

授賞者の研究業績の紹介

2021年度 第14回宇宙科学奨励賞授賞者

宇宙工学分野

松岡 健 (まつおか けん)

名古屋大学大学院 工学研究科 航空宇宙工学専攻 准教授

業績の題目：革新的デトネーション制御手法の提案とデトネーションロケットエンジンのシステム実証

デトネーション波は燃料と酸化剤の混合気中を超音速で伝播する燃焼波である。デトネーション波自身で混合気体の高圧への圧縮と燃焼を実現するため、高い熱効率を簡素な燃焼器で実現できると期待され、デトネーション波を利用したロケットエンジンの研究が先進各国で進められている。なお、現在精力的に研究が行われているデトネーションロケットエンジンは、筒状の燃焼室で間欠的にデトネーション波を軸方向に伝搬させるパルスデトネーションエンジン(PDE)と、環状の燃焼室内を回転伝搬させるローテショナルデトネーションエンジン(RDE)に大別される。

松岡氏はこの10年間、革新的デトネーション波発生技術の新提案を継続的に行い、デトネーションロケットエンジンを大きく進化させるとともにシステム実証を精力的に行ってきた。特に顕著な功績を下記に纏める。

1) デトネーションエンジンシステムでの高い推力重量比の獲得

十分に大きな推進力を得ることはデトネーションエンジンシステムの実用化に向けた第一の技術課題である。間欠的に推力を得るPDEの時間平均推力向上の手段の一つは作動周波数を上げることである。松岡氏は作動周波数を向上させるために、回転バルブとガス圧駆動モータを組み合わせた自律デトネーション波生成手法を提案し、これを用いて推力のエンジン重量に対する比を2.7にまで向上させることに成功している。更に、この改良されたエンジンシステムを組み込んだ「機体」をカタパルトで放出し、自由飛行状態での動作の確認をも行っている。

2) パルスデトネーションエンジンの超高周波数作動手法の提案

間欠的にデトネーション波を発生するPDEの時間平均的推力は、作動周波数の増加に伴い増加する。従って作動周波数の上限を向上できれば、推力可変領域を拡大させ、多様な宇宙ミッションに柔軟に対応できるスラスタになり得る。松岡氏は、

高温の既燃ガスと未燃の可燃混合ガスを酸化剤層で隔てることにより、従来必須とされていた不活性ガスシステムを排し、燃料用バルブのみで動作するPDEを考案するとともに、その安定作動に必要な条件を定量的に示した。これにより、最高作動周波数を従来の100Hz程度から2KHz程度にまで上げることに成功している。

3) 回転デトネーション波面構造の理解とインジェクタ設計則の構築

PDEとは対照的に、RDEでは環状燃焼器内でデトネーション波を連続的に回転伝播させるため、定常的な推力を生成することが可能である。しかしながら、RDEの安定作動条件が明らかになっているとは言い難く、様々なパラメータによって支配されていると考えられる。その中でも、推進剤を燃焼器に供給するインジェクタは、デトネーション波によって生成した高圧既燃ガスの逆流の抑止、燃料酸化剤の迅速な混合、圧力ゲイン燃焼などを支配する最も重要な要素である。松岡氏は、高速度カメラを用いて既燃ガス逆流を含む回転デトネーション波面を詳細に捉えることに成功した。その結果、幾何学的インジェクタ閉塞率（燃焼器断面積に対するインジェクタ総断面積の比）が小さい条件では、既燃ガスの逆流が抑制され、デトネーション波が安定すること等、RDE設計に有用な知見を得ている。

以上の様に松岡氏はデトネーション波生成手法について多数の革新的アイデアを提案し、それらの有効性を実証研究にて示し、デトネーションロケットエンジンの性能向上に大きく貢献してきた。また、2021年7月に観測ロケットS-520-31号機を用いて行われた宇宙環境での実証試験においても、搭載したPDEとRDEを含む中核部の責任者として、同試験を牽引した。以上より、日本の宇宙工学研究、ひいては、これからの宇宙科学を牽引してゆく人材と考えられる。

関連する論文リスト

- 1) K. Matsuoka, T. Morozumi, S. Takagi, J. Kasahara, A. Matsuo, and I. Funaki, "Flight Validation of a Rotary-Valved Four-Cylinder Pulse Detonation Rocket," *Journal of Propulsion and Power*, Vol. 32, No. 2, pp. 383-391, 2016.
- 2) K. Matsuoka, H. Taki, A. Kawasaki, J. Kasahara, H. Watanabe, A. Matsuo, T. Endo, "Semi-Valveless Pulse Detonation Cycle at a Kilohertz-scale Operating Frequency," *Combustion and Flame*, Vol. 205, pp. 434-440, 2019.
- 3) K. Matsuoka, M. Tanaka, T. Noda, A. Kawasaki, J. Kasahara, "Experimental Investigation on a Rotating Detonation Cycle with Burned Gas Backflow," *Combustion and Flame*, Vol 225, pp. 13-19, 2021.