

分級・選別

工場操作シリーズ NO. 17



化学工業社

21-7
48
17

工 場 操 作 シ リ ー ズ

粉粒体の分級・選別編



株式会社 化学工業社

別冊化学工業

工場操作シリーズ

粉粒体の分級・選別編

定 価 1,300円

送 料 100円

昭和43年8月1日 発 行

編集兼発行人 原 徹
印 刷 人 鈴 木 貞 三 郎
印 刷 所 公和印刷株式会社

— 発 行 所 —

株式会社 化 学 工 業 社

東京都千代田区神田淡路町1～11

電 話 (253) 6 4 5 1～4

振 替 東 京 1 3 0 6 0

工場操作シリーズ 粉粒体の分級・選別編

— 目 次 —

1. 最近の分級・選別の動向

- 1・1 乾式分級について……………(名古屋工業技術試験所) 上 田 康……………(1)
1・2 湿式分級について…………… 編 集 部……………(12)

2. 分級・選別装置の選定と設計要領

- 2・1 乾式分級器……………((株)細川鉄工所) (横 山 藤 平) ……(15)
2・2 湿式分級器……………(三菱金属鉱業(株)) 石 田 巽……………(27)
2・3 選 別 機……………((株)田原製作所) 内 山 常 和……………(39)

3. 操作の実際

- 3・1 石灰の分級……………(秩父石灰工業(株)) 西 島 市 郎……………(51)
3・2 石炭の選別……………(資源技術試験所) (高 村 啓 宏) ……(60)
3・3 長石およびケイ砂の分級・選別……………(三菱金属鉱業(株)) 瀬 戸 英 太 郎……………(72)
3・4 アルミナ製造工程における分級……………(日本軽金属(株)) 薬 袋 精 一……………(86)
3・5 CMCの分級……………(日本CMC(株)) 片 桐 秀 政……………(94)
3・6 BHCの分級……………((株)細川鉄工所) 森 正 剛……………(102)
3・7 ベントナイトの選別・分級…(関東ベントナイト鉱業(株)) 山 本 英 和……………(109)
3・8 ケイソウ土の分級……………(昭和化学工業(株)) 杉 本 泰 治……………(114)
3・9 重質炭酸カルシウムの分級・選別…(丸尾カルシウム(株)) 青 山 三 樹 男……………(122)
3・10 軽質炭酸カルシウムの分級・選別…(丸尾カルシウム(株)) 青 山 三 樹 男……………(130)
3・11 タルクの選別・粉碎・分級……………(浅田製粉(株)) 川 名 博……………(136)
3・12 クレーの分級・選別……………(東北資源技術試験場) 富 田 堅 二……………(142)
3・13 セメント工業における分級……………(小野田セメント(株)) 安 形 正 彦……………(149)

<1. 最近の分級・選別の動向>

1.1 乾式分級について

1. はじめに

分級とは、流体中を重力、遠心力または慣性力で運動する粒子が、粒子径により沈降速度に差ができることを利用して粉体粒子を粒子の大きさで分別する操作で、作用流体として気体（主として空気）が使用される場合を乾式分級と称する。粒子径により粉体を分別する方法には「ふるい分け」があるが、標準ふるいでも、その最小目開きは通常 44μ で、工業的にふるい分け可能な粒度範囲は、物質によって異なるが、 100μ 以上とされている。したがって、分級機で必要とされる分級点は 100μ 以下であるが、ときには数mmの分級点を要求されることもある。

2. 分級効率

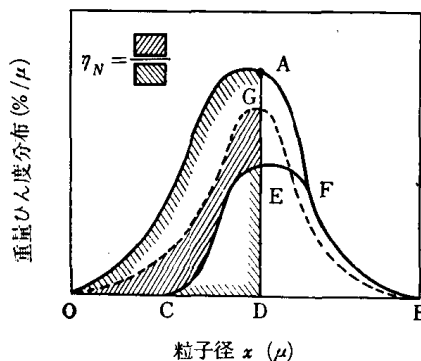
粉体を分級する場合、例えば、 10μ で分級を実施したとき、粗粒生成物中には 10μ 以下の粒子は存在しなく、細粒生成物中には 10μ 以上の粒子は存在しない場合を理想的分級と称することにする。このような理想的分級が望まれるのであるが、実際には粗粒生成物中に 10μ 以下の粒子が、また、細粒生成物中に 10μ 以上の粒子が混入するのは避けられない。もし、分級機がまったく分級作用をせず、しかも原料を2部分に分けたとするならば、そのおのおのの粒度分布はまったく同じであるはずである。このような極端な場合をここでは分級といわず、分割と称することにする。もし、理想的分級の場合の効率を100%とし、分割の場合の効率を0%とすれば、実際の分級はこの間の値をとることになるであろう。このように分級の度合いを数値で分級効率として表わすために種々の試みがなされてきた。

2.1 Newton の分級効率

Newton ら¹⁾は以下の式で分級効率を定義している。

$$\eta_N = (\text{有効成分の回収率}) - (\text{不用成分の混入率})$$

$$= \left(\frac{\text{粗粒生成物中の真の粗粒量}}{\text{試料中の真の粗粒量}} \right) - \left(\frac{\text{粗粒生成物中の真の細粒量}}{\text{試料中の真の細粒量}} \right)$$



第1図 Newton 効率説明図

$$= \frac{(b-a)(a-c)}{a(1-a)(b-c)} \times 100 [\%] \quad (1)$$

この効率を図的に表わしたものが第1図である。OAFB, CEFB をおのおの試料と、粗粒生成物のひん度分布を示すものとする。DEFB と DGB は面積が等しく、かつ、DGB は AFB のひん度分布に相似であると考え、その線を細粒側まで破線で延長したとすると、Newton 効率は OGEC の OAGEDCO に対する比で表わすことができる。

2.2 Richards の分級効率

粗粒生成物（細粒生成物についても同様であるが）は、理想的分級により一部分、分割によって残りの部分が分けられてできたものと考えられることもできそうである。この考え方より、試料全体に対し、理想的な分級を受けて粗粒生成物となったものの割合を計算してみると、その値が Newton 効率と等しくなる。このことから逆に Newton 効率は分級機内において理想的分級と分割としか起こらないものと考えていることになる。このことは、粗粒生成物中に、ある粒子径以下の小粒子が混入せず、細粒生成物中にもある大きさ以上の粒子が存在しない実際の分級結果を説明することができなくなる。この欠点を補正するため、Richards²⁾ は以下の分級効率の式を提案した。

$$\begin{aligned} \eta_R &= (\text{粗粒生成物中の粗粒の回収率}) \times (\text{細粒生成物中の細粒の回収率}) \\ &= \frac{(1-c)(b-a)(a-c)b}{(1-a)(b-c)^2 a} \times 100 [\%] \end{aligned} \quad (2)$$

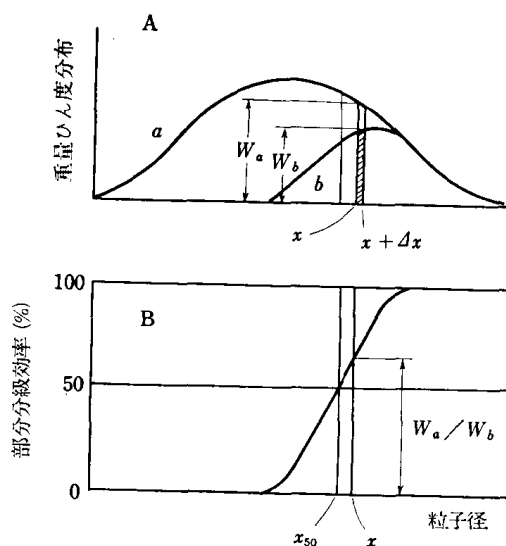
この効率は、第1項である粗粒生成物中の粗粒の回収率が100%で、第2項の細粒生成物中の細粒の回収率が100%であるような理想的分級の場合しか100%にならない。しかし、完全分割の場合は一般に0%を示さない欠点をもっている。

この効率はまた、Newton 効率とともに、同一分級結果の効率の計算においても着目した分級点を変えるとその値が異なってくることに、および、同一操作条件で、粒度の分布の変わった原料を分級した場合もその値が異なることに注意すべきである。

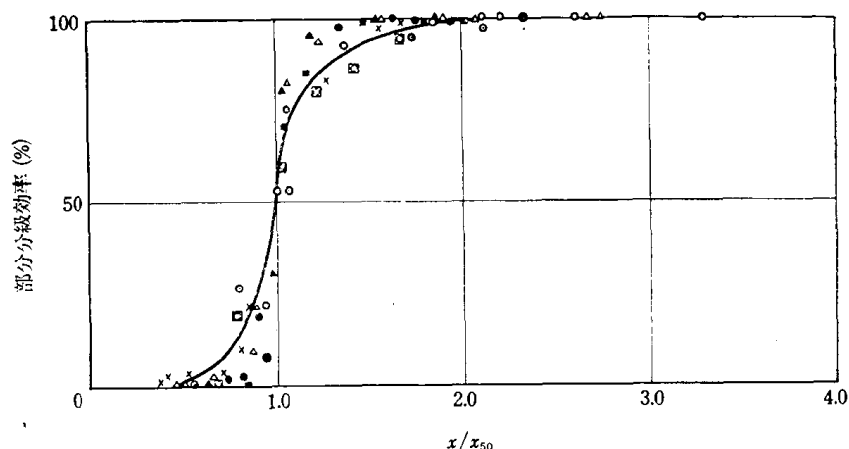
2.3 部分分級効率曲線

上記各効率は、ともに原料と分級生成物との関係に着目したもので、分級機の性能を表わすためのものではないように考えられる。というのは、同一種類の原料を同一操作条件で分級しても原料の粒度分布が変われば、値が異なるからであり、もし、分級機に着目した効率ならば、その値は変化しないはずである。

この欠点を補う目的のために、分級機固有の分級効率を表示するための試みもあるが³⁾、もっとも簡単で、直観的な方法に、部分分級効率曲線で図的に示す方法がある。この方法は上記欠点の補正はできるが、特殊な場合を除き、効



第2図 部分分級効率曲線説明図



第3図 代表的部分分級効率曲線

率を数値的に表わすことは困難となる。部分分級効率は原料と粗粒生成物の任意の粒子径 x と微小粒子径範囲 $x + \Delta x$ との間にあるおのおのの重量のひん度の比で表わすことができる。多くの粒子径につき部分分級効率をもとめ、曲線で結んだものが部分分級効率曲線である。この曲線が部分分級効率 50% の直線と交わる粒子径を限界粒子径と称し x_{50} で表わすことにする。この表現によると、粒度分布のみ異なった原料を同一条件で分級しても同一曲線で表わすことができる。また、もし、縦軸は部分分級効率そのまま、横軸に x/x_{50} をとって、 x_{50} がそれぞれ異なる各種の分級実験を行なった場合、それら分級機の優劣の見当をつけることができる⁴⁾。

細粒生成物を基準にした部分分級効率曲線をもととして、種々の効率の定義は Richards²⁾ により解説されている。

3. 部分分級効率曲線の考察

3.1 粉体の凝集性

粉体を単に固体の小さいもののみと考えては取り扱えない原因の1つとして、粉体の付着、凝集性がある。粉体粒子が流体中を運動する場合、粒子はすべて単一粒子として行動するとは限らず、数個あるいはそれ以上の多数の粒子がくっつき合って、見掛け上1個の粒子として運動することも起こりうる。

第4図は、見掛け粒子に対するその構成粒子の粒度分布を示したもので、水平流風洞を用い、送入粒子の到達距離で粒度分級をした結果を示す。これを凝集粒子径を100%とした相対粒度で無次元的にまとめたものが第5図である⁵⁾。

第5図よりわかることは、凝集粒子を構成する粒子群の粒度分布は対数正規分布をなし、凝集粒子の大きさに関係なく一定の構成比率であるということである。

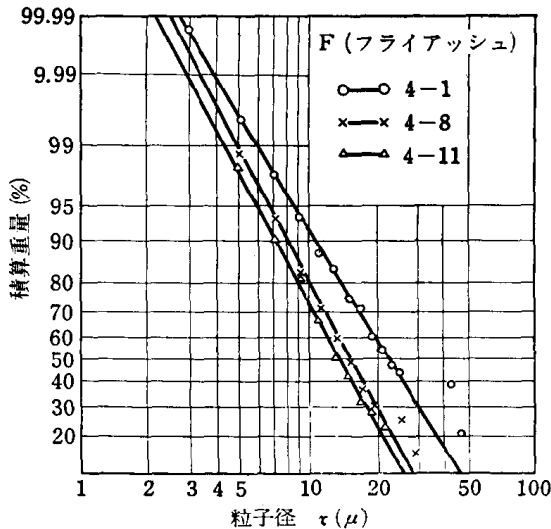
3.2 部分分級効率曲線の考え方

いま、簡単のために第6図に示すような分級器を考えることにしよう。空気流に流速分布はなく、 u なる速度で流れているものとする。また、試料は送入孔より終末速度で空気流中に投入さ

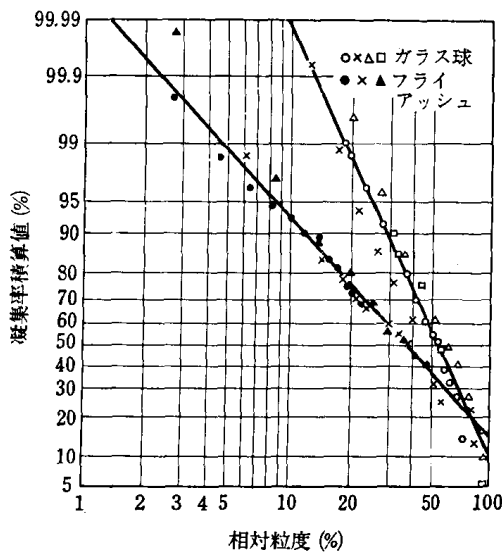
れ、横方向には空気流と同じ速度で運動するものとする、垂直距離 H を沈降する間に気流により水平距離 L 以上流される粒子は細粒生成物となり、流される距離が L 以下の粒子は粗粒として捕集されることになる。

この場合、粒子は Stokes の抵抗式が適用できるほど小さいとすれば、分級粒子径は

$$x_c = \sqrt{\frac{18\mu Q}{LB\rho_s g}} \quad (3)$$



第 4 図



凝集率関数

$$f(x) = \frac{100}{\log \sigma_g \sqrt{2\pi}} \exp \left\{ -\frac{(\log x - \log \bar{x})^2}{2 \log^2 \sigma_g} \right\}$$

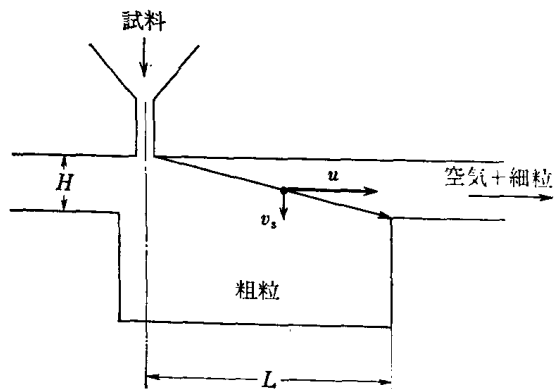
G: $\bar{x} = 52.7(\%)$, $\sigma_g = 15.7(\%)$

F: $\bar{x} = 37.0(\%)$, $\sigma_g = 24.3(\%)$

第 5 図 凝集率関数

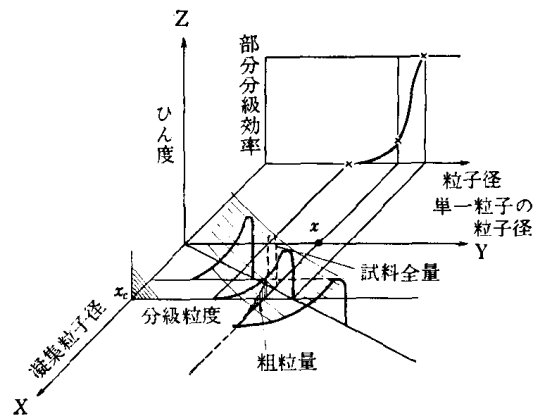
となる。送入された試料が、もし単一粒子に完全に分散しているならば、上記分級粒子径より小さな粒子は粗粒生成物に、また大きな粒子は細粒生成物に入ることはなく、理想的な分級が行なわれることになる。

もし、送入粒子が凝集した状態で投入され、そのまま気流中を運動するとなると、理想的な分級は望めなくなる。部分分級効率曲線は言葉を変えると、粒度分布が粒子径に関係なく、一定のひん度をもった試料を原料として分級した場合の粗粒生成物のひん度分布でもある。したがって、X軸に凝集粒子の見掛けの粒子径、Y軸に単一粒子の粒子径、Z軸にひん度をとれば、各粒子径に対し、ひん度一定の分布は第5図を利用し第7図のように描くことができる。着目している分級器では、この図において凝集粒子を分級粒子径 x_c の点で粗粒と細粒とに分離することになる。実際の分級生成物の粒度分布は単一粒子径によって評価されるので、Y軸



第 6 図 説明用分級器

に垂直に x をよぎる面上にある粗粒量と試料全量との比より粒子径 x における部分分級効率が得られる。第5図の凝集粒子の粒度分布が粒子径に関係なく一定の対数正規分布をもつことから、第7図より求められる部分分級効率も法則性をもつことが予見できる。また、部分分級効率が50%を示す限界粒子径 x_{50} で分級が実施されなくて、実際分級器内ではずっと大きな粒子径で分級が行なわれていることもわかる。さらに、粉体粒子は多少の差はあっても、凝集性をもっているのです、このことから理想的分級はあきらかに不可能であるとともに、分級機内で粒子の分散をよくしてやることが、分級効率を高めるのに不可欠であることもわかった。

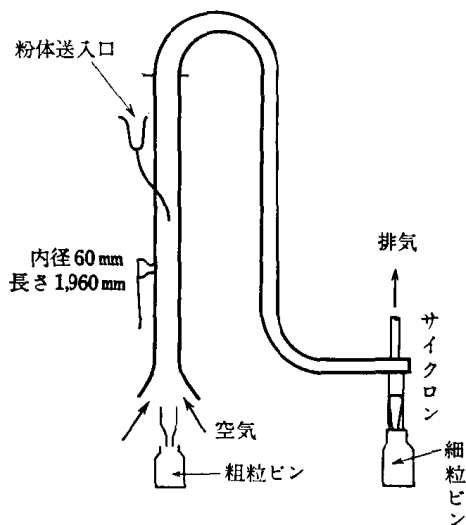


第7図 部分分級効率説明図

この考察は、装置内における分級作用はつねに一定であると仮定したもので、もし、そうでない場合は、その作用の変化も考慮に入れなければならない。

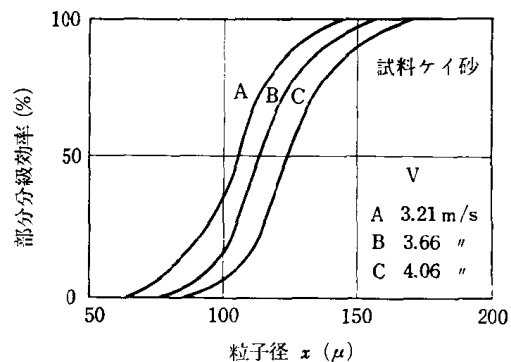
4. 重力を利用した分級機

粉体粒子を静止空气中で落下させると、その速度は最終的には終末速度となる。いま、終末速度と等しい速度で空気を上向きに流して、その中に試料を送入してやると、終末速度がこの流速より大きい粒子は流れにさからって下方に運動し、小さい粒子は流れに乗って上方に運動する。このようにして分けられた粒子を捕集することによって分級が可能になる。第8図は試験的規模の重力式

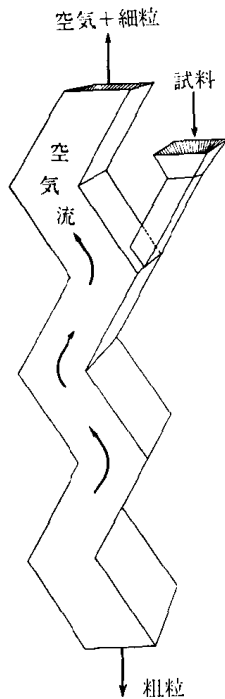


第8図 重力沈降式分級器

分級器である⁶⁾。この分級管内の空気流速に等しい終末速度をもった粒子径と限界粒子径とはかなりよく合っていた。分級結果の一例を第9図に示す。この分級器内の空気流速は、限界粒



第9図 重力沈降式分級器の分級性能



第10図 ジグザグ分級機

子径と同じでなければならない。したがって、 50μ 程度以下の粒子径を限界粒子径としたい場合は、空気流速が小さくなり、空気流量が小さくなる。分級の精度を落さないようにするには、粉体の送入速度は空気流量により押えられ、限界がある。このような理由より処理能力が小さくなりすぎることで、および粒子相互の凝集作用の影響が大きく表われることにより不適当と考えられるが、凝集性の少ない 100μ 程度以上の粉体の分級には利用できるものと思われる。

ジグザグ分級器も重力を利用した分級器の一種と考えられる⁷⁾。その構造は第10図に示すように折れ曲った筒を連続させたもので、粉体粒子はこの折れ曲り部で気流により分散作用と同時に分級作用を受けることになるであろう。この装置では 100μ から 10mm までの分級が可能とのことであるが、垂直管よりも分散効果がすぐれているので、より高い分級精度が期待できそうである。

5. 遠心力を利用した分級機

限界粒子径をさらに小さくするには重力のみでは不十分で、その他の力、たとえば遠心力を粒子に作用させることが必要となる。

5.1 回転部分をもたない分級機

いま、第11図に示すような固定壁型分級機について考えてみることにする。中心より距離 r の点の空気流の切線方向分速度を v_t 、半径方向分速度を v_r とすると、空気うずの性質より

$$v_t r^n = \text{const} = v_i (\alpha R)^n \quad (4)$$

で表わすことができる。この流れに乗って運動している粒子の切線方向分速度を kv_t とするならば、粒子の受ける遠心力は

$$F_c = \frac{\pi}{6} \rho_s x^3 \frac{k^2 v_t^2}{r} \quad (5)$$

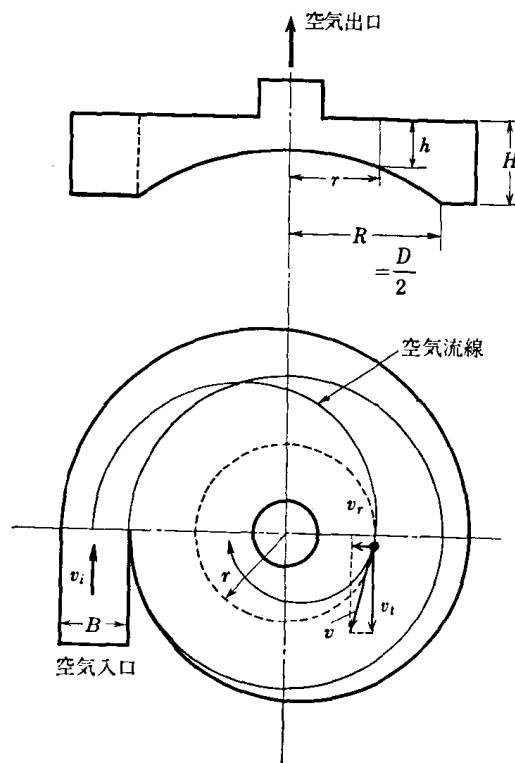
また、(4)式より

$$F_c = \frac{\pi}{6} \rho_s x^3 k^2 v_i^2 \frac{R^{2n}}{r^{2n+1}} \alpha^{2n} \quad (6)$$

となる。また、この粒子の受ける内向空気抵抗は Stokes の式が適用できるとすると、

$$D_r = 3\pi\mu x v_r \quad (7)$$

となる。空気は同心円筒壁より一様に中心に向かって流入すると仮定するならば、内向半径方向



第11図 固定壁型分級機説明図

分速度は以下の式で表わすことができる。

$$v_r = \frac{Q}{2\pi r h} = \frac{v_i B H}{2\pi r h} \quad (8)$$

遠心力と内向空気抵抗とを等しいとし、(6)(7)と(8)式とより

$$x_{50} = \frac{F}{\alpha^n k} \times \sqrt{\frac{9\mu B}{\pi \rho_s v_i}} \times \sqrt{\left(\frac{r}{R}\right)^{2n} \frac{H}{h}} \quad (9)$$

となる。いま

$$\left(\frac{r}{R}\right)^{2n} \left(\frac{H}{h}\right) = 1 \quad (10)$$

の条件を満たすように分級室の形状を作ってやり、気流と粒子の切線方向速度比 k がつねに一定であると考え、この分級機内のどの点においても限界粒子径が一定となる。このような分級室を「一定限界粒子径分級室」と称することにする。一定限界粒子径分級室の広さが広いほど分級の鋭さを高めることが期待できる。

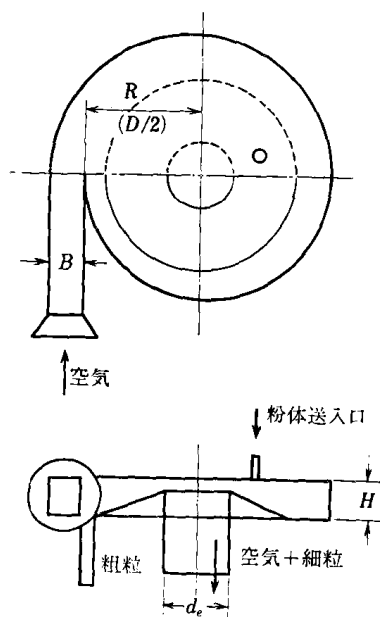
n の値は条件により変化するが、0.4~0.8 程度である。(9)式中の F は粉体の凝集性および形状に関する補正係数である⁹⁾。分級室入口面積が排気管面積に比べ相当に小さいときは、 α が1よりずっと小さくなることも確められた⁹⁾。

回転部分をもたない遠心分級機の実例、および、そのそれぞれの分級性能の一例を第12図~第16図に示す。全円周流入型は限界粒子径の大きな分級用として作られたものである¹⁰⁾。クラシクロンは分級室内部にサイクロン状捕集室を組み込んだもので、細粒の捕集も同時にできること、および全体の圧力損失を少なくすることを目標に作られたものである¹¹⁾。(9)式の

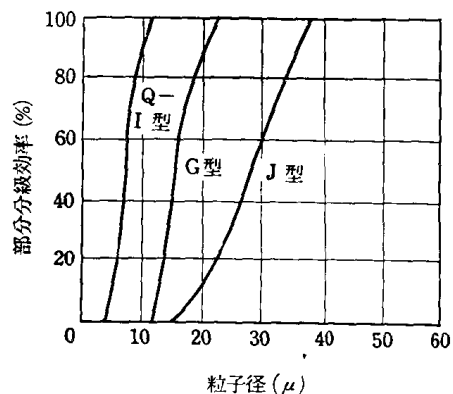
$$\frac{F}{\alpha^n k} = K$$

は実験的に、全円周流入型で2.69、クラシクロンで1.23 が得られた¹²⁾。

これらの分級機の圧力損失は、井伊谷氏らの分級機では



第12図 井伊谷、木村、八木の分級器



第13図 井伊谷、木村、八木の分級器の分級性能

$$\Delta P = 24 \frac{BH\gamma v_i^2}{d_c^2 2g} \quad (11)$$

である⁸⁾。クラシクロンの圧力損失は基準サイクロンの圧力損失の倍数で、(12)式のように表わすことができる。基準サイクロンとは空気入口を捕集室胴部に直接接して付けたクラシクロンのことである。

$$\Delta P = K_{PCY} \left(\frac{R}{R_c} \right)^n \frac{\gamma v_i^2}{2g} \quad (12)$$

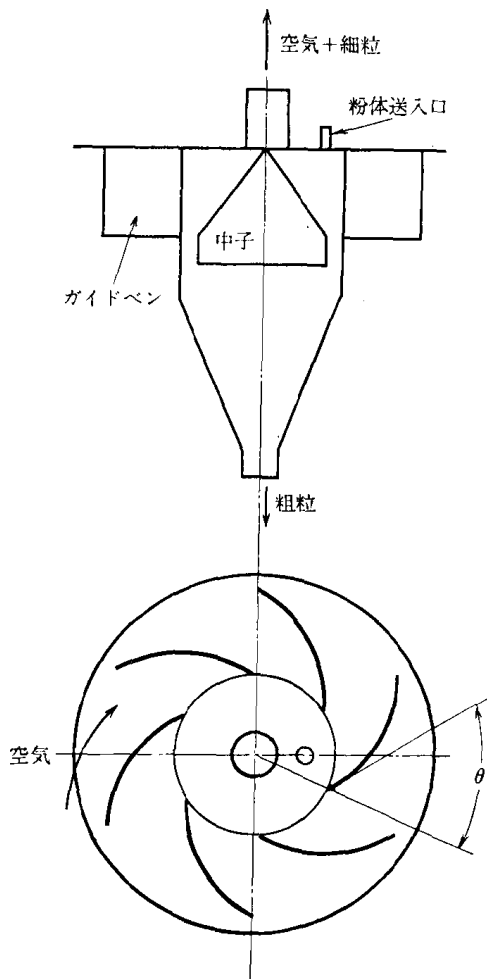
n は R_c , H , B の関数である。

固定壁型分級機の限界粒子径は(9)式より、入口幅 B と入口風速 v_i を変化させることにより変えることができるが、全円周型で $50 \sim 100 \mu$ 、クラシクロンで $10 \sim 40 \mu$ 程度である。

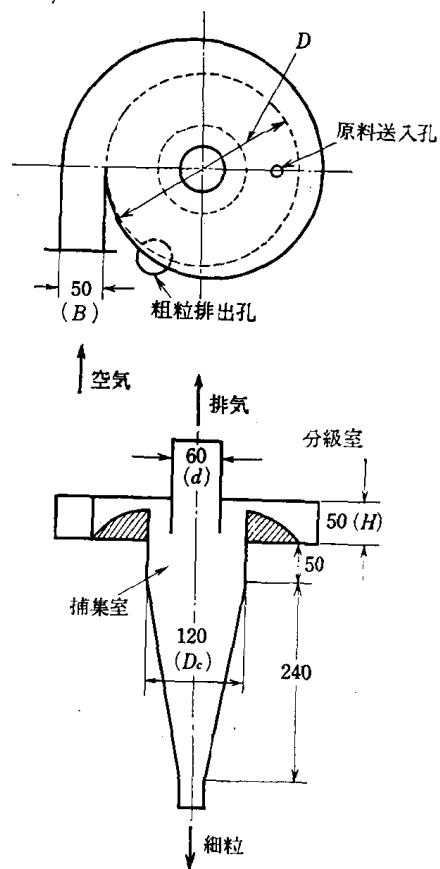
5.2 回転形分級機

Mikroplex と Super classifier はこの形式に属する。これらは前項の分級機の発展した形式のもので、原理的にはまったく同じであるが、分級室の壁を空気うずの速度に近似的に等しくしてや

ることにより、空気うずの速度をさらに早くしてやれること、および乱れを少なくしてやれることにより限界粒子径をさらに小さくできるこ



第14図 全円周流入型分級器



第15図 クラシクロン

とが主な改良点である。

ミクロンセパレーターもこの形式の1種類である。一定速度で回転しているカゴ型ローターの隙間を通して粉体を含んだ空気を中心部に吸引すると、粉体粒子はローターを通過する際に遠心力と中心に向う空気抵抗とを受ける。この2力のつり合いにより分級が行なわれる。その限界粒子径は

$$x_{50} = \frac{1}{v_t} \sqrt{\frac{18\mu r v_r}{\rho_s}} \quad (13)$$

で表わされる¹³⁾。この分級機では、粒子がローター羽根に衝突することによる粒子の分散が考えられるので、凝集の点から考えると、よい分級効率が期待できそうである。

6. 慣性力を利用した分級機

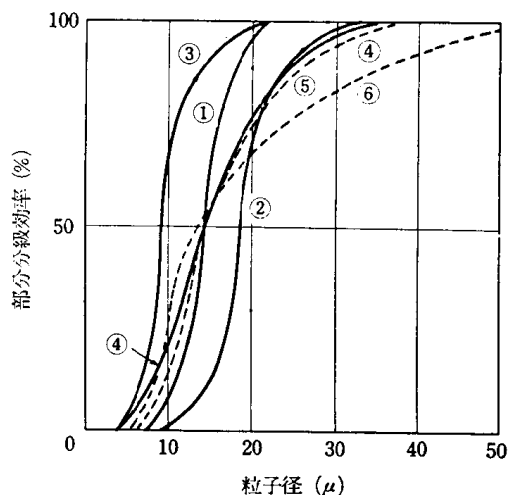
幅 $2w$ のスリットから粉末粒子を含んだ空気流を噴出させると気流は $2w'$ の幅に縮流し、第20図に示すように前面におかれた平板に衝突する。気流は流速一定で、したがって、気流の幅一定で2分され、その流線はある半径の円弧で 90° 方向を変えるものとする。粒子の受ける力は Stokes の抵抗法則にしたがうとすれば

$$F_r = \frac{mv_t^2}{r} = 3\pi\mu x v_r \quad (14)$$

となる。粒子が半径方向を運動する時間は、流線が 90° 方向転換をする間だけであるから

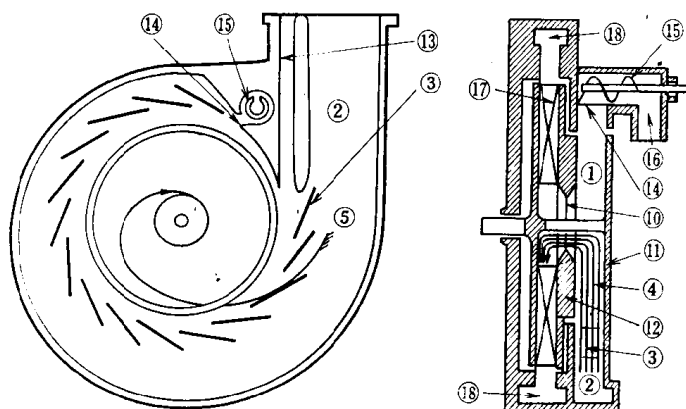
$$t = \frac{\pi r}{2v_t} \quad (15)$$

したがって、粒子の半径方向移動距離は



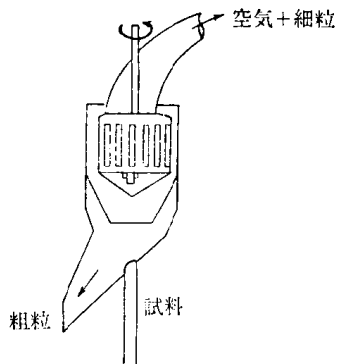
	試料	収率%	v_t m/s	濃度%
① A型クラシクロン	タルク	95.5	5.39	0.2775
② A型分級器 $d=92$	"	94.0	5.39	0.2758
③ A型クラシクロン	フライアッシュ	99.25	5.37	0.8790
④ A型分級器 $d=92$	"	99.00	5.36	0.696
⑤ B ₃ 型クラシクロン	"	98.28	9.62	5.64
⑥ B ₃ 型分級器 $d=120$	"	98.56	10.21	3.45

第16図 クラシクロンと分級装置の分級捕集性能

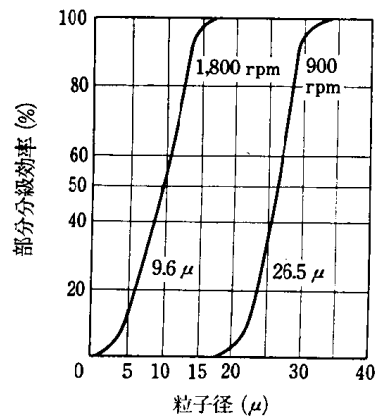


①分級室 ②空気入口 ③案内羽根
④内向空気流 ⑤渦流 ⑩微粒子吸引口
⑪ ⑫回転壁 ⑬空気+粉体入口
⑭ナイフエッジ ⑮粗粉搬出用ウォーム
⑯粗粉出口 ⑰ファン ⑱空気+微粉出口

第17図 Mikroplex の構造



第18図 ミクロンセパレーター



第19図 ミクロンセパレーターの分級性能

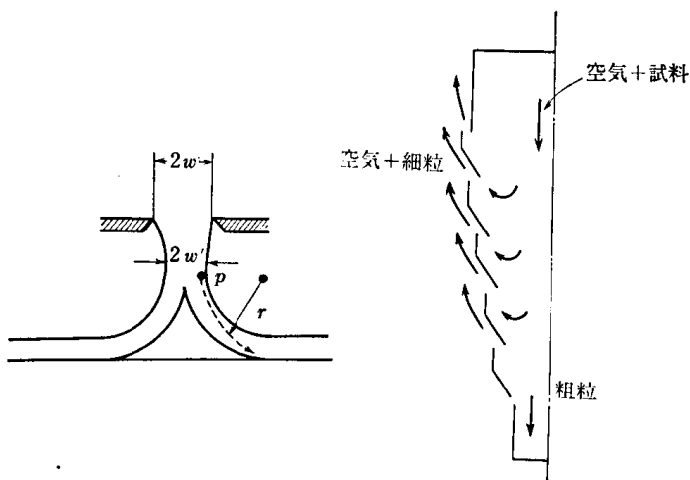
$$v_t t = \frac{\pi \rho_s v_t}{36 \mu} x^2 \quad (16)$$

となる。点 P にある粒子が t 時間後に平板に衝突するための条件は $v_t t = w'$ である。これから

$$x_P = \sqrt{\frac{36 \mu w'}{\pi \rho_s v_t}} \quad (17)$$

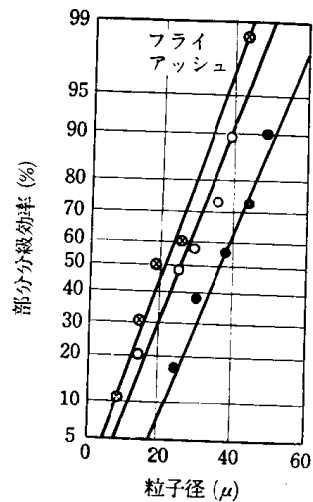
となる。 x_P を小さくするためには、スリットの幅を小さくするか、空気流速を早くしてやればよいことがわかる。

慣性力を利用した分級機にルーバ形分級機がある¹⁴⁾。この分級機は遠心力を利用した分級機のように、一定限界粒子径分級室を持たず、粒子の最初に存在した位置により分級点が相異なるので、空気力学的にはよい分級機といえないが、粒子が羽根に衝突することによる分散効果があり、この意味からはよい結果が得られそうである。慣性力を利用した分級機は、 20μ 程度以下の小さい限界



第20図 慣性力を利用した分級機説明図

第21図 ルーバ形分級機説明図



第22図 ルーバ形分級機性能

粒子径に適し、粗粒生成物の捕集方法をくふうすれば $2\sim 5\mu$ 程度まで使用できるのではないかと考えられる。

7. む す び

分級機内における粉体の分散性をよくしてやることにより、分級効率を向上させることができるとともに、従来、粉体流量と空気流量の比が0.3程度までしか許されなかったものが、一挙に数倍以上にも増加させるのではなかろうかと予見できる。しかし空気力学上、理想的な分級室内の流れと、粉体を分散させるための気流の乱れとは相容れないものであろうから、これをいかに調和して、高濃度で、しかも分級効率の高い分級機を作るかというのは今後の問題であらう。

記 号

a : 原料中の真の粗粒割合(—), B : 分級室幅, または分級器送風孔幅(cm), b : 粗粒中の真の粗粒割合(—), c : 細粒中の真の粗粒割合(—), D_r : 空気抵抗(dyne), d_e : 排気管径(cm), F : 係数(—), F_c : 遠心力(dyne), g : 重力の加速度 $980\text{ (cm/sec}^2\text{)}$, または $9.80\text{ (m/sec}^2\text{)}$, H : 分級室入口高さ(cm), h : 半径 r (cm)の点における分級室高さ(cm), K_{PCY} : 基準サイクロンの圧力損失係数(—), L : 分級室長さ(cm), n : 指数(—), Q : 空気流量(cm^3/sec), R : 分級室半径(cm), R_c : 基準サイクロン胴半径(cm), r : 半径(cm), t : 時間(sec), u : 空気流速(cm/sec), v_i : 分級室入口流速(cm/sec), v_r : 半径方向分速度(cm/sec), v_t : 切線方向分速度(cm/sec), w : スリット幅の1/2(cm), w' : 縮流部幅の1/2(cm), x : 粒子径(cm), x_{50} : 限界粒子径(cm), ΔP : 圧力損失(kg/m^2), α : 分級室半径に対する, 切線方向分速度が入口風速に等しくなる半径の比(—), γ : 空気の比重量(kg/cm^3), η_N : ニュートン効率(—), η_R : リチャーズの効率(—), μ : 空気の粘性係数(poise), ρ_s : 粒子の真密度(g/cm^3)

引 用 文 献

- 1) Newton, H. W. & Newton, W. H. : *Rock Products*, **35**, [16] 26 (1932)
- 2) Richards J. C. : *British Coal Utilisat. Res. Assoc.*, **30** No. 4 p. 113~144 (1966)。文献紹介 No. 220 分級機の効率(1967)(粉体工学研究会)
- 3) 北浦嘉之, 長瀬洋一: 研究資料 No. 16 (1958)(粉体工学研究会)
- 4) 化学工学協会編: 解説化学工学演習(下巻) p. 97 (1960) 槇書店
- 5) 上田康・山本博: 第4回粉体に関する討論会講演要旨集 p. 31 (1966)
- 6) 上田康: 第5回粉体工学研究講演会テキスト p. 19 (昭33)
- 7) Kaiser, F. : *Chemie. Ing. Techn.*, **35** 209 (1963)
- 8) 井伊谷鋼一・木村典夫・八木進: 日本機械学会誌 **59** [3] 215 (昭31)
- 9) 上田康・櫛田昭: 名古屋工業技術試験所報告 **9** [4] 153 (昭35)
- 10) 上田康・櫛田昭: *ibid.*, **5** [10] 485 (昭31)
- 11) 上田康・櫛田昭: *ibid.*, **8** [4] 235 (昭34)
- 12) 上田康: 粉碎 [3] 14 (1959)
- 13) 松山卓蔵: ケミカルエンジニアリング **1** [4] 302 (昭31)
- 14) 井伊谷鋼一・木村典夫: 研究資料 No. 27 (昭35)(粉体工学研究会)

工業技術院 名古屋工業技術試験所 上 田 康

1.2 湿式分級について

1. はじめに

分級とは、重力または遠心力の場における粒子の沈降速度を利用して、粉粒体を粒度によって分ける（分粒：Size separation）操作である。

分級操作には、液体（普通には水）中で行なわれる湿式分級と、気体（普通には空気）中で行なわれる乾式分級とに大別される。分級は、それ単独の操作として行なわれる場合もあるが、粉砕機と組み合わせた閉回路として、あるいは両者が直結して一体となって機体の中で行なわれる場合もある。

常温における水の粘度係数は空気の約50倍であり、同じ固体粒子でも水中と空気中とでは、その沈降速度が非常に異なり、水中の方がはるかに速度が小さいのが普通である。だから湿式分級と乾式分級とでは、分級機の設計には本質的な差があり、分級操作の可能な粒度の目安も、前者の $10\mu\sim 1\text{mm}$ に対して後者は $1\mu\sim 1\text{mm}$ 程度である。また空気中では粒子の凝集する傾向が水よりも一般に強く、分散剤の使用も困難であるために、乾式分級では粗粒産物中への微粉の迷い込みがとくに起りがちである。湿式分級機としては、重力沈降方式の歴史が古いですが、最近、遠心沈降方式のものが急速な進出を示しており、分級効率も一段と向上してきた。

分級機の発展とともに忘れることのできないのは、近年における分級効率、分級精度に関する理論の目ざましい進歩であり、分級機の性能を評価、検討する面からも、その貢献するところは大きい。

2. 湿式分級機

2.1 静的分級機

面積律（area principle）をそのまま応用して、静的重力沈降と溢流による分級を行なう型式の分級機で、もっとも原始的なものである。

粗粒分級用のコーン型のもの、多産物分級を行なうトイ型のもの、この両者の組み合わせ型ともいえるスピカステン型などがある。コーン型の代表的なものはアレン・コーンで、スピゴットの自動排出機構を備えている。これらの分級機は分級精度が低く、しかもフィードの変動によって分級点が変わりやすいので、近代工場ではあまり顧みられなかったが、ムイ型は陶土工業におい

て、固体含有率10%以下という比較的低濃度のパルプを分級する場合などに用いられている。

2.2 水力分級機

向流分級機ともよばれ、この種の分級機は垂直または斜め上向きの水流（整流または脈動流）の干渉によって、細かい粒子を溢流させ、粗い粒子を沈降させるという分離機構のものである。

この種の分級機はフィードの変動による分級成績の変化が少ないという大きな特長があり、また比較的粗い分級も可能であるが、細かい方の産物（オーバーフロー）の高いパルプ濃度が要求される場合には適さない。単室式の代表的なものとしては、フンボルト型向流分級機があり、多室式のものにはファーレンワルド・サイザーがある。フンボルト型ではタンク上部のスリットのところで分級が行なわれる。スリットの幅を段階的に変えることによって多産物分離用に設計することもできる。

ファーレンワルド・サイザーは、ティータ・コラムにおいて干渉沈降による分級が行なわれ、コラム内のパルプ濃度を検出して粗粒産物を自動排出する機構となっている。ドルコ・サイザーは、この自動排出機構を改良したもので、ドルコ・ジェットサイザー（第1図）はさらに、コラム底部の水が吹き出す網をディストリビューション・パイプに変更した新型である。

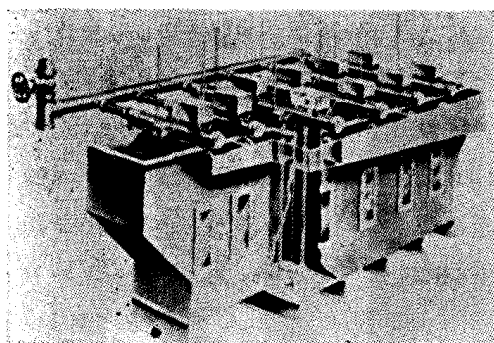
ひょうたん形の外形をもつ Edel-Kamig 式垂直流分級機は、上つぼまりの分級コラムを利用することによって分級点に近い粒度の粒子が、コラム内に留まって分級性能を阻害することをさけたものである（第2図）。フィード・パイプと水はそれぞれコラムのふくれた部分から接線方向に入るようになっている。

2.3 機械分級機

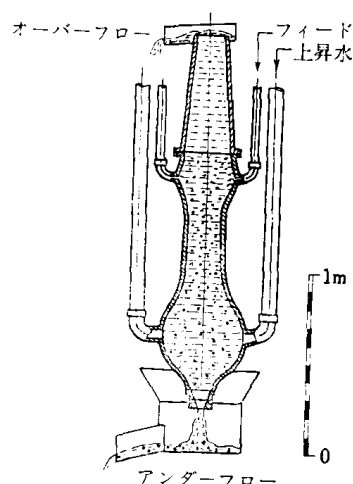
粗粒産物を機械力によってまき出す構造の分級機を機械分級機と総称し、かき上げ機構によってレーク方式とスパイラル方式とに大分される。

レーク方式の代表的なものは、いわゆるドルレーク分級機である。アメリカ Dorr-Oliver 社の製品にはD型、F型（クランク作動方式）のほかに、新型としてH型（トルクチューブ・クランク作動方式）がある。

スパイラル方式の代表はエーキンス・スパイラル



第1図 ドルコ・ジェット・サイザー



第2図 Edel-Kamig 式垂直流分級機