

## 審査の結果の要旨

氏名 大坂 淳

修士（工学）大坂淳提出の論文は、「超音速せん断流れ内に形成される縦渦の構造および混合促進効果に関する研究」と題し6章から成っている。

次世代宇宙往還機のエンジンとして、スクラムジェットエンジンが注目されている。これは、ラムジェットエンジンの一種であり、大気中の酸素を酸化剤として使用する。このため、ロケットエンジンのように大量の酸化剤を携行する必要がないという利点を持つ。従来のラムジェットエンジンでは、吸入した空気を圧縮する際に、これを亜音速まで減速する。しかしながら極超音速飛行を目指す場合、空気流を亜音速まで減速すると、過度の温度上昇をまねき、エンジンは深刻な障害を受ける。スクラムジェットエンジンでは、空気流の圧縮を超音速にとどめ、この問題を回避する。一方空気流が超音速の場合、圧縮性の増大とともに流れ場の安定性は増大し、乱流混合が極めて進みにくくなるという問題が生じる。この結果燃焼効率が低下し、エンジンの性能は低下する。したがって、スクラムジェットエンジン開発においては、燃焼器内における超音速空気流と燃料流の混合促進が重要な課題となる。

一般に、平行に流れる二つの流れの間に形成されるせん断流れの乱流遷移過程は、以下のように説明される。まず流れ場の一次不安定性により、流れ場中の流れ方向擾乱が増幅され、スパン方向に軸を持つ渦が形成される。その後、流れ場の二次不安定性により、スパン方向擾乱が成長し、縦渦が形成される。渦により巻き込まれた流体は、やがて分子レベルで混合する。このように、渦の発生原因である流れの不安定性の増大が、混合促進には重要であると考えられる。

従来の研究から、圧縮性の増大とともに一次不安定性は著しく抑制されることが明らかになっている。しかしながら、縦渦は圧縮性の影響を受けにくいいため、混合促進に有効であると考えられている。本研究では超音速せん断流れにおいて、二次不安定性によって励起される詳細な縦渦構造および縦渦の混合促進効果を調べることを目的としている。

第1章は序論であり、亜音速せん断流れの一次不安定性、二次不安定性について概観している。また、二次不安定性によって成長する縦渦構造に関する研究に対する目的や意義を明確にしている。

第2章では、縦渦構造を調べる手法の一つである、線形安定性解析に関して記述されている。流れの支配方程式および線形安定性解析の定式化について説明がなされており、また数値解法について説明が加えられている。

第3章では、線形安定性解析から得られた知見が述べられている。まず、流れ場の一次不安定性によって、スパン方向渦構造が形成される様子が示されている。その後、この流

れ場を基本流れとした二次不安定性問題から得られた流れ場に関する考察が示されている。その結果、二次不安定性によって、スパン方向擾乱は流れ場内で成長し得ることが明らかにされている。しかしながら、本解析手法では、スパン方向渦が変形を受ける段階までは記述できるものの、縦渦への成長段階までは記述できないため、擾乱の非線形成長を調べる他の手法の必要性が述べられている。

第4章では、空間発展計算に関して記述されている。流れの支配方程式、数値解法について説明されている。これに加え、二次不安定性を励起するために対象となる流れ場に導入する3種類の擾乱特性およびその導入方法が示されている。

第5章では、空間発展計算から得られた結果について記述されている。最大の増幅率を持つ擾乱のみを導入した場合、上流では線形安定解析における二次不安定性問題と同様の流れ場が得られている。この結果から、本研究で用いた励起方法によって二次不安定性を励起することが可能であることが明らかにされている。また、流下とともに、コアに絡みつくような管状の縦渦構造（リブ構造）が形成されることが示されている。この結果を踏まえ、実験において形成されるせん断流れを模擬することを目的として、正の増幅率を持つ全ての擾乱を導入した場合における結果について述べられている。この場合、擾乱を導入しない二次元計算と比べて、リブ構造によってせん断層厚さが増加することが明らかにされている。特に、スパン方向渦とリブ構造の波長が同じ場合に、最もせん断層厚さが増加し、最大の混合促進効果が得られると結論づけている。また、二つのスパン方向擾乱を導入した場合には、混合促進効果が抑制されることが示されている。

第6章は結論であり、本論文において得られた結果を要約している。

以上要するに、本論文は、数値計算を用いて超音速せん断流れの二次不安定性によって形成される縦渦の構造およびその成長機構を詳細に調べるとともに、縦渦による混合促進効果を明らかにしたものであり、航空宇宙推進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。