

## 審査の結果の要旨

氏名 西嶋 規世

修士（工学） 西嶋 規世 提出の論文は「数値解析によるラビリンスシール不安定流体力の評価と設計指針の構築」と題し、9章から構成されている。

蒸気タービン、あるいは石油・ガス産業の様々なプラントで用いられるプロセスガス圧縮機は、長期的・世界的なエネルギー需要に応える重要機器である。これらに代表される高圧ターボ機械では、回転体（軸や回転翼）と静止体（ケーシングや静止翼）の隙間にラビリンスシール構造が多く用いられているが、シールで発生する流体力(以下 シール流体力)は、軸系の自励振動を引き起こす主要因となっている。またこれらの機器では、現状レベルを超える更なる効率向上や高圧化が求められており、シール流体力の定量的な予測および低減が重要な研究課題となっている。そこで本研究では蒸気タービンのラビリンスシールを対象とし、(1)シール流体力の定量的な数値予測を実現するためのモデル化、(2)設計パラメータの影響の評価と要因の明確化、(3)設計指針として適用可能なパラメータ依存性の定式化、(4)旋回防止板による流体力低減法の検討、を行った。

第1章は序論であり、ターボ機械において効率向上や高圧化が求められている背景、およびシール流体力に起因する不安定軸振動が課題となっている状況をまとめた後、従来行われてきた研究の状況と課題を述べ、本研究の目的を設定している。

第2章では従来の研究を踏まえ、シール流体力が不安定軸振動を引き起こす過程を示し、シール流体力を評価するための指標を設定している。また、数値解析で用いたモデルや仮定、およびシール流体力を数値解析で算出する手順とその留意点を示している。

第3章では過去に報告された複数のシール要素実験との比較検証を通し、本研究で用いる解析モデルが定量的に妥当な解を与えることを示している。

第4章では実機環境におけるシールの特性を評価するために適切な解析モデルを明らかにしている。動翼シールを対象として4種の異なる解析モデルを提示し、要素実験と実機の双方の条件で得られた解析結果を比較することにより、要素実験と実機実装時ではシール流体力に大きな違いが生じること、およびその違いがシール入口で形成される流量分布に起因することを明らかにしている。

第5章ではシールの重要な設計パラメータであるシールギャップが流体力に与える影響を明らかにしている。動翼シールを対象とした解析結果から、シールギャップが縮小するに従い流体力が増加することを示すとともに、シールギャップが極端に縮小した場合には流体力のシールギャップ依存性が低下すること、および依存性低下がシール内部の旋回速度の低下に起因することを明らかにしている。また、シール内部の流体力の分布を詳細に分析し、フィン前後で圧力分布が大きく変化することでシール流体力が発生していることを明らかにしている。

第 6 章では軸シールを対象にシール長さが流体力に与える影響を明らかにしている。解析結果から、シールが長くなるに従いシール流体力は増加するが、その増加傾向は逡減していくことを示している。また、シール内部の流体力の分布を詳細に分析することで、長いシールではギャップ依存性が低下すること、その要因が動翼シールと同様にシール内部の回転速度の低下に起因することを明らかにしている。

第 7 章では第 3 章から第 6 章までに得られた知見をもとに、様々な設計パラメータに対する依存性を考慮した新たなシール流体力評価式を導いている。シール流体力がシールに流入する流れの効果とローター回転の効果の和として表されるという考察により、流体力の新たな評価式を得るとともに、数値解析との比較を行い、蒸気タービンの高圧段・中圧段で想定される幅広い条件に評価式が適用可能であることを明らかにしている。また、減衰の簡易的な評価法を提示している。

第 8 章ではシール流体力の低減手段である回転防止板の設置により流体力と翼列性能がどのように変化するかを検討し、回転防止板の設置指針を提示している。回転防止板の設置枚数を増加させると流体力が低減できることを示すとともに、設置指針として回転防止板の配置間隔と面積からなる新しい指標を提示している。また、回転防止板の設置が翼列性能を低下させること明らかにするとともに、流れ場の詳細な分析から、性能低下の要因がシール部から主流部に向かう逆流であることを明らかにしている。

第 9 章は結論であり、本研究で得られた結果を総括している。

以上、本論文では蒸気タービンのシール流体力を定量的に予測する数値解析法を構築し、設計パラメータが流体力に与える影響を体系的に整理することを可能にするとともに、パラメータ依存性の流体力学的な要因を明らかにしている。構築した解析モデルおよび評価手法により、今後のターボ機械シール部の設計において、十分な精度で流体力を予測し、不安定振動の発生を事前に評価することが可能となった。これらの成果はターボ機械の高性能化と安全性向上に資することで航空宇宙推進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。