

＜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

1. 目的

我が国では、2020 年3月から移動体通信事業者によって、第5世代移動通信システム(5G)の商用サービスが開始された。5G 及びその後継となる移動通信システムは、これまでの人と人がコミュニケーションを行うことを想定したツールとしてだけでなく、生活基盤、更には産業・社会基盤となることが期待されている。5G は「超高速通信」、「超低遅延通信」、「多数同時接続」といった特長を有しているが、後継となる移動通信システムにもおいても、こうした特長は更に進化していくものと考えられ、その特性ゆえ、ありとあらゆるものがインターネットを通してつながる IoT(Internet of Things)時代における基盤として幅広く活用されることが期待されている。

IoT デバイスの規模と成長性を分野・産業別にみると、コネクテッドカー(通信機能の搭載された自動車)や、通信機能の搭載された工場オートメーション(FA)機器などの、産業機器における IoT 化は着実に進んでいる。ウェアラブル機器を使った健康管理や、人の目による管理や作業が困難な場所でのセンサーを使った保守・管理など、多様な用途が考えられている。まず先行する一般コンシューマ用途は数が 50 億以上と大きく、かつ今後も年率 10%前後の成長が見込まれる。次に IoT の成長の牽引役の一つとして産業用途は、いわゆる M2M(Machine to Machine)の普及に伴い大きく成長し、デバイス数は既に 30 億個に達しており、今後も引き続き拡大する用途の一つである。現在のところ、通信トラヒックは約 1.3 倍/年で増加しているものの、5G の普及期においては、先述の IoT 機器の爆発的な普及に伴い、通信トラヒ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行う。今までにない高い周波数帯を移動通信システムに活用するに当たって、高周波数帯の伝搬特性を考慮して移動通信システム(送受信装置)全体の最適化を図るための技術及び高出力の送信が可能となる半導体を用いたアンテナシステムを実現に向けた研究開発に取り組む。特に伝送距離の延伸化のためには、送信系統の高出力化が必要となることから、損失を局限するアンテナシステムの回路構成及び高周波数帯でも高出力送信が可能と見込まれる化合物半導体を用いた増幅器の出力の向上を実現する。

2. 政策的位置付け

- ・ 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。」旨の記載あり。

- ・ 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。」旨の記載あり。

- ・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。」旨の記載あり。

3. 目標

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う。

伝送距離を延伸化する手段として、送信系統にて大きな等価等方輻射電力(EIRP: Equivalent Isotropic Radiated Power)を実現することが挙げられる。この実現のための一つ目のアプローチとして、100GHz超帯における高出力送信が可能な送信系統の構築にて、アクティブフェーズドアレイアンテナ(APAA: Active Phased Array Antenna)を構築する際には、アンテナシステムを構成する回路による電力損失を極小化することが挙げられる。そこで、APAAを構成する素子アンテナと給電を行う増幅器を含むフロントエンド部の線路長を極小化できるアンテナオンチップ型のデバイスを実現する。複数のアンテナ一体型フロントエンドICにて、100GHz超帯で動作する100素子以上のAPAAを開発し、50dBm以上のEIRPを実現することを目指す。

また、EIRPを増大させる二つ目のアプローチとして、アンテナへ給電する電力増幅器の高出力化が挙げられる。そこでガリウムナイトライド(GaN)及びインジウムリン(InP)等の化合物半導体を用いた高出力増幅器を実現する。これら材料を用いたデバイスの高周波数化及び高耐圧化を実現するデバイス構造等を検討し、デバイスを生成するプロセス等の最適化を図ることで、100GHz超帯及び将来の高速伝送実現を視野に入れた300GHz帯で動作する電力増幅器を実現する。この電力増幅器は、100GHz超帯において10W以上、300GHz帯において100mW以上の出力の実現を目指す。また、100GHz超帯で動作する移相器及び周波数コンバータ等の機能有する集積回路を開発し、電力増幅器と組み合わせることで、ビームフォーミングを実現する。300GHz帯電力増幅器を実現することで、将来の高速伝送を可能にするデバイス技術を確立する。

100GHz超帯の周波数帯を移動通信システムに適用し、これまでにない長距離伝送を実現するために、無線システムと無線装置の構成を見直し、無線装置の各構成部品への性能配分を行うとともに、各通信諸元の最適化を行う。更に、100GHz超帯の屋内外

の基本伝送特性を把握し、前述の送信系統の高出力化に関する研究開発での検討内容を踏まえつつ、無線装置を構成することで、見通し内の伝送距離 100m 以上において、スループット 100Gbps を実現する技術を確立することを目標とする。更に見通し外の通信における通信伝送距離を評価し、伝送距離の延伸化について検討する。

4. 研究開発内容

(1) 概要

これまで報告されている 100GHz 超帯の無線通信では伝送距離が 10m 程度であり、移動通信システムへの活用する際には、広帯域伝送を確保しつつ更なる伝送距離の延伸化が望まれる。そこで、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う。移動通信システムにおいて、変調方式、多重方式、キャリア数などを検討することで、100GHz 超帯に適した移動通信システムを明らかにする。無線装置の実現に当たって、無線装置をなす各構成部品に対して、性能配分等の全体設計を行うと共に、シミュレーションにおいて、通信諸元等の最適パラメータを導出する。無線装置の設計に当たっては、後述の高周波数帯の送信系統に関する検討内容を考慮して行う。また、高周波数帯の実験用無線装置を用いて、屋内外において伝送実験を行い、基本伝送特性を把握し、無線装置を改良する。最終的に 100GHz 超帯において、見通し内外における伝送実験を行い、伝送距離及びスループットを評価する。

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う。アンテナオンチップ型のアンテナ一体型フロントエンド IC の実現に向けて、100GHz 超帯で動作する移相器、周波数コンバータ及び電力増幅器等から構成されるフロントエンド IC 及び素子アンテナ構造について検討する。さらに素子アンテナとフロントエンド IC の一体型構造に関して検討し、アンテナ一体型フロントエンド IC を試作・評価する。複数のアンテナ一体型フロントエンド IC を用いて APAA を構成して、100GHz 超帯でのビームフォーミングの実現を図る。最終的に、APAA の EIRP を評価する。

また、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う。今までにない高周波数及び高出力を兼ね揃えた化合物半導体からなるデバイスを開発するために、デバイスの高周波数化及び高耐圧化を実現するための構造及びデバイスを試作する製造プロセスを検討する。その後、化合物半導体デバイスを試作し、耐圧や高周波数特性等の電気特性を評価する。また、低損失な移相器及び周波数コンバータの機能を有する集積回路及び 100GHz 超帯及び 300GHz 帯で動作する電力増幅回路を設計・試作する。最後に、試作した電力増幅器の出力等の特

性を評価し、数素子程度のアレイアンテナからなるビームフォーミングの試験系を構築し、ビーム指向性制御に関する検証を行う。

(2) 技術課題及び到達目標

技術課題

ア 高周波数帯における無線システム構成技術

現在までに、100GHz 超帯の高周波数帯において、10m 程度の見通しでの無線伝送が可能であることが報告されている。高周波数帯を用いたこれまで以上の高速・大容量通信が可能な移動通信システムの社会実装のためには、更なるスループットの増大と伝送距離の延伸化が求められており、加えて、見通し外又は通信器材の周辺における電波環境（伝搬路周辺の電波反射物体の移動等）が変化する状況においても継続的な通信の確立が求められている。送信及び受信のフロントエンドの共通化を前提とした場合、送受信の両方のビーム制御及び受信系統の最適化を検討する必要がある。また、高周波数帯デバイスの使用帯域内の周波数特性のフラットネスさ及び高周波数帯の電波の強い直進性を考慮して最適な変調方式等を検討する必要がある。技術課題イ及びウの成果を利用しながら、これらの検討をすることで、100GHz 超帯の高周波数帯を送信するアンテナシステムだけで無く、変調方式、多重化方法及び受信系統を含めた無線システム全体を最適化することに課題がある。

イ アンテナ一体型フロントエンド IC 技術

これまで、ミリ波帯の APAA を構成する際の素子アンテナとフロントエンド部の接続に関する手法として、マルチチップモジュール (Multi-chip Module) により集積化する方法、素子アンテナと MMIC (Monolithic Microwave Integrated Circuit) を多層基板により一体化する方法 (FOWLP (Fan Out Wafer Level Package) / AiP (Antenna in Package)) 等が開発されている。高周波数帯の損失を極小化するためには、回路の線路長を可能な限り短くすることが求められており、既存の方法より更に線路長を極小化することが必要となる。また、100GHz 超帯の高周波数帯を使用する場合において、準ミリ波帯（例えば、28GHz 帯、39GHz 帯）と比較して素子アンテナを密に配置する必要があることから、素子アンテナとフロントエンド IC 等のダウンサイジングが求められている。これらを実現する低損失な実装手法であるアンテナオンチップ構造を実現するために、素子アンテナとフロントエンド IC を一体化する技術が課題となる。

ウ 高出力送信を可能とする化合物系半導体技術

電波を送信する際の半導体の電力増幅器の出力は高周波化に伴い低下するが、GaN 及び InP 等の化合物半導体は、高周波数帯での高出力化が可能な材料として期待されている。これまでも化合物半導体を用いた 100GHz 超帯の増幅器の出力に関して報告がなされているが、移動通信システムの通信伝達距離の延伸化の

ためには、電力増幅器の更なる高出力化が必要である。高出力化の実現のためには、GaN 系デバイスの高周波化及び InP 系デバイスの高耐圧化による高出力増幅器の実現が課題となる。なお、増幅器の実用化のためには消費電力に関わる電力効率も考慮する必要がある、出力と効率の両立が求められる。また、APAA は電力増幅器の他、移相器等の機能を有する集積回路で構成される。移相器には、高速通信に向けた広帯域性能実現のため、高周波、広帯域、高分解能の全てを満たす性能が求められる。さらに、この機能を有する集積回路によって構成されるモジュールの低損失実装の実現が課題となる。

到達目標

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、技術課題イ及びウの検討内容を反映した評価装置を試作する。同装置を用いて、見通し内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する。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する。

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する。技術課題ウの 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 を実現する。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 EIRP を実現する。

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する。また、APAA に関しては技術課題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する。

<令和 3 年度>

ア 高周波数帯における無線システム構成技術

- ・ 技術課題イ及びウの検討内容を踏まえつつ、スループット 100Gbps を実現可能な無線システムについて、各構成品の性能配分及び基本設計を行う。
- ・ 100GHz 超の伝搬特性の文献調査をするとともに、技術課題イ及びウの検

討内容を含めたシミュレーションによる伝送評価を行い、見通し内の伝送距離 100m においてスループット 100Gbps を実現するための通信諸元等の最適なパラメータを導出する。

イ アンテナ一体型フロントエンド IC 技術

- ・ 移相器、周波数コンバータ、電力増幅器などの単体機能回路の設計、試作及び評価を行う。
- ・ 技術課題アの検討内容を含めたアンテナ一体型フロントエンド IC の実現のためのアンテナの構造、アンテナ一体型フロントエンド IC を複数搭載するモジュールの構造の基本設計を行う。

ウ 高出力送信を可能とする化合物系半導体技術

- ・ 化合物半導体電力増幅器の高周波数化・高耐圧化を実現するためのデバイスの要素技術を開発する。
- ・ 技術課題アの検討内容を含めた 100GHz 超帯及び 300GHz 帯の電力増幅器を試作するプロセスを検討し、試作環境を構築するとともに、デバイスの評価環境を構築する。

<令和 4 年度>

ア 高周波数帯における無線システム構成技術

- ・ 技術課題イ及びウの検討内容を用いた実験用無線装置を試作する。
- ・ スループット 100Gbps に向けた屋内伝送実験による評価として、屋内環境の伝送特性を把握する。

イ アンテナ一体型フロントエンド IC 技術

- ・ 令和 3 年度に試作・評価した単体機能回路を集積化したフロントエンド IC の設計、試作及び評価を行う。
- ・ 令和 3 年度に基本設計を行ったアンテナ構造、モジュール構造の部分試作を行い、性能を評価する。

ウ 高出力送信を可能とする化合物系半導体技術

- ・ 電力増幅器に用いる化合物半導体デバイスの試作を行い、耐圧及び高周波特性などの電気特性を評価する。
- ・ 100GHz 超帯及び 300GHz 帯電力増幅回路の設計・部分試作・評価を行う。
- ・ 電力増幅器、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の設計・試作・評価を行う。

＜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

- ・ 技術課題イ及びウの検討内容を利用した屋内及び屋外伝送実験による無線装置の性能評価を行う。また、無線装置の実用化に向けた技術課題を明らかにする。
- ・ 見通し内外において 100GHz 超帯を用いた移動通信システムの伝送実験及びその評価を行い、伝送特性を把握する。
- ・ 見通し内の伝送実験において、通信距離 100m においてスループット 100Gbps を可能にする技術を実現する。将来の実用化に向けた技術課題を明らかにする。
- ・ 見通し外の伝送実験において、通信距離 100m においてスループット 100Gbps を可能にする技術課題を明らかにする。

イ アンテナ一体型フロントエンド IC 技術

- ・ 令和４年度に試作・評価した単体機能回路を集積化した IC に、さらにアンテナを集積化し、ビーム制御を実現するアンテナ一体型フロントエンド IC の設計、試作及び評価を行う。
- ・ アンテナ一体型フロントエンド IC を複数搭載したモジュールの設計、試作・評価を行い、100GHz 超帯で実効等方輻射電力が 50dBm 以上の 100 素子以上のフェーズドアレイ送信機を実現する。
- ・ 技術課題アにおける評価結果を基に、アンテナ一体型フロントエンド IC 及びそれを複数用いたモジュールの実用化に向けた課題を明らかにする。

ウ 高出力送信を可能とする化合物系半導体技術

- ・ 令和４年度に開発したデバイスを改良して、電力増幅器の最終試作・評価を行い、同増幅器で 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%以上の性能を実現する。
- ・ 100GHz 超帯電力増幅器モジュールを用いて、数素子程度のアレイアンテナからなるビームフォーミングの試験系を構築し、ビーム指向性制御の実験検証を行う。
- ・ 技術課題アにおける評価結果を基に、電力増幅器モジュールを搭載したシステムの実用化に向けた課題を明らかにする。

5. 実施期間

令和３年度から５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

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及び終了後、速やかに関連する国際標準化規格・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・団体及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」及び令和 10 年度までの実用化・製品展開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。

(2) 提案及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、従来の技術との差異を明確にした上で、技術課題及び目標達成に向けた研究方法、実施計画及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。

なお、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。

以上