

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 (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 | - | - | - |

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 | 12 | 3 | 0 |

評価根拠のコメント

【妥当】

- 1 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。
- 2 宇宙基本計画でははやぶさ後継機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。
- 3 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」後継機として「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みよ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ので妥当。
- 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与えることは、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、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。

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た確であるか、
 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 |
|-----------|----|------|-------|
| プロジェクトの目標 | 5 | 10 | 0 |

評価根拠のコメント

【妥当】

- 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。またはやぶサの成果を基に更に一步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。はやぶ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。
- 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と思われる。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無いと判断する。
- 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。
 「はやぶサ」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。
- 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。
- 目標は明確であり、成功基準も的確である。

【概ね妥当】

- 理学目的、工学目的とも、はやぶサの経験を生かして、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。
- 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くと思われる。
- 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。結局は、開発担当者を信頼するしか道はないのであるが。
- インパクト一撃打ち込みに関する、目標設定があいまいであり、検討が不十分である。
- 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。
- 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ない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ことより理解が深まったのではないかと思う。
- 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と思われる。
- 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、十分なシュミ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ものになっているが、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 |
|-------------|----|------|-------|
| 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も、それらから発展して予想され得る課題が本当にないか、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考えられる。経験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。
- 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にないと思われる。
- 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。
- 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。

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。小型衛星の故の難しさはあるが、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。
- ・ 「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する。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ー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。

- ・ 現在の日本の宇宙物質分析設備は、欧米のそれにくらべわめて貧困であり、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

- ・ インパクタによる人工クレータの生成は、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、インパクタの飛翔距離は1mであり、もっとも懸念される飛翔距離10m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、場爆轟波加速インパクターが500m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100m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。
- ・ 前記3点についての具体的な改善策は「開発」移行までにしっ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) 十分な量のサンプルを採取する事