


【基盤研究 (S)】

動的・液体推進剤回転 detonation エンジン物理解明：弾道・軌道上フライト実証展開

	研究代表者	名古屋大学・未来材料・システム研究所・教授 笠原 次郎 (かさはら じろう)	研究者番号:60312435
	研究課題情報	課題番号: 23H05446 キーワード: デトネーションエンジン, デトネーション, 推進工学, 観測ロケット, 軌道上実証	研究期間: 2023年度~2027年度

なぜこの研究を行おうと思ったのか (研究の背景・目的)

●研究の全体像

航空宇宙機の推進機 (宇宙用のロケットエンジンなど) として研究開発されている回転 detonation エンジンは、極めて高い周波数 (1~100kHz以上) で detonation 波を発生させることが可能になりつつあり、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、アジアで活発である。2015年から、本研究グループと多数の研究機関とで活発に研究を展開中である。本グループの研究の成果は米国宇宙学会の Year in Review 2016、2017、2019、2021 で PGC 技術委員会を代表する実験写真として掲載されている。2021年7月27日には、JAXA 宇宙科学研究所の観測ロケット S-520-31 号機を用いて、本研究グループは detonation エンジンシステムの世界初の宇宙飛行実証試験に成功した。

本研究では、図 1 のロードマップに示すように、【1】性能が極めて高い「動的 (Dynamic)」な回転 detonation エンジンでの Pressure Gain Combustion (PGC) 性能に関して物理機構を解明し、【2】「液体推進剤」の detonation エンジンの物理 (衝撃波を含む流体・微粒化・気化・化学反応) を解明し、【3】観測ロケット S-520-34 号機の第 2 段にて「液体推進剤」detonation エンジンを搭載して detonation ロケットエンジンとしての成立性を宇宙弾道飛行にて確認し、【4】回転 detonation エンジンシステムをキックモータ・Reaction Control System・リテンションスラスタにて地球周回軌道上でフライト実証する。

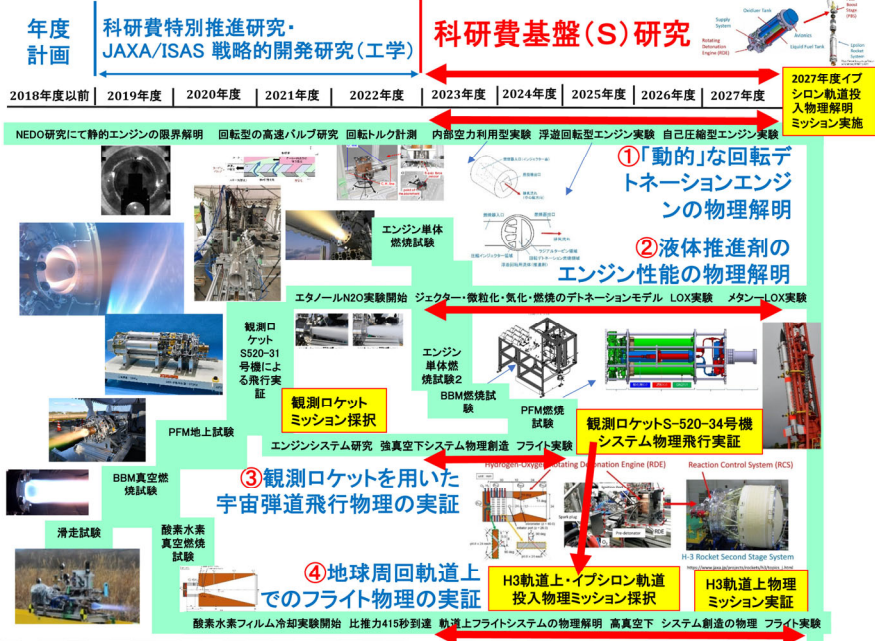


図1 本研究のロードマップ

●研究の目的

本研究グループは、以下の【1~4】のような研究展開が detonation エンジン研究には現在必要とされていると考えている。世界のコミュニティで研究されているのは「静的 (static)」な回転 detonation エンジンのみであり理論的に全圧 160% 上昇を目指すものである。これに対し本研究グループは 2019-2022 年の科研費特別推進研究の成果を活用し【1】10-100 倍以上性能が高い「動的 (Dynamic)」な回転 detonation エンジンでの Pressure Gain Combustion (PGC) 性能に関して物理機構の解明に挑戦する。また、ロケットシステム成立に絶対的に不可欠の【2】「液体推進剤」を用いた detonation エンジンの物理 (衝撃波を含む流体・微粒化・気化・化学反応) を解明する。世界的に本研究グループが牽引している宇宙弾道フライトレベルでの実証実験を【3】「液体推進剤」の detonation エンジンシステムに対して実施する。【4】地球周回軌道上でのフライト実証を H-3、イプシロン等で最終年度に実施する。本申請ではこれら【1~4】を解決、実施することで航空宇宙工学分野に全く新しい学術を切り拓き、世界を圧倒的にリードする。

この研究によって何をどこまで明らかにしようとしているのか

●detonation エンジンの物理解明と新航空宇宙推進機の創造

本研究では、①「動的」detonation エンジンの昇圧の限界の物理を解明する。エンジンの内部圧力・温度分布、6 軸力センサによる力・トルク計測、高速度カメラ等を用いた流れの内部可視化、数値解析及び理論解析モデルの構築を行う。②図 2 に示す「液体推進剤」エンジンの物理を解明する。インジェクター特性・微粒化特性・気化特性・混合特性と、detonation 波 (衝撃波) との相互作用は極めて複雑である。被加圧液体 (エタノール、N₂O、LOX、メタン) の圧力、温度、サブクール度、臨界状態からの距離、蒸発潜熱・インジェクター直径・衝突角・配置・ルーベ数・燃焼器壁面 (金属・複合材) との熱交換と微粒化・気化特性との関係を中心に、それらを実験・数値解析的に解明する。③観測ロケットフライトシステムの物理を解明する。エンジンの強真空・微小重力下での作動の物理 (特にリテンション液体供給・点火・作動過程)、飛行中の供給系の物理 (加圧液体の運動・加圧時状態変化・ロール運動時の液面揺動) を解明する。④地球周回軌道上フライトシステムの物理を解明する。新しい軌道上システム創造のための物理 (detonation エンジンの統合適合性を利用した要素と要素間相互作用)、例えばタンク・供給系・エンジンの全体統合の物理を解明する。4 つの基礎物理が解明され、宇宙実証されることで高性能で図 3 に示すような革新的な detonation エンジンシステムを実現する。また、世界に先駆けた detonation エンジンの低軌道上実験は大きな学術インパクトを生成すると考えている。

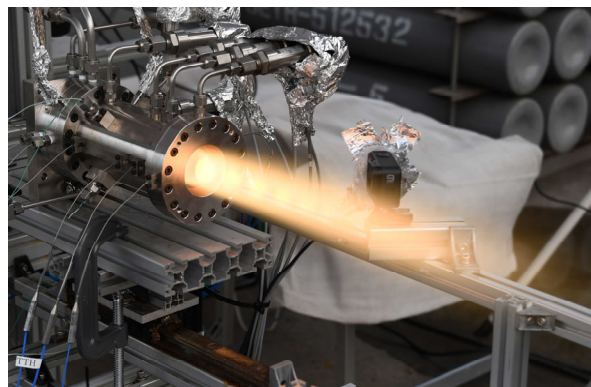


図2 液体推進剤 detonation エンジン

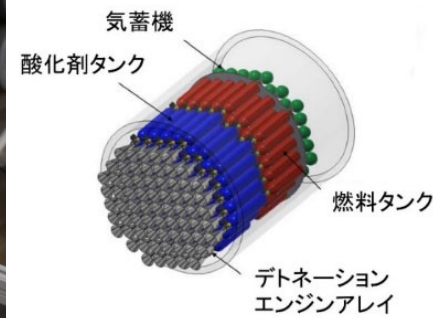


図3 革新的 detonation エンジンの例