

2024 年度 委託研究

課題 234

次世代型 NTN のための
HAPS における光無線通信の研究開発

研究計画書



1. 研究開発課題

『次世代型 NTN のための HAPS における光無線通信の研究開発』

2. 目的

非地上系ネットワーク (NTN) では、ハイスループット静止軌道 (GEO) 衛星、地球低軌道 (LEO) 衛星コンステレーションの構築が急速に進むと共に、高高度プラットフォーム (HAPS) による通信、運用が実証されつつある。次世代型 NTN においては、これらのプラットフォーム間が相互に接続され、フレキシブルかつ三次元的なネットワークになると考えられる。さらに NTN から携帯電話などの地上系ネットワーク (TN) に接続するには、NTN と TN の移動端末が直接につながり、しかも低電力・低遅延であることが求められる。HAPS は、地上に近い位置にあるため、地上のユーザ端末に低電力・低遅延で接続でき、さらに災害などの影響を受けにくいいため、次世代型 NTN においては重要な役割を果たし、HAPS の利用により NTN と TN の融合が実現できると考えられる。

一方、HAPS による高速な回線を実現するためには、そのフィーダーリンクは広帯域のものが必要とされ、電波によるフィーダーリンクでは周波数利用効率を高める必要があるほか、5G 等の他業務との周波数共用も必要とされる。このため、HAPS では、より高い周波数や光の利用が求められる。

NTN で HAPS を利用するにあたり、光回線の使用には複数のシナリオがある。

- HAPS—地上間の光フィーダーリンク
- HAPS 間通信
- HAPS—LEO 衛星コンステレーションの通信
- HAPS—GEO 衛星の通信

NTN において、光と電波の特徴から、GEO/LEO 衛星コンステレーションや地上局と HAPS を光リンクで接続し、HAPS から地上の端末 (携帯電話等) に電波でサービスを提供するシナリオは有効である。しかし、これまで HAPS を通信プラットフォームとして利用する技術は確立されておらず、その姿勢変化に対する光追尾技術などの課題、また成層圏環境は宇宙環境と異なり、機器設計に必要な温度環境の対応、大気揺らぎの影響があるなど未解決の課題が多く、HAPS—地上間や HAPS—衛星間の光無線通信の研究は、地上—GEO/LEO 衛星、衛星間の光無線通信の研究に比べて進んでいない。

本課題では、HAPS—地上間や HAPS—衛星間の光無線通信を実現するための課題を解決し、HAPS 用光無線通信システムを開発し実環境等での評価を行うことで、HAPS を利用した NTN と TN の相互利用が可能となり、次世代 NTN 構築に向けた技術を獲得することを目的とする。さらに HAPS—地上間や HAPS—衛星間の光無線通信を世界に先駆けて開発することにより、日本の光無線通信が次世代 NTN で世界をリードすることを目指す。

3. 内容

HAPS—衛星間又は HAPS—地上間を光回線で相互に接続するため、HAPS 用光無線通信システムを開発し、そのシステムを実環境等で評価を行う、以下の研究開発を行う。

研究開発項目 1 HAPS 用光無線通信システムの研究開発

(1) HAPS 搭載用光無線通信端末の開発

HAPS に搭載することができ、10 Gbps 以上の通信速度を達成することのできる超小型高速光無線通信機器のエンジニアリングモデルを開発する。

(2) HAPS 用光追尾システムの開発

具体的な HAPS を想定し、HAPS 搭載用光無線通信端末により LEO 衛星を追尾又は地上局に指向させることのできる光追尾システムのエンジニアリングモデルを開発する。光追尾システムは、HAPS の搭載環境に耐え、成層圏の温度、気圧の環境下において動作するものとし、実際の HAPS の動揺等を想定して追尾性能の設計を行うこと。

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

本研究開発では、下記の(1)又は(2)の研究開発を選択し実施するものとする。

(1) HAPS—衛星間光無線通信技術の研究開発

研究開発項目1で開発する HAPS 搭載用光無線通信端末及び HAPS 用光追尾システムを、研究開発項目1(2)で想定した HAPS に搭載して、HAPS—LEO 衛星間光無線通信を行う回線を設計し、基本設計に基づき製作し、地上での機能・性能・環境試験に供することで設計の妥当性を確認する。結果を研究開発項目1の設計にフィードバックする。

(2) HAPS—地上間光無線通信技術の研究開発

研究開発項目1で開発する HAPS 搭載用光無線通信端末及び HAPS 用光追尾システムを、研究開発項目1(2)で想定した HAPS に搭載して、HAPS—地上間光無線通信を行う回線を設計し、基本設計に基づき製作し、地上での機能・性能・環境試験に供することで設計の妥当性を確認する。結果を研究開発項目1の設計にフィードバックする。

また、地上と成層圏間の大気揺らぎのデータもしくは文献等から、高度約 20km の成層圏における大気揺らぎの変動の特性調査を行い、HAPS—地上間における大気揺らぎの対策技術の検討を行う。

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

(1) HAPS—衛星間又は HAPS—地上間光無線通信実証環境の構築

研究開発項目2で選択した(1) HAPS—LEO 衛星間又は(2) HAPS—地上間光無線通信に対応する実証実験を行うため、

(1) HAPS—LEO 衛星間通信の場合は、以下の(ア)、(イ)又は(エ)のいずれかを実施する。

(2) HAPS—地上間光無線通信の場合は、以下の(ウ)又は(エ)のいずれかを実施する。

(ア) HAPS 及び 6U 程度の CubeSat 等の超小型衛星を準備し、研究開発項目1で開発した光無線通信システム及び実証実験に必要な光無線通信システムをそれぞれ搭載して打ち上げる。

- (イ) HAPS を準備し研究開発項目 1 で開発した光無線通信システムを搭載して打ち上げ、本光無線通信システムと通信を行うことのできる光無線通信システムを搭載した衛星を打ち上げる機関と協力し通信実験の計画を策定する。
 - (ウ) HAPS を準備し研究開発項目 1 で開発した光無線通信システムを搭載して打ち上げ、実証実験に必要な地上光無線通信システムを用意する。
 - (エ) 地上に、HAPS-LEO 衛星間又は HAPS-地上間の光無線通信を模擬する実証環境を構築する。
- (2) HAPS-衛星間又は HAPS-地上間光無線通信の実証実験
- 上記で構築した実証環境を使用して光無線通信の実証実験を実施し、HAPS-LEO 衛星間通信の場合は、10 Gbps 以上の通信速度を達成することの検証を行い、HAPS-地上間光無線通信の場合は、目標とする 10 Gbps の通信速度と大気揺らぎの関連性を検証すること。

研究開発項目 1 (1) では、HAPS 搭載用光無線通信端末の小型軽量化の目的で光無線通信技術や超小型衛星に搭載できる光端末技術に係る国立研究開発法人情報通信研究機構（以下「機構」という。）の知財を活用することを推奨する。機構では、これまでに HAPS や超小型衛星への搭載用超小型高速光無線通信機器(ブレッドボードモデル)の評価を行い、実証実験に向けた飛翔体搭載用の 2 種類の初期モデル(プロトタイプモデル) (図 1) を完成した。

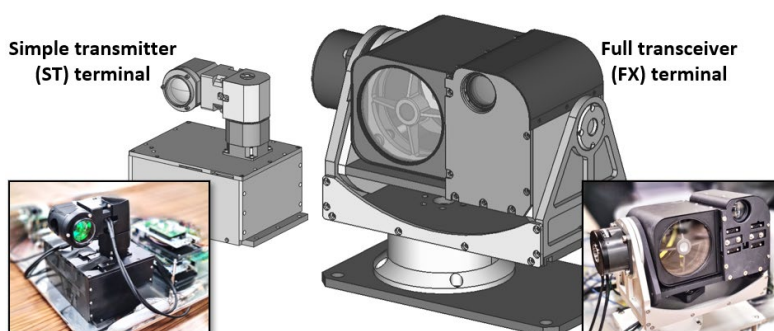


図 1：飛翔体搭載用の 2 種類の初期モデル(プロトタイプモデル)

4. アウトプット目標

研究開発期間終了時までには達成すべき目標は下記のとおりとする。

研究開発項目 1 HAPS 用光無線通信システムの研究開発

- (1) HAPS 搭載用光無線通信端末の開発

HAPS に搭載して 10 Gbps 以上の通信速度を達成することのできる光無線通信端末をエンジニアリングモデルとして設計・開発すること。光無線通信端末は基本設計で成層圏環境下(外気温マイナス 90 度、気圧 20 分の 1 (参考数値))で機能することとする。
- (2) HAPS 用光追尾システムの開発

HAPS に搭載することのできる光追尾システムをエンジニアリングモデルとして設計・開発すること。光追尾システムの追尾性能は、HAPS 搭載用光無線通信端末を 120

km/h 以上の速度で航行する HAPS から光地上局に指向させることができるものであること。もしくは、HAPS 搭載用光無線通信端末を LEO 衛星に指向させることができるものであること。光追尾システムは基本設計により成層圏環境下(外気温マイナス 90 度、気圧 20 分の 1 (参考数値)) で機能することとする。

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

- (1) HAPS—LEO 衛星間光無線通信技術の研究開発 (HAPS—LEO 衛星間通信の場合)

研究開発項目1 で開発する HAPS 用光無線通信システムにより、HAPS—LEO 衛星間の光無線通信で 10 Gbps 以上の通信速度、遅延 50 msec 以下を達成できることを示すこと。また、電力と通信速度の最適化を行うこと。
- (2) HAPS—地上間光無線通信技術の研究開発 (HAPS—地上間通信の場合)

研究開発項目1 で開発する HAPS 用光無線通信システムにより、HAPS—地上間の光無線通信で 10 Gbps 以上の通信速度、遅延 4 msec 以下を達成できることを示すこと。また、電力と通信速度の最適化を行うこと。

さらに、地上と成層圏間における大気揺らぎの観測値を得て、大気揺らぎ低減のための大気揺らぎの変動の特性の評価を行うこと。大気揺らぎの実測値を得られない場合は、文献等により大気揺らぎを推定する代替法を検討すること。得られた大気揺らぎの変動特性から大気揺らぎ低減のための対策技術を提案すること

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

- (1) HAPS—LEO 衛星間又は HAPS—地上間光無線通信実証環境の構築

光無線通信システムを搭載した、気球型 HAPS 又は固定翼型 HAPS を打ち上げること。HAPS を打ち上げないで地上に実証環境を構築する場合は、HAPS の実例について調査し、その搭載機器の環境を十分に模擬しているものであること。
- (2) HAPS—LEO 衛星間又は HAPS—地上間光無線通信の実証実験

実証環境又は模擬環境において光無線通信の実験データが得られること。また、HAPS—地上間光無線通信の場合、得られた実験データから通信速度と大気揺らぎの関連を検証すること。

5. アウトカム目標

- 2026 年 HAPS—LEO 衛星又は地上間で 10 Gbps 以上の光無線通信技術の実証
- 2028 年 HAPS—LEO 衛星間光無線通信を実現
- 2031 年 HAPS による地上向け無線サービスを実現
- 2034 年 HAPS や衛星による統合型 NTN を実現

6. 採択件数、研究開発期間及び研究開発予算等

- 採択件数 : 1 件
- 研究開発期間: 2024 年度 (契約締結日) から 2026 年度
- 研究開発予算: 各年度、総額 45 百万円 (税込) を上限とする。

(提案の予算額の調整を行った上で採択する提案を決定する場合がある。)

研究開発体制：単独の提案も可能であるが、産学官連携等による複数の実施主体からなる体制とすることを推奨する。その際、社会実装を考慮した体制とすること。

7. 提案に当たっての留意点

- 具体的目標に関しては、定量的に提案書に記載すること。
- 実際のHAPSでの利用を前提とした提案とし、想定するHAPSの概要を提案書に示すこと。
- 研究開発成果の情報発信を積極的に行うこと。
- 本委託研究の遂行過程で得られる科学的なデータがあれば、広くオープンにするのが望ましい。公開できると想定する科学的なデータの有無と、有る場合には公開計画（例：公開するデータの種類、公開先、公開方法）を提案書に記載すること。
- 実施体制については、本研究開発の目的に則した実施体制を構築することとし、それぞれの役割を明記すること。
- 本研究開発成果の社会実装に向けて、到達目標の項目に記載したマイルストーンを意識しつつ、具体的な時期（目標）、体制、方策等を記載すること。その際、持続的に自走するための計画等についても記載すること。
- 2026年度について、機構の次期中長期目標・計画の状況^{*}及び予算の成立状況によっては、実施スケジュールや実施内容等の変更、調整が必要となる場合があることをあらかじめご了承ください。

※次期中長期目標・計画において、目標・計画に含まれない研究開発課題については委託研究を終了することもあります。

8. 運営管理

- 機構と受託者の連携を図るため、代表提案者は、プロジェクトオフィサーの指示に基づき定期的に連絡調整会議を開催すること。
- 複数の機関が共同で受託する場合には、代表提案者が受託者間の連携等の運営管理を行い、受託者間調整会議を定期的に行うこと。
- 社会情勢や研究環境の変化等、必要に応じて、プロジェクトオフィサーが研究計画書を変更する場合がありますので、留意すること。

9. 評価

- 機構は、2025年度に中間評価を実施する。本評価結果により、当該年度で本委託研究を終了する場合がある。
- 機構は、2026年度に終了評価を実施する。また、機構は、本委託研究終了後に成果展開等状況調査を行い、追跡評価を行う場合がある。
- 機構は、上記以外にも本委託研究の進捗状況等を踏まえて、臨時にヒアリングを実施することがある。

10. 成果の社会実装等に向けた取組

- 実用化、事業化、社会実装に向けた出口戦略を明確とすること。
- 上記の出口戦略を実現するため、本委託研究で得られた成果のオープン化（例えば、成果発表やフォーラム等を活用した HAPS の技術・利用の共有化、標準化等）を行う等、成果の社会実装等に向けて必要な取組みを行うこと。
- 産学官連携体制の構築、研究開発の成果を参加企業等が実用化・事業化につなげる仕組みをビルトインすること。
- 委託研究終了後には将来の商用化に向けて、HAPS の導入が有望なこと、HAPS-衛星、HAPS-地上間で光無線通信を使うことについて、世界的なコンセンサスを得るための方策を提案すること。

11. プロジェクトオフィサー

ネットワーク研究所ワイヤレスネットワーク研究センター宇宙通信システム研究室 辻宏之

参考

- 本研究開発に利用を推奨する機構の知的財産等
 - (1) 特許権（日本）
 - ・ 発明の名称：空間光通信装置
 - ・ 登録番号：4500894
 - ・ 概要と効果：光源を兼用することにより部品点数を低減することができる空間光通信装置を提供する。光アンプを用いるすべての光通信器に適用でき、ファイバアンプのポンプ光源と追尾用光源とが兼用されるので、部品点数を低減することができ、簡素かつ低コストの装置とすることができる。
 - (2) 機構が開発した飛翔体搭載用超小型高速光通信機器についての製造契約の IP
 - ・ 契約の名称：超小型衛星用光通信端末のオンボードモデル製作
 - ・ 契約番号：令和4年度 第10556号
 - ・ 製造の概要：超小型衛星搭載用の光無線通信端末に組込むことを目的とした、送信ビームの拡がり角を可変する光学系の試作。