

スターダストプログラム プロジェクト番号:R4-04
次世代衛星光通信基盤技術の研究開発

宇宙用10W級国産高出力光増幅器の技術開発 (総務省・ICT重点技術の研究開発プロジェクト)

宇宙政策委員会 衛星小委員会(第35回)

2026/7/14

(代表機関)国立研究開発法人 宇宙航空研究開発機構
株式会社ニコン
三菱電機株式会社

① 2023年 1月26日

宇宙政策委員会／第19回 衛星開発・実証小委員会において、「宇宙用10W級国産高出力光増幅器の技術開発」が「次世代衛星光通信技術の研究開発」(R4-04)の一部として採択された。

② 同 7月10日

総務省による「採択評価検討会」にて、JAXA・三菱電機株式会社・株式会社ニコンが本研究開発の実施者として選定された。

③ 2026年 3月31日

本事業に係る3年間の開発活動を終了した。

今回は、その成果について報告する。

2. 背景・必要性 (1/2)

- ① 宇宙基本計画工程表に準天頂衛星の光測距技術採用方針が示されているなど、光衛星間通信には複数の政府系需要が見込まれている。また、月近傍有人拠点に向けた通信基盤としても、光通信システムの適用が検討されている。
民間企業においても、宇宙光間通信を用いる構想が提唱され始めている。
これらの用途を実現する上で、光増幅器はキー技術である。
- ② このような状況のなか、欧米や中国など光宇宙通信に取り組んでいる国・地域は、それぞれ領域内で当該技術の確立に向け取り組んでおり、高出力・高効率な光増幅器が開発・軌道上実証されつつある。
- ③ 光データ中継衛星(2020年打上げ)開発では、光増幅器は海外ベンダからの調達(3W級)であった。自立性確保の観点から、光増幅器の国産化は急務である。
加えて、光通信機器の競争力確保(高速化・軽量化・低消費電力)においては、光増幅器の高出力化が最重要である。
- ④ 光衛星間通信技術は、我が国においても、経済成長の観点のみならず、安全保障用途にも貢献する戦略的に重要な技術開発項目である。高出力光増幅器を高出力化(10W級)しつつ、国産化することで、宇宙活動の自立性確保に貢献する。

□ (参考) 10W級光増幅器の効果

(例) 光データ中継衛星(LUCAS)の実績

※1 正確には差動位相シフト変調(DPSK)



光増幅器出力: 2.5W → 10W (4倍)

大容量化

1.8Gbps



約7Gbps

小口径化 (→小型軽量化)

直径約10cm



直径約5cm

簡易な変調方式

位相変調



ON-OFF変調など※2

(※2 単純な変調方式の変更では
約100Mbpsまで低速化すると、
約400Mbpsまで改善)

- ① 総務省殿による公募時の提案要領の別添『宇宙用 10W 級国産高出力光増幅器の技術開発 基本計画書』の3項（2）研究開発目標（アウトプット目標）を、以下の通り抜粋する。

本研究開発では、通信の高速化、通信機器全体の小型軽量化、低消費電力化を実現するため、世界最高レベルの宇宙用高出力光増幅器として、10W 以上の光出力及び 10%以上の電気－光変換効率を実現する。

また、衛星搭載の品質レベルを達成するため、必要な各種環境試験として、熱真空環境や静止軌道相当の 17 年相当以上の耐放射線試験等に適合する光増幅器を開発する。

- ② これら開発目標は、世界最高レベルの内容である。前ページで述べた通り、光通信機器の競争力確保（高速化・軽量化・低消費電力）においては、光増幅器が最重要項目である。本開発目標を実現できれば、我が国の光通信機器の競争力向上に大きく貢献する。
- ③ 本事業では、10W級宇宙用光増幅器(以下、「HPA」という)の試験モデル（エンジニアリングモデル相当）を開発し、宇宙環境を模した開発試験を実施・評価することで、詳細設計が完了した状態を実現する。
これにより、ユーザ衛星の開発者に対し、フライト品を供給可能な体制を構築する。

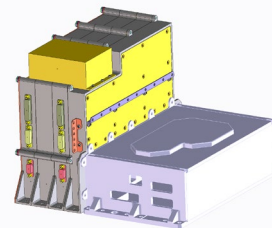
3.2 ベンチマーク

- Lumibird社(仏)**
- ・フライト実績あり(詳細不明)
 - ・10W出力(効率不明)
 - ・耐放射線性: **GEO3年相当**(30krad)



宇宙用10W級国産 高出力光HPA(日)

- ・本事業で開発
- ・10W出力(約10%)
- ・耐放射線性:
→ **GEO17年相当**



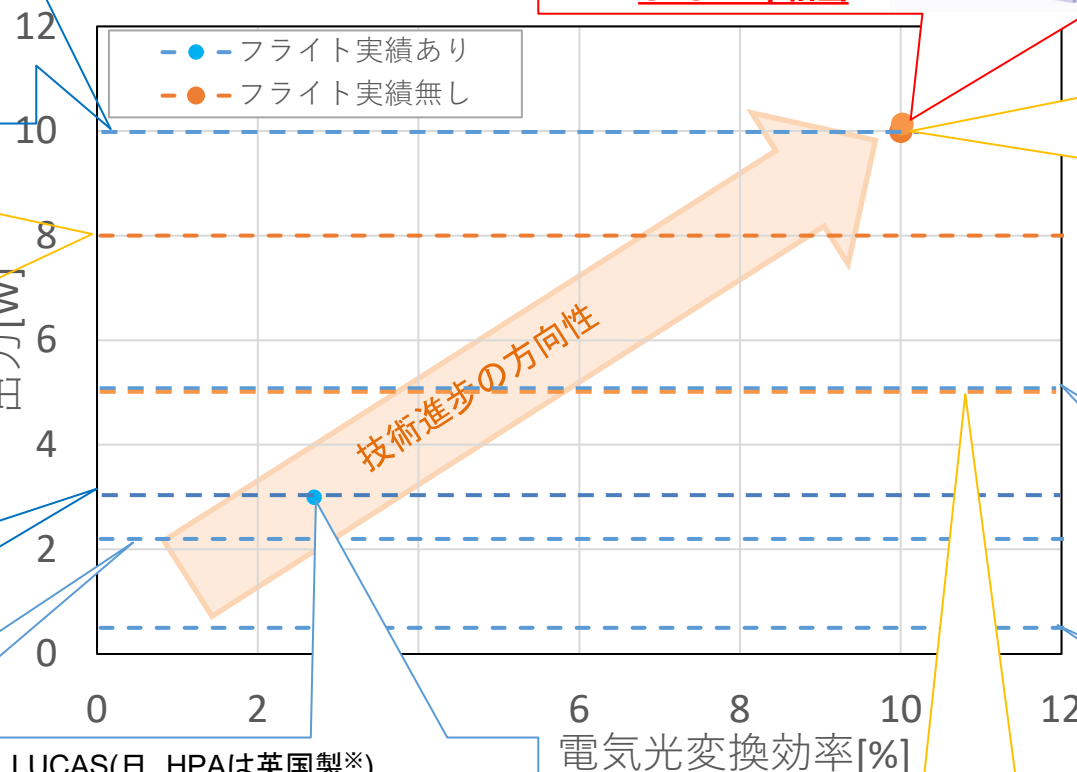
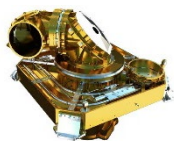
- General Atomics社(米)**
- ・2021年報告(環境試験完了)
 - ・8W出力(効率不明)
 - ・(寿命関連情報不明)



- ILLUMA-T(米)**
- ・2023年打上げ
 - ・3W出力(効率不明)



- EDRS/LCT(欧)**
- ・2015年打上げ
 - ・2.2W出力(効率不明)



LUCAS(日, HPAは英国製※)

- ・2020年打上げ
- ・3W出力(約2.7%)



当時としては最先端 (ETS-9/HICALIにも同型機使用予定)

(※ 事実上の日英共同開発であった)

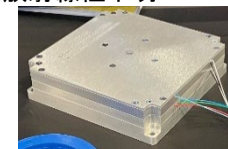
- Cybel社(米)**
- ・5W出力(効率不明)
 - ・耐放射線性不明



- ESA R&D/MPB社(加)**
- ・2021年報告(環境試験完了)フライト計画無し
 - ・10W出力(約10%)
 - ・耐放射線性: **GEO1~3年相当**(10~30krad)



- ESA R&D/MPB社(加)**
- ・2023年打上げ
 - ・2~5W出力(効率不明)
 - ・耐放射線性不明

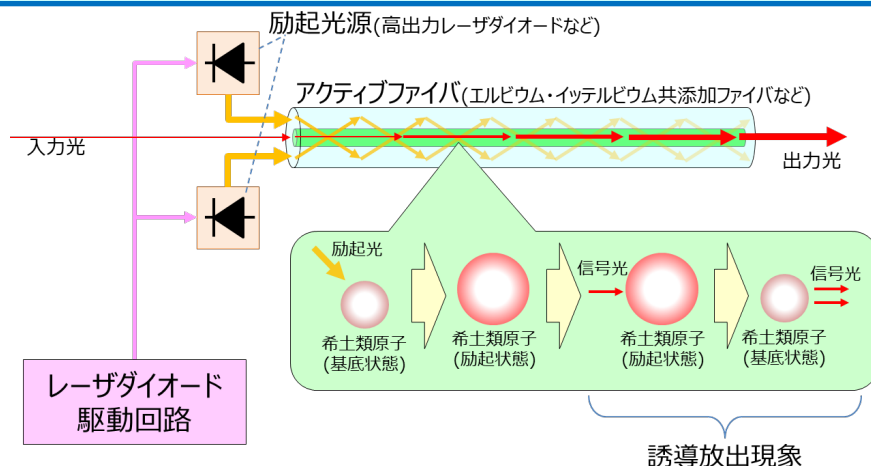


LADEE/LLCD(米)

- ・2013年打上げ
- ・0.5W出力(効率不明)



(参考) 光増幅器(光ファイバ増幅器)の動作原理



- この動作原理は、地上に光ファイバ通信で用いられている光ファイバ増幅器と同じである。
- ただし、宇宙用途向けには、高出力化や高効率化、耐放射線性の向上が必要となる。また、軌道上では修理・交換ができないため、高い信頼性も要求される。

目標達成のためのアプローチ

光HPAは、以下の2要素で構成される。

- 電気部:** 高効率でレーザダイオードを駆動する部分
→ 三菱電機株式会社が担当
- 光学部:** レーザダイオードやアクティブファイバから構成され、実際に光信号を増幅する部分
→ 株式会社ニコンが担当

この他、キーデバイスである**アクティブファイバ**に**フジクラ**製の耐放射線性Er-Yb共添加ファイバを採用した。

(参考: 光データ中継衛星に採用された光HPAは英国製、アクティブファイバは仏製)

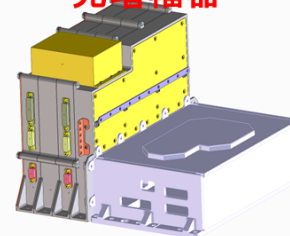


衛星搭載機器設計技術
(電気・熱構造・寿命・信頼性等を含む)



開発仕様とりまとめ、
技術調整、等

国産10W級
光増幅器



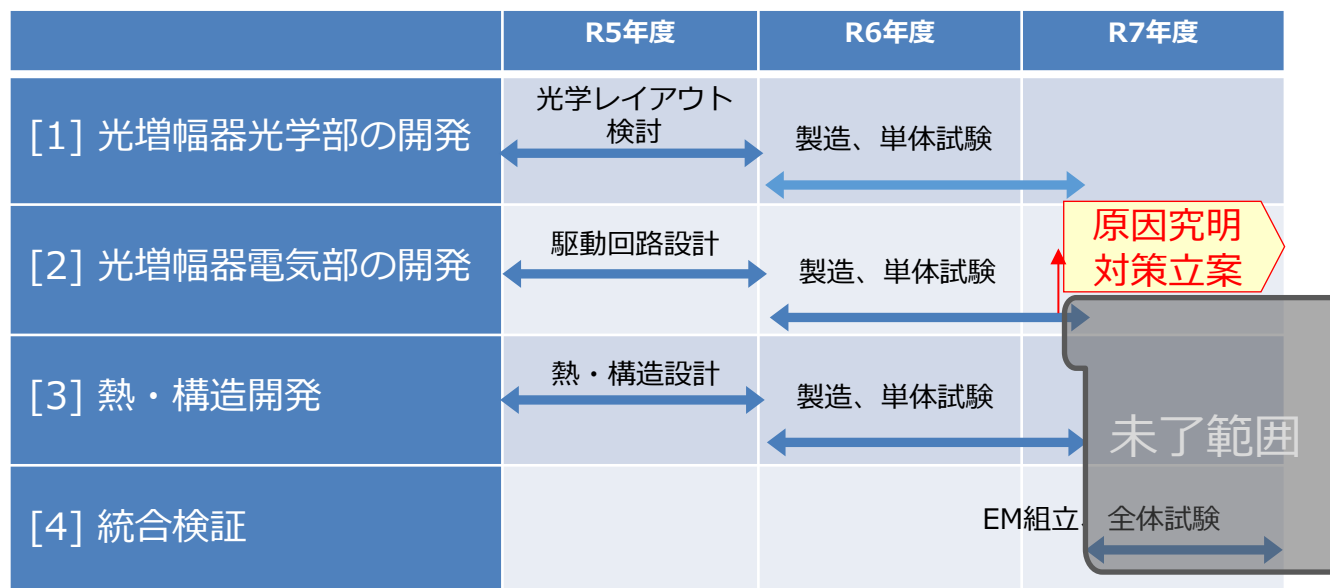
ISS向け国産高出力光増幅器
(ニコン-JAXA研究開発部門間の
共同研究成果)



(写真はISS向けエンジニアリングモデル)

光学系に係る技術
(システム、構造・熱、制御設計等も含む)

A) 研究開発の計画と、未達範囲を下図に示す。

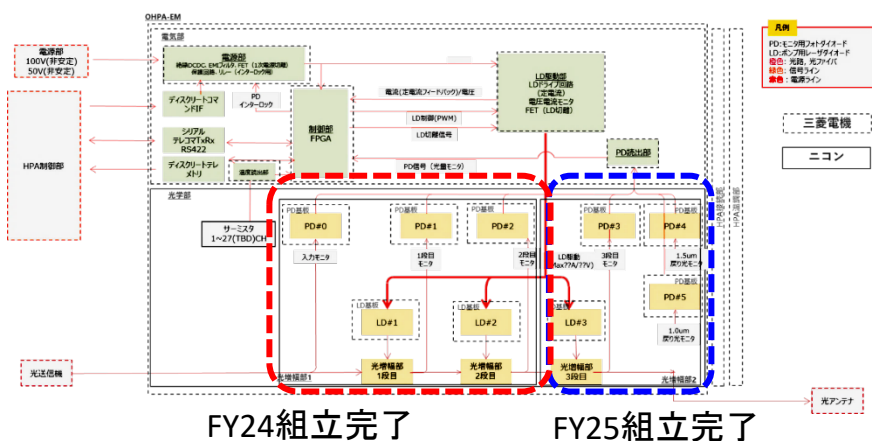


- B) 光学部組立工程の最終フェーズ(単体試験)において、一部技術的な課題が識別され、この原因究明、および、対策立案にR7FY後半を費やすこととなった。(期間内に原因究明および対策立案は完了)
このため、全体組み立て、及び、機器全体での環境試験（耐機械環境・熱真空環境試験）は未了となった。
- C) ただし、設計および電気部・光学部の各試験結果としては、目標は達成見込みである。
また、技術的課題が識別され、その対策が立案されたことも、開発成果の一部と考える。

5. 開発実績

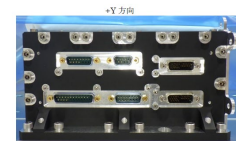
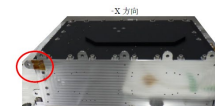
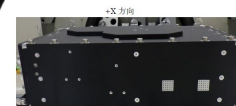
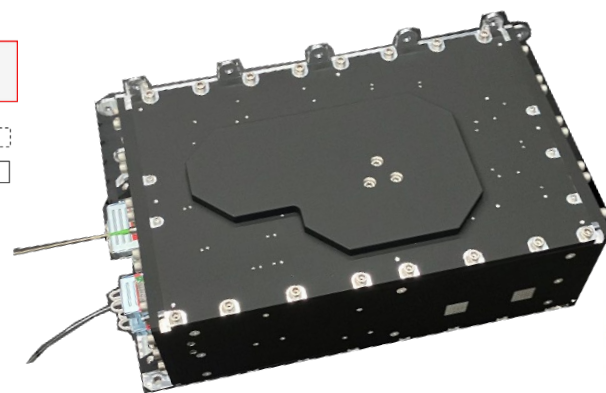
- ① 試験モデル（光増幅部）の製作を行い、組立を完了した試験モデルの常温、常圧下の開発試験（機能性能試験）を完了した。
- ② 試験モデルの温度サイクル試験実施中、低温時に光学部の不具合事象が発生し、試験は中断となった。不具合事象箇所、原因を特定し、対策案を決定した。試験モデルへ対策案を処置し、低温時の動作が可能となることを確認した。
- ③ 衛星搭載に向けた信頼性確認のため、光学部単体の温度試験（常温、低温、高温）・振動試験を完了し、軌道上動作条件模擬環境下での出力10W以上を実証した。
- ④ 光学部品単体の故障率を検討し、光学部が目標の設計寿命を持つことを確認した。

組立が完了した光学部



FY24組立完了

FY25組立完了

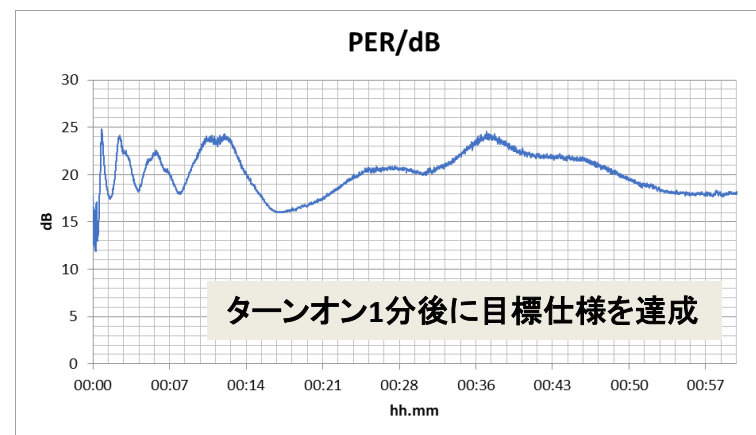
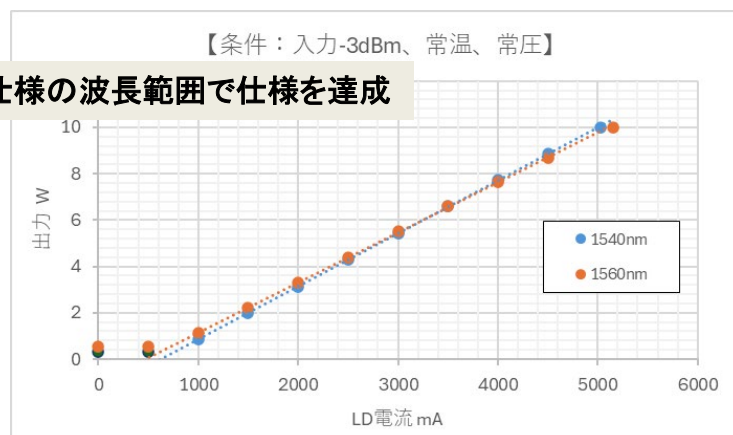


□機能性能試験

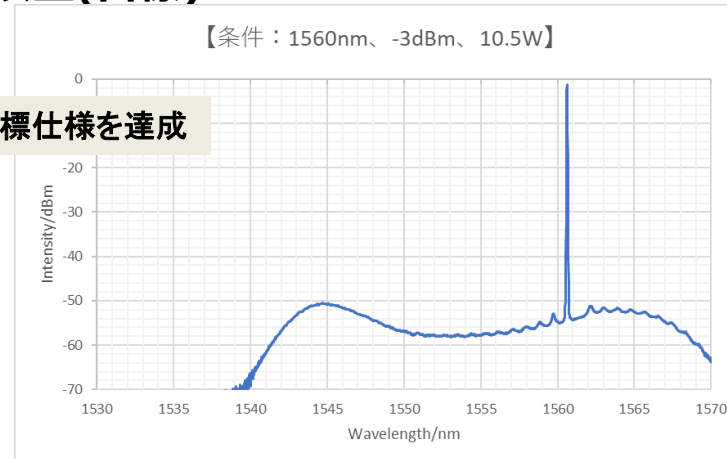
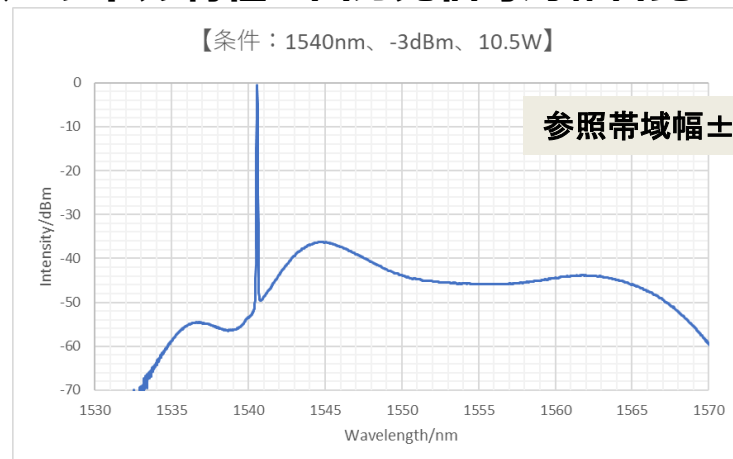
常温、常圧下において、開発目標仕様を満たすことを確認した。

電流出力特性：10W以上

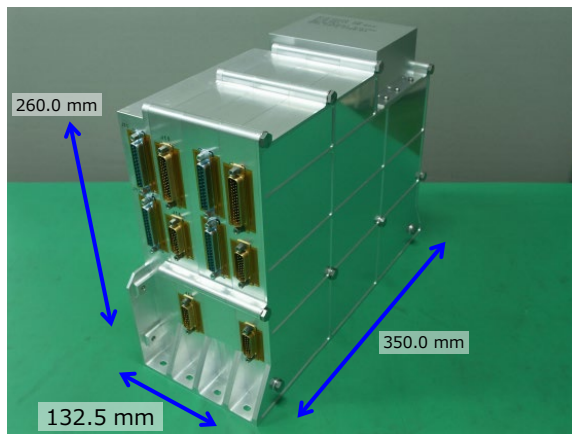
偏光消光比:15dB以上 (目標)



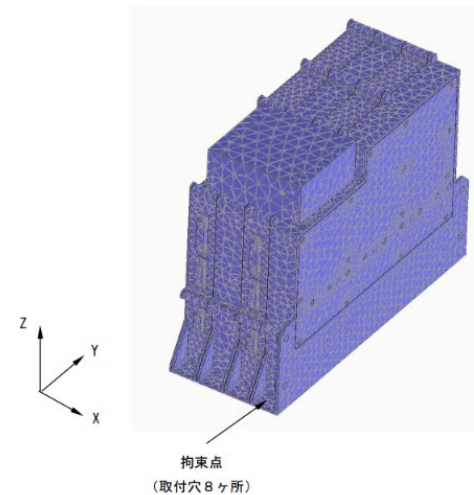
スペクトル特性：出力光信号対雑音比 26dB以上(目標)



- 詳細設計を行った励起レーザダイオード駆動回路(電気部)の組み立てと要素試験を完了し、10W級を達成する電気光変換効率の効率化技術を確立した。
- 電気部単体試験において、常温における機能試験および温度試験において、正常動作を確認。光学部の不具合により、各要素を組み合わせた高出力光増幅器の組み立ては未完了だが、光学部とのインタフェースを含めた電気部を製造し、単体評価を完了した。



電気部EM写真(鳥瞰)



構造解析モデル

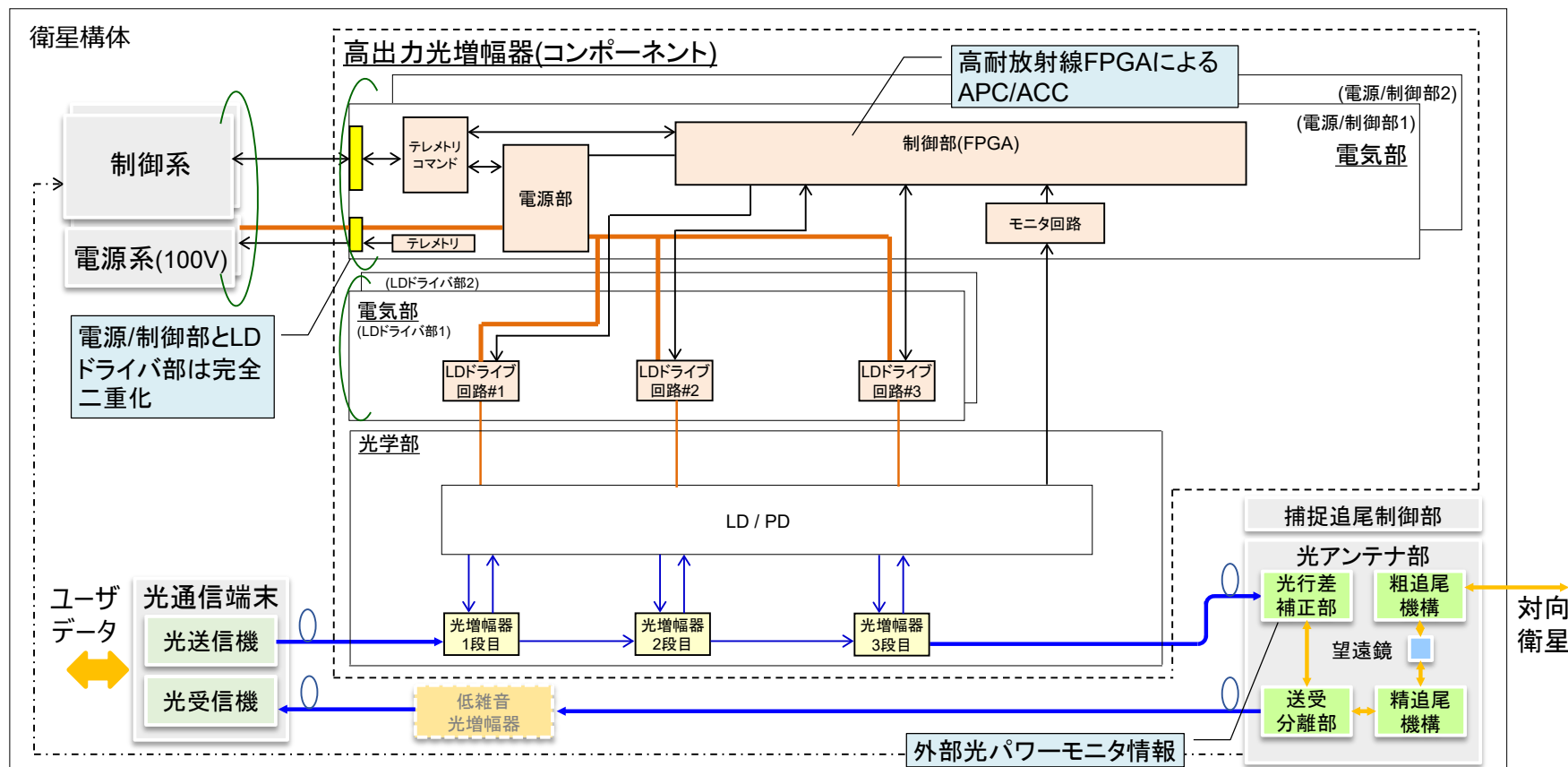
○高信頼性化、長寿命化に関する研究開発

- 光学部の不具合対応により、光増幅器全体での衛星搭載環境を模した環境試験（耐機械環境試験、熱真空環境試験）は未実施。光学部を模擬した機能を含むBTE(試験装置)により、機能・性能の検証を実施した。

高出力光増幅器(コンポーネント)/電気部全体構成

- 初期設計に従い、静止軌道衛星向け高信頼・耐放射線部品を前提とした設計。
- 信頼性向上のため、LD駆動部・電源制御部は完全二重化にて動作可能。
- 光学部LD制御/PDモニタによるAPC/ACC*¹制御。
- 将来拡張対応として、テレメトリ・コマンドを通じた外部光アンテナ部光パワーモニタによる制御も可。

*1 APC/ACC : Auto Power Control/Auto Current Control

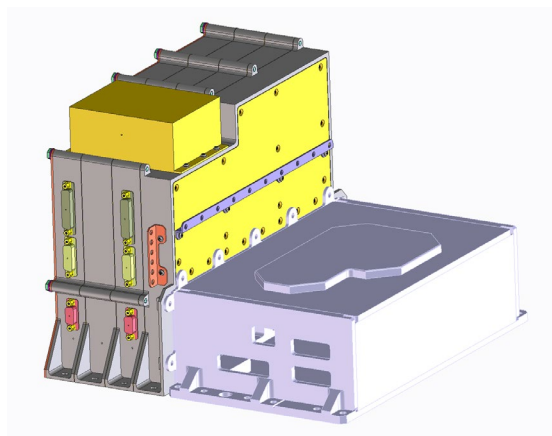


高出力光増幅器(コンポーネント)/電気部全体構成

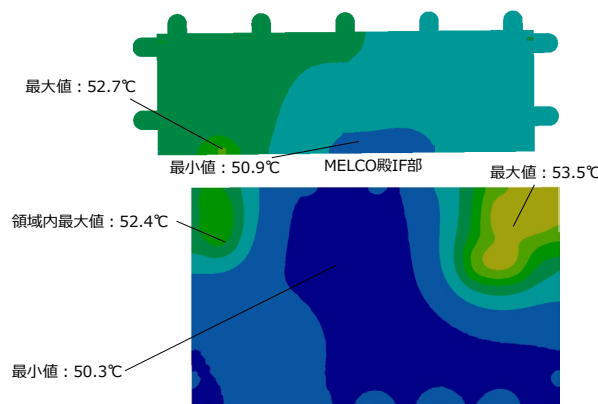
□ コンポーネント全体での熱・構造設計

電気部 (三菱電機)、光学部(ニコン)各スライスのCADデータを用い解析を実施。

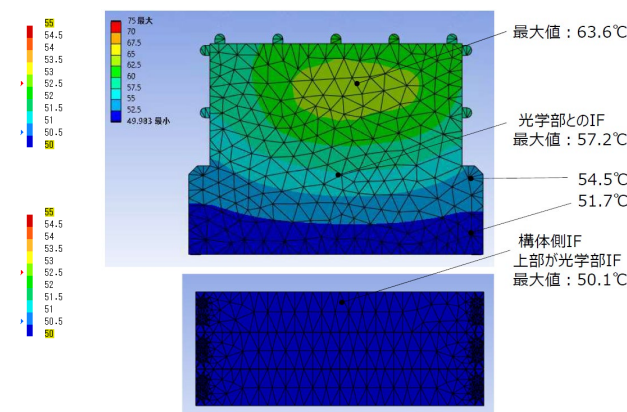
コンポーネントの基本設計において、機械設計ならびに熱設計で要求値を満足する結果が得られた。



光HPA EM外観



光学部インタフェース面
熱解析結果



電気部インタフェース面
熱解析結果

□ 統合検証

光学部の温度サイクル試験中の不具合事象への対応のため、光学部・電気部を組み合わせ環境試験を実施することはできなかったが、電気部・光学部の単体試験を通し、これらがインタフェース条件を含む各種設計仕様を満足することは確認された。

これにより、開発目標は達成見込みとなっている。

研究開発運営委員会

本事業では、総務省殿からの契約上の要請に従い、「研究開発運営委員会」という外部有識者委員会を組織し、客観的な評価を受けつつ事業を推進してきた。

A) 構成

委員長 山下真司（東京大学）

委員 豊嶋守生（情報通信研究機構）

戸倉川正樹（電気通信大学）

B) 開催実績： 計4回

a. 第1回 （2023年10月31日、ベースライン確認会）

b. 第2回 （2024年 4月23日、基本設計確認会）

c. 第3回 （2025年 3月10日、進捗報告）

d. 第4回 （2026年 5月15日、進捗報告）※

※ 事業期間終了後であるが、自主的な取り組みとして実施

参考： 第4回時の山下委員長ご講評

- ・ 技術的なトラブルは生じたが、その原因究明活動や対策の内容は妥当。
- ・ 衛星光通信技術は、まさに広がりを見せつつある分野である。
また、厳しさを増す昨今の安全保障環境のなか、この技術は国家として必要となる可能性もある。
- ・ この活動を継続し、技術を確立して頂きたい。

1. アウトカム指標

- a. 本研究開発は、衛星搭載機器の開発であることから、採用先の衛星プロジェクトを通じてアウトカム実現に貢献することとなる。
- b. 光衛星間通信技術を活用する国内衛星プロジェクト（本事業終了時から5年後までにプロジェクト移行するもの）の8割以上に採用されることを目指す。

2. アウトカムの達成に向けた取組みの実施状況

- a. 1年目にユーザ候補（準天頂衛星システムの光衛星間測距や月-地上間光通信の検討を行っているJAXA担当者）へニーズ調査を行い、上位システムである光通信システム全体への想定される要求事項やシステム設計イメージ（投入軌道・運用期間・通信速度・光学口径・その他特殊要求(OB*有無など))を共有したうえで、そこからフローダウンされる高出力光増幅器の具体的な機能・性能（出力・効率・寿命・耐環境性・光学特性など）を識別、設計へ反映した。

* OB: オービットレーシング。ここでは電気推進によるロケット投入軌道から目標軌道(静止軌道など)への軌道遷移を意図する。
ヴァンアレン帯中を長時間飛行する内容であることが多く、耐放射線性の要求に大きく影響する。

- b. その後、ユーザ候補へのコミュニケーションは維持しつつ、また主要な国際学会（Photonics Westなど）に出席し、加MPB社や仏Lumibird社、英G&H社など主要な宇宙用光増幅器供給ベンダや米国の新興企業を含めて世界動向を調査し、設定した目標性能等が陳腐化していないことを確認しつつ事業を進めた。
- c. 本邦における衛星光通信システムの自在性確保に向け、本研究開発にて考案したアイデア3件を知財権確保のため出願した。最終年度には、光増幅器を含む衛星間光リンクを高機能化する差別化技術も出願している。また早期に出願した長期信頼性に関わる1件については、プロジェクト期間内での特許取得を完了した。

本光HPAは、静止軌道など比較的放射線環境が厳しい軌道を用い、数万km以上の長距離通信用途で長期間使用されるミッションを主なターゲットとしている。

	'23 (R5)	'24 (R6)	'25 (R7)	'26 (R8)	'27 (R9)	'28 (R10)	'29 (R11)	'30 (R12)	'31 (R13)	'32 (R14)
適用先					将来実用ミッションへ					
宇宙実証										
後継事業										
本研究開発										

A) 残存部分の実施予算枠、および、実証機会としては、**「JAXA宇宙技術実証加速プログラム」(JAXA-STEPS)**へ応募する方向で検討している。本プログラムは、「革新的衛星技術実証プログラム」などの流れをくむ制度であり、官民双方で将来使えるミッションやコア技術を、小型衛星を使って迅速に実証することを目的としている。

B) 本光HPAだけでなく、他者が開発する光通信機器(LCT)など上位システムと連携して実証することも視野に検討している。

