

# 令和6年度 終了評価書

- 研究機関 : 国立研究開発法人情報通信研究機構、公立大学法人大阪、  
国立研究開発法人宇宙航空研究開発機構、Space BD 株式会社、  
国立大学法人東京大学
- 研究開発課題 : テラヘルツ波を用いた月面の広域な水エネルギー資源探査
- 研究開発期間 : 令和3年度 ~ 令和6年度
- 代表研究責任者 : 笠井 康子

■ 総合評価(5~1の5段階評価) : 評価4

■ 総合評価点 : 21点

## (総論)

テラヘルツ波を用いた月面探査という高度な技術的課題に対して、月面組成のデータベース作成、水分含有箇所を特定する解析アルゴリズム開発及びテラヘルツ波センサ開発を低コストで完了する等、顕著な成果を挙げている。一方で、研究開発成果の普及・展開に向けては、論文発表や特許獲得等を一層加速させる必要がある。今後は、宇宙戦略基金への採択を契機として、月面から得られる情報を用いた解析精度の向上を含め、実運用を見据えた更なる展開を期待する。

## (被評価者へのコメント)

- 難度の高い研究にも関わらず、個々の専門課題に関して良い成果を出している。ただし、論文・特許その他でのアピール戦略は必要と考える。終了評価検討会で示された説明資料は、スライド番号

もなく、エンジニアリングの研究としてのアピールポイントも十分記載されていなかったが、修正依頼後は問題ないレベルになった。今後この種の報告をする際に留意してプロジェクトを運用してほしい。指摘されてすぐ良い方向になるので、経験の問題と理解する。今後の成長に期待したい。以下の点は評価したい。

- 月模擬土壌の誘電率を測定しデータベース化したこと。
- 測定器の主要構成品を産業用のカタログ品で作成、かつ耐久性があること。
- アンテナ光学系や較正系については JAXA ベンチャーを設立した。
- コンソーシアム運動が立ち上がっていること。
- 宇宙戦略基金の採択ができたこと。
- テラヘルツ波を用いた月面探査という難しい課題に挑戦し、目標に見合った成果を挙げている。一方で、デバイス開発と月面探査の技術的課題における学術的成果を示し、広報につなげるというプロジェクト全体の進め方については、初年度からのマネジメント体制の整備により、各研究課題の横連携の効果を明確に発揮することが可能だったと思われる。今後の実運用、衛星搭載に向けての更なる展開を期待したい。
- 当初目標は達成しており、今後の展開に向けた予算も獲得できたことは評価したい。
- 例えば、月面情報のデータベースの精度については、月面の探査区域によると思われたため、更なる情報収集、データの追加を行い、テラヘルツ波探査における精度を上げて欲しい。
- テラヘルツ波探査のデータベースの確からしさ(精度)については、今後の探査において核となるかと思われるため、更なる計測、異なる環境、広さ、資源の縦方向の位置など、様々な状況に対応できるよう拡張を望みたい。
- 論文成果、広報を通じて、開発したデバイスのみならず、研究開発成果の有用性を他の用途に向けて推進することも期待したい。
- 全ての政策目標について計画を達成しており、十分な成果が得られている。これにより宇宙戦略基金に採択され、製品化に向けた研究開発を推進できる。
- 全ての政策目標について計画を達成している。
- 政府大型月面探査プロジェクトと比較して、小型軽量、1/10 程度の低コストでの開発を実現している。
- 特許出願件数が 0 件であることは物足りない。

## (1) 研究開発の目的・政策的位置付けおよび目標

(5～1の5段階評価) : 評価4

### (総論)

月面探査は国際的にも注目を集めており、我が国としてテラヘルツ波を活用した独自の月面探査技術確立することは重要である。こうした背景の下、本研究開発の政策的位置付けについては、宇宙戦略ビジョン2030及び宇宙基本計画(令和2年6月30日閣議決定)において、テラヘルツセンサ関連技術の強化と研究開発の推進が記載されており、妥当性が認められる。また、本研究の目的及び目標も、基本計画書に沿った内容となっており、妥当と判断する。

### (被評価者へのコメント)

- 月面探査は国際的にも注目を集めており、我が国としてテラヘルツ波を活用した独自の月面探査技術確立することは重要である。
- 基本計画書に沿った目的・目標であり妥当と判断する。
- 宇宙ビジョン2030、宇宙基本計画(令和2年6月30日閣議決定)に記載のあるテーマ内容であり、基本計画書の政策的位置付けに適合していると判断する。
- 野心的なテーマであり、研究の意義は高い。
- 全体像として何が得られるかが不明瞭である。

## (2) 研究開発マネジメント(費用対効果分析を含む)

(5～1の5段階評価) : 評価3

### (総論)

プロジェクト開始時に比べ、プロジェクトとして関係機関の一体化及び連携体制は格段に向上したと評価できる。一方で、本来はプロジェクト開始時から、マネジメントの体制整備については十分に考慮すべきであり、今後の更なる研鑽が必要である。また、費用対効果の面では、政府大型月面探査プロジェクトと比較して 1/10 程度の低コストでの開発を実現しており、効率的な取り組みであると評価できる。

### (被評価者へのコメント)

- 月における水の有無を知るのはサイエンスだが、そのための衛星を開発するのはエンジニアリングなので、定量的に性能目標から始めて、ブレイクダウンし、各部品や要素技術の仕様を決めて開発している姿勢で最初からプロジェクトを説明してほしい。
- 途中で製作会社を大胆に切り替えた決断力は評価したい。
- 宇宙戦略基金に移行できたということは、プロジェクトの意義が外部に伝わったからと考える。
- エンジニアリングプロジェクトとしてのマネジメントとしては、当初より改善されたとはいえ、今後の更なる研鑽が必要と考える。
- プロジェクト開始時に比べ、プロジェクトとして関係機関の一体化及び連携体制は格段に向上したと考えるが、本来、プロジェクト開始時からマネジメントの体制整備については考慮すべきであった。
- 初期に比べて改善したが、個々のテーマを相互に関連付けるマネジメントの力が不足している。また、論文、特許等、プロジェクト全体として客観的なアウトプットを出す努力に改善の余地あり。
- 総合ビジネスプロデューサーなどを含めてマネジメント体制は妥当と判断する。
- テラヘルツ装置などは高額であり、それに見合った効果を得ていると判断する。
- 政府大型月面探査プロジェクトと比較して、小型軽量、1/10 程度の低コストでの開発を実現している。

### (3) 研究開発目標(アウトプット目標)の達成状況

(5~1の5段階評価) : 評価3

#### (総論)

研究開発目標はおおむね達成しており、模擬月面土壤の誘電率に基づく月面組成に対する周波数の特性データベースの作成、水分含有量を推定する解析アルゴリズムの開発、水平分解能 10 km以下の性能を有するセンサの開発等を完了し、かつ、全体として低価格化を実現できたことは評価できる。データベースについては、更なる情報収集、データの拡充を行い、テラヘルツ波探査における精度を上げていくことを期待する。

#### (被評価者へのコメント)

- 以下は評価したい。
  - ・月模擬土壤の誘電率を測定しデータベース化したこと、そのため月面模擬土壤に対して初めてとなるテラヘルツ波における誘電率での物性特性システムを開発したこと。
  - ・開発した低雑音センサは要求分解能 10km を満たしていること。
  - ・研究面では、観測した放射輝度の偏波比と観測角から決定される見かけ誘電率を世界で初めて定義し、レゴリス中に氷が資源利用に資する量程度(5wt%程度)含まれた場合に特定する解析アルゴリズムを開発したこと。
  - ・衛星軌道上デジタル処理技術を実装したオンボードコンピュータ(S-OBC)を世界で初めて実装したこと。
  - ・産業用のカタログ品を部品に使ったにもかかわらず長時間(1年)運用ができること。
  - ・低価格化のため、1tの政府系衛星に対してコスト面での差別化を図った 100kg 以下の設計を目指し、3.5年の短期間で実現できたこと。
- 宇宙戦略基金に移行し長期の研究ができるようになったこと。
- 当初目標はおおむね達成しており、今後の展開に向けた予算も獲得できたことは評価したい。
- 例えば、月面情報のデータベースの精度については、月面の探査区域によると思われたため、更なる情報収集、データの追加を行い、テラヘルツ波探査における精度を上げてほしい。
- 研究開発成果の有用性を他の用途に向けて推進することも期待したい。
- 具体的な打上げ衛星と時期が確定した段階で、条件は確定すると思われるが、打ち上げ軌道や時間等を考慮すれば、今後も、インタフェースの障害対応、軽量化、耐久性などに向けた実証実験および実装手法については、更なる検討が求められると思われる。
- 個別研究に関しては、それなりの成果が出ている。
- 成果が、論文数、特許、人材、産業育成等に明確につながっていない。
- 改訂資料でも、機器の目標と全体の目標の関連がわかりにくい。個別機器に数値は記載されたが、では、月の何がどの程度見えるのかは依然不明瞭である。
- 目標を達成していると判断する。
- 構築したテラヘルツ波物性データベースは拡充が必要と判断する。

#### (4) 政策目標(アウトカム目標)の達成に向けた取組みの実施状況

(5～1の5段階評価) : 評価4

##### (総論)

計画した全ての項目について目標を達成しており、計画通りに成果を得ている。また、開発した高精度アンテナに関してJAXAベンチャーを設立した点については、研究開発成果の産業化に向けた具体的な取組みが期待できる。一方で、研究開発成果の更なる普及・展開に向けては、目標論文数の達成にとどまらず、論文発表を増やして行くことが必要である。

##### (被評価者へのコメント)

- 以下は評価したい。
  - ・宇宙ミュージアム TeNQ を利用したコンソーシアム運動が立ち上がっていること。
  - ・宇宙戦略基金の採択ができたこと。
  - ・高精度アンテナに関して JAXA ベンチャーを設立したこと。
  - ・テラヘルツアンテナの近傍界測定装置が量産化にも対応出来るように設計の自由度を確保し、主要な構成部品を産業用のカタログ品で実現したこと。
- 以下は改善すべき。
  - ・論文の絶対量は分野によるので何とも言えないが、目標論文数を達成した程度であり、もっと増やして対外的にアピールすべきではないかと考える。
  - ・特許は目標としていなかったと思うが、他国の競争プロジェクトとの今後の交渉を考えると、技術開発なので何かコアを押さえておかないと、不利になると考える。
- 探査情報の収集と解析については、さらなる検討を進め、打上げ後の情報の精度が高まるような工夫が求められると思われる。
- 個々の成果は出ているので、サブグループ内での取組みは良好だろう。
- 資料、発表内容を見る限り、個々の成果をとりまとめ、全体としての道筋を出す取組みは不十分。それを補完する論文や特許等があればよいが、数は少ない。
- 計画した全ての項目について目標を達成しており、計画通りに成果を得ていると判断する。
- 本研究開発の成果により宇宙戦略基金に採択された。
- 出願特許 0 件で技術の囲い込みができていないのか不安がある。
- 若手研究者の育成の観点から、博士論文1件は物足りない。

## (5) 政策目標(アウトカム目標)の達成に向けた計画

(5～1の5段階評価) : 評価4

### (総論)

宇宙戦略基金の採択が決まり、後継予算を得て実際に打上げに向けた準備に入る段階まで漕ぎ着けたことは評価したい。他方、計画の全体像とどの程度まで進んだのか、世界的にどのような位置付けにあるのか、予算に比して何を行っているか等の分かりやすい説明が必要である。

### (被評価者へのコメント)

- 宇宙戦略基金に移行し長期の研究ができるようになったことは評価したい。
- 準光学で周波数分離を行うための宇宙用周波数選択膜の製造技術に期待したい。
- 後継予算を得て、実際に打上げに向けた準備に入れる段階まで漕ぎ着けたことは評価したい。
- 当初目標を達成していると思われるが、予算に比して何を行っているかの分かりやすい説明が求められる。
- 機器開発の時間が必要であったことは認めるが、一方で、テラヘルツ波探査としての有効性については、早めに論文、特許等について積極的に取り組むことが望ましかった。
- 次の大型計画の獲得に成功している。
- 計画の全体像と、現段階でどの程度まで進んだのか、それが世界的にどのような位置付けにあるのか不明瞭である。
- 政策目標の達成に向けた取組みについてはほぼ計画通り実施していると判断する。
- 宇宙戦略基金に採択され、研究開発を継続することができる。