

令和 6 年度事後事業評価書

政策所管部局課室名：総合通信基盤局移動通信課新世代移動通信システム推進室

評価年月：令和 6 年 8 月

1 政策（研究開発名称）

100GHz 以上の高周波数帯通信デバイスに関する研究開発

2 研究開発の概要等

（1）研究開発の概要

・実施期間

令和 3 年度～令和 5 年度（3 か年）

・実施主体

民間企業

・総事業費

3,869 百万円

令和 3 年度	令和 4 年度	令和 5 年度	総 額
1,176 百万円	1,370 百万円	1,323 百万円	3,869 百万円

当時の事前事業評価の時点では、事業実施機関及び総事業費が確定しておらず、10 億円を超えることが見込まれなかったため。

・概 要

社会基盤・産業基盤を支える 5G 以降の移動通信システムにおいては、現在の移動通信システムを超える高速・大容量の通信の実現が必要となる。そこで、新たに屋内外で利用可能な移動通信システムに活用することを前提として、広帯域を確保可能な 100GHz 超帯の高周波数帯を用いた高速・大容量通信にて、通信伝送距離の延伸化を実現するための研究開発を行った。具体的には、以下(ア)から(ウ)のとおりである。

（ア）高周波数帯における無線システム構成技術

無線システム全体として最適となるよう設計し、システム内の構成品への機能・性能配分した後、以下の(イ)及び(ウ)の検討内容を反映した評価装置を試作した。同装置を用いて、送信機のアンテナから送信した電波が受信機で直接受信できる場合(以下、見通し内)、または

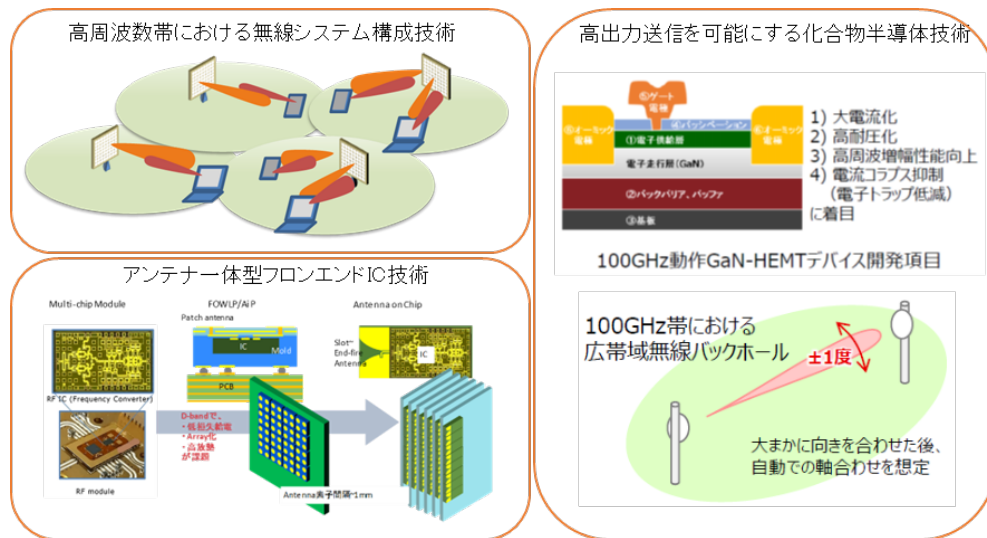
送信機のアンテナから送信した電波が受信機で直接受信できない場合(以下、見通し外)において移動通信システムの伝送実験を実施し、100GHz 超帯の移動通信システムの実現性を評価し、見通し内の伝送距離 100m においてスループット 100Gbps を達成する技術を確立した。見通し外での無線通信において、伝送距離 100m にてスループット 100Gbps を可能にする技術課題を明らかにした。

（イ）アンテナ一体型フロントエンド IC 技術

低損失な実装技術であるアンテナオンチップとして、素子アンテナとフロントエンド IC を一体化させる技術を確立した。以下の(ウ)のアクティブフェーズドアレーアンテナ(APAA)の検討と連携しながら、素子アンテナとフロントエンド IC を集積した基板を波長に依存する素子アンテナ間隔で複数配置することで、100GHz 超帯で動作する APAA を実現した。最終的に、100 素子以上からなる APAA において、100GHz 超帯で 50dBm 以上の等価等方輻射電力(EIRP)を実現した。

（ウ）高出力送信を可能とする化合物系半導体技術

化合物半導体を用いて、100GHz 超帯において出力 10W 以上かつ効率 20%以上、300GHz 帯において出力 100mW 以上かつ効率 5%以上の高出力増幅器を開発した。また、APAA に関しては(イ)の検討と連携しながら、開発した高出力増幅器やビームフォーミングのための移相器及び周波数コンバータの機能を有する集積回路により構成される低損失モジュールを実現した。



技術の種類	技術の概要
(ア) 高周波数帯における無線システム構成技術	移動通信システムに適応できる 100GHz 超帯を用いた高速・大容量通信を可能とする無線装置に関する研究開発を行った。基本伝搬特性を評価し、100GHz 超帯に適した移動通信システムの要求条件を明らかにした。100GHz 帯及び 300GHz 帯の実験用無線装置をそれぞれ構成した。100GHz 帯にて屋内・屋外にて見通し内外における伝送実験により、伝送距離 100m にてスループット 100Gbps を可能にする技術を明らかにした。また、300GHz 帯にて屋内にて見通し内外における伝送実験により、伝送距離 100m にてスループット 100Gbps を可能にする技術を明らかにした。 システム全体の最適化 ■送信電力 ■帯域幅 ■変調方式 ■ビーム幅 ■フェーシング ... 移動通信システム全体の最適化 送信系統・受信系統の機能・性能配分 伝送評価 100GHz超帯における屋内外・見通し内外の伝送特性を把握 伝送距離、スループットを評価 図：取り組み内容
(イ) アンテナ一体型フロントエンド IC 技術	100GHz 超帯の高周波数帯を扱う無線装置には、それ以下の周波数帯を扱う無線装置と比較して、無線回路の線路や各素子にて損失が増大することが予想される。そこで、損失の発生する回路の線路長の極小化するアンテナオンチップ型のデバイスに関する研究開発を行った。100 素子以上からなるアクティブフェーズドアレイアンテナ (APAA) において 100GHz 超帯で 50dBm 以上の等価等方放射電力 (EIRP) を実現した。 アンテナオンチップデバイス Multi-chip Module FOWLP/AIP Patch antenna Antenna On Chip RF IC (Frequency Converter) IC RF module フロントエンド IC 技術進展 EHF帯下限 100GHz超帯 高周波数帯の回路による損失を局限する アンテナ一体型フロントエンドICを実現

	APAAを構築して、高出力の送信を実現
	図：取り組み内容
(ウ) 高出力送信を可能にする化合物半導体技術	送信系統の EIRP の増大するためには、アンテナ（素子アンテナを含む）へ電力を給電するトランジスタ等の電力増幅器の高出力化も求められている。従来と比較して更なる高出力化と高周波数帯での動作が求められる。GaN 及び InP 等の化合物半導体の材料からなる高出力電力増幅器の高周波数化及び高出力化に関する研究開発を行った。100GHz 帯にて出力 40dBm、効率 20%の高出力電力増幅器を開発した。300GHz 帯にて出力 20dBm、効率 5%の高出力電力増幅器を開発した。数素子 (2x2) 程度のアレイアンテナによるビーム制御を可能にする低損出モジュールを開発した。 化合物半導体の出力 化合物半導体を用いた高出力の増幅器を実現 化合物半導体増幅器を用いたAPAA 化合物半導体増幅器を用いてAPAAを構築し、ビームフォーミングを実施 図：取り組み内容

・スケジュール

技術の種類	令和3年度	令和4年度	令和5年度
(ア) 高周波数帯における無線システム構成技術	伝搬測定 装置検討 1	仕様検討 装置検討 2	伝送実験
(イ) アンテナ一体型フロントエンド IC 技術	部分試作	装置試作	全体試作
(ウ) 高出力送信を可能にする化合物半導体技術	デバイス開発 ビーム制御系設計	集積回路開発 移相器設計・試作	装置実証 ビーム制御系構築

(2) 達成目標

5G の普及期においては、IoT 機器の爆発的な普及が見込まれ、通信トラフィック量も飛躍的に増加し、現在移動体通信システムに割当てられている周波数がひっ迫することが想定される。このため、今後の移動通信システムの更なる周波数需要の高まりに応えるために、新たに広帯域を確保可能と見込まれる 100GHz 超帯の周波数帯を移動通信システムに活用するための研究開発を実施する。具体的な達成目標は以下の4点である。

- ・高周波数帯の実験用無線装置を構成し、屋内・屋外にて見通し内外における 100GHz 超帯伝送実験を行い、伝送距離 100m にてスループット 100Gbps を可能にする技術を明らかにする。
- ・100 素子以上からなるアクティブフェーズドアレイアンテナ (APAA) において 100GHz 超帯で 50dBm 以上の等価等方輻射電力 (EIRP) を実現する。
- ・化合物半導体を用いて 100GHz 帯にて出力 40dBm、効率 20%の高出力電力増幅器を開発する。同様に 300GHz 帯にて出力 20dBm、効率 5%の高出力電力増幅器を開発する。数素子 (2x2) 程度のアレイアンテナによるビーム制御を可能にする低損出モジュールを開発する。

- ・100GHz 超帯での移動通信システムに向けた周波数の有効利用の一層の向上を図る。

○関連する主要な政策

V. 情報通信（ICT 政策） 政策9「情報通信技術の研究開発・標準化の推進」

○政府の基本方針（閣議決定等）、上位計画・全体計画等

名称（年月日）	記載内容（抜粋）
Beyond 5G 推進戦略懇談会提言（令和2年6月）	「4. Beyond 5G 推進戦略 4-2. (3)（開発・製造基盤の強化）」において、「(略) このため、5G の機能強化に対応した情報通信システムの中核となる技術を開発することにより、その開発・製造基盤強化に取り組む。」
まち・ひと・しごと創生基本方針2020（令和2年7月17日閣議決定）	「6. 新しい時代の流れを力にする（1）②(a) 5G などの情報通信基盤の早期整備」において、「(略) 5G やローカル 5G による地域の課題解決、5G の高度化・高信頼化を推進する。」
世界最先端デジタル国家創造宣言・官民データ活用推進基本計画（令和2年7月17日閣議決定）	「7 社会基盤の整備（2）次世代インフラの整備」において、「また、Society 5.0 をより高いレベルで実現していくためには、サイバー空間と現実世界（フィジカル空間）をより高度に一体化させる必要があり、それを支える中核的なインフラとしては 5G よりも更に高度なネットワークが求められる。」

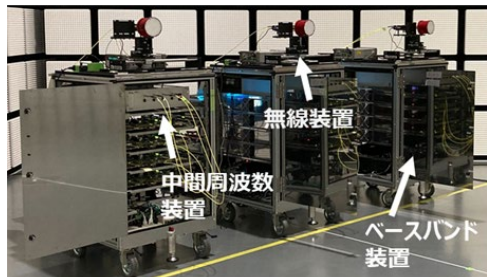
（3）目標の達成状況

- 3年間の研究開発を通じて、目標を達成することができた。
- ・100GHz 帯にて実験用伝送装置を用いて、屋外にて見通し内距離 100m でスループット 100Gbps 以上を達成した。見通し外の無線通信において、反射板を用いた屋内伝送実験により見通し内と同等の無線伝送特性を得られることを確認した。
 - ・300GHz 帯にて実験用伝送装置を用いて、屋内にて反射板を用いて総距離 100m でスループット 100Gbps を達成した。
 - ・ビームフォーミング IC とアレイアンテナを一体化した 100 素子以上の APAA モジュール試作を行い、100GHz 超帯において EIRP 50dBm、ビームステアリング角±45 度の特性を実現した。
 - ・100GHz 帯にて単体 GaN 系 HEMT にて出力電力 27.8dBm、効率 30.5%を達成し、それを用いた電力増幅器にて出力電力 40dBm、効率 20.4%を達成した。
 - ・300GHz 帯にて単体 InP 系 HEMT を用いた電力増幅器にて出力 20dBm、効率 9.3%を達成した。
 - ・100GHz 帯移相器チップ、2x2 アンテナ、低損失モジュールを開発し、±1 度のビーム制御を実現した。
 - ・以上の目標達成により、100GHz 超帯での移動通信システムに向けた利用可能性に関する基礎的な研究成果を得ることができた。

技術の種類	目標の達成状況
（ア）高周波数帯における無線システム構成技術	本技術における到達目標と研究開発内容の概要は、以下の(1)から(3)の通りである。 (1) 100GHz 帯における見通し内での距離 100m にてスループット 100Gbps を達成する無線システム構成技術の確立 (2) 100GHz 帯における見通し外での伝送距離 100m にてスループット 100Gbps を可能にする無線システム構成技術の明確化 (3) 300GHz 帯における伝送距離 100m にてスループット 100Gbps を可能にする無線システム構成技術の確立 以降で上記の(1)から(3)について詳細に述べる。

(1) 100GHz 帯における見通し内での距離 100m にてスループット 100Gbps を達成する無線システム構成技術の確立

現実的な無線デバイスを用いて、ベースバンド部からフロンエンド部までの送信機及び受信機を構成した。無線チャネルは 4 チャネルの周波数多重と、中心周波数の異なる 3 系統の送信機を用いて、合計 12 チャネルを用いて伝送実験を行った。1 チャネルあたりの帯域幅は 2GHz であり、変調方式は 64QAM または 128QAM とした。屋外にて見通し内での伝送距離 100m にてスループット 100Gbps 以上を達成した。



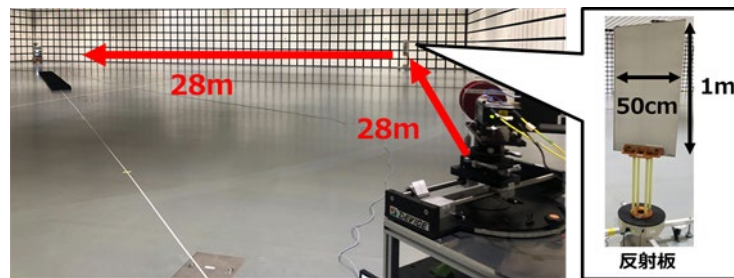
図：製作した送信機(3 系統)



図：屋外無線伝送実験の状況

(2) 100GHz 帯における見通し外での伝送距離 100m にてスループット 100Gbps を可能にする無線システム構成技術の明確化

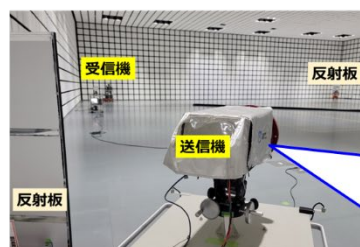
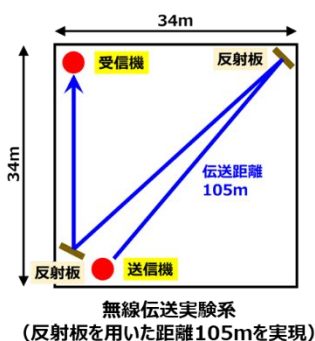
(1) の送信機及び受信機を用いて、送信機の見通し外に受信機を配置し、反射板を用いて無線伝送実験を実施した。送信機と反射板、反射板と受信機の距離をそれぞれ 28m とした。実験の結果、反射板を用いた見通し外の無線伝送特性は、見通し内で同等の距離を離隔したときの無線伝送特性とおおむね一致することを確認した。本実験により、100GHz 帯において、見通し外のエリア化を図るには、反射板が利用できることを明らかにした。



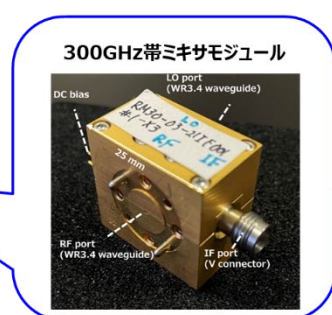
図：見通し外無線伝送実験の状況

(3) 300GHz 帯における伝送距離 100m にてスループット 100Gbps を可能にする無線システム構成技術の確立

無線システム構成及び構成品の所要性能を策定し、キーデバイスとなる広帯域ミキサを創出した。策定した無線システム構成、及び広帯域ミキサを活用した実験用無線装置を構築した。電波暗室にて反射板を 2 枚用いて伝送距離 105m を確保し、送受信間でスループット 100Gbps の無線伝送を達成した。



電波暗室における
100Gbps伝送実験の模様



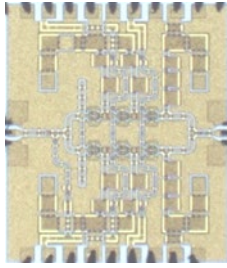
図：300GHz 帯無線伝送実験の概要

(イ) アンテナ

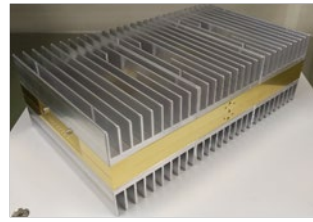
本技術における到達目標と研究開発内容の概要は、以下の(1)及び(2)の通りである。

(1) 高利得アンテナモジュール技術：ビームフォーミング IC とアレイアンテナを一体化した

一 体 型 フ ロ ン ト エ ン ド IC 技 術	100 素子以上の APAA モジュール試作を行い、EIRP 50dBm 以上、ビームステアリング角± 30 度程度の特性を有していることを実証する。 (2) 高出力ビームフォーミング IC 技術：ビームフォーミング集積化回路の設計・試作を行う。試作したビームフォーミングに必要な基本要素回路を集積した IC チップを開発する。 以降で上記の(1)及び(2)について詳細を述べる。 (1) 高利得アンテナモジュール技術 ビームフォーミング IC とアレイアンテナを一体化した 100 素子以上の APAA モジュール試作を行い、EIRP 50dBm、ビームステアリング角± 45 度の特性を有していることを確認した。 図：フェーズドアレーによる EIRP 向上と高精度ビームステアリングの測定結果 (2) 高出力ビームフォーミング IC 技術 フェーズドアレーアンテナと移相器、増幅器で構成された送信機 4 系統分を集積した IC チップの開発を完了した。 図：アンテナオンチップ 4 素子フェーズドアレー IC と 128 素子フェーズドアレーモジュール
(ウ) 高 出 力 送 信 を 可 能 に す る 化 合 物 半 導 体 技 術	本技術における到達目標と研究開発内容の概要は、以下の(1)から(3)の通りである。 (1) 100GHz 帯高出力電力増幅器の開発：GaN 系 HEMT を用いた電力増幅器にて出力 40dBm、効率 20%を達成する。 (2) 300GHz 帯高出力電力増幅器の開発：InP 系 HEMT を用いた電力増幅器にて出力 20dBm、効率 5%を達成する。 (3) ビーム制御法の開発：100GHz 帯移相器チップ、2x2 アンテナ、低損失モジュールを開発し、± 1 度のビーム制御を実現する。 以下で上記の(1)から(3)について詳細に述べる。 (1) 100GHz 帯高出力電力増幅器の開発 GaN 系 HEMT について、終端膜、裏面発振抑止膜の開発により電気的特性を改善した。単体 HEMT にて、出力 27.8dBm、効率 30.5%を達成した。この性能は世界トップである。これを用いて電力増幅器を構成した。発振抑止 2 並列モノリシック集積回路にて、出力 29.7dBm、効率 20.4%を達成した。また、8 合成モジュールにて出力 40dBm を達成できることを確認した。



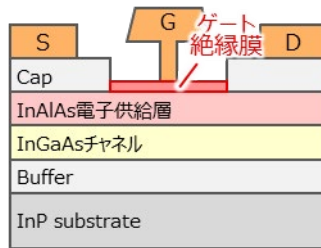
図：3 段 2 並列電力増幅器



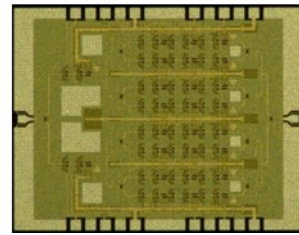
図：10W 相当 8 合成電力増幅器モジュール

(2) 300GHz 帯高出力電力増幅器の開発

InP 系 HEMT にて Al_2O_3 による MOS 構造を実現した。また独自エピ構造にて大電流・高電圧化を可能にした。ゲート設置 2 段直列モノリシック集積回路にて、出力電力 9.2dBm、効率 9.3% を達成した。これを 8 合成した電力増幅器にて出力 20dBm を達成できることを確認した。



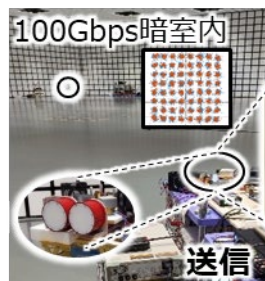
図：InP 系 MOS-HEMT の断面図



図：InP 系 300GHz 帯モノリシック集積回路

(3) ビーム制御法の開発

数素子 (2x2) 程度のアレイアンテナによるビーム制御を検討した。100GHz 帯移相器チップ、2x2 アンテナ、低損失モジュールを開発し、 ± 1 度のビーム制御を実現した。また、送受対向でのアンテナの自動軸合わせプログラムを開発し、無線システム構成技術での 100GHz 帯送信機のフロントエンド部として用いることで、屋外・見通し内で伝送距離 100m を達成した。さらに、開発した 100GHz 帯電力増幅器を用いて、屋内・見通し内に伝送距離 100m に相当する無線伝送実験に成功した。



図：屋内見通し内無線伝送実験の様子



図：屋外見通し内無線伝送実験の様子

3 政策効果の把握の手法

研究開発の評価については、各要素技術における目標の達成状況、論文数や特許出願件数などの指標が用いられ、これらを基に専門家の意見を交えながら、必要性・効率性・有効性等を総合的に評価するという手法が多く用いられている。この観点に基づき、「電波利用料による研究開発等の評価に関する会合」（令和 6 年 6 月 21 日）において、目標の達成状況等に関して外部評価を実施し、政策効果の把握に活用した。

また、外部発表や特許出願件数、国際標準提案件数等も調査し、必要性・有効性等を分析した。

4 政策評価の観点・分析等

○研究開発による特許・論文・研究発表・国際標準の実績からの分析

- 論文や研究発表の実績の観点では、下表のように査読付き誌上発表論文 10 件、査読付き口頭論文発表 19 件、その他誌上発表 10 件、口頭発表 57 件を実施した。受託 3 年間にて、タイムリーな研究成果をアピールに努めているといえる。これらの発表の中で、マイクロ波・ミリ波に関する技術分野で最も著名な論文誌 (IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques: IF = 4.3) への掲載、著名な国際学会 (IEEE Microwave Symposium, European Microwave Week (EuMW) など) に採録されている。半導体分野においても最も著名な論文誌 (IEEE Transactions on Electron Devices: IF = 2.9, Japanese Journal of Applied Physics: IF=1.5) に掲載、著名な国際学会 (International Conference on Solid State Devices and Materials など) に掲載されている。また、Microwave Workshop and Exhibition, Asia-Pacific Microwave Conference (APMC), EuMW などの国際学会、電子情報通信学会などの国内学会での招待講演の依頼を多数受けている。さらに APMC, Asia-Pacific Conference on Communications での採録論文にて論文賞 2 件を受賞している。これらの内容は、研究成果のアピールを積極的に行っているとともに、本研究開発の必要性和有効性が外部から認められた証左と考える。
- 特許の観点では、3 年間で 42 件、うち国際特許出願 12 件を実施済みである。本研究開発では半導体技術、回路技術などのハードウェアに関わるものであり、出願された特許にはこれら関わる基礎的な特許が含まれており、権利化後の有効性が高い。今後も関連する特許出願が見込まれることもあり、本研究開発の必要性和有効性が認められる。
- 国際標準化の観点では、本研究開発の性質から受託期間中での寄与文書の提出がないが、電波伝搬特性について ITU-R への寄与文書提出 1 件があった。これは下表の口頭発表に含まれている。これまでの無線システムの国際標準化に先立ち、電波伝搬などの調査報告がされ、いわゆる伝搬モデルの作成が進められる。また、100GHz 超帯でのスループット 100Gbps を達成する技術は今後の国際標準化の議論にてさらに深められる。これらの検討での基礎的な成果として、本研究開発の必要性和有効性が認められる。

主な指標	令和 3 年度	令和 4 年度	令和 5 年度	合計
査読付き誌上発表論文数	1 件 (1 件)	3 件 (3 件)	6 件 (5 件)	10 件 (9 件)
査読付き口頭発表論文数 (印刷物を含む)	1 件 (1 件)	9 件 (9 件)	9 件 (9 件)	19 件 (19 件)
その他の誌上発表数	0 件 (0 件)	4 件 (2 件)	6 件 (2 件)	10 件 (4 件)
口頭発表数	12 件 (1 件)	21 件 (6 件)	24 件 (6 件)	57 件 (13 件)
特許出願数	9 件 (0 件)	17 件 (4 件)	16 件 (8 件)	42 件 (12 件)
特許取得数	0 件 (0 件)	0 件 (0 件)	0 件 (0 件)	0 件 (0 件)
国際標準提案数	0 件 (0 件)	0 件 (0 件)	0 件 (0 件)	0 件 (0 件)
国際標準獲得数	0 件 (0 件)	0 件 (0 件)	0 件 (0 件)	0 件 (0 件)
受賞数	0 件 (0 件)	2 件 (2 件)	0 件 (0 件)	2 件 (2 件)
報道発表数	0 件 (0 件)	2 件 (1 件)	4 件 (2 件)	6 件 (3 件)
報道掲載数	0 件 (0 件)	1 件 (0 件)	43 件 (0 件)	44 件 (0 件)

注 1：各々の件数は国内分と海外分の合計値を記入。(括弧)内は、その内海外分のみを再掲。

注 2：「査読付き誌上発表論文数」には、定期的に刊行される論文誌や学会誌等、査読 (peer-review (論文投稿先の学会等で選出された当該分野の専門家である査読員により、当該論文の採録又は入選等の可否が新規性、信頼性、論理性等の観点より判定されたもの))のある出版物に掲載された論文等 (Nature、Science、IEEE Transactions、電子情報通信学会論文誌等および査読のある小論文、研究速報、レター等を含む) を計上する。

注 3：「査読付き口頭発表論文数 (印刷物を含む)」には、学会の大会や研究会、国際会議等における口頭発表あるいはポスター発表のための査読のある資料集 (電子媒体含む) に掲載された論文等 (ICC、ECOC、OFC など、Conference、Workshop、Symposium 等での proceedings に掲載された論文形式のものなどとする。ただし、発表用のスライドなどは含まない。) を計上する。なお、口頭発表あるいはポスター発表のための査読のない資料集に掲載された論文等 (電子情報通信学会技術研究報告など) は、「口頭発表数」に分類する。

- 注 4：「その他の誌上発表数」には、専門誌、業界誌、機関誌等、査読のない出版物に掲載された記事等（査読の有無に関わらず企業、公的研究機関及び大学等における紀要論文や技報を含む）を計上する。
- 注 5：PCT（特許協力条約）国際出願については出願を行った時点で、海外分 1 件として記入。（何カ国への出願でも 1 件として計上）。また、国内段階に移行した時点で、移行した国数分を計上。
- 注 6：同一の論文等は複数項目に計上しない。例えば、同一の論文等を「査読付き口頭発表論文数（印刷物を含む）」および「口頭発表数」のそれぞれに計上しない。ただし、学会の大会や研究会、国際会議等で口頭発表を行ったのち、当該学会より推奨を受ける等により、改めて査読が行われて論文等に掲載された場合は除く。

○各観点からの分析

観点	分析
必要性	5G をはじめとする移動通信に割り当てられた周波数帯も近い将来ひっ迫することが予想され、2030 年代には 5G の後継となる移動通信システムが構築されることを念頭に、更なる高周波数帯での通信に関する技術の確立が求められていた。2019 年世界無線通信会議（WRC-19）において、新たに陸上移動用途で仕様できる周波数帯が合意されたほか、5G を念頭とした周波数として 71GHz までの周波数帯が特定され、今後さらに高い周波数帯の割当てが期待されているなど、国際的にも 100GHz 以上の EHF 帯の利用に対する期待が高まっていた。本研究開発は高周波数帯で大容量通信を実現するための技術を開発するために行うものであり、周波数の有効利用に資する技術の確立が課題であった。 これら国際的・社会的な動向に対して、成長戦略実行計画(令和 2 年 7 月 17 日閣議決定)における「いわゆる 6G(ビヨンド 5G)の推進」として、100GHz 超帯での伝送距離延伸を可能にする技術、CMOS を用いたアンテナ一体型フロントエンド IC 技術、高送信出力を可能にする化合物半導体技術に先んじて取り組み、必要な技術実現した、本研究開発の方向性が正しかったことは明らかである。 よって、本研究開発には必要性があったと認められる。
効率性	本研究開発の推進に当たっては、移動通信システム技術、100GHz 超帯での半導体技術・集積回路技術に関する専門知識や研究開発遂行能力を有する民間企業のノウハウを積極的に用いており、効率的な研究開発がすすめられた。本件研究開発では、これまでに実用化されておらず、世界的に見ても基礎研究段階である 100GHz 超帯での半導体技術・集積回路技術を移動通信システムへの適用に向けた研究開発が必須であること、世界的に見ても伝送距離 10m 程度の無線伝送を伝送距離 100m に飛躍的に延伸するための移動通信システム技術の研究開発が必須であることから、他の効率的で質の高い代替手段はなかった。 実施期間中も受託各社の研究代表者・実務者の定期的な会合において、各社の進捗状況や課題が調整・共有され、各社の研究開発成果を持ち寄った伝送実験の実施など各社で協調して実施した。さらに、外部の有識者と受託者から構成される運営委員会や、外部有識者による継続評価において、研究進捗や進め方等について助言を受けるなど、効率的な実施のための情報交換が積極的に行われた。 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、効率的に実施した。 本研究開発で得られた成果の早期な社会展開を図るために、査読付き論文誌への掲載、国際学会等での口頭発表等を受託 3 年間で合計 96 件実施した。運営委員会の委員から同種の研究開発に比較して本研究開発は受託 3 年間で短いとの指摘があったが、受託 3 年間で目標を達成した。 よって、本研究開発には効率性があったと認められる。
有効性	本研究開発の目標を次のように達成した。 ・100GHz 超帯にて伝送距離 100m、スループット 100Gbps を達成する無線システム構成技術について、現実的な無線デバイスを用いた 100GHz 帯実験用伝送装置を構成し、屋外にて見通し内距離 100m でスループット 100Gbps 以上を達成し、見通し外の無線通信において、反射板を用いた屋内伝送実験により見通し内と同等の無線伝送特性を得られることを確認した。また、後述する CMOS によるアンテナ一体型フロントエンド部を用いた無線伝送実験にて、ビーム切り替えを瞬時に実施できることを示した。さらに化合物半導体による 100GHz 帯移相器チップ、2x2 アンテナ、低損失モジュールによるフロンエンド部を用いた無線伝送実験にて、屋外見通し内にて伝送距離 100m にて±1 度のビーム制御を実現した。300GHz 帯にて実験用伝送装置を用いて、屋内にて反射板を

	用いて総距離 100m でスループット 100Gbps を達成した。 ・CMOS を用いたビームフォーミング IC とアレイアンテナを一体化した 100 素子以上の APAA モジュール試作を行い、EIRP 50dBm、ビームステアリング角±45 度の特性を実現した。 ・100GHz 帯にて単体 GaN 系 HEMT にて出力電力 27.8dBm、効率 30.5%を達成し、それを用いた電力増幅器にて出力電力 40dBm、効率 20.4%を達成した。300GHz 帯にて単体 InP 系 HEMT を用いた電力増幅器にて出力 20dBm、効率 9.3%を達成した。 よって、本研究開発には有効性があったと認められる。
公平性	本研究開発は、移動通信システム等に利用されている周波数帯域のひっ迫状況を緩和し、高い周波数帯の活用及び周波数の有効利用を促進する技術の研究開発であるため、広く無線通信の利用者の受益となる。 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・選定した。 よって、本研究開発には公平性があったと認められる。
優先性	昨今の周波数ひっ迫事情及び今後の移動通信の高度化を鑑みるに、更なる高周波数帯への移行による大容量通信の実現が喫緊の課題となることから、高周波数帯で大容量通信を実現する技術の早期確立は急務であった。また欧米を中心に、100GHz 以上の高周波数帯を移動通信に適用するための基礎的な研究開発が精力的に実施されている。このような背景の中、各国を先導するために、我が国においても 5G の高度化を実現し、5G の後継となる移動通信システムの橋渡しとなるであろう 100GHz 以上での高速伝送可能な無線システムの実現に向けて研究開発を加速していく必要があった。 成長戦略実行計画(令和 2 年 7 月 17 日閣議決定)においても、「我が国においても、ビヨンド 5G に対する先行投資を今から行い、シェアの確保を目指す必要がある。具体的には、オール光ネットワーク、低消費電力半導体、量子暗号など、その実現のカギを握る先端技術の研究開発を加速する。」こととされている。現在まで我が国は諸外国に対して、ミリ波帯の通信デバイスにおける技術的優位性を有していた。100GHz 以上の高周波数通信デバイスの研究開発においても優位性を維持し、我が国の製品が世界で広く利用される機会につなげるため、本研究開発を早急に実施する必要があった。 よって、本研究開発には、優先性があったと認められる。

5 政策評価の結果（総合評価）

5G をはじめとする移動通信に割り当てられた周波数帯も近い将来ひっ迫することが予想され、2030 年代には 5G の後継となる移動通信システムが構築されることを念頭に、更なる高周波数帯での通信に関する技術の確立が求められていた。2019 年世界無線通信会議（WRC-19）において、新たに陸上移動用途で仕様できる周波数帯が合意されたほか、5G 用周波数として 71GHz までの周波数帯が特定され、今後さらに高い周波数帯の割当てが期待されているなど、国際的にも 100GHz 以上の EHF 帯の利用に対する期待が高まっていた。このような状況を踏まえると、本研究開発のような高周波数帯で大容量通信を実現するための技術を開発し、周波数の有効利用に資する技術を確立することが課題であった。

そこで、本研究開発では以下に述べる通り、100GHz 超帯での伝送距離延伸を可能にする技術、CMOS を用いたアンテナ一体型フロントエンド IC 技術、高送信出力を可能にする化合物半導体技術に先んじて取り組みを行ったものである。

本研究開発においては、100GHz 超帯にて伝送距離 100m、スループット 100Gbps を達成する無線システム構成技術について、現実的な無線デバイスを用いた 100GHz 帯実験用伝送装置を構成し、屋外にて見通し内距離 100m でスループット 100Gbps 以上を達成し、見通し外の無線通信において、反射板を用いた屋内伝送実験により見通し内と同等の無線伝送特性を得られることを確認した。また、後述する CMOS によるアンテナ一体型フロントエンド部を用いた無線伝送実験にて、ビーム切り替えを瞬時に実施できることを示した。さらに化合物半導体による 100GHz 帯移相器チップ、2x2 アンテナ、低損失モジュールによるフロンエンド部を用いた無線伝送実験にて、屋外見通し内にて伝送距離 100m にて±1 度のビーム制御を実現した。300GHz 帯にて実験用伝送装置を用いて、屋内にて反射板を用い

て総距離 100m でスループット 100Gbps を達成した。CMOS を用いたビームフォーミング IC とアレイアンテナを一体化した 100 素子以上の APAA モジュール試作を行い、EIRP 50dBm、ビームステアリング角±45 度の特性を実現した。100GHz 帯にて単体 GaN 系 HEMT にて出力電力 27.8dBm、効率 30.5%を達成し、それを用いた電力増幅器にて出力電力 40dBm、効率 20.4%を達成した。300GHz 帯にて単体 InP 系 HEMT を用いた電力増幅器にて出力 20dBm、効率 9.3%を達成した。これら技術の確立により、100GHz 超帯にて移動通信システムの利用に向けた可能性を明らかにしたことにより、周波数利用の一層の向上につながることに寄与しており、目標を達成することができた。

本研究開発の成果は、100GHz 超帯での移動通信システムの実現に向けた初期の成果であり、100GHz 超帯の移動通信システムへの利用可能性を示した成果である。この成果は、今後、100GHz 超帯での移動通信システムの国際標準化での貢献、通信機器で使用する高性能半導体技術・回路技術などの戦略的な技術の囲い込み、それら製品の海外市場の確保などのアウトカムにつながることで、日本の国際競争力を向上させ、経済的・社会的効果が得られるものと期待される。

よって、本研究開発には有効性、効率性等があると認められた。

<今後の課題及び取組の方向性>

前述したように、本研究開発の目標は達成された。研究開発成果は、100GHz 超帯における移動通信システムの利用に向けた初期の成果であり、諸外国に比肩として遜色ない水準の成果である。研究開発成果が、移動通信システムの実用化に貢献できるように、本研究開発のそれぞれの技術を深化させるために継続した取り組みが必要である。本研究開発でのそれぞれの技術が、社会で活用されていくように取り組みを進めていく。発展させた内容の特許出願、論文等による情報発信、国際標準化活動を進めていく。

6 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」（令和 6 年 6 月 21 日）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、外部有識者から以下の御意見等を頂いたため、本研究開発の評価に活用した。

- ・いい成果がでている。100GHz 超帯はこれから非常に注目されると思うので、実用化に向けて進めてもらいたい。
- ・低消費電力化は、カーボンニュートラルを目指す上で重要であり、実現にはデバイスの性能が大きい。標準化にも取り組んでいただきたい。

7 評価に使用した資料等

- 世界最先端デジタル国家創造宣言・官民データ活用推進基本計画(令和 2 年 7 月 17 日閣議決定)
<https://warp.ndl.go.jp/info:ndljp/pid/12187388/www.kantei.go.jp/jp/singi/it2/kettei/pdf/20200717/siryoul.pdf>
- まち・ひと・しごと創生基本方針 2020(令和 2 年 7 月 17 日閣議決定)
<https://www.chisou.go.jp/sousei/info/pdf/r02-07-17-kihonhousin2020hontai.pdf>
- 統合イノベーション戦略 2020（令和 2 年 7 月 17 日閣議決定）
https://www8.cao.go.jp/cstp/togo2020_honbun.pdf
- 電波利用料による研究開発等の評価に関する会合 <電波利用料>
<http://www.tele.soumu.go.jp/j/sys/fees/purpose/kenkyu/index.htm>
- 基本計画書 100GHz 以上の高周波数帯通信デバイスに関する研究開発
https://www.tele.soumu.go.jp/resource/j/fees/purpose/pdf/210126_keikakusho_RD.pdf