

令和 8 年度事後事業評価書

政策所管部局課室名 国際戦略局 研究推進室

評価年月：令和 8 年 8 月

1 政策（研究開発名称）

（１）研究開発名称

テラヘルツ波による超大容量無線 LAN 伝送技術の研究開発

（２）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」

2 研究開発の概要等

（１）研究開発の概要

・実施期間・総事業費

実施期間：令和 4 年度～令和 7 年度（4 か年）

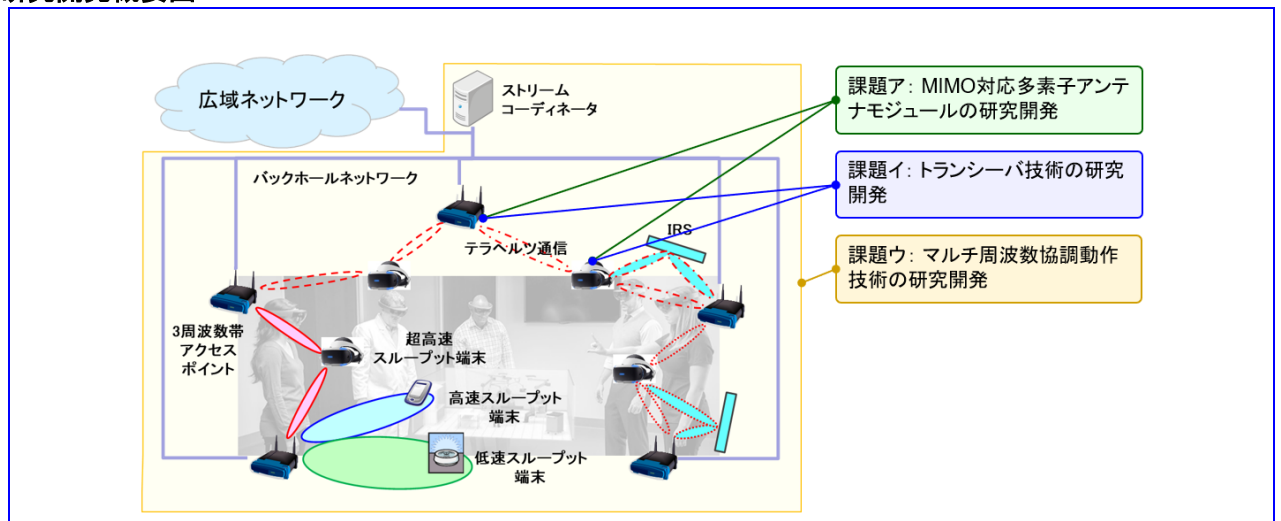
総事業費 36.6 億円

当時、事前評価が必要であることの確認が不十分だったため当該評価は実施していない。現在は、評価対象事業に係るそうした確認不足等を防止するための周知徹底や複数課室による重層的な確認等の措置が講じられている。

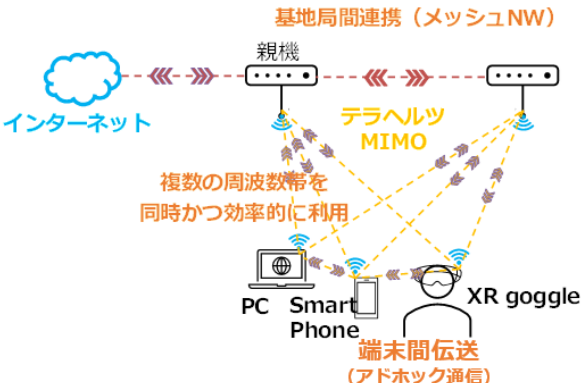
・概 要

本研究開発は、Beyond 5G/6G 時代に求められる超高精細映像伝送、デジタルツイン、XR 等の大容量・低遅延通信サービスを支える超大容量無線 LAN 技術の確立を目的とするものである。具体的には、151.5～164GHz、209～226GHz、252～296GHz 等の 100GHz 以上のテラヘルツ帯における、電波伝搬特性に基づく MIMO（Multiple Input Multiple Output）対応多素子アンテナモジュール、アンテナと一体化した集積回路を実現するトランシーバ技術、空間リソース最適化に向けたマルチ周波数協調動作技術の研究開発し、伝送速度 100Gbps 以上を実現するとともに、将来的には 1Tbps 級無線 LAN 技術の確立することを目指す。また、既存無線 LAN と同等の同時多接続・信頼性を実現し、IEEE802 等のデファクト国際標準化への対応にも取り組む。

・研究開発概要図



技術の種類	技術の概要
MIMO 対応多素子アンテナモジュールに関する研究開発	テラヘルツ帯における超大容量無線 LAN の実現に向け、代表的な室内利用環境を対象として MIMO 伝搬特性の測定・解析を行い、MIMO 伝送に適した電波伝搬環境及びアンテナ構成の検討を実施した。また、多素子アンテナの小型集積化に必要な高精度加工技術及び RF フロントエンドとの低損失接続技術を開発するとともに、MIMO 対応可能な多素子アンテナモジュールの設計・試作・評価を行った。 電波伝搬のモデル化 設計 シミュレーション結果 設計反映 MIMOアンテナ検討 図：MIMO 対応多素子アンテナモジュールの構成及び伝搬特性評価の概要
トランシーバ技術の研究開発	テラヘルツ帯における MIMO 伝送を実現するため、多素子アンテナと一体化可能なトランシーバ技術の研究開発を実施した。具体的には、RF フロントエンド回路、変復調回路、位相制御回路等の設計・試作を行うとともに、多素子アンテナとの高精度実装技術及びビーム制御技術を開発した。また、複数アンテナ素子を用いたフェーズドアレー構成について検討し、テラヘルツ帯に適したトランシーバアーキテクチャの構築及び評価を行った。 MIMO信号処理集積回路 実装 トランシーバモジュール (送受信装置) 図：フェーズドアレートランシーバ及びビーム制御技術の概要

マルチ周波数協調動作技術の研究開発	テラヘルツ帯特有の高い直進性及び伝搬損失に対応し、安定した無線 LAN 通信を実現するため、マルチ周波数協調動作技術の研究開発を実施した。具体的には、テラヘルツ帯とマイクロ波帯を連携させたネットワークアーキテクチャの検討を行うとともに、周波数リソース制御技術、空間リソース制御技術及び複数アクセスポイント連携技術を開発した。また、システムシミュレーション及び統合評価システムを用いて、実利用環境を想定した協調制御方式の設計・評価を行った。  図：マルチ周波数協調動作システムの構成概要
--------------------------	--

(2) 目標の達成状況

4年間の研究開発を通じて、超高速テラヘルツ無線通信を実現するための MIMO 対応多素子アンテナモジュール技術、フェーズドアレイトランシーバ技術及びマルチ周波数協調動作技術について、当初目標を上回るレベルで達成することができた。

具体的には、MIMO 対応多素子アンテナモジュール技術において、体積 1cm^3 以下の両偏波対応多素子アンテナモジュールを実現し、3m 以上の通信距離で 100Gbps 超、さらに 20m の通信距離で 120Gbps の超高速伝送を達成した。トランシーバ技術においては、300GHz 帯フェーズドアレイトランシーバにより、1 チャンネル当たり 40Gbps 伝送及び ± 30 度以上の 2 次元電子ビーム走査を実現した。また、マルチ周波数協調動作技術においては、リンク予測技術による探索オーバーヘッド 50% 以上削減、IRS (Intelligent Reflecting Surface) 制御によるシステムスループット 30% 以上向上、Joint Transmission による 100Gbps 超の伝送速度達成を実現した。

これらの成果により、テラヘルツ帯において 100Gbps 級の超高速・高信頼無線通信を実現するための基盤技術が確立され、将来の Beyond 5G/6G ネットワークにおける超大容量通信システムの実現が可能となった。その結果、高精細映像伝送、デジタルツイン、XR、産業 DX 等の大容量・低遅延通信サービスの社会実装に向けた技術基盤の確立というアウトカムの実現に大きく貢献した。

なお、達成目標等については、基本計画書に記載のとおりである。

https://www.tele.soumu.go.jp/resource/j/fees/purpose/pdf/220121_keikakusho_RD.pdf#page=22

技術の種類	目標の達成状況
MIMO 対応多素子アンテナモジュールに関する研究開発	室内環境におけるテラヘルツ帯電波伝搬特性の解明及び 150GHz 帯における MIMO 対応多素子アンテナモジュール技術の研究開発に取り組んだ。具体的には、300GHz 帯及び 150GHz 帯における MIMO 伝搬環境の測定・解析を実施し、MIMO パス環境を明確化するとともに、アンテナ指向性及び反射板の形状・配置に関する設計指針を策定した。また、体積 1cm^3 以下の両偏波対応多素子アンテナモジュールを設計・試作し、3m 以上の通信距離において 100Gbps 以上の伝送速度を実現した。さらに、長距離伝送に対応するアンテナ及び RF フロントエンドの設計・試作を行い、20m の通信距離において 120Gbps の高速無線伝送を達成した。 これらにより、テラヘルツ帯における小型・高集積な MIMO 対応アンテナモジュール技術及び超大容量無線 LAN 技術の基盤を確立した。

トランシーバ技術の研究開発	300GHz 帯を用いた 1 チャンネル当たり 40Gb/s の高速データ伝送及び±30 度の 2 次元電子ビーム走査を可能とする平面アンテナ一体型フェーズドアレートランシーバ技術の確立を目的として研究開発を実施した。具体的には、アレー状に配置可能な送信回路・受信回路及び RF フロントエンドモジュール技術の開発、セミアナログ方式を用いたフェーズドアレー対応 RF 制御技術及び 40Gb/s 通信技術の開発、さらに平面アンテナを素子とするフェーズドアレーによる±30 度の 2 次元電子ビーム走査技術の開発に取り組んだ。 研究開発の結果、2×2 core chip を適用した補間給電型 5×5 アレー送信機を試作し、1 チャンネル当たり 40Gb/s、2 チャンネル合計 80Gb/s のデータ伝送を実証した。また、全給電型 8×8 フェーズドアレートランシーバを開発し、30 度以上の 2 次元ビーム制御を実証するとともに、送信側で 40Gb/s (16QAM)、受信側で 18Gb/s (QPSK) の無線伝送を達成した。 さらに、試作したベースバンド回路単体での通信実験及び RF 回路との接続実験を実施し、Time Domain Equalizer (TDE) を用いた歪補正効果を確認するとともに、ビーム制御方式を策定した。加えて、多層基板内並行差動給電開口アンテナを開発し、8×8 全素子給電アレー向けに、広帯域かつ低損失で IC 電源配線と共存可能なアンテナ構造を実現した。さらに、5×5 素子及び 3×3 素子の補間給電構成を用いた平面アンテナについて、電磁界シミュレーション及び実験により 2 次元ビーム制御性能を検証し、300GHz 帯フェーズドアレートランシーバの実現に必要な基盤技術を確認した。
マルチ周波数協調動作技術の研究開発	テラヘルツ帯無線 LAN の実現に向けて、マルチ周波数協調動作技術、周波数リソース制御技術及び空間リソース制御技術の研究開発を実施した。具体的には、ミリ波スweep情報に基づくリンク予測技術を開発し、リンク状態の判定誤差 10%以下を達成するとともに、Non-standalone 運用時の探索処理に関する机上評価により、探索オーバーヘッドを 50%以上削減できることを確認した。また、通信品質を考慮した損失関数の設計を行い、所要通信品質を満たせなくなる時間率の劣化を 10%以内に抑制できることを確認した。 さらに、IRS (Intelligent Reflecting Surface) 割当・負荷分散制御技術及び IRS ビーム制御技術の高度化を実施し、システムスループットを 30%以上向上する目標を達成した。加えて、Non-standalone 運用を前提とした Joint Transmission (JT) 方式のアクセスプロトコルを設計し、シミュレーションにより 100Gbps を超える伝送速度を実現可能であることを確認した。また、マイクロ波帯を想定した面的なリンクレベルシミュレーションを実施し、JT 方式が単一アクセスポイント伝送と比較して実効データレートを 35%向上できることを明らかにした。 加えて、上記「MIMO 対応多素子アンテナモジュールに関する研究開発」で開発したテラヘルツ帯デバイス及び本課題で開発した各種制御技術を統合した評価システムを構築し、テラヘルツ帯マルチストリーム伝送の実験的検証を実施した。これにより、複数アクセスポイント連携やマルチ周波数協調制御を活用した超大容量・高信頼無線 LAN システムの実現に向けた基盤技術を確認した。

3 政策効果の把握及び有識者の知見の活用

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、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。

本政策においても、「電波利用料による研究開発等の評価に関する会合」(令和 8 年 6 月 19 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た。ここで、外部有識者から全ての成果目標を達成している、社会実装に向けた道筋が明確に示されている等の御意見を頂き、将来的な 1Tbps 級通信の実現に向けた強力な技術基盤を構築した、総合的に見て有益な研究開発であった等の評価を得ており、本研究開発の評価に活用した。

また、外部発表や特許出願件数、国際標準提案件数等は下表のとおりである。

	令和4年度	令和5年度	令和6年度	令和7年度	合計
査読付き誌上発表論文数	0件(0件)	3件(2件)	12件(11件)	14件(13件)	29件(26件)
査読付き口頭発表論文数 (印刷物を含む)	0件(0件)	29件(29件)	42件(42件)	33件(33件)	104件(104件)
その他の誌上発表数	0件(0件)	0件(0件)	0件(0件)	0件(0件)	0件(0件)
口頭発表数	43件(7件)	70件(18件)	66件(17件)	64件(15件)	243件(57件)
特許出願数	9件(1件)	21件(10件)	12件(5件)	11件(6件)	53件(22件)
	0件(0件)	0件(0件)	0件(0件)	3件(1件)	3件(1件)
国際標準提案数	5件(5件)	11件(11件)	19件(19件)	12件(12件)	47件(47件)
国際標準獲得数	2件(2件)	4件(4件)	3件(3件)	0件(0件)	9件(9件)
受賞数	0件(0件)	12件(9件)	4件(3件)	5件(4件)	21件(16件)
報道発表数	0件(0件)	2件(1件)	3件(2件)	3件(1件)	8件(4件)
報道掲載数	0件(0件)	5件(2件)	17件(6件)	31件(5件)	53件(13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。

4 政策評価の結果(総合評価)、今後の課題及び取組の方向性

(1) 政策評価の結果

Society5.0の実現やBeyond 5G/6G時代に向けて、超高精細映像、センシング情報等の大容量データを複数ユーザーへ同時に伝送可能な無線通信技術の実現が求められている。また、既存周波数帯の利用拡大には限界があることから、100GHzを超えるテラヘルツ帯の利用促進による新たな電波資源の開拓が重要な課題となっている。本研究開発は、テラヘルツ帯を用いた超大容量無線LAN技術を確立し、新たな周波数帯の利用促進及び電波資源の拡大に資すると共に、「インフラシステム輸出戦略」(令和元年6月3日)に基づき、我が国が強みを有する本技術の標準化活動に寄与するものであること等から、国が実施すべき研究開発として高い必要性があったと認められる。

本研究開発では、MIMO対応多素子アンテナモジュール技術、トランシーバ技術及びマルチ周波数協調動作技術の研究開発を実施し、室内環境におけるテラヘルツ帯電波伝搬特性の解明、150GHz帯における体積1cm³以下の多素子アンテナモジュールによる100Gbps超の伝送、300GHz帯における2次元ビーム制御及び多ストリーム伝送技術の実証を達成した。また、マルチ周波数協調動作技術においても、探索オーバーヘッドの50%以上削減、システムスループット30%以上向上、100Gbps超の伝送速度達成を確認するなど、当初の技術目標を達成した。これにより、将来的な1Tbps級無線LAN技術の実現に向けた基盤技術を確立するとともに、テラヘルツ帯を活用した超大容量無線通信システムの実現可能性を示した。よって、本研究開発には高い有効性があると認められた。

さらに、本研究開発では、電波伝搬解析からアンテナモジュール、トランシーバ、ビーム制御及びマルチ周波数協調制御までを一体的に研究開発するとともに、統合評価システムによる実証を行うことで、効率的に研究開発を推進した。また、得られた成果は、Beyond 5G/6G に向けたテラヘルツ通信システムの研究開発や国際標準化活動への展開が期待されるものであり、将来的なテラヘルツ帯の利用拡大及び関連産業の発展への波及効果も期待されることから、効率性及び波及効果の観点からも高く評価できる。

以上より、本研究開発は、必要性及び有効性が認められ、電波資源の拡大及び Beyond 5G/6G 時代の超大容量無線通信技術の実現に大きく寄与する成果を創出したものと評価できる。

(2) 今後の課題及び取組の方向性

本研究開発により、151.5～164GHz、209～226GHz、252～296GHz 等のテラヘルツ帯において、100Gbps 級の超大容量無線 LAN を実現するための MIMO 対応多素子アンテナモジュール技術、トランシーバ技術及びマルチ周波数協調動作技術を確立するとともに、実利用環境を想定した統合評価システムによる有効性を実証した。

今後は、本研究開発で得られた成果を実用化につなげるため、通信距離の更なる長距離化、端末及びアクセスポイントの小型化・低消費電力化、複数ユーザーが同時接続する環境での通信品質向上等に取り組む必要がある。また、実フィールドでの検証を通じて、工場、データセンター、医療、XR、自動運転等の大容量通信需要が見込まれる分野への適用可能性を検証し、社会実装を推進することが期待される。

国際展開の観点では、本研究開発で確立したテラヘルツ帯無線 LAN 関連技術について、IEEE 等における国際標準化活動への反映を進めるとともに、WRC における周波数利用に関する国際的な議論や制度整備にも貢献することが期待される。これにより、我が国が強みを有するテラヘルツ通信技術の国際競争力の維持・向上及び関連産業の創出・発展につなげることが期待される。

さらに、本研究開発で得られた電波伝搬特性、MIMO 伝送技術、ビーム制御技術及びマルチ周波数協調制御技術は、Beyond 5G/6G に向けたテラヘルツ帯通信システムの研究開発や、将来的な Tbps 級無線通信技術の実現に向けた基盤技術として活用されることが期待される。これらの成果を後継研究開発へ展開することで、新たな周波数帯の利用促進及び電波資源の拡大に貢献するものである。

5 評価に使用した資料等

○成長戦略フォローアップ（令和3年6月18日）

<https://www.cas.go.jp/jp/seisaku/seicho/pdf/fu2021.pdf>

○デジタル社会の実現に向けた重点計画（令和3年6月18日）

https://www.digital.go.jp/assets/contents/node/information/field_ref_resources/576be222-e4f3-494c-bf05-8a79ab17ef4d/210618_01_doc01.pdf

○インフラシステム輸出戦略（令和元年6月3日）

<https://www.cas.go.jp/jp/seisakukaigi/keikyou/dai43/siryou2.pdf>

○官民 ITS 構想・ロードマップ（令和3年6月15日 高度情報通信ネットワーク社会推進戦略本部・官民データ活用推進戦略会議）

https://www.digital.go.jp/assets/contents/node/basic_page/field_ref_resources/2b3315d1-5865-4712-99dd-84c54a396f9b/d2ddcc36/20231211_meeting_mobility-working-group_outline_09.pdf

○本研究開発については、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」に基づく評価を行っており、関連資料は、以下の URL に掲載されている。また、本研究開発については、研究開発終了後一定の期間を経過してから、研究開発の直接の成果（アウトプット）から生み出された効果・効用（アウトカム）や波及効果（インパクト）等を確認することは有益であるほか、研究開発施策等の評価の基礎的なデータを取得するため、学会や海外における評価や関連特許、技術移転等の実用化に関する状況を調査し、活用状況等を把握する追跡調査を実施することとしている。

<https://www.tele.soumu.go.jp/j/sys/fees/purpose/kenkyu/>