

Title	Spectral-POD Model for Energetic Structures in a Fully Developed Turbulent Channel Flow
Author(s)	Elteyeb, Mohammed Eljack
Citation	大阪大学, 2009, 博士論文
Version Type	
URL	https://hdl.handle.net/11094/57499
rights	
Note	著者からインターネット公開の許諾が得られていないため、論文の要旨のみを公開しています。全文のご利用をご希望の場合は、 〈a href="https://www.library.osaka-u.ac.jp/thesis/#closed"〉 大阪大学の博士論文について <a>〉 をご参照ください。

Osaka University Knowledge Archive : OUKA

<https://ir.library.osaka-u.ac.jp/>

Osaka University

氏名	アルタイフ モ ハ マ ド アルジャク Elteyeb Mohammed Eljack
博士の専攻分野の名称	博士(工学)
学位記番号	第 23363 号
学位授与年月日	平成21年9月25日
学位授与の要件	学位規則第4条第1項該当 工学研究科機械工学専攻
学位論文名	Spectral-POD Model for Energetic Structures in a Fully Developed Turbulent Channel Flow (十分に発達した平行平板間乱流におけるエネルギー保有構造に対するスベクトルPODモデル)
論文審査委員	(主査) 教授 梶島 岳夫 (副査) 教授 矢野 猛 教授 赤松 史光 教授 河原 源太(基礎工学研究科)

論文内容の要旨

乱流はその強い非線形性のため、平均流れ場、乱れのエネルギーの大半を保有する渦、およびエネルギー散逸を担う渦の間に明確なスケール分離ができず、変動場と平均場の関係を理論的に表現することが困難である。そのことが乱流現象に対する解析方法の進展を妨げてきた。近年の大型計算機の発達により、工学的に関心のある高レイノルズ数流れに対して、乱れのエネルギーの大半を保有する渦運動に対する直接的な数値計算が現実的になりつつある。そのような背景から、エネルギー保有域と散逸域の構造を明らかにし、その間のエネルギー輸送の理論モデルを構築する必要性が高まっている。

本研究は、壁乱流の研究としては最も基本的な対象である十分に発達した平行平板間乱流を扱い、固有直交分解(POD)法による乱流渦構造の検討、さらに低次元モデリングのためのエネルギー保有構造の再構築に関する試みの結果を取りまとめたもので、次の7章から構成されている。

第1章では、上記のような研究の背景と目的を示し、解析に用いる乱流現象およびその数値シミュレーションに関する概要を述べた。

第2章では、POD法について概説し、平行平板間乱流に適用するにあたって定式化を行った。

第3章では、モデル化の対象となる相互相関を求めるためのスペクトル解析法について述べた。

第4章では、平行平板間乱流に対して、温度一定の場合ならびに不安定な温度成層を伴う場合について、POD法を適用した結果を示した。基礎データとして、摩擦速度と流路半幅に基づくレイノルズ数が150の条件で実施された直接数値シミュレーション(DNS)の結果を用いた。その結果、主流方向の0次モード(ロール構造)が最もエネルギーレベルが高いことを見だし、さらに低次の固有基底関数の合成によって瞬時の場を再構成する際の収束性が良好であることを示した。

第5章では、乱流変動に関する二次および三次モーメントに関して、上述の低次固有関数を用いて再構成すること方法を示し、DNSのデータベースとの比較により妥当性を検討した。

第6章では、ガラーキン投影法によって表現される力学系を想定し、モデルの構成方法とその振る舞いを例示して、乱流場からPOD法で抽出された構造との関連を議論した。

第7章では、以上の結果をまとめ、その成果を総括した。

本研究では、非圧縮の等温流れ場だけではなく、密度変動を考慮した温度成層乱流に対しても新規に提案したモデリング手法が有効であることを実証し、スペクトルPOD法の多変数のマルチフィジックス問題に拡張した。

論文審査の結果の要旨

乱流はその強い非線形性のため、平均流れ場、乱れのエネルギーの大半を保有する渦、およびエネルギー散逸を担う渦の間に明確なスケール分離ができず、変動場と平均場の関係を理論的に表現することが困難である。そのことが乱流現象に対する解析方法の進展を妨げてきた。近年の大型計算機の発達により、工学的に関心のある高レイノルズ数流れに対して、乱れのエネルギーの大半を保有する渦運動に対する直接的な数値計算が現実的になりつつある。そのような背景から、エネルギー保有域と散逸域の構造を明らかにし、その間のエネルギー輸送の理論モデルを構築する必要性が高まっている。本論文は、壁乱流の研究としては最も基本的な対象である十分に発達した平行平板間乱流を扱い、固有直交分解(POD)法による乱流渦構造の検討、さらに低次元モデリングを構築する試みの結果を取りまとめたもので、その成果は以下のように要約できる。

1. 平行平板間乱流に対して、直接数値シミュレーション(DNS)で作成したデータベースを参照しながら、温度一定の場合ならびに不安定な温度成層を伴う場合について、POD法を適用した結果を示している。その結果、主流方向の0次モード(ロール渦構造)が最もエネルギーレベルが高いことを確認し、さらに低次の固有基底関数の合成によって瞬時の場を再構成する際の収束性が良好であることを示している。
2. 乱流変動に関する二次および三次のモーメントに関しても低次の固有基底関数がDNSの結果を良好に再現することを実証している。また、レイノルズ応力の剪断成分に対しては、低次元モードだけによる応力がDNSで得られている値より大きいことから、高次元(小スケール)モードは負の寄与があることを見いだしている。
3. 平行平板間乱流における主要なエネルギー保有モードであるロール渦構造に対して、固有基底関数を利用して低次元力学モデルを作成する方法を提案し、周期的および準周期的なふるまいを再現できることを実証している。

以上のように、本論文は非圧縮の等温流れ場だけではなく、密度変動を考慮した温度成層乱流に対してもPOD法によるモデリングが有効であることを実証し、スケール分離の方法ならびにスケール間のエネルギーの流れを解析する方法を提示しており、その成果は乱流現象に対する数理モデルの構築のために有用である。

よって本論文は博士論文として価値あるものと認める。