

## 審 査 の 結 果 の 要 旨

氏 名 カイタツカラ アルジュン ジョン

本論文は「Control for dissimilar momentum and heat transfer with streamwise travelling wave-like wall blowing and suction (流れ方向進行波状の壁面吹き出し・吸い込みを用いた運動量と熱輸送の非相似制御)」と題し、5章より構成されている。

熱流体システムの高効率化、省エネルギー化を推し進めるにあたり、伝熱に伴う不可逆損失を最小化することは重要な課題である。流体が伝熱面上を流れる際の不可逆損失の要因は、圧力損失に伴うものと、伝熱抵抗に伴うものに分けられる。したがって、対流伝熱における究極の目標は、圧力損失を抑えつつ、熱伝達率を向上させることと言える。これを実現するために、過去に様々な形状の伝熱面が提案されており、平滑面に対して高い伝熱促進効果が確認されている一方、いずれの伝熱面においてもそれ以上の圧力損失の増加を招いている。本研究では、伝熱面において進行波状の吹き出し・吸い込みを与えることによって、圧力損失を抑えつつ、伝熱の飛躍的な向上が実現できることを示すと共に、これを受動的に実現する新しい伝熱促進デバイスの提案を行った。

第1章では、過去に提案された受動的、および能動的な伝熱促進技術のレビューを行うと共に、壁面から進行波状の吹き出し・吸い込みを与えた際における、流れ場とそれに付随するスカラー場の応答に関する既存の研究結果を紹介している。それらを受けて、層流域、乱流域のいずれの流動条件においても、進行波の振幅、波長、位相速度を系統的に変化させた研究事例が存在せず、非相似伝熱促進における最適な進行波のパラメータが不明であること、進行波状の制御入力を加えた際の制御機構が十分に解明されていないこと、さらに、進行波状の制御入力を受動的に実現する方法論が未開発であることを述べている。

第2章では、層流域の平行平板間完全発達層流を対象として、進行波の振幅、波長、位相速度を系統的に変化させた数値シミュレーションを実施し、それらのパラメータが壁面摩擦と壁面熱流束に与える影響を明らかにしている。その結果、チャンネル幅の凡そ3倍の波長を持ち、バルク速度の凡そ75%の位相速

度で下流に伝播する進行波が、非相似伝熱促進に最も効果があること、また、制御投入仕事を考慮しても、伝熱とポンプ動力の比で定義される非相似因子が 1 より大きくなることを示した。更に、流れ場の位相平均によって、進行波に誘起される位相平均場を解析し、速度場が非圧縮のベクトル場である一方、温度場はスカラーであるという本質的な違いにより、主流方向速度と温度の非相似性が生み出されることを明らかにした。

第 3 章では、同様の解析を平行平板間完全発達乱流場に拡張し、異なるレイノルズ数において、進行波の位相速度と波長を系統的に変化させた直接数値シミュレーションを実施した。その結果、層流と同じく、下流方向に伝播する進行波が非相似伝熱促進に適していること、また最適な進行波の位相速度は、主流速度の凡そ 30%、最適な波長は粘性長さで 200 程度であることを明らかにした。速度場及び温度場を位相平均成分とそれ以外のランダム成分に分解することにより、各成分の非相似伝熱促進に対する寄与を調査し、ランダム成分の寄与が全体の 60% 以上を占めることを示し、そのメカニズムを収支解析により明らかにした。

第 4 章では、伝熱面からの進行波状の吹き出し・吸い込みを受動的に実現することを目的として、伝熱面を多孔体とすることにより、せん断流の KH 不安定を利用して、進行波を生成するデバイスを提案した。これを空間発達層流場に適用し、異なるレイノルズ数において、多孔質の透過率、攪乱起点となる円柱の直径を系統的に変化させることにより、非相似伝熱促進に最適なパラメータが存在することを示すと共に、平板に対して、伝熱と圧力損失の比率を向上しつつ、伝熱促進が可能であることを明らかにした。

以上、本論文では、従来極めて難しいと考えられてきた非相似伝熱促進を実現する方法論として、壁面からの進行波状吹き出し・吸い込みを提案し、層流域と乱流域における最適な進行波パラメータを明らかにすると共に、その制御機構を明らかにした点は、学術的な意義が大きい。更に、伝熱面に多孔質を用いることにより、流体の持つ不安定性を利用して、進行波を自励的に発生させる伝熱デバイスを提案した点で新規性が高く、様々な伝熱装置への応用が期待できる。

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。