

<基本計画書>

5G の普及・展開のための基盤技術に関する研究開発

1. 目的

我が国の移動通信トラヒックは、LTE 等のモバイルブロードバンドサービスの加入数の増加や高精細映像配信サービス等の普及により、年間約 1.3 倍と爆発的な増加が続いている。今後もモバイル環境での 4K/8K 視聴など高精細動画の伝送需要の増大や、モバイルとクラウド・コンピューティングサービスとの連携拡大等により、移動通信トラヒックの更なる増加が見込まれている。

現在、超高速化・大容量化等を実現する第 5 世代移動通信システム (5G) の 2020 年の実現に向け、超高速通信実現に必要となる超広帯域を確保できる高 SHF 帯 (主要国で検討されている 28GHz 帯) 等を活用し、無線技術を中心とした研究開発や具体的なアプリケーションを想定した実証試験が進められている。しかし、2023 年頃の 5G を活用したサービスの本格的な普及・展開には、高 SHF 帯 (6GHz 以上) や EHF 帯 (30GHz 以上) を活用した基地局を街灯、ビルの壁面等への柔軟な設置を実現する必要があり、基地局の低消費電力化・小型軽量化を実現する基地局構成技術の確立が求められている。また、高 SHF 帯、EHF 帯は電波の特性から直進性が強く、減衰が大きいいため、特定の方向に指向性を持たせるビームフォーミング技術を用いることが期待されている。ビームフォーミングの適用により、カバレッジの拡大、複数ユーザとの同時通信によるセル容量の拡大等を実現できるものの、高速移動する端末に適切に追従する機能が不可欠である。

本研究開発では、「高 SHF 帯」及び「EHF 帯」の高周波数帯 (以下、「ミリ波帯」という。) において、基地局の低消費電力化・小型化を実現する基地局構成技術や高速移動体向けミリ波帯基地局連携技術を確立し、周波数の効率的な利用を促進するとともに、高い周波数帯への移行を加速させる。

2. 政策的位置付け

・ 未来投資戦略 2017 (平成 29 年 6 月 9 日 閣議決定)

「第 2 具体的政策 II Society 5.0 に向けた横割課題 A. 価値の源泉の創出 1. データ利活用基盤の構築 (2) 新たに講ずべき具体的施策 vii) 第 5 世代移動通信システム (5G) 等の情報通信基盤の活用」において、「自動走行等の社会実装に寄与する情報通信基盤整備のため、超高速、多数接続、超低遅延が可能となる第 5 世代移動通信システム (5G) の 2020 年までのサービス開始に向けた取組等を推進する。本年夏に、周波数確保に向けた基本戦略を取りまとめ、技術的条件や周波数確保の検討を加速する。あわせて、本年度以降、交通などの分野で具体的な利活用を想定した総合的な実証試験を、地方都市を含めた試験場所において実施するとともに、国際標準化活動への参画や電波利用環境の整備を積極的に推進す

る。」旨、記載されている。

・新しい経済政策パッケージ（平成 29 年 12 月 8 日閣議決定）

「第 3 章 生産性革命 3. Society 5.0 の社会実装と破壊的イノベーションによる生産性革命 (4) Society 5.0 のインフラ整備 ①通信インフラの強化 ii) 第 5 世代移動通信システム (5G) の実現・活用 - 超高速・大容量・多数接続・超低遅延の通信を可能とする 5G について、2020 年を目途に、世界に先駆けて実現し、自動走行などの具体的な用途を開拓しつつ、地方への普及展開を一気に進める。」旨、記載されている。

3. 目標

本研究開発は、2023 年頃の 5G を活用したサービスの本格的な普及・展開に向けて、街灯、ビルの壁面等への柔軟な基地局展開を行うため、基地局の低消費電力化・小型化を実現するミリ波帯基地局構成技術や、高速移動に対して追従可能なビーム制御や高速かつ安定したセル間のビーム切り替えを実現する高速移動体向けミリ波帯基地局連携技術を確立するものである。これにより高周波アンプでの帯域内消費電力を削減し、基地局の小型化に貢献するとともに、高速移動体で高速伝送を実現することで、周波数の効率的な利用や高い周波数の利用を加速させることを目標とする。

ア 基地局の低消費電力化・小型化を実現するミリ波帯基地局構成技術

28GHz 帯等の高 SHF 帯において、1GHz 幅程度の広帯域全体について効率 20%以上の信号増幅を可能とし、実用化済みの移動体基地局用高周波アンプと比較して、消費電力の 1/3 の削減、高周波アンプサイズ 1/3 化による基地局サイズ 1/3 化を実現する。

また、70GHz 帯等の EHF 帯において、従来の基地局用高周波アンプと比べて熱抵抗を 30%削減し、1km 程度のカバレッジに必要となる出力を可能とする EHF 帯基地局用結晶・デバイス技術を実現する。

イ 高速移動体向けミリ波帯基地局連携技術

28GHz、39GHz 帯等のミリ波帯を用いる時速 90km 以上の高速移動体において、例えば、将来の数百 Mbps を超える映像コンテンツを 10 以上同時に安定して通信できる 4Gbps の高速データ通信の提供を可能とするために、周波数帯域幅 1GHz 程度における高能率な変調符号化方式及び複数ストリームの空間多重を通信に適用できる技術を確立し、端末あたり 4 ビット/秒/Hz の周波数利用効率(同時収容端末数を 2 以上とする)を実現する。

4. 研究開発内容

(1) 概要

ミリ波を活用したスモールセル基地局の電柱や街灯といった場所への柔軟な展開を行うため、基地局の低消費電力化・高効率化・小型化を実現するミリ波帯基地局構成技術や、高速移動体に対して追従可能なビーム制御や高速かつ安定したセル間のビーム切り替えを実現する高速移動体向けミリ波帯基地局連携技術の研究開発を行う。

ア 基地局の低消費電力化・小型化を実現するミリ波帯基地局構成技術

街灯やビルの壁面等への柔軟な基地局配置を可能とする 5G 基地局用高周波アンプに適用する半導体デバイス技術の開発。

イ 高速移動体向けミリ波帯基地局連携技術

鉄道や自動車等の移動体に搭載あるいは持ち込んだ 5G 移動局が時速 90km 以上の高速移動時においてもミリ波帯基地局との間において安定した高速データ通信を実現するための 5G 無線アクセス（又は無線エントランス）技術の確立。

(2) 技術課題および到達目標

技術課題

ア 基地局の低消費電力化・小型化を実現するミリ波帯基地局構成技術

(a) 高 SHF 帯 5G 基地局の普及・展開に向けたデバイス・回路技術の研究開発

アンテナ素子数について、4 素子程度を用いる 4G と比べ、5G では 256 素子以上の利用が検討されている。このため、既存の高 SHF 帯基地局用の高周波アンプを 5G 基地局に用いた場合、実装方法にもよるが、例えば、アンプサイズは約 6 倍となり、消費電力の増大による冷却部の肥大化も含め、基地局サイズは既存の 4G 基地局の 3 倍以上になる見込みである。このため、2023 年頃の 5G を活用したサービスの本格的な普及・展開に向けて、既に街灯や壁面へ設置されている 4G 用の基地局よりも低消費電力化・小型軽量化を実現する基地局構成技術が求められている。

高周波アンプの小型・高効率化を実現する手法として、トランジスタと高周波回路を半導体チップ上に集積化する技術（MMIC: Microwave Monolithic IC）が用いられているが、GaAs デバイスでは、高 SHF 帯基地局用途として十分な出力が得られないことが従前の課題となっている。また、SiC 基板上の GaN デバイスでは、元来 MMIC を適用することが困難であることに加え、消費電力が高く、ITU において IMT-2020（いわゆる 5G）の要求条件として規定されている最大帯域幅 1GHz とした広帯域全体について、高効率化が難しいという課題がある。

本研究開発では、高周波回路を集積化するアンプモジュール技術を確立することで、単一の高周波アンプによって上記課題を解決し、高 SHF 帯における 1GHz 幅程度の広帯域全体を 20%以上の効率で信号増幅する基地局構成技術を開発する。

(b) EHF 帯 5G 基地局の普及・展開に向けた基板・結晶技術の研究開発

EHF 帯については、2016 年 7 月、米国 FCC は 64-71GHz 帯を 5G 用に開放することを発表した。また、ITU においても、2019 年の WRC-19 に向けて、86GHz 以下の周波数帯について、IMT 用への特定に向けた検討が進められている。これら 70GHz 帯等の EHF 帯 5G のユースケースとしては、現時点ではラストワンマイルの通信容量確保、将来的にはマイクロセルとしての運用等が検討されており、4G と同等のカバレッジを可能とする高出力な EHF 帯 5G 基地局の実現が期待されている。

高 SHF 帯基地局用に集積化・小型化したアンプをより高い周波数で動作させようとした場合、高 SHF 帯に向けて設計されたデバイス性能では、効率・性能が劣化する。このため、十分な出力を持つ EHF 帯基地局の実現には、数 W/mm の高出力動作を可能にする電流密度・耐圧をもちうる半導体材料において、高速動作に必要な微細ゲート構造を可能にする結晶構造成長技術を確立する必要がある。さらに、動作周波数の増加に伴い、動作波長の縮小による集積回路面積の縮小、さらに回路の効率低下による発熱により、デバイスの熱抵抗に対する要求が厳しくなる。そこで、数 W/mm の高出力動作を可能にする半導体材料系において高品位の結晶性を保ちつつ熱抵抗低減技術を確立する必要がある。

本研究開発では、基地局アンプ用デバイスの高速・高出力化を可能とする半導体結晶構造を、絶縁特性や放熱特性に優れた基板上へ直接成長により作製する技術を確立する。さらに、半導体結晶を剥離により薄化し所望の基板上に転写する基盤技術を確立することにより、従来のデバイスと比べて熱抵抗を低減し、十分なカバレッジ確保に向け高出力動作が可能な EHF 帯基地局用デバイス技術を開発する。

イ 高速移動体向けミリ波帯基地局連携技術

5G によって、国民生活に不可欠な移動手段である鉄道の乗車時等においても容易に利用できる高速データ通信を提供可能とすることで、地域格差の無い高度情報化社会の実現に寄与することが求められている。米国、韓国等の主要国においても、高速移動時に 28GHz 帯、39GHz 帯等を用いて、Gbps オーダーの高速データ通信の実現を目標に検討が進められている。都市部から郊外地域に至るまで広範囲に鉄道等の交通網が発達した我が国においても、これまでの 5G 実証試験を踏まえて、高速移動時で数百 Mbps を超える映像コンテンツを 10 以上同時に安定して通信できる 4Gbps の高速データ通信の実現などが求められている。

高い周波数帯での活用が検討されているビームフォーミング技術を用いた場合、端末の方向に正確にビームを向けることが必要となるが、特に、高速移動体への追従性の確保やセル間の円滑なビーム切り替えを実現することが課題となっている。また、セル間の連携を強化するために光張出し構成によりセル間協調制御機能を適用しようとする、光伝送帯域幅の占有が増大することが課題となっている。このため、ITU において IMT-2020 (いわゆる 5G) の要求条件として規

定されている周波数利用効率^{*}についても、高速移動時には条件が緩和されているが、高速移動中も含めて 5G 利用を拡大するためには、上記課題の解決を通してさらなる周波数利用効率の向上が求められている。

本研究開発では、高速移動体に対応したビーム追従や、セル間の円滑なビーム切り替えを実現するための、ビーム制御技術やセル間協調制御技術の開発を行う。

※Report ITU-R M. 2410 において規定される要求条件

最高周波数利用効率	30 ビット/秒/Hz (下り)	15 ビット/秒/Hz (上り)
移動性能	1.12 ビット/秒/Hz (30km/h)	0.8 ビット/秒/Hz (120km/h)

到達目標

ア 基地局の低消費電力化・小型化を実現するミリ波帯基地局構成技術

(a) 高 SHF 帯 5G 基地局の普及・展開に向けたデバイス・回路技術の研究開発

- ・ 6 インチ等の大口径基板上に高密度に微細ゲート加工トランジスタを作製するための基地局用デバイス製造技術

- ・ 高周波回路を集積化するためのアンプモジュール技術

上記の技術を確立し、28GHz 帯等の高 SHF 帯において、1GHz 幅程度の広帯域全体について効率 20%以上の信号増幅を可能とし、実用化済みの移動体基地局用高周波アンプと比べて消費電力の 1/3 の削減、高周波アンプサイズ 1/3 化による基地局サイズ 1/3 化を実現する。

(b) EHF 帯 5G 基地局の普及・展開に向けた基板・結晶技術の研究開発

- ・ 50nm 以下のゲート長においても性能劣化しない高電子移動度トランジスタを作製するための構造設計・結晶成長技術

- ・ 数 W/mm の高出力動作を可能にする半導体材料系においても熱抵抗の削減を可能にする高品位結晶技術

上記の技術を確立し、70GHz 帯等の EHF 帯において、従来の基地局用高周波アンプと比べて熱抵抗を 30%削減し、1km 程度のカバレッジに必要となる出力を可能とする EHF 帯基地局用結晶・デバイス技術を実現する。

イ 高速移動体向けミリ波帯基地局連携技術

- ・ ベースバンド集約装置において効率的にビーム探索を行い、高速移動体への追従性能を向上するビーム制御技術

- ・ ベースバンド集約装置に接続する複数の超多素子アンテナ間を高速に切り替えるセル間ビーム切替え技術

- ・ 複数のベースバンド集約装置が接続されているセル間協調制御装置において、安定したセル移行（ハンドオーバ）を実現するセル間協調制御技術

- ・ セル間協調制御装置の機能の一部をベースバンド集約装置へ移すことで光伝送帯域幅を低減しつつ、追従性能をほぼ同等水準で維持できる機能分離技術

上記の技術を確立し組み合わせることで、28GHz、39GHz 帯等のミリ波帯を用いる時速90km以上の高速移動体において、周波数帯域幅1GHz程度を前提に端末あたり4ビット/秒/Hzの周波数利用効率(同時に基地局とデータ伝送を行う端末数を2以上とする)を実現する。

なお、上記の目標を達成するに当たっての年度毎の目標については、以下の例を想定しているが、提案する研究計画に合わせて適宜設定して良いこととする。

<平成30年度>

ア 基地局の低消費電力化・小型化を実現するミリ波帯基地局構成技術

- ・ 6インチ等の大口径基板上における高SHF帯5G基地局用の微細ゲート加工デバイスの基本設計、試作による性能評価
- ・ EHF帯5G基地局用デバイスの基板・結晶成長技術の検討、ゲート微細化を含むプロセス技術の検討、構造設計、試作による性能評価
- ・ 数W/mmの高出力動作を可能にする半導体材料系における、薄化高品位結晶基板の剥離手法の検討、試作による性能評価
- ・ 薄化高品位結晶基板と熱伝導性に優れた基板との接合技術の検討、シミュレーション評価

イ 高速移動体向けミリ波帯基地局連携技術

- ・ 超多素子アンテナ及びベースバンド集約装置、移動局装置の開発、屋内実験による基本性能評価
- ・ 高速移動に追従可能なビーム制御アルゴリズム及びセル間ビーム切り替えアルゴリズムの検討、シミュレーション評価
- ・ セル間協調制御アルゴリズムの基本検討、シミュレーション評価

<平成31年度>

ア 基地局の低消費電力化・小型化を実現するミリ波帯基地局構成技術

- ・ 6インチ等の大口径基板上での高SHF帯5G基地局用の微細ゲート加工デバイスの改良、MMICアンプモジュールの基本設計
- ・ EHF帯5G基地局用デバイスの基板・結晶成長技術及びプロセス技術の改良、試作による性能評価
- ・ 薄化高品位結晶基板と熱伝導性に優れた基板を用いた転写法による高品位結晶技術の検討、試作による性能評価

イ 高速移動体向けミリ波帯基地局連携技術

- ・ 超多素子アンテナ及び移動局装置の改良
- ・ ビーム制御アルゴリズム及びセル間ビーム切り替えアルゴリズムのベースバンド集約装置への実装

- ・ 屋外実験による基本性能評価
- ・ セル間協調制御アルゴリズムの検討、シミュレーション評価、同アルゴリズムを実装したセル間協調制御装置の開発

<平成 32 年度>

ア 基地局の低消費電力化・小型化を実現するミリ波帯基地局構成技術

- ・ 高 SHF 帯 5G 基地局用 MMIC アンプモジュールの試作による性能評価
- ・ 結晶成長技術及びプロセス技術を用いた EHF 帯 5G 基地局用デバイスの試作、性能評価
- ・ 高品位結晶技術の改良、性能評価

イ 高速移動体向けミリ波帯基地局連携技術

- ・ 超多素子アンテナ、ベースバンド集約装置、セル間協調制御装置、移動局装置を用いた屋外実験による総合評価
- ・ 屋外実験に基づいた各種アルゴリズムの最適化・改良

5. 実施期間

平成 30 年度から 32 年度までの最大 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」及び平成 37 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) 提案および研究開発に当たっての留意点

提案に当たっては、想定される 5G の利活用シーンを考慮しつつ、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（海外の研究開発プロジェクト等との連携を想定する場合も含む）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。