

＜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、従来のもの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（チャンネル帯域幅：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）。

<基本計画書>

多数デバイスを収容する携帯電話網に関する高効率通信方式の研究開発

1. 目的

第5世代移動通信システム(5G)は、超高速、低遅延、多数接続等がシステム要件とされ、その実現に向けた研究開発が世界各国で進められている。特に、従来の移動通信システムと異なり、IoTの基盤となることが期待されており、膨大な数の端末が基地局に接続されるとともに、多種多様なサービスが提供されることが見込まれている。

このため、5Gにおいては、求められるサービス品質(QoE: Quality of Experience)も多様化することが想定されるため、それぞれのサービス品質(QoE)に応じた回線品質の割当てを実現する技術が必要となる。

また、多数接続とともに、自動走行のような低遅延を必要とするサービスの提供も期待されており、基地局と同時接続可能な端末数の増加を実現しつつ低遅延を実現する技術が必要となる。

このような背景を踏まえ、2020年頃の5Gの実現に向けて、多数接続・低遅延を実現する多数デバイスを収容する携帯電話網に関する高効率通信方式の研究開発を実施する。

2. 政策的位置付け

- ・世界最先端IT国家創造宣言(平成27年6月30日閣議決定)

「Ⅲ. 3. (7) 2020年東京オリンピック・パラリンピック競技大会等の機会を捉えた最先端のIT利活用による「おもてなし」の発信」において「第5世代移動通信システムの実現等について、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、産業競争力の強化を図る」旨の記載、「Ⅳ. 4. 研究開発の推進・研究開発成果との連携」において「世界最高水準のIT社会を実現し、維持・発展させるために、情報通信社会の今後の動向を見据えた研究開発を推進する」旨の記載あり。

- ・世界最先端IT国家創造宣言 工程表(平成25年6月14日決定、平成27年6月30日改定、高度情報通信ネットワーク社会推進戦略本部)

「5. (2) 世界最高水準のITインフラ環境の確保」において「【短期(2015年度)】○通信ネットワークインフラの推進」では「第5世代移動通信システムに求められる多様なニーズに対応するための研究開発等を推進する」、「【中期(2016年度~2018年度)】及び【長期(2019年度~2021年度)】○通信ネットワークインフラの推進」では「第5世代移動通信システムの実現に向けた周波数の高度利用等を可能とする研究開発及び5Gシステム総合実証を推進する」旨の記載あり。

3. 目標

5G では、膨大な数の端末が基地局に接続されるとともに、多種多様なサービスが提供されることが見込まれている。

このため、低遅延を必要としないベストエフォート型のサービスと低遅延を必要とするギャランティ型のサービスが混在する環境において、それぞれのサービスの所要水準を満たす接続端末数を増加させるため、サービス品質（QoE）確保に必要な通信性能と優先度に合わせた無線リソース制御を実現するアルゴリズムを確立するための研究開発を行う。サービス品質（QoE）が所要水準を満たすギャランティ型のサービスセッション数の割合を、従来の主要な無線スケジューリング方式である Proportional Fairness 方式を用いた場合と比較して2倍以上とすることを目標とする。

また、膨大な数の端末を基地局に接続するとともに、低遅延を必要とするサービスに対応するため、多数接続と低遅延を可能とするコンテンツベースの無線アクセス技術に関する研究開発を行う。無線リソース要求や送信許可の制御情報が必須であるノンコンテンツベースの第4世代移動通信システムの無線アクセス技術を用いた場合と比較して、空中線の数を変更せず、同一周波数・時間で基地局と同時接続可能な端末数を3倍以上、遅延時間を5ms以下とすることを目標とする。

4. 研究開発内容

(1) 概要

Web ブラウジングや動画像のストリーミング配信等の必ずしも低遅延を必要としないベストエフォート型のサービスと、自動走行車（時速 35km 程度を想定）のような低遅延を必要とするギャランティ型のサービスが混在する環境において、各端末のサービス品質（QoE）確保に必要な通信性能と優先度に合わせた無線リソース制御を実現するアルゴリズムを確立するための研究開発を行う。

また、センサーなど膨大な数のモノが接続される IoT 環境において、多数接続と低遅延を実現するため、無線リソース要求や送信許可の制御なしに送信を行うコンテンツベースの無線アクセス技術に関する研究開発を行う。

(2) 技術課題および到達目標

技術課題

ア 多数接続に資するスケジューリングアルゴリズムに関する研究開発

Web ブラウジングや動画像のストリーミング配信等の必ずしも低遅延を必要としないベストエフォート型のサービスと、自動走行車（時速 35km 程度を想定）のような低遅延を必要とするギャランティ型のサービスが混在する環境において、それぞれの端末のサービス品質（QoE）が所要水準を満たすためには、サービス間の優先順位、それぞれのサービスの状況に応じた優先順位等を総合的に判断した上で、最終的な優先順位付けを行うことが必要である。このため、基

地局において、刻一刻と変化する端末のサービス要求等の様々な情報を収集し、各端末の状況をリアルタイムかつ正確に把握することが課題となる。

この課題を解決するため、低遅延を必要としないベストエフォート型のサービスと低遅延を必要とするギャランティ型のサービスが混在する環境において、基地局に接続された各端末のサービス品質 (QoE) の確保に必要な通信性能と優先度をリアルタイムに推定し、その優先度に合わせた無線リソース制御を実現するアルゴリズムを確立するための研究開発を行う。

イ 多数接続と低遅延を可能とするコンテンションベースの無線アクセス技術に関する研究開発

センサーなど膨大な数のモノが接続される IoT 環境において、無線リソース要求や送信許可の制御なしに通信を行うコンテンションベースの無線アクセス技術は、制御情報を送信せずに通信を行うことで、多数接続と低遅延を可能とする技術であるものの、接続する端末数が増加すると信号の衝突確率が上昇するため、多数接続時における信号衝突の効率的な検出を行うことが課題となる。

この課題を解決するため、多数接続と低遅延を両立する送信端末識別技術と干渉抑圧・除去技術を備えたコンテンションベースの無線アクセス技術に関する研究開発を行う。

到達目標

ア 多数接続に資するスケジューリングアルゴリズムに関する研究開発

Web ブラウジングや動画像のストリーミング配信等の必ずしも低遅延を必要としないベストエフォート型のサービスと、自動走行車(時速 35km 程度を想定)のような低遅延を必要とするギャランティ型のサービスが混在する環境において、サービス品質 (QoE) が所要水準を満たすギャランティ型のサービスセッション数の割合を、従来の主要な無線スケジューリング方式である Proportional Fairness 方式を用いた場合と比較して 2 倍以上とすることを目標とする。

イ 多数接続と低遅延を可能とするコンテンションベースの無線アクセス技術に関する研究開発

センサーなど膨大な数のモノが接続される IoT 環境において、無線リソース要求や送信許可の制御情報が必須であるノンコンテンションベースの第 4 世代移動通信システムの無線アクセス技術を用いた場合と比較して、空中線の数を変更せず同一周波数・時間で基地局と同時接続可能な端末数を 3 倍以上^{※1}、遅延時間を 5 ms 以下^{※2}とすることを目標とする。

※1 現在、空中線 1 本、同一周波数・時間の場合、同時接続可能な端末数は 1 台。
この同時接続可能な端末数を 3 倍以上とすることを目標とする (空中線 1 本あたり 3 台以上)。

※2 「REPORT ITU-R M.2134 Requirements related to technical performance for IMT-Advanced radio interface(s)」では、IMT-Advanced のユーザープレーンの遅延時間を「端末/基地局の IP 層で SDU (service data unit) パケットが利用できる

る状態から、基地局／端末の IP 層でこのパケット (PDU (protocol data unit)) が利用できる状態までの一方向の通過時間」と定義し、これを 10ms 以下とすることが規定。この遅延時間を 5ms 以下とすることを目標とする。

なお、上記の目標を達成するに当たっての毎年度の目標については、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。

(例)

<平成28年度>

ア 多数接続に資するスケジューリングアルゴリズムに関する研究開発

- ・ スケジューリングアルゴリズムの方式検討、試作
- ・ スケジューリングアルゴリズムを実装する基地局システムの試作に関する検討
- ・ サービス品質 (QoE) の評価システムの検討

イ 多数接続と低遅延を可能とするコンテンツベースの無線アクセス技術に関する研究開発

- ・ コンテンションベースの通信方式を実現する送信端末識別技術及び干渉抑圧・除去技術の基本検討
- ・ シミュレーションによる評価

<平成29年度>

ア 多数接続に資するスケジューリングアルゴリズムに関する研究開発

- ・ スケジューリングアルゴリズムを実装する基地局システムの試作
- ・ サービス品質 (QoE) の評価システムの作成、評価システムによる評価

イ 多数接続と低遅延を可能とするコンテンツベースの無線アクセス技術に関する研究開発

- ・ コンテンションベースの通信方式を実現する送信端末識別技術及び干渉抑圧・除去技術の実験装置の試作、評価
- ・ 実証実験と各技術の総合評価

<平成30年度>

ア 多数接続に資するスケジューリングアルゴリズムに関する研究開発

- ・ スケジューリングアルゴリズムの改良、パラメータの最適化
- ・ スケジューリングアルゴリズムを実装する基地局システムの改良
- ・ サービス品質 (QoE) の評価システムによる総合評価

イ 多数接続と低遅延を可能とするコンテンツベースの無線アクセス技術に関する研究開発

- ・ コンテンションベースの通信方式を実現する送信端末識別技術及び干渉抑圧・除去技術の実験装置の改良

- ・ 実証実験と各技術の総合評価

5. 実施期間

平成28年度から30年度までの3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とともに国際標準化機関の検討グループの議長等の先導的地位を確保して積極的に貢献するものとする。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35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

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とともに、従来の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。また、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。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（技術課題イのうち、送信端末識別技術のみの提案等）は不可）。

なお、「4.（2）技術課題および到達目標」において、技術課題ごとに目標とする諸元を記載しているが、検討の目安として記載したものである。したがって、提案に当たっては、提案者が目標とする性能や現行技術による性能、実

現方法等について、できるだけ詳細に、その根拠とともに記載すること。特に、技術課題アについては、優先度に合わせた無線リソース制御を実現するアルゴリズムについて具体的な内容をできるだけ詳細に記載すること。また、到達目標の「ギャランティ型のサービス」について、2以上のサービスモデルを設定し、その具体的な内容を記載するとともに、「サービス品質（QoE）」が何を表すかをできるだけ詳細に分かりやすく記載すること。

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いただくと共に、実際の研究開発の進め方について適宜指導をいただくため、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。また、第5世代移動通信システムの研究開発課題として平成27年度から開始している「超高密度マルチバンド・マルチアクセス多層セル構成による大容量化技術の研究開発」、「高周波数帯・広帯域超多素子アンテナによる高速・低消費電力無線アクセス技術の研究開発」、「複数移動通信網の最適利用を実現する制御基盤技術に関する研究開発」、及び平成28年度から開始する「第5世代移動通信システムにおける無線アクセスシステムの相互接続機能に関する研究開発」と十分に連携を図りながら進めること。

なお、本研究開発の成果については、「第5世代モバイル推進フォーラム」が促進する平成29年（2017年）（予定）から実施予定の5Gシステム総合実証にも適用し有効性を確認すること。

＜基本計画書＞

第5世代移動通信システムにおける無線アクセスシステムの 相互接続機能に関する研究開発

1. 目的

第5世代移動通信システム(5G)は、超高速、低遅延、多数接続等がシステム要件とされ、その実現に向けた研究開発が世界各国で進められている。広帯域による高速通信を実現するため、5Gではミリ波帯を含む周波数帯の利用が検討されており、幅広い周波数を利用するシステムが混在したヘテロジニアスネットワーク構成となることが想定されている。

よって5Gでは、利用可能な周波数や無線アクセス技術がこれまで以上に国によって異なることとなり、ローミング時に利用できる無線アクセスシステムの種類が制限されることが想定される。そのような状況下においても、複数の通信事業者が提供する無線アクセスシステムを適切に選択し、状況に応じてそれらを組み合わせて同時に利用することで、ローミング環境下においても高品質な通信を確保するための技術が求められている。

本研究開発では、ローミング時における複数通信事業者の無線アクセスシステムを自在に組み合わせて利用するために必要な運用ポリシーの調整を行い、さまざまな状況下で5Gの性能要件を満たすことを可能とする技術の確立を行い、周波数利用効率の向上に資することを目的とする。

2. 政策的位置付け

- ・世界最先端IT国家創造宣言（平成27年6月30日閣議決定）

「Ⅲ. 3. (7) 2020年東京オリンピック・パラリンピック競技大会等の機会を捉えた最先端のIT利活用による「おもてなし」の発信」において「第5世代移動通信システムの実現等について、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、産業競争力の強化を図る」旨の記載、「Ⅳ. 4. 研究開発の推進・研究開発成果との連携」において「世界最高水準のIT社会を実現し、維持・発展させるために、情報通信社会の今後の動向を見据えた研究開発を推進する」旨の記載あり。

- ・世界最先端IT国家創造宣言 工程表（平成25年6月14日決定、平成27年6月30日改定、高度情報通信ネットワーク社会推進戦略本部）

「5. (2) 世界最高水準のITインフラ環境の確保」において「【短期（2015年度）】○通信ネットワークインフラの推進」では「第5世代移動通信システムに求められる多様なニーズに対応するための研究開発等を推進する」、「【中期（2016年度～2018年度）】及び【長期（2019年度～2021年度）】○通信ネットワークインフラの推進」では「第5世代移動通信システムの実現に向けた周波数の

高度利用等を可能とする研究開発及び 5G システム総合実証を推進する」旨の記載あり。

3. 目標

本研究開発では、無線アクセス技術や対応周波数帯が合致しない海外から持ち込まれた端末のローミング接続も考慮し、利用者が異なる周波数や無線アクセス技術を利用している複数の通信事業者網の中から最適な接続先を選定し、状況に応じて組み合わせて同時にローミング接続するとともに、ユーザの利用環境をローミング先にシームレスに構築することが可能な相互接続に対応した無線アクセス制御技術及び端末制御技術を確立することを目標とする。

4. 研究開発内容

(1) 概要

本研究開発では、複数の通信事業者の UHF 帯からミリ波帯までの異なる周波数、異なる無線アクセス技術から構成されるヘテロジニアスネットワークの環境に適用可能な、以下の技術課題について研究開発を行う。

ア 相互接続対応無線アクセス制御技術の研究開発

現在の基地局制御の移動通信システムを前提に、通信事業者の制御の下、通信事業者の運用ポリシーに応じ、複数の通信事業者に同時にローミング接続を行い、異なる周波数や無線アクセス技術を組み合わせて使用する技術を確立するとともに、ユーザの利用環境をローミング先にシームレスに構築することを可能とする無線アクセス制御技術の研究開発を行う。

イ 相互接続対応端末制御技術の研究開発

通信事業者が主導的に制御を行うことに限らず、端末側において接続する通信事業者の選択や通信経路の設定などを可能とする端末制御技術の研究開発を行う。

(2) 技術課題および到達目標

技術課題

ア 相互接続対応無線アクセス制御技術の研究開発

現在の移動通信システムでは、ローミング接続を行う際に単一の通信事業者にのみ接続可能で、複数の通信事業者に同時に接続することができず、また、ユーザの利用環境をローミング先にシームレスに構築することができないことが課題となっている。

この課題を解決するため、現在の基地局制御の移動通信システムを前提に、複数通信事業者に同時にローミング接続するための制御アーキテクチャ及び運用ポリシーの調整や認証機能について研究開発を行う。

イ 相互接続対応端末制御技術の研究開発

現在の移動通信システムでは、複数のローミング先が存在する環境下に

においてローミング元のポリシーによって決められた接続先にしか接続できず、端末能力を最大限に発揮できないことが課題となっている。

この課題を解決するため、現在の基地局制御の移動通信システムを前提に、通信事業者が提供する無線アクセスシステムやそのトラヒック状況等の情報を端末が取得するためのインタフェースやその情報を用いて複数の接続先の組合せを含む最適な接続先を端末主導で決定するアルゴリズムを確立するための研究開発を行う。

到達目標

ア 相互接続対応無線アクセス制御技術の研究開発

- ・ 2 以上の通信事業者による異なる無線アクセスシステムを組み合わせたローミング接続及び認証
- ・ 複数通信事業者への同時ローミング接続を実現するための運用ポリシー調整
- ・ ユーザ利用環境のローミング先へのシームレスな構築

イ 相互接続対応端末制御技術の研究開発

- ・ 複数通信事業者への国際同時ローミング接続時における、1 秒以内の複数通信事業者からの情報取得及び接続先の決定（複数の接続先の組合せを含む）

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。

(例)

<平成28年度>

ア 相互接続対応無線アクセス制御技術の研究開発

- ・ 複数通信事業者への同時ローミング接続や異なる無線アクセスシステムが混在する状態での接続を最適に行うための制御アーキテクチャの策定
- ・ 複数通信事業者への同時ローミング接続を実現するための運用ポリシー調整方式の策定
- ・ 複数通信事業者への同時ローミング接続時や異なる無線アクセスシステムへの同時接続時の認証に関する機能要件の明確化
- ・ ユーザの利用環境をローミング先にシームレスに構築するための制御アルゴリズムの策定

イ 相互接続対応端末制御技術の研究開発

- ・ 端末主導による接続先決定機能の要件の明確化
- ・ 制御フレームワークの設計
- ・ 複数通信事業者への同時ローミング接続時における 2 以上の無線アクセスシステムへの同時接続に対応した端末の試作

<平成29年度>

ア 相互接続対応無線アクセス制御技術の研究開発

- ・ 異なる無線アクセスシステムにおける通信事業者間の運用ポリシー調整に関する制御ソフトウェアの試作
- ・ 複数通信事業者への同時ローミング接続時や異なる無線アクセスシステムへの同時接続時の認証フレームワークの設計
- ・ ユーザの利用環境をローミング先にシームレスに構築するための制御ソフトウェアの試作
- ・ 他国の機関(通信事業者、ベンダ、学術研究機関などを想定)と協調したローミング接続に向けたインタフェース調整
- ・ 異なる無線アクセスシステムに対応した基地局の試作

イ 相互接続対応端末制御技術の研究開発

- ・ 制御アルゴリズムの設計及び計算機シミュレーションによる評価
- ・ 制御フレームワークに基づく端末主導による接続先決定機能の実装
- ・ 端末の高度化(通信特性の改善)に係る設計及び試作

<平成30年度>

ア 相互接続対応無線アクセス制御技術の研究開発

- ・ 他国の機関(通信事業者、ベンダ、学術研究機関などを想定)と協調した、2以上の通信事業者による異なる無線アクセスシステムを組み合わせたローミング接続の総合評価

イ 相互接続対応端末制御技術の研究開発

- ・ 制御アルゴリズムを含む制御フレームワークの総合評価

5. 実施期間

平成28年度から30年度までの3年間

6. その他

(1) 成果の普及展開に向けた取組等

①国際連携の取組

本研究開発を進めるにあたっては、平成28年度「戦略的情報通信研究開発推進事業(国際標準獲得型)」研究開発課題「(1)-1 5G(無線)」の受託者と連携し、共同実証を実施するなど一体的に取り組むこと。

②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

を行うとともに国際標準化機関の検討グループの議長等の先導的地位を確保して積極的に貢献するものとする。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。

③ 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35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。

④ 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

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とともに、その達成度を評価する際に用いる前提条件及び評価モデルを明示し、従来の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（通信事業者間での調整方法を含む）、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。また、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。本研究開発課題への提案にあたっては、全体提案のみ可能とする（技術課題ア、イごとの提案または各技術課題のうち一部技術の提案（技術課題アのうち、認証機能技術の提案等）は不可）。

4. (2) 技術課題及び到達目標において、技術課題ごとに目標とする諸元を記載しているが、検討の目安として記載したものである。従って、提案に当たっては、提案者が目標とする性能や現行技術による性能等について、できるだけ詳細にその根拠とともに記載すること。

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。また、第5世代移動通信システムの研究開発課題として平成27年度から開始している「超高密度マルチバンド・マルチアクセス多層セル構成による大容量化技術の研究開発」、「高周波数帯・広帯域超多素子アンテナによる高速・低消費電力無線アクセス技術の研究開発」、「複数移動通信網の最適利

用を実現する制御基盤技術に関する研究開発」、及び平成 28 年度から開始する「多数デバイスを収容する携帯電話網に関する高効率通信方式の研究開発」と十分に連携を図りながら進めること。

なお、本研究開発の成果については、「第 5 世代モバイル推進フォーラム」が促進する平成 29 年（2017 年）（予定）から実施予定の 5 G システム総合実証にも適用し有効性を確認すること。

＜基本計画書＞

無人航空機システムの周波数効率利用のための通信ネットワーク技術の研究開発

1. 目的

近年、我が国を始め諸外国において、農業、インフラ管理、災害対応など様々な分野で無人航空機システム（以下「UAS(Unmanned Aircraft Systems)」という。）を利用したいといったニーズが急激に増加してきている。また、米国では「空の産業革命」とも呼ばれ、平成 35 年（2023 年）までに生み出す UAS の市場規模は、世界で 10 兆円を超えるといった予測も出ている。

このような急速な UAS の需要があっても利用可能な周波数は有限であり、特に上空で利用する UAS は、繰り返し利用することが困難な場合がある。

以上の状況を踏まえ、同一又は近傍の空域で運用される複数の UAS が有限な周波数を効率的に利用するため、同時運用される UAS の台数や周波数帯域幅等の要求に応じて動的に割り当てを行い、複数の UAS が 1 の周波数を共用または連携（以下「共用等」という。）可能な動的時間・空間資源配分技術の研究開発を実施する。

2. 政策的位置付け

- ・「日本再興戦略 改訂 2014」（平成 26 年 6 月 24 日 閣議決定）

「イノベーションの推進と社会的課題解決へのロボット革命」において、「ロボット革命実現会議」を立ち上げ、技術開発や規制緩和により 2020 年までにロボット市場を製造分野で現在の 2 倍、サービスなど非製造分野で 20 倍に拡大する」と旨と記載されている。

- ・「未来投資に向けた官民対話」（平成 27 年 11 月 5 日 総理発言）

平成 27 年 11 月 5 日に開催された「未来投資に向けた官民対話」において安倍首相から政府方針が示され、日本経済の活性化を図るための新産業育成の代表例として、「小型無人機を使った宅配サービスの 3 年以内の商用化」の目標が示された。

3. 目標

1 の周波数を有効かつ効率的に利用して、3 以上の UAS の通信を可能とする動的時間・空間資源配分技術の研究開発に取り組み、周波数の利用効率を 3 倍とする。

その実現にあたっては、3 次元空間移動体の電波伝搬特性のモデル化、必要な画像品質を維持しつつも伝送容量は削減するトラフィック適応映像処理技術、これらの技術を含めて実現する資源割当制御アルゴリズム技術、さらに成果を具現化するために、機体の離陸重量の 10% 以下、機体で利用可能な総消費電力の 5% 以下に相当する低消費電力かつ小型な通信機器の構築等により実現する。

このような効率的な周波数の利用手法を確立することにより、周波数の有効利用の一層の向上、UAS の様々な分野での利用ニーズの加速化、さらには、UAS の安定

した飛行の確保に寄与する。

4. 研究開発内容

(1) 概要

UAS の周波数利用の効率化を図る動的時間・空間資源配分技術を実現するための研究開発を実施する。本技術を活用するための周波数帯は、情報通信審議会技術分科会陸上無線通信委員会（ロボット作業班）で検討の 2.4GHz 帯及び 5GHz 帯を対象とする。ただし、到達目標イは、前述周波数のほか、同委員会で検討した VHF 帯の狭帯域であっても実現可能なものとする。なお、実施にあたり、他のシステムとの共存やセキュリティも考慮する。

(2) 技術課題および到達目標

技術課題

ア 3次元空間移動体の電波伝搬特性のモデル化

UAS の電波の利用範囲を決定するためには、建物、森林、水面などの遮蔽物や反射物の影響を考慮した電波の干渉量、通信品質等の推定を行う必要がある。

これまで、もっぱら人や車などが通信する地表面を想定した電波伝搬モデルは存在していたが、上空を想定し、3次元空間を移動する無線システムに関する地対空あるいは空対空の電波伝搬モデルはなく、モデル推定のための実測データも存在していない。

そのため、動的時間・空間資源配分技術の実現にむけて、UAS の飛行経路に適した電波の覆域、干渉量、通信品質等の推定への適用のほか、各種通信パラメータ（送信電力、アンテナ方式、変調方式、符号化方式等）にも活用する、「3次元空間移動体の電波伝搬特性のモデル」の確立を行う。

イ トラフィック適応映像処理技術の開発

複数の UAS が 1 の周波数を共用等することで、1機の UAS が利用可能なチャネル配置、周波数帯域幅及びタイムスロット（以下、「リソース割当量」という。）は減少する。特に映像伝送は伝送容量が多く、リソース割当量の範囲内で通信を行うためには符号量を減らす必要がある。

しかし、UAS が想定する運用用途（監視・警備、インフラ維持（点検、計測）、災害対策（捜索、状況把握）等）においては、伝送する画像の注視したい範囲が存在するため、映像全体の符号量を一律に減らすことが出来ない。このため、注視する範囲については出来る限り高画質を維持し、注視すべき範囲外については、飛行に必要な範囲で周辺状況が把握できる程度の画質は維持することが必要である。

以上のことから、UAS の運用用途ごとに要求される画質・品質（以下「画質等」という。）に合わせて符号量を減らして伝送容量を削減するトラフィック適応映像処理技術を開発する。

ウ 資源割当制御アルゴリズムの開発

昨今の急速な UAS の普及により、従来のように 1 機の UAS が 1 波を固定して専有する方法では、有限な周波数の中で、UAS の利用拡大に対して周波数需要を満たしきれない。このため、同一又は近傍の空域で運用される複数の UAS が、1 の周波数を共用等することで、周波数の利用効率を高める必要がある。

各 UAS の要求する伝送容量は、通信の内容によって、機体ごと又は時間ごとに変化するため一律ではない。周波数の共用等にあたっては、機体ごとの異なる要求に対して、リソース割当量を動的に割り当てることが必要である。ただし、その場合、タイムスロットだけでなく伝送容量自体の削減や回線品質に応じた最適な変調方式を選択することも重要である。

このため、上記の 3 次元空間移動体の電波伝搬特性やトラヒック適用映像処理技術を活用しつつ、さらに各機体の伝送に必要な資源の要求を管理し、回線品質、優先順位、電波の覆域等を踏まえて、リソース割当量および変調方式を動的かつ最適に割り当てる資源割当制御アルゴリズムを開発する。なお、これらに作用によって発生する遅延時間も課題となるため、通信内容等に応じて遅延時間を保証する送信制御等の手法を開発する。

エ 低消費電力・小型化技術の開発

上記で開発した技術を具現化するために、UAS に搭載する通信機器はこれまでの UAS の能力・性能（飛行可能時間、搭載可能重量）を顕著に低下させない重量、消費電力で実現する必要がある。なお、通信機器の小型化や低消費電力化によって、線形性、フィルタ特性の劣化等が原因の不要輻射の増大が懸念される。さらに、技術課題ウの実現に関して、周波数の効率的な利用のために多値変調方式の選択が想定されるが、その場合、増幅回路などによる消費電力の増大や回路の大型化、デジタル処理の演算量増加による消費電力や回路雑音の増大も懸念される。

これらの課題を解決し、小型 UAS に搭載可能な通信機器を実現するための低消費電力・小型化技術を開発する。

到達目標

ア 3次元空間移動体の電波伝搬特性のモデル化

固定翼及び回転翼など 2 種類以上の UAS（最大速度 20m/s 程度）の飛行特性ごとに、地対空、空対空の伝搬経路において、水面、森林・畑及びコンクリートなど 3 種類以上の地形条件で、3 種類以上の変調方式、アンテナ、EIRP 特性及び受信感度等に基づく電波伝搬特性（減衰特性、遅延特性、時間変動特性等）等の机上検討及びフィールド伝搬データの蓄積・解析を行い、統計モデル化を行う。さらに、統計モデルに基づく電波伝搬シミュレータを開発し、フィールド実証において検証・評価し、その結果を電波伝搬シミュレータに反映する。

イ トラフィック適応映像処理技術の開発

運用用途ごとに必要な画質の維持と UAS を安全に飛行させるための周囲状況の把握という 2 つの必要性を踏まえて、映像内の注視すべき領域（以下「注視領域」という。）とそれ以外の領域（以下「注視外領域」という。）を区別し、注視領域は当初の画質等を維持しつつ、注視外領域の画質等を低下させることで符号量の削減を実現するとともに、リソース割当量の変動に応じて、動的に映像の伝送容量を変更することで、全体の伝送容量を 1 / 3 に減らす技術について、下記ウで示した想定トラフィックモデル環境下でのリソース割当量及びその変動に対する動作・性能を検証・評価する。

ウ 資源割当制御アルゴリズムの開発

上記アの「3次元空間移動体の電波伝搬特性のモデル化」で確立された電波伝搬シミュレータによる統計モデル化の成果と、上記イの「トラフィック適応映像処理技術」の成果を反映させるとともに、各機体に対するリソース割当量に対して、伝送に必要な資源要求の管理、回線品質、優先順位、電波の覆域等を踏まえたリソース割当量及び変調方式を動的かつ最適な割当等によって、周波数の利用効率を 3 倍とする資源割当制御アルゴリズムを製作し、想定するトラフィックモデルとその妥当性を示した上で、検証・評価する。

また、上記アルゴリズムによって発生する遅延時間に関しては、制御信号やそれ以外の通信内容等に応じて保証する送信制御等の手法を構築した上で、検証・評価する。

エ 低消費電力・小型化技術の開発

離陸総重量 10kg 程度、総消費電力 500W の小型 UAS に搭載可能な通信機器であって、上記ウの資源割当制御アルゴリズムの実装及び UAS の運用に必要な最低限な機能を実現した上で、低消費電力、小型化及び低雑音化を図った小型低消費デバイス、アンテナ技術や不要輻射を増大させない高効率増幅回路などによる通信機器を試作し検証・評価する。

これら検証・評価を踏まえて、UAS の機体の離陸重量の 10% 以下、利用可能な総消費電力の 5% 以下に相当する低消費電力の通信機器（アンテナを含む。）を実現する。これは、3 機以上の実機による評価システムを構築、フィールド実証試験を実施する。

なお、上記の目標を達成するに当たっての年度ごとの目標については、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。

（例）

<平成 28 年度>

- ア 3次元空間移動体の電波伝搬特性のモデル化
 - ・フィールドデータ取得用の測定システムを構築し、フィールドデータの取得を実施する。
 - ・電波伝搬シミュレータの基本設計を実施する。
- イ トラフィック適応映像処理技術
 - ・トラフィック適応映像処理技術の基本設計及び試作を実施する。
- ウ 資源割当制御アルゴリズム
 - ・資源割当制御アルゴリズムの基本設計及び試作を実施する。
 - ・資源割当制御アルゴリズムシミュレータの基本設計を実施する。
- エ 低消費電力・小型化技術
 - ・資源割当制御アルゴリズムに適用する通信機器の基本設計及び試作を実施する。

<平成29年度>

- ア 3次元空間移動体の電波伝搬特性のモデル化
 - ・前年度のフィールドデータ取得用測定システムを用いて、地対空、空対空の電波伝搬データの蓄積、解析を実施する。
 - ・フィールドデータを解析し、伝搬モデル及びデータベースを構築する。
 - ・電波伝搬モデルを反映し、基本設計に基づいて電波伝搬シミュレータの試作を行う。
- イ トラフィック適応映像処理技術
 - ・前年度試作のトラフィック適応映像処理技術を課題エの通信機器の詳細設計に反映する。
 - ・評価用映像を取得し、評価用映像を使用してトラフィック適応映像処理技術の基本評価を実施する。
- ウ 資源割当制御アルゴリズム
 - ・課題イのトラフィック適応映像処理技術の基本評価を踏まえた資源割当制御アルゴリズムの機能試作を実施する。
 - ・基本設計に基づき資源割当制御アルゴリズムを搭載したシミュレータを試作し、課題エの通信機器の詳細設計に反映し、基本評価を実施する。
- エ 低消費電力・小型化技術
 - ・課題ア及びイの成果を反映した通信機器の詳細設計及び試作を実施する。
 - ・試作による基本評価を実施する。

<平成30年度>

ア 3次元空間移動体の電波伝搬特性のモデル化

- ・電波伝搬シミュレータによるフィールド実証及びその成果による改善や補完を実施する。

イ トラフィック適応映像処理技術

- ・試作による基本評価の結果等を反映し、実証システムを構築する。
- ・本研究開発のすべての成果を反映したシステム（以下「全体システム」という。）でフィールド実証試験及び下記ウの想定トラフィックモデル環境下での補完を実施する。

ウ 資源割当制御アルゴリズム

- ・試作による基本評価の結果等を反映し、実証システムを構築する。
- ・全体システムとしてフィールド実証試験を実施する。
- ・資源割当制御アルゴリズムを搭載したシミュレータを利用して想定トラフィックモデル環境を模擬し、フィールド実証及びその結果に基づく改修・補完を実施する。

エ 低消費電力・小型化技術

- ・試作による基本評価の結果等を反映し、実証システムを構築する。
- ・全体システムとしてフィールド実証試験を実施し全体成果を取りまとめる。

5. 実施期間

平成28年度から平成30年度までの3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35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。

④研究開発成果のオープンな利用促進

本研究開発成果が広く一般での利活用に寄与していくために、可能な限り特定の機器及び技術への依存を排除し、基礎的な技術に関しては容易に利用可能な技術を採用することを検討すること。

(2) 提案および研究開発に当たっての留意点

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、従来の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。

本研究開発課題への提案にあたっては、全体提案に加え、技術課題ア、イ、ウ、エ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、電波伝搬の統計モデル化技術の提案等）は不可）。

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エの実施者が、研究開発課題全体の取りまとめを行うものとする。（ただし、各技術課題の実施者間の調整により変更可能）

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。

本研究開発は、ロボット戦略など国が実施する関連施策と連携して進めることが想定されるため、総務省が受託者に対して指示する、研究開発に関する情報及び研究開発成果の開示、関係研究開発プロジェクトとのミーティングへの出席、シンポジウム等での研究発表、共同実証実験への参加等に可能な限り応じること。

＜基本計画書＞

地上テレビジョン放送の高度化技術に関する研究開発

1. 目的

我が国においては地上テレビジョン放送で使用できる周波数は非常にひっ迫している状況にあるが、2020年オリンピック・パラリンピック東京大会が開催されることもきっかけに、超高精細度放送やスマートテレビ等の機能を活用した新たな放送サービスに対する視聴者のニーズが高まっているところである。

また欧米の標準化機関である DVB や ATSC においても第 2 世代地上デジタルテレビジョン放送の研究開発が進められ、一部の国や地域においては衛星放送や IPTV による超高精細度放送の試験放送の実施、本放送の計画等が策定されている。

我が国においても、「世界先端 IT 国家創造宣言（平成 27 年 6 月閣議決定）」に「次世代放送・通信サービスの実現による映像産業分野の新事業創出、国際競争力の強化」として「2020 年には、4K・8K 放送が普及し、多くの視聴者が市販のテレビで 4K・8K 番組やスマートテレビに対応したサービスを楽しむ環境を実現」と記載されており、「4K・8K ロードマップに関するフォローアップ会合第二次中間報告（平成 27 年 7 月 30 日公表）」においては「地上放送における 4K・8K の実現には技術やコスト等の解決すべき課題は多い。このため、より効率的な伝送を実現すべく、速やかに総合的な研究開発の取組を進める。」旨記載されている。

こうした背景から、国として地上テレビジョン放送の高度化技術に関する研究開発に早期に着手し、超高精細度地上放送を可能とする伝送容量拡大技術や伝送効率向上技術等の確立することにより、周波数の有効利用の一層の向上に資する。

さらに本研究開発により得られた成果に基づき、国際標準化を通じた我が国の国際競争力の強化を図る。

2. 政策的位置づけ

- ・「世界最先端 IT 国家創造宣言」（平成 27 年 6 月 閣議決定）

Ⅲ 目指すべき社会・姿を実現するための取組

3. IT を利活用した安全・安心・豊かさが実感できる社会

- （6）次世代放送・通信サービスの実現による映像産業分野の新事業創出、国際競争力の強化

「4K 放送については 2015 年、8K 放送については 2018 年の実用放送開始を目指す。」及び「放送に関わる事業者が目標やアクションプランを共有・実行するための体制整備や、実用化に必要な技術面・制度面のルールの策定・公開、国際標準化及び技術検証などの環境整備を行い、コンテンツやアプリケーションの提供を行う意欲を持つ者なら誰でも参加できる、新しいオープンなメディア空間を創造し、2020 年には、4K・8K 放送が普及し、多くの視聴者が市販のテレビで 4K・8K 番組やスマートテレビに対応したサービスを楽しむ環境を実現す

る。」旨を記載。

- ・ 4K・8Kロードマップに関するフォローアップ会合 中間報告（平成26年9月9日公表）

8 今後の検討課題

(5) その他

「4K・8Kも含め地上放送の高度化に係る技術的な可能性を検証するために、適切な機会をとらえて、都市部における地上波による伝送実験等を検討する」旨を記載。

- ・ 4K・8Kロードマップに関するフォローアップ会合 第二次中間報告（平成27年7月30日公表）

5 検討課題と基本的考え方

(6) 地上放送に関する取り組み

「地上放送における4K・8Kの実現には技術やコスト等の解決すべき課題は多い。このため、より効率的な伝送を実現すべく、速やかに総合的な研究開発の取組を進めて、その上で、技術的な可能性を検証するために、都市部における地上波によるパブリックビューイング向けなどの伝送実験等を検討する」旨を記載。

- ・ 電波政策ビジョン懇談会最終報告書（平成26年12月26日公表）

2 我が国における電波利用の将来

③ 超高精細度テレビジョン放送等の実現

「超高精細度テレビジョン放送のための素材伝送の進展や、東京オリンピック・パラリンピック等に向けた対応状況等も踏まえながら圧縮伝送技術を開発するなど、周波数の有効利用を図ることが必要である。」旨を記載。

3. 目標

本研究開発は、超高精細度地上放送等のサービスが可能となる地上テレビジョン放送の高度化技術を確立することにより、セグメント構造により日本方式の特長でもある災害時にも強い移動体向けや固定向けの柔軟なサービスが可能である現行の地上テレビジョン放送の特徴を継承しながら現行の約4倍程度の圧縮伝送効率を可能とすることにより、周波数の有効利用の一層の向上に資することを目標とする。

また、これらの技術を世界に先駆けて開発することにより、当該研究開発により得られた成果に基づき、国際標準化を通じた我が国の国際競争力強化に資することを目標とする。

4. 研究開発内容

(1) 概要

本研究開発においては、現在の地上テレビジョン放送の特徴を継承し、かつ超高精細度地上放送等のサービスを実現するために、移動体受信及び固定受信の双方の

圧縮伝送効率の向上に向けた「地上放送高度化技術」の開発、ならびに、「移動体受信向けサービス高度化技術」の開発を行う。また「大規模局向け送信技術」の開発として新方式による移動受信・固定受信特性を確認、受信エリアの検証を行う。

(2) 技術課題および到達目標

技術課題

ア 地上放送高度化技術の開発

現行の地上テレビジョン放送で使用している 6 MHz チャンネルを維持しながら、移動受信向け、固定受信向けそれぞれの伝送容量を拡大するためには、効率的な映像符号化方式や、周波数利用効率を向上させる伝送技術ならびに放送方式の開発、検証が重要である。

そこで、最新の変復調技術を利用して伝送容量を拡大するとともに、フレーム構造としては、現行の地上テレビジョン放送で採用されている FDM (Frequency Division Multiplexing) に限らず、TDM (Time Division Multiplexing)、LDM (Layered Division Multiplexing) なども視野に入れて地上放送高度化方式の階層伝送方式として検討・開発する。また、地上放送高度化方式の階層伝送方式に対応した多重化技術を開発する。

イ 移動体向けサービス高度化技術の開発

伝送容量拡大のためには FFT サイズの拡大が有効であるが、一般的に大きなサイズの FFT を用いると、移動受信の際にキャリア間干渉による伝送特性の劣化が大きくなることが課題となる。また、ワンセグ放送は狭帯域のため、周波数ダイバーシティ効果が少ないことが課題である。

そのため、部分受信機能の高度化技術や、伝送容量の拡大と伝送耐性の確保を両立するために将来も見据えた FFT サイズの検証や受信改善技術を開発する。また、効率的に伝送可能な多重化技術を開発する。

ウ 大規模局向け送信技術の開発

さらに、地上放送高度化方式の開発において、引き続き同一周波数帯で利用される現行の地上テレビジョン放送受信機へ混信を与えないようにすることが必須であることから、現行の地上テレビジョン放送受信機に対する干渉の許容値を早期に検証する。加えて、様々な受信環境を考慮した上で大規模実験局を置局し、地上放送高度化方式による移動受信・固定受信特性の把握、受信エリアの検証を行う。

到達目標

下記ア～ウの到達目標を達成することにより、現行の地上波放送に用いている 6 MHz 幅の中で、高精細度放送の移動受信及び超高精細度放送の固定受信を可能とする。

ア 地上放送高度化技術の開発

地上放送高度化方式の階層伝送方式及び多重化方式を検討・開発する。

1024QAM や 4096QAM などの超多値変調により伝送容量を拡大するとともに、空間結合 LDPC 符号と BCH 符号の接続符号等の高度な誤り訂正技術、不均一コンスタレーション(NUC: Non-Uniform Constellation)、インターリーブ等の技術方式を適用することで、伝送特性の劣化を補償する。

最新の映像符号化方式と地上放送の伝送容量拡大技術を組み合わせ、固定受信向けの超高精細度放送と移動受信向けの高精細度放送を実現する技術を開発する。以上の高度化技術に対応した符号化装置、多重化装置、変復調装置を開発し、現行の地上テレビジョン放送の約 4 倍程度の圧縮伝送効率を実現する。

イ 移動体向けサービス高度化技術の開発

伝送容量の拡大と伝送耐性の確保を両立するため、部分受信部の品質改善、耐性強化、サービスの多様性を実現して部分受信機能を高度化するとともに、最尤復号やダイバーシティ等の受信改善技術を開発し、①の階層伝送用変復調装置に組み込む。また、実験試験局を用いた時速 100km 程度の車両・電車等による移動受信実験を実施し、伝送容量の拡大と伝送耐性の確保を両立する FFT サイズの検証や、受信改善技術の効果を定量的に評価する。

高度広帯域衛星デジタル放送の伝送方式に採用された MMT 及び TLV 等の最新の多重化技術を用い、移動受信サービスのように伝送容量が小さい場合でも効率的に伝送可能な多重化技術を開発する。

ウ 大規模局向け送信技術の開発

また、地上放送高度化方式に対応した伝送帯域幅の送信・受信フィルタを開発し、現行地上テレビジョン放送受信機に対する干渉の許容値の検証結果から実験試験局の送信諸元を決める。親局級の実験試験局を 1 局程度置局し、地上放送高度化方式による移動受信・固定受信特性の確認や受信エリアの検証を行い、都市部における受信特性を評価する。

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。

(例)

<平成 28 年度>

地上放送高度化方式の基礎検討

ア 地上放送高度化技術の開発

- ・ 高度化方式対応変復調装置の設計および試作
- ・ 符号化装置、多重化装置の設計

- ・ 室内実験による検証
- イ 移動体向けサービス高度化技術の開発
 - ・ 移動体向け受信改善技術の開発
- ウ 大規模局向け送信技術の開発
 - ・ 実験試験局送信諸元の検討
 - ・ 受信フィルタの開発

<平成29年度>

地上放送高度化方式の検証

- ア 地上放送高度化技術の開発
 - ・ 高度化方式対応変復調装置の改良
 - ・ 室内実験による方式検証
 - ・ 符号化装置、多重化装置の試作
- イ 移動体向けサービス高度化技術の開発
 - ・ 移動体向け受信改善技術の改良
- ウ 大規模局向け送信技術の開発
 - ・ 実験試験局送信諸元の検討
 - ・ 室内実験による干渉の許容値検討
 - ・ 実験局送信設備の試作

<平成30年度>

地上放送高度化方式の確立

- ア 地上放送高度化技術の開発
 - ・ 高度化方式対応変復調装置の改良
 - ・ 符号化装置、多重化装置の評価
- イ 移動体向けサービス高度化技術の開発
 - ・ 高速移動実験による特性評価
- ウ 大規模局向け送信技術の開発
 - ・ 実験試験局整備
 - ・ 大規模野外実験による特性評価
 - ・ 高度化方式による移動受信、固定受信特性評価

5. 実施期間

平成28年度から30年度までの3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35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、全体提案に加え、技術課題ア、イ、ウごとの提案または各技術課題のうち一部技術の提案（例：「技術課題アのうち階層伝送方式の検討・開発」の提案等）も可能とする。

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、従来の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。なお、目標達成のための各技術課題の比重並びに周波数利用効率を記載すること。

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。

＜基本計画書＞

ニーズに合わせて通信容量や利用地域を柔軟に変更可能な
ハイスループット衛星通信システム技術の研究開発

1. 目的

近年の社会経済活動のグローバル化に伴い、空や海といったより広範な活動領域におけるブロードバンド環境へのニーズ、陸域におけるトラフィック集中解消のニーズ等といった衛星通信への期待が増大しつつある。また、大規模災害時における衛星通信のニーズも高まりつつあり、被災状況等の高精細映像による情報伝送やフレキシブルで可動性の高い非常通信手段として、きめ細かい災害対応での利活用等が期待されている。一方、使用周波数帯の観点からは、Ku 帯までの比較的低い周波数帯については衛星先進国が占有しており、世界的にも周波数逼迫が懸念されているため、Ka 帯以上で広帯域を使用する衛星通信への関心が高まっている。

欧米では、ブロードバンド環境を提供しつつ上記の逼迫状況に対応するため、ハイスループット衛星(High Throughput Satellite(HTS))と呼ばれる通信容量の大容量化を狙った衛星通信システムの開発が進んでいる。

一方、現在の HTS では、マルチビームへの周波数割当が固定でありトラフィック要求の時間的変動に対応していないため、例えばトラフィックの少ないビームでは未使用周波数が存在し、一方トラフィックの多いビームでは割当周波数が不足するなど、ビーム当たりの割当帯域を必ずしも有効に利用できていない。加えて、多数のマルチビームを形成するため、搭載品の容積・重量が大規模化することも課題である。このため、限られた衛星リソースで HTS の周波数利用効率を向上させる技術の開発が必要となりつつある。

周波数フレキシビリティ技術(デジタルチャネライザ)は、衛星中継器の帯域幅を実際に使用されている周波数に合わせて可変とすることで、トラフィック変動に対して適応的にリソース割り当ての最適化を可能とし周波数有効利用を図る技術である。周波数利用効率化により、収容ユーザ数の向上及び広帯域の通信の実現が期待されるが、このデジタルチャネライザは、バンド幅が狭く、通信信号自体も比較的狭帯域な信号が多い S/L 帯への適用実績はあるものの、広帯域な信号を用いる Ka 帯 HTS への適用例は世界的にも存在しない。Ka 帯における周波数フレキシビリティを向上させ、周波数利用効率を向上させるためにはデジタルチャネライザの広帯域化が必要である。

また、より周波数利用効率の高いマルチビームシステムを構成するには、衛星当たりの照射ビーム数を多くする必要がある。ビーム数を増やすためには、反射鏡アンテナの給電部を小型化し適切に配置する等が必要であるが、そういった給電部の小型化技術等を適用することで、密配置のビームを実現することが可能である。

本研究開発でKa帯の広帯域伝送に対応したデジタルチャネライザ及び小型給電部

等を開発し Ka 帯 HTS に適用することにより、周波数利用効率を向上し、衛星搭載機器の国際競争力の向上に資することを目指す。

2. 政策的位置付け

・新たな情報通信技術戦略の在り方〈平成 26 年 12 月 18 日付け諮問第 22 号〉中間答申(平成 27 年 7 月 28 日情報情報通信審議会)

「海洋・航空域での広域ブロードバンド通信を実現するため、2021 年以降の次期技術試験衛星の打ち上げに向けて衛星搭載機器や衛星通信システム、高機能地球局システム等の基盤技術を確立し、ユーザ当たり 100Mbps 級の宇宙・海洋ブロードバンド通信衛星システムを実現する」旨が記載されている。

・宇宙基本計画(平成 27 年 1 月 9 日宇宙開発戦略本部決定)

「通信・放送衛星に関する技術革新を進め、最先端の技術を獲得・保有していくことは、我が国の安全保障及び宇宙産業の国際競争力の強化の双方の観点から重要である。このため、今後の情報通信技術の動向やニーズを把握した上で我が国として開発すべきミッション技術や衛星バス技術等を明確化し、技術試験衛星の打ち上げから国際展開に至るロードマップ、国際競争力に関する目標設定や今後の技術開発の在り方について検討を行い、平成 27 年度中に結論を得る。これを踏まえた新たな技術試験衛星を平成 33 年度をめどに打ち上げることを目指す」旨が記載されている。

3. 目標

トラフィックの時間的な変動等により生じる通信リソースの無駄を改善する周波数フレキシビリティ技術を確立し、100Mbps 級の情報伝送を行った場合に、現行の Ka 帯ハイスループット衛星に比べ周波数利用効率を 2 倍程度に改善することで、周波数の有効利用を図る。なお、この研究開発成果について平成 33 年度打上予定の次期技術試験衛星に搭載し静止軌道上で評価を実施することを目的として研究開発を行う。

4. 研究開発内容

(1) 概要

Ka 帯 HTS に適用可能なフレキシビリティを有する衛星搭載通信ペイロードのキー・コンポーネントであるデジタルチャネライザの広帯域化技術の開発を実施する。チャネライザの広帯域化技術の開発に際しては、地上の機器に比べ性能等に制約の大きい衛星搭載可能なデバイスを用い、衛星搭載可能な消費電力で実現する。さらに、マルチビーム高効率化のため、アンテナ給電部の高度化(小型化)等に関する研究開発を実施する。実施に際しては、衛星搭載に求められる環境条件で研究開発を行う。

(2) 技術課題および到達目標

技術課題

ア 全体構成検討・評価

現状の HTS 等を用いた衛星通信システムでは、マルチビームへの周波数割当が固定であり、トラヒックに変動がある場合、例えば特定のビームにトラヒックが集中し、他のビームのトラヒックが少ない場合でも、予め割り当てられた周波数を変更することが出来ないことが課題である。

これら課題に対応するため、周波数フレキシビリティを有する衛星の通信ペイロードの基本検討として、衛星に求められるフレキシビリティの要求を検討し、この要求を実現するための衛星搭載通信ペイロードの全体構成や性能を検討する。

検討に際しては現在の商用通信衛星オペレータの周波数フレキシビリティへの要求を考慮する。これら通信ペイロードの構成や性能を実現するためのデジタルチャネライザ、給電部等への要求仕様を決定する。さらに、イ項及びウ項で開発するデジタルチャネライザ及び小型給電部等の評価結果に基づき、これら機器を適用した場合の周波数利用効率等をシミュレーションにより総合評価する。なお、研究開発成果については平成 33 年度に打上予定の次期技術試験衛星に搭載し静止軌道上で評価を実施することを前提する。このため、研究開発したチャネライザ、給電部等を中心として衛星搭載通信ペイロードシステムを構築し、その性能を実機及びシミュレーションによって評価する。

イ 広帯域デジタルチャネライザの開発

衛星搭載用広帯域デジタルチャネライザを実現するためには、地上の最先端デバイスに比べ処理能力の劣る衛星搭載用デバイスを用いて所望の動作を低消費電力で実現することが課題である。このため、チャネライザを構成するフィルタ(分波部・合波部)/スイッチ(交換部)機能を低消費電力で実現するデジタル信号処理アルゴリズムを開発する。

さらに、広帯域デジタルチャネライザは規模の大きなコンポーネントであり、複数の回路基板から構成する必要がある。このため、複数の基板間でデジタル信号を伝送する必要があり、デジタルチャネライザの広帯域化に伴い基板間の信号伝送も高速化が必要になる。これら基板間的高速伝送について、衛星搭載機器としての信頼性を担保するために、地上機器に比べ制約の大きな衛星搭載機器の設計基準に基づき設計する必要があり、これら制約のもとで、回路基板間的高速伝送技術を実現することが課題である。さらに、衛星搭載機器の開発では、衛星の環境条件に合わせた機械系の開発が課題である。特にデジタルチャネライザでは、広帯域化や入出力ポート(ビーム数)に伴い、上記の低消費電力化アルゴリズムを適用したとしても、コンポーネントとしての発熱は大きな値になると考えられる。こ

のため、チャネライザの電子回路の発熱を高効率に衛星筐体に伝え、電子回路の部品の温度を許容温度以下に保つための高効率排熱技術の開発や、衛星打上げ時の厳しい振動・衝撃を加えた後でもコンポーネントが正常に動作するような筐体の開発が課題となる。これら広帯域デジタルチャネライザ実現のための基盤技術の開発を行う。

また、これら広帯域デジタルチャネライザ実現のための要素技術に基づき、衛星搭載を前提とした広帯域デジタルチャネライザを製作し、性能評価を行う。

ウ 給電部の小型一体化技術等の開発

周波数利用効率の高いマルチビームシステムを構成するには、より高密度なビーム配列を実現し、ビーム数を増やすことが課題となる。より高密度なビーム配列を実現するためには、ビーム配列に対応する給電部の高密度化等が必要となる。

このため、高密度の給電系実装を実現する小型一体型の給電部等の開発を行うとともに、各ビーム間で使用するホーンを共用して複数ホーンでビームを形成する技術等、より高密度なビームを形成するための給電部等の開発を行う。

また、開発した給電部等は、衛星搭載を前提とした性能評価を行う。

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。

(例)

到達目標

<平成28年度>

ア 全体構成検討・評価

周波数フレキシビリティを有する衛星通信システム全体構成を検討し、その衛星通信システムを実現するための衛星搭載通信ペイロードの構成を検討し、チャネライザ、給電部等の要求仕様を策定する。システム検討に際しては、次期技術試験衛星バスへの搭載を前提とし、日本本土の大部分をカバーできるマルチビームにより構成するものとする。

イ 広帯域デジタルチャネライザの開発

課題アで策定した要求仕様に基づき、高速大容量に適したデジタルチャネライザの信号処理アルゴリズム開発、シミュレーションによる信号処理アルゴリズム検証を行う。また、信号処理アルゴリズムを搭載した部分試作による検証を行う。検証においては、所望の高速信号処理が衛星搭載を前提とした回路、素子で実現可能であることを評価する。さらに複数の基板間で高速信号を伝送するための部品および基板の選定、高効率で排熱を行う筐体の構成について基

本設計を実施する。

ウ 給電部の小型一体化技術等の開発

課題アで策定した要求仕様に基づき、周波数利用効率の高いビーム形成技術の実現検討を実施する。さらに、給電部の導波管給電系の小型化等を実現する方法をシミュレーションにより評価し、平成 29 年度に部分試作する給電部等の基本設計を行う。

<平成29年度>

ア 全体構成検討・評価

平成 28 年度に検討した通信ペイロード構成及び課題イ、ウでの検討結果より、次期技術試験衛星への搭載を前提とした衛星搭載通信ペイロードの全体構成や性能等に関する仕様の見直しを行う。さらに、平成 31 年度に実施する通信ペイロードの総合試験の評価内容(案)を策定する。

イ 広帯域デジタルチャネライザの開発

平成 28 年度に開発した高速信号処理アルゴリズムの検証用部分試作機の性能評価を実施後、本評価結果を反映した試作モデルの設計を行う。具体的には、信号処理回路や制御回路の設計及び基板設計を行う。さらに、高速な基板間伝送回路の設計及び高効率で排熱を行う筐体の設計を行い、これら要素技術の設計・検証結果に基づき、衛星搭載用部品等を使用して広帯域チャネライザ試作モデルを設計・製作する。

ウ 給電部の小型一体化技術等の開発

前年度に検討した給電部等の具体的な実装検討を実施し、部分試作を行い、平成 28 年度に課題ア、ウで検討した要求性能が得られていることを確認する。

<平成30年度>

ア 全体構成検討・評価

平成 29 年度及び 30 年度に課題イ、ウで実施するチャネライザの試作モデルの製作・評価の結果及び給電部の部分試作・評価の結果より、次期技術試験衛星への搭載を前提とした衛星搭載通信ペイロードの全体構成や性能等に関する仕様の見直しを行う。この見直し結果に基づき、衛星搭載通信ペイロードシステムの構築に着手する。さらに、平成 31 年度に実施する通信ペイロードの総合試験の評価内容について見直しを行い、評価用シミュレータを開発する。

イ 広帯域デジタルチャネライザの開発

平成 29 年度に開発した広帯域チャネライザ試作モデルを用いて、ア項で検討した要求を満たしているかについて評価を行う。また、評価結果に基づき、改良設計及び試作モデルの改修等を行い、衛星搭載可能なプロトタイプを製作する。

ウ 給電部の小型一体化技術等の開発

部分試作・評価結果に基づき、給電部と反射鏡からなるアンテナ全体モデル(プロトタイプ)の設計・製作を実施するとともに、平成 31 年度に実施する試験・評価の方法について検討し評価条件を決定する。

<平成31年度>

ア 全体構成検討・シミュレーション評価

研究開発したチャネライザ、給電部等を中心としてマルチビームにより日本本土の大部分をカバーできる衛星搭載通信ペイロードシステムを構築し、その性能を評価する総合試験を実機及びシミュレーションによって評価する。

イ 広帯域デジタルチャネライザの開発

衛星搭載用プロトタイプを用いて広帯域チャネライザの単体試験を行い性能評価する。さらに、衛星搭載に向け広帯域チャネライザ単体で軌道上環境を模擬した熱真空試験等を実施し、衛星搭載可能な品質を有していることを評価する。

ウ 給電部の小型一体化技術等の開発

アンテナ全体モデルの単体試験・評価を行い、性能を評価する。さらに、本研究で開発した給電部等は、軌道上環境を模擬した熱真空試験等を実施し、衛星搭載可能な品質を有していることを評価する。

5. 実施期間

平成 28 年度から平成 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み

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」及び実用化等を実現するために必要な取組を図ること。

特に本研究開発では、前述の宇宙基本計画における記載事項を踏まえ、本研究開発の成果による軌道上評価の終了後も、国内での高速な衛星通信による災害対策の手段又は様々な用途での衛星通信テストベッドとして機能するものとする。また、軌道上評価後に本研究開発の成果を国内外の通信衛星へ搭載し、当該技術の普及を図る計画を策定すること。なお、提案書に当該計画を記載するに当たっては、具体的な活動内容及びその実施方策についても示すこと。

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あたっては、全体提案のみ可能とする（技術課題ア、イ、ウごとの提案又は各技術課題のうち一部技術の提案（技術課題イのうち、高効率排熱技術の提案等）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。周波数利用効率の評価に際して使用するシステムモデルを決定する際には、その妥当性の検討を実施すること。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。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。

なお、本研究開発成果は次期技術試験衛星への搭載を想定することから、本研究開発の共同研究体制は次期技術試験衛星の衛星バス開発と密接に協力できるように考慮すること。また、宇宙環境に適合するための環境条件の目標値とその根拠を提案すること。

＜基本計画書＞

複数周波数帯域の同時利用による周波数利用効率向上技術の研究開発

1. 目的

I S M帯においては、従前からの無線LANの利用の拡大に加えて、スマートフォンの普及等を背景として国内の携帯電話事業者が1年でそれぞれ10万局以上の無線LANアクセスポイントを設置するなど、モバイルトラフィックのオフロードが進展しており、トラフィックが急激に増大し周波数のひっ迫が進んでいる。また、近年、スマートメータやセンサーネットワーク等、I o T / M 2 Mの利活用が積極的に進められていることから、これらの周波数の更なるひっ迫が懸念されている。

このような背景から、I S M帯の周波数の需要は今後一層高まり、トラフィックは長期間にわたり急激に増加していくことが予測されており、周波数利用効率の向上が望まれている。現在、周波数利用効率を向上させる技術として、周波数の異なる無線チャンネルを束ねて同時に使用する技術等が実用化されているが、単一の周波数帯の中での工夫にとどまるなど、改善の余地が大きく残されている。また、異種の無線通信システムを上位レイヤから制御し組み合わせることにより、複数の周波数帯を利用するヘテロジニアスネットワークが検討されているが、無線通信システムが複数必要になることに加えて、データの振分等処理する装置も必要となる。

そのため、本研究開発において、単一のシステムにおいてO S I階層のレイヤ2以下で複数の周波数帯（920MHz帯、2.4GHz帯、5GHz帯）を柔軟に選択して同時に利用する無線伝送技術を確立し、それらの周波数帯における周波数利用効率（利用可能な周波数帯を使って無線伝送した単位面積・単位時間あたりの有効データ量）を既存技術と比較して2倍とすることで、無線LAN、スマートメータ、センサーネットワーク等の自営系無線通信における周波数の有効利用に資する。

2. 政策的位置付け

- ・「世界最先端IT国家創造宣言」（平成27年6月閣議決定）

「IV. 利活用の裾野拡大を推進するための基盤の強化 2. 世界最高水準のITインフラ環境の確保（1）」において「通信ネットワークインフラについては、（略）新たなワイヤレス産業の創出等にも資する電波の有効利用を引き続き推進する（略）ビッグデータやIoT時代のトラフィック増に対応するためのITインフラ環境を確保する。」旨の記載がある。

- ・「電波政策ビジョン懇談会最終報告書」（平成26年12月電波政策ビジョン懇談会）

「第2章 新しい電波利用の実現に向けた新たな目標設定と実現方策 2 電波有効利用の推進（3）研究開発の戦略的推進」において「5G等移動通信システムについて、2020年（平成32年）の導入を目途としたロードマップに沿って

実現するため、周波数の高度利用に向けた技術に関する研究開発を推進するとともに、国際的な標準化活動を主導していくことが必要である。」旨の記載がある。

3. 目標

本研究開発は、無線LAN、スマートメータ、センサーネットワーク等の自営系無線通信に関する周波数帯のひっ迫の緩和に向けて、OSI階層のレイヤ2以下で複数の周波数帯（920MHz帯、2.4GHz帯、5GHz帯）を柔軟に選択して同時に利用する無線伝送技術の研究開発を実施し、同周波数帯の周波数利用効率（利用可能な周波数帯を使って無線伝送した単位面積・単位時間あたりの有効データ量）の向上（2倍程度）を実現する。

4. 研究開発内容

(1) 概要

本研究開発では、OSI階層のレイヤ2以下での複数の周波数帯（920MHz帯、2.4GHz帯、5GHz帯）の自律分散的な同時利用を実現するため、ア 複数無線周波数帯チャンネルセンシング技術、イ 複数無線周波数帯無線アクセス制御技術、ウ 複数無線周波数帯無線フレーム同時伝送技術の研究開発を行う。

(2) 技術課題および到達目標

技術課題

ア 複数無線周波数帯チャンネルセンシング技術の開発

複数の周波数帯における無線チャンネルの中から複数の無線チャンネルを適切に選択して使用するためには、無線チャンネルの利用状況をリアルタイムに検出する必要がある。しかし、既存技術をそのまま適用すると、無線チャンネルの利用状況の検出時間の増加や回路規模の増加による消費電力の増大、無線装置の大型化等の問題が生じてしまう。

また、異なる周波数帯では電波の伝搬特性が異なるため、例えば送信側の無線装置が同一の送信出力で無線信号を送信した場合であっても、受信側の無線装置のアンテナで受信される無線信号の受信電力が異なり、特定の周波数帯の無線信号を受信することができなくなる等の事象が生じる。これを防ぐため、送信側で無線信号を送信する際に電波伝搬環境を把握し、送信側の無線装置で送信出力を調整しなければならない。

このため、複数の周波数帯を柔軟に選択して同時に利用して無線伝送を行う場合に必要となる無線リソースの空き状況や電波伝搬環境等を効率良く検出するチャンネルセンシング技術の研究開発を行う。

イ 複数無線周波数帯無線アクセス制御技術の開発

種々の無線システムが混在して使用されている複数の周波数帯を柔軟に選択して無線フレームを同時に伝送する場合、無線フレーム数やデータ伝送に使用

する周波数帯、無線チャネル、送信タイミングを適切に選択する等の無線アクセス制御を行う必要がある。既存の無線LAN等の自営系無線通信システムに用いられている無線アクセス制御技術は、事前に設定された無線チャネルを送信に使用することを前提としているため、同時送信する無線フレーム数や送信に使う無線チャネルを適切に選択することができない。

このため、種々の無線システムが混在して使用されている複数の周波数帯を柔軟に選択して無線フレームを同時に伝送する場合に必要な無線アクセス制御技術の研究開発を行う。

なお、複数無線周波数帯無線アクセス制御技術に本質的に関わる技術については、課題ウにも該当する技術であっても、課題イで開発を行うこととする。

ウ 複数無線周波数帯無線フレーム同時伝送技術の開発

未使用の無線リソースの発生を極力抑えて、複数の周波数帯の無線リソースを万遍なく使用して周波数を効率的に活用するためには、複数の周波数帯を柔軟に選択して無線フレームを同時に伝送する技術が必要である。複数の周波数帯で同時に伝送する場合、それぞれの無線フレームは伝搬特性や環境の異なる周波数帯を通過するため、各無線フレームの伝送品質に違いが生じ、このままでは全体での伝送品質が劣化する問題が生じる。

このため、伝搬特性や環境が異なる複数の周波数帯を柔軟に選択して無線フレームを同時に伝送する場合においても、複数の無線フレームを伝送する時の同期処理や誤り制御の他、上位レイヤと連携した制御等に工夫を加え、伝送品質の向上を可能とする無線フレーム同時伝送技術の研究開発を行う。

到達目標

本研究開発では、自営系無線通信システムにおける複数周波数帯の同時利用技術として以下の技術を確立し、920MHz帯、2.4GHz帯、5GHz帯の周波数帯についてトータルで2倍の周波数利用効率向上を実現する。例えば、評価のユースケースとして、無線LANによるアクセスの混雑が予想されている駅構内や空港内、オフィス街などでのトラヒック状況を測定し、無線LANを使用した時の現状の周波数利用効率（利用可能な周波数帯を使って無線伝送した単位面積・単位時間あたりの有効データ量）から約2倍の利用効率向上を目指す。

ア 複数無線周波数帯チャネルセンシング技術の開発

各無線装置が複数の無線フレームを同時に伝送するために必要となる、複数の周波数帯における無線チャネルの利用状況や電波伝搬環境等を効率良く高精度に検出する技術を確立する。

イ 複数無線周波数帯無線アクセス制御技術の開発

複数の周波数帯において時々刻々と変化する無線リソース利用状況、電波伝

搬環境等に応じて、同時に伝送する無線フレーム数やデータ伝送に使用する周波数帯、無線チャネル、送信タイミング等を適応的かつ適切に選択して無線アクセス制御を行う技術を確立する。

ウ 複数無線周波数帯無線フレーム同時伝送技術の開発

複数の周波数帯を柔軟に選択して無線フレームを同時に伝送する際に、各周波数帯の電波伝搬環境等が異なることを活用して伝送品質の向上を可能とする、同期処理技術や誤り制御技術、複数レイヤ連携制御技術等の無線フレーム同時伝送技術を確立する。

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。

(例)

<平成28年度>

ア 複数無線周波数帯チャネルセンシング技術の開発

・複数の周波数帯における無線チャネルの利用状況を効率良く高精度に検出する技術の検討、開発及び評価を行う。

イ 複数無線周波数帯無線アクセス制御技術の開発

・複数の周波数帯を柔軟に選択して無線フレームを同時に伝送する場合に必要な無線アクセス制御プロトコル技術に関する検討、開発及び評価を行うとともに、当該技術の国際標準化に向けた提案活動を開始する。

ウ 複数無線周波数帯無線フレーム同時伝送技術の開発

・複数の周波数帯で無線フレームを同時伝送する場合に必要な複数無線フレーム一括同期処理技術の検討、開発及び評価を行う。

<平成29年度>

ア 複数無線周波数帯チャネルセンシング技術の開発

・複数の周波数帯における無線チャネルの電波伝搬環境を効率良く高精度に検出する技術の検討、開発及び評価を行う。

イ 複数無線周波数帯無線アクセス制御技術の開発

・複数の周波数帯を柔軟に選択して無線フレームを同時に伝送する場合の無線フレーム数や使用周波数帯、無線チャネル、送信タイミング等を適切に選択する無線アクセス制御アルゴリズムに関する検討、開発及び評価を行う。また、無線アクセス制御プロトコル技術の国際標準化についてスタディグループ設立の見通しを立てる。

ウ 複数無線周波数帯無線フレーム同時伝送技術の開発

・複数の周波数帯で無線フレームを同時伝送場合に適した誤り制御技術の検討、開発及び評価を行う。

＜平成30年度＞

ア 複数無線周波数帯チャンネルセンシング技術の開発

- ・前年度までに開発した無線チャンネルの利用状況を検出する技術と電波伝搬環境等を検出する技術を統合し、技術改良、機能拡張及び評価を行う。

イ 複数無線周波数帯無線アクセス制御技術の開発

- ・前年度までに開発した無線アクセス制御プロトコル技術と無線アクセス制御アルゴリズムを統合し、技術改良、機能拡張及び評価を行う。また、無線アクセス制御プロトコル技術の国際標準化についてスタディグループを設立するとともに、タスクグループ設立の見通しを立てる。

ウ 複数無線周波数帯無線フレーム同時伝送技術の開発

- ・複数の周波数帯で無線フレームを同時伝送する場合に適した複数レイヤ連携制御技術の検討、開発及び評価を行うとともに、前年度までに開発した複数無線フレーム一括同期処理技術及び誤り制御技術と統合し、技術改良、機能拡張及び評価を行う。

エ 統合実証実験

- ・上記ア～ウの各技術を統合し、駅構内や空港内、オフィス街などでの実証実験を行い、周波数利用効率などの程度向上したか総合評価を行う。

5. 実施期間

平成28年度から平成30年度までの3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35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あたっては、全体提案に加え、技術課題ア、イ、ウごとの提案または各技術課題のうち一部技術の提案（技術課題アのうち、無線リソースの空き状況を効率良く検出するチャンネルセンシング技術の提案等）も可能とする。

提案にあたっては、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、従来の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。

研究開発の実施にあたっては、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。