

# 令和5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5年8月

## 1 政策（研究開発名称）

第5世代移動通信システムの更なる高度化に向けた研究開発

## 2 研究開発の概要等

### （1）研究開発の概要

#### ・実施期間

令和元年度～令和4年度（4か年）

#### ・実施主体

民間企業、大学、国立研究開発法人等

#### ・総事業費

4,691百万円

令和元年度	令和2年度	令和3年度	令和4年度	総額
1,212百万円	1,168百万円	1,201百万円	1,110百万円	4,691百万円

#### ・概要

第5世代移動通信システム（5G）の更なる高度化を行うことで、利活用分野をさらに拡大し、我が国の新産業の創出や社会課題の解決をより一層促進し、高度5Gネットワークを2025年頃に実現するために、以下の要求条件の達成に必要な技術の確立を行った。

#### ① ネットワーク全体のエネルギー効率向上（通信量あたり従来より数倍）

ミリ波帯における伝搬損失を補い、広いカバレッジを実現するためにはフェーズドアレイ無線技術が必要である。一方、周波数が高いほど回路のエネルギー効率が低下し消費電力の増大や、フェーズドアレイではアンテナ素子毎に回路を必要とするため、回路構成が複雑となり、無線機のコストが増加するという課題がある。また、ミリ波を活用する無線基地局に収容される端末台数が増えるに連れ、送信時や端末移動時のオーバーヘッドが増加し消費電力量が増加する課題が存在する。これらを解決するために、ミリ波帯の高エネルギー効率を実現するフェーズドアレイ無線技術や通信制御技術の確立を図った。（課題イ）

#### ② 信頼性向上（常時複数のネットワークと接続）

ミリ波帯のその電波伝搬特性から基地局1台でカバーできるエリアは小さく、電波直進性から遮蔽による通信品質の劣化が発生すると考えられる。また、5Gの社会実装が進むと、例えば超高速かつ超低遅延のように、5Gでの超高速、大容量、超低遅延、低エラー率といった性質の組み合わせが必要な、多様なサービス要求が発生すると考えられる。このような環境下における、多様なサービスを高信頼に収容可能な、高度5Gネットワークを実現するため、通信性能の向上のみならず、大容量、超低遅延、超多接続を組み合わせる高信頼な通信サービスを実現する、適応的な無線アクセス網(RAN)の制御技術、ミリ波帯を対象にした遮蔽予測技術や無線通信方式の確立を図った。（課題ア）

#### ③ 高い周波数の利用（40, 70, 90GHz帯等）

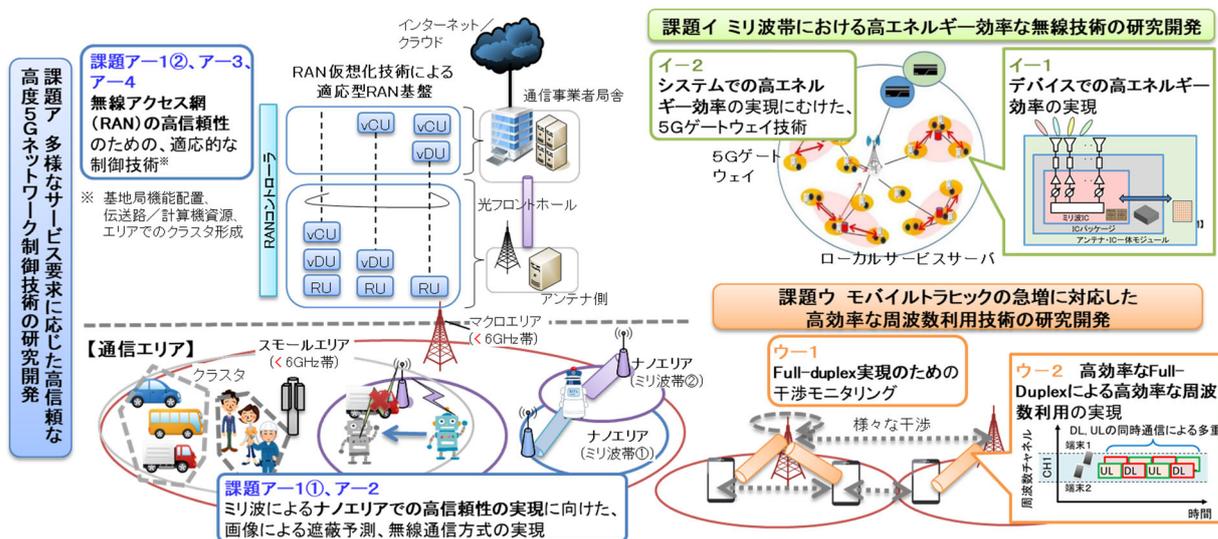
5Gの高度化において、様々な要求のある多量の通信を収容するためには通信容量を増大させる必要がある。必要となる広い周波数帯域幅を確保するためには、高い周波数であるミリ波帯の活用は必須となる。本研究開発では、28GHz帯、39GHz帯、60GHz帯の移動体通信技術での活用、及び79GHz帯におけるレーダー技術の活用を行った。

（課題ア、課題イ、課題ウ）

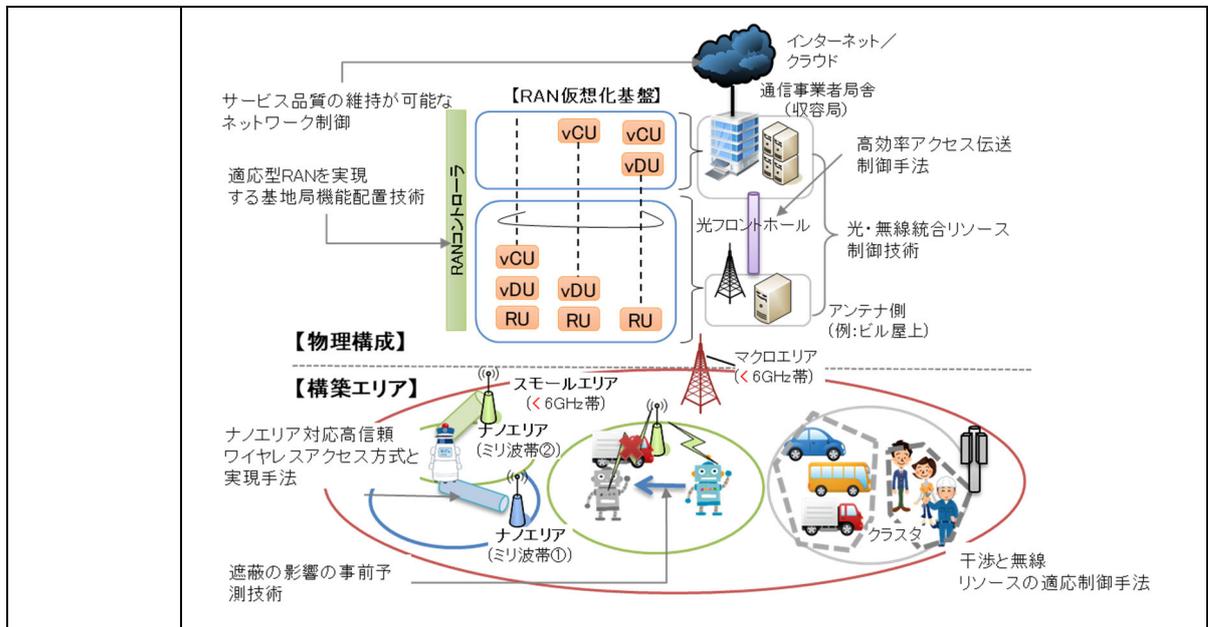
#### ④ 周波数利用効率の向上（従来より2倍）

高い周波数のみならず、高SHF帯以下の5Gにおいてもモバイルトラフィックの急増に対応し

た高効率な周波数利用技術として帯域内全二重通信 (Full-Duplex) の実現が期待される。送受信に同一周波数を使用するため、自己干渉や端末間の干渉が発生するという課題があり、複数の端末から空間に発射される電波の干渉状況を事前に把握することが必要である。この課題を解決し、周波数利用効率を向上させるために、無線通信干渉モニタリング技術を研究開発し、干渉の影響が少ない周波数・時間スロットにおいて送受信を同時に行う Full-Duplex セルラーシステム制御技術、及び同一周波数・時間スロットで送受信を同時に行う Full-Duplex セルラーシステムを実現するための、干渉モニタリング技術と制御技術の確立を図った。(課題ウ)



技術の種類	技術の概要
多様なサービス要求に応じた高信頼な高度5Gネットワーク制御技術	<p>2018年度比でトラフィックが5倍に大容量化しても、通信品質を95%以上担保し、通信の継続率を99%以上確保することが可能な、安定した通信を実現し、高信頼なサービス提供が可能となるよう、次に示す技術等を実現した。</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>高い周波数であるミリ波(28GHz帯)を活用して通信の継続を実現するための、遮蔽の影響を予測する手法と予測に基づきロバストにビームの切り替えを行うトラフィック量が多い通信向けの無線通信方式、低遅延・多接続のIoT向けの無線通信方式、及びそれらの実機での実現手法</li> <li>トラフィック量が大容量化した場合でも通信品質を確保するための、仮想化RAN技術を用いた適応型RANの実現。その実現に向けた、トラフィック種別の把握手法、及びそれに基づくRAN全体の基地局機能配置等の通信品質確保のための制御手法。また、大量のトラフィック収容のための光フロントホールの効率化手法、及び干渉と無線リソースの適応的な制御柔軟な適応制御手法</li> </ul>



高エネルギー効率を実現するために、高い周波数であるミリ波帯の活用で重要なフェーズドアレイ無線のデバイスにおける電力効率を従来比で2倍向上させ、さらに、収容端末数の増加に従って生じる無線切り替え等の制御オーバーヘッドに起因する消費電力増を解決し、システムの電力効率を従来比3倍向上させるために、次に示す技術等を実現した。

- エネルギー効率が低下する高い周波数である39GHz帯、かつ多数のアンテナ素子を含む複雑な回路でも高い電力効率を達成できる、IC・パッケージ・モジュールの設計手法
- 60GHz帯を用いたワイヤレスバックホールを活用し、79GHz帯のミリ波レーダーを用いて端末経路、無線品質を高精度に予測して、無線切替用制御信号の送信対象と送信タイミングを絞り込むことで、制御のオーバーヘッドを減らしてシステムの電力効率を向上させる通信制御手法

**ミリ波帯における高エネルギー効率な無線技術**

**デバイス技術**

- パワーアンプ高効率化、パッケージ・IC-アンテナ間ロス低減で、効率2倍
- 無線アクセス/フロントホール/バックホール装置へ適用

**システム技術**

- ローカルエリアで頻繁に発生する大容量トラフィックを、高い電力効率で収容
- 60GHz帯を活用したワイヤレスバックホールネットワークにて、3倍の電力効率<sup>(式1)</sup>を実現

電力効率 =  $\frac{\text{端末が送受信する総データ量}}{\text{端末及びネットワークが消費する電力量}} \dots (式1)$

5G-GWネットワークに3つの技術を組み合わせ

↑ 3倍

コア連携技術  
トラフィック電源制御

多段接続技術  
グループング経路制御

端末収容技術  
品質予測送信制御

5G-GWオーバーレイ

コンピューティング バックホール回線

コアNW

5G-GW

LSサーバ

マクロセル

スモールセル

マイクロセル

端末

アクセス回線

IC-アンテナ間の効率1.4倍以上

パッケージの損失70%以下

パワーアンプの効率1.4倍以上

協調設計

ミリ波IC

ICパッケージ

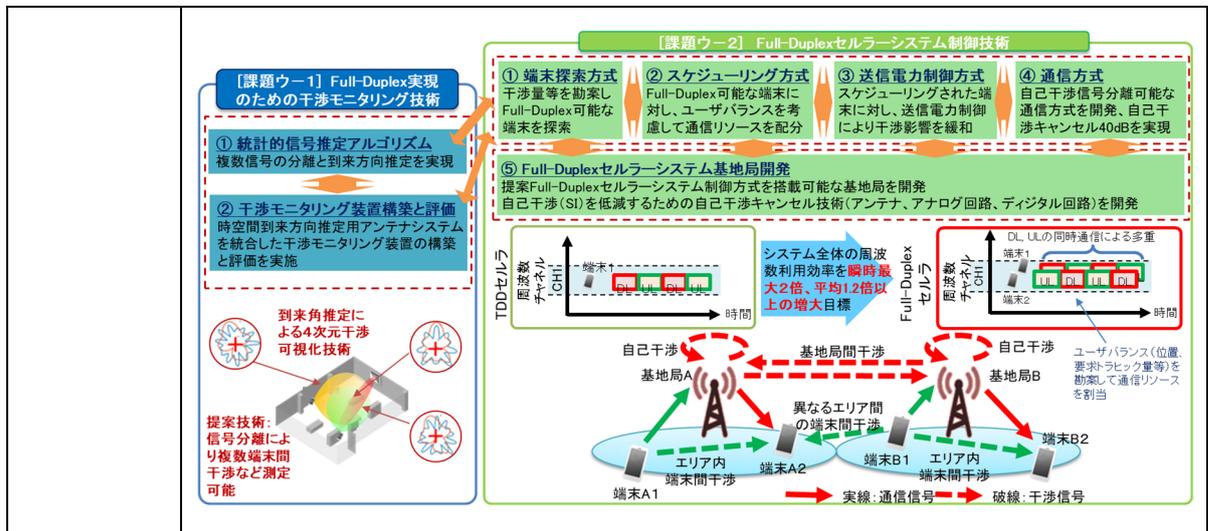
アンテナ・IC一体モジュール

端末収容率2倍向上

モバイルトラフィックの急増に対応した高効率な周波数利用技術

同じ周波数を送信と受信で同時に使用する Full-Duplex により、周波数利用効率を瞬時的に現状の最大2倍、平均1.2倍以上向上させるために、次の技術等を実現した。

- 干渉信号の到来方向を高精度に推定する、高い周波数である28GHz帯を含めた干渉モニタリング手法
- Full-Duplexを実現するための、端末探索、スケジューリング、電力制御等の制御手法
- 干渉信号を抑圧するデジタル自己干渉キャンセリング手法、アナログ自己干渉キャンセリング手法、アンテナ



・スケジュール

技術の種類	令和元年度	令和2年度	令和3年度	令和4年度
ミリ波帯における高エネルギー効率な無線技術	方式検討	実装評価	評価改良	実証実験
多様なサービス要求に応じた高信頼な高度5Gネットワーク制御技術	方式検討	方式改良	実用検討、実装	統合実証実験
モバイルトラヒックの急増に対応した高効率な周波数利用技術	基本設計	二次設計	試作評価	総合システム試作評価

(2) 達成目標

5Gは、我が国の社会・経済を支える基盤技術として広く普及することが想定される。3Gや4Gは、10年よりも短い周期で持続的に進化しており、5Gについても利活用分野の更なる拡大など高まり続けるニーズに対応するためには、早くから5Gの更なる高度化に取り組むことが必要である。そこで、5Gを高度化する本研究開発の下線で示す達成目標及びそれを実現するために確立すべき技術等を次に示す。

- 高い周波数の活用による周波数帯域の確保に向けた、ミリ波帯(28GHz帯、39GHz帯、60GHz帯)を利用する無線通信方式、パワーアンプ及びアンテナデバイス、無線システム切り替え技術、Full-Duplex向けの無線モニタリング技術の確立。加えて、無線システム切り替え技術に適用するための79GHz帯レーダーを用いた端末経路予測技術の確立。
- 高エネルギー効率の実現に向けた、ミリ波帯におけるフェーズドアレイ無線のデバイスや、複数の無線システム切り替え技術の確立
- 高信頼性の実現に向けた、トラヒックが2018年比5倍においても、通信品質の95%以上、通信継続率99%以上にするための無線アクセス網(RAN)の制御技術や無線通信方式の確立
- 20Gbpsを安定的に超える超高速通信の実現に向けた、ミリ波帯におけるフェーズドアレイ無線のデバイスや、トラヒックを収容するための光フロントホールを効率的に利用する技術の確立

- 1 ミリ秒を安定的に満たす超低遅延通信の実現、及び 1 平方キロメートルあたり 100 万台が安定的に接続する多数接続通信の実現に向けた、ミリ波帯向けの無線通信方式及びその実機の確立

○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」

○政府の基本方針 (閣議決定等)、上位計画・全体計画等

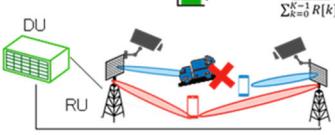
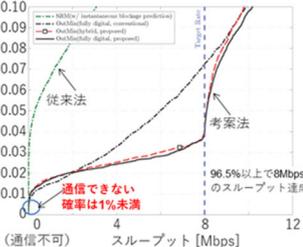
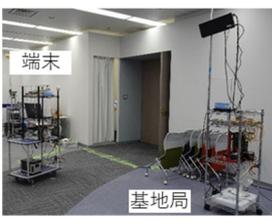
名称 (年月日)	記載内容 (抜粋)
未来投資戦略2018(平成30年6月15日)	第2 II. [1] 1. (3) iii) 新たな技術・ビジネスへの対応 ⑤Society 5.0 を支える通信環境の整備 Society 5.0 の社会実装を地域においても加速させるため、その基盤となる 5 G や光ファイバ網等の地域展開、Wi-Fi 環境整備、ケーブルテレビネットワークの光化等の通信環境の高度化を推進するとともに、Beyond 5G 等の次世代ワイヤレスシステムの実現のための技術開発や環境整備、人材育成、優れたワイヤレスシステムの海外展開等に取り組む。
世界最先端デジタル国家創造宣言・官民データ活用推進基本計画 (平成30年6月15日)	第1部 III 1. (4) 5 G 等のネットワーク基盤技術 社会基盤としての役割が期待される Beyond 5G 等の次世代ワイヤレスシステムに関し、その実現に向けた技術開発を行うとともに、周波数共有・移行の推進、先端的なワイヤレス研究人材や電波の利活用を分かりやすく助言するメンター人材の育成、我が国の優れた電波システムのグローバル展開などの環境整備を通じ、社会コストの低減や経済成長に貢献する。
経済財政運営と改革の基本方針2018(平成30年6月15日)	第2章 2. (4) 経済構造革新への基盤づくり ① データ駆動型社会の共通インフラの整備 大容量・高速通信を支える 5 G について、本年度末に周波数割当を行い、民間事業者による基盤整備を促進し、2020 年からのサービス開始につなげるなどの基盤システム・技術への投資の促進を図る。

### (3) 目標の達成状況

4 年間の研究開発を通じて、5 G の更なる高度化を目的とした次に述べる要素技術を実現し、下線で示す当初の目標どおり達成した。

- 高い周波数の活用として、ミリ波の電波の遮蔽の事前予測に基づきロバストなビームフォーミングを行う無線通信方式、その 28GHz 帯における実機での評価により、端末が移動しても高速な通信の 99% の継続を達成した。また、大きな伝搬損失を補うために多数のアンテナ素子を含む複雑なビームフォーミング装置の設計手法により、64 系統のアンテナ素子を備えた 39GHz 帯ハイブリッドビームフォーミング装置向けのデバイスを実現した。加えて、60GHz 帯を利用する 5 G ゲートウェイによる無線通信システムを実現した。さらに、周波数利用効率を向上する Full-Duplex に必要な 28GHz 帯で電波の到来方向をモニタする手法について、±10 度以下の高精度化を達成した。これらにより、28GHz 帯、39GHz 帯、60GHz 帯といった高い周波数であるミリ波を活用した通信を実現した。さらに、5 G ゲートウェイによる無線通信システムでは、79GHz 帯のレーダーを活用した端末経路予測技術を確立した。
- 高エネルギー効率は、多数のアンテナを備えた複雑な回路に高効率/協調設計手法を適用した 39GHz 帯フェーズドアレイ向けのデバイスを実現し、2.6 倍の電力効率を確認した。また、60GHz 帯利用する 5 G ゲートウェイを用いる無線通信システムにおいて、ミリ波レーダーを利用して予測した端末経路と無線品質により、無線切替制御のオーバーヘッドを減らす通信制御で、3 倍以上の電力効率を実現した。

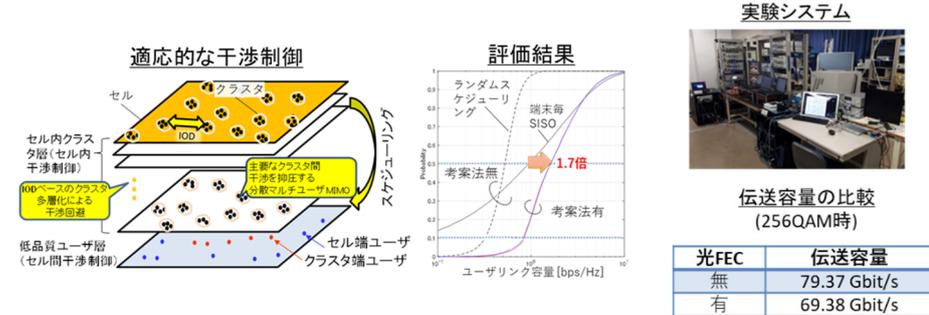
- 高信頼性は、仮想化 RAN 技術を用いる適応型 RAN での制御方式やミリ波向けの無線通信方式の確立により、2018 年度比でトラフィックが 5 倍という大容量化しても、通信品質の 96% の確保、通信の継続率を 99%確保可能であることにより実現した。
- 20Gbps を安定的に超える超高速通信は、考案した 39GHz 帯フェーズドアレイデバイスを用いることで、20Gbps・200m 伝送に必要な輻射電力が確保可能なことを確認した。また、超高速通信を収容するための光コヒーレント伝送の効率化により、80Gbps の伝送が可能であることを確認した。
- 1 ミリ秒を安定的に満たす超低遅延通信と、1 平方キロメートルあたり 100 万台が安定的に接続する多数接続通信は、ミリ波向けの基地局からの割当指示が不要なグラントフリーによる無線通信方式を確立し、その実証を行うことで実現性を確認した。

技術の種類	目標の達成状況
<p>多様なサービス要求に応じた高信頼な高度 5G ネットワーク制御技術</p>	<p>本技術に関連した到達目標（下線）、及びそれを実現する手法の概要を次に示す。</p> <p>(1) <u>高い周波数の活用</u>として、ミリ波の電波の遮蔽の事前予測に基づきロバストなビームフォーミングを行う無線通信方式、その 28GHz 帯における実機の実現</p> <p>(2) <u>高信頼性</u>は、トラフィック量が 2018 年度比 5 倍と大容量化する前提での仮想化 RAN 技術を用いる適応型 RAN での制御方式やミリ波向けの無線通信方式の確立</p> <p>(3) <u>20Gbps を安定的に超える超高速通信</u>における、超高速通信を収容するための光コヒーレント伝送の効率化</p> <p>(4) <u>1 ミリ秒を安定的に満たす超低遅延通信</u>と、<u>1 平方キロメートルあたり 100 万台が安定的に接続する多数接続通信</u>に向けた、グラントフリーによる無線通信方式の確立</p> <p>以降で、(1)から(4)の実現手法の詳細を述べる。</p> <p>■ (1) 「高い周波数の活用」に関する実現手法</p> <p>ミリ波の電波の遮蔽の事前予測に基づきロバストなビームフォーミングを行う無線通信方式を実現した。具体的には、下図①②のように、歩行者や車によるミリ波の遮蔽を事前予測して、影響を回避するように複数基地局が連携してビームを制御する手法を用いている。下図の「評価結果」は、ミリ波の屋外実験データを利用したシミュレーション評価結果で、99%の通信継続（通信できない確率を 1%）となることを確認した。また、ロバストビームフォーミング方式、及び(4)に示すグラントフリー無線通信方式について、下図に示すような実機での評価も合わせて行い、実現性を確認した。これらは、ミリ波の弱点である電波の遮蔽による通信断を克服する技術と言え、高い周波数の活用に向けて貢献できると考えられる。</p> <div style="display: flex; justify-content: space-around;"> <div data-bbox="470 1305 694 1579"> <p>① 遮蔽確率の把握</p> <p>カメラ画像と受信電力から、物体の移動予測を行い、それを元に遮蔽確率を予測</p>  </div> <div data-bbox="710 1305 1077 1579"> <p>② ビームの設計</p> <p>端末毎の遮蔽発生確率を利用し、アナログ・デジタルのハイブリッドビームを制約を考慮して設計</p>  </div> <div data-bbox="1093 1305 1428 1579"> <p>評価結果</p>  </div> </div> <p>図：遮蔽の影響を考慮するビーム制御を備えた無線通信方式</p>  <p>図：実験システム</p> <p>■ (2) 「高信頼性」及び(3) 「20Gbps を安定的に超える超高速通信」の実現手法</p> <p>「高信頼性」として、2018 年度比でトラフィックが 5 倍という大容量化の収容を前提と</p>

し、通信品質 96% (到達目標 95%) の確保、通信継続率 99%の実現を達成した。なお、通信継続率 99%は、本技術における(1)及び(4)で記載している手法によるものであり、ここではそれ以外に関する内容を記載する。

【トラヒック 5 倍の収容が可能な大容量化】

本内容について、無線区間、光伝送区間の両面から取り組んだ。無線区間では、ユーザ間干渉を回避・抑圧する適応的な無線リソース制御で容量 1.7 倍を実現し、周波数帯域幅 3.5 倍 (主要な通信事業者では、4 G : 240MHz 幅から 5 G : 840MHz 幅) と合わせて、トラヒック量 5 倍以上となる 5.2 倍を達成した。また、光伝送区間では、FEC 削減による 14%の効率増と、デジタルコヒーレント伝送技術を用いた無線 IQ 信号と光の直接マッピングで、従来の 10G-PON に対して 5 倍以上となる、80Gbps 伝送を実現した。これは、到達目標である「20Gbps を安定的に超える超高速通信」の収容も十分な可能な伝送を実現したと言える。

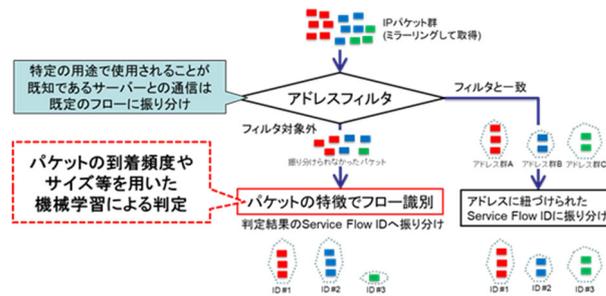


図：無線区間の手法

図：光伝送区間の手法

【通信品質要求達成率 96%の確保】

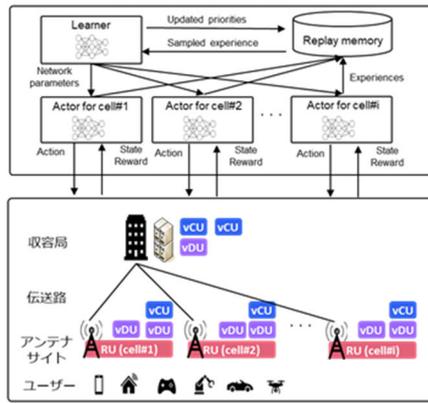
通信品質を制御するためには、最初にどのような通信が存在するかを把握する必要がある。他方、それをユーザから通知するには手間が生じる。そこで、下図のようにパケットデータから通信フローのサービスについて機械学習を用いて識別する手法を確立し、実際のトラヒックデータを用いて、暗号化データを含めて 99.4%の精度での識別を達成した。



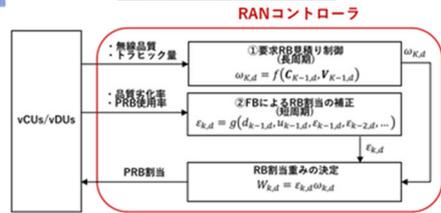
図：通信フローの識別

識別した通信フローに基づき、仮想化 RAN 技術を用いた適応型 RAN の制御を行う手法を確立した。制御は、下図に示す、数分から数時間の長周期となる基地局機能配置と、数 ms から数秒の短周期の無線リソース割当から構成される。基地局機能配置では、通信サービスの発生状況、伝送路の利用状況、無線リソースの利用状況から、パケット処理 (下図の CU) や無線信号処理 (下図の DU) といった基地局機能を、機械学習を用いて動的に配置する。これにより、例えばトラヒックが増大して伝送路が逼迫するような場合に、基地局機能配置を変更することで輻輳を抑制し、通信品質を確保できる。無線リソースの割当は、無線信号処理 (DU) が複数配置されたときに、周波数帯域幅で決まる無線リソースを効率的に割り当てるものであり、下図に示すようなフィードバック型の制御を行っている。これらを複数のトラヒック種別、基地局、端末を配置した計算機シミュレーションで評価した結果、通信品質の要求に対して 97%の品質が確保可能なことを確認した。

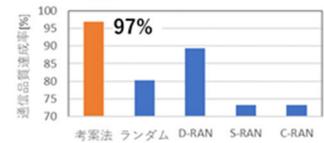
通信サービスを適切に收容するための  
動的な基地局機能配置



短期間の通信品質変動に対応するための  
動的な無線リソース割当



評価結果  
トラフィック5倍、  
かつ様々な通信  
サービスが発生  
させて評価



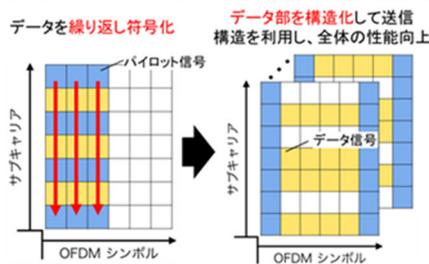
図：適応型 RAN の動的制御

前述した通信フローの識別率 99.4%と、適応型 RAN の制御による通信品質の達成率 97%から、本技術としては 96%の通信品質の達成ができており、高信頼な通信が実現されたと考える。

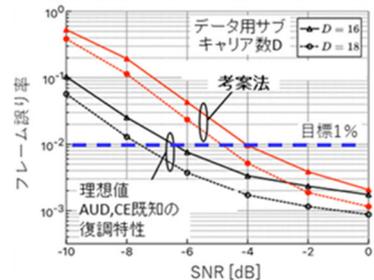
■ (4) 「1 ミリ秒を安定的に満たす超低遅延通信」「1 平方キロメートルあたり 100 万台が安定的に接続する多数接続通信」の実現手法

ミリ波を対象に、超低遅延・多接続を、下図左側に示す、ミリ波で時間と周波数の両方向で送信データを拡散し、伝搬損失等の事前情報なしで復調するグラントフリー無線通信方式を実現した。下図右側は、遅延 1 ミリ秒、端末 500 台時の計算機シミュレーションでの評価結果であり、99%の通信フレームが誤らずに届く（フレーム誤り率 1%）を達成している。また本シミュレーションは、周波数帯域幅 10MHz で実施しており、ミリ波帯の周波数帯域幅 400MHz 幅、ミリ波基地局カバレッジを 0.0025km<sup>2</sup> (50m×50m) として、1 平方キロメートルあたりの端末数に換算すると、端末 500 台×帯域幅 40 倍×ミリ波基地局 100 台=200 万台であり、100 万台となる。これらにより、到達目標である「1 ミリ秒を安定的に満たす超低遅延通信」「1 平方キロメートルあたり 100 万台が安定的に接続する多数接続通信」が実現されていることを確認した。

端末收容のための時間・周波数方向での拡散



遅延制約1ms/125byte送信時の評価



図：低遅延・多接続サービスを実現するグラントフリー無線通信方式

ミリ波帯における高エネルギー効率な無線技術

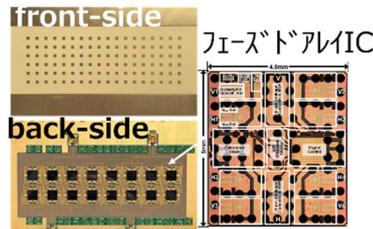
本技術に関連した到達目標（下線）、及びそれを実現する手法の概要を次に示す。

- 高エネルギー効率、及び高い周波数の活用の実現に向けた、39GHz 帯フェーズドアレイ向けのデバイス、60GHz 帯を利用する 5 G ゲートウェイを用いる無線通信システムの実現。加えて、5 G ゲートウェイにおける端末経路予測のための 79GHz 帯ミリ波レーダーの活用。
- 20Gbps を安定的に超える超高速通信の実現に向けた、39GHz 帯フェーズドアレイ向けデバイスの実現

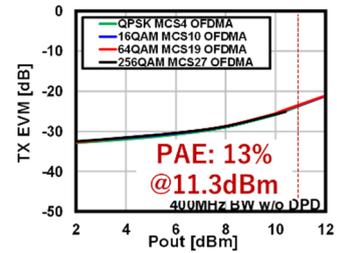
以降において、実現手法である、「39GHz 帯フェーズドアレイ向けのデバイス」、「60GHz 帯を利用する 5 G ゲートウェイを用いる無線通信システム」及び「5 G ゲートウェイにおける端末経路予測のための 79GHz 帯ミリ波レーダーの活用」について詳細を述べる。

【39GHz 帯フェーズドアレイ向けのデバイス】

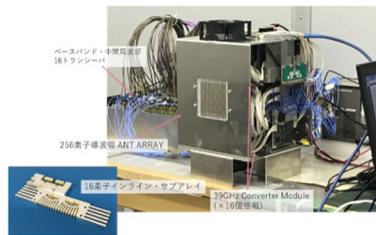
39GHz 帯フェーズドアレイ IC を IC・パッケージ・モジュールの高効率/協調設計手法により試作し、測定により従来比 2.6 倍となる 13%の電力効率を確認し、高エネルギー効率であることを達成した。また、39GHz 帯ハイブリッドビームフォーミング装置を試作して、単一ビームで 5.5Gbps および、世界初の 8 UE 多重を実証した。さらに、実用化に向けて、研究開発した IC を適用する 39GHz 帯ミリ波装置の仕様を策定した。



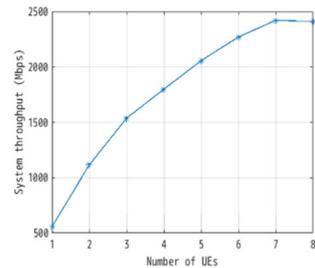
図：試作 64 系統フェーズドアレイ IC



図：試作 IC の出力特性



図：試作ハイブリッドビームフォーミング装置

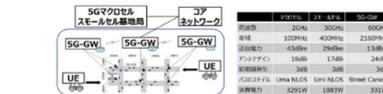


図：UE 数対スループット特性

【60GHz 帯を利用する 5G ゲートウェイを用いる無線通信システム】

60GHz 帯無線 LAN によるネットワークと 5G ネットワークを、5G ゲートウェイによりオーバーレイするネットワークを検討した。5G ゲートウェイを用いない場合と比較して、リアルタイム通信、蓄積型データダウンロード混在時で 3 倍以上の電力効率を実現し、目標を達成した。

ネットワーク構成



ユースケース

- ・遠隔制御用リアルタイム映像情報通信
- ・3D マップ等の蓄積型データダウンロード

$$\text{電力効率比} = \frac{\text{5G-GWを適用するNWの電力効率}}{\text{5Gでの電力効率}}$$

図：ネットワーク構成と電力効率の定義

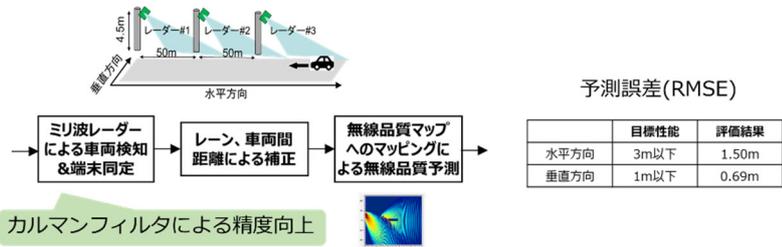
蓄積型データダウンロード混在UE 1台のダウンロード量 [Gb]

		リアルタイムアプリ利用UEの台数比率 [%]									
		0	10	20	30	40	50	60	70	80	90
1	4.19	3.58	3.92	4.07	4.80	5.24	5.67	6.18	6.85	7.23	
2	4.62	3.80	3.83	3.75	4.06	4.16	4.30	4.90	5.33	6.32	
3	5.00	4.09	4.02	3.97	4.06	3.88	3.59	4.14	4.53	5.72	
4	5.35	4.30	4.14	4.11	4.05	3.72	3.40	3.67	4.08	5.14	
5	5.53	4.48	4.38	4.30	4.16	3.64	3.34	3.60	3.93	4.77	
6	5.69	4.52	4.46	4.36	4.27	3.70	3.33	3.55	3.84	4.52	
7	5.59	4.60	4.48	4.41	4.29	3.70	3.37	3.48	3.76	4.21	
8	5.48	4.46	4.43	4.37	4.28	3.67	3.30	3.49	3.78	4.02	

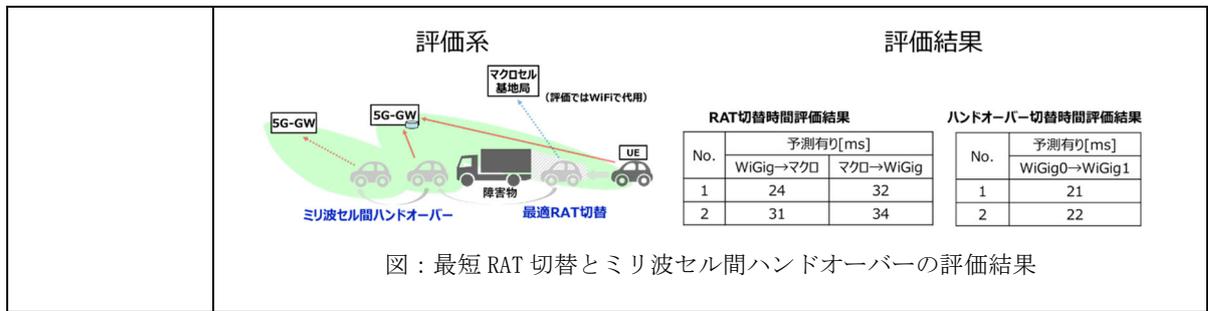
図：電力効率特性

【5G ゲートウェイにおける端末経路予測のための 79GHz 帯ミリ波レーダーの活用】

ネットワークシステムに関連する要素技術として、79GHz レーダーを用いる端末経路予測技術・無線品質予測技術を実現して、十分な予測精度を得られることを実証実験系で検証した。さらに、無線品質予測に応じた最適な無線アクセスの切替技術、ミリ波セル間ハンドオーバー技術を実現し、無瞬断で切替できることを実証実験系で検証した。



図：端末経路予測の予測誤差



図：最短 RAT 切替とミリ波セル間ハンドオーバーの評価結果

モバイルトラヒックの急増に対応した高効率な周波数利用技術

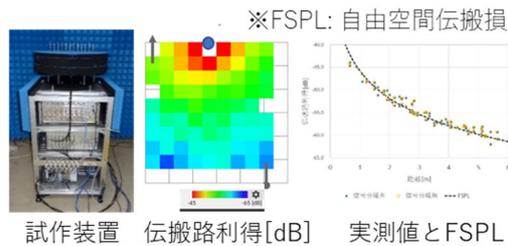
高度 5 G システムにおいて、高い周波数の利用を促進しつつ、周波数利用効率の向上を次の技術等を用いて実現した。

- 高い周波数の活用として、高精度な到来方向推定が可能となる 28GHz 帯干渉モニタ技術の実現
- 周波数利用効率の向上に向けた、Full-Duplex セルラーシステム制御技術の実現

以降で、「干渉モニタ技術」及び「Full-Duplex セルラーシステム制御技術」の詳細を述べる。

【干渉モニタ技術】

28GHz 帯と 3.7/4.5GHz 帯に対応した、8ch 受信の干渉モニタ装置を試作し、信号分離後において到来方向推定誤差は±10 度以下、干渉信号抑圧比は 10dB 以下を達成した。また、信号帯域幅 100MHz のテスト信号 (4.65GHz 帯) を用いて、所望波×1・干渉波×3 の構成で 5.4m×5.4m 空間において信号分離性能の評価を実施し、干渉モニタリングに必要な性能 (実測値 vs FSPL 最大±3dB 差、信号分離の有無による差 0.1dB 以下) が達成できることを確認した。

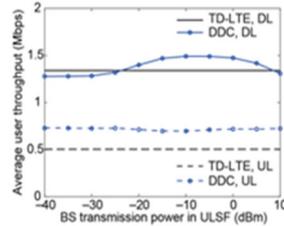


図：干渉モニタ試作装置

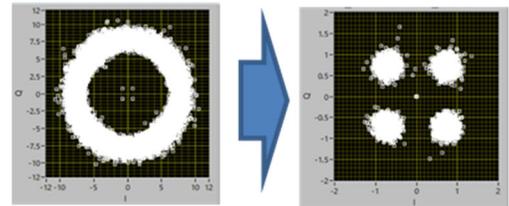
【Full-Duplex セルラーシステム制御技術】

端末からのアップリンク (UL) 通信と別の端末へのダウンリンク (DL) 通信を同時に実施する「Full-Duplex」を TDD ベースのセルラーシステムに段階的に導入するための「Dynamic-Duplex Cellular (DDC) システム」を開発した。全装置を統合して電波暗室内での試験を実施し、各開発装置が実装制御アルゴリズムによって制御されたうえで、瞬時的に最大 2 倍、平均 1.2 倍以上の周波数利用効率向上という目標の達成を確認した。

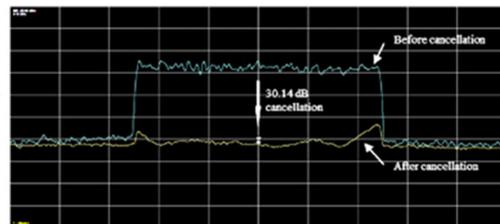
詳細としては、Full-Duplex を用いる DDC システム及び制御アルゴリズムを開発し、UL 及び DL の平均ユーザスループットをそれぞれ 42.4%及び 10.1%改善した (19 セル環境・計算機シミュレーション)。さらに、5G NR 信号に適用可能な、デジタル自己干渉キャンセラを実装して、SI 対所望信号電力比 32dB 以下でブロックエラー率 (BLER)  $\leq 0.1$  を達成した。アンテナ・アナログ自己干渉キャンセラを実装して、48.6 dB のアイソレーションを実現 (4.7GHz・2つの平面アンテナを平行配置・アンテナ間距離 150 mm) した。3.7/4.7 GHz 帯広帯域 RF フロントエンドを開発し、4.7 GHz 帯において電力ベースで約 30 dB の SI キャンセル性能を実現した。Full-Duplex 実現に必要な干渉モニタ技術、Full-Duplex 制御技術 (端末探索・スケジューリング・電力制御)、基地局技術 (デジタル自己干渉キャンセラ、アナログ自己干渉キャンセラ、アンテナ) を結合試験により実証した。



図：DDC システムの平均ユーザスループット



図：デジタル自己干渉キャンセラの特性



図：アナログ自己干渉キャンセラと特性

### 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5年6月22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 55 件、査読付き口頭発表 117 件といった多数の発表を行っている。特に口頭発表では、4 年間で 347 件を行い、タイムリーな研究成果アピールに努めていると言える。これらの発表の中では、集積回路技術に関する最も著名な論文誌 (IEEE Journal of Solid-State Circuits: IF=6.126) への掲載 6 件、半導体分野での最も著名な国際学会 (IEEE International Solid-State Circuits Conference, ISSCC) での発表 2 件が含まれている。また、International Symposium on Wireless Personal Multimedia Communications (WPMC) や Microwave Workshop & Exhibition (MWE) などの国際学術会議やワークショップにおける招待講演の依頼を多数受けている。さらに、情報処理学会での特選論文への選出、国際学術会議 WCNC や ICETC での Best Paper Award の受賞、デジタルコヒーレント光伝送技術に関連して石田實記念財団研究奨励賞特別賞や日本

国際賞の受賞をしている。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共に、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、4年間で120件、内数で37件の海外出願を実施済みである。特に、出願された特許には、後述する国際標準化で規格必須特許となったものが含まれている。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用性が認められる。
- ・ 国際標準化の観点では、適応型RANの動的制御に関わるユースケース、アーキテクチャ、インタフェースの寄書を0-RAN Allianceに入力して、国際標準化活動を推進した。寄与文書を41件（下表の国際標準提案数の内数）入力すると共に、0-RAN規格必須特許の候補21件（下表の特許出願数の内数）を出願すると共に、候補のうち2件を標準規格に反映した。また、高エネルギー効率を実現する通信制御について、ITS向けネットワーク技術として、APT/AWG-27, 28, 29, 30に入力し、提案した5件（下表の国際標準提案数の内数）が全て承認された。これらの国際標準化で、本研究開発の成果内容を規格化できたことは、必要性和有効性が外部から認められた証左であると考えられる。

主な指標	令和元年度	令和2年度	令和3年度	令和4年度	合計
査読付き誌上発表論文数	1件 (1件)	13件 (7件)	15件 (9件)	26件 (15件)	55件 (32件)
査読付き口頭発表論文数 (印刷物を含む)	11件 (11件)	34件 (33件)	29件 (29件)	43件 (43件)	117件 (116件)
その他の誌上発表数	2件 (0件)	1件 (0件)	4件 (0件)	8件 (1件)	15件 (1件)
口頭発表数	59件 (9件)	80件 (6件)	100件 (8件)	108件 (26件)	347件 (49件)
特許出願数	19件 (0件)	35件 (14件)	43件 (15件)	23件 (8件)	120件 (37件)
特許取得数	0件 (0件)	0件 (0件)	4件 (0件)	12件 (4件)	16件 (4件)
国際標準提案数	0件 (0件)	7件 (7件)	37件 (37件)	2件 (2件)	46件 (46件)
国際標準獲得数	0件 (0件)	2件 (2件)	2件 (2件)	3件 (3件)	7件 (7件)
受賞数	5件 (1件)	10件 (5件)	19件 (4件)	13件 (6件)	47件 (16件)
報道発表数	0件 (0件)	5件 (2件)	3件 (1件)	11件 (5件)	19件 (8件)
報道掲載数	0件 (0件)	5件 (2件)	3件 (1件)	11件 (5件)	19件 (8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	<p>5Gの普及により、移動通信システムがあらゆる産業や社会生活に深く浸透し、毎年約1.3倍に増加している移動通信トラフィックの加速度的増加が予想されて、社会基盤に期待される高信頼性やエネルギー効率の向上の実現が求められていた。国際的にも、より高い周波数利用の検討が加速していた。その後、国際的にネットワークの仮想化やオープン化の検討が進み、その前提で多様なサービス品質を同時に保証する動的制御が、5Gネットワーク高度化の方向性となった。さらに、エネルギー需給の逼迫と、トラフィック増に起因するネットワーク機器の増加が生じており、エネルギー効率の向上と周波数有効利用の向上は喫緊の課題であった。</p> <p>これらの国際的・社会的な動向に対して、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（平成30年6月15日）における「社会基盤としての役割が期待される Beyond 5G等の次世代ワイヤレスシステムに関し、その実現に向けた技術開発」として、高エネルギー効率、高信頼性、高い周波数の活用、周波数利用効率の向上の観点から先んじて取り組み、トラフィックが増大した状況を想定しつつ、必要な技術を実現した、本研究開発の方向性が正しかったことは明らかである。</p> <p>よって、本研究開発には必要性があったと認められる。</p>
効率性	<p>本研究開発を推進するに当たっては、移動通信技術に関する専門的知識や研究開発遂行能力を有する民間企業、大学、国立研究開発法人のノウハウを積極的に活用しており、効率的に研究開発を進められた。また、実施期間中も受託各社の研究代表者・実務者の定期的会合において各社の進捗状況や課題が調整・共有され、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情報交換が積極的に行われた。</p> <p>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。</p> <p>研究開発で得られた成果の早期な社会展開を図るため、国際標準化への積極的な取り組みを行った。国際的に注目を浴び、移動体通信に関する主要な企業等が参加している国際標準化団体 0-RAN Alliance に参加して、研究開発を行った適応型 RAN に関する寄書を 41 件入力すると共に、研究開発の成果である特許 2 件の規格必須特許化を実現した。さらに、アジア・太平洋電気通信共同体 無線グループ (APT/AWG) に次世代 ITS に関する提案 5 件の入力を行い、承認が得られた。</p> <p>よって、本研究開発には効率性があったと認められる。</p>
有効性	<p>本研究開発の目標を次のように達成した。</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>高い周波数の活用として、ミリ波の電波の遮蔽の事前予測に基づきロバストなビームフォーミングを行う無線通信方式、その 28GHz 帯における実機での評価により、端末が移動しても高速な通信の 99%の継続を達成した。また、大きな伝搬損失を補うために多数のアンテナ素子を含む複雑なビームフォーミング装置の設計手法により、64 系統のアンテナ素子を備えた 39GHz 帯ハイブリッドビームフォーミング装置向けのデバイスを実現した。加えて、60GHz 帯を利用する 5G ゲートウェイによる無線通信システムを実現した。さらに、周波数利用効率を向上する Full-Duplex に必要な 28GHz 帯で電波の到来方向をモニタする手法について、±10 度以下の高精度化を達成した。これらにより、28GHz 帯、39GHz 帯、60GHz 帯といった高い周波数であるミリ波を活用した通信を実現した。さらに、5G ゲートウェイによる無線通信システムでは、79GHz 帯のレーダーを活用した端末経路予測技術を確立した。</li> <li>高エネルギー効率は、多数のアンテナを備えた複雑な回路に高効率/協調設計手法を適用した 39GHz 帯フェーズドアレイ向けのデバイスを実現し、2.6 倍の電力効率を確認した。また、60GHz 帯利用する 5G ゲートウェイを用いる無線通信システムにおいて、ミリ波レーダーを利用して予測した端末経路と無線品質により、無線切替制御のオーバーヘッドを減らす通信制御で、3 倍以上の電力効率を実現した。</li> <li>高信頼性は、仮想化 RAN 技術を用いる適応型 RAN での制御方式やミリ波向けの無線通信方式の確立により、2018 年度比でトラフィックが 5 倍という大容量化しても、通信品質の 96%の確保、通信の継続率を 99%確保可能であることにより実現した。</li> <li>20Gbps を安定的に超える超高速通信は、考案した 39GHz 帯フェーズドアレイデバイスを用いることで、20Gbps・200m 伝送に必要な輻射電力が確保可能なことを確認した。また、超高速通信を収容するための光コヒーレント伝送の効率化により、80Gbps の伝送が可能であることを確認した。</li> </ul>

	<ul style="list-style-type: none"> <li>1 ミリ秒を安定的に満たす超低遅延通信と、1 平方キロメートルあたり 100 万台が安定的に接続する多数接続通信は、ミリ波向けの基地局からの割当指示が不要なグラントフリーによる無線通信方式により達成し、その実証を行うことで実現性を確認した。</li> </ul> <p>本研究開発は、高信頼、高エネルギー効率、周波数利用効率の向上といった異なる分野の技術に取り組んでいる。ただ、実用化においては、高度 5 G システムとして一体として実現する必要がある。当初から一体として実現することを意識して研究開発を進めているが、さらに確実にするために、通信事業者、通信機器ベンダー、学术界当からの外部有識者や専門家を含む、課題別の研究開発運営委員会において、学术界の有識者 1 名がすべての課題の運営委員となり、横串を挿す形での連携を図った。これにより、研究成果の実用化等へ向けた高い確実性が得られた。</p> <p>適応型 RAN においては仮想化 RAN 技術に基づき構築した移動体ネットワークに対して動的に制御を行うことで多様なサービスが混在しても複数軸の品質を同時に担保する高信頼化を実現している。これは、国際的な仮想化とオープン化の流れに沿っており、国際標準化団体 0-RAN において、本研究開発成果の特許 2 件を含む形で、標準規格化を実現した。また、高い電力効率でのミリ波フェーズドアレイ技術は、無線アクセス、フロントホールやバックホール装置に幅広く適用可能である。5 G ゲートウェイについては、国際標準化である APT/AWG での次世代 ITS への提案が承認されており、次世代 ITS やローカル 5 G などへの利用が見込まれる。これらの電力効率の高い機器やシステムを活用することで、電力節約分を高速大容量な ICT 環境の構築に振り向けることも可能となる。加えて、Full-Duplex 実現のための干渉モニタは、電波干渉状況を把握し、基地局や端末を適切に制御するシステム技術の確立を目指している。これにより、多くの研究者によって検討されてきた MIMO 等の空間多重技術や、NOMA 等の複数端末同時収容技術とは異なる、全く新しい周波数利用効率向上技術の選択肢を利用者に与えることになる。さらに、査読付き誌上発表論文 55 件、査読付き口頭発表 117 件といった、専門家が査読を行いその内容を認めた発表を行っているとともに、著名な国際学術会議 PIMRC2022 で Special Session 「Enable Technologies for 5G Advanced System」において本研究開発の成果が多数発表されたことは、外部の専門家から本研究開発内容の有効性が認められたものと考えられる。</p> <p>よって、本研究開発には有効性があつたと認められる。</p>
公平性	<p>本研究開発は、移動体通信システム等に利用されている周波数帯域の逼迫状況を緩和し、高い周波数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。</p> <p>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。</p> <p>よって、本研究開発には公平性があつたと認められる。</p>
優先性	<p>通信トラヒックの加速度的増加に対応するための高い周波数の活用と、通信機器・システム増に対応するための高エネルギー効率化、移動体通信がインフラとして社会に深く浸透することに起因する高信頼化は喫緊の課題であり、早急に対応する必要があつた。</p> <p>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（平成 30 年 6 月 15 日閣議決定）においても、「社会基盤としての役割が期待される Beyond 5G 等の次世代ワイヤレスシステムに関し、その実現に向けた技術開発を行う」こととされている。また、諸外国においても、2019 年からの 5 G 商用化に引き続き、2025 年頃の 5 G の高度化に向けた検討開始の機運が高まりつつあり、早期に実施する必要があつた。本研究開発の成果は、査読付き誌上発表論文 55 件、査読付き口頭発表 117 件といった、専門家が査読を行いその内容を認めた発表をタイムリーに行っている。加えて、外国出願 37 件を含む特許出願 120 件を達成しており、必要とされる技術のタイムリーな知財化により、国際競争力の確保に早くから貢献できている。さらに、無線アクセス網の構築に関する国際標準化を行う 0-RAN での本研究開発成果の特許 2 件を規格必須特許として含む形での規格化、次世代 ITS に関わる APT/AWG の国際標準化での提案 5 件の承認といった、タイムリーな国際標準化への入力ができている。</p> <p>よって、本研究開発には、優先性があつたと認められる。</p>

## 5 政策評価の結果（総合評価）

5 G の普及により、移動通信システムがあらゆる産業や社会生活に深く浸透し、毎年約 1.3 倍に増加している移動通信トラヒックの加速度的増加が予想されて、エネルギー効率の向上や、社会イ

ンフラに期待される高信頼性の実現が求められていた。ネットワークの仮想化とオープン化の流れとネットワークの動的制御、エネルギー需給の逼迫とネットワーク機器数の増大に対処するための高エネルギー効率、高い周波数の活用、周波数利用効率の向上の必要性は、国際的、社会的な情勢から明らかであり、必要な研究開発に先んじて取り組みを行った。

本研究開発においては、高い周波数の活用として、28GHz 帯における電波の遮蔽の事前予測に基づきロバストなビームフォーミングを行う無線通信方式、39GHz 帯におけるビームフォーミング装置向けのデバイス、60GHz 帯を無線通信で活用可能で 79GHz 帯のレーダーを端末の移動予測に用いる 5 G ゲートウェイ、周波数利用効率を向上させる Full-Duplex 用の 28GHz 帯干渉モニタを実現した。これらにより、高い周波数帯を高度 5 G ネットワークに活用可能な技術を確立したと言える。高エネルギー効率については、前述した 39GHz 帯のデバイス、5 G ゲートウェイによる無線切替制御のオーバーヘッド削減により、技術的な目標の 2 倍を上回る 3 倍の電力効率を実現した。高信頼性は、仮想化 RAN 技術を用いる適応型 RAN での制御方式やミリ波向けの無線通信方式の確立により、2018 年度比でトラフィックが 5 倍という大容量の収容があっても、通信品質の 96%の確保(技術的な目標 95%)、通信の継続率を 99%確保可能であることにより実現した。20Gbps を安定的に超える超高速通信は、考案した 39GHz 帯フェーズドアレイデバイスを用いることで、20Gbps・200m 伝送に必要な輻射電力が確保可能なことを確認した。また、超高速通信を収容するための光コヒーレント伝送の効率化により、80Gbps の伝送が可能であることを確認した。1 ミリ秒を安定的に満たす超低遅延通信と、1 平方キロメートルあたり 100 万台が安定的に接続する多数接続通信は、ミリ波向けの基地局からの割当指示が不要なグラントフリーによる無線通信方式より達成し、その実証を行うことで実現性を確認した。これらにより、アウトプット目標、アウトカム目標について、一部は上回る形で達成できたことを確認した。

本研究開発の成果は、査読付き誌上発表論文 55 件、査読付き口頭発表 117 件といった、専門家が査読を行い、その内容を認めた発表をタイムリーに行っている。加えて、外国出願 37 件を含む特許出願 120 件を達成しており、必要とされる技術の知財化により、国際競争力の確保に早くから貢献できている。さらに、無線アクセス網の構築に関する国際標準化を行う 0-RAN Alliance での本研究開発成果の特許 2 件を規格必須特許として含む形での規格化、次世代 ITS に関わる APT/AWG の国際標準化での提案 5 件の承認といった、国際標準化への入力を早期から行った。

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、本研究開発で予定された要素技術が得られ、一部については国際標準化が進んでいる。研究開発成果が、高度 5 G ネットワークのみならず、Beyond 5G/6G に向けて、広く社会的に利用され、着実に実用化に向けて取り組む必要がある。個々の要素技術について、高信頼、高エネルギー効率、周波数利用効率の向上の観点で、技術の特徴を生かして、社会で活用されていくよう取り組みを進めていく。加えて、発展させた内容の特許出願、論文等による情報発信、0-RAN や APT/AWG 等の国際標準化活動を継続していく。

## 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 5 年 6 月 22 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。

- ・ユーザ間干渉を回避・抑圧する適応的な無線リソース制御、デジタルコヒーレント伝送技術を用いた無線 IQ 信号と光の直接マッピング、FEC 削減等により、ピーク時 10.25Gbps/km<sup>2</sup> を達成し、個別の通信フローのサービス種別を 99.4%の精度で識別、識別した通信フローの適応型 RAN の動的制御による 97%の品質確保を達成している。また、39GHz 帯フェーズドアレイ IC を試作し、従来比 2.6 倍となる 13%の電力効率と、200m 伝送相当の輻射電力を達成し、システムシミュレーションにて電力効率 3 倍以上を確認している。さらに、「Full-Duplex (全二重通信)」の高度化およびそのセルラーシステム上での実用化を実現し、瞬時的に現状の最大 2 倍、平均 1.2 倍以上の周波数利用効率を実現している。以上より、到達目標は達成されている。精力的に研究開発が

なされており、予算は効率的に使用されたと思われる。0-RAN Alliance で標準化活動を推進し、41 件の標準化寄書を提出し、査読付きの論文 55 件、口頭発表 117 件、特許申請 120 件（登録 16 件）、受賞 47 件等、優れた成果をあげている。ローカル 5G 事業検討企業との共同電波伝搬・伝送特性実験を実施するとともに、実用化を見据えた 5G NR 信号をベースにしたソフトウェア無線機による物理層実機実証試験を実施している。以上、総合的に見て有益であったと思われる。

- 第 5 世代移動通信システムの更なる高度化に向けた研究開発であり、各課題の目標、課題ア：携帯電話のトラフィック量が現在の 5 倍となった環境下でも、通信への品質要求を 95%以上満たし、かつサービスの継続性を 99%以上、課題イ：従来手法と比較して 2 倍以上の電力効率となる、ミリ波帯における高エネルギー効率の実現、課題ウ：全二重通信（Full-Duplex）セルラーシステム時に瞬時的に現状の最大 2 倍、平均 1.2 倍以上の高い周波数利用効率の実現をそれぞれ達成している。また現状の 5G システム、もしくはその延長線上にある技術を元に研究開発をしており、本研究開発の成果は高度 5G ネットワークとして統合可能なものである。これらのことから、本研究開発は有益であったと判断する。

## 7 評価に使用した資料等

- 未来投資戦略 2018（平成 30 年 6 月 15 日閣議決定）  
[https://www.kantei.go.jp/jp/singi/keizaisaisei/pdf/miraitousi2018\\_zentai.pdf](https://www.kantei.go.jp/jp/singi/keizaisaisei/pdf/miraitousi2018_zentai.pdf)
- 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（平成 30 年 6 月 15 日閣議決定）  
<https://www.kantei.go.jp/jp/singi/it2/kettei/pdf/20180615/siryoul.pdf>
- 経済財政運営と改革の基本方針 2018（平成 30 年 6 月 15 日閣議決定）  
[http://www5.cao.go.jp/keizai-shimon/kaigi/cabinet/2018/2018\\_basicpolicies\\_ja.pdf](http://www5.cao.go.jp/keizai-shimon/kaigi/cabinet/2018/2018_basicpolicies_ja.pdf)
- 電波利用料による研究開発等の評価に関する会合  
<http://www.tele.soumu.go.jp/j/sys/fees/purpose/kenkyu/index.htm>
- 基本計画書 第 5 世代移動通信システムの更なる高度化に向けた研究開発  
[https://www.soumu.go.jp/main\\_content/000606918.pdf](https://www.soumu.go.jp/main_content/000606918.pdf)