

令和3年度事後事業評価書

政策所管部局課室名：国際戦略局 通信規格課

評価年月：令和3年8月

1 政策（研究開発名称）

狭空間における周波数稠密利用のための周波数有効利用技術の研究開発

2 研究開発の概要等

(1) 研究開発の概要

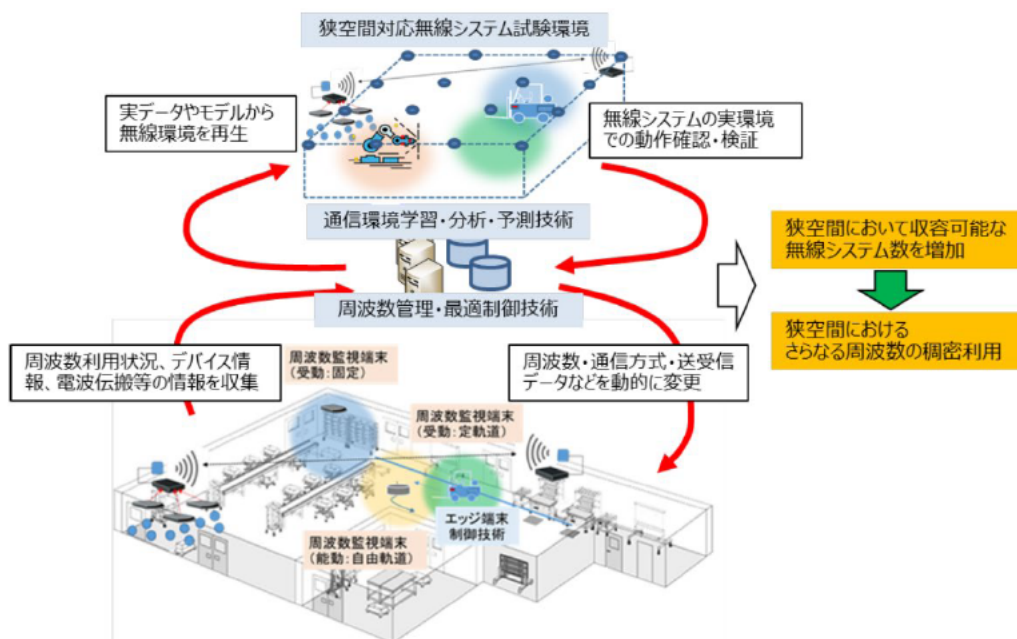
- ・実施期間
平成29年度～令和2年度（4か年）
- ・実施主体
民間企業、大学、国立研究開発法人等
- ・総事業費
2,163百万円

平成29年度	平成30年度	令和元年度	令和2年度	総額
609百万円	547百万円	505百万円	502百万円	2,163百万円

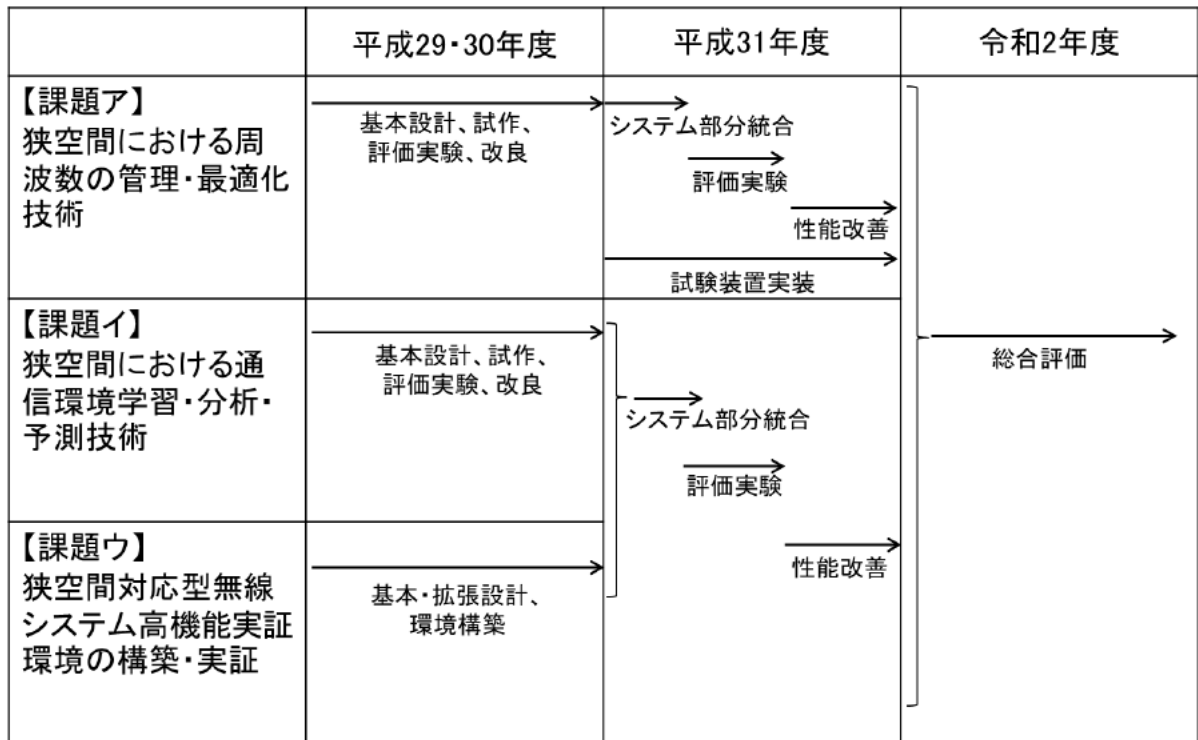
概要

施設内の狭い空間（倉庫、工場、病院、オフィス・テナントビルなど）においては、IoTによる無線の利活用が活発化しており、狭空間内において無数の無線デバイスが一斉に通信を行うと電波の相互干渉やチャンネル不足などにより、安定した通信を維持することが困難となる。さらに今後、施設内等でIoT化が一層進むことが想定されており、狭い空間内において更なる周波数の稠密利用を図るため、周波数の有効利用の一層の向上を実現する技術の確立が必要不可欠となる。

本研究開発では、狭空間における周波数の管理・最適制御技術、狭空間における通信環境学習・分析・予測技術の研究開発・実証及び狭空間対応型無線システム高機能実証環境の構築・実証を行い、無線システムの帯域の容量だけでなく、物理空間が通信に与える影響とその時間変動を考慮し、周波数や通信時間、送受信のタイミングの管理・最適制御を行い、複数の無線システムを制御することで、狭空間における複数の無線システム間の干渉を回避し、狭空間における無線システムの周波数利用効率を現在の3倍とし、狭空間における周波数の有効利用の一層の向上に資する。



技術の種類	技術の概要
狭空間における周波数管理・最適化技術	狭空間における電波伝搬に影響を及ぼす周辺環境は時々刻々と変化することから、リアルタイムで複数の周波数の利用状況、デバイス情報、電波伝搬等の情報を収集・管理し、無線環境に応じて周波数や無線通信方式を動的に制御し干渉を回避する技術を確立する。
狭空間における無線環境学習・分析・予測技術	狭空間における周辺環境は時々刻々と変化し、リアルタイムに収集できる周波数利用状況、電波伝搬状況等の情報には限りがあるため、データ収集が可能な限られた情報から無線環境を学習・分析し、狭空間内の任意の場所・時刻における無線環境を予測する技術を確立する。
狭空間対応型無線システム高機能実証環境の構築・実証	狭空間において無線システム同士が相互に及ぼす影響等を評価するための試験環境を構築し、「狭空間における周波数管理・最適化技術」並びに「狭空間における無線環境学習・分析・予測技術」の実証を行う。



(2) 達成目標

本研究開発では、狭空間における周波数の管理・最適制御技術、狭空間における通信環境学習・分析・予測技術の確立及び狭空間対応型無線システム高機能実証環境の構築・実証をすることにより、周波数・時間・空間を活用し多面的・統合的・適応的に複数の無線システムの周波数/無線通信方式を制御することで、狭空間における無線システムの周波数利用効率を現在の3倍とすることを目標とし、狭空間における周波数の有効利用の一層の向上に資する。

○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）
第5期科学技術基本計画（平成28年1月23日）	第2章 未来の産業創造と社会変革に向けた新たな価値創出の取組 (2) 世界に先駆けた「超スマート社会」の実現（Society 5.0） ② 実現に必要な取組 国は、産学官・関係府省連携の下で、超スマート社会の実現に向けてIoTを有効活用した共通のプラットフォーム（以下「超スマート社会サービスプラットフォーム」という。）の構築に必要な


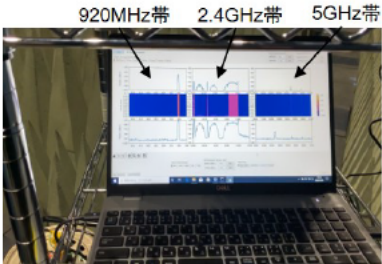
	<p>る取組を推進する。</p> <p>(3) 「超スマート社会」における競争力向上と基盤技術の強化</p> <p>② 基盤技術の戦略的強化</p> <p>i) 超スマート社会サービスプラットフォームの構築に必要な基盤技術</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ハードウェアとソフトウェアのコンポーネント化や大規模システムの構築・運用等を実現する「IoTシステム構築技術」 ・大規模化するデータを大容量・高速で流通するための「ネットワーク技術」
<p>電波政策 2020 懇談会 報告書（平成 28 年 7 月 15 日）</p>	<p>電波利用料の見直しに関する基本方針</p> <p>(2) 電波利用共益事務の在り方</p> <p>② 次期における電波利用料の使途</p> <p>(ii) IoT の社会展開に向けた電波有効利用技術の研究開発・実証</p> <p>今後、IoT、ビッグデータ、人工知能等の技術の発展等により、多様な分野・業種において IoT 機器が爆発的に普及し、2020 年には IoT 機器は世界で 500 億台以上になるとの予測もされている。これにより膨大な数の IoT 機器が電波を使い、ネットワークに接続されることが見込まれており、IoT 機器の爆発的な普及に伴い、周波数のひっ迫や他のシステムとの混信への対応が必要となる。また、サイバー攻撃により十分にセキュリティを確保できない IoT 無線機器が不正使用され、大量の不要な電波を発生させるといったサイバー攻撃を原因とする周波数のひっ迫への対応が必要となる。</p> <p>IoT システムは、超多数同時接続、超低遅延といった特性が求められるとともに、膨大な IoT 機器等が電波を使いネットワークに接続され、それらがネットワークを介して制御される巨大なシステムとなっており、周波数のひっ迫や他のシステムとの混信への対応に当たっては、単体の無線システムについての検討のみならず、このような IoT システムの特性を踏まえたシステム全体を通じた有無線一体となった周波数有効利用技術の開発が必須である。</p> <p>このため、周波数のひっ迫や混信を回避し、IoT の超多数同時接続、超低遅延化に対応するため、ソフトウェアによる仮想ネットワークを構築し、仮想ネットワーク毎に最適な電波利用を実現する技術や、ネットワークのエッジ（末端）における周波数等の超低遅延制御技術、AI・ビッグデータ解析に基づく空間的・時間的に稠密な電波利用を実現する技術など、IoT 機器とネットワークの有無線一体となった IoT システム全体を最適に制御することにより周波数を有効利用する技術や、異なる電波利用システム間の混信を排除して周波数の共同利用を促進する技術の研究開発を実施することが必要である。</p> <p>さらに、IoT 無線機器に関し、セキュリティ上の脆弱性が原因で発生する大量かつ不要な電波輻射を抑制する技術や周波数のひっ迫を低減するための軽量暗号・認証技術等の研究開発も必要である。</p> <p>従って、次期においては、これらの研究開発を実施するとともに、研究開発を推進するにあたっては、オープンなテストベッド環境を構築し、産学官の連携により実証を行いつつ進めることが適当である。</p>
<p>「新たな情報通信技術戦略の在り方」第二次第 2 次中間答申（平成 28 年 7 月 7</p>	<p>第 4 章 分野別の推進方策 第 1 節 先端的な IoT 分野の推進方策</p> <p>(3) 公共・産業分野の先端 IoT の実現に向けた課題と推進方策</p> <p>① ネットワーク（同時多数接続、柔軟性）の高度化</p> <p>i) エリアネットワーク</p>

日)	<p>本格的な IoT 時代を支える基盤となるネットワーク環境については、今後、多種多様な IoT サービスの実現が期待される中で、ネットワークに求められる要求条件がサービス毎に異なるため、様々な通信方式が必要となってくる。</p> <p>特に、公共・産業の様々な分野におけるサービスにおいて多種多様な情報収集を行う場合、これまでは、エリアネットワークでの情報収集の手段として携帯電話事業者が提供するセルラー網が中心的な役割を果たしてきたが、収集する情報の多様性が求められ、センサー等のデバイスの同時多接続性が要求される中で、低レートの通信速度ではあるが、電池の長寿命化や広範囲をカバーする通信技術の活用が求められる。</p> <p>エリアネットワークにおけるこうした通信技術は、Wi-Fi や Wi-SUN を代表として、免許不要の形態で利用されることも多く、ネットワーク全体の運用・管理を適切に行うための研究開発を推進する必要がある。</p> <p>※Wi-SUN: Wireless Smart Utility Network の略。スマートメータなどに活用されている省電力無線通信規格。</p> <p>【具体的な技術開発課題】 ⇒ エリアネットワーク内の超多接続環境における周波数有効利用や故障検出を可能とするネットワーク運用・管理技術の開発</p> <p>ii) コアネットワーク</p> <p>エリアネットワークが接続するコアネットワークについては、多様なサービス形態に対応するために柔軟なネットワーク構成が必要であり、加えて、エリアネットワークで収集された膨大な情報がコアネットワーク上を流通し、適時適切に分析・処理を行う必要がある。物理的なネットワークが対処できる能力を超えて、多様なサービスへの対応や膨大な情報の処理が必要となっている中で、ネットワーク仮想化技術を活用したネットワークソフト化やコアネットワークに送り込まれる膨大な情報を分散処理するエッジコンピューティング技術が必要となっている。</p> <p>【具体的な技術開発課題】 ⇒ IoT の爆発的な増加に対応するために有無線一体で周波数を含めたネットワーク資源を最適制御可能な統合基盤技術の開発</p>
----	---

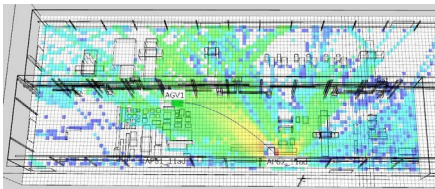
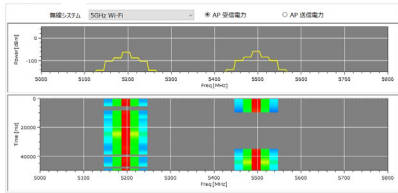
(3) 目標の達成状況

4年間の研究開発を通じて、920MHz から 60GHz 帯までの狭空間における複数の無線システムを対象として、周波数管理・最適化技術及び無線環境学習・分析・予測技術を確立するとともに、各技術の実用化に向けた実証環境を構築した。これにより、各研究開発技術の実用性を総合的に評価した結果、複数無線システム間の輻輳・干渉回避を行いながら従来技術と比較して周波数利用効率3倍を実現し、当初の目標を達成することができた。

また、本研究開発を通じて得られた無線通信方式の制御技術、無線環境情報の収集技術等を基に、受託者である国立研究開発法人及び民間企業等が連携し、製造現場等の狭空間全体の無線通信の統合管理・可視化を実現する「SRF 無線プラットフォーム」の規格開発を行うとともに、同プラットフォームの普及展開を行う団体を立ち上げ、技術仕様の提供、認証プログラム事業の開始に向けた準備が行われており、製造現場等の狭空間における無線通信の円滑な利活用に向けた環境整備が進んでいる。

技術の種類	目標の達成状況
狭空間における周波数管理・最適制御技術	<p>920MHz 帯、2.4GHz 帯、5GHz 帯、60GHz 帯等の複数の周波数における無線環境情報をリアルタイムで収集・管理し、時々刻々と変化する無線環境に応じて周波数や無線通信方式を動的に制御し干渉を回避する技術を確立し、従来技術と比較して周波数利用効率 3 倍を達成した。</p> <p>周波数管理・最適制御の要素技術については、以下の成果を達成した。</p> <ul style="list-style-type: none"> 用途の異なる複数の無線システム間の輻輳を回避するため、広帯域の無線通信環境情報をリアルタイムに取得可能なセンシング技術を開発した。具体的には、920MHz 帯、2.4GHz 帯、5GHz 帯の周波数帯においてミリ秒単位でパースト状に発生する通信信号・ノイズ状況を更新時間 10 ミリ秒で識別・監視可能な小型高周波受信機（スペクトラムモニタ）を開発した。
	<div style="display: flex; justify-content: space-around; align-items: center;">   </div> <p>図. スペクトラムモニタ本体（左）、無線環境情報の表示状況（右）</p> <ul style="list-style-type: none"> 複数の無線通信を通信環境に応じて周波数軸上で細分化し、最適制御を行う技術を開発した。具体的には、通常の Wi-Fi の規格では 20MHz ごとに区切られている周波数を電波環境やデータサイズ、無線通信のトラフィックパターン等に応じて、複数の異なる周波数分割パターン（例えば 5MHz、10MHz、20MHz など）に適応的に切り替えて無線通信を制御する技術を開発した。これにより、従来の通信方式に比べ、本技術を用いることにより周波数利用効率 1.6 倍を達成した。 複数の無線通信を同一チャンネル内で共存・協調させるため、通信を時間軸上で細分化し最適制御を行う仮想 TDMA¹技術を開発した。具体的には、異なる無線システム間で時刻同期を行い、通信が衝突しないよう各システムの通信要件を満たす範囲内でパケット送信タイミングを時間的に制御することで、仮想的な時分割制御を実現する技術を開発した。これにより、各無線システムから瞬間的に通信が同時発生した際、従来の通信方式に比べ、2 倍以上のパケット受信率となることを確認し、周波数利用効率 2 倍を達成した。 <p>これにより、無線通信の周波数軸上及び時間軸上での最適制御技術を統合することで、従来の通信方式に比べ周波数利用効率 3 倍を達成した。</p> <p>さらに、研究開発を通じて得られた無線通信方式の制御技術、無線環境情報の収集技術等を基に、受託者である国立研究開発法人及び民間企業等が連携し、製造現場等の狭空間全体の無線通信の統合管理・可視化を実現する「SRF 無線プラットフォーム」の規格開発を行うとともに、同プラットフォームの普及展開を行う団体を平成 29 年に立ち上げ、技術仕様の普及に向けた取組を開始した。今後は、複数の無線システムが混在する環境下での安定した通信を実現する協調制御</p>

¹ Time Division Multiple Access の略。同一通信路を複数の通信主体で混信することなく共用するための多重接続技術の一つで、時間的に伝送路を分割して複数の主体で同じに通信する方式。

	<p>技術の規格策定と標準化、および普及の促進を通じ、製造現場の IoT 化の進展を目指していく。</p>
<p>狭空間における無線環境学習・分析・予測技術</p>	<p>狭空間内で時々刻々と変化する無線環境情報を学習・分析し、製造現場等における任意の無線環境の予測・分析・可視化を可能とする統合シミュレータ技術を確立した。</p> <p>無線環境学習・分析・予測の要素技術については、以下の成果を達成した。</p> <ul style="list-style-type: none"> 無線環境を学習・分析し、無線システムの異常の有無や原因を事前に予測し、異常発生時に先立って無線ネットワーク管理者へ警報や異常原因を通知する技術を確立した。具体的には、各無線システムが要求する QoS²について、通常の QoS と直近の QoS の変化から無線環境の異常発生確率を予測する手法を考案した。本手法により、実際の工場を想定した無線環境情報を用いてシミュレーションを行った結果、想定される無線システムの異常の発生を 80%以上の確率で予測できることを確認した。 920MHz/2.4GHz/5GHz/60GHz 帯を対象とし、3種以上の異なる無線通信が混在した無線環境を高速解析可能な統合シミュレータを構築した。具体的には、レイトレース³と統計モデルを用い、物体の移動ルートや構造物の簡略化、補間処理を併用した新たな計算手法により、複数の環境・条件において必要な解析精度を維持したまま、従来手法に比べ最大 80%程度の計算時間の削減を実現した。また、本技術の実用化を見据え、無線品質に加えて時間変動や工程ラインの稼働率等、製造現場のユーザが直接知りたい情報をシミュレータの評価指標として追加することにより、本シミュレータの使用感の向上を図った。これにより、実証実験の際に実施したアンケートの結果、無線の専門家でないユーザの 90%以上から従来型の無線シミュレータに比べ、本シミュレータの方が使いやすいとの評価が得られた。 <div style="display: flex; justify-content: space-around; align-items: center;">   </div> <p style="text-align: center;">図. 工場内無線環境の可視化・解析 (左)、干渉状況の可視化 (右)</p>
<p>狭空間対応型無線システム高機能実証型環境の構築・実証</p>	<p>製造現場等の狭空間における無線システム同士が相互に及ぼす影響等を評価するための試験環境を構築し、上記「周波数管理・最適制御技術」と「無線環境学習・分析・予測技術」の実証を行った。</p> <p>無線システム高機能実証環境の構築・実証の結果、以下の成果を達成した。</p> <ul style="list-style-type: none"> 実際の製造現場等で取得した無線環境情報を基に電波伝搬のモデル化を行い、狭空間における電波伝搬状況のバーチャルエミュレーション技術を確立した。具体的には、本研究開発技術の実用化を見据え、狭空間における無線伝搬モデルとして4つの利用シーン（金属加工現場、機械組立工場、高所・高温作業現場、物流倉庫）を模擬した 3D 空間のテンプレートを作成し、狭空

² Quality of Service の略。重要な特定の通信を優先的に伝送するなど、ネットワーク上を流れるデータの通す順番や量を調整することにより通信品質を確保する技術。

³ 光線や電波などのシミュレート手法 (Ray Tracing : 光線追跡法) のこと。発信点から放たれた電波を仮想的に追跡し、任意の受信点における電波の伝搬特性や電界強度等を計算する。

	<p>間における電波伝搬状況を大規模エミュレーション基盤 (StarBED) 上に構築した。本技術により、実環境では困難な無線環境パラメータを固定した任意の再現実験が実施可能となった。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・製造現場等において無線通信の利活用を進める上では、既存の無線環境に新たに無線機器を追加導入した場合に、無線通信機器を含む製造装置が安定して動作可能かどうかの事前検証が重要である。これを踏まえ、製造現場における無線通信の導入等に向けた評価を行うため、無線通信機器の台数や使用状況を考慮し無線環境を模擬したフィジカルエミュレーション技術を確立した。具体的には、実際の製造現場等で取得した無線環境情報を基に、無線通信機器のビーコン送信タイミング、フレーム長等のトラフィック情報を再現することにより、複数の送信ノード及び制御ノードから成る任意の仮想トラフィックを生成し、無線環境への負荷テストを実行可能なエミュレーション環境を構築した。
--	--

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3年6月25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35件の論文発表及び合計125件の口頭発表に加え、合計36件の特許出願を行った。さらに、合計32件の国際標準提案を行った結果、IEEE802.1のWGの正式な活動としてタスクグループが立ち上がり、802.1QにAnnexを作成することが承認されるなど、国際標準獲得に向けて積極的に活動している。併せて、その一部機能を実装した製品がすでに販売開始していることなど非常に多くの成果を挙げており、本研究開発の必要性、有効性等が認められた。

主な指標	平成29年度	平成30年度	令和元年度	令和2年度	合計
査読付き誌上発表論文数	0件(0件)	0件(0件)	4件(3件)	5件(4件)	9件(7件)
査読付き口頭発表論文数 (印刷物を含む)	0件(0件)	7件(7件)	12件(11件)	7件(6件)	26件(24件)
その他の誌上発表数	0件(0件)	1件(0件)	0件(0件)	1件(0件)	2件(0件)
口頭発表数	28件(5件)	45件(5件)	25件(1件)	27件(2件)	125件(13件)
特許出願数	8件(0件)	11件(1件)	9件(4件)	8件(2件)	36件(7件)
特許取得数	0件(0件)	2件(0件)	0件(0件)	0件(0件)	2件(0件)
国際標準提案数	6件(6件)	12件(12件)	4件(4件)	10件(10件)	32件(32件)
国際標準獲得数	0件(0件)	0件(0件)	0件(0件)	0件(0件)	0件(0件)
受賞数	1件(0件)	4件(2件)	1件(1件)	2件(0件)	8件(3件)
報道発表数	0件(0件)	2件(0件)	1件(0件)	1件(0件)	4件(0件)
報道掲載数	0件(0件)	0件(0件)	0件(0件)	0件(0件)	0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>本格的な IoT 時代が到来し、製造、農業、流通、インフラなど様々な分野で IoT が利用されている。例えば、工場においては、製品の品質維持・管理等のため、ロボット、機械、工具などにセンサ等の IoT 機器を取り付け、機器や機械の稼働状況の把握や制御、作業の品質管理等が行われ始めており、一つの狭空間における無線システムの数は一以上に達している。一方で、工場内の狭い空間では IoT 機器間の電波の輻輳、産業機械が動作することによる雑音、電波遮蔽、運搬装置・無線システムの移動に伴う電波環境の変化等により、安定した通信を維持できなくなるなど、IoT の導入に向けた課題となっている。</p> <p>また、こうした課題は、工場だけでなく、倉庫や病院、オフィス・テナントビルといった施設内の狭空間において、様々な IoT 機器がネットワークに接続され、多様かつ大容量の情報をやり取りするようになった場合にも発生する課題であり、狭空間における周波数の稠密利用を可能とする技術を確認し、狭空間でも安定した通信を実現することが必要不可欠であった。</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>IoT に関する専門的知識や研究開発遂行能力を有する企業、研究者等のノウハウを積極的に活用することにより、各社がそれぞれ得意な分野を担当し、効率的に研究開発が進められた。また、実施期間中も受託各社の研究代表者・実務者の定期的な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アドバイザー委員会や、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>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>狭空間における周波数の管理・最適制御技術、狭空間における通信環境学習・分析・予測技術の確立及び狭空間対応型無線システム高機能実証環境の構築・実証をすることにより、無線システムの帯域の容量だけでなく、物理空間が通信に与える影響とその時間変動を考慮し、周波数・時間・空間を活用し多面的・統合的・適応的に複数の無線システムの周波数/無線通信方式を制御することで、狭空間における複数の無線システム間の干渉を回避することができるようになることから、狭空間における無線システムの周波数利用効率を現在の3倍とするとともに、狭空間における周波数の有効利用の一層の向上に資することができた。</p> <p>また、本研究開発は、IoT 機器ベンダーや機器の利用者を構成員に含むコンソーシアムや外部有識者や専門家を含む研究開発運営委員会など、研究開発成果の利用者や情報通信業界に限らない多様な専門家や利用者との連携・協力を得つつ、研究開発と実証実験を一体的に推進することとしており、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>さらに、特許出願や標準化に向けた活動なども着実に実施されるなど、国際標準化活動を積極的に行い、実用化への道筋を付けた。</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、施設内空間における周波数の有効利用の一層の向上を可能とする技術を開発するものであり、研究開発成果は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>また、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ったと認められる。</p>
優先性	<p>IoT の利活用の急速な拡大に伴い、膨大な数の無線デバイスが狭空間で使用されることによる無線システム間の混信等への対策は喫緊の課題となっている。さらに IoT 機器は 2020 年には全世界で 500 億台に達すると見込まれており早急に対策を講じる必要が</p>

あった。そのため、平成 29 年度から本研究開発を開始し、早急に技術の確立を図ることが必要であった。

よって、我が国では、摺り合わせ型設計・生産スタイルと現場の迅速な対応力を武器に競争力のある製品を提供してきたという強みを一層強化するため、各現場における問題を、サイバー空間を活用して設計・生産にフィードバックする技術、及び、各現場の対応を模擬するシミュレーション技術（製造機器動作、部品製造シミュレータ等）の開発を推進することとされていた。

よって、本研究開発には、優先性があったと認められる。

5 政策評価の結果（総合評価）

狭空間における周波数の稠密利用を可能とする技術を確認し、狭空間でも安定した通信を実現した。

狭空間における周波数の管理・最適制御技術、狭空間における通信環境学習・分析・予測技術の確立及び狭空間対応型無線システム高機能実証環境の構築・実証をすることにより、無線システムの帯域の容量だけでなく、物理空間が通信に与える影響とその時間変動を考慮し、周波数・時間・空間を活用し多面的・統合的・適応的に複数の無線システムの周波数/無線通信方式を制御することで、狭空間における複数の無線システム間の干渉を回避することができるようになることから、狭空間における無線システムの周波数利用効率を現在の 3 倍とするとともに、狭空間における周波数の有効利用の一層の向上に資することができた。

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>

現在、第 5 世代移動通信システムにおいて、IoT 時代に対応するため高密度・高信頼化が進められているが、限られた周波数資源の条件の下で、IoT 機器の増加や、発生する情報の増大に対して、ユーザの要件を満たすネットワークと、それを利用したサービスを柔軟に提供するという観点から、本研究開発で推進している狭空間で免許不要帯(920MHz 帯、2.4GHz 帯、5GHz 帯、60GHz 帯)での無線システムの高密度・高信頼化を推し進めることは、すみ分けや補完関係を維持・発展させるものである。限られた周波数資源の条件の下で、IoT 機器の増加や発生する情報の増大に対して、ユーザの要件を満たすネットワークと、それを利用したサービスを柔軟に提供することを可能とするため、標準化提案や対外発表を継続する。また、実用化段階においては、開発した方式の標準化を行い、事業化段階においては製品化を行うことで、社会実装を目指していく。

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。

- ・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。
- ・本研究開発で推進している狭空間で免許不要帯(920MHz 帯、2.4GHz 帯、5GHz 帯、60GHz 帯)での無線システムの高密度・高信頼化は、すみ分けや補完関係を維持・発展させるものである。IoT 機器の増加や発生する情報の増大に対して限られた周波数資源を有効活用することにつながり有益であった。

7 評価に使用した資料等

- 第 5 期科学技術基本計画（平成 28 年 1 月 22 日閣議決定）

<http://www8.cao.go.jp/cstp/kihonkeikaku/5honbun.pdf>

- 電波政策 2020 懇談会 報告書（平成 28 年 7 月 総務省）

http://www.soumu.go.jp/main_content/000430220.pdf

- 「新たな情報通信技術戦略の在り方」第二次第2次中間答申（平成28年7月 情報通信審議会）

http://www.soumu.go.jp/menu_news/s-news/02tsushin03_03000223.html

- 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>