

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 27 年 6 月 8 日現在

機関番号：12601

研究種目：基盤研究(B)

研究期間：2011～2014

課題番号：23360063

研究課題名(和文) 微細流路内での拡散現象を利用した微粒子の連続立体混合システムの構築

研究課題名(英文) Three-dimensional mixing system of micro particles by diffusion in micro channels

研究代表者

土屋 健介 (Tsuchiya, Kensuke)

東京大学・生産技術研究所・准教授

研究者番号：80345173

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 14,400,000円

研究成果の概要(和文)：本研究では、単にかき回しても混ざらない微粒子同士を、均一あるいは任意の成分分布状態に「混合」させるための技術を開発した。時間に依存せず任意の成分分布をもつ微粒子の混合物を作るために、混合したい複数の微粒子を連続供給しながら、それぞれを多数に分割する。分割したもの同士を拡散混合することで局所的な混合比を保証し、その状態で全体を集約する。分割数を増やすことで、精密な混合が可能になり、また粒子の拡散速度が速くなる。これを実現するために、3次元的な微細流路をもつ連続立体混合システムを開発した。この技術を用いて、成分比率が連続的に変化する混合物を試作し、システムの性能を確認した。

研究成果の概要(英文)：In this research, we developed a new mixing technology for micro particles that cannot be mixed by stirring simply to make any distribution of component ratio. The system feeds micro particles continuously and divide them into a number of stream. Then it puts the streams of different kind of particles together and puts the mixture into one place. This method can guarantee the local component ratio, and can mix the particles without depending on time. When the number of division increased, the quality of mixing gets better and the diffusion speed gets faster. To realize this method, we newly developed a three-dimensional mixing system with micro channels. Through a demonstration of make gradational mixture of micro particles, we have evaluated the function of the system.

研究分野：マイクロハンドリング

キーワード：混合 粒子 微細流路 分割 拡散

1. 研究開始当初の背景

微粒子・粉体の混合技術は、産業界では至る所で必要とされる、極めて一般的な要素技術である。特に素材を製造するメーカーでは、混合が不可欠である。微粒子の混合には、一般に粉体を容器に入れて振り動かすか、プロペラのようなもので攪拌する方法がとられるが、これらは基本的に「かき回しておけば、そのうち混ざる」という考え方に基づいている。

しかし、この考え方には2つの問題点がある。1つは混ざるか否かが時間に依存している点である。大量に処理するには、とにかく大きな容器に入れて時間かけてかき回すことになり、その分時間がかかる。鉄もガラスもセラミックも、この間に加熱したり乾燥させたり、何らかの形でエネルギーを投入して作られている。つまり、かき回して混ざるのを待つのは、時間とエネルギーの無駄なのである。待っていて混ざればまだよいが、現実には永久に混ざらないものや、かき回すほど分離するものも存在する。たとえば袋入りの食品から容易に想像がつくが、駄菓子の柿ピーも、ふりかけののりたまも、軽いものが先に出てきて、袋の底には重いものが溜まる。つまり粒子の比重によって偏析が生じる。他にも、粒子の径、粒子の形状、粒子表面の電位や水分などとの親和性など、さまざまな要素が偏析の原因になる。産業の現場では、これらの要素のバランスを巧みに調整して混合しているのが現状である。

もう1つの問題は、均一ではなく意図的に分布を持たせるような混合ができないことである。仮にこれができれば、材質の物性を空間的に自由に設計でき、たとえば無界面で接合された異種材料のようなものや、さまざまな電磁氣的、光学的な機能を発現させることが可能になる。しかし従来型の混合ではこれらのものを作ることはできない。

ここでは、「混合する」ことを、「混合物の任意の部分で、成分の存在比率が制御されている状態を作る」と定義し、それを実現する手段を開発することを目的とする。本研究では、任意の分布が作れない問題を(1)連続プロセスにすることで解決し、混合が時間に依存する問題を(2)分割 拡散 集約というプロセスを導入することで解決する。

2. 研究の目的

本研究では、単にかき回しても混ざらない微粒子同士を、均一あるいは任意の成分分布状態に「混合」させるための技術を開発する。時間に依存せず任意の成分分布をもつ微粒子の混合物を作るために、混合したい複数の微粒子を連続供給しながら、それぞれを多数に分割する。分割したものの同士を拡散混合することで局所的な混合比を保証し、その状態で全体を集約する。分割数を多くすれば、より精密な混合が可能になり、また粒子の拡散速度が速くなる。これを実現するために、3

次元的な微細流路をもつ連続立体混合システムを開発する。

この技術を用いて、成分比率が連続的に変化する物体などを試作し、混合システムを評価する。

3. 研究の方法

連続立体混合システムを実現すべく、(a)供給、(b)流量測定、(c)分割、(d)拡散、(e)集約の個々のプロセスを同時並行で開発し、プロセスを確立する。その後、各プロセスを統合して、連続立体混合を実現するシステムを構築する。試作したシステムを用いて、種々の微粒子の連続立体混合を試み、システムの評価を行う。新たに判明した問題点に対しては、必要に応じて新たな解決設計も行いながら、システムを実現する。

(a)供給

微粒子の連続供給方法として、スクリューを用いた押し出しを行う。ここで問題となるのは、すなわち供給量が少なくなるとスクリューの回転が遅くなり、回転周期と同期して微粒子の供給量に脈動が生じることである。安息角に起因する脈動現象は微粒子や粉体を扱うときには避けて通れない課題である。この問題に対し二つの解決策を試みる。一つは出口の形状を最適化して脈動が生じにくい構造にする。また、スクリューを微細化して回転数を上げることで、脈動の影響を少なくすることを試みる。

(b)流量計測

微粒子の流量をインラインで測定するために、供給器から落ちる微粒子を斜板に当て、その衝撃力の水平成分を計測することで単位時間当たりの流量を算出する。水平方向の成分だけを取り出すために、並行平板構造の板ばねを用い、その変形量を渦電流センサを用いて測定する。計測値を供給器のスクリュー回転数にフィードバックすることで、所望の量を連続供給することができる。測定分解能向上のために、板ばねのばね定数を低くしてゲインを上げ、振動、温度変化、気流などのノイズ源を排除する。

(c)分割

連続供給された微粒子を2等分割の流路を多段に重ねることで、 2^n 分割を実現する。分割比を2等分に近づけるために、分岐部に自動調整機構を新たに組み込む。流路をコンパクト、かつ多段に集積すべく、分割流路を加工した金属基盤を複数枚重ねて、立体的な分割流路ブロックを開発する。

(d)拡散

2種類の微粒子の、 2^n 分割されたもの同士を一つの流路に導入することで、空間を制限し、互いに拡散し合っ均一な分布をもつ混合物を作る。速やかに拡散させるために最適な流路幅や流路長さを検討し、微粒子の粒径や

流量などに応じた流路の設計指針を明らかにする。

(e)集約

拡散プロセスで混合された部分を1箇所に集約し、一つの混合物の状態にする。構造は(c)の分割流路を上下逆さまにしたものになる。混合物の評価のために、サンプルを分離させてそれぞれの成分の重量を測定する。

上記の5つのプロセスを個別に確立したのうち、個々のプロセスを統合して、連続立体混合システムを構築する。システムを評価するために、試作したシステムを用いて、種々の微粒子の連続立体混合を試みる。従来は混合が困難であった、小径の粒子、凝集しやすい粒子、異形で流動性の悪い粒子などについても、粒子固有の問題点を分析し、それらを解消するための制御パラメータを明らかにする。必要に応じて新たな解決設計(たとえば、加振、加水、圧送、減圧など)も行うことを考えている。また、試作したシステムを用いて、機能デバイスの試作を行い、連続立体混合システムの可能性を探る。

4. 研究成果

本研究では、以下の成果を得た。

- (1) (a)供給、(b)流量測定、(c)分割、(d)拡散、(e)集約の5つのプロセスを統合した、微粒子の連続立体混合システムを構築した。
- (2) スクリュー型の供給装置には脈動の問題を本質的には克服できないが、スクリューを小径化することによって脈動振幅を緩和することは可能であることが分かった。また、斜板への微粒子の衝突力積から流量を求める流量計を開発し、それをインラインに組み込むことで、フィードバック制御による定量供給を実現した。
- (3) 分割の精度を上げるためには、流路の分岐点の形状について、微粒子径に比べて10~100分の1以下の精度が必要であることがわかった。特に、等量に分割する際には、精密に左右対称であることが必要であり、本研究では流路の加工順序を入れ替えることで精度向上を実現した。
- (4) 粒子の径が10 μ m程度より小さい場合は乾燥状態でも粒子が凝集するため、これを分散させることが求められる。本研究では加振による凝集粒子同士の衝突によって、凝集を緩和した。
- (5) 試作した混合システムを用いて、粒子の構成比率が連続的に変化するグラデーション混合状態を実現し、さまざまなデバイス製造に適用できる可能性を示唆した。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

〔雑誌論文〕(計 件)

〔学会発表〕(計 3件)

- [1] 土屋健介, 竹内孝次, 畑村洋太郎, 粉体の立体混合技術に関する研究 - 分割・混合・集約の性能とその応用 -, 粉体工学会 2015 年度春期研究発表会講演論文集, pp. 166-167, 2015. (2015 年 5 月, 東京)
- [2] 土屋健介, 竹内孝次, 畑村洋太郎, 粉体の立体混合技術に関する研究 - 分割・拡散・集約プロセスの試み -, 粉体工学会 2012 年度秋期研究発表会講演論文集, pp. 125-126, 2012. (2012 年 11 月, 東京)
- [3] 土屋健介, 竹内孝次, 畑村洋太郎, 粉体の立体混合技術に関する研究 - 分割・均一状態の作製 -, 粉体工学会 2011 年度春期研究発表会講演論文集, pp. 133-134, 2011. (2011 年 5 月, 東京)

〔図書〕(計 件)

〔産業財産権〕

出願状況(計 2件)

名称: 混合装置, グラデーション混合物及び混合物製造方法

発明者: 畑村洋太郎, 竹内孝次, 近石康司, 土屋健介

権利者: 畑村洋太郎, 竹内孝次, 近石康司, 土屋健介

種類: 特願

番号: 2010-76866

出願年月日: 2010.3.30

国内外の別: 国内

名称: 混合装置, グラデーション混合物及び混合物製造方法

発明者: 畑村洋太郎, 竹内孝次, 近石康司, 土屋健介

権利者: 畑村洋太郎, 竹内孝次, 近石康司, 土屋健介

種類: 特願

番号: 2010-76867

出願年月日: 2010.3.30

国内外の別: 国内

取得状況(計 件)

名称:

発明者:

権利者:

種類:

番号:

出願年月日:

取得年月日:

国内外の別:

〔その他〕

ホームページ等

6. 研究組織

(1) 研究代表者

土屋 健介 (TSUCHIYA KENSUKE)
東京大学・生産技術研究所・准教授
研究者番号：80345173

(2) 研究分担者

()

研究者番号：

(3) 連携研究者

()

研究者番号：