \sqrt{A}$$

k は与えられた気体に対して定数であるから S が求められる。

実際に吸着量を測定するには色々の装置が工夫されているが、それらの原理的な装置を簡単に説明する。大別すると容量法と重量法がある。また最近ガスクロマトグラフを用いて吸着ガスの量を測定する方法も考案されている。

(イ) 容量法

定圧で容積変化を測定する方法と、定容で圧力変化を

測定する方法とがある。

i) 定圧法 (Fig. 2-3)

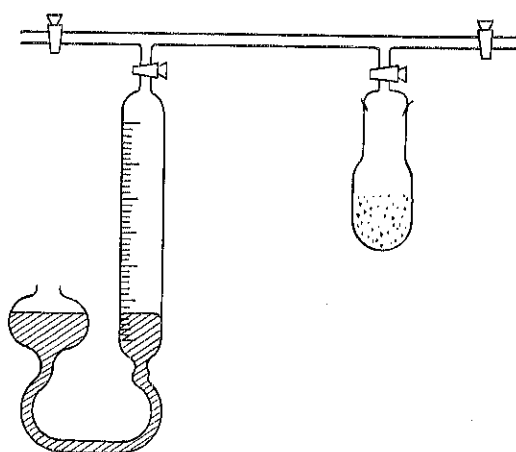


Fig. 2-3 簡単な定圧吸着装置

これはガスビュレットに気体を入れ、その容積 V_t を測定し、次にこの気体を試料管にも通じ、十分に吸着を行なった後にビュレットの気体の容積 V_r を測定する。あらかじめ試料管の死容積 V_d を測定しておくと、吸着量 V は $V = V_t - V_r - V_d$ で表わされる。

ii) 定容法 (Fig. 2-4)

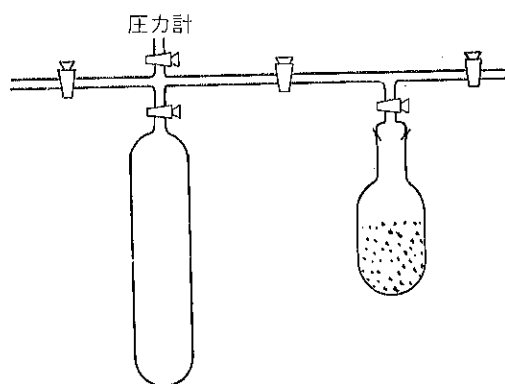


Fig. 2-4 定容吸着装置の原理図

ガスだめに先づ気体を入れ、その圧力 p_1 を測定する。これを試料管中にも膨脹させ、吸着の終わった後に圧力 p_2 を測定する。吸着モル数は

$$M = \frac{p_1 V_0}{RT} - \frac{p_2 (V_0 + V_1)}{RT}$$

V_0 はガスだめの容積、 V_1 は死容積を差し引いた試料管の容積である。

(ロ) 重量法 (Fig. 2-5)

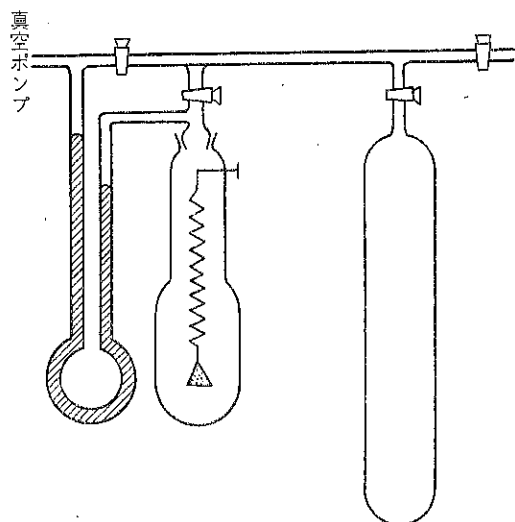


Fig. 2-5 重量法吸着装置

圧力計による圧の攪乱なしに吸着量が測定でき、また死容積を測定する必要のないという利点がある。

測定法はガスだめの中に気体を入れておき、そのうちの少しづつを試料管の方へ送り込む。この時の試料管中の気体圧と試料の重量増加を読む。

§ 2.5 計 数 法

最近 Coulter により考案された電気的な計数法を簡単に述べる。本法は迅速に粒度分布を得ることができる便利な方法である。

電解質水溶液に粉体を分散し、これを両側に電圧のかかった細孔中を流すと、1つ1つの粒子が細孔を通過する際に瞬間的な抵抗の増加が認められる。これは後に示すように粒子の容積に比例するので、抵抗の瞬間的な変化の電圧パルスを増やし、計数する。計数するにあたり、このパルスを調節可能な格子電圧レベルを持った閾回路に送り、その電圧以下のパルスのみが計数されるようになっている。従って種々の閾値に対する一連の計数値をプロットすると、粒子容積に対する積分分布曲線が得られる。

装置は Fig. 2-6 に示すように、水銀マンノメーターの不均衡により分散系がビーカーより細孔を通して管中に流れる。この時の抵抗変化による電圧パルスが計数回路に導かれる。マンノメーターの管には2本の白金線が封入されていて、それぞれそこを水銀が通過する際に計数の駆動機の始動と停止スイッチが接続して、一定容量中に含まれる一定容積以上の粒子を計数するようになっている。

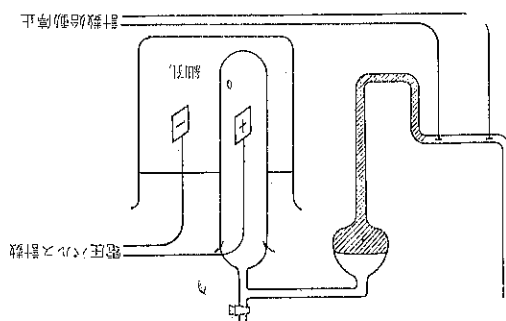


Fig. 2-6 Coulter Counter 説明図

次にその抵抗変化が粒子の容積に比例することを簡単に説明する。Fig. 2-7 に示すように粒子を円筒と考える。そしてその円筒の長さを ad 、直径を bd とする。 d は粒子と同じ体積をもつ球の直径である。

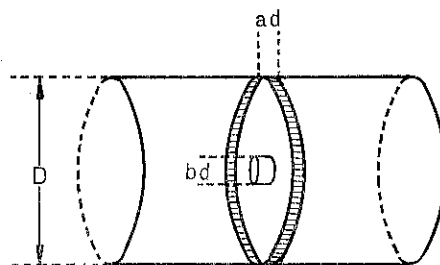


Fig. 2-7 細孔と粒子

$$\frac{4}{3} \pi \left(\frac{d}{2} \right)^3 = ad \pi \left(\frac{bd}{2} \right)^2$$

$$\therefore \frac{1}{bd^2} = \frac{3}{2} a$$

粒子のない場合のセグメンの抵抗 R_0 は

$$R_0 = \rho_0 a \frac{d}{\frac{\pi}{4} D^2}$$

粒子のある場合にはその抵抗は並列であら

$$\frac{1}{R} = \frac{1}{\rho_0 \frac{ad}{\frac{\pi}{4} (D^2 - b^2 d^2)}} + \frac{1}{\rho \frac{ad}{\frac{\pi}{4} b^2 d^2}} \quad (2-6)$$

抵抗変化 ΔR は

$$\Delta R = R - R_0 = \frac{\rho_0 a}{\frac{\pi}{4} D^4} \frac{d^3 \left(1 - \frac{\rho_0}{\rho} \right)}{\frac{1}{D^2} - \left(\frac{d^2}{D^2} \right) \left(1 - \frac{\rho_0}{\rho} \right)}$$

$$= \frac{4\rho_0}{\pi D^4} \frac{d^3}{\left[1.5 / \left(1 - (\rho_0/\rho) \right) \right] - \left[d^2 / a D^2 \right]} \quad (2-7)$$

ΔR は粒子の直径の3乗すなわち粒子の体積に比例することがこれからわかる。

(続)

マイクロ製品の展望

細川鉄工所

社長 細川 益男

企画室 森本 益弘

§-1 初めに

今回、当社が技術提携し製作する P.M.C 社の製品を紹介する前に、P.M.C 社と云う会社について少し説明する。

P.M.C 社 (Pulverizing Machinery Company) はアメリカ有数の大会社 マーチンマリエッタコーポレーション (Martin-Marietta Corporation) のディビジョン (Division) として粉砕機始め各種の粉体化学装置を担当する会社で、40年近くの歴史を有して居る。マーチンマリエッタコーポレーションは、アスファルト顔料を約半世紀前に始めて製造をし、以来創始者の一人 Grover Hermann の信念「会社経営の基本は、会社を成長させようとするならば製品の種類を増す事である、の下にペイントは勿論、セメント、染料、プラスチック、金属粉、オートメーション装置、家庭用品、粉砕機、印刷インク等数多くの分野に於いて活発に活躍しているアメリカンマリエッタカンパニー (American Marietta Company) と、グラマン、ボーイング等と共に戦争中におなじみになった？マーティン航空機会社が最近大合同して発足した一大会社である。

一方そのディビジョンの一つとして活動している P.M.C 社は、アメリカに於ける粉砕機メーカーの雄として確立した地位をしめて居り、特に衝撃式微粉砕機分野に於いては古くから他の追従を許していない。例へば、この文章を書くに当り、筆者は P.M.C 社より送られて来た各種の技術資料と共に化学工学を学ぶ者の必携の書とされている Perry の Chem. Eng. Hand-Book を座右に置いている。これには第三者的な立場に立った技術的紹介があつて P.M.C 製品についても述べられて居る。この様に P.M.C 製品は Mikro の商標で、アメリカは勿論、世界の隅々に迄知れわたって居るが、特に数年以前に発表したマイクロパルスエヤー集塵機は、長い経験と実績にもとづいてなされ、その独創性とすぐれた性能が認められ、更に Mikro の名を飛躍せしめる源動力になったもので今日に至っている。

§-2 P.M.C社の各種製品

§-2A 微粉砕機

技術提携したマイクロの微粉砕機は次の六種類である。

- A-I) マイクロ・パルベライザー
(Mikro-Palverizer)
- A-II) マイクロ・バンタム
(Mikro-Bantam)
- A-III) マイクロ・サンプルミル
(Mikro-Samplmill)
- A-IV) マイクロ・アトマイザー
(Mikro-Atomizer)
- A-V) マイクロ・パッド (Mikro-Bud)
- A-VI) マイクロ・マルチーD
(Mikro-Multi-D)

P.M.C 社の微粉砕機の主体は、マイクロ・パルベライザーで、マイクロアトマイザーは1946年以来製作されて居り、マイクロ・パッド、マイクロ・マルチーDは比較的最近に開発された新製品である。

§2-A-I マイクロパルベライザー (MIKRO-PULVERIZER)

P.M.C 社の代表的製品のひとつで、四十有余年にわたり広く世界のすみずみ迄紹介された最もポピュラーな微粉砕機である。この機械の標準化は昭和の始め以前になされ、それ以後ほとんど訂正らしき訂正は行なわれていないが、現在もなほ広く用いられているのは、その設計

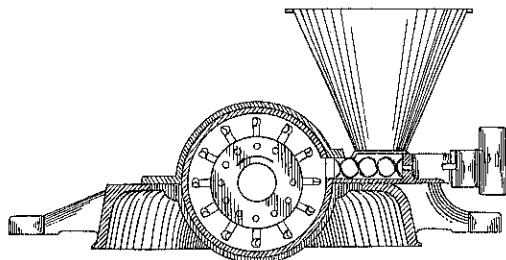


Fig.1 ホソカワ/マイクロパルベライザーの構造

がその当時の技術水準を卓越したものであり、現在の技術にも伍して行けるものであった事がわかる。すなわちマイクロパルベライザーは衝撃粉碎を原理としたハンマーミル型式の一つで、高いローター周速度による強い衝撃力と、狭い粉碎間隙を特徴として居り、同時に均一に原料を供給する事により均一な製品を得ている。

マイクロパルベライザーは Fig-1 の如く、高速回転する多数のハンマーの付いたローター部と、反撥板型ライナー、及びミル出口に多孔板がある粉碎室に、粉碎原料を均一に送り込むフィーダーより成っている。フィーダーにより供給された原料は、粉碎室入口でハンマーの衝撃を受け薄片化されると共にハンマーの動く方向に進み、同時に粉碎室中の空気流れに乗るが、この時の粒子の平均速度はハンマー速度の70~80%で、第二のハンマーの衝撃力は、第一のハンマーの衝撃力に比べ、弱いものとなる。しかし、マイクロパルベライザーでは粉碎室を形成しているライナーが、Fig-2 の如く粒子の速度を落し、その運動方向を半径方向に変えて直接ハンマーの衝撃面に粒子が当たる様にし、再び強い衝撃を粒子にハンマーにより与え効率良く微粉碎される様になっている。

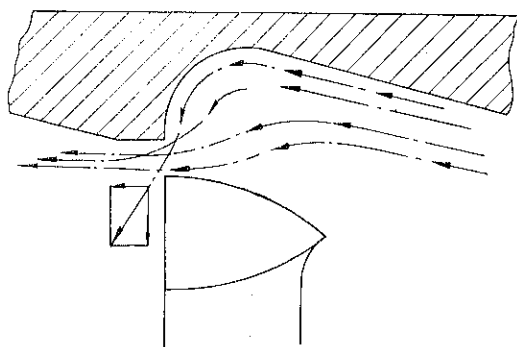


Fig. 2 パルベライザーの粉碎原理

マイクロパルベライザーは、#1 (3~5 HP) 型から #4 (50~100HP) 型迄の四種類あって、これらは目的により、供給方法、ハンマーの形状等を変え、数多くの応用型になり得る様に設計されている。例へばハンマーについては、鳥居型、バー型、Vネック型の三種類がある。鳥居型は最も一般的なもので、二本の支持脚で吊り下げられ、先端部には、ステライト等の耐磨耗性材料が溶着されて居り、各種原料の微粉碎用に用いられる。一方バー型ハンマーは、製品の粒度分布の中が狭いのを要求される時に有効であり、Vネック型ハンマーは最近開発された新しい型のハンマーで鳥居型ハンマーの先端をV字型に切欠したもので、繊維質物品の粉碎に弾力を発揮し

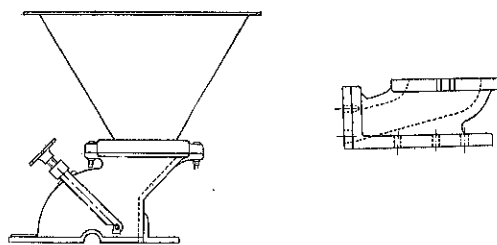


Fig. 3 パルベライザーのフィーダー

ている。原料の供給は、普通はスクリーフィーダーによって行なわれるが特殊な原料の為に、重力供給型、吸引供給型等の特殊型成が作られている。(Fig-3 参照) 重力供給型は、造粒或いは大きな原料の粗砕用に用いられ、特殊なカバーの開口部より粉碎室の中に落下供給され、標準型より遙かに大きな原料塊を供給出来、原料の大きさはカバーの開口面積により制限されるのみで、ベルトコンベヤー、バケットエレベーター等の適当な装置により供給量は調節される。カーボンブラック工業用に特に設計され、発展した吸引供給型は、カーボンブラックの如くふわふわし、フィードスクリーで押し込まれるよりもむしろスクリーから逃げる傾向にある粉体に適している。この型は、供給口になめらかな通路があって、粉碎室に吸引される空気の流れにより物質を送り込み、最大の衝撃力を粉体に与える利点があり、重力供給の如く粉碎室の一部が欠けていないので、著るしく能率よく粉碎される。マイクロパルベライザーを湿式で用いる場合には、ポンプ供給型が採用される。この型の供給装置は普通ホッパーから重力によりバルブを通してミル内に原料を送り込み、バルブによって供給量を調節するが、大抵の湿原料は液体中に固体が浮遊しているため、ホッパー内でアジテーターにより充分攪拌されながら供給される。

マイクロパルベライザーでは、普通10~15%の水分を含む原料は乾式で粉碎出来、30%以上の液体を含む原料は湿式粉碎され、コロイドミルやボールミルに於ける湿式粉碎と同程度の粉碎が出来るが、一般的に湿式粉碎は乾式の場合に比し動力の消費は大となるが、磨耗が少くなる。食品工業、顔料、化粧品、化学工業等でこのマイクロパルベライザーは広く湿式に用いられて居り、例へばカーボン用紙、タイプ用紙のインクはジヤケット付のタンクで攪拌予熱し粉碎機に供給している。又、ココアの粉碎では、ココアニップを直接供給し、ペースト状の液体にしている。更に特殊な使用例としてはドラムドライヤー、スプレードライヤーの前処理に用い、均一に液体中に固体を分散させ、乾燥機のパフォーマンスと、製品品位を向上させている。

マイクロパルベライザーで物を粉碎すると、一般的には10~80°C 温度が上昇する。これはミル内を通過する原料の量と、ミル駆動用モーター馬力及びミル内を通過する空気量により変化するが、ミルカバーを水冷式にする事は、実際的には効果はなく、心理的な効果しか期待出来ないで現在ではほとんど水冷式は姿をけして居り、温度が上がるとよくない物質を粉碎する場合には、冷

風を送入するか、ドライアイス等の冷剤と共に原料を供給する方が効果的である。最近により簡便な方法としてローターに少し細工したベンチリー型ローターがこの目的に用いられて居る。このローターを用いると、製品温度は5~20°C 下げる事が出来る。

Table-1 は、マイクロパルベライザーによる粉碎能力例である。

Table-1 マイクロパルベライザーの粉碎能力例 (kg/h)

物 質 名	製 造 粒 度	バンタムミル (600W)	No. 1 (2.2KW)	No. 2 (7.5KW)	No. 3 (22KW)	No. 4 (37KW)
水 酸 化 ア ル ミ	74 μ 99.8%pass	35	160	540	1700	2900
ボ ー ル ク レ ー	43 μ 98%pass	33	160	540	1700	2900
Calcium Arsenate	43 μ 99.0%pass	80	340	1100	3600	6300
カーボンブラック	43 μ 99.99%pass	30	120	400	1300	2200
アセテートセルローズ(パルプ)	0.4% 94%pass	12	55	190	600	1100
顔 料 ス ラ リ ー	スームスラリー	50	210	720	2300	4000
粉 白 粉 (混 合)	混 合 度 良 好	35	160	500	1600	2700
粉 石 鹼	0.8% 96%pass	90	400	1300	4500	7400
砂 糖	125 μ 99%pass	35	160	540	1700	2900
酸 化 亜 鉛	43 μ 99.8%pass	35	160	580	1900	3100

§ 2-A-II マイクロバンタム

(THE BANTAM MIKRO-PULVERIZER)

マイクロパルベライザーと全く同一の粉碎機構及び性能を有して居り、特に実験室用、小規模生産用、パイロットプラント用に設計されたものである。従ってローター、ライナー、供給方法等もマイクロパルベライザーと全く同様であるが、供給機には、特に手で駆動出来るものもある。

このバンタムは、P.M.C 社に於いて、粉碎機の摩耗部品の寿命を推定する手段として有効に用いられている。

すなわち粉碎機の摩耗と云う問題は、粉碎原料の性質、粉碎機構によりいろいろ異なるためユーザーは勿論メーカーにとっても仲々解決出来ないものであったが、P.M.C 社は、スクリーンの寿命は、ハンマーの寿命に比例し同一粉碎機構の場合には、摩耗速度は粉碎機の大小にかかわらず同一原料では大差ないと云う仮定を数多くの実験例より確立し、このバンタムで5 lb (約2.5kg) のサンプルを粉碎し、スクリーンの摩耗度を測定し、使用する材料の粉碎に要する費用をあらかじめ知り得る為、ユーザーにとってはすこぶる有利になっている。

§ 2-A-III マイクロサンプルミル

(MIKRO-SAMPLMILL)

マイクロサンプルミルは、P.M.C が米国農林省の強力な指導と要請により完成した実験室用の小型粉碎機で、分析用資料の粉碎、軽く少量のサンプルの微粉碎に用いられる。

このマイクロサンプルミルは、6枚の固定粉碎板がケーシング内で高速回転し、ミル出口にはパルベライザーと同様スクリーンが用いられて製品粒度の調節を行って居り、原料の供給は手動式スクリーフフィーダーにより行なわれる。この粉碎機は取り扱いが簡単な事は勿論であるが、特に分解掃除が容易に行なわれる様注意深く設計されている。例へばスクリーンは裏からも容易に掃除出来る様にクリップで取りはずしの出来る掃除窓がミルケーシングに設けられて居り、粉碎ランナーは、これ又、クリップだけでとめられているミルカバーを開けると粉碎室全部が掃除出来る様になって居り、ランナー押えナットをゆるめるだけで、粉碎室から取り出される様になっている。この様に簡単に分解掃除が出来る様にされているこのミルは全くの素人でも数分で完全に分解掃除され、実験室等では欠くべからざる装置の一つになっている。

§2-A-IV マイクロアトマイザー (MIKRO-ATOMIZER)

マイクロアトマイザーは、P.M.C. 社がマイクロパルペライザーと共にその技術をほこっている微粉砕機である。このマイクロアトマイザーは、機内分級システムが採用された微粉砕機であって、マイクロパルペライザーの様なスクリーンミルの欠点を全て無くした超微粉砕機である。すなわちスクリーンミルでは、ミル出口にスクリーンを入れて製品品位の調節を行って居り、比較的硬い物質の粉砕、或いは超微粉砕がその機構上不可能であるが、マイクロアトマイザーの場合には、スクリーンが採用されていないので比較的硬い物質、或いは超微粉砕が可能となる。

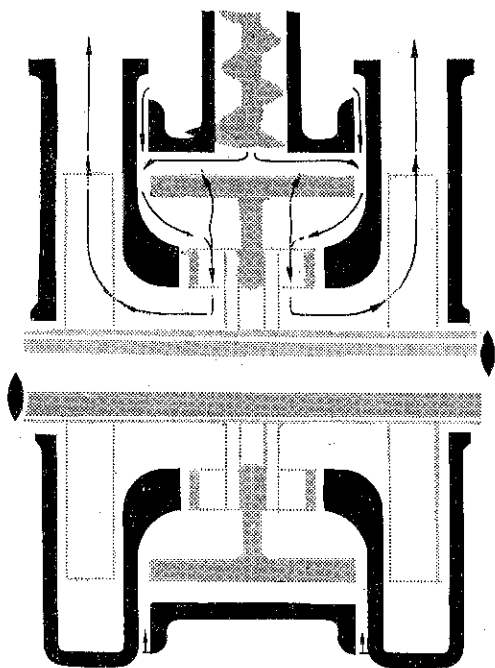


Fig. 4 ホソカワ/マイクロアトマイザーの分級原理

マイクロアトマイザーの粉砕機構は、PerryのChem. Eng. Hand-Bookにも詳細紹介されているが、Fig-4の様な機構を有して居り、粉砕室は全周反撥型ライナーにより囲まれた円形で、その中でT型ハンマーがローターより吊り下げられて高速回転している。ミル出口には、ローターに取り付けられたセパレーターホイールにより形成されている分級部が存在し、製品粒度を調節する様になっている。すなわちスクリーフィーダーFによって粉砕室へ送り込まれた原料は、ハンマーAの強い衝撃力と、特殊設計されたライナーの効果によって粉砕室内で微粉砕され、空気取り入れ口Dより吸引されて粉砕

室内を流れている空気流によりミル出口Eの方に運ばれる。しかるにミル出口にはセパレーターBがあるため、粗粉は再度粉砕室に送り返され、微粉のみを機外に排出し製品とする。この分級部に於ける分級原理はミクロンセパレーとほとんど同一で、強制渦を利用したものであって、粒子にセパレーターホイールの回転により遠心力を与えると共に、この部分を流れている空気の粒子に対する流体抵抗とのバランスにより分級して居り、その分級精度はすばらしく良い。

マイクロアトマイザーにより粉砕し得られる製品の粒度を調節するには、粒子に与える遠心力を調節するために、ローター回転数を変える場合と、セパレーターホイールの長さを変える場合がある。ローター回転数を変える事は、粉砕ハンマーの衝撃力を変える結果となるが、製品品位の調節には有効な手段となる。一方セパレーターホイールの長さを調節すれば、製品中への粗粉の混入が極度に少くなる。更に粒度を調節する今一つの方法として、ミル内を通過する空気量を変える事が出来る。この目的に対しては内蔵されている風車のサイズを変える事によって居る。従ってマイクロアトマイザーには普通3種類のセパレーターホイール、及び風車が附属している。

マイクロアトマイザーのミル内を通過する風量は、マイクロパルペライザーに比し多量であるため、冷却効果がすぐれて居り、熱に敏感な物質も比較的微粉砕する事が容易である。例えばプロカインペニシリンをこのマイクロアトマイザーで粉砕している例等はこの代表的なものである。プロカインペニシリンは、水に不溶性である為、これを注射薬として使用する場合には、注射針に塞がる事のない様充分微粉砕しなければならない、この大きさは最大粒径で15ミクロン平均5~8ミクロンである。又、このプロカインペニシリンは針状結晶であると共に熱により変質するので粉砕が困難とされているが#5のアイマイザーにより15kg/hrの製品を得る事が出来た。この物質は、無菌状態を保って粉砕しなければならないので、特に簡単に分解掃除の出来る様に設計し、滅菌エヤーをミルケーシングに送り込み、マイクロアトマイザーの排気ダクトは、粉砕品の大部分を捕集するためにサイクロンへ導き、その後、バッグフィルターにより残りの粉体を捕集している。バッグフィルターで捕集された粉砕製品は、ガスによる滅菌操作の後、家畜用に向けられているが、これはバッグフィルターの帆布繊維が脱落し製品中に混入する可能性があるからで、この様な不純物を含むものは人体用に不適だからである。

マイクロアトマイザーの粉砕データの一例をTable-2に示した。

Table-2 マイクロ アトマイザー の粉碎能力例

物 質 名	製 品 粒 度	No. 5	No. 6	No. 8
酸 化 亜 鉛	平 均 2μ	90 疋/時	360 疋/時	1270 疋/時
酸 化 鉛	平 均 2μ	95	390	1350
砂 糖	99.7%	80	320	1110
製 紙 用 ク レ イ	平 均 5μ	45	180	640
染 料	平 均 10μ	73	290	1000
酸 化 鉄	平 均 5μ	86	145	500
ギ ル ソ ナ イ ト	平 均 10μ	16	63	220
カ ボ ン プ ラ ッ ク	平 均 7μ	68	270	950
炭 酸 カ ル シ ウ ム	平 均 3μ	45	180	630

この様に、マイクロアトマイザーは、エヤースエプト型機内分級式粉碎機であるので、粉碎と分級、輸送が一度に出来、更にスクリーンミルではなし得ない超微粉碎が可能であるが反面、多少装置が複雑となる欠点がある。

§ 2-A-V マイクロマルチ D (MIKRO-MULTI-D)

このマルチ D は、4 ~ 20 メッシュの製品を得る場合、内至は造粒用として広く用いられる。原料は粉碎室上部にあるフィードパンから連続的に供給され、ミル内で高速回転している16本のハンマーにより砕かれ、ミル出口にあるスクリーンを通して排出される。このハンマーは、一方がシャープエッジにされ他方はエッジがとられていないがこれは両面が使用出来簡単に取り換えられる様になっている。シャープエッジの面は、粗砕を希望する時に用いられ他面は比較的微粉碎を希望する場合に採用される。又粉碎室は前開きのドアが取り付けら

れ、サンプルミル等と同様簡単にはずせる様になって居り、掃除が容易に出来る。ローターは片持ちにされ一つのボルトをはずすだけで機械から取り出せる。この機械の特長は、上述の如く取り扱いと掃除が容易であると共に、ローター速度がパルベライザー等に比し遅く、ケーシングとローターのクリアランスが大で、ミル中を通過する空気量も大きく熱的に敏感な物質でも安心して粉碎出来ると共に、得られる製品の粒度分布の巾が狭く、所要動力に比し能力が多きい事である。マイクロ・マルチ D は 3 ~ 5 HP のもの一型式だけであるが平均能力は 520 ~ 1000 kg/hr あり粉体接触部は全部ステンレス製である。

Table-3 はマルチ D の粉碎データの一例である。このデータは粉碎する事を主目的とした場合で、粉碎能力に大きな差があるが、これは原料の性質及び製品粒度によるものである。

Table-3 マイクロ-マルチ D の粉碎能力例

物 質 名	原 料 サ イ ズ	製 品 粒 度	能 力
骨 炭	4 メッシュ	-30mesh 44%	800 kg/hr
セ ラ チ ン	75%×150%× 5%	12%のフレーク	150 kg/hr
ア ラ ビ ヤ ゴ ム	25%× 25%× 25%	4mesh 全 通	3000 kg/hr
ス ポ ン ジ ゴ ム	50%×100%×100%	16mesh 全 通	120 kg/hr
ビ タ ミ ン B	150%のマット状	12%のフレーク	120 kg/hr
ク ラ ッ カ ー	100%口×12%	20mesh 全 通	430 kg/hr
亜 麻 の 種	そ の ま ま	10mesh 全 通	350 kg/hr

§ 2-A-VI マイクロパッド (Photo. 1) (MIKRO-BUD)

P.M.C 社が製作している 唯一の堅型粉碎機である。この粉碎機は、粉碎部と分級部が分離して一つのケーシ

ング内にあり、マイクロパルベライザーとマイクロアトマイザーの中間辺の製品を希望する時に用いられと共に、特に温度に対し敏感な物質の微粉碎に適している。マイクロパッドの 粉碎部は、Photo-2 の如く 数多くの

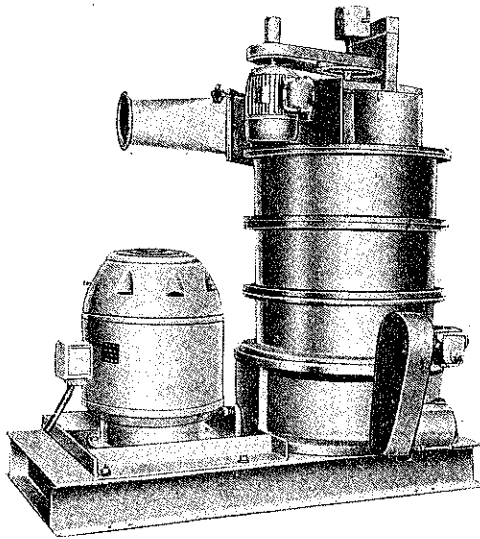


Photo. 1 ホソカワ/マイクロパッド

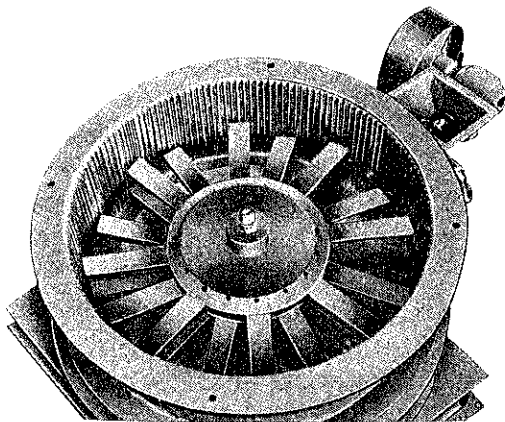


Photo. 2 ホソカワ/マイクロパッドの粉砕部

パー型パンマーがケーシング下端にある反撥型ライナーによって形成されて粉砕室内で回転して居り、原料はこの粉砕部に直接スクリーフイーダーにより供給される。一方この粉砕ローターの下側には大きな空気取り入

れ孔があって、ここから多量の空気又は冷風がこの粉砕部に送り込まれている。この粉砕部で砕かれて原料は、

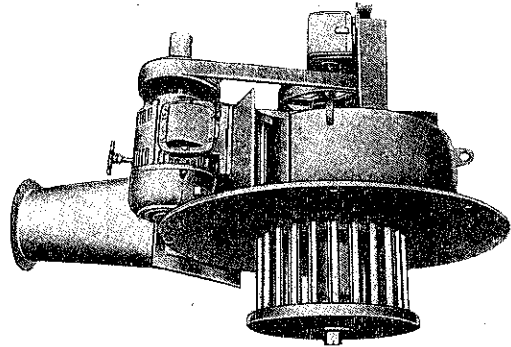


Photo 3 ホソカワ/マイクロパッドの分級部

この空気によって上方に抛り上げられるが、ミル出口には Photo-3 の様なセパレーターが希望する条件に調節されて回転している。粉砕され気流に乗って上昇して来た原料の内、希望より細かい粉体はこのセパレーターを通過して製品となるが、粗い粒子は再度粉砕室に戻され、再粉砕される。このマイクロパッドは、マイクロバルベライザー、マイクロアトマイザーに比し、機内を通る空気量が著るしく多い為に、粉砕製品の温度を余り上げない。この特徴を利用して P.M.C 社ではココアの粉砕に、今迄の粉砕方法をすっかり変更し、簡略化する事に成功した。

すなわち、今迄のココア粉砕工程は、洗われたココアビーンを先ず適当にいつてココアニブとする。このココアニブをマイクロバルベライザーで粉砕し液状とした上、ストーンミル (Stone-mill) で更に微粉砕し、その液状物をフィルタープレスにより濾過し、バター分等を除去した後、そのフィルターケーキを例へば J.B.Mill の様な粗砕機で粗砕し、シュッツオニールミル (Schutz-O' Niel mill) に篩機を付けた開回路粉砕系により粉砕していた。これに反し、P.M.C 社が開拓した新しい方法によると、ニブをマイクロバルベライザーにより粉砕

Table-4 マイクロパッドの粉砕能力例

物 質 名	製 品 粒 度	Nodel # 13	Nodel # 80
砂 糖	325mesh 99.5%	90 kg/hr	1000 kg/hr
ク レ	325mesh 99.9%	—	750 "
フ エ ノ ール レ ジ ン	100mesh 99.6%	120 "	—
コ ー ン フ ラ ワ ー	200mesh 99.6%	—	350 "
セ レ ニ ウ ム	200mesh 99.9%	115 "	—
ゴ ム 葉 台	100mesh 全 通	—	1100 kg/hr

し、その粉碎品を直接フィルタープレスにより濾過した後、フィルターケーキを破碎して直接このマイクロバッドに投入し微粉碎している。この新しい方法によると、Stone mill と Schutz-0' Niel-mill 及び 篩機が省略され、今迄の方法であると5段階の工程であったものが4工程となり、更に最後の微粉碎工程が簡略化されると共に、大変細かい、黒い色のすぐれた品位のココアが製品として得られるばかりでなく、製品中より繊維物質及びシェル(Shell)が除去される。又、この新しい方法によると、今迄ココア粉碎に於いて、上述フィルターケーキを24時間以上放置し、充分冷却してから微粉碎に移って居たのが省略され、熱いままのフィルターケーキを直接粉碎出来て、製造時間を短縮する事に成功している。

この様にこのマイクロバッドは、従来の粉碎機では困難であった低温度に於いて変質し易い物質の微粉碎に偉力を発揮するもので、ココア以外の実験例は Table-4 の通りである。

§ 2-B 集塵装置

技術導入した集塵装置は次の二種類である。

B-I) マイクロコレクター
(Mikro-Collector)

B-II) マイクロパルスエヤーコレクター
(Mikro-Pulsaire Collector)

この内、マイクロコレクターは他からその特許実施権を取り製作しているものであり、マイクロパルスエヤーは自社の技術によって開発したものである。

いずれも、いわゆるバッグフィルターと云われる部類のもので、共に Air により逆洗滌し、常に濾布面の掃除を行う様になっている。

§ 2-B-I マイクロコレクター (MIKRO-COLLECTOR)

マイクロコレクターは、いわゆるハーシーのリバースジェットと云われる型のバッグフィルターである。

すなわち Fig-5 の如く含塵空気はバッグの内側より外側に流れ、捕集微粉はバッグの内面に堆積、粉塵はブローリング (Blow ring) と呼ばれるバッグの外側を自動的に昇降するリングによって払い落され、リングは、バッグの外面と接触しながらその環状間隔より高速気流を噴出させその気流とリングが移動するためにバッグに生じる屈曲により払い落される様になっている。この払い落しに用いられる空気圧力は 0.1kg/cm^2 程度の低圧で普通にはルーツブローアーが用いられている。このバッグフィルターは、払い落しの際に濾過気流をリングの接触している部分のみ自動的に停止させるだけで、常に濾

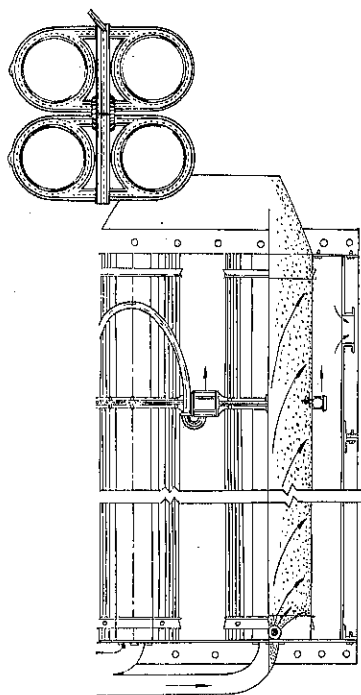


Fig. 5 ホソカワ/マイクロコレクター

布に堆積した粉体を払い落し、濾過中に圧力の変動がほとんど無く、濾過風量の変化もない。しかしその構造上、濾過面積を大きくする事は不利なので、濾過速度を大きくし、普通には 10C.F.M (約 $2.8\text{m}^3/\text{Min}/\text{m}^2$) にとり、厚目の濾布を使用し、内部濾過方式に近付けている。

このマイクロコレクターは、P.M.C 社がハーシーよりそのライセンスをとって製造しているものであるが、このバッグフィルターのゲーシング内部にはブローリングの様な機械的に動く部分があり、更にこのリングにより常に濾布をこすするため、濾布の寿命が比較的短かいと云う様な欠点があるので最近では、P.M.C 社が独自に開発したバッグフィルター、マイクロパルスエヤーにとって代られつつある。

§ 2-B-II マイクロパルスエヤーコレクター (MIKRO-PULSAIRE COLLECTOR)

マイクロパルスエヤーは、P.M.C 社の秀れた技術陣が生み出した独創的な集塵装置で、この装置の出現によりアメリカでは、粉塵捕集の諸問題がほとんど解決されたと好評を博し、発表以来わずか数年で1500台以上の本機が各種工場その他で使用されている。

マイクロパルスエヤーの濾布洗滌方法は今迄の常識を打ち破った全く新しい機構で、Fig-6 に示す如く、内

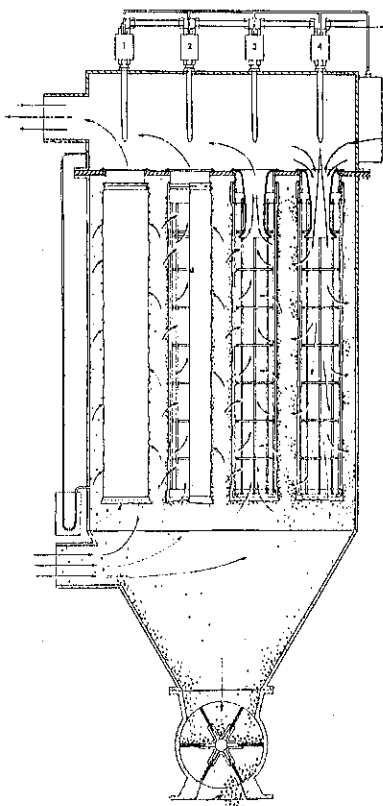
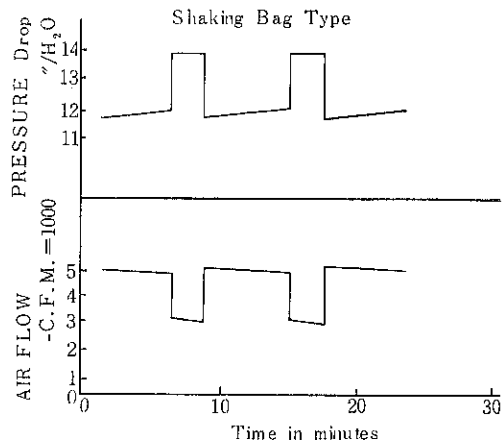


Fig. 6 ホソカワ/マイクロパルペライザーの構造

部に全く動く部分が無く、単にノズルとベンチュリーがあるだけで、今迄の振動式や逆噴流型の様に、沪布をゆすったり、沪布面をこすったりしない為、沪布の寿命が著しく向上し、機械的な故障、沪布の損傷等が極度に減少し、普通の使用条件下に於いては半永久的に使用出来る。マイクロパルスエヤーは密閉されたケーシングに円筒形の沪布が吊下げられ、含塵空気は空気取り入れ口より送入され、沪布の外側から内側に流れて粉塵は沪布の表面に堆積し、沪過された空気のみ沪布筒の内側から上部排気口通って排出される。沪布表面に堆積した粉塵は、一定時間毎にタイマーによって調節されたソレノイドバルブにより高压空気が0.1秒程度のわずかな噴射時間でベンチュリー一部に向けて噴射される。このジェット噴流はベンチュリー部に於いてエジクター効果により多量の二次空気流を誘発し、この空気流により沪布面上の粉塵は払い落される様になっている。

Fig-7 は、適当な文献より引用したシェーキングタイプのバッグフィルターと、マイクロパルスエヤーの性能を比較した図である。図によると、シェーキングタイプのバッグフィルターは、沪布の目づまりにより徐々に



(a) シェーキング式

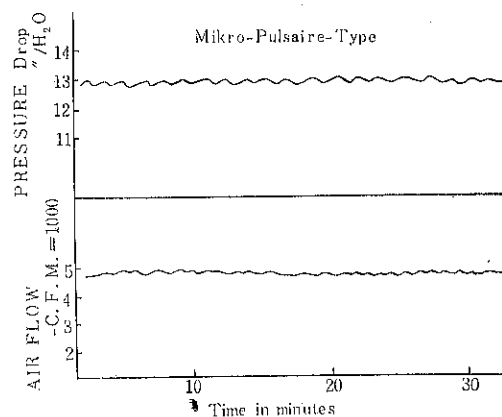


Fig. 7 圧力損失 (b) パルスエアー

圧力損失が増大し、処理風量が減少し、更に振動時に於ける圧力損失、及び処理風量の変化が著しく大であるが、マイクロパルスエヤーの場合には、圧力損失の変動は微少であって常に一定の圧力損失と処理風量を確保している。

マイクロパルスエヤーで含塵ガスを処理する場合その含塵濃度は最高 $2\text{kg/m}^3\text{Air}$ 迄可能であるが、最近広く用いられ出した高濃度空気輸送（高压輸送）の場合には、特にこの為に設計されたビンベント型（Bin vent）が用いられる。このビンベント型は、直接製品タンクに簡単に取り付けられ、小麦粉の荷おろし用、その他に広く用いられている。標準型及びビンベント型、いづれもその沪過面積は、処理する粉体の性質、含塵濃度により異なるが今迄の常識であった $1\text{m}^3/\text{min}$ 当り 1m^2 の壁を破って、 $2 \sim 5\text{m}^3/\text{min}$ が処理出来る。例へば今迄 1m^2 当り $0.3 \sim 0.5\text{m}^3/\text{min}$ しか処理出来なかったカーボンブラックの場合でも $1 \sim 2\text{m}^3/\text{min}$ 処理出来装置が

著るしく小型化出来る。

§ 2-C その他のアクセサリー

粉碎機、集塵装置以外の粉体処理機械は次の5つである。

- C-I) マイクロ・エアーロック
(Mikro-Airlock)
- C-II) マイクロ・クラッシャー
(Mikro-Crusher)
- C-III) マイクロ・フィーダー (Mikro-Feeder)
- C-IV) マイクロ・フィードコントロール
(Mikro-Feed-Control)
- C-V) マイクロモニター (Mikro-monitor)

§ 2-C-I マイクロ・エアーロック (MIKRO-AIRLOCK)

いわゆるロータリーバルブと云われるもので、羽根型ローターが円筒型シリンダー内でゆっくり回転し、粉体を一つの zone から他の zone へ、例へばホッパータンクから、製品ドラムへ重力により移送するものである。このマイクロエアーロックは出来るだけ空気洩れを防止するために普通は、回転羽根の先端には、ゴム又はプラスチックがチップ付けされて居り、最近は特にデルリンが広く用いられる。マイクロエアーロックには高圧型は、 5 lb/in^2 (0.35 kg/cm^2) の圧力に耐え得る様に設計されている。又ローターの羽根数は、6枚、8枚、12枚の三種作られているが、排出の定量性を要求される場合には12枚羽根のエアーロックが用いられる。

§ 2-C-II マイクロクラッシャー (MIKRO-CRUSHER)

マイクロクラッシャーは、いわゆるロータリークラッシャーで鬼歯クラッシャーよりは秀れている。本機はケーシング内に鬼歯型ロールの付いた2本のシャフトが貫通して居り、このシャフトはギヤーにより廻され互に咬込む方向に回転している。この鬼歯はクマデ型アームにより*型に形成され、ブレイカーロストルがクラッシングロールの下に付けられ、鬼歯の先が大きな原料の塊を下に押し付けてここで粉碎する。又、能力を増す為、ロストルを取り除く場合もあるが、この時はクラッシャーロールの外側にクマデを取り付けて鬼歯の間に落ちこむ大きな塊を防止している。このマイクロクラッシャーには、実験室用、軟質用、硬質用の三種類がある。

軟質用クラッシャーはフィルタープレスケーキ、しめったクレーの塊の様な比較的たやすく砕かれるものの粗砕に適して居り、原料最大径は5~6" (120~150mm) のものが供給出来、 $\frac{1}{8}$ " (12mm) 以下に砕く事が出来

る。又能力は、原料の性質その他により異なるが500~2500kg/mあり、マイクロバルベライザーで粉碎する場合に Pre-Crusher. として広く用いられている。

§ 2-C-III マイクロフィーダー (MIKRO-FEEDER)

マイクロフィーダーは一種のテーブルフィーダーで、テーブルとホッパーが回転し、容量供給機としてはすぐ

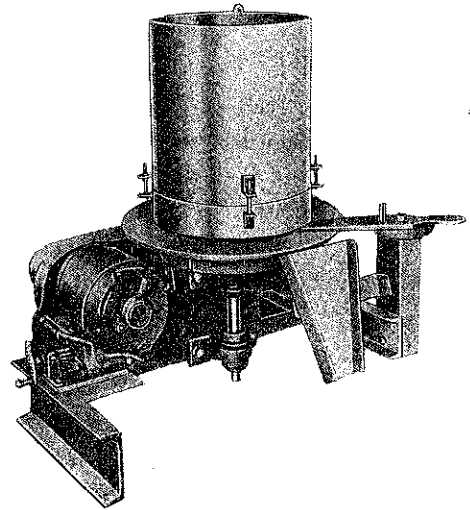


Photo. 4 ホソカワ/マイクロフィーダー

れた性能を有し、比重のバラッキのないサラサラした粉体であれば、供給量のバラッキは $\pm 1\%$ 程度である。マイクロフィーダーの供給量の調節は、テーブルの回転数と、テーブルとホッパーの間隔を調節して相当広い範囲に変える事が出来る。ホッパーの内の原料はテーブルの回転により遠心力を受け、ホッパー下端よりテーブル上に拡がる様に流れ出るが、これをかきとりリエッチでかきとりテーブル外に落し供給するが、このマイクロフィーダーで供給出来る原料サイズは、このかきとりエッチの厚みの $\frac{1}{2}$ 以下でなければならない。

§ 2-C-IV マイクロフィードコントロール (MIKRO-FEED CONTROL)

§ 2-C-V マイクロモニター (MIKRO-MONIR)

共に、粉碎機等への供供給量を調節する装置で、マイクロモニターはマイクロフィードコントロールを改良したものである。

マイクロコントロールは、粉碎機のメインモーターの電流量を監視し、オーバーロードになった時、自動的に

[62頁へ続く]

衝撃粉碎の応力理論

Prof. Dr.-Ing, H. Rumpf,
Tech. Hochschule Karlsruhe

金沢大学 田中達夫 訳

〔訳者註〕

以下は Chemie-Ing-Tech, 31, 323~337 (1959) に掲載された "Beanspruchungstheorie der Prallzerkleinerung" の抄訳である。衝撃粉碎機は古くから製作され、最近とくに微粉碎から超微粉碎域に優秀な機械が使われているが、粉碎機構を解析した論文は殆ど皆無といってもよいのではなかろうか。Rumpf 教授の最近の著である本文は、一般力学、材料力学、流体力学さらに分子運動論などの広汎な知識に基き、今後設計や操作の面で参考になることが多いと思う。さらにジェット粉碎機への応用にもなり得て、その与える情報の意義は大きいと信ずる。原文は15頁にわたり、全訳は不可能と思われたので、浅学を顧みず、最も重要と思われる部分を抄訳または全体として解説の形にした。尚省略した図、式、表は原著を参照していただくとして、つづいて発表された下記の2著は内容的に本稿と関連があるので御参考までに挙げておく。

"Prinzipien der Prallzerkleinerung u. ihre Anwendung bei der Strahlmahlung" Chem. Ing. Tech. 32, 129-135 (1960)

"Versuche zur Bestimmung der Teilchenbewegung in Gas-strahlen u. des Beanspruchungsmechanismus in Strahlmühlen" Chem. Ing. Tech. 32, 335~342 (1960)

すべての粉碎法を三つの応力機構にわけて考える。

I. 粒子が一つまたは集团的に二つの面の間で応力をうける。箇々の粒子に流れるエネルギーは破砕面の運動のエネルギーに関係する。

II. 静止または運動している伝達媒体の中で（たとえば空気とか液体の中で）自由に運動している粒子が破砕面に当たるとか、互の衝突もしくは摩擦をうける。衝撃と摩擦は殆ど定常に共存し、これを正しく分割することはほとんど不可能である。大抵の場合は衝撃が支配的である。粒子は衝撃の前に位置の移動と回転を伴う。衝撃応力のこの概念は打撃応力のそれとは同一視すべきではない。たとえば衝撃破砕機やボールミルによく現われるよ

うに打撃は応力機構 I の場合に属する。特に衝撃粉碎の特性とみられるものは、箇々の粒子に伝わる粉碎エネルギーが単独に粒子の運動のエネルギーにより定まり、その場合の速度としては粒子と破砕面の相対速度を導入すべきことである。衝撃粉碎の定義においては、如何なる方法で粒子の運動が与えられるかは問題ではない。

粉碎工学の歴史において衝撃粉碎機という言葉から先ず浮び上るのは "Anger-Prall mühle" である。これは被粉碎物粒子が空気流れと共に固定衝撃面に衝突するものだが、今日ではこれは経済的なものではなく、現在衝撃粉碎機といえば回転体をもつミルのことをいう。ただ望ましいことは衝撃粉碎という言葉は応力機構 II に対して用いべきと考える。たとえば流体粉碎機（ジェットミル）にも延長できるものである。すなわちジェット中で粒子は加速され、粉碎効果は特別の破砕面なしに単に粒子同志の反対方向の衝撃により為されるものである。

III. 固体の応力は、単に他の固体との接触によってのみ可能なわけでなく、周囲の液体ガス体によることもある。たとえば湿式粉碎のごとく剪断とか垂直力が粒子表面にかかる。圧力波とか液滴による衝撃による場合もある。特別の場合は爆発粉碎もこれに属すが、これは未だ工学的に重要なものには到っていない。

破壊現象と衝撃応力

ある固体をある位置で、分子または原子の構成要素の結合力がもはやその相対する位置にありえぬという限界にまで応力を与えたとき、二つの現象が入ってくる。

a) 分子の引裂限度よりも引張応力が大きくなり、且つ弾性エネルギーが、形成さるべき限界表面エネルギーに等しいかそれ以上になる条件が満足されたときに破壊が起る。すなわち一定の引張歪（これは "Griffith Length" と呼ばれるが）に達して初めて満足される。

b) 剪断応力が部分的に一定の荷重限界を越えたと、それは構成要素が安定な位置からずらされ、互にすべりを起すべく作用する。物質はそのまま変形するか、またはプラスチックに変形する。これは粉碎にはとくに重

要て破碎が如何なる機構から続いて起るものにせよ、主として次の各現象によって来る。

1. 応力の状態。すなわち主応力と剪断応力の大きさと方向。真の応力状態は均一物質に対する理論的なものとは異なり、物質構造による違いが組合わさる。

2. 物質の状態。たとえば結晶または無定形接合の構造とか分布。

3. 温度。熱可塑性物質や金属はとくに高温度で塑性変形を行う。

4. 応力の速度。流動過程には時間を要する。ゆえに短時間の応力では分解破碎が適することになる。

機械的応力状態における物質条件に関する以上の概観により、我々は総括的に、如何なる物質に対して衝撃粉碎が適当であるかという問いに答えたい。

衝撃応力は応力機構 I に比較して、大きい応力速度において優れている。短時間の衝突では、衝撃を受けた粒子の粉碎に必要な全エネルギーは変形エネルギーとなって解放される。

破碎への使用は、塑性変形に用いられる部分が少いほど好適である。塑性変形の代りに脆性破碎に解放される時その使用は最大である。一定の温度範囲においては、このことはすべての塑性材料にも可能である。一般に弾性率は応力速度と温度に関係する。そこで熱可塑性材料では弾性率は一層大きい応力速度により増し、破碎のチャンスは一層高められる。

衝突面に流れるエネルギーの大部分が速度に関係するならば、より大きい衝撃速度においては一層大きいエネルギー部分が粉碎に利用され、大きい歪力に達しうる。たとえば静荷重のときと同一荷重方向で、エネルギーが同じ量だけ弾性変形に流入したとしても有効な歪力分布はこの場合全く違うということを考えねばならない。すなわち衝突荷重変形は物体の一部に集中される。それにより局部的により大きい歪力が発生するのである。

衝突におけるエネルギーの利用

衝撃応力は衝突の法則に従う。最初に興味のあるのは衝突の前に準備されたエネルギーのうちどれだけ割合が変形エネルギー、従って粉碎に使用されるかという問題である。

二物体の衝突には2つのビリオドを区別する。衝突第1期は、物体の運動状態が衝撃量により規定されるもので物質の性質が弾性塑性を問わず、古典機械的衝突説の仮定があてはまる場合、衝突第2期は、弾性体では貯えられた弾性エネルギーが再び運動エネルギーに回収され、完全塑性体では衝突第1期の終りの運動状態がそのまま残る。

機械的衝突説による運動方向の影響

古典衝突説を用いエネルギー利用と運動方向の関係を求めるが、ここに4つの代表的な特性をあげ、この型によって一般的な運動の場合を明かにすることができる。

直線的な中心衝突

質量 m_1 , m_2 の物体が共に v_1 , v_2 の速度で純粋に位置の移動を行い、同じ方向に $v_1 - v_2$ の相対速度で運動する。重心の運動方向は衝撃法線で表される。第1期終りでは両物体は同一速度

$$u = (m_1 v_1 + m_2 v_2) / (m_1 + m_2)$$

をもち、その共通な運動のエネルギーは

$$E = \frac{m_1 m_2}{m_1 + m_2} \frac{(v_1 - v_2)^2}{2} \quad (1)$$

の値だけ、衝突前の両物体の運動のエネルギーの和より小さい。このエネルギー量は、古典説に基けば変形仕事として両物体に入り粉碎に役立ちうる。大きい方の物体には実際の衝撃の伝播はほんの僅かしか変形仕事を与えぬ。 $m_1 = m_2$ の場合の値の幾分か等しい。

(1)式より $E = (m_1/2) \cdot (v_1 - v_2)^2/2$ となりこの値は

$$\zeta = \frac{m_1 + m_2}{2m_2} = \frac{1}{2} \left(1 + \frac{m_1}{m_2} \right)$$

だけ(1)によるEよりも小さい。

そこで ζ をエネルギー交換係数として導入したい。そしてこれを用い、交換エネルギーと衝撃条件の最適値の関係を理解したい。

固い回転軸をもつ物体に対する衝突

ハンマーミルでは、衝撃体は回転できるように吊下っている。もし衝突が正面であれば、衝突第1期の終りのエネルギー交換は、前の式の m_2 の代りに

$$m'_2 = m_2 \left(\frac{i'_2}{p'} \right)^2 = m_2 \frac{z^2 + i_2^2}{(p + z)^2} \quad (2)$$

とおけば (Fig. 1)、Eは計算できる。ただし $i = \sqrt{I/m}$ はIで慣性能率、式中の各大きさの意味は Fig. 1 に示

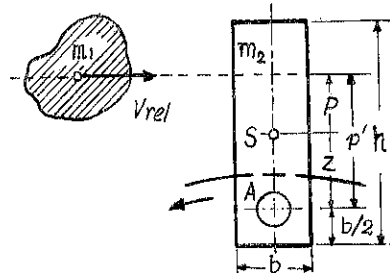


Fig. 1. 固定回転軸をもった衝撃体に対する直線的衝突慣性能率: I_2 はSについて、 I_2' はAについて、

されている。小さい粒子に対しては衝突体質量は事実上 ∞ である。

もし $p=i^2_2/z$ すなわち

$$pz=i^2_2=1/2 (b^2+h^2) \text{ ならば}$$

$$z=1/2 (h-b) \text{ より } p=z \text{ に対し } h=2.62b$$

$$p=0.83z \text{ " } h=3b$$

ハンマーミルの衝突体の規格では $h=(2\sim3)b$ となっている。

直線的偏心衝突

v_2 の速度で運動する質量 m_2 の重心の運動方向が衝突法線と一致し、これと p だけ距離がはなれて m_1 が平行にある場合、 m_1 は偏心衝突をする。このとき回転運動が生ずるが、 m_1 の代りに換算質量

$$m'_1=m_1 i^2_1 / (p^2+i^2_1) \quad (3)$$

とおければ、中心衝突と同様に取扱うことができる。中心打撃に比べ

$$\zeta = \frac{m_1+m_2}{m'_1+m_2} \cdot \frac{i^2_1}{p^2+i^2_1}$$

もし $m_2=\infty$ 、すなわちロータとかステータの衝撃面であれば、 $p=i_1$ 従って E は中心衝突の場合の $1/2$ にすぎない。

$p=2i_1$ なら E は $1/6$ となる。

固体壁への斜め衝突

一般に固体表面は衝突法線方向に直角な成分をもつ運動を行う。その結果斜め衝突となり、接触面方向に摩擦が結合される。この場合摩擦の行う仕事 A_R も考えねばならぬ。

$$E=1/2(mv_n^2)+A_R$$

$$A_R=(mv_n^2/2)(2\mu \tan \alpha - (\mu^2(i^2+p^2)/i^2)) \quad (4)$$

球では $p=r i^2=(2/5) r^2$, $(i^2+p^2)/i^2=3.5$ を入れて $\mu=0.2$ を入れると $\alpha=60^\circ$ では摩擦仕事は中心衝突のエネルギー変換の55%に達する。

種々の衝突形式の頻度

衝撃粉碎機の中では上述の衝撃型式が異った頻度で起る。

反対方向の粒子衝突の際のエネルギー変換と確率

二つの被粉碎物粒子の衝突は斜め衝突の方が直線的なものよりもはるかに多く起る。直線中心打撃の確率はとくに小さい。いま一定の移動速度で空間を勝手に動いている二つの球について考察する。相対的な運動状態は、一方の球の中点を一つの空間的な座標軸の原点とし、その中で第2の球が接近速度 v で動くと考えることができる。(Fig. 2) もし球2が、半径 $(d_1+d_2)/2$ をもって

座標軸原点のまわりに画かれる球の面をよぎるか接触すれば衝突が起る。球2の運動方向が原点を通れば正面衝突、他はすべて正面衝突の割合が速度成分 v_n で決定される。即ち

$$\zeta=v_n^2/v^2=\cos^2\alpha \quad (5)$$

我々はすべての可能性に対して空間的に均一分布を仮定しているから、確率は、これに従属する運動断面比

$$W=\frac{a_0^2}{[(d_1+d_2)/2]^2}=\sin^2\alpha=1-\zeta_0=1-\left(\frac{v_{no}}{v}\right)^2 \quad (6)$$

で与えられる。即ち確率 W は最大エネルギーロス $(1-\zeta_0)$ にひとしい。0~10%のエネルギーロスをもつ衝突の確率は10%にすぎないということである。

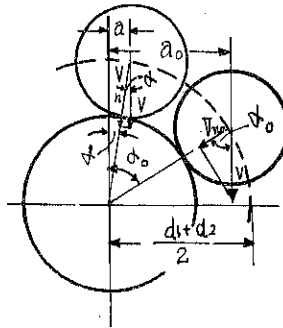


Fig. 2

任意に位置の移動を行い且つ位置や運動方向が空間的にひとしく分布する球における直線的衝突の頻度

反対方向の粒子衝撃の確率

衝撃の頻度は、粒子の平均自由径路が粉碎体の間の飛行距離より小さいときは当然大きくなる。自由径路は、衝突断面、単位体積の粒子数 n 、一つの粒子の速度 v_1 と他の粒子の平均速度の比 $(v_1/\bar{v}_{rel})$ によりきまる。粒子の大きさ同一とすれば

$$\bar{\lambda}=\frac{d}{6(1-\epsilon)}\left(\frac{v_1}{\bar{v}_{rel}}\right) \quad (7)$$

ただし ϵ は空間率である。速度比は Maxwell の分布法則を仮定して $1/\sqrt{2}$ を入れると

$$\bar{\lambda}=d/10(1-\epsilon) \quad (8)$$

となり、破砕により d 従って $\bar{\lambda}$ は小になる。衝撃粉碎機では $1-\epsilon \approx 10^{-2} \sim 10^{-3}$ であるから、 $\bar{\lambda} \approx (10^1 \sim 10^2)d$ となり、 $d \geq 100 \text{ mm}$ の粗砕では $\bar{\lambda} \geq 1 \sim 10 \text{ m}$ 。すなわち粒子同志の衝突はめったに起らない。すなわち粉碎体における衝撃過程が支配的である。ジェット粉碎では $d \leq 10^{-1} \sim 10^{-2} \text{ mm}$ で $\bar{\lambda} \geq 1 \sim 0.1 \text{ mm}$ である。飛行距離は少くとも数 mm だから、超微粉碎では本質に粒子の相互衝突によって為されることを目的としている。

衝突における最大応力

粉碎では如何なるエネルギーが変形仕事として粒子に入るかだけでなく、その際にどんな大きさの最大応力が発

生するかが問題になる。応力の分布は形状に関係する。粒子の形は常に不規則で未知だから、最大応力を正しく決定するのは不可能であるが、次元解析によって興味ある結果がえられる。

弾 性 応 力

衝撃を受ける物体の幾何学的な相似形

一物体が一定の衝撃速度で他の物体に衝突する。第2の物体の質量形状及び弾性の大きさは当然応力に関係してくるが、簡単のために平たく ∞ の質量をもち絶対的な剛体と仮定する。最大応力 $\sigma_{\max}$ について次元解析の結果

$$\frac{\sigma_{\max}}{E} = f\left(\frac{\rho v^2}{E}\right) \quad (9)$$

ここに E は弾性率、 ρ 密度、 v は衝撃速度である。関数を冪で表わし、かつ波動伝播速度 $a = \sqrt{E/\rho}$ を入れると $\sigma_{\max}/E = \text{const}(v/a)^{2n}$ (9')

物体の幾何学量の変化

上述の一般的法則の最も簡単な解は直線的弾性衝突の場合にえられる。単位体積の弾性変形仕事は衝突前の運動のエネルギーに等しいという式より

$$\sigma/E = v/a$$

となり (9)' 式より $n = 1/2$ となる。衝突位置における最大応力には物体形状も関係する。一例として曲率半径 r なる球状面を入れ次元解析を行い、幾何学的相似すなわち容積 $\propto r^3$ を入れると結局 (9)' 式を得る。この関係は、衝突における弾性理論による球の平面化と圧力、応力とに関する Hertz の式から導かれるものである。その一般式は

$$\sigma_{\max} = 0.0984^{1/5} \left(\frac{m_1 m_2}{m_1 + m_2} \right)^{1/5} v^{2/5} \left(\frac{1}{r_1} + \frac{1}{r_2} \right)^{3/5} \left(\frac{1 - \nu_1^2}{E_1} + \frac{1 - \nu_2^2}{E_2} \right)^{-1/5} \quad (10)$$

ν はポアソン比である。ただし v は衝突法線の方向の速度成分のみを考える。 r_1, r_2 は衝突場所における両物体の曲率半径、 E は弾性係数である。 m は偏心衝突のときは換算質量を用いねばならぬ。たとえば弾性特性が同じ、物体2が平面で ∞ の質量をもち、物体1が球状と仮定すると $\nu = 0.3$ に対し

$$\sigma_{\max}/E = 0.518 (v/a)^{2/5}$$

即ち (9)' 式に対して $n = 1/5$ (球状) となり、要は幾何学量の変化が冪だけの变化になることを示す。よって Hertz の式より、 σ に与える影響量は $E^{-1/5}$ 、 $r^{-3/5}$ 、 $v^{2/5}$ 、 $m^{1/5}$ に比例する。最も大きい影響は弾性係数、次が衝突位置の曲率半径であることに注意せねばならぬ。

$$\begin{aligned} \sigma &\sim E^{1/5} & E &\approx 2/\left(\frac{1}{E_1} + \frac{1}{E_2}\right) \\ &\sim r^{-3/5} & \frac{1}{r} &= \frac{1}{r_1} + \frac{1}{r_2} \\ &\sim v^{2/5} \\ &\sim m^{1/5} = \rho^{1/5} \cdot l^{3/5} \end{aligned}$$

E が衝撃速度によって増大すれば益々衝撃粉碎は有効であり、 r の影響からは粉体の端を鋭くする (緻密には冪 n が変るが) ことで、カッターミルはその応用であり、可塑性物には独占的に用いられよう。ただこれらは磨耗という問題である限界があるから、結局 $\sigma_{\max}$ に与える最も重要な因子は衝撃速度となり、衝撃粉碎機では約10から200~300m/sec に及ぶ。

衝撃速度と強度の適応性

一定の被粉碎物と、任意の粒子形状に適合すべき与えられた粉碎体の形においては、衝撃速度が唯一の変量である。

粒子大きさの影響

物質の強度を越したときに破砕が起る以上、同一強度ではあらゆる粒径に対し衝撃速度は一定にすべきである。実際には強度は粒大により異なる。粗大粒子では強度は比較的小さく、粒子が小さいほど均一性のために強度が増す。ゆえに衝撃破砕機では周速は20~40m/s 高速の Stiffmühle では150~200m/s までである。

空気摩擦の影響

粒子運動の尺度としての静止空気内の飛行距離

自由飛行の間に粒子は空気摩擦のブレーキをうける。たとえば1箇の球型粒子が一定の初速 w_0 で静止空気を飛ぶならば、運動の法則を適用して

$$-\frac{\pi}{6} d^3 \rho_G \frac{dw}{dt} = -c_w \cdot \frac{\pi}{4} d^2 \rho_L \frac{w^2}{2} \quad (11)$$

ρ_G, ρ_L は粒子、空気密度

c_w は抵抗係数で近似的に $c_w = a + b/R_0 = a + b\nu/wd$ $R_0 = \text{レイノルズ数} = wd/\nu$ とおく。これから飛行距離 s を求めると

$$s_0 = \frac{4}{3} d \frac{\rho_G}{\rho_L} \cdot \frac{1}{a} \ln \frac{aw_0 + b\nu/d}{b\nu/d}$$

ストークスの法則では $a=0$, $b\nu/\rho_L = 24\eta$ より

$$s_0 = \frac{1}{18} d^2 \frac{\rho_G}{\eta} w_0 = \frac{w_0}{g} w_0 \quad (12)$$

すなわち初速 w_0 の粒子がブレーキをかけられるまでの窮極の飛行距離 s_0 をうる。この関係を Fig. 3 に示す。

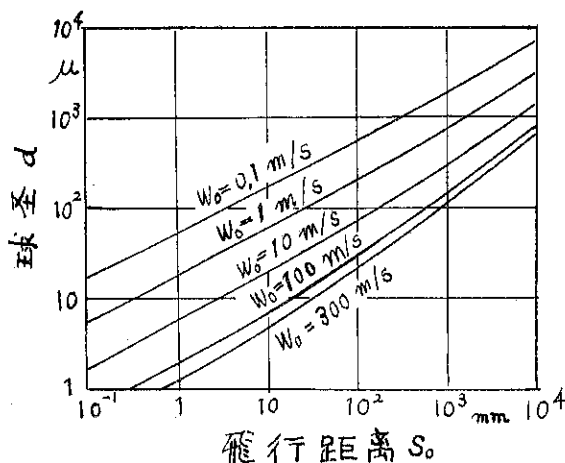


Fig. 3. 20°Cの静止空気内における直径 d の球と飛行距離 s_0 : 球の密度 $\rho=1\text{g/cm}^3$ 、初速 w_0 .

たとえば 1mm 直径の粒子は 10m/s の初速で 6 m の s_0 をもつ、つまり空気抵抗は問題にならない。100 μ は 10m/s で 160mm となる。すなわち粒子の飛行する路はできるだけ 100mm より大きくしないように選ぶべきである。この大きさは微粉砕口広く、ミル内飛行距離は一般に 100 mm より小さいから、衝撃速度はロータ・ステータの距離には影響されぬ。

10 μ の粒子は 100m/s でわずか 16mm、5 μ は 5mm、1 μ 粒子はわずか 0.25mm である。もし 5 μ 粒子をロータの速さでふりとばし、ステータの面にぶつける方法で粉砕するには飛行距離はせいぜい数 mm 程度となる。

流れが取巻いている粉砕体への衝突

粉砕体は、大抵そのまわりや附近を空気が流れている。回転する粉砕体では第一近似として、相対的な流れ速度は粉砕体の周速とひとしいとする。さらにミル空間を貫流する空気流れがこれに重なる。粉砕のためには、粒子は前以て与えられた相対速度を変えずに、固定もしくは運動している粉砕体に当るべきである。空気は流れにおける粒子を伴走しようとするが粒子の道は流線とは異なり、この特性運動の尺度として自由飛行距離 s_0 を用いることができる。

これは滞留面に対する粒子の捕集と同様に取扱い、Sell が示したように無次元項 ϑ が同一ならば粒子軌跡は相似である。

$$\vartheta = \frac{s_0}{B} = \frac{w_f}{g} \cdot \frac{v_0}{B}$$

ただし w_f = 沈降速度、 $v_0 = w_0$ 、 B は衝突体の巾。一方脱塵効率 ϵ は ϑ の関数であり、これは有名な Ranz らや Sell などの研究によって図示されており、これをきわめて大ざっぱに ϑ に対して直線的、すなわち粒子の大部分が衝突すべきときには ($\epsilon=1$) $\vartheta = s_0/B \gg 1$ とおきうる。

Fig. 3 より、 $v_0=100\text{m/s}$ の粒径は $s_0=12\text{mm}$ となる。ゆえに粉砕体の巾 B はせいぜい数 mm にとることである。100 μ 粒子では $s_0=160\text{mm}$ 、ゆえに巾 B は大して影響しない。明かに粒形は考えねばならぬ、たとえば細かいセシイ状物質は s_0 が小さく、従って B は小さくする。かくしてよい結果を得た例がある。

粒子の自由飛行距離の影響

さて小粒子では事情によっては、衝撃体から衝

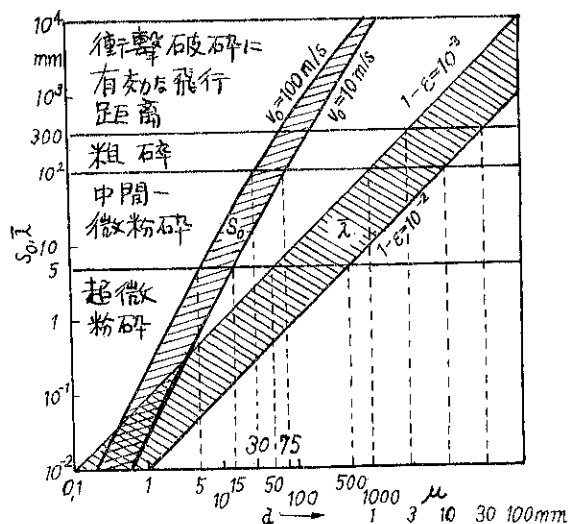


Fig. 4. 初速 $w_0 = 10 \sim 100\text{m/s}$ に対する 20°C の静止空気内の球径粒子 ($\rho=1\text{g/cm}^3$) の最大飛行距離 s_0 : 気体分子運動論による自由径路 $\bar{\lambda}$

撃体へ自由飛行を許すには、その自由飛行距離がもはや十分大きくないことがある。Fig. 4 に自由径路 $\bar{\lambda}$ を $1-\epsilon=10^{-2} \sim 10^{-3}$ (前述) に対し、また飛行距離 s_0 を $w_0=10 \sim 100\text{m/s}$ に対して粒径 d に関しプロットした。従って λ 曲線は (s_0 でなく)、前述の衝撃応力が粉砕体で起るべきときには、飛行方向におけるロータとステータの距離の上限を示す。許される距離 l は

粗砕機で $d < 100\text{mm}, l > 1 \sim 10\text{mm}$

中砕 " $d > 1\text{mm}, l < 10 \sim 100\text{mm}$

微粉碎 $d > 100 \mu, 1 > 1 \sim 10 \text{mm}$

10μ 以下では反対方向の粒子衝突が非常に起り易い。超微粉碎機では反対方向の粒子応力はすでに解説済みであり、この一つの特徴として顔料の粉碎がある。ロータからステータへの道の途中で多くの衝突頻度をもつことは、利用できる衝撃速度は小さいが、比較的ゆるい凝集体の顔料粒子にはむしろ希望されることである。

流体ジェットミルでは粒子の加速にガスの放射をえらぶ。過熱蒸気や圧縮空気のノズル内で 300m/sec 以上で放出され乱流混合により他の粒子と衝突する。一定のスピードに加速されるまでにどれだけの距離を空気の流中でとどまるべきかは計算される。たとえば空気流速 300m/s において 10μ 以下では 1mm 以下ですでに 100m/s 以上に達し、 1mm の大きい粒子は 200m/s でやっと 100m/sec まで加速される。かく細粉は十分短かい加速距離をもち、自由飛行長さをもたぬために、ジェットミルは超微粉碎に対して運命づけられたものである。ジェット粉碎のメカニズムは砂糖の発光を利用して実験した結果、第一に放射点近く、第二に壁における衝撃位置（これがない場合もある。ジェットの数により）において粉碎が行われることを認めている。

Fig. 4 は結局、非常に小さい粒大では、衝撃粉碎に対し一つの粉碎能力限界、すなわちもはや十分に大きい衝撃応力には達しえぬところのあることを示す。それは粒子の飛行距離 s_0 がその自由経路よりも小さいときである。

$$s_0 > \lambda$$

この限界は $0.1 \sim 1 \mu$ 以下にある。すなわち粒子は自由飛行中強くブレーキがかかり、衝突のさいに十分な相対速度には到達しない。それ以後は粒子は空気流に同伴する。

衝撃粉碎の所要エネルギー

粒子がミル内に滞留する間、平均として衝撃体の運動方向に一定回数の衝撃を受け、またこの衝突が平均として一定の衝突速度で起ると仮定すると、衝撃粉碎の所要エネルギーが求められる。

エネルギーの観点からは小さい平均応力速度と大きい衝突頻度をもって応力をかけるのは恐らく不適当であろう。全衝突エネルギーが使用されると仮定すると、たとえば一回の衝撃は半分の速度で4回行ったものに相対する。しかし半分の速度で繰返し衝撃の疲労が結果として同じ粉碎になるかは疑問である。損失仕事を比較的小さくするように平均応力速度を調整すべきであろう。これは物質の性質と要求される粒径分布によって方向がきまる。

粉碎体の運動方向における速度変化 Δw は粉碎体の速度 v にほぼ比例し

$$\Delta w = av$$

平均して一つの粒子は $n = n_1 + n_2$ 回の Δw なる速度変化をもつ衝突をうける。 n_1 は損失衝突、 n_2 は粉碎を伴う衝突に関する回数とする。従って粉碎体の力 P は M_t を全質量として

$$P = M_t \cdot n \cdot \Delta w = M_t(n_1 + n_2)av$$

比仕事量

$$A_m = \frac{Pv}{M_t} = (n_1 + n_2)av^2 \quad (13)$$

A_m を $[\text{kwh/t}]$ 、 v を $[\text{m/s}]$ であらわせば

$$A_m = (1/3600)a(n_1 + n_2)v^2 \quad (13')$$

粉碎体の速度 v において丁度平均して1回の衝突が $\Delta w = v$ で起ったとすれば、エネルギー所要量は

$$A_{m,th} = (1/3600)v^2 \quad (14)$$

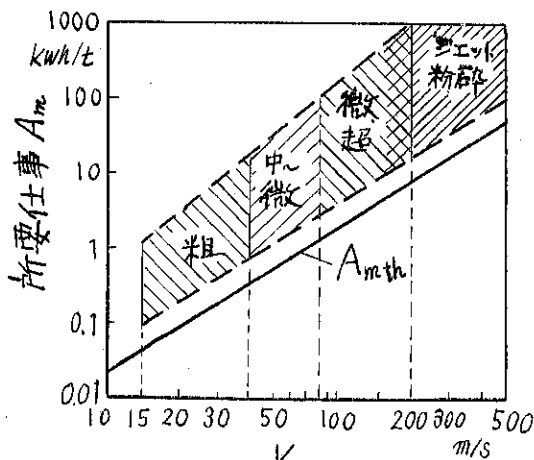


Fig. 5. 衝撃粉碎の所要エネルギー

Fig. 5. には粉碎体の周速に関し $A_{m,th}$ の値が(14式)により示されている。比較すると衝撃粉碎機の A_m が帯状部分に入り、これより $a(n_1 + n_2)$ の値が $3 \sim 100$ にもなりうるがよくわかる。物質の粉碎能と種々の粉碎効率の違いによってこの大きい帯を説明できる。またこの図から $a(n_1 + n_2)$ の値が v に無関係に同じ限界内にあることもわかる。

第一番に決定的な影響量である速度は、いろいろの粉碎範囲を順序づける。 $15 \sim 40 \text{m/s}$ では明かに粗粉碎、衝撃破砕があり、 $40 \sim 80 \text{m/s}$ では中間または微粉碎、 $80 \sim 200 \text{m/s}$ では超微粉碎である。ジェット粉碎は粉碎体の速度によって特性づけられないが、ジェットの速度をその速度と仮定すれば、その範囲は $150 \sim 200 \text{m/s}$ 以上の運動粉碎体をもった超微粉碎に従う。

粉砕機械に関する最近の特許発明について (2)

特許庁審査第2部 安 達 功

微粉炭を燃料とする汽缶の石炭粉砕装置

(昭和81年特許出願公告第10044号、出願人河向達郎、川崎市)

本発明は大体コマ状を呈する粉砕室の内部に倒碗状の分級室を設け、その上面には衝撃板を設け内部は上下2室に区劃し、そして上部には汽缶燃焼室に通ずる微粉炭供給管を設け、下室には分級案内羽根を装置した漏斗状垂筒を設置し、更に該筒に透管を下垂し又粉砕室の上部に噴射管を設け、其の内部上位に原料炭噴射ノズルを設け、又側方にネジ給炭機及熱気供給管を設け、更に噴射管と粉砕室の下端とを循環管で連通し、其の下方彎曲部に循環ノズルと鉄片受出口とを設けて成る微粉炭を燃料とする汽缶の石炭粉砕装置に係るものである。

本発明の目的とする所は、電動機、内燃機関等を主動力としないで気圧による衝撃と被粉砕炭の相互摩擦粉砕を利用した石炭粉砕装置を得ようとするものである。

図面について本発明を説明すると、大体コマ状を呈する粉砕室1の内部に倒碗状の分級室2を設けその上面には衝撃板3を設け内部は上下2室4,5に区劃し、上室4には汽缶燃焼室に通ずる微粉炭供給管6を設け下室にはハンドル7を廻転するとその廻転がFig.10に示す様に多数の齒車8に連動して開閉され、且つ其の開閉度を調節できるように構成した分級案内羽根9を備えた漏斗状垂筒10を設け、更に該筒内に透管11を下垂する。又粉砕室1の上部には噴射管12を設け、該管の内部上位に原料炭噴射ノズル13を設け、又側方にネジ給炭機14及熱気供給管15を設け、ネジ給炭機及び貯炭槽17内の攪拌機16を電動機により廻転するようにしている。又原料噴射ノズル13はFig.11,12に示すようにほぼ中央の側面に突子a,aを備え、そして其突子は筒体bの縦溝c,cに摺動自在に挿嵌され、且つその先端は筒体bのネジに螺合する回動環bの環状凹溝g内に嵌入され、ノズル調整ハンドル18を廻転すると回動環fは上下に螺進する。回動環fが上下に螺進すると廻子a,aは縦溝c,cをガイドとして上下動しこれに伴って原料噴射ノズル13は上下に動く様構成されている。そしてこの原料噴射ノズル13の下端の臨む噴射管12の上部は熱気供給管15に連通させる。粉砕室1の上部を循環管19に連通し、又循環管19の下方彎曲部分に数個の循環ノズル20と鉄片取出口21を設置する。

今本装置に於て、貯炭槽17内に原料炭を入れ、原料噴射ノズル13から高圧(2kg/cm²程度)の過熱蒸気を超高速で噴出し、これを同時に熱気供給管15から送り込む

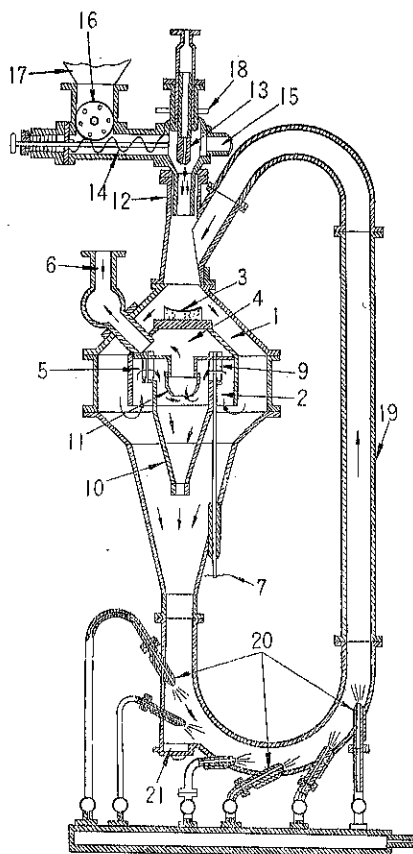


Fig. 9 は本発明装置の縦断正面図

ときは、攪拌機16は原料炭を攪拌しながらこれをばぐし、噴射管12内に移送する。そして噴射管12の上部内に運ばれた原料炭は原料炭噴射ノズル13から噴出する高圧過熱蒸気のため噴射管12を通過し高速で衝撃板3に衝突する。そのため原料炭はこの際瞬間的に衝撃粉砕され、粉砕室1内に飛散降下される。そしてこのように飛散降下された微粉炭及び粗粉炭は分級室2の下部に行くと粗粉はそのまま循環管19の彎曲部に落下し、その落下したものは循環ノズル20から噴出する高気圧のために循環管19内に急速に吹き上げられ、その際粒子相互間の摩擦で

粉碎されながら噴射管12の下部に返送される。又微粉は分級案内羽根9の間を通過して漏斗状垂筒10内に押出され、その押出された微粉中極く微細なものだけが透管11の下端からその内部に押上げられて上室4に入り、次いで微粉炭供給管6から汽缶室に送られるものである。

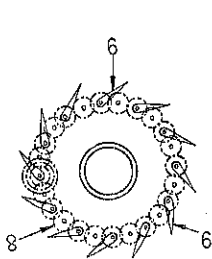


Fig. 10 分級案内羽根の平面図

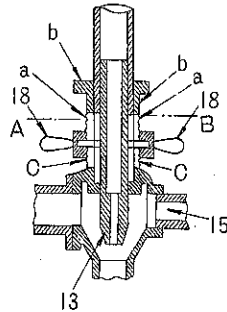


Fig. 11 原料噴射ノズルとその調整ハンドルの綜合部の正面図

以上のように本発明は動力を使用しないで汽缶の高圧蒸気で衝撃板に衝撃させて粉碎し、更にこれと同時に循環内に吹き上げられる際の粒子相互間の摩擦粉碎とによって循環的に粉碎作用が行はれるもので非常に高能率であるばかりでなく、その粉炭選別に当っては先ず分級室2の下部で第1の選別を行い、次いで分級案内羽根9の部分に於て第2次の選別を行い、更に透管11の下部に

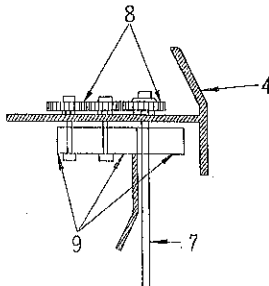


Fig. 12 はFig11のA-B線横断面図

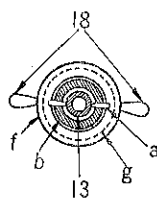


Fig. 13 は分級案内羽根とハンドルと取付部分の正面図

於て第3の選別を行うため供給炭6に送られる粉炭は極めて微細であり、然もメッシュは分級案内羽根のハンドルを廻わして任意に求めることができる。

<特許請求の範囲>

本文に詳記し図面に示すように大体コマ状を呈する粉碎室の内部に倒梳状の分級室を設けその上面には衝撃板を設け内部は上下2室に区劃しそして上室には汽缶焼熱室に通ずる微粉炭供給管を設け下室には分級案内羽根を装置した漏斗状垂筒を設置し更に該筒内に透管を下垂し又粉碎室の上部には噴射管を設け其の内部上位に原料炭

噴射ノズルを設け側方にネジ給炭機及熱気供給管を設け更に噴射管と粉碎室の下端とを循環管を以て連通し其の下部彎曲部に循環ノズルと鉄片取出口とを設けて成る微粉炭を燃料とする汽缶の石炭粉碎装置。

固体物質の粉末製造法

(昭和36年特許出願公告第9409号、出願人高橋麟太郎 東京都世田谷区)

本発明は固体物質特に融解点を持つ金属、酸化物、化合物等の粉末製造法に係る。

即融体(融解点を有する)からある冷却速度以上(例えば $10^{\circ}\text{C}/\text{sec}$)で急速に冷却すれば当然固体となるべき温度を過ぎるも依然融体の状態で尚存在し、その瞬間粘状は極度に低下する。従って表面張力も甚だ小さくなる。このとき適当なる方法にてこの融体にショックを与えることによりその融滴は無数に分裂離散する。そのショックの程度により、小は元素の大きさに近いと考えられる程度のものから自由な大きさの粉末を作ることができる。

先ず本発明の骨子をなす融体を急冷して固化する際に生じる「超流動的挙動」について説明すると、一般に融体の冷却の際における時間—温度曲線は Fig14 の如くであって、ab は融体、de は固体の部分であり、bc の水平部分は融点である。

この水平部分に於ては凝固の潜熱と傳導及び割射等によって失われる熱量とが相等しい。ところが融体の熱容量を小さくし、この保有熱量を急激に融点を通して移動せしむれば、即ち急冷すれば著しい過冷現象が生じる。(Fig15参照) このとき b 点にて示す融点を過ぎるも融体のまま温度は低下し、その際 bc の間にてその粘性は異常に低下する。cde に於て潜熱の放出により逆に b 融点以上にも温度の上昇をなす。そして e 以下に於て凝固の過程に入る。

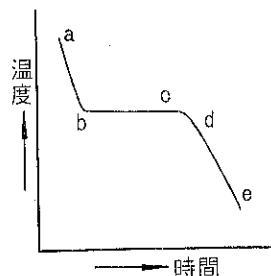


Fig. 14

本発明者はこの粘性異常低下と瞬間的に急激なる潜熱の放出現象を綜合して「超流動挙動」と称し、この現象の際に融体にショックを与え粉末製造を行わんとするのが本発明の方法である。

本方法は融解点を有する金属、非金属、化合物等の非常に多くの物質に適用し得る方法であって従来困難とされていた柔いもの(例

えばPb) 又甚だ硬いもの(例えば炭化物、酸化物)に関せず、融解点の高低に拘らず全てのものに適用できる方法である。

発明者は次のような実験結果を例示している。

例 1

390~420°Cに保持せる炉中に置いた黒鉛 ルツボ中で

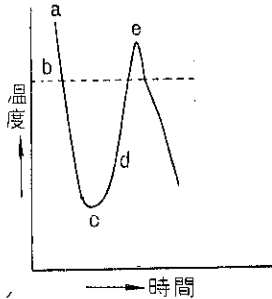


Fig. 15

Pbを熔解し、ルツボの底部に径1mmの小孔をあけ、これをストッパーを用いて開閉し得る如く設置し、この小穴から下50cmにあるアルゴンガス雰囲気

で100°Cに加熱した酸化鉄塊上に鉛を自重噴出せしめて重力衝突させたところ、熔融鉛は酸化鉄により衝突瞬間に冷却されると同時に霧散して約20μの径を有する粉末に離散し凝固した。

次に $ZnCl_2$ 、 NH_4Cl を原子%にて1:1の割合にて混じった溶剤中(260°C)に流下せしめ、流下する小孔より下20cmの所に流下の方角と直角に20kc、100wの出力を有する超音波の出力をあてたところ、鉛は溶剤によって過冷却せられ、丁度超音波部分にて霧散し、5μの径を主とする粉末を得た。

例 2

2つの黒鉛極間に弧光を作りこの中に Al_2O_3 或は SiO_2 、 ZrO_2 等の粉末(何れも50μ程度のもの)を少しずつ入れ、溶融落下せしめ前記の溶剤を1000°Cとして超音波を加えたところ、5μを中心とする粉末とすることができた。

又この場合と同様にWCの10μの粉末を電弧間に入れ同様に落下せしめた場合3μにすることができた。

<特許請求の範囲>

融解点を有する物質の融滴を他の固体及び液体若は夫々によって急速に冷却せしめ、超流動的挙動を可能ならしめる状態を生ぜしめて、これにショックを与え融体を瞬間的に分裂離散せしめて作ることと特徴とする固体物質の粉末製造法。

厨房残滓処理装置

(昭和35年特許出願公告第15990号、出願人藤木謙一郎、東京都渋谷区、外1名)

本発明は調理屑を微細な粉状体に粉砕して、水で洗い流し下水に放出して処理する厨房残滓処理装置に関するもので、処理ケース内に装置した落出口を円錐形に形成し内面に末広の3段階で形成した缶を有する固定臼内に

回動軸と角度 θ だけ偏位した回転中心をもった3段に形成した回転歯を挿入し、該回転歯の上端を切断刃を有する幅体で回転軸に締付けて切断刃によって野菜屑等の長いものを切断すると同時に送り込み作用を行い、第2段階において偏位した回転歯で容積高化を行いながら、骨や貝等の強堅なものを押しつぶして切削及び剪断作用を行い、次いで径をやや大とした歯で更に切削と剪断を行って野菜屑等はどろどろに、且や骨は粉状体となして殆んど泥状にして次の工程に送り込む。次いで偏位していない歯で磨潰しを行って微粉となし、水で洗い流して下水に放出を行うようにしたもので、野菜屑等のように柔軟なものと、魚の骨のように強堅なものと性質の異なるものを一つの装置で微細な粉状体に粉砕して処理しようとするものである。

本発明を図面について説明すると、上部をフタ58で覆うようにした処理ケース40の内壁50及び該ケースを定着した導樋匣25の上部は逆円錐形の落出口2を開口した固定臼1を嵌合して、この臼の一端に螺合した環状の締付部30を外匣37で支持した導樋匣25の定着部36を挿通して締付部30に螺合し、固定臼1を常時下方に引下げて一定位置に保持するようになし、導樋匣25の一端に螺合した案内ピン38が固定臼1の一端に穿った案内溝52に係合して案内ピン38で案内回動しないよう上下に摺動するようになしてある。固定臼1の内面は逆円錐形の落出口2の下端にやや末広となしてスパイラル状の剪断面3を設け、その下方は大きく傘型となしてスパイラル状の傘型粉碎歯4'を形成し、その下方は球面状となしてスパイラル状の磨潰面4を形成して3段階の歯を構成している。

導樋匣25の中央部には上下に突出して軸受止16で下端を密封した軸ケース13が設けてあって、その内部には回動軸14が軸受12、15で嵌挿されており、その先端部10にキー11で固定臼1内で回転歯6を軸着し、ネジ部9に戻り面で形成した切断刃8を有する幅体7を螺合しており回転歯6は回動軸14の中心点0を中心として、回動軸から θ の角度だけ偏位した回転中心をもつように軸着してあって、上端は円滑面5を形成し粹砕物の落下を容易にて、その下部は固定臼1の剪断面3と対応してスパイラル状の回転剪断面Aを形成し、その下方は同様に前記粉碎歯4'に対応して径を大きく傘型となしスパイラル状の回転粉碎歯Bを形成し、その下方高さSは同様に前記磨潰面4に対応して回動軸14の中心点0を中心として半径Rで画いた球面状となして回転潰面Cを形成して、回動軸14の一端に形成したテーパ部17にボス18をテーパで形成したブリー22が嵌合して中間に弾性体19を介在させナット20で締付け、ブリー22の回動で回転歯6をFig. 17矢印Nの方向に回転するようにしてあり

回転歯 6 の回転によって粉状体となった粉砕物は処理ケース 40 からの流水により導樋 26 を通って導樋 25 に定着した流下樋 44 の内部 51 に流下し、停止網 41 の通孔 42 を通って排出口 49 から下水に放出する。

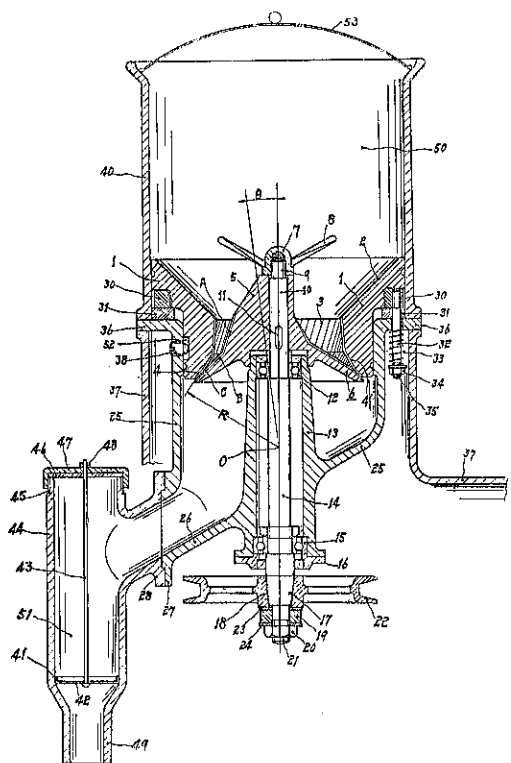


Fig. 16 本発明装置の実施例の縦断正面図

本発明は上記のように固定臼は傾斜面で落出口 2 を開口して内壁にスパイラル状の歯を切って剪断歯 3、粉砕歯 4'、磨潰歯 4 を順次 3 段階に形成して回転軸 14 に対して

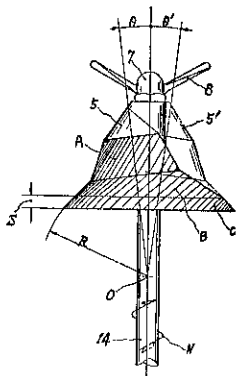


Fig. 17 粉砕歯の正面図 処理物の繊維類は切断歯 8 によって切断すると同時に掻揚して傾斜面で形成した投入口から流下して次の剪断歯 3 と回転剪断歯 A の間に送られる。この際魚の骨などは切断面 8 が振り面で形成してあるので回転力によって或程度は小さくするか多く

は送り込み作用のみをなす。

剪断歯 3 と回転歯 A の間に送られた処理物は回転剪断歯 A が回転軸 14 に対して角度 θ だけ偏位しているの一回転毎に容積変化を生じつつ回転し、柔軟なものは勿論、強堅なものも押潰しを切削及び剪断作用をなして下方に送り込まれる。この切削抵抗と送り込み作用とは比例する即ち、切削や剪断のし易いものは送り能率も大きいと云うことになる。

又固定臼に歯を 3 段設け、回転歯も 3 段設けて各歯は順次径を大となして回転周速度が順次大きくなるよう設けてあるので強堅な貝や骨等の処理物は順次小さく粉砕して無理なく微細な粉体状にすることができる。

＜特許請求の範囲＞

本文に詳記するように処理ケース内に傾斜面で形成した投入口を開口し内壁スパイラル状の歯を 3 段に設け、上 2 段を円錐形となし最下段を球面状に形成した固定臼内に、上端に円錐形の円滑面を設け、その下部にスパイラル状の歯を 3 段に設け、上 2 段を円錐形となし、最下段を球面状に形成した回転歯を先端に振り面の切断刃を有する帽体を定着した回転軸に対して最下段を中心に上 2 段の回転中心を偏位して軸着し、両球面状の歯は常時小間隔を保持し、他は 1 回転毎に容積変化を生じ、順次周速度を速めるようにしたことを特徴とする厨房残滓処理装置。

[52頁より]

フィーダーのモーターが止まり、一定時間停止後再度フィーダーが回転する様にされていたのであるが、マイクロモニターは、メインモーターの電流量が、或一定の値に復した時に自動的にフィーダーモーターが運転される様になっている。

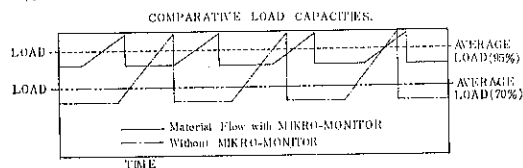


Fig. 8 ホソカワ/マイクロモーターによる負荷の状態

マイクロモニターを使用すると、Fig. 8 に示す如く、ミルロードが安定し、粉砕能力を約 2.5% 増大出来常にフルロードの 95% 以上で運転する事が出来る。

§ 3 終りに

以上、今回当社が技術導入した P.M.C 社のマイクロ製品について、その概要を説明したが、頁数の関係もあって、詳細には述べられなかった。後日又、説明の機会もあらうと思うが、詳細については、株式会社細川鉄工所企画室森本迄資料御請求戴けば、必要資料御送附致します。

H. E. Rose 教授の思い出

金沢大学工学部 田 中 達 夫

本誌 No. 7 の座談会に、Rose 博士は大変こわい先生で云々とあるのを読んで、思わず噴き出した。その Rose 教授はかねてあこがれてやまなかった日本へ招待され、化学工学協会の記念シンポジウムはじめ各地で講演や討論を行い、カールスルーエの Rumpf 教授とともにいろいろその該博な知識を残して行ったのは記憶に新しい。実は私が昭和35年5月に Rose, Rumpf 氏を訪問したときは、とくに Rose 氏は来日望んでいたが、こんなに早く再会できるとは当時考えもしなかった。各地での講演を通じて粒度測定、振動粉碎、ボールミル粉碎その他粉体工学一般をはじめ、英国の工業教育などに関する知見や見解には直接間接にふれた方は多いと思うが、日常生活を通じてのお人がらについて、私の感じたままを書かせていただきたい。

とにかく Rose 先生は相当神経質—というよりも要領深い—というか臆病な面がある。来日する前から約1カ月の予定が何月何日はどこへ次はあそこへ、何時から何時までは……という調子である。汽車に乗るにもこの通りである。席を予約したか、切符は買ったか、落していないかどこへ切符をしまったか、自分が持った方が安全だ—というので、私がポケットからお金やら鼻紙やらと一緒につかみ出すと、顔をしかめ“君はもっと科学者らしく保管方法を考えるべきだ”。日本語を一つ勉強するかというわけで“君あれは何て書いてある？”みると（スリに御用心）“そんなものがいるのか”と驚ろいて心すでに日本語にあらずふところを押える有様だ。羽田発のときは時間厳守が勢あまって離陸の3時間前に到着し、航空会社の人を驚ろかせ、こっちも時間をもてあましてウンザリした。

何事につけ英国との比較が得意である。名古屋から金沢へくるときの列車が運わるく大混雑。例によって乗車時の押しあいへし合いの末、私はやっと彼のために一つの席をみつけた。“おーい田中君、席はあったか？”と Rose 氏、向うの方でモミクチャになりながら大きな鼻に汗をかいている。漸く坐ると厳かな顔で“英国ではこんな混乱は絶対にない。必ず順序よく列を作るんだ”。まことにお恥づかしいお国柄だが温和しく列をつくってはいは Rose 氏の坐る席は到底なかったんだ）“じや先生、ずっと金沢まで立ってゆきますか。僕は何とか坐りたかった。折角1等に乗ったんだから”。というた“実

は、僕だって君以上にそれを欲していたよ。5時間も立たされてはかなわん。ところで君、この車は2流じやないか？”とにかく2流がお嫌いのようだ。そういう彼自身、時代離れしたローカル線で毎日大学へ通っている筈だが——。

アメリカ人の物の考え方を手ひどくこきおろし、英国人こそ正しい方向にあることを強調し、あこがれていた日本の到る処がアメリカ流にスポイルされているのを残念がっていた。とくにホテルが気に入らない。小さく静かな日本の旅館は快適だろう—と—いっていたが、金沢でとまった恐らく初めての日本間では、流石に背中と腰とひざがガタガタになったらしい。口でこそ“ア、蘇生した思いだ”—と—いっていたが。

流石に北陸へくると、アメリカナイズされてるとはいわなかった。その代り“こりや百年はおくれてるね。少くとも道路に関する限り”と車の中で身体ごととび上りながら彼はうなった。“それにこの地方では、馬の代りに牛を使っている。これは君、低開発国のシンボルだよ、僕の知ってる限りではフランスの東南部とアフリカがその例だ”。“君のつとめている金沢大学は恐ろしい建物だね、僕は、200年前にできたのかと思ったよ”

何事も Scientific …である。“どうも日本の酒宴はおかしい。君をみると胃が痛むくせに酒をムリに飲んでるし、人はムリにのせようとする。全く理解の外だ”“イヤそれが人の好意というものをですぞ…。デリケートなもんで—”“何故ドクターがいかん—と—いったといわんのだ。もし君がそのために死んでも、酒をのませた奴等は何とも思わんぜ。悲しむのは君のワイフだけだ”。“しかしアルコールは少しは体にいいそうですね、それに第一、一寸ひっかけると舌の回転がよくなって英語がうまく出てくるよ”馬鹿いえ、酒をのんだ英語なんてサッパリ判らぬ—という調子で、とうとう Rose 氏が羽田を発つまで禁酒禁煙を申し渡されて了った。こっそり吸っている処へ彼が現れたので、日頃煙草を吸わぬ弟に押しつけて、ムリヤリ彼の前でデモンストレーションをさせる始末である。本当に真面目な英国人らしく心からの親切でいってくれてるので笑い事にできない。煙草と肺ガンについては大分論争したが、彼は三つの違った国で出た統計上の結論を信づる以外はないという。私のような Heavy Smoker は大馬鹿にみえただろう。温泉に行き、

寛ろいで、さあ湯に入りませんかと誘っても、風呂へ入る時間は血管の膨脹収縮の関係から何時がよいという自説をまげぬ。そのくせ食事のし方が猛烈に早いのでどうもその点は感心しませんねという。『ナニ僕は歯が十分つめてあるから普通の人より粉砕確率がずっと大きいからね』。

歯のことで思出したが、『日本女性一般にチアフルであるが、どうかすると金歯をやたらと見せびらかすように観察される。金歯を装飾的に考えているのかね。英国では、たとえ入歯をしても銀とかなるべく目につかぬ色をえらび、金を入れるときにも裏のみえぬ処へ入れるようにするんだ。また低開発国のイレズミなどに関連して何事かを連想していたのかも知れない。』

『日本の印象を一口にいえば、その対照が余りにも大きいことだ。自然の風景はまことに美しい。ところが一方ではその自然を平気でぶちこわすようなつまらん工場が建つことだ。兼六公園というのは六つの美の要素を兼ね備えたのだというが、その第7の要素はつまらん工場があちこちにみえるとつけ加えねばならぬのと違う？。』

『日本人の子供に対する愛情はまことにこまやかで美しい。そして一方では女卑の傾向がひどい。農村の女性の

働き方をみてもよく判る。宿の女中に対する男客の態度は全く横柄そのものである。戦争ともなると、一日めし一杯で捕りよの尻を叩いて強制労働をさせる。つまり人の命を軽視する傾向があるのではないか？自分の命も大事にしない代りにね』そして機会あるごとに真のジェントルマンシップを説明してくれるのであった。

私の仕事に対しては歯に衣きせずボロクソに批判したが、日本の粉砕機についてもチョッピリ苦言『粉砕機ほど作り易いものはない。そして優秀な粉砕機を作るほどむづかしいものはない』と、しかしまことに優しい親切な教授であった。『ここが1番気楽で落着く』といって汚い私の家に3度も上りこみ、子供の散らかした玩具を片づけたり（恐らく見かねたのだらうが）、毛色の変った化物と思われんようにと、子供にマリを買ってくれたり、協会の記念品の双眼鏡をくれたりした。紅葉に埋った湯湧温泉の白雲楼ホテル（初めて彼はゴージャスと嘆声をあげたが）の一室で、妻と私と3人で食後ストーブを囲み、Rose 教授から直接聞いた英国の歴史の数々。興にのって夜更ける迄、彼は私達を帰そうとしなかった。妙にしみじみと心温まる快よい夜であった。

(37. 1. 8)

随 筆

P. M. C. の 一 日

私達は、本年8月末より、1ヶ月余り、ニュージャージー州サミットにある P. M. C. の工場
で、調査、見学を行ったが、此の間の生活に就いて、余り固くない話を拾って記して見た。

細 川 鉄 工 所 谷 口 浩
製 造 部 次 長

通勤の途上で

私達はエリザベス市内のホテルに宿をとり、P. M. C. に通勤することになった。ホテルから P. M. C. までは直線距離で80軒位か、自動車での往復には手頃な距離であろう。P. M. C. では古参の太った F 氏が私達を pick up してくれる事に決った。彼はエリザベス市内に住居を構えた古くからの土地の人であった。

午前8時にホテルの前で待つと約束したら、雨の日も、風の日も、（もっとも雨は割合に少く、皮肉にも日曜日によく降ったが、）凡そ2分と遅えないでやって来た。彼は P. M. C. では、所謂時間に拘束されない身分に

あるらしいが、私達と約束したならば、殆んど遅えることがない。かえて、こちらの方が少々遅く起きて、ホテルの食堂でスローモーのウェイトレスのばあさんにぶつかった時などは、途中で表に飛び出して行って、「今食っている最中だから、甚だすまないが少し待って呉れ。」と馴れぬ英語で頼みこむ始末であった。

そのくせ、会社からの指示でもあったのか、P. M. C. まで毎日違った道を案内してくれた。それで真直ぐに飛ばせば30分位の処を毎日40から50分位かかって通った訳である。ニュージャージー州の地図を見れば御判りのことと思うが、エリザベスの車には、飛行場で知られてい

るニューアークの町があり、此の附近から南にかけて、海岸沿いには石油精製、自動車、化学、等の工場が並んでいる。何日かのドライブで私達は ESSO の精油所や広大な研究所、G. M. のオールズモビルの組立工場、シンガーミシンの組立工場をはじめとして、それを取巻く中小の鉄工所等を見ることが出来た。此等の工場地帯は日本のそれに似て、比較的狭い場所に工場が垣をめぐらして、隣接して立並んでいた。しかし、さすがに ESSO や G. M. は広い線の芝生をまわりに置いて、ゆったりした貫録を示していた。

一方、エリザベスから西の山手の P. M. C. のあるサミットやスプリングフィールドは、大体が中流の住宅地で、その間に工場が散在する訳である。エリザベスも住宅都市で、市内の繁華街を離れると、すぐ高層のアパートと、住宅が続く静かな町である。アメリカで中流の家庭と云えば、土地が大体 300 坪に二階建の一戸構えで、二階に寝室が 3 つか 4 つある位の処で、価格は 20,000 \$ 位日本円に直して、7、800 万円位となる。略々同じ構えをした色とりどりの此等の住宅が道をはさんで建ち並んでいる様は、一寸大げさになるが絵の様な風景である。何れも垣根も何も無く家の周囲はきれいに刈り整えられた芝生をめぐらし、樹木の多い住居である。少し奥に行くと、丘の斜面に広い敷地を持った大きな住宅にぶつかるが、F 氏によると、「ずっと高価な」由である。

最近建てられた家は鉄骨と煉瓦のものもあるが、殆んどは木造板張りであって、木と紙は必ずしも日本の専売ではないと、妙な処で安心させられた。

朝のご挨拶

毎日の朝の挨拶も珍しかった。私達が P. M. C. に着く頃は、殆んどの社員が出社している訳であるが、受付の美人交換手を皮切りに、通って行く路の左右の人々と挨拶を交す。それが各人に一人一人声をかけるので、面倒な様な、楽しい様な気持である。二、三人居るから、「お早う」の一言で束にして済ませようと思うが、此処ではそれではいけないらしい。三人居れば三人に順々に挨拶する。先方も順々に挨拶をかえす。そしてその時にお互にニコットとする。特に御婦人相手の時にはこれも悪くはないと思う。別に長たらしい挨拶もしないが、一人一人には欠かせないらしい。

最初はなかなか此のやりとりがすらすらと出ないで弱る。“How are you?” と云はれてすぐに “Fine thank you,” と出るまでに大分かった。すれ違いざまの時などは、まごまごすると途中で通過してしまう恐れがある。

しかし、その朝の挨拶がすむと、かえりまで、すべて

事務的な要件ばかりで、挨拶らしい言葉はない。もっとも私達には外来者のせいとか、少し暑いとか寒いとか、外交辞令も含めて話して来ることもあるが、連中同志ではそのようなことは殆んど無いようである。

ゆっくり、かっちり

仕事中の態度はオフィスでも、工場でも、全く同様で実に落付いている。見た処、アメリカ人はスポーツ以外では走らないものらしいが、歩くにも甚だゆっくりした歩調である。連中はコンパスが大きいから、結構日本人の急ぎ足くらいのスピードが出ているので十分だと思っているのかも知れないが、とにかくゆっくりと歩く。日本人はとにかくチョコチョコ小走りになる傾向があるが、御多分に洩れず私も同様で、はっとあたりを見廻して、思い直したようにゆったりと歩くようなことがしばしばであった。大分後になって、ニュージーランドまで来て、やっと日本人に似たテンポを発見して、何となくなつかしい感じがしたものである。

しかし、落着いてはいるが、決して怠けている訳ではない。打合せや相談はするが、雑談を交えることがない。常に一定のスピードで、仕事を片付けて行く。何処を見ても、自分は大きな車輪でやっておりますと見せかけたり、又見えるような仕事の仕方はやっていない。事務でも、力仕事でも、淡々として自分の職責を着実に果していると云う気持があふれている。

そこで初めて知ったものに、「ブレーク」と云う言葉がある。丁度日本の工場でも、午前、午后に15分位の休憩時間をとることが多いが、これに当るもので、オフィスの御婦人方は、仕事の合間にハンドバッグを持って姿を消す。何処へ出かけるのかと思ったら、控室でコーヒーを飲んだり、御化粧を直したりしていたらしい。聞けば、午前と午后に、各自の仕事の差支えない時をえらんで、別々に休憩をとっているので、工場長の T 氏の話では、自分はこんなことは余り好まないのだが、アメリカの職場の習慣で仕方がないのだそうである。云はれて見ると、工場内でも、仕事場の椅子に坐って、家から持ってきたサンドウィッチをかじったり、職場に備付けてある自動販売機のコーヒーを飲んだりしているのが目につく。それも各人が、自分の仕事の都合を見てとるので、集って話をするわけでもなく、一人黙々と飲んで、食べて、終ると黙って又仕事にかえる。各自の判断で定められた時間を休み、これを利用してさぼる様子も無い。極めて自然な休憩法である。

T 氏の部屋に机をもらった私が、或る日時ならぬ音に驚いて振向くと、彼氏は大きなリングをかじっている処であった。余り好まんとは云いながら、これが T 氏の

「ブレーク」かと、何か心が休まる思いがしたものである。

紙とタイプとファイル

アメリカの事務に紙を豊富に使用するのには既に定評がある。恐らく紙の値段も安いのであろう。話によると、日本のトイレットペーパーのメーカーは、安価で良質なアメリカの製品の侵入におびえているそうだが、メモの用紙を呉れと云えば、黄色の良質の用紙を8冊位、どさりと呉れる。勿論、私達に最大の便宜を計ってくれているのではあるが、それにしても気が宜しい。図面にしても、仕様書にしても、工場に売れるものは上質の相当厚い紙を惜しげも無く使う。但し、事務用に流すものは、ちゃんと薄手にしてある処を見ると、一面合理的に考えていることも確かである。

伝票類も十分な大きさと、枚数を持っており、タイプライターがすべての部署で使用出来るから、十枚位のコピーは何でも無い。電話による連絡も多いが、別に手紙や文書による往復が確実に行われるので、それらの整理が必要になり、ファイリングが完備している。御本人がそれをやっていたはずなのに、タイプと整理を受持つ秘書がいやでも配達して来る。大抵中年の御婦人がこれに当たっていて、仲々プライドを持っているようだ。

彼女等は与えられた職務には極めて忠実で、又熟練しているが、反面、それ以外の臨時的雑用を片付けさせることは非常に難かしいらしい。話は別であるが、在米の日本人商社あたりでも、結局雑用は、使う側の日本人諸君がせざるを得ない場合が多いそうである。

フォアマンと云うもの

工場に入っても、仕事の雰囲気はオフィスと何等変わらないが、現場を動かしているのは組織は勿論であるが、実はフォアマンであることに気付く。P.M.C.は多種少量生産の工場であるから、尚その傾向は強い訳であるが、フォアマンが、全責任を負って自己の職場の作業を進めて行く。

製作指示と図面に従って、自分の部下が間違い無く、能率良く作業を続けるかを確実に監督している。自分の範囲を越した事には立ち入らないし、図面上の疑議を聞けば、あっさりと設計で聞いて呉れと云う。どのフォアマンを見ても其の職場に就いての十分の技術と知識を持って居て、部下には懇切に指示を与えている。又部下の作業も、よく其の指示に従っているが、所謂ビリビリすると云う気分は無かった。気合の入ったと云う言葉を日本人は良く使うが、凡そ彼等には其の様な雰囲気は少ない。のびのびと、確実に、間違いなく出来るように用意

をして、その通りやることだけ考えているようである。しかしフォアマンの指示、図面の指示には、実に忠実に、相当な熟練工が単純な作業の場合でも定められた動作を間違いなく、黙々と繰返してやっているのには感心させられた。

ひ け 時

工場は4時半、オフィスは5時に終るが、時間が終わって殆んど十分間位の間に職場は空になる。実に思い切り良くさっさと帰る。社内に残って雑談したり、一休みしたりする人は殆んど無い。オフィスでも技術関係で1時間位残る事もあるし、工場でも途中で止められない加工作業等は続いているから、例外は無くはないが、会社は残業には時間当たり2倍の給与を支給しなければならないからよくよくでないと残業を命ずる訳には行かない。従って公用、私用共に残っていることが少い訳である。

職場を出た人々は、夫々の車で一目散に家に帰る。全く一目散と云う言葉が当てはまるように、ハイウェイを50哩から60哩の速度で飛ばす。従って、5時から5時半頃の道路と云う道路は、帰りを急ぐサラリーマンの車でラッシュである。近所にチバと云うスイス系の大きな薬品会社があるが、その従業員がドッと5時に飛び出すので、道が混んでかなわないとP.M.C.の連中がこぼしていた。アメリカには日本の様に途中で一寸一杯と云う飲屋が余り無いので（とうとう一度もそれに類するものを見る事が出来なかった）家にも帰るより仕方が無いのであろう。いや、これは逆で、彼等としては家庭生活を楽しむ為に働いているのであるから、早く帰って家庭の中に溶け込みたいのであろう。もっとも、人によっては奥様の尻に敷かれて、家庭サービスに又一汗流す人も居るだろうけれども。

流石に、出勤途上で方々を案内して呉れたT氏も、帰り道だけは、真直に私達をホテルに送り込むとさっさと帰って行く。彼もアメリカ人の一人である。

金曜日のひけ時は、流石に皆楽しそうである。お別れの挨拶も今日は含入りで、「良い週末を迎えますように」とお互にニコニコして交し合う。（週5日制のおかげで、週末は本当に休日の気持がする。）初めはピンと来なかったが、暫くすると大分判って来た。彼等は此の2日の為に5日間を働いていると云って差支えない。月曜日の朝の挨拶に、ふと「さあ、又会社に戻らなければならない。」と云った人の言葉にその気持がこもっていた。

年間行事

台風18号事務所工場浸水

(36年9月16日)

事務所床上一尺浸水又一部の工作機械が浸水したが、製品、在庫等は事前の機敏な処置により翌々日より平常通り生産は再開された。



青木倫太郎先生講演会

(36年10月14日)

会計学権威関学大教授青木倫太郎先生の講演を全従業員拝聴、題「生きている、生きてきた、生きるために」

化学工業と化学機械展 (於東京)

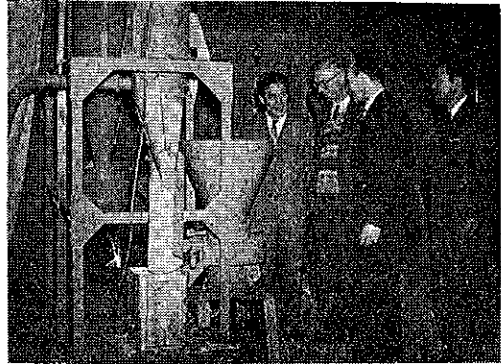
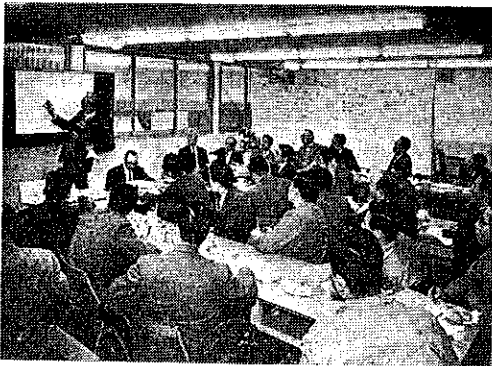
(36年11月6日～11日)

オランダナウタ社の新しい製品「ナウタミキサー」を白石カルシウムと共同出品した。

Rose・Rumpf 両博士来社

(36年11月16日)

世界的な粉体工学の権威者である上記両氏来社、ローズ、ルンプ両博士を囲んで近畿地方の粉体工学研究会の



方々及び御得意の技術関係者20数名と弊社工場見学と粉体に関する討論会を同催した。

P.M.C と技術提携政府認可

(37年1月19日)

かねて粉体機、集塵機の世界的有名メーカーである米国 Pulverizing Machinery Company と当社の間で進められていた集塵装置パルスエアー及び微粉砕機アトマイザー他の技術提携の話し合いが進められていたが本年初頭正式政府認可が為された。

セー ル氏 (ホソカワ・インター

ナショナル・ロンドン)

来日、社長と会談 (於東京)

(37年1月23日～26日離日)

細川インターナショナルの販売促進に就いて会談。

細川専務谷口製造部次長渡米

(37年2月20日)

集塵装置パルスエアー及び微粉砕機パルベライザー、アトマイザーの技術提携の政府認可に伴い、これらの現地の生産状況他の調査を兼ね、当社スーパーミクロンミルの技術輸出の促進の目的を持って当社細川専務、谷口製造部次長は米国パルベライジング・マシーナリー社に向け空路出張した。

無事調査を終り、又微粉砕機スーパーミクロンミル、分級機ミクロンセパレーターの技術輸出調印を終え、帰路ニュージーランド、フィリピン、香港に寄り販路拡張のため商談した。滞在日数45日間。

新入社員入社式

(37年3月22日)

社長、各部長列席の下に本年度採用新卒者20名の入社式を本社に於て行った。

大阪国際見本市

(37年4月5日～25日)

第5回国際見本市は4月5日～25日迄21日間、大阪港第一会場、第二会場及び本町会場で盛大に開催された。港第一会場8号館3小間及び、2号館住友商事(株)小間にP.M.C.の技術提携製品パルスエアー No.9～6、No.30～6 パルペライザー No.1、No.4 及び、混合機プロミックス XY-150を展示、連日300名の熱心な関係者の注目を集めた。



創立47年記念式

(37年4月18日)

定例の通り4月18日創立47年記念式を挙行、会長より粉碎機1筋で今日の基礎を作った経過と、現社長への協力を望む挨拶があり、社長より「世界に於ける細川の地位とその将来」について訓話があり全従業員決意を新たにした。

優良社員、永年勤続社員、年間皆精勤社員の表彰が行われ、祝宴後閉会した。

従業員小豆島に慰安旅行

(37年5月4日～5日)

細川厚生会主催により全従業員の春季慰安旅行を行った。4日午前9時関西汽船に乗船、瀬戸内海の春景を楽しみ、午後3時小豆島坂手港着、一泊、翌朝9時観光バスで島内見物、同夜8時半全員元気に帰阪した。

ホソカワ/マイクロ製品の販売

国際見本市に於て、P.M.C.社と技術提携の新製品発表が行われたが直ちに提携機が生産ラインに乗り、機種について第一回の生産を完了した。

ホソカワ/マイクロパルスエアー

9-6型 20-6型 30-6型 1-A-1型
1-C-1型

ホソカワ/マイクロパルペライザー

AP-1型 AP-2型 AP-4型

試験室の利用状況

(36年8月～37年4月)

年月	36.8	9	10	11	12	37.1	2	3	4
件数	56	46	37	25	42	33	33	42	40

原稿募集

“粉碎”第9号は昭和38年4月発行予定です。粉碎に限らず粉に関係のある事ならなんでもお気軽に原稿をお寄せ下さい。

- 研究報文 ○解説・講義 ○新技術紹介
- 文献紹介 ○随想 ○一枚程度の埋草
- 粉体関係の記事ならなんでも結構です。
- 原稿〆切 制限はありませんが第9号分は昭和38年2月末位にまとめる予定です。

- 原稿料 若干
- 御申越次第専用原稿用紙をお送り致します。

編集後記

- ※ “粉碎” No. 8 は細川鉄工所と米国PMC社との技術提携記念号としてお送り致します。
- ※ 提携製品については概要を紹介致しましたが技術的資料については、アメリカからの受売りでない当社独自で身をもって得た Data を次号より順次報告する予定です。
- ※ 美間、北森両先生の“化学者のための Micro Meri-Tics 入門”は粉体工学関係の技術者必携の Dallavalle の名著を解説していただいた新しい企画で連続講座として、読者諸彦の御期待に沿うものと思います。
- ※ その他今号は諸先生方の御寄稿をいただき豊富な内容になった事を感謝しております。(T)

„粉 碎” No. 8 1962年 夏季号

昭和37年8月15日印刷

昭和37年8月20日発行

編集者 横山 藤 平

発行所 細川粉体工学研究所

(非売品)

大阪市港区三ツ樋町11番地

印刷所 青木印刷株式会社

大阪市天王寺区空堀通2

世界に広がる ホソカワ/マイクロ 製品

ホソカワ 製品

超微粉砕機	スーパーミクロンミル
	ミクロンミル
中粗粉砕機	ハンマーミル
	ミクロングラニュレーター
	ジョークラッシャー
	カッターミル
	ロールミル
分級機	ミクロンセパレーター
	ミクロンバイブレーター
湿式粉砕機	ミクロンニューコロイドミル
	デイスパーミル
乾燥機	ミクロンドライヤー
混合機	プロミクス Y
	ボニーミキサー
	ナウタミキサー
	フルードミキサー
空気輸送装置	ミクロンニューベアー
アクセサリー	フロートロシ

ホソカワ / マイクロ 製品

粉砕機	ホソカワ/マイクロ アトマイザー	工業用超微粉砕機
	ホソカワ/マイクロ パルペライザー	工業用微粉砕機
	ホソカワ/マイクロ バッド	堅型粉砕機
	ホソカワ/マイクロ マルチ D	造粒機
	ホソカワ/マイクロ サンプルミル	実験室用
	ホソカワ/マイクロ パンタムミル	小規模生産用
集塵装置	ホソカワ/マイクロ コレクター	
	ホソカワ/マイクロ パルスエアーコレクター	
空気輸送装置	ホソカワ/マイクロ エアーコン	
アクセサリー	ホソカワ/マイクロ エアーロック	
	ホソカワ/マイクロ クラッシャー	
	ホソカワ/マイクロ フィーダー	
	ホソカワ/マイクロ フィードコントロール	
	ホソカワ/マイクロ モニター	

株式会社

細川鉄工所

本社・工場

東京支店

細川粉体工学
研究所

大阪市港区三槌町11番地 TELEX (33) 466

電話 (06) 5631(代)~5634 (工場) 5678(代)~5679

東京都中野区新井町12番地 TELEX (22) 678

電話 (03) 1156 (代) ~1157

大阪市港区高尾町2丁目30番地

電話 (06) 5634 (代)