

審査の結果の要旨

氏名 秋山 修

本論文は「非定常流れ解析による円筒型サイクロンセパレータの粒子分離メカニズムの解明」と題し、本論6章と付録から構成されている。

サイクロンセパレータは基本的には遠心力により粒子を分離する装置であり、化学プラント、家電製品、電子機器等に広く応用されており、その研究の歴史も古い。しかしながら、セパレータ内部の流れの構造やそれが粒子の分離に与える影響などは十分には解明されていなかった。本論文は高精度な流れの解析と粒子の追跡シミュレーションにより、ミクロな渦構造も含めて、サイクロン内部の流れを再現し、粒子分離のメカニズムの詳細を明らかにするとともに、得られた知見を基にして、分離効率を向上させるための工業的に有用な方法を提示したものである。

以下に各章の内容をまとめる。

第1章ではサイクロンの適用事例を紹介するとともに、内部の旋回流れに関する従来研究を調査した結果を整理している。この中で、サイクロンセパレータの粒子分離メカニズムが一般的に言われるような遠心力だけでは説明できないという課題を提起し、このメカニズムの解明が捕集効率の向上に繋がるということから、本論文の目的を述べている。

第2章では、本研究で用いたサイクロンの流体解析手法とその解析精度について述べている。しばしば精度検証に用いられる Stairmand サイクロンを対象として、らせん渦のすりこぎ運動が定量的に再現できることを示している。前記のすりこぎ運動はこれまでの研究により定性的には再現されていたが、定量的に再現したのは本研究が初めてである。さらに、形状の異なる二種類のサイクロンを対象として、サイクロンの特徴的な流れ構造であるランキン渦の分布形状を精度よく解析できる事を検証している。

第3章では、粒子追跡手法とその解析精度について述べている。本研究で対象とした

ケースについては、流体中の粒子に作用する力として Stokes Drag と重力のみを考慮し、また、粒子濃度は十分希薄であると仮定して粒子の運動方程式を導いている。検証には内径や軸長が異なる 2 つの円筒型サイクロンを供試体として用いた。およそ球体とみなせる数ミクロンのサンプルシリコン粒子 3 種について、解析により得られた粒子の捕集効率は実験値と定量的に一致することを示している。

第 4 章では時間平均流れや流れの中の渦の変動について得られた解析結果を基にして議論している。特に、これまでの研究で議論されることがなかったサイクロン内部の質量流量の移動を詳細に調べており、どの程度の流れがサイクロンの底部まで到達するか定量的に示している。また、粒子は遠心力で外側に移動するため、流れの旋回強さが重要なパラメータとなる。そこで、角運動量の受け渡しを定量的に評価し、流れの中の大きな渦構造と粒子分離との基本的な関係を明らかにしている。さらに、本章ではサイクロン内部にはらせん渦のまわりを旋回しながら出口管に移動する長細い縦渦が存在し、円筒の内壁面近傍に達している様子をサイクロンの研究史上始めて示している。この縦渦の運動は粒子分離に大きな影響を与えうることを示唆し、次章に議論を引き継いでいる。

本論の最後となる第 5 章では、4 章で議論した非定常な流れ場を用いて粒子追跡をした結果について述べている。具体的には、種々の条件における粒子追跡結果を詳細に比較することにより、粒子には大きく分けて 4 つの経路が存在することを明らかにしている。これらの中で特に、前章で示した縦渦と粒子の挙動を同時に可視化することで、縦渦により円筒内壁面の近傍から内向きに搬送される粒子の経路を示している。また、排出される粒子の大部分が出口管に近い縦渦に補足された経路であり、円筒型サイクロンの分離メカニズムは遠心力と縦渦で説明されることを示している。さらに、得られた知見を活用して、実用的な形状で出口管近傍の渦運動を抑制し、捕集効率を高めたサイクロンを提案し、その効果を実証している。

第 6 章は本論文の成果を纏めるとともに、今後の研究の発展性に関して言及している。

以上、本研究により高精度な数値解析手法を用いることにより、サイクロンセパレータの粒子分離メカニズムを詳細に明らかにするとともに、得られた知見を基にして、分離性能を向上させるための方法を提案し、実証している。この研究には工学的・工業的に大きな貢献が認められ、進歩性・新規性・独創性も高い。

よって、本論文は博士（工学）の学位請求論文として合格と認められる。