

科学研究費助成事業（特別推進研究）公表用資料  
〔令和3（2021）年度 中間評価用〕

令和元年度採択分  
令和3年3月31日現在

**自律圧縮型デトネーション推進機の物理解明：**

**高次統合化観測ロケット宇宙飛行実証展開**

Study on Self-compression Type Detonation Propulsion:  
Evolutionary Space-Flight Demonstration Study Using  
Sounding Rockets



課題番号：19H05464

**笠原 次郎** (KASAHARA Jiro)

名古屋大学・未来材料・システム研究所・教授

研究の概要（4行以内）

デトネーションエンジンは原理的には航空宇宙機を既存品から30%～数分の1に軽量化し、20%から数倍高性能化する。現在、デトネーションエンジンの昇圧原理解明、革新的冷却機構解明及び、その飛行システム実証が最大の課題である。本研究では、昇圧原理・冷却機構は実験的、数値解析的手法を用いて解明し、飛行システム実証は観測ロケット等で宇宙実証する。

研究分野：航空宇宙推進工学、航空宇宙工学

キーワード：デトネーション、デトネーションエンジン、推進工学、観測ロケット

1. 研究開始当初の背景

デトネーションエンジンは原理的には航空宇宙機を30%～数分の1に軽量化し、20%から数倍高性能になるため、輸送コストが100分の1以下となる再使用宇宙輸送系・軌道間輸送機系(OTV)への実現に不可欠な技術であるが、デトネーションエンジンの昇圧原理解明、革新的冷却機構の解明及び、その飛行システム実証が不可避かつ最大の課題である。

2. 研究の目的

これまで、デトネーションエンジンにおける自律圧縮爆轟現象の昇圧メカニズムは、十分に説明できたとはいきれず、また、自律的な圧力増加の限界値(10～1000)は不明である。そこで、これら最重要の学術的な知見を得るため、本研究では、(1)自律圧縮爆轟現象の昇圧メカニズムを理解し、(2)自律的な圧力増加の限界値を解明することを研究目的とする。

さらに、(3)多孔冷却壁面構造のデトネーションエンジンの熱的特性を解明する。

また、(4)デトネーションユニットと機体統合推力空力特性の解明研究では、飛行試験にて、高レベルに統合化された高性能システム

を実現し、極めて低コストで身近な全く新しい航空宇宙機の世界を確実に実現するための学術を切り拓く。

3. 研究の方法

実験及び数値計算によって、(1)自律圧縮爆轟現象の昇圧メカニズムを理解し、(2)自律的な圧力増加の限界値を解明する。(3)多孔冷却壁面構造のデトネーションエンジンの熱的特性を解明する。また、宇宙科学研究所の観測ロケットを使用して、(4)デトネーションユニットの飛行実験を実施し、その推進性能を実証する。

4. これまでの成果

内筒なしの先進的な定常準1次元レイリー・境界層発達内部流れのモデルを提案し、2本の査読論文[3, 5]を発表した。これまでの圧縮性流体力学の常識を覆す、スロートのないロケット燃焼機が、デトネーションエンジンでは実現できることを発見している。また、デトネーションの特性長に関して、全く新しい計測手法を開発した[4]。

回転型の高速バルブの研究に成功し、秒速1500 m/sでの開閉するバルブの原理実証に成

功している。また、プレナムから燃焼器にかけてのデトネーションの伝播による管路の閉塞（一部が逆流する現象）に関する基礎物理を解明している[4]。

多孔冷却面構造のデトネーションエンジンは、20 mm の直径、20mm の長さで 900K 程度の熱平衡に到達する長秒の実験結果を得ており、大きな研究進捗があった。つまり、わずか 20 mm 程度のエンジンにて、熱制御しながら高い  $C^*$  効率（95%以上）の音速ジェットを生成可能であることが示された。

デトネーションエンジンユニット[2]に必要な、アビオニクス、ユニット構造及びインターフェイス、プロジェクト管理手法、地上支援設備（アビオニクス、気体充填用）、3Dプリンタによるエンジン造形、システムエンジニアリング（サブコンポーネント、要素、フライトオペレーションを見通した開発手法）環境試験（ダイナミックバランス試験、振動・衝撃試験）手法を獲得している。2023年度の観測ロケットでのフライトオペレーションを可能とする技術を獲得し、バス機器（アビオニクス等）の開発を完了している。

## 5 . 今後の計画

(1)自律圧縮爆轟現象の昇圧メカニズムの理解に関する研究では、ダイバージング RDE、液体燃料・酸化剤、先進推進剤での実験・数値解析を包括的に行い、実験研究を完了させる。

(2)圧力増加の限界値（10～1000）の解明では 1500m/s の高速バルブ実験付きエンジン等の実験を本格化させる。高い昇圧性能を証明し、推力特性を評価し、優れた比推力を生み出し得ることを検証する。

(3)多孔冷却壁面構造のデトネーションエンジンの熱的特性を解明する研究では、燃焼器内部での熱交換と断熱層の構造に着目した研究を展開しつつ、早期の軌道上実証を目指す。

(4)デトネーションユニットと機体統合推力・空力特性の解明研究では、飛行試験にて、揚力、抗力、回転力、推力を計測する。既存機体とは異なるエンジン機体統合形状ユニットを提案し宇宙飛行実証する。

## 6 . これまでの発表論文等(受賞等も含む)

1. K. Goto, R. Yokoo, A. Kawasaki, K. Matsuoka, J. Kasahara, A. Matsuo, I. Funaki, H. Kawashima, Investigation of the Effective Injector Area of a Rotating Detonation Engine with Impact of Backflow, Shock Waves

(published online 22<sup>nd</sup> March, 2021)  
<http://link.springer.com/article/10.1007/s00193-021-00998-9>

2. K. Goto, Y. Kato, K. Ishihara, K. Matsuoka, J. Kasahara, A. Matsuo, I. Funaki, D. Nakata, K. Higashino, and N. Tanatsugu, Thrust Validation of Rotating Detonation Engine System by Moving Rocket Sled-Test, Journal of Propulsion and Power (published online 30<sup>th</sup> November, 2020)  
<http://arc.aiaa.org/doi/abs/10.2514/1.B.38037>
3. R. Yokoo, K. Goto, J. Kasahara, V. Athmanathan, J. Braun, G. Paniagua, T. Meyer, A. Kawasaki, K. Matsuoka, A. Matsuo, I. Funaki, Experimental Study of Internal Flow Structures in Cylindrical Rotating Detonation Engines, Proceedings of the Combustion Institute (published online 8<sup>th</sup> August, 2020)  
<https://doi.org/10.1016/j.proci.2020.08.001>
4. H. Sun, A. Kawasaki, K. Matsuoka, J. Kasahara, A Study on Detonation-Diffraction Reflection Point Distances in H<sub>2</sub>/O<sub>2</sub>, C<sub>2</sub>H<sub>2</sub>/O<sub>2</sub>, and C<sub>2</sub>H<sub>4</sub>/O<sub>2</sub> Systems, Proceedings of the Combustion Institute (Published online on September 19<sup>th</sup> 2020).  
<https://doi.org/10.1016/j.proci.2020.06.371>
5. R. Yokoo, K. Goto, J. Kim, A. Kawasaki, K. Matsuoka, J. Kasahara, A. Matsuo, I. Funaki, Propulsion Performance of Cylindrical Rotating Detonation Engine, AIAA Journal, Vol. 58, No. 12, 2020, pp.5107-5116.  
<http://arc.aiaa.org/doi/abs/10.2514/1.J.058322>
6. 令和 2 年度 第 58 回燃焼シンポジウム 美しい炎の写真展 最優秀作品賞
- 7 . ホームページ等  
<http://www.prop.nuae.nagoya-u.ac.jp/index.html>