

論文の内容の要旨

論文題目:エックス線による粉体流動の可視化と画像処理法に関する研究

A Visualization Study for Powder Flow with X-ray Penetration and the Image Processing Techniques

氏名:内田圭亮

1mm 以下の粒子集合体である粉体は食品から工業製品まで一般に広く使用されている。特に基本的な粉体のプロセスとして、搬送・輸送工程がある。スクリーフィーダーによる粉体輸送手法(Fig.1)は、工業的に最も多く用いられている手法の一つである。搬送対象である粉体は、小麦粉・米等の穀物から、セメント等の建築材料、電子写真画像形成装置で用いるトナーや磁性粒子キャリア等まで多種にわたる。また、輸送のスケールも搬送距離が数 10m を超える大型の建築材料等の粉体搬送方式から、搬送距離数 10cm の電子写真画像形成装置内まで多様に存在する。構造が比較的シンプル・コンパクトであり、密閉操作に適するという特徴を有する。

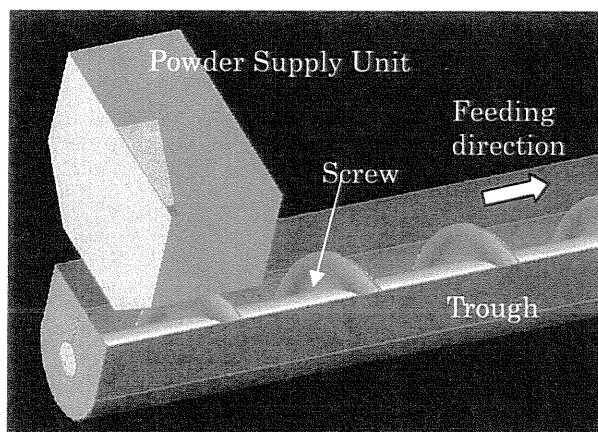


Fig.1 A powder feeder unit with a spiral screw and a trough.

しかし、スクリーフィーダーに限らず、粉体プロセスに関する装置の設計・改良の場面では経験的な知見・相対的な評価が主となっているのが現状である。

理由の一つとして、粉体は流体のナビエストークス式のような確立された運動方程式に相当する基本

式が存在せず、その物理メカニズムに未解明な点が数多く存在するという点がある。粉体特性を完全に記述するためには(i)粒子特性(ii)静止状態における集合特性(iii)流動状態における集合特性、の知見が必要であるが、各々確立された評価手段が無い。とりわけ、粉体は可視光を透過しないために(iii)の動的な流動状態を可視化する試みは、表層状態の観察・エックス線による破断面観察など、限られた事例しか無く、局所的・時間的な流動メカニズムを解析する一般的な粉体の可視化手法は殆ど存在していない。一方、近年の計算機能力向上を背景として、粒子要素法等のシミュレーション開発も行われ徐々に粉体流動解析への実用化が行われている。このようなシミュレーションの結果評価のためにも、同等の情報量を有する計測手段、特に粉体流動の可視化手法が望まれている。

本研究では比較的汎用性の優れた可視化手法として、エックス線吸収率の高いトレーサー注入によるエックス線透過観察法を提案する。可視化の対象としては、最も基本的な粉体プロセスの一つとして、上述のスクリーフィーダー粉体搬送装置を取り上げた。

得られた可視化像から、粉体搬送速度・混合拡散係数といった粉体搬送の基本的物理量を計測する手法や、パスライン（粒跡線）という局所的流動構造を簡易的に評価できる可視化像を抽出する画像処理技法について検討した。粉体拡散係数とは拡散モデルを用いて擬似的に表した粉体機械の混合の強さを表現する量である。また、エックス線透過像・粉体機構の影等、可視化像に混入する特有のノイズを除去する手法についても考察した。特に、粉体搬送速度・混合拡散係数計測結果については不確かさ解析を行い、その精度範囲と、今後の計測手法の精度向上に最も影響の大きい改善ポイントについて明確にした。

トレーサーの追随性は特に重要な計測誤差の一つであると考え。そこで、トレーサーと粒子の挙動の乖離を発生させる原因に関して、(i)偏析現象の有無(ii)粒子間に働くミクロな力について机上検討による考察を行った。更に搬送方向への搬送速度について、種々の条件においてトレーサーと粉体が、ほぼ同一の値をとることを実証した。これらより、本可視化手法は、解析の目的上十分な精度を有することを確認した。

さらに、本可視化手法を最も基本的な粉体機械の一つであるスクリーフィーダーの流動解析に適用した。従来、スクリーフィーダー内部の流動構造を直接可視化した研究事例はなかった。このため、スクリー形状はスクリーフィーダーの開発において最も基本的な設計要素にもかかわらず、スクリー形状が及ぼす流動への直接的な影響はまったく分かっていなかった。

ここでは、代表的な5種類のスクリー形状（ピッチの異なる一条スクリー3種（Single A, B, C）・二条スクリー(Double)・プレート付スクリー(Single P)）（Fig.2）を題材として、スクリー形状が流動へ及ぼす特徴的な影響をパスラインによって可視化した（Fig.3）。

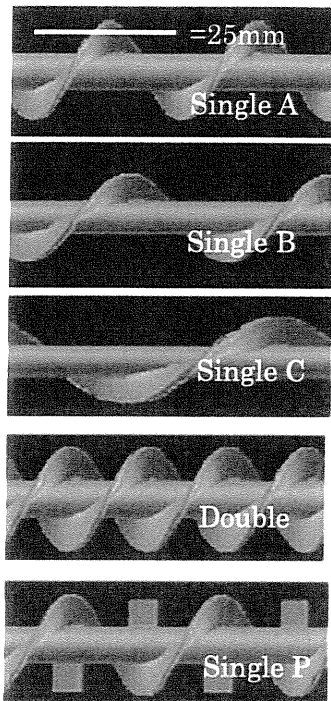


Fig.2 The screws tested.

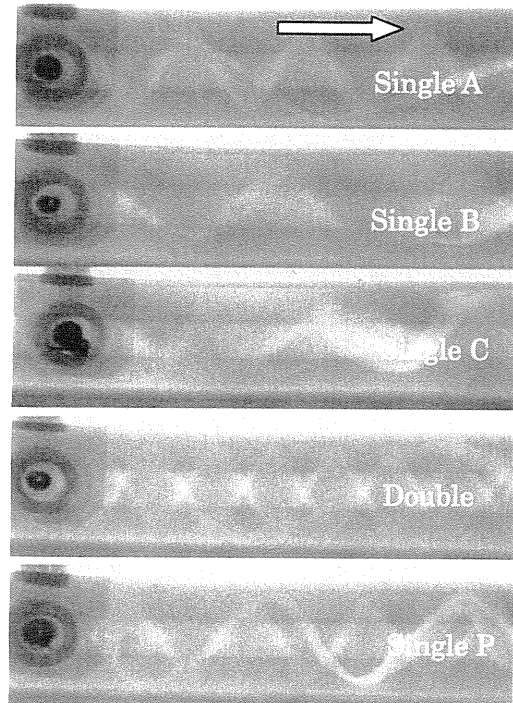


Fig.3 The color path line visualized by X-ray penetration and injecting tracer.

次に、移動度計測・混合拡散係数計測を行い（Fig.4, Fig.5）、各スクリー形状について下記の特徴を有することを確認した。

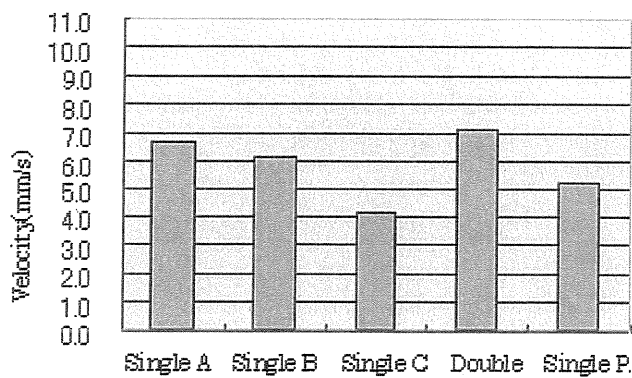


Fig.4 Velocity of tracer along transmitted direction at each screw.

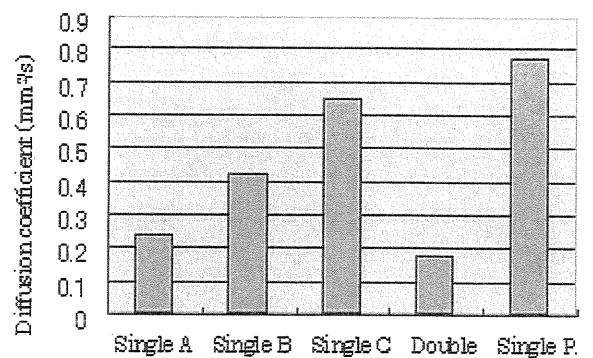


Fig.5 Diffusion coefficient calculated by image processing at each screw.

- スクリーピッチによる流動速度・混合拡散係数への影響
スクリーピッチが大きくなるほど、流動速度は減少し混合拡散係数は増加する。
- スクリーの一条・二条構造による移動速度・混合拡散係数への影響
同スクリーピッチの一条構造スクリーと比べて、二条構造では流動速度が増加し混合拡散係数は減少する。

- ・ スクリューのプレート配置による移動速度・混合拡散係数への影響

同スクリューピッチの一条構造スクリューと比べて、プレートは流動速度がわずかに減少するが混合拡散係数は増加する。

以上より、本手法が粉体流動の可視化を行うのに有効であることを示した。