

審査の結果の要旨

氏名 崔敏鎬

工学修士(Master of Science in Mechanical and Aerospace engineering) 崔敏鎬提出の論文は、「Numerical modeling on combustion behaviors in a hydrocarbon fueled scramjet combustor (炭化水素を燃料とするスクラムジェット燃焼器における燃焼挙動に関する数値解析)」と題し、5章から成っている。

極超音速機用エンジンとして有望視されているスクラムジェットエンジン開発において、超音速・高エンタルピー・低ダムケラ数流れ場特有の燃焼機構の解明が不可欠であり、従来から多くの研究が行われてきた。これらの多くは水素を燃料とした研究であるが、水素は反応性が高いという利点を有しているものの、エネルギー密度が低いこと等の欠点を有するため、従来の航空機エンジンで使用されている炭化水素燃料の適用が検討されてきた。近年炭化水素燃料を用いたスクラムジェットエンジンに関する実験的研究は活発に行われているものの、実験結果のみに基づく機構解明には限界がある。そこで数値解析手法を用いた研究が行われるようになってきたが、炭化水素燃料の化学反応モデルを考慮した数値解析はその過大な計算負荷のため十分に活用されていないのが現状である。

このような観点から、本論文では、超音速風洞を用いた燃焼実験で用いられている小型燃焼器を対象として、超音速主流中にメタンを垂直に噴射させた場合の燃焼挙動に関する数値解析を行った。乱流モデルにLES (Large Eddy Simulation)を適用した3次元流体計算コードを構築し、計算領域を複数の領域に分割させて計算を行う並列計算手法を適用することにより、計算負荷低減を図っている。まず、3種類の簡略反応モデルを組み込んだ計算を行うことで、反応モデルが解析結果に及ぼす影響を調べている。さらに、主流と燃料噴流の動圧比および燃料温度を変化させることにより、燃料噴流の貫通高さが変化した場合の燃焼挙動を明らかにするとともに、動圧比および燃料温度が燃焼挙動に及ぼす影響をそれぞれ独立に調べている。

第1章は序論であり、極超音速推進システムとしてのスクラムジェットエンジンの概要とその技術的課題を提示し、関連する研究の成果とその問題点を検討し、研究の目的と意義を明確にしている。

第2章では、数値解析の意義と数値解析に用いた3次元計算コードの概要について述べている。支配方程式、各種輸送係数の評価についての説明があり、乱流モデルとして用いたLESについて説明が加えられている。

第3章では、化学反応モデルがスクラム燃焼器内燃焼挙動の予測に及ぼす影響を議論し

ている。まず計算領域、境界条件および並列計算手法について述べられ、計算に用いた一段不可逆反応モデル、7 化学種 4 ステップ反応モデルおよび 11 化学種 9 ステップ反応モデルについて説明されている。非燃焼時と各反応モデルを組み込んだ場合の計算結果から、燃焼時の燃料の混合効率が非燃焼時のそれと異なることを明らかにするとともに、火炎構造や燃焼効率の観点から、反応モデルが燃焼現象に大きな影響を及ぼすことを示している。また、実験結果との比較に基づき、11 化学種 9 ステップ反応モデルは非定常な燃料噴流の点火挙動の予測に優れている一方、定常な燃焼挙動の予測には、より簡略な 7 化学種 4 ステップ反応モデルでも適用可能であると結論づけている。

第 4 章では、噴射燃料温度が燃焼挙動に及ぼす影響を調べている。燃料温度を変化させると、主流と燃料噴流の動圧比も同時に変化する。燃料温度および動圧比はそれぞれ燃料の反応特性および燃料噴流の貫通高さに関係する因子であり、本論文ではこれら 2 つの因子の影響を独立に評価することを試みている。当量比一定の条件下で燃料温度と動圧比をそれぞれ独立に変化させる手法が説明された上で、燃料温度一定の場合に動圧比が変化すると貫通高さが増大すること、動圧比が一定の場合には貫通高さは燃料温度によらずほとんど変化しないことを示している。また、燃焼効率は動圧比の増大とともに増加するが、動圧比をさらに増大させると燃焼効率が低下する傾向を示すことを明らかにしている。このことは、安定燃焼の実現には最適な貫通高さが存在することを示唆している。一方、燃料温度の増大は燃焼効率を増加させることが示されており、この傾向は特に噴射直後の領域で顕著である。これは、混合が十分に進行していない領域では、燃料の反応性が燃焼を促進させる効果が強調されたことによるものと説明されている。

第 5 章は結論であり、本研究において得られた結果を要約している。

以上要するに、本論文は炭化水素燃料の反応モデルを組み込んだ数値計算手法を用いて、スクラムジェット燃焼器内の燃焼挙動を予測するとともに、燃焼特性に及ぼす燃料温度および動圧比の影響をそれぞれ独立に明らかにしたものであり、燃焼工学および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。