

## 電界による粒子群の分離技術

教授 金 谷 一 秀

### 緒 言

本文は筆者が従来研究した分離技術のうち発明に関係したものだけを集めて分類しその過程を回顧したものである。

粒子群を電気によって処理する方法は電気選鉱法として開発せられ広く知られているが、最近ではそれが煤煙を除く方法にまで及び大気汚染の防止に活用せられている。筆者もまた多年その方面の研究に従事したので、本文はその総合的な報告として幾らかの参考になるであろう。

しかし本文の目的は寧ろ些細ではあるが、アイディアの機械化という新しい途を見出し得るかどうかの提案にある。即ち電子計算機によってアイディアが得られるかどうかの問題につながるものとして発明に至った過程に重点を置くものである。元来筆者が混合粒子の分離法に着手したのは広い意味での分離を対象として幾らかの共通概念を得んとしたからである。分離と結合とは互に反する概念であるが論理的には一体を成すものと考えたので、その体系をつくるための手段としてこの研究を選び、その結果として附録に記した考案が手許に残ったのである。

この理由から本文の内容はその考案 16 件に限り、アイディアが由って来るところを述べることになるが、このように対象を定め而も筆者個人のものに限定したのは思考の過程を卒直に述べ得るからである。尚ここで問題になるのは考案の 1 件をアイディアの 1 個に置きかえて論ずることであるが、この前提なくしては本文の目的を失うことになる。またこの 16 件は最初から計画したものではなく、時に応じて考案したものであることは附録に掲げた順序からも分るであろう。そして今これを回想するに、極めて単純な要素が単純な組み合わせによって成り立っていることに気付くので、最初から組織的に組み合わせば当然この結果を得た筈である。即ちこの程度のアイディアならば電子頭脳が短時間に案出し得るところであるから、この考え方を更に多元化し或は抽象化して論理と評価の表現に成功するならば高度の創案を機械化することができる筈である。

人間の創案については昔から心理過程の複雑さが論議せられているが、その中でも発明が識別と選択であることについて次の説がある。即ち「なにかを発明するためには二つのものが必要である。第一のものは組み合わせをつくる。第二のものはその大群の中から欲しいものを択び、それを認知する」ということである。電子装置は人間の無意識過程を再現し得ないが、一方に於て組み合わせに対しては見落しのない特長があり、また選択に当っては欲しいものを択ぶ代りに欲しくないものを択ばないことが出来る。即ち組み合わせの中から既知のものや、経済、保安、安定の原則に副わないものなどが捨てられることに

\* アダマール「発明の心理」伏見康治訳（昭和34年みすず書房）p. 48

トムソン「思考心理学」島津一夫訳（昭和39年誠信書房）p. 250

なるのである。

直観に基いて現われ大きな感動を与えた古来のアイディアは極めて高貴なものであるが、結果を分析するとその要素は常識的なものの組み合わせによるものが多い。抽象的には経験的概念の分析と合成、即ち分離と結合の所産であるとの見地からすれば、未知の領域ではあるが少くとも人知の助けとなるを信じ敢えて拙文とした次第である。

## 1. 粒子群の分離について

選別の技術はすべて物理的分離法の応用であるから本文の諸方法も単純な方法の組み合わせとして分類することができる。一例として石英質の黒鉛鉱から天然黒鉛を選別する場合の操作は次のようになる。先ず山から掘り出した鉱石を粉碎すると石英と黒鉛を混じた粒子群になるが、これは粗粒子から微粉に至るまでのあらゆる粒径のものを含むので分級して幾組かの粒子群に分ける。このうちの適当な粒子群を電界に入れると石英粒子は動かず黒鉛粒子だけが飛び上る現象がある。この飛揚した粒子を取り出して集めれば黒鉛と石英が分離せられたことになるのである。この操作には採掘、粉碎、篩分、選別の如く抽象的な意味での反結合即ち分離作用が働いていることが分るであろう。

この程度の単純な分離作用ならば取り扱いは容易であるが実際には片刃についての論理化が問題である。上に述べた粉碎の工程では如何に巧妙な機械を用いても一粒の黒鉛の中に石英分があり、石英粒子の中にも黒鉛が残る。このことは再粉碎しても同様であるから結局は無限級数の和の形で捕集せられることになる。実際には歩留りと呼ばれる経済的の評価によって制限を受けるが、これを抽象的に考えると反結合と分離の中間に新しい中立の領域のあることが暗示せられる。

石英粒子と黒鉛粒子とが電界中で分離せられることを述べたが、この2種類の粒子を分離し得るものとしては重力、風力、水力、浮力などの作用を以ってこれに代えることができる。また電界が分離し得るものは石英と黒鉛に限られるものではない、形状、比重、物性により、その程度が異なるだけで理論的には如何なる粒子でも分離せられる。

次に2種類の作用を併用する場合は加勢と抑制によって効果が異なるものである。加勢の適例として黒鉛を選別するに風力を併用する場合を考えれば鉱石の粉碎方法までが影響する。即ちこの工程で2個のローラーの回転数を変え相対的に迂りを与えると黒鉛には延展性があるから薄片状になり一方石英は脆くて粒状になるから既に形の差が現れ風力のみでも分離し得る状態になり、能率がよくなるのである。

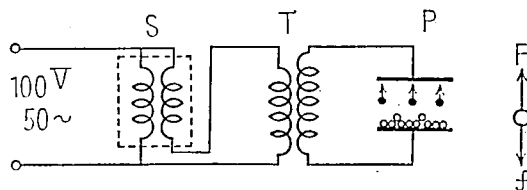
その反対で粒子の運動に差がない場合はゴムベルトを用いて静止粒子に吸着力を与え、帯磁性粒子では電磁石により固定する方法が採られる。また微粉を処理する場合は誘電体を近接し或は電極にコロナを発生させて粒子間の凝着力に対抗することができる。

このように粒度、形状、物性などが与えられると作用力の組み合わせは定まるが、最も困難な問題として能率の比較が残される。実験によれば問題は解決するが事前に評価するには経験的の判断によるか、機械的には記憶との比較によることになる。しかし現在の段階では機械の記憶容量は人間に比べて層が浅く且つサイバネティックスと関連する故で思い出す能力に欠けている。そのため現状では比較過程は人間によって命令されることになり、ソフトウェアの研究課題となるのである。

## 2. 電界が粒子に及ぼす作用

2枚の平板電極を水平にし下方板上に粒子をのせて、その電極間に高電圧を加えると粒子は電界の作用によって変位を受ける。原理的にはその電界内のエネルギーを最小にするように配列をかえ、変位を伴うことになるが、分離の目的からすればその変位を増大するような方法を探らねばならない。この変位は電界の種類とか、粒子の性質や大きさなど凡ての物理的条件によって異なるものである。

第1図はこの試験に用いた接続図で、Pは平行板電極、Tは昇圧変圧器、Sはスライダックである。上述のようにPの下方板に粒子をのせSによって電圧をあげてゆくと或る電圧に達したとき粒子が動きはじめるところがある。この



第1図 交流による粒子の躍動

ときの電圧を臨界電圧と名づけるが、その値は粒子特有のものである。金属鉱物21種類、非金属礦物16種類について観測した結果、金属鉱物は導電性があるに関らず比重が大きいのので統一した値はなく個別の問題として取り扱われる。これに対し非金属礦物では明らかに2群があり、比較的低い電圧で動くものと非常に高い電圧を加えても動かないものとの区分が認められた。例えば35乃至60メッシュの粒度に揃えられたものに50サイクルの電界を加えると臨界電圧は黒鉛で2.4 kv/cm、石英で10 kv/cm以上である。そこで黒鉛と石英の粒子を混合し5 kv/cmの電界を加えると黒鉛は運動して飛び出し、その間石英は静止したままで居るから両者を分離することができるのである。

一般に電界中の粒子は2種類の電気力を受ける。その一つはクーロム力であって正負の電荷を受けることによって粒子は反対符号の電極に吸引せられ、他の一つはグレディエント・フォースと称せられるもので、電界に不規則な部分があると粒子はその強度の変化が大きい方向に運動する。絶縁物の粒子は電荷を帯びないが、それでも電極に向って飛び且つ附着するのは後者の作用によるものである。グレディエント・フォースの一種ではあるが見掛け上これと異なるのは微粉の凝着力である。下方の極板に微粉を置いて電圧を加えると直流でも交流でも凝着するが、この凝着微粉に物体を近かづけると、微粉は急に飛散する。それは電界の強さの分布が変わって各粒子が受けている力の均衡が破れるからである。

これらの力は周知の通り次の式で与えられるが、之は電界中のエネルギーを最小にすべき原理から理論的に導かれたものである。

$$F = qE + 2\pi \frac{\epsilon - 1}{\epsilon + 2} a^3 \cdot \Delta E^2 \quad (1)$$

式中  $q$ ,  $\epsilon$  および  $a$  はそれぞれ粒子の帯電量、誘電率および半径であり、 $E$  は電界強度で、 $\Delta$  はその位置に於ける変化度を示している。換言すれば、この式は或る一つの粒子があって、それに電界を加えると粒子は動くが、その作用力は右辺第1項のクーロム力と第2項のグラディエント・フォースの和として与えられることを示すものである。

クーロム力に就ては既に一般的な常識となり而も直流式の分離技術も既に確立して、その適例をコットレル集塵器に見ることができる。これに対し第2項のグレディエント・フォースに就ては、その作用が単純でないために未解決の問題が多く残されている。特に絶

緑性の粒子の成極作用とその為に生ずる凝着性は分離の問題を複雑にする。

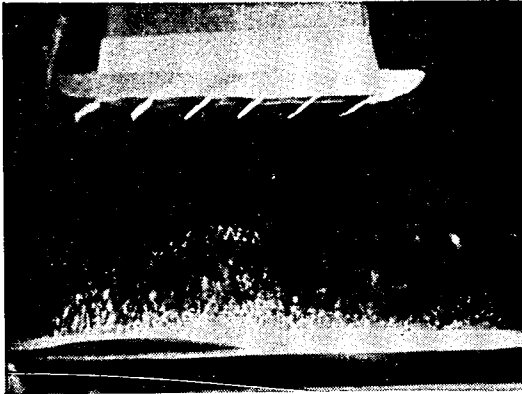
クーロム力による分離は帯電量と重量の相対的關係によってきまるから結局は粒径と比重の積が基準になる。即ち小さくて軽いものは飛び易く、大きくて重いものは静止するわけであるが、機械的には上記の積の大小として比較せられる。グラディエント・フォースについては上方に向う力  $F$  に対し、粒子の質量を  $m$  として重力  $f=mg$  をその反抗力と考える。更に動く粒子に 1 の添字を附し静止の粒子に 2 の添字をつけて区別し、 $F_1 > f_1$   $F_2 < f_2$  になるような中間の電圧を加えると 1 の粒子だけを運動させて分離することができる。簡単のために粒子を等価半径  $a$  の球であると考え、比重を  $\rho$  とし、 $m=(4/3)\pi a^3 \rho$  を上式に代入し (1) 式の右边第 2 項を用うると  $F_1 > f_1$  (運動)、 $F_2 < f_2$  (静止) の関係から次の式が得られる。

$$\left. \begin{aligned} \frac{3}{2g} \frac{\epsilon_1 - 1}{\epsilon_1 + 2} \cdot \Delta E^2 > \rho_1 \text{ (運動)} \\ \frac{3}{2g} \frac{\epsilon_2 - 1}{\epsilon_2 + 2} \cdot \Delta E^2 < \rho_2 \text{ (静止)} \end{aligned} \right\} \quad (2)$$

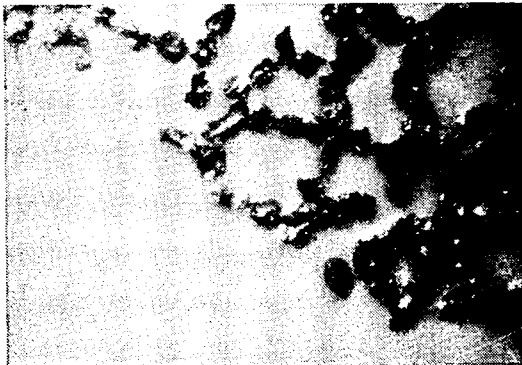
誘電率  $\epsilon$  は普通の物質では 2 と 3 の間にあるから同一の電界中では左辺を一定値  $K$  という値で代表しても大きな誤りを生じない。そうするとこの式から

$$\rho_1 < K < \rho_2 \quad (3)$$

(運動)                      (静止)



第 2 図 50~ に於ける黒鉛の運動

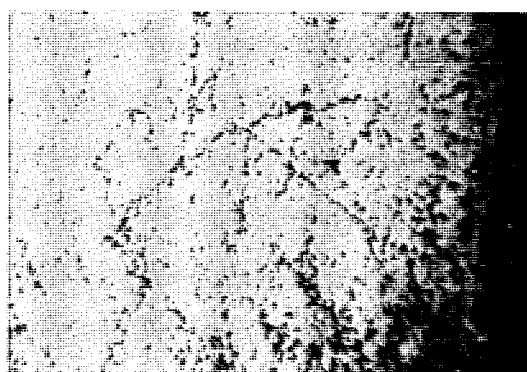


第 3 図 50~ に於ける黒鉛の甸甸  
(天然黒鉛 30~40 メッシュ)

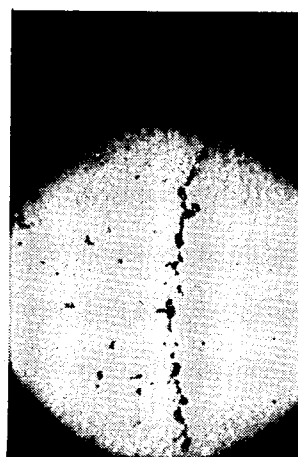
という関係が得られる。即ちこの方法の特徴は同一の電界中では粒子が比重のみで分離せられ粒径には無関係であるということになる。電界の分離作用が比重の分級であることは篩分による分級を併用して効果を向上させ得ることを暗示するもので実際には石英と黒鉛の選別に適することからも判る。尤もこれは粒度が 150 メッシュ程度まで有効で 200 メッシュになると凝着の現象を生じ更に微粉になるほど処理が困難になる。

この天然黒鉛は金属性と非金属性を兼ねた半導体で物性としても興味があるので多くの実験を重ねた。先ず第 1 図の装置を用い電極間に加える電圧の周波数を変えるとどうなるであろうか。天然黒鉛の粒子を下方の極板上にのせて直流を加えると粒子は勢よく飛び上り上の電極面に衝突したのち直ちに下方へ反撥し、帯電放電に従うその動作を繰り返す。50 サイクルのような低い周波数でも

交流になると粒子は第2図のように上の電極面には接触せず電極の間を振動的に往復するが、更に周波数が増加すると運動が緩慢になり粘性を帯びた感じを与える。1000サイクル程度の可聴周波数になるとも早や飛び上る力がなく下方極板面に沿うて流動し電界外へ出てくる。その流動の有様は下等動物の匍匐に似て形は第3図のように網目状を成し、黒鉛の六角板状の晶形を思わせるものがある。更に周波数を増し無線通信用の周波数になると第4図のように大きな粒子は動かず微細な粒子だけが連り、更に周波数が高くなるとそれが糸の如くになり電界方向に林立する。第5図に示した写真では連鎖糸を成す粒子間が離れているが、これは紙上に採取するときの衝撃によるもので電界中では直立し連続しているのが認められる。尚この連鎖糸が成長して対電極に達すると放電が起り電界が消失するので全部の連鎖糸が崩れ電界の回復と共に再び成長をはじめ、この成長と崩かいの動作を繰り返すのである。



第4図 1 MC に於ける黒鉛粉の連鎖  
(チップス 180 メッシュ)



第5図 3.7MC に於ける黒鉛の連鎖糸  
(30倍)

この現象は普通の鉱物では見られないところで、天然黒鉛が半導体であるため粒子内部の渦流に基く2次的的作用によるものと思われる。また比重との関係も軽視できないと思われるのは、乾燥した植物質にもこの性質があり、例えば黍殻は低周波でもピラミッド状に生長し下の方から順次に昇ってくる現象がある。而して石英はこの周波数の全過程を通じて少しも動くことがないから之等の粒子が石英と混じている場合は容易に分離し得ることになるのである。

次にその捕集の方法であるが、同種の粒子は集結へ異種の粒子は分離へと導くことによって目的を達することが出来る。例えば黒鉛を薄片状にして風力に対しても分離作用を与えるために吸引し②③\*, 可聴周波の電界中では匍匐するから極板をその進行方向に傾けて流速を増し⑨, 高周波では林立する連鎖糸を上部電極の動揺によって落下させる⑦など簡単な方法が採られる。

### 3. 誘電力と微粉の処理

微粉は電界中で凝着するから分離は困難であるが、他の物体を介在させてグラディエン

\* 以下○印中の数字は考案番号を示す(附録参照)

ト・フォースに不均衡を与えれば飛散し、且つその物体に凝集するので、これを絶えず移動して過渡状態にすれば所要の粒子を捕集することができる④。

既に述べたように粒子を電氣的に飛揚させようとする力は(1)式で与えられ、右辺の第1項であるクーロム力は粒子の表面積に比例し第2項のグラディエント・フォースは粒子の体積に比例する。また飛揚を妨げる力は自重と空気抵抗と凝着力の和である。そこでそれぞれに関する定数をこの順序に A,B,C,D とし粒径を  $a$ , 装置固有の限界粒径を  $a_0$  とし  $a/a_0=r$  とすれば任意の方向に於ける力の関係は次の式で表わされる。

$$Ar^3 + Br^2 \geq Cr^3 + Dr + i \quad (4)$$

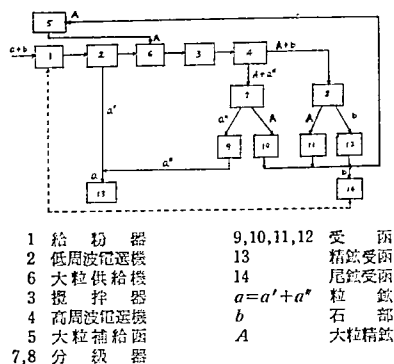
但し  $i$  は凝着力を示す項で粒径が小なるものほど大きくなるものである。この式の左辺は運動させる力で右辺はそれを妨げる力を示し、 $r=1$  のとき左右両辺が等しくなるものとする。而して  $r>1$  では粒子は運動するが、 $r<1$  では右辺の方が大きくなるから粒径が非常に小さくなると運動勢力があっても結局はその附近に凝着するのである。この関係は下方の極板から飛揚する粒子のみならず上方の電極附近の粒子に対しても成り立つので、上部の電極を網目状にしてグラディエント・フォースを強くし、そこに凝着させて微粉を精選することができる。黒鉛粉と石英粉の場合はその相互間の吸着力が黒鉛間の吸着力に比して小さいので黒鉛粉を網電極に凝集させ、この電極を回転して捕集することができるのである⑩。

凝着する粒子を電氣的に攪拌するには上記の方法と反対に電極を固定しその間にベルトを移動してその上の微粉が通過することによって過渡状態をつくることことができる。例えばベルトに接して絶縁物の櫛状柵を設けるとか②、或はコロナ風を生じさせ局部的環境を変えるなどの方法を探ることができる③。

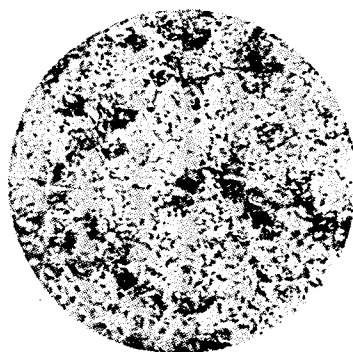
#### 4. 篩分の適用

篩分は選別について常識となっているから説明を要しないが、粒度を揃えるほど品位がよくなるので実際には幾回となくその工程を繰り返すのが通例である。そこで粒径分離の篩分を受けてから電界を加えるか、電界の比重分離を受けてから篩分するかの比較になると原理的には差がなく設備や経費によってきまる要素が多い。

しかし 200 メッシュ以下の微粉になると篩分のみでは分離効果が現れないから凝着力を



第6図 大粒子を循環させる微粉の捕集方法



第7図 大粒子に微粉が吸着する状況

利用して能率をあげることができる。第6図は微粉黒鉛を精選した一例であるが、微粉中に大粒の同種黒鉛を投入すると微粉黒鉛のみがこれに凝着するから捕集後分級して微粉を採り、残った大粒黒鉛を循環して使用するキャリヤー式のものである⑧。第7図は第6図中4に於ける写真で微粉が大粒子に凝着しているのが見える。

## 5. 重力との関係

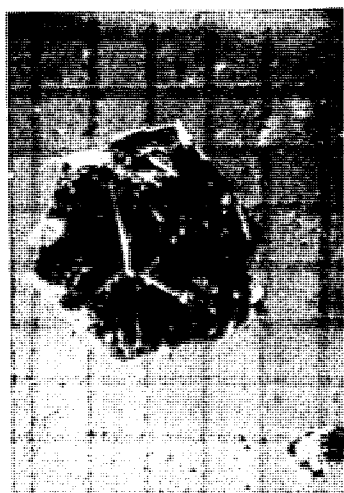
既に述べたように物質には固有の臨界電圧があるから混合粒子に対しそれぞれの臨界電圧の中間値を加えれば一方の粒子が静止したままで他方の粒子を動かすことができる。原則として静止粒子を抑制し運動粒子を加勢すべきであるから、抑制方法として下方電極に粗い表面のゴム板を介し、且つ之を第9図の如く僅かに傾斜すると重力が加勢し運動粒子だけが斜面に沿って落下し捕集せられる①。

ジルコン砂、シーライト粒子などの選別ではその臨界電圧が高く静止粒子に属するので下方電極に微振動を与えて母岩粒子を落下し除去したことがある。

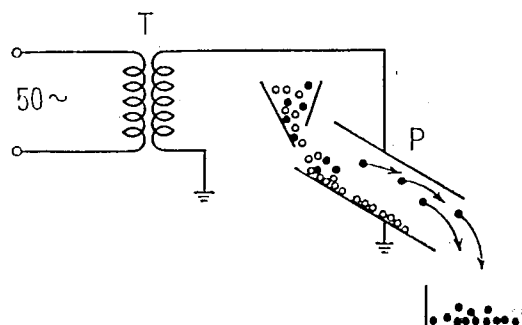
また抑制力として重力に近似させるためベルトの下方に磁界を作用させた次の例がある。キッシュド黒鉛は高炉の溶銑が含有する過剰炭素が析出した第8図に示す六角板状の結晶炭素であるが、その選別に当って鉄分の附着を利用したもので、下方電極として銅材を用いその下方から磁界を加えて落下を防ぎ挟雑物を除いたものである⑬。

これ等は凡て常識的のものであるが、重力の作用にはこのほかに放物体がある。これは粒子が垂直方向に対して或る角度をもって飛び上れば弾道を描いて他の位置に移るので分離の方法となる。平行電極間の電界は板面に垂直であり結局飛揚粒子は板面に直角に飛び上るから電極板を第9図のように傾斜すれば上記の条件を満足し粒子は1周波につき1個の放物線を描きながら電極外に落下することになる①。

電界による選別は何れも乾式の工程に属するので設備を簡単にする利益があるが、乾式なるが故にその評価の段階で採用されなかった例がある。硫黄の臨界電圧は高く母岩は安山岩系でそれよりも低く且つ比重も小さいので電界によって精選せられることが実験的にも確かめられた。しかし乾式に粉碎する工程があるため爆発する虞れがあり保安上許され



第8図 キッシュド黒鉛 (右下は鉄鉄)



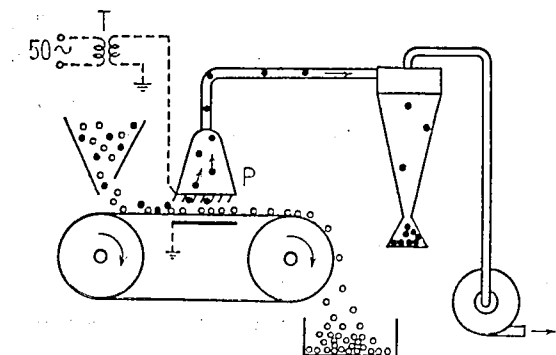
第9図 傾斜式分離法

ない欠点がある。総合評価による制約の一例である。

## 6. 風力の併用

### (a) 吸引気流による方法

電界中で飛揚する性質の粒子はこれを第10図の如く吸い込み、サイクロンで捕集することができる②③。重力を利用する装置では粒子を運搬するベルトを進行方向に対して直角



第 10 図 吸引式分離法

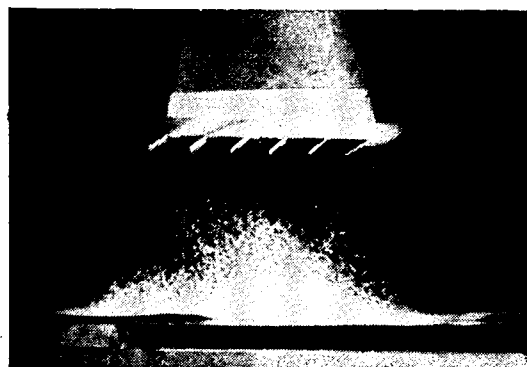
方向に傾斜させる必要があるの  
で、実際には運転の振動によって  
静止すべき粒子をも動かせ逆抑制  
となる。この際ベルトを水平に運  
転して運動粒子に加勢するものと  
して気流と共に吸引すればこの不  
便が除かれることになるのである。

第11図は第10図の電極部分を撮  
影したもので、黒鉛粒子が電極の  
間隙に向って吸い込まれている有

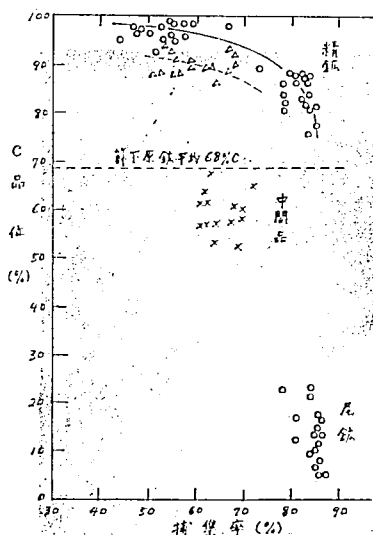
様を示し、第2図の運動粒子に吸引気流を加えた場合に相当している。第12図、第1表及び第2表は理研炭素工業株式会社に依頼して求められた中間試験の成績である。この吸引気流の方法は小規模の実験では極めて満足すべきものであったが ton を単位とする連続操作では必ずしも所期の通りではなかった。その理由の一つは研究者が電圧を調整する場合と工場従業員が完成機として普通に扱う場合とで異なるものと思われる。

### (b) 送風による方法

送風法としては電界内に生ずる風をもって粒子を攪拌し加勢するものと、特に設けた送風管から気流を送り運動粒子を吹き飛ばす方法とが考えられる。一般に電界を強くすると



第 11 図 電極内へ吸引する状況



第 12 図 朝鮮産黒鉛篩下生産成績



第 1 表 国産天生黒鉛生産成績

粒度 (タイラーメッシュ)	周 波 数	
	50～	500～
35——50	93.8%	94.3%
50——100	91.4	91.6
100——150	89.4	90.1
150——200	82.8	90.3

電極の突起部にコロナ風を生ずるので、これを攪拌用に供し重い粒子を動かし或は微粉を飛散させることができる。コロナは火花放電に先行する電界強度で生ずるからグラディエント・フォースが大きいことを意味し且つ電子の供給も豊富であるから粗粒子を粗選する場合に適している③。第13図はその程度を示している。

外部から送風管を通じて気流を加える方法は分離のみならず分級をも兼ね、特に粒子が半導体性

第 2 表 セイロン産黒鉛生産成績

捕集位置 周 波 数	1	2	3	4	C <sub>1</sub>	C <sub>2</sub>	T
200	90.7	89.3	86.5	74.2	90.4	78.6	26.5
500	91.80	95.50	93.50	93.20	92.30	93.70	77.00
750	83.5	87.8	90.5	83.1	92.0	90.5	66.1
1000	91.8	86.5	93.50	93.20	92.30	93.70	77.00

(注) 原 鉛 セイロン産チップス、200 メッシュ下1同掛け 品位76.5%  
 捕集位置 給鉛函から尾鉛受函の方向に4区分しその捕集落下位置を順次 1,2,3,4 とする。  
 C<sub>1</sub> は 1, 2, の上部から吸引したサイクロン捕集  
 C<sub>2</sub> は 3, 4, の上部から吸引したサイクロン捕集  
 T は尾鉛 何れも % 品位を示している。

の場合は電界の周波数と風力を調節して分離に自由度を与える利益がある。天然黒鉛の場合、粒子は誘電力と受風力及び重力の和が質量による慣性力と空気抵抗の和に等しくなる状態で平衡を保ちながら運動するものであるが、その力はそれぞれ方向が異なり且つ粒径によって大きさが異っている。見掛け上の誘電力はその成極が粒子内部の渦流に基くものと考えられるから周波数の平方根と粒径の積によって定まり、また誘電力は電界傾度によって定まるから粒子の移動に寄与する要素は粒径、電界の強さ、風速及び周波数である。それ故これ等の関係を適当に選べば分離と分級とを同時に行なうことが出来る訳で、例えば混合粒子に高周波の電界を与えれば連鎖糸状の微粒子が一連となって遠い部分に集るが中間粒径のものは匍匐状態で近い部分に落下するが如きである。また誘電的に成極した粒子は吸収現象によって或る時間だけその性質を保持するから互に吸着したまま落下し、空中に飛散することなく捕集が容易に行なわれる⑩。

(c) 渦流による方法



第 13 図 コロナ風による粗選

分離に空気の渦流や乱流を利用して効果のあることは想像し得るが、不定な要素があるので一般的には実験によって判定せられる。例えば吸引気流によって飛揚粒子を捕集する場合、電極にコロナ風を発生させると局所的に渦流を生じ、この渦流が粒子を攪拌して飛揚を助けるが如き作用がある⑥。

今まで述べてきた方法は何れも交流式であるが、以下直流を用いた場合について述べる。

先ず定常的な渦流を探せばサイクロン内部の気流がある。ガラス製のサイクロンによって観測するとその速度は著しく、粒子はその運動エネルギーによって帯電し、同種の粒子は同種の電荷を受けるので、サイクロンの下方に網目状の電極を設け反対符号の極性になると同種の粒子のみが吸引せられて電極内に集積し分離せられることになる⑤。

#### (d) 噴射による方法

上記の方法を更に拡張して粒子を気流と共に高速度で噴射し直流の電界中に入れると、帯電した粒子が電極に吸着し捕捉せられることになる。

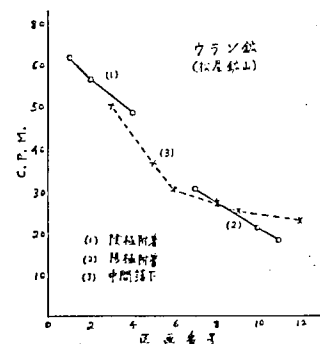
この実験には大きな設備と経費を以て当り粒子としてはフライアッシュを対象にした。この微粉は火力発電所が微粉炭を燃焼して排出する灰で、セメントの配合材としてダム建設に大量の需要がある。その灰の中には当時幾分かの未燃の炭素分が含まれていて好ましくないというので、これを除去する目的で着手したのである⑩。

しかしその着想と試験成績は省みて必ずしも成功したものとは思えない。先ず噴射する技術が大量処理に適するかどうか、もっと根本的にはノズルから気流が噴出するとき断熱的の膨脹によって冷却し、湿度が増加して電氣的に不利な条件をつくるのではないか。好ましくない評価が予想せられた一例である。

この理由から④によって解決するため実用機を組み立てたが実験室を移転する運命にあり中止することになった。しかし粗い灰であるサンドアッシュについては十分な成果をあげ未燃炭素に2種類があること、比重の小さい炭素分の抽出液から石膏の結晶を得たことを理由に微粉の固結が炉内の  $\text{SO}_2$  と  $\text{SO}_3$  の生成によるとの証明とすることができた。微粉の固結は大量処理を阻害するので問題となって居り、固結は分離の反対現象であるからその防止方法も分離技術に属するが電氣的方法はまだ見当らない。

気流と共に噴射する方法は元来微粉用として考案したものであるから、わが国のウラン鉱の組成から見てその粗選に適するとの考えから実験を試み第14図のような結果を得た。横軸の数字はノズルから見た区画番号で縦軸には GM 管による毎分のカウント数が一応の品位として記されている。これによってウランが陰極に濃集されることが分り陽極の2倍になっているが何れも片刃であって更に微粉にする必要がある。図中に中間落下と記したのは電極に附着せずその間に落ちた粒度の大きいものである。

ウラン鉱の分離も可能であることが分ったが、放射性物質の取扱いには厳しい法律があり且つ実際の被害をおそれて中止した。例えば松尾鉱山から鉱石を入手するための輸送手続きの煩わしさに当面したこと、乾式法であるため微粉の飛散を虞れたことで保安の点から好ましくないと評価した次第である。



第 14 図 噴射法によるウラン鉱の分離

## 7. 相変化による分離

分離ということをもっと広い視野から見ると固体、液体、気体という相の立場で分類することができる。上述のものは何れも2相の場合で固体と固体との間の問題であり、サイクロンによる粒子の捕集は気体と固体の間のものである。また何れの場合でも量が相互に対等でなく単に不純物を除去するという程度の比率で分離を考える場合がある。次にその一例として気体中に浮遊する微粒子を除くとか、気体中の有害ガスを除く方法について述べる。

### (a) 流水面を一方の電極とする方法

煙道の排気中には煤煙のような微粒子を混じているから大気汚染の問題と関連して気・固分離が必要である。排気中の固体粒子を取り除く要求に対し電気の応用としてはクーロム力を有効に適用したコットレル集塵器が最も広く用いられている。しかし液体の微粒子の場合は電極に捕捉せられて流下し電極面を被覆するのでイオンの供給が不充分となるから能率が低下する。更にこの粒子が有機質の揮発性成分の場合は粘性を帯び而も絶縁性であるから冷却されると共に電極面をタール質で覆い機能を失うことになる。例えば清掃用の塵芥焼却によって生ずる排気は飽和蒸気中にタール分粒子を多量に含んでいるから普通のコットレル集塵器を適用することが出来ないのである。

その改良として試みたのが⑭であって、これは電極を水平にし電極間を煙道の一部とするからこの部分で排気は水平方向に吸引せられる。上方の電極には細い金属線を一列に並べたものを用いて附着したタール質が滴下し易いようにし、下方の電極としては流水を以てし滴下タール質が常に流れ去るように考案したものである。この流水は運搬用ベルトの役目をし浄化槽で汚過されるので循環して使用することが出来、集積されたタール物質は他の用途に利用することができる。上部の電極と水面の間に高い電圧を加え間歇的火花放電を生ずる程度に調整すると各所にグラディエント・フォースの強いところができるのみならず、電子の加速による増殖及び衝突による光電子の放出が著しく而も広く拡散するので、イオンの供給という立場からすればコロナ放電による電子の放出よりは効果的である。また上部の電極から滴下したタール物質は水面に捕捉せられた粒子と共に浮游し強い皮膜となって水面を覆うことになる。しかし水は常に流れているから皮膜はその方向に移動し、新たに注がれる水面との間に不連続な境界線を無数につくるので、この部分のグラディエント・フォースが大きく微粒子の捕捉が行なわれるのである。乾燥木材を1時間5kgの割合で燃焼し、その排煙を介して照度計の指示を比較したが、各風速に対して満足すべき成績が得られた\*。

### (b) 排気を急に冷却する方法

揮発性成分のタールが電極を覆うのは冷却によるのであるから、その能率低下を防ぐためには煙道の高熱部にコットレル集塵器を設ければよい。それはただ耐熱材料の問題に過ぎないから今後普及するものと思われる。

しかしそれは気・固分離のみで気・気分離には効果がない。今日問題になっているのは排気中の有害ガスを除去することで特に  $\text{SO}_2$  と  $\text{SO}_3$  については法律による最高基準があ

\*「煤煙の捕集に関する研究」金谷一秀 東京都清掃事業研究報告書 昭和36年及び昭和37年

るほどである。そこで排煙は水蒸気を含んでいるからこれを冷却すれば水滴を生じその過程で有害ガスを吸収或は吸着する筈である。排煙が乾燥している場合でもその高熱を用いて水蒸気を含ませたのち過飽和にすることが出来るから問題は有害ガスの除去能力と経済の比較になる⑭。

扱て排気を冷却する方法であるが、その通路に設けた熱交換器によって外部から熱を奪うのが常識である。しかし排気中の揮発性成分は冷却されるに従って粘液となり遂にタールとして内壁を覆うことになり、而もタールは熱に対して絶縁性であるから熱交換が不能になる。これは実験の結果約  $20^{\circ}\text{C}$  でおきる現象であるから水蒸気を過飽和にするには更に低くしなければならない。従ってこの場合は冷却した気流を送入して混合するか液化ガスをを用いねばならぬことになる。

従来は洗煙法が用いられ煙道中に水を噴射し煙霧状にして浄化を行なっているが、霧粒はガス分子に比してあまりにも大きく吸収と吸着の作用が行なわれないから水蒸気が凝縮して霧粒となる過程で作用させるべきである。この過程は理論的には溶液から結晶が析出する過程と同様であって、必ず母体の過飽和という現象の中で行なわれるから蒸気の凝縮には飽和点を越え過冷却を行なうことが必要なのである。

気相の中で水分子は乱雑な熱運動をしているが過冷却の状態になると局所エネルギーの分布に変動を生じ確率的に液相と同じ分子配列をした芽と称する集団ができる。芽の大きさは相反するエネルギーの和として極大値をもち、その値以下では分解しその値以上になるとはじめて大きくなる方が安定になる。この限界値に相当する分子集団が核で水滴はこの核が成長したものである。統計力学的な理論によれば芽が核になるには無限の時間を要し偶然の確率も少いので、気中の水蒸気が凝縮して霧粒となるにはただ冷却されただけでは不可能である。そこには何かの微粒子が芯となる必要があるので、核より大きな芯があればその表面の蒸気張力が低下し、次々と蒸気が凝縮することになる。粒子が電荷をもつとその表面の張力は低下するからイオンも水滴の芯となり易いのである。気相の温度が低くなると核は出来易いが周囲の分子は活動せず集り難くなるから結局過冷却の度が大きいほど核は多く出来てその粒径は小さいものになる。

この理由から⑭の流水面を用うる方式で内部を急冷して含有水分を過冷却の状態とし且つ放電によるイオンが充分であれば核が生じ易くことが分る。有害ガスの分子はこのミクロの過程で常に共存しているので水滴による洗滌法より有効であることを実験的に確かめることができた。

### (c) 液化と固化による分離

分離技術の上から今後に期待されるのは気体液化の応用である。ここに述べるところは初期の段階に過ぎないので発表の時期ではないがその一例について概要を述べる。塵芥を焼却する場合について考えると空気は必要であるが、その成分である窒素は必要でなく寧ろ設備を大きくするに過ぎないから、予め空気を液化して窒素を分離して除き、酸素のみで燃焼するのが合理的である。酸素のみによって燃焼すれば化合物の酸化が進むから  $\text{CO}$  より  $\text{CO}_2$  へ、 $\text{SO}_2$  より  $\text{SO}_3$  へ向い排気の主成分は  $\text{H}_2\text{O}$  と  $\text{CO}_2$  になる。この気体を冷却すると先ず氷ができ、次の段階で圧縮すると固形炭酸ガスができる。残余の気体を液化するには深冷と圧縮を必要とするがその量的比率は極めて低い。もしこの方法が実現すれば排気を放出しないから煙突が不必要となり、従って地下に焼却場を設けることも可能

となる。尚塵芥は 1kg 当り約 1,500 Kcal の熱を出すからその発熱を電力に換えれば凡ての経費を支弁して余りがある。

その効用は別としてこの工場の原料は空気と塵芥であって、それによって得られるものは液体窒素、電力、氷及び用水、木酢液、木タール、固形炭酸ガス、不定の液化ガス、不燃物で分離の複雑な例となる。

また粒子の捕集という面から見ると排気を極度に冷却するので水分は氷晶となり揮発性の成分は固化の粒子となるから前置サイクロンによって予め除かれ、電気的にはグラディエント・フォースによって残余の固形粒子を捕捉すればよいことになる⑯。

## 8. 組み合わせの表示

思考の過程は複雑であって結果から見るとどのようにでも述べるができるものである。しかしアイディアの機械化を目的とする研究では、その組成を分析し要素を摘出する必要があるので、以上述べたところをまとめてみる。

本文では凡て1次作用として電界をとり、これに数種の2次作用を組み合わせた場合のみを取り扱っているので、考案16件は第3表に示した如く配分せられる。表中の空欄は既知の方法とか、不適当な事情によって創案にならない組み合わせを示している。第4表と第5表は粒度と物性とが関係するところを示し、この条件の下に分離可能な組み合わせがあったものとする。

第3表

1次作用 2次作用		直 流	交 流		
			低 周 波	可聴周波	高 周 波
誘 電 力			④⑥		⑪
篩 分					⑧
重力、磁力			①⑬	⑨	⑦
風	吸引		②③		
	送風		⑩	⑩	⑩
	渦流	⑤			
力	噴射	⑫			
	相 変 化	⑭⑮⑯			

第4表

1次作用 粒 度		直 流	交 流		
			低 周 波	可聴周波	高 周 波
大 粒 子			①③⑬		
中 粒 子			②⑩	⑨⑩	⑩
微 粉		⑤⑫	④⑥		⑦⑧⑪
エーロゾル		⑭			
有 害 ガ ス		⑮⑯			

次に粒子 [A] と粒子 [B] の混合粒子を [A][B] と記し分離力を [S] とすれば

$$[S_1][A][B] = p_1[A] + q_1[B] + r_1[A][B] \quad (5)$$

(原鉱)    (精鉱)    (尾鉱)    (片刃)

となる。但し  $p_1, q_1, r_1$  は原鉱に対する重量比で  $p_1 + q_1 + r_1 = 1$  である。第3項の片刃を更に処理すると

$$r_1[S_2][A][B] = r_1p_2[A] + r_1q_2[B] + r_1r_2[A][B] \quad (6)$$

となるから同様に操作して整理すると

第 5 表

混 合 粒 子		粒 度	適 用	企業化困難の理由
黒 鉛	石 英		①②③⑦⑧⑨⑩⑪	
硫 黄	安 山 岩	微 粉	①⑤	粉 碎 危 険
ジルコニ砂	石 英	大 粒	①	
タングステン鉍	石 英	中 粒	①	
フライアッシュ	未 燃 炭 素	微 粉	④⑫	大量処理費大
ウ ラ ン 鉍	花 こう 岩	微 粉	⑤⑫	人 体 危 険
キッシュド黒鉛	銹 鉄	大 粒	⑬	経 済 価 値 小
煤 煙	排 気	微 粒	⑭⑮⑯	

$$[S][A][B]=(p_1+r_1p_2+r_1r_2p_3+\cdots)[A]$$
$$+(q_1+r_1q_2+r_1r_2q_3+\cdots)[B]$$
$$+(r_1+r_1r_2+r_1r_2r_3+\cdots)[A][B] \tag{7}$$

となる。粒子 [A] の捕集率は無限級数  $p=p_1+r_1p_2+r_1r_2p_3+\cdots$  によって与えられるが経済的には第 2 項までとるのが普通である。

上式の [S] は分離作用を示すマトリックスで、その内容を次のように定めて形式化することができる。

$$[S]=\begin{pmatrix} \text{(電圧)} & \text{(周波数)} & \text{(電極)} \\ \text{低圧} & \text{直 流} & \text{水平} \\ \text{高圧} & \text{低周波} & \text{傾斜} \\ \text{特高} & \text{高周波} & \text{垂直} \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} \text{(力学的)} & \text{(風力)} & \text{(電気力)} \\ \text{篩分} & \text{水平} & \text{電極側} \\ \text{落下} & \text{垂直} & \text{中 間} \\ \text{放物} & \text{渦動} & \text{接地側} \end{pmatrix}$$
$$+ \begin{pmatrix} \text{(電極)} & \text{(輸送)} & \text{(捕集)} \\ \text{平 板} & \text{ベルト} & \text{落 下} \\ \text{突 起} & \text{風 力} & \text{サイクロン} \\ \text{その他} & \text{水 流} & \text{そ の 他} \end{pmatrix} + \cdots \tag{8}$$

$$\begin{pmatrix} [A] \\ [B] \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \text{(粒度)} & \text{(形状)} & \text{(物性)} \\ \text{普 通} & \text{球 状} & \text{導電性} \\ \text{微 粉} & \text{薄 片} & \text{半導体} \\ \text{エーロゾル} & \text{その他} & \text{絶縁性} \end{pmatrix} + \cdots \tag{9}$$

[S] の右辺で第 1 項は分離の主力，第 2 項は併用力，第 3 項以下は構造その他細部に亘る項であって，考案価値は右に進むほど次第に減少することになる。

次に各マトリックス中の該当する項を 1 とし他を 0 とすればそれぞれの特徴が数字としてカード式に表わされ，更に各列 3 数字を単位にして順次右に記すとテーブル式として紙面の節約となる。例えば黒鉛を [A]，石英を [B] とすれば次のように記される。

$$[A]=[100\ 010\ 010]$$
$$[B]=[100\ 100\ 001]$$
$$[A]-[B]=[000\ \bar{1}10\ 01\bar{1}] \quad 0-1=\bar{1} \tag{10}$$

即ち形状と物性の差を対象として両者を分離する手段が [S] に相当するのである。一例として①と②を同様の記法で示す

$$\begin{aligned} \textcircled{1}[S] &= [001 \ 010 \ 010] + [010 \ 000 \ 100] + [100 \ 100 \ 100] \\ \textcircled{2}[S] &= [001 \ 010 \ 100] + [000 \ 010 \ 100] + [100 \ 100 \ 010] \\ \textcircled{2}[S] - \textcircled{1}[S] &= [000 \ 000 \ \bar{1}\bar{1}0] + [0\bar{1}0 \ 010 \ 000] + [000 \ 000 \ \bar{1}10] \end{aligned} \quad (11)$$

即ちその差は3ヶ所にあつて、先ず①を基準にして考え、電極の傾斜をさけるために水平にすると粒子を落下させることが出来ないから他の方法を探ることになる。②では上方に吸い上げる考案で風力を用い、その当然の手段として捕集にサイクロンを設けることになったのである。このように上式で1と $\bar{1}$ は対を成して考案の試行過程を示すことになる。同様に16件についての相互に差を求め或は他の既成のものと比較することも出来るが、その結論と共に他日の発表に譲ることにする。

このように既成の考案を取り扱うことは容易であるが、その逆は必ずしも成功するものとは限らない。次に来るべき問題は1と0の位置を任意にして、その組み合わせの中から取捨選択する基準をどうして定めるかということであり、更に従来論理演算方式がどの程度に取り入れられるかということである。これこそ将来に亘る基本的のものである。

## 結 言

電気選別法について筆者が考案した跡を辿ることに終始したが、本文の目的はその経過に基き、人工頭脳によってアイディアが得られるかどうかを吟味することであつた。この提案が可能であることに疑いをもたないが前途の多難は予想せられる。それは分離と結合の理論体系が未完成であることと、人間の心理過程が形式化せられないからである。しかし今日の電子計算機は自己組織化のオートマトンとして発育の途上にあるので、本文のような局限せられた低いアイディアならば短時間に答を出す時が来るはずである。たとえ現在完全でなくてもその途がひらけるならば、それを更に複雑微妙なものに及ぼすのはただ技術の問題に過ぎないのである。

この提案に対する証明は実績によってきまるので、今後は先ず多くの創案を通じ、そのアイディアの由って来るところを分類して整理する必要がある。そして過去に成就した発明のうち偶然とか靈感によるものは他日に譲り差し向き大多数のものが経験の組合わせと選択、記憶との対比によることを示さねばならない。

このような分割と接続の処理方法を分離学と名づけているが、その概念は普遍的のもので論理学の範囲にある。化学では分析と合成が基盤であるように、物質を離れた抽象の世界でも分離と結合が繰り返えされているのであるから、何れは一般化した体系を整え得るものと信じている。

扱て本文はこの設問に対する例示に過ぎないので附録に記した個人の考案のみを引用して過程を単純化した。それでも16篇の論文を内容としたので紙数の制限から多くの図面と試験成績表を省略した。説明書並びに図面は意見書と共に特許庁内に保存せられているので参照して頂ければ幸である。

以上未知のまま問題の結論に及ぶことなく徒らに紙数を浪費したことをお詫びすると共に、識者の御批判と御指導を仰ぎ更に勉強したいと念願する次第である。

附 録

本文引用番号	特 許		名 称	備 考
	番 号	登 録 昭和年月		
①	166305	19.8	粒状混合物の電氣的分離装置	満洲国文化褒章
②	195441	27.8	混合粒子の電氣的選別装置	特許庁 優 秀 発 明
③	205617	29.5	混合粒子の電氣的選別装置	
④	207686	29.8	微粉の電氣的選別装置	
⑤	208208	29.9	サイクロン利用の電氣的選別装置	
⑥	特願 昭28—18430	放 棄	電氣的選別装置の改良	
⑦	215907	30.8	半導体粒子の高周波精選方法	
⑧	221194	31.4	微粒子の誘電的抽出方法	
⑨	224798	31.8	混合粒子の誘電的精選方法	
⑩	229414	32.2	半導体粒子の電氣的分粒分離方法	
⑪	222142	31.5	微粉の電氣的精選方法	
⑫	未 出 願		噴射による微粉の精選	文 部 省 試 験 研 究 報 告 書
⑬	未 出 願		磁性粒子の精選装置	東京通産局書類
⑭	428943	39.9	微粒子の電氣的回収方法	東京都清掃局 委 託
⑮	特願 昭37—48933		煤煙の電氣的除去方法	
⑯	特願 昭38—5639	放 棄	排煙の阻止方式	