

審査の結果の要旨

氏名 有澤 秀則

修士（工学）有澤秀則提出の論文は、「Fluid Dynamic Loss in Aeroengine Transmission Gears（航空エンジン・ギヤシステムの流体力学的損失に関する研究）」と題し、本文9章および付録から構成されている。

民間航空機の燃費低減のため、ターボファンの超高バイパス比化や推進システムの電動化が進展している。超高バイパス比化のためにファンと低圧段の間に減速ギヤを設置するエンジンのギヤ化が進められ、また、電動化のために大容量の発電機を駆動するギヤシステムが必要となる。これらの動向で減速ギヤでの伝達動力が大幅に増加するため、ギヤの高性能化、軽量化が重要な技術となっている。

航空エンジンのギヤでは小型軽量化のために回転数が高くなり、空気と油の二相流の流体力学的損失が増すことから、その低減が重要である。一方、従来の設計方法では低動力損失設計よりも強度設計や重量設計が優先される傾向にある。これは低動力損失設計の精度と信頼性に課題があるためで、その原因は流体力学的損失の現象解明と、それに基づく低動力損失設計法の確立が不十分であることによる。

そこで本研究では二相流の流体力学的損失の要因を解明・分類し、損失モデルを構築することにより、高速ギヤシステムの低動力損失設計の標準化に資する知見を提示することを目的としている。

第1章は序論であり、航空エンジンへのギヤ導入と推進システム電動化の経緯および最近の動向、従来研究を概括した上で、流体力学的損失の現象解明の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章では流体力学的損失の理論について述べている。流動様式の考察から、ギヤかみ合い部分とギヤ周辺部分（ギヤかみ合いを除いた部分）に分けて流体力学的損失を考えるべきであることを述べている。

第3章では計測方法の提案と検証を行っている。温度依存性の高いギヤ・軸受・シールの摩擦損失の高精度な温度管理による流体力学的損失のその場計測法を新たに提案し、高い精度が得られることを述べている。また、航空用ギヤと同等の諸元を有する最高周速 100 m/s の2軸ヘリカルギヤボックスを用いて解析検証用のデータを得ている。

第4章では数値解析法の提案と検証を行っている。矩形格子と Volume of Fluid 法を用いながら、空気流れに関するギヤかみ合い部分境界条件のモデル化と油粒子の剥離に伴う流動抵抗変化のモデル化を新たに提案し、高い計算安定性と

速度を実現した。結果を実験と比較することにより、流動現象の再現および流体力学的損失の実用的精度での評価が可能であることを示している。

第 5 章では数値解析結果に基づき流体力学的損失の現象把握および分類を行っている。空気の流体力学的損失を、ギヤかみ合い始めでの空気押し出し、かみ合い横を通過する空気流れ、かみ合い終わりでの空気吸い込みに起因する「空気横流れ損失」、ギヤかみ合いの頂げきおよびバックラッシュ隙間を通過する空気流れによる「空気ポンピング損失」、ギヤ周辺部分での歯と歯の間の渦による「空気渦損失」に分類している。また、油の流体力学的損失をギヤかみ合い部で給油された油の加速による「給油加速損失」、ギヤかみ合い部に再流入する油の加速による「油再加速損失」、ギヤ周辺部で空気渦が油を攪拌することによる「油攪拌損失」に分類している。分類後の各損失要素の評価結果は実験との比較により検証した。損失低減で重要となるギヤシュラウドは、空気流を抑制して空気の流体力学的損失を低減させる一方、シュラウド内で油が滞留するため油の流体力学的損失を増加させることを述べている。

第 6 章では流体力学的損失の現象に関する知見に加えて適切な仮定を用いることで、新たな流体力学的損失モデルを構築している。

第 7 章では損失モデルを用いて低動力損失設計のための各種設計パラメータの影響を考察している。代表的なパラメータであるギヤアスペクト比およびギヤシュラウド形状について最適化を行った結果、ギヤシステムの有意な損失低減が合理性を持って可能であることを明らかにした。

第 8 章では高速ギヤシステムの低損失設計の標準化に向けた考察が示されている。既に確立されているギヤ強度設計手法との類推から、標準化には「現象説明と分類」、「標準計測法」、「流体力学的損失モデル」が必要であり、本研究によりその基礎を構築できたことを述べている。

第 9 章は結論であり、本研究で得られた結果をまとめている。

付録では、ギヤ・軸受・シールの摩擦損失など、本文で取り上げた以外の動力損失の計算方法と特徴を述べている。

以上要するに、本研究は航空エンジン用ギヤシステムにおける二相流の従来知見に立脚し、実験、数値解析、および損失モデルを有効に組み合わせることにより、流体力学的損失の要因と合理的な設計標準化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。