

審査の結果の要旨

氏名 大北 洋治

工学士 大北 洋治 提出の論文は、「航空エンジン用タービンにおける冷却性能向上の研究」と題し、本文5章から構成されている。

航空エンジンは高温部位における耐熱合金の溶体化温度をはるかに超えるタービン入口温度で作動しており、様々な材料技術や冷却技術の適用でこの作動を可能にしている。これまで材料分野では種々の新技術が実用化されているのに対し、冷却技術については長年にわたり本質的な革新が起きていない。その理由として、タービンの冷却設計では単純な系の実験データや過去の設計経験を偏重する傾向があり、普遍性・物理適合性に基づく設計に限界があることが挙げられる。このため特に実機における複雑形状や複合事象に適合した高度な設計の実現には困難がある。また、物理現象を踏まえた一般性のある設計思想がないため、限界設計や最適設計も難しい。

これら現状の問題点を踏まえ、本研究ではタービン周りの冷却に係る現象の詳細なメカニズムを工学的に明らかにし、この知見に基づいて新たな改良・革新技術を生み出すこと、更に新たな技術開発の方法論を提案することを目的としている。提案する新たなアプローチは、過去の経験・知見を生かしつつ、流体数値解析を駆使して翼周りの三次元的で複雑な流動と熱のメカニズムを解明し、実験検証も併用しながら新たな技術を創出するアプローチである。

第1章は序論であり、タービン冷却技術の発展の歴史と現在の技術状況を概括したうえで、冷却の高性能化に対する課題を明確に整理し、本研究の独自性と目的を述べている。

第2章では本研究における研究手法について述べている。数値流体力学の適用による流れのシミュレーションを中心に置き、タービン冷却の流れと熱輸送のメカニズムを明らかにする。設計に利用可能な程度の計算負荷で実機形状および実機条件に対する解析から現象の本質を把握するためには、適切なモデリングを行うことが肝要となる。このため従来蓄積された経験、知見、単純系でのデータなどを踏まえ、これらを総合した物理メカニズムのモデルに基づいて設計改良と新コンセプトを導く新たな手法を提案している。

第3章では本研究で提案する手法を以下の7つの具体的な冷却技術に適用し、それぞれが妥当に高性能化されることを実証も含めて示している。

(1) フィルム冷却の冷却孔の流れ場を解析した結果から、冷却性能の制限要因を解明して新たなフィルム冷却構造を提唱し、実験で確認した。

- (2) 軽量化のため大幅に翼を薄型化する設計思想を流体数値解析に基づいて提唱し、模擬実験で効果を確認した。
- (3) 翼面前縁の冷却法として用いられるシャワーヘッド方式の冷却性能が低い理由を流体数値解析から明らかにし、これを踏まえて新たな冷却法を提唱した。
- (4) 翼列入口マッハ数が高い場合、翼前縁近傍では翼の内部冷却を強化するニーズがあるため、内部冷却についても流体数値解析を援用して更なる性能向上を検討し、新しいコンセプトを考案して模擬実験で実証した。
- (5) 翼列流路壁面に適用されるフィルム冷却は設計精度が悪く、耐久性に問題が起きやすい。精度が悪い理由を流体数値解析の援用で分析し、有害な要因を明らかにして新たな流路面形状のアイデアを提案した。
- (6) タービンディスク外周部と翼列の接続部では冷却性能が低下しやすく、設計が難しい。この部分の流動メカニズムを流体数値解析で分析し、冷却性能低下の原因を明らかにしたうえで、性能を向上しうる新設計を提案した。回転タービン試験により実証も行っている。
- (7) タービンディスク周りに散見される設計精度が著しく悪い部位の流れを解析し、特に過渡的な作動状態において精度低下の原因を明らかにした。

第4章では前章の具体的な成果を総合し、タービン冷却の現象理解に基づく設計指針をまとめて提示している。タービン冷却技術に関わる課題は、表面上はそれぞれ別の問題・課題であっても、その現象をつぶさに分析していくと、根本的な原因には一定の共通項があることが示された。そこで過去の知見のデータベースと、流体数値解析および検証実験に基づくデータベースを基盤とし、現象の可制御性と性能向上の必要度を横軸と縦軸にとった座標系の上に開発すべき技術を整理して、新規開発技術の方向を合理的に見極める新たな方法論を提示している。

第5章は結論であり、本研究で得られた結果をまとめている。

以上要するに、本研究は航空エンジンにおけるタービン冷却設計の従来知見に立脚し、流体数値解析による流れ現象と熱特性の解明を有効に組み合わせることにより、一般性のある合理的な設計アプローチの手法を新たに提示したものであり、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。