

令和 4 年度研究開発成果概要書

採 択 番 号 02601

研究開発課題名 次世代の 5 次元モバイルインフラ技術の研究開発

(1) 研究開発の目的

本研究開発では、NTN(非地上系ネットワーク)と地上ネットワークの連携による超高速のモバイル通信技術を獲得するため、多次元の無線状況把握および干渉推定による無線周波数の更なる活用の研究、地上よりも厳しい環境が求められる人工衛星や成層圏に滞空する無人航空機(HAPS)に搭載可能な、超高速・カバレッジ拡大を両立させる通信機器技術の革新に挑む。

(2) 研究開発期間

令和 3 年度から令和 4 年度 (2 年間)

(3) 受託者

日本電気株式会社<代表研究者>  
国立大学法人電気通信大学  
国立大学法人信州大学  
NEC スペーステクノロジー株式会社

(4) 研究開発予算 (契約額)

令和 3 年度から令和 4 年度までの総額 494 百万円 (令和 4 年度 374 百万円)  
※百万円未満切り上げ

(5) 研究開発項目と担当

研究開発項目 1 5 次元 (周波数、時間、3D 空間 (X,Y,Z)) の無線状況把握  
及び干渉推定技術  
1-a. 5次元のリアルタイム無線状況把握技術 (国立大学法人電気通信大学)  
1-b. 高精度無線干渉推定技術 (国立大学法人信州大学)

研究開発項目 2 動的アクセス回線構成技術  
2-a. アクセス回線構成技術 (日本電気株式会社)  
2-b. 衛星利用回線高性能化技術 (NEC スペーステクノロジー株式会社)

(6) 特許出願、外部発表等

		累計 (件)	当該年度 (件)
特許出願	国内出願	22	13
	外国出願	0	0
外部発表等	研究論文	2	2
	その他研究発表	34	27
	標準化提案・採択	0	0
	プレスリリース・報道	0	0
	展示会	0	0
	受賞・表彰	1	1

(7) 具体的な実施内容と最終成果

研究開発項目 1 5次元(周波数、時間、3D空間(X,Y,Z))の無線状況把握及び干渉推定技術

1-a. 5次元のリアルタイム無線状況把握技術(国立大学法人電気通信大学)

令和4年度は5次元の無線状況把握を行うための5次元無線空間把握データベースの設計・試作を実施、高さ・時間・周波数への拡張、衛星信号を天球座標で取り扱い可能とした。特に、衛星信号の扱いでは、衛星信号を天球座標系で取り扱い可能とし、GPS信号の統計化を実施してその有用性を確認した。また、当初の目標を前倒してミリ波の観測・データベース化を先行実施した。次に、5次元無線空間状態把握手法の確立として、端末による受信電力観測結果をデータベースに集約し、地上の環境において、6GHz以下の帯域で、平均平方二乗誤差7dBの精度での受信電力推定の中間目標に対して、内挿でRMSE4dB、外挿でRMSE6.83dBと目標以上の性能を達成した。また、高さ方向の拡張として、地上観測値と3次元地図を活用したハイトパターン推定を考案、RMSE7.31dBを達成し、上空での無線空間状態把握アルゴリズムを確立した。加えて、ドローン搭載無線機を使ったLTE信号の観測において、内挿により5%程度の観測ポイントでRMSE7.5dBと目標以上の性能を達成、3次元地図と上空の観測値を活用し見通し有無を領域分けし内挿することでRMSEを5.53dBに改善できることを確認し、上空空間において、6GHz以下の帯域で、受信電力推定精度を平均平方二乗誤差10dBの精度で推定するという中間目標値を達成した。最終目標に対しては、6GHzより低い帯域に関する目標は、現時点で全て目標値を達成したが、6GHz以上の帯域はデータベースの設計が完了した段階であり、今後の実験・評価が必要である。

1-b. 高精度無線干渉推定技術(国立大学法人信州大学)

地上基地局におけるビームフォーミング制御により、空間的な空き周波数資源を推定する干渉推定法の確立を進めた。令和4年度では、一週間前の端末位置記録を利用した端末位置予測に基づき、低複雑で簡易なビームフォーミング決定法を確立した。目標とする、ビーム制御を考慮しない場合に比べて、二次利用可能な面的な周波数資源を20%拡大できる効果をレイトレーシングシミュレーションで明らかにした。また、レイトレーシングシミュレーションと実電波伝搬環境との差異を確認するため、実験試験局による伝搬測定実験を実施し、建物による遮蔽効果の影響等をレイトレーシングシミュレーションへの反映を完了した。実環境を再現したレイトレーシングシミュレーションでの評価が今後の検討課題となる。また、5Gシステムと衛星通信との周波数共用において、電波センサによる監視システムを検討した。

周波数共用時の与干渉発生を検知する干渉状態推定法の検討を進めた。自システム内の通常利用の変動と他システムによる与干渉発生による変動を識別する方法を確立した。そして、ローカル5Gによる実機実験及びネットワークシミュレーションにより、提案法が高い識別精度を達成することを確認した。本識別法による干渉状態検知から与干渉マージンを抑制することで、周波数資源の時間利用率が20%改善できる効果を評価するネットワークシミュレータの評価検証が今後の検討課題となる。

## 研究開発項目2 動的アクセス回線構成技術

### 2-a. アクセス回線構成技術（日本電気株式会社）

令和4年度は、シミュレーション評価によってB5Gアクセス回線速度を20倍に改善するための3案のNTN仕様案(軌道(高度)、周波数、回線速度、使用電力、アンテナ方式)を次のように示し中間目標を達成した。スマートフォンダイレクト通信において、複数のNTN基地局および地上基地局と端末が存在する状況下での通信可能時間、必要なビームの指向性、建物の電波反射、所要NTN機数を算出可能なネットワークシミュレーションモデルを構築し、実用に近い環境においてモバイル通信に有望だと考えられる既存モバイル通信の周波数帯に加え、ミリ波、テラヘルツ波帯といった無線周波数毎にエリア範囲、回線速度、エラー率等を検証することで、回線速度を20倍に改善可能なB5Gアクセス回線候補を抽出した。さらに抽出した方式の中で、「所要衛星基数」、「地上端末の共通化」、「確保できる帯域幅」の観点からトレードオフを行い、重視するものが異なる3つのNTN仕様案を選定した。また、計画から前倒して、地上NW・NTNのB5Gアクセス回線実現に課題となる周波数利用効率向上のため、研究開発項目1の無線状況把握技術における無線空間データベースおよび干渉推定技術におけるトラフィック群流予測を利用した双方向ビームフォーミングによる周波数共有手法を考案しシミュレーションにより有効性を示した。最終目標達成に向けて、本年度選定した3案について実機検証を行うことにより、実環境における実現性の検証が必要である。

### 2-b. 衛星利用回線高性能化技術（NECスペーステクノロジー株式会社）

本研究開発では、地上系とNTNの周波数共有に必要な、衛星側通信系の技術の確立を最終目標としてきた。この最終目標に対して今年度は、課題2-a)とも連携して採用候補となり得る複数条件(周波数、素子数など)において達成可能なEIRP、必要電力の変化の予測を行い、各条件での制約条件から実現可能な構成を明らかにし、本成果を研究開発項目2-aへ展開した。具体的には14種類の周波数について検討を行い、それぞれの周波数毎に素子数を可変させてEIRPや送信増幅器の出力電力レベル、アンテナサイズの見積もりなどを実施した。

また並行して主要構成部であるアンテナ部、RF部、DG部、熱構造系について、より詳細な構成検討を進め、解析(アンテナ素子単体特性、アレイ化にいたるビーム形成とその特性、排熱構造とその熱成立性の確認など)及び要素試作評価(低雑音増幅器、ビームフォーミングIC、周波数変換器、FPGAの高速データ伝送など)を実施し、各種データの蓄積により衛星搭載通信機全体の試作モデル構築への準備を完了した。

(8) 研究開発成果の展開・普及等に向けた計画・展望

研究開発項目1 5次元(周波数、時間、3D空間(X,Y,Z))の無線状況把握及び干渉推定技術

1-a. 5次元のリアルタイム無線状況把握技術(国立大学法人電気通信大学)

本研究開発項目では5次元無線空間観測手法と状況把握手法の研究開発として、3次元空間、時間、周波数の合計5次元の無線空間を観測する手法とその無線環境の状況を把握する手法を確立を目指して検討を行った。5次元の無線状況把握を行うための5次元無線空間把握データベースの設計は完了しており、その精度も期待を上回るものであったため、周波数共用・無線通信信頼性保証・高度な品質管理の必要なV2Xなどのアプリケーションへの適用と、実用化フェーズに進む素地はできたと考える。ステージゲート後に実施予定であった、データベースの分散化技術、時間変動の推定、ミリ波への拡張は、本委託研究内では実施が出来なくなったが、部分的な実証を行った上で、Beyond 5Gの実用展開に資するものにするため、中長期的に研究に取り組む予定である。

1-b. 高精度無線干渉推定技術(国立大学法人信州大学)

簡易な端末位置予測においても基地局ビームフォーミング制御に応用することで、周波数資源の開拓的利用ができることを明らかにした。ステージゲート後では、端末位置予測をトラフィック群流予測へと拡張するため、端末の位置を決定する様々な因子の考慮や端末の時間的な移動傾向の考慮が検討項目として残っており、引き続き、トラフィック予測の高精度化に向けて検討を進める予定である。

また、同一周波数干渉の状態推定においては、実機実験及びネットワークシミュレータにより、干渉原因となる品質劣化を示す評価値として変調方式符号化セットと受信電解強度の値に注目し、高精度な識別を実現した。この二つの評価値以外にも様々な評価値について分析を継続している。特に、統計的な傾向に加えて、時間的な変動を分析する区間解析を併用し、与干渉の識別に有効な特徴量の導出を進めている。また、与干渉検知の実現により、利用可能な空き時間率を評価するため、シミュレーター構築などの課題が残されており、今後も継続的に取り組む予定である。

研究開発項目2 動的アクセス回線構成技術

2-a. アクセス回線構成技術(日本電気株式会社)

本研究開発において、NTN方式案の選定や地上NW・NTNの周波数共用手法の確立によりNTNを用いた大容量通信サービスの実現性を示し、実証試験フェーズに進むことができる段階に至った。これらの研究成果を用いてLEO衛星やHAPSによる大容量通信サービスの事業化に向け、学会や論文、標準化への働き掛け等を通して、運用オペレータや製造ベンダーさらには政府機関等の様々なステークホルダーに成果を共有し本技術の優位性を訴求することで、実証やその後の事業化のための仲間づくりを進めていく予定である。本委託研究内では実施できなかった他研究開発項目の成果を取り込んだ実証機試作と実環境における実現性検証については一部内容を限定して中長期的に研究に取り組む予定である。

2-b. 衛星利用回線高性能化技術(NECスペーステクノロジー株式会社)

今回の研究で得られた衛星搭載通信機に関わる検討結果や各種解析/評価結果の中から今後開発する製品に適用可能な部分を抽出し、実装していく。

現時点で想定される適用内容は以下の通り。

- ・構成検討、特性解析など全般 : 他のフェーズドアレイ通信機検討
- ・単体アンテナ特性検討及び解析 : パッチアンテナ製品
- ・各種RF系部品検討評価結果 : 小型軽量化が必要とされるNewSpace向け機器
- ・高速データ伝送検討評価結果 : 高速デジタル系機器全般
- ・熱伝導部材検討と熱解析結果 : 高発熱搭載機器全般