

審査の結果の要旨

論文提出者氏名 岡本光司

修士（工学）岡本光司の提出論文は、「ウェーブロータ内部の波動流れに関する研究－ガスタービン要素への応用－」と題し、本文4章から構成される。

ウェーブロータは、従来の圧縮機やタービンなど回転機械における翼仕事に替わり、衝撃波や膨張波を介したガス仕事を利用する。構造の点では、セルと呼ばれるチューブを回転軸まわりに束ね配列した格好のロータ及びその両端面にわずかな隙間（クリアランス）で接する給排気用ポートから構成される。ウェーブロータはすでに自動車用ディーゼルエンジンの過給器としての製品が市場に供されており、作動原理も新しいところでない。然し、実用化とは裏腹に、セル内部の波動伝播と流動現象の詳細な解明は遅れ、単純な特性線理論をベースに豊富な経験則を積み重ねるといふ設計手法に頼っており、いざ他の用途にこれを設計しようと試みる際に職人的な技術のため応用が効かず普及しない現状にある。ウェーブロータを航空用エンジンに搭載する試みは、最近になって漸く米国 NASA を中心に始まり、熱力学サイクル上の検討結果によれば、出力と熱効率の両方に著しい優位性をもたらすと結論に至っている。また、実機ガスタービンエンジンと組み合わせた試験運転もなされた模様であるが、試験結果は未公表のままである。このようにウェーブロータに関しては、数多い経験則の蓄積が自動車エンジン分野にある一方、優れた特性を活かせる可能性に満ちたガスタービンエンジン分野への波及が進まない現状があり、この矛盾を解消することが求められている。その鍵は、ウェーブロータ内部の複雑な波動流れの基本的かつ詳細な把握とその解析結果に基づく簡明な設計指針およびエンジンシステム全体との適合統一化に役立つ柔軟な設計支援ツールの構築にかかっている。

著者は、本論文において、ウェーブロータ内部流動構造ならびに衝撃波による圧縮過程を実験及び数値流体解析の両面から解明することを試みている。即ち、実験装置に新たな工夫を施し、相対運動するロータとポートを反転することでセル内部の衝撃波伝播の可視化に成功した。また、ロータを平均回転半径位置で2次元平面に展開し、ナビエーストークス運動方程式に則り、ポートとの相対運動と隙間の存在を適切に考慮した実験境界条件の下にセル内部流動解析を行い、計測されたセル壁面静圧変動に象徴される非線形的な波動集積現象など実験観察との良好な一致を見た。さらに、得られたセル内部流動に関する知見を基に、ウェーブロータにとり作動のかなめである衝撃波伝播とポート開閉タイミングの影響を正確に捉えながら、束ねたセル全周分を互いの干渉効果を考慮しつつ同時解析できる低計算負荷の1次元全体解析モデルの構築に成功した。後者モデルに基づく設計支援

計算コードは、これからガスタービンエンジンに搭載するウェーブロータの特性予測を行う上で貴重な役割を果たすものと期待される。

本論文は、第1章から第4章までの構成となっている。

第1章では、本研究の目的と特色を論じ、ウェーブロータの作動原理やガスタービンエンジンサイクルに関連する従来研究を紹介している。

第2章は、内部流動に関する実験ならびに数値解析の詳細を記述し、その結果につき考察を加えている。実験では、初めてセル内部の衝撃波伝播の可視化画像が示され、対応する壁面静圧変動の記録が分析された。数値解析では、2次元非定常ナビエストークス方程式に基づく離散化手法やポートとセル間を横切る流束を適切に処理する境界条件に言及し、実験に対応する圧力変動を算出し良好な一致を検証するとともに、実験では測定困難なポート開口過程や隙間近傍における非定常流動との相関を考察した。これにより、隣接するセル同士の隙間洩れを考慮することが反射衝撃波の伝播を正確に捉えるため大事であると指摘している。

第3章は、前章で得られた内部流動に関する知見を基に、ウェーブロータの作動に影響を与える因子とされる有限開口時間、壁面摩擦そして隙間洩れの3つを取り上げ、特に波動伝播に効く要素を効果的に組み入れた1次元全体解析モデルにつき説明している。構築された計算プログラムは2次元コードに比べ波動伝播に関して良好な一致を与え、しかも低計算負荷を達成でき、全周に配列された多数セルの同時解析を実現できる。これを、唯一公表されたNASAの実機ガスタービンエンジン搭載試験計画の仕様に適用したところ、設計点におけるウェーブロータ作動状況の妥当性が確認され、また設計点を外れた回転数や流量での作動予測も可能で、エンジンシステム全体の特性を設計段階で把握するのに非常に役立つことが示された。

最後の第4章は結論であり、本研究で得られた知見をまとめている。

以上要するに、本論文は、実験と数値解析を通じてウェーブロータの内部波動流動を解析的に明らかにし、従来の経験則に基づく設計手法を乗り越え、新たに柔軟な設計支援ツール構築の可能性を明示したものであり、その結果は航空宇宙工学上貢献するところが大きい。

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。