

審査の結果の要旨

氏名 辻 良史

修士(工学) 辻 良史提出の論文は、”The Dynamics of Premixed Hydrogen-Air Flame Fronts in a Narrow Channel” (副題「狭小流路における水素-空気予混合気の火炎面不安定性に関する研究」と題し、5章及び付録から成っている。

小型エンジンや発動機などに向け燃焼器を小型化するにつれて、1)表面積と体積の比は増加し、熱損失の影響が大きくなるため、保炎が困難になること、2)レイノルズ数 Re は低下し、燃焼器内部が全域層流となるため、乱流火炎を用いた高燃焼強度の燃焼器が設計できないこと、など技術課題が生じる。いずれにせよ、小さい空間での熱と流れを伴う燃焼火炎の振る舞いを理解予測することが肝心で、とりわけ、熱損失と層流火炎面の不安定性との関係については、小型化という視点から新たに検討説明が求められよう。すなわち、熱損失は、燃焼発生熱を奪い保炎を困難にする一方、不安定性を助長し、火炎面面積を増加させ、火炎強度を強める効果も期待されるわけで、高い効率を維持しつつ燃焼器を小型化するためには、現象の正しい把握が先ずもって重要となる。

層流火炎の不安定性に関しては、Landau による密度不連続界面の不安定解析をはじめ、従来、乱流火炎への遷移機序との関連から、主に流体力学的な視点で微小擾乱の線形的な成長を追う基礎的解析が進んだものの、化学反応を組み込んで火炎および燃焼領域の構造そのものまで説明しつつ、その安定化ないし不安定化の要因を探る研究は、扱う化学種の組成と反応に関連する熱や流動および拡散を左右するパラメータが多岐にわたり複雑で、しかも急峻な勾配をもつ温度分布への依存性が効く理由から困難で、進展が遅れている。そこで、著者は、熱伝達のある2枚の平板に挟まれた隙間で予混合された水素と空気に生じる火炎という十分に単純化した理論モデルを取り上げ、定常燃焼する火炎を摂動させ、数値流体シミュレーション手法を適用して、伝播擾乱の線形的な成長率と波数との分散関係を判定する方針を選択した。それにより、火炎安定性と熱損失との関係について、従来の理論解析で確かめられた事象および前提条件の検証吟味を行いながら、並列数値計算という手段を駆使して、新たに、狭小な領域という設定に適った熱的境界条件の下に、2次元から3次元空間まで統一した現象説明を行い、隙間が及ぼす影響と熱流体力学的メカニズムにつき大切な基礎的知見を得ることに成功している。

本論文は、第1章から第5章までの構成となっている。

第1章は序論であり、研究背景、燃焼流動の支配方程式とミリ寸法スケール、熱損失に言及した従来研究そして本論文の目的が述べられている。

第2章では、本研究で用いた数値解析について述べている。基礎方程式、計算手法、化学

種と反応過程そして大規模並列化を含む計算スキームを順次説明し、構築した計算コードを1次元的な火炎構造に適用して、その精度信頼性を検証している。

第3章では、2次元火炎伝播につき解析した結果を述べている。まず、熱損失のないモデルを取り上げ、本計算手法に基づく解析結果が、火炎面の安定性を決める流れと波動および熱と化学種の拡散の基本的な現象を十分捉えられるかを、既存の理論解析の結果と対比して検証するとともに、安定性を量的に比較する上で重要となる特性長さ特性時間について考察を加えている。理論混合比での分散関係について、最大発熱位置での輸送係数を用いた基準化により整理した結果は、本計算手法の妥当性を十分裏付ける根拠を示しており、流体力学的不安定が生じる火炎面近傍の流れ場の詳細のほかに、波数の限界値や当量比の違いによる影響などを併せて説明している。

第4章では、3次元火炎伝播につき解析した結果を述べている。熱損失は、隙間を挟む2枚の平板に断熱ないし等温の熱的境界条件を課すことで、初めて、2次元の制約なしの物理的に自然な形で導入され、さらに、隙間の寸法を変える影響を議論できるようになった。2次元火炎伝播で解明された基本事項に加え、等温条件により熱損失を考慮した結果は、隙間を狭くすると火炎面の不安定性が増すこと、ある隙間寸法を境に、広い流路で火炎が安定に、狭いと不安定になること、3次元では既燃気の隙間方向の流れが誘起され、流体力学的には安定化に向かうことなどが説明されている。

第5章は、結言であり、本研究から得られた知見をまとめている。

以上要するに、本研究は、小さい燃焼器で課題となる熱損失が火炎の安定性に及ぼす影響を、従来の理論解析に代わる3次元数値流体シミュレーション手法に基づき、狭い隙間の予混合火炎の理論モデルを用いて、伝播擾乱の線形的な成長率と波数との分散関係から基礎的に解明したもので、航空宇宙工学に貢献するところが大きいと認められる。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。