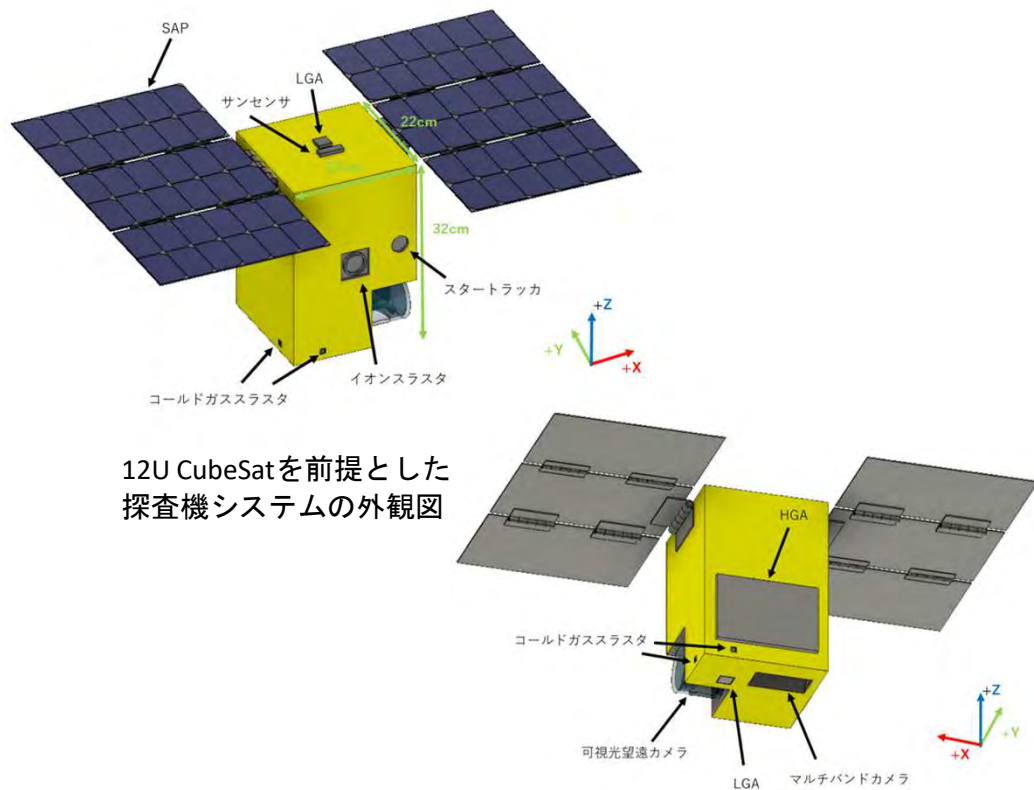
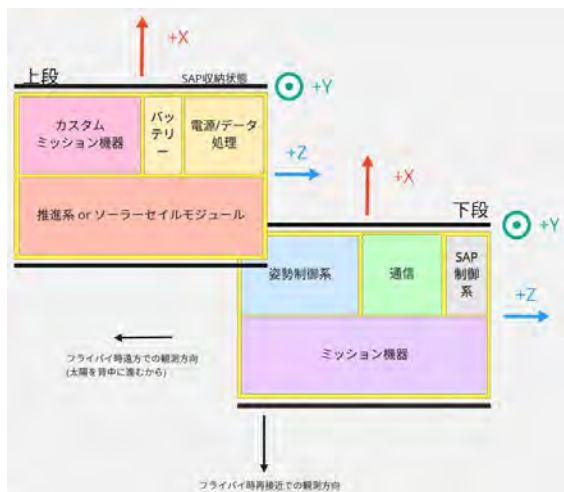


①発表番号	②セッション	③セッション名	
6-1	セッション6	月・深宇宙探査ミッション	
④発表タイトル			⑤発表者所属・氏名
深宇宙コンステレーションによる小天体超マルチフライバイ構想			JAXA宇宙科学研究所 尾崎 直哉
⑥著者	⑦所属	⑧代表者メールアドレス	
尾崎直哉, 兵頭龍樹, 高尾勇輝, 鳶生有理, 笠原慧, 長福紳太郎, 鶴飼諭史, 久本泰慶, 筒井真輝, 小塚陽希, 河北秀世, 脇田茂, 岡田達明, 吉川真, 稲富裕光, 津田雄一, 船瀬龍, 川勝康弘, 藤本正樹	JAXA, 九州大学, 東京大学, 京都産業大学, MIT	⑨現在の状況: 概念検討中	
⑩概要 (200字程度)	⑪本ミッションの狙い	⑫実現のキーとなる要素技術	
⑩概要 (200字程度)	⑪本ミッションの狙い	⑫実現のキーとなる要素技術	
本ミッションは、地球スイングバイと小天体フライバイを交互に繰り返す小天体フライバイサイクラー軌道を用いて、数年に1個の頻度で小天体フライバイを行うミッションである。フライバイ観測ミッションであるため、光学望遠鏡・分光カメラ等のリモートセンシング観測がメインとなるが、質量リソース次第では、(50~100kg級の小型探査機であれば)超小型インパクト(弾丸)やフライバイサンプルリターンも候補となる。「フライバイ頻度」を高める観点では、地球近傍小惑星や彗星等の地球近傍を通過しうる天体が対象となるが、突発的に訪れる恒星間天体や地球に衝突しうる小惑星等も探査対象となり得る。	<ul style="list-style-type: none"> ・継続的な超小型深宇宙探査機の開発を通じた産業育成および技術力向上 ・恒星間天体や長周期彗星といった人類未到の天体に対する直接探査 ・(プラネタリーディフェンス)地球に衝突しうる危険のある小惑星の衝突回避のための事前探査 	<ul style="list-style-type: none"> ・深宇宙空間(地球距離が0.5au程度)にコンステレーションを組む必要があるため自律的な軌道決定と運用技術 ・小天体の質量を推定するための観測機器(微小物体の重力散逸測定技術) ・小天体フライバイ探査のための誘導制御技術 	
⑬衛星のスペック		⑭開発状況・計画	
<p>サイズ: 20-50kg程度 (12U CubeSat~MicroSat)</p> <p>観測機器: 3-15kg程度</p> <p>推進系: 約100m/s程度のΔV能力を有すること</p> <p>通信系: 0.5au程度の地球距離で通信できること</p> <p>軌道決定・制御: 極力自律的な軌道決定・制御を実施すること</p> <p>姿勢制御等: フライバイ時に対象天体を撮像できること</p>		日本国内の有志検討チームによる概念検討を実施して、米国のKeck Instituteが主催のKISS Workshopにてミッションアーキテクチャに関する検討が実施済みである。現在、深宇宙コンステレーションを実現するためのミッション設計に関する研究を加速している状態である。宇宙機バスシステムについては、JAXAのComet Interceptorの子機ヘリテージが利用可能であると考えており、そのバス技術の開発が進んでいる。	

⑮ 衛星のイメージ図

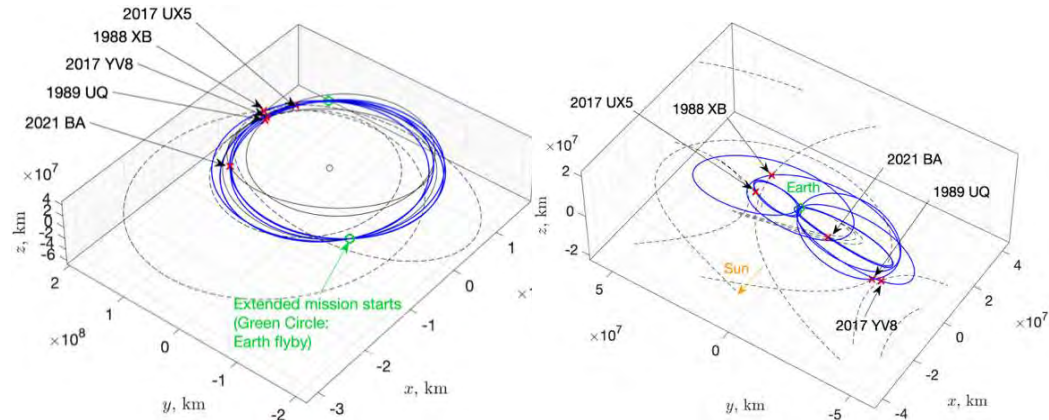


12U CubeSatを前提とした
探査機システムの外観図

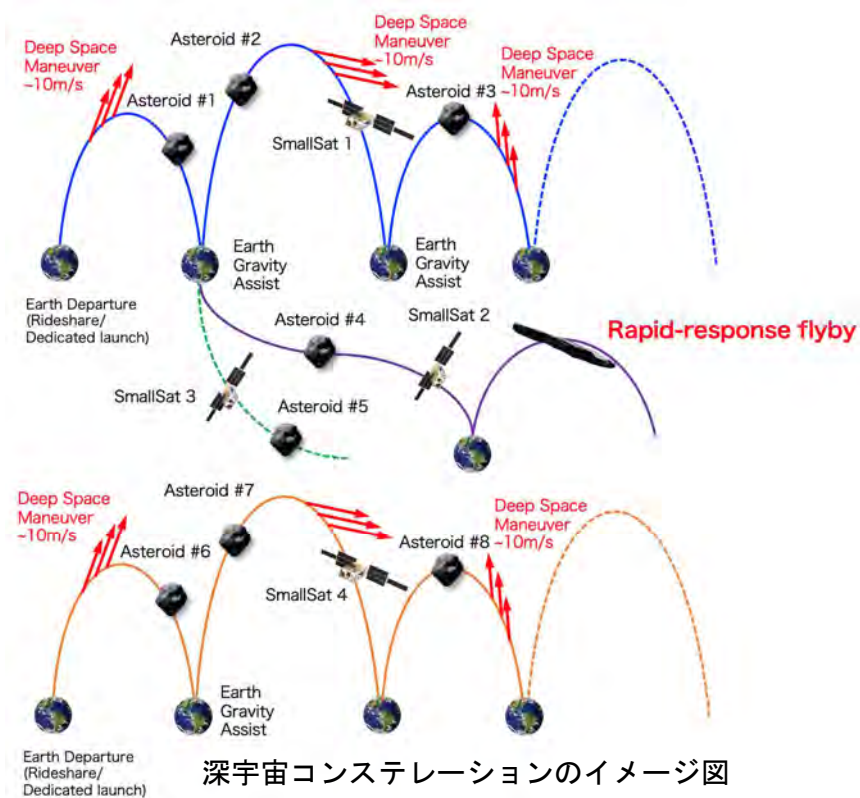


12U CubeSatを前提とした
探査機システムの内部機器配置

⑯ ミッションのイメージ図 (※あれば)



1機ごとの小惑星マルチフライバイ軌道の例



深宇宙コンステレーションのイメージ図

⑰ ミッションや技術詳細

近年、太陽系形成の解明やプラネタリーディフェンスの観点から、小天体探査が注目されている。これまでに100万個以上の小天体が発見されているのに対して、直接探査がなされた小天体はまだ数十個程度である。太陽系天体の理解を深めるためにも、また、プラネタリーディフェンスの対策を考える上でも、より数多くの小天体を直接探査し、統計的な情報を得ることが不可欠である。そこで、本ミッションでは、数ヶ月に1個の頻度で小天体をフライバイ探査するための深宇宙コンステレーションによる小天体マルチフライバイ構想を提案する[1,2]。本コンセプトでは、地球スイングバイと小惑星フライバイを交互に繰り返す「小天体フライバイサイクラー軌道」[3,4]に複数の超小型宇宙機を配置する。小天体フライバイサイクラー軌道に分散された宇宙機は、およそ1年に1回の頻度で小天体フライバイを行うことが可能である。そのため、12機の超小型宇宙機を配置することができれば、約1ヶ月に1回の頻度で小天体の直接探査が可能となる。

小天体フライバイサイクラー軌道を利用したマルチフライバイは、ほとんど燃料を必要としないため、超小型宇宙機であっても十分に実現可能である。そして、そのような超小型宇宙機を複数打ち上げて、深宇宙コンステレーションを構築することができれば、数ヶ月に1個の頻度の小天体フライバイ探査が実現可能である。また、本コンステレーションでは、宇宙機が地球スイングバイを行うタイミングで、目指すべき対象天体を変更することも可能である。そのため、恒星間天体、長周期彗星、地球に衝突しうる危険な小惑星が突発的に発見された場合、そちらに向けて軌道を変更することも可能である。すなわち、本ミッションでは、マルチフライバイによる高頻度な小天体探査を実現すると同時に、突発的に現れた天体に対する即応型探査 (Rapid Response Exploration) も実現可能である。更に、本ミッションは超小型深宇宙探査機の継続的な技術向上・産業育成にも貢献すると考えている。本ミッションはコンステレーションのメリットが活かせる、1機喪失したとしても、他の探査機で穴埋めをすることが可能である。そして、複数の深宇宙探査機を打ち上げるため、超小型探査機技術に関する統計的な情報も取得することが可能であり、将来の深宇宙探査ミッションの品質・信頼性向上にもつながると考えている。

技術的な観点では、深宇宙探査機の自律的な運用が鍵となる。本構想を実現する初期段階であれば、従来の地上局を介した運用を実施することが可能であるが、将来的に10機以上の探査機が深宇宙を航行している状態では、全ての探査機に対して、常に地上局を用いた運用を実施することは困難である。そのため、それぞれの探査機に高い自律性が求められる。小天体フライバイの観点では、科学観測データのダウンリンクが必要であるため、地球スイングバイ近傍で科学観測データのみをダウンリンクして、その他の期間では完全に自律的に運用できる仕組みが理想である。特に深宇宙コンステレーションでは、地球周回コンステレーションと異なり、自律的な軌道決定がボトルネックとなると考えており、技術開発が急がれる。

⑱ 参考文献など (optional)

[1] 尾崎直哉, 高尾勇輝, 他, "深宇宙コンステレーションによる小天体マルチフライバイ探査構想," 第66回宇宙科学技術連合講演会, 2L08, 2022年11月.

[2] Naoya Ozaki, Ryuki Hyodo, et al., "Rapid-response Flyby Exploration using Deep Space Constellation deployed on Asteroid Flyby Cyclers," IAA Planetary Defense Conference, April 2023.

[3] Naoya Ozaki, Takayuki Yamamoto, et al., "Mission Design of DESTINY+: Toward Active Asteroid (3200) Phaethon and Multiple Small Bodies," Acta Astronautica, Vol. 196, pp.42-56, July 2022.

[4] Naoya Ozaki, Kanta Yanagida, et al. "Asteroid Flyby Cyclers Trajectory Design Using Deep Neural Networks," Journal of Guidance, Control, and Dynamics, Vol.45, No.8, pp.1496-1511, 2022.