

月周回衛星「かぐや」(SELENE)  
プロジェクトの  
事後評価質問に対する回答

平成 21 年 6 月 26 日

宇宙航空研究開発機構

**【本資料の位置付け】**

本資料は、平成21年6月18日に開催された第1回推進部会における月周回衛星「かぐや」(SELENE)プロジェクトの説明に対する構成員からの質問に対し、独立行政法人宇宙航空研究開発機構(JAXA)の回答をまとめたものである。

● 評価項目 1（成果）に関連する質問

1-1	観測データの有効性、品質の確認	3 ページ
1-2	リモセンの到達点と将来の課題	6 ページ
1-3	ハイビジョンカメラの活用	8 ページ
1-4	米国宇宙開発政策との対応	9 ページ
1-5	産業界への波及効果	10 ページ

● 評価項目 2（成否の原因に関する分析）に関連する質問

2-1	有効な教訓について	11 ページ
2-2	ミッション機器の一覧表	12 ページ

● 評価項目 3（効率性）に関連する質問

3-1	情報オープン予算	13 ページ
3-2	信頼性向上のための対策について	14 ページ
3-3	打ち上げ延期の影響	15 ページ
3-4	機関統合のコスト	16 ページ
3-5	地上システムの活用	17 ページ
3-6	研究体制について	18 ページ
3-7	科学者と技術者の連携	21 ページ
3-8	観測機器の開発の進め方	22 ページ
3-9	海外との共同研究体制	23 ページ
3-10	科学衛星プロジェクトへの開発管理方式の適用	24 ページ

## ● 評価項目 1（成果）に関連する質問

【質問番号 1－1】 観測データの有効性、品質の確認

【質問内容】

様々な月の観測データの有効性、質の高さについて根拠を示して下さい。（解析を行う前に、どのようなクライテリアに基づいて品質の確認を行っていますか）

【資料の該当箇所】 推進 1－1－3

【回答者】 JAXA

【回答内容】

かぐやのデータの一般的な有効性（他衛星との比較）については次ページにかぐやと過去の月探査衛星の観測性能およびインド、中国および NASA/LRO との性能比較表を示します。これらの表に基づき、かぐやの性能は過去の衛星に比べて 1 桁以上高く、米国の LRO ともひけをとらないものであると認識しております。

品質の確認については、すべての科学観測機器で実機を用いた地上での最終校正試験（テレメトリ出力と観測される物理量を対応させたデータの取得）を行っています。打ち上げ後に機器の特性が変化する可能性のある項目については、飛行中に校正のための運用を行いました。たとえば、例えば分光機器については内部校正ランプによる定期的な校正とともに赤道付近の輝度校正用月面サイトの観測により校正を行い品質の確認を行っています。飛行前の性能評価と飛行後の校正データにより処理された物理量変換済みデータを用いて解析が行われます。この物理量変換処理は各観測機器チームの専門家によって行われます。一般公開される観測データは全てこのような校正処理が行われ品質が確認されたものとなります。

表1. SELENE と他の月探査計画との比較

計測項目	月周回衛星計画		他の計画での観測			
	計測内容	新規性	SMART-1 ( '03年)	ルナブロスぺクタ ( '98年)	クレメンタイン ( '94年)	アポロ計画まで
元素分布	主要元素の分布 (蛍光 X 線分光計)	全域観測(極域除く)、 高精度化	月全域の1%以下	×	×	月赤道域の10%
	微量元素の分布 (ガンマ線分光計)	全域観測、高精度化(検出能力の高いGeを使用(3Kev))	×	検出能力が低い (K, Thなどのガンマ線強度の強いもののみ観測)	×	月赤道域の20%
鉱物分布	鉱物種の分布 (マルチバンドイメージャ)	高空間分解能(20m) (可視・近赤外9バンド)	空間分解能(最も分解能のいい時に50-80m程度@高度300km) 鉱物種同定限定的(3バンド)、月全域の1%以下	×	空間分解能200m(可視のみの5バンドから推定)	地球に持ち帰った岩石から推定
	鉱物組成の同定 (スペクトルプロファイラ)	○ (可視・近赤外域)	月全域の2%以下 (近赤外域)	×	×	(地球に持ち帰った岩石から推定)
地形・ 表層構造	地形 (地形カメラ、レーザ高度計)	デジタルデータ、3次元、 高空間分解能(10m)	単眼視 (最も分解能のいい時に50-80m程度@高度300km)	×	デジタルデータ、2次元、 空間分解能200m	アナログデータ、 2次元、着陸点周辺の高分解能
	地下構造 (月レーダサウンダ)	全域観測	×	×	×	月全域の5%以下
環境	月、月周辺の 磁場分布 (磁力計、プラズマ計測)	全域観測、衛星の低磁性化による高精度観測、プラズマ同時観測による太陽風影響の分離	×	磁力計による月の磁場分布	×	月赤道域の5%
	粒子線計測 (粒子線計測器)	高精度化(エネルギー分解能150 keV)、観測能力(アポロの10倍)、空間分解能(約60km)	×	α線のみ観測、 低分解能(3~400 km)	×	低分解能 (3~400Km)
	地球近傍のプラズマ (プラズマイメージャ)	○	×	×	×	×
月の 重力分布	月の表側重力場 (衛星電波源)	VLBI及び測距により1桁高精度化	×	測距による計測	測距による計測	測距による計測
	月の裏側重力場 (リレー衛星中継器)	○	×	×	×	×

○:初めての計測であることを示す。 ×:観測しないことを示す。

表2. SELENE と今後打上げ予定の外国月周回衛星の比較

探査機名	観測領域	観測項目と代表的な性能									
		元素分布		鉱物分布	地形、 障害物、 日照条件	表層構造	重力分布	磁場分布	放射線 環境	プラズマ 環境	永久影領域 の温度、地形
		Al,Si,Fe,Ti 等	H								
SELENE	全域	エネルギー分解能	空間分解能	空間分解能	空間分解能	地下 5km までの構造	VLBI 及び測 距により 1桁高精度 化、裏側	月全域	高エネルギー 一放射線	イオン、電 子のエネル ギー、質量	×
		140eV	100km	20m	10m						
チャンドラ ヤーン 1号	全域	エネルギー分解能	×	空間分解能	空間分解能	×	×	×	○ (*4)	○ (*5)	米国製の合 成開口レーダ を搭載
		140eV (*1)		80m (*2)	8m (*3)						
チャンゲ 1号	全域	エネルギー分解能	×	空間分解能	空間分解能	×	測距による 従来精度の 計測、裏×	×	○	○	×
		600eV		200m	120m						
LRO	極域	×	空間分解能	×	空間分解能	×	×	×	○	×	空間分解能
			5km		0.5m						300m

注1: ○は SELENE と同等の観測を行うことを示す。

注2: ×は観測を行わないことを示す。

注3: チャンドラヤーン1号はインパクトと呼ばれる月面に衝突させる装置を搭載。

注4: チャンドラヤーン1号搭載機器の補足

\* 1: 英国製機器(1機器)及びインド製機器(2機器)により、元素分布を計測。代表的な性能は英国機器の性能。

\* 2: 米国製機器(1機器)、ドイツ製機器(1機器)及びインド製機器(1機器)により、鉱物分布を計測。代表的な性能は米国機器の性能。

\* 3: インド製機器

\* 4: ブルガリア製機器

\* 5: スウェーデン製機器

注5: チャンゲ1号搭載機器は、全て、中国製。

【質問番号 1-2】 リモセンの到達点と将来の課題

【質問内容】

月周回衛星軌道からのリモセンの到達点、将来やるべき課題を明確に示してほしい。

【資料の該当箇所】 推進 1-1-3

【回答者】 JAXA

【回答内容】

以下に回答いたします。

● 現在の到達点

リモセンとして目標としていたデータの取得は不具合機器のものを除いて完了。校正に時間を要するデータ（反射率、モザイク画像マッチングなど）があるので、チーム内でのデータ公開でも 30~40 パーセントに留まっている機器がある。

かぐやミッションのリモセンとしての「月の科学」の目標は、月全球、特に従来明確でなかった裏側、極地を含んだ月表面の構成物質の鉱物・岩石分布、地形、重力のデータを得て月全球の地質学的、地形学的描像を描くことである。これまでの主な到達点は、

- ・ 月裏側の重力場と高度測定により、月の二分性を数量的に確定した。重力場測定は裏側の地形に顕著な多重リングクレータ盆地構造が維持されていること、裏側の水平距離 1000km 内に高度差 19km を超える地形があることが明らかになった。
- ・ 広範囲（表裏、高緯度、低緯度、形成年代がちがう）な中央丘型クレータの中央丘の鉱物学的観測から「斜長石」がすべての中央丘の露頭で同定され、マグマオーシャンモデルを大いに支持した。また、斜長岩が局在しているのではなく、層状に全球に広がっていると推測させる結果を導いた。
- ・ 空間分解能が高いことを生かし、地形カメラの裏側海領域のデータを用いてクレータの大きさ・個数分布を直径 100m オーダまで決定し、その領域の形成年代を算出した。従来考えられていたよりも 10 億年若い時代までその領域では火成活動が続いていたことを示した。全球的に地質活動の年代見直しのカメラデータの有効性を示した。
- ・ レーダサウンダーの観測により海の地下に層構造があることを発見した。海の形成が一回のマグマの噴出で起ったのではなく、複数回の噴出によるものであるという過程を明らかにした。全球でのサウンダーデータの解析によりクレータ底や高地の地下構造も明らかにできる可能性を示した。

「月での科学」の到達目標は、月の磁場、宇宙線、太陽風との相互作用、月自身のプラズマ環境の測定により、月環境を明らかにすることである。主な到達点は、

- ・ 太陽風との相互作用では世界で初めての知見が数多く得られている。太陽風の月面での反射現象。反射太陽風の加速、月ウェークでの太陽風イオン加速がある。
- ・ 0.1nT の月磁場測定を可能にして月磁場異常を確定した。低高度の測定が有効でまだデータ解析が完了していないが、月面での多くの領域でのミニ磁気圏を同定した。ミニ磁気圏と太陽風の相互作用も明らかにした。

「月からの科学」の到達目標は地球磁気圏のオーロラ現象や大気ピックアップ現象の観測と月裏側での電波観測である。解析が進行中である。

● 「かぐや」ミッションにおける将来の課題  
かぐやによる「月の科学」の目標では、

- ・ 全球の元素・鉱物組成を明らかにしてマグマオーシャンモデルを検証する。GRSによる元素分布特に放射性同位元素・主要元素分布の確定。MI/SPによる可視近赤外領域の反射率測定データを裏側高地、南極エイトケン大盆地、多重リングクレータ盆地などを含んだ全球で確定し、月表面の鉱物分布、岩石分布を明らかにする。観測データ、実験室データ、シミュレーションデータを統合してマグマオーシャンモデルの検証、詳細化を実行する。
- ・ 高度計、地形カメラ、サウンダーデータを用いて月地殻進化のテクトニクスをあきらかにする。年代測定は地形カメラデータによるクレータ年代学手法が有効に用いられる。地下構造探査にはサウンダーデータが高度計データを援用して実施される。
- ・ 重力場の高次データから地殻の厚み推定など地殻構造の詳細推定を行う。
- ・ 重力場データのうち VRAD 衛星を用いた相対 VLBI 手法によるものは、重力場の球面調和関数低次項を確定する。それによって月慣性モーメントの精度を上げ、月コアの大きさに大きな制約を与えることが期待できる。
- ・ 磁場測定データを解析し、月進化初期に全球的に磁場を発生するダイナモが存在したかどうか、を明らかにする。

最終的には月の起源にかかわる4つのモデル（双子集積説、分裂説、捕獲説、巨大衝突説）を比較検討し、現在最も有力視されている巨大衝突説の妥当性を検証する。

「月での科学」では、

- ・ 太陽風との相互作用の観測データで、太陽風によるスパッタリングによると思われる元素が観測されている。またミニ磁気圏との相互作用も観測されており、詳細な解析が期待される。
- ・ 月オカルテーション時における子衛星からの電波観測による月電離層存在の確定
- ・ UPI によるナトリウム大気の観測データを解析し、月でのナトリウム生成現象を明らかにする。

「月からの科学」では、

- ・ 地球磁気圏観測と地球大気ピックアップ現象を明らかにする。
- ・ 自然電波観測により、外惑星や深宇宙からの電波の検出の可能性を明らかにし、将来の電波天文観測地点の妥当性を検討する。

【質問番号 1-3】ハイビジョンカメラの活用

【質問内容】

ハイビジョンカメラは「月の科学」、「月での科学」などに活用できたのでしょうか。

【資料の該当箇所】 推進 1-1-3

【回答者】 JAXA

【回答内容】

直下ではなく斜め前方を俯瞰できる映像が取得できることから、特徴的なクレーターの形状などを把握するのに有効であると考えています。また、光の後方散乱特性から月面の粗さや粒径を推測する研究（オポジションサージ、衝効果）、昼と夜の境界域でダストが舞い上がる現象の研究等へのデータ利用を検討しているところです。

【質問番号 1－4】 米国宇宙開発政策との対応

【質問内容】

- 1) 2004年にブッシュ大統領（当時）が発表した米国の宇宙開発政策は、月を拠点にして惑星探査に乗り出す内容になっている。「かぐや」プロジェクトは科学的内容のみならず、アメリカの政策をにらみ日本の国益を守るための何らかの意味があるのか。（科学的観点のみからでも十分に素晴らしいプロジェクトだと理解しているが、政策とのかかわりがあるのか、あるいはないのか、前回のご説明では見えなかった）
- 2) 国際協力実験ではなく、オール・ジャパンで実施したのは1) と関連があるのか。

【資料の該当箇所】 推進 1－1－3

【回答者】 JAXA

【回答内容】

- 1) 米国の宇宙開発政策は、月そして火星の有人探査を大きな柱として提案したものと理解しています。このためには、有人活動を行うための月の情報が必要となります。かぐやの目的の1つとして、取得データを将来の月面活動や月利用のための調査に活用するというものがあります。より具体的な例としては、日照率マップ、地形図のような情報が、将来の有人活動に対して利用できます。これらは、現在、世界で日本が一番詳細な情報を持っており、国際協力で有人活動が進む場合には、日本が有する情報がとても重要となるので、日本の国益を守るために意味のある成果を挙げているものと理解しています。
- 2) 国際協力ではなく、オールジャパンで実施したことは1) とは直接は関係ありませんが、日本の研究開発力を高めるという観点で結果としてみれば1) にも貢献していると考えます。

【質問番号 1-5】 産業界への波及効果

【質問内容】

このプロジェクトを通して産業界にどのような波及効果があったのかを具体的に示せないでしょうか？例えば国際レベルを越えるこのような高精度のセンサが開発出来た、その技術は今後このような分野に応用される可能性がある、また徹底した EMC 対策に関してこのような知見が得られ、その Know How はこのように纏めた等、科学分野以外への波及効果があったとすれば、その例を示してください。

特に、技術開発結果の「インパクト」があれば教えてください。失敗から学んだことでもよいので、当初意図していた範囲を超えて得られた「技術的」な効果はなかったのでしょうか。

【資料の該当箇所】 推進 1-1-3

【回答者】 JAXA

【回答内容】

観測機器の開発を通じて、直接的にその開発技術が宇宙分野以外で広く産業界に波及を与えるということはありません。しかしながら、画像、分光、電波探査等の分野で最先端、高性能の観測機器を開発できたことから、これらの計測技術は地球観測や地球環境監視の分野に応用される可能性があります。またこれまでの国際基準よりもはるかに厳しい基準を設定した EMC 対策では、それを実現するためのシールド方法に関する Know How の獲得やそのための検証方法の確立ができました。これらの知見は文書化して残しています。これらは同様の技術が必要とされる今後の各種リモートセンシング衛星の開発に波及効果があると考えられます。当初意図していた範囲を超えて得られた「技術的」な効果は、軌道制御、姿勢制御、通信等の分野でありましたが、インパクトと言えるほど突出した点はありません。

## ● 評価項目 2（成否の原因に関する分析）に関連する質問

【質問番号 2-1】有効な教訓について

【質問内容】

細かすぎず、粗すぎない有効な教訓をどのように残すか示すこと。

【資料の該当箇所】 推進 1-1-3

【回答者】 JAXA

【回答内容】

SELENE プロジェクトの作業を通じて得られた反映事項は、「SELENE Lessons Learned 集」(PMS-08017)として機構内資料にまとめ、関係部署（システムエンジニアリング部門、プロジェクト部門）に配布し、教訓として残しております。様々なレベルの事項が含まれていますが、以下のような汎用的な事項を含んでいます。また、主要なものは、現在編集集中の「プロジェクト報告書」に記述しており、機構外へも配布する予定です。

- No. 23 衛星自律化機能（データ処理系が各機器の状態をモニタし、状況に応じて自律的に各機器にコマンドを送信する機能）を従来衛星から強化し、観測機器毎に Resume/Suspend できるようにしたが、ステータスを表すテレメトリがなかったため運用が難しくなった。今後はより自律化機能が高度になると考えられるが、運用を想定してテレメトリを設計する必要がある。
- No. 47 信頼度要求に応じた開発方式を適切に選択した。システム EM がない PFM 開発方式を採用したが、嚙合試験を実施したことでタイムリーに不具合を抽出できた。
- No. 48 ミッション担当を配置し 15 機器すべてをマネジメントし、開発経験が少ない主研究者チームに対してフォローするとともに、必要な情報を速やかに水平展開した。
- No. 59 ミッション機器は PFM 開発方式とし、PM または部分試作モデルを製作しなかったため、システム試験及び軌道上不具合原因究明に時間を要した。また、搭載ソフトウェアの書き換え前に検証ができなかった。ただし、コストとのトレードオフが必要。
- No. 81 放射線のエネルギーの違いによる影響を検討すべきだった。
- No. 97 新規にドキュメンタリー映像、各方面とのコラボレーション、写真展など新しい広報・教育活動を実施できた。
- No. 98 HDTV を搭載したことにより、一般への普及に大きく役立った。

【質問番号 2-2】 ミッション機器の一覧表

【質問内容】

それぞれのミッション機器について放射線対策等の一覧表を準備してほしい。

【資料の該当箇所】 推進 1-1-3

【回答者】 JAXA

【回答内容】

搭載ミッション機器で使用している CCD 検出器に対する放射線対策は下表のとおりです。

蛍光 X 線分光計 (XRS) は CCD 前面に非常に薄いベリリウム膜を有する独特な構造をしています。CCD にダメージを与える効果の大きい低エネルギー陽子がベリリウム膜を通過する量に対する解析が十分ではなかったため、想定以上のダメージを受けたものと推測しています。XRS 以外の機器は CCD 前面にレンズがあるため、10MeV 以上の陽子のみが問題となり、その積算フラックスは許容可能であることを確認しました。

ハイビジョンカメラ (HDTV) は、最悪ケース解析の結果をもとに高エネルギー陽子による白傷の影響を懸念していましたが、打上げ時期が太陽活動極小期となったことで、事前解析に比べて影響は小さく済みました。(100 画素/CCD 以下、定常段階終了時点)

観測機器	ライン/2次元 CCD/CMOS/SOS	画素数 マスクルール (画素ピッチ)	トータルド ーズ耐性	陽子耐性	シールド方法 (CCD 前面)	軌道上動作
XRS	2次元 CCD	1000x1000 24micron	試験	実績+解析	ベリリウム膜	ノイズが増加した
TC	ライン CCD	1x4096 7micron	実績	試験	レンズ	正常
MI/VIS	2次元 CCD	1024x1024 13micron	実績	試験	レンズ	正常
UPI/TVIS	2次元 CCD	1024x1024 13micron	実績	試験	レンズ	正常
HDTV	2次元 CCD	1920x1080 5micron	試験	試験	レンズ	正常

試験：SELENE プロジェクトで試験を実施

実績：他プロジェクト、メーカーでの実績を確認

解析：コンフィギュレーションの違い等を解析で補完

## ● 評価項目 3（効率性）に関連する質問

【質問番号 3－1】 情報オープン予算

【質問内容】

平成 21 年 11 月に情報をオープンにするということですが、情報オープン予算も含めて今回のプロジェクトと考えてよろしいのでしょうか。つまり、このプロジェクト終わり（555 億円の範囲）はどこまでと考えていいのかという意味です。

【資料の該当箇所】 推進 1－1－3

【回答者】 J A X A

【回答内容】

平成 23 年度までのデータ・情報公開のための予算を含む開発・運用の予算となります。

## 【質問番号 3-2】信頼性向上のための対策について

### 【質問内容】

コスト増の要因としてあげられている全社的な信頼性向上のための対策は、ミッションの成功にどの程度貢献しているか。今後の科学衛星プロジェクトにおいて、同様の対策を講じることは必要と考えるか。

### 【資料の該当箇所】 推進 1-1-3

### 【回答者】 JAXA

### 【回答内容】

信頼性向上を目的とした点検を実施した結果、講じた主要な対策を以下に示します。これらにより、不具合を未然に防ぐことができ、ミッションがより確実にになりました。

#### 衛星フライトモデル改修

- ・多層断熱材(MLI)剥がれ防止対策として層間に空気を抜けやすくする対策を講じた。
- ・外部ハーネスが露出している部分へのメテオロイド対策を講じた。

#### 衛星追加試験

- ・観測機器電子回路部の熱真空試験を追加実施し、打上げ前に熱制御性能を確認した。
- ・磁力計マストについて、衛星取付け後の伸展試験を実施した。

#### 追加解析

- ・衛星搭載ソフトウェアの第三者による独立検証を行った。その結果、姿勢制御系において不適切な部位を発見し、打上げ前に修正することができた。
- ・リアクションホイール故障を想定した手順を検討、準備した。その結果、軌道上で実際に故障した際に速やかにかつ正確に対処することができた。

#### 地上系追加試験

- ・内之浦局の設備との適合性試験を追加実施した。

平成 16 年度から信頼性改革本部（現・信頼性推進本部）において信頼性向上施策に取り組んでおります。現在、その成果は(1) 専門家、有識者による各段階における点検、(2) 単一故障点を極力排除するなどの信頼性設計の徹底、(3) 同種不具合の再発防止に役立つ不具合情報システムの充実等の形でプロジェクト業務に反映されており、その結果、軌道上の衛星における致命的な不具合も発生しておりません。しかしながら、これに気を緩めることなく、引き続き信頼性向上施策の強化に取り組んでいきたいと考えております。

【質問番号 3-3】 打ち上げ延期の影響

【質問内容】

打ち上げが数年間延期されたことにより、最新の技術を使えなくなったとか、部品の老朽化等の問題は起きませんでしたか。

【資料の該当箇所】 推進 1-1-3

【回答者】 JAXA

【回答内容】

打ち上げ延期により、衛星搭載バッテリーの保管期限が切れることとなったため、再製作を行いました。

【質問番号 3 - 4】 機関統合のコスト

【質問内容】

2つの機関が統合する際、コストが発生します。(例 ITシステムを統合したり、開発手法を統一するなど)昨日質問した115億円の増額ほどの程度、統合によるものか、数値でお示し下さい。

【資料の該当箇所】 推進 1 - 1 - 3

【回答者】 J A X A

【回答内容】

機関統合に基づく IT システムの統合や開発手法の統合は、それぞれ情報システム部門およびチーフエンジニアオフィスにおいて実施され、SELENE はそれらによって統合されたシステムを活用しました。他にも統合に関わる組織としての統合は、別の枠組み、別部門で実施されました。このため、SELENE の増額の中に、統合の経費は入っておりません。

【質問番号 3-5】 地上システムの活用

【質問内容】

地上システムの今後の活用についてまとめる。

【資料の該当箇所】 推進 1-1-3

【回答者】 JAXA

【回答内容】

かぐやで作成した地上システムは、大きく2つに分けられます。1つは衛星の追跡管制という、いわゆる運用を行うシステム、もう1つは観測データの処理・保存・提供を行うアーカイブシステムです。追跡管制システムについては、殆どがリース品のため、リース期限終了の時点で、ハードは返却しますが、ソフトを含むノウハウについてはJSPEC（月・惑星探査プログラムグループ）の管理文書として残し今後の惑星ミッションなどの追跡管制に活用できるようにします。リース品ではない相模原や臼田局の装置については共通インフラとして該当部署に移管し利活用を図ることにしています。他方、アーカイブのシステムは、かぐやの一般公開が平成23年度まで実施することとなり、今後も運用を継続することになります。

【質問番号 3-6】 研究体制について

【質問内容】

センサについての研究体制がわかる資料を準備してほしい。併せてヒューマンリソースについても記載する。また、開発管理がわかるようにする。

【資料の該当箇所】 推進 1-1-3

【回答者】 J A X A

【回答内容】

開発体制図等を次ページに示します。

略語注) XRS: 蛍光X線分光計 GRS: ガンマ線分光計 CPS: 粒子線計測器 LRS: 月レーザサウンダ  
 LMAG: 磁力計 PACE: プラズマ観測器 UPI: プラズマイメージャ  
 TC: 地形カメラ SP: スペクトルプロファイラ MI: マルチバンドイメージャ  
 LALT: レーザ高度計 VRAD: 衛星電波源 RSAT: リレー衛星搭載・対向中継器

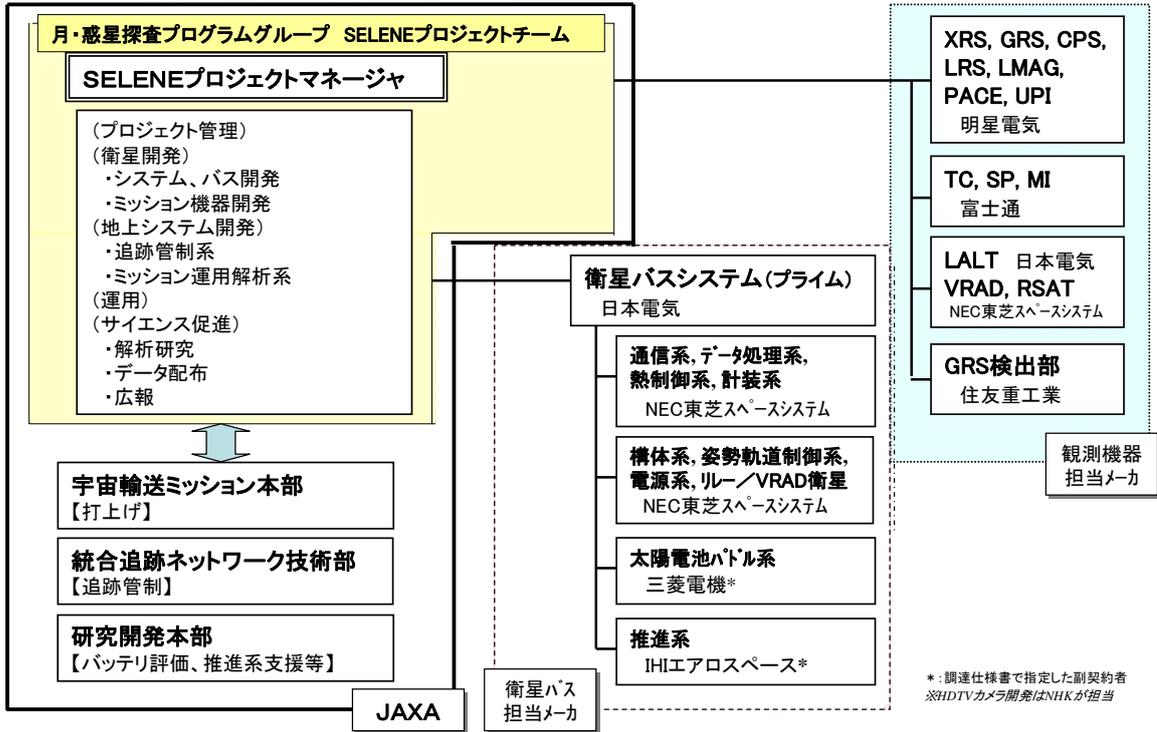
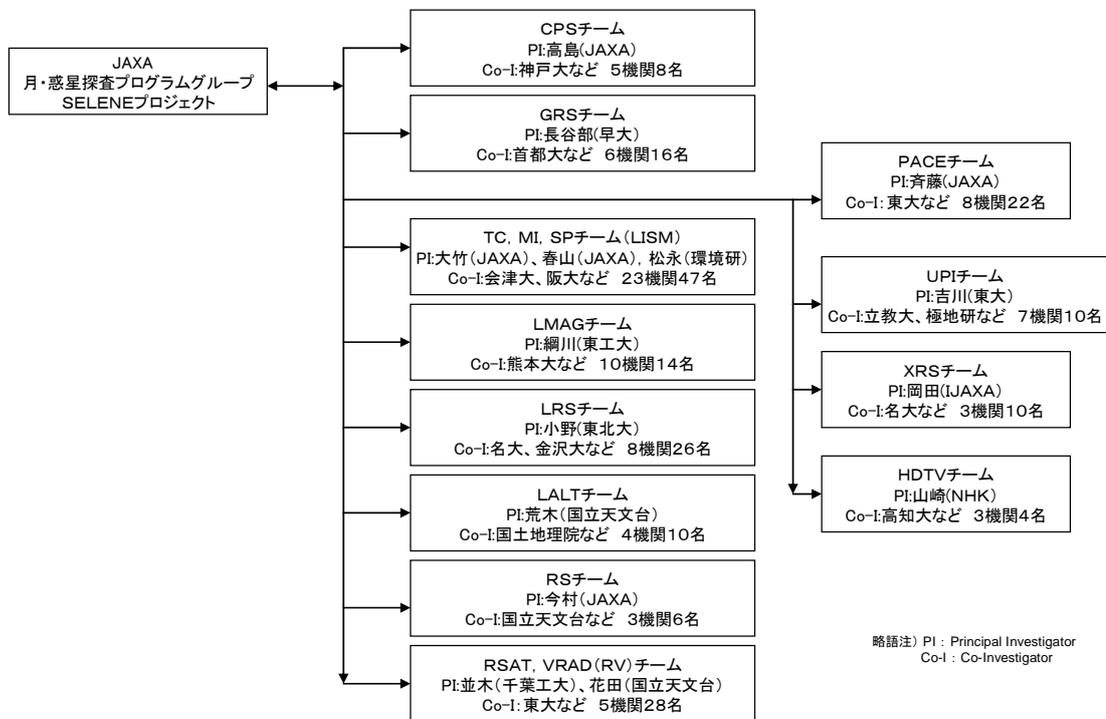


図1 「かぐや」開発体制(組織名等は平成21年現在)



※1 複数の機器チームに所属している研究者は重複カウントせず。学生は含んでいない。  
 ※2 海外研究者は、フランス、ドイツ、韓国、中国、米国、スウェーデン、イギリスから参加。

図2 「かぐや」観測機器チーム(組織名等は平成21年現在)

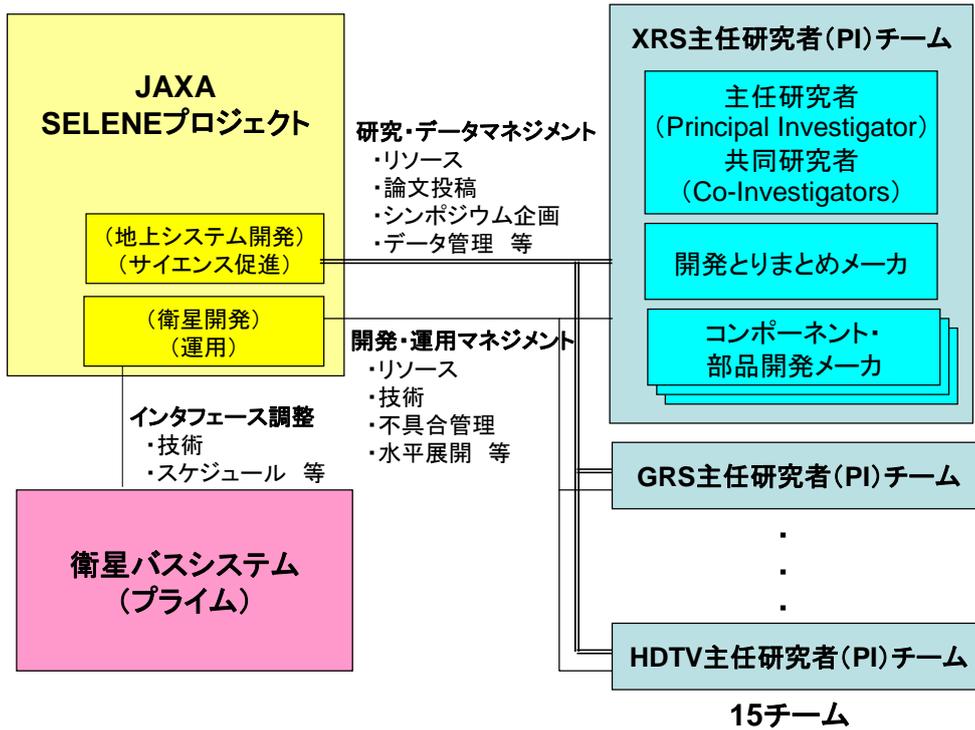


図3 SELENEプロジェクトと主任研究者(PI)チームとの協力関係

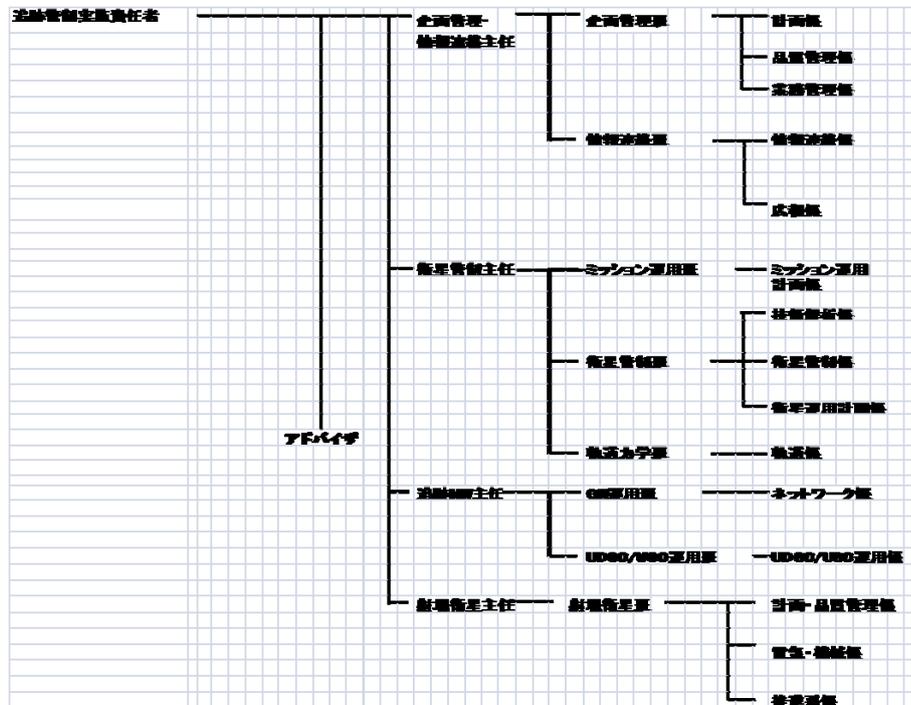


図4 打ち上げ時のJAXAの体制(追跡管制隊)

※衛星、地上システムの開発・運用で約150名が従事。この下で、メーカーが従事。ただし、宇宙輸送ミッション本部による打ち上げサービス調達など事務作業にかかわる人数を含んでいない。

【質問番号 3-7】 科学者と技術者の連携

【質問内容】

観測機器チームの科学者とプロジェクトチームの技術者の連携をどのように行いましたか。具体的にお示し下さい。

【資料の該当箇所】 推進 1-1-3

【回答者】 JAXA

【回答内容】

開発フェーズにおいて、プロジェクトチームの技術者が観測機器チームの会議や試験等にできるだけ参加するとともに、必要な内外の専門家を紹介し、技術支援、マネジメント支援（スケジュール、品質、契約等の管理）を実施しました。また、共通回路ワーキンググループ、EMC（電磁適合性）ワーキンググループ、ミッション運用ワーキンググループ等を設置し、観測機器チーム間の情報共有の場を作りました。

運用フェーズにおいては、運用計画立案支援、観測データ公開に向けたデータマネジメント支援、研究マネジメント支援を実施し、科学者が効率的に機器運用、研究及び成果発表を行えるようにしています。

上記詳細を、日本航空宇宙学会誌の解説記事としてまとめております。（第 56 巻 第 657 号 2008 年 10 月）

【質問番号 3-8】 観測機器の開発の進め方

【質問内容】

説明では、観測機器の開発はプライム方式を取らなかったとの事ですが、企業とはどのようなやり方で開発を進めたか、補足説明願います。

【資料の該当箇所】 推進 1-1-3

【回答者】 JAXA

【回答内容】

「かぐや」搭載観測機器の開発は、従来の科学衛星の観測機器開発に倣い、主任研究者 (PI)、共同研究者 (Co-I)、開発メーカーから成る観測機器チームが主体的に実施しました。PI 及び Co-I は、自らの科学研究のために必要な性能を達成するよう、とりまとめメーカー、コンポーネント・部品開発メーカー等と協同し、心血を注いで開発を行いました。

とりまとめメーカーは、PI の指示の下、開発期間を通じて機器の構成要素のコンフィギュレーションを管理し、組み立て試験を実施して、最終性能、最終コンフィギュレーションを計測しました。衛星システムメーカーに引き渡した後も、衛星組み立て支援、システム試験支援、初期チェックアウト支援を行いました。

プロジェクトは、観測機器チームに対し、技術的、マネジメント的支援（開発メーカーとの契約を含む）を実施しました。

【質問番号 3-9】 海外との共同研究体制

【質問内容】

国外の共同研究の体制について(国際性の評価に関して)、海外との共同研究体制はなかったのでしょうか。海外に対し、1年以内にデータの公開を約束したとの説明だけでしたが、海外からの協力はなかったのでしょうか。そのような共同研究の例があれば説明いただきたいです。

【資料の該当箇所】 推進 1-1-3 P 12

【回答者】 JAXA

【回答内容】

かぐやでは 15 の主任研究者チーム(観測機器を開発・運用し得られたデータを解析して研究を行うチーム)が編成されました。当初のプロジェクトの方針として、主任研究者は国内の研究者を選任しましたが、各チーム内の共同研究者としては開発や解析に有効な場合は海外の研究者に加わっていただくことを推奨してきました。その結果全体で 20 名近くの海外の研究者が共同研究者として参加し、センサーの開発(ガンマ線分光計やプラズマ観測措置など)、データ解析の方法(重力場解析など)、データ取得(相対 VLBI データ取得)などで貢献しています。今後の海外との研究協力については、国際的に相互のデータを持ち寄り、相互校正をしようという調整を、インド、アメリカと日本という多国間ではじめているところです。まだ、具体的な共同研究とはなっておりません。ただし、NASA との間では、SELENE-LRO の協力協定を締結し、LRO ミッション計画のために重力場のデータの共同解析を NASA のツールを使って実施しました。

【質問番号 3-10】 科学衛星プロジェクトへの開発管理方式の適用

【質問内容】

「SELENE の開発は、衛星システムおよびマネジメント手法は確実かつ信頼性の高い NASDA 方式」との記述があるが、科学衛星プロジェクトの衛星システム開発及びマネジメント手法に NASDA 方式を導入することは、プロジェクトの成功のために今後も必要と考えるか。

【資料の該当箇所】 推進 1-1-3

【回答者】 JAXA

【回答内容】

ミッションサクセスを持続的に実現することを目的に、JAXA では 2 年ほど前から全機構を挙げた新たなマネジメントプロセスを導入しております。このプロセスでは、衛星プロジェクトの規模や特徴（「かぐや」の場合は、3t 級大型衛星、多数の観測機器の搭載等）に応じて適切なテーラリングを行うことをあらかじめ定めておりますが、ともすれば管理要求面が強く表れがちであるため、現在、プロジェクトの規模や特徴に応じたテーラリングが容易となるガイドラインを検討しているところです。一方、各部門には開発手法やマネジメント手法をはじめ、それぞれの組織に応じた技術文化が育まれ、残されています。これらを今後のプロジェクトに伝えるような知識継承活動を推進しております。

これらのプロセスを踏まえ、科学衛星については世界第一級の観測成果を目指し、より挑戦的な技術を採用するという特徴があることから、この特徴を活す上でどのようなマネジメント手法をとるべきか、現在検討を進めているところです。