

## 審査の結果の要旨

氏名 片岡 俊二

数ある連成現象の中でも工学上重要な流体-構造連成現象に関しては、これまで数多くの研究が行われてきたが、プラント構造物等の複雑で大規模な人工構造物や、昆虫や鳥の羽ばたき現象などに代表される自然現象では、流体-構造連成の効果は十分定量的に把握されておらず数値シミュレーションの活用が期待されてきた。連成問題の数値解法は、その支配方程式の取り扱いに対して一体型解法と分離型解法に大別することができる。一体型解析手法は比較的強い連成効果を安定的に解析できることが知られているものの、特に大規模で複雑な構造問題を扱う場合等には線形代数ソルバに効率的な前処理プログラムを開発しなければならないという課題があった。一方、分離型解法では時刻内反復を行い各時刻ステップでの平衡解を求める分離反復型の連成解法を適用することで、一体型解法と同等の精度の解析を実施し、かつ大規模構造解析の既存の資産を活用した解析が期待されてきた。しかし、実際には理論上及び実装上の困難さから、大規模で複雑な問題において適用・検証された事例はこれまでになかった。そこで本論文では、既存の並列計算力学ソフトウェア資源を活用した大規模な流体構造連成解析を実現することを目的として、分離反復法を採用した大規模並列連成解析プラットフォームを提案した。さらに、それを音響流体と構造の連成問題および非圧縮性粘性流体と構造の連成問題に適用し、その精度と有効性を実証した。

本論文は6つの章から構成される。

第1章は序論であり、流体構造連成問題とその解法、および本研究の目的について述べられている。

第2章では本研究で取り扱われる音響流体および非圧縮性粘性流体の定式化が述べられており、それを構造流体界面の変数に関する非線形方程式の形で表すことで分離反復型の連成解法を適用可能な形に表している。

第3章では、本研究で提案される並列分離反復連成システムについて、その詳

細が述べられている。具体的には、連成アルゴリズムとして準ニュートン法の一つである Broyden 法を採用し、Back Track アルゴリズムと組み合わせることで、効率よく解を求められることを述べている。また、流体構造界面での物理量を並列計算機環境下で双方向に効率的に交換するための手法を示している。

第4章では、提案手法を ADVNETURE\_Solid および ADVENTURE\_Thermal という既存の大規模並列解析ソフトウェアに適用し構築した音響流体-構造連成解析システムについて述べている。さらに、その精度と並列環境下での効率について検証を行い、一体型解法と比較して十分な精度が得られること、および並列環境下で十分な効率が得られることを示している。また実用例として、原子炉燃料集合体の地震応答問題へ適用し、実験では把握することのできなかつた複雑な挙動を明らかにし、提案手法の有用性を示している。

第5章では、提案手法を大規模並列流体解析ソフトウェア FrontFlow/blue と ADVNETURE\_Solid に適用し精度と適用性の検証を行った。具体的には、二つの流体構造連成のベンチマーク解析によって提案手法の精度の検証を行い、さらにマイクロ人工飛翔体の羽ばたき飛行の数値実験を行うことで、提案手法の幅広い問題への適用性を示した。

第6章は結論であり、本論文で得られた知見をまとめている。

以上を要するに、本論文では大規模な流体構造連成解析を実現するための汎用的な数値解析手法として、分離反復型連成解法に基づき、既存の並列計算力学解析ソフトウェアを柔軟に統合した連成解析プラットフォームを提案し、音響流体構造連成解析システムと非圧縮性粘性流体構造連成解析システムを構築した。そして、その実用レベルの有用性を精度・効率の観点から検証したものである。本論文は流体構造連成という複雑な工学現象や自然現象を定量的に把握し、人工物設計の高度化や自然現象の定量的理解を進めるための基盤となる手法を提案しており、システム創成学、特に先端知デザインという観点から大変価値が高い。よって本論文は博士(工学)の学位請求論文として合格と認められる。