

論文審査の結果の要旨

氏名 鄧 実

本論文は、「Heat Transfer Effects in Small Wave Rotors (小型ウェーブロータにおける熱伝達の影響)」と題し、衝撃波の非定常伝播を利用した流体機械であるウェーブロータにおける非定常熱伝達の影響を明らかにし、その影響がサイズによってどのように変化するかを議論したもので、全5章から構成される。

第1章は「Introduction」であり、過去のウェーブロータ研究及びガスタービンへの搭載の利点を述べた上で、これまで熱伝達の影響の議論が極めて少なく、またその手法も数値モデルに依存しているため、詳細な議論が不十分であることを指摘した。特に、従来よりもさらに小型のマイクロガスタービンへの搭載を想定した場合、熱伝達の影響が相対的に大きくなることが予想され、その詳細な解析と議論の必要性を指摘した。これを踏まえて本研究では、3次元流体・熱伝導連成解析によって、ウェーブロータ内部に生じる熱伝達の影響を明らかにし、さらにその影響がサイズによってどのように変化するかを示すことを目的とすることを述べた。

第2章「Numerical Scheme」では、本研究で使用した数値解析手法について述べている。特に固体壁内部の熱伝導解析及び固体/気体境界接続の部分は、今回新たに構築したことから、解析解を持つ熱伝導現象の事例や、衝撃波管実験で計測された熱伝達計測結果との比較検証を示している。

第3章「Verification For Wave-Rotor-Like Flow Field And Heat Transfer」では、前章で示した検証事例よりも実際の内部流動に近い流れ場を対象にした検証を行っている。これは、本研究で想定しているウェーブロータの内部流動は、前章の検証事例に比べて流路サイズや時定数が小さいことや、流動場そのものが一般的な衝撃波管とは異なる点が多いことを理由として挙げている。そこで本研究では、流路断面が7mm角の流路及びスリットつき回転円盤を利用した給排気システムを持つ実験装置と高温空気を用いてウェーブロータの圧縮過程に似た流れ場を生成し、そこで生じる非定常的な熱伝達を、熱流束センサなどを用いて計測した。これを連成解析結果と比較したところ、圧力場及び壁面での熱流束について良く一致したことから、本研究で構築した連成解析コードは十分な精度を有していることが確認された。

第4章「Results And Discussions」では、まずマイクロガスタービン用に設計されたウェーブロータ試作機を対象に、熱伝達が生じない場合の解析結果を示し、衝撃波伝播及びガスと空気の境界部分の構造を中心に、基本的な流動構造を述べている。次に、試作機の10倍のサイズを想定した場合を対象に、熱伝達現象を含めた解析を行った。その結果、熱伝達が増大する部分として、1) 空気及びガスの流入部、2) 衝撃波によっ

て（再）圧縮された空気及びガス領域， 3）衝撃波近傍， を挙げた．また，回転力によって生じる浮力差によって，温度の高い流体が内径側に偏り，結果的に内径側の壁面温度が高くなることを指摘した．次に，試作機の 1/10 サイズを想定した場合の解析を行い，特に圧力波近傍の熱伝達現象が増大することを指摘した．また，これらの熱伝達現象によって流体の温度が変化し，それに伴って圧力分布も変化するために，ウェーブロータの圧縮膨張を担う圧力波の伝播にも変化が現れ，様々な連鎖反応を経た結果，燃焼ガスと空気の給排気ポートの状態量にも影響が出ることを明らかにした．特に 1/10 サイズでは，圧力波伝播への影響は大きく，給排気ポート設計において熱伝達の影響を考慮する必要があることを示唆した．さらに，試作機の 10 倍から 1/10 倍までの各スケールにおける結果を比較し，試作機の 1/3 スケール以下の場合に熱伝達の影響が急激に増大することを示した．最後に，ロータ外周の温度境界や壁温度の扱い方が解析結果に与える影響も議論し，将来的に計算負荷の小さい数値モデルの構築に向けた示唆を得ることができた．

第 5 章は「Summary and Conclusions」であり，本研究の成果を総括している．

以上要するに，本論文は，小型ウェーブロータにおいて懸念される熱伝達の影響について議論するために流体・熱伝導連成解析を実施し，内部流動及び作動状態に対する熱伝達の影響を明らかにした上で，その影響のスケールによる変化を議論考察したものである．また，解析モデルにおける壁温度の取り扱いについても考察し，将来的に計算負荷の小さい解析手法の方向性も示しており，先端エネルギー工学，特に航空宇宙工学に貢献するところが多い．よって本論文は博士（科学）の学位請求論文として合格と認められる．

以上 1 9 7 4 字