

論文の内容の要旨

論文題目 航空エンジン用タービンにおける冷却性能向上の研究

氏名 大北 洋治

近年の航空エンジンは、その高温部位に使われてい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、そうした条件下で部品が耐久性を維持できるように様々な材料技術や冷却技術が適用されている。材料面ではさらなる高温化のステップチェンジを可能にする新技術が実用化されつつあるのに対し、冷却技術については永らく本質的な革新が起きていない。その理由として幾つかの要因を洗い出すことができる。

まず、これまでのタービン冷却設計は、単純な系の実験データや過去の設計経験・知見を偏重する傾向があり、そうしたアプローチの普遍性・物理適合性に限界がある。そのため特に、実機の複雑形状・複合事象では設計のクオリティが低下しやすい。また、物理現象に適合していなければ、限界設計・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メカニズムを科学的な手法で明らかにした上で、そのメカニズムに基づいて新たな改良・革新技術を生み出すこと、および、そうした新たな技術開発アプローチの提案、を研究目的とする。ここで提案する新たなアプローチは、過去の経験・知見をまったく無視する意図ではなく、ただそれだけに頼ることなく、CFD を駆使して実翼周りの3次元的で複雑な流動や熱のメカニズムを解明しつつ、また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。本アプローチにて、いくつかの技術課題の具体例について、現象解明と新技術創出を試みる。

- 1) 今日最も信頼性のある高性能フィルム冷却（シェイブドフィルム）の流れ場をCFDを用いて分析し、その冷却性能を抑制しているメカニズムを解明し、これを解決する新たなフィルム冷却を提唱する。また、実証実験を行い、この新技術を確認する。
- 2) タービン冷却翼を軽量化するため大幅に翼を薄型化する設計思想を提唱する。こうした設計を採用する場合に冷却等性能へ及ぶ悪影響のメカニズムをCFDで明らかにするとともに、これを改善するアプローチを検討する。実証のために、薄型翼のフィルム冷却流を模擬した実験を行い、CFDが示したメカニズム及び改善効果を確認する。
- 3) 翼面前縁の代表的な冷却法としてシャワーヘッド方式がある。この方式では、冷却性能が低いことが一般的に知られているが、その理由をCFDから明らかにし、そのメカニズムを踏まえ、新たなフィルム冷却法を提唱する。
- 4) 翼前縁は特に熱負荷が高く、前記のシャワーヘッドに代表されるような外部冷却による冷却強化が一般的である。しかしながら、前縁は空力的にセンシティブな部位でもあり、特に翼列入口マッハ数が高くなる後段の翼列では、できれば外部冷却は抑制し、

内部冷却を強化して冷却を成立させたいニーズもある。そこで、内部冷却についても、CFD を援用してさらなる性能向上を検討する。模擬実験も行い、考案した新コンセプトにより、冷却性能が確かに改善されることを示す。

5) 翼列流路面はフィルム冷却の適用が一般的だが、翼面に比べ設計精度が悪く、耐久性上の問題が起きやすい。このように予測精度が悪い理由を CFD を援用して分析する。冷却性能にとって有害なメカニズムを明らかにし、これを緩和する新たな流路面形状のアイデアを提案し、CFD でこれを評価する。

6) タービンディスクは寿命限定要素であり、適切に冷却されることが重要である。しかし、特に翼列とディスク外周部（リム）の接続部では、冷却性能が低下しやすく、設計が難しい。そこで、当該部の流動メカニズムを CFD で分析し、冷却性能低下の原因を明らかにする。またその成果を踏まえ、冷却空気を増やさずに当該部の冷却性能を向上しうる新アプローチを提案する。実証のため回転タービン試験を行い、ディスクリムの冷却効率・パージ効率を確かに向上されることを示す。

7) タービンディスク周りは、前記のリム部のような冷却の難しい部位に加えて、従来、設計精度が著しく悪い部位が散見される。こうした精度低下は、特に過渡的な作動状態において典型的に見られる。CFD でそうした部位の流動を分析し、精度低下の原因を明らかにするとともに、新しい手法を適用することで、予測精度が大幅に改善されることを示す。

以上、物理メカニズム把握に軸足を据えた新たな設計アプローチを、幾つかの具体的な技術課題に適用し、このアプローチの有効性を示した。また、これら様々な取組みを通じて、課題ごとに顕在化している問題は異なるように見えていても、その底流にある現象のメカニズムやその根本要因には、共通性が見られることもわかった。こうした物理メカニズムの共通的な特徴に応じて、各課題への対応に普遍的なアプローチが設定できることも本研究の成果として提唱する。