

令和 5 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」
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ダ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 <代表研究者>
株式会社 NTT ドコモ
日本電信電話株式会社
スカパーJSAT 株式会社

(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 5 年度 920 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

- (●OSC 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	4	4
	外国出願	2	2
外部発表等	研究論文	0	0
	その他研究発表	6	6
	標準化提案・採択	12	12
	プレスリリース・報道	2	2
	展示会	3	3
	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項目や評価手法等に関する基本検討を完了するため、以下を実施した。

2024 年度に実施予定の成層圏 HAPS 実証実験に向けた基本検討として、HAPS 飛行試験に向けたシステム構成、回線設計等を実施した。また、試験項目や無線パラメータを検討し、それらを実験局免許申請に必要な実験計画書に反映した。さらに、HAPS に接続する 5G SA/LTE の通信機器を開発し、年度明けからの国内 Lab 試験の実施に向けて調整を行った。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、仕様策定と AALTO 社との契約締結を完了した。これらにより、2024 年度に実施予定の成層圏 HAPS 実証実験 (プラン A として国内離島、プラン B として海外での実施を予定) に向けた計画と準備作業を予定通り完了した。

HAPS 通信サービスの早期実用化及び今後の研究開発に向けた技術課題の洗い出しとユースケースを踏まえた要件定義を行うため、国内での実用化に向けて検証や開発が必要な事項の洗い出しと方針策定を実施した。また、災害対策を中心とした重要ユースケースの要求条件を分析し、今後の研究開発における開発方針についての基本検討を行った。

小型船舶安全航行システムの開発を完了し、東京湾にて小型船舶を用いた実証試験を実施した。その結果、船舶上で開発したシステムが良好に動作することを確認した。

(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の解消に向けた基本検討を完了するため、技術課題の洗い出しを項目 2-a-アと連携して検討するとともに、要素技術の確立に向けた基本検討として、以下を実施した。

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、Bend-pipe 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) によるオプションを提案し、比較検討を実施した。その結果、既存 5G 機器の利活用度とシステム最適化のトレードオフの観点から、O-RAN を活用するフロントホール分割構成が有力である知見を得た。

5G NR ベースのセル/ビーム設計の検討として、技術課題の洗い出しを行った。具体的には、多素子アンテナで生成するセル/ビーム形状や配置の最適化、セル/ビーム間における周波数線

り返しや干渉コーディネーション技術の適用効果、セル/ビームの検出とモビリティ制御方式、HAPS と地上 NW 間のモビリティや干渉調整方式等の課題を特定した。

偏波を利用した MIMO 空間多重技術として、偏波オーバレイ多重による MIMO 空間多重法を提案した。また、サービスリンクにおける直線偏波と円偏波アンテナの比較検討を実施した。その結果、HAPS に搭載する偏波アンテナの設計は、移動する携帯端末との通信に用いる場合、直線偏波でも円偏波でも大差ないと知見を得た。

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。今年度は第一に、HAPS での TDD 帯域利用および再生中継型に係わる基本検討を実施した。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 の国内隣接帯域における周波数共用検討では、HAPS の ITU-R モデルを反映した諸元で干渉影響の評価を行い、ルーラル加入者系無線に対する与干渉の影響があることを確認した。今後はより詳細なパラメータで与干渉影響を精査していく。
- 再生中継型 TDD-HAPS における課題抽出を実施した。ガードピリオド、TA、PRACH フォーマット、HARQ process の観点でカバレッジ検討を実施し、カバレッジ半径 100km までを想定した場合、サブキャリア間隔 30kHz 以下であれば、現行の基地局に実装されている 3GPP Rel-15 や 16 の地上ネットワーク向け仕様で十分である知見を得た。ただし、3GPP RAN4 へのスペックインパクトがあることを確認した。
- 再生中継型の HAPS ペイロードにおける回線制御方法として、ハンドオーバ制御により地上 gNB に優先的に接続することで、HAPS に接続する端末の通信速度の低下を緩和する制御方式を初期検討した。
- 搭載ペイロードの中継方式と通信方式の組み合わせ 4 通りにおける課題を整理した。研究開発としては早期実用化および高速大容量に適した透過中継×FDD の方式と、高効率性に優れた再生中継×TDD の方式を継続検討するが、災害対策向けには現行の端末が通信できるように再生中継×FDD の方式も重要なケースであることを確認した。

また、3GPP での標準化活動として、RAN4 にて Rel-19 以降で HAPS の TDD 利用を議論できるよう提案し、反対意見無く議論可能となった。加えて、RAN1 の NTN にて一部課題でドコモがモデレータを務めながら、Rel-18 と Rel-19 における標準化提案を継続している。

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

フィーダ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の解消に向けた基本検討を完了するため、また、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項目や評価手法等に関する基本検討を完了するために、以下を実施した。

2024 年度に実施予定の成層圏 HAPS 実証実験に向けた基本検討として、HAPS 飛行試験に向けたシステム構成検討、回線設計等を実施した。また、試験項目や無線パラメータを検討し、それらを実験局免許申請に必要な実験計画書に反映した。また、飛行試験にて利用予定の AALTO 社 HAPS 機体 (Zephyr) 及びペイロード等機材の国内実証向けカスタマイズのため、仕様策定と AALTO 社との契約締結を完了した。

可搬 GW の設計として、既存 HAPS GW の実運用における課題の洗い出し、フィーダリンク高速大容量化に求められる HAPS GW 仕様の策定、それらをもとにした可搬型 HAPS GW 仕様の策定や基本設計を実施した。

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要件の策定を行った。

早期実用化に向けた技術課題の洗い出しとソリューション検討として、技術課題の明確化、フィーダリンクの稼働率向上に向けて想定される要素技術の洗い出し、発案を行った。また、机上計算

による降雨減衰、雲減衰のフィーダリンクへの影響評価を行い、これらをもとに、各フェーズで実装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

フィーダリンクにおいて多量のトラフィック量を伝送するために、Ka 帯や Q 帯など高い周波数帯が用いられるが、降雨等による電波減衰に起因してリンク断が発生する場合があります。サービスに影響を与える可能性がある。このようなフィーダリンク断を防止し、フィーダリンクの可用性を向上することが可能な、電力制御や適応変調制御などの代表的な技術のリストアップを行った。リストアップした技術に対して、それぞれの技術の課題を明確化した。

また、フィーダリンクにおいて可用性を向上することが可能な適応変調制御を適用した場合に、降雨による電波減衰によってフィーダリンクのリンク断は発生しない一方で、スループットは低下し UE が受けるサービス（アプリケーション）の品質に影響が生じる。この影響を軽減するため、フィーダリンクの伝送容量（伝送速度）が低下した場合に、ベストエフォートサービスを受ける UE 当たりの最大伝送速度を制限し、高品質サービスを受ける UE において品質劣化なくサービスを受けるために要求されるスループットをできるだけ満たす制御を行う通信優先制御技術を検討した。シミュレーションにより評価を行い、高品質サービスとベストエフォートサービスがある場合に該技術を用いることにより、通信制御無しに比べて、高品質サービスのスループット維持率を改善できることが分かった。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。

(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

今年度は HAPS 通信システムのフィーダリンクの高速大容量化に関する基本検討、衛星バックホール開発のための実現可能性調査、フィーダリンクの柔軟性向上のための切り替え手法についての基本検討を行い、次年度に続く概念設計のための知見を得た。

フィーダリンクの高速大容量化に関する基本検討では、HAPS と地上 GW 局間におけるフィーダリンクの回線設計を実施し、サービスリンクと同等のスループットを目標とする場合に必要なフィーダリンク装置の送信性能、受信性能等の知見を得た。

HAPS の衛星バックホールに関する基本検討では、複数の軌道(GEO、LEO/MEO)および複数の周波数帯(Ka バンド、Ku バンド、Q/V バンド)の組み合わせで回線設計を実施した。加えて、衛星バックホールのアンテナのアンテナ口径や消費電力について評価を行うため、複数のアンテナベンダからアンテナ構成、サイズ、消費電力および衛星トラッキング機能等を含む実現可能性レポートを得た。これにより、衛星バックホール用アンテナの受信性能や送信性能の要件を整理することで、当該アンテナの HAPS 搭載に関する実現可能性について確認した。更に、アンテナベンダから得たレポートの内容について妥当性を検証するためにソフトウェアによる解析方法の調査を行い、ソフトウェアによるフェーズドアレイアンテナの構成要素であるアンテナ素子数や配列、アンテナ口径等をインプットとした受信性能と送信性能の計算方法、およびビームフォーミングによる性能解析方法の知見を得た。

フィーダリンクの柔軟性向上のための切り替え手法については、HAPS のフィーダリンクの運用柔軟性を高めるため、フィーダリンクのパス切り替えに関する基本検討を進めた。具体的には衛星 BH のユースケースの整理、既存のサイトダイバーシティ手法の調査と HAPS への適用検討、再生中継型 HAPS における可用性スケジュール情報を活用したフィーダリンクの切り替え手法の検討を実施した。これにより、HAPS 通信システムの可用性を向上させるフィーダリンクの切り替えロジックに関する概念的なアプローチについての知見を得た。

(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的に実施する。特に、2024 年度は以下の項目の達成を目標とする。

- 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
- 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
- TDD 通信方式の HAPS への適用性や干渉検討などの TDD 周波数帯活用に関する基本検討に関して国際標準化動向等を鑑みつつ継続的に実施
 - 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に向けた基本検討を実施
 - 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を完了し、開発方針を決定
 - 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
 - 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