

宇宙科学プロジェクトの進捗状況 について

令和2年(2020年)9月18日

宇宙航空研究開発機構

宇宙科学研究所

國中 均

目次

1. はやぶさ2拡張ミッションについての検討状況
2. 戦略的中型・公募型小型選定済みミッションへの対応方針
3. 戦略的海外共同計画の状況及び進め方
4. フロントローディングの実施状況

1. はやぶさ2拡張ミッションについての検討

(1) シナリオ比較と選定

- はやぶさ2の拡張ミッションのシナリオとして、2つの候補が残っている状況にあり、技術的成立性を確認の上、1つのシナリオを選択する予定としていた。
- 元々探査機は、太陽距離0.85~1.41AUの範囲を前提として設計されているが、両シナリオにおいて、最小太陽距離が設計前提を逸脱するため、課題として挙げられている。
 - EVEEA最小太陽距離: 0.71AU
 - EAEEA最小太陽距離: 0.77AU
- これに伴い実施した解析・検討の評価結果を以下に示す。

評価項目	EVEEAシナリオ	評価	EAEEAシナリオ
熱成立性	金星観測のための姿勢変更を行うと、搭載機器が正常温度範囲を超える。(最大太陽距離: 1.64AU)	≪	最小太陽距離(0.77 AU)においても、搭載機器が正常温度範囲を超えない。(最大太陽距離: 1.52AU)
イオンエンジン 運転条件	金星スイングバイ前後(0.71AU)で140日間程度イオンエンジンが使えない	<	小惑星フライバイ前後(0.77AU)で100日間程度、イオンエンジンが使えない
シナリオ 成立性	金星スイングバイでトラブル発生の場合、小惑星への軌道計画が成立しない(ハイリスク環境下でクリティカル運用の実施が求められる)	≪	小惑星フライバイが実施できない場合にも、その後の地球スイングバイには支障なく、軌道計画に大きな変更が必要ない

- これらの評価からの総合的な判断として、リスク低減のため、設計前提の太陽距離範囲からの逸脱が少ないEAEEAシナリオを選択する。

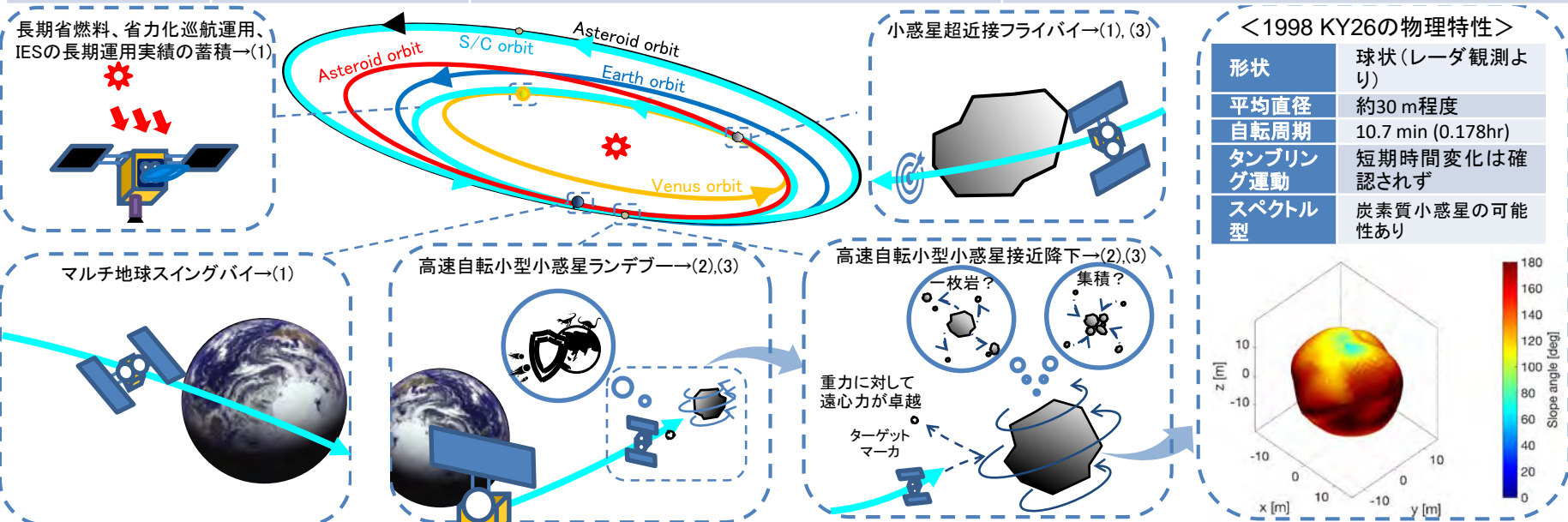
1. はやぶさ2拡張ミッションについての検討

(2) 選定されたシナリオ (EAEEAシナリオ) の概要

- ミッション意義:
- (1) 太陽系長期航行技術の進展
 - (2) 高速自転小型小惑星探査の実現
 - (3) Planetary Defenseに資する科学と技術の獲得

<ミッションシーケンス>

達成時期	イベント	工学成果	理学成果
2021~26年中期	巡航運用	長期省燃料/省力化巡航運用技術の獲得	巡航運用中の黄道光観測 / 系外惑星探索
2026年中期	2001 CC21フライバイ	<ul style="list-style-type: none"> ・日本初の小惑星超近接高速フライバイ技術の獲得 ・Planetary Defenseに資する技術の獲得 	L型小惑星のフライバイ観測による制約
2027年後期	地球スイングバイ1	・マルチ(3回目)地球スイングバイ達成	地球スイングバイ時の月観測による搭載理学機器校正
2028年前期	地球スイングバイ2	・マルチ(4回目)地球スイングバイ達成	地球スイングバイ時の月観測による搭載理学機器校正
2031年後期	Fast Rotator (1998KY26) ランデブー	<ul style="list-style-type: none"> ・長期深宇宙航行の進展(最終フェーズ完遂) ・Fast Rotator天体探査技術の獲得 	<ul style="list-style-type: none"> ・高速自転小惑星の形成・進化の解明 ・Planetary Defenseに資する科学の獲得



(画像クレジット: JAXA)

2. 戦略的中型・公募型小型選定済みミッションへの対応

(1) 戦略的中型: LiteBIRD

米国製検出器に依存しない体制を構築という考え方もあるが、日本チームとしては、米国からの参加を促す方向を第一選択肢とする。関連するNASAとの協議の進展も踏まえつつ、米国当該コミュニティとのコミュニケーションを進める。

(2) 公募型小型: 小型JASMINE

関連するNASAとの協議の進展も踏まえつつ、米国製検出器に依存しない国内体制構築の必要性は高いと結論。この体制構築においては、広く関連研究組織を募ることで、獲得される技術的ノウハウの応用範囲が広がり、その活動成果の価値がより高まることを意識して進める。

3. 戦略的海外共同計画の状況及び進め方

(1) 二重小惑星探査計画Hera

FY2021作業着手に向け、現状概算予算要求等文科省と協力しながら調整を進めている。

- **採択状況**: HeraはESAの二重小惑星探査計画として2019年11月に正式採択
- **実施概要**: HeraはArian-6ロケットで2024年10月に打ち上げ、2027年1月にS型の地球近傍小惑星Didymos(連星系)にランデブし、約半年間かけて探査する計画
- **観測機器**: Heraの搭載機器は、可視カメラ、熱赤外カメラ、レーザ高度計、モニタカメラ、2機のキューブサットで構成されている。このうち、熱赤外カメラ(TIRI)は日本が開発を担当する。
- **国際連携**: NASAの小惑星衝突機DART(Double-Asteroid Re-direction Test)がDidymosの衛星に衝突した後に形成される衝突クレータや周囲のイジェクタ堆積物、連星系の軌道変化の様子をHeraが近傍で詳細観測することによって、探査機衝突による小惑星軌道修正の効果を評価する (= 小型小惑星の地球衝突回避のための技術実証)。
 - NASAのDARTとHeraで構成するAIDA(Asteroid Impact and Deflection Assessment) は、史上初の本格的な国際共同Planetary Defenseミッションである。
 - DARTはNASAのPDCO(Planetary Defense Coordination Office, 2016年設置)の初号機、HeraはESAのPlanetary Defense Office(2019年設置)の初号機である。
 - Planetary Defenseは惑星探査で蓄積した科学的知見と観測技術、宇宙探査技術を活用した人類社会の安全安心への貢献(防災科学)である。

3. 戦略的海外共同計画の状況及び進め方

(1) 二重小惑星探査計画Hera(つづき)

■ 意義・価値:

約700億円規模(Hera約357億円、DART約345億円)の国際共同ミッションに、わずか1%(約8億円)の投資により得られる意義価値は以下のとおり。

◆ 世界から高く評価された得意技術と科学成果

- 熱赤外カメラの提供による小惑星表層物性の探査。熱赤外カメラで得られたデータは日本に優先権があり、その他の科学の解析には、欧州研究者と同条件で携われる。

◆ 世界トップの経験と実績(はやぶさ、はやぶさ2を継承する知見)で参画し、Heraの科学成果に貢献

- 小惑星での人工クレータ形成を通しての衝突現象
- 微小重力天体の地質
- 小惑星ラブルパイル天体の物理

◆ 世界を先導する小惑星探査の宇宙理工学の知識と技術で人類社会に貢献: Planetary Defense

- 世界的潮流であるPlanetary Defense (NASAは2016年、ESAは2019年に部署設立)に、日本が世界に対して貢献する第一歩を踏み出す。

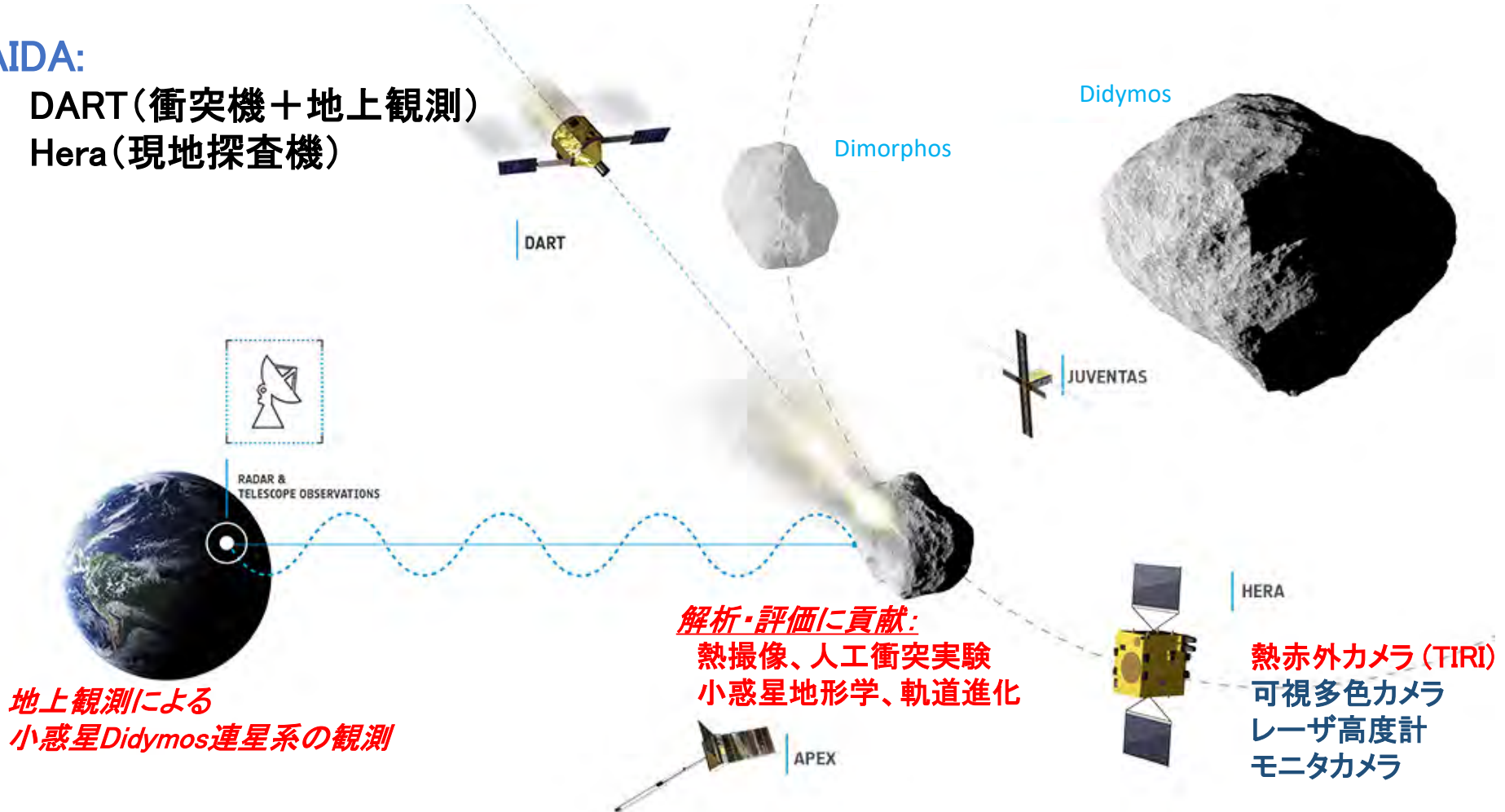
(2) その他新規2件(Roman, WSO-UV)

FY2021概算予算要求には含めないものの、2022年度以降の要求が必要となるため本年12月工程表改訂時には記載頂く方向で内閣府、文科省と協力しながら調整を進める。

国際共同Planetary DefenseミッションAIDAの概念図

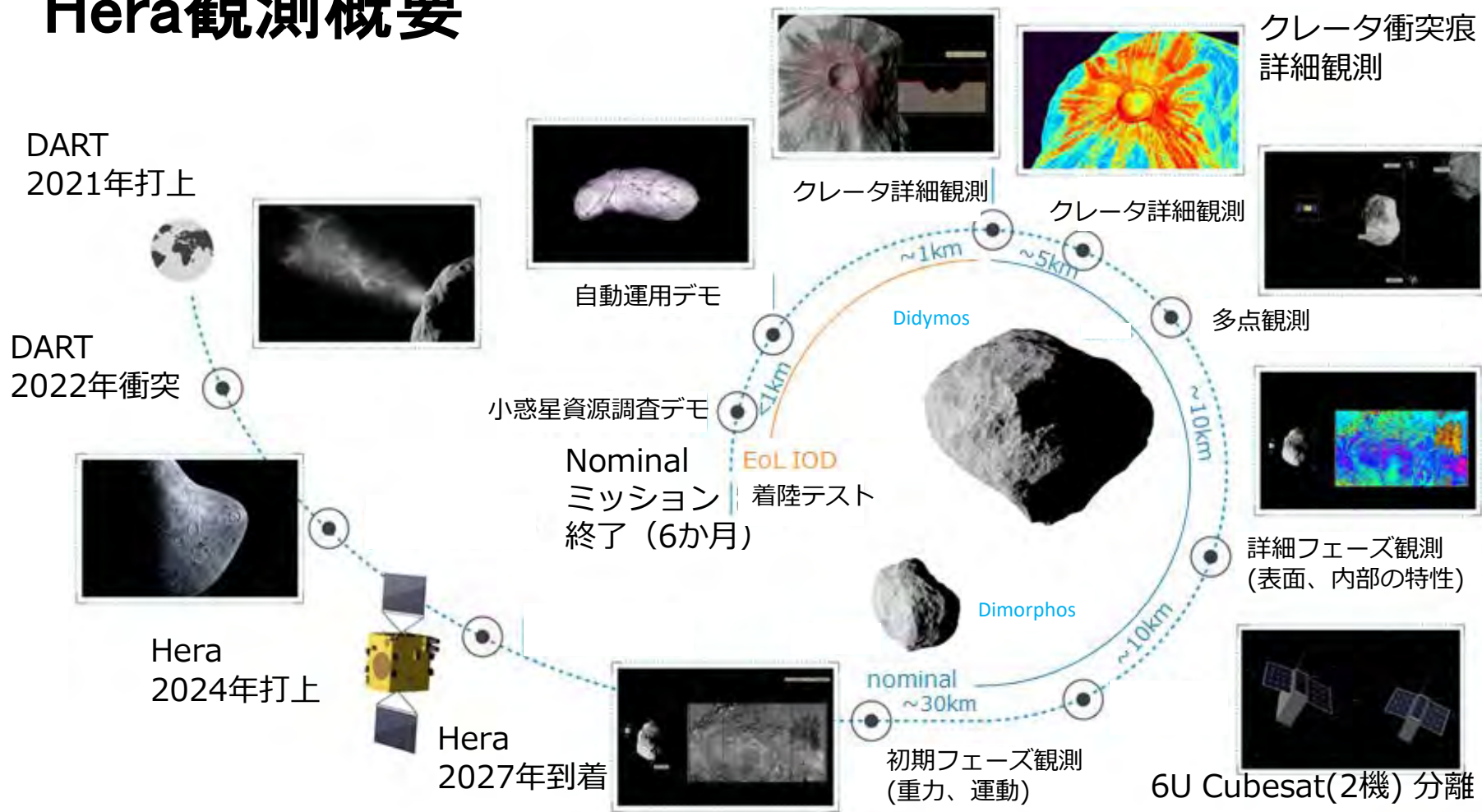
AIDA:

- DART(衝突機+地上観測)
- Hera(現地探査機)



- ① NASAのDARTが小惑星Didymosの衛星Dimorphosに衝突する様子を地上観測で調査
- ② その後にESAのHeraがDidymos連星系にランデブーし、近傍から観測を実施
- ③ 2機のキューブサットも用いて詳細な接近調査も行う。

Hera観測概要



- HeraはDidymosに到着後、徐々に高度を下げて詳細な観測を実施する。
- JAXAが開発するTIRIによって、高度30~20kmでDidymosと衛星Dimorphosの連星系全体を含む視野で観測し、徐々に高度を下げて局所的な高解像度観測へと移行する。
- 最終的には数kmの高度から、DARTによる人工クレータやその他の特徴的地形の詳細な観測を実施する。

4. フロントローディングの実施状況

これまでの探査小委での議論の結果、優先実施すべき技術領域である、

- ①超小型探査機技術、②輸送システム技術、③月惑星探査機技術、④天体表面活動技術、⑤宇宙用冷凍機技術

以下の考え方にに基づき詳細検討を行いFLを選定し(次ページ)、実施している。進捗状況を12月に報告する予定である。

- (1) ISASが掲げる宇宙大航海時代へ向けて、超小型(100kgクラス)の探査機での深宇宙探査に必要な基盤となる技術開発に注力する。
- ①日本の強みである超小型探査機技術をさらに進化
通信・電源(半永久電源(外惑星探査電源)基礎技術研究)系・コンピュータ・センサ類・推進系(電気、化学)など
- ②本格的な超小型探査機を実現するために欠けている技術を促進
超小型探査機を深宇宙に送り込むための自在な輸送システム/推進系、周回投入技術、超小型の惑星着陸技術
- (2) 日本の強みである技術の開発
- ・宇宙用冷凍機技術
 - ・センサ高性能化(赤外線等)研究開発

これらを実現することにより、世界に冠たる我が国独自の技術習得が可能となり、我が国の宇宙科学探査としての優位性のあるミッション創出を図る。

付録

1. 具体的な戦略的海外共同計画の推進

- (1) 近年の宇宙研のミッションは、世界でも注目されるものが出て来ており、そこへ参加し成果を出すことを望む世界からの貢献を受け入れつつ、日本の強みを世界に見せる機会としている。
- (2) 実際、日本の得意分野が国際的に認知され、それを通じての海外ミッションへの参加が海外機関から要請されることが起きている。
- (3) その中から厳選し、有力な海外ミッションへの参加を可能とすることで、コストパフォーマンス高く日本の科学者に成果創出機会をもたらす。特に、日本では主導できない大規模計画への参加機会提供の意義は高いと考える。
- (4) さらに、日本の得意分野の国際的優位性を確定し、人材交流機会を通じ宇宙科学コミュニティの活性化や次世代人材育成にも寄与する。

この枠組みは、「科学技術外交」「人材育成」にきわめて効果的であり、新宇宙基本計画にも促進することが追記された。

1. 具体的な戦略的海外共同計画の推進

(5) 宇宙科学予算規模において、戦略的海外共同枠に10億/年程度を配分することで、上記意義価値を獲得することが可能。

(6) 新規ミッションとして、以下の意義の高いものを厳選した上で検討を進めている。

(i) 宇宙望遠鏡Roman / 米国NASA: 大口径宇宙望遠鏡、コロナグラフ(系外惑星直接撮像技術)の実証を分担。

(ii) 小惑星探査計画Hera / 欧州ESA: 欧米と共同しての、小惑星探査の新展開(Planetary Defense)。

(iii) 紫外線望遠鏡WSO-UV/露ロスコスモス: 系外惑星高層大気分光観測から、海惑星を探索することを日本が担当。

JAXA主導ミッション

XRISM

NASAが主センサを提供



MMX

NASA, CNES, ESA等がセンサ等を提供予定



DESTINY+

DLRがセンサを提供予定



Solar-C

NASA, CNES, ESA等がセンサ等を提供予定



海外主導ミッション

Roman (旧称WFIRST)

JAXA地上局による通信協力、コロナグラフ装置への基盤、素子を提供予定



WSO-UV

JAXAが高感度紫外線検出器観測機器の一部を提供予定



JUICE

JAXAが高度計等のセンサの一部を提供



Hera

JAXAが熱赤外カメラ等観測機器の一部を提供予定



Athena (検討中)

X-IFUの冷凍機の一部を担当予定



国際共同ミッション

Bepi Colombo

JAXAが水星磁気圏探査機を、ESAが水星表面探査機と電気推進モジュールを提供



SPICA (検討中)

JAXAが冷凍機等を、ESAが観測モジュール等を提供



戦略的海外共同計画 (1) 宇宙望遠鏡 Roman (旧称: WFIRST)

施策の概要・目的

- アメリカ航空宇宙局 (NASA) が2025年度の打ち上げを目指して進めるRoman宇宙望遠鏡計画に我が国も参加し、宇宙の加速膨張史と構造形成の高い精度での観測及び太陽系外惑星の全体像を捉える観測を中心とする天文学研究を行う。
- 口径2.4mの光学望遠鏡に「広視野観測装置」を搭載し、近赤外線波長域での広範な撮像・分光観測を実施することにより、(1) 数億個以上の銀河の空間分布、光度、形、赤方偏移の測定や遠方のIa型超新星の高精度観測により加速膨張をもたらす「暗黒エネルギー」理論などを検証、(2) 我々の銀河系の数億個の恒星の光度変化から重力マイクロレンズ手法により、軌道半径が大きな太陽系外惑星数千個を網羅的に検出しその全体像を理解、(3) 広視野を活かした様々な天文学研究の推進、(4) コロナグラフ装置による太陽系外惑星直接観測の技術実証を行う。
- JAXAは、(1) コロナグラフ装置における偏光機能を実現する光学素子の設計・製作、コロナグラフ・マスク基板の製作、(2) 広視野観測で得られる大量のデータの受信を可能とするKa26.5GHz帯における、JAXA地上局によるデータ受信協力、(3) すばる望遠鏡を用いた協調観測、(4) 地上望遠鏡を用いたマイクロレンズ協調観測、を実施する国際協力パートナーとして参加する。

JWST (ジェイムズ・ウェッブ宇宙望遠鏡) に続く宇宙物理のフラッグシップミッションにジュニアパートナーとして参画することで、日本単独では得られない科学成果を獲得できる。

期待される効果

【プロジェクト全体の成果・効果】

- 近赤外線広視野観測による撮像・分光データの取得により、人類の新たな知見として、これまでにない宇宙像を得てその理解を進めることができる。
- 宇宙の加速膨張をもたらす暗黒エネルギーの存在及びその性質の理解の手がかりを得る。
- 太陽系外惑星の質量・軌道分布の全体的な描像について知ることができる。
- 宇宙空間での高コントラスト技術実証観測を行い、将来ハビタブルゾーンにある地球サイズの惑星の観測を実現させるために必要な技術を成熟させる。

【我が国の参加により得られる成果・効果】

- 日本の参加によって、Roman計画の科学的な価値を高めるとともに、プロジェクトの実現性を高め、より確実な実施に貢献する。また、データ受信協力により大量のデータ受信の信頼性を確保するとともに観測頻度を高めデータの精度を高める。
- 協調観測によりRomanの成果創出に日本の研究者がより深く関与し、科学成果の最大化に貢献することで、宇宙論・太陽系外惑星及び様々な天文学分野の研究成果創出に寄与する。
- 将来の高度なミッションのための技術的ノウハウの蓄積および基盤の整備を行う。



宇宙科学・探査小委員会
(第39回)資料を再掲



広視野装置の視野模式図

日本からの参加形態

- **コロナグラフ装置の機能強化**
日本が経験を持つ偏光光学系を活かして**装置の一部となる光学素子をハードウェア提供**
- **地上局データ受信**
JAXA施設を機能強化することによるデータ受信協力。
JAXA機能を提供。
- 日本が持つ世界的にもユニークで優れた観測手段を活用して協調観測によるサイエンス協力
- Romanの中心的研究分野での日本の研究者の高い実績と評価に基づくサイエンス協力

基礎データ

- 主鏡口径 2.4m の宇宙望遠鏡 (可視光～近赤外線: 0.6–2.0 μm)
- 広視野装置 WFI (宇宙論、マイクロレンズ系外惑星)
- 技術実証コロナグラフ装置 CGI
- 打上げ年度: 2025年度 (予定)
- 打上げロケット:
- ミッション期間: 5.3年
- 国際協力: 米国、日本、欧州

戦略的海外共同計画 (2)二重小惑星探査計画 Hera

宇宙科学・探査小委員会
(第39回)資料を再掲

二重小惑星探査計画Hera

施策の概要・目的

- 欧州宇宙機関(ESA)が2019年11月に選定した二重小惑星探査計画「Hera」に我が国も参画し、惑星形成過程において普遍的な物理現象である「**始原天体の微小重力下での衝突進化**」の解明と、人類社会への潜在的脅威となる「**地球近傍小惑星の衝突回避技術の実証**」を実施する。
- 米国航空宇宙局(NASA)の小惑星衝突機「DART」がS型小惑星Didymos連星系の衛星に衝突後に、Heraがランデブして連星系の表層物理状態の全球調査、人工衝突痕の詳細観測、衝突後の精密軌道決定を実施する計画。
- JAXAは、4搭載観測機器・2子衛星のうち熱赤外カメラ(TIRI)を開発・提供するとともに、人工衝突痕の観測や、表面地形・地質構造、衛星軌道決定について科学検討チームに参画。史上初の本格的な**国際共同Planetary Defenseミッション**にジュニアパートナーとして参画することで、日本単独では得られない科学成果を獲得できる。

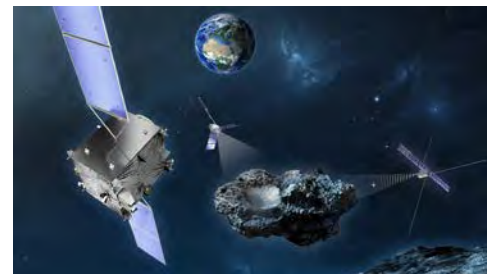
期待される効果

【プロジェクト全体の成果・効果】

- ・惑星形成過程の理解につながる普遍的な微小重力下での天体衝突現象の解明
- ・地球近傍に多いS型小惑星の物理状態の理解(C型小惑星リュウグウとの比較)
- ・人類社会への潜在的脅威となる小惑星の地球衝突を回避させる技術の確立

【我が国が参加により得られる成果・効果】

- ・日本が得意とし、世界的評価のある熱赤外カメラを含めて国際協力計画に参加することにより、高い科学成果創出と同分野での主導的役割が維持できる。
- ・日本が世界を先導する衝突科学で、かつ「はやぶさ2」衝突装置による人工クレータ形成実験の実績と知見を活かすことで、科学成果創出に日本の研究者が深く関与でき、惑星科学の衝突現象の理解に主導的役割を果たすことができる。
- ・史上初の国際共同Planetary Defenseミッションに日本も参画することができる。



Hera

微小重力下での
衝突現象

S型小惑星の
物理状態

小惑星地球衝突
回避の技術実証

日本からの参加形態

- TIRI(熱赤外カメラ):日本が世界に誇る熱赤外カメラの機器提供
- 世界を先導する日本の小惑星探査成果・技術・知見(以下)を活かしたサイエンス協力
 - TIRIによる史上初の小惑星熱撮像による物性測定
 - 衝突装置(SCI)による史上初の小惑星人工クレータ実験・多数の室内実験
 - Hayabusa1/2での小惑星地形・地質学の実績や軌道計算

基礎データ

探査機主要諸元

- ・重量:870kg(推進薬含む)
- ・寸法:2.2 x 2.0 x 1.8 m
- ・打上げ年度:2024年度(予定)
- ・打上げロケット:アリアン6ロケット(欧州が打上げ)
- ・運用期間:3年間(2024~2027年)
2024年度上げ、2027年度到着、約6か月間観測

探査機システム担当:ESA(欧州宇宙機関)
観測機器担当:各国機関(日本も1機器提供予定)

戦略的海外共同計画 (3) 紫外線望遠鏡 WSO-UV

宇宙科学・探査小委員会
(第39回)資料を再掲

施策の概要・目的

(World Space Observatory-UV)

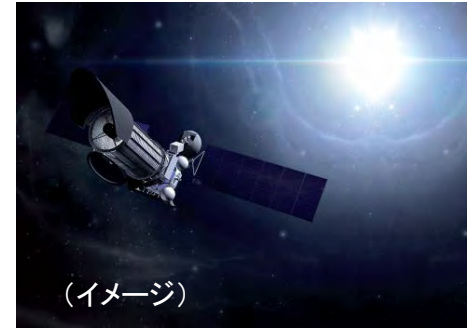
1.7m 紫外線宇宙望遠鏡

WSO-UV

「地球のような惑星
は他にあるのか？」

水素・酸素高層大気
観測から表層環境を
推定

銀河系形成進化



(イメージ)

○ロシア宇宙機関が2025年度の打ち上げを目指し開発を進める口径1.7mの紫外線望遠鏡World Space Observatory UV(WSO-UV)に参画し、現在宇宙科学で最も重要な研究対象である太陽系外の「地球類似惑星候補」を観測する。特に、生命存在の議論に重要となる表層環境(海洋の有無等)に迫るため、酸素大気の観測を行う。地球と同程度の大きさの系外惑星は多数見つかっているが、表層環境については現状は全く不明である。本計画の遂行によって**世界初の地球類似惑星の発見**が期待される。

○WSO-UVには、高分散分光器(WUVS)、紫外線撮像器(FCU)に加えて、系外惑星観測に特化した高感度低分散分光器(UVSPEX)が搭載される予定であり、JAXAはUVSPEXの開発と系外惑星科学の研究推進を主に担当する。

高層酸素大気観測から地球類似惑星の発見を2020年代に実現できる可能性のある現状唯一の計画であるWSO-UVにジュニアパートナーとして参画することで、日本単独では得られない科学成果を獲得できる。

期待される効果

【プロジェクト全体の成果・効果】

- 太陽系外惑星の大気理解
- 銀河系の形成進化の研究
- 星系における物質の集積・流出の理解

【我が国の参加により得られる成果・効果】

- 酸素・水素の高層大気観測により地球型惑星の表層環境に迫る。
- 2020年代に太陽系近傍で発見が見込まれる、ハビタブルゾーン内の地球型惑星を全て観測する。
- 低層大気を狙うNASA/JWST(ジェームズウェッブ宇宙望遠鏡)等の数千億〜1兆円規模の計画でも地球型惑星の酸素大気観測は非現実的。高層酸素大気観測から地球類似惑星を見つけるアイデアは日本発で、2020年代に実現できる可能性のある現状唯一の観測手法。ロシア側では系外惑星研究は盛んではないため、日本主導で進められる。
- 日本の高感度紫外線検出器はNASA等海外研究機関からも注目されており、2030年代の超大型計画での使用も検討されている。

日本からの参加形態

○UVSPEX(高感度低分散分光器):日本が世界をリードする高感度紫外線検出器を用いた低分散分光器を提供

○太陽系外地球型惑星の高層大気観測手法、データ解析、大気モデルの構築等、サイエンスへの参加

基礎データ

宇宙望遠鏡主要諸元

- 重量: 1,600 kg(ドライ)、2,900kg(推進薬含む)
- 電力: 750 W

打上げ年度: 2025年度(予定)

打上げロケット: プロトンロケット(ロシアが打上げ)

ミッション期間: 5年間

探査機システム担当: INASAN(ロシア天文学研究所)

観測機器担当: ロシア、スペイン、日本

FY2020に実施するFL項目

技術領域	要素技術	項目	技術成熟度TRL*1	
			現在	FL後
①超小型探査機技術	超小型衛星システム技術、バス/観測機器の超小型/超低消費電力化	1. 超小型統合AOCSユニットの開発	4	5
		2. 小型軽量MEMS-IRUの開発	4	5
		3. 軽量薄膜太陽電池パドルの開発	4	5
		4. 半永久電源(外惑星探査電源)*2	3	4~5
②輸送システム技術	再突入帰還飛行技術、柔軟エアロシェル技術(EDL)	5. 超小型の惑星EDL技術	4	5
		6. 超小型惑星着陸技術と惑星表面での活動のための基盤技術	4	5
③月惑星探査機技術	深宇宙航行技術(推進系技術、軌道間輸送技術)			
④天体表面活動技術	サンプルリターンカプセル技術、ローバ技術			
⑤宇宙用冷凍機技術	宇宙観測技術の高感度化、冷凍機の高性能化	7. スターリング冷凍機の高信頼化・長寿命化の実現	4	5
		8. 宇宙用冷凍機の駆動回路系による擾乱制御技術の開発	4	5
		9. センサ高性能化(赤外線等)*2	4	5

*1 TRL3: クリティカル機能や特性の分析的及び実験的なコンセプト証明

TRL4: 対象のブレッドボードモデル(BBM)の実験室環境での妥当性(有効性)確認

TRL5: 対象のエンジニアリングモデル(EM)の相当環境での妥当性(有効性)確認

*2 今年度に検討を進め、FY2021より新規項目。