

授賞者の研究業績の紹介

2023年度 第16回宇宙科学奨励賞授賞者

宇宙工学分野

齋藤 勇士 (さいとう ゆうじ)

東北大学 学際科学フロンティア研究所 助教

業績の題目：端面燃焼式ハイブリッドロケットの燃焼特性および推力制御特性の解明

ハイブリッドロケットは、燃料にプラスチックを用いるので安全性に優れていることから、地上打ち上げ用ロケットにとどまらず、近年では小型衛星用軌道変換キックモータや再突入高推力モータ等への適用が進められている。ハイブリッドロケットでは、熱により気化した燃料が酸化剤と反応して燃焼するが、燃料表面からのガス流量が増加すると熱伝達が阻害されるので、燃焼速度(燃料の表面の後退速度)を上げて大きな推力を得にくい点が大きな課題であった。

端面燃焼式ハイブリッドロケットは、円柱状固体燃料の軸方向に非常に多数設けられた微小ポート内に気体の酸化剤を流し、各ポート出口で微小拡散火炎を形成しようとするものである。火炎から燃料への熱伝達は乱流境界層が発達する前の領域で行われるため速く、従来式ハイブリッドロケットの欠点を克服できるとの期待があった。齋藤勇士氏を含む研究グループは、近年発達した高精度三次元造形(3Dプリンタ)技術を利用して、端面燃焼式燃料を作成し、燃焼試験により世界で初めてその高い性能の実証に成功した。同氏が実験的に示した端面燃焼式ハイブリッドロケットの、固体推進剤をも凌ぐ高い燃料後退速度やその燃焼特性、優れた推力制御特性は、革新的なハイブリッドロケット実現の一つの方法を明確に示している。齋藤氏の顕著な業績を以下にまとめる。

1. 端面燃焼式ハイブリッドロケットの燃焼特性の実証 (論文[1], [2])

高精度 3D プリンタによって本方式の小型燃料(直径 20mm および 38mm)を成形し、燃焼試験で 0.1MPa~1.1Mpa の範囲で多数回の安定した燃焼を実現し、燃料後退速度をはじめとする各種特性を実測した。燃料後退速度が燃焼室圧力にほぼ比例する(圧力指数がほぼ 1)という使い易い特性を持つことを確認すると共に、80 秒間を超えて安定的に燃焼することも確認した。燃料後退速度も固体ロケットの数倍の値を確認し、推力で固体ロケットに、比推力で炭化水素系液体ロケットにそれぞれ比肩し、推力制御特性にも優れた革新的な化学ロケットを実現できる可能性

を明示した。

2. 逆火現象の発見（論文[2]）

1. の燃焼試験の中で、端面燃焼式ハイブリッドロケットの燃焼中に、拡散火炎の一部がポート内部へ燃え広がる「逆火現象」が起きて、端面燃焼式ハイブリッドロケットの目指した燃焼モードが破綻することがあることを見出している。高圧力領域で逆火を避けるためには燃料に高い造型精度が求められる事を明らかにしている。

3. 端面燃焼式ハイブリッドロケットの推力制御特性の解明（論文[3]）

ハイブリッドロケットにおいて圧力指数がほぼ 1 という燃焼特性は、燃料流量が酸化剤流量に比例的に追随することを意味する。そこで、燃焼実験によって、端面燃焼式ハイブリッドロケットでは酸化剤流量を変化させても酸燃比（酸化剤と燃料の流量の比）がほぼ一定に保たれ、酸化剤流量の制御のみで、ほぼ最適な酸燃比を維持しながらの推力制御が可能であることを示し、その意味で液体ロケットを凌ぐ推力制御特性を持つことを明らかにした。

以上のとおり、齋藤氏は、端面燃焼式ハイブリッドロケットの燃焼特性および推力制御特性について先進的な研究を行い、宇宙推進工学および燃焼学の分野で学術的に重要な知見を提供するだけでなく、革新的なハイブリッドロケットを実現し得る一つの方法を明示している。今後も当該分野を中心に我が国の宇宙工学の発展にリーダーシップを持って貢献していく研究者となることが期待される。

関連する論文リスト

- [1] Y. Saito, T. Yokoi, H. Yasukochi, K. Soeda, T. Totani, M. Wakita, H. Nagata, "Fuel Regression Characteristics of a Novel Axial-Injection End-Burning Hybrid Rocket," *Journal of Propulsion and Power*, Vol. 34, No. 1, pp. 247-259. 2018.
- [2] Y. Saito, M. Kimino, A. Tsuji, Y. Okutani, K. Soeda, H. Nagata, "High Pressure Fuel Regression Characteristics of Axial-Injection End-Burning Hybrid Rockets," *Journal of Propulsion and Power*, Vol. 35, No. 2, pp. 328-341. 2019.
- [3] Y. Saito, M. Kimino, A. Tsuji, K. Omura, H. Yasukochi, K. Soeda, T. Totani, M. Wakita, H. Nagata, "Investigation of Throttling Response Characteristics of Axial-Injection End-Burning Hybrid Rockets," *Transactions of the Japan Society for Aeronautical and Space Sciences, Aerospace Technology Japan*, Vol. 16, No. 1, pp. 9-18, 2018