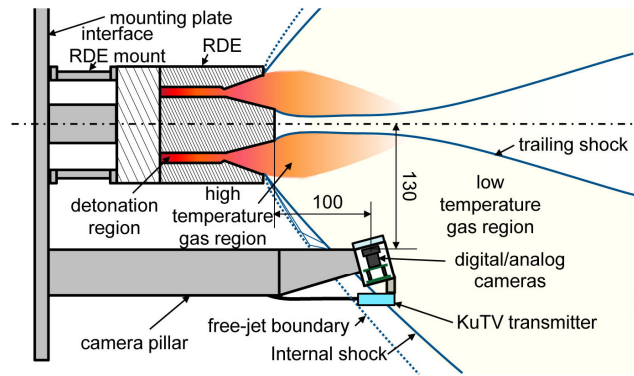


(a) Plume photo taken by the digital camera



(b) Schematic of RDE plume in the flight

Credit: JAXA, Nagoya University, Keio University, Muroran Institute of Technology

深宇宙探査用デトネーションエンジンの宇宙飛行実証論文を公開 ～本論文は、米国航空宇宙学会の圧力増大燃焼論文賞を受賞～

【本研究のポイント】

- ・名古屋大学は、宇宙航空研究開発機構、慶應義塾大学、室蘭工業大学と共同で、2021年7月27日に観測ロケット S-520-31 号機の第2段を用いてデトネーション^{注1}エンジンの宇宙飛行実証を実施した。
- ・飛行データの解析を実施し、エンジン作動は安定であったことを確認し、結果を論文にて公開した。
- ・公開した研究論文が、米国航空宇宙学会(AIAA)の Pressure Gain Combustion Best Paper Award (圧力増大燃焼論文賞)2022 を受賞した。
- ・デトネーションエンジンが、深宇宙探査用キックモーター、ロケットの初段・2段エンジン等としての実用化に大きく近づいた。

【研究概要】

国立大学法人東海国立大学機構 名古屋大学未来材料・システム研究所の笠原 次郎教授らの研究グループは、宇宙航空研究開発機構、慶應義塾大学、室蘭工業大学との共同研究で、2021年7月27日に観測ロケット S-520-31 号機の第2段を用いてデトネーションエンジンの宇宙飛行実証試験を実施しました。その後、飛行データの解析を実施し、メタン-酸素の推進剤が 182 ± 11 g/s で供給され、回転デトネーションエンジン^{注2}の推力は 518 N、比推力は 290 ± 18 sec、回転トルクは 0.26 N・m であったこと、また、圧力履歴等からエンジン作動は安定であったことが確認され、結果を論文として公開しました。2023年1月26日に、その研究論文は、米国航空宇宙学会(AIAA)の Pressure Gain Combustion Best Paper Award (圧力増大燃焼論文賞)2022 を受賞しました。

本論文の成果によって、デトネーションエンジンは、深宇宙探査用キックモーター、ロケットの初段・2段エンジン等としての実用化に大きく近づくことになりました。

本研究成果は、

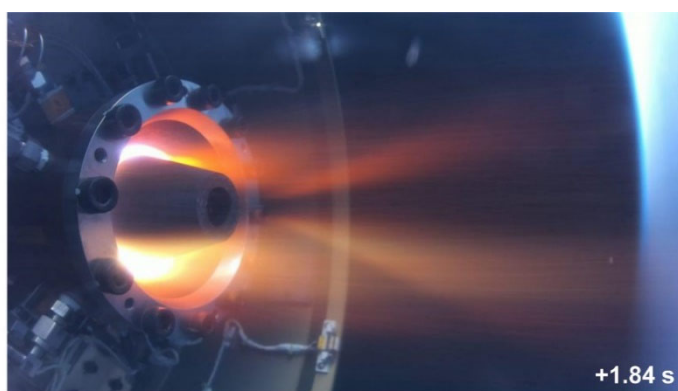
- ・口頭発表論文 (<https://doi.org/10.2514/6.2022-0232>)
- ・査読付き論文1(<https://arc.aiaa.org/doi/10.2514/1.A35401>)
- ・査読付き論文2(<https://arc.aiaa.org/doi/10.2514/1.A35394>)にて公開されています。

【研究背景と内容】

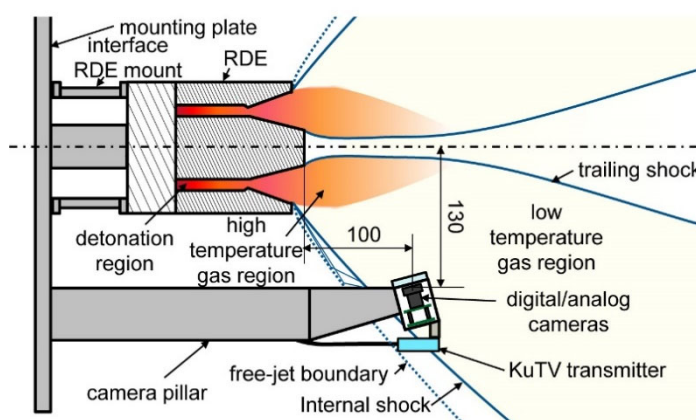
国立大学法人東海国立大学機構 名古屋大学未来材料・システム研究所の笠原 次郎教授らの研究グループは、宇宙航空研究開発機構、慶應義塾大学、室蘭工業大学と共同で2021年7月27日に観測ロケット S-520-31号機の第2段を用いてデトネーションエンジンの宇宙飛行実証を実施しました。その後、飛行データの解析を実施し、メタン-酸素の推進剤が 182 ± 11 g/s で供給され、回転デトネーションエンジンの推力は 518 N、比推力は 290 ± 18 sec、回転トルクは 0.26 N・m であったこと、また、圧力履歴等からエンジン作動は安定であったことが確認され、論文として結果を公開しました。本研究の成果によって、デトネーションエンジンは、深宇宙探査用キックモーター、ロケットの初段・2段エンジン等としての実用化に大きく近づくこととなります。

デトネーションエンジンは、極めて高い周波数(1~100kHz)でデトネーション波や圧縮波を発生させることにより反応速度を格段に高めることで、ロケットエンジンを革新的に軽量化し、また、推力を容易に生成することで高性能化します。現在、宇宙用高性能エンジンとして、実用化を視野に入れた研究が日欧米で活発に行われています。

本研究は、米国航空宇宙学会(AIAA)の SciTech 2022 で口頭発表[1]し、その後、同学会の Journal of Spacecraft and Rocket に査読付き論文2報[2, 3]にて公開しました。2023年1月26日に同学会から、口頭発表論文[1]に対し Pressure Gain Combustion Best Paper Award (圧力増大燃焼論文賞)2022 が授与されました。この賞は圧力増大燃研究(デトネーションエンジン研究)で 2022年に米国航空宇宙学会で発表された口頭発表論文の内、優れた1件に授与されます。



(a) Plume photo taken by the digital camera



(b) Schematic of RDE plume in the flight

Credit: JAXA, Nagoya University, Keio University, Muroran Institute of Technology

図1 回転デトネーションエンジン(RDE)から宇宙空間へ放出された排気プルーム画像(a)とその構造(b) [1, 2]。

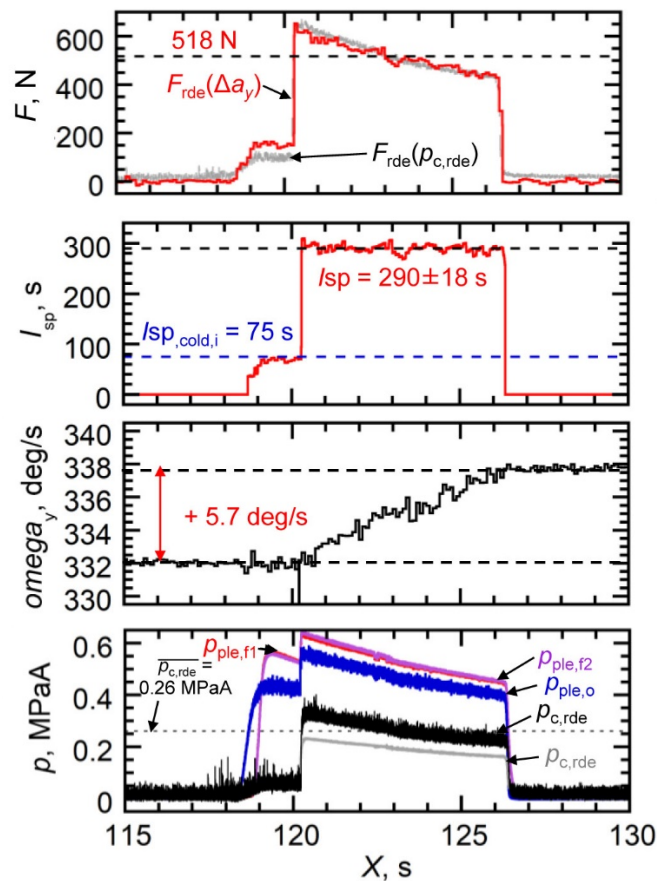


図 2 回転детネーションエンジン(RDE)システムの発生した時間平均推力(上から1段目)は 518 N であり、比推力(上から2段目)は 290 ± 18 sec、回転角速度(上から3段目)は 5.7 deg/s 増加し、換算されたトルクで 0.26 N・m であった。燃焼器内部の圧力(上から4段目)から、安定した作動が実施されたことが分かる [1, 2]。

【成果の意義】

本宇宙飛行実証実験の成功によって、детネーションエンジンは、深宇宙探査用キックモーター、ロケットの初段・2 段エンジン等としての実用化に大きく近づくこととなります。なお、欧米から、本研究に続く飛行実験が実施されたり、飛行実験計画が発表されています。

既存のロケットエンジンは、детネーションエンジンとなることで、エンジンを軽量化し、また、高性能化することができるため、детネーションエンジンへと置き換わっていくこととなります。つまり、本研究成果は、航空宇宙機用のエンジンや、航空宇宙機のシステムを大きく変革していく、きっかけとなります。

【用語説明】

注 1) детネーション:

衝撃波にともなって、化学反応による熱開放が行われる燃焼現象。その伝播速度は、2 km/s にもなるため、可燃性のガスを高速で燃焼させることが可能。

注2)回転デトネーションエンジン:

デトネーションを連続的に伝播させることで、連続的な推力を得ることができるエンジン。これまで2重円筒形状の燃焼器の底部でデトネーションを円筒の周方向に伝播させるものが多く研究されてきた。推進剤は、軸方向に噴射され、その反対方向に推力を得ることができる。

【謝辞】

本研究は、2014～2022年度 JAXA 宇宙科学研究所宇宙工学委員会戦略的開発研究(工学)、2014～2016年度 NEDO エネルギー・環境新技術先導研究プログラム、2019～2023年度日本学術振興会科学研究費補助金特別推進研究の支援のもとで行われ、デトネーションエンジンシステムの開発は、株式会社ネッツ、明治電機工業株式会社の協力のもと実施され、また、制御・計測システムには日本ナショナルインスツルメンツ株式会社の製品(CompactRIO・LabVIEW)が使用されました。

【論文情報】

[1]雑誌名:AIAA SCITECH 2022 Forum Conference Paper【受賞論文】

論文タイトル:Flight Demonstration of Detonation Engine System Using Sounding Rocket S-520-31: Performance of Rotating Detonation Engine

著者:K. Goto, K. Matsuoka, K. Matsuyama, A. Kawasaki, H. Watanabe, N. Itouyama, K. Ishihara, V. Buyakofu, T. Noda, J. Kasahara (Nagoya Univ.), A. Matsuo (Keio Univ.), I. Funaki (JAXA), D. Nakata, M. Uchiumi (Muroran Inst. Tech.), H. Habu, S. Takeuchi, S. Arakawa, J. Masuda, K. Maehara, T. Nakao, K. Yamada (JAXA)

DOI:<https://doi.org/10.2514/6.2022-0232>

[2]雑誌名:Journal of Spacecraft and Rocket【ジャーナル論文1】

論文タイトル:Flight Demonstration of Rotating Detonation Engine Using Sounding Rocket S-520-31

著者:K. Goto, K. Matsuoka, K. Matsuyama, A. Kawasaki, H. Watanabe, N. Itouyama, K. Ishihara, V. Buyakofu, T. Noda, J. Kasahara (Nagoya Univ.), A. Matsuo (Keio Univ.), I. Funaki (JAXA), D. Nakata, M. Uchiumi (Muroran Inst. Tech.), H. Habu, S. Takeuchi, S. Arakawa, J. Masuda, K. Maehara, T. Nakao, K. Yamada (JAXA)

DOI:<https://arc.aiaa.org/doi/10.2514/1.A35401>

[3]雑誌名:Journal of Spacecraft and Rocket【ジャーナル論文2】

論文タイトル:Flight Demonstration of Pulse Detonation Engine
Using Sounding Rocket S-520-31 in Space

著者:V. Buyakofu, K. Matsuoka, K. Matsuyama, A. Kawasaki, H.
Watanabe, N. Itouyama, K. Goto, K. Ishihara, T. Noda, J.
Kasahara (Nagoya Univ.), A. Matsuo (Keio Univ.), I. Funaki
(JAXA), D Nakata, M. Uchiumi (Muroran Inst. Tech.), H. Habu, S.
Takeuchi, S. Arakawa, J. Masuda, K. Maehara, T. Nakao, K.
Yamada (JAXA)

DOI:<https://arc.aiaa.org/doi/10.2514/1.A35394>