

宇宙用 10W 級国産高出力光増幅器の技術開発

基本計画書

1. 目的

近年、低軌道 (LEO : Low Earth Orbit) 衛星によるメガコンステレーションシステムにより、山間部や離島等のあらゆる領域で高速大容量な衛星通信が提供されるなど、衛星通信の需要が増加している。通信需要の増加に伴い、これまでの電波に加え、大容量通信が可能な光通信の活用に向けた取組が世界的に進められている。我が国においても衛星光通信を利用した宇宙データセンター事業が計画されるなど、社会実装に向けた取組が進んでいる。現在、LEO 衛星と静止軌道 (GEO : GEostationary Orbit) 衛星との光通信において、1.8Gbps の速度が実現されているが、今後の通信需要の増加に伴う更なる高速化や静止衛星と月や惑星を周回する衛星間の長距離光通信が求められている。それらの実現のためには、光増幅器の高出力化がキー技術となり、現在の LEO-GEO 衛星間通信において用いられている光増幅器の出力は 3W 級であるのに対し、今後、静止衛星と月を周回する衛星との通信において 1Gbps を達成するために 10W 級の光増幅器が必要となる。

このような状況のなか、国際的にも当該技術の確立に向け取り組んでおり、欧州では 10W 級の光増幅器が開発され、地上での環境試験を完了するなど、高出力・高効率な光増幅器の開発が進められている。一方、我が国では、衛星開発において、宇宙用光増幅器を海外ベンダーから調達せざるを得ない場面も生じるなど、宇宙用光増幅器の開発技術の確立が課題となっている。

このため、宇宙基本計画 (令和 2 年 6 月 30 日閣議決定) に「衛星コンステレーションでの活用等も視野に入れた小型化技術や、今後の我が国の宇宙活動の深宇宙への展開等に備え、更なる超長距離・大容量な宇宙光通信等の基盤技術の確立に向けて取り組む。」とあり、衛星通信技術の自在性、自立性確保の観点から、光増幅器の国産化は急務であり、衛星光通信機器の国際競争力確保 (高速化・軽量化・低消費電力化) の観点からは、光増幅器の高出力化・高効率化が重要であることから、本研究開発においては世界最高レベルの 10W 級の国産宇宙用高出力光増幅器の開発を行う。

2. 政策的位置付け

○新しい資本主義のグランドデザイン及び実行計画 (令和 4 年 6 月 7 日閣議決定)

「通信速度の高速化・大容量化を図るとともに、通信の傍受や干渉の懸念を解消するため、宇宙光通信ネットワーク等の次世代技術の開発・実証を推進する。」とされている。

○統合イノベーション戦略 2022（令和 4 年 6 月 3 日閣議決定）

「今後の重要技術と考えられる小型衛星コンステレーションを活用した光通信等について実証を進めるとともに、量子暗号技術等、宇宙通信の高度化に必要な宇宙ネットワーク基盤技術の研究開発を進める。また、災害対策・国土強靱化や地球規模課題の解決に貢献する衛星の研究開発を推進する。」とされている。

○宇宙基本計画（令和 2 年 6 月 30 日閣議決定）

「衛星コンステレーションでの活用等も視野に入れた小型化技術や、今後の我が国の宇宙活動の深宇宙への展開等に備え、更なる超長距離・大容量な宇宙光通信等の基盤技術の確立に向けて取り組む。」とされている。

3. 目 標

（1）政策目標（アウトカム目標）

高速・軽量・低消費電力で国際競争力の高い国産宇宙用高出力光増幅器の技術の確立により、我が国の衛星光通信機器の自在性、自立性確保に貢献する。また、準天頂衛星システムの衛星間測距や将来光データ中継ミッション、月周回有人拠点（ゲートウェイ）、低軌道衛星通信コンステレーションミッション等、各適用先ミッションの社会的価値の創造へ貢献する。

（2）研究開発目標（アウトプット目標）

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。

4. 研究開発内容

① 概要

地上用の 10W 級光ファイバ増幅器をベースに、優れた排熱構造を検討し、励起

用レーザダイオード駆動回路の小型化・高効率化を図ることで、衛星搭載用 10W 級光増幅器を国産にて実現する。

また、これらの機能を実装した装置について、衛星搭載に向けて耐放射線試験や熱真空試験、振動試験等の宇宙環境試験を実施することにより、衛星搭載に必要な耐環境性を実証し、衛星搭載の品質レベルを達成する。

② 技術課題

ア) 排熱技術

衛星搭載品となる光増幅器の内部素子を新規に開発することは、費用及び期間の観点から困難であり、従来から用いられる手法として、地上用の光ファイバ増幅器の技術を活用することが合理的である。

光増幅器は、光ファイバ部や励起レーザダイオード等、内部素子の発熱量が局所的に大きく、対流のない宇宙環境ではそれらを熱伝導により衛星筐体へ排出する必要があるが、全排熱量が大きい上、排熱箇所が集中してしまう。その結果、内部の温度上昇が光増幅器の出力特性や製品寿命に影響するだけでなく、高出力化による発熱量の増加のため、機器自体が発火や熔融してしまうことが大きな課題となっている。

また、衛星本体においても前述の対流による排熱ができないことにより、太陽光が当たる面は 100℃以上になる一方、反対側は-150℃以下となる。このため、衛星の筐体には熱伝導率の高い素材を使用し、かつ全体にヒータを配置することによって衛星全体の熱管理を行うが、光増幅器において発生する熱が局所的に大きい場合はその熱収支バランスに影響するため、適切な排熱技術が必要となる。

イ) 高効率化技術

現状の衛星搭載用光増幅器の電気-光変換効率は数%となっており、同様の効率を持つ 10W 級光増幅器を開発した場合には消費電力が数 100W になってしまう。衛星は太陽電池パドルの大きさに基づく発生電力量に制限があり、数 t 級の大型衛星であれば 10kW 級の電力供給能力があるが、数 100kg 級の小型衛星では 1 kW 級となり、消費電力が数 100W の光増幅器では、全体の消費電力に占める割合が大きくなるため、小型衛星に搭載することは不可能となる。このため、消費電力を抑える高効率な光増幅器を開発する必要がある。

ア)で述べたとおり、衛星搭載品となる光増幅器の開発にあたっては、地上用の光ファイバ増幅器の技術を活用することが合理的であるが、高効率なものほど大型化している。光増幅器の電気-光変換効率を向上させるためには、励起レーザダイオードの駆動回路において高安定な変圧回路が必要となり、大型化してしまうためである。このため、衛星搭載のための小型化と高効率化の両立が課題となっている。

ウ) 宇宙環境試験

宇宙空間の温度は平均して -270°C であるが、太陽光や地球からの赤外放射等が当たる面と当たらない面では大きな温度差が生じ、衛星と太陽・地球との位置関係が絶えず変わることから、周期的に変化する。

また、宇宙空間では高度が高いほど圧力は小さくなり、国際宇宙ステーションがある高度約 400km では $10^{-4}\sim 10^{-5}\text{Pa}$ 程度、静止軌道では 10^{-8}Pa 程度となる。このような高真空環境では、気体の対流による熱伝導が小さく、放射が支配的となる。ア)で触れたとおり、光増幅器は排熱量が多いことから、これらの厳しい熱真空環境においては特に影響が大きいため、熱真空環境試験を行い正常に動作することを確認する必要がある。

さらに地上と宇宙空間で大きく異なる点として、太陽や銀河からの放射線があり、衛星の搭載機器の劣化やシングルイベントと呼ばれる半導体の誤動作を引き起こす。この他にもロケット打上時の振動や音響にも耐えうる必要がある、衛星搭載のためには耐放射線試験、振動試験、音響試験等の各種環境試験を行い、問題の無いことを確認する必要がある。

③ 到達目標

ア) 排熱技術

波長が $1.55\mu\text{m}$ 帯である地上用の光ファイバ増幅器をベースに、各素子の排熱量のバランスを取り、排熱に最適な構造を開発する。一般的な衛星搭載品の動作温度である $0\sim +50^{\circ}\text{C}$ の範囲で動作するものとする。

また、衛星搭載に向けては小型・軽量であることが求められることから、目標サイズを $30\text{cm}\times 30\text{cm}\times 20\text{cm}$ 以下、 10kg 以下とし、それらも考慮した構造を検討し、排熱に優れた 10W 以上の出力を持つ光増幅器のエンジニアリングモデル (EM) を開発する。

イ) 高効率化技術

ア)で開発する光増幅器において、電気-光変換効率を決定する主要要素である励起レーザダイオードを動作させる駆動回路について、小型化かつ高効率化に資する最適な配置検討や部品選定を実施し、様々な装置の効率化に関するノウハウを活用することで、光増幅器全体として電気-光変換効率 10% 以上を目指す。

ウ) 宇宙環境試験

ア)及びイ)で開発した光増幅器について、耐放射線試験や熱真空試験、振動試験等の宇宙環境試験を実施し、衛星搭載に必要な耐環境性を実証する。宇宙環境の条件としては静止衛星への搭載を前提とし、累計動作時間は一般

的な静止衛星の設計寿命である15年以上とする。また、電気推進による軌道遷移を想定し、耐放射線性は17年相当以上とする。

5. 研究開発期間

令和5年度から令和7年度までの3年間

6. その他 特記事項

(1) 提案及び研究開発に当たっての留意点

- ① 提案に当たっては、基本計画書に記されているアウトプット目標に対する達成度を評価することが可能な具体的な評価項目を設定し、各評価項目に対して可能な限り数値目標を定めるとともに、アウトカム目標の達成に向けた適切な研究成果（アウトプット等）の取扱方策（研究開発課題の分野の特性をふまえたオープン・クローズ戦略を含む）について提案すること。また、本研究開発成果を確実に展開し、アウトカム目標を達成するため、事業化目標年度、事業化に至るまでの実効的な取組計画（事業化及び標準化活動、体制、資金等）についても具体的に提案書に記載すること。
- ② 実用化については、諸外国の研究開発動向や民間小型衛星コンステレーション事業者やシスルナ通信等の事業動向・ニーズを調査し、適用先を明確化した上で開発を進め、実用化目標年度、実用化に至るまでの段階を明示した取組計画等を記載し、提案すること。また、製品・サービスの実現に向けたアプローチが考えられる場合には、製品として実装する際のコスト・生産性等（メンテナンス等の後年度負担やソフトウェア産業への展開も含む）への配慮を含め、具体的な取組計画を記載しつつ、提案すること。
- ③ 目標を達成するための具体的な研究方法、実用的な成果を導出するための共同研究体制又は研究協力体制について研究計画書の中にできるだけ具体的に記載すること。複数機関による共同研究を提案する際には、分担する技術間の連携を明確にし、インターフェースを確保すること。
- ④ 研究開発の実施に当たっては、関連する要素技術間の調整、成果の取りまとめ方等、研究開発全体の方針について幅広い観点から助言を頂くとともに、実際の研究開発の進め方について適宜指導を頂くため、学識経験者、有識者等を含んだ研究開発運営委員会等を開催する等、外部の学識経験者、有識者等を参画させること。なお、本件について不明点がある場合は、本研究開発の担当課室まで問い合わせること。
- ⑤ 本研究開発は総務省施策の一環として取り組むものであることから、総務省が受託者に対して指示する、研究開発に関する情報及び研究開発成果の開

示、関係研究開発プロジェクトとのミーティングへの出席、シンポジウム等での研究発表、共同実証実験への参加等に可能な限り応じること。

(2) 人材の確保・育成への配慮

- ① 研究開発によって十分な成果が創出されるためには、優れた人材の確保が必要である。このため、本研究開発の実施に際し、人事、施設、予算等のあらゆる面で、優れた人材が確保される環境整備に関して具体的に提案書に記載すること。
- ② 若手の人材育成の観点から行う部外研究員受け入れや招へい制度、インターンシップ制度等による人員の活用を推奨する。また、可能な限り本研究開発の概要を学会誌の解説論文で公表するなどの将来の人材育成に向けた啓発活動についても十分に配慮すること。これらの取組予定の有無や計画について提案書において提案すること。

(3) 研究開発成果の情報発信

- ① 本研究開発で確立した技術の普及啓発活動を実施するとともに、実用に向けて必要と思われる研究開発課題への取組も実施し、その活動計画・方策については具体的に提案書に記載すること。
- ② 研究開発成果については、原則として、総務省としてインターネット等により発信を行うとともに、マスコミを通じた研究開発成果の発表、講演会での発表等により、広く一般国民へ研究開発成果を分かりやすく伝える予定であることから、当該提案書には、研究成果に関する分かりやすい説明資料や図表等の素材、英訳文書等を作成し、研究成果報告書の一部として報告する旨の活動が含まれていること。さらに、総務省が別途指定する成果発表会等の場において研究開発の進捗状況や成果について説明等を行う旨を提案書に記載すること。
- ③ 本研究開発終了後に成果を論文発表、プレス発表、製品化、Web サイト掲載等を行う際には『本技術は、総務省の「宇宙用 10W 級国産高出力光増幅器の技術開発」による委託を受けて実施した研究開発による成果です。』という内容の注記を発表資料等に都度付すこととする旨を提案書に明記すること。