

新たな宇宙科学研究分野を創出する新観測ロケットの実現に向けて

小林弘明、坂本勇樹、丸祐介、徳留真一郎、野中聡、澤井秀次郎（宇宙航空研究開発機構）
佐藤哲也（早稲田大学）

Toward the realization of a new sounding rocket that creates a new field of astronomical science
Hiroaki Kobayashi, Yuki Sakamoto, Yusuke Maru, Shinichiro Tokudome, Satoshi Nonaka, Shujiro Sawai (JAXA), Tetsuya Sato (Waseda University)

Key Words : Reusable Rocket, Air-breathing Engine

1. 背景

宇宙科学研究所は、宇宙航行・輸送システム技術をパラダイムシフト的に革新することで、新たな宇宙科学ミッションの創出につなげることを目指している。具体的には、太陽系内をより広範囲に自在に航行するための「輸送系ネットワーク」を構築することが、宇宙工学分野の大目標として掲げられている[1]。輸送系ネットワークにおいて特にクリティカルとなっているのは、地上～低軌道間の航行技術である。宇宙科学研究所が運用する観測ロケットは、地上～低軌道間の弾道飛行による科学観測や工学実験手段として長く活用されてきたが、ユーザーニーズの高まりによって、これの次世代化が強く求められている。2020年に実施したユーザーニーズヒアリングの結果から、次世代観測ロケットには以下のサービスを提供することが求められている。

- ① 高額な観測装置を完全回収し、再利用できること。
- ② 飛行高度150kmまでの任意高度で定点滞空（ホバリング）が可能であること。
- ③ 衛星なみの観測姿勢精度を実現できること。
- ④ 即応観測や、連日観測に対応できること。

次世代観測ロケットには、タイムリーな宇宙科学観測を高頻度かつ高品質に実施することに加え、輸送系ネットワークのクリティカル技術を先行実証するために、再使用型システムへの転換とエアブリーザーなど革新的化学推進システム技術の導入が構想されている。筆者らは、エアブリーザー型の次世代観測ロケットを「新観測ロケット」（図1）と呼称し、システム設計検討と要素技術開発を実施している[2-3]。

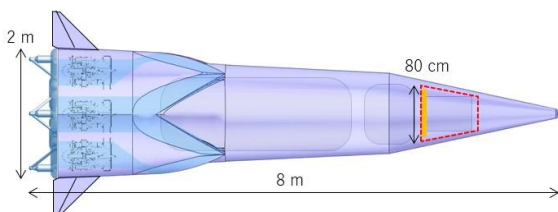


図1 新観測ロケットの外観

2. 新観測ロケット

新観測ロケットのシステム検討においては、ユーザーニーズヒアリングの分析結果に基づき、表1に掲げるシステム要求を設定した。新観測ロケットの運用上の特長としては、回収型、即応性・任意性、定点滞空がある。回収型機体のため、地上や海上に落下物を出さず、また、大容量の観測データを即日入手できる。観測条件を変更しての再観測や、周回衛星ではできない任意タイミングでの即応観測に対応する準軌道天文台としての利用を想定している（図2）。高度150km以下の任意高度に、対地速度ゼロで短時間静止（ホバリング）する定点滞空観測も新たな運用サービスである。

表1 新観測ロケットのシステム要求

項目	要求事項
基本構想	(1)機体形態 垂直着陸型の1段式再使用
	(2)打上げ射場/帰還場所 内之浦宇宙空間観測所における打上げと帰還を基本とし、現行観測ロケットと同様に他の射場でも運用可能にする。
打上げ能力・精度	(1)打上げ能力 バイロッド100kg以上/最大観測高度150km 観測時間180秒以上
	(2)打上げ精度 高度誤差を±1km以下とする。姿勢精度は、機体自身が6 arcmin、観測台が1 arcsec。
打上げ標準価格 設備維持コスト	(1)打上げ標準価格 1フライト0.1億円以下 (1機で100フライト使用する前提、前提の妥当性はSDRまでに確認する)
	(2)設備維持コスト 現状の観測ロケットと比べて、維持コスト(設計、治工具、設備)を低減すること
信頼性 打上げ可能機数	(1)設計信頼度 0.985以上
	(1)年間打上げ可能機数 24時間以内の再打上げに対応可能
バイロッドインタフェース	(1)機械的環境条件 以下を実現すること ・正弦波振動環境: 5G以下(エンジン燃焼中) ・音響環境: 120dB(O.A.)以下(観測機のみ) ・衝撃環境: 1000G以下(分離ミッションに限る)
	(2)包絡域(フェアリング) 現観測ロケットと同等以上とすること 直径80cm、高さ100cm
	(3)バイロッド分離可否 バイロッドの要求に応じ分離できること
	(4)バイロッド進展可否 バイロッドの要求に応じ進展、再収納ができること
開発期間	(1)初号機打上げ 2027年までに初号機を打上げること

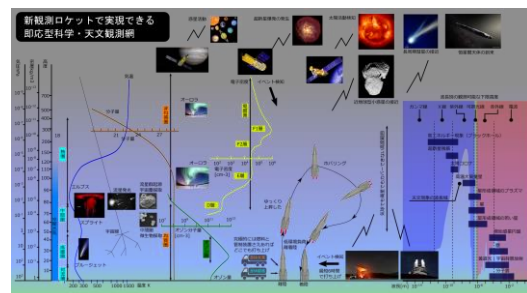


図2 準軌道天文台としての利用

3. 新観測ロケットのシステムアーキテクチャ

宇宙科学研究所では、ロケットの再使用化に必要な様々な技術課題について1998年より先行実証を行ってきた[4-5]。100回再使用可能な再使用ロケットエンジンや、極低温複合材タンク、ヘルスマニタリングシステム、垂直離着陸用センサ等の技術実証が行われている。新観測ロケットでは、これらの技術ヘリテージを受け継ぎつつ、新たにエアブリーザー技術を導入することで新たな価値を付与しようとしている。従来から提案されていた「再使用観測ロケット」は、着陸用推進剤を搭載しなければならないことから、使い切りの固体観測ロケットに比べて機体が大型化し、設備や体制の問題で運用が難しいという欠点があった。そこで図3に示すように大気の積極利用(=空気吸込エンジンと空力減速)によって、ロケットの全備重量を半分以下にコンパクト化し、現行観測ロケットと同規模で、観測ロケットの再使用化を実現することを構想した。

垂直離着陸型のエアブリーザーというコンセプトは、これまであまり考察されてこなかったが、軽量のターボ系エンジンを搭載し、これをロケットエンジンと複合作動させて上昇飛行を実施すること、また、ターボ系エンジンを使って着陸飛行を行うことにより、垂直離着陸機の機体規模を大幅にコンパクト化できることが判明した。垂直離着陸機用のエアブリージングエンジンに最低限要求される推重比の要求値は12であり、比推力性能は2000秒程度である。図4にターボ系エンジンとロケットの複合作動を行う飛行シーケンス例を示す。

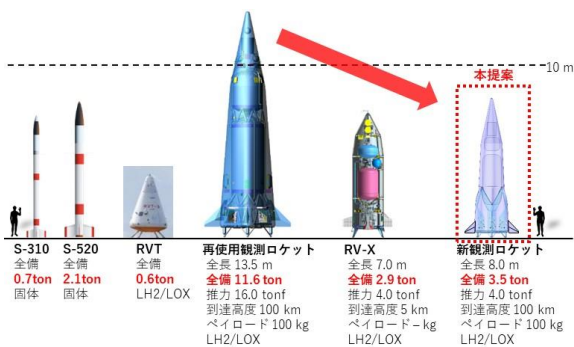


図3 機体規模の比較

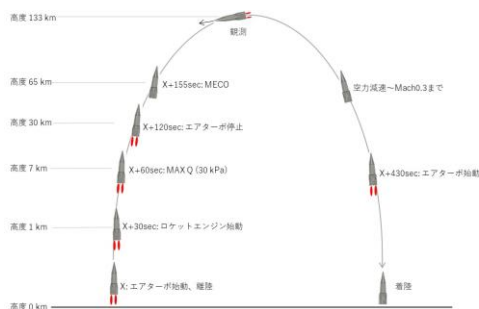


図4 新観測ロケットの飛行シーケンス

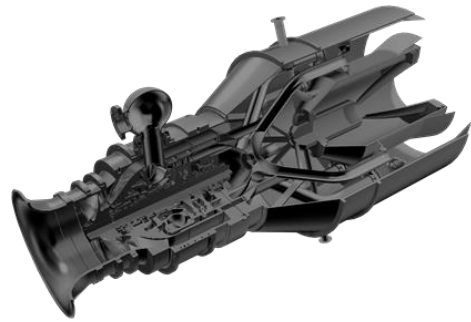


図5 エアターボロケット複合エンジン (ATRIUM)

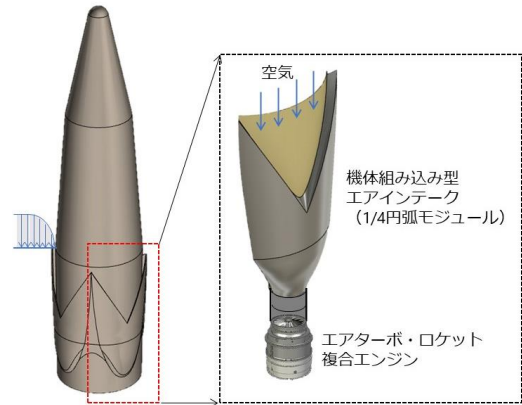


図6 新観測ロケットの空力設計

新観測ロケットへの適用を想定している新型エンジンは、宇宙研が開発した「再使用ロケットエンジン」と「ATREX」を複合させたエアターボロケット複合エンジン (ATRIUM)であり、現在、これの第1次試作研究を進めている[6-7]。また、大気利用効率を最大化する機体・エンジン統合空力設計も重要な課題であり、機体組込み型インテーク(設計Mach数2~3のBusemannタイプ)と全機境界層吸込(BLI)コンセプトによる全機抵抗の低減を構想している。

4. 新観測ロケットの開発スケジュール

図7に、現在想定している新観測ロケットの開発スケジュールを示す。第1段階活動では、現在試作研究中のATRIUMエンジンの地上システム実証を行う。第2段階の活動では、10kN級ATRエンジンを1基搭載する小型FTB飛行試験を実施し、キー技術(新型エンジン、離着陸・高精度姿勢制御、観測機器)の技術成熟度向上を行う。小型FTB飛行試験機の構想図を図8に示す。RVTとほぼ同規模の機体となっており、エアブリーザー化による大幅な飛行時間の延長(~120sec)と高信頼離着陸飛行を実証する。また、新観測ロケットにも搭載する様々な機器や要素技術(新型エンジン、センサ各種、流体制御機器、高圧ガス貯蔵機器、機体姿勢制御・着陸用機器、電源機器、通信機器、新素材、観測機器)を搭載し、先行実証する計画としている。

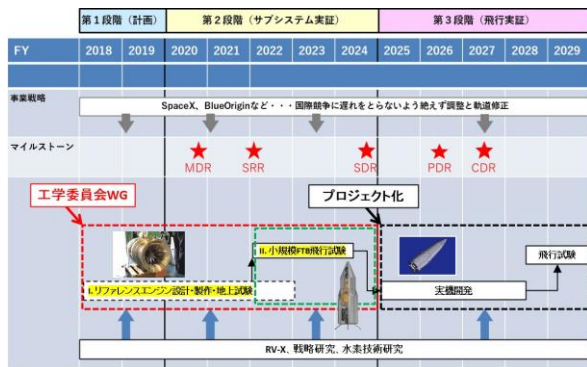


図7 開発スケジュール

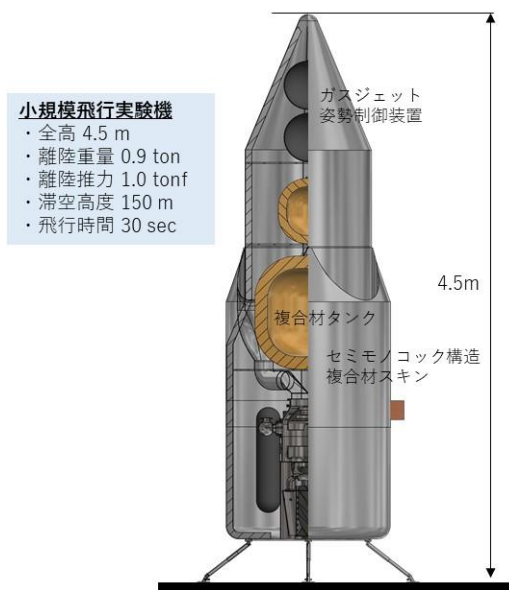


図8 小型FTB飛行試験

5. おわりに

現在、宇宙科学研究所ではワーキンググループWGを組織し、宇宙科学分野に新たな価値を提供する「新観測ロケット」のシステム検討と実用化に向けた提案活動を推進している。当面の目標として、2024年度までにエアブリーザーによる垂直離着陸飛行（飛行高度100m以上、飛行時間120 sec）の実証を行うことを提案している。WGが実証する技術は、宇宙科学研究所の輸送系が目指す軌道間輸送ネットワークの構築に寄与すると同時に、日本の民間におけるロケット開発の国際的な競争力強化など、様々なステークホルダーへの貢献することを企図している。

参考文献

- 1) 徳留真一郎, 他, ISAS 宇宙輸送系の中長期戦略 - Rev.A -, 第64回宇宙科学技術連合講演会, 2020
- 2) 小林弘明, 他, ISAS 新観測ロケットの開発計画, 第64回宇宙科学技術連合講演会, 2020
- 3) 佐藤哲也, 他, エアターボロケット開発における大

学での取り組み, 第64回宇宙科学技術連合講演会, 2020

- 4) Inatani, Y., Naruo, Y., and Yonemoto, K., "Concept and Preliminary Flight Testing of a Fully Reusable Rocket Vehicle", Journal of Spacecraft and Rockets, Vol. 38, No. 1, 2001, pp. 36-42.
- 5) Kimura, T., Hashimoto, T., Sato, M., Takada S., Moriya, S., Yagishita, T., Naruo Y., Ogawa, H., Ito, T., Obase, K., and Ohmura, H., "Reusable Rocket Engine: Firing Tests and Lifetime Analysis of Combustion Chamber", Journal of Propulsion and Power, Vol. 32, No. 5, 2016, pp. 1087-1094.
- 6) 向江洋人, 他, ATRエンジンの試作研究について, 第64回宇宙科学技術連合講演会, 2020
- 7) 小林弘明, 他, 推力 10kN 級エアターボロケット ATRIUM エンジンの試作研究, 令和2年度 宇宙輸送シンポジウム, 2021