

## 1. 研究課題・受託者・研究開発期間・研究開発予算

- ◆研究開発課題名 : Beyond 5G次世代小型衛星コンステレーション向け電波・光ハイブリッド通信技術の研究開発
- ◆副題 : 次世代LEO通信コンステレーション構築に向けた超小型・低コスト電波・光ハイブリッド通信システムおよび通信制御システムの研究開発
- ◆受託者 : 株式会社アクセルスペース、国立大学法人東京大学、国立大学法人東京工業大学、株式会社清原光学
- ◆研究開発期間 令和3年度～令和6年度(4年間)
- ◆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1,728百万円(令和4年度1,370百万円) ※百万円未満切り上げ

## 2. 研究開発の目標

研究者らの50-200kg級超小型衛星および関連技術の開発・製造・運用経験を活用した各研究開発項目を実施し、本研究開発の成果と研究者の超小型衛星バス技術および量産製造・自動運用システムとを組み合わせることで、LEO通信コンステレーションの早期構築を目指す。

研究開発成果

## 3. 研究開発の成果

研究開発項目1:LEOコンステレーション用  
小型衛星搭載電波・光ハイブリッド  
通信技術の研究開発

研究開発目標

### 1-a) 小型衛星搭載用フレキシブル光通信システムの研究開発

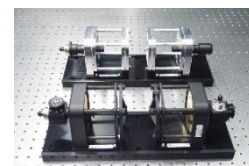
#### ① 衛星搭載光通信機器の開発

2022年度まで対向1セットの光アンテナ・内部光学系・光送受信器からなる試作モデルを作成し、ターミナル間送受信のやり取り確認用に適応する。光アンテナおよび内部光学系をユニット化し、環境試験として温度サイクルと振動試験を行い、軌道実証実現性の確認を行う。有識者を含めた設計審査会を行う。

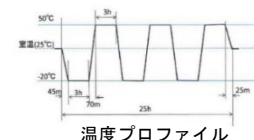
### 1-a) 小型衛星搭載用フレキシブル光通信システムの研究開発

#### ① 衛星搭載光通信機器の開発

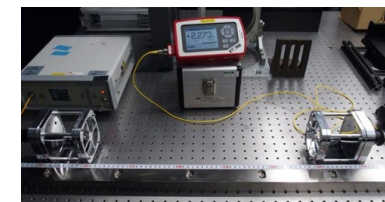
- ・光送受信器、捕捉追尾光学系などシステム全体のブロック図及び仕様案を作成
- ・測定実験環境を想定した部品選定、調達及び加工を完了し、対向通信実験に用いるアルミ素材の光アンテナ1ペアを製作



総アルミ製と低膨張ガラス製の供試体



温度プロファイル



総アルミ製による対抗空間伝搬実験 配置

#### ② ジンバル機構、衛星インタフェース

- ・ジンバル機構の要求仕様およびインタフェース仕様の策定
- ・基本設計を進めて、BBMを開発

#### ② ジンバル機構、衛星インタフェース

- ・ジンバル機構の性能仕様およびインタフェース仕様策定
- ・2鏡型、1鏡型ジンバルにおける成立性の確認完了。1鏡型を選定

### 3. 研究開発の成果

#### 研究開発項目1:LEOコンステレーション用 小型衛星搭載電波・光ハイブリッド 通信技術の研究開発

#### 研究開発目標

#### 研究開発成果

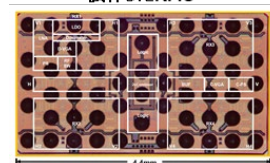
#### 1-b) 小型衛星搭載用電波・光ハイブリッド通信制御システムの研究開発

- ① RF通信システム統合/デジタル処理部開発  
・試作基板製作・試験/環境試験準備
- ② 電波・光通信経路制御開発  
・評価ボードを用いた経路制御アルゴリズムの開発および実装
- ③ 光通信初期捕捉・姿勢協調制御/姿勢制御・軌道推定性能の高度化  
・RW・STT試験、BBM開発、搭載アルゴリズム・シミュレータ開発等
- ④ 初期捕捉・姿勢協調制御シミュレーション・アルゴリズム開発  
・初期捕捉・協調制御アルゴリズムの詳細検討と検証  
・制御系実ハードウェアの検証に向けた準備
- ⑤ RF通信システム用アンテナ・RFIC  
それぞれ送信機および受信機用RFICの設計、試作評価を行う。RFICを搭載したフェーズドアレイの性能を評価するために、評価用高周波基板を作成し、ビームフォーミング、消費電力等の特性評価を行う。29GHz帯アンテナの試作評価・改良設計、19GHz帯アンテナの設計を行う。

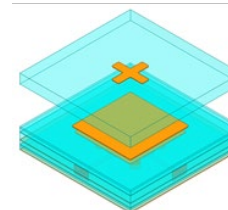
#### 1-b) 小型衛星搭載用電波・光ハイブリッド通信制御システムの研究開発

- ① RF通信システム統合/デジタル処理部開発  
・試作基板製作・試験と改良点出し、前年度評価ボードで開発したソフトの実装、周辺回路インターフェース策定  
・機械構造検討、熱真空試験・振動・放射線等環境試験準備・実施
- ② 電波・光通信経路制御開発  
・経路制御アルゴリズム正常系実装および基板仕様の策定を実施
- ③ 開発光通信初期捕捉・姿勢協調制御/姿勢制御・軌道推定性能の高度化  
・RW擾乱測定、ジャイロ・STT姿勢センサデータ取得、STTアルゴリズム開発、STTフード製造・迷光測定、STTイメージセンサ基板回路設計、SoM放射線試験、搭載SW1軸姿勢制御開発、SILSシミュレータ開発
- ④ 初期捕捉・姿勢協調制御シミュレーション・アルゴリズム開発  
・初期捕捉・協調制御アルゴリズムを具体化、シミュレータ上で検証し、要求性能を満たすことを確認  
・制御系実ハードウェアの検証試験を実施
- ⑤ RF通信システム用アンテナ・RFIC  
RFICの設計開発を進めており、受信用RFICの試作を完了、16個のICをもちいて64素子のフェーズドアレイ受信機を試作し、1系統の消費電力3mW, -31dB以下のEVM、24Gbpsの通信速度を達成、目標を大きく上回る性能を実現した。  
アンテナ単体を電磁界解析シミュレータで設計し、ビーム走査角±66度の特性が得られた。

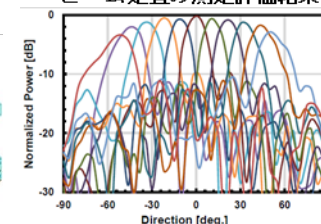
試作したRFIC



アンテナ素子構造



ビーム走査の測定評価結果



研究開発項目1:LEOコンステレーション用  
小型衛星搭載電波・光ハイブリッド  
通信技術の研究開発(前頁からの続き)

研究開発目標

1-c)フレキシブル光通信システム対応光地上局システムの研究開発

- ① 地上局光アンテナ・捕捉追尾部の開発
  - (1)COTS望遠鏡の選定
  - (2)可搬局用光通信ターミナルのBBM開発
  - (3)可搬局BBMと衛星搭載用光通信ターミナルBBMとの基礎通信実験
  - (4)システムの妥当性検証
- ② COTS望遠鏡の自動追尾
  - ・可搬地上局システム検討/開発・試験計画策定

研究開発成果

1-c)フレキシブル光通信システム対応光地上局システムの研究開発

- ① 地上局光アンテナ・捕捉追尾部の開発
  - ・ミラーでの精追尾光学系における、捕捉追尾部の仕様を策定し、その策定仕様に基づきフィルター等の光学部品の手配を行った。
  - ・可搬型地上局用の望遠鏡の設計を完了し、製作を行った。
  - ・望遠鏡としての透過波面測定を実施し、精度評価を行った。



COTS望遠鏡の3D図と完成写真

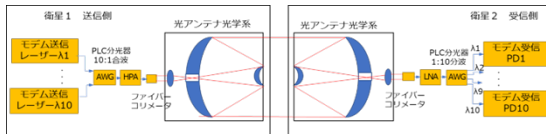
- ② COTS望遠鏡の自動追尾
  - ・清原光学・東大との開発体制構築、回線設計、誤差バジェット等全体システム検討
  - ・開発・試験計画策定、試験用部材選定購入

研究開発項目2:超広帯域光衛星通信  
システムの実現に向けた基盤技術の研究開発

研究開発目標

2-a) 100Gbps級フレキシブル光衛星通信システムに向けた搭載用光通信機器の研究開発

- ① 多波長光通信
  - ・概念設計



2-b)LEOコンステレーション用光通信機器の自動運用システムの研究開発

- ① 光通信機の故障診断
  - ・基本設計
- ② LEOコンステレーションシミュレータ開発
  - ・基本検討
  - ・シミュレータ開発

2-a) 100Gbps級フレキシブル光衛星通信システムに向けた搭載用光通信機器の研究開発

- ① 多波長光通信
  - ・国内外における調査をSmall Satellite Conference, Photonics West, SATELLITE等の学会および展示会にて調査を行った。
  - ・概念設計および仕様検討に必要な多波長光通信の構成部材の情報収集を行い、開発用の部材を入手した。

2-b)LEOコンステレーション用光通信機器の自動運用システムの研究開発

- ① 光通信機の故障診断
  - ・光通信機、経路制御部、協調制御部間のHW構成の策定
  - ・モニタすべき情報の検討と、そのためのHW間のIF仕様を策定
- ② LEOコンステレーションシミュレータ開発
  - ・コンステレーションシステムのユースケースについての検討及び想定ユーザや通信経路、コンステ内衛星のモデル化方針の策定
  - ・前項モデル化方針に従い、想定ユーザや通信経路、コンステ内衛星のモデルのシミュレータ内での実装及び各衛星の可視状況等を可視化するシミュレーションツールの作成

4. 特許出願、論文発表等、及びトピックス

国内出願	外国出願	研究論文	その他研究発表	標準化提案・採択	プレスリリース 報道	展示会	受賞・表彰
2 (2)	0 (0)	0 (0)	15 (15)	0 (0)	4 (4)	6 (6)	0 (0)

※成果数は累計件数、( )内は当該年度の件数です。

(1) 学会発表

・第66回宇宙科学技術連合講演会において、本プロジェクトについて3本の収録論文を発表、1件の一般口頭発表を実施した。(アクセルスペース、東京大学、清原光学) (2022.11.3)

(2) プレスリリース

・アクセルスペースと東京工業大学の共同で本プロジェクトについてプレスリリース(日・英)を実施(2023.2.20)

(3) 国内出願

- ・アクセルスペース、東京工業大学の共同で特許を出願(2023.2.17)
- ・アクセルスペースより特許を出願(2023.3.31)

5. 今後の研究開発計画

- 研究開発項目1 LEOコンステレーション用小型衛星搭載電波・光ハイブリッド通信技術の研究開発
  - 1-a) 小型衛星搭載用フレキシブル光通信システムの研究開発
    - ・ジンバルを含む光通信機の開発および各種環境試験(放射試験・熱真空試験など)を進めていく。
  - 1-b) 小型衛星搭載用電波・光ハイブリッド通信制御システムの研究開発
    - ・各開発要素で、開発したBBMモデルや、その他相当する試作機を用いて各種評価を進めていき、次回試作や、その後の統合試験に向けた開発を行う。
  - 1-c) フレキシブル光通信システム対応光地上局システムの研究開発
    - ・選定した地上局用望遠鏡に合わせて設計した内部光学系の製作を行い、あわせて、自動追尾のために選定した架台を使用した追尾成立性の検討を行う。
- 研究開発項目2 超広帯域光衛星通信システムの実現に向けた基盤技術の研究開発
  - 2-a) 100Gbps級フレキシブル光衛星通信システムに向けた搭載用光通信機器の研究開発
    - ・多波長用に選定したCOTS品のHPAの評価や、他候補品の継続調査を行い、基礎開発や統合試験を行っていく。
  - 2-b) LEOコンステレーション用光通信機器の自動運用システムの研究開発
    - ・HW構成検討から策定されるテレコマ情報やIF仕様も踏まえ、故障診断手法のアルゴリズムの検討を進めていく。
    - ・上記を基にシミュレータモデルの精緻化を行い、また、ロバストな通信経路アルゴリズムの検討を進めていく。