

令和 4 年度研究開発成果概要書

採 択 番 号 06701

研究開発課題名 Beyond 5G 宇宙ネットワーク向け未利用周波数帯活用型の無線通信技術の研究開発

研究開発項目 1 Q 帯、V 帯における高機能デジタルビームフォーミング (DBF)
送受信システム技術の研究開発

研究開発項目 3 W 帯衛星搭載機器の基盤技術の研究開発

副 題 Beyond 5G 宇宙ネットワーク向け Q/V 帯高機能デジタルビームフォーミング
(DBF) 送受信システム技術および W 帯衛星搭載機器基盤技術の研究開発

(1) 研究開発の目的

Q/V 帯での衛星通信への DBF 技術適用に向けた信号処理技術、送受信機構成、送受信モジュール開発、アンテナ技術を確立する。

W 帯の活用に向け GaN 高出力増幅器などの研究開発を行い、送受信機のキーデバイスとなる送受信増幅器の基盤技術を確立する。

(2) 研究開発期間

令和 4 年度から令和 8 年度 (5 年間)

(3) 受託者

国立大学法人東北大学<代表研究者>
三菱電機株式会社
株式会社 Space Compass
スカパー J SAT 株式会社
国立大学法人鳥取大学
国立大学法人広島大学
独立行政法人国立高等専門学校機構
国立大学法人東海国立大学機構
国立大学法人北海道大学
大熊ダイヤモンドデバイス株式会社

(4) 研究開発予算 (契約額)

令和 4 年度 1,825 百万円

※百万円未満切り上げ

(5) 研究開発項目と担当

研究開発項目 1 Q 帯、V 帯における高機能デジタルビームフォーミング (DBF)
送受信システム技術の研究開発

研究開発項目 1-a) Q 帯、V 帯に対応したデジタル信号処理技術及び送受信機構成の研究開発
(東北大学)

研究開発項目 1-b) 超小型 Q 帯、V 帯 RF 送受信モジュールの研究開発

研究開発項目 1-b-1) 受信用集積回路の研究開発 (三菱電機)

研究開発項目 1-b-2) 送信用集積回路の研究開発 (東北大)

研究開発項目 1-b-3) 送受信 RF フィルタの研究開発 (鳥取大)

研究開発項目 1-b-4) 送受信モジュールの研究開発 (三菱電機)

研究開発項目 1-c) 大規模 DBF を実現するアンテナ技術の研究開発 (東北大学)

研究開発項目 1-d) DBF 通信システムの検討・設計・評価

研究開発項目 1-d-1) 衛星搭載ペイロード・コンステの基本要件の検討 (Space Compass)

研究開発項目 1-d-2) Q 帯、V 帯の軌道位置ファイリング、国内免許用パラメータ取得、整

理（スカパーJSAT）

研究開発項目 1-d-3) 地上局等を含めた衛星通信システム全体の検討とペイロード設計（三菱電機、Space Compass、広島大、富山高専、東北大）

研究開発項目 1-d-4) 1-a)~1-c)を統合した DBF 通信システムの評価、大規模 DBF アンテナ実現時の性能予測（三菱電機、東北大）

研究開発項目 3 W 帯衛星搭載機器の基盤技術の研究開発

研究開発項目 3-a) W 帯 GaN の研究開発

研究開発項目 3-a-1) GaN 増幅回路の研究開発（名古屋大学）

研究開発項目 3-a-2) 非線形モデリングの研究開発（三菱電機）

研究開発項目 3-b) ダイヤモンドトランジスタ増幅器の研究開発

研究開発項目 3-b-1) ミリ波ダイヤモンドトランジスタの研究開発（北海道大学、大熊ダイヤモンドデバイス）

研究開発項目 3-b-2) ダイヤモンドトランジスタ増幅器回路の研究開発（東北大）

(6) 特許出願、外部発表等

		累計（件）	当該年度（件）
特許出願	国内出願	0	0
	外国出願	0	0
外部発表等	研究論文	0	0
	その他研究発表	1	1
	標準化提案・採択	0	0
	プレスリリース・報道	0	0
	展示会	0	0
	受賞・表彰	0	0

(7) 具体的な実施内容と成果

研究開発項目 1：

1-a) Q/V 帯に対応した DPS 技術および送受信機構成

送受信機構成 1 次案を作成し、DSP 部構成とハードウェアの検討を行った。

1-b) 超小型 Q/V 帯 RF 送受信モジュール

サンプルホールド回路の設計環境を立ち上げ、送信系の IC の基本設計の開始や IC 試作プロセスの候補の絞り込みを行った。また、小型なスプリアス除去用 RF フィルタや小型なアンチエイリアシング用 RF フィルタの設計を行うとともに、送受信モジュールの全体構想検討や試作モジュールの測定のための測定系構築を実施した。

1-c) 大規模 DBF を実現するアンテナ技術

LEO と GEO それぞれについて、所要利得や放射パターンの検討を開始した。素子間隔が狭いアレーアンテナにおける素子間結合を低減するチョーク構造の効果を確認した。

1-d) DBF 通信システムの検討・設計・評価等

ペイロード・地球局・LEO コンステレーションの主要パラメータの洗い出し、Q 帯、V 帯 LEO コンステレーション特有のファイリング手続きについて無線通信規則での周波数割当、および、適用される事項について調査／整理を行い報告書案の作成を行った。また、ペイロードの設計における LEO と GEO の比較や想定する LEO 衛星搭載ペイロードの考察やユース検討を行うとともに、高効率・高信頼無線アクセス制御方式に関する基本仕様の策定の基準となる時刻情報・位置情報の精度の評価を実施した。

研究開発項目 3 :

3-a) W 帯 GaN 増幅器

複数社の比較検討を通して台湾 WIN 社のゲート長 0.12 μ m プロセスを第 1 候補として選定するとともに、来年度の試作に向けて単位セル基本構想と基本レイアウトを完了した。また、W 帯非線形モデリング向け測定装置の構成検討を完了させ立ち上げに入るとともに、W 帯で GaN の AMAM 特性を測定できる構成を明確化した。

3-b) ダイヤモンドトランジスタ増幅器

40GHz 帯での動作を目標とした $L_g < 70$ nm の素子試作に使用するプロセスが確定した。ダイヤモンドウエハのエピタキシャル条件も過去の合成記録から検討を完了した。試作したダイヤモンドトランジスタの常温での高周波特性を測定し、高周波モデリングを行った。

(8) 今後の研究開発計画

研究開発項目 1 :

1-a) Q/V 帯に対応した DPS 技術および送受信機構成

2023 年度は 4 素子の送受信機の構成詳細設計や DBF の DSP 部の試作を行う。2024 年度は 64 素子の送受信機の詳細構成設計と 4 素子 DBF の DSP 部の改良を行い、2025 年度に 64 素子送受信機構成詳細の見直しと 64 素子 DBF の DSP の試作を行う。2026 年度に 64 素子 DBF の DSP 部の改良を行う。

1-b) 超小型 Q/V 帯 RF 送受信モジュール

2023 年度は 4 素子 DBF 用の RF デバイスとモジュールの 1 次試作を行う。2024 年度は 4 素子 DBF 用デバイスとモジュールの 2 次試作と RFIC の放射線試験を行う。2025 年度は 64 素子 DBF 用の RF デバイスと RF モジュールの 1 次試作を行い、2026 年度にそれらの 2 次試作を行うとともに RFIC 放射線試験を行う。

1-c) 大規模 DBF を実現するアンテナ技術

2023 年度は単素子アンテナの試作を行い、2024 年度に 4 素子アンテナの試作を行う。2025 年度に 4 素子アンテナの改良試作と 64 素子アンテナの試作を行う。また、2026 年度に 64 素子アンテナの改良試作を行う。

1-d) DBF 通信システムの検討・設計・評価等

2023 年度は衛星通信システム全体の提案やミリ波 DBF アンテナ評価系の構築を行う。2024 年度にペイロード/コンステレーションの基本要求的検討や 4 素子 DBF アンテナ試作評価を行い、2025 年度から 2026 年度にかけて基本要求的アップデートや 64 素子対応および小型化、64 素子アンテナ試作評価を行う。また、高効率・高信頼無線アクセス制御方式の実証は、これまでに評価した時刻情報・位置情報の精度を基に基本仕様の策定を行うとともに、基礎特性評価のための信号解析システムの構築を 2023 年度も引き続き進める。

研究開発項目 3 :

3-a) W 帯 GaN 増幅器

2023 年度は単位セル設計・試作・評価や小信号特性評価系構築を行うと共に、モデル化に向けた TEG 試作や測定を行う。2024 年度は、パワーセルの設計・試作・評価と放射線試験を実施するとともに、非線形モデルの構築を行う。2025 年度は PA の 1 次設計・試作・評価と AM-AM 改善を図り、2026 年度に PA の 2 次設計・試作・評価と放射線試験を実施する。

3-b) ダイヤモンドトランジスタ増幅器

2023 年度は狭セルフアラインプロセスの高精度化、T ゲートプロセスなどの要素技術を開発する。また、ダイヤモンドトランジスタの高周波特性の温度依存性を測定し、高温での動作確認

を行う。さらに、ロードプル・ソースプルを行い、Q帯(40GHz帯)の出力増幅器(PA)としてのトランジスタ特性の評価を行う。2024年度は2023年度までの要素技術開発をベースに40GHz帯ダイヤモンドMOSFETを試作しRF評価を行う。また、MMIC化のための要素回路を試作・高周波モデリングを行い、MMIC設計環境を整備する。2025年度は前年度までに試作した素子の対放射線試験を行い、40GHz帯ダイヤRFMOSFETの改良試作を行う。また、前年度までに開発したMMIC設計環境を用いて、40GHz帯MMIC増幅器を試作する。2026年度は、前年度に行ったダイヤRFMOSFETを用いた40GHz帯ダイヤPAのMMIC試作を行い、対放射線試験を行う。また、40GHz帯MMIC増幅器の改良試作を行い、温度特性を含む高周波特性を明らかにする。