

論文審査の結果の要旨および担当者

報告番号	※ 甲	第 11051 号
------	-----	-----------

氏 名 周 毅

論 文 題 目

Direct Numerical Simulations on Grid-Generated Turbulence
(格子生成乱流に関する直接数値シミュレーション)

論文審査担当者

主査	名古屋大学	教授	酒井 康彦
委員	名古屋大学	教授	石井 克哉
委員	名古屋大学	教授	佐宗 章弘
委員	名古屋大学	准教授	長田 孝二

論文審査の結果の要旨

周毅君提出の論文「Direct Numerical Simulations on Grid-Generated Turbulence (格子生成乱流に関する直接数値シミュレーション)」は、一様流中に設置された単一の四角格子またはフラクタル四角格子下流に形成される乱流場や、付加的な擾乱を伴う単一四角格子下流に形成される乱流場の特性を直接数値計算により明らかにしたものである。各章の概要は、以下の通りである。

第1章では、本研究の背景および目的について述べている。単一四角格子およびフラクタル四角格子乱流に関する既往研究がまとめられ、特に格子などの物体直後における流動場の研究の重要性が説明されている。また、本章の末尾に、本研究の目的と論文の構成が記されている。

第2章では、本研究で用いられた格子の詳細な形状や、直接数値シミュレーションで使用された計算スキームの詳細が説明されている。また、計算領域や初期条件、境界条件等について述べられている。具体的には、入口での流れは一様流とし、出口では対流流出条件を適用した。主流に垂直方向には周期境界条件が採用され、実験における固体側壁によって生成される境界層の影響が排除されている。さらに、時間発展法である3次ルンゲクッタ法について述べられている。

第3章では、単一四角格子下流乱流場に対する数値計算結果について議論するとともに、過去の実験結果と比較されている。Mazellier and Vassilicos [Phys. Fluids 22, 075101 (2010)] によって示された「フラクタル四角格子乱流の中心軸上における乱流強度のピーク値を取る主流方向位置は、最大格子によって生成される大きなスケールの後流の干渉によって決定される」という説が単一四角格子にも適用されることが確認された。また後流干渉が格子のごく近くで起こり、極端に強い乱流状態が誘起されることが示された。さらに、乱流場のコヒーレント構造を示す速度勾配テンソルの第二不変量の空間発展についても調べた結果が示されている。

第4章では、フラクタル四角格子乱流の特性が詳しく調べられた。その結果、フラクタル四角格子は格子下流近傍では、高い乱流レベルを実現することが可能であり、また通常の正方格子乱流に比べて大きいエネルギー減衰指数を示す領域が存在することが確認された。さらに、テイラースケールに基づくレイノルズ数と相対乱流強度を、単一四角格子乱流とフラクタル四角格子乱流について比較した結果、十分下流では両格子によるこれらの値は同程度となることを明らかにした。

第5章では、自己相似性を有する四角格子からなるフラクタル格子の性質が、2つの部分、すなわちもっとも大きな四角格子によってつくられる主要な部分と小さな格子の繰り返しを含む補助的な部分に分離できると仮定し、その補助的な部分が付加的な擾乱と同様の作用をするという提案をした。そして、具体的に付加的な擾乱を伴う単一四角格子下流に形成される乱流場を計算し、その仮定が正しいことを示すとともに、フラクタル四角格子が有効な付加擾乱生成流体素子であることを示した。

第6章は本論文の総括であり、第2章から第4章で得られた知見をまとめるとともに、今後の展望について述べている。

以上のように、本論文では非平衡乱流場である単一四角格子およびフラクタル四角格子近傍における流動場を詳細に明らかにしている。本論文で得られた知見は、静的流体混合素子のような高効率流体機器を実現するために重要であり、機械工学、特に流体工学の発展に寄与するところが大きいと判断できる。よって、本論文の提出者である周毅君は博士(工学)の学位を受けるに十分な資格があると判断した。