

第32回衛星設計コンテスト

ジュニア概要書（3 ページ以内）

応募区分 ジュニアの部

1. 作品情報・応募者情報

作品名（20文字以内） * 作品内容が推測しやすいような名称を付けてください。（略称は不可） 即応地球接近小惑星探査衛星
副題（自由記入） Rapid-Reaction NEO eXploration Satellite
学校名 鹿島朝日高等学校

2. ミッションの概要（プレスリリース等で使用するので、200字程度でわかりやすく表現して下さい。）

近年実証が進んでいる、短期間で打ち上げ可能な小型ロケットを利用して超小型探査機を打ち上げ、地球に接近する小惑星をフライバイカメラを用いた科学観測を行う。観測対象の小惑星は即応打ち上げ可能な小型ロケットの特徴を生かして未発見のものもターゲットとして、突発接近天体探査技術を実証する。また、エクストラサクセスとして分離したキックステージを小惑星に制御衝突させ惑星防衛技術を実証することにも挑戦する。

3. 目的と意義（目的・重要性・技術的意義等）

(a) 目的 ミッションの目的は即応性の高い小型ロケットを使用して地球に接近する小惑星を即応観測する技術を実証することである。
(b) 重要性・技術的意義等 (ex: 宇宙空間で利用する理由、他にない技術など) 小惑星は地球誕生以来様々な場面で姿を表してきた。もっとも大きなスポットライトが当たったのは約 6600 万年前に現在のメキシコ、ユカタン半島に落下した小惑星が原因の恐竜の大量絶滅である。白亜紀を謳歌しその後消え去った恐竜たちの存在は今後起こりうる天体衝突によって地球上の覇権が大きく変わることがある可能性を示している。いっぽうで現代の科学により太古の昔、太陽系誕生の時代に小惑星が地球の海の誕生に大きな役割を果たした可能性もわかってきた。このように小惑星は過去、現在、そして未来において地球や人類と密接に関係している。 世界の天文学者の観測では今後 100 年間に地球に衝突し人類規模の破滅的な結果を招く小惑星はないとされる。一方近年では小天体観測技術の向上に伴い地球接近前～直前、あるいは再接近後に発見される小型～超小型の小惑星が多数見つかり未発見のものも含め地球周辺を高い頻度で小惑星が通過していることが明らかになった。これらは衝突した場合地域クラスの惨事を起こす可能性があり、まだ発見されていないものも多いとされる。2011 年にロシアのチェリビンスク市に落下した小惑星はたった直径 17m ほどと考えられているが衝撃波で 4000 棟を超える建物に被害をだし、けが人約 1500 人を生んだ。このように小惑星は小さくてもその威力は決して小さくないのである。 近年そのような事態を予防する取り組みとしてプラネタリーディフェンス/惑星防衛 (PD) と呼ばれる活動が行われている。PD は小惑星の物理的特性の理解、発見・監視、万が一の際の軌道変更などが活動内容である。本ミッションでは実際に地球に接近した小惑星の表面の光学観測、そして軌道変更の手段として有力視されている「体当たり」の実験にもエクストラサクセスとして挑み惑星防衛に貢献する。

4. アイデアの概要

(a) 探査機システムの概要 探査機システムは衛星本体と衝突機から構成される。 それぞれの要素は以下である。
--

バス機器

- オンボードコンピュータ (OBC)
- 太陽電池パドル (SAP)
- バッテリー (BAT)
- 電力制御機器 (PCU)
- 電力分配器 (PDU)
- イジェクタシールド (IS)
- リアクションホイール (RW)
- スタートラッカー (STT)
- Xバンド高利得アンテナ (XHGA)
- Xバンド低利得アンテナ (XLGA)

ミッション機器

- 広角カメラ (WAC)
- 望遠カメラ (NAC)
- マルチバンドカメラ (MBC)
- MLI 内蔵型ダストセンサ

キックステージ/衝突機搭載機器

- オンボードコンピュータ (OBC)
- 太陽電池パネル (SAP)
- バッテリー (BAT)
- 電力制御分配機器 (PCDU)
- リアクションホイール (RW)
- スタートラッカー (STT)
- Xバンド高利得アンテナ (XHGA)
- Xバンド低利得アンテナ (XLGA)
- 航法誘導カメラ (ONC)
- ハイブリッドモーター (HKM)

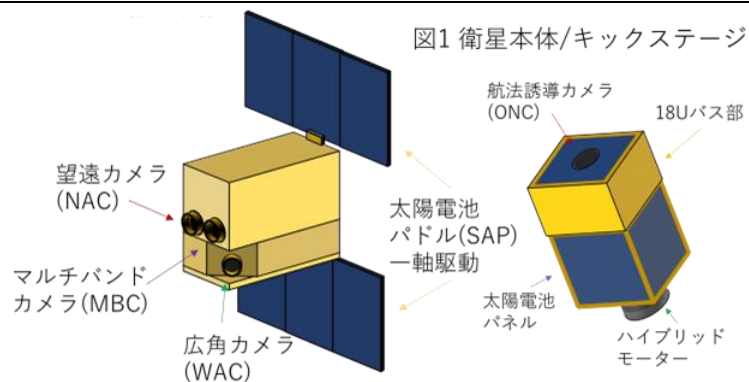


図1 衛星本体/キックステージ

衛星本体にはフライバイ観測に特化した3台のカメラとMLI内蔵型ダストセンサを搭載する。バス部の特徴としては打ち上げ後、数百時間でフライバイを行う計画のため、アンローディング用のRCSは搭載しない設計となっている。キックステージには酸化剤に亜酸化窒素を使用したハイブリッドモーターを搭載しロケット上段の加速と合わせ小惑星をフライバイする地球周回楕円軌道に投入する。

(b) 打ち上げ/運用/軌道計画

打ち上げについて説明する。突発的な小惑星の接近に対応するため、打ち上げ機として近年、安全保障目的の需要により開発が進められている即応打ち上げ可能な民間小型ロケットを使用する。具体的な打ち上げロケットとしてはロケットラボ社のElectronロケットやSPACE ONE社のKAيروسロケットの増強型を検討している。打ち上げ後小惑星に500~1000km程度まで接近できる軌道に乗ったところで衛星本体を分離。キックステージはその後も誘導を継続し小惑星への衝突(インパクト実験)の完遂を目指す。一方衛星は太陽電池パドルを展開し太陽補足を行い小惑星に接近したタイミングでフライバイのシーケンスに入る。

(c) サクセスクライテリア

ミニマムサクセス

探査機システムを開発し即応打ち上げできることを実証すること

フルサクセス

探査対象の小惑星をフライバイし突発天体即応探査技術を確認すること

エクストラサクセス

インパクト実験を完了させること

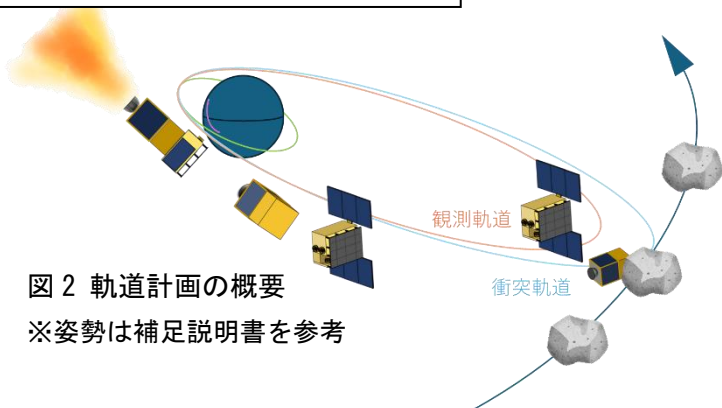


図2 軌道計画の概要

※姿勢は補足説明書を参考

5. 得られる成果

小惑星の理解、とくに突発的に発見されることの多くいまま探査の手が及んでいなかった小型のNEOに対する理解が深まる。搭載されたミッション機器により

- ・ 望遠カメラ→表面の地形や色についての情報
- ・ マルチバンドカメラ→表層の物質を区別できるスペクトル情報
- ・ ダストセンサ→小惑星周辺・シスルナ領域のダスト環境情報

などが収集でき小惑星・惑星科学のサイエンスに貢献する。インパクト実験では飛散するイジェクタを撮影、分析したり衝突後の軌道の変化を観察することで、将来起こるかもしれない天体衝突に備える貴重なデータが取得できる。また即応型探査ミッションを可能にする協力態勢の構築・技術の獲得は今後の即応恒星間天体フライバイ探査などにも発展が期待できる。

さらに社会的な面としては惑星探査のなかでは比較的近場で行われるミッションであり小惑星迎撃ミッションという興味を引くフレーズと合わせて効果的な広報活動を展開することで一般の人々に身近な存在として惑星防衛(PD活動)の重要性を認識してもらうことが可能である。

6. 主張したい独創性または社会的な効果

- ① 惑星間空間に飛び出し探査するのではなく地球圏に飛来した小惑星を即応して迎え撃つという点
- ② これにより通信・軌道決定・フライバイが容易になり探査機の設計の簡素化やコストの低減が可能である点
- ③ 近年注目の集まる小型ロケットの即応性を活かしたタイムリーな探査ミッションである点。
- ④ 実際に地球に接近してきた小惑星を迎撃観測し衝突実験を行うという「インパクト」のある計画をとおして一般社会での惑星防衛の重要性の理解につながる点

7. 謝辞

この概要書の執筆にあたり多くの方々に助けていただきました。
まず本アイデアを思い付いたきっかけはツイッター上で交流させていただいているやまごん (@sado_kouta) さんの「NEO が地球に接近するタイミングで探査機ないしインパクトないしロケットの上段を小惑星にぶつけて内部物質を調査する というミッションが無いのはなぜじゃ」というツイートに触発されたのがきっかけです。コンテストへの投稿を快諾してくださりありがとうございます。当初共同でアイデアを探していた旭川工業高等専門学校5年生の妻沼朔寿さんには軌道力学の計算に関するアドバイスや JPL の地球接近小惑星データベースの解析など様々な面でサポートしていただきました。本当にありがとうございます。探査機安全祈願 2024 で一緒した宇宙科学研究所の三樹裕也はじめ参加者のみなさんからは 2 日間さまざまなアドバイスをいただきましたし締め切り間近に参加した宇科連の昼食のテーブルで一緒した立命館大学の仲内悠佑先生からは理学面でのするどい指摘をいただきました。重ねてお礼申し上げます。

8. 参考文献

[1] 竹ヶ原春貴・佐原宏典ほか 人工衛星・惑星探査機のための宇宙工学 コロナ社 2024

以上

第32回衛星設計コンテスト

補足説明資料

応募区分 ジュニアの部

1. 作品情報・応募者情報

作品名（20文字以内） * 作品内容が推測しやすいような名称を付けてください。（略称は不可）
即応地球接近小惑星探査衛星

副題（自由記入）

Rapid-Reaction NEO eXploration Satellite

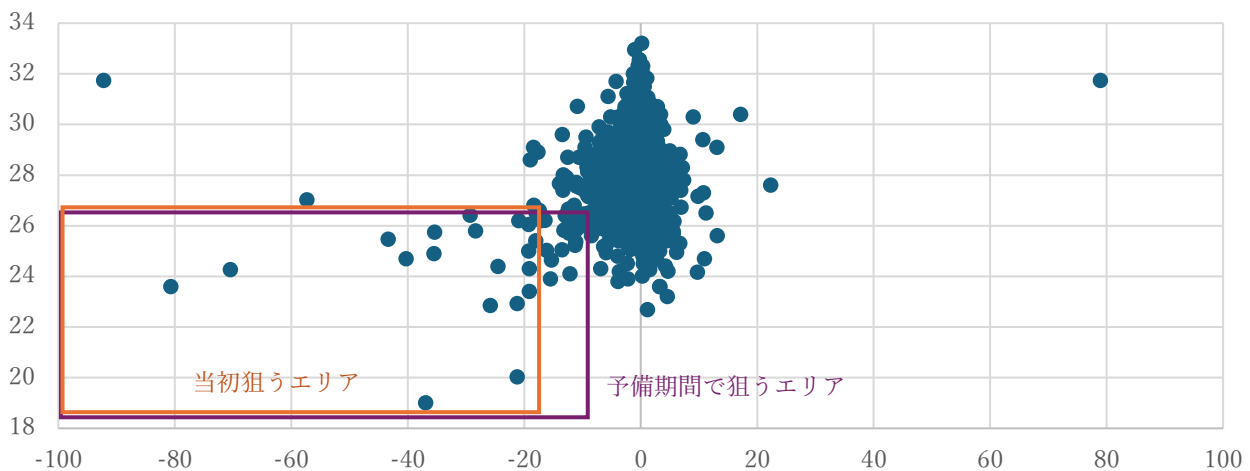
学校名

鹿島朝日高等学校

2. ターゲットとスケジュール

本ミッションのターゲットはNEO(Near Earth Object 地球近傍天体)のうち地球圏の月軌道以内(1LD以内)を通過する小惑星である。今回、妻沼朔寿さんに協力いただき NEO Close Approaches (NASA/JPL) の2000年以降のデータをもとに考察を行った。図1は縦軸に等級、横軸に発見から最接近までの時間をとっている。

図1 小惑星の発見時間と最接近時時間の差と等級の関係



この図から接近する小惑星の発見日は最接近に近い数日の範囲にきわめて多いこと、26等級(アルベドを0.25とすると17mほど)あたりから左寄り($T \leq -20$)にプロットされている(早期に発見されている)ものが増えていることがわかる。また米国宇宙軍の戦術宇宙対応ミッション「Victus Nox」では要請後27時間でロケットが打ち上げられその後継計画「Victus Haze」では24時間以内での打ち上げを目指していることと月軌道付近までの遷移時間(5日程度)を考慮し本ミッションでは26等級以下かつ最接近-20日前後に発見された小惑星をノミナルの目標とする。所定の期間射場で待機し、該当する小惑星を発見できなかった場合、予備目標(最接近-10日前後に発見された小惑星)まで範囲を拡大し即応待機する。

また接近が可能かつ観測に適した軌道要素を持つかどうかも重要なポイントである。カメラを使用した探査の特性上、探査機から見て順光の環境での観測が望ましい。図2に図解したように地球の昼側を通過する小惑星の場合、小惑星の地球近点を超える形でのフライバイが求められるため Δv 要件が厳しい。一方で夜側を通過する小惑星の場合、小惑星の接近軌道に対して地球に

近い位置から観測を行えばいいため要求される遠点高度が下がり Δv 要件が緩和される。そのため夜側を通過する小惑星のほうがターゲットとしては取りやすいが小惑星の近点によっては昼側でも探査できる可能性があるため総合的に判断する必要がある。

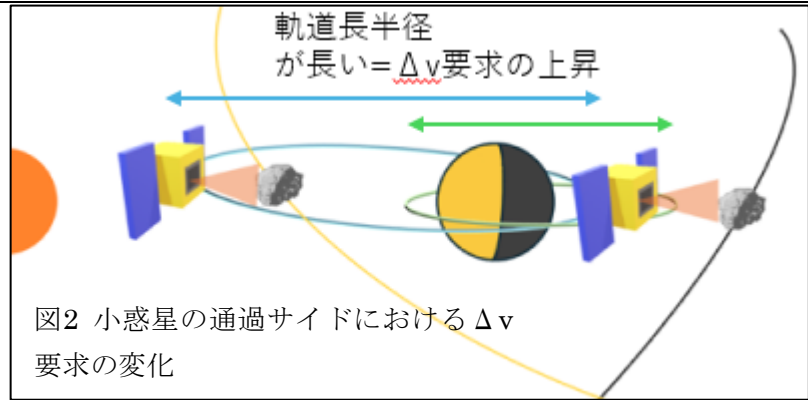


図2 小惑星の通過サイドにおける Δv 要求の変化

3. 設計のケーススタディ

本ミッションのような即応型(迎撃)探査では幅広いパラメータを持つ探査対象に接近する可能性がある。そのため観測機器の設計においてもさまざまなケースを想定する必要があると感じ国内外の探査ミッションを参考に観測機器と特徴についてのケーススタディを表1のように実施した。

表1 国内外の小天体探査ミッション

画像						
名称	Comet interceptor	PROCYON	DESTINY+	Hera	HAYABUSA 2	DART
観測機器	(B1)WAC,NAC, 水素コロナ撮像機, 磁力計, イオン質量分析器	フライバイ撮像カメラ (一軸駆動鏡), 水素コロナ撮像望遠鏡	TCAP(一軸駆動鏡),MCAP,DDA	AFC,TIRI,PA LT,RSE,HS	ONC(T)(W), TIR,NIRS3,LIDAR,SMP,SCI,MINERVA	DRACO
特徴	L2から出発する迎撃型探査,多角的な同時観測	超小型深宇宙バス, 一軸追尾駆動鏡	36km/sの相対速度での撮像を行う追尾システム, 観測機器	ディモルフォスの物性を調べるのに特化した観測機器	豊富なホバリング向け機材と飛び道具,SR	突入一本に的を絞った構成
取り入れられる点	地上観測の協力体制,超小型探査機のバス技術, フライバイシークエンス	バス技術,駆動鏡	可視近赤外MBC,駆動鏡	物性を探るのに適した機器構成	ホバリング機材の高速フライバイ転用	キックステージ誘導制御系設計の参考

その結果として、フライバイ探査機に多い駆動鏡の採用を検討した。検討時は即応打ち上げ実績の観点から打ち上げロケットをアルファロケット級(300kmLE01050kg)に変更することも検討していたため駆動鏡採用時に予想される3~4kgの重量増加も対応できる見込みであったが最終的には計画のコストが上がり機動性が下がる大型化を避けたかったため採用は見送った。代わりにComet interceptorの広角、望遠カメラの45度差での配置とフライバイシークエンス、撮影技術(多重露光・TDI撮像)などを取り入れることにした。Comet interceptorは彗星向けの観測装置が多くそれらを降ろし、小惑星探査での実績が多いマルチバンドカメラを搭載することにした。

4. キックステージに関する検討

本探査機の仕様はComet interceptor探査機およびGEO-X衛星に強く影響を受けておりコンポーネントやバスシステムの流用を行うのが妥当である。そのため公開されている資料を基に重量に関する検討を行った。表2にGEO-X衛星におけるバス部重量配分を示した。GEO-XはメインミッションにX線による磁気圏の撮像をかかえておりX線分光装置を搭載している。本ミッションでは誘導用のONCを搭載する予定だがはやぶさ2に搭載されたONC-W1が0.47kgであることからX線撮像装置より軽くなることが確実であり軽量化できる。GEO-Xではキックモータを含めた全備質量を50kg程度としているが探査機

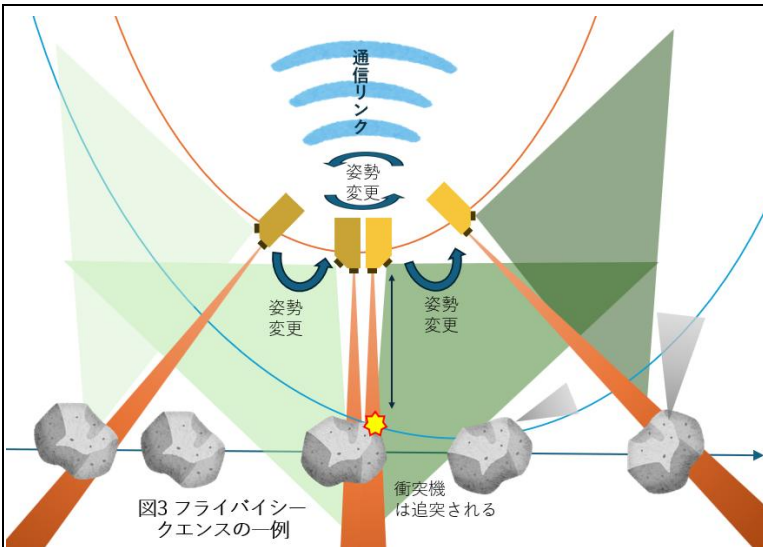
全体の乾燥重量が 60kg 程度になることを考えると推進剤の増量が必要だと思われる。詳細な Δv の計算は締め切りまでに終了しなかった。

表 2 GEO-X における重量配分

項目	重量 [kg]
姿勢系	総計 5.542
スタートラッカー	0.284
サンセンサ	0.041
リアクションホイール	4.620
ジャイロ	0.060
制御基板	0.537
電源系	総計 4.542
PCDU	2.573
バッテリー	1.969
構造系	総計 11.084
構造重量	6.018
電気機械熱計装重量	2.129
分離機構	2.937
通信系	総計 1.246
CDH 系	総計 0.158
ミッション系	総計 9.712
総重量	総計 32.284

布施綾太ほか 第 67 回宇宙科学技術連合講演会予稿集 高推力推進系を有する超小型衛星 GEO-X のバスシステム検討状況より

5. フライバイのシーケンスと通信リンクの確保



フライバイのシーケンスと通信リンクの確保について図解する。軌道面で割ってみた図であり太陽電池は垂直に展開されている。最接近前後の時間では望遠カメラ周りの回転を組み合わせることで行うことで地球との通信を確保する。国内の超小型深宇宙探査機で実績のある X 帯の通信機を搭載することを検討している。

6. 参考文献

- [1] 竹ヶ原春貴・佐原宏典ほか 人工衛星・惑星探査機のための宇宙工学 コロナ社 2024
- [2] 宇宙科学研究所公式サイト
<https://www.isas.jaxa.jp/>
- [3] 坂谷 尚哉ほか 第 68 回宇宙科学技術連合講演会予稿集 Comet interceptor B1 探査機搭載のカメラシステムによる超高速フライバイ撮像 2024
- [4] 布施綾太ほか 第67回宇宙科学技術連合講演会予稿集 高推力推進系を有する超小型衛星 GEO-X のバスシステム検討状況 2023
- [5] 船瀬龍 超小型衛星シンポジウム2022 Comet Interceptor ミッションにおける超小型探査機の活用 2022
https://aerospacebiz.jaxa.jp/jaxa-smash/cubesatlv2022/3-2_detail_mission.html
- [6] 江副祐一郎ほか 超小型衛星シンポジウム2022 地球磁気圏X線撮像衛星 GEO-X 2022
https://aerospacebiz.jaxa.jp/jaxa-smash/cubesatlv2022/2-1_detail_mission.html

以上