

論文内容要旨（和文）

平成 23 年度入学 大学院博士後期課程

機械システム工学 専攻

学生番号 11522502

氏 名 鄭 磊 

論文題目 Multi-dimensional wavelet multi-resolution analysis on complex flow phenomena
(複雑な流れ現象の多次元ウェーブレット多重解像度解析)

存在する複雑な流動現象は、主に時間と空間領域におけるそのランダム性によって特徴づけられる。時間領域において、流れパラメータは、非定常で非線形な断続信号として表現される。空間領域においては、乱流構造は、スケールの範囲にわたる変動が平均流に附加されるような多重スケール現象として現れる。したがって、流動現象の多重スケール特性において、ウェーブレット解析の出現は流体力学の解析に特に強力なツールとなる。

重要な流れ現象として、パイプライン内の固体粒子の空気輸送は、重要な産業プロセスの一つとしてしばしば用いられる。高エネルギー消費や管摩耗、粒子の劣化を抑えるために、空気輸送は可能な限り小さい空気速度で行われる。しかしその結果、不安定な固気二相流となり簡単に閉塞してしまう。したがって、空気輸送システムの最適な設計は、固体粒子が連続的で安定した輸送がされる、最少空気速度を保つことである。そのためには、固気二相流のメカニズムを明らかにすることが必要で、特に、低い空気速度の範囲内の固体粒子の運動が重要となる。本研究では、閉塞が起こらない最小圧力損失（最小エネルギー損失）での空気速度(MPD: minimum pressure drop)における粒子運動に焦点を当てる。粒子運動の解析は、通常の水平空気輸送システムと、自励振動するフィンを備えた空気輸送システムの 2 つの空気輸送システムを用いる。

また、流体力学の分野において、乱流構造は異なるスケールの渦構造によるカスケード流動現象として扱うことができ、それらのスケールの乱流構造は、乱流中で異なる役割をする。これまで、三次元乱流構造解析を中心とした多重スケールの乱流構造解析はあまり注目されてこなかった。そこで、乱流構造の定量的及び定性的情報を求めるために、作成した砂丘モデル及び車両のドアミラーモデルの乱流構造に三次元直交ウェーブレット多重解像度解析を適用することにする。

本研究では、水平空気輸送システムにおける粒子運動の多重スケールと、砂丘とドアミラーの乱流後流の多重スケール構造をウェーブレット解析で明らかにすることを目的とする。

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 1 章では、ウェーブレット解析の背景とその流体力学分野への応用を紹介する。

第2章では、通常空気輸送システムにおける加速域と十分発達域の粒子変動速度を、PIV計測によって実験的に検証する。連続ウェーブレット変換と直交ウェーブレット多重解像度法を用いることにより、その多重スケールの特徴を、変動エネルギー、自己相関、二点空間相関、確率密度関数で解析する。その結果、加速域、十分発達域の管底部付近に大スケールの粒子流れが存在することがわかった。また、支配する周波数は加速域から十分発達域にかけてわずかに減少するが、低周波の空間相関は増加するということもわかった。管の上方付近では、比較的高い周波数成分が懸濁流域を支配し、粒子が管に沿って加速されるにつれ減少する。

第3章では、自励振動するフィンを備えた空気輸送システムの粒子運動の多重スケールに焦点を当てる。フィンの設置により、輸送速度と動力消費を減らすことができる事が証明されている。結果としてまず、粒子変動速度のFFT解析によって、スペクトルのピークは大きくなり、周波数も減少しているということから、これはフィンの振動効果を表しているといえる。また、フィンの振動が変動エネルギーを大きくしていることがわかる。さらに、一次元の直交ウェーブレット解析により、より大きい粒子量が管の底部付近で現れる。フィンの効果によって、粒子の変動速度の比較的高い周波数エネルギーが減少し、低圧力損失と低輸送速度になると考えられる。

第4章では、砂丘モデルの乱流後流をLESによって数値的にシミュレートし、PIV計測によって正当性を立証する。乱流構造は三次元直交ウェーブレット解析により様々なスケールに分解する。それらのスケール長さは、二点自己相関関数によって定義される。まず、コヒーレント構造が大及び中間スケール構造の複合効果であることがわかり、それらの構造は馬蹄構造の高さの増加の理由と考えられる。また、はく離領域の下流では、大スケールの渦構造が分解し小スケールの渦に、中間スケールの渦も同様に比較的小スケールの渦になり、より活発になる傾向がある。さらには、渦構造の多重スケール解析に加えて、本研究では圧力分布の多重スケールも示す。それにより、圧力の等値面は主に大スケール構造によって特徴づけられ、はく離領域の周りに明確な逆圧力勾配が示されるということがわかった。

第5章では、LES解析によって得られた車両用ドアミラー周りの渦構造の三次元直交ウェーブレット多重解像度解析を行った。LESによって得られた三次元の速度場と渦度場を3つのウェーブレット成分に分解する。結果として、大スケール構造がミラー後流を支配し、その渦度が占める。そして、ミラー根元部と側面部の両方から発生する三次元の大規模な縦渦がミラー背後のはく離領域を形成することがわかる。

第6章では、最も重要な結果を述べ、現在の研究における将来性を要約する。

(10pt 2,000字程度 2頁以内)

学位論文の審査及び最終試験の結果の要旨

平成26年 2月 4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 炳雄



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 鄭 磊

2. 論文題目（外国語の場合は、その和訳を併記する。）

Multi-dimensional wavelet multi-resolution analysis on complex flow phenomena

（複雑な流れ現象の多次元ウェーブレット多重解像度解析）

3. 審査年月日

論文審査 平成26年 1月28日～平成26年 2月 4日

論文公聴会 平成26年 2月 4日

場所 工学部百周年記念会館セミナールーム

最終試験 平成26年 2月 4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	鄭 磊
学位論文の審査結果の要旨			

本論文は、ウェーブレット変換の応用として、固気二相流と乱流後流の多重スケール構造を実験と数値シミュレーションの両面から解析したものである。水平空気輸送における多重スケールの粒子運動と、砂丘及び自動車ドアミラーの多重スケールの乱流後流構造を明らかにしてきた。論文は以下の全6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、ウェーブレット解析とその流体力学分野への応用の研究動向を述べ、研究の目的に言及している。

第2章では、通常空気輸送における加速域と十分発達域の粒子変動速度を、PIV計測によって実験的に計測した。連続ウェーブレット変換と直交ウェーブレット多重解像度法により、粒子変動速度の多重スケールの特徴を、変動エネルギー、自己相関、二点空間相関及び確率密度関数で解析した。その結果、加速域や十分発達域の管底部付近に大スケールの粒子流れが存在することを示した。また、粒子変動速度の支配周波数は加速域から十分発達域にかけてわずかに減少するが、低周波の空間相関は増加するということも明らかにした。管の上方付近では、比較的高い周波数成分が浮遊流れを支配し、粒子が管軸方向に沿って加速されるにつれ粒子変動の周波数が減少することを示した。

第3章では、自励振動するフィンを備えた空気輸送の粒子運動の多重スケールを研究した。FFT解析によって、粒子変動速度の周波数は減少していることを示した。また、フィンの振動により粒子運動の変動エネルギーが大きく、一次元の直交ウェーブレット解析により、粒子の変動速度の高い周波数成分が減少することを明らかにした。その原因で空気輸送の低圧力損失と低輸送速度が実現された。

第4章では、砂丘モデルの乱流後流をLESによって数値シミュレートを行い、乱流構造は三次元直交ウェーブレット変換によりスケールごとに分解された。乱流の組織構造が大及び中スケール構造の複合効果であることを示した。

第5章では、LES解析によって得られた車両用ドアミラー周りの渦構造について三次元直交ウェーブレット変換を用いて流れのスケールごとに解析した。LESによって得られた三次元の速度場と渦度場を3つのウェーブレット成分に分解し、大スケール構造がミラー後流を支配することを検証した。そして、ミラー根元部と側面部の両方から発生する三次元の大規模な縦渦がミラー背後のはく離領域を形成することが明らかにされた。

第6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5報の英文学術論文としてまとめられており、4報が掲載済み、1報は投稿中である。さらに国際学会は4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40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。