

# 令和6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6年8月

## 1 政策（研究開発名称）

リアルタイムアプリケーションを支える動的制御型周波数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3年度～令和5年度（3か年）

#### ・実施主体

国立研究開発法人情報通信研究機構  
株式会社国際電気通信基礎技術研究所  
株式会社構造計画研究所  
公立大学法人大阪 大阪公立大学

#### ・総事業費

1,163百万円

令和3年度	令和4年度	令和5年度	総額
401百万円	383百万円	378百万円	1,163百万円

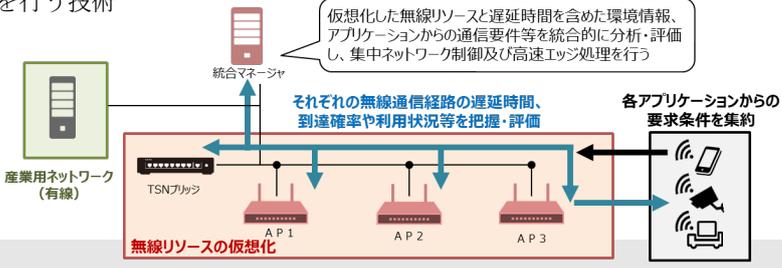
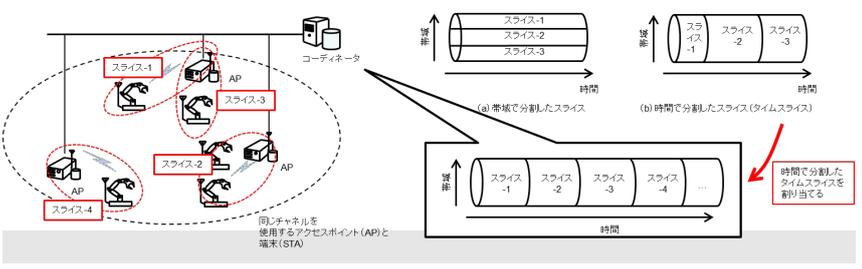
予算要求段階では総額10億円超となるか未定だったため、事前事業評価は未実施。

#### ・概要

本研究開発では、通信要件の異なる複数のアプリケーションが混在する環境下においても、リアルタイム性の高いアプリケーションに対して到達保証時間内の無線通信を実現しながら、周波数利用効率を向上させ、同時収容可能なアプリケーションの種類を増やすための技術等を確立することで、既存の周波数を用いた低遅延・高信頼な無線通信を実現しつつ、周波数の共用及び利用効率を向上し、電波の有効利用を実現するための技術の研究開発を行う。

本研究開発では、製造現場のように通信要件の異なる複数のアプリケーションが混在する場合において、リアルタイム性の高いアプリケーションに対して低遅延・高信頼な通信を可能とするため、Wi-Fi、Bluetooth、特定小電力無線、5G等の様々な無線通信と有線通信が融合したヘテロジニアスなネットワーク環境において、ネットワーク内に分散された無線リソースを仮想的に1つのリソースとみなし特定のアプリケーションに対して優先度に応じた割り込み処理や時限的な専用帯域を予約・確保することにより通信の到達保証を行う技術、ネットワークの状態を考慮しつつアプリケーションの要求に応じて動的に最適制御を行うネットワークスライシング技術の確立に向け、以下の区分により研究開発を実施する。

- ア 無線リソースの仮想化・動的管理及び遅延保証技術
- イ オンデマンドネットワークスライシング技術

技術の種類	技術の概要
無線リソースの仮想化・動的管理及び遅延保証技術	<p>ネットワーク内に分散された無線リソースを仮想的に1つのリソースとみなし特定のアプリケーションに対して時域的な専用帯域を予約・確保することにより通信の到達保証を行う技術</p>  <p>図：無線リソースの仮想化・動的管理及び遅延保証技術概要</p>
オンデマンドネットワークスライシング技術	<p>ネットワークの状態を考慮し、アプリケーションの要求に応じて最適制御を行うネットワークスライシング技術</p>  <p>図：オンデマンドネットワークスライシング技術</p>

・スケジュール

各年度の成果又は実施内容を簡潔に記載すること。

技術の種類	令和3年度	令和4年度	令和5年度	令和6年度
無線リソースの仮想化・動的管理及び遅延保証技術	技術開発	技術開発	統合 実証実験	本技術をネットワーク機器ベンダ等に展開
オンデマンドネットワークスライシング技術	技術開発	技術開発		本技術をシステムインテグレータ等に展開
国際標準化 IEEE802.1Q 内の TSN-TG	▲D0.0 発行 ▲D0.1 発行	▲D0.2 発行(TG)	▲D0.4 発行(TG) ▲D1.0 発行(WG)	▲D2.0 発行(SA) ▲出版 承認
IEC SC65C/WG17 IEC62657 シリーズ	▲IEC 国内委員会 提案	▲コン ピナー 提案 ▲WG 提案	▲CD 発行 ▲コメン ト対応 ▲CDV 発行	▲FDIS 提案

※ TG: Time-Sensitive Networking Task Group、WG: 802.1 Working Group、SA: IEEE Standard Association、CD: Committee Draft (委員会原案)、CDV: Committee Draft for Vote (投票用委員会原案)、FDIS: Final Draft International Standard (最終国際規格案)

## (2) 達成目標

通信要件の異なる複数のアプリケーションが混在する環境下においても、リアルタイム性の高いアプリケーションに対して確実な通信を行うための技術として、ローカルエリアネットワークにおける無線リソースの仮想化・動的管理技術及び遅延保証技術、オンデマンドネットワークスライシング技術を確立する。これらの取組により、製造現場における制御システム等の優先度の高いアプリケーションの動作に必要な一塊のデータブロックを規定時間内に配送する遅延保証(パケット多重化した通信に対して 10~100msec 以内)を可能としつつ、スライシングによるネットワーク全体の最適制御を行い、周波数利用効率及び同時利用可能なアプリケーション数を 2 倍以上とすることを目指す。

### ○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」

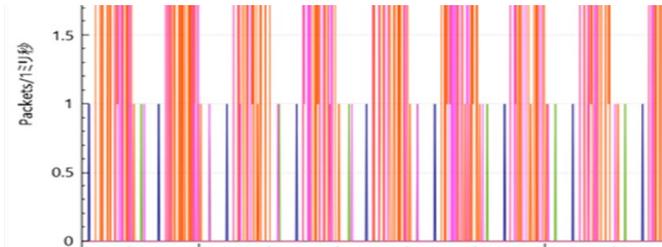
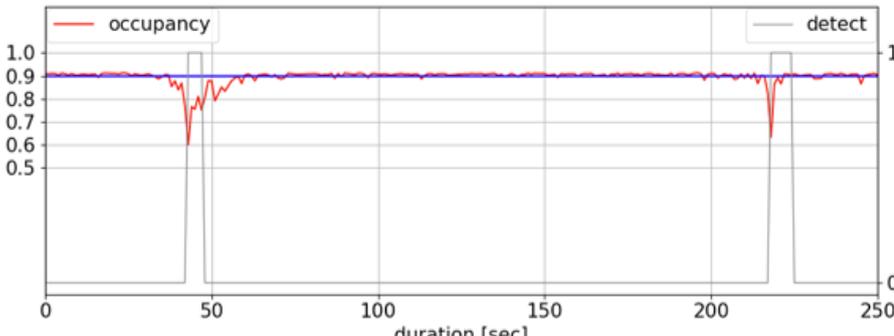
### ○政府の基本方針 (閣議決定等)、上位計画・全体計画等

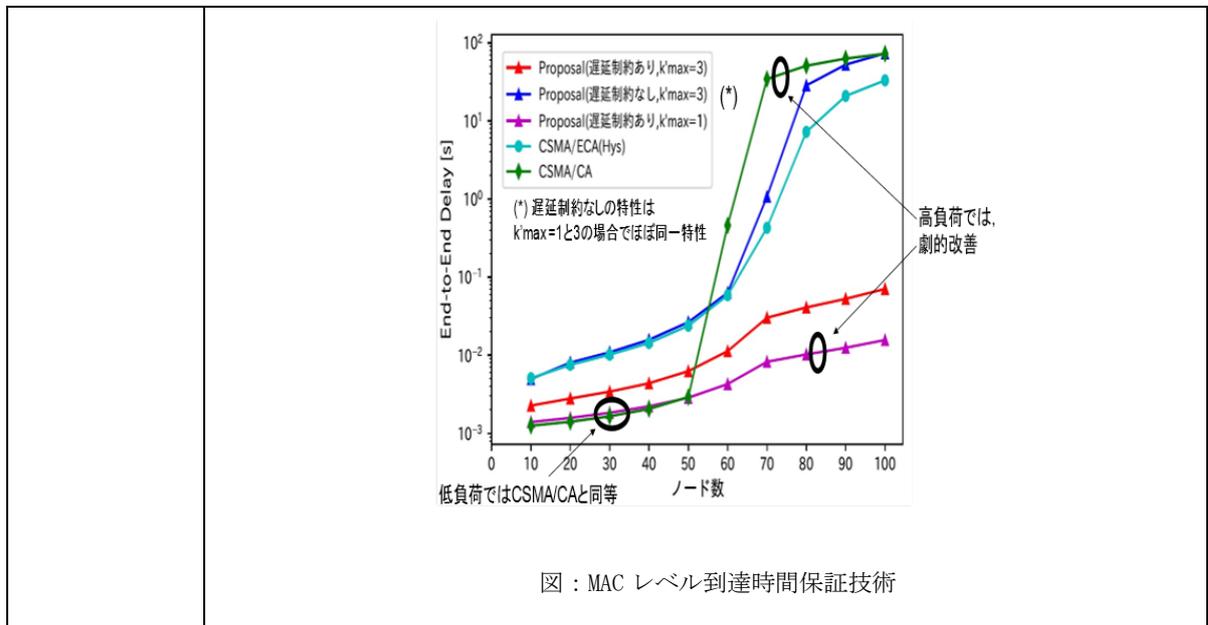
名称 (年月日)	記載内容 (抜粋)
「統合イノベーション戦略 2020」(令和 2 年 7 月 17 日閣議決定)	II. 3. 3 レジリエントで持続可能な社会・経済構造の構築」において 5G 等の情報通信技術の製造現場での本格活用のための技術開発や先行事例の創出に向けて取り組む」旨が記載されている。
「成長戦略フォローアップ」(令和 2 年 7 月 17 日閣議決定)	「4. (2)v 次世代産業システム 1 サプライチェーンにおけるデータ連携・活用の促進」において、「5G 等の情報通信技術の製造現場での本格活用のための技術開発や先行事例の創出に向けて取り組む」旨記載されている。
「新たな情報通信技術戦略の在り方」第 4 次中間答申(令和 2 年 8 月 5 日)	「4. 2. 1. 2(3) 2 製造分野」において、「制御系のワイヤレス化への期待から更なる低遅延や遅延保証等への要求を満たすための標準化作業が見込まれ、この動きを活用する視点が重要」の旨が記載されている。

## (3) 目標の達成状況

研究課題ア「無線リソースの仮想化・動的管理及び遅延保証技術」に係る取り組みにより、周波数利用効率の改善目標(AGV、締め付け工具、高解像度映像伝送の 3 つのアプリケーションが混在、混雑時)において、2 倍以上の周波数利用効率を実現した。

NICT が研究開発を進めている Smart Resource Flow (SRF)無線プラットフォームに関しては、標準化を推進している Flexible Factory Partner Alliance(FFPA)により認証プログラムが開始され、認証された製品が 15 製品となった。また、SRF 無線プラットフォームを IEC 標準仕様に載せるべく、IEC SC65C/WG17 (Industrial networks / Wireless coexistence)において提案活動しているが、ドラフトの執筆と WG17 国際会合での提案を行い、5 月に Final Draft International Standard (最終国際規格案)を提案、2025 年度に発行見込みとなった。また、IEEE 802.1Q 内の Time-Sensitive Networking (TSN) Task Group (TG)に散発的・バースト的に発生する製造アプリケーションのトラフィックに対し、通信遅延を保証するために必要なシェーパの制御パラメータ設定について P802.1Qdq として提案中であり、タスクグループバロットが終了し、現在ワーキンググループバロット中であり、こちらも 2025 年度に発行見込みとなった。

技術の種類	目標の達成状況								
有無線統合型ネットワークにおけるグローバルリソース仮想化技術	<p>有無線統合型ネットワークにおけるグローバルリソース仮想化技術では、同一周波数帯域で制御用(遅延 10-20ms)と映像用(遅延 100ms)通信を時分割で共存させることで、目標 1.4 倍のところ 1.5 倍を達成した。</p>  <p>図：有無線統合型ネットワークにおけるグローバルリソース仮想化技術</p>								
ローカルエリア情報高速収集・分析技術	<p>ローカルエリア情報高速収集・分析技術では、通信が不安定になる箇所を検知し、通信レートが自動的に上がるのを抑制する通信レート抑制アルゴリズムを用いる事で、目標 1.2 倍のところ、1.18 倍を達成した。</p> <table border="1" data-bbox="646 739 1228 1019"> <tr> <td>検出区間</td> <td>10.0 秒</td> </tr> <tr> <td>改善前の空帯域率(A)</td> <td>76.5%</td> </tr> <tr> <td>改善後の空帯域率(B)</td> <td>90.0%</td> </tr> <tr> <td>改善率 (B)/(A)</td> <td>1.18 倍</td> </tr> </table>  <p>図：通信レート抑制アルゴリズム</p>	検出区間	10.0 秒	改善前の空帯域率(A)	76.5%	改善後の空帯域率(B)	90.0%	改善率 (B)/(A)	1.18 倍
検出区間	10.0 秒								
改善前の空帯域率(A)	76.5%								
改善後の空帯域率(B)	90.0%								
改善率 (B)/(A)	1.18 倍								
MAC レベル到達時間保証技術	<p>MAC レベル到達時間保証技術 (CSMA/CA 伝送環境) に関しては、CSMA/ECA をベースとした改良プロトコルにより遅延制約機能を実現し、目標 1.2 倍のところ 1.63 倍を達成した。</p>								



### 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6年6月21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 17 件の論文発表及び合計 49 件の口頭発表に加え、合計 9 件の特許出願を行った。さらに、合計 19 件の国際標準提案を行った結果、IEEE802.1 のプロジェクトの 1 つである P802.1Qdq として活動をし、令和 5 年度にドラフト 1.0 を発行、また IEC SC65C/WG17 にてドラフトの執筆と提案を行い、令和 5 年 5 月に CD(Committee Draft、委員会原案)、令和 6 年 1 月に CDV(Committee Draft for Vote、投票用委員会原案)を発行するなど、国際標準獲得に向けて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	令和3年度	令和4年度	令和5年度	合計
査読付き誌上発表論文数	0件 ( 0件)	1件 ( 1件)	1件 ( 1件)	2件 ( 2件)
査読付き口頭発表論文数 (印刷物を含む)	0件 ( 0件)	4件 ( 4件)	11件 (11件)	15件 (15件)
その他の誌上発表数	0件 ( 0件)	0件 ( 0件)	0件 ( 0件)	0件 ( 0件)
口頭発表数	16件 ( 0件)	18件 ( 0件)	15件 ( 0件)	49件 ( 0件)
特許出願数	2件 ( 0件)	4件 ( 0件)	3件 ( 2件)	9件 ( 2件)
特許取得数	0件 ( 0件)	0件 ( 0件)	0件 ( 0件)	0件 ( 0件)

国際標準提案数	4件(4件)	7件(7件)	8件(8件)	19件(19件)
国際標準獲得数	0件(0件)	0件(0件)	0件(0件)	0件(0件)
受賞数	0件(0件)	1件(0件)	1件(1件)	2件(1件)
報道発表数	1件(0件)	0件(0件)	0件(0件)	1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：「査読付き誌上发表論文数」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：「その他の誌上发表数」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等の技術進展に伴い、次世代の無線規格として低遅延・高信頼化に向けた検討が進み、工場等ではIoT 機器が急速に導入され、これまで有線で接続されていた機器の無線化や無線通信の(ローカル)エリアネットワークとしての活用に期待が更に高まっている。他方で、製造現場のように通信要件の異なる複数のアプリケーションが混在する場合において、リアルタイム性の高いアプリケーションに対して低遅延・高信頼な通信を実現とすることが課題であった。</p> <p>このような中、「統合イノベーション戦略 2020」(令和2年7月17日閣議決定)などにおいても、5G等の情報通信技術の製造現場での本格活用のための技術開発や先行事例の創出に向けた取組の重要性が指摘されているところである。</p> <p>本研究開発の技術は、これら課題に取り組むものであり、国民の財産である電波資源の有効利用に資するものであることから、国が実施すべき研究開発として推進する必要がある。</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>本研究開発においては、実証の対象環境として想定された製造現場等での実験経験の豊富な企業、研究者等の専門知識やノウハウ、蓄積された実験データを積極的に活用することにより、各機関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機関の研究代表者・実務者の定期的な連絡会議において、各機関の進捗状況や課題が調整・共有され、さらに専門家を含む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</p>

	<p>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>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、効率的な実施が確認された。</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>本研究開発では、技術的数値目標として周波数利用効率及び同時利用可能なアプリケーション数を2倍以上とすることを目指していた。周波数利用効率については、課題アの「無線リソースの仮想化・動的管理及び遅延保証技術」として「有無線統合型ネットワークにおけるグローバルリソース仮想化技術」で1.50倍、「ローカルエリア情報高速収集・分析技術」で1.18倍、「MACレベル到達時間保証技術」で1.63倍の改善を確認し、あわせて2.89倍の改善を達成している。</p> <p>また、課題アと課題イ「オンデマンドネットワークスライシング技術」の連携により、AGV、締め付け工具、高解像度映像伝送の3つのアプリケーションが混在、混雑したケースで、2倍以上の周波数利用効率の改善を確認した。</p> <p>以上により周波数の有効利用の向上に資するものであり、目標を達成している。</p> <p>また、本研究開発は、製造等の産業無線利用者である企業等を含む外部有識者や専門家で構成される研究開発運営委員会など、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推進しており、研究成果の実用化等に向けた高い確実性が確認された。</p> <p>更に、特許出願や国際標準化における提案活動なども着実かつ積極的に行われた。</p> <p>以上より、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>本研究開発では、通信要件の異なる複数のアプリケーションが混在する環境下においても、リアルタイム性の高いアプリケーションに対して到達保証時間内の無線通信を実現しながら、周波数利用効率を向上させ、同時収容可能なアプリケーションの種類を増やすための技術等を確立するものであり、既存の周波数を用いた低遅延・高信頼な無線通信を実現しつつ、周波数の共用及び利用効率を向上し、電波の有効利用を実現するものである。そのため、国民の財産である電波資源の有効利用に資するものであり、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>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>5G等の技術進展に伴い、工場自動化や建設機械の遠隔制御、医療分野での遠隔作業支援等の様々なサービスへの活用を念頭に、次世代の無線規格の低遅延・高信頼化に向けた検討が進められているが、他方で、限られた周波数資源においては、これまで通りの固定的なスケジューリング・リソース配分では多様なアプリケーションを同時に収容できず、また、データ到達時間保証・高信頼性を要求するユースケースの増加・拡大に伴う周波数需要の急激な増大も問題であり、大容量通信と低遅延及び高信頼性は、製造現場等のワイヤレス化に向けた喫緊の課題であった。</p> <p>本研究開発は、製造現場のように通信要件の異なる複数のアプリケーションが混在する場合において、リアルタイム性の高いアプリケーションに対して低遅延・高信頼な通信を可能とするものであり、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ったと認められる。</p>

## 5 政策評価の結果（総合評価）

5G 等の技術進展に伴い、低遅延・高信頼化に向けた検討が進む一方で、製造現場のように通信要件の異なる複数のアプリケーションが混在する場合において、リアルタイム性の高いアプリケーションに対して低遅延・高信頼な通信を実現とすることが課題であった。本研究開発の技術は、これら課題に取り組むものであり、国民の財産である電波資源の有効利用に資するものであることから、国が実施すべき研究開発として推進する必要があると認められる。

本研究開発では、技術的数値目標として周波数利用効率及び同時利用可能なアプリケーション数を2倍以上とすることを目指していた。研究開発の結果、全体として、**2.89倍**の周波数利用効率の改善を達成するなど、周波数の有効利用の向上に資するなど目標を達成することができた。

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、実用化への取り組みや国際標準化獲得に向けた取り組みなど、本研究開発成果の普及展開を進めていく。

## 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6年6月21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。

- ・ 総合的に見て、本研究開発は非常に有益であった。目標を完全に達成し、実用化に向けた具体的なステップも進められた。技術的な成果は高く評価でき、経済的効率性の面でも大きな問題はなかった。成果発表の観点でこれからの進展を期待したい。
- ・ 総合的に見て有益であったと判断する。本研究開発で得られた成果を IEC SC65C/WG17 (Industrial networks / Wireless coexistence) および IEEE 等の標準化に注力することで、本研究開発終了後の速やかな社会実装を実現することを期待する。
- ・ 本研究開発では、通信要件の異なる複数のアプリケーション混在下において、到達時間保証と同時収容数の両立を実現すべく、通信リソース情報の収集、遅延時間保証技術の適用、有無線ネットワークスライシングの点から要素技術の設計・試作・評価を行い、各要素技術について、概ね目標とする周波数利用効率を達成している。学術的な取り組みは控えめな印象があるものの、IEC、IEEE802.1Q への国際標準化提案、特許申請、FFPA 認証取得といった産業上の波及効果の高い取り組みを着実に進めている。今後は、研究開発成果の国際標準化、国内規格化、製品化が期待される。
- ・ 当初計画の目標が達成されており、有益であったと認められる。なお、受託者に製品メーカーが含まれないので、今後本案件で開発された技術の普及、社会実装化への取り組みが今後も求められる。

## 7 評価に使用した資料等

- 「統合イノベーション戦略 2020」（令和2年7月17日閣議決定）  
[https://www8.cao.go.jp/cstp/togo2020\\_honbun.pdf](https://www8.cao.go.jp/cstp/togo2020_honbun.pdf)

- 「成長戦略フォローアップ」(令和2年7月17日閣議決定)  
<https://www.kantei.go.jp/jp/singi/keizaisaisei/pdf/fu2020.pdf>
- 「新たな情報通信技術戦略の在り方」第4次中間答申(令和2年8月5日)  
[https://www.soumu.go.jp/main\\_content/000724320.pdf](https://www.soumu.go.jp/main_content/000724320.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](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>