

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、より拡げていくことは、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る。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、どの程度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
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。