

論文の要旨

題目 粗大粒子を分離するサイクロン型分級装置の研究

(Study of a Cyclone Type Classifier for Separating Coarse Particles)

氏名 忍足 輝男

アクリル粒子は、電子材料、アンチブロッキング剤、塗料、トナー、衛生材料、化粧品など様々な分野で利用され、使用形態も多様である。電子材料に用いられる粒子の用途では、液晶ディスプレイの表面に外部からの写り込みを防止するアンチグレアフィルムに用いられている。また、光源を均一に拡散させる光拡散シートに用いられている。これらには、粒子を均一分散させたバインダーが塗布されており、塗布層内の粒子径が不均一では仕上りの偏りやスジ、光り抜けなどの欠陥として確認されてしまう。そのため、バインダーへ用いる粒子は、均一な粒子径であることが強く要求されている。近年においては、液晶ディスプレイの薄型化の要求も強く粒子径分布の狭い粒子が求められている。したがって、微粒子を製造する工業用の分級プロセスには、粒子径が制御できる高機能な分級装置が期待されている。

分級装置には、乾式分級と湿式分級があり工業用のプロセスでは湿式と比べ分級処理能力が高い乾式分級が用いられている。この乾式分級は、遠心分級・篩分け・慣性分級・重力分級などに分類され、中でも遠心分級方式が多く用いられている。

遠心分級方式には、自由うず型がありサイクロン型が構造も簡単で保守が容易であること、付帯設備を含め安価であることから多くの工業用プロセスで使用されている。

近年では、サイクロン型分級装置として粒子径分布を制御する数多くの研究がなされ、分級および分級径の可変操作が高い精度で行われるようになった。但し、これらは、低粒子濃度領域での制御であると同時に分級点が数 μm 以下の粒子を対象としたものである。

本論文は、工業用の分級プロセスに使用可能な高粒子濃度領域で数十 μm 以上の粒子径領域において分級でき、高い分級性能を有するサイクロン型分級装置の開発を目的として行った研究について記した。

第1章では、本研究の背景となる粗大粒子のみを除去する必要性と本研究の目的であるサイクロン型分級装置の必要性について概説した。また、サイクロン型分級装置に関する既往の研究とサイクロンの特性についての課題を概説した。

第2章では、一般的なサイクロンの捕集箱と異なり、特徴としては、内筒と外筒からなる2重構造を有する捕集箱のサイクロン型分級装置を試作し、各装置条件と操作条件が分離径に及ぼす影響について実験を行った。

外筒捕集箱には、接線方向に追加気流を流入させるノズルを設けた。さらには、内筒と外筒捕集箱の上部の間に粒子を分離する分級ゾーンのチャンネル部を設けた。このチャンネル部では、サイクロン内の強い気流により旋回下降する粒子が遠心力の作用でチャンネル部に入ると同時に外筒捕集箱からの追加気流による抗力とのバランスで、遠心力の作用が大きい質量の大きい粒子は外筒捕集箱へ、抗力の作用が大きい質量の小さい粒子は内筒捕集箱へ分離される。

実験では、この特徴を有するサイクロン型分級装置を用いて、内外筒からなる捕集箱の上部の間のスリット幅、外筒捕集箱からの追加気流、主流量入口の開口比、外筒捕集箱上部の円錐部の傾斜角度、および主流量の各装置条件と操作条件を変化させ分離径に及ぼす影響について評価した。

この結果、サイクロン入口の主流量と追加気流を調整することで、50%分離径は約 $21\mu\text{m}$ から $27\mu\text{m}$ の範囲で可変させることができ、さらに50%分離径を $27\mu\text{m}$ に調整することにより、製品回収率は88%にも向上させることができ試作したサイクロン型分級装置は、アクリル粉体の粗大粒子を高精度で除去分離することが示された。また、50%分離径は、粒子に及ぼす遠心力と追加気流による抗力が

釣り合う分級面を設定して導出される相関式を補正した式から推算できることも確認された。

第3章では、第2章で得られた最適な装置条件を適用し、分級精度を高めるためサイクロン型分級装置のチャンネル部に改良を加え、チャンネル部を6mmから23mmへ長くし実験を行った。

実験では、追加気流が分離径および分級精度指数に及ぼす影響について評価した。また、50%分離径の推算式を導出し、推算値と実験値の比較を行った。

この結果、50%分離径は、追加気流よりも主流量を増加させることにより、50%分離径を変化させることができた。このことから、追加気流の増加が粒子に作用する旋回速度、つまり遠心力が大きくなるが、同時に気流の抗力も大きくなることが示された。また、追加気流の増加は、25%分離径 D_{p25} を増加させ75%分離径 D_{p75} を減少させ、分級精度指数 $\kappa=D_{p25}/D_{p75}$ を0.75~0.92と言う高い分級精度で分級されることが示された。導出した推算式からは、粒子がチャンネル部に入り反転するダイナミックモデルによって最もよく適用され、さらに分級面における粒子に作用する気流の抗力と遠心力の非平衡状態で決定されることが確認された。

第4章では、第3章で得られた最適な操作条件を適用し、サイクロン型分級装置を工業用の分級プロセスに用いるため、高粒子濃度領域において操作条件が分離径に及ぼす影響について実験を行った。なお、高粒子濃度を分級可能な条件とするため、改良を加えサイクロンの天板近傍から追加気流を流入させられる構造とした。

実験では、サイクロンの天板近傍から追加気流を流入させ分離径および分級精度指数に及ぼす影響について評価した。

この結果、サイクロンの天板近傍から追加気流を流さない条件では、粒子濃度を増加させると分級性能の著しい低下が示された。さらに、粒子濃度を増加させ、 $c=0.031\text{kg-solids/kg-gas}$ 以上となると分級が不可能になることがわかった。しかし、サイクロンの天板近傍から追加気流を流すとサイクロン壁面の粒子は、分級可能な状態となり分級性能の低下を軽減させることができ、 $c=0.0015\sim 0.077\text{kg-solids/kg-gas}$ の範囲では分級精度指数 $\kappa=0.79$ 以上の分級性能が示された。

これらのことから、開発した内外筒の捕集箱を特徴とするサイクロン型分級装置は、高粒子濃度領域であっても分級点が数十 μm 以上の粒子範囲で高い分級性能を有することが示された。

第5章では、第2章から第4章までで得られた主要な知見を纏め、本論文の統括とした。