

氏 名	み やけ とし や 三 宅 俊 也
学位(専攻分野)	博 士 (工 学)
学 位 記 番 号	博 甲 第 37 号
学位授与の日付	平 成 5 年 3 月 25 日
学位授与の要件	学位規則第4条第1項該当
研 究 科・専 攻	工芸科学研究科情報・生産科学専攻
学 位 論 文 題 目	非圧縮性粘性流体の非定常流に対する新しい数値解析手法とその応用
審 査 委 員	(主査) 教 授 里 深 信 行 教 授 矢 田 順 三 教 授 大 住 晃 助教授 徳 永 宏

論 文 内 容 の 要 旨

流体の数値計算の工学的な利用がいろいろな分野で活発におこなわれているが、さまざまなプロセス、機械の中の実際の流れは本質的に非定常であるため、この流体の過渡的な現象を空間的、時間的に十分な解像度を持って計算機上で再現するには現時点での計算機的能力をもってしてもかなりの計算時間を必要とする。したがって流体の数値計算の応用をさらに広い分野、さまざまな対象へと押し進めるためには、計算機そのものの記憶容量増大、計算速度の向上もさることながら数値計算手法の高効率化が必要となる。

以上の状況をふまえて、本研究は非圧縮性流体の非定常流に対する高効率な数値解析手法を構築し、流体の数値解析へ応用することを目的とした。

これに対する本研究の重要な成果は次の3点である。

- 1) 線の方法 (Method of Lines) と組み合わせた3単位1段階ルンゲ・クッタ法を非圧縮性粘性流体の非定常流の数値解析における時間積分へ応用した。
- 2) 物理時間の時間積分に3単位1段階ルンゲ・クッタ法を用いた時間に関して正確な陽的な擬似圧縮法の構築に成功した。
- 3) 本手法を実際の2次元、3次元非圧縮性粘性流体の非定常、定常流解析に応用し、本手法の信頼性、効率の良さを示した。特に、3次元円柱まわりの流れ計算に対しては低レイノルズ数領域での流れの3次元構造を明らかにし、流れの3次元性の空力特性への影響を明らかにした。

本論文は9章から構成されており、それぞれの章の概要は次のとおりである。

1 章 序 論

本研究の背景、目的及び研究概要を述べている。

2 章 非圧縮性粘性流体の支配方程式

流れの支配方程式について述べ、後の章で使用する時間をも含めた座標変換を解説している。

3 章 非圧縮性粘性流の数値計算法

非圧縮性流体の数値計算法として従来からある手法を概説し、本研究の目的とする計算方法の選択を行っている。

4 章 3単位1段階ルンゲ・クッタ法

この章では、非圧縮性粘性流体の非定常流の数値計算における時間積分法に、3単位1段階ルンゲ・クッタ法の応用を試み、この時間積分法を解説している。本手法に対して線形安定性解析を行うことによりその安定性を明らかにし、安定性の未定定数による影響を調べている。

そして本手法を線型のバーガス方程式の時間積分に適用し、従来の時間積分法による結果との比較を行う。その結果、本論文で提案する3準位1段階ルンゲ・クッタ法を流体の支配方程式の時間積分に適用することにより、計算時間の短縮が可能であり、精度の面でも優れていることを示している。

5章 擬似圧縮法による非圧縮性粘性流の数値計算

この章では、非圧縮性粘性流の数値計算法として本研究で提案する陽的な擬似圧縮法について述べている。本手法は、擬似時間における定常解を効率よく得るために種々の収束加速法を2段階有理ルンゲ・クッタ法と併せて用いている。本章ではこの擬似圧縮法、離散化、及び収束加速法について解説を行い、さらに、簡単なポアソン方程式を収束加速法を組み込んだ形で擬似非定常法を用いて解き、収束加速法の効果について検討している。その結果、本手法がポアソン方程式の解法に対して効率の良いものであることを示している。

6章 2次元非圧縮性粘性流の数値計算

本章では本計算法を2次元非圧縮性粘性流の数値計算に応用した結果を示している。本手法を定常解を求める場合、及び非定常解を求める場合に対して適用し、その双方の場合に対して信頼ある解が与えられること、かつ計算効率が従来の方法に比して良いことを明らかにしている。

7章 2次元移動境界問題への適用

本論文で提案した陽的な擬似圧縮法を非定常問題の一つである計算領域境界が移動する問題（移動境界問題）に適用する場合の計算方法を解説する。さらに、本手法を移動境界問題の例として2次元振動翼まわりの流れ計算に応用し、その結果、移動境界問題に対しても本計算手法を用いて妥当な解を得ることができることを明らかにしている。

8章 3次元問題への拡張

8章では5章で述べた手法を3次元に拡張し、3次元空洞内の流れ、3次元曲がり管内流れ、3次元円柱まわりの流れに適用している。

3次元への拡張に際する基礎式、離散化、計算方法を整理し、上記の適用例に対する数値解を示し、結果の考察を行っている。特に、非定常流れである3次元円柱まわりの流れに対しては今までの実験的研究、及び数値解析的な研究結果と本研究で提案する手法を用いた計算結果を比較し、流れの3次元性について議論する。その結果、低レイノルズ数領域においても流れの3次元的な構造が存在することを明らかにし、これが2次元数値解析によって得られる空力特性値と実験値の差異をもたらすことを明らかにしている。

9章 結論

2章から8章までで得られた結果、及び知見を総括して述べている。

論文審査の結果の要旨

三宅俊也君の申請による博士論文の審査委員会においては、提出された資料、論文に基づき、論文内容の信頼性、独創性、新規性及び工学への寄与の期待度、さらに完成度などについて慎重に審査を行った。

審査の対象とする論文は、水などの非圧縮性流体の非定常な流れをコンピュータで計算するための新しい数値計算法の提案とその応用からなっている。3次元での非圧縮性流体の非定常流の数値計算においては速度と圧力を未知数として、速度に対する発展型の運動方程式を時間進行法で解き、1時間ステップごとに連続の式を満足するように圧力に関する楕円型のポアソン方程式を反復計算して解くことが行われてきたが、本論文では、従来定常流のみに有効とされてきた擬似圧縮性法を拡張し、発展型方程式のみを解けばよい方法を提唱している。時間積分法としては3準位ルンゲ・クッタ法を採用し、擬似圧縮性方程式の擬似時間積分には有理ルンゲ・クッタ法を採用することによりベクトル及びパラレル型のスーパーコンピュータに適した陽的計算法の構築に成功している。審査委員会では、この方法の独創性と発展性が高く評価された。また、円柱まわりの流れに関して、2次元計算と実験値とのずれの原因を3次元計算を行う

ことにより流れ場の3次元構造から初めて解明したことは注目に値し、他の応用例と相まって本論文が学位授与に値するものであると判定された。また、申請者はすでに自身を筆頭者とする論文を日本機械学会論文集その他に3件刊行しており、この面からも研究の学術的価値が裏付けられている。