

令和 6 年度研究開発成果概要書

採 択 番 号 00301
 研究開発課題名 テラヘルツ帯を用いた Beyond 5G 超高速大容量通信を実現する無線通信技術の研究開発
 研究開発項目 1 テラヘルツ帯増幅器一体型アレイアンテナ技術の研究開発
 副 題 テラヘルツ波を用いたビーム制御通信システムの研究開発

(1) 研究開発の目的

室内空間において、ユーザーが必要とする大容量データを無線伝送する需要に向けて、従来のマイクロ波やミリ波では不可能な広い帯域を確保できる“テラヘルツ波”を用いたビーム制御通信システムの研究開発を実施する。テラヘルツ帯無線通信における電波の指向性を高めるため、化合物半導体を用いた高出力増幅器とアンテナを 3 次元異種集積によりアレイ化することで、300GHz 帯で動作する増幅器一体型アレイアンテナを開発し、ビーム制御を実現する。

(2) 研究開発期間

令和 3 年度から令和 6 年度（4 年間）

(3) 受託者

富士通株式会社＜代表研究者＞
 学校法人五島育英会 東京都市大学

(4) 研究開発予算（契約額）

令和 3 年度から令和 6 年度までの総額 972 百万円（令和 6 年度 180 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 テラヘルツ帯増幅器一体型アレイアンテナ技術の研究開発
 1-a) ビーム制御機能を有する増幅器一体型アレイアンテナ送信モジュールの研究開発（富士通）
 1-b) 300GHz 帯アレイアンテナの研究開発 （東京都市大学）
 1-c) 増幅器一体型アレイアンテナ送信モジュールを用いた伝送実験 （富士通）

(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	6	2
	外国出願	4	1
外部発表等	研究論文	3	3
	その他研究発表	50	23
	標準化提案・採択	2	0
	プレスリリース・報道	0	0
	展示会	9	3
	受賞・表彰	0	0

(7) 具体的な実施内容と最終成果

研究開発項目 1：テラヘルツ帯増幅器一体型アレイアンテナ技術の研究開発

1-a) ビーム制御機能を有する増幅器一体型アレイアンテナ送信モジュールの研究開発

高出力な化合物半導体デバイスを増幅器に用い、研究開発項目 1-b) で開発したアンテナと 3 次元でのアレイ化を実現するとともに、研究開発項目 1-c) において伝送速度：100Gbps、通信距離：3m を実現するために必要な増幅器の出力として、13dBm/素子を目標とする（16 素子のアンテナ/増幅器で EIRP：40dBm を想定）。以下に成果の概要をまとめる。

(1) モジュールの 3 次元化に向けたアンテナ選定

4×4 増幅器一体型アレイアンテナ送信モジュールを実現するため、研究開発項目 1-b) の検討結果を元にモジュールの 3 次元化に向けたアンテナ選定を行い、小型化と加工性の観点で優れる「八木-宇田型アンテナ」を選定した。

(2) 立体積層プロセスの検討

上記八木-宇田型アンテナを用いて 1×4 モジュールを作製した後、それらを 4 レイヤー積層する立体積層技術を開発し、4×4 アレイの 3 次元モジュールを実現した。

(3) 増幅器の高出力化

上記モジュールに搭載する増幅器を高出力化し、研究開発項目 1-c) において伝送速度：100Gbps、通信距離：3m を実現するために必要な増幅器の出力である 13dBm/素子を実現した。

1-b) 300GHz 帯アレイアンテナの研究開発

研究開発項目 1-a) のコンセプトに基づき、増幅器を実装する回路基板との一体化が可能で且つ、基板側面からの電波の水平放射を実現できるアンテナを開発するとともに、それらを立体積層した 4×4 アレイアンテナを設計し、利得 15dBi およびビームスキャン角度±30° を目標とする。以下に成果の概要をまとめる。

(1) 300GHz 帯アレイアンテナの利得の測定

モジュール化に適するプリント八木-宇田型アンテナ素子の 300GHz 帯での試作と反射特性および利得特性の測定評価を行い、研究開発項目 1-c) において伝送速度：100Gbps、通信距離：3m を実現するために必要なアンテナ利得である 5dBi/素子を実現した。

(2) 4×4 八木・宇田型アレイアンテナのビームスキャン特性の電磁界シミュレーション

開発したプリント八木-宇田型アンテナ素子を用いて 4×4 アレイアンテナの設計・シミュレーションを行った結果、ビームスキャン角度 30° において利得 19.7dBi が得られた。単体アンテナの実験における利得低下 (1.5dB/素子) を考慮しても、18.2dBi の利得が見込まれ、最終目標 (15dBi) を上回ることを確認した。

(3) 1×4 八木・宇田型アレイアンテナのビームスキャン特性の評価

ビームスキャン時の利得低下の低減を確認するために、位相差付き電力分配回路を設計した。ポリイミド基板で 300GHz 帯 1×4 八木・宇田型アレイアンテナを試作し、2 アンテナ法で利得を測定した。1 素子のアンテナの利得の測定値は線路損失を考慮すると約 5.4dBi であり、基板の誘電正接を 0.05 とした場合の計算値に近いことがわかった。30° ビームスキャン時においても正面ビームに対して 0.1dB しか利得が低下しないことをシミュレーションおよび実験で確認した。また、利得は実験による線路損失 (約 1.25dB/mm) および電力 4 分配器の損失 (約 5dB) を考慮すると約 12dBi となることを確認した。

1-c) 増幅器一体型アレイアンテナ送信モジュールを用いた伝送実験

研究開発項目 1-a) で開発した増幅器一体型アレイアンテナモジュールを用いて伝送実験を行い、マルチユーザーを想定した伝送速度：100Gbps、通信距離：3m を実証し、300GHz 帯のビーム制御技術が伝送速度の向上と通信エリア拡大の両立に有効であることを示す。以下に成果の概要をまとめる。

(1) 300GHz 帯アレイアンテナの利得の測定

伝送実験のコンセプトとして、基地局と複数の端末から構成される P-MP 構成の移動通信システムを想定し、25GHz の無線周波数帯域幅から、BW=2GHz の無線信号を最大 12 ビーム

(V/H 偏波多重により、24 ストリーム) 割り当てる仕様を検討し、1 ビーム、1 偏波構成にて伝送速度を評価する実験系を構築した(端末の移動によるアンテナ間隔は、1m~3m を想定)。

(2) 4×4 八木・宇田型アレイアンテナのビームスキャン特性の電磁界シミュレーション
構築した実験系にて、市販のアンテナ(23dBi)と増幅器(Psat: 5dBm)を用いて伝送速度を評価した結果、1 ビーム、1 偏波構成、通信距離 3m にて 4.4Gbps の伝送速度が得られ、24 ストリーム割り当てることで、セルスループットとして 106Gbps の伝送速度を実現できることを確認した。

(3) 1×4 八木・宇田型アレイアンテナのビームスキャン特性の評価

研究開発項目 1-a)、1-b)で開発した増幅器の出力(Psat: 16dBm)とアンテナ利得(5dBi)に加え、検討したレンズアンテナ(10dBi)を用いたビーム制御通信システムを新たに考案し、4×4 モジュールを想定してレベルダイヤ、リンクバジェットを検討した結果、1 ビーム、1 偏波構成、通信距離 3m にて 6.6Gbps の伝送速度が得られ、16 ストリーム割り当てることで、セルスループットとして 106Gbps の伝送速度を実現できる見込みを得た。

(8) 研究開発成果の展開・普及等に向けた計画・展望

B5G 実現に向けて、本研究開発で目標とした WPAN のみならず、研究開発項目 2, 3 とも連携して、多くのユースケースを含む形でテラヘルツ超高速・大容量無線通信の標準化に寄与すべく活動を行う。テラヘルツシステム応用推進協議会等への参加を通じて、将来技術の予測を行い、IEEE802.15.3d に向けたアクションを開始しており、今後、3GPP への提案も視野に入れ、活動を進めていく。大容量 WPAN 実現により、高精細動画やホログラムを始めとした高度の映像データを個々のユーザーに伝送可能となるなど、Society5.0 実現に向けた様々なユースケースでの利用が期待できる。また、テラヘルツ波という未利用の周波数帯で大容量通信を可能とすることで、6GHz 以下の周波数ひっ迫を緩和する効果も期待できる。