

令和5年度事後事業評価書

政策所管部局課室名：総合通信基盤局電波部移動通信課

評価年月：令和5年8月

1 政策（研究開発名称）

5G基地局共用技術に関する研究開発

2 研究開発の概要等

(1) 研究開発の概要

・実施期間

令和2年度～令和4年度（3か年）

・実施主体

民間企業

・総事業費

2,192百万円

令和2年度	令和3年度	令和4年度	総額
787百万円	731百万円	674百万円	2,192百万円

予算要求段階では総額10億円超となるか未定だったため、事前事業評価は未実施。

・概要

移動通信システムが様々な分野での活用が進み社会経済へ深く浸透していく中、移動通信トラフィックは毎年約1.3倍と加速度的に増加している。

第5世代移動通信システム（以下「5G」という。）の2020年以降の本格的なサービス展開に向けて、5G向けに割り当てられた6GHz以下や準ミリ波帯の周波数だけでは、一部地域において移動通信トラフィックを収容しきれない可能性があり、周波数のひっ迫が想定される。

また、より高度な5Gサービスの早期普及・展開のためには、都市部の駅のプラットフォームやショッピングモール、地下街など高トラフィックの予想されるエリアにおいては高密度な基地局設置が必要であるが、設置場所の広さなどの物理的制約等により複数周波数・複数オペレータ（キャリア）の5G基地局やアンテナを設置することが困難であり、一部の基地局では共用化が望まれている。一方、ルーラル地域においては、早期展開のために基地局や付帯設備の共用等を含む移動通信ネットワークの効率的な構築・運用が必要となる。

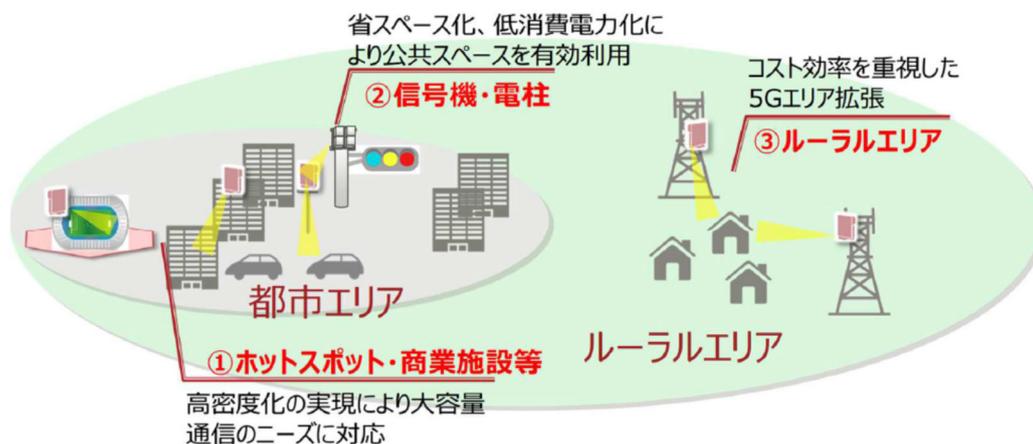


図1 基地局共用化ニーズの例

このようなことから、ひっ迫が予想される 6GHz 以下 (Sub6 帯) や準ミリ波帯の周波数の利用効率の向上、より高い周波数帯の利活用を促進することで 5G サービスの早期普及・展開を図り、また移動通信ネットワークの効率的な構築・運用にも資する技術として、基地局共用技術に関する研究開発を実施する。これにより、各周波数の基地局をキャリア毎に独立した場所に設置した場合と比べ、共用基地局をそれぞれの場所に設置し適切な干渉制御を行うことで、同じ周波数を異なる共用基地局で同時に使用可能になることから周波数の利用効率が 1.5 倍程度増大するとともに、準ミリ波帯及び将来 5G で割り当てられる可能性のあるミリ波帯以上の超高周波数帯を含む高周波数帯の利活用を促進するものである。

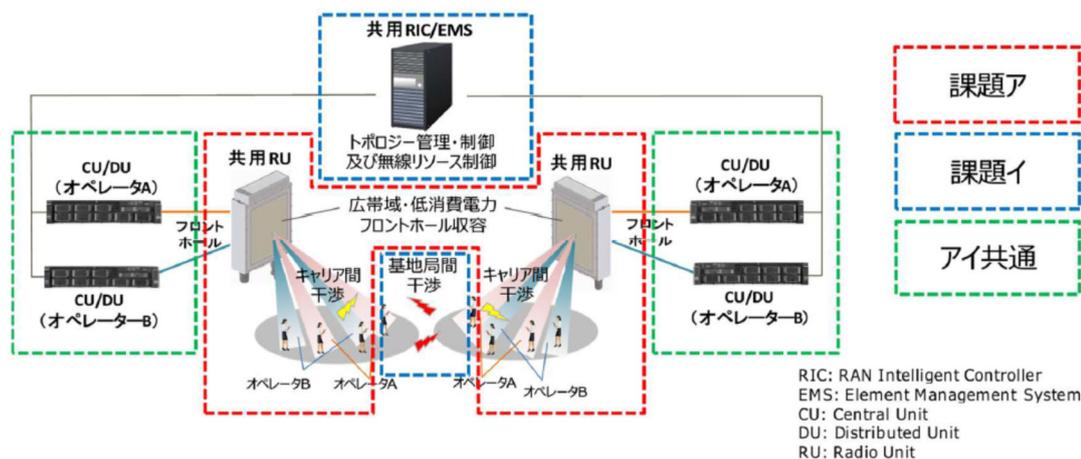


図 2 基地局共用の構成と技術課題

基地局共用を実現するためには、複数オペレータ (複数周波数) の広帯域な信号を扱うことができる共用無線基地局 (以下「共用 RU」(Radio Unit) という。) の開発が必要となる。1 つの装置に複数オペレータの RU を実装することになるため、共用 RU では小型化や低消費電力化が重要な技術課題となる。また、共用 RU では、アレイアンテナ構成に組み込まれた送信アンプの非線形ひずみなどにより、他のキャリアに割り当てられた周波数に発生する「キャリア間干渉」を低減することも重要な技術課題となる。

さらに、共用 RU を複数オペレータの基地局制御局 (CU/DU: Central Unit/Distributed Unit) と接続するためのフロントホールに関して、限られた帯域内でフロントホールを効率的に利用するためのトポロジー管理・制御が重要な技術課題となる。また、共用 RIC/EMS (RAN Intelligent Controller/Element Management System) により、共用 RU が高密度に設置されることによって生じる RU 間干渉の低減を含む無線リソース制御も周波数の利用効率を向上する上で重要な技術課題となる。

上記の課題に対し、技術課題ア「5G 基地局の共用を実現する広帯域な無線通信システム構成技術」及び技術課題イ「有線・無線を統合したネットワーク接続管理・制御技術」について、研究開発を実施した。

技術の種類	技術の概要
技術課題ア： 5G 基地局の共用を実現する広帯域な無線通信システム構成技術	<p>本技術課題では、複数キャリア (オペレータ) の無線周波数の広帯域な信号を同時送信できる共用 RU を実現するために、キャリア間干渉抑圧技術を開発し、その評価を行った。加えて共用 RU の送信アンプの消費電力を低減するために、共用 RU に搭載するアレイアンテナの高利得化技術を開発し評価を実施した。</p> <p>また、共用 RU を実現するための複数フロントホールの収容する技術を搭載し、複数キャリアに対応したビームフォーミング技術を実装した共用 RU を設計・製造した。共用 RU の装置単体評価及びアンテナビームフォーミング動作検証を行い、複数のキャリア毎に異なる送受信動作が可能な共用 RU の検証を実施した。加えて、「有線・無線を統合したネットワーク接続管理・制御技術」のシステムと組合せて共用 RU を効率的に活用する無線通信システムを構築し、フィールド検証において複数キャリアの UE と同時接続の評価を実施し</p>

た。

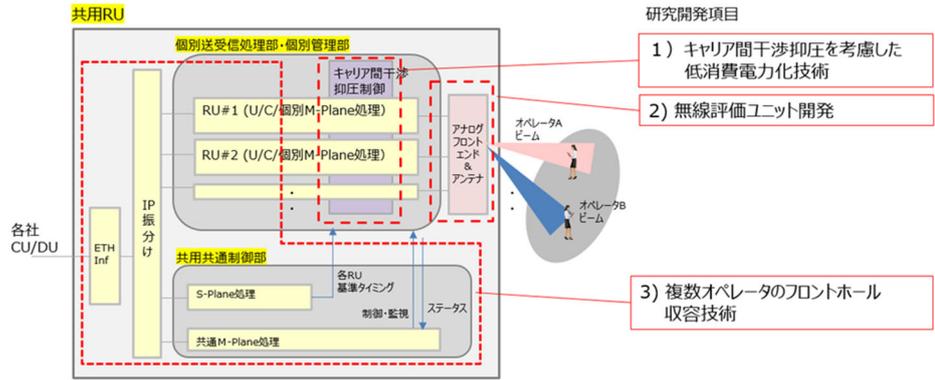


図3：共用RUイメージと研究開発項目

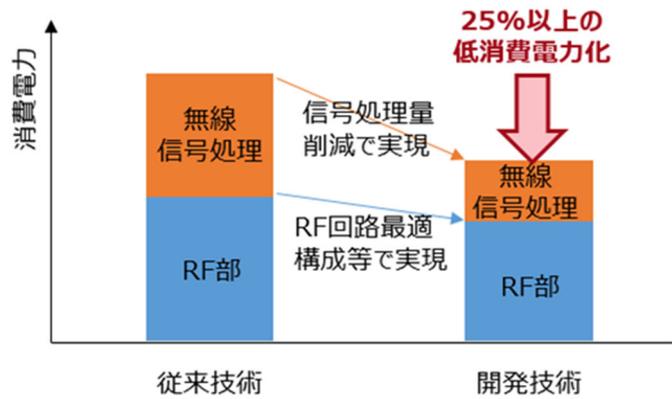


図4：消費電力低減対策

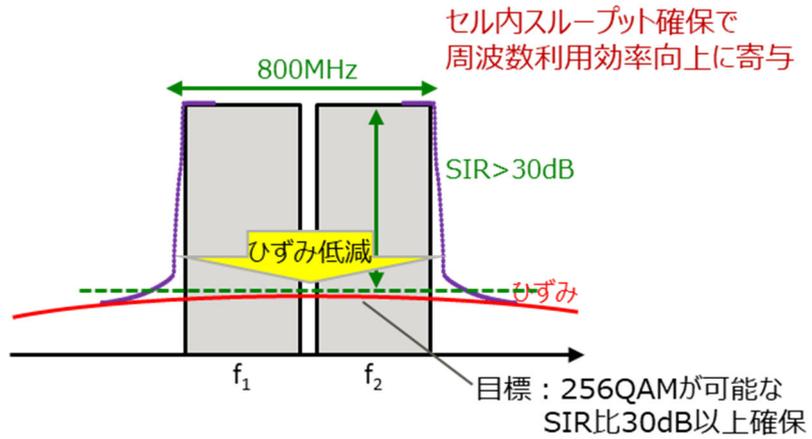


図5：キャリア間干渉低減対策

本技術課題では、キャリア間で協調した適切なトポロジー管理・制御と同時に適切な無線リソース制御を実現する統合的な制御技術を開発した。

具体的には、フロントホール帯域の制約を満たしつつ、複数地点の RU、複数キャリアへ周波数帯域幅などの無線リソース配分を最適化する統合無線リソース制御アルゴリズムの開発と計算機シミュレーションによる性能評価、O-RAN (Open RAN, Open Radio Access Network) 標準化を準拠しつつ独自 IF を追加した RIC を用いた制御アーキテクチャの検討と実験システムの開発、「5G 基地局の共用を実現する広帯域な無線通信システム構成技術」で開発された共用 RU と本技術課題の制御技術を接続した実証実験を実施した。

技術課題イ：
有線・無線を統合したネットワーク接続管理・制御技術

フロントホール容量増大を2倍以下に抑えつつ、システム容量を1.5倍以上改善

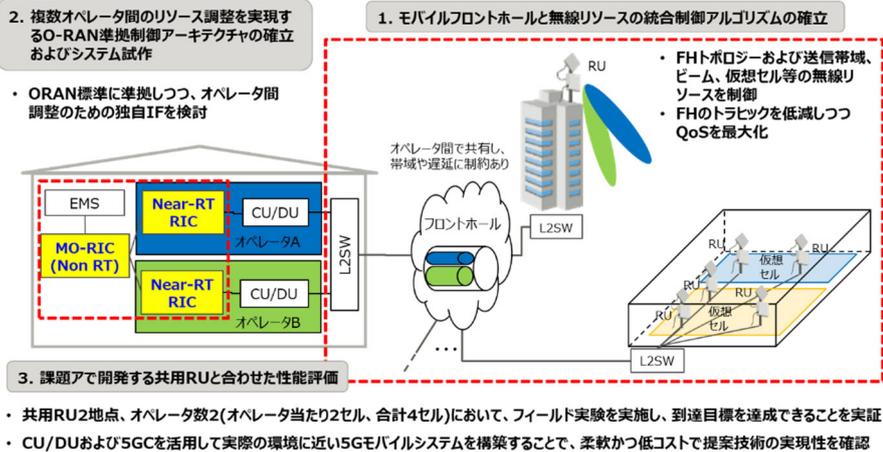


図6：有線・無線を統合したネットワーク接続管理・制御技術

また、本技術課題では、上記アーキテクチャ検討の一部を、O-RAN で標準化するための提案活動を実施した。

・スケジュール

技術の種類	令和2年度	令和3年度	令和4年度
技術課題ア： 5G 基地局の共用を実現する広帯域な無線通信システム構成技術	<ul style="list-style-type: none"> ・ 干渉抑圧技術の基本方式の確立 ・ 実験評価系の準備 	<ul style="list-style-type: none"> ・ 干渉抑圧技術の基本方式の動作確認 ・ 準ミリ波帯の無線ユニットの性能効果の検証 ・ Sub6 帯共用 BF の検証 	<ul style="list-style-type: none"> ・ 低消費電力・干渉抑圧効果の総合評価
	<ul style="list-style-type: none"> ・ 無線ユニット仕様検討・技術評価 ・ Sub6 帯共用原理試作装置の設計・製造 	<ul style="list-style-type: none"> ・ 共用 RU の基本設計 	<ul style="list-style-type: none"> ・ 共用 RU の製造・評価 ・ フィールド評価
	<ul style="list-style-type: none"> ・ 複数キャリア収容のためのフロントホールの方式仕様策定 		
技術課題イ： 有線・無線を統合したネットワーク接続管理・制御技術	<ul style="list-style-type: none"> ・ 統合制御アルゴリズムの基本方式確立・評価 ・ キャリア間協調制御システムのアーキテクチャ策定 	<ul style="list-style-type: none"> ・ 統合制御アルゴリズムの完成・評価 ・ キャリア間協調制御システムの動作確認 	<ul style="list-style-type: none"> ・ フィールド評価

(2) 達成目標

技術課題ア：5G 基地局の共用を実現する広帯域な無線通信システム構成技術

準ミリ波帯においては2以上のキャリアの周波数帯域幅に対応する広帯域な RF デバイス・モジュールを搭載し、最大4キャリア毎に異なる送受信動作が可能な無線ユニット及びデジタル信号処理部などの研究開発を行う。その際、複数オペレータの無線ユニットの高効率化、対消費電力化などにより、従来の1キャリア分の周波数帯域幅の無線ユニット（一個）と比較して、例えば2キャリアに対応する場合、無線ユニットを用意すると消費電力は2倍に増えるが、これを2キャリア換算で消費電力1.5倍以下とすることを目標とする。

6 GHz 以下の周波数帯においても、同程度の広帯域化及び消費電力を低減することとする。

技術課題イ：有線・無線を統合したネットワーク接続管理・制御技術

複数周波数・複数キャリアの基地局共用を実現する広帯域無線通信システムにおいて、地理的に異なる場所に配置したミリ波帯以上の超高周波数帯、あるいは準ミリ波帯、6 GHz 以下の複数の無線基地局を集約基地局から制御し、有線（光ファイバ）及び無線フロントホール、アクセスリンクを統合したトポロジー管理・制御を行うアルゴリズム及び高密度に配置された無線基地局官の干渉制御を含む無線リソース制御を行うアルゴリズムを試作開発する。その際、基地局共用を行わず、各キャリアが独自に独立した場所に5G 基地局・アンテナ設置した場合のあるエリアの総システム容量（例：1設置場所当たり、ある1キャリアの基地局1局×4か所）に対して、基地局共用を行ってそれぞれの場所に設置し適切な干渉制御を行った場合（例：1設置場所当たり4キャリア分の共用基地局1局×4か所）の総システム容量との対比で、1.5倍以上の改善を目標とする。

また、準ミリ波帯及び将来5Gで割り当てられる可能性のあるミリ波帯以上の超高周波数帯における複数周波数・複数キャリアの基地局共用を実現する広帯域無線通信システムに、試作開発したトポロジー管理・制御アルゴリズム及び無線リソース制御アルゴリズムを適用する。従来の各周波数・各キャリアの基地局をキャリア毎に独立した場所に比べ、4キャリア分の共用基地局のサービスエリアが広がることから、28GHz 帯などの高周波数帯では周波数の繰返し利用により1.5倍程度の利活用促進効果を示すことを目標とする。

○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）
成長戦略実行計画（令和元年6月21日）	第2章 Society5.0の実現 1. デジタル市場のルール整備 (2) 対応の方向性 ⑥5G整備やG空間社会実現に向けて 「Society5.0の実現に向けて、2020年度末までに全都道府県で5Gサービスを開始するとともに、セキュリティの確保に留意しつつ、通信事業者等による5G基地局や光ファイバなどの情報通信インフラの全国的な整備に必要な支援を実施し、2024年度までの5G整備計画を加速する。」
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（令和元年6月14日）	第1部 世界最先端デジタル国家創造宣言 V.社会基盤の整備 1. 5Gを軸とした協業促進によるインフラ再構築 (3) 5G環境等の普及、光ファイバ網の整備 「今後の電波利用ニーズの拡大への対応として5Gの普及・高度化に向け、5G基地局の小型化や高エネルギー効率化、高信頼化やその

	円滑かつ迅速な導入に必要となる実世界の電波伝搬を模擬的に再現する試験環境等に関する研究開発を推進するとともに、既存システムとのダイナミックな周波数共用を可能とするシステムの構築を令和2年度末までに行う。あわせて、5G のサービスを支える基地局や光ファイバなどの情報通信インフラの整備を進めるとともに、5G による地域課題解決に向けた開発実証を推進していく。」
デジタル田園都市国家インフラ整備計画 (令和4年3月29日)	第2章 整備方針・具体的施策等 2-2 5G (3) 具体的施策 ④ インフラシェアリングの推進 「基地局のインフラシェアリングを可能とするため、複数事業者の送信機を一つの無線装置に集約できる技術を2022年度末までに開発する。」
デジタル田園都市国家構想基本方針(令和4年6月7日)	第2章 デジタル田園都市国家構想の実現に必要な施策の方向 1. 取組方針 (2) デジタル田園都市国家構想を支えるハード・ソフトのデジタル基盤整備 ① デジタルインフラの整備 「【5G】(中長期的な取組の方向性) 第一フェーズとして、2023年度末までに全ての居住地で4Gを利用可能な状態を実現するとともに、5Gの親局(高度特定基地局)を全国展開し、5G基盤展開率を2023年度末に98%とすることを目指す。第二フェーズとして、子局(基地局)を地方展開し、エリアカバーを全国で拡大することを目指す。具体的には、5G人口カバー率を、2023年度末に全国95%、全市区町村に5G基地局を整備、2025年度末までに全国97%、各都道府県90%程度以上、2030年度末までに全国・各都道府県ともに99%とすることを目指す。さらに、将来的には、5Gを必要とする全地域の整備を目指す。 このための施策として、新たな5G用周波数の割当て、制度整備(5G中継局用基地局等の制度整備等。また、基地局開設の責務の創設は、5Gの地方での活用にもつながるものと考えられる。)、補助金による支援や税制措置の活用、鉄塔やアンテナなどのインフラシェアリングの推進(補助金要件での優遇、技術開発、基地局設置が可能な施設のデータベース化等)を進める。」

(3) 目標の達成状況

3年間の研究開発を通じて、周波数効率が高い基地局共用を目的とした各要素技術について、当初の目標どおり達成することができた。具体的には、技術課題ア「5G基地局の共用を実現する広帯域な無線通信システム構成技術」については共用RUの消費電力の25%以上の削減(2キャリア換算での消費電力が1.5倍以下)を実現、技術課題イ「有線・無線を統合したネットワーク接続管理・制御技術」についてはフロントホール容量増大を2倍以下に抑えつつシステム容量を1.5倍以上改善したネットワーク接続管理・制御技術を実現し、目標を達成した。

技術の種類	目標の達成状況
技術課題ア： 5G基地局の共用を実現する広帯域な無線通信システム構成技術	1. キャリア間干渉抑圧を考慮した低消費電力化技術 1)-1 Sub6帯干渉抑圧技術 Sub6帯の共用RUにおける消費電力削減を実現するために、複数キャリア信号の共通増幅構成において、最大500MHz送信時に信号帯域幅の2倍程度(従来5倍)で動作する干渉抑圧技術の実証実験を実施した。3GPP無線規格をクリアするひずみ補償動作を実現しながら、DAC(Digital to Analog Converter)/ADC(Analog to Digital Converter)を含むデジタル信号処理を低速化したことにより消費電力を17%削減し、

RU の低消費電力化 2%を実現する技術を確立した (図 7)。

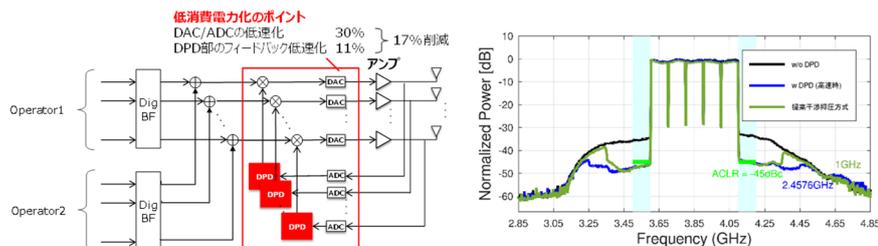


図 7 Sub6 帯のキャリア間干渉抑圧技術構成と干渉抑圧効果

1)-2 準ミリ波帯干渉抑圧技術

準ミリ波帯の共用 RU における消費電力削減を実現するために、フィールドを模擬した電波伝搬 (Over The Air) の評価環境において、複数キャリア送信時のキャリア間干渉抑圧技術 (基本方式および拡張方式) の検証を実施した。個別増幅・個別アンテナ構成に提案干渉抑圧技術を適用することでアンプのバックオフを 3.0dB 低減し、アンプを高効率化できることを確認した(図 8)。

準ミリ波帯の共用 RU の所定条件において、本干渉抑圧技術で 19%の低消費電力化が可能であることを確認した (図 9)。

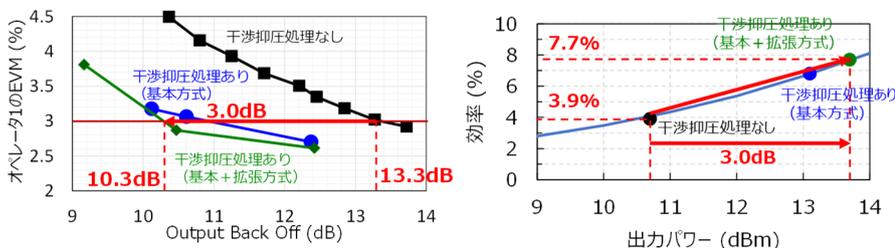


図 8 準ミリ波帯のキャリア間干渉抑圧技術効果

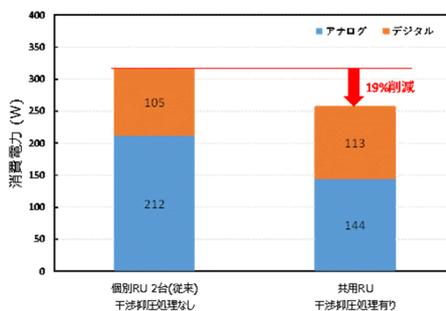


図 9 準ミリ波帯の干渉抑圧技術を適用した場合の消費電力削減効果

1)-3 準ミリ波帯アンテナ高利得化技術

準ミリ波帯の共用 RU における消費電力削減を実現するために、高い利得を持つアレイアンテナを設計・製造し、設計検証を実施した。1×16 のアンテナ素子構成のメタマテリアルマッシュルームアンテナ (メタアンテナ) において、アンテナ利得 17dBi 以上が得られ、高利得のアンテナ素子の設計技術を確立した (図 10)。本アンテナ技術を 256 素子のアレイアンテナの共用 RU に適用することで、共用 RU の 9%の低消費電力化につながる。

準ミリ波帯の干渉抑圧技術とアンテナ高利得化技術を合わせて共用 RU に適用することで、従来の RU2 台と比較して、28%の消費電力削減が可能であることを示し、準ミリ波帯の共用 RU の消費電力を 25%以上削減する本研究開発の目標を達成した(図 11)。

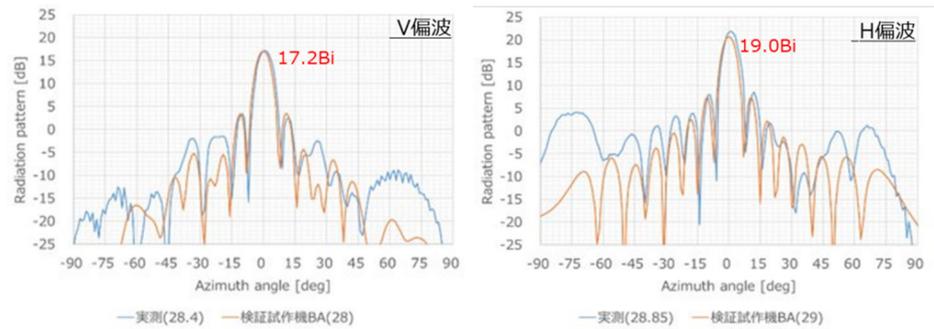


図 10 メタアンテナ利得特性

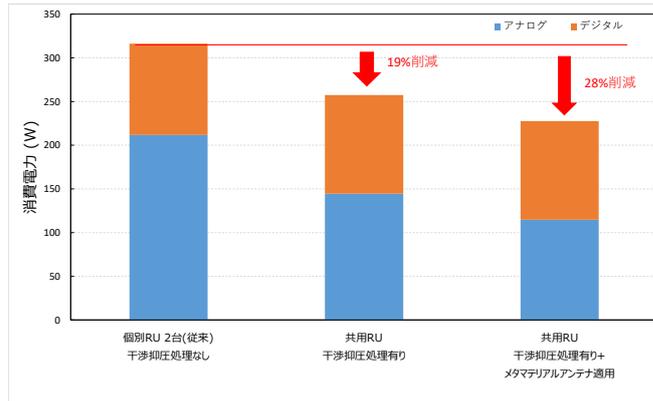


図 11 準ミリ波帯の干渉抑圧技術とメタアンテナ技術を合わせた消費電力削減効果

2. 共用 RU の開発・検証

近年のトラフィック容量の増加から、Massive-MIMO に対応した RU が求められており、市街地の High Traffic なユースケースや、Urban macro エリアカバーが可能なユースケースを想定した、Massive-MIMO かつ高 EIRP (Equivalent Isotropically Radiated Power) に対応した共用 RU 装置を開発・製造した (図 12)。

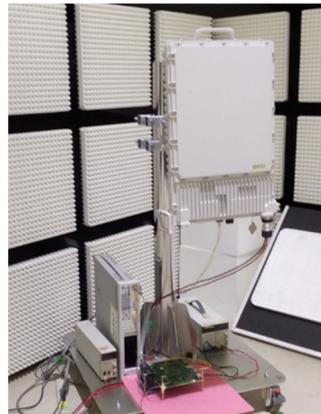


図 12 開発した共用 RU

共用 RU の諸元を表 1 に示す。送受信ポートを 32 ポート有し、96 素子のアレイアンテナ素子を有する構成とする。共用 RU 機能処理を、プログラマブルデバイス (FPGA) の回路にインプリし、VLAN-ID 追加による複数オペレータ識別処理、0-RAN 仕様に準拠した Category A/B の両方式に対応可能な Precoding、Beam forming weight 処理及び Beamforming ID 処理によりビーム方向割付機能を実装した。アンテナ部は、キャリア共通で使用しているが、Beamforming weight 処理を個別に実施可能な機能を実装しているため、複数キャリア合わせて最大 8 方向へ送受信可能なアンテナビーム動作が実現可能となった。共用 RU のフロントホール收容部は 0-RAN 仕様に準拠し、2 キャリアの CU・DU と L2 スイッチを介して 25Gbps の光インターフェース 1 本で接続される。

表 1 共用 RU 主要諸元

No	Specification	共用RU (32TRX)
1	Frequency	3600-3800MHz
2	Total EIRP	50 ~ 70dBm/200MHz/2pol
3	TRX・Antennas	32
4	IBW	200MHz
5	OBW	100MHz×2 (1オペレータ当たり最大100MHz)
6	Modulation	DL : 256QAM UL : 64QAM
7	Subcarrier spacing	30kHz
8	Component Carrier	最大2 (1/Operator)
9	Stream	DL : 4(1オペレータ当たり) UL : 2(1オペレータ当たり)
10	接続オペレータ数	2
11	O-RAN Cat	7-2x Cat A
12	SFP rate	25Gb/E
13	PTP GM接続方式	LLS-C3
14	Size	390mm×600mm×117mm
15	Volume/Weight(Max)	≦28L. ≦16kg

無線規格に対しては、32ポート有する送受信ポート全てにおいて、3GPP 無線特性規格に準じた評価を行い、全 32ポートにおいて、2オペレータの送受信で無線特性規格を満足することを確認した。

また、課題イのシステムと組み合わせて共用 RU を効率的に活用する無線通信システムを構築し、フィールド評価を実施した。2キャリアの UE (User Equipment) と同時接続動作を行い、1キャリア単独で通信する場合と比較して、共用時での通信でスループットに劣化なく通信できることを確認した。

今回、研究開発した共用 RU を使用することで、個別の RU を 2台用意する場合と比較して、合計で 35%の消費電力削減効果が得られた (図 13)。

上記により、Sub6 の共用 RU の消費電力を 25%以上削減し、かつ 5G 基地局の共用が可能無線通信システムを実証する本研究開発の目標を達成した。

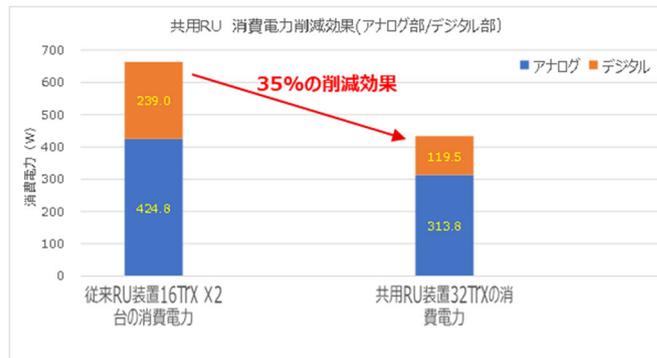


図 13 Sub6 共用 RU の消費電力削減効果

技術課題イ：
有線・無線を統合したネットワーク接続管理・制御技術

本技術課題で開発した統合制御アルゴリズムの制御構成を図 14 に示す。システム帯域幅を複数の周波数領域に分割し、各分割された周波数領域を周波数ブロックと呼ぶ。多数の UE のデータは、CU/DU 内のスケジューラにて ms 単位でスケジューリングして通信を行うが、ここで、本制御アルゴリズムは、RIC (RAN intelligent controller) により各 MNO の RU 毎に、どの周波数ブロックを利用可能とするかの制約事項を CU/DU に通知する。この RIC 制御は、ms よりも長い秒~分などのレベルで行う。このような制御機構により、CU/DU は、セル毎に個別に独立してスケジューリング動作を行うことが出来るが、セル間干渉を低減させるセル間の協調を行うことが出来る。

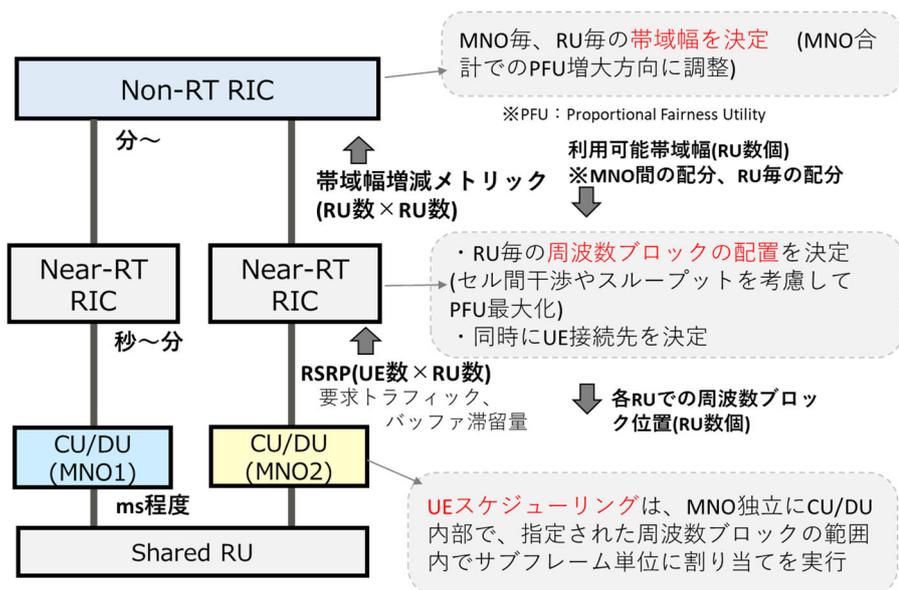
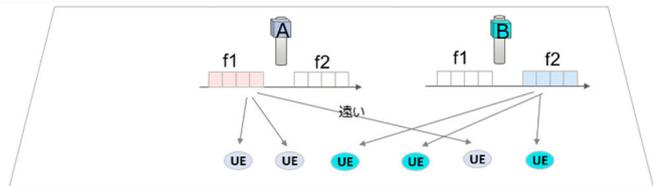


図 14 統合制御アルゴリズムの制御構成

統合制御アルゴリズムの基本的な動作イメージを図 15 に示す。色のついた周波数帯域は、RIC から通知された周波数ブロックの配置である。図に示す様に MNO 個別に RU を設置する場合には、単一 MNO にとっては RU の設置場所が少なく、セル端の端末から遠い場所にある RU と通信する必要があったものが、共用 RU を用いたシステムでは、近くの RU と通信できるようになることが分かる。また RU 当たりで利用している通信帯域の合計は、共用しない場合と共用システムで同じ流量に制約し、RU 毎の FH 流量を増大しないようにしている。また、隣接する共用 RU 間で帯域の配置をずらすことで、干渉低減を行っている。この様に、統合無線リソース制御は、エリア内の多数の RU の全体に対して、全体としての無線リソースの総量、各 RU での FH 流量、多数のセル間の干渉影響やエリア内の合計スループットなど様々な要素を考慮して最適な周波数ブロックの配置を決める制御である。

各オペレータが独自に独立した場所に基地局を設置している場合



基地局共用システム

- ・共用RUにより、同じRU設置数でも高密度化
- ・フロントホール流量をRU共用しないシステムと同等に制約
- ・UE/トラフィック分布に応じて、無線リソース配分および無線帯域の配置を最適化

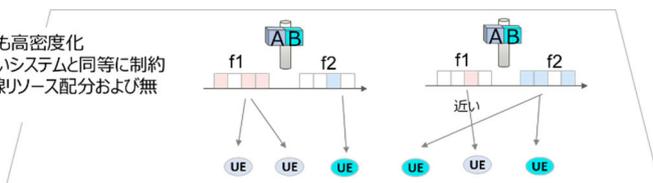


図 15 共用 RU を用いた帯域制御例

上記のアルゴリズムの改善効果进行评估するため、技術課題アの共用 RU 構成を想定し、技術課題イの制御技術を用いて、屋外都市部エリアに共用 RU システムを適用した場合を模擬した評価条件として、計算機シミュレーションによる効果検証を実施した。またアルゴリズムの処理量について、PC サーバを用いた演算量見積を実施した。

結果として、屋外評価により、個別 RU システムの場合に比べ、4 通信キャリア共用によりエリア内の基地局数を 4 倍に高密度化した共用 RU システムにおいて、FH 流量の増加を 1 倍(≦目標 2 倍以下)に抑えつつ、システム容量を 50%CDF で 2.7 倍、平均 2.4 倍(≧目標 1.5 倍)に向上させる効果を確認した (図 9)。また、共用 RU120 台、個別 RU システムのセル当たり 1500UE/通信キャリアなどの最大構成を仮定した条件における PC サーバを用いた処理時間測定結果から、10 秒以下の目標に対し、sub6 で 1.2 秒、ミリ波をターゲットと

した MIMO 多重制御の場合にも 10 秒以下の結果を確認した。

その他、将来に向けたさらなるアルゴリズムの拡張・改良として、上りリンクへ統合無線リソース制御アルゴリズムを適用した場合の性能向上効果の評価により、上りリンクに対しても十分な効果が得られること、複数スライスを用いた場合への統合無線リソース制御アルゴリズムの拡張検討を実施した。

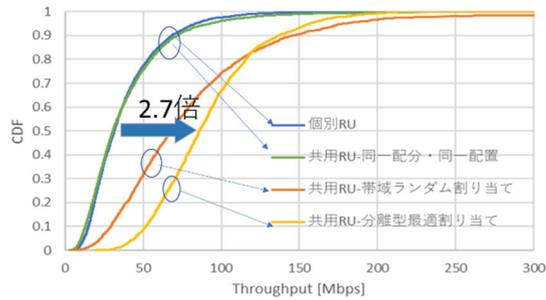


図 16 計算機シミュレーションによる都市部模擬環境での統合無線リソース制御効果検証

また、検討した制御方式の有効性を実験によって実証するために、技術課題アで開発した共用 RU と令和 3 年度に開発した共用 RIC を含むキャリア間協調制御システムを結合することでフィールド実験システムを構築し、RU 共用および無線リソース制御の有効性を検証した (図 17)。その結果、セル間干渉が生じないように適切に帯域割当をした上で RU を共用化し、統合無線リソース制御を実施することで 2.1 倍となることを確認した (表 2)。これにより、Sub6 帯や 28GHz 帯において、本研究開発の目標である共用前後のスループット改善比 (周波数の利活用促進効果) 1.5 倍以上が達成されることを確認した。

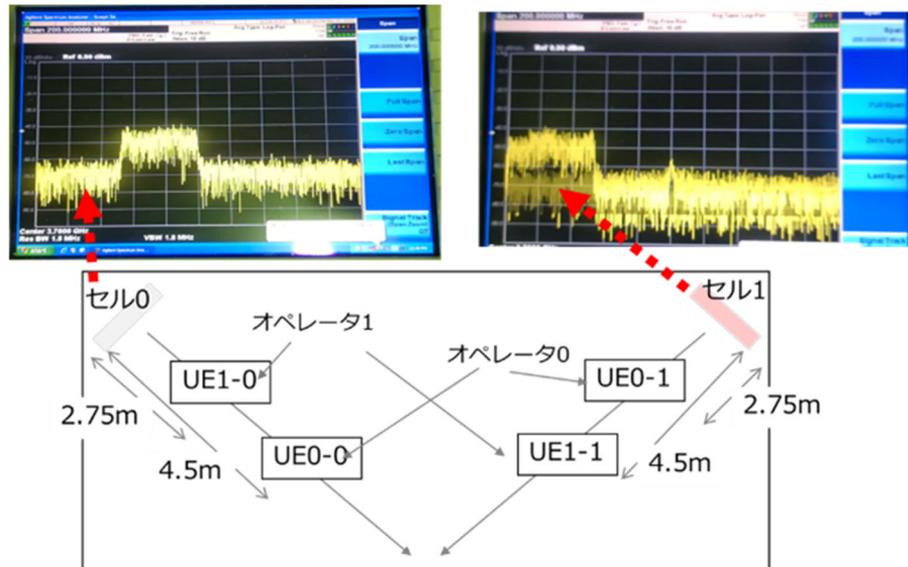


図 17 実験系構成と帯域割当の様子

表 2 スループット測定結果

シナリオ	スループット (Mbps)	スループット改善率
個別 RU	405.5	1
共用 RU (同一帯域)	378.5	0.93
共用 RU (異なる帯域)	558.5	1.37
共用 RU (全帯域占有)	637.0	1.57
共用 RU (最適化)	850.8	2.09

本プロジェクトの研究・開発の成果の一部であるセル間干渉制御技術に関連した制御インターフェースについては、0-RAN 標準化仕様として提案活動を実施し、WG1 Use Case Detailed Specification、WG3 E2SM-CCC 等の規格文書に採用されている。

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

研究開発による特許・論文・研究発表国際標準の実績から、合計2件の査読付き誌上発表論文及び合計14件の口頭発表に加え、海外を含む合計29件の特許出願を行い、2件の海外特許が登録された。また、O-RAN標準化仕様として提案活動を実施し、本研究開発成果の国際標準化を推進している。

以上より、本研究開発は数多くの成果を上げており、その必要性、有効性等が認められた。

主な指標	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	0件（0件）	0件（0件）	2件（0件）	2件（0件）
査読付き口頭発表論文数 （印刷物を含む）	0件（0件）	3件（3件）	4件（4件）	7件（7件）
その他の誌上発表数	0件（0件）	0件（0件）	1件（0件）	1件（0件）
口頭発表数	4件（0件）	5件（0件）	5件（0件）	14件（0件）
特許出願数	6件（0件）	13件（7件）	10件（6件）	29件（13件）
特許取得数	0件（0件）	0件（0件）	2件（2件）	2件（2件）
国際標準提案数	0件（0件）	0件（0件）	16件（16件）	16件（16件）
国際標準獲得数	0件（0件）	0件（0件）	2件（2件）	2件（2件）
受賞数	0件（0件）	0件（0件）	0件（0件）	0件（0件）
報道発表数	0件（0件）	0件（0件）	0件（0件）	0件（0件）
報道掲載数	0件（0件）	0件（0件）	0件（0件）	0件（0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の本格的なサービス展開に向け、設置場所の制約等により複数周波数／複数キャリアの5G基地局やアンテナの設置が困難な場合、基地局を共用することは非常に有効である。5Gネットワークの早期展開、高密度な基地局設置、ルーラルエリアでの効率的なネットワーク展開等を踏まえると、インフラ設備を共用可能とする研究開発は極めて重要である。</p> <p>また、基地局の共用は省エネの点からも有効と考えられ、特に伝送速度が高速化すれば消費電力も増える方向になることから、本研究開発は実施すべき課題である。</p> <p>加えて、本研究開発の成果は比較的無線技術の利用が進んでいない高周波数帯の利用の促進に資するものである。</p> <p>よって、本研究開発は必要性があったと認められる。</p>
効率性	<p>本研究開発の実施にあたっては、5G基地局に関する専門的知識や研究開発遂行能力を有する企業のノウハウを積極的に活用することにより、効率的に研究開発が実施できる体制が構築されている。</p> <p>また、研究開発の実施期間中も、通信事業者や学識経験者の専門家等で構成される外部有識者と受託者による研究開発運営委員会や、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の情報交換が積極的に行われた。</p> <p>加えて、経費執行の効率性については、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いて、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、効率的な実施を図った。</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>本研究開発では、キャリアの個別RU2台と比較して消費電力を25%以上削減した共用RUの開発を行い、目標を達成した。また、研究開発したオペレータ間協調制御技術を用いて、4通信キャリア共用によりエリア内の基地局数を4倍に高密度化した共用RUシステムにおいて、個別RUシステムの場合に比べ、システム容量1.5倍以上の効果を確認し、目標を達成した。</p> <p>本研究開発の成果は、移動通信ネットワークの効率的な構築・運用が可能になり、ひっ迫が予想される無線周波数の利用効率の向上に寄与し、5Gサービスの早期普及・展開に貢献することが期待できる。</p> <p>よって、本研究開発には有効性があったと認められる。</p>
公平性	<p>本研究開発は、複数キャリアによる基地局共用化を実現するものであり、その成果は必ず複数のキャリアにより活用されるものであることから、特定の事業者のみが恩恵を受けることはない。また、本研究開発の成果により、都市部の駅のプラットフォームやショッピングモール、信号機、地下街など高トラヒックの予想されるエリア等における5Gサービスの早期普及・展開や、ルーラルエリアにおける5Gネットワークの効率的な展開が可能となり、広く国民の利益につながるものである。</p> <p>また、比較的使用率の低い高周波数帯の活用に大きく寄与するものであることから、広く無線局免許人や無線通信の利用者の利益となる。</p> <p>委託先の選定にあたっては、開示する基本計画に基づき実施希望者の公募を広く行い、研究提案については提案者と利害関係を有しない外部専門家から構成される評価会において審査し、最も優れた提案を採択する方式により、競争性を担保した。</p> <p>よって、本研究開発には公平性があったと認められる。</p>
優先性	<p>本研究開発の成果は、5Gネットワークの早期展開、高密度な基地局設置、ルーラルエリアでの効率的なネットワーク展開等に寄与するものであり、通信インフラの整備に資するものであることから、優先的に取り組むことが適切である。</p> <p>また、本研究開発は、より高い周波数の利用技術を確立するものであり、周波数ひっ迫対策にも資することから、優先的に実施していく必要がある。</p> <p>よって、本研究開発には、優先性があったと認められる。</p>

5 政策評価の結果（総合評価）

本研究開発は、ひっ迫が予想される Sub6 帯や準ミリ波帯の周波数の利用効率の向上、より高い周波数帯の利活用を促進することで 5G サービスの早期普及・展開を図り、また移動通信ネットワークの効率的な構築・運用にも資する技術として、基地局共用技術に関する研究開発を行ったものである。

本研究開発において、共用 RU の消費電力の 25%以上の削減（2 キャリア換算での消費電力が 1.5 倍以下）を実現するとともに、フロントホール容量増大を 2 倍以下に抑えつつシステム容量を 1.5 倍以上改善したネットワーク接続管理・制御技術を実現し、目標の達成を確認した。

また、論文・口頭発表、特許出願や国際標準化に向けた活動など、実用化に向けた検討もあわせて実施されている。

以上より、本研究開発は有効性、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>

今後は、本研究開発で確立した基地局共用技術を実用化するため、引き続き、事業者において、本研究開発技術を搭載したネットワーク機器の採用を国内外の通信キャリア、シェアリング事業者に働きかけ、5G 共用基地局共用の普及を図る。これにより、5G サービスの早期普及・展開を通して、周波数利用効率の向上とより高い周波数の利活用の促進に貢献する。

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。

- ・5G 基地局共用を実現する共用 RU を研究開発して、フィールド検証を実施。共用 RU の消費電力をオペレータの個別 RU 2 台と比較して 25%以上削減し、目標を達成している。また、研究開発したオペレータ間協制御技術を用いて、個別 RU システムの場合に比べ、4 通信オペレータ共用によりエリア内の基地局数を 4 倍に高密度化した共用 RU システムにおいて、システム容量 1.5 倍以上の効果を確認し、目標を達成している。本研究開発の成果により、移動通信ネットワークの効率的な構築・運用が可能になる。ひっ迫が予想される無線周波数の利用効率の向上に寄与し、5G サービスの早期普及・展開に貢献することが期待できるため、本研究開発は有益であったと判断する。
- ・本研究開発は、複数オペレータが運用可能な 5G 基地局共用技術を無線ユニット・信号処理とフロントホール帯域制御の点から要素技術開発し、それらを統合することにより確立するものであり、最終年度にあたる本年度は、各要素技術の試作・動作確認を完了させ、全体として、目標性能を着実に達成している。知財への対応については、目標（15 件）を大きく上回る 29 件の特許申請を行い、既に海外 2 件の特許登録を獲得しており、高く評価できる。また、標準化対応についても、研究開発成果を ORAN 標準化の規格文書に反映させており、実用化に向けた取り組みを着実に進捗させている。今後は、速やかに通信オペレータと連携し、実ネットワークにおける基地局共用のメリット（特に低消費電力化）を明確化し、国際展開を含め、我が国のモバイル分野の国際競争力に資する取り組みを期待したい。

7 評価に使用した資料等

○成長戦略実行計画（令和元年 6 月 21 日）

<https://www.cas.go.jp/jp/seisaku/seicho/pdf/ap2019.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（令和元年 6 月 14 日）

<https://warp.ndl.go.jp/info:ndl.jp/pid/12187388/www.kantei.go.jp/jp/singi/it2/kettei/pdf/20190614/siryoul.pdf>

○デジタル田園都市国家インフラ整備計画（令和 4 年 3 月 29 日）

https://www.soumu.go.jp/main_content/000803507.pdf

○デジタル田園都市国家構想基本方針（令和 4 年 6 月 7 日）

https://www.cas.go.jp/jp/seisaku/digital_denen/pdf/20220607_honbun.pdf

○電波利用料による研究開発等の評価に関する会合

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

- 令和2年度 電波利用料による研究開発 基本計画書（本案件の基本計画書はP14～19）
https://www.tele.soumu.go.jp/resource/j/fees/purpose/pdf/200207_keikakusho.pdf