

平成 28 年度事前事業評価書

政策所管部局課室名：情報通信国際戦略局 宇宙通信政策課
評価年月：平成 28 年 8 月

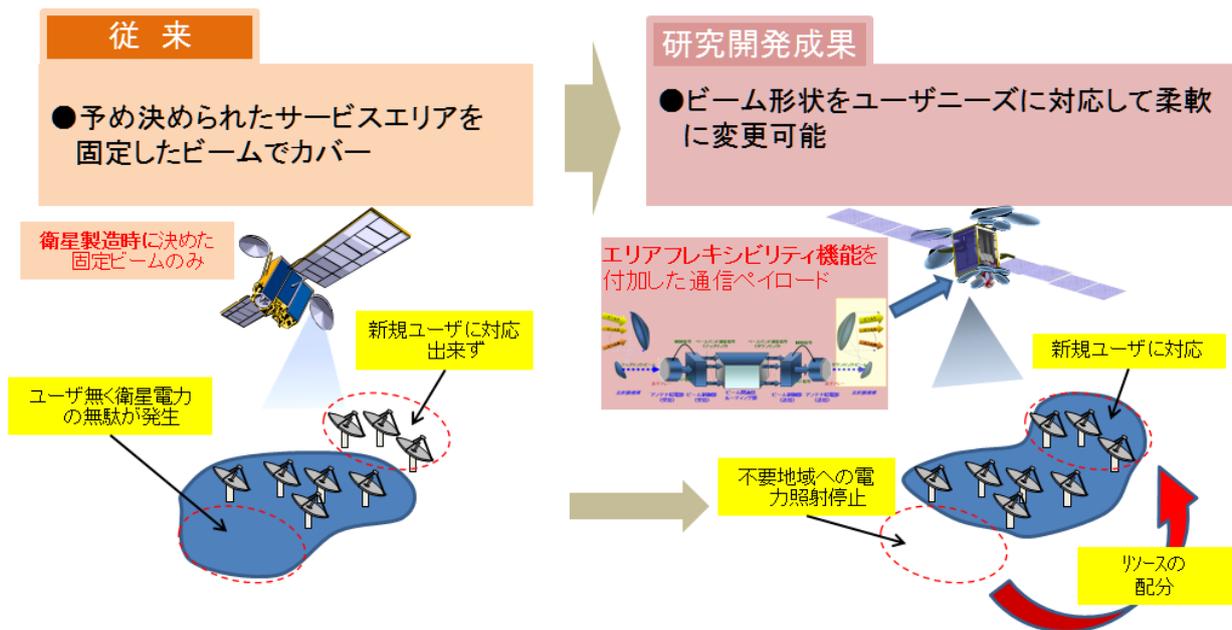
1 政策（研究開発名称）

次期技術試験衛星の実現に向けたKa帯広帯域デジタルビームフォーミング¹機能による周波数利用高効率化技術の研究開発

2 達成目標等

(1) 達成目標

本研究開発は、エリアフレキシビリティを具備したハイスループット衛星²の全体構成検討・評価技術、衛星搭載用デジタルビームフォーミング機能開発のための可変ビーム生成技術及び可変ビームアンテナ構築技術の確立により、ハイスループット衛星の衛星通信サービスにおけるエリアフレキシビリティ機能による周波数利用高効率化技術を確立するとともに、デジタルビームフォーミング技術を採用した通信ペイロード³の構成により周波数の利用効率を2.5倍程度に向上させることで、周波数の有効利用の一層の向上に資するとともに、衛星通信によるインターネット環境の需要に応えることに寄与することを目標とする。



(2) 事後評価の予定時期

平成 33 年度に予定されている技術試験衛星打上げ後、概ね 1 年間の運用を行い、平成 35 年度に事後事業評価を行う予定。

¹ デジタルハードウェアにより衛星照射ビームの位置変更（可動ビーム）とビーム形状変更（可変ビーム）を可能とする機能。

² 高速大容量通信衛星

³ 一般的に人工衛星構成機器は、軌道位置を維持して電力を供給する「衛星バス」と、通信・観測・測位等のミッションを実現する「ペイロード」とに分類される。衛星にて通信ミッションを掌る機器を特に「通信ペイロード」と呼ぶ。

3 研究開発の概要等

(1) 研究開発の概要

・実施期間

平成 29 年度～平成 31 年度（3 年）

・想定している実施主体

民間企業等

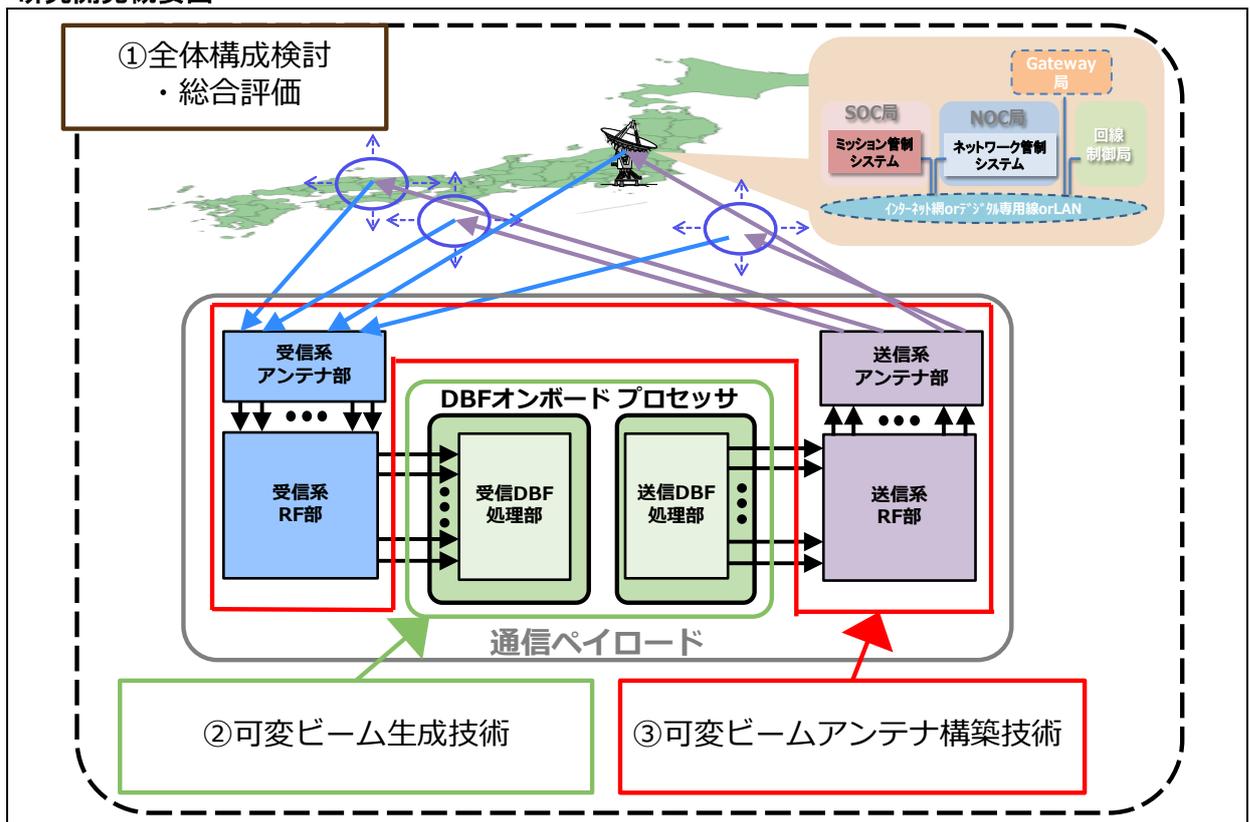
・概要

周波数利用効率を向上させるため、トラフィックの空間的変動に対してフレキシブルに照射領域の変更可能な複数のビームを形成する、フレキシブルペイロード技術の研究開発を行う。船舶や航空機などのように、時間の経過とともに地球上の位置が変化する移動体との通信にも、可変ビームアンテナは有効となる。

従来、このような可変ビームを実現するデジタルビームフォーミング（DBF）技術は L/S 帯のような低マイクロ波帯で研究開発が進み実用化されているが、本研究開発ではこれを Ka 帯の広帯域信号に適用する。また衛星搭載に当たっては電力・重量等の必要リソースを考慮する必要があり、HTS としての高データ伝送性能を確保しつつ衛星搭載が可能となるアンテナ方式の選定を行う。

なお、本研究開発成果は次期技術試験衛星に搭載し、軌道上での試験に供する事を前提とする。具体的な研究開発の内容を以下に示す。

・研究開発概要図



① エリアフレキシビリティを具備したハイスループット衛星の全体構成検討・総合評価技術

周波数利用効率を向上させるため、トラフィックの空間的変動に対してフレキシブルにビーム照射領域の変更可能なフレキシブルペイロード実現のための要求仕様を検討し、この要求を実現するための通信ペイロードの全体構成や、アンテナ給電系、DBF オンボードプロセッサ⁴に対する要求仕様への落とし込みを行う。周波数利用効率の効果の検討や、構成検討について

⁴ 衛星搭載のデータ処理装置

は、シミュレーションにより事前確認を行う。

また、エリアフレキシビリティを有する衛星通信システムを実現するためには、可変ビームを実現するコンポーネント単体の研究開発に加えて、衛星全体として所望のビーム形状・切換時間等の仕様通りに可変ビームを実現できるかといった、衛星搭載状態での機能・性能を評価する必要がある。このため、研究開発したコンポーネントを搭載した衛星として動作の総合的な検証を行う。同時に本研究開発の成果として、周波数利用効率向上の最終評価を行い、その妥当性の確認を行う。

さらに、衛星搭載中継器のフレキシビリティ化に伴い、これを運用する地上ネットワーク機器・端末としても、衛星通信のフレキシビリティ化を実現するシステムの構築が必要となる。ユーザビームの形状・位置・利用帯域が可変となるため、これを考慮して各ユーザビームへの帯域割当等の制御を適応的に最適化する必要がある。地上ネットワーク系システムとして、従来のネットワーク管制システム及びミッション管制システムに対して上記の機能を付与し、衛星通信のフレキシビリティ機能を実現するための構成・必要要件等の検討を実施する。

②衛星搭載用デジタルビームフォーミング機能開発のための可変ビーム生成技術

衛星搭載用 DBF 方式では、給電素子に供給する通信信号の位相／振幅(励振係数)を制御することでビーム可変を実現する。この励振係数を空間的なトラヒック変動に応じて適切に決定することが課題である。例えば、サービスエリアを複数のビームでカバーしている場合、サービスエリアに欠損を生じさせないためには、トラヒックに応じて1つのビームの形状を変化させるだけでなく、複数のビームの形状を適切に変化させるために最適な励振係数を生成する必要がある。さらに、ビーム形状を変化させた時に隣接するビームへ漏洩する電力を最小にするように励振係数を生成することも必要である。

このように、衛星搭載用 DBF 機能の実現においては、励振係数の生成処理の実現が課題となる。このため、DBF を構成する乗算回路に設定する位相／振幅(励振係数)を算出するアルゴリズムを開発する。さらに、開発したアルゴリズムを搭載するハードウェアを製作し評価検証を行う。

③衛星搭載用デジタルビームフォーミング機能開発のための可変ビームアンテナ構築技術

衛星搭載用可変ビームアンテナは、DBF 回路に加え、増幅器等を備える RF 回路部、アンテナ素子、そして反射鏡などの放射部が一体となり実現されるものである。所望のビーム配置や形状を可変しうるアンテナを得るには、上述したアンテナ素子の励振係数の制御に加えて、アンテナ全体構成の開発が必要となる。これを実現するためには、以下のような研究開発課題がある。

ア 可変アンテナ部の周波数利用高効率化技術

衛星搭載用可変ビームアンテナにおいて所望のビーム可変性を得るためには、アンテナ全体構成の実現検討が課題となる。具体的な構成としては、直接放射アレー⁵やアレー給電反射鏡⁶などが考えられ、それらの得失比較が必要となる。直接放射型のフェーズドアレーアンテナでは、比較的広角度のビーム偏向特性を有するが、素子数が非常に増えてしまう。他方の反射鏡型のフェーズドアレーアンテナ⁷では、少ない給電素子数でフェーズドアレーを実現できるが、ビーム偏向角が比較的小さくなる。よって、少ない給電素子数で如何にして広角ビーム偏向特性が得られるかが研究課題となる。

開発するアンテナ方式や給電素子数の選定に当たっては、次期技術試験衛星による実証ならびに将来システムへの拡張性を考慮して選定し、開発を実施する。

イ 高周波(RF)回路部の小型高密度化技術

さらに、所望のマルチビームを形成するためには、上述のアンテナ給電系の開発に加えて、多数の給電系を限られた衛星実装エリアに構築する必要がある。よって、RF フロントエン

⁵ 反射鏡を介さず、給電素子を配列して構成するアンテナ

⁶ 給電素子を配列して構成された一次給電系と反射鏡とにより構成されるアンテナ

⁷ 給電素子を配列して構成されたアンテナで、ビームの方位角制御を各給電素子の位相の制御により行うもの

ド⁸や多数の給電素子に必要な電力の信号を供給するための増幅回路等の、小型化高密度化技術の実現が必要である。

開発に当たっては、次期技術試験衛星による実証ならびに将来システムへの拡張性を考慮して実施する。

・事業費(予定)

約 28.5 億円 (うち、平成 29 年度概算要求額 9.5 億円)

(2) 研究開発の必要性及び背景

近年の社会経済活動のグローバル化に伴い、海上や上空といった、より広範な活動領域におけるブロードバンド環境へのニーズが増大しつつあり、衛星通信によるインターネット環境の需要に応える必要がある。特に、大規模災害時における衛星通信のニーズが高まりつつあり、被災状況等の高精細映像による情報伝送やフレキシブルで可動性の高い非常通信手段として、きめ細かい災害対応での利活用等が期待されている。一方、使用周波数帯の観点からは、近年、国際調整手続きの対象となる衛星が増加傾向にあり、調整が複雑化・長期化の傾向にある。特に近年の世界的な通信放送衛星等の増加によって、Ku 帯以上の周波数の需要が急速に増加しており、以下の状況となっている。

◎Ku 帯を使用する衛星は 279 (通告数)、今後の打上が予定されている衛星は 1197 (計画数) にもほり、合計で約 1500 もの衛星が今後想定される。

◎Ka 帯についても同様に、現時点で 179 (通告数)、1407 (計画数)、合計約 1600 と Ku 帯以上のひっ迫が予想。

※2015 年 8 月現在。計画数には、衛星の仕様変更や国際調整戦術 (1 機のために軌道の異なる複数の調整資料を出す場合) 等も含まれ、必ずしも衛星打上げ数全体を指し示すものではない。

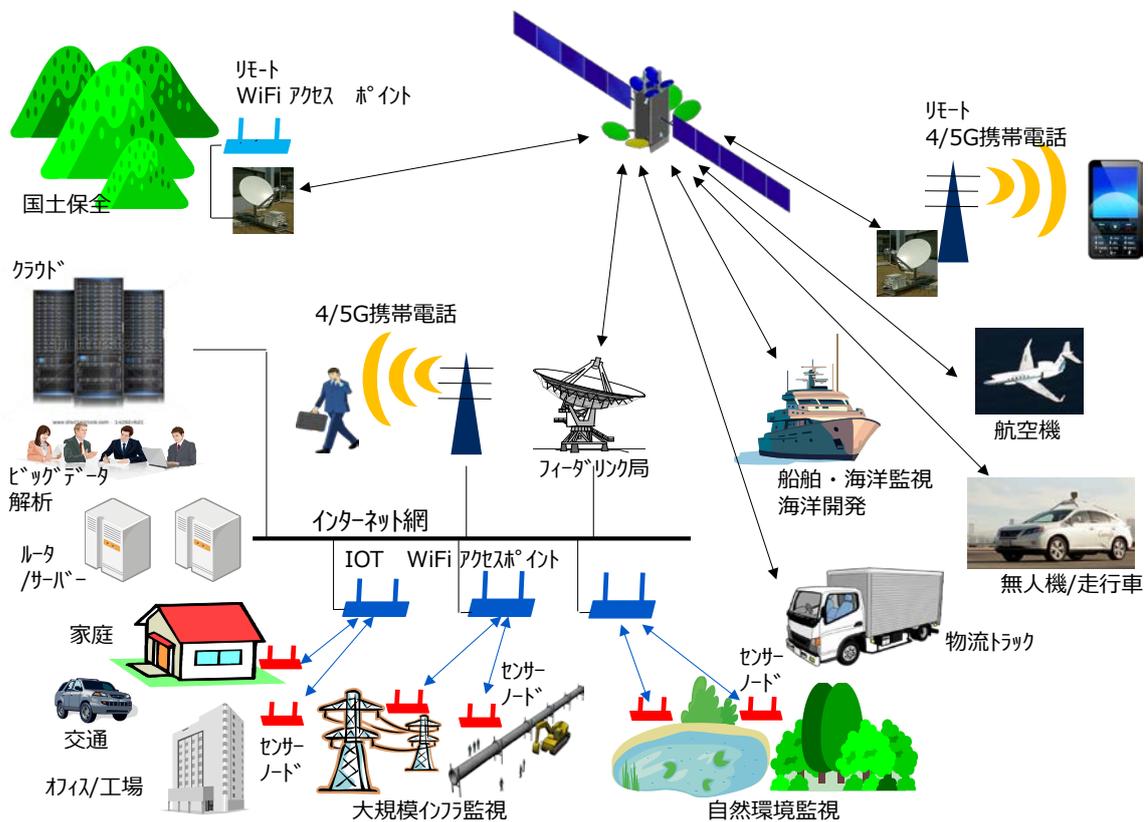
Ku 帯の主要な軌道については上述の通告衛星で概ね埋まっている状況である。今後、衛星の離隔距離の短縮やビーム方向の変更等により、衛星をより稠密に配置することは辛うじて可能であるものの、上述のような膨大な計画衛星の数を考えると限界に達しつつあり、より周波数の高い Ka 帯や光通信を含めた領域への技術開発が不可欠となりつつある。衛星通信における周波数のひっ迫を解消するために早急に本研究開発を実施することが必要である。

なお、現在欧米で実用化されているハイスループット衛星の技術は、トラフィック要求の空間的変動に十分に対応しておらず、ビーム内トラフィック量の変化に対し、ビーム当たりの割当帯域を必ずしも有効に利用できていないのが周波数利用効率の観点での課題である。固定ビームによるマルチビーム構成の方法では、船舶/航空機の航行や災害発生等を考慮したとき、ビーム配置を網羅的に配置する必要があるが、衛星リソースの制約から電力を割り当てられないビームも多く存在することになり非効率が生じ、その分、周波数利用率低下につながる。一方、同時に必要となるビーム数の数だけ、可変ビームの形で機能実装できれば、衛星リソースにおいても無駄を省くことが可能となり、これまでの固定ビームの構成に対し、可変ビームを採用することにより、周波数の有効利用の一層の向上に繋がる。

従来、このような可変ビームのビームフォーミング技術は、L/S 帯のような低マイクロ波帯で研究開発が進み、実用化されているが、本研究開発では、これを Ka 帯の広帯域信号に適用することで、高い周波数への移行を促進するとともに、周波数利用効率を向上させ、衛星通信における周波数のひっ迫状況を解消する。

なお、一般に衛星通信サービスによるアプリケーションは、DTH (Direct To Home : TV/ビデオ配信)、インターネット接続、企業向け通信インフラ、携帯バックホール、SNG (Satellite News Gathering : TV ニュース素材伝送)、その他 VSAT 等、多種多様である。また地上通信回線網の整備進展、新たな通信アプリケーションの出現、政治的・経済的変動に伴う人口の移動・変動等、衛星通信の事業環境は常に変動に晒されており、変化のスピードは年を追うごとに早くなっている。

⁸ アンテナの送受信端の回路部分



一方で、衛星本体は通信事業においてきわめて高価な資産であるため、従来から技術命題として長寿命化が図られてきた。静止軌道の商用通信衛星の一般的な寿命は現状で約 15 年であるが、今後、電気推進技術による衛星の軌道投入や、衛星の信頼性技術の向上により更なる長寿命化が予想される。

衛星通信事業におけるこうした状況下、サービスエリア等の通信諸元が固定される従来技術による事業形態では、衛星寿命である 15 年間継続して通信ユーザのニーズに応えることは、極めて困難となりつつある。世界的に見ても各衛星オペレータ共、この課題に苦慮しており、ビジネスモデルの成立が困難なために新規衛星開発が進まない例が散見される。

本研究開発の対象となるエリアフレキシビリティ機能による周波数利用高効率化技術は、こうした問題も解決する手段として近年要望が増加しており、一つのアンテナ給電系により、軌道上でビーム形状・照射位置を任意に変更可能な複数ビームを形成することを可能とするものである。

また、新たな宇宙基本計画（平成 28 年 4 月 1 日閣議決定）において、『今後の情報通信技術の動向やニーズを把握した上で我が国として開発すべきミッション技術や衛星バス技術等を明確化し、技術試験衛星の打ち上げから国際展開に至るロードマップ、国際競争力に関する目標設定や今後の技術開発の在り方について検討を行い、平成 27 年度中に結論を得る。これを踏まえた新たな技術試験衛星を平成 33 年度めどに打ち上げることを目指す』とされており、平成 33 年にも次期技術試験衛星を打ち上げる予定である。本研究開発の成果については、次期技術試験衛星のミッション機器として搭載予定であり、国家プロジェクトとして取り組む必要がある。開発規模から鑑みても、費用と時間の面で衛星開発事業者の負担範囲を越えることから、官民連携のもとで必要な技術を確認していくことが不可欠である。

(3) 関連する政策、上位計画・全体計画等

○関連する主要な政策

V. 情報通信（ICT政策） 政策 13「電波利用料財源による電波監視等の実施」

○閣議決定等の上位計画・全体計画等

・宇宙基本計画（平成 28 年 4 月 1 日閣議決定）

4. 我が国の宇宙政策に関する具体的アプローチ

(2) 具体的取組

① 宇宙政策の目標達成に向けた宇宙プロジェクトの実施方針

iii) 衛星通信・衛星放送

『今後の情報通信技術の動向やニーズを把握した上で我が国として開発すべきミッション技術や衛星バス技術等を明確化し、技術試験衛星の打ち上げから国際展開に至るロードマップ、国際競争力に関する目標設定や今後の技術開発の在り方について検討を行い、平成 27 年度中に結論を得る。これを踏まえた新たな技術試験衛星を平成 33 年度めどに打ち上げることを目指す。』

- ・新たな情報通信技術戦略の在り方中間報告書案（平成 27 年 5 月情報通信審議会技術戦略委員会）

第 3 章 重点研究開発分野及び課題

3.2 重点研究開発課題

3.2.2 各分野における主要な重点研究開発課題

(2) 統合 ICT 基盤分野

③ 衛星通信技術

『海洋・航空域での広域ブロードバンド通信を実現するため、2021 年以降の次期技術試験衛星の打ち上げに向けて衛星搭載機器や衛星通信システム、高機能地球局システム等の基盤技術を確立し、ユーザ当たり 100Mbps 級の宇宙・海洋ブロードバンド通信衛星システムを実現する。』

- ・海洋基本計画（平成 25 年 4 月 26 日閣議決定）

第 1 部 海洋に関する施策についての基本的な方針

3 本計画における施策の方向性

(3) 科学的知見の充実

日本近海の下海底資源の調査、開発には高速衛星通信技術が必要であるとされている。資源の多くを海外からの輸入に依存している我が国にとって、資源の安定的な確保は国の重要課題であり、より周波数利用効率の高い通信衛星を活用した洋上ブロードバンド環境の構築は、海底資源の高度な調査の実現に貢献するものと期待されている。

- ・電波政策 2020 懇談会報告書（平成 28 年 7 月 15 日電波政策 2020 懇談会）

第 2 章 2020 年の社会を支えるワイヤレスサービスの推進

2. ワイヤレスビジネスの成長・海外展開に向けた検討

(3) 今後に向けた提言

○K a 帯を利用した衛星通信技術の高度化に向けた開発

衛星通信に関する高速大容量化のニーズが高まる中で、従来の K u 帯のシングルビームで日本全土をカバーするだけでは今後も増大し続ける高度化ニーズに対応しきれない可能性がある。

そのため K a 帯のマルチビーム化によって通信の高速大容量化や端末の小型化を実現するほか、トラヒックに応じて周波数帯域やビームの方向性を柔軟に変更するような衛星通信システムを実現するためのミッション技術を開発し、技術試験衛星に搭載することが適当である

4 政策効果の把握の手法

(1) 事前事業評価時における把握手法

本研究開発の企画・立案に当たっては、外部専門家・外部有識者から構成される「電波利用料による研究開発等の評価に関する会合」（平成 28 年 7 月 11 日）において、本研究開発の必要性、有効性、技術の妥当性、実施体制の妥当性、予算額の妥当性、研究開発の有益性等について外部評価を実施し、政策効果の把握を行った。

(2) 事後事業評価時における把握手法

本研究開発終了後には、外部専門家・外部有識者から構成される「電波利用料による研究開発等の評価に関する会合」において、目標の達成状況や得られた成果等、実施体制の妥当性及び経済的効率性、実用化等の目途等について外部評価を実施し、政策効果の把握を行う。

5 政策評価の観点及び分析

観点	分析
必要性	上記、「3 (2) 研究開発の必要性及び背景」に記載のとおり。
効率性	<p>本研究開発の実施に当たっては、無線技術、衛星通信技術に関する専門知識や研究開発技術を有する企業、研究者のノウハウを活用することにより、効率的に研究開発を行う予定であり、投資に関して最大の効果が見込める。</p> <p>また、通常の衛星搭載機器開発にあたっては試作を繰り返し5年以上かける事が一般的であるが、本研究開発では試作過程を可能な範囲で短縮し3年間での開発完了を可能としている。</p> <p>さらに、予算要求段階、公募実施の前段階、提案された研究開発提案を採択する段階、研究開発の実施段階及び研究開発の終了後における、実施内容、実施体制及び予算額等について、外部専門家・外部有識者から構成される評価会において評価を行い、効率的に実施することとしている。</p> <p>よって、本研究開発には効率性があると認められる。</p>
有効性	<p>本研究開発により、エリアフレキシビリティを具備したハイスループット衛星の全体構成検討・評価技術、衛星搭載用デジタルビームフォーミング機能開発のための可変ビーム生成技術及び可変ビームアンテナ構築技術の確立により、ハイスループット衛星の衛星通信サービスにおけるエリアフレキシビリティ機能による周波数利用高効率化技術が確立される。このことにより、衛星寿命である15年間継続して通信ユーザのニーズに応えることが可能となるとともに、デジタルビームフォーミング技術を採用した通信ペイロードの構成により周波数の利用効率が2.5倍程度に向上することから、周波数の有効利用の一層の向上に資するとともに、衛星通信によるインターネット環境の需要に応えることに寄与することができる。</p> <p>よって、本研究開発には有効性があると認められる。</p>
公平性	<p>本研究開発は、これまで利用が進んでいなかった周波数帯であるKa帯の周波数を活用することにより周波数の有効利用を一層向上させるものであり、広く無線局免許人や無線通信の利用者の受益となる。</p> <p>また、本研究開発は、防災観点で有効性の高い衛星通信が拡大することによりインターネット環境の需要に応えることに寄与するものであり、その成果による利益は、広く国民に享受されるものである。</p> <p>また、本研究開発の実施に当たっては、開示する基本計画に基づき広く提案公募を行い、提案者と利害関係を有しない複数の有識者により審査・選定する予定である。</p> <p>よって、本研究開発には公平性があると認められる。</p>
優先性	<p>衛星通信によるインターネット環境の需要が高まりつつあり、特に、大規模災害時に、被災状況等の高精細映像による情報伝送やフレキシブルで可動性の高い非常通信手段として、きめ細かい災害対応での利活用等が期待されていることから、本研究開発を早急に実施する必要がある。</p> <p>また、今後のハイスループット衛星の増大に伴いKa帯の周波数需要の急激な増大が懸念されている中で、周波数の有効利用の一層の向上を図ることが急務であり、本研究開発を早急に実施する必要がある。</p> <p>さらには、我が国が自前で宇宙開発利用を行うための宇宙産業基盤は揺らぎつつあり、その回復・強化が我が国にとって喫緊の課題となっている中、宇宙基本計画(平成28年4月1日閣議決定)において、目標達成に向けた政策体系として「宇宙産業及び科学技術の基盤の維持・強化」がうたわれており、具体的取組として宇宙産業の中で最もシェアの高い衛星通信・衛星放送分野において「新たな技術試験衛星を平成33年度めどに打ち上げることを目指す。」とされている。そのような衛星通信分野で先進的かつ実用的技術を確立する本研究開発は、上記基本計画に直接的に合致するものであり、本研究開発は優先的に実施する必要がある。</p> <p>よって、本研究開発には優先性があると認められる。</p>

6 政策評価の結果

本研究開発による、エリアフレキシビリティを具備したハイスループット衛星の全体構成検討・評価技術、衛星搭載用デジタルビームフォーミング機能開発のための可変ビーム生成技術及び可変ビームアンテナ構築技術の確立により、ハイスループット衛星の衛星通信サービスにおけるエリアフレキシビリティ機能による周波数利用高効率化技術が確立されるとともに、デジタルビームフォーミング技術を採用した通信ペイロードの構成により周波数の利用効率が2.5倍程度に向上する。このことにより、周波数の有効利用の一層の向上に資するとともに、衛星寿命である15年間継続して通信ユーザのニーズに応えることが可能となることで衛星通信によるインターネット環境の需要に応えることに寄与することができる。

以上より、本研究開発には必要性、有効性等があると認められる。

7 政策評価の結果の政策への反映方針

評価結果を受けて、平成29年度予算において、「次期技術試験衛星の実現に向けたKa帯広帯域デジタルビームフォーミング機能による周波数利用高効率化技術の研究開発」として所要の予算要求を検討する。

8 学識経験を有する者の知見の活用

「電波利用料による研究開発等の評価に関する会合」（平成28年7月11日）において、本研究開発の必要性、有効性、技術の妥当性、実施体制の妥当性、予算額の妥当性、研究開発の有益性等について外部評価を実施し、「衛星通信が本来有しているフレキシビリティ機能をさらに増大させ、かつKa帯の有効利用も図れる可能性のあるDBFの搭載化の研究開発を国が実施する意味は十分ある。また、実証機会が少ない衛星搭載機器開発において計画されている技術試験衛星での検証が可能となる現時点は絶好の開発時期と言える」、「次期技術試験衛星に搭載して宇宙実証できるDBFおよび可変ビームアンテナの開発を含む本研究開発は、総合的に見て有益である」、「本研究開発課題の実施により、衛星搭載DBF技術で我が国が世界をリードしていくことが望まれる」、「研究の進捗に応じた予算計画がなされており、妥当である。また、金額も十分な額が配分されており、極めて妥当なものである」等の御意見を頂いており、本研究開発を実施する必要性が高いこと、効率性及び有効性等が確認された。このような有識者からの御意見を本評価書の作成に当たって活用した。

9 評価に使用した資料等

- 宇宙基本計画（平成28年4月1日閣議決定）
<http://www8.cao.go.jp/space/plan/plan3/plan3.pdf>
- 新たな情報通信技術戦略の在り方中間報告書案（平成27年5月情報通信審議会技術戦略委員会）
http://www.soumu.go.jp/main_content/000361798.pdf
- 海洋基本計画（平成25年4月26日閣議決定）
<http://www.kantei.go.jp/jp/singi/kaiyou/kihonkeikaku/130426kihonkeikaku.pdf>
- 電波利用料による研究開発等の評価に関する会合
<http://www.tele.soumu.go.jp/j/sys/fees/purpose/kenkyu/index.htm>