

宇宙科学・探査プログラムの進め方 及びプロジェクトの進捗状況

令和2年(2020年)10月20日

宇宙航空研究開発機構

宇宙科学研究所

國中 均

目次

1. ミッションカテゴリ設計の検討状況
2. フロントローディング
3. SPICAについて

1. ミッションカテゴリ設計のTF検討状況

1-1 (1) TFにおける議論：戦略的中型

■現在の戦略的中型ミッションの課題

1. 10年に3機の頻度では限られた分野の限られたテーマにしか対応できない。例えば天文宇宙分野、太陽系科学探査分野を交互に行うなど、より戦略的に進める必要がある。
2. 300億円という大規模のミッションに対して、その実現が「当該コミュニティ」の最優先課題（理念ではなく、リソース、取り組み、エフォート）として合意は得られているか？（他方、分野の拡大・変遷に応じて「コミュニティ」の在り方も変化している）
3. 公募のメリットは多くの優れた提案から最も良いものを選ぶこと。現在戦略的中型を目指すWGは限られており、今後の候補を含めても多数から優れた提案を選ぶ、というメリットを必ずしも満たさない。
4. 大規模な検討なので、「競争的過程」においてリソースを消耗し疲弊する。
5. 中型-小型など複数のミッションを含めたプログラム性を構築することが十分にできているか？（冷却ミッション技術、太陽系小天体探査、etc）
6. 国際協力はリスクのインパクト大（コスト、スケジュール、マネジメント）

■戦略的中型ミッションのあるべき姿

- ✓ 日本がリードする最大の科学プログラムである**戦略的中型**ミッションは「公募」ではなく、戦略的な立案と開発プロセスにおいて実施すべきである。
- ✓ 戦略的なミッションの選定における**重要な「戦略」要素**
 - 普遍的な高い科学的価値をもたらすミッションであること
 - 宇宙科学コミュニティの長期的・全体的ビジョンと整合すること
 - 戦略的中型プログラム複数での総合的な予算・リソースなどプログラムのゲインがあること
 - JAXA および 日本の科学的優位性・技術的優位性によるゲインがあること
 - 国際的な相補性の観点からのゲインがあること
 - 公募型小型や戦略的海外あるいは大気球・観測ロケット・超小型を含む
 - 複数のミッションをまたぐプランによるゲインがあること
- ✓ 戦略的中型ミッションの実施において**あるべき姿**
 1. 実施するミッションに十分なリソースをかけるべき
 2. 技術FL、先行実証ミッションの実施
 3. 早い段階から国際的な宇宙機関間の協力を構築すべき

1 - 1 (2) 戦略的中型における提言 (案)

- JAXA戦略的中型ミッションは、コンセプト公募からのダウンセレクトションという 完全な公募型の選定方式をあらため、宇宙科学研究所と宇宙科学コミュニティによる「戦略的」なミッションの選定と実施プラン に則って行うものとする。
- 当面 (5-10年内の選定) の頻度については、アンカーテナンシーを前提に、必要十分な頻度 (10年で3回) を目指す。コストプランについては、~400億円を前提とする が、戦略性に則ってミッション毎 に検討し (高いものもあれば低いものもある)、プロジェクト準備審査・プロジェクト移行審査において設定する。

1-2 (1) TFにおける議論：公募型小型

✓ 公募型小型のコスト構造が硬直的

コストキャップと頻度を決めると、10年あたりの総コストが決まってしまう構造。そのため、総コスト抑制策が、コストキャップの削減か、頻度の削減に限られてしまう。

✓ なぜそうなるのか

1. 衛星バスの費用が増加し、ミッション部に向けられる予算が十分でない。
2. ミッションの提案コストがコストキャップを下回らない
選定時の評価にコストの多寡が含まれないため、提案側にコストを抑制する動機がない。コスト一定の元、ミッション意義・価値を最大化する「企画提案方式」となっている。
3. 提案側が採用できるコスト抑制策が限定的である。
提案側が自身の責任の範囲内でコストを提案する方の独立採算型のため、コスト抑制の方策が限定的になる。

✓ どうなるべきか

コストの下方硬直性を緩和する方策を導入する。

提案側にコスト抑制を動機づけるとともに、コスト抑制策を総動員できる仕組みを構築する。

1-2 (2) 公募型小型 における提言(案)

- 10年で5機のイプシロンミッションの打上げ機会は維持する。総額として5機で750億円以上のコスト枠を目標値として設定する。
- 多様な分野からのミッション提案を募る上での開かれた機会は維持しつつ、公募毎の一定の条件を課すなど、画一的な運用から「公募の多様化」(100~180億円)を図る。
- 戦略的な技術獲得やイプシロンロケットの成長戦略とも整合する計画化を図り公募の多様化に反映する。
- 業務改革を含むコストの増大、海外協力も含むマネジメントリスクに対応するため、上のプランに実行性を持たせる施策を実施する。
- 小型の優位性であるタイムリーな打上げにより成果を創出する。

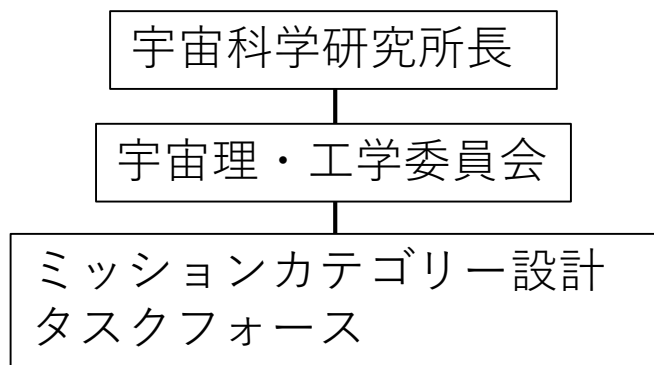
1 - 3 宇宙科学の戦略立案

戦略を立案する機能については、

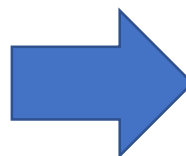
- ISASに組織を設けミッション立案機能とする
- 宇宙研と宇宙科学コミュニティで議論を集約して合意形成のもと進める

等について、TFで検討を進めている。

以上の検討結果について、理工学委員会（10/27）にて調整し、取りまとめる予定である。



宇宙科学プログラムとしての戦略的中型、公募型小型、戦略的海外共同計画、小規模計画について、要件・コストキャップと頻度について、提言を行う。



ISASにて
「宇宙科学・探査RM」
への反映を検討し改訂する。

2. フロントローディング

新たなFL実施項目として、日本の強みである技術となる下記項目については、それぞれ、

- ✓ 半永久電源（外惑星探査電源）基礎技術研究
⇒宇宙以外の電力インフラ分野（JAEA）と連携
- ✓ センサ高性能化（赤外線等）研究開発
⇒地上望遠鏡（国立天文台）、地球観測（オールJAXA）と連携

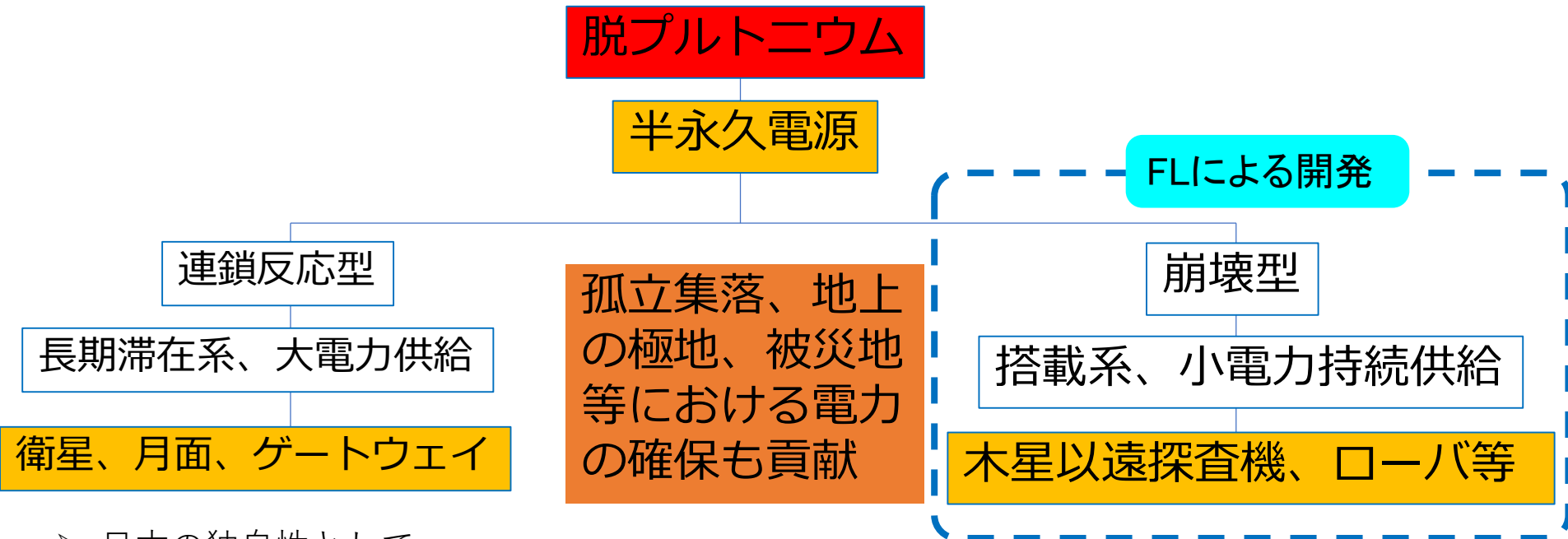
を図り、関係機関との調整を進めている。

半永久電源(外惑星探査電源)基礎技術研究

これからの深宇宙探査像；

- 太陽系創成期の天体の移動とそれにともなう物質輸送を理解することは惑星科学の最大課題
 - 木星以遠にある **ガス惑星** や **氷惑星** は太陽系における普遍的な存在。
 - 木星以遠の天体、あるいは太陽系外側に留まって独自の世界を作り上げている外側天体（例：エウロパ、ガニメデ、エンセラダス、）の理解は重要であり、**生命探査**に可能性。
- 探査の対象は木星へ、**課題は太陽光強度**
 - 木星と太陽の距離は5天文単位。地球と太陽の距離の5倍。
 - そのため、木星軌道での太陽光強度は地球の1/25となり、太陽光利用の限界。
- 更に土星系以遠へ
 - 土星と太陽の距離は10天文単位。太陽光強度は地球近傍の1/100以下であり、太陽電池による発電は至難。
 - **太陽光に依存しない発電技術の習得が必要。**

熱電変換型電源技術の出口イメージ



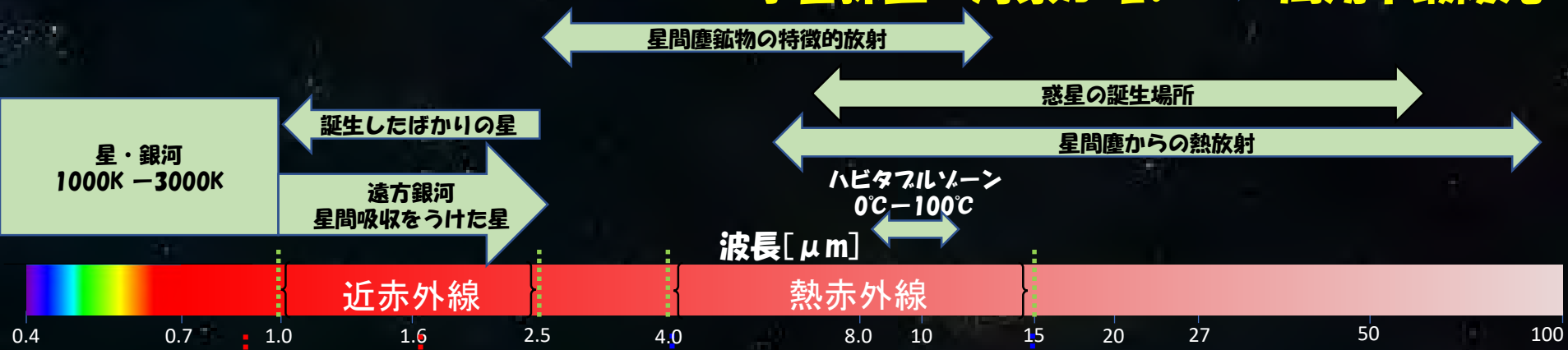
- 日本の独自性として、
 - 「脱プルトニウム」を前提とし、崩壊と連鎖反応のそれぞれを熱源として検討する。
 - 入手可能な天然由来物／原子炉使用済み燃料を含めて核種を選定する。
- シナジー効果への期待
 - ラジオアイソトープを医療に使用する試みが進められており、ラジオアイソトープの資源化に貢献。
 - 過去に検討された宇宙用小型原子炉に対しても「安全な輸送」という観点から、シナジー効果を期待。
- 地上の新たな電力源としての貢献
 - 孤立集落や地上の極地、被災地などにおける電力源として、社会貢献へ。
 - 地上のジオフロントやウォーターフロント／海洋探査等の特殊用途での電力確保にも貢献。

放射性物質による発電方式の比較

デバイス	ラジオアイソトープ・サーマル・ジェネレータ (RTG)			原子炉
規模	mW~100W級			kW~100kW級
元素	Am241	候補	Ra226	Pu238
熱源としての特徴	アルファ崩壊。 発熱量が比較的大きく熱源として機能可。	アルファ崩壊。 天然に存在。Ra226の崩壊熱は小。孫核種等が熱源となる	アルファ崩壊。 発熱量が大きく、米国では熱源として使用。	連鎖核分裂による高い発熱を利用。
発電方法	崩壊熱を利用した熱電変換による発電。 可動部はなく、安定な使用が可能。			熱を使いタービンを回すことで発電。暴走時に水蒸気爆発を起こした例がある。
毒性/漏洩時の懸念事項	煙検知器で使用。急性、亜急性及び慢性毒性による死亡例はない。	医療用に使用された経緯がある。ただし、管理は必要。	強い毒性を有する。	強い毒性を有する。
安全保障上の懸念	テロ等の対象になる可能性は極めて低い	天然に存在し、懸念事項は少ない。	高い管理が必要。	高い管理が必要。
調達性	購入が可能。 将来はプルサーマル燃料から抽出が可能	レガシーウェイトとして存在。 天然に存在はする。	入手は困難。 米国では原子炉を使用し生産。	商業炉や実験炉としての使用実績有

近赤外線センサと熱赤外線センサの観測範囲

宇宙探査：対象が暗い → 高効率最優先



将来的には 2.5 μmを狙う。

- ・InGaAs検出器
- ・1.6 μmカット
- ・-100°Cで実用
- ・効率 60-75%

連携を図り 共通技術を 推進

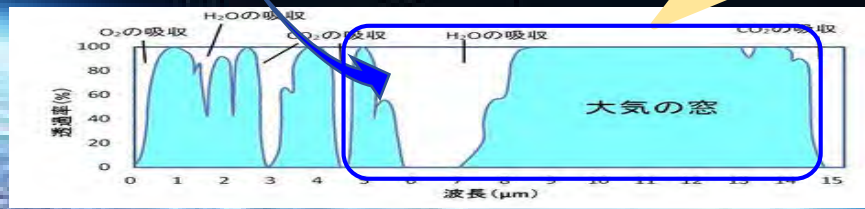
- ・超格子による検出器
- ・長波長端を設計により選択可能
- ・測定対象に合わせた冷却系で対応可能
- ・効率 ~30%程度のため効率向上が課題

HgCdTe検出器 (海外製品) -170°Cへの冷却必要

InSb検出器 (海外製品) -220°Cへの冷却必要

Si:As検出器 (海外製品) -265°Cへの冷却必要

この波長での観測により夜間でも地球上の対象物の表面温度の観測が可能



地球観測：対象が明るい → 総合性能と大面積化優先

天文観測用 近赤外線イメージセンサーの比較

	米国Teledyne社製 H4RG-10	新しい国産イメージセンサー
		
規格	HgCdTe, 4096x4096 pix, 10 $\mu\text{m}/\text{pix}$	InGaAs, 1280x1280 pix, 15 $\mu\text{m}/\text{pix}$
動作温度	> 80 K	> 130 K
カットオフ波長	調整可 (< 2.5 μm)	現時点では1.6 μm のみ
量子効率	70-90%	60-75%
暗電流	< 0.1 $\text{e}^-/\text{s}/\text{pix}$	左記と同程度
読み出し雑音	5-30 e^-	左記と同程度~より高性能
アナログ回路	"SIDE CAR" (ASICによる構成)	地上用回路を開発済み
宇宙用化	宇宙用開発実績あり (WFIRSTに搭載予定)	--
調達費用	輸入品のため高い	今後の量産化で低価格が見込める

FL実施項目

宇宙科学・探査小委員会
(第40回)資料を更新し再掲

技術領域	要素技術	項目	技術成熟度TRL*1		適用ミッション例
			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	OPENS、Comet Interceptor、CubeSat、小・中型衛星/探査機 深宇宙探査
		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	SPUR、米国NF-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)	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	月、火星、小惑星
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				
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	LiteBIRD、SPICA
		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	LiteBIRD、SPICA、Athena
		9. センサ高性能化(赤外線等)*2	4	5	小型JASMINE、地球観測衛星

*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。

3. 次世代赤外線天文衛星 (SPICA) について

- **SPICA**は、2018年5月に**ESA Cosmic Vision M5** の一次選抜で、25件中3件の**ミッション候補の一つ**として採択され、日欧でのミッション定義活動を本格的にスタートした。
- **2021年3-4月**に、ESA側の**最終選抜**Mission Selection Review (**MSR**) が**予定**されている。その**中間審査**として、ミッションの成立性・実現性・成熟性等の確認を目的に、Mission Consolidation Review (**MCR**) を**2020年4-6月に実施**した (次ページ)。
- MSRにて、M5ミッション候補として選定された場合は、その後約3年間の検討フェーズの後、2024年の日欧での審査をへて、開発開始となる。
- ESAのM5公募・選抜・検討スケジュールが変更され、ミッション承認が当初計画より3年半遅くなっており、打上時期をこれまでの2020年代中期から後期へ変更する。

- MCRにてミッション要求を満たすミッションベースライン案が確認された（2020年4-6月）。
- MCR終了後に、**ESA側コストがM5のコストキャップを超過**していることが判明（注）。
これに対応するため、M5での検討を続ける新たなベースラインとして**口径を2.5mから1.8mへ縮小**することが、ESAから提案され、Science Study Team(欧日の研究者11名で構成)で合意された。このベースラインには、FGS（焦点面位置センサ）とSIA（望遠鏡、光学ベンチ及び各観測装置等の組立作業）の**所掌をESAからISASへ変更**することが前提とされている。
- ISASで、MCR後のミッション内容（口径縮小、所掌変更）の科学的価値およびその妥当性を確認し、MSR（2021年3月）に向けた概念検討の実施可否を判断するため、SPICAミッション要求変更確認会を実施した（9/29）。
口径縮小となった場合でも、SPICAの科学的意義は十分にあるが、ESA-ISASの所掌変更のESA案は、ISASとして技術的・コスト的に受け入れることはできず、ESA-ISASの所掌について機関間による調整を行うこととされた。

（注） Cosmic Vision M5: 570M€

- **ESA-ISAS 2機関会合**にて（10/2）、新たにISAS 所掌とされた項目はISASとして技術的・コスト的に受け入れることはできないため、項目の一部をESAに戻す可能性を議論した。**ESAの費用はすでに超過しており更なる所掌をこのまま受け入れることはできず、所掌分担議論をやり直す時間も無い**ため、口径1.8 mへ変更しても**SPICAはM5の候補として、厳しい技術及びコスト面から実現可能性は無い**との判断に至った。
- 欧州でのペイロード提供を主導していたオランダ宇宙科学研究所（SRON）とも共同で、M5ミッション選定の候補から取り下げる決定をSPICA科学チームに伝えた（10/7）。
- **ESAとISASは、ESA Cosmic Vision M5 最終選定においてSPICAを候補から取り下げる決定を、共同で発表**した（10/15）。