

## 審査の結果の要旨

氏名 児玉 大樹

修士（工学）児玉大樹提出の論文は、「高高度滞空型無人機における圧縮機翼列の空力特性に関する研究」と題し、6章からなっている。

近年、利用が広がっている無人航空機の中で、広範囲の情報収集や無線通信の中継基地などを任務とするものは、高度 20km 付近の高高度を低速で飛行することが求められる。高高度の飛行は民間航空機の安全性や、地上の情報収集・提供の広い領域を確保するために必要であり、低速飛行は長い航続時間を確保するための低抵抗性の実現や、採取するサンプルに対する空力加熱や衝撃波などの影響を防ぐために求められる。このような任務を遂行する無人航空機は、特に高高度滞空型無人機と称されている。

高高度滞空型無人機に搭載されるジェットエンジンの内部流れは、空気密度の減少によってレイノルズ数が大幅に低下する。一般に、低レイノルズ数域では境界層の発達や剥離、二次流れの増大などによって、ターボ機械の効率が急激に減少し、また圧縮機の失速、サージなどの不安定現象が発生しやすくなることが知られているが、未だ明らかでない事象も多く存在する。特に回転する翼列に関しては、圧縮機性能の低下をもたらす三次元的な流れ場の挙動や、失速特性の変化とその要因がほとんど明らかにされていない。更に、従来の研究では低レイノルズ数且つ低マッハ数域の流れ場が主たる対象となっており、高高度滞空型無人機のエンジンで問題となるような、低レイノルズ数且つ高マッハ数域では、流れ場がほとんど調査されていない。

以上の状況から本論文で著者は、高高度滞空型無人機に搭載されたジェットエンジンの圧縮機翼列の空力特性を明らかにすることを目的とし、流れの数値解析によって、レイノルズ数低下による圧縮機特性の変化と翼列内三次元流れ場の変化の相関を調べ、損失増大と失速マージンの減少に関するメカニズムを考察している。

第1章は序論で、研究の背景を述べ、これまでの低レイノルズ数領域における翼列流れの研究状況を整理して、本研究の目的と位置付けを明確にしている。

第2章では数値解析の方法について説明している。基礎方程式にレイノルズ平均 Navier-Stokes 方程式を用い、乱流解析には  $k-\omega$  二方程式モデルを使用している。本研究では乱流遷移の適切な扱いが必要であり、Wilcox の高レイノルズ数型  $k-\omega$  モデルに、遷移開始点を指定する簡易的な方法で遷移を扱うことが述べられている。

第3章では構築した数値解析法の検証を行っている。まず平板上流れの解析結果を実験と比較し、開発した解析手法により、境界層速度分布や局所摩擦係数が合理的に捉えられることを確認している。次に低速直線翼列流れの実験を対象とした解析を行い、翼面境界層の剥離の様子を再現できること、また、レイノルズ数の低下による圧縮機特性の変化が再現できることを確かめている。

第4章では、低レイノルズ数且つ低マッハ数の条件における二次元翼列実験の流れを対象として解析を行い、レイノルズ数の低下による翼列性能低下の要因を考察している。その結果、レイノルズ数の低下と共に翼面境界層が剥離して全圧損失が急増しはじめること、更にレイノルズ数が低下すると剥離泡の再付着位置が後退し、最後は再付着しない完全な剥離が生じて、全圧損失の大幅な増加を引き起こすことを明らかにしている。

第5章では、遷音速回転翼列の代表的なモデルである NASA Rotor37 が高高度滞空型無人機エンジンの圧縮機翼列であることを想定して、地上、高度 10km、および高度 20km において作動している場合の数値解析を行い、レイノルズ数の低下による圧縮機特性の変化と翼列内三次元流れ場の変化を詳細に調べている。これにより、作動高度の上昇によるレイノルズ数の低下が、チョーク流量の減少と、圧力比および断熱効率の低下をもたらす結果を得た。また、設計点近傍での作動においては、レイノルズ数の低下によって翼面境界層の剥離域が拡大し、そこでの全圧損失が増加している様子が見られた一方、翼負荷が減少するため、翼端漏れ渦による損失は減少することが分かった。更に、通常のレイノルズ数では翼端漏れ渦によるブロッキングが失速過程に支配的であるが、低レイノルズ数の場合は翼面境界層の剥離によるブロッキングが失速を支配することが分かり、レイノルズ数の低下による失速機構の変化が明らかにされている。最後にこれらの結果に基づき、高高度滞空型無人機エンジンの圧縮機設計に資する、翼列流れの基礎的な特性を整理して提示している。

第6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、本研究は高高度無人機のエンジンに本質的な低レイノルズ数流れにおける圧縮機の作動特性を数値解析によって調査し、レイノルズ数の低下による全圧損失増加の要因と、圧縮機不安定現象の発生要因の変化を明らかにして、低レイノルズ数流れにおける圧縮機翼列の設計に基礎的な知見を与えたものであり、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。