



Title	管群流れにおける乱流現象の解明とLESによる数値計算法の研究
Author(s)	池野, 勉
Citation	大阪大学, 2006, 博士論文
Version Type	
URL	https://hdl.handle.net/11094/46962
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、大阪大学の博士論文についてをご参照ください。

The University of Osaka Institutional Knowledge Archive : OUKA

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

The University of Osaka

氏 名 いけ の 野 つとむ 勉

博士の専攻分野の名称 博 士 (工 学)

学 位 記 番 号 第 20310 号

学 位 授 与 年 月 日 平成 18 年 3 月 24 日

学 位 授 与 の 要 件 学位規則第 4 条第 1 項該当

工学研究科機械物理工学専攻

学 位 論 文 名 管群流れにおける乱流現象の解明と LES による数値計算法の研究

論 文 審 査 委 員 (主査)

教 授 梶 島 岳 夫

(副査)

教 授 片 岡 勲 教 授 稲 葉 武 彦 教 授 田 中 敏 嗣

教 授 辻 裕 教 授 箕 島 弘 二

論 文 内 容 の 要 旨

原子力発電の効率的利用を目的として、軽水炉における炉心冷却性能の向上のため、数値シミュレーションによって管群における二次流れと旋回流れのメカニズムを明らかにした。対象とした流れ場は、管群と支持格子および旋回促進羽根から構成され、境界形状が複雑であるばかりでなく、強い非定常性を伴うため、境界適合格子を用いたレイノルズ平均流れ解析を基礎とした従来の方法の適用範囲を超えている。そこで本研究では、複雑な境界形状に対しては境界埋め込み法を発展させるとともに、Large Eddy Simulation (LES) を導入する方法を提案した。さらに、LESの結果から、二次流れや旋回流れの機構を解析する一般的な手法を提示し、管群流れに適用して合理的な説明に成功した。まず、数値計算手法としては、境界埋め込み法に関して、高精度化ならびに圧力方程式の離散化法を新規に開発した。これにより、壁近傍の速度勾配の計算精度を高めるとともに、保存則と整合するすべりなし境界条件を数値計算において厳密に与える方法を提案した。このような境界埋め込み法の一般化により、LESに適合する境界条件の埋め込み法を可能とし、工業的に重要な高レイノルズ数流れに対する実用的な非定常解析が実現された。この方法により、管群内の二次流れと支持格子による旋回流れをシミュレートし、既存の実験データと比較して良好な一致を得た。同時に、二次流れの機構解析に関して、非保存力成分を抽出する方法を提案し、本研究で扱ったレイノルズ応力に起因する第二種二次流れの説明に成功しただけでなく、一般的な二次流れの統一的理解に有用な方法であることを示した。一方、旋回流れに対する混合羽根背面の剥離に起因する大規模な非定常性、レイノルズ応力と燃料棒ギャップにおける渦の作用など、実験では得られない可視化情報を得た。さらに、旋回流れに関しては、粘性応力とレイノルズ応力の寄与を示す循環を用い、理論的な渦モデルにフィッティングさせることによって流れ方向の減衰挙動を表現できることを示した。以上、本研究で提案された数値計算手法および流れの解析方法は、炉心の内部流れを解析し、冷却性能を予測するために適用することができ、その成果は原子力発電を効率化するための新しい設計システムの構築に有益であることが示された。

論文審査の結果の要旨

原子力発電の効率的利用のためには、軽水炉の炉心冷却性能の向上に関連して、管群流れに対する信頼性の高い解析方法が不可欠である。管群に沿う流れは、乱流、伝熱および二相流が複合的に発生する場である。その中で、管群を支持する格子、旋回流れを制御する羽根など、複雑な形状の構造が流れに与える影響を予測する方法の確立が、高度設計の基盤技術として期待されている。

本論文は、上述の背景から、管群内の乱流現象の予測と制御のため、ラージエディシミュレーション (LES) による流れの非定常計算法を発展させ、形状に起因する水路断面内流れの流体力学的機構について解明した結果をとりまとめたものである。

第1章は、序論であり、関連する従来研究の概要を述べるとともに、管群内の乱流現象に関する未解明の重要課題をまとめ、本研究の位置づけを明らかにしている。

第2章では、複雑形状境界を有する流れの LES を効率的かつ高精度に実施するための計算方法が提案されている。この方法は、高次精度差分法および圧力方程式に関する新たな手法を導入し、これらを整合させた計算スキームによって構成される。これにより、高次精度を維持しつつ、壁面のすべりなし条件と流れの連続条件を正確に与えることを可能としている。その結果、複雑な乱流場での流体力学的機構を解明するために必要な計算手法の開発に成功している。

第3章では、第2章で新たに提案した手法を導入した LES により、十分に発達した管群内の流路における二次流れの流体力学的機構を解明している。この目的のため、流れ場における非保存力成分を抽出する解析方法を提案し、管群内の二次流れは、レイノルズ応力の非保存力成分によって駆動されることを示している。さらに、レイノルズ応力以外の要因による二次流れへの適用性を示し、工業装置に見られる様々な二次流れの統一的理解に役立つ解析方法として一般化している。

第4章では、第2章で新たに提案した手法を導入した LES により、管群内の支持格子によって誘起される旋回流れの流体力学的機構を解明している。支持格子の混合羽根背面の剥離に起因する大規模な非定常性や、レイノルズ応力と燃料棒ギャップにおける渦の作用により、旋回流れの主流方向への減衰率が決定されることを、実験的には得られない瞬時流れ場の可視化によって明らかにしている。さらに、粘性応力とレイノルズ応力の寄与を示す循環が減衰率を解析するための重要な指標であることを見出している。

第5章は、本論文の結論であり、得られた主要な結果をまとめると同時に、本研究で開発した高精度境界埋め込み法を用いた乱流の数値シミュレーション法ならびに提案した流体力学的機構の解析手法が、流体工学に関連する様々な産業分野における設計システムの一部として、あるいは新しい設計システムの構築に役立つことを示している。

以上のように、本論文は、原子力発電の効率的利用を目的とした基盤技術を進展させるとともに、内部流動の流体力学的機構に関する多くの有用な知見を示している。この成果は、産業界における乱流の数値シミュレーションの適用範囲を大きく拡大し、設計システムの高度化に応用する方法を提示したものであり、乱流の予測、解明、制御に関する流体工学の進展に大きく貢献するものである。

よって、本論文は博士論文として価値あるものと認める。