

令和 6 年度研究開発成果概要書

採 択 番 号 07702
研究開発課題名 Beyond5G における超広域・大容量モバイルネットワークを実現する HAPS
 通信技術の研究開発
研究開発項目 2 HAPS のサービスリンクの多重化による高速大容量化技術の研究開発
研究開発項目 4 HAPS のフィードリンクにおける柔軟に切替え可能な GW 局との通信方式による
 高速大容量化技術の研究開発
副 題 HAPS を介した携帯端末向け直接通信システムの早期実用化と高速大容量化技術の
 研究開発

(1) 研究開発の目的

HAPS を介した携帯端末向け直接通信システムの早期実用化（2025 年度中を目標）に向けた技術課題の解決と国内成層圏環境での HAPS 通信サービス実証を実現し、さらに Beyond 5G 時代における HAPS 通信サービスの普及とユースケースの拡大を図るため、サービスリンクとフィードリンクの高速大容量化（早期実用化時の 3 倍が目標）及び、TDD 周波数帯の活用や衛星バックホール等、HAPS 通信サービスの柔軟な運用に資する研究開発を実施する。

(2) 研究開発期間

令和 5 年度から令和 9 年度（5 年間）

(3) 受託者

株式会社 Space Compass (SC 社) <代表研究者>
株式会社 NTT ドコモ (NTT ドコモ社)
日本電信電話株式会社 (NTT 社)
スカパーJSAT 株式会社 (SJC 社)

(4) 研究開発予算（契約額）

令和 5 年度から令和 6 年度までの総額 2,005 百万円（令和 6 年度 1,085 百万円）
※百万円未満切り上げ

(5) 研究開発項目と担当

SC 社が代表研究者として全体取りまとめを行い、NTT ドコモ社、NTT 社、SJC 社は、各研究開発項目にて、主担当は●、副担当は○の役割を以下の通り担う。

研究開発項目 2 HAPS のサービスリンクの多重化による高速大容量化技術の研究開発

研究開発項目 2-a) サービスリンクにおける多素子アンテナ MIMO 技術の研究開発

ア) サービスリンクの早期実用化に向けた全体設計と実証実験

(●SC 社、ONTT ドコモ社、ONTT 社、OSJC 社)

イ) サービスリンク多素子アンテナ MIMO 技術による高度化検討

(●SC 社、ONTT ドコモ社、ONTT 社)

研究開発項目 2-b) サービスリンクにおける TDD 周波数帯活用の研究開発

(●NTT ドコモ 社、OSC 社、ONTT 社)

研究開発項目 4 HAPS のフィードリンクにおける柔軟に切替え可能な GW 局との通信方式による高速大容量化技術の研究開発

研究開発項目 4-a) フィードリンクにおける高効率な高速大容量化の研究開発

ア) HAPS の効率的な GW 局の基本システム開発と実証

(●SC 社、ONTT ドコモ社、ONTT 社、OSJC 社)

- イ) フィーダリンクの高度化制御方式の基礎開発
 (●NTT 社、OSC 社、ONTT ドコモ社)
 ウ) フィーダリンクの衛星バックホールを含めた基本開発
 (●SJC 社、OSC 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	6	4
	外国出願	6	4
外部発表等	研究論文	0	0
	その他研究発表	23	17
	標準化提案・採択	63	46
	プレスリリース・報道	3	1
	展示会	7	4
	受賞・表彰	0	0

(7) 具体的な実施内容と成果

研究開発項目 2: 「HAPS のサービスリンクの多重化による高速大容量化技術の研究開発」

研究開発項目 2-a) サービスリンクにおける多素子アンテナ MIMO 技術の研究開発

(ア) サービスリンクの早期実用化に向けた全体設計と実証実験

本年度は、早期実用化フェーズに相当するサービスリンクの基準性能を取得するための開発を完了し、成層圏環境での HAPS 飛行試験によって地上 IMT 端末との直接通信の成立性を実証するため、以下を実施した。

成層圏 HAPS 実証実験に向けては、実験計画を策定し、実験局免許の申請および取得を完了した。また、飛行試験にて利用予定の AALTO 社 HAPS 機体 (Zephyr) 及びパイロード等機材の国内実証向けカスタマイズのため、それらに接続する 5G SA/LTE の通信機器を開発し、国内での Lab 試験を実施した。

プラン A である国内 (屋久島) での成層圏 HAPS 実証を実施するための環境構築を実施したが、HAPS 機体の国際的な飛行許認可の手続きが難航し、プラン B である海外 (ケニア) での実証実験に向けて調整を行った。その結果、ケニアにおいて約 2 週間のフライトで通信試験を実施し、サービスリンクの受信品質測定や、携帯端末へのデータ通信に成功した。

(イ) サービスリンク多素子アンテナ MIMO 技術による高度化検討

本年度は、サービスリンク高速大容量化に向けて制約となる実運用上の課題を解消しつつ、サービスリンクの多素子アンテナ MIMO 技術を実現するための基本設計を完了するため、以下を実施した。

Phase 2 高度化の開発方針策定のため、再生中継方式のアーキテクチャ等の調査検討を実施し、HAPS に搭載可能なパイロードを開発できる見通しを得た。また、初期プロトタイプを開発し、実機での性能評価を行った。

高速大容量化システムにおけるアーキテクチャ最適化の検討として、ベントパイプ方式による 5G ネットワークと地上 GW 局の機能分割点 (Demarcation point) について比較検討を実施し、O-RAN を活用するフロントホール分割構成を有力候補として選定した。また、複数 MNO の HAPS 通信サービスを提供する方式を提案し、特許出願を行った。

5G NR ベースのセル/ビーム設計、および偏波を利用した MIMO 空間多重技術の評価検討を実施するため HAPS シミュレータを開発し、定量評価によって今後の開発フェーズに向けた方針を明確化した。

研究開発項目 2-b) サービスリンクにおける TDD 周波数帯活用の研究開発

TDD 周波数帯を利用するサービスリンク用無線端末と HAPS 基地局との通信技術の開発を

5 年間に渡り実施する。今年度は、HAPS での TDD 帯域利用に係る基本検討、TDD ペイロードの要件定義、および標準化活動を実施した。具体的な検討内容と得られた知見の概要は下記のとおりである。

- Band34/n34 の同一帯域や隣接帯域における周波数共用検討を実施し、その共用条件を整理した。同一周波数帯の干渉は、他携帯事業者同士が HAPS システムの帯域を分割せずに利用した場合に生じるものであり、必要離隔距離が発生するため、事業者間での調整が今後必要になると思われる。隣接周波数帯の干渉は、他携帯事業者同士で HAPS システムの帯域を分割した場合、あるいはルーラル加入者系無線が共用検討先となり、必要離隔距離が一部残る結果となった。今後制度化の検討が開始される際には、共用検討の前提条件を再検討し、追加の評価が必要になると思われる。
- 再生中継型 TDD-HAPS における課題抽出と、必要に応じたソリューション検討を実施した。具体的には、既存の 3GPP RAN1 TN 仕様の上でもサブキャリア間隔が 15kHz であれば問題なく通信が成立することを示した。次に、技術調査の結果を基に整理した HAPS 諸元にて回線設計を実施し、ビーム中心では、目標性能であるシングルユーザ接続時の 5Mbps 程度の性能が達成見込みであることを確認した。さらに、システムレベルでシミュレーション評価するための HAPS シミュレータを開発し、データレートや干渉量の評価を実施した。
- TDD 基地局を HAPS 実機ヘインテグレーションするための課題検討した。課題 2-a-イと連携した技術調査により、実用化し得る HAPS 機体のサイズ・電力・重量等の制約を満たしながら再生中継型 TDD ペイロードの実現性を評価した。また、この技術調査を基に、再生中継型 TDD ペイロードとコア NW の基本仕様を策定した。
- 再生中継型 TDD-HAPS 実現に向けて、3GPP spec impact がある項目を整理した。具体的には、Guard period と PRACH preamble の 2 点において 3GPP RAN4 への spec impact を抽出し、規定追加について寄書提案を実施した。本格的な議論は 2025 年度まで継続して実施される見込みである。また、WRC-23 で HAPS に特定された周波数帯について、3GPP RAN4 の規定に追加するための WID を提出し、提案が採択されて 3GPP に周波数帯が追加されることとなった。

研究開発項目 4：「HAPS のフィーダリンクにおける柔軟に切替え可能な GW 局との通信方式による高速大容量化技術の研究開発」

研究開発項目 4-a) フィーダリンクにおける高効率な高速大容量化の研究開発

(ア) HAPS の効率的な GW 局の基本システム開発と実証

早期実用化フェーズに相当するフィーダリンクの基準性能を取得するための開発を完了し成層圏環境での HAPS 飛行試験によって GW 局との通信の成立性を実証するため、また、可搬型 GW の設計及び開発を概ね完了し実証に向けた事前動作確認を実施するために、以下を実施した。

2024 年度に実施予定であった日本における成層圏 HAPS 実証実験に向けて、地上 GW が国内で利用可能となるように、登録点検作業を実施の上実験局免許の取得を完了した。さらに、実験場所となる国内離島の自治体との調整を完了し、地上 GW を設置の上、実証実験で利用する監視システム（スペクトラムアナライザ、雨量計、360 度カメラを具備したリアルタイム統合測定システム）の開発及び動作確認も実施した。国外における HAPS 離発着における許認可がスケジュール通り完了せず、日本国内での成層圏 HAPS 実証実験は実施できなかったが、その後海外（ケニア）での実証実験に計画を切替え、無事早期実用化フェーズに相当するフィーダリンクの基準性能の取得が完了した。

可搬型ゲートウェイの開発としては、昨年度実施した基本設計をもとに詳細設計を実施し、実証に向けたラボ内での事前動作確認を行い、開発は概ね完了した。移動基地局車用地球局の設計及び開発においては、移動基地局車用地球局に要求される衛星バックホール回線の設計並びに単体試験の実施を行った。また、フィーダリンクにおける柔軟に切替え可能な地上ゲートウェイ局との通信方式について、実運用上の制約等を考慮した総合的な検討及び開発方針を概ね決定するために、早期実用化に向けた技術課題の洗い出しを行い、項目 4-a) (イ) と連携の上、想定される地

上ゲートウェイの構成や要素技術の組み合わせをもとにシミュレーションを実施した。当該シミュレーション結果から、実運用上の制約等に鑑みた適切な地上ゲートウェイ構成と適用すべき要素技術の見極めを行った。

(イ) フィーダリンクの高度化制御方式の基礎開発

HAPS システムにおけるサービス品質向上技術を検討するにあたり、HAPS システムにおけるユースケースを検討し、利用が想定されるサービス（アプリケーション）及びその要求 QoS を明確化した。

HAPS システムが複数のフィーダリンクを有するマルチフィーダリンクにおいて、地上ゲートウェイ局周辺で降雨が発生した場合、地上ゲートウェイ局と HAPS 間のフィーダリンクにおいて電力減衰が発生してフィーダリンクの伝送容量が低下する可能性がある。この結果、UE において伝送速度が低下し、サービス品質に影響がある可能性がある。特に、安定したスループットが必要となる高品質サービスにおいては影響が顕著になる。この課題に対処するため、再生中継型の HAPS システムを想定して、UE と 5G コアネットワーク間で生成されるセッションをフィーダリンクに適応的に割り当てる制御を創出した。簡易シミュレーションによって評価を行い、高品質サービスのセッションにおける伝送速度維持率が改善されることを明らかにした。上記技術の特許出願し、評価した結果をまとめて電子情報通信学会ソサイエティ大会及び衛星通信研究会に投稿・発表した。また、非再生中継型 HAPS システムを想定して、マルチビームにより形成された複数のゾーン内で発生したトラヒックを伝送するフィーダリンクを適応的に設定する制御を創出した。簡易シミュレーションによって評価を行い、高品質サービスのセッションにおける要求伝送速度満足率が改善されることを明らかにした。上記技術の特許出願し、評価した結果をまとめて電子情報通信学会総合大会に投稿・発表した。

前年度に明確化した、降雨によるフィーダリンク断を防止し、システム可用性を向上することが可能な送信電力制御やサイトダイバーシチなどの技術の評価を行うため、NTN シミュレータの仕様を策定して開発を行い、開発を完了した。NTN シミュレータを用いて、各技術の評価を行った。

HAPS と GEO 衛星が連携した NTN 用のルート制御技術をシミュレーションにより評価し、セッションの QoS 満足率が向上することを明らかにした。評価結果をまとめて、国際会議 ICSSC 2024 に投稿・発表した。

HAPS のフィーダリンクにおける降雨減衰および雲減衰の影響について、気象庁が公開する実際の降雨実績に基づき、5G ネットワークをベースとしたシミュレータを用いてシミュレーション評価した。これにより、降雨減衰や雲減衰がフィーダリンクに設定している降雨マージンを超過した場合に、UE1 台あたりの平均スループットに与えるインパクトを、超過する減衰量ごとに定量的に示した。また、降雨減衰や雲減衰が実際に発生する前に事前に通信制御を実施するプロアクティブ制御を運用する際の課題として、切替先基地局選定の課題と天候予測の課題を設定した。切替先基地局選定については、予測減衰量をパラメータとする評価関数を定義し、その効果についての初期検討を行った。天候予測については、マイクロ波放射計による水蒸気観測によって降雨の前兆をつかむ初期検討を行った。上記の技術について特許出願し、検討結果をまとめて電子情報通信学会総合大会及び衛星通信研究会に投稿・発表した。

(ウ) フィーダリンクの衛星バックホールを含めた基本開発

フィーダリンクにおけるさらなる大容量化と柔軟性向上を目的として、フィーダリンクの高速大量化に関する基本検討、衛星バックホールアンテナに関する基本設計、及びフィーダリンクにおける切り替えアプローチの確立を完了するために、以下を実施した。

フィーダリンクの高速大量化に関する基本検討では、可用性向上に寄与しつつ HAPS のペイロードの実装制約（消費電力、重量）に影響を受けない要素技術（Open Loop UPC）を考案し、特許申請を行った。また、Open Loop UPC を実装した際の、可用性の向上（並びに年間時間率に対する MCS の向上）を把握するためのシミュレーションを行い、当該技術を実装するために必要な地上ゲートウェイとして具備すべき基本機能の検討を行った。

衛星バックホールアンテナに関する基本設計では、サイズ・重量・消費電力などの HAPS 搭載時の制約を踏まえ、衛星バックホール向けのフェーズドアレイアンテナの初期プロトタイプを作成し、環境試験を実施することで基本設計を行った。具体的には、HAPS 機体のペイロード制約

を考慮した回線設計により、アンテナの小型化・軽量化と電力効率向上に関する具体的要件を策定した。次に、初期プロトタイプ製作と、HAPS 上での運用を想定し、移動体上での性能評価を実施した。これらの成果により、衛星 BH アンテナの実装可能性を高めるための技術的課題を明確化するとともに、性能向上に向けた検討を行った。

フィーダリンク切り替えのアプローチを確立することを目指し、ユースケースに基づく切り替え手法を検討した。2023 年度に整理した既存のサイトダイバーシティ手法、再生中継型 HAPS での可用性スケジュール情報活用などを踏まえ、切り替え時に発生する制御信号等のオーバーヘッドを洗い出すことで、可用性向上につながる機能要件と切り替えアプローチの検討を行った。

(8) 今後の研究開発計画

HAPS 通信サービスの早期実用化と高度化の実現に向けて、各研究開発項目における検討を継続する。特に、2025 年度は以下の項目の達成を目標とする。

- ・ サービスリンク高速大容量化に向けて制約となる実運用上の課題を解消しつつ、サービスリンクの多素子アンテナ MIMO 技術を実現するためのシステム開発を実施
- ・ 国内成層圏環境での HAPS 飛行試験を実施し(大阪・関西万博展示との連携の可能性も検討)、地上 IMT 端末との直接通信のユースケースを実証するとともに、早期実用化フェーズに相当するサービスリンクの基準性能となる HAPS 機体当たりの周波数利用効率 (bps/Hz) を明確化
- ・ TDD 周波数帯活用に関する基本検討の結果を鑑みつつ、TDD 周波数帯を適用した HAPS を介した携帯端末向け直接通信システムの開発方針を決定し、開発に着手
- ・ フィーダリンクにおける複数の GW 局や衛星 (GEO/LEO)、可搬 GW 局等によって柔軟に切替え可能な GW 局との通信方式について、導入や運用に要するコストや実運用上の制約等を考慮した総合的な検討結果に基づくシステム設計を概ね完了
- ・ 国内成層圏環境での HAPS 飛行試験を実施し、大阪・関西万博において地上 IMT 端末との直接通信のユースケースを実証するとともに、早期実用化フェーズに相当するフィーダリンクの容量や通信品質等を明確化
- ・ HAPS 飛行試験実施の際、可搬型 GW との接続を一部含んだ全体検証を実施