

審査の結果の要旨

論文提出者氏名 荒木幹也

修士（工学）荒木幹也提出の論文は、「超音速せん断層の二次不安定性励起による混合促進」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層の乱流遷移過程は、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、流れ場中のじょう乱が増幅され、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、流れ方向の渦が形成される。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、二次不安定性が圧縮性の影響をどの程度受けるのかは、ほとんど知られていない。そこで本研究では、超音速乱流混合の最も単純な場である超音速せん断層における二次不安定性の挙動を把握するとともに、二次不安定性を励起することによる超音速せん断層の混合促進の可能性を探ることを目的としている。

第1章は序論であり、亜音速せん断層の一次不安定性、二次不安定性について概観している。また、実験的に二次不安定性励起の効果を調べる方法として、曲線型トレーリングエッジを用いることにより、超音速せん断層に流れ方向渦を導入する方法を提案している。

さらに、線形安定性解析を用いた二次不安定性解析の目的と意義を明確にしている。

第 2 章では、実験装置および方法について述べている。テストセクションおよびそこに形成されるせん断層について説明している。また、曲線型トレーリングエッジの概要について述べるとともに、レーザミー散乱法による流れの可視化およびピトー圧力測定法について説明を加えている。

第 3 章では、実験結果について述べている。超音速せん断層に形成される渦構造を、レーザミー散乱法による可視化で明らかにするとともに、曲線型トレーリングエッジにより流れ方向渦がせん断層に導入され、スパン方向渦が変形する様子を確認している。また、ピトー圧力測定により、超音速せん断層の発達の様子を示している。これらの結果から、流れ方向渦の導入による二次不安定性励起により、せん断層の混合が促進されていることを明らかにしている。さらに、スパン方向渦と同程度のスケールの流れ方向渦が導入された場合に、混合促進効果が顕著であることを示している。

第 4 章では、解析方法について述べている。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いる。また、数値解法について説明が加えられている。

第 5 章では、解析結果について述べている。流れの一次不安定性により、スパン方向渦の形成される様子、および二次不安定性によりスパン方向渦が変形する様子が示されている。また、じょう乱の時間増幅率は一次不安定性と二次不安定のスケール比が約 0.7 において最大となり、これは亜音速せん断層の場合とほぼ一致することを明らかにしている。さらに、本解析から得られたせん断層の挙動は、実験結果と定性的に一致しており、実験で得られた混合促進効果が流れの二次不安定性によるものであると結論づけている。

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、超音速せん断層における二次不安定性に及ぼす圧縮性の影響を明らかにするとともに、二次不安定性を励起させる手法を提案し、それによる超音速せん断層の混合促進効果を、実験的および解析的に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。