

論文内容要旨（和文）

平成22年度入学 博士後期課程

専攻名 機械システム工学

氏 名 晏 飛



論 文 題 目 Experimental study on horizontal pneumatic conveying of granular material with the self-excited vibration of the soft fins

（ソフトフィンの自励振動を備えた水平管粉粒体空気輸送に関する実験研究）

空気輸送とは空気を媒体とする粉粒体の最も一般的な輸送方法の一つである。空気輸送を用いて輸送する物質には粉粒体が多く、石炭、製薬、セメント、化学製品などが挙げられる。空気輸送は所要動力が大きく、被輸送物の破損、管壁との磨耗の恐れなどの問題点がある。この問題点を踏まえると空気輸送では管内の空気速度はできる限り小さくした方が良いと考えられている。その理由として、輸送動力については、空気速度を小さくすることで装置を稼働させるための電力消費量を減少することができるためである。また、被輸送物の破損及び管壁との磨耗についても、空気速度を小さくすることで低減化が期待できる。しかし、管内の空気速度の小さい領域では輸送管内に被輸送物の堆積、閉塞の恐れがある。そのため、実際にはかなり高い空気速度で輸送が行われている。この問題を解決する方法として、従来の直線流に対し、流れに旋回を与える方法がある。スパイラル流を使った粉粒体供給装置の研究の結果は、管の磨耗が少なくなるという効果が得られている。また、ねじれ管を用いて、粉粒体の高濃度低速輸送における閉塞速度の減少と流動安定化の研究を行っている。輸送エネルギーの低減、つまり最適輸送速度の低減としては旋回流空気輸送システムという方法があるなど、旋回流空気輸送は輸送粒子が浮遊しやすい環境ができ、堆積が発生する輸送速度は低くなる。つまり空気輸送システムの省エネルギー化に成功しているといえる。

本研究は新たな水平管省エネルギー空気輸送システムの技術開発を目的とする。方法として、輸送管中央部にソフトフィンを設置した。水平管空気輸送の際にフィンが空気の流れによって振動され、同時に空気の流れも垂直方向の大きな変動が生じる。被輸送粒子はフィンと空気流から大きな浮遊力を受けるため、空気輸送速度を下げて粒子堆積または閉塞の発生を防ぎ、省エネルギーかつ安定した空気輸送が可能であった。

本論文は下記の七章より構成されており、要旨は以下の通りである。

第一章は、空気輸送の背景と研究状況について述べた。

第二章は、本実験装置と計測方法を述べた。

第三章、第四章では、消費動力と輸送速度を低減するために、新しい空気輸送のシステムとして、輸送管中央部に水平または垂直面にソフトフィンを配置することを提案する。本研究では異なる長さのフィンの効果に焦点を当て、フィンの振動周波数、圧力損失、最小輸送速度、粒子の流動状態、消費動力と付加的な圧力損失の面から水平管空気輸送を評価する。通常の空気輸送と比較すると、最小輸送速度と消費動力が低減される。

第五章、第六章では、ソフトフィンの自励振動による省エネルギー空気輸送の機構を明らかにするために、水平または垂直にフィン配置し、加速区間と十分発達区間において高速PIV計測と画像処理技術を用いて粒子速度、濃度分布及び粒子変動速度を計測し、粒子の流動状態に関連させて検証する。加速区間において、フィンは低い輸送速度であっても、フィンの粒子濃度は、管底部付近では通常の空気輸送より小さくなり、管上部付近では長いフィンの場合には大きいことが分かった。そして、長いフィンは簡単に粒子を加速させるので、粒子速度は通常の空気輸送の粒子速度に比べ速く、結果として低圧力損失と低速の空気輸送ができた。十分発達区間において、長いフィンはほかのフィンと通常の空気輸送に比べて管底部の粒子速度が低く、低空気速度でも空気輸送が実現できた。

さらに、パワースペクトル、自己相関、二点空間相関、歪度、変動強度と確率密度関数について各種の長さフィンにおいて粒子変動速度の特性を検討した。低い速度での長いフィンのパワースペクトルのピークは通常の空気輸送に比べ高いことが分かった。それで、フィンの振動における加速効果を示唆している。一方、粒子速度の変動強度は、低い空気速度であっても、フィンの振動により、大きな粒子変動エネルギーを発生させることで、粒子がより容易に加速し浮遊することを示している。

第七章は総括である。

学位論文の審査及び最終試験の結果の要旨

平成25年 2月 6日

理工学研究科長 殿

課程博士論文審査委員会

主査 李鹿 輝



副査 中西 為雄



副査 篠田 昌久



学位論文の審査及び最終試験の結果を下記のとおり報告します。

記

1. 論文申請者

専攻名 機械システム工学専攻
氏 名 晏 飛

2. 論文題目 (外国語の場合は, その和訳を併記する。)

..... Experimental study on horizontal pneumatic conveying of granular materials
..... with the self-excited vibration of the soft fins
..... (ソフトフィンの自励振動を備えた水平管粉粒体空気輸送に関する実験研究)

3. 審査年月日

論文審査 平成25年 1月24日 ~ 平成25年 2月 5日
論文公聴会 平成25年 2月 5日
場所 工学部国際事業化研究センター 秦ホール
最終試験 平成25年 2月 5日

4. 学位論文の審査及び最終試験の結果 (「合格」・「不合格」で記入する。)

(1) 学位論文審査 合格
(2) 最終試験 合格

5. 学位論文の審査結果の要旨 (1,200字程度)

別紙のとおり

6. 最終試験の結果の要旨

別紙のとおり

別 紙

専 攻 名	機械システム工学専攻	氏 名	晏 飛
学位論文の審査結果の要旨			
本論文は、ソフトフィンの自励振動を備えた省エネルギー空気輸送システムについて実験的に研究したものである。水平管空気輸送の際に、被輸送粒子はフィンと空気流の振動から大きな浮遊力を受けるため、空気輸送速度を下げても粒子堆積または閉塞の発生を防ぎ、省エネルギーかつ安定した空気輸送ができた。論文は以下の全7章から構成されており、各章の概要は以下の通りである。 第1章では、本研究の背景として、空気輸送の研究動向を述べ、研究の目的に言及している。 第2章では、本実験装置と計測方法を述べた。 第3章では、空気輸送管中央部に水平に異なる長さのソフトフィンの配置について、フィンの振動周波数、圧力損失、最小輸送速度、粒子の流動状態、消費動力及び付加圧力損失の実験計測を行った。通常の空気輸送と比較すると、圧力損失、最小輸送速度及び消費動力が低減されることが明らかにされた。 第4章では、異なる長さのソフトフィンは垂直・水平に配置される空気輸送の場合には、フィンの振動周波数、圧力損失、最小輸送速度、粒子の流動状態、消費動力及び付加圧力損失について実験計測を行い、圧力損失、最小輸送速度および消費動力が低減されることが明らかにされた。 第5章では、水平に配置されるソフトフィンの自励振動による省エネルギー空気輸送の機構を明らかにするために、加速区間と十分発達区間において高速 PIV 計測と画像処理技術を用いて粒子速度、濃度分布及び粒子変動速度を計測した。低い輸送速度であっても、フィンの粒子濃度は、管底部付近では通常の空気輸送より小さいことがわかった。また、長いフィンは簡単に粒子を加速でき、粒子速度は通常の空気輸送に比べ速くなる結果を得た。さらに、パワースペクトル、自己相関、二点空間相関、歪度、変動強度および確率密度関数について各種の長さフィンにおいて粒子の変動速度の特性を明らかにした。 第6章では、垂直に配置されるソフトフィンの自励振動を用いた空気輸送に対して、高速 PIV 計測と画像処理技術による粒子速度、濃度分布及び粒子変動速度の計測を行い、各種の長さフィンにおける粒子運動の特性を解明した。長いフィンはほかのフィンと通常の空気輸送に比べて管底部の粒子速度と空気速度が低くても、安定な空気輸送ができたことを示した。フィンの振動により、大きな変動エネルギーを発生させるため、粒子がより容易に加速し浮遊することが明らかにした。また、粒子変動速度のパワースペクトル、自己相関、二点空間相関、歪度、変動強度および確率密度関数についても検証した。 第7章では、本論文の総括である。各章において得られた結論をまとめている。 本研究の成果は6報の英文学術論文としてまとめられており、5報が掲載済み、1報は投稿中である。さらに国際学会と国内学会はそれぞれ2件の発表を行い、学位の審査基準を十分に満たしている。 以上を総合的に判断し、本論文に関する研究およびその成果は、学術的意義も非常に大きく、博士（工学）学位論文の研究としての水準を十分に満足しているため、合格と判断した。			
最終試験の結果の要旨			
公聴会における学位論文を中心とした60分の口頭発表、ならび30分の質疑応答を最終試験とした。その結果、学位論文の内容ならびに関連分野に関する理解度は十分であり、博士として必要とされる専門知識および研究能力を十分に備えているものと判断された。以上により、最終試験を合格と判定した。			