

■28GHz 帯で繋がり続ける分散 MIMO の実証実験に成功

2022 年（令和 4 年）

【全体概要】

日本電信電話株式会社（以下「NTT」）と株式会社 NTT ドコモ（以下「ドコモ」）と日本電気株式会社（以下「NEC」）は、28GHz 帯を用いた分散 MIMO※1 において、エリア内の無線伝搬状況や移動端末の位置などの環境情報をシステム自身が把握し、環境に応じて基地局の分散アンテナを動的に切り替える技術（以下、本技術）の実証実験を実施し、世界で初めて※2 成功しました。

これにより、ショッピングモールや工場など多数の遮蔽物がある環境でも、高周波数帯無線を、安定した大容量無線伝送に活用できる可能性を示しました。

また、分散 MIMO を用いて遮蔽物の位置を検出する無線センシング技術や、分散 MIMO の広エリア化を実現する、次世代 ICT コミュニケーション基盤の構想である IOWN※3 の光無線融合技術の一つである A-RoF（Analog Radio over Fiber）※4 伝送技術の基礎実証も行いました。

今後は、28GHz 帯よりもさらに高い周波数帯での実証や、人体など遮蔽物が変動する環境など、分散 MIMO の適用周波数とユースケースの拡大に向けて、実証実験を進めてまいります。

【背景】

5G Evolution & 6G では、サイバー・フィジカル融合での実世界での映像・センシング情報の収集や、五感による体感品質の情報伝送や雰囲気、安心感などの感覚も含めた多感通信などの実現に期待が集まっています。これらの実現には無線通信の更なる高速化・大容量化が必須であり、現在の 5G よりもさらに周波数が高いミリ波帯やサブテラヘルツ帯を移動通信に活用することが検討されています。

これら高周波数帯は遮蔽物による電波伝搬の減衰が大きいため、遮蔽物対策が重要となります。1つの基地局から多数のアンテナを分散配置し（以下、「分散アンテナ」）、移動端末に対して複数方向から無線伝送する高周波数帯分散 MIMO は有力な解決手段の一つです。しかし、高周波数帯は、所要の無線伝送距離を確保するためにはアンテナの電波放射を特定方向に集中させる必要があるため、環境に応じて分散アンテナを選択する動的な無線伝送制御が必要です。

移動端末と各分散アンテナ間の接続可否は、分散アンテナごとの無線品質情報を取得することで判断できます。電波が回り込む低周波数帯では、柱などで遮蔽される位置に移動端末が移動しても無線品質の変動は緩やかですが、高周波数帯では無線品質の変動が急なため、切断が起きることがあります。切断が起きてから次の無線品質情報を取得するまでの間はこの切断状態を把握できず、その間は適切な分散アンテナを選択できない問題がありました。この解決には、GPS（Global Positioning System）、やカメラ映像など外部システムにより取得した移動端末の推定位置に基づき、事前に適切な分散アンテナに切り替える手法が考えられます。しかし、外部システムに対応した移動端末・エリアに限定されることや、位置情報を

常時取得する仕組みが必要となるなど、適用条件が外部システムに依存します。そのため、システム外情報に依存せずに遮蔽物による切断に対しても適切な分散アンテナを選択できる技術が求められていました。

そこで、NTT、ドコモ、NEC は 2022 年 6 月 6 日（月）に発表した高周波数帯分散 MIMO 技術の実証実験協力※5 に基づき、本技術を検討し、その実証実験を 2022 年 6 月 6 日（月）～9 月 29 日（木）に実施いたしました。

【技術の概要と実験結果】

2-1. 分散 MIMO システム自身が環境把握し、動的に分散アンテナを選択する技術

<技術の概要>

上記を解決するため、NEC は分散アンテナを活用して分散 MIMO システム自身が移動端末の位置を予測し、適切な分散アンテナを選択する技術を開発しました。具体的には、エリア内の各位置で、各分散アンテナの無線品質を持続的に測定し、最適な分散アンテナを学習しておきます。そして、運用時に分散 MIMO システム自身が、各分散アンテナの無線品質を随時観測し、機械学習により移動端末の位置を推定します。さらに、過去の移動端末の推定位置から未来の移動を予測し、次の無線品質情報を取得するまでの移動端末位置と最適な分散アンテナを予測します。これにより、現在の無線品質情報から取得した分散アンテナだけでは、移動に伴う遮蔽により伝送性能の急な低下や切断の可能性がある場合でも、本技術により移動端末の予測位置を基にして分散アンテナを選択し、無線伝送を継続できるようになります。

<実験結果>

本技術の実証実験を広さは 25×15×3.5m、実験エリア内に柱が 4 本存在する実験室（図 1-1）で実施しました。使用した実験機は 5G NR 28GHz 帯の物理仕様に準拠しており、周波数帯 28GHz、信号帯域 100MHz、サブキャリア間隔 60kHz の OFDM 方式※6 です。また、同軸ケーブル（長さ 20m）により、基地局装置と 6 本の分散アンテナを接続しています。各分散アンテナは#0～#5 の位置に合計 6 本設置し、図中の経路 Y 上に移動端末を台車で移動させて、分散アンテナ毎の無線品質情報を取得し、伝送性能を評価しました。

本技術活用時の相対受信強度（Relative Level：装置内の所定の基準との相対値）の特性を図 1-2 に示します。例えば、無線品質情報の取得間隔が 20ms で移動端末が自転車走行速度(15km/h)程度で移動した場合、現在の無線品質に基づいて分散アンテナを選択する従来方式では、柱で遮蔽される位置にて受信強度が平均 13dB 程度低下しました。一方で、本技術による移動予測に基づいて分散アンテナを選択した場合、同位置における受信強度の低下を従来に比べて平均 8dB 程度改善して 5dB 程度に留め、高周波数帯分散 MIMO で懸念される瞬断の回避が可能であることを確認しました。これにより、移動時でも安定した、高周波数帯を用いた高速大容量通信の実現を期待できます。

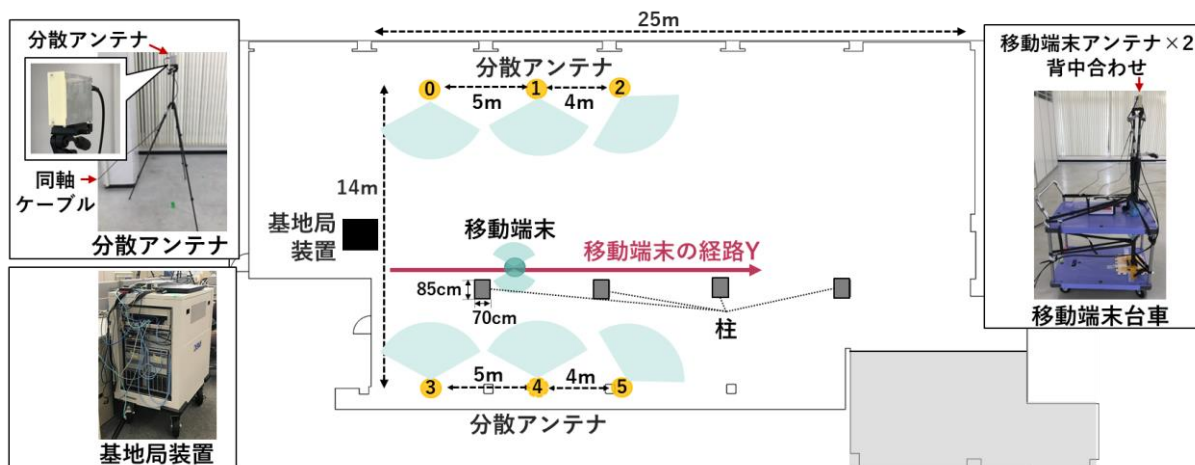


図 1-1 実験エリアと実験系の概観

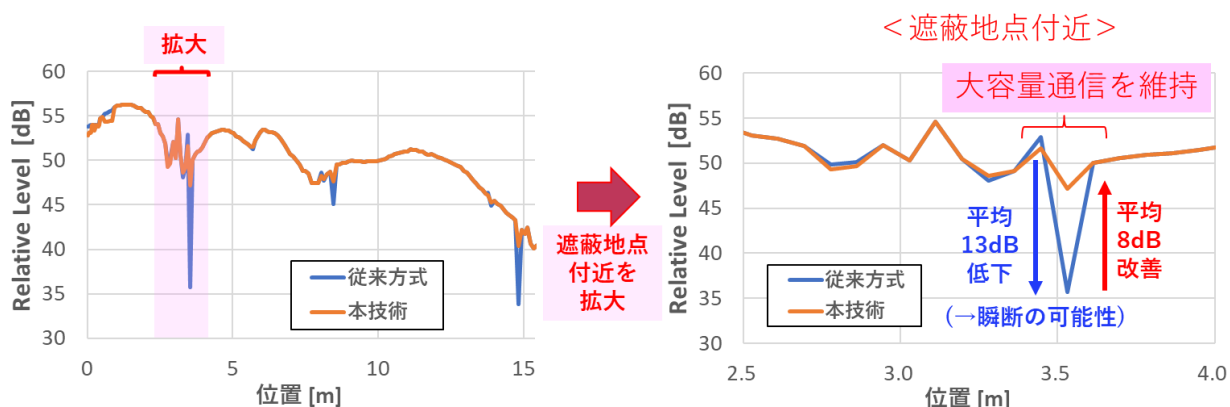


図 1-2 実験結果（従来方式と本技術適用時の各々の相対受信強度特性）

2-2 無線センシング技術

<技術の概要>

分散アンテナの選択技術の実現には、移動端末の位置に加えて、通信デバイスを持たない遮蔽物の位置の把握も重要となります。固定設置される遮蔽物については、前述したように事前に無線環境を学習することなどで対応できますが、人体などの移動する遮蔽物については対応が困難です。

そこで、NTT とドコモは、システム内で取得可能な無線品質情報から遮蔽物の位置推定を行う無線センシング技術を考案しました。具体的には、分散アンテナ間で定期的に取り得た CSI（Channel State Information）※8 からアンテナ間の相関情報に基づく時系列情報を抽出し、この情報を特徴量とした事前データに基づく機械学習を行うことで、遮蔽物の位置推定を行います。

<実験結果>

2-1章の検証と同じ実験場所と分散アンテナを用い、人体模型を遮蔽物と見立ててエリア内移動させ、本技術の実験検証を行いました。具体的には移動端末と各分散アンテナ間のCSIから抽出した時系列の特徴量を学習させ、運用時に改めて取得したCSIから人体模型の位置を推定させました。このように高周波数帯分散アンテナの系で、無線端末を搭載しない物体の検出を行う実証実験は世界初です※2。図2に実験に用いた人体模型の概観と位置推定誤差の実験結果を示します。人体模型の位置推定誤差は中央値で約0.6m、平均値で約0.9mを達成しており、分散MIMO自身で、遮蔽物の位置も把握できる可能性が確認できました。本技術は、こうした高周波数帯分散MIMO伝送を支える環境情報の取得だけでなく、物体検知などのセンシングサービスへの活用にも期待できます。

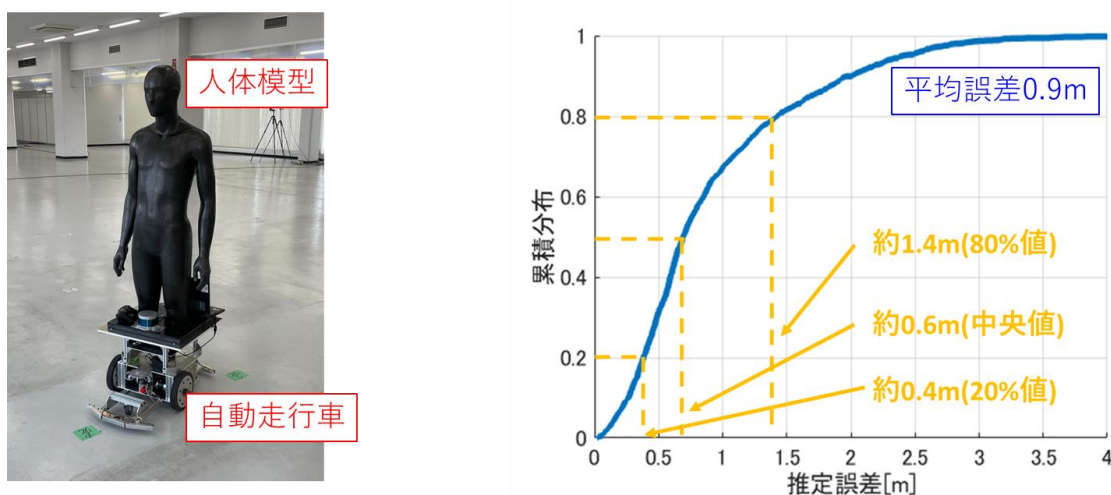


図2 使用した人体模型（遮蔽物）と遮蔽物の位置推定誤差

2-3 A-RoF 伝送技術

<技術の概要>

基地局装置と各分散アンテナを同軸ケーブルで接続する場合、同軸ケーブルは通過損失が10mあたり数dB以上と大きいため、その設置範囲に限界があります。この代替手段として、基地局装置からのIF (Intermediate Frequency) 信号※9をアナログ信号のまま光回線で伝送するA-RoF (Analog - Radio over Fiber) が考えられます。A-RoFは通過損失が1kmあたり0.5dB以下と小さいため、設置範囲を広エリア化でき、また、同軸ケーブルと比べて細く曲げやすいため、ケーブル敷設にも柔軟性があります。しかし、分散MIMOの実現には周波数同期用のローカル信号と、5GのようにTDD方式※10を実現するには、下り回線と上り回線の各伝送時間を通知するTDD制御信号を、基地局装置から各分散アンテナへ、データ信号とともに伝送する必要があります。

そこで、NTT とドコモは、これらローカル信号・TDD 制御信号・データ信号をシングルモードファイバにより、光 1 波長で伝送するサブキャリア多重伝送方式技術を開発しました。

<実験結果>

2-1 章の検証と同じ実験場所と分散アンテナを用い、本技術の実証実験を行いました。実験系を図 3-1 に示します。基地局装置から同軸ケーブル、または A-RoF を介して 2 本の分散アンテナに接続し、A-RoF 長も同軸ケーブルと同じ 20m として、TDD 方式を用いて下り方向と上り方向のスループットを同時評価しました。このように、高周波数帯分散アンテナの系で、A-RoF を用いた上下双方向無線伝送の実証実験は世界初です※2。実験結果を図 3-2 に示します。図 3-2 より、A-RoF 適用時も同軸ケーブルとほぼ同じスループット特性が維持できており、1 波長にデータ信号とローカル信号、TDD 制御信号を多重伝送しても、上下方向とも伝送特性が劣化しないことが確認できました。A-RoF はケーブル長を今回の 20m から 100m～1,000m と延長しても、通過損失が 0.5dB 以下であり、本特性がそのまま維持できることが期待できます。従って、高周波数帯分散 MIMO をオフィスや店舗などの中規模屋内環境だけでなく、ショッピングモールや工場など大規模屋内環境にも適用可能となり、これらの環境にも安定した大容量無線伝送を提供できる可能性が示せました。

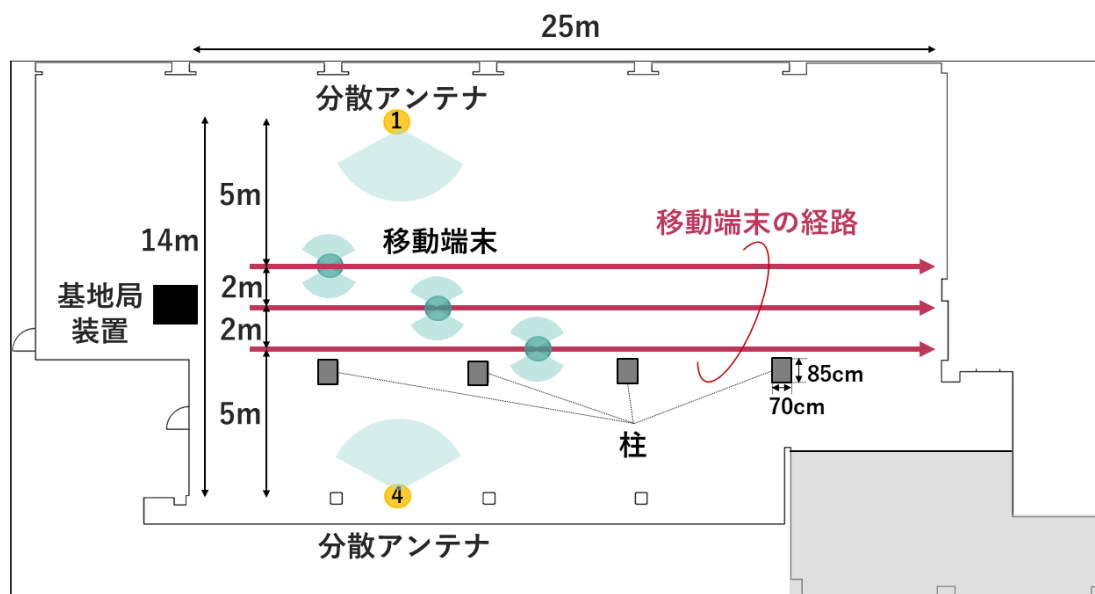


図 3-1 A-RoF 伝送技術の実験系

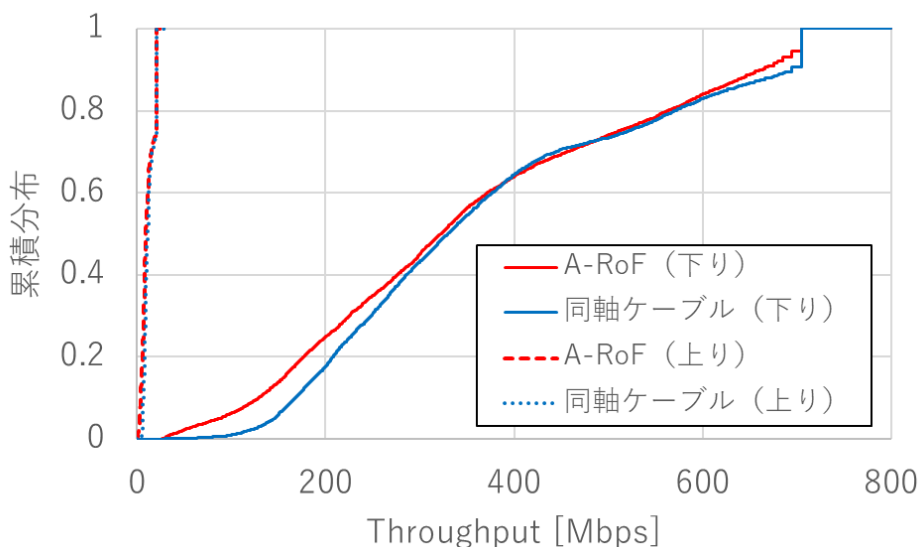


図 3-2 実験結果（上下方向のスループット測定）

【今後の展開】

今後は 28GHz 帯より高い周波数帯、人体など遮蔽物の変動する環境、多数の移動端末収容下での検証を進め、高周波数帯分散 MIMO の適用周波数やユースケースの拡大に向けて、実証実験を引き続き進めていきます。さらには、無線センシングによる移動端末位置や周辺遮蔽物の自動認識の高度化技術、A-RoF 活用による分散アンテナの展開技術の検証も進め、高周波数帯分散 MIMO のセンシング活用や、設置運用なども検討していきます。

※1 分散 MIMO (Multi-Input Multi-Output)

1 つの基地局から多数のアンテナをエリア内に分散して配置し、それら分散アンテナとエリア内の移動端末との間で MIMO 伝送を行う技術。

※2 2022 年 10 月 31 日現在、NTT 調べ

※3 IOWN (Innovative Optical and Wireless Network)

IOWN Global Forum (<https://iowngf.org/>) にて推進中の次世代コミュニケーション基盤の構想。

※4 A-RoF (Analog Radio over Fiber)

無線信号をアナログ信号のまま光回線により伝送する技術。

※5 <https://group.ntt.jp/newsrelease/2022/06/06/220606a.html>

※6 OFDM 方式 (Orthogonal Frequency Division Multiplexing)

直交周波数多重伝送方式。

※7 CSI (Channel State Information)

送信アンテナと受信アンテナ間の無線伝搬チャネル応答。5G の OFDM 方式では、周波数リソースブロックごとに推定できる仕組みがある。

※8 IF (Intermediate Frequency) 信号

中間周波数帯。デジタル信号処理時のベースバンド帯と無線周波数帯との周波数変換処理の時に、実装インパクトを考慮して、一旦、その中間の周波数帯に周波数変換することが多い。

※9 TDD 方式 (Time Division Duplex)

下り伝送と上り伝送を時分割で行う方式。