

<基本計画書>

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

1. 目的

近年の衛星通信分野における技術動向として、ハイスループット衛星¹(High Throughput Satellite(HTS))に代表される通信容量の大容量化と並び、衛星通信サービス提供エリアを柔軟に変更する技術の重要性が注目されている。

地上通信回線網の整備の進展をはじめ、新たな通信アプリケーションの出現、空や海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の増大、人口の移動・変動など、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。一方で、衛星本体は通信事業において非常に高価な投資となるため、技術開発による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、今後は電気推進技術の適用による軌道制御の効率化や信頼性技術の向上によりさら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において、サービスエリア等が固定される従来技術による事業形態のみでは、衛星寿命に相当する期間継続して需要が見込まなければ、ビジネスモデルの成立性の観点から新規のサービス展開や拡大がしづらくなり、電波資源の有効利用の観点からも非効率なものとなる。また、使用周波数帯の観点からは、Ku 帯までの比較的低い周波数帯については衛星先進国が占有しており、世界的にも周波数逼迫が懸念されているため、Ka 帯以上で広帯域を使用する衛星通信への関心が高まっている。

そういった現状に対し、現在実用化されている HTS の技術は、トラヒック要求の空間的変動に対応して通信資源を柔軟に配分することができないものとなっている。具体的には、現在の HTS ではサービスエリアを固定的な複数の衛星ビームによって覆うマルチビーム構成をとるため、ビーム配置を網羅的にする必要があり、周波数利用効率の観点からは非効率なものとなっている。一方、ビーム配置を柔軟に変更できるマルチビーム技術が実現すれば、ニーズに応じたリソース配分を柔軟に実施することで、一層の周波数利用効率向上に繋がる。また、ビーム配置の変更は短時間でできることも重要であり、少なくとも災害発生時に被災地域のトラヒック要求の増加に対して即応性があることが求められる。

柔軟に構成できるビーム(可変ビーム)も用いたマルチビーム機能を、Ka 帯を使用する大容量の HTS に適用するためには、従来技術であるアナログのアクティブフェーズドアレイアンテナ(APAA)では回路規模が増大する上、ビーム形成の柔軟さに限界

¹ 高速のインターネットサービス等の衛星通信需要に対応するため、数十～百 Gbps 程度の大容量伝送を実現する通信衛星

があることから、デジタル信号処理で多数のビームを運用でき、アンテナ給電系でビームの形状や位置を軌道上で柔軟に変更可能な機能(エリアフレキシビリティ機能)を有するデジタルビームフォーミング(DBF)技術を確立する必要がある。

本研究開発により Ka 帯の広帯域伝送に対応した DBF 技術等を開発し、可変ビームも用いたマルチビーム機能を大容量の HTS に適用することで、周波数利用効率を向上させることに加え、衛星搭載機器の国際競争力の向上に資することを目指す。

2. 政策的位置付け

・日本再興戦略 2016(平成 28 年6月2日閣議決定)

「我が国宇宙産業の国際競争力を強化するため、H3 ロケットや次世代衛星の開発を推進する」旨が記載されている。

・宇宙基本計画(平成 28 年4月1日閣議決定)

「通信・放送衛星に関する技術革新を進め、最先端の技術を獲得・保有していくことは、我が国の安全保障及び宇宙産業の国際競争力の強化の双方の観点から重要である。このため、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 年度を目途に打ち上げることを目指す」旨が記載されている。

・電波政策 2020 懇談会報告書(平成 28 年7月 15 日)

Ka 帯を利用した衛星通信技術の高度化に向けた開発として、「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 Ku 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 Ka 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」旨が記載されている。

・新たな情報通信技術戦略の在り方<平成 26 年 12 月 18 日付け諮問第 22 号>中間答申(平成 27 年7月 28 日情報情報通信審議会)

「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」旨が記載されている。

3. 目標

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を有する DBF 技術を確立し、形状・位置を軌道上で任意に変更可能な複数のビームをアンテナ給電系により形成できるようにする。それにより、エリアフレキシビリティ機能をこれまでの技術で実現可能なアナログの APAA に換えて DBF で実現することで、周波数の利用効率を 2.5 倍程度に向上させ、周波数の有効利用を図る。なお、本研究開発は、成果を平成 33 年度打上予定の次期技術試験衛星に搭載し、静止軌道上で実証評価を行うことを目的として行う。

4. 研究開発内容

(1) 概要

周波数利用効率を向上させるため、通信エリアをユーザ局の位置・配置に合わせて柔軟に変更することが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。ユーザ局としては、船舶や航空機などの移動体も想定し、それらの位置に合わせて容易に変更することも可能とする。

従来、このような可変ビームを実現する 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、これを Ka 帯の広帯域の HTS に適用する技術については、例えば、広帯域化に伴い帯域内偏差が大きくなるため、帯域内の端と端のチャンネルで異なる最適なアレー励振係数を生成するなど、偏差を補正する技術が必要となることなどから、国内、海外において未だ開発されていない。本研究開発では、ブロードバンド環境へのニーズに応え、かつ Ku 帯までの周波数帯が世界的に周波数逼迫を懸念されている状況にも対応するため、DBF 技術を Ka 帯の広帯域信号に適用する。また商用衛星搭載に当たっては必要電力、搭載重量等衛星本体へのリソース要求およびコスト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商用衛星搭載が可能となるアンテナ方式の選定を行う。機器製作に当たっては、衛星搭載に求められる環境条件を満足する機器の研究開発を行うものとする。

(2) 技術課題および到達目標

技術課題

ア 全体構成検討・総合評価

トラフィック要求の空間的変動に十分に対応する可変ビームを実現するに当たり、必要となる衛星通信システムの具体的要件を明らかにし、最終的に研究開発成果として得られた可変ビームによる周波数利用効率向上を評価する必要がある。

そのためには、トラフィック要求の発生エリアの変化に対して柔軟にビーム照射領域を変更可能な可変ビーム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、DBF プロセッサ部、アンテナ・RF 部に対する要求仕様への落とし込みを行うこととなるが、要求仕様検討に当たっては、地上系を含めた最新のビームフォーミング技術を調査して、要求仕様への反映を行う必要がある。

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・切換時間等の仕様どお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を含む全体通信システムの検証を行う。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、衛星搭載中継器にフレキシビリティ機能を付与したことに伴い、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機能を実現するシステムの構築が必要となる。ビームの形状・位置が可変となるため、これを考慮してそのビームへの周波数割り当て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およびミッション管制システムに対して通信を最適化させる機能を付与し、周波数有効利用を実現するための構成・機能・性能等の検討を実施する。

イ DBF プロセッサ部の開発

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)を制御することで可変ビームを実現する。この励振係数をトラヒック要求の発生エリアの変化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。

ウ アンテナ・RF 部の開発

衛星搭載用可変ビームアンテナは、DBF プロセッサ部に加え、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。そのため、DBF プロセッサ部の励振係数の制御に加えて、可変ビーム実現に最適となるアンテナ・RF 部の開発が課題となる。

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性検討が必要となる。具体的には、より少ない給電素子数で広角ビーム偏向特性が得られるアンテナ構成の検討を、「イ DBF プロセッ

サ部の開発」との整合を取りながら実施することが必要である。

また、この検討の結果得られた構成の給電素子群は、限られた衛星実装エリアに構築する必要があるため、RF フロントエンドや各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・高密度実装化技術の実現が必要となる。

到達目標

ア 全体構成検討・総合評価

トラヒック要求発生エリアの変化に対してフレキシブルにビーム照射領域を変更可能なフレキシブルペイロード実現のための衛星通信システム全体構成を検討し、DBF プロセッサ部、アンテナ・RF 部の要求仕様および通信ペイロードの総合評価内容を策定する。策定に際しては、次期技術試験衛星バスへの搭載を前提とする。本研究開発ではトータルスループット 100Mbps 以上を検証することとし、開発成果を拡張することで将来システムとしてトータルスループット 1Gbps 以上の性能を得ることを目標とする。想定する通信性能としては地球局(アンテナ径 65cm 程度)に対して伝送速度 30Mbps~100Mbps 程度を提供することとする。また、フレキシブルな衛星搭載中継器を運用する地上ネットワーク機器・端末に対し、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・必要要件等を明らかにする。

さらに、研究開発した DBF による可変ビームアンテナの衛星搭載ペイロードシステムを構築し、実機および必要に応じシミュレーションを併用して、総合試験による性能評価を実施し、研究開発成果として得られた可変ビームによる周波数利用効率向上を評価し、従来に比べ約 2.5 倍の周波数有効利用の効果があることを確認する。なお、災害時のトラヒック要求の変化に即応できるよう、1 時間以内でビーム配置を変更できることとする。

イ DBF プロセッサ部の開発

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。DBF で形成するマルチビームの数は 4 ビーム以上とし、本研究開発成果を拡張することで将来システムとして 10 ビーム以上の性能を得ることを目標とする。DBF の処理帯域は 100MHz 以上とする。さらに、当該アルゴリズムをにより算出された励振係数を設定する機能を実証する DBF プロセッサ部ハードウェアを製作し、評価検証を行う。この評価結果を用い、「ア 全体構成検討・総合評価」で明らかにされた要件に適合した DBF プロセッサ部を実現する。さらに、衛星搭載に向け DBF プロセッサ部が衛星搭載可能であることを検証する。

ウ アンテナ・RF 部の開発

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のアンテナ全体構成を検討し、少ない給電素子数で如何にして広角ビーム偏向特性

が得られるかについて各種アンテナ構成方式よりトレードオフを行った上で、可変ビームアンテナの方式を設計する。ビーム偏向特性は、日本の排他的経済水域 (EEZ) をカバーできるように静止軌道から±1.5 度以上の範囲を照射できることを目標とする。また、所望のマルチビームを形成するために、検討したアンテナ全体構成に実装する RF 回路部の小型化高密度化技術を開発する。

これらの設計・開発結果を実証するアンテナ・RF 部の衛星搭載プロトタイプを製作し、アンテナ・RF 部の単体試験を行う。さらに、衛星搭載に向けアンテナ・RF 部が衛星搭載可能であることを検証する。

なお、開発に当たっては、「イ DBF プロセッサ部の開発」の実施内容との整合性を取りながら開発を進めるものとし、また、次期技術試験衛星による実証および将来システムへの拡張性を考慮して実施する。

なお、上記の目標を達成するに当たっての年度毎の目標については、以下を想定しているが、提案する研究計画に合わせて設定して良い。

(例)

<平成 29 年度>

ア 全体構成検討・総合評価

- ・衛星通信システム全体構成検討
- ・DBF オンボードプロセッサ、可変ビームアンテナの要求仕様策定
- ・地上ネットワーク機器・端末の構成・必要要件等の検討

イ DBF プロセッサ部の開発

- ・DBF プロセッサの基本設計
- ・DBF プロセッサに設定する位相／振幅(励振係数)を算出するアルゴリズムの開発およびその評価検証

ウ アンテナ・RF 部の開発

- ・可変ビームアンテナの方式検討・設計
- ・RF 回路部の方式検討・基本設計

<平成 30 年度>

ア 全体構成検討・総合評価

- ・衛星通信ペイロードの全体構成や性能等に関する仕様の最終決定
- ・衛星搭載通信ペイロードシステムの構築への着手
- ・通信ペイロードの総合評価内容の策定

イ DBF プロセッサ部の開発

- ・DBF プロセッサの詳細設計および衛星搭載プロトタイプ製作

ウ アンテナ・RF 部の開発

- ・アンテナ・RF 部の詳細設計および衛星搭載プロトタイプ製作

<平成 31 年度>

ア 全体構成検討・総合評価

- ・DBF による可変ビームアンテナの衛星搭載ペイロードシステムの構築
- ・実機およびシミュレーションによる性能評価

イ DBF プロセッサ部の開発

- ・製作した衛星搭載プロトタイプと励振係数算出アルゴリズムを用いた DBF プロセッサの単体試験による性能評価
- ・DBF プロセッサ単体での宇宙運用環境試験による品質評価

ウ アンテナ・RF 部の開発

- ・アンテナ・RF 部の単体試験による性能評価
- ・アンテナ・RF 部単体での宇宙運用環境試験による品質評価

5. 実施期間

平成 29 年度から 31 年度までの3年間

6. その他

(1) 成果の普及展開に向けた取組等

① 国際標準化等への取組み

国際競争力の強化を実現するためには、本研究開発の成果を研究期間中および終了後、速やかに関連する国際標準規格・機関・団体へ提案を実施することが重要である。このため、研究開発の進捗に合わせて、国際標準への提案活動を行うものとする。なお、提案を想定する国際標準規格・機関・団体および具体的な標準化活動の計画を策定した上で、提案書に記載すること。

② 実用化への取組

研究開発期間終了後も引き続き取り組む予定の「本研究開発で確立した技術の普及啓発活動」および実用化等を実現するために必要な取組を図ること。

特に本研究開発では、前述の宇宙基本計画における記載事項を踏まえ、本研究開発の成果による軌道上評価の終了後も、国内での高速な衛星通信による災害対

策の手段又は様々な用途での衛星通信テストベッドとして機能することを目指している。別途搭載予定の通信ペイロードと連携することを前提に研究開発を行うこと。

また、平成 33 年度を目途とした打ち上げ予定の新たな技術試験衛星およびその後の軌道上評価を踏まえて、更には商用衛星等への搭載を想定して平成 36 年度までの実用化・製品化等を実現するために必要な取組を図ることとし、その活動計画・実施方策については提案書に必ず具体的に記載すること。

③研究開発成果の情報発信

本研究開発で確立した技術の普及啓発活動を実施するとともに、総務省が別途指定する成果発表会等の場において研究開発の進捗状況や成果について説明等を行うこと。

(2)提案および研究開発に当たっての留意点

提案に当たっては、基本計画書に記されている目標に対する達成度を評価することが可能な具体的な評価項目を設定し、各評価項目に対して可能な限り数値目標を定めること。また、周波数利用効率に関する目標の実現方法(多値変調と省電力化のトレードオフ等を踏まえた有効な提案が望ましい。)を具体的に提案し、周波数利用効率の評価に際して使用するシステムモデルを決定する際には、周波数利用効率の評価基準や定量的な数値目標を明確にし、その妥当性の検討を実施すること。また、従来技術との差異を明確にした上で、技術課題および目標達成に向けた研究方法、実施計画および年度目標について具体的かつ実効性のある提案を行うこと。

研究開発の実施に当たっては、関連する要素技術間の調整、成果の取りまとめ方等、研究開発全体の方針について幅広い観点から助言を頂くと共に、実際の研究開発の進め方について適宜指導を頂くため、学識経験者、有識者等を含んだ研究開発運営委員会等を開催する等、外部の学識経験者、有識者等を参画させること。本研究開発において実用的な成果を導出するための共同研究体制又は研究協力体制について、研究計画書の中にできるだけ具体的に記載すること。また、本研究開発においては原則として技術課題アの実施者が、研究開発課題全体の取りまとめを行うものとする(ただし、各技術課題の実施者間の調整により変更可能)。

なお、本研究開発成果は次期技術試験衛星への搭載を想定することから、本研究開発の共同研究体制は次期技術試験衛星の衛星バス開発と密接に協力できるように考慮すること。