

革新的情報通信技術（Beyond 5G（6G））基金事業  
要素技術・シーズ創出型プログラム  
研究計画書

課題 108

光海底ケーブルにおける空間多重技術の高度化に向けた  
給電電力制限環境下での高効率光増幅技術に関する研究開発



## 1. 研究開発課題

『光海底ケーブルにおける空間多重技術の高度化に向けた給電電力制限環境下での高効率光増幅技術に関する研究開発』

## 2. 背景及び課題

四方を海に囲まれた我が国において、国際通信の99%を担う光海底ケーブルシステムは、地政学的観点から経済安全保障上の最重要情報通信インフラの一つであるため、我が国自身が他国に依存しない国際競争力の高い研究開発力を保有し続けることが重要である。国際間通信トラフィック需要はこれまで継続的に増加しており、現在、太平洋横断級の光海底ケーブルではファイバあたりの容量が毎秒10~20テラビットまで大容量化されている。今後もAIの進展に伴い国際データセンター間通信などの更なる通信需要の増加が見込まれており、長距離光海底ケーブルの更なる大容量化が必要とされている。しかしながら、従来のシングルコアファイバをベースとしたシステムの伝送容量は、光ファイバの非線形光学特性の物理的な制限により既に理論限界に到達しつつあるため、近年の光海底ケーブルではファイバあたりの伝送容量の最大化から、シングルコアファイバを多心化することによる、ケーブル当たりの伝送容量を最大化する設計方針に転換しており、空間多重（SDM: Space-Division Multiplexing）技術に関する研究開発が世界的に進展している。なお、現在は、多心ファイバを用いる太平洋横断級の光海底ケーブルのケーブル容量は毎秒350テラビットに制限されている。一方、光海底ケーブル固有の制約条件のうち最も厳しいものは、陸側の給電装置（PFE: Power Feeding Equipment）から光増幅中継器への供給電力の制限及び海中に敷設される海底ケーブル及び中継器のスペース制限であるため、光海底ケーブルの更なる大容量化に向けては、これらの電力制限とスペース制限を十分考慮する必要がある。

海底ケーブルのスペース制限に関しては、光ファイバの被覆外径を細径化しケーブル収容可能な心線数を拡大すること、並びに、より空間利用効率の高いマルチコアファイバ（MCF: Multi Core Fiber）の導入などが検討されている。我が国は、これまでSDMの研究開発で世界をリードしてきており、SDMの海底ケーブル応用に関しても、2018年度総務省ICT重点技術研究開発プログラムの「新たな社会インフラを担う革新的光ネットワーク技術の研究開発～マルチコア大容量光伝送システム技術～（OCEANS）」の研究開発成果の一部である2コアファイバが、世界に先駆け、2026年から太平洋横断光海底ケーブルTPU（Taiwan Philippine United State Cable）の数百km区間へ部分導入される予定である。

また、OCEANSにおいて電力制限の影響が少ない3,000km級の近海光海底ケーブルに関しては、4コアファイバによりケーブル容量を1Pbit/s以上に拡大可能であることが実証されている。

一方、1万km級の太平洋横断超長距離光海底ケーブルシステムに関しては、PFEの給電能力に制限があることに加え、ケーブルの電気抵抗による電圧降下により給電電力の50%近くが損失する。3,000km級の近海光海底ケーブルでは、ケーブル抵抗による電力損失は十数%程度であるため、電力制限ではなくコア数がケーブル最大容量を律速するのに対し、50%近いケーブルでの電力損失を伴う太平洋横断級の10,000kmの長距離光海底ケーブルシステムでは、海底中継器への電圧配分には限度があり、給電電力制限環境下でマルチコアファイバ化によるコア数増加に見合った中継器の増加とそれに伴う伝送容量の拡大が困難な状況にある。

このため、本委託研究では、給電電力制限環境下においても、4コアファイバによる太平洋横断級 1Pbit/s 超光海底ケーブル実現に資する高効率な光増幅技術を開発する必要がある。

### 3. 内容

本委託研究では、国際間の通信トラフィック増大及び国家安全保障等において重要ながらも、給電電力制限により現在その実現が困難な4コアファイバによる太平洋横断級光海底ケーブルを対象とし、給電電力制限環境下での 1Pbit/s 以上の容量拡大に必要となる高効率光増幅中継器の実現を目指した基盤技術として、以下の3つの研究開発項目についての研究開発を推進するものとする。

#### ・研究開発項目1：システム容量最大化のための高効率光増幅技術

給電電力制限環境下で4コアファイバによる太平洋横断級光海底ケーブルシステムの伝送容量を最大化することを目的とし、伝搬損失、非線形性等の光ファイバの光学特性、雑音指数、利得帯域、利得等化フィルタ特性等の光増幅器の諸特性、マルチコア双方向伝送を想定した光増幅器構成やポンプシェアリング等の励起方式を考慮して最適化した高効率光増幅器技術の研究開発を行う。その際、研究開発項目2及び3における光増幅器励起レーザの励起方式、マルチコア双方向伝送用光増幅器に関する研究開発成果を逐次反映する理論的なモデルについても検討すること。

#### ・研究開発項目2：給電電力制限環境下での光増幅器数最大化のための高効率中継器光・電気回路技術

現行の光海底ケーブルの PFE の最大供給電力を最大限活用して、システム容量の拡大を実現する中継器給電方式の研究開発を行う。その際、ケーブル障害時の障害復旧を考慮した給電方式を検討すること。また、最小の給電電流・給電電圧で光増幅器励起レーザ出力の最大化を図るレーザ駆動回路並びに中継器電源回路を開発する。光増幅光学特性に関して、光増幅器励起レーザの励起方式の最適化を行い低消費電力・広帯域・低雑音特性を有する効率的な光増幅器を実現し、信頼性の観点から励起レーザの冗長性を確保しながらポンプシェアリング数を2倍以上（ポンプ LD1 台あたり4台以上の光増幅器を励起）に拡大可能な高信頼ポンプシェアリング方式を開発し、システム全体で中継器への割当電力の最大化を図る。

#### ・研究開発項目3：マルチコア双方向伝送用高性能光増幅技術

光海底ケーブルの給電電力制限を考慮し、内部損失を最小化した高性能なマルチコア双方向伝送用光ファイバ増幅器の研究開発を行う。具体的には、マルチコア双方向伝送に対応するために必要となるファンイン・ファンアウト (Fan-In/Fan-Out (FIFO)) デバイスの利用を最小限とし、アイソレータや WDM フィルタ、利得等化フィルタ等のコンポーネントを複合したデバイスを開発する。これにより、従来のシングルコア光増幅器に比べてマルチコア化することによる信号光パスの過剰損失を 0.5 dB 以上削減し、必要な増幅利得及び励起光パワーを最小化するとともに雑音指数(NF)の劣化を 1 dB 以下に低減する。さらに、従来シングルコア光増幅器に比べて光増幅器の体積を 1/2 以下に小型化することで、光増幅器の収容効率を高める。

#### 4. アウトプット目標・アウトカム目標

##### ・研究開発項目1 システム容量最大化のための高効率光増幅技術

2028年度末におけるアウトプット目標（最終目標）

マルチコア双方向伝送を想定した高効率光増幅器の最適構成を明確化し、現行の給電電力制限環境下での太平洋横断級光海底ケーブルの伝送容量を 1Pbit/s 以上に拡大可能であることを示す。

2027年度末におけるアウトプット目標

光ファイバや光増幅器の諸特性やマルチコア双方向伝送を想定した光増幅器の構成や励起方式を変化させた場合の太平洋横断級海底ケーブルシステムの最大伝送容量を見積もり、システム伝送容量の最大化に必要な高効率光増幅器の設計指針を明確化する。

##### ・研究開発項目2 給電電力制限環境下での光増幅器数最大化のための高効率中継器光・電気回路技術

2028年度末におけるアウトプット目標（最終目標）

現行の給電電力制限環境下で、海底ケーブルで収容可能コア数及び中継器内へ収容可能な光増幅器数を少なくとも2倍以上にできる高効率光増幅技術を確立する。

2027年度末におけるアウトプット目標

給電電力制限環境下でペタビット級 4 コアファイバによる太平洋横断光海底ケーブルに適用可能な給電方式、低消費電力・広帯域・低雑音特性を有する効率的な光増幅器の実現に必要な電気回路及び光回路技術を理論と基礎実験により検証し、海底中継器構成を明らかにする。

##### ・研究開発項目3 マルチコア双方向伝送用高性能光増幅技術

2028年度末におけるアウトプット目標（最終目標）

損失及び NF の性能を維持しつつ、従来のシングルコア光増幅器に比べて光増幅器の体積を 1/2 以下に小型化する技術を実現する。

2027年度末におけるアウトプット目標

従来のシングルコア光増幅器に比べてマルチコア化することによる信号光パスの過剰損失を削減し、NF 劣化を 1dB 以下（従来は 4.2~4.5dB）に低減可能な技術を実現する。

#### 5. 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：契約締結日から 2028 年度（2027 年度後半に実施するステージゲート評価を踏まえ、継続の必要性等が認められた場合には、最長で 2028 年度まで継続予定。認められなかった場合当該年度末で終了。）

研究開発予算：総額で 3 億円（税込）を上限とし、2026~2027 年度の累計額上限を 2 億円（税込）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。ステージゲート評価や革新的情報通信技術（Beyond 5G（6G））基金事業の後年度予算の状況等により、各年度の研究開発予算を変更する場合

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。

## 6. 提案に当たっての留意点

- 研究開発項目1から3の研究開発項目を一つの提案書にまとめて提案すること。
- 提案書には、ステージゲート評価後2028年度まで実施することを仮定して、2028年度までの計画を記載すること。
- 具体的目標に関しては、2027年度後半のステージゲート評価を受ける際の間目標と、当該評価で継続が認められた場合の最終目標について、定量的に提案書に記載すること。
- 本委託研究で研究開発する技術について、具体的に Beyond 5G の実現に当たりいつ頃どのような分野のどのような知的財産の取得が期待できるのか、何件程度の特許出願を目指すのか、また、知的財産の取得とともに標準化活動の推進も重要であることから、いつ頃どのような分野のどのような標準の策定が期待できるのか、どのような標準化活動を推進するのか等について提案書に記載すること。
- 外国の民間企業や大学等との連携体制が構築できている又は計画している場合には、具体的な連携の方法について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。
- 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いただくとともに、実際の研究開発の進め方について適宜指導をいただくため、国立研究開発法人情報通信研究機構（以下「機構」という。）の研究者、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されたマイルストーンを意識しつつ、具体的な時期（目標）、体制、評価方策等を記載すること。その際、本研究開発が対象としているシステムのデモンストレーションや、それら成果を用いたより高度な研究開発活動あるいは通信事業が、持続的に発展するためのライフサイクル計画等についても記載すること。
- 研究開発成果の情報発信を積極的に行うこと。

## 7. 運営管理

- 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を開催すること。
- 機構と受託者の連携を図るため、代表提案者は、機構の指示に基づき研究開発の進捗状況などについて報告すること。また、我が国の空間多重ファイバ技術及び光海底ケーブルシステムに関する研究を俯瞰した取組となるよう、可能な場合には、機構との間で共同研究による連携や革新的情報通信技術(Beyond 5G(6G))基金事業による他の委託研究との連携を行うこと。
- 社会情勢や研究環境の変化等、必要に応じて、機構が研究計画書を変更する場合があるので、留意すること。

## 8. 評価

- 2027年度後半に評価委員会による評価（ステージゲート評価）を実施し、継続の必要性等が認められた場合には、最長で2028年度まで研究開発を継続する。なお、ステージゲート評価の結果を踏まえ、委託研究の中止、縮小、実施体制の変更等を判断する場合がある。
- 機構は、研究開発終了時に終了評価を実施する。
- 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。

## 9. 成果の社会実装等に向けた取組

- Beyond 5G の実現を支える技術として、空間多重ファイバ技術の研究開発状況と光海底ケーブルシステムの進展状況知的財産戦略及び標準化戦略、さらには社会実装と海外市場への展開戦略を記載すること。
- 社会実装・海外展開に向けた事業計画を明確とすること（委託研究後の事業化等に向けた取組を明確にする）。
- 上記の社会実装・海外展開を実現するため、提案に先立ち、事業計画を練り、その実現に向けた研究開発提案を検討すること。また、必要に応じて、成果発表やそれに留まらずコミュニティ先導のための国際ワークショップや国内セッション開催、展示、標準化等を行うこと。
- 空間多重ファイバ技術の研究開発状況と光海底ケーブルシステムの進展状況を考慮しつつ、社会実装に向けた出口戦略を立案すること。
- 以上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権利化、対外成果発表を通して、課題の技術開発方針の妥当性を検証しつつ、成果の普及・社会実装等に向けて必要な取組を行うこと。
- 産学官連携体制の構築、研究開発の成果を参加企業等が社会実装に向ける枠組み形成に努めること。