

<基本計画書>

ミリ波帯における大容量伝送を実現するOAMモード多重伝送技術の研究開発

1. 目的

我が国の移動体通信トラフィックは毎年爆発的な増加を続けており、今後も映像コンテンツの高精細化に加え、センサーネットワークやM2M等の普及に伴い新たに多数の端末が登場することで移動体通信トラフィックのさらなる増加が見込まれている。こうした状況に対応するため、通信容量向上、低遅延化、接続可能デバイス数の増加等を実現するための次世代移動通信システム（5G）の実現に向けた技術開発や標準規格の策定が世界的に進められており、我が国では東京オリンピック・パラリンピックが開催される2020年までにこれを実現することを目標に掲げているところである。

上述のとおり既存の移動体通信網と比べて大幅な性能向上が求められる5Gの実現のためには、端末と基地局の間だけでなく、より上位のネットワークでも大容量化等が求められる。現在の携帯電話網では、基地局と端末との間だけでなく、基地局と基幹回線との間（バックホール）においても無線通信が使用されており、5Gでは、ネットワーク全体の收容端末数を増加させるため、従来のもよりも小さいカバーエリアを有する基地局（スモールセル基地局）を数十m間隔で多数設置することが計画されていることを踏まえれば、これらの基地局を集線するバックホール回線の整備において、有線に比べて基地局設置の自由度が高い大容量の固定無線システムが利用されることが予想される。

しかし、既存の固定無線システムの延長線では5Gのネットワークを支えるバックホール回線として求められる十分な伝送容量を確保するためには、より広い周波数帯域が必要となるため、大容量伝送を効率的に実現する新たな無線通信技術の開発が必要となる。

近年の研究により、OAM（Orbital Angular Momentum：軌道角運動量）と呼ばれる物理量を持つ電波の存在が明らかになり、これを用いた新たな通信の多重化技術の確立が期待されている。OAMを用いた多重化は、理論上、多値変調や偏波多重等の既存の周波数利用効率を向上させる技術との併用が可能であることから、これが実用化されれば整数倍規模での周波数利用効率の向上が期待できるものである。

本研究開発は、こうした背景を踏まえ、既存のモバイルバックホールで使用されている固定無線システムの伝送容量を、周波数利用効率を高めつつ大幅に向上させるOAMモード多重伝送技術を開発することを目的とするものである。

2. 政策的位置付け

- ・世界最先端IT国家創造宣言（平成25年6月14日閣議決定、平成26年6月2

4日改定、平成27年6月30日改定)

4. (2) 世界最高水準のITインフラ環境の確保

本戦略の目標年である2020年には、2020年東京オリンピック・パラリンピック競技大会が開催され、国内外から多数の観光客等が見込まれることを踏まえ、入国から移動・滞在・出国まで一貫した行動のシームレス化を実現する。

(略) 第5世代移動通信システム(5G)の実現等について、サイバーセキュリティなど、安全・安心の確保を図りつつ、社会全体のIT化を進展させ、最先端のIT利活用による「おもてなし」を提供し、広く世界に発信することにより、IT利活用の裾野を拡大するとともに、産業競争力の強化を図る。

・電波政策ビジョン懇談会最終報告書(平成26年12月26日)

3 (3) ④イ) 5G要求条件を満たす通信技術実現に向けた研究開発

(略) よって、5Gに関する研究開発については、2020年(平成32年)に向けて国として推進する研究開発の最重要課題の一つとして位置付け、国と民間企業や学識経験者の産学官連携により、その取組を加速することが必要である。

3. 目標

5Gのバックホール回線に利用可能な大容量無線通信システムを実現するため、スモールセル基地局相互間等への適用を想定した100m以上の伝送距離で、16値以上の多値変調方式に対応した4多重以上のOAMモード多重伝送技術確立する。併せて、OAMモード多重伝送技術が偏波多重との併用が可能であることを実証する。

4. 研究開発内容

(1) 概要

電磁波におけるOAMの複数のモードを搬送波とする複数の変調波を並列伝送するOAMモード多重伝送技術を用いてミリ波帯における大容量伝送を実現する多重伝送技術の研究開発を行う。本研究開発では、高効率な多値QAM変調方式によるOAMの複数のモードを同時に生成し、多重化して伝送した後、元の独立な信号に分離することを可能にするOAMに対応したアンテナと信号処理技術を ア OAMモード多重無線伝送技術で、ミリ波、特にD帯(141~174.8GHz)での無線機を構成するためのデバイス開発とそれを用いたOAMモード多重伝送用無線機開発を イ D帯RF技術で行う。

本研究開発により達成される技術は、5Gモバイルバックホールのスモールセル基地局相互間のように、伝送距離は短い一方で従来技術では実現困難な大容量伝送が求められるシステムで活用されることが見込まれる。

(2) 技術課題および到達目標

技術課題

ア OAMモード多重無線伝送技術

OAM信号は、螺旋面状の等位相面を持つ信号であり、面として生成され空間を伝搬するものである。OAM信号のビームには、その中心にすべての位相が同等の強度で存在し、互いに打ち消し合う結果、信号強度分布がリング状（中心部は0）となる特性がある。

送信用のパラボラアンテナを所望の等位相面の形状に合わせて螺旋状に加工すると、OAM信号の生成が可能（受信側ではその逆が成り立つ）であることは知られているが、この方法では1つのモードにしか対応できない。そこで、本研究開発では、リング状に配置したアレーアンテナ構成を用いる等の手法により1つのアンテナで複数のOAMモードの多重化を実現する。

OAMモード多重無線伝送を実現するためにはモード間干渉の克服が課題となる。OAMモード間の干渉は、モード生成の不完全性やモード分離の不完全性が原因となり発生することから、これを抑えるためにモード生成及び分離時の位相制御、振幅制御を高い精度で行うためのOAM対応アンテナ技術やOAM信号生成・分離技術の開発が必要である。

また、従来の無線通信でもビーム軸のズレは信号レベルの低下を引き起こす原因となるが、OAMモード多重無線伝送では信号レベルの低下に加えてモード間干渉を増大させる原因となるため、OAM対応アンテナ技術の開発に当たっては、ビーム軸を正確に合わせるアライメント技術の開発も必要である。

さらに、これらの技術開発が行われた後でもモード間干渉を完全に排除することは不可能であることから、信号処理により他モードからの干渉信号を推定し、それを受信信号から差し引くことにより干渉信号を抑圧する干渉量制御技術の開発も必要となる。また、実用を想定する上で、OAM信号に対するアンテナゲインの考え方、計算方法を確立した上で、伝送特性を見積もることを可能とする必要があり、その評価方法の確立も必要である。

以上のような課題を解決するため、最終的にその成果をより高い周波数へ適用することを視野に入れつつ、既存デバイスの活用が可能なV帯（57～66 GHz）又はE帯（71～86 GHz）において以下の研究開発を行う。

- ア-1 OAM対応アンテナ技術の研究開発
- ア-2 OAM信号生成・分離回路技術の研究開発
- ア-3 Link Budget 計算手法及び評価手法の確立
- ア-4 干渉量制御技術の研究開発

イ D帯RF技術

OAM信号のビームの径は伝送距離に応じて拡大していくことが電磁界理論解析から明らかになっており、伝送距離が長くなるほど受信アンテナのサイズが大きくなることから、実用的なアンテナサイズでの長距離伝送が難しくなるという課題がある。さらに、このリング径は周波数が大きくなるほど小さくな

る特性を有していることから高い周波数帯への適用が期待される。現在商用化されている無線機器が対応している周波数帯は高くても80GHz帯程度であるが、OAM信号で実用的な伝送距離を達成するためには、更に高い周波数帯が望ましい。国内の周波数割当と大容量化に必要な帯域幅を考慮すると、V帯やE帯の上のW帯よりさらに高いD帯が有望である。しかし、D帯は固定無線通信に割り当てられているとはいえ、商用機がすぐに出現するような状況ではない。そのため、無線通信機を構成するRFの半導体デバイスも商用レベルのものは存在せず、新たに開発する必要がある。

高効率伝送を実現する多値QAM変調方式を適用するためには、使用する半導体デバイスの、線形及び非線形歪みの低減、具体的には出力段増幅器の出力電力の増大、直交変調器のIQインバランスの低減、及び各機能デバイスの周波数依存性の低減等が必要である。しかしながらD帯では、半導体プロセス性能による制限、及び、波長縮小に起因する寄生的な位相回転の増大等により、低歪み化を実現する上で、多くの技術課題がある。

更に、OAM対応アンテナと送信／受信モジュールとの統合においては、複数の送信／受信モジュール間での搬送波位相同期をとる必要があるが、高周波に起因して難易度が高い。

これらの課題を解決するために、以下の研究開発を行う。

イー1 D帯RFデバイスの開発

イー2 D帯無線機RF部の開発

イー3 D帯OAM無線伝送装置（D帯対応アンテナを含む。）の開発と伝送実験

到達目標

ア OAMモード多重無線伝送技術

- ・ OAMの4つ以上のモードを多重、及び分離ができるOAMモード多重伝送用アンテナを開発する
- ・ OAMモード多重伝送用アンテナに接続されるOAM信号生成・分離回路を、RF周波数に対し依存性のないデジタル信号処理回路で開発する
- ・ OAM信号生成・分離回路は、RF帯との間の周波数変換に起因する特性劣化を十分に抑圧する機能を具備し、ミリ波帯の無線機に実装可能なものであり、多値QAM変調方式を適用可能なものとする
- ・ OAMのモードと偏波多重が独立であり、OAMモード多重に加え偏波多重が同時に使用可能であることの確認を行う
- ・ OAM多重伝送用アンテナのアライメント要求精度を定量的に明確にするとともに、そのアライメント精度を実現する手段を確立する
- ・ OAM多重伝送用アンテナ対向時のアンテナ利得に相当するパラメータを定義し、回線伝送品質を見積もるためのLink Budget計算の手法を確立するとともに、アンテナパターンエンベロープ規格検討のため軸外輻射の干渉量を

定義する

- ・ 伝送特性改善のためのOAMモード間干渉量を制御する技術を開発する

上記のアンテナ、OAM信号生成・分離回路、OAMモード間干渉量制御回路及び多値QAM変復調回路は、本研究開発の最終目標であるD帯へのOAM信号多重伝送技術の適用を考慮し、V帯又はE帯内の特定の周波数で総合特性の評価を行い、以下の要件を満足することを目標とする。

- ・ 16以上の多値QAM変調方式を用いて、①OAMによる4モード多重化と②OAMによる2モード多重化+2偏波多重の2種類の多重化手法の組み合わせで、それぞれ下記のいずれかの条件を満たす無線伝送を行う
 - i アンテナ開口径が搬送波周波数の波長の約300倍程度以下、伝送距離が100m以上
 - ii アンテナ開口径が60cm程度以下、伝送距離が、搬送波周波数としてV帯を使用する場合は30m以上、E帯を使用する場合は40m以上
 - iii 前二条件と電氣的に同等となるアンテナ開口径（iの条件より小さいものに限る。）及び伝送距離（iiの条件より大きいものに限る。）
- ・ 上記の無線伝送において、復調器を通して受信信号点の分散から測定したCINRを、4つのモードとも23.6dB（BER=10⁻⁶点理論CINR+3dB）以上とする

イ D帯RF技術

- ・ D帯に対応し、広帯域（チャネル帯域幅：0.5GHz～1GHz程度）の多値QAM変調方式が適用可能な線形性、低雑音指数を実現可能なデバイス（ミキサ、アンプ等）及びアンテナを開発する。アンテナの開口径は直径60cm程度以下とする。
- ・ 上記のデバイスを用いて、D帯内の特定の周波数で16値以上の多値QAM変調方式と①OAMによる4モード多重化及び②OAMによる2モード多重化+2偏波多重の2種類の多重化手法を組み合わせた無線伝送を行い、それぞれ100m以上の距離で、誤り訂正を含めたエラーフリー伝送を実現する。

なお、上記の目標を達成するに当たっての年度毎の目標については、以下の例を想定しているが、提案する研究計画に合わせて設定して良い。ただし、以下の例のうち、課題アの平成30年度までの各目標については、課題イの「D帯最終評価用装置製作（アンテナを含む。）」の開始までに完了する必要があることから、その計画の遂行に支障が生じるおそれがあるときは、課題アの目標設定の修正を行う場合がある。

(例)

<平成28年度>

ア OAMモード多重無線伝送技術

- ・複数モードに対応したアンテナの基本設計及び開発
- ・デジタル信号処理によるOAM信号生成・分離回路の基本設計及び開発
- ・複数のOAMモードの生成・分離の基本特性を確認するための実験装置（以下「基本特性確認用実験装置」という。）の設計、開発
- ・基本特性確認用実験装置とアンテナの組合せによる複数のOAMモードの生成・分離の実験環境構築と基礎データ取得
- ・ミリ波帯無線装置にデジタル信号処理によるOAM信号生成・分離回路を適用するための基本設計
- ・OAM多重伝送をモデル化した伝送シミュレーションプラットフォームの開発

イ D帯RF技術

- ・使用半導体プロセス（化合物半導体、CMOS、SiGe等）選定及び基本要素回路素子試作（第1次試作）
- ・高周波モジュールの構造検討

<平成29年度>

ア OAMモード多重無線伝送技術の開発

- ・基本特性確認用実験装置とアンテナの組み合わせによる複数のOAMモードの生成・分離の実証、データ解析と、アンテナ利得、干渉量の定義の明確化
- ・Link Budget 計算手法の基礎検討と、基本特性確認用実験装置を用いた評価
- ・基本特性確認用実験装置を用いたアンテナアライメント精度による特性劣化のデータ取得と分析
- ・所要アライメント精度を実現するための調整手段の開発
- ・V帯又はE帯における総合特性評価を行うための総合特性評価用無線伝送装置の基本設計及び開発
- ・総合特性評価用無線伝送装置によるOAMモード伝送に偏波多重を加えて信号伝送ができることの実証

イ D帯RF技術

- ・基本要素回路設計、試作（第2次試作）
- ・要素回路から成るマルチチップ送信／受信モジュールの1次試作
- ・送受信モジュール間における多値変調信号の変復調動作確認

<平成30年度>

ア OAMモード多重無線伝送技術

- ・総合特性評価用無線伝送装置の干渉量制御機能の基本設計及び開発
- ・アンテナアライメント調整方式の実装開発

- ・総合特性評価用無線伝送装置による複数のOAMモードの生成・分離の伝送実験による4多重以上の実証

イ D帯RF技術

- ・ICの集積化、及び、高出力電力化に向けた設計、試作（第3次試作）
- ・送信／受信モジュールの2次試作
- ・D帯最終評価用装置製作（アンテナを含む。）

<平成31年度>

ア OAMモード多重無線伝送技術

- ・D帯でのOAM多重化伝送現場試験（イと連携）
- ・既存技術との比較によるOAMモード多重伝送技術のメリット、デメリット及び適用領域の明確化

イ D帯RF技術

- ・D帯でのOAM多重化伝送現場試験（アと連携）
- ・OAM4モード多重化及びOAM2モード多重化＋2偏波多重100m伝送の実証
- ・D帯での現場試験結果による複数のOAMモードの生成・分離特性のデータ解析
- ・アンテナアライメント調整効果の評価・検証
- ・現場試験結果によるLink Budget 計算手法と干渉量制御機能の効果の検証

5. 実施期間

平成28年度から31年度までの4年間

6. その他

(1) 成果の普及展開に向けた取組等

①国際標準化等への取組

国際競争力の強化を実現するためには、本研究開発の成果を研究期間中及び終了後、速やかに関連する国際標準化規格・機関・団体へ提案を実施することが重要である。このため、研究開発の進捗に合わせて、国際標準への提案活動を行うものとする。なお、提案を想定する国際標準規格・機関・団体及び具体的な標準化活動の計画を策定した上で、提案書に記載すること。

②実用化への取組

研究開発期間終了後も引き続き取り組む予定の「本研究開発で確立した技術の普及啓発活動」及び平成36年度までの実用化・製品展開等を実現するために必要な取組を図ることとし、その活動計画・実施方策については、提案書に

必ず具体的に記載すること。

③研究開発成果の情報発信

本研究開発で確立した技術の普及啓発活動を実施すると共に、総務省が別途指定する成果発表会等の場において研究開発の進捗状況や成果について説明等を行うこと。

(2) 提案および研究開発に当たっての留意点

本研究開発課題への提案に当たっては、全体提案に加え、技術課題ア、イごとの提案も可能とする（各技術課題のうち一部技術の提案（技術課題アのうち、OAM対応アンテナ技術の研究開発の提案等）は不可）。

提案に当たっては、基本計画書に記されている目標に対する達成度を評価することが可能な具体的な評価項目を設定し、各評価項目に対して可能な限り数値目標を定めること。また、従来技術との差異を明確にした上で、技術課題及び目標達成に向けた研究方法、実施計画及び年度目標について具体的かつ実効性のある提案を行うこと。

研究開発の実施に当たっては、関連する要素技術間の調整、成果の取りまとめ方等、研究開発全体の方針について幅広い観点から助言を頂くと共に、実際の研究開発の進め方について適宜指導を頂くため、学識経験者、有識者等を含んだ研究開発運営委員会等を開催する等、外部の学識経験者、有識者等を参画させること。

なお、本研究開発において実用的な成果を導出するための共同研究体制又は研究協力体制について、研究計画書の中にできるだけ具体的に記載すること。

また、本研究開発においては原則として技術課題イの実施者が、研究開発課題全体の取りまとめを行うものとします（ただし、各技術課題の実施者間の調整により変更可能）。