

宇宙開発に関する重要な研究開発の評価 BepiColombo プロジェクトの事前評価結果(案)

平成 20 年 2 月 12 日
宇宙開発委員会 推進部会

目次

1. 評価の経緯
2. 評価方法
3. BepiColombo プロジェクトを取り巻く状況
4. BepiColombo プロジェクト JAXA 担当分の事前評価結果

参考 1 宇宙開発に関する重要な研究開発の評価について

参考 2 BepiColombo プロジェクトの評価実施要領

参考 3 BepiColombo 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 BepiColombo プロジェクトの評価票の集計及び意見

付録 2 BepiColombo プロジェクトの事前評価について【改訂版】

1. 評価の経緯

宇宙開発を効率的かつ効果的に推進するため、宇宙開発委員会においては、「宇宙開発に関する重要な研究開発の評価について」(参考 1)に基づき、重要な研究開発の評価を行い、その結果を公開するとともに、宇宙開発委員会として独立行政法人宇宙航空研究開発機構(以下「JAXA」という。)が実施するプロジェクトの実施内容や実施体制等に係る助言を与えることとしている。

国際水星探査計画プロジェクト(以下「BepiColombo プロジェクト」という。)の JAXA 担当分については、宇宙開発委員会の平成 15 年の事前評価を踏まえ、「開発研究」に移行しているが、JAXA において今般「開発」への移行の準備が整ったため、「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

評価は、BepiColombo プロジェクトの JAXA 担当分を対象とし、推進部会が定めた評価実施要領(参考 2)に即して実施した。

今回の評価は、「開発」への移行のための評価であり、以下の項目について評価を行った。

- (1) 目的(意義の確認)
- (2) 目標
- (3) 開発方針
- (4) システム選定及び設計要求
- (5) 開発計画(スケジュール、資金計画、実施体制及び設備の整備計画等)
- (6) リスク管理

なお、平成15年度に実施した「開発研究」移行時の評価、及び平成16年度に実施した進捗状況確認において評価・確認した項目は、その結果を踏まえて評価した。また、プロジェクトの目的及び目標については、宇宙科学研究のコミュニティの合意を経てプロジェクトを選定してきたことを念頭において評価を行った。

評価の進め方は、まず、JAXAからBepiColombo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。本評価に係る推進部会の開催状況は、参考3のとおりである。

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. BepiColomboプロジェクトを取り巻く状況

水星については、太陽に近い高温・高放射線環境であることと、軌道投入に多大な燃料を要することから、探査の機会が少なく、米国のマリナー10号が水星近傍を通過した後、約30年間探査はなされなかった。このマリナー10号の探査は水星の磁場と磁気圏活動の発見をもたらしたが、地球との比較による惑星磁気圏の普遍性と特異性の解明や、水星の形成史につながる科学的データは極めて乏しい。

このように水星に関する謎の究明は約30年間夢に留まってきたが、近年、耐熱技術の進展に代表される技術革新により、水星周回軌道からの探査が可能となってきた。

日本では、高い実績を挙げてきた磁気圏分野の観測を中心とする

スピン型探査機が平成10年に提案されたが、その後欧州宇宙機関(以下「ESA」という。)の計画にJAXAが参加する事により、BepiColomboプロジェクトが誕生するに至った。BepiColomboプロジェクトは、水星の磁場・磁気圏・内部・表層にわたる総合観測で水星の現在と過去を明らかにする計画である。JAXAは、水星の固有磁場、磁気圏等の観測をおこなう水星磁気圏探査機(以下「MMO」という。)の開発を担当し、ESAが開発を担当する水星の表面地形、鉱物・化学組成、重力場の精密計測をおこなう水星表面探査機(以下「MPO」という。)と共同観測を実施する。

一方、水星周回軌道への最初の到着を目指す米国は、周回探査衛星「メッセンジャー」を平成16年に打ち上げた(平成20年1回目水星通過/平成23年到着予定)。このメッセンジャー衛星により多くの発見がもたらされると期待されており、BepiColomboプロジェクトの総合観測による成果をより充実したものとすべく、サイエンティスト間の国際協力を進めている。

4. BepiColomboプロジェクトJAXA担当分の事前評価結果

(1) 目的(意義の確認)

BepiColomboプロジェクトは、水星の磁場・磁気圏・内部・表層を観測し、太陽系内縁部における初期惑星形成に係わる水星の起源と進化の解明を目指すと共に、惑星の磁場・磁気圏の普遍性や特異性の解明を目指すことを目的としている。その中でJAXAが担当するMMOでは、水星固有磁場の成因、特異な磁気圏の解明、希薄大気の生成・消滅過程、太陽風との相互作用の観測を目的としている。

このMMOの目的は、日本の得意とする磁気圏探査を中心に設定されており、大きな成果が期待できる。水星周辺の磁場を高い

精度で計測することで、水星の内部構造と進化の理解を進めることができる。また、水星の特異な磁気圏の解明により、地球との比較による惑星磁気圏の普遍性と、水星磁気圏の特異性の解明が期待される。さらに、ナトリウムを主成分とする激しく変動する希薄な大気の生成・消滅過程を観測することにより、水星大気の放出・散逸機構の解明を目指すと共に、惑星間空間の観測により、太陽風、磁気圏、表面観測との相互作用を解明し、惑星間環境の理解が増進することが期待される。これらに加え、ESA が担当する MPO と共同観測することにより、1 機では困難な水星の固有磁場の成因の解明、磁気圏の現象に対する水星本体の役割の解明を目指すことができ、太陽系探査科学において重要な科学的意義を持つものと考えられる。

また、水星周回軌道の厳しい高温・高放射線環境で 1 年間の高性能観測を実現するための技術開発により、今後の太陽系探査における到達可能・計測可能な領域を拡大することに貢献し、技術的意義も大きい。

さらに、宇宙科学における日欧国際共同プロジェクトの推進によって、国際社会における日本の科学技術力を大きくアピールできると共に、日本国民からの強い関心に応えることも社会的意義として認められ、有意義なプロジェクトである。

一方、メッセンジャー衛星により予想される科学成果は、BepiColombo プロジェクトが目指す成果を、より充実させる可能性があるものと期待され、ミッションの意義を減じるものではない。

以上により、BepiColombo プロジェクトの JAXA 担当分の目的は、地球型惑星の磁場・磁気圏の知見に大きな飛躍をもたらすものと考えられ、「我が国における宇宙開発利用の基本戦略」及び「宇宙開発に関する長期的な計画」に規定された宇宙開発利用の意

義、目標及び方針等を踏まえ、的確に具体化されている。

判定: 妥当

(2) 目標

JAXA が担当する MMO では、磁場、磁気圏、希薄大気、衝撃波について目標が明確に設定されている。成功基準については、観測の具体的な目標がミニマムサクセス、フルサクセス、エクストラサクセスとして段階的に記述され、目標とする観測期間が水星の公転周期との関連で設定され、可能な範囲での定量的検討に基づき、予測される現象を解明するのに十分と思われる精度で計測精度、時間間隔が設定されている。これらの目標は、前項の目的に照らして十分に意欲的であり、プロジェクトの達成度を客観的に判断できるものとなっている。

なお、内部起源・外部起源の磁場の分離や内部構造の推定等の BepiColombo 計画全体の目標は、ESA が担当する MPO の成果と相まって達成されるものであるためエクストラサクセスとして設定されているが、プロジェクトチームとしてはこれら共同観測により得られる成果についても、BepiColombo 計画全体の目標の中心をなすものと認識し、ESA との共同開発において高い意識で取り組むことが望まれる。

以上により、プロジェクトの目標は、設定された目的に照らし的確であると判断する。

なお、今後に向けた助言は、以下のとおりである。

- ・ 先行するメッセンジャー衛星の成果が、現時点での想定を超えて BepiColombo プロジェクトの目的・目標に影響を与

える場合には、必要に応じ適切に見直す柔軟性が必要である。

判定: 妥当

(3) 開発方針

開発方針については、過去の開発経験を継承した信頼性の向上、世界最高レベルの観測装置の開発、研究者とメーカーが緊密に協力する旧宇宙科学研究所の伝統的な開発方式の維持、我が国初の本格的国際共同惑星探査ミッションとしての確実な開発等が示されている。

これらは、地球磁気圏観測衛星(GEOTAIL)などこれまでの地球電磁気学衛星の経験を継承し、開発リスクを低減する一方、観測装置については国内外の研究機関でそれぞれ得意な機器を分担開発する体制となっており、ミッションの目的達成及び信頼性向上の点で有効な方針であり、開発に当たっての基本的な事項をまとめたものとなっている。

なお、本プロジェクトの成否はESAとの十分な連携に大きくよるものである。情報の共有の努力は行われているが、さらにいっそうの緊密な連携を期待する。

判定: 妥当

(4) システム選定及び設計要求

システム選定及び基本設計に当たっては、技術の成熟度の分

析を踏まえ、高温耐性、観測性能向上、小型軽量化や将来に向けての標準化の観点から、高利得アンテナ、トランスポンダー、スペースワイヤー、熱制御系等の新規開発品や、高効率太陽電池、スピン分離機構等の改良品を選定している。これらは、いずれもフロントローディングにより実現性が確認されており、十分な見通しが得られているものと認められる。さらに科学観測機器については国際公募の結果として選定され、日本担当の観測機器については、十分な実績を踏まえた上で、観測性能向上のための改良を図ったものとなっており、成熟度は高いと見なされる。

以上より、システムの選定及び基本設計は、設定された目標の達成に対し、的確であると判断される。

判定: 妥当

(5) 開発計画(スケジュール、資金計画、実施体制及び設備の整備計画等)

開発スケジュールについては、ESA側の予算プロフィールの問題から、打上げ年度を当初計画の平成22年度から平成24年度に変更し、更に質量・コストの制約によるESA側スケジュール遅延に伴い平成25年打上げ、平成31年到着に変更している。このBepiColomboプロジェクトは日欧国際共同プロジェクトであり、これ以上の遅延を防ぐためにも、ESAとの円滑な共同推進体制の下に、レビューの時期や各試験用のモデルの搬入時期について遅れの発生しないようにきちんとした管理が必要である。

資金計画については、JAXAが負担する衛星開発費と運用費で約150億円を目標としており、諸外国の惑星探査機との資金計画

の比較からも、資金計画は概ね妥当といえる。

実施体制については、プロジェクトマネージャを中心とした責任体制と JAXA 内の技術支援体制、国内の大学及び研究機関の研究者の参加、MPO を計画する ESA との協力等が示されており、明確な体制が構築されている。なお、開発に不慣れな研究者や大学院生等が実務を行う場合でも問題が生じないように留意が必要である。

以上により、開発計画については、特段の問題は認められず、スケジュール、資金計画、実施体制等は概ね妥当であると判断する。

なお、今後に向けた助言は、以下のとおりである。

- ・ 平成9年の水星探査ワーキンググループの結成から現段階までにおよそ10年が経過していることに加えて、今後、水星に到達し観測がなされるまでに10年強を要することから、メンバーの世代交代を含めたサイエンスチームの維持・充実に留意するべきである。

判定:概ね妥当

(6) リスク管理

リスク管理計画として「MMO リスクマネジメント計画書」をまとめ、これに基づきリスク管理を行うこととしている。開発研究移行段階で識別された熱環境や水星周回軌道投入までの経年変化、遠距離に起因する通信リンクの喪失等のリスクに対しては、影響する部分の設計の見直しや冗長設計の採用、試験等のフロントローディングによりリスクを低減することができている。

また MMO は、ESA の責任の下に ESA の開発する MPO・MTM (電気推進モジュール)・サンシールドと結合した状態で、打上げ・巡航軌道運用・水星周回軌道投入等のフェーズを経て、MMO の軌道へ移行した後に分離されるため、ESA とのインタフェースにリスクが想定される。これらのリスクについては ESA 側との密接な情報交換を実施し、設計・試験・運用においてダメージを最小とするように対策が採られている。

以上よりリスク管理の手法及び抽出されたリスクは適切に計画され、処置されていると認められる。

なお、今後に向けた助言は、以下のとおりである。

- ・ 熱設計と対放射線対策に関しては、特段の注意が必要である。地上試験では宇宙環境は100%シミュレートできないことを考慮し、適切な設計マージンをとることが重要である。宇宙放射線による機器の故障確率の定量評価に基づいた、放射線防護対策と冗長系設計が重要である。

判定:概ね妥当

(7) 総合評価

BepiColombo プロジェクトは、我が国初の日欧共同探査計画として、水星の磁場・磁気圏・内部・表層にわたる総合観測で水星の現在と過去を明らかにする極めて意欲的な計画である。その中で JAXA は、日本の得意な分野である磁場・磁気圏の分野の探査機を担当し、水星の固有磁場の成因の解明や磁気圏の現象に対する水星本体の役割の解明を目指している。これにより惑星の磁場・磁気圏の知見に大きな飛躍をもたらすことができ、太陽系に

関する根源的な知識・知見を獲得し、知の創造に大きく貢献するものである。

推進部会は、今回の BepiColombo プロジェクト JAXA 担当分における「開発」への移行のための評価において、プロジェクトの目的、目標、開発方針、システム選定及び設計要求、開発計画及びリスク管理について審議を行い、現段階までの計画は、具体的かつ的確であると判断した。

以上を踏まえ、推進部会としては、BepiColombo プロジェクト JAXA 担当分が平成 20 年度から「開発」に移行することは妥当であると評価する。

なお、今回の評価においては、BepiColombo プロジェクトの目標について、現時点では妥当なものと判断しているが、先行するメッセンジャー衛星の成果を踏まえ、必要に応じ適切に見直す柔軟性が求められた。また、内部起源・外部起源の磁場の分離や内部構造の推定等の BepiColombo 計画全体の目標は、本計画の中心をなすものであり、JAXA としてもその達成に向けて ESA との共同開発に高い意識で取り組むことが望まれる。さらに、本プロジェクトは長期にわたるのでサイエンスチームの世代交代を含めた維持・充実に特段の注意が必要であるとの提言があった。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について

平成 19 年 5 月 30 日
宇宙開発委員会

1. 目的

宇宙開発を効率的かつ効果的に推進するため、「宇宙開発に関するプロジェクトの評価指針」(以下「評価指針」という。)等に基づき、重要な研究開発の評価を行い、その結果を公開するとともに、宇宙開発委員会として独立行政法人宇宙航空研究開発機構(JAXA)が実施するプロジェクトの実施内容や実施体制等に係る助言を与えることを目的とする。

このため、重要な研究開発について、推進部会において平成 19 年度の評価を行う。

2. 評価方法

評価指針の評価対象要件に合致する重要な研究開発について、その目標や効果、実施体制等について評価する。

3. 評価の対象

評価は、次の段階のプロジェクトを対象に実施する。

- (1) 事前評価(企画立案フェーズにおけるフェーズアップのための評価)
- (2) 中間評価(実施フェーズにおける評価)
- (3) 事後評価(実施フェーズ終了時での評価)

また、各プロジェクトのうち、重要な状況変化等があるものについて、必要に応じ、進捗状況確認を行う。

4. 日程

評価については、対象とするプロジェクトの状況に応じて、適宜実施する。

5. 推進部会の構成員

別紙のとおり。

6. 会議の公開

「宇宙開発委員会の運営等について」(平成13年1月10日 宇宙開発委員会決定)に従い、推進部会は、原則として公開とし、特段の事情がある場合には、非公開とすることができるものとする。

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
	野本陽代	宇宙開発委員会委員(非常勤)
	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	東海大学工学部教授
佐藤勝彦	国立大学法人東京大学大学院理学系研究科教授
澤岡 昭	大同工業大学学長
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
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

(別紙)

国際水星探査計画(BepiColombo) プロジェクトの評価実施要領(案)

平成20年1月15日
推進部会

1. 趣旨

国際水星探査計画プロジェクト(以下、「BepiColombo プロジェクト」という。)は、水星の磁場・磁気圏・内部・表層を観測し、太陽系内縁部における初期惑星形成に係わる水星の起源と進化の解明を目指すと共に、惑星の磁場・磁気圏の普遍性や特異性の解明を目指す、欧州宇宙機構(以下、「ESA」という。)との国際共同プロジェクトである。

独立行政法人宇宙航空研究開発機構(JAXA)は、水星の固有磁場、磁気圏等の観測をおこなう水星磁気圏探査機(MMO)の開発を担当し、ESA が開発を担当する水星の表面地形、鉱物・化学組成、重力場の精密計測をおこなう水星表面探査機(MPO)と共同観測を実施する計画である。

本BepiColomboプロジェクトについては、宇宙開発委員会の平成15年の事前評価を踏まえ、「開発研究」に移行しているが、JAXAにおいて今般「開発」への移行の準備が整ったため、「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. 評価の目的

JAXAが実施するBepiColomboプロジェクトを効果的かつ効率的に推進するため、「開発」への移行の妥当性を判断し、助言することを目的とする。

3. 評価の対象

BepiColomboプロジェクトのJAXA担当分を評価の対象とする。

4. 評価項目

- (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) システム選定及び設計要求
- (5) 開発計画
- (6) リスク管理

プロジェクトの目的及び目標については、宇宙科学研究のコミュニティの合意を経てプロジェクトを選定してきたことを念頭において評価を行う。

また、平成15年度に実施した「開発研究」移行時の事前評価、及び平成16年度に実施した進捗状況確認において評価・確認した項目は、その結果を踏まえて評価する。

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。

5. 評価の進め方

時期	部会	内 容
1月15日	第1回	BepiColombo プロジェクトについて
2月12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、当日議論が尽きない場合は後日質問票による質疑応答を行うものとし、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。

6. 関連文書

BepiColombo 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。

BepiColombo プロジェクト 評価票

構成員名: _____

1. プロジェクトの目的(プロジェクトの意義の確認)

BepiColombo プロジェクトについては、平成15年の宇宙開発委員会 計画・評価部会において、太陽系探査科学において重要な科学的意義を有していると評価されました。また、平成16年の宇宙開発委員会 推進部会における進捗状況確認においても、プロジェクトの一部変更があるものの依然重要な科学的意義を有していると評価されています。

これら開発研究移行時の事前評価結果を踏まえた上で、JAXA担当分のプロジェクトの目的が、「我が国における宇宙開発利用の基本戦略」(総合科学技術会議)及び「宇宙開発に関する長期的な計画」(以下、「長期計画」という。)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、これまでの経緯を考慮した評価をして下さい。

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

平成 15 年の宇宙開発委員会 計画・評価部会において、BepiColombo プロジェクトにおける目標として水星磁場の成因の解明や水星磁気圏の解明等が挙げられていますが、これらは、日本の得意とする分野であり適切であると評価されました。

今回、開発移行にあたり、より具体的に目標を見直しています。

上記を踏まえ、

- 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. 開発方針

BepiColombo 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的確であるかを評

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

(上記の評価根拠等コメントを記入下さい。)

4. システム選定及び基本設計

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が設定された目標の達成に対する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をも検討の対象に含みます。

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。)

5. 開発計画

スケジュール、資金計画、実施体制及び設備の整備計画等の開発計画が、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。

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。

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。)

6. リスク管理

プロジェクトの可能な限り定量的なリスク評価(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及び評価の過程で抽出された課題への対処の方向性が明確であるかを評価して下さい。

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。)

(別紙 2)

BepiColombo プロジェクトの 評価に当たっての関連文書(抜粋)

我が国における宇宙開発利用の基本戦略

(平成 16 年 9 月 9 日 総合科学技術会議)

2. 宇宙開発利用の意義、目標及び方針

(1) 意義

地球・人類の持続的発展と国の矜持への貢献

宇宙開発利用は、長期的視点から地球システムの持続的発展を目指すため、地球環境の現状と人類活動の及ぼす影響を全地球的規模で把握するために、もっとも有効な手段である。また、フロンティアとしての宇宙への挑戦を続けることは、国民に夢と希望を与えると同時に、国際社会における我が国の品格と地位を高めることにも大きく貢献する。

(2) 目標

知の創造と人類の持続的発展

多くの人々に夢や希望を与えるべく、未知のフロンティアとしての宇宙に挑む。宇宙空間を探索し、利用することにより、宇宙の起源、地球の諸現象などに関する根源的な知識・知見を獲得する。さらに、地球の有限性が語られるようになった今日、

宇宙からの視点を活用して、人類の活動と地球環境との共生を旨すとともに、更なる飛躍を求めて、宇宙における人類活動の場を拡大する。

(3) 方針

我が国の国際的地位、存立基盤を確保するため、諸外国における宇宙開発利用の状況を踏まえつつ、我が国は人工衛星と宇宙輸送システムを必要な時に、独自に宇宙空間に打ち上げる能力を将来にわたって維持することを、我が国の宇宙開発利用の基本方針とする。

そのため、技術の維持・開発においては、信頼性の確保を最重視する。また、重要技術の自律性を高めるため、適切な選択と重点化を行った上で、ソフト面も含めた基盤的技術を強化するとともに、技術開発能力を維持する。

なお、研究開発目標の設定や研究開発計画の策定に関しては、利用者の要求を十分に反映することが可能となる仕組みを構築する。

4. 分野別推進戦略

(3) 宇宙科学研究

宇宙科学研究は、真理の追究、知の創造に寄与し、多くの人に夢、誇り及び活力を与えるものであり、宇宙開発利用の柱の一つである。

我が国の独自性を重視した研究開発を推進し、国際的水準の活動を持続する。我が国として独自性を発揮できる、太陽系探査や天文観測などの分野を中心に、資源を集中する。また、国際協力の重要性に配慮した上で、我が国の独自性を発揮できる戦

略をとる。

欧米などの当該分野の取組みに対しては、その状況を十分踏まえた上で、競争、連携あるいは補完の形をとる。対象分野の選択に当たっては、関連コミュニティの合意と適切な外部評価(他分野の関係者も含める)の下に、透明性を持って実施する。

(6) 長期的視野に立つ研究開発の方向性

宇宙科学研究の目指すべき方向

我が国の独自性を打ち出せる、特色ある太陽系探査や天文観測などを推進する。その際には、宇宙物理学や惑星物理学などの基礎科学研究の目指すべき長期的方向性を十分に勘案しつつ、我が国における宇宙科学研究として、知の創造に貢献できる分野に焦点を合わせる必要がある。

宇宙開発に関する長期的な計画

(平成 15 年 9 月 1 日 総務大臣、文部科学大臣、国土交通大臣)

1. 我が国の宇宙開発に関する基本的考え方

2. 我が国の宇宙開発の目的と基本方針

(1) 我が国の宇宙開発の目的

知的資産の拡大

未知なる宇宙及び太陽系の探査活動や宇宙環境を利用した基礎的な研究は、宇宙の起源、地球の諸現象などに関する普遍的な知識・知見を獲得するものであり、新しい価値観や新たな文化の創造にもつながるものである。

また、未知のフロンティアである宇宙に挑む姿は、次世代

を担う若い世代を含めて多くの人々に、夢と希望をもたらすものである。さらに、人類の新たな活動拠点を構築するとの観点から、次の世代の選択肢を増やしていくための活動を行う。

II. 重点的に取り組む業務に係る目標と方向

2. フロンティアの拡大

(1) 宇宙科学研究

太陽系探査科学

太陽系を理解する様々なアプローチのうち、科学衛星による直接探査が最も効果的な成果を挙げると期待される「太陽系形成の歴史を探る」こと及び「太陽、太陽系空間、惑星環境を探る」ことを重点的に推進する。...(略)...

また、太陽の超高温プラズマの生成等の解明に焦点を当てた太陽観測を行うとともに、地球及び惑星の大気や磁気圏、太陽圏空間プラズマの観測的・理論的研究を推進し、宇宙空間の環境の理解及び地球環境の普遍性と特殊性の解明を行う。

宇宙飛翔及び宇宙探査に係る工学研究

より遠く、より自在な、より多面的な探査活動を実現するための工学研究を推進する。

このため、より遠くへの探査活動を可能とする、新しい宇宙推進系、高効率の電源系等の研究を進めるとともに、長距離通信の高効率化を可能とする研究等の基礎的研究を実施する。また、自在な探査活動を可能とするため、自律探査ロボットや極限的な宇宙環境に耐える電子部品技術等の基礎

的研究を実施する。さらに、多面的な探査活動を行うため、技術観測機能の分散化・多様化・連携化を可能とする基礎的研究を推進する。

衛星の信頼性を向上するための今の対策について
(平成17年3月18日 宇宙開発委員会 推進部会)

3. 調査審議の結果

(1) JAXAの衛星開発に関する基本的な考え方

i) 目的を明確に区別した衛星開発の徹底

- ・ 今後の衛星開発においては、実利用の技術実証を主目的とするものと、技術開発自体や科学を目的とするものを峻別して、その衛星の開発計画を企画立案する。

ii) 目的に応じた衛星の開発

技術開発や科学を目的とした衛星の開発

- ・ 科学衛星については世界初を目指す挑戦的な取組みに合った衛星の開発を行う。
- ・ 技術開発や科学を目的とした衛星の開発においても、信頼性の確保に十分配慮する必要があり、これらの衛星のバスの開発についても、その目的を達成するために必要な技術開発を行う部分以外は、既存技術をできる限り活用するとともに、新規技術を採用する際には、地上試験や解析等によって信質性を確保する。

iii) 開発期間の短縮

- ・ 先ず、予備設計の前(研究の段階)に十分な資源を投入するとともに、計画の企画立案時には、プロジェクトの目標を

明確にした適切な開発計画を立て、プロジェクト全体の技術的な実現可能性についての検討及び審査を徹底的に行うことが必要である。予備設計を開始する時点では、既に重要な開発要素は概ね完了し、その他の要素についてもその後の開発研究及び開発の段階で解決すべき課題とその解決方法が見通せていることが必要である。

・ 今後の衛星の開発期間(予備設計が開始され、開発が終了するまでの期間)を、計画段階において5年程度以内を目途とし、その実現を図っていく。ただし、信頼性を一層向上する等の観点から、真に止むを得ない場合にあっては、宇宙開発委員会における計画の事前評価の段階でその必要性を十分に吟味の上、この期間を超えることもあり得る。

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15年10月1日 総務大臣、文部科学大臣、国土交通大臣)

III. 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

4. 宇宙科学研究

(B) 衛星等の飛翔体を用いた宇宙科学プロジェクトの推進

- (2) 開発中・開発承認済の宇宙科学研究プロジェクトの推進
水星の起源と進化、磁場の成因、磁気圏にわたる全貌解明を目指して、国際水星探査計画ベッピコロombo (Bepi-Colombo)計画に参加し、水星磁気圏探査機及び観測装置の開発を行う。

(別紙 3)

BepiColombo プロジェクトに関する 宇宙開発委員会における過去の評価結果(抜粋)

水星探査機計画の事前評価結果について(報告)
(平成15年6月24日 宇宙開発委員会 計画・評価部会 水星探査プロジェクト評価小委員会)

4.9 総合評価

「水星探査プロジェクト」に対する評価を次にまとめる。

水星探査プロジェクトは、「宇宙科学研究の推進について」に挙げられている宇宙科学研究における 3 つの大目標のうち、太陽系探査科学に位置付けられる。水星探査は、高温・高放射線という厳しい環境下で行われることから、水星に辿り着いた探査機は 1 機のみであり、水星の固有磁場の成因、内部構造や表面地形の解明につながる科学的データが極めて乏しい。地球型惑星で固有磁場を有するのは水星と地球のみであるが、本プロジェクトでは、水星の磁場や磁気圏を高い精度で観測し、惑星の磁場・磁気圏の普遍性と特異性の解明に大きく貢献するとともに、内部・表層を観測することにより、太陽系形成における地球型惑星の起源と進化の解明を目指すものである。従って、太陽系探査科学において重要な科学的意義を持つと考える。本プロジェクトは科学的意義に重点がある。

本プロジェクトの水星探査は、技術的意義として挙げられている

耐熱技術、耐放射線技術、軽量化技術は厳しい環境で水星探査を可能とする技術的基盤であり、それぞれ技術的な見通しが得られている。また、将来の金星探査や木星探査の技術的基盤になる。

これらの意義を受けて、科学的・技術的に具体的な目標が定められている。科学的目標として水星磁場の成因や水星磁気圏の解明等が挙げられているが、日本の得意とする分野であり適切である。また、技術的目標についても、これまでの経験を踏まえつつ、水星という非常に厳しい環境下で、観測が可能となるように設定されている。

一方、社会的・経済的な意義という観点からも、トップレベルの宇宙科学研究を行うことにより、国民に夢と希望を与えるとともに、実践的教育機会を与えることにより、研究者・技術者の育成にも貢献すると考えられる。また、経済的意義の観点からみると、例えば、耐放射線半導体部品等の開発によって得られた技術の民間移転が期待されている。

本プロジェクトは、ESA との極めて強い連携で進められている国際共同プロジェクトとして、トップレベルの宇宙科学研究を行う大変よいモデルケースになっており、今後の国際共同プロジェクトにもつながる。また、日本がこれまでの科学的成果と技術力を生かし、リーダーシップを発揮して探査できるテーマでもあり、国際社会において、日本の宇宙科学研究への貢献を認知させることができる。システム選定においても、ESA との役割分担により、得意分野を生かした観測が可能になっている。

打上げ機や推進系は ESA が担当しているが、我が国担当分のリスクや費用は軽減されている。特に、費用については、期待される成果に比べて少なく設定されている。

一方、本プロジェクトは、国際共同プロジェクトであるために、特

に留意すべき点がある。まず、総合試験が ESA で行われることから、日本側での開発が 1 年程度早く終了させる必要があるなど大変厳しいスケジュールになっている。また、ESA の作業の進捗状況により計画全体が左右されるため、ESA の実施計画の遅れの可能性も考慮しつつ、プロジェクトを進めていく必要がある。プロジェクト全体のリスクは ESA 担当分に比重が多くかかっており、我が国だけでは対処できないリスクを抱えている。

プロジェクトの実施体制については、これまでの宇宙科学研究所の実施体制を踏まえており、現時点では妥当である。また、各階層の中での責任の所在も具体的に示されている。しかし、国際共同プロジェクトであることから、上記のようなリスクを抱えており、国内の研究体制を整えるとともに、ESA との連携・調整を図ることが重要である。新機構発足後も、リスク管理等を考慮した実施体制を構築する必要がある。

以上の評価に基づき、本評価小委員会は「水星探査プロジェクト」が「開発研究」段階に進むことが妥当であると判断した。

推進部会 進捗状況確認

(平成 16 年 8 月 17 日 宇宙開発委員会 推進部会)

3. 進捗状況の確認結果

(3) 進捗状況確認結果

(概要・意義・目標等)

本プロジェクトは、全体として 2 つの周回探査衛星と 1 つの着陸機

から構成されており、JAXA は、1 つの周回探査機(MMO)を担当することとなっていた。

ESA が担当するとされていた水星への着陸機(MSE)が断念されたことにより、熱流量/地震による水星内部構造の探査及び表面組成の直接計測が実施できなくなるが、これらは、ESA が担当する周回探査機(MPO)と JAXA が担当する MMO の 2 つの周回探査機による観測によって適切に補完されることが可能であるとされている。

従って、本プロジェクトの計画全体の目的は、このようなプロジェクトの一部変更が行われても、太陽系探査科学において重要な科学的意義を有しているものと考えられている。

(期待される成果の利用等)

本プロジェクトにおいては、引き続き、本衛星の観測計画の策定と取得する科学データの利用計画の検討のため、国内外の科学・利用コミュニティとの適切な連携が図られている。

(開発計画等)

本プロジェクトにおいては、平成 22 年度の打上げを目標に、平成 16 年度から開発研究に移行することを計画していたが、上記のような ESA の計画変更に伴い、平成 16 年度は引き続き研究を継続し、打上げの目標年度を平成 24 年度に設定し直して本プロジェクトを進めることとしている。

今後のスケジュールに関しては、ESA と共同で実施する試験(母船熱構造試験、母船総合試験)の時期が明示されており、計画の変更以前に比して若干の余裕が生じるものであることから、JAXA としては、本プロジェクトの目的の達成に向けて特段の問題はなく、

適切なものであると考えられる。

一方、今回の本プロジェクトの計画変更が、ESA の計画変更の影響を受けたものであることを踏まえ、JAXA は、このようなリスクも含め本プロジェクトの進行管理についてさらに配慮するとともに、今後の JAXA-ESA 間の本プロジェクトの推進に係る調整に引き続き十分配慮すべきである。

(実施体制)

本プロジェクトについて、JAXA-ESA 間の役割分担等に変更はなく、実施体制は適切に維持されている。

(審議結果)

これらの結果をまとめると、上記のような ESA の計画変更に伴い、本プロジェクトの計画変更を行っても、本プロジェクトの意義は以前と変化することなく極めて重要であり、今後の計画が適切に設定されていることから、昨年度、宇宙開発委員会計画・評価部会において示された、本プロジェクトを開発研究段階に移行することが妥当との判断は引き続き有効であると判断される。

BepiColombo 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】

日時:平成20年1月15日(火)10:00~12:00

場所:三田共用会議所 第3特別会議室

議題:

- (1) 水星探査計画(BepiColombo)プロジェクトの事前評価について
- (2) その他

【第3回推進部会】

日時:平成20年2月12日(火)10:00~12:00

場所:文部科学省 3階 1特別会議室

議題:

- (1) 水星探査計画(BepiColombo)プロジェクトの事前評価について
- (2) 第1期気候変動観測衛星(GCOM-C1)プロジェクトの事前評価について
- (3) 光衛星間通信実験衛星(OICETS)プロジェクトの事後評価について
- (4) その他

水星探査計画(BepiColombo)

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確認)	11	1	0
2. プロジェクトの目標	8	4	0
3. 開発方針	8	4	0
4. システム選定及び設計要求	7	5	0
5. 開発計画	5	7	0
6. リスク管理	5	7	0

1. プロジェクトの目的(プロジェクトの意義の確認)

BepiColombo プロジェクトについては、平成 15 年の宇宙開発委員会 計画・評価部会において、太陽系探査科学において重要な科学的意義を有していると評価されました。また、平成 16 年の宇宙開発委員会 推進都会における進捗状況確認においても、プロジェクトの一部変更があるものの依然重要な科学的意義を有していると評価されています。

これら開発研究移行時の事前評価結果を踏まえた上で、JAXA 担当分のプロジェクトの目的が、「我が国における宇宙開発利用の基本戦略」(総合科学技術会議)及び「宇宙開発に関する長期的な計画」(以下、「長期計画」という。)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、これまでの経緯を考慮した評価をして下さい。

	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確認)	11	1	0

評価根拠のコメント

【妥当】

- 1 水星の周回軌道による探査は太陽に近いため困難であったが、本プロジェクトはESAとの共同プロジェクトとしてチャレンジするものである。日本担当探査機、MMO は日本の得意とする磁気圏探査であり大きな成果が期待できる。「基本戦略」「長期計画」に基づいたものである。
- 2 本プロジェクトは地球型惑星の環境を探り、その起源と進化を

- 解明する科学的意義、太陽に近い水星周回軌道環境での高性能観測を実現する技術的意義、日欧共同作業推進による国際社会への貢献と社会が関心を待つ未知のフロンティアを開く科学の営みとしての社会的意義を待っており、我が国における宇宙開発利用全体の意義に照らしても、的確に詳細化、具体化されたものに該当していると見なすことが出来る。
- 3 米国 Messenger による観測に加え、日欧が協力してさらに観測データを補足・補強するという国際的な枠組み構築は国際貢献の面からとても好ましいものであり、本プロジェクトは科学的な有意義さだけでなく、時期的にも意味あるものと評価できる。
 - 4 欧州宇宙機関(ESA)との国際協力のもとに、水星の磁場・磁気圏・内部・表層を総合的に観測することによって、惑星の磁場・磁気圏の研究を飛躍的に発展させ、かつ太陽に最も近い領域で形成された惑星である水星の起源と進化(過去)の解明を目指す本プロジェクトは、高い科学的意義を待つものであり、その目的とするところは、「我が国における宇宙開発利用の基本戦略」、「宇宙開発に関する長期的な計画」等に照らして、極めて妥当である。最近の米国NASAのメッセンジャー水星到達という背景変化はあるが、メッセンジャーにおいて予想される科学成果はBepiColomboが目指す総合的観測の可能性をより拡大するものと期待され、メッセンジャーの水星到達は、BepiColomboに対する従来からの評価(平成15年の宇宙開発委員会計画・評価部会における評価、および平成16年の宇宙開発委員会推進部会における進捗状況確認など)の結果を特段に変えるものではないと認められる。
 - 5 水星の大気や宇宙空間の観測理論的研究を行うのは意義がある。

- 6 これまで水星に接近した衛星はMercuryとMessengerのみであり、BepiColomboが3つ目のミッションとなることが期待されている。一方、BepiColombo MMOの観測ミッションは、最近初めて水星に接近したMessengerが搭載しているミッションとは大きく異っている。更にMessengerの初期観測データを見た科学者の印象は、水星に関する謎は益々深まったと言うもののようであり、BepiColomboの研究開発を開始した時点および中間評価の時点から、ミッションの意義は聊かも減じていない。従って、当初計画どおりに開発を進めることは妥当であると考える。
- 7 プロジェクトの意義は十分あると思うが、計画が日を追って遅れる傾向にあるのが心配です。これ以上遅れることのないよう努力をして頂きたい。
- 8 本プロジェクトの科学的意義、技術的意義、および社会的意義は、共にあるものと認める。日欧の役割分担も妥当なものである。但し、本計画を進めるに当たっては、本プロジェクトが、我が国の厳しい財政状況の中での大型事業であるという点を、実行に関わるすべての関係者が意識の根幹に据え、常に緊張感を待って進めていただきたい。
- 9 プロジェクトの目的が、「我が国における宇宙開発利用の基本戦略」及び「宇宙開発に関する長期的な計画」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。
- 10 ESAとの国際協力の枠組みの下、水星の構造を知るための方法としてMMOを打ち上げることは惑星形成の起源と変化の過程を知る上で極めて有意義であると思われる。

【概ね妥当】

11 欧州と共同の大型ミッションとなり、人類の新たなチャレンジとなる水星のさらなる解明に日本の技術で研究者が取り組めることは国際貢献にもなり、大いに期待したいところである。

2. プロジェクトの目標

平成 15 年の宇宙開発委員会 計画・評価部会において、BepiColombo プロジェクトにおける目標として水星磁場の成因の解明や水星磁気圏の解明等が挙げられていますが、これらは、日本の得意とする分野であり適切であると評価されました。

今回、開発移行にあたり、より具体的に目標を見直しています。

上記を踏まえ、

- 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
2. プロジェクトの目標	8	4	0

評価根拠のコメント

【妥当】

1 科学目標として MMO が解明を目指す水星環境として、水星磁場の成因を探る磁場計測の高い精度、水星磁気圏の構造・運動・高エネルギー現象の観測時間分解能、激変する希薄な大気を探る水星全球の大気分布・時間変動観測が上げられているが、いずれも明確に数値目標が定められており、本プロジェクトの目的に照らして要求条件を満たす成功基準となっている。また、太陽近傍惑星間環境の観測に関しては、高マッハ数衝撃波の観測をエクストラサクセスとし、MMO が果たす水星環境解明にさらなる期待を持たせており、目標の優先順位及びウェイト配分の点でも的確だと判断できる。

2 プロジェクトの科学目標は、水星磁場の成因の解明、水星磁気圏の解明、水星希薄大気の解明、太陽近傍の惑星間空間の観測等で構成され、それらのための観測に関して、目標は具体的かつ明確に設定されていると認められる。特に水星磁場に関しては、MMO と MPO の同時観測が極めて重要であることが明瞭に提示、説明されている。

成功基準は MMO が単独で実現できること、という観点から設定されており、その意味では的確である。なお、メッセンジャーの観測はこの成功基準に基本的には影響しないとのことであるが、今後、この成功基準の扱いに関しては、多少の柔軟さを残しておいてもよいのではないかと考える。

また、磁場に関する内部起源・外部起源の分離と内部構造の推定は、MPO との共同観測によって達成しうるものである(MMO が単独で実現できるものではない)ところから、エクストラサクセスとされているが、これは、国際協力ミッションである BepiColombo の最重点テーマの一つと見なされ、BepiColombo 国際協力ミッション達成の意義を大きく高めるものとして、その共同観測の确实

な成功(エクストラでないサクセス)を期待したい。

- 3 ミニマムサクセスとしての磁場観測、磁気圏観測に関しては、観測すべきパラメータの変動範囲に基づいた観測計画が立てられている。またフルサクセス、エクストラサクセスミッションである希薄大気観測、衝撃波観測に関しては、アンノウンファクタが大きい、一応可能な範囲での定量的検討に基づいてミッション機器の計画が行われている。以上のように目標および成功基準は明確である。
- 4 磁場惑星の水星本体と取り巻く環境を磁場の成因の解明と大気及び衝撃波等の観測により何を解明するのが明確になっている。これまで水星に対する研究の取り組みが少ないため実際打ち上げてみてからの変更等がおこる可能性もあるだろうが、あえて日本の得意とする技術力を持ってチャレンジするのだから、現段階では目標設定は具体的といえる。
- 5 掲られてる目標は妥当なものだと思うが、成功基準が的確か否かはわからない。但し「MESSENGER」が平成 23 年に送ってくるデータによっては目標の優先順位及びサクセスクライテリアは柔軟に考えたら良いと思う。
- 6 本プロジェクトの目的に対して設定された目標は明確であり、その目標に対する成功基準も的確である。欧州との共同プロジェクトであり、計画等に不確定な要素を含むことは認めるが、是非ともエクストラサクセス目標の達成へ向けた最大限の努力をお願いしたい。
- 7 プロジェクトにおいて設定された目標が具体的に明確となっており、設定された目標が設定された目的に照らし、要求条件を満たした的確であり、その目標に対する成功基準が的確である。

【概ね妥当】

- 8 水星磁場の成因、磁気圏の解明などが科学的目標としてかけられ、大きな成果が期待される。観測精度、観測領域、観測時間などを定めた成功基準はおおむね妥当であるが科学ミッションは、科学的成果において評価されるものであり、従来の成功基準では表現しがたいという問題がある。先行する NASA の「MESSENGER」の結果をふまえて成功基準の弾力的変更も考えるべきであろう。
 - 9 サクセスクライテリアにおけるエクストラサクセスの記載内容を見る限り、本開発プロジェクトの目標である観測データ取得ミッションと、そのデータを用いて水星を理解する科学研究ミッションとが混在しているように感じる。観測ミッション目標とサイエンティストの研究ミッション目標の区別を明確にすることが望まれる。
また、両者は表裏一体のものであり、サイエンティストが行う研究ミッションについても達成目標をより具体的に示すべきという意見に賛同する。
 - 10 全球磁場マッピングを行うのは科学的意義がある。
 - 11 目標設定の具体性、要求条件は明確である。また成功基準については、磁場計測器による 88 日間以上の観測など具体的に述べられており明確であるが、エクストラサクセスについては抽象的な表現になっており、より具体的な表現が好ましい。
3. 開発方針
- BepiColomboプロジェクトの開発活動全体を律する基本的な考え方が設定された目標の達成に対する的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
3. 開発方針	8	4	0

評価根拠のコメント

【妥当】

- 1 GEOTAIL などこれまでの地球電磁気学衛星の経験を継承し進められ、全体として妥当であるが、本プロジェクトの正否はESAとの十分な連携に大きくよるものである。情報の共有の努力は行われているが、さらにいっそうの緊密な連携を期待する。
- 2 日本の科学衛星開発で得られた資産・運用経験を継承し、必要な改善を加え、開発リスク・コストの低減を図り、信頼度を高めつつ軽量化を目指す、研究・設計検討及び試験を十分行なう方針を基に、観測装置の世界最高レベルの維持、確実な開発を行なう体制と責任分担、国際共同ミッションの開発実施に不可欠な日欧の情報共有が考慮されており、開発方針は妥当だと思われる。
- 3 提示された、4項目からなるMMOの開発方針は、設定された目標の達成に対する確とみなされる。水星近傍での環境条件が過酷であること、および水星到達まで長期間を要すること、などを踏まえての探査機の信頼性確保は、プロジェクトとして、開発に当たって、最重点課題と認識されていることと思う。また国際共同計画であるところから、ESA側のプロジェクトとの深い連携が、開発過程において相互に大きなメリットを生じていくこととなることを期待したい。
- 4 未知の要素の大きなミッションをヨーロッパとの共同でお互いの

得意分野を生かす計画となっている。またESA担当の分野の審査会にわが国のメンバーも参加、わが国の担当分野の審査会にESA側のメンバーも参加すると言った協力体制で開発を進める計画となっている。またミッション機器はこれまでの実績の延長線上で、国内の研究機関でそれぞれ得意な機器を分担開発する体制となっており、ミッションの目的達成および信頼性向上の上で有効である。以上のように開発方針は妥当である。

- 5 これまでの経験を継承し開発リスクを低減しながら方針を立てている。
- 6 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。

【概ね妥当】

- 7 「のぞみ」等の開発資産、運用、経験を継承するのは重要な点である。
- 8 本計画のようなプロジェクトにおいては、その観測性能は、世界最高レベルでなくては意味がない。開発に当たっては必要に応じて世界の知も積極的に導入し、常に世界の最先端のポテンシャルを待って進めていただきたい。そのためには、ESA側との定期的な会合による情報交換はもちろんだが、個々の研究者間の日常的な連絡・討論の仕組みもしっかりと整備していく必要があると思われる。

4. システム選定及び基本設計

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、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をも検討の対象に含みます。

	妥当	概ね妥当	疑問がある
4. システム選定及び設計要求	7	5	0

評価根拠のコメント

【妥当】

- 1 これまでの探査機の経験にはない厳しい環境化での熱設計が求められている。ESA、また「MESSENGER」の経験を持つ NASA の科学者との情報交換をさらに密に進めることを期待する。
- 2 本プロジェクトの観測データの良否を左右し得る搭載観測器の選定が「公募」であることは興味深くかつ好ましいことと考える。その選定の経過や結果などを可能な限り公表して頂いて、公募制を支える基盤がより広く強固なものになっていくことを望む。
- 3 探査機は、観測要求ならびに環境条件を満たす構成・機能・性能を有するものとして、適切にシステム選定ならびに基本設計が

なされていると認められる。システム選定に到るまでの検討状況も適切に提示されている。

搭載科学観測機器は、基本的に、わが国として十分な実績をもつものに観測性能向上のための改良を図ったものとなっており、成熟度は高いと見なされる。また、観測データの機上処理に新たな工夫がなされているが、これは観測系機器のシステム構成上の効率を高め、かつ信頼性を向上させるものであると認められる。

MMO 探査機システムの重要課題である熱設計に関しては、これまでの研究・検討によって、設計方針は成立していると認められる。特に大きな高温耐性を要求される太陽電池、高利得アンテナ、断熱材などの外付け機器に関しても、十分な見通しが得られていると認められる。

探査機システム機器として新規のものである高利得アンテナ、トランスポンダー、およびスペースワイヤーに関しては、プロジェクトとして十分考えられていることではあるが、信頼性確保のために、試験により十分な機能性能確認を行っておくことが肝要であろう。

- 4 衛星は水星に接近するまでは太陽加熱および深宇宙環境から絶縁された形態の冬眠モードの計画であり、また観測要求による点も大きいようであるが、ミッション開始後は熱バランスが最もとり易いスピン安定方式となっており、基本構想として妥当な設計である。

ミッション機器は国内の研究者がこれまでの経験を基に得意とする観測機器をそれぞれ開発する体制となっており、バス機器に関しては何点か輸入品を使用する計画となっている。

衛星バス系の機構系部品の開発をわが国としてどうするべきか

は重要な問題であると認識しているが、BepiColombo ミッションの当面の方針としては輸入品を使用することはスケジュールキープおよびリスク回避上妥当な方針である。以上のように基本設計およびシステム選定は妥当であると判断する。

5 高温耐熱と軽量化が重点になるが、技術面でも開発面においても十分検討されており、海外との差別化もできている。既存の機器と新規の機器開発及び国内外の調達に関する検討がされている

6 開発を進めるに当たってのシステム選定、基本設計はほぼ妥当であると思われる。

但し、長期の研究開発の中で新規の技術等未知の要因が現れることも予想されるので、そのような場合は最適化へ向けて適宜見直しを行うなど、柔軟な対応を行っていただきたい。

7 上記) ~) の項目に照らし、よく吟味されていると思う。特に既存技術の活用についてはこれまでの実験衛星、観測衛星の技術を良く調査しており、このような評価結果が今後の技術開発に活かされるものと期待する。

【概ね妥当】

8 MMO 探査機システムの選定に到る検討状況・結果、MMO 探査機・熱設計、フロントローディング状況の記載を読む限り、関係技術の成熟度分析結果を踏まえ、コストを含めた複数オプションの比較検討、既存技術の活用によるコスト削減・信頼性向上と新規技術開発による信頼性向上・軽量化・高性能化を目指す試みは確かに成されており、概ね妥当だと思われる。

9 システムの選定及び設計要求が設定された目標に照らし的確であるが、特に熱環境が厳しいため、今後熱設計及び関連試験

結果の十分な評価/検証をお願いしたい。

5. 開発計画

スケジュール、資金計画、実施体制及び設備の整備計画等の開発計画が、設定された目標の達成に対する確実性を評価して下さい。

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。

	妥当	概ね妥当	疑問がある
5. 開発計画	5	7	0

評価根拠のコメント

【妥当】

1 ESA 側の進行に対応したスケジュールの設定、特にレビューの時期、各種モデルの ESA への搬入時期等は、適切と見なされる。熱環境に関わる MMO システムの試験については、国内施設と ESA の施設の両者を適宜使い分けて行うことによって完結したものとすると、との個別質問に対する回答を得ている。

開発体制に関しては、従来からのわが国の科学衛星と同じく、国内の多数の大学一研究機関の研究者がプロジェクトに深く関わっていくものと認められる。平成 9 年の水星探査ワーキンググループの形成から現段階までにおよそ 10 年を経過していることに加えて、今後、水星に到達し観測がなされるまでに 10 年強を要することから、サイエンスチームの、メンバーの世代交代を含めた維持・充実に、プロジェクトとして、また宇宙科学研究本部

においても、十分留意されていることと思う。

- 2 従来からの実績に基づいて、JAXA 宇宙科学研究本部が中心となって国内の宇宙科学研究コミュニティと連携し、更に衛星開発に関しては JAXA の専門分野の能力を統合して開発を進める体制となっている。また適正なフロントローディング作業を実施することによって、開発期間は比較的短期間である 4 年程度となっており、従来実績を生かし、更に開発リスクをミニマムにする計画となっており、開発計画は妥当である。
- 3 スケジュール、資金計画、実施体制及び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。

【概ね妥当】

- 4 スケジュールに関しては留意点で上げられた課題はあるが、現時点では目標達成に対して的確である。資金計画・実施に伴う開発体制に関しても概ね妥当であると思われる。
- 5 搭載機器開発に多くの大学などの研究者が参画していることは、広くアイデアを得ることができるなど、科学衛星開発としてとても好ましいものである。ただ、開発に不慣れな研究者や職務位置づけが明確でない大学院生などが実務を行う場合でも問題が発生しないように開発設計チェック体制もしっかりしたものにしてほしい。
- 6 ESA 側のプロジェクトとお互いの進捗状況、問題点について情報を共有し、確実な開発を行える体制を当初の段階で構築していただきたい。
- 7 他ミッションとのコスト比較を提示されると一見分かりやすそうなのだが、ESA が約 800 億円、JAXA が約 150 億円という数字はコスト削減の上、技術力が充分にあるという努力はわかるのだが、

果たして適切な数字なのかがよくつかめない。

- 8 開発スケジュール、資金計画等は概ね妥当であると判断する。但し、開発計画の推進は ESA との共同推進体制の円滑化が一つの大きなポイントであり、協力体制のしっかりした構築と運用を行っていただきたい。
- 9 ESA との共同開発であること、また、多種の観測機器を搭載すること、など調整箇所が多い観測衛星であるが、それぞれ中間段階に責任者(主任研究者)を置くなど、開発が円滑に実施されることに注意を払った計画であると思われる。

6. リスク管理

プロジェクトの可能な限り定量的なリスク評価(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及び評価の過程で抽出された課題への対処の方向性が明確であるかを評価して下さい。

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
6. リスク管理	5	7	0

評価根拠のコメント

【妥当】

- 1 リスク管理状況を示す一覧表に関して、探査機システムに関わ

る事項が多数取り上げられているが、それらは適切に処置ないし計画されていると認められる。

- 2 プロジェクトの定量的なリスク評価とその結果に基づくリスク管理について、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リスクへの対処の状況、実施フェーズ移行後に処置するリスクに対する対処の方向性が明確である。

【概ね妥当】

- 3 リスク管理の方針、実施計画は妥当なものであるが、リスク管理状況のリスク項目に関しては、国際共同ミッションという中で生ずる ESA 側の設計・計画変更による影響など多岐にわたっており、現時点では概ね妥当だとみたい。
- 4 技術面、スケジュールの面のリスクに加え、政治的なリスクや技術流出のリスク等、多面的なリスク評価を行うことを望む。
- 5 重要リスクは一応全てリストアップされているようであるが、熱設計と耐放射線対策に関しては一段の注意が必要と思われる。太陽電池がある程度高温化されることは避けられないと思われ、それに対して地上で実証試験を行う計画となっているが、地上試験では宇宙環境は必ずしも 100%はシミュレート出来ない。例えば地上試験では、試験設備の影響で volatile 物質の挙動は宇宙環境と必ずしも同じではない等が考えられる。衛星で最も多い問題は電源系であり、特に BepiColombo 衛星のように実績の無い環境下で作動する衛星に関しては、設計マージンを大きくとることが重要である。また耐放射線対策に関しては、既の実施されているかも知れないが、宇宙放射線による機器の故障確率の定量評価に基づいた放射線防護対策と冗長系設計が重要である。

6 主となる ESA の設計変更等で JAXA が影響を受けるのがリスクになるが、密にコミュニケーションを取る体制づくりもできている。地上局でのバックアップ体制の強化も重要となるだろうが、他の衛星の打ち上げが遅れることに連動し、MMO 自体の打ち上げが遅れることもリスクとなるのではないか。

- 7 現段階で予想されるリスク要因の評価とその対処の方向性は概ね妥当であると考えられる。リスク管理体制として、プロジェクト内外の役割と責任を決定しリスク管理を実行する体制を構築することは重要であり、プログラムレベルでリスクを分散・吸収することも有効である。ただリスクを分散対処する場合でも、その内容に関しては、プロジェクト全体に情報開示し、意識の共有化を合わせて行うことが大切である。