

令和3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政策課

評価年月：令和3年8月

1 政策（研究開発名称）

異システム間の周波数共用技術の高度化

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2年度（2か年）

・実施主体

民間企業、大学等

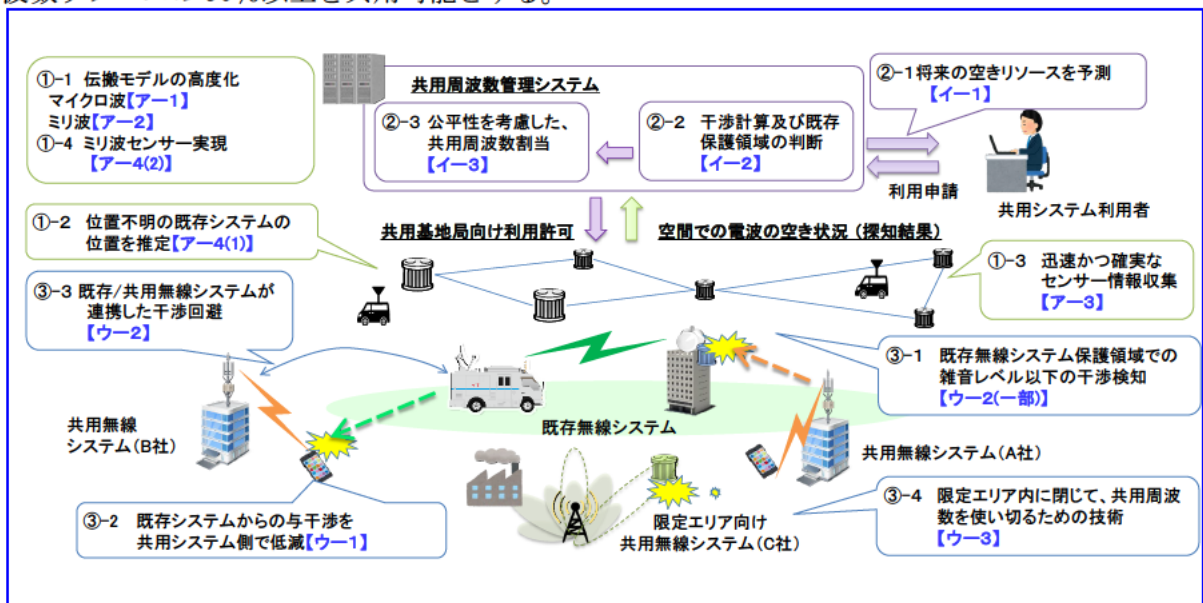
・総事業費

1,712百万円

令和元年度	令和2年度	総額
748百万円	964百万円	1,712百万円

・概要

本研究開発は、2020年以降の5Gの普及に向けて、国際的な調和を保ちながら新たな周波数ニーズに対応すべく、5Gと、既存無線システム間の動的かつ稠密な周波数共用の実現が期待されている。従来の周波数共用では割当てが困難となっていた周波数について、既存無線システムとの間で空間的又は時間的に共用することで生み出される新たな周波数資源（以下、空き周波数リソースと呼ぶ）を活用する。その上で、既存無線システムが使用していない空き周波数リソースを空間的に高精度で探知する「空き周波数リソース探知技術」、時間で変化する空き周波数リソースを動的かつ公平に割り当てるための「共用周波数の管理技術」及び空き周波数リソースをより有効活用するための周波数の稠密かつ高効率利用を実現する「共用周波数の利用技術」を確立した。これらの技術の確立により、従来の周波数共用では割当てが困難と判断されていた空き周波数リソースの90%以上を共用可能とする。



技術の種類	技術の概要
	<p>課題ア: 探知率 = $A/(A+UB)$を最大化</p> <p>課題イ: 割当率 = D/Eを最大化</p> <p>課題ウ: 利用率を最大化</p> <p>利用率: 単位面積(メッシュ)あたりの容量 [bps/unit]</p> <p>Capacity [bits/s/unit mesh]</p> <p>Capacity [bits/s/unit mesh]</p> <p>既存無線システム</p> <p>5G</p> <p>A: 空きリソースとして探知不可 B: 新たに空きリソースとして探知可能 C: 真の既存無線システム保護領域 D: 5Gエリア</p> <p>E: 潜在的に使い得る時間 D: 検出から割り当てまでの時間 5Gへの割当</p> <p>frequency [Ch]</p> <p>time</p> <p>空き検出</p> <p>空きリソース 事業者Aへの割当 事業者Bへの割当 事業者Cへの割当</p>
ア 空き周波数リソース探知技術	<p>空き周波数リソースについて、周波数共有が想定される都市部及びブルーラル地域の無線伝搬環境において、最小 75m 以下で、空間的な探知精度を 80%以上確保できることを実環境で検証した、動的かつ精緻な空き周波数リソース探知技術を確立する。</p>
イ 共用周波数の管理技術	<p>課題アより取得した空き周波数リソース情報に基づき、5Gへの空き周波数リソースの割当て判定を公平性に配慮しつつ効率的に行うことで、時間的に空き周波数リソースの85%以上を5Gへ割り当てることを実現可能な、共用周波数の管理技術を確立する。</p>
ウ 共用周波数の利用技術	<p>様々な状況で共用周波数の効率的な利用を実現可能な以下の個別目標を達成することで、空き周波数リソースに対して 20%以上の周波数方向での利用効率の向上を実現可能な、共用周波数の利用技術を確立する。</p> <ul style="list-style-type: none"> 既存無線システムから5Gが干渉を受けた際に生じる通信品質の劣化幅を低減することで、割当てを受けた空き周波数リソースに対して20%以上の利用効率向上を実現する「ウー1 共用周波数の干渉許容技術」を確立する。 既存無線システム、あるいは、5Gが移動することなどにより生じる重度な干渉発生を低減することで、空き周波数リソースに対する周波数利用効率を20%以上向上可能な「ウー2 共用周波数の重度干渉回避技術」を確立する。 5Gが、共用利用を許可された空間内で、割当てを受けた空き周波数リソースの20%以上の利用効率を向上可能な「ウー3 共用周波数の利用最大化技術」を確立する。

・スケジュール

技術の種類	令和元年度	令和2年度
ア 空き周波数リソース探知技術	基本検討・評価	機能拡張・評価
イ 共用周波数の管理技術	基本検討・評価	機能拡張・評価
ウ 共用周波数の利用技術	基本検討・評価	機能拡張・評価

(技術試験事務との連携)

本件研究開発成果を取り込んだ共用シナリオ検討・干渉調整自動化のためのシステム構築・実証試験を行う調査・実証(技術試験事務)と連携した実施体制を構築し推進。

(2) 達成目標

2020年以降のIoTや第5世代移動通信システム(5G)等の普及に向けて、新たな周波数を確保するため、既存無線システムとの高度な周波数共用など、限りある資源である周波数の有効利用の一層の推進が求められるなか、現在の周波数割当てにおいては、絶対に電波干渉が起これないという安全マージンによる前提の下、人手による周波数調整によって、場所的な共用や日単位での運用調整といった限定的な共用がなされており、高度な周波数共用スキームの実現が望まれている。

このような課題の解決のために、従来の周波数共用では割当てが困難となっていた周波数について、既存無線システムとの間で空間的又は時間的に共用することで生み出される新たな周波数資源の活用、時間単位の周波数共用を前提とした干渉調整作業の自動化、共用周波数の利用手続きの簡素化等により、動的かつ稠密な周波数共用(ダイナミック周波数共用)の実現を目指す。

○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)
規制改革実施計画 (平成 29 年 6 月 9 日閣議決定)	「No.22 官官・官民共用化の推進」において、「周波数の官官共用・官民共用を推進する観点から、共用可能な場所、時間及び送信電力等の共用条件の決定をより効率的かつ効果的な技術を活用するなどした、よりダイナミックな共用方法の検討を行う。」旨、記載されている。
未来投資戦略 2017 (平成 29 年 6 月 9 日閣議決定)	「第 2 具体的施策 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 viii) 電波周波数の調整・共用」において、「周波数の官官共用・官民共用を推進する観点から、共用可能な場所、時間及び送信電力等の共用条件の決定をより効率的かつ効果的な技術を活用する等した、よりダイナミックな共用方法の検討を行い、準備ができ次第、技術試験を行った上、平成 32 年度に結論を得る。」旨、記載されている。
規制改革推進会議 第 2 次答申 (平成 29 年 11 月 29 日決定)	「III 各分野における規制改革の推進 2. 電波制度改革 (2) 具体的な規制改革項目 ⑤ 割当てに関わる制度の見直し オ 共用を前提とした割当て」において、「現在、公共部門や携帯電話システムなど使用頻度が高い無線システムに対する周波数割当てに関しては、免許人に周波数を専有的に利用させているが、電波の有効利用のためには周波数共用の推進が必要であり、特に、5G 向けの周波数帯等では複数の免許人による周波数共用が一層進むと見込まれる。この点、欧米では、LSA (Licensed Shared Access) などの階層型認可やダイナミック周波数アクセスシステムなど、共有された周波数の割当てと運用の調整を機動的に行う仕組みが検討されており、我が国においてもこうした仕組みを早急に検討すべきである。したがって、周波数共有を機動的に行う仕組みを検討し、結論を得る。」旨、記載されている。

(3) 目標の達成状況

従来の周波数共用では割当てが困難となっていた周波数について、既存無線システムとの間で空間的又は時間的に共用することで生み出される新たな周波数資源の活用、時間単位の周波数共用を前提とした干渉調整作業の自動化、共用周波数の利用手続きの簡素化等により、動的かつ稠密な周波数共用(ダイナミック周波数共用)の実現を目的とした本研究開発では、目標である空き周波数リソース探知精度 90%以上を達成した。

更に、本研究開発の要素技術（既存無線システムの保護を重視した電波伝搬モデル、保護判断のための干渉電力の計算手法等）を取り込んだ調査・実証（技術試験事務）の結果、2.3GHz帯におけるダイナミック周波数共有を実現するために必要な周波数共有管理システムの要件定義、構築等を行った。

2.3GHz帯におけるダイナミック周波数共有については、総務省において省令等の制度整備や割当てに向けた手続の検討等の必要な措置を講じ、実用化を図る予定。

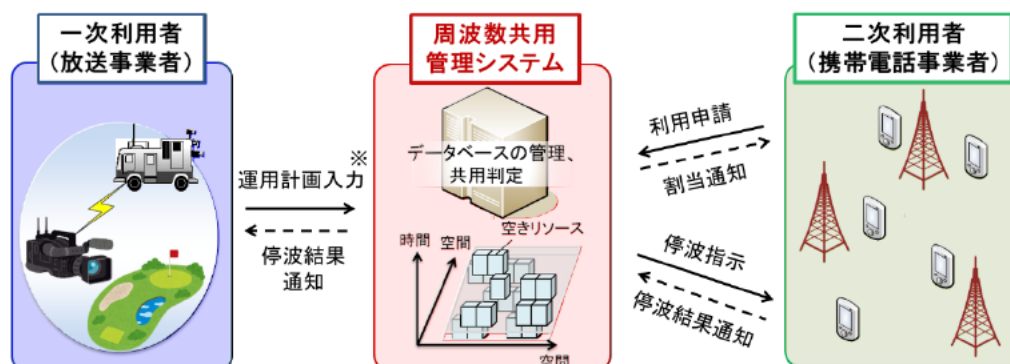
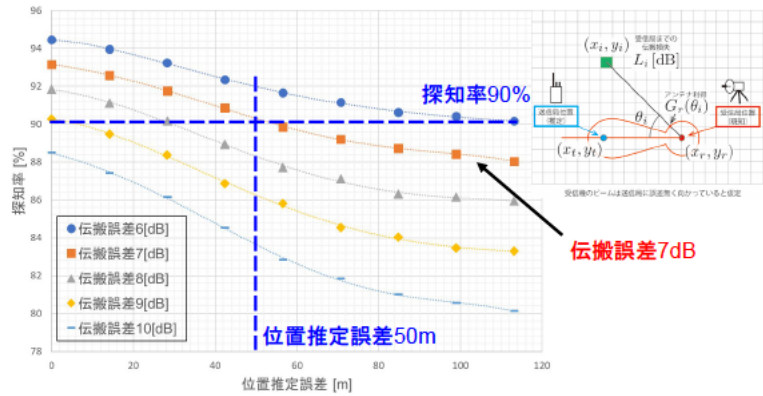


図 2.3GHz帯ダイナミック周波数共有の運用スキーム

技術の種類	目標の達成状況
<p>ア 空き周波数リソース探知技術</p>	<p>○マイクロ波に関する目標達成 課題アのマイクロ波帯では目標「最小 50m 以下で空間的な空き周波数リソース探知精度 90%以上を達成」に向けて、既存利用者を 2.3GHz 帯放送事業用 FPU (Field Pickup Unit)¹、共用システム利用者として LTE/5G を想定し、FPU 受信位置が既知の環境で、電波伝搬モデルの高度化（アー 1）、送信局位置推定手法（アー 4（1））、および電波センサー情報の効率的な集約手法（アー 3）で連携した場合の効果を評価した。はじめに電波伝搬の推定誤差を変化させて、既存システム送信局の位置推定誤差と空き周波数探知率の関係を図ア-1のように求めた。 この基本特性をもとに、各課題での成果を活用して目標達成を評価した。まず、課題アー 1 では、既存システムの受信局、送信局の位置を既知という条件で、AI・機械学習を活用した高精度伝搬推定による伝搬誤差が 5.35dB 程度に抑えられることを確認し、伝搬誤差改善により空き周波数探知率が 90%以上となることを確認した。次に、課題アー 4（1）では、既存システム送信局の位置が未知でもセンサー情報を活用することで、位置推定誤差を 50m 以下で推定可能なことを示し、電波伝搬誤差 7dB 以下の環境で空き周波数探知率が 90%以上となることを確認した。最後に課題アー 3 では、既存システム送信局が移動する環境でも、センサー情報集約にかかる時間を 2.4 秒程度に短縮することで、位置推定誤差を 50m 以下に抑えられることを示し、電波伝搬誤差 7dB 以下の環境で空き周波数探知率が 90%以上となることを確認した。これらの成果から、既存システム送信局の位置情報によらず目標値である空き周波数探知率 90%以上が達成できることが確認できた。</p> <p>○ミリ波に関する目標達成 既存システムを 26GHz 帯固定無線アクセス (Fixed Wireless Access : FWA)、共用システムを 5G システムとして周波数共有する場合を想定し、課題アー 2 の電波伝搬モデルの高度化及び送信パラメータ推定手法、課題アー 4（2）のミリ波帯高度電波センサーを利用して、到達目標である空間分解能 10m での 90%の探知精度の達成を目指した。 電波伝搬モデルの高度化では、与干渉の発生を最小とするために、屋根超え回折モデルを用いて伝搬損失の下限を予測する最小伝搬損失モデルを提案した。これにより、既存システムおよび共用システムの送受信パラメータは既知という条件で、到達目標である 10m の空間分解能で、モデルにより予測した結果を、実運用局を用いた実測結果と比較し、提案手法で探知精度 90.2%を達成できることを確認した。 また、ミリ波帯高度電波センサーを利用した送信パラメータ推定手法を用いて、既存システムの送信パラメータは未知、位置は固定という条件での、ハイブリッドセンシングを確立し、既存システムの検出精度向上を実現した。ミリ波帯高度電波センサーとして、水平面内ビーム幅 4.5° の 2次元および 3次元探索用アレーアンテナを実現した。また、受</p>

¹ 放送事業用 FPU (Field Pickup Unit) : マラソン中継のイベント等の番組素材の伝送を行う無線システム

信機における整合フィルタの周波数、タイミング同期に伴う雑音信号の見掛け上の電力を考慮した検出閾値を設定し、SNR² -23dB において空き周波数リソースの検出率 90%を実現し、実受信機で -100dBm/MHz の信号検出を実現した。これらの技術を統合し、図 4- 4 に示すように高度電波センサーシステムを実装した。また、センサーシステムにより複数受信点で測定した到来角度および受信電力から、送信局の 3 次元設置位置や送信電力だけでなく、アンテナビーム方向、アンテナビーム幅を推定するハイブリッドセンシング法を提案し、屋根超え回折を考慮した推定モデルを導入することで、フィールド実験において位置推定精度 7. 04m を実現した。



図ア- 1 位置推定誤差と探知率の関係



図ア-2 実現したセンサーシステム

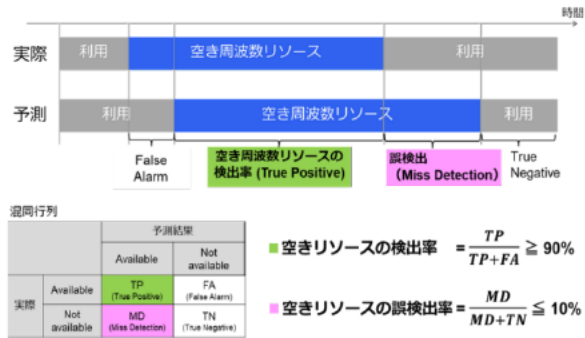
イ 共用周波数の管理技術

○空き周波数リソース検出方式

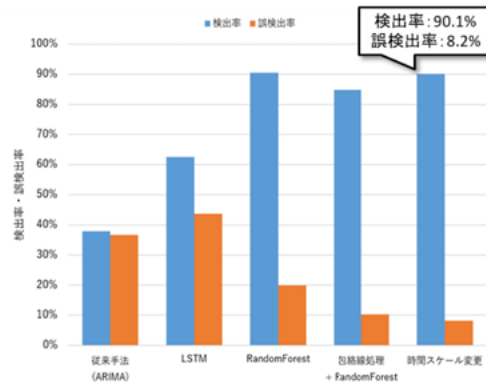
伝搬環境の変化により、既存無線システムが利用していない空き周波数リソースは場所毎に時々刻々と変化する。周波数共用においては、既存無線システムの保護が原則であり、システム間干渉を回避するために、共用利用者の利用には場所的、時間的な制約が生じることとなる。そのため、共用利用者が計画的に共用周波数を利用するためには、将来において空き周波数リソースが生じる場所および時間を把握できるようにする必要がある。予測結果に基づき、共用利用者は将来の空き周波数リソースの状況を事前に確認することができ、効率的な周波数利用の促進が期待できる。

このような背景を鑑み、本技術課題では、将来の空き周波数リソースの予測技術の確立に取り組んだ。将来の空き周波数リソースを高精度に検出することにより、空き周波数リソースの時間軸における割合率向上に貢献する。一方で、実際には既存無線システムが利用しているリソースを、誤って空き周波数リソースであると検出してしまった場合、システム間干渉のリスクとなる。そのため、検出率の向上と誤検出率の低減を両立させることが必要である。そこで、図イ-1 に示すように、伝搬環境の変化によって生じる潜在的な空き周波数リソースの検出率 90%以上かつ誤検出率 10%以下を目標とした。機械学習を用いた予測手法を考案し、入力特徴量および予測の時間スケールを 5 分、10 分、15 分、30 分、60 分と変化させて評価を実施した。その結果、図イ-2 に示すように、15 分単位の入力特徴量を用いて 30 分単位の予測を行った場合に、検出率 90.1%かつ誤検出率 8.2%となり、本課題の到達目標の達成を確認した。

² SNR(Signal to Noise Ratio) : 所望の信号と雑音の電力比のこと



図イ-1 空き周波数リソース検出率および誤検出率の定義

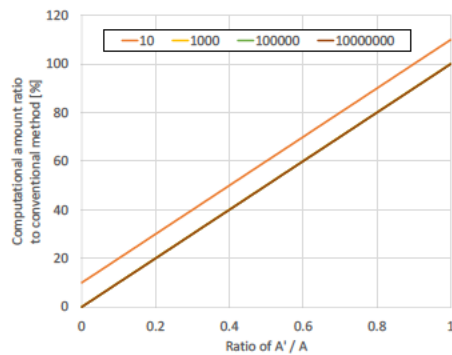


図イ-2 空き周波数リソース検出率および誤検出率の評価結果

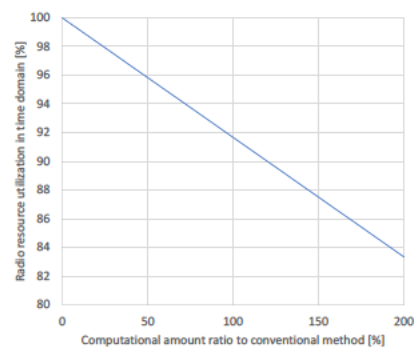
○ダイナミック共用に適した干渉計算手法

本課題では、共用システム(5G)のダイナミック周波数共用によって既存システムへ致命的な干渉を与えないために、共用周波数管理システムが高速、高信頼かつ必要最低限の安全マージンで計算可能な干渉制御技術を確認した。その上で、共用周波数管理システムが実時間で干渉計算を実行し、共用システムのリソース利用開始時間および通信パラメータ更新待ち時間を削減して、空き周波数リソースの時間利用率90%以上を達成することを目標に掲げた。

この目標に対して、ダイナミック周波数共用の導入が検討されている周波数帯域を想定した干渉計算技術の検討評価を実行し、その計算量の見積を行った(図イ-3)。実際の運用条件(例えば、数千~数万の共用システム基地局数や、アンテナ回転範囲の削減量50%など)を考慮すると、提案手法は、従来手法の計算量の5%から30%程度で実行できることが確認できた(図イ-3(a))。また、この結果を2.3GHz帯のダイナミック周波数共用の運用条件と照らし合わせると、提案手法は90%以上の時間利用率が確保でき、目標達成が可能であることを確認した(図イ-3(b))。



(a) アンテナ照準回転範囲に対する従来比計算量 (パラメータ: 共用無線システム局数)

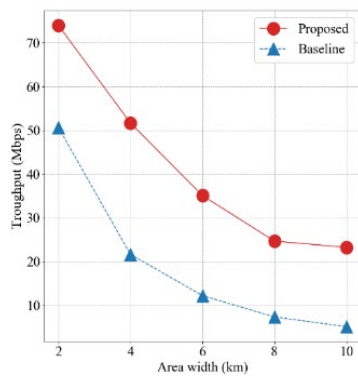


(b) 従来比計算量に対する空き周波数リソースの時間利用率

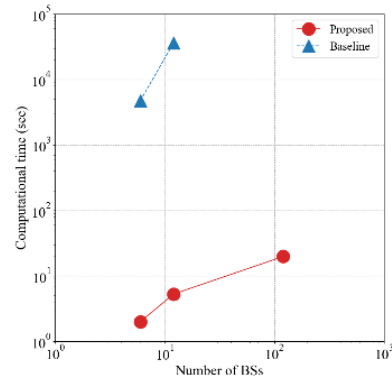
図イ-3 空き周波数リソースの時間利用率見積もり

○公平公正な共用周波数リソース割当方式

ダイナミック周波数共用において、空き周波数リソースは、複数の2次事業者間で共用されることが想定されるため、周波数管理システムは、共用周波数を2次事業者へ動的に割当の必要がある。また、共用周波数の利用効率を向上するには、2次事業者の需要に基づいた速やかな周波数割当が必要である。そこで、本課題では、従来の2次事業者別に割当周波数帯を固定した方式と比較して、空き周波数リソースのうち共用利用者へ割当られる帯域における周波数効率を30%以上増加させつつ、割当計算時間を抑制することで時間的な空きリソース周波数の90%以上を公平に2次事業者へ割り当てることを目標とした。考案した周波数割当手法を、シミュレーション環境として、3事業者が計120局の基地局を配置し、10チャンネル分の共用周波数を24タイムスロット分割り当てることを想定して、評価を行った。図イ-4 (a)に、基地局を配置する正方形エリアの1辺の長さに対する、周波数効率を示すエリア全体の平均スループット³の評価結果を示す。提案手法では、2次事業者に共用周波数を固定的に割当する従来手法と比べ、目標値30%を上回る43%以上増加することを確認した。次に、同一評価条件下において、公平性を評価した。公平性の評価指標としてFairness Index (FI)を用いた。同指標は、1に近づくほど、事業者間の需要帯域に対する割り当て帯域を示す獲得率の差分がなく、公平性が高いことを示す。2次事業者に固定的に割り当てる従来手法では、FIが0.98だったのに対して、提案手法でも同等の0.98となり、需要に応じた動的割当でも高い公平性を保つことを確認した。次に、割り当て基地局数に対する2タイムスロットあたりの計算時間を図イ-4 (b)に示す。基地局仮想化を実施しない場合と比べ、提案手法では、計算時間を1/1000以上圧縮した。また、計算時間は、米国でのCBRS⁴の基地局制御の最短単位である5分を割当周期とした場合でも、割当計算によるロス率は約3%となり、到達目標である時間的な空きリソース周波数の割当率90%以上を達成した。



(a) スループット



(b) 計算時間

図イ-4 提案手法と既存手法の平均スループット及び計算時間の比較

ウ 共用周波数の利用技術

○共用周波数の干渉許容技術

本課題では、5Gシステム側で得られる既存システムに関するシステム情報の粒度によって干渉影響を低減するアプローチが異なるため、詳細な情報が利用可能な場合に適した技術として、「(1)共用システムにおける異システム対応型干渉除去手法」を、情報粒度が粗い場合に適した技術として、「(2)共用システムにおける適応的リソース再構成制御手法」の検討を行った。

(1)の干渉除去技術では、既存無線システムからの干渉信号を5G受信機で除去すべく、サンプリング周波数⁵等のシステム差分および双方の信号の受信タイミング差分を補正し、5G受信機側で異システムの受信レプリカ信号⁶を生成して除去する技術を確立した。図ウ-1に本技術を実装した試作装置の屋外無線伝送実験で得られた結果を示す。既存無線システムからの干渉が強く、これまで5G通信が利用できなかった状況において、提案する干渉除去技術を適用することで8Mbpsから23Mbps程度のスループットが得られた。この結果から、受信機の実装制約を考慮した条件においても、目標とする30%以上の周波数利用効率改善に相当する特性を確認した。

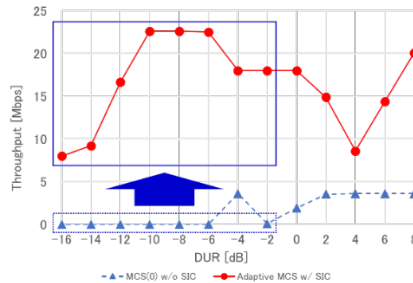
³ スループット：伝送路を通じて単位時間あたりに送受信できるデータ量

⁴ CBRS(Citizens Broadband Radio Service)：3.55GHzから3.70GHzを利用する、米国での周波数共用方式

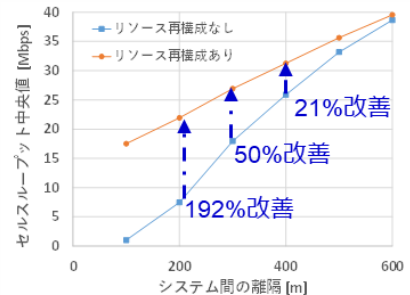
⁵ サンプリング周波数：アナログ信号をデジタル信号に変換する際、1秒間にデータをサンプリングする回数

⁶ レプリカ信号：所望の送信アンテナ信号を検出する際、他の送信アンテナからの干渉信号を予測して複製した信号

(2) リソース再構成技術の検討では、5G システムにおいて既存無線システムからの干渉影響を基地局が把握し、干渉影響の少ない端末に対してリソースおよび電力を集中的に割り当てる技術を確認した。具体的には、既存無線システムから各端末への干渉影響を把握するために 5G に信号を送信しないブランクシンボル区間を挿入し、ユーザが干渉影響を観測し、基地局に通知し、これに基づいてリソースの割り当てを行う。システムレベルの計算機シミュレーションによる評価を行い、図ウ-2 に示すように、既存無線システムからの離隔距離が小さい場合 (300m 程度) において、ブランクシンボル挿入によるオーバーヘッドが発生する場合においても、目標とする 30%以上の周波数利用率改善の実現を確認した。



図ウ-1 提案干渉除去方式の適用効果一例



図ウ-2 システム間の離隔に対するスループット特性

○共用周波数の重度干渉回避技術

重度な干渉の前兆となる、共用周波数利用時の干渉条件での信号検出方式に取り組んだ。サンプル点加算 CBM (Correlation Based Method) およびシンボル加算 CBM 方式を導入し、マルチパスフェージング⁷環境下であっても、既存無線システム (FPU) の信号、および 5G システムの信号が、 $I/N^8 = -10\text{dB}$ においても検出できる方式を確認し、電波センサーに実装した。実装した電波センサーを用いて、図ウ-3 に示すように、都内の実証フィールドで実際に 2.3GHz 帯 LTE 信号の検出実証試験を実施し、 $I/N = -10\text{dB}$ 付近でも検出可能であることを実証した。また、電波センサー回路規模削減に資する量子化待受信号方式を確認した。

既存システムから 5G システムへの制御情報を通知、もしくは相互に制御情報を交換し、双方の無線システムが、より密な連携により、重度な干渉を回避可能な周波数共用を実現する通信方式の検討を行った。制御情報の通知、交換する所要通信エリアを 5km とし、この通信エリアを最大送信電力 250mW で伝送可能な方式の確認を目標として取り組んだ。そして IEEE802.15.4g/4x 準拠の狭帯域 OFDM⁹をベースに、狭帯域 OFDM の特徴である少ないパイロット信号でも移動通信環境での利用に対応可能な送受信方式を提案し、図ウ-4 に示すように、目標値の 1/10 以下である送信電力 20mW で約 6km 伝送を達成する方式を確認した。

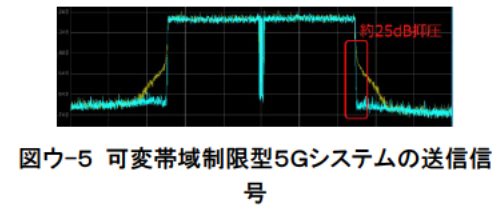
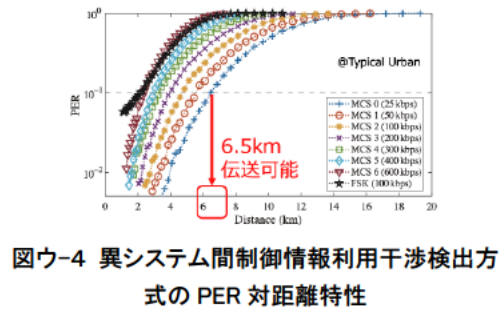
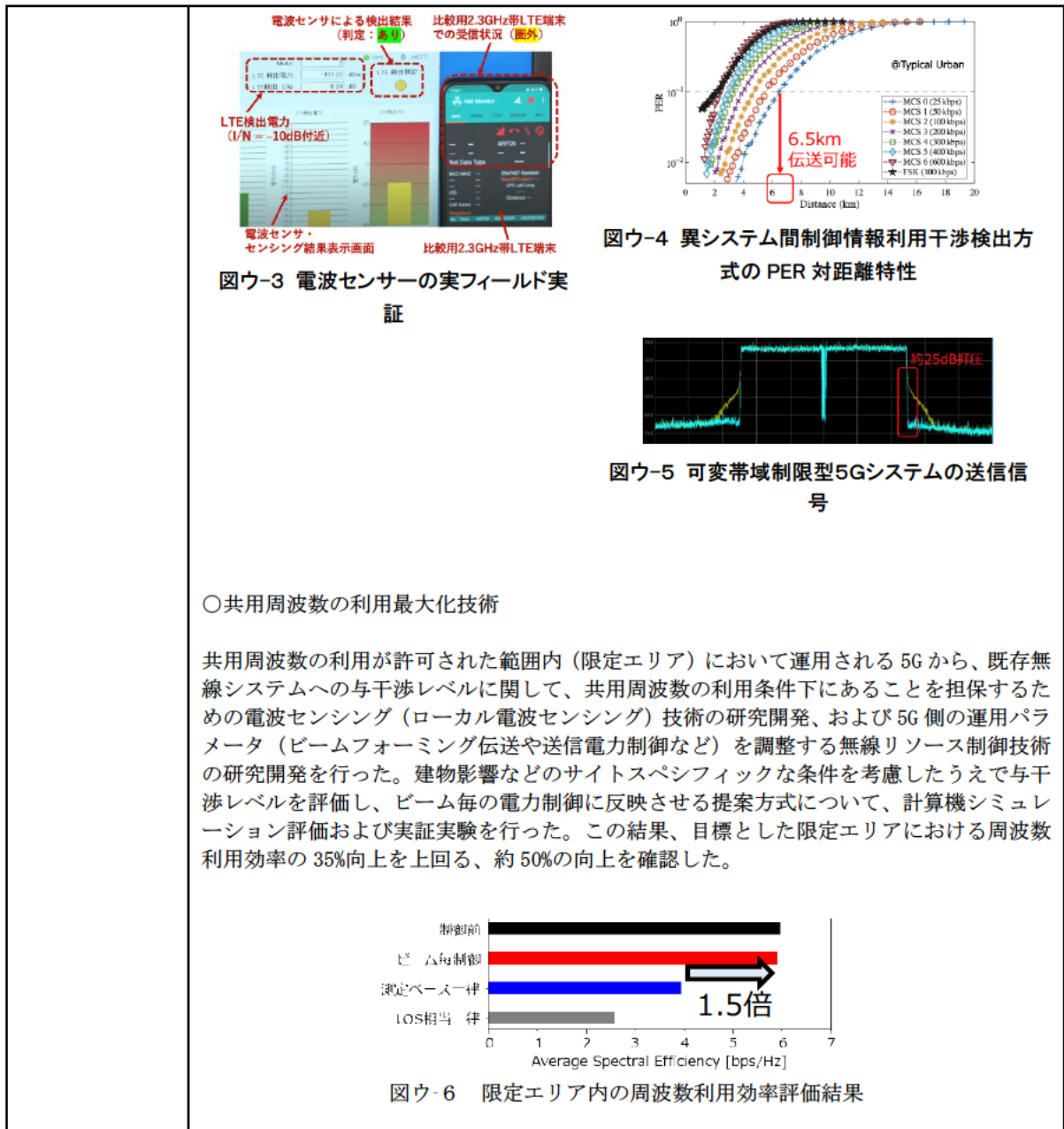
共用可能な周波数帯が可変する場合でも、5G システムでの利用が可能にするために、可変帯域制限型の 5G システムを想定している。空き周波数リソースの有効活用には帯域外輻射の抑圧が必要で、送信側で時間軸窓を適用し、受信側で LLR 調整¹⁰を実施することで、帯域外輻射の 1/1000 以下の抑圧を実現しつつ通信品質の劣化がない方式を確認した。本方式を異システム間共通連携制御干渉検出方式としても活用可能な商用 5G システムへ実装し、図ウ-5 に示すように、約 25dB の抑圧を実証した。

⁷ マルチパスフェージング：電波が地形や建物による反射や回折を繰り返し、複数の電波となって受信機に到達することにより、受信電力が大きく変動する現象

⁸ I/N ：他システムからの干渉電力(I : Interference)と、自システム内の雑音電力(N : Noise power)とのレベル比

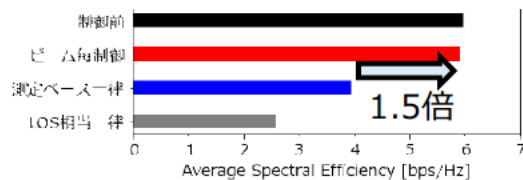
⁹ 狭帯域 OFDM：狭いチャネル帯域幅において変調方式と符号化方式を可変することにより、省電力で利用環境に適合したデータレートを實現する通信方式

¹⁰ LLR 調整：ある受信信号に対し元の送信ビットが 0 もしくは 1 である確率の比の対数値(LLR)を補正し復号する手法



○共用周波数の利用最大化技術

共用周波数の利用が許可された範囲内 (限定エリア) において運用される 5G から、既存無線システムへの与干渉レベルに関して、共用周波数の利用条件下にあることを担保するための電波センシング (ローカル電波センシング) 技術の研究開発、および 5G 側の運用パラメータ (ビームフォーミング伝送や送信電力制御など) を調整する無線リソース制御技術の研究開発を行った。建物影響などのサイトスペシフィックな条件を考慮したうえで与干渉レベルを評価し、ビーム毎の電力制御に反映させる提案方式について、計算機シミュレーション評価および実証実験を行った。この結果、目標とした限定エリアにおける周波数利用効率の 35% 向上を上回る、約 50% の向上を確認した。



3 政策効果の把握の手法

本研究開発終了後には、外部専門家・外部有識者から構成される「電波利用料による研究開発等の評価に関する会合」(令和3年6月25日)において、目標の達成度、実施体制の妥当性及び経済的効率性、実用化等の目処等について外部評価を行い、政策効果の把握を行った。

4 政策評価の観点・分析等

○研究開発による特許・論文・研究発表の実績、成果展開からの分析

研究開発による特許・論文・研究発表の実績から、2年間で合計 51 件の論文発表及び合計 100 件の口頭発表に加え、合計 74 件の多数の特許を出願する (特許審査期間もあり現時点では特許取得数は 0 件) など成果展開に必要な技術を実証的に確立している。

各国における既存システムの利用状況によることから異システム間の周波数共用技術に係る国際標準化はそぐわない部分もあるが、査読付き口頭発表論文は海外のみであり、共用に係る要素技

術の国外への周知啓発にも努めており、更に、国内では本研究開発成果の要素を取り込み、2.3GHz帯におけるダイナミック周波数共用について、総務省において省令等の制度整備や割当てに向けた手続の検討等の必要な措置を講じ、実用化を図る予定である。

以上より、本研究開発の成果が着実に実用化に結びついており、本研究開発の必要性、有効性等が認められた。

主な指標	令和元年度	令和2年度	合計
査読付き誌上发表論文数	0件 (0件)	14件 (5件)	14件 (5件)
査読付き口頭発表論文数 (印刷物を含む)	9件 (9件)	28件 (28件)	37件 (37件)
その他の誌上发表数	1件 (0件)	3件 (1件)	4件 (1件)
口頭発表数	42件 (4件)	58件 (4件)	100件 (8件)
特許出願数	31件 (1件)	43件 (7件)	74件 (8件)
特許取得数	0件 (0件)	0件 (0件)	0件 (0件)
受賞数	0件 (0件)	0件 (0件)	0件 (0件)
報道発表数	0件 (0件)	3件 (0件)	3件 (0件)

注：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。

○各観点からの分析

観点	分析
必要性	<p>我が国の移動通信トラフィックは、LTE等のモバイルブロードバンドサービス等の普及により年々増加しており、高精細動画の伝送需要の増大やIoTの利用拡大等による更なる需要の増加が見込まれている。今後も増加が見込まれる移動通信トラフィックに対応するためにも新たな周波数の確保が期待されているところである。</p> <p>移動通信システムの新たな帯域への導入にあたっては、従来、周波数再編等を行い必要な周波数を確保することが基本であったが、電波利用の進展等に伴い、既に種々の無線システムで利用されており、共用を前提とした周波数割当てが不可避となっている。</p> <p>このような状況を踏まえ、異なる無線システムの動的な周波数共用(ダイナミック周波数共用)を可能とするための技術を確立したものである。</p> <p>今後、本研究開発成果の要素を取り込み、2.3GHz帯におけるダイナミック周波数共用について、総務省において省令等の制度整備や割当てに向けた手続の検討等の必要な措置を講じ、実用化を図る予定である。</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>研究開発については、実用化を見据え、プログラムディレクタのもと、周波数資源活用のための「研究開発」、研究開発成果を取り込んだ共用シナリオ検討・干渉調整自動化のためのシステム構築・実証試験のための「技術試験事務」を連携して実施し、無線システム、電波伝搬等の外部有識者を含めた実施体制を構築した。また、既存無線システム利用者との「ステークホルダー調整会議」を開催し、研究開発・技術試験事務の内容に関する検討を行った。さらに、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>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時における、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>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>従来、周波数再編等を行い必要な周波数を確保することが基本であったところ、本研究開発の実施により、既存無線システムが運用しない時間・空間において新たな無線通信システムの導入が可能となるものであり、有限希少な周波数の更なる有効利用が図られるものである。</p> <p>2.3GHz帯におけるダイナミック周波数共用について、今後、実用化を図る予定のところ、既存無線システムである放送事業用FPU(マラソンやゴルフ等の番組素材を中継するシステム)の運用を確保しつつ、FPUの運用に影響が生じない時間・空間において、新たな移動通信システム(5G等)の導入が</p>

	<p>可能となる。</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>本件は、携帯電話等のトラヒック増加に伴う移動通信システムへの周波数確保のため、周波数の共同利用を促進する技術の研究開発であることから、電波利用料財源で実施する研究開発として、公平性があつたと認められる。さらに、周波数の有効利用に大きく寄与するものであり、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>支出先の選定に当たっては、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・選定をしている。</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>本件は、規制改革実施計画（平成 29 年 6 月 9 日閣議決定）において、「周波数の官官共用・官民共用を推進する観点から、共用可能な場所、時間及び送信電力等の共用条件の決定をより効率的かつ効果的な技術を活用するなどした、よりダイナミックな共用方法の検討を行う。」旨、記載されている。また、規制改革推進会議 第 2 次答申（平成 29 年 11 月 29 日決定）において、「現在、公共部門や携帯電話システムなど使用頻度が高い無線システムに対する周波数割当に関しては、免許人に周波数を専有的に利用させているが、電波の有効利用のためには周波数共用の推進が必要であり、特に、5 G 向けの周波数帯等では複数の免許人による周波数共用が一層進むと見込まれる。この点、欧米では、L S A（Licensed Shared Access）などの階層型認可やダイナミック周波数アクセスシステムなど、共有された周波数の割当てと運用の調整を機動的に行う仕組みが検討されており、我が国においてもこうした仕組みを早急に検討すべきである。したがって、周波数共有を機動的に行う仕組みを検討し、結論を得る。」旨、記載されている。</p> <p>本研究開発は、周波数がひっ迫している中で、既存無線システムとの共用を図りつつ、新たな移動通信システムの導入を図るものであり、今後も増加が見込まれる携帯電話等の通信トラヒックに対応するために急務である。</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）

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等の普及により年々増加しており、高精細動画の伝送需要の増大や IoT の利用拡大等による更なる需要の増加が見込まれている。今後も増加が見込まれる移動通信トラヒックに対応するためにも新たな周波数の確保が期待されているところである。

移動通信システムの新たな帯域への導入にあたっては、従来、周波数再編等を行い必要な周波数を確保することが基本であったが、電波利用の進展等に伴い、既に種々の無線システムで利用されていることから、異なる無線システムの動的な周波数共用（ダイナミック周波数共用）を可能とするための技術を確立したものである。

今後、本研究開発成果の要素を取り込み、2.3GHz 帯におけるダイナミック周波数共用について、総務省において省令等の制度整備や割当てに向けた手続の検討等の必要な措置を講じ、実用化を図る予定である。

また、研究開発による特許・論文・研究発表なども着実に実施されるなど本研究開発の有効性、効率性等が認められた。

<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技術を活用し、既存無線システムの運用実態等を考慮の上、他の周波数帯においてもダイナミック周波数共用を適用することで、周波数の有効利用を推進するとともに、その有効性を学術論文や国際会議等における口頭発表等を通じて広く啓蒙していく。

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 3 年 6 月 25 日）における終了評価において、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。

- ・従来の周波数共用では割当てが困難と判断されていた空き周波数リソースの 90%以上を共用可能とすることで、5Gへの周波数割当てを加速させるための研究開発であり、合わせて時間単位での高度な周波数共用に関する技術的検討を実施し、技術的条件を取得する調査検討である。いずれの項目についても到達目標を達成していると判断する。
- ・達成目標は着実に達成されており、対外発表件数、申請特許件数ともに多い。高いレベルの多くの技術成果が得られている。また、それらの知財の獲得と標準化が戦略的に行われており、研究機関間の連携も有効であったと判断する。
- ・5Gの普及に向けて、国際的な調和を保ちながら新たな周波数ニーズに対応すべく、5Gと既存無線システム間の動的かつ稠密な周波数共用の実現を目指すために、研究開発と技術試験事務を合わせて行ない、「空き周波数リソース探知技術」、「共用周波数の管理技術」、「共用周波数の利用技術」により、それぞれ、探知率90%以上、時間割当率90%以上、周波数利用効率30%以上改善と、目標値以上を達成している。また、技術試験事務「移動通信システムと他の無線システムとのダイナミックな周波数共用に関する調査検討」と連携し、研究開発の要素技術を反映させ、2.3GHz帯の社会実装に向けた環境整備、26GHz帯に対するダイナミック周波数共用の有効性の確認に貢献している。以上より、目標は達成され、予算も効率的に使用されたと思われる。

7 評価に使用した資料等

- 規制改革実施計画（平成29年6月9日閣議決定）

https://www8.cao.go.jp/kisei-kaikaku/suishin/publication/p_index.html

- 未来投資戦略2017（平成29年6月9日閣議決定）

<https://www.kantei.go.jp/jp/singi/keizaisaisei/miraitoshikaigi/dai10/index.html>

- 規制改革推進会議 第2次答申（平成29年11月29日決定）

https://www8.cao.go.jp/kisei-kaikaku/suishin/publication/p_index.html

- 電波利用料による研究開発等の評価に関する会合 <電波利用料>

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

以上