

Title	Coherent Structures and Secondary Flow in Turbulent Square-Duct Flow
Author(s)	関本, 敦
Citation	大阪大学, 2011, 博士論文
Version Type	
URL	https://hdl.handle.net/11094/58272
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	関本 敦
博士の専攻分野の名称	博士(工学)
学位記番号	第 24628 号
学位授与年月日	平成 23 年 3 月 25 日
学位授与の要件	学位規則第 4 条第 1 項該当 基礎工学研究科機能創成専攻
学位論文名	Coherent Structures and Secondary Flow in Turbulent Square-Duct Flow (正方形ダクト乱流中の秩序構造と二次流れ)
論文審査委員	(主査) 教授 河原 源太 (副査) 教授 辻本 良信 教授 杉本 信正 教授 梶島 岳夫

論文内容の要旨

真っ直ぐな正方形ダクト内乱流の直接数値シミュレーション(DNS)を行い、プラントルの第二種二次流れの生成メカニズムと乱流中の秩序構造(管軸方向に伸びた縦渦構造とストリーク)との関連性について研究を行った。ダクトの半幅と平均流速に基づくレイノルズ数が、乱流が維持される下限レイノルズ数から十分に発達した乱流が現れる高レイノルズ数までの範囲でDNSを行った。乱流が維持される最小のレイノルズ数はおよそ1100程度であることを明らかにし、また、乱流が維持できる最小の管軸方向周期箱寸法は壁摩擦長で規格化するとほぼレイノルズ数によらずに190程度であることを示した。層流化する限界の乱流状態では、通常の8つ渦パターンの二次流れとは異なったパターンを示す二次流れが現れることを発見し、それは4つ渦のパターン(向かい合う壁面付近にのみ二次流れ渦が存在し、もう一方の向かい合う壁面付近には存在しないパターン)を示した。低レイノルズ数の範囲では、壁面近傍の縦渦構造の直径とダクト幅が同程度のスケールであり、壁面乱流の瞬間場に見られる縦渦構造が存在できる範囲はダクトの側壁の影響を受けて制限されることを定量的に示した。したがって、縦渦構造が統計的に平均二次流れ渦を生成していると言える。さらに、臨界レイノルズ数付近における定常進行波解を求めることに成功し、この定常進行波解は各壁面近傍に1対の縦渦構造とストリークをもち、管軸方向平均流速分布は通常の8つ渦パターンの二次流れと良く似たパターンを示した。したがって、この定常進行波解によって、壁面近傍の縦渦構造やストリークだけでなく、工学的に重要な平均二次流れの生成機構について理論的に解明することが可能であることを示唆した。

また、平均二次流れのレイノルズ数の依存性について、壁面近傍の縦渦構造に着目して理解を深めた。高レイノルズ数になると壁面近傍の縦渦構造のスケールはダクト幅に対して小さくなる。この壁面近傍の縦渦構造のふるまいがダクトの角付近の平均管軸方向渦度分布を決定することを示した。一方で、平均二次流れ渦のスケールはレイノルズ数が大きくなってもダクト幅と同程度であり、これは乱流中の大規模構造が大きく関係していると考えられる。

次に、下壁面を加熱した非等温ダクトのDNSの結果を解析して、浮力が壁面近傍の秩序構造と平均二次流れに及ぼす影響を調査した。浮力が大きくなるにつれて、管軸に垂直な断面で生じる大きな循環流が生じる。この循環流の影響を受けて、等温ダクト内乱流に見られる8つ渦パターンが劇的に変化し、最終的に浮力によって支配される二次流れ(プラントルの第一種二次流れ)となる。そして、壁面摩擦係数や局所熱伝達率の分布は壁面近傍の秩序構造の影響を大きく受けていることも明らかになった。

論文審査の結果の要旨

本論文では、真っ直ぐな正方形ダクト内乱流の直接数値シミュレーション(DNSの結果に基づき、プラントルの第二種二次流れの生成メカニズムと乱流中の秩序構造(縦渦構造とストリーク)との関連性が議論されている。層流化する限界の乱流状態では通常の8つ渦パターンの二次流れとは異なったパターンを示す二次流れが現れることを発見し、それが4つ渦のパターン(向かい合う壁面付近にのみ二次流れ渦が存在し、もう一方の向かい合う壁面付近には存在しないパターン)であることを示した。低レイノルズ数では、壁面近傍の縦渦の直径とダクト幅が同程度であり、縦渦構造が存在できる範囲はダクトの側壁の影響を受けて制限されるため、縦渦構造が統計的に平均二次流れ渦を生成する。さらに、臨界レイノルズ数付近で求めた定常進行波解の管軸方向平均流速分布は8つ渦の二次流れパターンを示した。この定常進行波解によって、壁面近傍の縦渦構造やストリークだけでなく、工学的に重要な平均二次流れの生成機構について理論的に解明することが可能であることを示唆した。高レイノルズ数になると壁面近傍の縦渦構造のスケールはダクト幅に対して小さくなり、壁面近傍の縦渦構造のふるまいが角付近の平均管軸方向渦度分布を決定することを示した。一方、平均二次流れ渦のスケールはダクト幅と同程度であり、これは乱流中の大規模構造に深く関わることを示唆した。また、下壁面を加熱した非等温ダクトのDNSを行い、浮力が壁面近傍の秩序構造と平均二次流れに及ぼす影響を調査した。浮力が大きくなるにつれて生じる大循環流の影響を受け、等温ダクト内乱流に見られる8つ渦パターンが劇的に変化し、浮力によって支配される二次流れ(プラントルの第一種二次流れ)が現れることを示した。そして、壁面摩擦係数や局所熱伝達率は壁面近傍の秩序構造の影響を大きく受けることを明らかにした。以上の研究成果は、博士(工学)の学位論文として価値のあるものと認める。