

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 技術政策課研究推進室・通信規格課

総合通信基盤局 電気通信技術システム課

評価年月：令和3年8月

1 政策（研究開発名称）

IoT 機器増大に対応した有無線最適制御型電波有効利用基盤技術の研究開発

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

2,560百万円

平成29年度	平成30年度	令和元年度	令和2年度	総額
644百万円	577百万円	677百万円	662百万円	2,560百万円

・概要

本研究開発は、多種多様な規格かつ莫大な数のIoT機器からなる無線ネットワークにおいて、様々な事業者による柔軟なIoTサービス提供を可能とするため、空間的・時間的に格段に緻密な電波利用を実現する有線・無線ネットワーク統合制御技術を確立する。これにより、サービス要件に合わせた有線・無線区間の最適制御を行い、周波数の有効利用の一層の向上を図る。

空間的・時間的に格段に緻密な電波利用を実現する有線・無線ネットワーク統合制御技術として、下記の3技術の開発を行い、さらに開発したテストベッド環境により各技術の実証を実施する。

①多数のIoTサービスを収容する有無線ネットワーク仮想化の自動制御技術

従来の管理者の手動によるシステム構成変更ではなく、IoTサービスの多様化に伴って煩雑となる品質・運用状況を把握し、有無線ネットワークシステムをデータ分析等の手段により状況に応じて仮想化し、自動制御するためのアルゴリズムの強化を図る技術

②多様なIoTサービスに適応する低遅延有無線プラットフォーム技術

同一システム・周波数で多種多様なIoTサービスを提供するため、サービスごとに異なる遅延等の要件に対応した有無線ネットワークのアーキテクチャを最適化することで、効率的な有無線統合を行い、低遅延な通信を実現するための技術

③実環境評価を併用する有無線エミュレーション¹/シミュレーション技術

多種多様なIoTサービスに対応した迅速な開発サイクルを支援しつつ、無線周波数の有効利用につなげるため、実環境に設置した無線端末群によって得られた伝送特性を検証しながら蓄積・再生する技術

また、本研究開発で開発する有線・無線ネットワーク統合制御技術に関しては、ITU等の国際標準化機関に有線・無線を考慮した標準化活動が広がりつつある。これらの動向を把握しつつ、

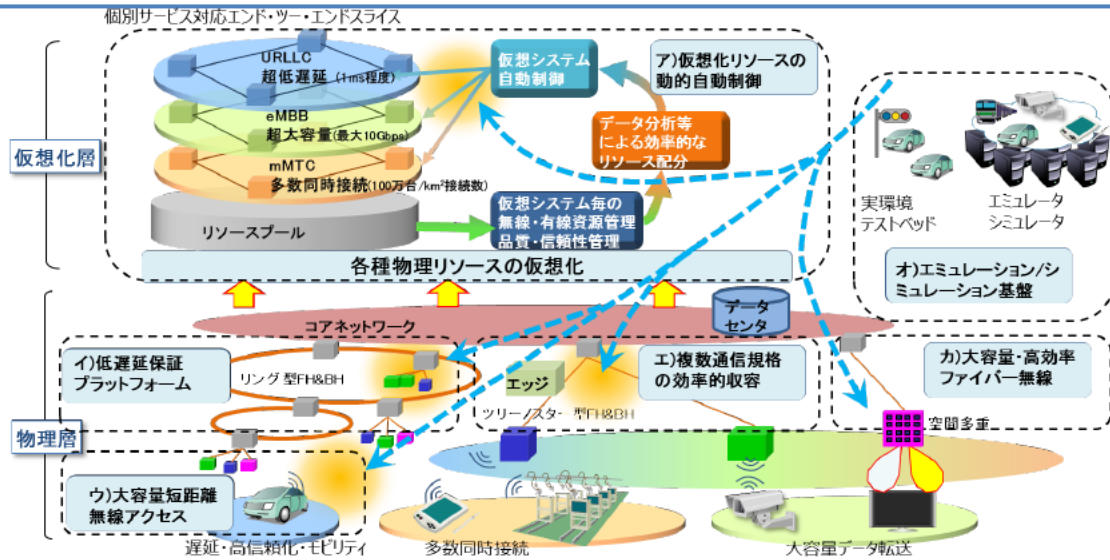
¹ ある装置やソフトウェア、システムの挙動を別のソフトウェアなどによって模倣し、代替として動作させること。

我が国から先手をとって積極的に提案し、国際標準を獲得することで、我が国の国際競争力の向上に資する。

研究開発概要

多種多様な規格かつ莫大な数(2020年には500億台以上と推測)のIoT機器が無線ネットワークに接続され、様々な事業者によるサービスの提供に対応するため、ネットワーク仮想化技術やプラットフォーム技術等に応用し、空間的・時間的に緻密な電波利用を実現する有線ネットワーク統合制御技術を開発・実証する。これにより、IoTサービスの収容数を増加させ、IoTサービス毎の要件に合わせた有線・無線区間の最適制御を実現することで、センサーネットワーク自体及びセンサーネットワークを収容する無線システムの周波数利用効率をそれぞれ3倍以上向上させる。

開発技術：
 ・多数のIoTサービスを収容する有線ネットワーク仮想化の自動制御技術
 ・多様なIoTサービスに適応する低遅延有線プラットフォーム技術
 ・実環境評価を併用する有線エミュレーション/シミュレーション技術



・スケジュール

技術の種類	平成 29 年度	平成 30 年度	令和元年度	令和 2 年度
課題 (ア) 有線ネットワーク仮想化の自動制御技術	方式検討	方式実装	機能検証	総合実証
課題 (イ) 低遅延を保証する有線プラットフォーム技術	方式検討、基本系試作	方式評価、機能拡張	システム検証	統合実証
課題 (ウ) 短距離無線アクセスネットワークの大容量化技術	原理検証	伝送信号の広帯域化(≥250MHz)	伝送距離の延伸化(≥200m)	実環境を模した実証実験
課題 (エ) モバイル FH/BH ² の通信リソース管理技術	方式検討	方式実装	機能検証	総合実証
課題 (オ) 実環境評価を併用する有線エミュレーション/シミュレーション基盤	方式検討	実環境整備 エミュレータ整備	疑似無線整備 エミュレータ連動	統合実証
課題 (カ) 光ファイバ無線技術によるモバイルフロントホールの大容量化・高効率化技術	—	方式検討 一次試作	機能検証 二次試作	統合検証

(2) 達成目標

² モバイル FH (Front Haul) /BH (Back Haul) の略。Front Haulは無線基地局とアンテナ部をつなぐ回線網。Back Haulは無線基地局と最寄りの拠点施設をつなぐ回線網。

多種多様な規格かつ莫大な数（2020年には500億台以上と推測）のIoT機器からなる無線ネットワークにおいて、様々な事業者による柔軟なIoTサービス提供を可能とするため、センサーネットワークのアプリケーションの特徴に基づく空間的・時間的に格段に緻密な電波利用を実現する有線・無線ネットワーク統合制御技術を確立する。

この技術により、センサーネットワークの周波数利用効率を実効的に従来比3倍以上、かつ、センサーネットワークを収容する移動通信システムの周波数利用効率を実効的に従来比3倍以上達成することで、IoTサービス要件に合わせた有線・無線区間の最適制御を行い、周波数の有効利用の一層の向上に資する。また、国際標準を獲得することで、我が国の国際競争力の向上に寄与する。

○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）
世界最先端IT国家創造宣言（平成28年5月20日）	<p><u>II. 「国から地方へ、地方から全国へ」(IT利活用の更なる推進のための3つの重点項目)</u></p> <p><u>II-2. 【重点項目2】 安全・安心なデータ流通と利活用のための環境の整備</u></p> <p><u>II-2-(1) 利用者志向のデータ流通基盤の構築</u></p> <p><u>[主な取組内容]</u></p> <p><u>(基盤を支える技術開発等)</u></p> <ul style="list-style-type: none"> データ流通基盤を支えるネットワーク等技術（第5世代移動通信システム（5G）、ソフトウェア制御、仮想化技術の活用等）の研究開発、国際標準化、総合実証及び社会実装を推進。また、低廉かつ高速のブロードバンド環境が利用できるよう事業者間の公正な競争条件の確保等、競争政策を促進する取組を推進。
世界最先端IT国家創造宣言 工程表（平成28年5月20日）	<p><u>2. 【重点項目2】 安全・安心なデータ流通と利活用のための環境の整備</u></p> <p><u>(1) 利用者志向のデータ流通基盤の構築</u></p> <p><u>(基盤を支える技術開発等)</u></p> <p>総合的なIoT技術の研究開発等の推進【総務省】</p>
電波政策2020懇談会報告書（案）（平成28年6月3日）	<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</p>

	<p>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>周波数再編アクションプラン（平成 27 年 10 月改定版）（平成 27 年 10 月 14 日）</p>	<p>新しい電波利用の実現に向けた研究開発等 (2-2) 人を介しない機器間通信（M2M）の拡大 機器と機器の間の通信である M2M システムやワイヤレスセンサーネットワークの飛躍的拡大により、人、様々な家電や設備、家、車、電車、インフラをはじめとしたあらゆる「もの」がワイヤレスでつながりうる社会が実現すると想定される</p>

(3) 目標の達成状況

4 年間の研究開発を通じて、空間的・時間的に格段に緻密な電波利用を実現する有線・無線ネットワーク統合制御技術の確立を目的とした以下の各要素技術について、センサーネットワークの周波数利用効率を実効的に従来比 3 倍以上、かつ、センサーネットワークを収容する移動通信システムの周波数利用効率を実効的に従来比 3 倍以上という目標どおり達成することができた。これにより、多種多様な規格かつ莫大な数の IoT 機器からなる無線ネットワークにおいて様々な事業者による柔軟な IoT サービス提供を可能とすることに寄与、周波数の有効活用の一層の向上、我が国の国際競争力の向上の寄与を実現した。

技術の種類	目標の達成状況
<p>課題（ア） 多数の IoT サービスを収容する有無線ネットワーク仮想化の自動制御技術</p>	<p>振舞い監視によりトラフィックを分類・分析し、その情報を利用して機能配置の最適化、データの自動集約・分配、送信タイミング調停といったリソース利用率化を行うことで特定条件下で周波数利用効率を 3 倍達成した。</p> <p>具体的には、東京大学の研究室内に sXGP³環境を設置し、IoT 仮想ネットワークの有無線統合振舞い監視技術によりサービス毎に分割して粒度の細かい情報を収集し、その結果を用いて IoT 指向ファンクション・オーケストレーション技術、IoT 指向ネットワークオーケストレーション技術、IoT 有無線ネットワークのスケラブルリソースプーリング自動化技術の 3 つのリソース共有技術が連携して動作することを確認した。統合検証を通して、各技術を連携させリソース最適化を図ることで、周波数利用効率が約 3 倍向上することを確認した。</p>

³ shared eXtended Global Platform の略。自営 PHS の後継規格であり、携帯電話等の国際標準規格である LTE 方式を利用したコードレス電話システム。

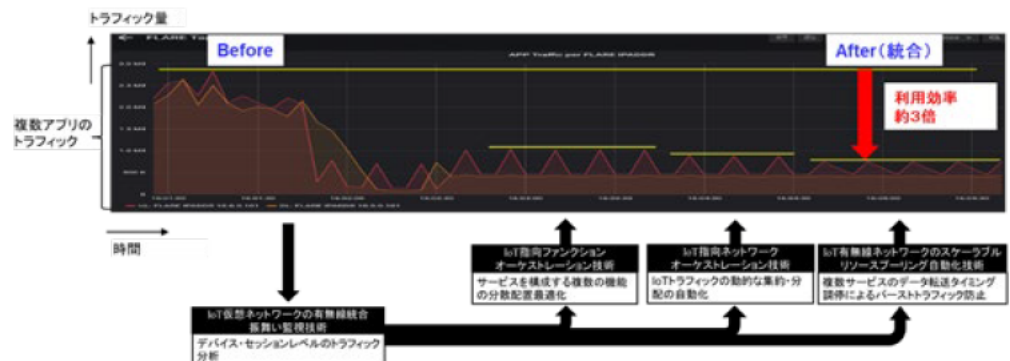


図1：検証結果

課題（イ）
低遅延を保証する有無線プラットフォーム技術

課題（イ）では、IoTならびにモバイルフロントホール⁴（Mobile FrontHaul: MFH）トラフィックを、Layer-2スイッチ⁵で構築される一つのネットワークで混在収容することを検討してきた。具体的には課題（イ）を3つに分け、課題イ-aで複数のIoT端末の同時送信（マイクロバースト）に伴う過剰トラフィックを効率的に収容する技術、課題イ-bでMFHに低遅延を保証しながら効率的にIoTトラフィックを収容する技術、課題イ-cでMFHの所要帯域を圧縮して削減する技術、をそれぞれ確立した。これらの技術を用いることで、IoTトラフィックの再送回数（周波数資源の利用回数）が削減され、今回の評価条件では周波数利用率を3.8倍に向上できることを机上と実証含めて示し、目標を達成した。具体的な内容を以下に示す。

最終年度にイ-bとイ-cの統合検証を行い、マイクロバースト⁶による同時通信発生時の収容可能なIoT端末数を実機評価した。イ-c技術によりMFH帯域を圧縮し、空いた帯域をイ-b技術によりIoTトラフィックへ割り当てることで、従来の240台から1,000台に向上することを示した。従来は1,000台の同時通信が発生しても240台しか収容できないため、複数回の再送が発生して周波数資源を何度も使うが、イ-b/イ-c技術により再送無く（周波数資源を何度も使うことなく）収容できるため、周波数利用率が2.6倍に向上する（計算式は図の通り）。また、このマイクロバーストによる過剰なIoTトラフィックを、イ-a技術では複数のLayer-2スイッチ間で連携してバッファリングすることで、従来よりもフレーム破棄を削減してさらに収容可能なIoT端末数を向上できる。実験により、イ-a単体で1.6倍に向上することを示した。イ-a/イ-b/イ-c技術を併用した課題イ技術の統合効果を、同様に図の計算式で算出すると、今回の評価条件では3.8倍になることを確認した。

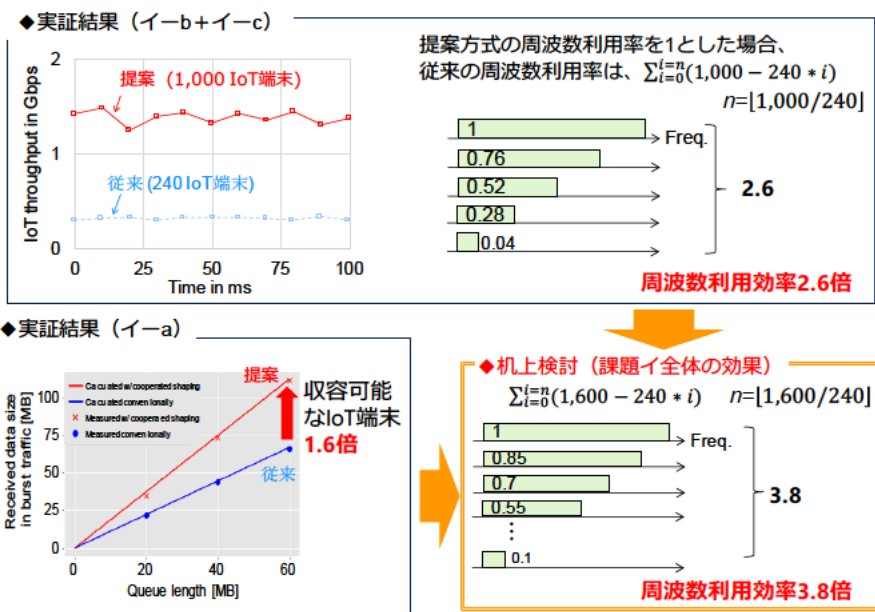


図2：検証結果と周波数利用率向上効果

⁴ 基地局と端末間における通信伝送路。

⁵ 直接接続している機器同士の通信の行き先を振り分けるスイッチ

⁶ 大量の端末が同時に信号送信した際に生じる突発的なトラフィックの増加

直接変調-直接検波方式の 28GHz 帯向け光ファイバ無線 (A-RoF⁷) サブシステムを開発し、マルチモード光ファイバを用いて帯域幅 400MHz の 64-QAM⁸ OFDM⁹信号を 2CC¹⁰ (Component Carrier) で 200m 伝送、3GPP¹¹で要求される信号品質 (EVM<8%) を満たすことを確認した。これにより既存の 10Gbps の光アクセス系と CPRI 規格¹²を用いた D-RoF¹³と比較し、周波数利用効率 3 倍以上の伝送を達成した。また実車両を用い車内の受信電力が低い領域に対し、車外 (ルーフ上) で受信した無線信号を A-RoF で車内へ中継伝送し再放射することで、同一帯域幅における復調可能な受信状態を QPSK¹⁴(2bit) から 64-QAM(6bit) へ向上させ、周波数利用効率を 3 倍にすることが可能であることを実証した。また、本課題は課題力の MFH と連携した実証実験でも同様の結果が得られており、課題間連携においても周波数利用効率 3 倍が達成可能であることを実証した。

課題 (ウ)
短距離無線
アクセス
ネットワーク
の大容量化
技術

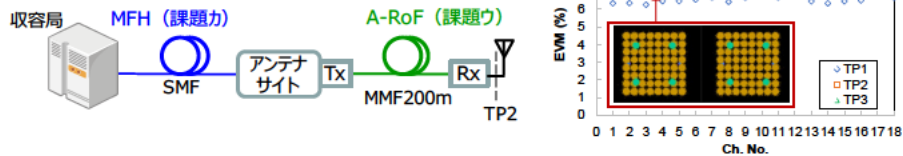


図 3 : 試作 A-RoF を用いた 2CC 信号の MMF200m 伝送結果

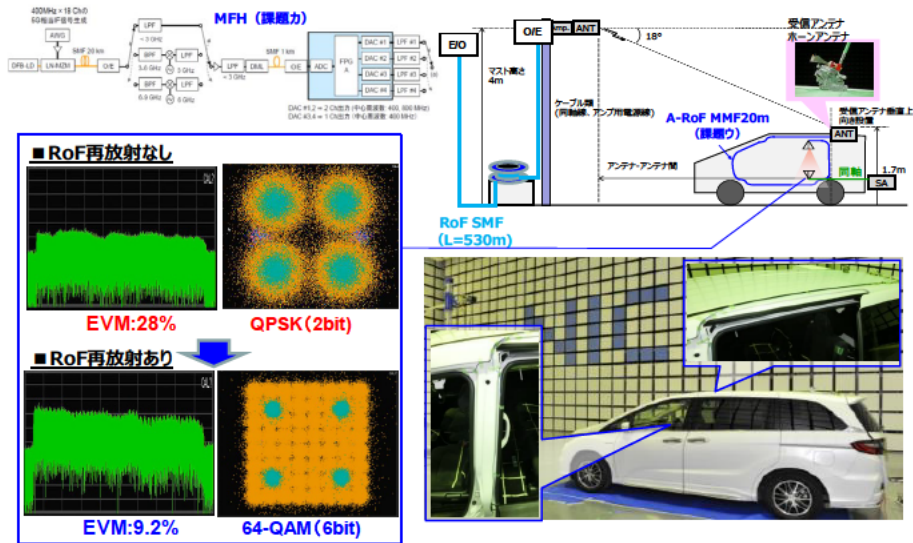
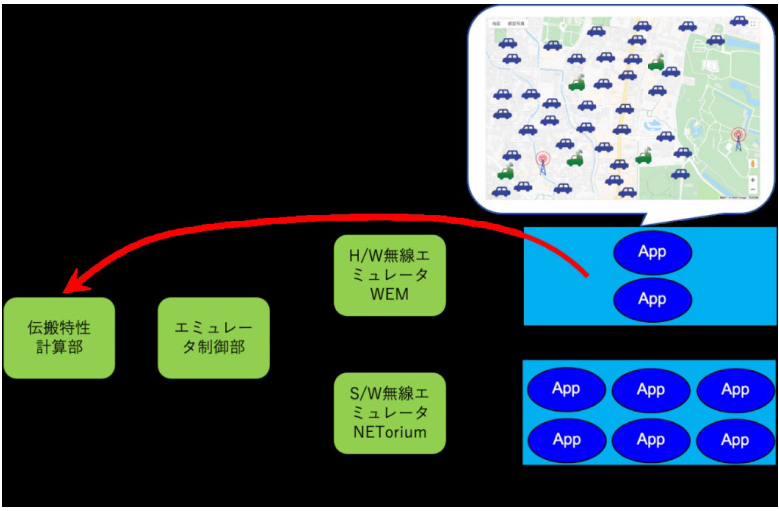


図 4 : A-RoF を用いた車内への無線信号再放射による受信状態の向上

7 Analog-Radio-over-Fiber の略 無線信号の波形情報をそのまま光ファイバでアナログ伝送する方式
8 Quadrature Amplitude Modulation の略 直交する 2 つの波を合成し、それぞれに振幅変調を施す方式
9 Orthogonal Frequency Division Multiplexing の略 隣り合う周波数の搬送波同士の位相を互いに直交させて干渉を防ぎ、高密度な周波数分割を行う方式
10 複数の周波数帯域の搬送波を束ねて使用する技術 (キャリアアグリゲーション) のうち、2 つの周波数帯域を同時に使用するもの
11 第 3 世代 (3G) 以降の移動通信システムの標準規格の仕様の検討や調整を行う各国標準化機関によるプロジェクト
12 Common Public Radio Interface の略 基地局内のインターフェースの標準規格
13 Digital-Radio-over-Fiber の略 無線信号の波形情報をデジタル信号に変換し光ファイバでデジタル伝送する方式
14 Quadrature phase-shift keying の略 搬送波の位相を 90 度ずつ変化させ 4 値の情報を持たせる変調方式

<p>課題 (エ) モバイルFH /BHの通信 リソース管 理技術</p>	<p>5G 無線アクセスネットワーク (RAN) の多数の小型基地局を PON¹⁵による光アクセスネットワークでフレキシブルかつ高効率に收容するための「PON リソース管理・割当制御技術」を開発した。開発した PON システムは、オーケストレータ¹⁶/SDN-Controller¹⁷/VOLTHA¹⁸/vOLT¹⁹を試作・統合し、ネットワークスライシング²⁰に対応した PON リソース管理制御を実現しており、サービス毎のトラフィック・データをもとに機械学習にて需要予測し、通信リソースを自動で割当制御する技術を、「PON リソース管理・割当制御技術」に適用し、スライス・リソース自動制御を実現した。これらの技術により 3 分の 1 の通信リソースで PON スライスを構築することにより、特定条件下で 3 倍の通信リソースと同等の品質を維持することを実現した。</p> <p>更に、リソースプール (サービスのスケジューリング) に対応したインターフェースを実装した統合制御機能を試作し、課題アと連携した検証環境を構築したうえで、リソースプール機能による SDN コントローラの抽象化リソースダイナミック割当管理技術、vOLT のダイナミックリソース制御及びダイナミックサービス割当制御技術を実現した。これにより、オーケストレータが指定するスケジュールに従ったダイナミックな通信リソース切替により PON を用いたモバイルフロントホール/バックホールの通信リソース利用の場合においても特定条件下で 3 倍効率化を実現した。</p> <p>図 5：通信リソースの利用効率を 3 倍とするシナリオ</p>
<p>課題 (オ) 実環境評価 を併用する 有無線エミ ュレーション /シミュレ ーション 基盤</p>	<p>実環境評価用テストベッドにおける計測結果を複数のエミュレータを連動させて再現する技術を確立することにより、目標とした 100m×100m の空間領域における複数無線設備 50 台以上の通信環境において 80%以上の精度での再現を達成するとともに、他の課題と連携しそれぞれの課題の開発にも貢献した。具体的には横須賀 YRP 内において ITS²¹を対象とした実環境評価用テストベッドを構築するとともに、実環境計測とハードウェアエミュレーション共通に利用できる疑似無線設備を整備し、精密計測を行うことによりハードウェアエミュレータにおける再現を可能とした。一方、ハードウェアエミュレータの電波伝搬モデリング構築に際し、レイトレース²²による伝搬結果を評価指標とすることにより実環境との差異を圧縮することができた。</p> <p>さらに、横須賀にあるハードウェアエミュレータと北陸にあるソフトウェアエミュレータとを高速回線 (JGN) で結んで、ハードウェアエミュレータでの計算結果を拡張することによって、任意の場所における伝搬状況を再現することが可能となった。</p>

15 Passive Optical Network の略。光信号を複数に分岐させることで光ファイバを複数ユーザで共有する技術。
16 複雑なシステムやサービスの配備/設定/管理を行うソフトウェア。
17 Software Defined Network-Controller の略。下位の物理ネットワークを一か所で集中管理するソフトウェア。
18 Virtual Optical Line Termination Hardware Abstraction の略。多様なアクセス方式、バンド仕様に対して共通的な管理インターフェースを提供する抽象化機能を実現するソフトウェア。
19 Virtual Optical Line Termination の略。PON 方式の加入者回線網において、通信会社の局側の仮想環境に設置される光回線の終端装置。
20 単一のネットワークインフラを仮想的に分割し、多様なニーズや用途に応じたサービスを提供できるよう複数の論理ネットワークとして提供・運用する技術。
21 Intelligent Transport Systems の略。高度道路交通システム。
22 電波を光に見立てて、直接波や反射波、回折などによる電波の伝搬状況をシミュレートする手法。

	 <p style="text-align: center;">図6：ハードウェア・ソフトウェア無線エミュレータの統合実験環境</p>
<p>課題（カ） 光ファイバ無線技術によるモバイルフロントホールの大容量化・高効率化技術</p>	<p>ハイブリッド型アナログ RoF²³モバイルフロントホール技術により、従来のデジタル伝送方式と比べて所要光伝送帯域を 1/30 以下に高効率化するという目標、及び同モバイルフロントホール技術を前提としたフォトニックビームステアリング²⁴技術により、周波数利用効率を 3 倍以上に向上するという目標を、当初予定通り達成することができた。</p> <p>具体的には、ハイブリッド型アナログ RoF モバイルフロントホール技術については、ユーザーレート換算 27 Gbps の 5G 無線信号を 20km 伝送し、3GPP²⁵で定める所定の信号品質を満足可能であることを実証した。従来のデジタル伝送手法の場合はユーザーレートの 13-16 倍程度の伝送帯域が必要であり、例えば 20Gbps のユーザスループットでは 260~320GHz が必要となるが、本手法の場合は 6.7GHz で伝送可能であり、1/30 以下の所要伝送帯域での高効率伝送を達成した。</p>

²³ Radio over Fiber の略。無線信号を光信号の形で伝送する技術。

²⁴ 送受信したい電波の向きに合わせて最大の指向性を生成する技術。

²⁵ 移动通信システムの仕様の検討・作成を行う標準化プロジェクト。

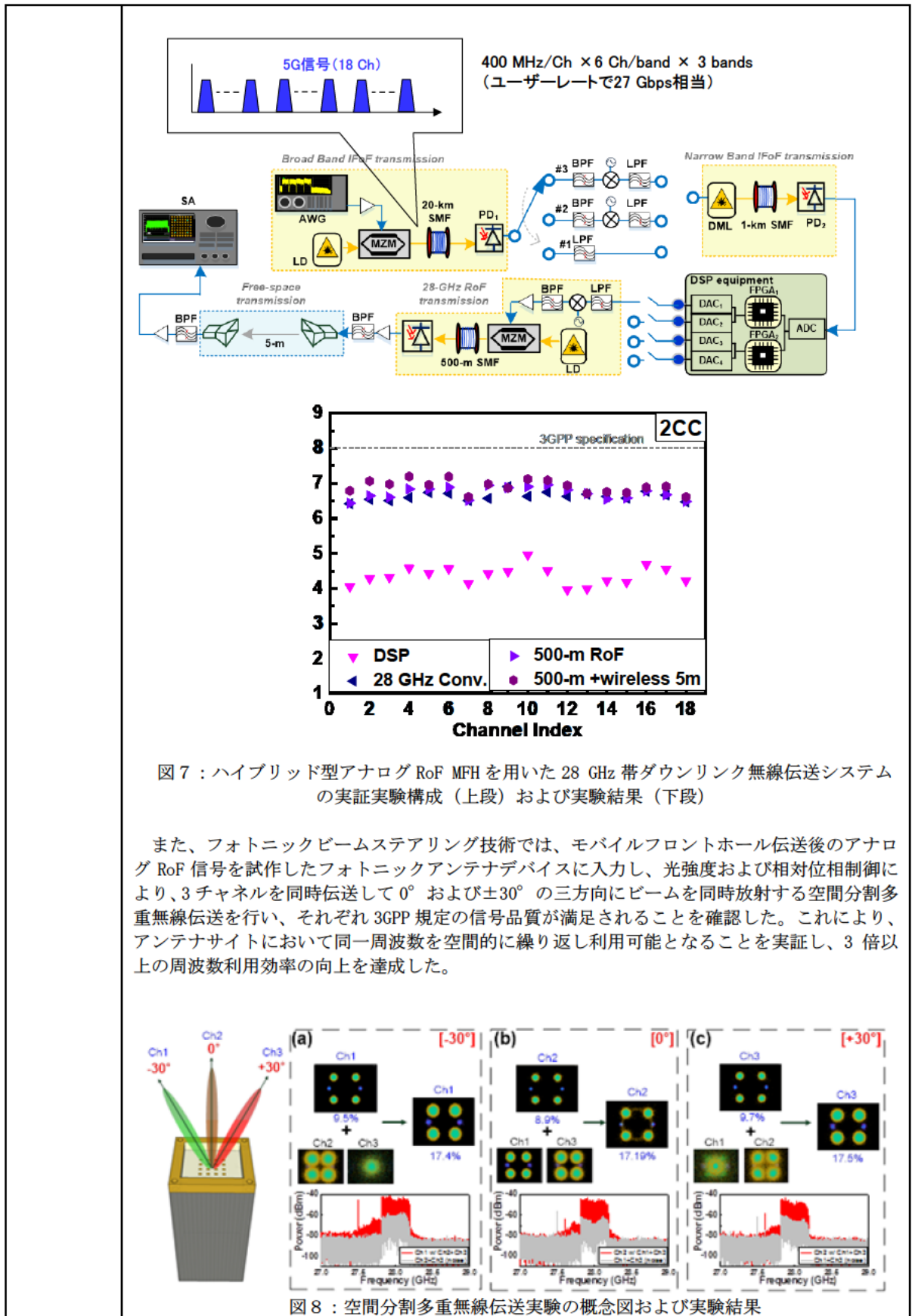


図7：ハイブリッド型アナログ RoF MFH を用いた 28 GHz 帯ダウンリンク無線伝送システムの実証実験構成（上段）および実験結果（下段）

また、フォトニックビームステアリング技術では、モバイルフロントホール伝送後のアナログ RoF 信号を試作したフォトニックアンテナデバイスに入力し、光強度および相対位相制御により、3チャンネルを同時伝送して 0° および $\pm 30^\circ$ の三方向にビームを同時放射する空間分割多重無線伝送を行い、それぞれ 3GPP 規定の信号品質が満足されることを確認した。これにより、アンテナサイトにおいて同一周波数を空間的に繰り返し利用可能となることを実証し、3 倍以上の周波数利用効率の向上を達成した。

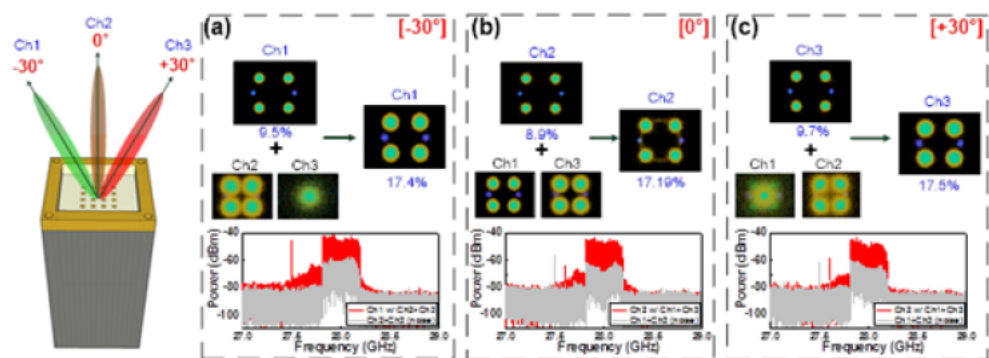


図8：空間分割多重無線伝送実験の概念図および実験結果

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70件以上の論文発表及び合計200件以上の口頭発表に加え、合計70件以上の特許出願（無線アクセスネットワークの管理装置に関する特許など）など、非常に多くの成果を挙げている。また、ITU-T SG13/SG15、ONF、APT等、各技術の適用先を見極めながら、幅広く提案活動を実施し、その提案内容のうちいくつかは国際標準化された。今後は、PONスライス等の国際標準化提案を年3件程度実施予定である。さらに、受託機関の特に装置ベンダにおいては、具体的な製品化の予定策定に至った。以上より、本研究開発は特筆すべき成果を数多く上げており、その必要性、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	2件（2件）	4件（4件）	4件（0件）	14件（10件）	24件（16件）
査読付き口頭発表論文数 （印刷物を含む）	1件（0件）	16件（16件）	21件（21件）	17件（17件）	55件（54件）
その他の誌上発表数	1件（0件）	2件（0件）	1件（0件）	1件（0件）	5件（0件）
口頭発表数	29件（3件）	100件（30件）	63件（5件）	41件（3件）	233件（41件）
特許出願数	16件（4件）	23件（4件）	20件（4件）	17件（4件）	76件（16件）
特許取得数	0件（0件）	0件（0件）	1件（0件）	6件（2件）	7件（2件）
国際標準提案数	2件（2件）	13件（13件）	4件（4件）	6件（6件）	25件（25件）
国際標準獲得数	1件（1件）	0件（0件）	1件（1件）	0件（0件）	2件（2件）
受賞数	0件（0件）	1件（0件）	1件（1件）	2件（0件）	4件（1件）
報道発表数	0件（0件）	0件（0件）	0件（0件）	9件（0件）	9件（0件）
報道掲載数	0件（0件）	0件（0件）	14件（0件）	10件（0件）	24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	本格的なIoT社会の到来により、多種多様な規格かつ膨大な機器がネットワークに繋がることとな

	<p>り、2003年に5億台だったネットワークに接続される機器数は、2020年には500億台まで増大すると予測されており、様々な事業者による柔軟なサービスの提供が必要であった。また、モバイルネットワークについても、多種多様なIoTサービスの要求を実現するためにスモールセル²⁶が急増し、基地局とアンテナの接続は、これまでの光ファイバのPoint-to-Point接続²⁷では非効率なネットワークであった。また、膨大な数のスモールセルと既存の様々な無線通信が混在し、IoT機器が使用するISM帯²⁸を中心に、ミリ波帯、4G、5Gで使用される周波数がひっ迫している。</p> <p>また、今後はIoTの進展によるサービスの多様化に伴い、低遅延・大容量・多数同時接続等のサービスの要求条件に応じてサブキャリア²⁹やタイムスロット³⁰等を柔軟に割り当てる無線技術が進展しつつあり、有線・無線ネットワークポロジ³¹の複雑化が見込まれている。これまでの研究開発（ネットワーク仮想化技術の研究開発等）により、ネットワークの構築や制御を柔軟に行う仮想化技術の確立に取り組んできたところであり、本研究開発では、こうした技術を活用するとともに、サービスの要求条件に応じて変化する有線・無線ネットワークポロジ³¹を最適化するために必要な要素技術を確認することで、マルチドメイン・マルチサービス環境³²におけるIoTトータルシステムとして効率的に周波数を利用できるようにし、周波数のひっ迫状況を解消することが必要であった。</p> <p>これらの課題を解決するため、センサーネットワークのアプリケーションの特徴に基づく空間的・時間的に格段に緻密な電波利用を実現する有線・無線ネットワーク統合制御技術の確立が早期に求められていたことから、本研究開発には必要性があったと認められる。</p>
<p>効率性</p>	<p>実施期間中、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>さらに、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>
<p>有効性</p>	<p>多数のIoTサービスを収容する有無線ネットワーク仮想化の自動制御技術、多様なIoTサービスに適応する低遅延有無線プラットフォーム技術及び実環境評価を併用する有無線エミュレーション/シミュレーション技術を確認することにより、センサーネットワークの周波数利用効率を実効的に従来比3倍以上、かつ、センサーネットワークを収容する移動通信システムの周波数利用効率を実効的に従来比3倍以上達成したことから、多種多様な規格かつ莫大な数のIoT機器からなる無線ネットワークにおいて様々な事業者による柔軟なIoTサービス提供を可能とすることに寄与することができた。</p> <p>また、空間的・時間的に格段に緻密な電波利用を実現する有線・無線ネットワーク統合制御技術を確認することにより、周波数の有効活用の一層の向上に寄与することができ、国際標準を獲得することで我が国の国際競争力の向上に寄与することができた。</p> <p>モバイルキャリアやベンダー等の潜在顧客に対して、本研究開発で得られた成果を発表する成果共有会を開催し、出席者から「ユーザに提供したいと感じた」等の発言があり、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>本研究開発で得られた成果の活用については、将来の自動運転やコネクティッドカーではIoTを活用した情報収集及びサービスが期待されており、光ファイバ無線によるIoT無線ネットワークの拡大により利便性の向上が見込まれる。更にモバイルネットワークの無線信号を自動車内機器や車内モバイル機器へ広帯域、大容量無線信号を届けるために光ワイヤハーネス³³の普及が期待される。また工場IoTの活用により広範囲な無線信号の伝達に光ファイバ無線が活用され生産性の向上が期待される。</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>
<p>公平性</p>	<p>本研究開発の成果は周波数の効率的な利用又は高い周波数への移行を促進するため、周波数の深刻なひっ迫の緩和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>

26 携帯電話の基地局の種類の一つで、通常の基地局を補完するために用いられる小出力でカバー範囲の狭い基地局。

27 2点間を接続してデータ通信を行うための通信プロトコル。

28 Industrial Scientific and Medical 帯の略。産業科学医療用機器のための周波数帯。

29 データ伝送を周波数軸方向に分割する単位。

30 データ伝送を時間軸方向に分割する単位。

31 有線・無線を統合したネットワークの接続形態。

32 一つのデバイス等で複数のドメイン・複数のサービスを利用する環境。

33 自動車の車内配線などに用いられ、信号と情報を伝送する電線の束を光ファイバに置き換えたもの。

	<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>本格的な IoT 社会の到来により、500 億台以上の多種多様な規格かつ膨大な IoT 機器の普及が予測されているため、様々な事業者による柔軟な IoT サービス提供を可能とすることが喫緊の課題となっており、IoT 機器とネットワークの有線・無線一体となったシステム全体を最適に制御する新たな周波数有効利用技術を早急に開発することが極めて重要である。</p> <p>このような問題意識から平成 28 年 5 月 20 日に閣議決定された「世界最先端 IT 国家創造宣言」等において、喫緊の政策課題として明記されている。</p> <p>また、ITU/3GPP/IEEE 等の多数の標準化組織・団体において IoT に関する国際標準化の検討が行われており、IoT に関する国際標準化活動が活発に行われているため、我が国が主導権を確保していくためには、本技術を早急に開発することが極めて重要であった。</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、多種多様な規格かつ莫大な数の IoT 機器からなる無線ネットワークにおいて、様々な事業者による柔軟な IoT サービス提供を可能とするため、空間的・時間的に格段に緻密な電波利用を実現する有線・無線ネットワーク統合制御技術を確立する。これにより、サービス要件に合わせた有線・無線区間の最適制御を行い、周波数の有効利用の一層の向上を図るものである。

本研究開発において、空間的・時間的に格段に緻密な電波利用を実現する有線・無線ネットワーク統合制御技術を確立することにより、周波数の有効活用の一層の向上に寄与することができ、国際標準を獲得することで我が国の国際競争力の向上に寄与することができた。

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>

今後は、本研究開発で確立した技術を発展させ、着実な社会実装を目指し、引き続き各受託者において、更なる技術開発、実証実験及び適用先の検討等を進めていく。また、ITU-T SG15 等の会議において、国際標準化活動を推進していく。

総務省は、追跡調査等でフォローアップを行っていく。

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。

- ・ 振舞い監視によるトラフィック情報を利用して機能配置の最適化、データの自動集約・分配、送信タイミング調停等によるリソース利用効率化、MFH 帯域の圧縮・過剰 IoT トラフィックの制御等による IoT トラフィックの再送回数削減、アナログ RoF による 64-QAM や同一周波数の繰り返し利用の適用、通信リソースの PON 仮想化（スライス）技術による効率的な提供など、各課題で周波数利用効率 3 倍を達成し、それらの要素技術を疑似空間上で協働させて大規模環境での評価及び総合的な検証を可能としている。以上より、目標は達成されたと思われる。
- ・ 各課題の技術領域で、周波数利用効率 3 倍を達成し、IoT 普及に伴う人からモノへの電波利用の変革を促進し、Beyond 5G の着実な実現の足掛かりとしている。また、課題間連携も、スライス・セキュリティ・閉空間の改善の観点で実施し、連携実証に成功している。また、論文や国際会議に 80 件以上の論文投稿がなされており、多くの研究成果をあげている。よって、予算は効率的に使用されたと思われる。
- ・ 標準化活動として、ITU-T SG13/SG15、ONF、APT 等で、各技術の適用先を勘案して提案活動を実施しており、PON スライスに関しては、実用化に向け議論が進んでいる。装置ベンダは、具体的な製品化の予定策定を始めている。

7 評価に使用した資料等

- 世界最先端 I T 国家創造宣言 （平成 28 年 5 月 20 日閣議決定）
<http://www.kantei.go.jp/jp/singi/it2/kettei/pdf/20160520/siryoul.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
- 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>