

宇宙開発に関する重要な研究開発の評価
はやぶさ2プロジェクト
の事前評価結果

平成24年1月25日

宇宙開発委員会 推進部会

－ 目 次 －

1. 評価の経緯	1
2. 評価方法	1
3. はやぶさ2プロジェクトを取り巻く状況	2
4. はやぶさ2プロジェクトの事前評価結果	3
参考1 宇宙開発に関する重要な研究開発の評価 はやぶさ2プロジェクトに係る調査審議について	9
参考2 はやぶさ2プロジェクトの評価実施要領	13
参考3 はやぶさ2プロジェクトの事前評価に係る推進部会の開催状況	21
付録1 はやぶさ2プロジェクトの評価票の集計及び意見	
付録2 はやぶさ2プロジェクトについて	
付録3 はやぶさ2プロジェクトの事前評価 質問に対する回答	
付録4 はやぶさ2プロジェクトの事前評価 質問に対する回答(その2)	
付録5 「はやぶさ2」化学推進系の追加対策について	
付録6 「はやぶさ2」プロジェクトにおける 電波天文衛星(ASTRO-G)の教訓の反映について	
付録7 「はやぶさ2」プロジェクトにおける 科学コミュニティとの連携とサイエンスの全体像について	

1. 評価の経緯

はやぶさ2プロジェクトは、深宇宙探査を行うための技術基盤をより確実なものとし、あわせて、太陽系の謎の解明に資するため、「はやぶさ」の成果を踏まえ、小惑星イトカワと異なるタイプの小惑星（始原天体）の物質を地球に持ち帰るサンプルリターンを目指すプロジェクトである。

本プロジェクトについては、当委員会において、平成22年8月に「開発研究」に移行する準備が整っていることが確認された。

今般、はやぶさ2プロジェクトについて、独立行政法人宇宙航空研究開発機構（JAXA）（以下「JAXA」という）において「開発」への移行の準備が整ったことを受けて、政策決定者に対して政策選択に関する決定を行うための基礎となる情報を提供するため、JAXAにおいて具体化された内容が、宇宙基本計画等に照らして適切であるか、「宇宙開発に関するプロジェクトの評価指針」（平成19年5月9日 宇宙開発委員会了承）に基づき、宇宙開発委員会として事前評価を行った。

2. 評価方法

はやぶさ2プロジェクトについて、JAXAが策定した内容が、宇宙基本計画等を適切に具体化したものとなっていることを確認するため、「評価指針」に基づき、以下の項目について審議を行った。

- (1) プロジェクトの目的・目標・開発方針
- (2) システム選定及び基本設計要求
- (3) 開発計画（スケジュール、資金計画、実施体制、設備の整備計画等）
- (4) リスク管理

評価は、JAXAからのはやぶさ2プロジェクトの説明について質疑と審議を行ったうえで、評価票（参考2の別紙1）を用いて各構成員に意見と判定を提出してもらい、その結果を集約することによって行った。

本書は、上記の手順による評価結果を、報告書としてとりまとめたものである。各評価項目に対する判定は、3段階で集計した。また、本報告書の末尾に、構成員から提出された全意見およびJAXAの説明資料を付録として添付した。

3. はやぶさ2プロジェクトを取り巻く状況

我が国の宇宙探査は、1980年代半ばのハレー彗星探査試験機「さきがけ」による惑星間航行技術や、工学実験衛星「ひてん」による高精度の航法誘導技術、多重スウィングバイ技術、月周回軌道投入技術等、開発した技術を宇宙で実証し、確立することを推進してきた。さらに、小惑星探査機「はやぶさ」による超遠距離の惑星間航行技術や、世界初となる微小重力天体からのサンプルリターン技術等、探査技術の確立を進めてきており、優位性のある探査技術を構築しつつある。

しかし世界に目を転じれば、米国がはやぶさ2と同じ目標の探査計画として、OSIRIS-REx計画を掲げてきていることや、ESA（欧州宇宙機関）においても同様の目的で、Marsopolo-R計画が検討されていることから判るとおり、宇宙探査の競争が激しくなっている。その一方、国際協働ベースの宇宙探査計画については、技術的な検討・調整を行うために、2007年に宇宙機関レベルで国際宇宙探査協働グループが設立され、最終的に有人火星探査を見据えつつ、有人探査ミッションシナリオの検討が進められている。

宇宙探査では、これまで我が国は世界レベルの成果を挙げてきており、引き続き、我が国の強みを活かし、積極的に取り組むべき分野と位置付けられている。平成21年6月に制定された宇宙基本計画においては、科学技術創造立国を目指す我が国としては、これまでの成果や培った技術力の上に立って、宇宙の真理の探究や人類の活動領域の拡大に積極的に取り組むことが重要であり、太陽系探査としては、太陽系の理解等に繋がる科学的成果の創出を目指し、小惑星からのサンプル回収への取組みとして「はやぶさ」後継機等の研究開発を行うとしている。また、平成22年8月に宇宙開発戦略本部により決定された「当面の宇宙政策の推進について」においては、小惑星探査については、「はやぶさ」の微小重力天体からのサンプルリターン技術を発展させ、鉱物・水・有機物の存在が考えられるC型小惑星からのサンプルリターンを行う探査機について、小惑星との位置関係等を念頭に置いた時期の打上げを目指し、開発を推進するとしている。

宇宙科学研究所（現JAXA）が2003（平成15）年に打ち上げた小惑星探査機「はやぶさ」は、難易度の非常に高いサンプルリターン（電気推進、自律航行、サンブラ、再突入カプセル）を実証するためのプロジェクトであった。2005（平成17）年に地球から約3億キロ離れたS型小惑星「イトカワ」に到達し、近距離からの観測とサンプル採取を行った。そして、2010（平成22）年6月13日に世界で初めて、始原天体である小惑星からの微粒子を地球に送り届けた。

はやぶさ2プロジェクトは、「はやぶさ」で挑戦した微小重力天体からのサンプルリターンの経験を継承して、より確実に深宇宙探査を行える技術基盤を確立することを目指す宇宙探査プロジェクトであると同時に、鉱物・水・有機物の存在が考えられるC型小惑星からのリターンサンプルを分析することで、太陽系の起源・進化の解明や生命の原材料を調べることを目指す科学探査のプロジェクトである。

4. はやぶさ2プロジェクトの事前評価結果

今般の審議では、JAXAの提案を、宇宙探査技術および科学探査の観点から審議したが、議論を深めるための参考として、2名の有識者から意見を伺った。

また、はやぶさ2プロジェクトの事前評価を進める中で、以下に示す2つの審議を追加で実施した。

- 宇宙開発委員会調査部会において、金星探査機「あかつき」の金星周回軌道投入失敗の原因が、「あかつき」推進系の燃料・酸化剤の調圧系構成にあることが報告された。「はやぶさ2」の化学推進系は、「あかつき」と同じ調圧系構成を採用する計画であったが、調査部会での調査審議を受けて、化学推進系に係る計画が見直されたため、この見直し結果について審議した。
- 推進部会では、ASTRO-Gプロジェクトの評価を行い、JAXAの今後のプロジェクトへ反映すべき教訓を取りまとめた。このため、ASTRO-Gプロジェクトの教訓が、はやぶさ2プロジェクトにおいて適切に対応されていることについて審議した。

(1) プロジェクトの目的・目標・開発方針

プロジェクトの目的として、宇宙探査技術の観点からは、「日本独自の深宇宙探査技術の確立」のために、「はやぶさ」で試みた新しい技術について、ロバスト性・確実性・運用性を向上させて技術として成熟させることと、衝突体を天体に衝突させる実証を行うことがあげられている。「はやぶさ」は、世界初の小惑星サンプルリターンとして、数々の新しい技術に挑戦し、太陽系探査における世界トップレベルの成果を挙げたミッションであった。その経験を継承して、より確実に深宇宙探査を行える技術基盤を確立・強化することを基本的な目的とし、その目的に影響を及ぼさない範囲で新たに衝突体を用いる掘削探査技術の獲得も目指すとしていることから、本プロジェクトの技術的意義は高いと言える。

また、科学探査の観点からは、「太陽系の起源・進化の解明や生命の原材料物質を調べる」ために、C型小惑星の物質科学的特性を調べ、特に鉱物・水・有機物の相互作用を明らかにするということと、小惑星の再集積過程・内部構造・地下物質の調査により、小惑星の形成過程を調べることがあげられている。C型小惑星は小惑星帯の中ほどに多く分布しており、イトカワのようなS型小惑星よりも、鉱物・水・有機物の相互作用を現在でも保っていると考えられている。このC型小惑星を観測し、リターンサンプルを分析することで、太陽系の起源・進化や生命の原材料を考えるうえで、重要な手がかりが得られると考えられており、その科学的意義は高いと言える。

加えて、科学観測データ及びリターンサンプルの詳細分析を国際的に実施することによる国際社会への貢献、次世代の科学技術を担う人材の育成、「はやぶさ」で

得られた社会からの強い関心に引き続き応えることによる教育効果を含めた広く一般社会への影響等が期待できることから、社会的意義も十分に認められる。

以上のように、「はやぶさ」で培ってきた太陽系探査技術をさらに成熟・発展させる本プロジェクトは、宇宙基本計画における「はやぶさ」後継機として位置付けられるものであり、科学的成果の創出を目指すことも含めて、その目的は妥当なものであると判断する。

プロジェクトの目標（サクセスクライテリア）については、サンプル採取・カプセル回収をミニマムサクセスに変更すべきかについて議論を行った。先行ミッションである「はやぶさ」において成し遂げられた成果は、サンプル質量の目標値は問わずともミニマムサクセスとして設定すべきとの意見に対して、サンプル採取・カプセル回収は難度の高い探査技術のシーケンシャルな遂行によって初めて達成されるものであり、それらをフルサクセスとして設定すること自体が大きな挑戦であるとの意見が述べられた。また、そもそもミニマムサクセス基準は、事後評価の判定基準を事前に設定しておくという意味合いもあるが、主要目的に「深宇宙探査技術の確立」を含む複合的なプロジェクトの場合に、事前にミニマムサクセス基準を設定することには無理があるのではないかとの意見も述べられた。これらの点を考慮し、本プロジェクトでは、サンプル採取・カプセル回収について、ミニマムとフルの区別をしないことが適切であると判断した。なお、事後評価においては、一般の議論を踏まえて評価が行われることとするべきである。

プロジェクトの開発方針については、1番目の開発方針として、「はやぶさ」探査機の技術を最大限に継承し、変更箇所を最小限に限定することによりリスクを低減し、低コスト化・開発期間の短縮を図るとしている。また、2番目の開発方針として、「はやぶさ」で発生した不具合及び開発・運用段階で改善すべき事項を反映し、より高い信頼性を確保するとしている。「はやぶさ」は大きな成果を挙げたが、深宇宙探査技術が完成したといえるレベルではない。将来に備えて「はやぶさ」の技術成果を最大限生かすとともに、その反省に基づいて更なる信頼性向上を図る方針は、開発方針として妥当である。

判定：妥当

(2) システム選定及び基本設計要求

開発方針に基づき、システムの基本的構成は「はやぶさ」と同等とし、さらに「はやぶさ」の教訓を取り込んでさまざまな設計見直しを行うことで、信頼性、運用性の向上が図られている。このように「はやぶさ」のシステムをベースに冗長性を付

加してさらなる信頼性向上を図る方法は、将来のさまざまな探査ミッションに共通的に使用可能な技術ベースを構築する方法として妥当である。また、金星探査機「あかつき」の金星周回軌道投入失敗の原因究明の進捗状況を受けて「はやぶさ2」の化学推進系の設計を見直したり、目標天体である小惑星1999JU3の最新の物理情報に基づいてレーザー高度計の仕様を見直す等、システムの信頼性向上を図るための検討がタイムリーになされている。

「はやぶさ」に搭載されず、本プロジェクトで新たに搭載する機器は、衝突装置、Ka通信系、近赤外分光計、中間赤外カメラであり、これらのうち新規技術開発を必要とする機器は、衝突装置と近赤外分光計である。

衝突装置については、宇宙探査技術基盤の確立・強化に係る優先順位を考慮して、なによりも母船の安全性を最優先に考えたシステム仕様を選定されている。衝突装置の開発については、「開発研究」移行時の事前評価において、地上試験の有効性や衝突体の発出方法について更に検討を深めるべきとの助言があり、これに対応する実験の結果から、現段階では装置としての実現性はあると認められる。ただし、衝突装置を用いてフレッシュな地下試料を採取する際の微小重力天体表層の変化・試料の化学的変化等のプロセスについては、プロジェクト外の有識者からの助言を求めつつ、今後の開発のなかで検討を深める必要がある。

近赤外分光計については、トレードオフの結果、水・含水鉱物の検出に特化した仕様を選定されている。これについては、プロジェクトの「物質科学的特性を調べ、特に鉱物・水・有機物の相互作用を明らかにする」という目的を達成する観点から、現地で有機物を検出できる仕様とすべきとの意見も述べられたが、本プロジェクトが「はやぶさ」をベースに、打上げ時期が限られるC型小惑星からのサンプルリターン等を行って日本独自の深宇宙探査技術の確立を目指すものであり、指摘された仕様の分光計の開発に時間を要すると見込まれることから、当初選定された仕様とすることが適切であると考えられる。

なお、サンプル採取については、トレードオフの結果に基づいて採取方式が選定されているが、ホーン先端に折り返し部を付加して捕獲された粒子をキャッチャーまで運ぶ等のバックアップ方式についても検討されている。また、サンプルを確実に密封する手法とコンタミ対策や、間接的ではあるがサンプルが実際に採取できたかどうかを確認する運用方法についても検討されている。これらのことから、「はやぶさ」の教訓と実績をふまえた改善がなされていると認められるが、引き続き検討を深めていくことが期待される。

以上のことから、システム選定及び基本設計要求は概ね妥当である。

判定：概ね妥当

(3) 開発計画

スケジュールに関しては、ミッションターゲットとして適切な対象が、事実上C型小惑星1999JU3だけであり、この天体へ向かうための打上げウインドウは、バックアップウインドウも勘案して、2014年と設定されている。このタイミングを逃すと、探査にとって次に良い打上げウインドウは2024年となるため、「はやぶさ」で実現した技術の優位性が損なわれることや、技術の伝承と人材育成に重大な影響が出ること等が想定される。そのため、遅滞なく開発をすすめることが肝要であり、「はやぶさ」の技術を最大限に活用することで開発期間の短縮を図ることとしている。タイトなスケジュールとなっているように見受けられるが、万が一のトラブルに対してもバックアップの打上げ機会があることから、スケジュール面は概ね妥当と判断できる。ただし、開発期間の過度の短縮がリスク要因とならないように、スケジュール管理には十分な配慮が必要であるとの意見や、全体会議を密にして十分なコミュニケーションを期待するとの意見、さらには、リスク管理の意味からもバックアップ天体探しを継続することを望むとの意見が述べられた。

実施体制については、「開発研究」移行時の事前評価における助言に基づき、「はやぶさ」で実績のある工学専門家がリーダーとして見えるような体制が組まれていることは評価できる。また、「はやぶさ」の経験者を多く含めつつ、世代交代も意識して新メンバーを加えた体制となっていることで、人材育成と技術継承もなされていくことと期待される。さらに、近赤外分光計、サンブラ、衝突装置などの重要な開発項目を急速に推進・実現するためにも、科学コミュニティとよく連携し、現在の実施体制をさらに強化することが望まれるとの意見に対して、サイエンスと計画成功への体制作りが進み出していると認められることから、実施体制面は概ね妥当と判断する。なお、引き続きこの体制作りを強化・充実させるとともに、開発を実質的に支え実行するメーカーとの関わりについても強化することを期待する。

資金計画については、JAXA内の審査で、コスト推定内訳及び推定に至る考え方やリスクへの対応策等を、「はやぶさ」と比較する等の観点で評価している。この資金計画は、「開発研究」移行時の事前評価において、開発資金の妥当性をより明確にするようにとの助言に適切に対応していることも含めて、妥当であると判断する。

設備の整備計画については、全科学衛星の共通基盤として整備・更新されたものを使用することで、老朽化対策や性能向上を考慮できるとしており、妥当であると判断する。

判定：概ね妥当

(4) リスク管理

リスクの識別と対処方針の設定については、「はやぶさ」の実績を基にリスク評価を行い、オーソドックスな信頼性評価手法に基づいた解析結果を基に、機器の冗長設計、運用上のバックアップ機能の分析が行われている。また、打上げ機会の遅れが生じた場合や、新規開発部品の開発でさらに課題が発生した場合など、開発フェーズ移行後に予想されるリスクに対する対処の方向性についても対処計画が配慮されている。さらに、「開発研究」移行時に指摘された、探査機本体の転倒防止、探査ロボットによる表面環境探査、サンプル採取の手法のリスクについても的確に対応していると認められる。科学探査の観点からは、近赤外分光計、衝突装置、サンプリング装置のリスク管理を強化する余地もあると思われるが、探査ミッションとして日本の宇宙探査技術の優位性を確保することの重要性まで考慮すると、現状のリスク評価は概ね妥当と判断すべきである。

一方、プロジェクト開始から終了まで、継続的にリスク管理を行い、開発へのフィードバックを図るとしていることについては、今般の審議を進める中でも、金星探査機「あかつき」の金星周回軌道投入失敗の原因究明の進捗状況を受けて「はやぶさ2」の化学推進系の設計が見直されたことと、ASTRO-Gプロジェクトの中止を受けて取りまとめられた教訓に基づいてプロジェクトの計画と状況の再点検がなされたこと等から、適切に機能していると判断できる。

以上のとおり、リスク管理としては概ね妥当と判断できる。なお、今後のプロジェクトの遂行に当たって、企業を含むプロジェクトチーム全体の高い意識のもとに、プロジェクトマネジメント面や運用フェーズで想定されるリスクへの対処策を含めて、総合的なリスク管理が実施されていくことを期待する。

判定：概ね妥当

(5) 総合評価

はやぶさ2プロジェクトは、「はやぶさ」の経験を継承して日本独自の深宇宙探査技術を成熟させることに加え、衝突体を天体に衝突させる等の新しい技術の挑戦も目標としており、その技術的意義は大きい。また、S型小惑星「イトカワ」とは異なる点として、鉱物・水・有機物の相互作用を確認できると期待されるC型小惑星を探査・観測するとともに、新たな知見を得るのに十分な量のサンプルを地球に持って帰るとしており、科学的意義も大きい。さらに、世界をリードする人材を育成し、社会の「はやぶさ」で見られた強い関心に引き続き応える等、社会的意義も高い。

今回の事前評価では、はやぶさ2プロジェクトの目的・目標・開発方針、システ

ム選定及び基本設計要求、開発計画、リスク管理について審議を行った。その結果、現段階までの計画は、具体的かつ的確であり、「開発」に移行する準備が整っていることを確認した。

なお、開発とその後の軌道上運用に向け配慮すべきこととして、科学コミュニティとの対話と連携をさらに深め、計画遂行上の制約の範囲で、はやぶさ2プロジェクトの科学的成果が最大となるように、できる限り議論を尽くすべきであるとの意見が述べられた。JAXAにおいては、この意見を受けて対応を進めているところであると認められるが、今後も引き続き適切な対応がなされることを望む。また、国民の関心に応じて支援を得る意味でも、期待される科学探査の成果について積極的なPRをするよう期待する。

衝突体を衝突させる技術の開発については、地上実験において準備が進んでいると認められるが、探査機本体の安全性が確保されることを含めて、宇宙開発委員会としても継続的に状況を把握すべきと考える。

さらに、今般の審議では、宇宙探査の長期構想を作ることの必要性、その長期構想に基づいた技術開発・機器開発の推進方法を具体化することの必要性についても意見が述べられ、今後の対応が広く望まれる点についての認識が深められた。

参考 1

宇宙開発に関する重要な研究開発の評価 はやぶさ2プロジェクトの事前評価に係る調査審議について

平成23年5月25日
宇宙開発委員会

1. 調査審議の趣旨

はやぶさ2プロジェクトは、太陽系の謎の解明のため、「はやぶさ」の成果を踏まえ、小惑星イトカワと異なるタイプの小惑星（始原天体）の物質を地球に持ち帰るサンプルリターンを目指すプロジェクトである。

本プロジェクトについては、当委員会において、平成22年8月に「開発研究」に移行する準備が整っていることが確認された。

今般、はやぶさ2プロジェクトについて、独立行政法人宇宙航空研究開発機構（JAXA）において、「開発」への移行の準備が整ったため、JAXAにおいて具体化された内容が、宇宙基本計画等に照らして適切であるか、「宇宙開発に関するプロジェクトの評価指針」（平成19年5月9日 宇宙開発委員会了承）に基づき、宇宙開発委員会として事前評価を行う。

2. 調査審議の進め方

はやぶさ2プロジェクトについて、JAXAが策定した内容が宇宙基本計画等を適切に具体化したものとなっていることを確認するため、「評価指針」に基づき、以下の項目について調査審議を行う。

- (1) プロジェクトの目的・目標・開発方針
- (2) システム選定及び基本設計要求
- (3) 開発計画（スケジュール、資金計画、実施体制、設備の整備計画等）
- (4) リスク管理

なお、評価に当たっては、「評価指針」に基づいた評価実施要領を事前に定め、それに従って行う。

3. 日程

調査審議の結果は、6月中を目途に宇宙開発委員会に報告するものとする。

4. 推進部会の構成員

本事前評価に係る推進部会の構成員は、別紙のとおり。

宇宙開発委員会 推進部会 構成員

(委員)

部会長	井上 一	宇宙開発委員会委員
部会長代理	河内山 治朗	宇宙開発委員会委員
	服部 重彦	宇宙開発委員会委員 (非常勤)

(特別委員)

黒川 清	国立大学法人 政策研究大学院大学	教授
小林 修	神奈川工科大学 工学部機械工学科	特任教授
佐藤 勝彦	大学共同利用機関法人 自然科学研究機構	長
澤岡 昭	大同大学	学長
鈴木 章夫	東京海上日動火災保険株式会社	顧問
住 明正	国立大学法人 東京大学 サステイナビリティ学連携研究機構	地球持続戦略研究イニシアティブ 統括ディレクター・教授
高柳 雄一	多摩六都科学館	館長
建入ひとみ	アッシュインターナショナル	代表取締役
多屋 淑子	日本女子大学 家政学部	教授
中須賀真一	国立大学法人 東京大学大学院 工学系研究科	教授
中西 友子	国立大学法人 東京大学大学院 農学生命科学研究科	教授
永原 裕子	国立大学法人 東京大学大学院 理学系研究科	教授
林田佐智子	国立大学法人 奈良女子大学 理学部	教授
廣澤 春任	宇宙科学研究所	名誉教授
古川 克子	国立大学法人 東京大学大学院 工学系研究科	准教授
水野 秀樹	東海大学 工学部	教授
宮崎久美子	国立大学法人 東京工業大学大学院 イノベーションマネジメント研究科	教授
安井 正彰	社団法人 日本経済団体連合会宇宙開発利用推進委員会	企画部会長
横山 広美	国立大学法人 東京大学大学院 理学系研究科	准教授

●宇宙開発委員会の運営等について (平成十三年一月十日宇宙開発委員会決定)

文部科学省設置法及び宇宙開発委員会令に定めるもののほか、宇宙開発委員会(以下「委員会」という。)の議事の手続きその他委員会の運営に関して、以下のとおり定める。

第一章 本委員会

(開催)

第一条 本委員会は、毎週1回開催することを例とするほか、必要に応じて臨時に開催できるものとする。

(主宰)

第二条 委員長は、本委員会を主宰する。

(会議回数等)

第三条 本委員会の会議回数は、暦年をもって整理するものとする。

(議案及び資料)

第四条 委員長は、あらかじめ議案を整理し必要な資料を添えて本委員会に附議しなければならない。
2 委員は、自ら必要と認める事案を議案として本委員会に附議することを求めることができる。

(関係行政機関の職員等の出席)

第五条 委員会の幹事及び議案に必要な関係行政機関の職員は、本委員会の求めに応じて、本委員会に出席し、その意見を述べることができる。
2 本委員会は、必要があると認めるときは、前項に規定する者以外の者の出席を求め、その意見を聞くことができる。

(議事要旨の作成及び配布)

第六条 本委員会の議事要旨は、本委員会の議事経過の要点を摘録して作成し、本委員会において配布し、その確認を求めるものとする。

第二章 部会

(開催)

第七条 部会は、必要に応じて随時開催できる。
2 部会は、部会長が招集する。

(主宰)

第八条 部会長は、部会を主宰する。

(調査審議事項)

第九条 部会において調査審議すべき事項は、委員会が定める。

(関係行政機関の職員等の出席)

第十条 委員会の幹事及び議案の審議に必要な関係行政機関の職員は、部会の求めに応じて、部会に出席し、その意見を述べることができる。
2 部会は、必要があると認めるときは、前項に規定する者以外の出席を求め、その意見を聞くことができる。

(報告又は意見の開陳)

第十一条 部会において調査審議が終了したときは、部会長は、その結果に基づき、委員会に報告し、又は意見を述べるものとする。

(雑則)

第十二条 本章に定めるもののほか、部会の運営に関し必要な事項は、部会長が定める。

第三章 会議の公開等

(会議の公開)

第十三条 本委員会及び部会の議事、会議資料及び議事録は、公開する。ただし、特段の事情がある場合においては、事前に理由を公表した上で非公開とすることができる。

(意見の公募)

第十四条 本委員会又は部会における調査審議のうち特に重要な事項に関するものについては、その報告書案等を公表し、国民から意見の公募を行うものとする。

2 前項の公募に対して応募された意見については、本委員会又は部会において公開し、審議に反映する。

(雑則)

第十五条 本章に定めるもののほか、公開等に関し詳細な事項は、委員長が委員会に諮って定める。

第四章 その他

(雑則)

第十六条 前条までに定めるもののほか、議事の手続きその他委員会の運営に関し必要な事項は、委員長が委員会に諮って定める。

参考 2

はやぶさ 2 プロジェクトの事前評価実施要領

平成 23 年 6 月 2 日
推 進 部 会

1. 趣旨

はやぶさ 2 プロジェクトは、太陽系の謎の解明のため、「はやぶさ」の成果を踏まえ、小惑星イトカワと異なるタイプの小惑星（始原天体）の物質を地球に持ち帰るサンプルリターンを目指すプロジェクトである。

本プロジェクトについては、当委員会において、平成22年8月に「開発研究」に移行する準備が整っていることが確認された。

今般、はやぶさ 2 プロジェクトについて、独立行政法人宇宙航空研究開発機構（以下「JAXA」という。）において、「開発」への移行の準備が整ったため、JAXAにおいて具体化された内容が、宇宙基本計画等に照らして適切であるか、「宇宙開発に関するプロジェクトの評価指針」（平成19年5月9日 宇宙開発委員会了承）に基づき、宇宙開発委員会として事前評価を行う。

2. 評価項目

はやぶさ 2 プロジェクトについて、JAXAが策定した内容が宇宙基本計画等を適切に具体化したものとなっていることを確認するため、「評価指針」に基づき、以下の項目について調査審議を行う。

- (1) プロジェクトの目的・目標・開発方針
- (2) システム選定及び基本設計要求
- (3) 開発計画（スケジュール、資金計画、実施体制、設備の整備計画等）
- (4) リスク管理

評価票は別紙 1 のとおりとし、構成員は、JAXAからの説明を踏まえ、評価票へ記入を行う。

3. 評価の進め方

時期	部会	内 容
6月2日	第1回	はやぶさ 2 プロジェクトについて
6月14日	第2回	はやぶさ 2 プロジェクトについて
6月27日	第3回	事前評価結果について

なお、第1回推進部会におけるJAXAからの説明に対し、別途質問票による質疑を受けるものとし、第2回推進部会にて回答・審議を行う。評価票への記入はその質疑応答を踏まえて実施することとする。

4. 関連文書

はやぶさ 2 プロジェクトの評価に当たっての関連文書は、別紙 2 のとおりである。

妥当 概ね妥当 疑問がある

(上記の評価根拠等コメントを記入下さい。)

3. 開発計画

スケジュール、資金計画、実施体制、設備の整備計画等について、設定された目標に照らし的確であるかを評価して下さい。

特に、共同開発機関や関係企業との責任分担関係及びJAXAのプロジェクトチームに付与される権限と責任の範囲が明確になっているかについて評価して下さい。また、「開発研究」移行時に提示された助言に対する的確に対応しているかも考慮して下さい。

妥当 概ね妥当 疑問がある

(上記の評価根拠等コメントを記入下さい。)

4. リスク管理

可能な限り定量的なプロジェクトのリスク評価（リスクの抽出・同定とそれがどの程度のものかの評価、リスク低減のためのコストと成功基準との相対関係に基づく許容するリスクの範囲の評価）とその結果に基づくリスク管理について、採られた評価の手法、プロジェクトの初期段階で抽出された開発移行前に処置すべき課題への対処の状況、実施フェーズ移行後に処置する課題に対する対処の方向性が明確であるかを評価して下さい。また、「開発研究」移行時に提示された助言に対する的確に対応しているかも考慮して下さい。

なお、リスクを低減するための方法として、全てのリスクをそのプロジェクトで負うのではなく、プログラムレベルで、他のプロジェクトに分散し、吸収することも考慮して評価して下さい。

妥当 概ね妥当 疑問がある

(上記の評価根拠等コメントを記入下さい。)

はやぶさ2プロジェクトの評価に当たっての関連文書(抜粋)

●宇宙基本計画

(平成21年6月2日 宇宙開発戦略本部決定)

第3章 宇宙開発利用に関し政府が総合的かつ計画的に実施すべき施策

1 9つのシステム・プログラム毎の開発利用計画

(2) 研究開発プログラムの推進

F 宇宙科学プログラム

以下の主な社会的ニーズと今後10年程度の目標に対応するプログラムとして、宇宙科学プログラムを設定し、5年間の開発利用計画を推進する。

① 社会的ニーズと今後10年程度の目標

(a) 世界をリードする科学的成果の創出(知的資産の蓄積)

「世界トップレベルの科学研究成果の継続的な創出」というニーズに対して、これまで宇宙天文学や太陽系探査などの宇宙科学で世界を先導する成果を上げている。宇宙科学の成果は、宇宙開発利用全体の基礎となるものである。今後、宇宙科学の枠を超えた他分野・異分野との連携も含め、大学等の優れた研究者の参画の促進による体制の強化も踏まえて宇宙科学を推進し、世界最先端の成果を継続的に創出することを目標とする。

② 5年間の開発利用計画

上記目標の実現に向けて、以下の施策を推進する。

- ・ 太陽系探査としては、太陽系の理解、地球(大気、磁気圏含む)の理解等に繋がる科学的成果の創出を目指し、太陽、月、地球型惑星(水星、金星、火星)、さらには木星やその衛星、小惑星などを対象として、運用中の磁気圏観測衛星「あけぼの」、磁気圏尾部観測衛星「GEOTAIL」による磁気圏観測、「はやぶさ」による小惑星からのサンプル回収への取組や「ひので」による太陽観測、「かぐや」による月探査等を実施しつつ、金星探査機「PLANET-C」を打ち上げ、科学観測を行うとともに、将来の水星探査計画「BepiColombo」、「はやぶさ」後継機等の研究開発を行う。

別紙1 「9つの主なニーズと衛星開発利用等の現状・10年程度の目標」

《主なニーズ》

世界トップレベルの科学研究成果の継続的な創出等

《現状》

宇宙天文学や太陽系探査などの宇宙科学で世界を先導する成果を上げているとともに、太陽系探査と国際宇宙ステーションの活動により、人類の活動領域拡大に向けた取組を進めている。

《ニーズに対応した今後10年程度の目標》

宇宙科学の枠を超えた他分野・異分野との連携も含め、大学等の優れた研究者の参画の促進による体制の強化も踏まえて宇宙科学を推進し、世界最先端の成果を継続的に創出する。また、有人やロボットを活用した宇宙活動の推進により、人類の活動領域を拡

大することを目指すこととし、長期的にロボットと有人の連携を視野に入れた、平成32年（2020年）頃のロボット技術を活かした月探査の実現を目指した検討を進める。

《今後10年程度の目標のためにセンサや衛星等が達成すべき主要な目標》

世界をリードする科学的成果を目指して理工一体となって推進するとともに、人類の活動領域の拡大に向けた取組を進める。

- 宇宙天文学（X線観測、赤外線観測、電波観測）
- 太陽系探査（水星、金星、小惑星探査）
- 将来のロボット・有人連携月探査に向けた無人月探査
- 小型科学衛星による、先進的なミッション、新しいセンサや技術の実証など（テーマは科学コミュニティで選定）
- 「きぼう」等の微小重力環境等を利用した生命科学や材料・流体科学等、宇宙環境利用科学

など

《利用省庁・機関》

文部科学省/JAXA、大学

《10年程度の想定衛星》

ASTRO-G（電波）及びその他宇宙天文学ミッション（ASTRO-H（X線）、SPICA（赤外）など）、Planet-C（金星）、BepiColombo（水星）及びその他太陽系探査ミッション（SCOPE（磁気圏）、小惑星探査衛星（はやぶさ後継機）など）、月面着陸・探査ミッション、Ikaros他小型科学衛星（3機/5年）

別紙2「9つの主なニーズに対応した5年間の人工衛星等の開発利用計画」

4つの研究開発プログラム

F 宇宙科学プログラム

平成24年度から運用予定（適時、適切に判断）：

太陽系探査ミッション 「はやぶさ」後継機（小惑星）、SCOPE（磁気圏）など

●宇宙分野における重点施策について

（平成22年5月25日 宇宙開発戦略本部決定）

3. イノベーションエンジンとしての最先端科学・技術力の強化

（3）宇宙科学・技術（月・惑星探査や宇宙天文など）

月・惑星探査や宇宙天文などの宇宙科学・技術は、新たなフロンティア分野として最先端科学・技術の基盤の強化につながるものである。また、次世代を担う子供達に活力ある未来への夢や希望を与え、未来の科学・技術を支える人材の養成とともに、我が国としての国際的なプレゼンスの確立に寄与する将来に向けた投資たり得るものである。

このような特長を有する宇宙科学・技術分野において、これまで我が国は世界トップレベルの成果を挙げてきており、引き続き、我が国の強みを活かした宇宙科学・技術を推進する。特に、中国やインドなども精力的に取り組を進めてきている月探査につ

いては、別途検討中であるが、地球に最も近い重力天体である月において将来の自在な太陽系探査のキーステップとなる技術確立するとともに、「かぐや」の成果によって我が国が世界をリードしている科学の一層の発展を図り、更に月の平和的な利用に係る国際的な議論において先導的な役割を果たすため、2020年頃に長期間のロボット探査、サンプルリターンの実現を目標として進める方針で検討を深める。

また、将来の我が国独自の有人宇宙活動につながる技術基盤の構築を目指し、これまで我が国が確立していない宇宙からの帰還技術など、我が国としての自律性の確保・向上を図る上で不可欠な技術についての研究開発を戦略的に進めていくことが重要である。具体的には、現在、国際宇宙ステーションへの物資の輸送・補給を担っている宇宙ステーション補給機（HTV）を活用した再突入技術の実証などが挙げられる。

●当面の宇宙政策の推進について

（平成22年8月27日 宇宙開発戦略本部決定）

3. 個別事項に関する取組方針

（3）最先端科学・技術力の強化

世界トップレベルの成果を挙げている宇宙科学・技術分野については、引き続き、我が国の強みを活かしながら取り組んでいくことが必要となっている。

小惑星探査については、「はやぶさ」の微小重力天体からのサンプルリターン技術を発展させ、鉱物・水・有機物の存在が考えられるC型小惑星からのサンプルリターンを行う探査機について、小惑星との位置関係等を念頭に置いた時期の打上げを目指し、開発を推進する。

月探査については、宇宙開発担当大臣の下での「月探査に関する懇談会」の検討結果をも踏まえ、国際協力による効率的な実施や実施時期などについて柔軟に対応しつつ、着実に推進する。

●宇宙開発に関する長期的な計画

（平成20年2月22日 総務大臣、文部科学大臣）

2. 宇宙開発利用の戦略的推進

（3）宇宙探査への挑戦

我が国としては、当面は、工学実験探査機「はやぶさ」等で築いてきた我が国の強みを活かし、無人活動を中心に宇宙探査を進めることとする。将来の国際協働における有人活動については、国際的な動向に即し、費用対効果を含めた総合的な観点から、適時適切にその要否を慎重に検討することとし、また、独自の有人活動については、これへの着手を可能とすることを視野に入れ、基盤的な研究開発を進める。また、宇宙探査は、一つのプロジェクトとしての規模が大きく、長期間に渡るものになりがちであることに注意し、プロジェクト期間として数年程度にまとまったものを組み合わせるよう努める。

月は、地球に最も近く、従って、アクセスが最も容易であることから、様々な宇宙探査の足掛かりとなることが期待され、また、地球と同様の進化過程を含む形成期の

痕跡が保存されており、宇宙科学における大きな意味を持っている。また、月探査への国際的な関心が高まっており、月探査活動は国際的な影響力を確保する上でも重要なものとなっている。このため、諸外国においても意欲的な月探査計画が進められようとしている。

我が国は、「かぐや」による探査活動を開始したところであるが、その成果をさらに発展させるべく、無人機による月表面着陸により、リモートセンシングでは得られない、詳細な化学組成や月深部の情報など月の起源と進化の謎に迫る科学的に価値の高い情報の取得や、高精度着陸技術、表面移動技術等の今後の探査活動等に必須となる基幹的な技術の獲得を目指すこととする。

その際には、月探査が国際的な側面を有する活動であることを踏まえ、我が国固有の理由によるほか、国際的な動向に即し、総合的な観点から、適時適切に計画を見直すことが必要である。

また、小惑星や惑星への新たな探査に挑戦すべく研究開発を進める。

●宇宙科学研究の推進について（報告）

（平成18年12月21日 宇宙開発委員会計画部会

宇宙科学ワーキンググループ）

第2章 宇宙科学研究における長期的な展望

3. 今後のプロジェクト研究の重点分野について

（2）各重点分野のプロジェクト研究の目標

②太陽系探査科学（宇宙探査のうち、科学に係るものを含む）

太陽、地球、惑星、始原天体及び太陽系空間環境を多様な手段で調査し、太陽系諸天体の構造、起源と進化、惑星環境の変遷、これらを通じた宇宙に共通な物理プロセス等を探るとともに、太陽系惑星における生命発生、存続の可能性及びその条件を解明する。

人類の活動領域は地球近傍からその範囲を拡大し、月及び太陽系内と拡がりつつある。宇宙探査の目的は、知の創造とともに、人類の活動領域を拡大することであるが、その推進には、先進的工学研究を含め、宇宙科学の知見が極めて重要であり、宇宙科学と宇宙探査活動が共同歩調をとり、両者の協調的発展を目指すことが必要である。

1) 太陽系諸天体の構造と起源を探る。

ア. 長期的な目標

始原的天体の探査や、月・惑星の内部及び表層の調査を行い、太陽系の初期状態を実証的に探る。サンプルリターン、地震波・熱流量による内部計測、地表物質分析、固有磁場等のリモートセンシングにより太陽系諸天体を調査し、その起源と進化を解明する。

イ. 今後5年程度の目標

工学実験探査機「はやぶさ」により、S型小惑星サンプルリターン及び試料分析を行う。月探査衛星「SELENE」により、月の内部・表層探査を行い、精密全球表面物質・重力場観測データベースを構築する。「はやぶさ」後継機により、C型小

惑星の探査及びサンプルリターンを行うことを検討する。「SELENE」後継機に向けた月表面着陸技術を研究するとともに、「ベピ・コロombo計画」による水星の内部・表層・磁場研究の準備、ソーラー電力セイル等による木星及び以遠到達へ向けた技術基盤の確立を行う。

ウ. 20年先を視野に入れた今後10年程度の目標

「はやぶさ」及び「はやぶさ」後継機により取得した小惑星物質を分析し、太陽系の初期状態を推定する。「SELENE」後継機により惑星表面着陸技術を確立し、月の起源・進化過程を解明する。多様な始原天体、月・惑星の探査とその実現に必要な研究を行う。

●独立行政法人宇宙航空研究開発機構が達成すべき業務運営に関する目標（中期目標）

（平成20年4月1日 総務省、文部科学省）

II. 国民に対して提供するサービスその他の業務の質の向上に関する事項

3. 宇宙探査

我が国の国際的な影響力の維持・強化、人類の知的資産の形成、人類の活動域の拡大及び我が国の総合的な技術力の向上を目的とし、国際協力枠組みを活用して、我が国が主体性・独自性を持つ形での宇宙探査プログラムを検討した上で、月・惑星等における世界初の活動を行うことを目指した研究開発を行う。

●宇宙開発に関する重要な研究開発の評価 はやぶさ2プロジェクトの事前評価結果

（平成22年8月11日 宇宙開発委員会 推進部会）

4. はやぶさ2プロジェクトの事前評価結果

(5) 総合評価

今回の事前評価では、はやぶさ2プロジェクトの目的、目標、開発方針について審議をおこなった。その結果、現段階までの計画は、具体的かつ的確であり、「開発研究」に移行する準備が整っていることを確認した。

なお、開発研究に向け配慮すべきこととして、サンプル採取の確実な実施、衝突体の開発、サバイバビリティを重視した総合的システム技術向上、理学・工学の専門家をリーダーとする開発体制の構築、プロジェクト管理、地上系設備への老朽化等への配慮の必要性、持ち帰ったサンプルの分析に関する時期の再検討、分析体制の充実と強化の検討、探査ロボットの確実な開発、衛星の自律制御に関するリスク管理等の意見が提出された。また、本プロジェクトに限らず、JAXA全体への意見として、将来の深宇宙探査を視野に入れた、各種搭載機器・センサー等への長期的視点での開発と、開発資金についての説明の方途の検討等の意見が出された。JAXAにおいてはこれらの助言について、今後適切な対応がなされることを望む。

はやぶさ2プロジェクトの事前評価に係る 推進部会の開催状況

【第1回推進部会】

1. 日 時： 平成23年6月2日（木曜日） 10：00～12：00
2. 場 所： 新霞が関ビルLB階 NISTEP会議室（201D号室）
3. 議 題： （1）はやぶさ2プロジェクトの事前評価について
（2）その他

【第2回推進部会】

1. 日 時： 平成23年6月27日（月曜日） 14：00～17：00
2. 場 所： 文部科学省 16階 特別会議室
3. 議 題： （1）はやぶさ2プロジェクトの事前評価について
（2）その他

【第5回推進部会】

1. 日 時： 平成23年11月22日（火曜日） 13：00～15：30
2. 場 所： 文部科学省 16階 特別会議室
3. 議 題： （1）はやぶさ2プロジェクトの事前評価について
（2）その他

【第1回推進部会】

1. 日 時： 平成24年1月16日（月曜日） 14：00～17：00
2. 場 所： 文部科学省 3階 1特別会議室
3. 議 題： （1）はやぶさ2プロジェクトの事前評価について
（2）陸域観測技術衛星「だいち」（ALOS）プロジェクトの事後評価に
ついて
（3）その他

はやぶさ2プロジェクトの評価票の集計及び意見

評価結果

	妥当	概ね妥当	疑問がある
1. プロジェクトの目的・目標・開発方針	7	6	0
2. システム選定及び基本設計要求	4	9	0
3. 開発計画	2	10	1
4. リスク管理	3	10	0

1. プロジェクトの目的・目標・開発方針

本プロジェクトについては、宇宙開発委員会推進部会において、平成22年度に実施した「開発研究」への移行時に、プロジェクトの目的については「妥当」、プロジェクトの目標及び開発方針については「概ね妥当」と評価されました。

今回の評価に当たっては、宇宙基本計画等に照らして適切であるかを確認するとともに、「開発研究」移行時からの設計進捗を踏まえ、「開発研究」移行時に評価した「目的」「目標」「開発方針」が「開発」移行時としても適切であることを評価して下さい。また、「開発研究」移行時に提示された助言に対する確に対応しているかも考慮して下さい。

	妥当	概ね妥当	疑問がある
プロジェクトの目的・目標・開発方針	7	6	0

評価根拠のコメント

【妥当】

- 「開発研究」移行時に評価した「目的」を達成するため探査対象に選ばれた小惑星は、鉱物・水・有機物の相互作用、小惑星形成過程などを調べる上で有効な天体であり、「はやぶさ」で試みた日本独自の深宇宙探査技術の確立のためにも的確なものになっている。
「はやぶさ」がもたらした日本の探宇宙探査技術の課題を教訓とした「開発方針」は、「はやぶさ」で試みた新しい技術が非常に脚光を浴びたものとなっただけに、ロバスト性、確実性、運用性の向上をはかり、この技術の成熟を目指す本プログラムの目標設定に注目が集まる状況を生み出している。そうした背景を踏まえ、対象に選ばれた小惑星探査を確実に、試料採取と地球への持ち帰りを果たすべく最大の努力が活かされるべき「目標」「開発方針」となっていると思われる。その意味で「目的」「目標」「開発方針」はいずれも妥当だと評価する。
- 平成22年8月の宇宙開発戦略本部の決定においても、はやぶさの成果を基に、鉱物・水・有機物の存在が考えられるC型小惑星からのサンプルリターンを行う探査機の開発を推進するとされており、はやぶさ2はこの方針に基づいた開発でありプロジェクトの目的および目標は妥当である。ただし水および有機物の存在は地上のアルマ望遠鏡でも探査を目指しており、はやぶさ2の目的は単に有機物の確認に留まらず、サンプルリターンによって得ることが期待される科学成果に付いてより積極的なPRをすることが重要である。
はやぶさは大きな成果を挙げたが、深宇宙探査技術が完成したと言えるレベルではない。将来に備えてはやぶさの技術成果を最大限生かすと共に、その反省に基づいて更なる信頼性向上を図った探査機はやぶさ2を開発することは、開発方針として妥当である。
- 小天体探査は、日本は世界のトップをいっており、はやぶさ2においてサンプル採取・リターン技術を確認するものとし、イオンエンジンの性能を強化することは、まさに、宇宙基本法における「人類の活動領域の拡大と活動様式の拡充」につながることである。優位性の高い分野を強力に推し進めることは、日本の宇宙活動の進め方としてもっとも重要なことと考えられる。さらにサイエンスの点からは、今後の宇宙惑星科学の中心的課題である宇宙における生命の起源に迫ろうとする本探査は、「世界トップレベルの科学研究成果の継続的な創出」という目標に適切な計画といえる。アメリカが Osiris-Rex 計画で、はやぶさ2とまったく同じ目標の探査計画をかかげてきたこと、ESAにおいても Marcopolo R がやはり同じ目的で検討されていることから明らかのように、はやぶさ2は熾烈な国際競争の中で、はやぶさ成果の上にとった最先端の計画といえる。国民的期待もあり、この計画は一刻の遅れも許されず、また失敗も許されず、全力をあげて前進させるべきものといえる。
- 今回は新規の技術開発も盛り込まれることから、難易度の高い技術開発は先行して強化することなど今回のASTRO-Gでの教訓を充分いかし、C型小惑星での「はやぶさ」の再チャレンジを確実な成果につなげてほしい。
- S型小惑星を探査した「はやぶさ」の後継機としてより高度な技術を必要とするC型小惑星を探査対象とする「はやぶさ2」の目的は納得できる。
目標において「はやぶさ」にて必ずしも成功したとはいえないサンプル採取のより確実な実現を目指すことに焦点を当てているが、国民の関心に応える意味でも適切といえる。
また、「はやぶさ」が示した技術的課題の克服に加え、低コストと開発期間短縮を図りつつ、より確実な信頼性向上に努めるとした開発方針も適切である。

【概ね妥当】

- 「はやぶさ」においてサンプル採取がなされたことは、採取が計画した形で実施されたものではなく、極めて微量の粉塵が幸いにも取り込まれていたものであったとは言え、その成果は、科学的にも、また社会的にも、極めて画期的なものとして高く評価される。「はやぶさ2」は「はやぶさ」におけるサンプル採取(という結果)を踏まえて進めるべきプロジェクトとなり、踏み出すべきステップが大きくなったとも言えよう。
成功基準について、サンプル採取・回収をミニマムとすべきかどうか議論になったが、サンプル採取・地球への帰還・カプセル回収は難度の高い工学技術の積み上げ(シーケンシャルな遂行)によってはじめて達成されるものであり、それらを「目標(フル)」に設定したこと自体が大きな挑戦であると言える。その中の部分的な成果を「目標(ミニマム)」とすることは目標に相応しくないで、「目標(ミニマム)」の項自体を削除してはどうか。
「はやぶさ2」は「探査」と称する範疇に位置づけられるミッションとのことであるが、探査といえども、探査技術の達成のもとにサイエンスの成果が最大となるように計画するのは当然であろう。「はやぶさ2」では理学的成果を得るための目標設定・検討が深くなされており、評価できるものであるが、サイエンスコミュニティとの連携を更に深め、より広げていくことは、プロジェクトが果たすべき責任を考えると、欠かせないこととも言えよう。

- 7 はやぶさの教訓を踏まえ、同型機による新たなサンプルリターンミッション「はやぶさ2」を行う事は、深宇宙探査技術を確立し、世界をリードする小惑星探査の競争力を維持、強化する上で意義がある。全体的に科学ミッションか工学ミッションか意見が分かれているが、はやぶさ2のミッションは科学・工学両面の柱から成り立っており、双方間の強い連携が求められている。
- 8 「はやぶさ」において表面サンプル採取、地球に持ち帰る技術が確立したわけではないが、先行ミッションにおいて成し遂げた事項は目標設定としてはそのサンプル質量の数値はなくともミニマムサクセスに含めるのが妥当と考えられる。衝突実験、および小惑星内部からのサンプル回収は極めてチャレンジングな計画であり、今後とも必要に応じて専門家を加えること、またプロジェクト外の有識者との議論を深めるべきである。宇宙科学研究所内部にも衝突実験の専門家はおられるし、衝突の瞬間を撮像することの科学的意義も大きく検討すべきであろう。
- 9 探査ミッションとしては概ね妥当である。しかし、宇宙開発の予算が他国に比べて潤沢では無い我が国では、一回のミッションに対する成果の期待は大きいと予想され、今回のミッションは前回ははやぶさの成果を踏まえ、確実に探査を成功させるための技術の確立に加え、科学ミッションとしても役に立つ成果(サンプルリターン)も期待するところである。そのためには、いろいろな分野の叡智の集結が必要であり、最大限の成果を得ることができるよう明確な目標設定と計画を精査し、開発段階に移行していただきたい。加えて、この探査ミッションの成果は、今後の月・惑星の探査に向けて繋がる内容となることを期待する。
- 10 「はやぶさ」で実施した小惑星とのランデブーやサンプル回収等の技術を維持・向上させる目的でC型小惑星の探査を行うことは、宇宙基本計画の位置付けや、理学的意義の観点からも概ね妥当と考える。

2. システム選定及び基本設計要求

システム(衛星を実現する技術的な方式)の選定及び基本設計要求(基本設計を固めるに当たっての骨格的な諸条件)が設定された目標に照らし的確であるかを評価して下さい。評価に当たっては、特に次の点に着目して下さい。

- i) 関係する技術の成熟度の分析が行われ、その結果が踏まえられているか
 - ii) コストも含めて複数のオプションが比較検討されているか
 - iii) システムレベル及びサブシステムレベルで、どの技術は新規に自主開発を行い、どの技術は既存の成熟したもの(外国から調達するものに関しては、信頼性確保の方法も含めて)に依存するか、という方針が的確であるか
- なお、上記諸点の検討においては、国内で実現可能な技術のみでなく、海外で開発中の技術も検討の対象に含めます。また、「開発研究」移行時に提示された助言に対し的確に対応しているかも考慮して下さい。

	妥当	概ね妥当	疑問がある
システム選定及び基本設計要求	4	9	0

評価根拠のコメント

【妥当】

- 1 課題としてあげられた衝突体装置やクレータ形成に関しても実験が実施され、十分検討されていると思われる。
- 2 「はやぶさ」からの課題教訓を基に、ミッション達成率の向上させるための信頼性確保対策が着実に講じられ、また現時点での技術課題についても見通しが示されるなど、開発方針に則したシステム選定の取り組みがなされている。

【概ね妥当】

- 3 助言に対する的確な対応、さらには「はやぶさ」がもたらした技術的教訓を充分に取り入れ、「あかつき」軌道投入失敗の原因究明から得られた教訓も生かされ、それらが基本設計要求に反映している。
新規自主開発の衝突装置、近赤外分光計は、このミッションの目的達成度を高める試みとなっている。目標天体ヘイオンエンジン性能を活かし、安定した打ち上げが可能な機会の制約など厳しい時間的条件の中で、システム選定及び基本設計要求は概ね妥当だと思われる。
- 4 「はやぶさ」Lessons Learned の取り込み・反映は適切になされていると認められる。
衝突装置に関しては、今後計画されている地上検証試験の成り行きに依存する面が多々あると認められ、慎重かつ柔軟な取り組み・対処が必要と思われる。
- 5 衝突装置については、まだ検討すべき事項が多くあるように思われる。なおいっそう、プロジェクト外の有識者からの助言をもとめ限られた時間ではあるが仕様を深めていただきたい。
- 6 衛星バスに関しては、はやぶさのシステムをベースに冗長性を付加して更なる信頼性向上を図る方針は、将来種々の探査ミッションに共通的に使用可能な技術ベースを構築する方法として妥当である。
サンプル採集方法に関して種々トレードオフの結果に基づいて方式選定が行われている。実施部門の評価結論を是とすべきであるが、はやぶさでは成功したとは言えず、広い意味でのバックアップ方式の充実を図るべきである。またサンプルが実際に採取出来たかどうかを確認出来るようにすることも重要である。
光学観測に関しては科学コミュニティで引き続き議論があるようであるが、はやぶさの延長線上のはやぶさ2を前提とする限り、現状の計画から大きく変更することはミッション全体としてのバランスを崩す恐れが強い。したがって現計画に留まるべきと思われる。わが国としての小惑星探査構想は相当に明確になってきていること、さらにミッション機器としての高性能センサの開発にはかなりの時間を要することから、プロジェクトとは切り離して、宇宙探査の長期構想に基づいたセンサ開発の推進方法を具体化する必要がある。
- 7 新規技術となる衝突装置(弾丸発射)の意義と近赤外分光計の基本設計など、よく検討されていることが判る。近赤外分光計は「はやぶさ」に搭載した踏襲するなど努力もうかがえるが、殆どの搭載機器は「はやぶさ」のものを継承している。そのため、技術を最大限に継承し反映することは当然であるが、「はやぶさ」と同じ故障が起きたなら致命的になる。
- 8 関係する技術の検討は、限られた条件の中で検討されているものと思われる。
確実にサンプルを確保できるように、輸入品の信頼性確保等にさらなる検討を期待する。
- 9 「はやぶさ」におけるLessons Learned の取り組みや、「はやぶさ2」の技術成熟度と評価計画が示されている。また、サブシステム毎の分析と課題及び今後の開発計画が示されており概ね妥当と考える。

10 技術成熟度に関しては、はやぶさを初めとする従来の経験に鑑みた分析がおこなわれ、その結果を踏まえている。他方、複数オプションの比較検討は、コストについては必ずしも十分とは思われない。特に技術的には、新規開発項目について、一つは生命起源物質探査の目標の観点から赤外分光計が満足すべきものとなっていない。科学目標のミニマムサクセスとフルサクセスの間にきわめて大きなギャップがあり、現地ではH₂O ないしOH の観測のみ、リターンサンプルで鉱物-水-有機物相互作用ということになっているが、あまりに落差が大きい。現地でその3つの要素の空間分布をリモートセンシングにより観測せずにリターンサンプルで分析というのでは、かりに試料で有機物が発見されたとしても偶然なのか必然なのかの理解をすることが困難となるであろう。さらに、有機物を含む可能性もおりこんだサンプルリターンという必須項目に対してサンプラーに不安が大きい。はやぶさで問題となった地上でのコンタミ、現地での密封が完璧でないかぎり、有機物探査には問題が起こりうると考えられる。はやぶさにおいては結果的にサンプルが入手できたため、科学的には幸いしたが、本質的にはその基本設計は密封性が悪いことを意味している。すなわち、サンプラーも新規開発に近いことを意味する。はやぶさでなぜ試料が採取できたのかという問題を真剣に検討すべきであろう。第3に、衝突実験はミニマムサクセスでありながら、まったくの新規項目である。地上実験において順調な準備が進んでいるとのことであるが、微小重力・真空下で起こりうるトラブルに関し、最大限の検討を進めるべきである。

3. 開発計画

スケジュール、資金計画、実施体制、設備の整備計画等について、設定された目標に照らし的確であるかを評価して下さい。

特に、共同開発機関との責任分担関係及びJAXAのプロジェクトチームに付与される権限と責任の範囲が明確になっているかについて評価して下さい。また、「開発研究」移行時に提示された助言に対应的確に対応しているかも考慮して下さい。

	妥当	概ね妥当	疑問がある
開発計画	2	10	1

評価根拠のコメント

【妥当】

- 1 打上げまでの期間は3年であるが殆のシステムははやぶさの実績品の改良であり、また万が一のトラブルに対しては約1年のコンティンジェンシ期間があることからスケジュール上の問題は無い。体制としてはプロジェクトエンジニアとプロジェクトサイエンティストが対等の立場で議論をしつつ開発を進める方式となっている。また開発体制としてははやぶさの経験者を中心とした体制であり、更に新人も参加した体制となっており、ミッション目標の達成と技術の発展と継承に対して妥当な体制である。

【概ね妥当】

- 2 探査天体への理想的打ち上げ機会にも限定される厳しい時間的条件の中で、「研究開発」移行時に提示された助言にも対応しており、実施体制の中に、科学の成果を最大限とするべく、科学コミュニティとの連携を活かす取り組みも含まれ、概ね妥当な開発計画になっていると思われる。
- 3 スケジュールに関しては、最初の打ち上げウィンドウを使うことから、厳しくなっているように見受けられる。開発期間の過度の短縮がリスク要因とならないように、スケジュール管理には十分な配慮が必要であろう。プロジェクトチームが、はやぶさの経験者を多く含めつつ、新メンバーを加えた体制となっていることは妥当である。人材育成もなされていくことと期待される。
このプロジェクトにおいて、宇宙探査委員会(月・惑星探査プログラムグループの内部?)がどのような役割を果たしてきたかが明確でない。
- 4 2014年に打ち上げを行うスケジュールは非常にタイトなものであり、どのフェーズでも失敗が許されない。予知出来ない問題も起こりうるので、対応策も充実させた方がよい。
- 5 2014年(最大に遅くとも2015年)打上を大前提とする限り、開発の限界が自ずと決まり、それがサイエンス目標に対する各種設計への大きな制約となってくる。本ミッションが探査ミッションであるという立場に立つなら、この制約もある程度やむを得ないと思われる。ただし、ミニマムサクセスについての不確定性をどこまで下げることができるかについては、さらに検討の余地があると思われる。
最近、ミッション内部で進められている体制強化、コミュニティとの連携強化、さらにはISAS理学委員会の協力など、サイエンスと計画成功への体制作りはきわめて順調に進み出していると言える。しかしそれはまだ途についた段階であり、ミッション全体の体制・社会的発進力の強化など、さらなる充実を期待したい。
- 6 バックアップも考えイオンエンジンの特性を踏まえると2014年打ち上げがベストと考えるが準備期間が短いため実施体制の強化が重要になる。今回は、短期間でのプロジェクトとなるため、全体会議が2ヶ月に一度では少なすぎると思える。
十分なコミュニケーションを図り、成功を目指して欲しい。

<今回初めて知ることとなった向井先生の「現場の声」からの提案について>
早急に機器搭載責任者(PI)所属機関への外部資金の調達も確保すべきである。積み重ねてきた研究や情報、人材のネットワークシステムが、今さらながら日本の中で構築できてない。必要なところへ必要な予算が回るシステムができていない事が不思議である。日本の「知」と「人財」の消失ともいえるので、早急に対処して欲しい。
- 7 はやぶさで獲得した日本の探査技術の優位性を持続するための開発計画は十分に考慮されている。
- 8 「はやぶさ」の技術を最大限に活用及び改善を測り、計画通り打上げられることを期待する。概ね妥当と判断する。
- 9 JAXAの組織/人員体制は「はやぶさ」開発での経験や教訓を生かす努力がなされていると評価できる。ただ、開発を実質的に支え実行するメーカーとの関わりについての方針が余り示されていないのは検討不足といえよう。

【疑問がある】

- 10 推進部会の助言に基づき、「はやぶさ」で実績のある工学専門家がリーダーとして見えるような体制を組まれたことは評価できるが、一方惑星科学会長からの発信にもあったように、いまだ科学コミュニティとの対話は不十分である。限られた時間での作業でありどれほど実現可能か不明ではあるものの、はやぶさ2の科学的成果が最大となるよう、観測の方法、サンプルの取り方、個々の搭載観測機器の仕様変更まで含め、具体的提案を早急に受け付け議論を尽くすべきである。

4. リスク管理

可能な限り定量的なプロジェクトのリスク評価(リスクの抽出・同定とそれがどの程度のものかの評価、リスク低減のためのコストと成功基準との相対関係に基づく許容するリスクの範囲の評価)とその結果に基づきリスク管理について、採られた評価の手法、プロジェクトの初期段階で抽出された開発移行前に処置すべき課題への対処の状況、実施フェーズ移行後に処置する課題に対する対処の方向性が明確であるかを評価して下さい。また、「開発研究」移行時に提示された助言に対処しているかも考慮して下さい。

なお、リスクを低減するための方法として、全てのリスクをそのプロジェクトで負うのではなく、プログラムレベルで、他のプロジェクトに分散し、吸収することも考慮して評価して下さい。

	妥当	概ね妥当	疑問がある
リスク管理	3	10	0

評価根拠のコメント

【妥当】

- 1 方針・計画など、リスク管理に関する提案は妥当である。プロジェクトの遂行に当たって、継続的なリスク管理がプロジェクトチーム全体(企業を含めて)の高い意識のもとに実施されていくことを期待したい。
- 2 はやぶさの実績を基にリスク評価を行い、オーソドックスな信頼性評価手法に基づいた解析結果を基に機器の冗長設計、運用上のバックアップ機能の分析が行われており、開発上のリスク管理方法は妥当である。ただし良い設計は論理的な解析だけで出来るものではない。例えばチェックバルブ1つをつける場合でも、酸化剤側に付けるか燃料側に付けるかでリスクが異なる。更にこれまでに実績のあるシステムに関しては思い込みによる見落としが発生し易いのも事実であるので、実績のあるサブシステムに対する再評価が重要である。はやぶさ1の場合は初めての挑戦として大きな成果を上げ賞賛されたが、2回目のミッションでは成功が当たり前となり、世間一般の評価は極めてシビアになることを十分認識し、エンジニアリングセンスを最大限生かしてリスクの低減に努められたい。
- 3 リスク管理として、実験も含めてのプロジェクト開始から終了まで、継続的に開発へのフィードバックを図り推進して欲しい。「あかつき」軌道投入失敗の分析や今後の対策を踏まえて「はやぶさ2」の化学推進系に対して追加対策など見直し検討されたことは良い。確実に着陸させることや表面環境の探査やサンプル採取の手法などのリスクもよく検討されている。

【概ね妥当】

- 4 探査天体での試料採集に伴うリスクの対処計画では、「研究開発」移行時の助言に対する的確な対応がみられる。打ち上げ機会の遅れが生じた場合や、自主的開発装置の開発でのさらなる課題が発生した場合など、予想されるリスクに対する対処計画も配慮されており、全体としてリスク管理は概ね妥当だと思われる。
- 5 作業項目を細かくブレークダウンし、各フェーズのクリティカルパスを明確化するプロセスを徹底することは不可欠である。また、JAXA内部(サイエンスと工学系部門)と関連企業や関連機関、海外の機関との調整を密にしながら総合的なリスク管理を行うことを進める必要がある。
- 6 開発研究移行時に指摘された問題につき、全般的に適切な対処がなされ、開発段階に移行するに値する段階に至ったと考えられる。ただし、科学目標に対する基本設計・開発計画の視点からは、当初指摘された問題は1年を経過した現在でも依然としてクリアされたとは言いが切れない。すなわち、サンプリング装置、赤外分光計、衝突装置はサクセスクリテリアを満たす為のリスク管理という意味で、依然不透明な部分が内在しているということになる。さらに、探査機あかつきの失敗を受け設計を変更した化学推進系に関しては、燃料・酸化剤調圧系の完全分離は、一方だけが作動しない等、新規の問題が起こらないとも限らず、十分な検討をおこなうべきである。ただし、探査ミッションという定義である以上、理学のみに限らず、OSIRIS-Rexとの関わりにおいて日本の宇宙探査技術の優位性確保の重要性などまで考慮したときには、現状のリスク評価で概ね妥当と判断すべきと考えられる。
- 7 リスク管理のポイントが示されており、概ね妥当と判断する。
- 8 責任体制や評価体制、連絡体制が明らかにわかるような組織図を示してほしい。
- 9 「はやぶさ」に加え「ASTRO-G」からの教訓を念頭に開発フェーズでのリスク管理が考えられているが、その中にはプロジェクトマネジメント面でのリスクの有無や、運用フェーズで想定される発生リスクに対する対処策(人員や設備などのバックアップ体制など)についてもより深く検討していただきたい。