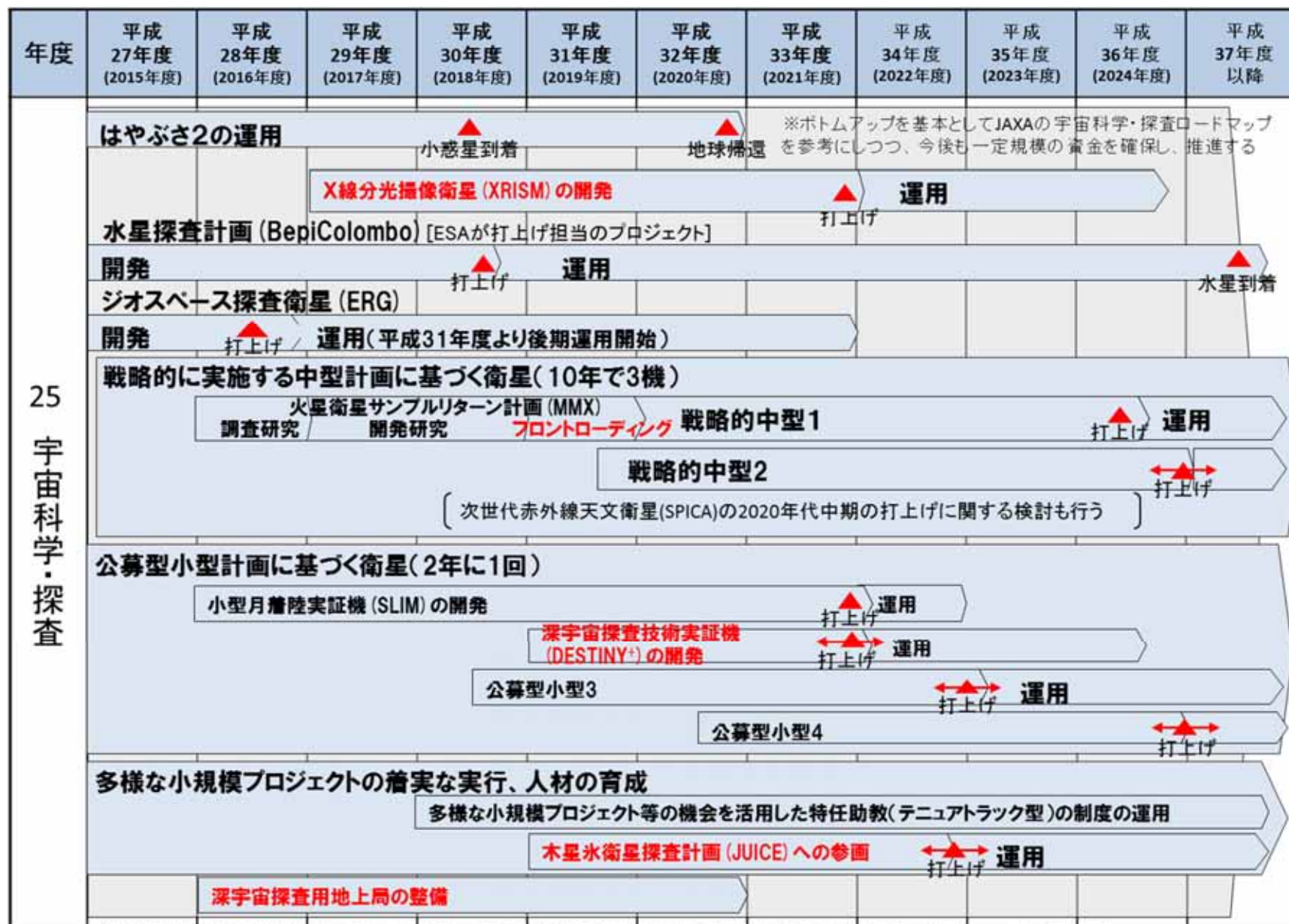


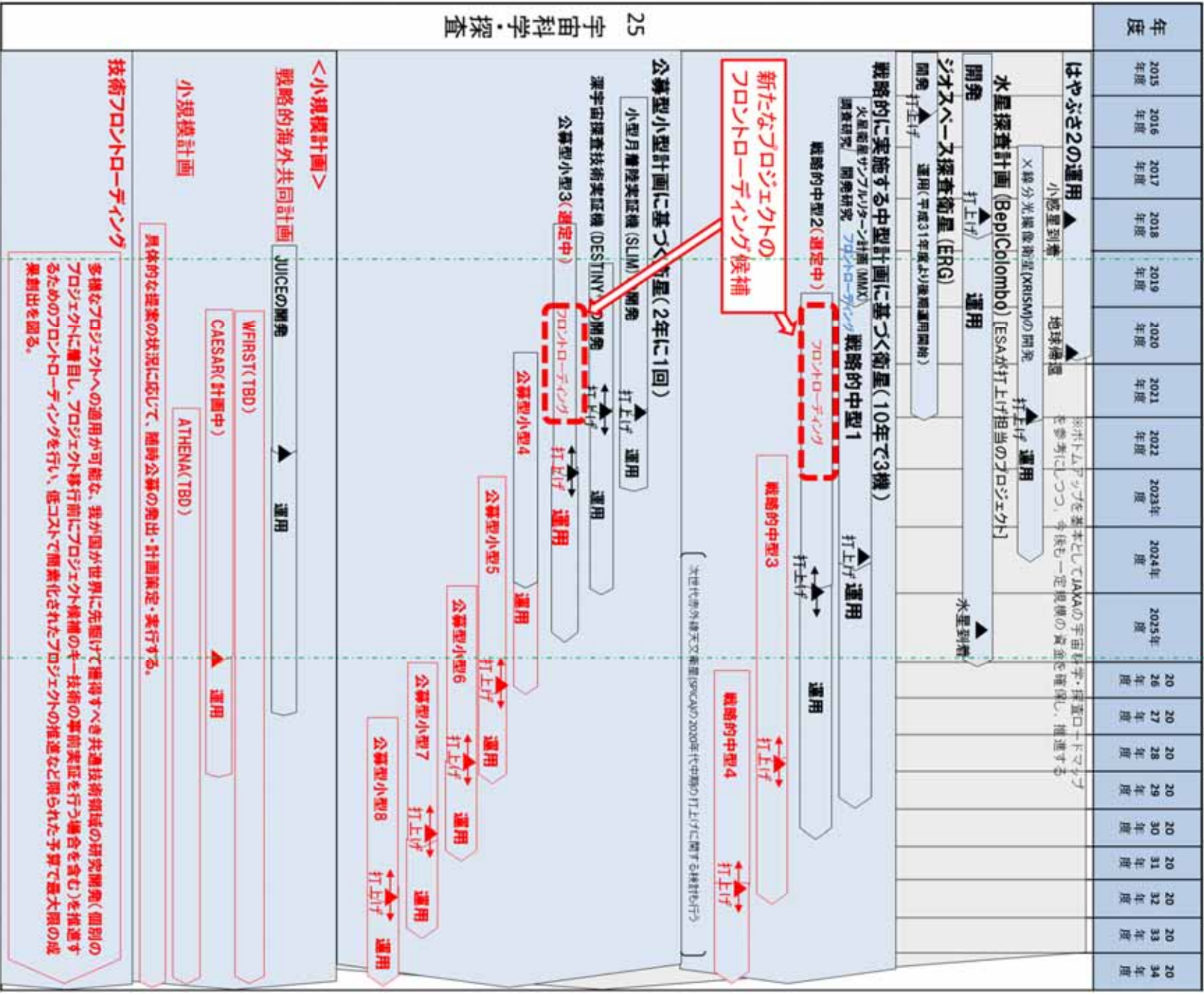
# 宇宙科学・探査ロードマップの推進方策案

## 現在の工程表



※太陽系探査科学分野については、ボトムアップの探査だけでなく、プログラム化された探査も進める ※以上すべて文部科学省

# 宇宙科学・探査ロードマップの推進方策案 宇宙科学・探査プログラムの中長期立上げ計画(検討中)



2019/5現在

現在の工程表の範囲 →

# ・各分野における将来構想検討

1. 天文学・宇宙物理学分野

2. 太陽系探査科学分野

3. 宇宙工学分野

注)以降現状コミュニティの意見を踏まえ、見直しを実施中。

# 1. 天文学・宇宙物理学分野の将来構想(1/4)

## 分野全体を俯瞰する将来ビジョン

宇宙観測の利点を用いて宇宙の「成り立ち」と物理・化学の基本課題に挑む。

**大目標:「宇宙の空間と物質の起源の理解」「宇宙における生命の可能性の探求」**

- 我々の宇宙の「なりたち」の理解にかかわる課題:

宇宙の時空間と構造の起源(インフレーション, 宇宙の加速膨張)、多様な天体の形成過程(銀河の形成、星・惑星の形成、元素合成)、宇宙における生命の可能性(太陽系外惑星)など。

- 物理学の根幹にかかわる課題:

素粒子論と物質の根源(暗黒物質、中性子星)、一般相対論の検証(暗黒エネルギー、ブラックホール、重力波)、極限状態の物理学(プラズマ過程、粒子加速、分子・固体形成)など

## 今後20年程度を通して、日本が採るべき戦略

- 広範な国際協力の下、国際的優位性をもつ分野を柱としてさらに発展させる。同時に、インパクトのある新分野を育成し、有望な萌芽的課題を世界に先駆け開拓する。
- H2/H3ロケットによる戦略的中型、イプシロンロケットを用いた公募型小型、相乗り機会や海外計画への参加による小規模計画を、柔軟かつ適正に組み合わせる。
- 中型ミッションは、研究コミュニティ(学会、学術会議等)、宇宙理工学委員会、およびISASでの審議や検討を通じ、段階的かつ戦略的に選定する。
- 宇宙工学や国内先端産業と協力して独創的な技術を開発し、日本の宇宙活動に貢献する。関連大学や近隣分野と、研究上・技術上、人的な連携交流を一段と強化する。

# 1. 天文学・宇宙物理学分野の将来構想(2/4)

## 今後20年を見通した戦略

- 主たる科学目標に沿って、とくに宇宙とその構造の起源、太陽系外惑星における生命の兆候についての研究を戦略的に進めるとともに、宇宙のなりたちと極限状態の物理・化学現象を解明する先鋭的な宇宙物理学研究を実施する。
- 太陽系外惑星における生命可能性の探査など、超大型の望遠鏡・観測装置による高感度化・高精度化が必須となる科学目的の達成には、戦略的中型・公募型小型を含むミッション機会の戦略的かつ弾力的な運用を行って国際計画に参加し日本の研究者の科学目標の達成に寄与する。そのための強みとなる技術の強化とともに、将来ミッション像に合致した応用性の高い技術領域を同定して技術開発を推進する。
- 我が国が主導する戦略的中型・公募型小型においては、特化した先鋭的な科学目的を見極め世界に先駆けて実行することをめざす。強みとなる技術の発展および挑戦的な技術の獲得を目的を絞った公募型小型として実現し、戦略性を持った将来への発展的応用をすすめる。
- 惑星分野と連携しての宇宙からの系外惑星観測を推進する。



# 1. 天文学・宇宙物理学分野の将来構想(3/4)

## 今後5年程度の目標

(戦略的中型衛星規模で行う計画)

- X線分光撮像衛星 XRISM

我が国が主体となり、米国・欧州との協力により、広帯域で高いエネルギー分解能のX線分光観測を行うXRISM衛星を打上げ、宇宙の高温プラズマにおける物質循環・エネルギー輸送過程と天体の進化の解明を目指す。ASTRO-H衛星でめざした最重要な科学目的を達成する。

- マイクロ波宇宙背景放射観測衛星 LiteBIRD(選定中)

我が国が主体となり、原始重力波の痕跡である宇宙マイクロ波背景放射の偏光B-mode観測など、新たな手段により、インフレーション機構による宇宙創成シナリオを検証するためのLiteBIRD計画を推進し、戦略的中型2号機としての打上のための設計・製作を行う。

- 次世代赤外線天文衛星 SPICA(TBD)

主要な分担者として欧州宇宙機構(ESA)との国際協力を確立し、遠赤外線観測により初期宇宙からの現在までの銀河形成史を明らかにし、また星や惑星系の誕生過程を解明するため、次世代赤外線天文衛星SPICA計画を推進する。2030年頃までの打上のための開発・設計を行う。

(公募型小型衛星規模で行う計画)

- 赤外線位置天文衛星 小型JASMINE(選定中)

我が国が主体となり、近赤外線を用いた位置天文学(アストロメトリ)の手法により我々の銀河系(天の川銀河)バルジ構造の中心領域を観測し銀河系構造の起源を解明する小型JASMINE計画を推進する。公募型小型3号機として公募選出の場合、打上のための開発・製作を行う。

- ガンマ線バーストを用いた初期宇宙観測衛星 HiZ-GUNDAM(選定中)

我が国が主体となり、宇宙最初期のガンマ線バースト天体の検出と重力波天体の電磁波観測のための時間変動現象を主体としたマルチメッセンジャー天文学を推進する計画。公募型小型3号機として公募選出の場合、打上のための開発・製作を行う。

# 1. 天文学・宇宙物理学分野の将来構想(4/4)

## 今後5年程度の目標 (続き)

(戦略的海外共同計画)

- **米国NASAの広視野宇宙望遠鏡 WFIRST計画(TBD)**  
宇宙の加速膨張と暗黒エネルギーの性質解明、そして、太陽系外惑星研究を中心とするWFIRST計画(2025年頃打上)に観測装置開発・地上望遠鏡・地上受信局の協力を通じて参加する。すばる望遠鏡やMOA望遠鏡などこれまでの日本の天文学研究の発展と位置づけられる。
- **欧州ESAの国際大型X線天文台 ATHENA計画(TBD)**  
宇宙初期の巨大ブラックホールや銀河団の初期形成期を研究する国際大型X線天文台ATHENA計画(2032年頃 打上)に参加する。我が国の技術的強みである機械式冷凍機システムなどで貢献し、XRISMからの大きな科学的発展を得る計画と位置づけられる。
- **欧州ESAの大型重力波天文台 LISA計画(TBD)**  
宇宙史を通じた銀河の巨大ブラックホール形成による重力波観測や強重力場における一般相対論の検証など、本格的なスペース重力波天文台となるLISA計画に参加する。KAGRAからの発展として将来の我が国が主体となる原始重力波スペース観測の基礎研究としても位置づけられる。

## 2. 太陽系探査科学分野の将来構想(1/3)

### 分野を俯瞰する将来ビジョン

- 太陽物理学

太陽活動(フレアやコロナ現象)の起源を理解するとともに、太陽のプラズマ現象を理解し、磁場の起源と変動に迫る。そこから、宇宙天気予報を実現し、人類の宇宙進出を支え、地球環境への長期影響を解明する。

- 宇宙空間物理学(磁気圏プラズマ物理, 惑星大気科学)

太陽活動により変動する太陽圏・惑星圏環境を理解し、惑星大気プラズマのダイナミクスと進化を解明する。

- 惑星科学(固体惑星, 始原天体)

太陽系形成過程を物証に基づいて明らかにするとともに、太陽系における生命起源物質の進化過程を探る。

### 今後20年程度を見通して, 日本が採るべき戦略

- イプシロンロケットの活用等により適正規模の太陽系探査を高頻度で実施し、日本独自の技術や観測機器の実証を系統的に行える枠組みを構築する。
- 国際的な優位性を持つ太陽物理・磁気圏プラズマ分野は、世界の動向を踏まえた国際協力をさらに積極的に推進する。
- 始原天体探査は、世界におけるリーダーシップを意識し、はやぶさ・はやぶさ2の実績を発展させ国際的な優位性を確立する。
- 惑星周回探査や重力天体着陸探査については、国際宇宙探査と連携しつつ理工連携により独自の探査手法を構築し、欧米とは差別化された本格的探査を立案・実施する。
- 日本では実施できない規模の欧米主導ミッションへの参加を推進する。



## 2. 太陽系探査科学分野の将来構想(2/3)

### 20年先を視野に入れた目標

- 太陽の磁気プラズマ活動の本質を探るための超高解像度撮像を行う、太陽圏における多点観測機会を最大活用する等の方策から、太陽活動とその太陽圏への影響というテーマの探求を進める。
- 月、火星をターゲットにした惑星表面探査機を、国際宇宙探査と連携して実施する。
- 宇宙物質科学や惑星系形成論の進展と並走しつつ、小天体往復探査機(地球接近小惑星、彗星、トロヤ群小惑星など)を実施し、宇宙機による系外惑星観測も宇宙物理分野と連携して実施する。

### 今後5年程度の目標

- 小型月着陸実証機(SLIM)  
今後の月惑星着陸機に求められる高精度着陸技術を、小型軽量な探査機による月面着陸により実証するとともに月深部起源の岩石近傍に着陸し、その詳細観測から組成を明らかにし、それにより月の初期進化に関する知見を獲得する。
- 火星衛星探査計画(MMX)  
世界初の火星圏からのサンプルリターンミッションであり、火星衛星からのサンプル回収により、火星衛星の起源の解明、惑星形成過程と物質輸送への制約、火星圏進化史への新たな知見の獲得を目的とする。

## 2. 太陽系探査科学分野の将来構想(3/3)

### 今後5年程度の目標(続き)

- 深宇宙探査技術実証機 (DESTINY+)  
イプシロンロケットで地球周回長楕円軌道に投入され、電気推進での加速と月スイングバイにより地球圏を脱出し深宇宙に至ることで、従来よりも遥かに低いコストで深宇宙探査を実現し、小型深宇宙探査機技術(電気推進による宇宙航行技術の発展、フライバイ探査技術の獲得)により小天体探査の機会を広げる。また、ふたご座流星群の母天体である小惑星Phaethonのフライバイ観測を行うとともに、地球に飛来するダストを地球近傍の惑星間空間及びダスト供給天体であるPhaethon近傍でその場測定し、地球飛来ダストの物理化学特性を明らかにする。
- 木星氷衛星探査計画 ガニメデ周回衛星 (JUICE)  
欧州宇宙機関(ESA)の基幹ミッション。木星周回軌道から木星系の観測(磁気圏、木星大気、エウロパ・カリストのフライバイ観測)を実施し、「惑星はいかにして作られたのか?」「地球の外に水の海はあるか?」「太陽系で起きている環境の変動にはどのようなものがあるのか?」の3点の理解・解明を目指す。
- 高感度EUV/UV分光望遠鏡(次期太陽観測衛星)(Solar-C\_EUVST)(選定中)  
広い温度範囲の現象に対応する紫外線分光撮像観測により太陽彩層から遷移層、コロナまでをシームレスに観測し、太陽大気と太陽風の形成に寄与する根本的な物理過程を明らかにするとともに、太陽大気がどのように不安定となり太陽フレアや太陽面爆発を引き起こすエネルギーが解放されるのかを明らかにする等太陽活動の理解・解明に貢献する。
- 小型惑星探査ミッションの計画立案と実行  
科学的な成果に加えて、将来の惑星探査への技術的な蓄積を行い、高頻度な惑星探査機の実現のための枠組み(惑星探査機の小型化、イプシロンロケット活用)を構築する。

### 3. 宇宙工学分野の将来構想(1/3)

様々な宇宙科学の飛翔機会を活用して宇宙工学研究を創造的・実証的に遂行し、宇宙へのアクセス(より自在に)と宇宙でのモビリティ(より遠くへ)を確保すると共に、より多面的かつ高度な科学観測や探査活動を実現することにより、宇宙開発利用全体の将来に向けた貢献や人類的課題の解決に向けた先駆けとなる事を目指す。

#### 宇宙航行・輸送系の将来ビジョン

- ロケット推進、将来型の地上 / 低軌道間の輸送システム(イプシロンなど現行ロケットの段階的再使用化を含む)、軌道間の輸送、深宇宙航行のための多様な推進技術などの革新を図るための研究を、宇宙科学の飛翔実験機会等を活用し実証的に進める。
- 宇宙輸送と航行の抜本的な低コスト化と全太陽系内へのモビリティを実現する。

#### 探査機・衛星系の将来ビジョン

- 太陽光推進、非化学推進など革新的な宇宙航行システムの研究成果を反映させたミッション創出を図る。
- 自律化・知能化、モジュール化やネットワーク化、及びこれをベースとした軌道上結合/分離などの革新的な衛星探査機アーキテクチャにより、宇宙開発利用全体を牽引する成果創出を目指す。

## 3. 宇宙工学分野の将来構想(2/3)

### 宇宙航行・宇宙輸送分野の将来構想

#### 今後20年程度を見通して、日本が採るべき戦略

- 地上から地球周回軌道までのアクセス(将来宇宙輸送)と地球重力圏外へのモビリティ(太陽系探査)のための宇宙飛翔体における工学的課題に集中する。

#### 20年先を視野に入れた目標

- ロケット推進、将来型の地上/低軌道間の輸送システム、軌道間の輸送、深宇宙航行のための多様な推進技術などの革新を図るための実証的研究を、宇宙科学の飛翔実験機会を活用して推進し、宇宙科学の目的のみならず日本の宇宙開発利用に貢献する。

#### 今後5年程度の計画

- 打上げ頻度の最大化のため、ミッションの小型化・高度化(自律化・知能化)と連動し、低コスト・機動的なミッション創出と、太陽系探査科学のミッション実行可能性を拡大する。地球観測をはじめとする科学以外の打上げ需要の拡大と連携し、日本の小型ロケット打上げ機会の低コスト化・高頻度化のために、宇宙科学のミッション創出およびロケット技術の立場から貢献する。
- イプシロン高度化を含む将来輸送システム構築への貢献、および繰り返し飛行運用への転換を図る場としての、小型飛翔体による観測実験機会の革新のため、再使用観測ロケット計画を推進する。

### 3. 宇宙工学分野の将来構想(3/3)

#### 衛星・探査機および深宇宙探査に関する将来構想

##### 今後20年程度を見通して、日本が採るべき戦略

- 衛星探査機の高度化  
革新的深宇宙航行システムなどによる挑戦的ミッションの創出と実行のため、太陽光推進、非化学推進など革新的な宇宙航行システムの研究成果を反映させたミッション創出を図る。さらに自律化などの革新的な衛星探査機アーキテクチャ、エネルギー発生・伝送関連技術などで、宇宙開発利用全体を牽引する成果創出を目指す。
- 小型高頻度のミッション実行  
将来の惑星探査に必須な技術の実証、その成果に基づくフラグシップ探査計画の策定と実行
- 宇宙状況監視(デブリ観測・低減)、地球衝突小惑星対応など、科学以外の動機によるミッションにも宇宙科学の立場で積極的に参画する。

##### 20年先を視野に入れた目標

- 衛星探査機技術の高度化により、その成果を反映したミッションを立案し、小型化による太陽系探査ミッションの高頻度化だけでなく、探査範囲の拡大も狙う。
- 国際協力による補完関係構築し、特に「重力天体(月・火星・金星)の表面探査」と「小天体(小惑星など)の往復探査」を実現するための工学研究の推進とミッションの実行を目指す。

##### 今後5年程度の目標

- はやぶさ2、Bepi Colombo、SLIM、MMX、CEASER、DESTINY+及び小型科学衛星計画の着実な実施。
- イプシロンの高度化等我が国の基幹ロケットの検討と連動し、衛星および惑星探査機システム・サブシステムの小型軽量化・高機能化研究に取り組む。

## (参考) 理工学委員会からのこれまでの主な意見

宇宙科学・探査ロードマップに関するコミュニティとの意見交換のため4月15日に理工学委員会主催によるタウンミーティングが実施された。現在までの意見状況を以下に示す。

### ミッション

- ロードマップの超小型衛星の利用は惑星探査に特化している。宇宙観測や地球観測へも応用できるようにすべき。
- 超小型衛星の宇宙科学利用は衛星搭載機器の開発技術の維持やTRLの向上、若手の育成にも直結するため、長期的に見れば中・小型衛星計画の品質向上や成果創出にまで貢献できる。

### フロントローディング

- プロジェクト化に向けてミッション系、先端技術を先行開発する方向性は歓迎する。
- ミッション定義フェーズまでに、実現性確認のため多額の費用を要する提案は今後増加することも予想される。十分な資金手当が可能となるような仕組み構築が重要。

### 組織、人材育成

- 限られた予算で最大の成果を得るために、人的体制や組織作りを考えていく必要がある。マンパワー、人材育成、プロジェクトのコストや知見の共有と情報システム、等。宇宙科学を推進する人的体制や組織についての戦略を具体的に示していただきたい。
- 人材育成は、長期的な取組みが必要なミッションだけではなく、技術についても考慮する必要がある。