

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
(案)

1. 評価の経緯

2. 評価方法

3. はやぶさ2プロジェクトを取り巻く状況

4. はやぶさ2プロジェクトの事前評価結果

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

参考2 はやぶさ2プロジェクトの評価実施要領

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

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)

平成22年8月5日
宇宙開発委員会 推進部会

1. 評価の経緯

小惑星イトカワ等の始原天体を探査することで、太陽系がどのように生まれ、どのように成長してきたのか、また地球生命の原材料が宇宙空間でどのように作られ、進化してきたのかについて、重要な手がかりが得られる可能性がある。

はやぶさ2プロジェクトは、それら太陽系の謎の解明に迫るとともに、我が国独自の深宇宙探査技術の確立を目指し、「はやぶさ」の成果を踏まえ、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。

平成21年6月に制定された宇宙基本計画において、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、宇宙の真理の探究等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5月に宇宙開発戦略本部により決定された「宇宙分野における重点施策について」(以下「重点施策」という)において、惑星探査などの宇宙科学・技術では、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・技術を推進するとしている。

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、「開発研究」への移行の準備が整ったので、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、宇宙基本計画や重点施策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4月23日 宇宙開発委員会推進部会)に基づき、宇宙開発委員会として推進部会にお

いて評価を行った。推進部会の構成員は参考1の別紙のとおりである。

2. 評価方法

今回の評価は「開発研究」への移行のための評価であるため、以下の項目のうち、企画立案フェーズの早い時期に評価することが望ましい(1)から(3)について、推進部会が定めた評価実施要領(参考2)に則して評価を行った。(4)については、「開発」への移行の要望があった時点で評価するものであるが、今回は、「開発研究」への移行に当たり検討の進捗状況を確認し、必要に応じ助言することとした。

(1) プロジェクトの目的(プロジェクトの意義の確認)

(2) プロジェクトの目標

(3) プロジェクトの開発方針

(4) その他

- ・ システム選定及び基本設計要求
- ・ 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)
- ・ リスク管理

評価の進め方は、まず、JAXAからはやぶさ2プロジェクトについて説明を受け、各構成員に評価票(参考2の別紙1)により、評価項目ごとに意見、判定を求めた。各評価項目に対する判定は3段階表示として集計した。

本報告は、各構成員の意見、判定を集約して、事前評価結果としてとりまとめたものである。

なお、本報告の末尾に構成員から提出された全意見及び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

太陽系は、約46億年前に誕生したと考えられている。誕生した初期の段階では、原始太陽の周囲にガスや固体微粒子が「原始太陽系星雲」と呼ばれる円盤を形成し、その円盤中で固体微粒子が集まって、原始太陽に近い領域ではおもに難揮発性の塵からなる微惑星が、比較的遠方では水等を含む微惑星ができたと考えられる。微惑星は次第に合体衝突を繰り返しながら大きく成長し、最終的には水星、金星、地球、火星などの固体惑星、木星、土星等のガス惑星、それらの衛星群、彗星や小惑星として現在に至っている。

現在観察できる、地球などの大きな天体では、原材料は全て天体内部で一旦溶けてしまったので、それ以上昔の情報にたどりつけないが、小惑星や彗星核等の始原天体の多くは、それぞれが太陽系内で生まれた時代の情報を比較的良くとどめていると考えられている。こうした始原天体を探査することで、太陽系がどのように生まれ、どのように成長してきたのか、生命の原材料が宇宙空間でどのように作られ、進化してきたのかについて、重要な手がかりを得られる可能性がある。

これら始原天体の中でも、小惑星は望遠鏡を使った分光観測によるスペクトル曲線の形から、いくつかのグループに分類できている。小惑星帯の最も太陽に近い部分には、主な材料が岩石質と推定されるS型小惑星が多く見られる。これらからは火星や地球など太陽系の内側にある岩石質の惑星の原材料について、有益な情報が得られると期待されている。小惑星帯の中間の部分に多数存在するC型小惑星は、鉱物・水・有機物(生命の前駆体)が物理的・化学的に相互に関係し合っていると考えられている。また、最も太陽から遠い部分には、より始原的な天体と推定されるD型小惑星が多

く見られる。

これら小惑星の一部は隕石となって地球に降ってきていると考えられているが、隕石と小惑星の関連は、望遠鏡による分光観測によってのみ推定されていたものであった。実際に、小惑星を訪れ、サンプルを持ち帰る探査ミッションをはじめて挑戦したのは、日本の探査機「はやぶさ」であった。

JAXAが2003年(平成15年)に打ち上げた工学試験探査機「はやぶさ」は、太陽系内の往復探査時代の幕開けを目指して、様々な探査技術を実証するためのプロジェクトであった。地球スイングバイとイオンエンジンを組み合わせた独創的な航行方法で、2005年(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、近距離からの観測により、約500 mの大きさの小天体が“瓦礫の寄せ集め”(ラブルパイル構造)であることを初めて示した。このことで、微小小惑星の進化過程の一端が明らかになった。またS型小惑星は、地球上で最もたくさん発見されている隕石である「普通コンドライト」のふるさとはないか、と予想されていたが、「はやぶさ」により至近距離で確認したことにより、この予想に大きな裏付けを与えた。

この「はやぶさ」の成功により、始原天体探査の重要性に対する共通認識が世界的に形成され、海外でも小天体探査に対する機運が急速に高まってきている。アメリカ(NASA)のDawnやNExT、EPOXI、ヨーロッパ(ESA)のRosettaなどの探査機による小天体探査が進行中であるが、いずれもフライバイやランデブーにとどまっており、サンプルリターンには至っていない。

我が国では、平成21年6月に制定された宇宙基本計画において、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、宇宙の真理の探究等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

科学的成果の剔出を目指し、小惑星からのサンプル回収への取り組みとして、「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5月に宇宙開発戦略本部により決定された「宇宙分野における重点施策について」（以下「重点施策」という）において、惑星探査などの宇宙科学・技術では、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・技術を推進するとしている。

4. はやぶさ2プロジェクトの事前評価結果

(1) プロジェクトの目的(プロジェクトの意義の確認)

「太陽系と生命の起源・進化の解明」のために、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のが科学的目的としてあげられている。

本プロジェクトでは、C型と呼ばれる小惑星の探査を予定している。C型小惑星は小惑星帯の中ほどに多く分布しており、隕石のうち炭素質コンドライトの母天体と推定されている。この隕石を分析した結果、C型小惑星は、イトカワのようなS型小惑星よりも、有機物や含水鉱物の相互作用を現在でも保っていると考えられている。この始原天体である、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・進化や地球生命の原材料を考える上で、重要な手がかりが得られるものと考えられており、その科学的意義は高い。なお、「鉱物・水・有機物の相互作用」の課題に関しては、地球・海・生命との関連を明確にするために、何についてどのように解析するのか、その科学的根拠をもっと一般の国民にもわかりやすい提示の工夫に努めることを期待する。

さらに「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、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工学的目的としてあげられている。

「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的トップレベルの成果を挙げたミッションであった。本プロジェクトは、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を確立することを目的としており、技術的意義も高い。

これら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で、国際社会に貢献できると考えられている。また世界をリードする科学・技術を我が国で実践することで、科学立国を担う次世代の人材を育成することにつながる。更に「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、実践的教育や文化的活動の機会を提供できる。また、「はやぶさ」のイオンエンジンメーカーに引き合いが来ているように、本プロジェクトの成果も産業界への波及効果があるものと予想される。このように、次世代の科学技術を担う人材育成を回り、成果がもたらす教育効果や感動など、広く一般社会への影響も期待できるなど、社会的意義も十分に認められる。

以上のように、我が国がこれまで太陽系探査で培ってきた、世界をリードする宇宙科学・技術を更に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、その目的は妥当なものである。

判定:妥当

(2) プロジェクトの目標

プロジェクトの目標は、目的に対応してミニマム・フル・エクストラとそれぞれのレベルに応じて具体的な数値目標として設定されている。

C型小惑星の物質科学的特性を調べる目的に対応して、ミニマムサクセスは小惑星表面の分光データを10セット取得することで、近傍からの観測による表面物質に関する新たな知見を得ることとし、フルサクセスとしてサンプルを100 mg以上採取することで、鉱物・水・有機物の相互作用に関する新たな知見を得ることとしている。さらにエクストラサクセスとして地球・海・生命の材料物質に関する新たな科学的成果を挙げることとしている。

また、小惑星の形成過程を調べるという目的に対応して、ミニマムサクセスは小惑星のバルク密度を $\pm 7\%$ の精度で決定することで、近傍からの観測による内部構造に関する知見を得ることとしており、フルサクセスでは生成されたクレータを中心として100 m四方の画像データを空間分解能20 cmで取得し、衝突体の衝突により発生する現象から内部構造・地下物質に関する新たな知見を得ることとしている。さらにエクストラサクセスとして探査ロボットにより小惑星の表層環境に関する新たな科学成果を挙げることとしている。

これらの理学的目標は、S型小惑星と異なるC型小惑星の知見を確保しようとするものであり、また、「はやぶさ」の成果をもとに更に一歩進めて、太陽光の影響を受けていない地下のサンプル収集をも行うものであり、より大きな科学的成果が期待される。

さらに、「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、運用性を向上させるという工学目的に対応して、ミニマムサクセスは対象天体にランデブーすることとし、フルサクセスでは表面サンプルを100 mg採取し、再突入カプセルを地球上で回収

するとともに、探査ロボットを着陸させることとしている。

また、新技術である、衝突体を天体に衝突させる技術実証の目的に対応し、衝突させることをミニマムサクセスとし、目標地点から半径100 mの範囲の特定した領域に衝突させることをフルサクセスとしている。さらにエクストラサクセスでは表面に露出した小惑星の地下物質のサンプルを採取することとしている。

これらの工学的目標は、「はやぶさ」の実績に基づいたものであり、更に新たなチャレンジの要素もあり、工学的目標として妥当である。

以上のように、成功基準に設定された目標は、理学目的、工学目的、いずれについても具体的で明確であり、目標に対する成功基準も的確なものである。設定された目標の優先順位、ウェイト配分に関しても特に問題はない。

なお、「開発研究」に向けての主な助言は以下である。

- ・ サンプルを確実に採取するために、リスク評価を十分に実施し、想定される不具合の推定、その回避のための設計上の配慮、さらには不成功の場合の今後の小惑星探査ミッションの展開などについて検討すること。

判定: 概ね妥当

(3) プロジェクトの開発方針

本プロジェクトの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。

この開発方針は、今回の目的が「はやぶさ」で試みた新しい技術についてロバスト性等を向上させ、技術として成熟させることに置

かれていることからの確である。ただし、実際の開発段階では、旧来の問題の解決・改善だけでなく、「はやぶさ」では問題がなかった部分に関して、それらから発展して予想され得る課題が本当でないか、精査が必要である。

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」の主要な故障として3点上げられるが、リアクションホイールの故障については、振動環境を考慮して特注品を用いたことが原因であったため、振動環境を見直し標準品を使うとともに、偶発故障に備えてホイールの数を3個から4個に増やす等の対策を取ることとしている。また、化学エンジンの故障については、着陸の際の衝撃によりバルブ等から燃料が漏れたことが推定されており、不測の着陸を防止するためにソフトウェア修正等の対策や、冗長性を強化するための配管ルートの変更を取ることとしている。さらにイオンエンジンのトラブルについては、マイクロ波の供給系の問題と、中和器の劣化が原因として推定されているが、それぞれの耐久性を向上させる対策を取ることとしている。

これら、「はやぶさ」ミッションからの教訓の取り込みに関しては、研究会・設計会議等での十分な検討の上に、機器の信頼性の向上や航法やオペレーションの精度向上・改善など、入念な方策が取られていることと認められる。

新規に追加する機器及び機能向上が必要な機器については、技術熟成度の向上が必要なことから、エンジニアリングモデル又は部分試作モデルを製作し、キーとなる技術の機能性能を確認し、その後、プロトフライトモデルの製作を実施したのちに、フライトモデルの製作に進み、確実な開発を実施することとしている。

上記のように「はやぶさ」の成果を最大限活用し、変更箇所、新

規開発を必要最小限に抑え込み、「はやぶさ」をはじめ各種科学衛星プロジェクトから得た教訓をシステム要求に反映し、地上系システムも同様の方針を打ち出すなど、その開発方針は概ね妥当である。

なお、「開発研究」に向けての主な助言は以下である。

- ・ 限られた費用の下で開発されるシステムであるだけに、ミッション達成の可能性・確率、サバイバビリティを、システム全体としてどのように高め確保するか検討すること。

判定:概ね妥当

(4) その他

以下の項目については、「開発」移行段階で評価するものであるが、「開発研究」への移行時点における検討の進捗状況を踏まえ、「開発研究」に向け配慮すべき事項として以下のような意見があった。

システム選定及び基本設計要求

宇宙ミッションでは宇宙放射線の影響、通信障害等の不測の事態で、どうしてもある程度の故障発生は避けられない。小型探査機ゆえの難しさはあるが、冗長性の追加及びロバスト性に関して十分検討すること。

- ・ 衝突体発出装置は今回のミッションの成否を握る重要な技術要素と考えるが、小惑星の地表面情報が限られているなかで、どの程度地上試験が有効か見極める必要がある。また、衝突体の発出方法についても更なる工夫を検討すること。

開発計画

- ・ 今回のミッションは月・惑星探査プログラムグループの下での

ものではあるが、宇宙科学研究所の進め方とは異なるとはいえ、今回のような理学、工学の両方で目標を掲げるならば、小惑星探査に強い情熱を持つ小惑星・太陽系科学者、深宇宙探査の工学的専門家がそれぞれリーダーとして見えるような体制を早急に構築すること。

- ・ JAXA内外で多数の分散化されたチームや研究者が関わっており、はやぶさ2の2014年の確実な打上げを目指し、プロジェクトを効率的に管理すること。
- ・ 地上系については「はやぶさ」からの変更箇所を最小限にする。とある。設備の一部再利用などもあると思われるが、実利用が5年後以降なので、老朽化・電子部品の性能向上などを十分考慮して準備を進めること。
- ・ 探査機が採取した試料の分析に関し、「初期分析を1年間行った後、全世界の研究者に公開して詳細分析を行う」とされているが、大気中の酸素や水により試料の状態が時間とともに大きく変化する可能性があり、短寿命放射性元素に関しても時間の影響が大きいので、最大の「科学的成果」を挙げるためには、初期分析の優先順位の検討や、1年後ではなく初期段階から世界の専門家の英知を結集して分析する等、事前に十分検討すること。
- ・ 今後の分析技術の進捗を反映して、超一流の分析の実施を目指し、更なる分析体制の充実と強化を図ること。

リスク管理

- ・ 以下の3つの点が今回の大きなchallengeであると思われるが、この点についての対応策、改善策が未だ具体的でないように思われるので、具体的な改善策を「開発」移行までにしっかりと検討すること。

()探査機本体を小惑星の表面に確実に着陸させること(転倒させない)

()探査ロボットによる小惑星の表面環境の探査

()目標としている量のサンプルを採取する手法

- ・ 深宇宙探査では、対象となる天体との距離が大きく、制御系の動作と地上との時間差が問題となる。どこまでが地上からの制御で、どこからが衛星の自律的制御になるか、「はやぶさ」の成功、教訓を踏まえた上で、十分なりスク管理をすること。

その他

- ・ 将来の深宇宙探査に向けての各種搭載機器・センサー類等についても、長期的視点で開発に取り組むこと。
- ・ 本プロジェクトに限らず、開発資金に関して説明責任を果たす必要があり、開発資金の妥当性に関して何らかの形でより明確にするための方途につき検討すること。

(5) 総合評価

はやぶさ2プロジェクトは、S型小惑星「イトカワ」と異なる、より鉱物・水・有機物の相互作用が見られると期待されるC型小惑星を探査し、表面観測、サンプル採取、衝突体による内部表面の観測、内部のサンプル採取を実施し、さらに小型ローバーによる表面の詳細な観測を実施して、理学的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プロジェクトである。

その結果得られるC型小惑星の表面データ、内部表面データ、それぞれのサンプルデータなどにより、太陽系と生命の起源・進化についての新たな知見が期待され、科学的意義は大きい。また、本プロジェクトは単なる「はやぶさ」の再履行ではなく、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を確立するもので

あり、衝突体等新しい技術の挑戦も検討しており、技術的意義は大きい。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、日本のすばらしさを具現化し得るものであり、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、資金計画に関する一般的な説明責任についての意見が出された。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。

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22年7月14日
宇宙開発委員会

1. 調査審議の趣旨

小惑星イトカワ等の始原天体を探査することで、太陽系がどのように生まれ、どのように成長してきたのか、また地球生命の原材料が宇宙空間でどのように作られ、進化してきたのかについて、重要な手がかりが得られる可能性がある。

はやぶさ2プロジェクトは、それら太陽系の謎の解明のため、「はやぶさ」の成果を踏まえ、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。

平成21年6月に制定された宇宙基本計画において、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、宇宙の真理の探究等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り組みとして、「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5月に宇宙開発戦略本部により決定された「宇宙分野における重点政策について」(以下「重点政策」という)において、惑星探査などの宇宙科学・技術では、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・技術を推進するとしている。

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、「開発研究」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、宇宙基本計画や重点政策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4月23日 宇宙開発委員会推進部会)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(プロジェクトの意義の確認)
- (2) プロジェクトの目標
- (3) プロジェクトの開発方針
- (4) その他

- ・ システム選定及び基本設計要求
- ・ 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)
- ・ 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8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

本調査審議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	青江 茂	宇宙開発委員会委員
部会長代理	池上徹彦	宇宙開発委員会委員
	森尾 稔	宇宙開発委員会委員(非常勤)

(特別委員)

栗原 昇	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
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 東海大学開発工学部教授
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
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

(参考)

- 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プロジェクトの評価実施要領

平成22年7月16日
推進部会

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、「開発研究」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、宇宙基本計画や重点施策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4月23日 宇宙開発委員会推進部会)に基づき、宇宙開発委員会として事前評価を行う。

1. 趣旨

小惑星イトカワ等の始原天体を探査することで、太陽系がどのように生まれ、どのように成長してきたのか、また地球生命の原材料が宇宙空間でどのように作られ、進化してきたのかについて、重要な手がかりが得られる可能性がある。

はやぶさ2プロジェクトは、それら太陽系の謎の解明のため、「はやぶさ」の成果を踏まえ、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。

平成21年6月に制定された宇宙基本計画において、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、宇宙の真理の探究等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5月に宇宙開発戦略本部により決定された「宇宙分野における重点施策について」(以下「重点施策」という)において、惑星探査などの宇宙科学・技術では、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・技術を推進するとしている。

2. 評価項目

今回の評価は「開発研究」への移行のための評価であるため、以下の項目のうち、企画立案フェーズの早い時期に評価することが望ましい(1)から(3)について評価を行う。(4)については、「開発」への移行の要望があった時点で評価するものであるが、今回は、「開発研究」への移行に当たり検討の進捗状況を確認し、必要に応じ助言することとする。

(1) プロジェクトの目的(プロジェクトの意義の確認)

(2) プロジェクトの目標

(3) プロジェクトの開発方針

(4) その他

・ システム選定及び基本設計要求

・ 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)

・ 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
7月16日	第1回	はやぶさ2プロジェクトについて
7月26日	第2回	はやぶさ2プロジェクトについて
8月5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回推進部会において回答・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。

はやぶさ2プロジェクト 評価票

構成員名: _____

平成21年6月に制定された宇宙基本計画において、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1に立って、宇宙の真理の探究等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ます。また、平成2年5月に宇宙開発戦略本部により決定された「宇宙分野における重点施策について」(以下「重点施策」という)において、惑星探査などの宇宙科学・技術では、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・技術を推進するとしています。

今般、実施機関であるJAXAにおいて「開発研究」への移行の準備が整ったため、具体化された当該プロジェクトが、宇宙基本計画や重点施策等に照らして適切であるか、以下について確認し、助言して下さい。

1. プロジェクトの目的(プロジェクトの意義の確認)

宇宙基本計画等において規定されている我が国における宇宙開発利用全体の意義、目標及び方針等に照らし、的確に詳細化、具

体化されているかについて評価をして下さい。

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。)

2. プロジェクトの目標

- i) 設定された目標が具体的に(何を、何時までに、可能な限り数値目標を付してどの程度まで)明確となっているか、
- ii) 設定された目標が設定された目的に照らし、要求条件を満たしているかを含め的確であるか、
- iii) その目標に対する成功基準が的確であるか、
について評価して下さい。

目標が複数設定される場合にはそれらの優先順位及びウェイトの配分が的確であるかを評価して下さい。

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。)

3. プロジェクトの開発方針

本プロジェクトの開発活動全体を律する基本的な考え方や方針が設定された目標の達成に対する確であることを評価して下さい。
評価に当たっては、「衛星の信頼性を向上するための今後の対策について」で示された考え方を考慮して下さい。

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. その他

以下の項目については、「開発」移行段階で評価するものですが、「開発研究」移行段階の状況を確認し、「開発研究」に向け配慮すべき事項、助言等があれば記載願います。

(1) 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)の評価の際には、以下の点に着目することとしています。

- i) 関係する技術の成熟度の分析
- ii) コストも含めた複数のオプションの比較検討
- iii) システムレベル及びサブシステムレベルにおける、新規自主開発、既存技術の活用(外国調達に関しては、信頼性確保の方法含む)の適用方針

上記においては、国内技術のみでなく、海外技術も検討の対

象に含みます。

- (2) 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)
- (3) リスク管理
主要な技術課題、プロジェクト、プログラムの観点におけるリスク管理の考え方

(上記の評価根拠等コメントを記入下さい。)

- (1) システム選定及び基本設計要求
- (2) 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)
- (3) リスク管理

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)¹

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 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。

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別出」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

¹ 原文では囲み枠で示されているが、文字色を変えて示した。

的に創出することを目標とする。

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」、磁気圏足部観測衛星「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。²**

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)

² 原文はアンダーラインを使って居るが、此处ではハイライトを用いる。以下同じ。

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 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を確立する

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。

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て計画的に進めるよう努める。

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

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」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・コロポ計画」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。**

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22年7月16日(金)10:00~12:00
2. 場所: 中央合同庁舎4号館 1階 全省庁共用108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)小型固体ロケット(イプシロンロケット)プロジェクトの事前評価について
(3)その他

【第2回推進部会】

1. 日時: 平成22年7月26日(月)13:00~16:00
2. 場所: 科学技術政策研究所会議室(霞が関ビル30階3026号室)
3. 議題:(1)小型固体ロケット(イプシロンロケット)プロジェクトの事前評価について
(2)はやぶさ2プロジェクトの事前評価について
(3)その他

【第3回推進部会】

1. 日時: 平成22年8月5日(火)10:00~12:00
2. 場所: 科学技術政策研究所会議室(霞が関ビル30階3026号室)
3. 議題:(1)小型固体ロケット(イプシロンロケット)プロジェクトの事前評価について
(2)はやぶさ2プロジェクトの事前評価について
(3)その他

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

1. プロジェクトの目的(プロジェクトの意義の確認)

宇宙基本計画等において規定されている我が国における宇宙開発利用全休の意絵、目標及び方針等に照らし、的確に詳細化、具体化されているかについて評価をして下さい。

	妥当	概ね妥当	疑問がある
1. プロジェクトの目的 (プロジェクトの意義の確認)	12	3	0

評価根拠のコメント

【妥当】

- はやぶさ 2 は、はやぶさによる S 型小惑星探査の経験を継承し、さらに、より始原的な C 型小惑星探査が計画され、太陽系と生命の起源・進化の解明に向けて、着実な歩みが伺える。
- 宇宙基本計画でははやぶさ後雄俊の研究開発を行なうとされており、国としての基本計画に基づいた研究開発である。はやぶさの S 型小惑星探査の科学上および工学上の成果が得られた現時点、当初から想定されている次のステップである、C 型小惑星探査を目的としたはやぶさ 2 の探査ミッションを研究開発に移行させることは妥当である。
- 世界初の小惑星サンプルリターンとして数々の新技術に挑戦し、太陽系探査における世界的トップレベルの成果を上げた「はやぶさ」の経験を継承し、確実性を増した技術の確立を目指す本プロジェクトは技術的意義のみならず、太陽系と生命の起源・進化の解明において期待される探査計画の科学的意義も高い。また次世代の科学技術を担う人材育成を図り、成果がもたらす教育効果や感動など、広く一般社会への影響も期待できるなど、社

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 (プロジェクトの意義の確認)	12	3	0
2. プロジェクトの目標	5	10	0
3. プロジェクトの開発方針	7	8	0
4. その他	-	-	-

事務局が、説明時に読み上げたコメントを茶色の文字で示した。

会的意義も十分に認められる。

我が国がこれまで太陽系探査で培ってきた世界をリードする宇宙科学・技術を維持し推進する本プロジェクトの目的は妥当なものだと評価したい。

4 「はやぶさ」後継俊として「はやぶさ 2」を打ち上げ、サンプルリターンによる始原天体探査に取り組もうとする本プロジェクトの意義は大きく、目的は明確・妥当である。C型小惑星は鉱物・水・有機物からなる天体と考えられており、その探査には多くの新しい成果が期待される。

5 本プロジェクトは我が国が深宇宙探査で世界をリードするものであり、科学的、技術的の両面において高く評価できる。

6 今回のはやぶさ帰還の成功を受けて、さらに意欲的な目標を設定したはやぶさ2の目的は妥当である。

7 これまで「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、トラブルを克服して成功した。はやぶさのプロジェクトの反省を踏まえて、はやぶさ2では新たな目標を設定している。国民の期待と関心は高いと判断する。

8 「小惑星探査とそのサンプルリターン技術の確立」という事に長期的に取り組む事は日本の宇宙開発を特徴づける工学的意義は大きい。

将来のはやぶさMK2に向けての各種搭載機器・センサー類等も長期的視点で開発に取り組んでいただきたい。

9 宇宙科学領域における我が国の得意分野として成長させていきたいプロジェクトであり、はやぶさ(1号)に引き続き、こんども成果が大いに期待できるという意味において、時機を得たプロジェクトである。それだけに本プロジェクトは初めからこれまで以上に注目されるであろうし、もしも不成功となればそのインパクトも大き

なものになる。今後の宇宙科学領域の宇宙開発にとって怖いほどに重要なプロジェクトになると言えるかもしれない。開発には心して取り組んで頂きたい。

10 技術的意義、社会的意義は妥当である。科学的意義はほぼ妥当であるが、「鉱物・水・有機物の相互作用」の課題に関しては、何がどうわかれば、地球、海、さらに生命との関連が明確になるのか、その科学的根拠をもっと一般の国民にもわかりやすく提示する必要がある³ように思われる。

11 「はやぶさ」のリターン映像と博物館での一般公開は、宇宙に無関心だった大人から子供まで好奇心を揺さぶられ、デフレ状態で心も萎縮している日本人に予想以上に大きな勇気を与える結果となった。これだけでも社会的意義は大きいといえる。しかし、重要なのはカプセル内の分析技術と検出結果である。そうした経験を踏まえて「はやぶさ2」が目指す新たな技術の挑戦が明確化されている⁴ので妥当。

³ 審議の中で特別委員の「期待と要求」が高過ぎると感じ、「開発研究」フェーズへの移行を「開発」への移行と勘違いして居る可能性を想っていたが、会議終了後青江部会長に確認したところ、そうではないとの事であった。然らば、残る可能性は「工学的な検討は進んでいるものの、科学的な検討が遅れ気味なことを憂慮する。」と云う事になる。兎角随所に「生命の起源を究明する。」と云う様な表現が多いが、科学的に正確な表現ではない様である。「生命は地球上で誕生した。」と云う結論が既に合意されていると云う事である。「科学的根拠をもっと分かりやすく国民に提示」とは其の事を言っていっしやる。

⁴ 要点と主張される「回収物の分析新技術と検出結果」に関する説明は無かったので、「技術の挑戦が明確化されている。」とは思えない。「概ね妥当」の評価コメントの様に感じる。

12 太陽系小天体探査・試料採取により、太陽系と生命の起源物質に関する新たな知見をえることは、新たな技術開発、世界の当該分野における我が国の先端性の開拓であり、宇宙施策の基本に合致している。

【概ね妥当】

13 「はやぶさ」の帰還から、サンプルリターンが強調されているが、「はやぶさ」では、サンプルリターンに成功したわけでもないので、目標の設定には、慎重を要すると思う。具体的には、サンプルリターンができなかったときに、惑星探査ミッションとして、どのような展開につながるのか、その点の記述が望まれる。

14 始原天体からの情報、リターンサンプルにより、太陽系と生命の起源・進化を解明するといった科学的目的、ならびに科学・技術を担う次世代の人材育成、さらには我が国産業界への技術展開、活性化など、その意義・目的は概ね妥当と判断される。

15 ハヤブサが幾多の困難を乗り越え帰還、カプセル回収に成功したことは、国民に自信と誇りをもたらした。しかし、工学的に深宇宙探査の技術が確立したとはいえず、また理学的にめざましい成果があったとはいえない。

ハヤブサ2においては、C型小惑星の調査を行うことを理学的目的に掲げ、また工学的には深宇宙探査の技術の確立を掲げており妥当である⁵。

2. プロジェクトの目標

)設定された目標が具体的に(何を、何時までに、可能な限り数値目標を付してどの程度まで)明確となっているか、

)設定された目標が設定された目的に照らし、要求条件を満たしているかを含め的確であるか、

)その目標に対する成功基準が的確であるか、
について評価して下さい。

目標が複数設定される場合にはそれらの優先順位及びウェイトの配分が的確であるかを評価して下さい。

	妥当	概ね妥当	疑問がある
2. プロジェクトの目標	5	10	0

評価根拠のコメント

【妥当】

1 従来からの観測結果に基づいて、光学観測とサンプル採集に適していると同時に、軌道特性からもアクセスし易いターゲットとすべきC型小惑星が選定されている。またハヤブサの成果を更に更に一歩進めて太陽光の影響を受けていない地下のサンプル収集を行なう計画となっており、より大きな科学的成果が期待される。ハヤブサの実績に基づいた成功確率が高いプログラムである。更に新たなチャレンジの要素もあり、プロジェクトの目標は妥当である。成功基準も定量的に明確になっている。

2 成功基準に設定された目標は、理学目的、工学目的、何れについても具体的に明確であり、また設定された目的に照らした要求条件も満たされている。目標に対する成功基準も比較的的確なものだと思われる。設定された目標の優先順位、ウェイト配分

⁵ 「概ね妥当」なのは「はやぶさ」の成果であって、此のコメントは「妥当」と評価している様に聞こえる。

に関しても特に問題は無いと判断する。

- 3 C型小惑星に関して、採取試料の分析から鉱物・水・有機物の三者の相互関係について新たな知見を得ること、インパクトを衝突させ、小惑星の内部構造に関する新たな知見を得ること、という科学的目標は、プロジェクトの目標として妥当である。

「はやぶさ」での実績と経験を踏まえてサンプルリターン技術を確立すること、衝突装置搭載を新たに搭載することなど、目的達成のための技術的目標も的確・明確に設定されている。

成功基準は理学目的と工学目的に分けて記述・設定されている。これらは成果を段階的に理解する上で有用な記述となっている。参考として記入されている数値目標の数値自体に特段の意味を持たせる必要はないように思う。

- 4 資料に具体的計画が明示されており、その内容は適切と思われる。
- 5 目標は明確であり、成功基準も的確である。

【概ね妥当】

- 6 理学目的、工学目的とも、はやぶさの経験を生かして、新しい知見を得るための目標が具体的に記述されている。
- 7 サイエンスの目標を達成する上で、技術の目標を達成することが必須である。

サンプルを確実に採取するためには、何らかのバックアップ体制があった方が良いと思われる。

- 8 サンプルが地球上に運ばれば、それなりに面白い結果が出てくるであろうことは想像できる。ただ、確実にサンプルをとって持ち帰ることができるかについては、一抹の不安がある⁶。結局は、

開発担当者を信頼するしか道はないのであるが。

- 9 インパクト撃ち込みに関する、目標設定があいまいであり、検討が不十分である。

- 10 小惑星の物質科学的特性から、鉱物、水、有機物に関する知見を得て生命の起源の謎の解明を図り、また、衝突体、探査ロボットにより惑星の内部構造を解明して太陽系の起源・進化の謎を解くなど、その目標は具体的である。

また、衝突体、近赤外分光計など、目標を達成する手段についても要求条件が明確である。

- 11 かなり技術的に挑戦的な試みも含まれており、科学衛星として相応しい目標となっている。成功基準も判断時期が示されており、的確と判断される。なお、フルサクセスではなくミニマムサクセスに甘んじなければならぬような事態を招き得る不具合の推測と、それらを少しでも避けられるための設計上の配慮などについて、どこかでまとめて示して頂くとより理解が深まったのではないかとと思う。

- 12 プロジェクトの目標は、具体的であり、目的に対してほぼ妥当であると言える。ただ、理学目的 1 の「ミニマム」目標、「フル」目標に関しては、「新たな知見を得る」とのみ記されているが、その予想される知見の内容(例えば、ミニマム目標では分光データから得られる結果)をもう少し加えたほうがよいように思われる。

- 13 ミニマム、フル、エクストラにおいて、どの技術で工学的、理学的に取り組むのか 3 段階の目標が明確となっている。インパクトがこのプロジェクトの決め手となるため、十分なシミュレーションを重ねて欲しい。

- 14 プロジェクトの意義・目的は、理学的には太陽系と生命の起源・進化の解明、工学的には深宇宙技術の確立である。この目標は

⁶ 「不安がある」のは適度に高い目標を設定したからではないか。

日本が科学と技術の両面において世界の先端を切り開くという意味において重要な意義がある。その実現のため、以下の点についてのさらなる検討を期待したい。(1)工学試験機であったはやぶさと異なり、はやぶさ2は理学目標が第一に述べられており、それはその目的に合致するサンプルが地上にもたらされることによりはじめて実現する。現在の目標値である100mgがどのようにして実現できるのか、はやぶさの失敗から何を学び、なにをどのように改善するのかを具体的に示す必要がある。また、この収量を増大させる可能性が現時点では示されていない。あらゆる目的の分析、観察をおこない、かつ世界の多くの研究者への配分を考えるなら、収量の増大は重要な課題である。早急な検討が望まれる。(2)衝突によるクレーター内部からの試料採取が計画されているが、果たして本研究の目的である、水、有機物という課題に対してこの試料採取方法が適切であるかどうかは疑問である。弾丸金属の識別は論じられているが、衝突によりもっとも重要なターゲットである水や有機物成分およびそれらと鉱物との関係が失われるあるいは変化する可能性は極めて高い。また、有機物に関しては地球物質のコンタミネーションが危惧される。この試料からどのような情報を得ることができるのかにつき、予備実験等により、詳細に検討することを期待する。(3)試料回収に成功しなかった場合のサイエンス目標をより明確にすることを希望する。特に、衝突により内部構造・その形成過程を明らかにするということになっているが、これがどのように実現されるのかはにわかに考えがたい。想像されるクレーターから、これらの情報をどのように抽出するのかをさらに具体的に検討することを希望する。

3. プロジェクトの開発方針

本プロジェクトの開発活動全休を律する基本的な考え方や方針が設定された目標の達成に対する確度であるかを評価して下さい。

評価に当たっては、「衛星の信頼性を向上するための今後の対策について」で示された考え方を考慮して下さい。

	妥当	概ね妥当	疑問がある
3. プロジェクトの開発方針	7	8	0

評価根拠のコメント

【妥当】

- 1 プロジェクトを実施するに際して、はやぶさによる成果を生かし、リスクの少ない方策で最大限の成果を得るという着実な考え方は評価できる。
- 2 ハヤブサの成果を最大限生かして変更箇所を最小限に限定してリスク及びコストの低減を図っていると共にハヤブサでのLesson-Learnedに基づいて、ハヤブサ2に反映すべき設計上および運用に関する変更点が明確となっている。また新規に追加する機器に関してはEM 或いは部分試作によってフィジビリティの確認後実機搭載用のPFMの製作に進む計画となっており、開発方針は妥当である。
- 3 「はやぶさ」技術の最大限の継承、変更箇所を最小限に限定したリスク低減、低コスト化、開発期間短縮の試みは妥当なものであり、「はやぶさ」ミッションおよび他のプロジェクトからの教訓の取り込みなど、提起された開発方針はいずれも設定された目標達成に対する的確なものであるとみなせる。

4 4 頁にわたって記述されている開発方針は、「はやぶさ」を継承する点、変更を加える点、新規の点などを明確に示しており、的確、妥当である。

特に、「はやぶさ」ミッションからの教訓の取り込みに関しては、研究会・設計会議等での十分な検討の上に、機器の信頼性の向上や、航法やオペレーションの精度向上・改善など、入念な方策が取られていることが認められる。

5 本プロジェクトでは JAXA 内外で多数の分散化されたチームや研究者が関わっており、プロジェクトを成功させるのには、共通の目標を達成するために、プロジェクトを効率的に管理する能力が求められる。

6 開発方針は、「はやぶさ」の教訓や他のプロジェクトの結果を十分反映したものであり的確であると思われる。但し、実際の開発段階では、旧来の問題の解決・改善だけでなく、「はやぶさ」では問題がなかった部分に関して、それらから発展して予想され得る課題が本当にはないか、精査を行っていただきたい。

7 はやぶさミッションからの教訓を反映させることができるため、開発方針も出しやすかったのではないかと。サンプラ系を含めた複数の変更や改善すべき技術は明確となっている。経験を踏まえているので、開発期間の短縮や低コスト化も充分検討して欲しい。

【概ね妥当】

8 一般論としては、リスク管理に触れられており、また、「はやぶさ」の教訓を取り込むとされている。ただ、具体的表現に乏しく詳細はわからない⁷。

9 前回の不具合の原因究明とそれに対する改善にむけ、より一層の信頼性を確保する努力が期待される。

10 20 ページに記載されている開発方針は概ね妥当である。しかし、はやぶさでの経験から

(1) 探査機本体を小惑星の表面に確実に着陸させる事(転倒させない)

(2) 探査ロボットによる小惑星の表面環境の探査

(3) 十分な量のサンプルを採取する事

の3つの点が今回の大きな challenge であると思いますが、この点についての対応策、改善策が未だ具体的でない⁸ように思われる。

11 「はやぶさ」の成果を最大限活用し、変更箇所、新規開発を必要最小限に抑え込んだ点、また、「はやぶさ」をはじめ各種科学衛星プロジェクトから得た教訓をシステム要求に反映し、地上系システムも同様の方針を打ち出すなど、その開発方針は概ね妥当である。

12 ミッションがはやぶさ(1号)のそれと基本的に同類・発展形のプロジェクトであり、はやぶさ(1号)の教訓が極めて重要になることを踏まえた適切な開発方針になっている。

ただ、はやぶさ(1号)の薄氷を踏むような？成功は、一方で、ミッション達成の不確かさと関連システム技術における改善の余地が大きいことを示している。限られた費用のもとで開発されるシステムであるだけに、ミッション達成の可能性・確率を少しでも高めていく総合的システム技術力向上に従来以上に努力され、我が国が世界に誇れるシステム技術として育てていかれることを期待

⁷ 「リスク管理」に書くべき指摘である。

⁸ 「開発研究」の中で、「設計要求」として明細化するものである。

したい。

- 13 プロジェクトの推進体制の構築を急速に進めることを期待する。本計画を JAXA の総力を挙げたプロジェクトとするよう、実施体制を構築することを期待する。そのことにより、さして大きくはない日本の惑星科学コミュニティー全体の支援を得られるようなプロジェクトにすることが可能になると考えられる⁹。

とりわけ、サイエンスチームに関しては多くの名前が挙げられたが(質問への回答)、一元化された指揮体制の重要性はいうまでもない。試料分析が最大課題である本プロジェクトを考えるなら、体制の構築は喫緊の課題であろう。

⁹ 此の助言は「開発計画」の中の「実施体制」に関するものである。但し、助言自体には大きな意味がある様だ。「はやぶさ」も「はやぶさ 2」も工学主導のミッションで、他の科学観測ミッションと異なる点が多い。科学観測では観測器の性能が支配的なので、工学の進歩を科学者が把握し易く、プロジェクトの初期段階から参画し易いのではないかと。其の為、「はやぶさ 2」のプリプロジェクト段階では、科学者の存在が目に見え難いのだろう。然しながら此れからの「開発研究」段階では、科学者の参画が重要性を増すし、其の期間を短くしようと考えている事もあり、「体制の構築は喫緊の課題である。」と感じていらっしゃるだろう。

4. その他

以下の項目については、「開発」移行段階で評価するものですが、「開発研究」移行段階の状況を確認し、「開発研究」に向け配慮すべき事項、助言等があれば記載願います。

- (1) 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)の評価の際には、以下の点に着目することとしています。
 - i) 関係する技術の成熟度の分析
 - ii) コストも含めた複数のオプションの比較検討
 - iii) システムレベル及びサブシステムレベルにおける、新規自主開発、既存技術の活用(外国調達に関しては、信頼性確保の方法含む)の適用方針
上記においては、国内技術のみでなく、海外技術も検討の対象に含みます。
- (2) 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)
- (3) リスク管理
主要な技術課題、プロジェクト、プログラムの観点におけるリスク管理の考え方

助言等のコメント

- (1) システム選定及び基本設計要求
 - ・ はやぶさの成功は我が国の国民に大きな感動を与えただけに、はやぶさ 2 に対する期待は更に大きなものとなるというのが現実である。宇宙ミッションでは宇宙放射線の影響、通信障害等の不測の事態で、どうしてもある程度の故障発生は避けられ

ない。小型衛星の故の雌しさはあるが、冗長性の追加およびロバスト性に関して十分検討されたい。

- ・ 妥当である。
- ・ **衝突体発出装置¹⁰**は今回のミッションの成否を握る重要な技術要素と考えるが、小惑星の地表面情報が限られているなかで、どの程度地上試験が有効か見極める必要がある。また、衝突方向と逆方向(衛星に向かう方向)への地表面物質の「撥ね返り」は少なく、衝突体の発出方法についても更なる工夫を望む。
- ・ **衛星が採取した試料の分析に関し、「初期分析を1年間行った後、全世界の研究者に公開して詳細分析を行う」とされているが、試料の状態は時間と共に大きく変化する可能性があり、最大の「科学的成果」を挙げるためには、1年後ではなく、初期段階から世界の専門家の英知を結集して分析する体制を組んだ方がよい¹¹**のではないか。

(2) 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)

- ・ はやぶさ2の2014年の確実な打ち上げを目指し、プリプロジェクトチーム間の確実で迅速なマネージメントを大いに期待する。

¹⁰ サンプル回収装置の金属球発射装置と、人工クレータ作成の為の衝突体発射装置を、混同されて居ない事を期待する。

¹¹ 一年後に公開する対象は、「はやぶさ2」プロジェクトに参画しない科学者なのではないだろうか。従って、此の助言は、前項13番のコメントと同じく、「『開発研究』フェーズの中で、速やかに科学者の参集と体制の確立を行なえ。」と置き直せば良いと思われる。

- ・ 「開発研究」から「開発」への期間が短いだけに、開発体制とスケジュールの具体的詳細については、早期の公表を期待したい。
- ・ 欧米の同じようなプロジェクトと比較した場合、資金面で4分の1程度であり、コストパフォーマンスが優れている。
- ・ サンプルリターンについて、まだ、成功していないので、着実に開発を進めてもらいたい。
- ・ 地上系については「はやぶさ」からの変更箇所を最小限にするところとある。設備の一部再利用などもあると思われるが、実利用が5年後と考えると老朽化、電子部品の性能向上などを充分考慮して準備を進めて欲しい。
- ・ 実用衛星に比べれば開発費用が少ないといえども、宇宙科学以外の分野の研究者等からみれば垂涎の恵まれた環境にあると言える。それだけに、開発移行段階の際には、資金計画の内容について、より納得いく説明ができるデータを示せるように努めて頂きたい。
- ・ 資金計画では、「探査費開発」、「運用費」、「打ち上げサービス費用」、「初期分析費用」をすべて明記すべき。今後、この4項目(項目に関しても検討すべきだが)の費用を各プロジェクトがすべて公表する形にしたらどうか。
今回の「はやぶさ2」は探査機開発費と運用費が約164億円と明記されているが、「はやぶさ」は、約127億円(運用費は含まない)と明記されており情報の出し方がいつもバラバラで比較の意味がない。海外の衛星もどこからどこまでの費用なのかが判らない。資金の公表に関しては均一性のある提示をすべきだ。
- ・ **はやぶさはISAS工学ミッションとして川口氏のリーダシップの**

下にはっきりした体制の下に進められたが、はやぶさ 2 は人的体制が見えてこない。今回のミッションは JSPEC の下でのものではあるが、ISAS の進め方とは異なるとはいえ、今回のような理学、工学の両方で目標を掲げるならば、小惑星探査に強い情熱を持つ小惑星・太陽系科学者、深宇宙探査の工学的専門家がそれぞれ見えるような体制を早急に作るべきである¹²。

- ・ 現在の日本の宇宙物質分析設備は、欧米のそれに比べきわめて貧困であり、早急な整備を進める必要がある。特に、有機物分析に関しては、日本で行うことすら不可能な部分もあり、放射光施設における新たなビームラインの開発や、低温における物質構造解析の可能性、大気にさらさずシームレスな観察・分析・解析のできる設備など、必要な機器開発、環境整備を早急に進めることを期待する。

(3) リスク管理

- ・ 探査ロボットの開発の遅延に関する対応
- ・ 深宇宙探査では、対象となる天体との距離が大きく、制御系の動作と地上との時間差が問題となる。どこまでが地上からの制御で、どこからが衛星の自律的制御になるか、「はやぶさ」の成功、教訓を踏まえた上で、十分なリスク管理を望む。

(4) その他

- ・ インパクトによる人エクレータの生成は、本プロジェクトのセールスポイントであると思います。確かに予備的な実験が行われているものの、インパクトの飛翔距離は 1 m であり、もっとも懸念される飛翔距離 10 m 以降の分散状態についての確度の高い情報がないことです。「基本設計フェーズ中に試験やシミュレ

ーションを行い、適切な設計によって分離(分裂)を防ぐ計画である」と回答されているが、爆轟波加速インパクトが 500 m の空間を一つの塊として飛翔することは、ほとんど不可能とさえ感じます。これについて信頼性の高いシミュレーションソフトは存在しないと思います。

小規模モデル実験ではなく、本番に近い薬量を使用して、少なくとも 100 m 以上を飛翔させる地上実験を早期に実施することを要望します¹³。

- ・ 下記 3 点についての具体的な改善策は「開発」移行までにしつかりと検討していただきたい。
 - (1) 探査機本体を小惑星の表面に確実に着陸させる事(転倒させない)
 - (2) 探査ロボットによる小惑星の表面環境の探査
 - (3) 十分なこのサンプルを採取する事

¹² 注 9、11 の繰り返しになるので、其の通りとだけ記す。

¹³ 前例もなければシミュレーションも当てにならないとなれば、実験で確認するしかないだろう。ただ、100 m 飛翔させて確認するとなると、実験場所の確保が厳しい課題になるだろう。また、其の実験条件で、何メートル以上は決して飛ばないと云う計算、又は予測が成り立つのだろうか。