

論文審査の結果の要旨および担当者

報告番号	※ 甲 第 13617 号
------	---------------

氏 名 NGUYEN Truong

論文題目

Topology optimization for thermal and flow fields related to
lattice Boltzmann method
(格子ボルツマン法に関連した温度・流れ場のトポロジー最適化)

論文審査担当者

主査	名古屋大学	教授	松本 敏郎
委員	東京大学	准教授	山田 崇恭
委員	名古屋大学	教授	井上 剛志
委員	名古屋大学	准教授	高橋 徹

論文審査の結果の要旨

NGUYEN Truong君提出の論文「Topology optimization for thermal and flow fields related to lattice Boltzmann method (格子ボルツマン法に関連した温度・流れ場のトポロジー最適化)」は、流れ問題の流路形状のトポロジー最適化問題において、流れの数値解析に格子ボルツマン法を用いて、流れの散逸エネルギーを最大化するトポロジー最適化問題と圧力損失最大化問題との違いを明らかにするとともに、Navier-Stokes方程式から導出されるトポロジー導関数と格子ボルツマン法を併用する方法の開発の入り口として、定常熱伝導方程式に対してトポロジー導関数と格子ボルツマン法を組み合わせた解析法を開発している。

第1章は序論であり、本研究の研究背景、研究目的、本論文の構成について述べている。

第2章においては、連続体力学に基づく流れ問題及び熱伝導問題の基礎方程式について述べている。

第3章では、Navier-Stokes方程式に対する格子ボルツマン法と定常熱伝導問題に対する格子ボルツマン法の定式化と数値解析のアルゴリズムについて述べている。

第4章では、流路境界のモデリングのためのレベルセット法について、レベルセット関数の定義とレベルセット関数を設計変数としたときの目的関数の感度、トポロジー導関数の定義について述べている。

第5章では、非定常流れ問題に対するトポロジー最適化問題にレベルセット法と格子ボルツマン法を用いる方法を考え、連続変数のボルツマン方程式を等式制約条件として目的汎関数を拡張し、そのレベルセット関数に対する感度を求めることにより随伴ボルツマン方程式を導出した。さらにそれを離散化して、順問題と随伴問題に格子ボルツマン法を適用することにより、目的汎関数の感度を計算する方法を示し、周期的に速度が変化する流れが流入・流出する流路内の流れの散逸エネルギーを最大化するような流路形状のトポロジー最適化問題に適用した。その結果、従来の流入口・流出口間の圧力損失の最大化では得られない流路形状が得られることを明らかにした。

第6章では、レベルセット関数に対する感度を用いる代わりに、トポロジー導関数を格子ボルツマン法により直接計算するトポロジー最適化法を考え、随伴問題が格子ボルツマン法で計算できる二次元定常熱伝導問題で解法の適用可能性の検証を行った。定常熱伝導問題は、発熱項がない場合はLaplace方程式となり、目的関数の変分を取ると、随伴問題の支配微分方程式もLaplace方程式となる。また、トポロジー導関数は随伴問題から計算される随伴温度勾配と元の境界値問題で計算される温度勾配の内積から計算される。したがって、連続速度分布関数を想定して導かれた随伴格子Boltzmann方程式を用いない新しい解法への展開が可能となる。二次元定常熱伝導問題のトポロジー最適化ではトポロジー導関数が陽に得られており、境界要素法を用いたトポロジー最適化例があるため、本研究で開発した格子ボルツマン法に基づくトポロジー最適化法と数値解析例を通して比較した。その結果、本研究で開発したトポロジー導関数を直接、格子ボルツマン法で計算するトポロジー最適化法がきわめて有効であるとの知見を得た。今後、Navier-Stokes方程式に対して、随伴Navier-Stokes方程式の格子ボルツマン法を開発すれば、流れ問題においても同様の解法を確立することが可能となることが示された。

第7章では、本研究の結論を与えている。

以上のように本論文では、流れ問題における流路形状のトポロジー最適化問題、および定常熱伝導問題において、目的汎関数のレベルセット関数に対する感度係数、およびトポロジー導関数の計算に格子ボルツマン法を用いる一連の解法を開発している。これら解析法並びに得られた結果は、流れ問題のトポロジー最適化問題の解法の一層の発展と流体による制振素子の開発のために重要であり、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NGUYEN Truong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。