

令和 7 年度研究開発成果概要書

採 択 番 号 23401
 研究開発課題名 次世代型 NTN のための HAPS における光無線通信の研究開発
 副 題 HAPS 用光無線装置の開発および実証

(1) 研究開発の目的

本研究は、HAPS－衛星間又は HAPS－地上間を光回線で相互に接続するための、HAPS 用光無線通信システムを開発し、実証することを目指す。これを達成するには、光無線通信能力だけでなく、成層圏で、高精度に自己の位置・姿勢を取得し、相互に情報を交換して追従しあうトラッキングシステムの構築が必要となるため、NTN 領域における光無線通信用追尾システムの実証も目標とする。

(2) 研究開発期間

令和 6 年度から令和 8 年度（3 年間）

(3) 受託者

ソフトバンク株式会社＜代表研究者＞

(4) 研究開発予算（契約額）

令和 6 年度から令和 7 年度までの総額 90 百万円（令和 7 年度 45 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 HAPS 用光無線通信システムの研究開発

1-1 HAPS 搭載用光無線通信端末の開発

(ソフトバンク株式会社)

1-2 HAPS 用光追尾システムの開発

(ソフトバンク株式会社)

研究開発項目 2 HAPS－衛星間又は HAPS－地上間光無線通信の研究開発

2-1 HAPS－衛星間光無線通信技術の研究開発

(ソフトバンク株式会社)

研究開発項目 3 HAPS－衛星間又は HAPS－地上間光無線通信の実証

3-1 HAPS－衛星間又は HAPS－地上間光無線通信実証環境の構築

(ソフトバンク株式会社)

(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	0	0
	外国出願	0	0
外部発表等	研究論文	0	0
	その他研究発表	6	5
	標準化提案・採択	0	0
	プレスリリース・報道	3	1
	展示会	3	2
	受賞・表彰	0	0

(7) 具体的な実施内容と成果

研究開発項目1 HAPS 用光無線通信システムの研究開発

1-1 HAPS 搭載用光無線通信端末の開発

(ソフトバンク株式会社)

本研究項目は、国立研究開発法人情報通信研究機構が持つ知的財産を活用し、同機構が開発した光無線装置を基本として、成層圏環境で動作するよう追加開発を行い、HAPS 用光無線装置を開発することを目的とする。

本年度は、基本となる光無線装置の開発について、国立研究開発法人情報通信研究機構との協力のもと、設計改良を継続し、これを完了した。光無線装置の課題であった、高出力な送信光の迷光が受信系や精追尾系に悪影響を及ぼす問題について、ほぼ完全に遮断することに成功した。また、振動や真空・温度変化によっても光学品質に変化がないことを確認し、宇宙への打上、および宇宙空間の動作に耐えうるものが完成した。さらに、宇宙用の光無線通信装置にもヒータを付与することに成功し、より広い温度環境で光学品質を保つことが可能となった。

迷光問題の解決は、宇宙用よりも送信出力を 2W→5W へ高めることを計画している成層圏用光無線装置にとって非常に重要であった。この問題解決により、5W での送信の目途が立った。

また、ロケットによる打上振動よりも、HAPS による振動のほうが低いことから、宇宙用として開発している光無線通信装置に振動試験をクリアできたことは、成層圏用にそのまま利用しうることが確認できたこととなる。

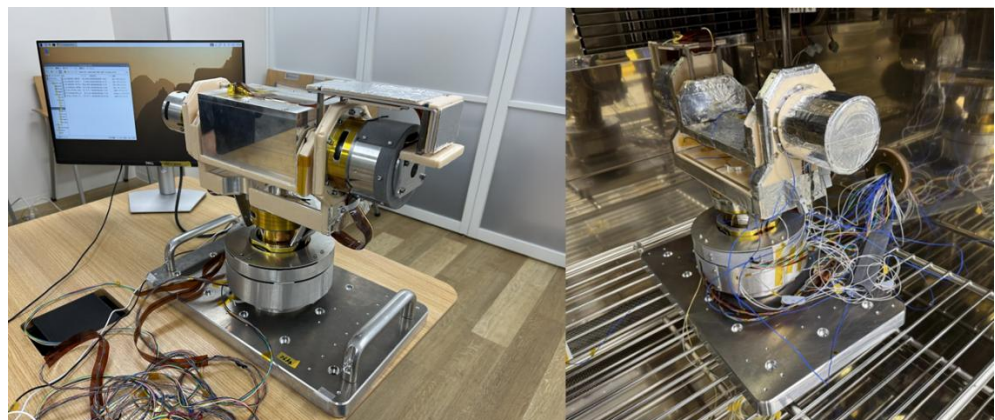
さらに、光学機器は安易にヒータを付与すると、温度勾配がさらに大きくなり、むしろ光学品質が悪化するという課題があるが、本システムは、光無線装置の内部の熱伝導を解析した上、適切な位置にヒータを付与し、輻射によって機器全体を温めることでこれを解決した。これによって、衛星搭載時よりもさらに低温となる成層圏でもそのまま活用できるものとなった。

1-2 HAPS 用光追尾システムの開発

(ソフトバンク株式会社)

光無線が対象を追尾するには、光無線装置をジンバルシステムに搭載し追尾する必要がある。本研究項目は、成層圏で動作する2軸ジンバルシステムを開発する。このジンバルシステムは、HAPS の振動・揺動を打ち消すことができる能力を持ち、成層圏の低温・低圧環境下で動作する動力部分を持つものとする。

本年度は、予定通り EM 相当ジンバルの開発と環境試験を完了した。本機は、光無線装置と同等の質量・慣性モーメントをもつダミーウェイトを搭載した状態で、フィードバック制御なく 0.01~0.05° の精度をもつことを確認した。また、モータ、エンコーダ等の駆動部に対して、弊社が成層圏対応作業を行うことで、恒温槽設定 108kPa、-70°C の成層圏環境に近い状態でも問題なく動作することを確認した。低温下での動作が良好であり、想定よりも発熱が少ないことを確認した。



研究開発項目2 HAPS―衛星間又は HAPS―地上間光無線通信の研究開発

2-1 HAPS―衛星間光無線通信技術の研究開発

(ソフトバンク株式会社)

本研究項目では、衛星・HAPS・地上などに搭載した光無線装置が、自己の空間座標および姿勢角を高精度に取得し、対向となる通信機同士で空間座標を交換するシステムの構成を定義すると共に、成層圏環境で動作するハードウェアを開発する。

本年度は、光無線装置に付随し、成層圏で動作するメインコンピュータユニット、電源ユニット、ヒータ制御ユニットのEM 相当品の開発・製作を行った。また、システム一式の基礎となる CFRP 構造材の製作も行った。また、GNSS/INS および LoRa 通信ユニットの入手を完了した。

並行して、ソフトウェアの開発も実施した。まず、光無線装置のリンクアップに関わる、スパイラルサーチシーケンスが実装された。また、開発したジンバルシステムの精度を測定するために、光学観測カメラによる天測を行うことで、ジンバルシステムの3次元的な精度を算出するシステムを開発しており、今回のジンバルシステムに用いているモータ・エンコーダへの対応を実施している途中である。メインコンピュータと各機器への接続・制御、温度制御、電源制御などのソフトウェアも開発を開始し、一部機能の開発を完了した。

通信に関する妥当性に関して、モデル空間上での実装・検討を完了し、追尾ロジックを確定した。衛星は、衛星本体が姿勢を制御して追尾するボディポインティングであるのに対し、本システムは2軸ジンバルシステムが持つため、新規に開発する必要があった。当初想定では、リンクアップまでに約3分ほど必要であると推測されていたが、ジンバルシステムのパラメータの追い込みと、得られた知見をハードウェア仕様へ反映することにより、現状の推測では、HAPS が最も望ましい環境で飛行している際に、約30秒で補足シーケンスを完了できる見込みとなった。

また、HAPS に搭載する際の機械的および制御的インタフェースを確定した。

研究開発項目3 HAPS―衛星間又は HAPS―地上間光無線通信の実証

3-1 HAPS―衛星間又は HAPS―地上間光無線通信実証環境の構築

(ソフトバンク株式会社)

本項目は、最終年度に、初期段階として、開発した光無線通信システム2式を用いて、地上での通信実験を行う。次に、有人の熱気球に、本研究で開発した成層圏用光無線装置を搭載するとともに、地上に同型の光無線装置を設置する。また、成層圏大気の計測および追尾試験のため、HAPS にコーナークューブリフレクタを搭載し、SLR 技術を適用した反射測定試験を行うものである。

光無線通信システムについて、ジンバルが完成し駆動できるような状態になり、LCT 部の完成後には HAPS 搭載が可能なレベルとなる一方、FY26において初回の日本沿岸フライトにおいては災害対策目的を中心とし、また米国からのフライトとなったため光無線通信機の搭載が厳しくなった。しかしながら、光無線通信の基礎データ段階として SLR 用システムによるコーナークューブリフレクタ搭載実験は実証環境の予備段階として準備可能のため、搭載するまでの HAPS の試験フライト時に使用可能な、HAPS 用コーナークューブについて設計、製作を行った。CCRはHAPSが沿岸を飛行した場合のスラントレンジ(斜め見込み角)を想定し、HAPS 取付用にごく軽量 100g を実現した。

(8) 今後の研究開発計画

研究開発項目1 HAPS 用光無線通信システムの研究開発

1-1 HAPS 搭載用光無線通信端末の開発

(ソフトバンク株式会社)

1-2 HAPS 用光追尾システムの開発

(ソフトバンク株式会社)

最終年度となる来年度は、まず光無線装置とジンバルシステムの結合を実施する。光無線装置は上述の通り成層圏で動作する見込みが立っているが、6U 衛星に搭載することが前提になっているため、外装やケーブリング等の変更が必要になる。該当に関しては、アルミ削り出し部品を追加で製作することで完了する。ケーブリングに関しては大きく変更となるが、これに対応するフレキシブル基板はすでに試作済である。また、ジンバルシステムに関しては、上述の天測による精度確認を行う。

これらの対応を完了し、恒温槽内で低温時の保温特性を確認できた時点で、本項目は完了となり、項目2へ移行する。

研究開発項目2 HAPS―衛星間又は HAPS―地上間光無線通信の研究開発

2-1 HAPS―衛星間光無線通信技術の研究開発

(ソフトバンク株式会社)

ハードウェアとしての開発残作業は、本年度に開発した、メインコンピュータ、電源ユニット等の機器の環境試験を実施すると共に、成層圏環境に耐える外装を付与するのみである。また、前述したジンバルシステムの天測による評価を行い、FM への変更点の洗い出しを行う。

ソフトウェアの開発作業は、各ユニットとの接続と制御部分の開発を引き続き行うと共に、本実験の核となる、追尾シーケンスの実装を行う。前述の通り、モデル空間上で開発しているものを、メインコンピュータ用のマイコン上で動作するように移植する作業となる。

これらの対応を完了し、基本動作を確認できた時点で、本項目は完了となり、項目3へ移行する。

研究開発項目3 HAPS―衛星間又は HAPS―地上間光無線通信の実証

3-1 HAPS―衛星間又は HAPS―地上間光無線通信実証環境の構築

(ソフトバンク株式会社)

まず、地上間での2点間通信実験を行う。これはシステムの健全性を確認するものである。場所としては、距離に応じて、弊社ビル間、龍ヶ崎飛行場、筑波山などが候補に挙げられ、今後選定を行う。

並行して、HAPS を用いた SLR 実験を実施する。飛行地域により変動するが、現状では日本国内で実施する見込みである。

これらの結果を得て、再度、地上間で、成層圏環境と同等のシンチレーションインデックスになるよう距離をとった、2点間通信を実施する。

さらに、移動する物体との追尾検証として、熱気球に光無線システムを搭載し、地上-熱気球間での光無線通信の実験を行う。