

# 令和 7 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 新世代移動通信システム推進室

評価年月：令和 7 年 8 月

## 1 政策（研究開発名称）

基地局端末間の協調による動的ネットワーク制御に関する研究開発

## 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 6 年度（4 か年）

#### ・実施主体

民間企業、大学等

#### ・総事業費

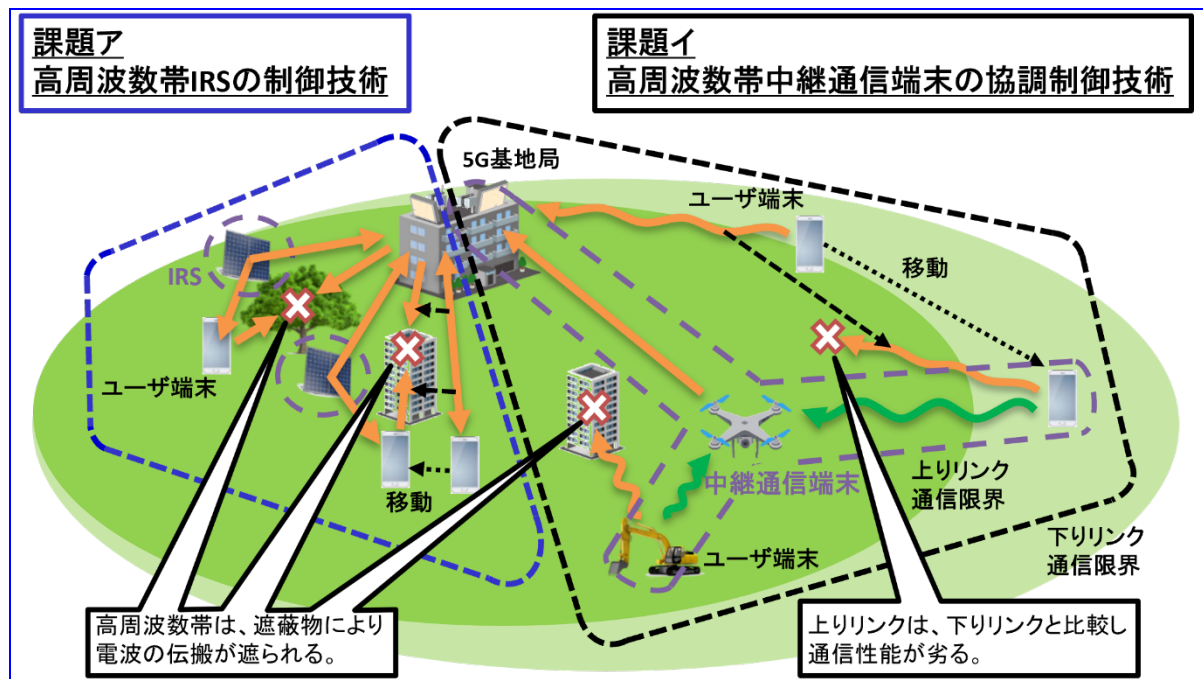
2,804 百万円

| 令和 3 年度 | 令和 4 年度 | 令和 5 年度 | 令和 6 年度 | 総 額       |
|---------|---------|---------|---------|-----------|
| 777 百万円 | 850 百万円 | 803 百万円 | 374 百万円 | 2,804 百万円 |

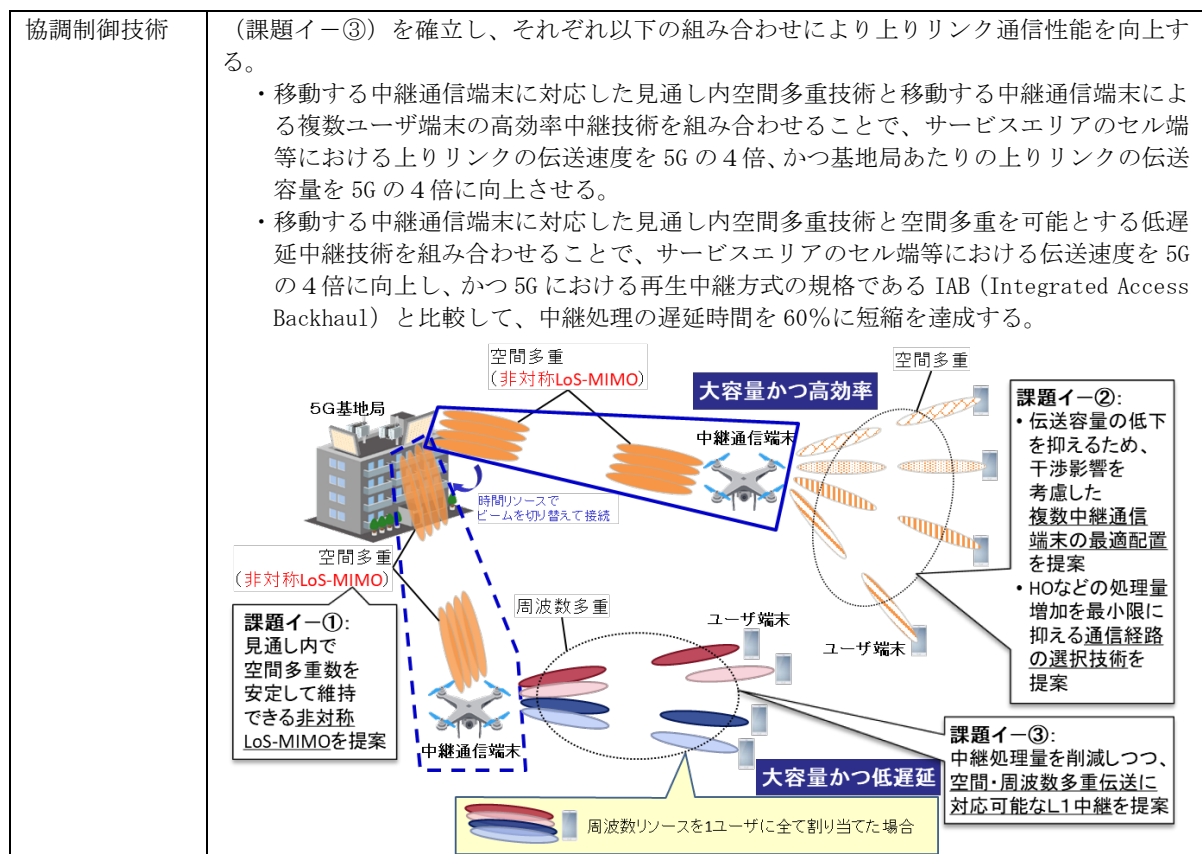
当時、事前評価が必要であることの確認が不十分だったため当該評価は実施していない。現在は、評価対象事業に係るそうした確認不足等を防止するための周知徹底や複数課室による重層的な確認等の措置が講じられている。

#### ・概 要

昨今の移動通信システムの高まりに加え、5G 普及期においては、さまざまなユースケースでの利活用により、これまで以上に高速・大容量伝送の需要が増大すると想定される。こうした周波数ひっ迫の状況を回避するために、広帯域が確保された高周波数帯の有効な利用が求められている。しかしながら、これまでに 5G の移動通信システムに割り当てられた周波数帯より更に高い周波数帯を使用する場合、建物や樹木等による電波の遮蔽により、ユーザが通信を行う場所ごとの電波の不安定性がますます高まると予想される。また、高周波数帯では通信距離も短くなるため、通信が出来なくなる限界に近い場所で通信を行う可能性が高まる。そのような環境では、上りリンクの通信性能を決めるユーザ端末の性能の限界が顕著に表れるようになる。そこで本研究開発では、ユーザ端末から基地局の上りリンク方向の通信の大容量化を実現すべく、高周波数帯における無線環境の不安定性や端末性能の限界からくる通信性能限界を克服するため、高周波数帯の伝搬路を動的に制御する技術と共に中継通信端末を用いて通信性能を向上させる技術確立し、上りリンクの空間多重度を第 5 世代移動通信システム（5G）に対して 4 倍以上に引き上げる。



| 技術の種類                              | 技術の概要                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  |
|------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <p>課題ア<br/>高周波数帯<br/>IRS の制御技術</p> | <p>IRS（知能電波反射面：Intelligent Reflecting Surface）の反射特性可変デバイス構成技術（課題ア①）として、大きさが100波長程度、反射効率（入射電力の総和に対する反射電力の総和の比率）の低下量が設計角度範囲内のすべての入射反射方向について6 dB以下で、1.5秒以内に反射方向を変更可能な液晶 IRS を実現する。</p> <p>また、反射特性制御技術（課題ア②）を確立し、<math>\pm 50^\circ</math>以上の範囲に反射可能であり、かつ隣接周波数への影響を抑える反射パターン形成を実現する。</p> <p>基地局・ユーザ端末とのIRS協調技術（課題ア③）の確立では、IRSが対策する不感地帯において、移動するユーザ端末に反射パターンを追従させることで、通信中の受信電力が最低受信感度以下となる連続時間を1.5秒以内かつ時間率1%以下を実現し、安定した通信を提供する。</p> <div style="display: flex; justify-content: space-between; margin-top: 10px;"> <div style="width: 45%;"> <p><b>① IRSデバイス構成技術</b><br/>低損失、高速応答可能な大規模液晶IRSデバイス</p> </div> <div style="width: 50%;"> <div style="display: flex; justify-content: space-between;"> <div style="width: 45%;"> <p>(1): 反射特性を可変にするIRS用の材料・デバイス技術<br/>液晶の移相量・低損失・高速応答を同時実現する、新たな液晶材料・構成の開発。</p> <p>(2): IRSの高性能反射素子<br/>(1)の液晶で任意の反射位相を実現する反射素子設計</p> <p>(3): IRSの反射性可変デバイス構成技術<br/>数方に及ぶ反射素子を制御し、かつ不要反射を低減する駆動配線設計</p> <p>(4): IRSの大規模構造化技術<br/>0.01波長の寸法精度で、100波長のサイズの実現</p> </div> <div style="width: 45%;"> <p><b>②: 反射パターン形成技術</b><br/>広い角度範囲に反射でき、隣接周波数への影響を抑える反射パターン形成</p> <p>広範囲に所望の方向に反射<br/>隣接周波数帯の反射の影響を低減<br/>隣接周波数<br/>設計周波数</p> <p>• 数方に及ぶ反射素子の位相制御量を高速に計算し、任意の反射パターンを形成<br/>• バンドパス特性を有するレドームにより、隣接周波数への影響を低減</p> </div> </div> </div> <div style="display: flex; justify-content: space-between; margin-top: 10px;"> <div style="width: 45%;"> <p><b>③: IRS反射パターン制御技術</b><br/>ユーザ端末と連動し、安定した通信を提供する反射パターン制御</p> </div> <div style="width: 50%;"> <p>IRS制御信号</p> <p>(1): 反射パターン決定方式<br/>ユーザ端末の移動に追従した反射パターン決定</p> <p>(2): 基地局・ユーザ端末とIRSの連携制御方式<br/>(1)を実現する、IRS制御プロトコル</p> </div> </div> </div> |
| <p>課題イ<br/>高周波数帯<br/>中継通信端末の</p>   | <p>5G以降の移動通信システムで想定される様々なユースケースに対応するため、移動する中継通信端末に対応した見通し内空間多重技術（課題イ①）、移動する中継通信端末による複数ユーザ端末の高効率中継技術（課題イ②）、空間多重を可能とする低遅延中継技術</p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        |



## ・スケジュール

| 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  |
|-----------------------------------|--------------------------------|------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------|--------|
| 課題ア<br>高周波数帯<br>IRSの制御技術          | 方式検討<br>・<br>液晶デバイス/<br>レドーム設計 | 方式/設計改良<br>・<br>10波長サイズ<br>液晶IRS試作<br>・<br>IRS制御装置開発 | 方式/設計改良<br>・<br>100波長サイズ<br>液晶IRS試作<br>・<br>反射パターン追従試験  | 統合実証評価 |
| 課題イ<br>高周波数帯<br>中継通信端末の<br>協調制御技術 | 方式検討<br>・<br>評価環境設計/試作         | 方式検討/改良<br>・<br>評価環境構築/改良                            | LoS-MIMOと高効率<br>中継の統合評価<br>・<br>LoS-MIMOと低遅延<br>中継の統合評価 | 実証実験   |

## (2) 達成目標

5G普及期においては、高品質画像やリアルタイム性を重視した遠隔医療など、さまざまなユースケースでの利活用により、これまで以上に高速・大容量伝送の需要が増大すると想定される。こうした周波数ひっ迫の状況を回避するために、広帯域が確保された高周波数帯の有効な利用が求められているが、電波の特性と周辺環境に起因する不感地帯の発生や、上りリンク通信性能の劣位が利用促進を阻害する要因となっている。そこで高周波数帯の伝搬路を動的に制御する技術と共に中継通信端末を用いて通信性能を向上させる技術が必要とされている。

以下に、本研究開発における達成目標を示す。

- ・IRSの反射特性可変デバイスと反射特性制御技術の確立では、大きさが100波長程度、反射効率（入射電力の総和に対する反射電力の総和の比率）の低下量が設計角度範囲内のすべての入射反射方向について6dB以下で、 $\pm 50^\circ$ 以上の範囲に1.5秒以内に反射方向を変更可能なIRSを実現する。

- ・ 基地局・ユーザ端末との IRS 協調技術の確立では、IRS が対策する不感地帯において、移動するユーザ端末に反射パターンを追従させることで、通信中の受信電力が最低受信感度以下となる連続時間を 1.5 秒以内かつ時間率 1 % 以下を実現する。
- ・ 高周波数帯中継通信端末の協調制御技術の確立では、移動する中継通信端末に対応した見通し内空間多重技術、移動する中継通信端末による複数ユーザ端末の高効率中継技術、空間多重を可能とする低遅延中継技術を確立することで、伝送容量を 5G の 4 倍、5G の中継方式に対して中継による遅延時間を 60% に短縮しつつユーザ単体の伝送速度を 5G の 4 倍に向上させる。
- ・ IRS の反射特性可変デバイスと反射特性制御技術、基地局・ユーザ端末との IRS 協調技術、高周波数帯中継通信端末の協調制御技術を確立することにより、高周波数帯利用時に生じる不感地帯のエリア化を図る。
- ・ 高周波数帯利用時に生じる不感地帯のエリア化と高周波数帯中継通信端末の協調制御技術を確立することによる上りリンク通信性能向上により、高周波数帯における周波数の有効利用の一層の向上を図る。

#### ○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）                                                                                                                                                   |
|----------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Beyond 5G 推進戦略懇談会提言（令和 2 年 6 月）                    | 「4. Beyond 5G 推進戦略 4－2.（3）（開発・製造基盤の強化）」において、「（略）このため、5G の機能強化に対応した情報通信システムの中核となる技術を開発することにより、その開発・製造基盤強化に取り組む。」旨の記載あり。                                     |
| まち・ひと・しごと創生基本方針 2020（令和 2 年 7 月 17 日閣議決定）          | 「6. 新しい時代の流れを力にする（1）②（a）5G などの情報通信基盤の早期整備」において、「（略）5G やローカル 5G による地域の課題解決、5G の高度化・高信頼化を推進する。」旨の記載あり。                                                       |
| 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 2 年 7 月 17 日閣議決定） | 「7 社会基盤の整備（2）次世代インフラの整備」において、「また、Society 5.0 をより高いレベルで実現していくためには、サイバー空間と現実世界（フィジカル空間）をより高度に一体化させる必要があり、それを支える中核的なインフラとしては 5G よりも更に高度なネットワークが求められる。」旨の記載あり。 |

### （3）目標の達成状況

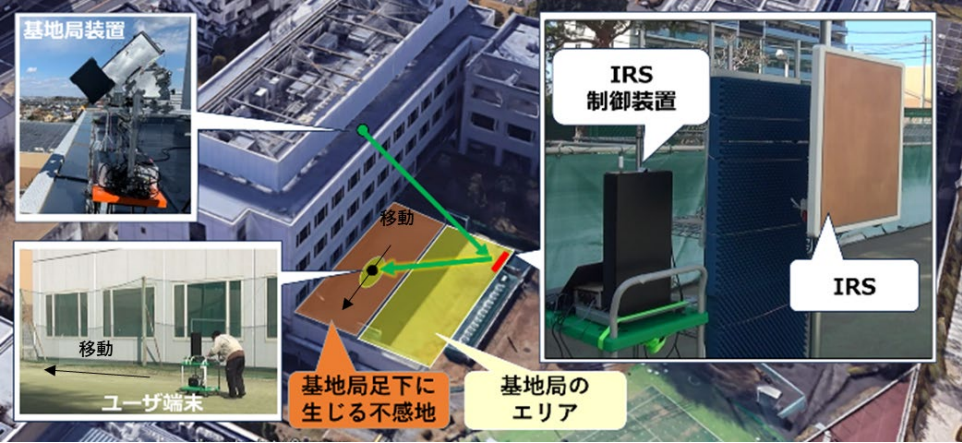
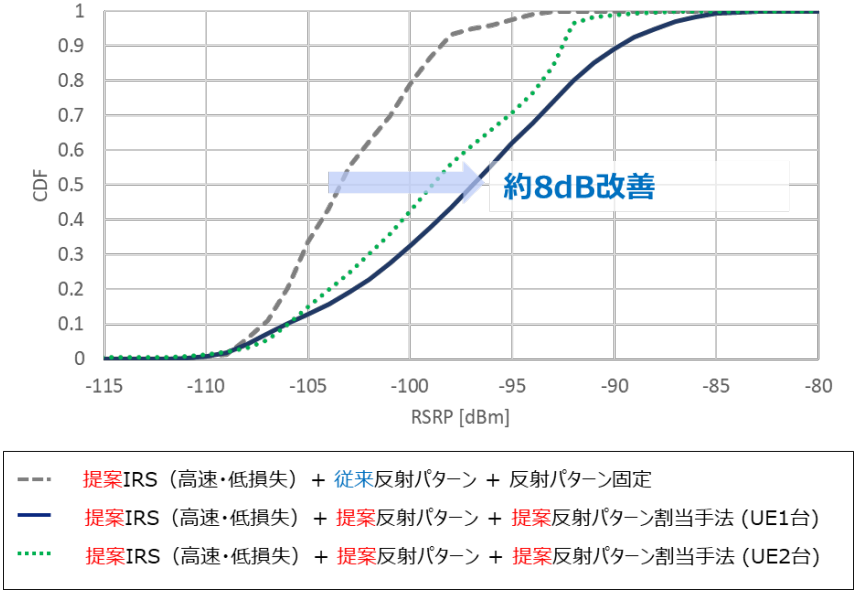
4 年間の研究開発を通じて、高周波数帯における無線環境の不安定性や端末性能の限界からくる通信性能限界を克服することを目的とした各要素技術について、下記に示す通り当初の目標どおり達成することができた。

- ・ 課題アー①が連携して検討を行った IRS の反射特性可変デバイス構成技術では、液晶 IRS の大規模化（約 100 波長サイズ）、低損失化（損失 6 dB 以下）、高速応答化（応答時間 1.5 秒以内）を実現するとともに、反射範囲についても  $\pm 50^\circ$  以上を実現した。
- ・ 課題アー②が課題アー①と連携して検討を行った反射特性制御技術では、反射範囲  $\pm 50^\circ$  以上かつ任意のビーム幅を形成可能な液晶 IRS の反射パターン形成技術を確立した。さらに、IRS の設置を考慮し、所望の周波数以外の電波に対する影響を低減する技術を確立した。
- ・ 課題アー③として検討を行った基地局・ユーザ端末との IRS 協調技術では、ユーザ端末の受信電力から反射パターンを決定し、200 ミリ秒以内に反射パターン情報を IRS に通知する反射パターン決定技術を確立し、ユーザ端末の受信電力が最低受信感度以下となる連続時間が 1.5 秒以上となる時間率 1 % 以内を達成した。
- ・ 課題イー①移動する中継通信端末に対応した見通し内空間多重技術と課題イー②移動する中継通信端末による複数ユーザ端末の高効率中継技術を組み合わせることで、セル端を模擬した見

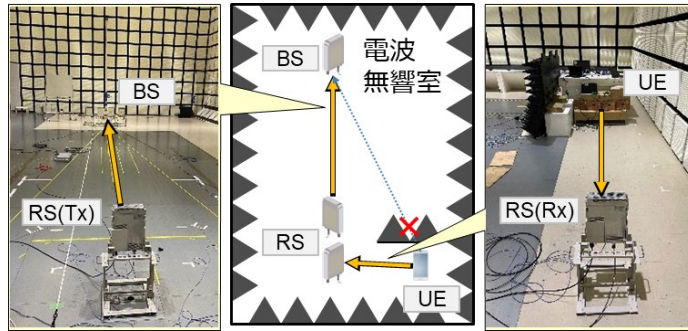
通し外環境において、伝送速度が上りリンクで 5G の 4 倍以上、また電波無響室内での実証実験の結果を基に、1 基地局のカバーエリアを 100m と仮定した場合の基地局当たりの上りリンクの伝送容量が 5G の 4 倍を達成した。

- ・課題イー①移動する中継通信端末に対応した見通し内空間多重技術と課題イー③空間多重を可能とする低遅延中継技術を組み合わせることで、セル端相当の環境における伝送速度が 5G の 4 倍以上を達成した。また、試作した低遅延中継回路を用いた中継処理の遅延時間測定結果から、IAB と比較して中継処理の遅延時間を 60%以下に短縮達成に資する結果を確認した。
- ・課題アー①・②・③で研究開発した技術を統合したフィールド実証実験を行い、ビル屋上に設置した基地局の足元に生じる不感地帯において、反射パターン切替によるユーザ端末の受信電力改善を確認した。また、課題イー①・②で研究開発した技術を組み合わせで電波無響室内での実証実験を行い、直接通信ができない見通し外環境でも見通し内環境と同等の伝送速度を達成できることを確認した。さらに、課題イー①・③で研究開発した技術を組み合わせで屋外での実証実験を行い、直接通信ができない見通し外環境でも、低遅延中継局を経由することで同一スロット内での通信が可能となることを確認した。以上のことから、液晶 IRS、高効率中継技術、低遅延中継技術による不感地帯のエリア化を達成した。
- ・高周波数帯利用時に生じる不感地帯のエリア化と高周波数帯中継通信端末の協調制御技術確立することによる上りリンク通信性能向上により、高周波数帯における周波数の有効利用の一層の向上を図ることができ、目標を達成した。

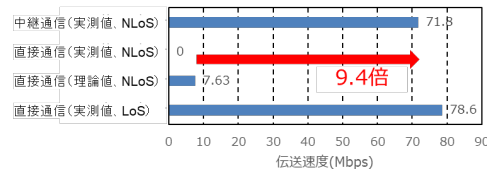
| 技術の種類                     | 目標の達成状況                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |
|---------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 課題ア<br>高周波数帯<br>IRS の制御技術 | <p>・<b>液晶 IRS の大規模化（約 100 波長サイズ）</b><br/>課題アー①（３）「IRS の反射特性可変デバイス構成技術」において、課題アー①（２）「IRS の高性能反射素子」が開発した反射素子を用いた 16 波長サイズの小規模 IRS を開発した。さらに小規模 IRS の組み合わせにより、約 100 波長サイズの大規模 IRS を実現するためのタイリング技術確立し、液晶 IRS の大規模化を実現した。また、タイリングによる大規模化をした際に、液晶を制御する TFT (Thin Film Transistor)、及びその周辺配線による不要反射を低減する配線技術確立した。</p> <p>・<b>液晶 IRS の低損失化（損失 6 dB 以下）と反射範囲の確保（±50° 以上）</b><br/>課題アー①（２）「IRS の高性能反射素子」において、反射方向の制御に必要となる反射位相の調整量を確保しつつ、低損失な反射素子を開発した。液晶層の厚さ、反射素子構造による位相調整量と反射損失の関係の分析結果をもとに、反射素子のパラメタを決定し、反射位相調整量 360°、損失 5.91 dB を実現した。反射位相調整を 360° 確保することにより、到達目標の±50° を上回る、±60° の反射範囲を達成した。</p> <p>・<b>液晶 IRS の高速応答化（応答時間 1.5 秒以内）</b><br/>課題アー①（１）「反射特性を可変にする IRS 用の材料・デバイス技術」において、応答を高速化するため、液晶分子配向を安定化する微細な高分子隔壁構造を液晶層に導入した新構造素子を開発した。課題アー①（４）「IRS の大規模構造化技術」と連携し、微細な高分子隔壁構造を大規模化する技術確立し、1,000 分の 1 波長（6.27 μm）の寸法公差での隔壁構造を実現した。この素子構造により、応答時間が 500 ミリ秒以下となり、到達目標の 1.5 秒以内を上回る成果を達成した。</p> <p>・<b>反射範囲±50° 以上かつ任意のビーム幅を形成可能な液晶 IRS の反射パターン形成技術</b><br/>課題アー②「IRS の反射特性制御技術」において、反射板から反射された電波が強め合う点（焦点）の位置を制御することで、反射範囲（ビーム幅）を調整する技術確立し、到達目標の±50° を上回る、±60° の範囲で任意のビーム幅の形成を実現した。</p> <p>・<b>所望周波数以外の電波に対する影響の低減技術</b><br/>課題アー②「IRS の反射特性制御技術」において、周波数選択板と誘電体スラブの 2 層構造から成るレドームを提案し、課題アー①（４）「IRS の大規模構造化技術」と連携して開発を行い、設計周波数を透過し、設計周波数以外の電波を反射するレドームを実現した。当該レドームを課題アー①（３）「IRS の反射特性可変デバイス構成技術」で開発した液晶 IRS の前に設置する事で、設計した周波数の電波だけ制御可能な IRS 装置を実現した。</p> <p>・<b>IRS によるユーザ端末追従技術（ユーザ端末の受信電力が最低受信感度以下となる連続時間が 1.5 秒以上となる時間率 1 % 以内）</b></p> |

|                                   |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    |
|-----------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|                                   | <p>課題アー③「基地局・ユーザ端末との IRS 協調技術」において、ユーザ端末から 20 ミリ秒毎に基地局が取得可能な受信電力情報からユーザ端末位置を推定し、推定位置に基づき IRS の反射パターンを決定する手法を確立した。シミュレーション評価を行い、ユーザ端末の受信電力が最低受信感度以下となる連続時間が 1.5 秒以上となる時間率 0.9% を達成した。</p> <p>・液晶 IRS の統合実証実験</p> <p>課題アー①・②・③で研究開発した技術を統合したフィールド実証実験を行い、ビル屋上に設置した基地局の足元に生じる不感地帯において、ユーザ端末の移動に追従して反射パターンを切り替えることで、ユーザ端末の受信電力を中央値で 8 dB 改善する効果を確認した。この時、端末・基地局間は見通し外となる位置であり、直接通信ができない環境であったが、IRS を経由することで通信が可能となることを確認した。</p>  <p>実証環境と装置構成</p>  <p>受信電力の CDF</p> <p>     --- 提案 IRS（高速・低損失）+ 従来反射パターン + 反射パターン固定<br/>     — 提案 IRS（高速・低損失）+ 提案反射パターン + 提案反射パターン割当手法（UE1台）<br/>     ..... 提案 IRS（高速・低損失）+ 提案反射パターン + 提案反射パターン割当手法（UE2台）   </p> |
| 課題イ<br>高周波数帯<br>中継通信端末の<br>協調制御技術 | <p>・課題イー① 移動する中継通信端末に対応した見通し内空間多重技術・課題イー② 移動する中継通信端末による複数ユーザ端末の高効率中継技術（伝送速度が上りリンクで 5G の 4 倍以上、基地局当たりの上りリンクの伝送容量が 5G の 4 倍）</p> <p>見通し内空間多重技術及び高効率中継技術を用いた実証システムを構築し、電波無響室内で実証実験を行った。その結果、セル端を模擬した見通し外環境において、直接通信ができない環境であったが、高効率中継により通信が可能となることを確認した。また、同環境における直接通信時の伝送速度を理論計算により算出し、提案中継技術により伝送速度が約 9.4 倍になることが確認でき、サービスエリアのセル端等における伝送速度が上りリンクで 5G の 4 倍以上に資する結果が得られたことを確認した。さらに、電波無響室内での実証実験の結果を基に、1 基地局のカバーエリアを 100m と仮定した場合の基地局当た</p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |

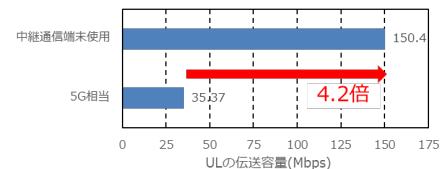
りの上りリンクの伝送容量を算出し、伝送容量が中継局を用いない 5G の 4.2 倍となることを確認した。



屋内実証実験環境



上りリンク伝送速度の実証実験結果

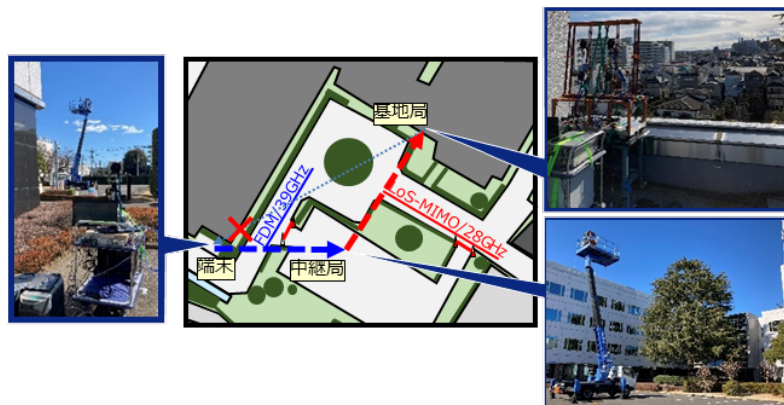


基地局当たりの上りリンクの伝送容量

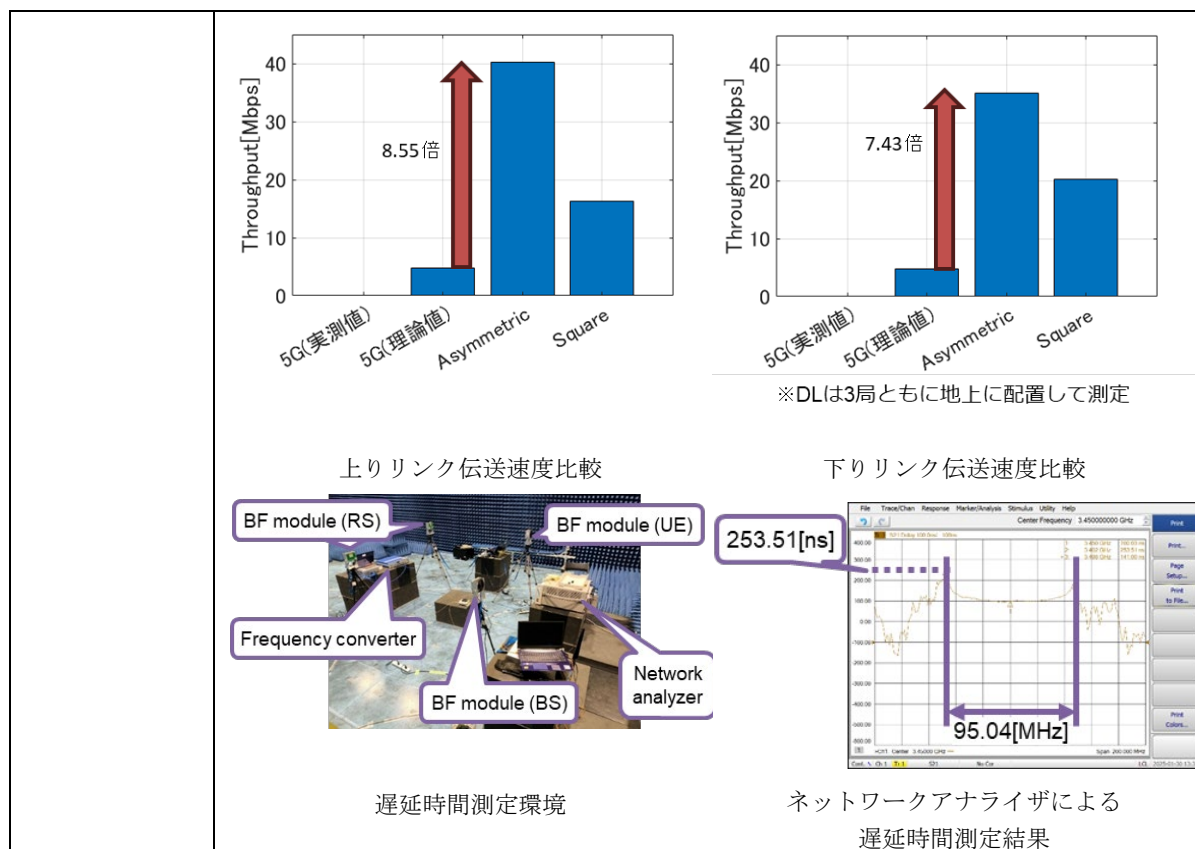
・課題イー① 移動する中継通信端末に対応した見通し内空間多重技術・課題イー③ 空間多重を可能とする低遅延中継技術（伝送速度が 5G の 4 倍以上、中継処理の遅延時間を 60%以下に短縮）

低遅延中継回路を含む試作装置を用いて、屋外で実証実験を行った。この時、端末・基地局間は見通し外となる位置に配置されており、直接通信ができない環境であったが、低遅延中継により通信が可能となることを確認した。また、同環境における直接通信時の伝送速度を理論計算により算出し、提案中継技術により伝送速度が 5G の 4 倍以上（上りリンクで約 8.6 倍、下りリンクで約 7.4 倍）に資する結果が得られたことを確認した。

また電波無響室内で中継処理による遅延時間を測定し、通信帯域内における遅延時間の最大値 253.51 [ns] がサブキャリア間隔 120 [kHz] の CP 長 590 [ns] 以下であることを確認した。これにより、中継通信時にも同一スロット内で通信が可能である見込みを得た。ここで、中継時にも同一スロット内で通信が可能な場合、IAB と比較して中継処理の遅延時間が 50%になることをシーケンスの比較から確認している。以上のことから、到達目標である IAB と比較して中継処理の遅延時間を 60%に短縮を上回る結果を確認した。



屋外実証実験環境



### 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7年6月20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

- 論文や研究発表、特許の実績の観点では、下表のように4年間で査読付き誌上発表論文13件、査読付き口頭発表論文39件、その他誌上発表5件、口頭発表120件、特許出願86件と多数の発表と成果展開に必要な技術の確立を進めており、タイムリーな研究成果アピールに努めていると言える。これらの発表の中には、アンテナ・伝播に関する世界最大の論文誌 (IEEE Trans. Antennas Propag., IF=5.8) への掲載2件、ACES-ChinaやICEAA2024などの計算電磁気学の分野における世界最大規模の会議での招待講演2件等も含まれている。また、これらの発表内容に対し、国内外で13件の受賞がある。さらに、出願特許の内数で27件は海外出願を実施済みであり、IRSの素材や製造方法に関する特許の他、後述する国際標準化に関連して出願されたものも含まれている。これらの内容は、研究成果のアピールを積極的に行っていると共に、本研究開発の必要性和有効性が外部から認められた証左と考える。
- 国際標準化の観点では、低遅延中継の制御や通信方式に関する寄書を3GPP Release 18 Network-controlled repeater (NCR)へ5件提出するとともに、3GPP Release 19でIRSをstudy item (SI)化するための寄書を4件提出し、国際標準化活動を推進した。NCRに関しては、提出した寄書で入力した提案7件の規格文書への反映を確認しており、これらの国際標準化活動を通して、本

研究開発の成果内容を規格化できたことは、本研究開発で検討した技術の必要性和有効性が外部から認められた証左であると考える。

| 主な指標                    | 令和3年度       | 令和4年度        | 令和5年度        | 令和6年度        | 合計           |
|-------------------------|-------------|--------------|--------------|--------------|--------------|
| 査読付き誌上発表論文数             | 1件<br>(1件)  | 4件<br>(2件)   | 3件<br>(3件)   | 5件<br>(2件)   | 13件<br>(8件)  |
| 査読付き口頭発表論文数<br>(印刷物を含む) | 2件<br>(0件)  | 11件<br>(11件) | 13件<br>(9件)  | 13件<br>(11件) | 39件<br>(31件) |
| その他の誌上発表数               | 0件<br>(0件)  | 0件<br>(0件)   | 2件<br>(0件)   | 3件※<br>(0件)  | 5件※<br>(0件)  |
| 口頭発表数                   | 36件<br>(0件) | 35件<br>(3件)  | 27件<br>(0件)  | 22件<br>(2件)  | 120件<br>(5件) |
| 特許出願数                   | 12件<br>(0件) | 26件<br>(7件)  | 33件<br>(15件) | 15件<br>(5件)  | 86件<br>(27件) |
| 特許取得数                   | 0件<br>(0件)  | 0件<br>(0件)   | 0件<br>(0件)   | 0件<br>(0件)   | 0件<br>(0件)   |
| 国際標準提案数                 | 0件<br>(0件)  | 6件<br>(6件)   | 2件<br>(2件)   | 1件<br>(1件)   | 9件<br>(9件)   |
| 国際標準獲得数                 | 0件<br>(0件)  | 0件<br>(0件)   | 7件<br>(7件)   | 0件<br>(0件)   | 7件<br>(7件)   |
| 受賞数                     | 3件<br>(0件)  | 6件<br>(1件)   | 4件<br>(0件)   | 0件<br>(0件)   | 13件<br>(1件)  |
| 報道発表数                   | 0件<br>(0件)  | 0件<br>(0件)   | 1件<br>(0件)   | 1件<br>(0件)   | 2件<br>(0件)   |
| 報道掲載数                   | 0件<br>(0件)  | 3件<br>(0件)   | 3件<br>(0件)   | 3件<br>(0件)   | 9件<br>(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：「査読付き市場発表論文数」には、定期的に刊行される論文誌や学会誌など、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。

\*XGMF 白書 (<https://xgmf.jp/2025/05/07/1339/>) への寄稿3件(2025年5月7日公開)含む。

## ○各観点からの分析

| 観点  | 分析                                                                                                                                                                                      |
|-----|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 必要性 | モバイル通信機器の普及、個人の使用するモバイルデータ量の飛躍的な増加及び多種多様なセンサや機器のネットワークへの加入により、移動通信トラフィックは年率1.2倍で増加傾向であり、さらに5G普及期においては、高品質画像やリアルタイム性を重視した遠隔医療など、さまざまなユースケースでの利活用により、これまで以上に高速・大容量伝送の需要が増大すると想定される。こうした周波 |

|     |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |
|-----|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|     | <p>数ひっ迫の状況を回避するため、広帯域が確保された高周波数帯の有効利用は喫緊の課題であった。</p> <p>また、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2年7月17日）における「次世代インフラの整備」として、Society 5.0をより高いレベルで実現していくためには、それを支える中核的なインフラとしては5Gよりも更に高度なネットワークが求められるとある。超高速・大容量等、5G機能のさらなる高度化のためには、これまでに5Gの移動通信システムに割り当てられた周波数帯より更に高い周波数帯の活用が重要であり、本研究開発では高周波数帯の有効利用の観点から先んじて取り組み、必要な技術を実現している。</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>本研究開発を推進するに当たっては、移動通信技術に関する専門的知識や研究開発遂行能力を有する民間企業、大学、国立研究開発法人のノウハウを積極的に活用しており、効率的に研究開発を進められた。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>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>従来、電波の特性と周辺環境に起因する不感地帯の発生や、上りリンク通信性能の劣位が高周波数帯の利用促進を阻害する要因となっていた。そこで、本研究開発において、IRSの反射特性可変デバイスと反射特性制御技術、基地局・ユーザ端末とのIRS協調技術及び高周波数帯中継通信端末の協調制御技術を確立することにより、高周波数帯利用時に生じる不感地帯においても通信が可能となり、不感地帯のエリア化を進めることができた。さらに、高周波数帯中継通信端末の協調制御技術を確立することにより、上りリンク通信性能を向上することができた。以上のことから、高周波数帯利用時に生じる不感地帯のエリア化と上りリンク通信性能向上により、高周波数帯における周波数の有効利用の一層の向上に寄与することができた。</p> <p>さらに、本研究開発で確立したIRSの構成技術や移動する中継通信端末に対応した見通し内空間多重技術は、セルラシステムだけでなく、IoT(Internet of Things)や無線LAN等の他システムにも応用することができる。本研究開発で試作したIRSは47GHz帯(47.2-48.2GHz)を動作周波数とするが、IRSを実現する材料の創出方法、構造の確立方法、加工技術等は他の周波数帯でも応用することができる。したがって、本研究開発で確立するIRSの構成技術を用いることで、Beyond 5Gや6G以降での利用が検討されているFR3やテラヘルツ帯、IoTや無線LAN等の他の無線システムにおいても、IRSを用いて高周波数帯において発生する不感地帯の対策として活用することが可能である。特に、Beyond 5Gや6G以降での利用が検討されているFR3においても、ミリ波帯に近い周波数帯が検討対象となっており、本研究開発で確立した高効率中継技術・低遅延中継技術を活用できる。本研究開発で確立したIRSや中継技術については、5Gの普及とBeyond 5G以降の研究開発を推進することを目的に設立されたXGモバイル推進フォーラム(XGMF)が2025年5月7日に発行した白書に対し3件の寄稿を行っており、広く世界に向けて周知している。</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、移動通信トラヒックの増加に伴い、移動通信システム等に利用されている周波数帯域のひっ迫状況を緩和するため、高い周波数帯の有効活用を促進する技術の研究開発であり、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>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>移動通信トラヒックは年率1.2倍で増加傾向であり、さらに5G普及期においては、これまで以上に高速・大容量伝送の需要が増大すると想定される。こうした周波数ひっ迫の状況を回避するため、広帯域が確保された高周波数帯の有効利用は喫緊の課題であり、早急に対応する必要があった。</p> <p>また、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2年7月17日）においても、Society 5.0をより高いレベルで実現していくため、それを支える中核的なインフラとして5Gよりも更に高度なネットワークであるBeyond 5Gの早期かつ円滑な導入と、我が国の国際競争力強化に向けて、産官学が連携して戦略的に取り組める「Beyond 5G推進コンソーシアム（仮称）」を構築し、研究開発戦略、知財・標準化戦略及び展開戦略を強力かつ積極的に推進するとある。5G機能のさらなる高度化のためには、これまでに5Gの移動通信システムに割り当てられた周波数帯より更に高い周波数帯の活用が重要であり、本研究開発において先んじて取り組み、必要な技術を実現する必要があった。</p> <p>本研究開発の成果は、査読付き誌上発表論文13件、査読付き口頭発表論文39件といった、専門家が査読を行いその内容を認めた発表をタイムリーに行っている。加えて、外国出願27件を含む特許出願86件を達成しており、必要とされる技術のタイムリーな知財化により、国際競争力の確保に早くから貢献できている。さらに、低遅延中継の制御や通信方式に関して3GPP Release 18 NCRへ提出した</p>                                                                                                                                                                                                                                                                         |

|  |                                                                                          |
|--|------------------------------------------------------------------------------------------|
|  | 5 件の寄書で入力した提案 7 件の規格文書への反映を確認しており、タイムリーな国際標準化活動が<br>できている。<br>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）

我が国の移動通信トラヒックは、モバイル通信機器の普及や個人の使用するモバイルデータ量の飛躍的な増加、IoT 機器のネットワーク加入等により年々増加傾向である。さらに 5G 普及期においては、さまざまなユースケースでの利活用により、これまで以上に高速・大容量伝送の需要が増大すると想定される。こうした周波数ひっ迫状況の回避に加え、Society 5.0 をより高いレベルで実現していくためには 5G よりも更に高度なネットワークが求められており、広帯域が確保された高周波数帯の有効利用の観点から、必要な研究開発に先んじて取り組みを進めた。

従来、電波の特性と周辺環境に起因する不感地帯の発生や、上りリンク通信性能の劣位が高周波数帯の利用促進を阻害する要因となっていた。そこで、本研究開発において、IRS の反射特性可変デバイスと反射特性制御技術、基地局・ユーザ端末との IRS 協調技術及び高周波数帯中継通信端末の協調制御技術を確立することにより、高周波数帯利用時に生じる不感地帯においても通信が可能となり、不感地帯のエリア化を進めることができた。さらに、高周波数帯中継通信端末の協調制御技術を確立することにより、上りリンク通信性能を向上することができた。以上のことから、高周波数帯利用時に生じる不感地帯のエリア化と上りリンク通信性能向上により、高周波数帯における周波数の有効利用の一層の向上に寄与することができた。

本研究開発の成果は、査読付き誌上発表論文 13 件、査読付き口頭発表論文 39 件といった、専門家が査読を行いその内容を認めた発表をタイムリーに行っている。加えて、外国出願 27 件を含む特許出願 86 件を達成しており、必要とされる技術のタイムリーな知財化により、国際競争力の確保に早くから貢献できている。さらに、低遅延中継の制御や通信方式に関して 3GPP Release 18 NCR へ提出した 5 件の寄書で入力した提案 7 件の規格文書への反映を確認しており、タイムリーな国際標準化活動ができている。加えて、本研究開発で確立した IRS や中継技術については、5G の普及と Beyond 5G 以降の研究開発を推進することを目的に設立された X G モバイル推進フォーラム (XGMF) が 2025 年 5 月 7 日に発行した白書に対し 3 件の寄稿を行っており、広く世界に向けて周知している。なお、本研究開発で確立した IRS の構成技術や移動する中継通信端末に対応した見通し内空間多重技術は、セルラシステムだけでなく、IoT や無線 LAN 等の他システムにも応用することができる。特に、IRS を実現する材料の創出方法、構造の確立方法、加工技術等は他の周波数帯でも応用可能であり、Beyond 5G や 6G 以降での利用が検討されている FR3 やテラヘルツ帯でも活用できる。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>

本研究開発で確立した技術について、低遅延中継に関連するものなど、一部については受託期間中に国際標準化を進めることができているが、IRS 等の標準化が先送りになっている技術についても、5G のセルラシステムだけでなく、他システムや FR3・テラヘルツ帯などのミリ波以外の周波数帯への応用も可能であるため、今後も論文等による情報発信や特許出願、標準化動向の確認や寄書入力等の活動を継続していく。

## 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 7 年 6 月 20 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。

- ・研究開発した液晶 IRS 技術により、反射の方向を任意に制御できるようになったとのことだが、反射板としての反射特性、具体的には反射方向毎の反射係数など、がどの程度維持できるのか、データがあれば教えてほしいとのコメントがあり、今回開発した液晶 IRS については、反射方向を  $\pm 60^\circ$  の範囲で変化させた場合でも電力の低下が  $-6$  dB に収まる様に設計している旨が回答された。外部評価委員から、反射方向を変化させた場合でも反射特性は良好であり、液晶 IRS と

いう非常に面白い技術が開発されたと感心したとのコメントもあり、本研究開発は有益であったと判断する。

- ・ 高効率中継・低遅延中継の実証実験における伝送速度評価では、具体的な変調方式や符号化方式を変更して測定しているのか、それとも測定した受信電力から理論的に計算したのかを教えてほしいとのコメントがあり、今回開発した高効率中継・低遅延中継の実証実験用装置は、OAI (Open Air Interface) と呼ばれる 5G 信号に準拠した信号を使用しているため、実際に変調多値数や符号化率の組み合わせを 5G に準拠して変更して測定を行った旨が回答された。実用化に向けて理論上の特性だけでなく、具体的に 5G 信号に準拠した信号を用いて評価を行っており、本研究開発は有益であったと判断する。

## 7 評価に使用した資料等

- Beyond 5G 推進戦略懇談会提言(令和 2 年 6 月)  
[https://www.soumu.go.jp/main\\_content/000696612.pdf](https://www.soumu.go.jp/main_content/000696612.pdf)
- まち・ひと・しごと創生基本方針 2020(令和 2 年 7 月 17 日閣議決定)  
<https://www.chisou.go.jp/sousei/info/pdf/r02-07-17-kihonhousin2020hontai.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 2 年 7 月 17 日閣議決定)  
<https://www.moj.go.jp/content/001345317.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>
- 基本計画書 基地局端末間の協調による動的ネットワーク制御に関する研究開発  
[https://www.tele.soumu.go.jp/resource/j/fees/purpose/pdf/210126\\_keikakusho\\_RD.pdf](https://www.tele.soumu.go.jp/resource/j/fees/purpose/pdf/210126_keikakusho_RD.pdf)  
(P. 40～48)