

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 107

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
次世代の給電方式を用いた超長距離大容量伝送システムに関する
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次世代の給電方式を用いた超長距離大容量伝送システムに関する研究開発』

2. 背景及び課題

海に囲まれている日本は国際通信の 99%を光海底ケーブルシステムに依存しており、光海底ケーブルは経済安全保障上の最重要情報通信インフラの一つといえる。特に地政学的観点から、3000 km 級の近海光海底ケーブルのみならず、太平洋横断の可能な 1 万 km級の超長距離光海底ケーブルシステムについて主導的に技術革新を継続していくことが重要である。国際的な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、現在の太平洋横断級の光海底ケーブルはファイバあたりで毎秒 10～20 テラビットの伝送容量を有するが、今後 AI データセンターの誘致等を通じた情報流通の拠点化を進めていく上で、光海底ケーブルの伝送容量は毎秒 1 ペタビット以上に増強することが求められる。

海底ケーブルの伝送容量は 2 つの要因により制限される。一つはスペースの制約である。シングルコアファイバ中心の時代にはケーブルあたりの収容ファイバ数を増やすことがケーブルの容量拡大に寄与したが、海底ケーブルや中継器内の利用可能空間は限られている。現在はより空間利用効率の高いマルチコアファイバ（MCF: Multi Core Fiber）が開発され、2018 年度総務省 ICT 重点技術研究開発プログラム「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）」の研究開発成果である 2 コアファイバが、世界に先駆けて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となっている。

もう一つの制限要因は給電電力である。陸側の給電装置（PFE：Power Feeding Equipment）の給電能力には限界があり、またケーブルの電気抵抗により給電電力の 50%近くが失われるため、信号強度・品質を維持するための光増幅中継器を回線上に無尽蔵に配置することはできない。先の OCEANS では電力制限の影響が少ない 3000 km 級の近海光海底ケーブルに関し、4 コアファイバによってケーブル容量を毎秒 1 ペタビット以上に拡大できることが実証された。しかし電力制限の影響が大きい 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、現在は伝送容量の拡大が困難であり、将来的に給電能力の向上を図っていくとともに、電力制限とスペース制限を十分考慮した設計技術を新たに開発する必要がある。

3. 内容

本委託研究では、給電電力制限により現在大容量化が困難な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毎秒 1 ペタビット以上の伝送容量と 15 エクサビット毎秒・km 以上の容量距離積（以下、「目標水準」という。）を実現するための基盤技術として、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。項目 1 と 2 はそれぞれ異なるアプローチ（超長距離、超大伝送容量）から目標水準の達成と給電電力に関する要求条件の解明を目指すもので、項目 3 はそれらの統合的な検証及び将来の光海底ケーブルシステム開発を見据えた環境、プラットフォーム開発である。

・研究開発項目1：超長距離大容量伝送の設計技術に関する研究開発

15,000km級の伝送距離を想定し、従来の(シングルコアファイバ用の)超長距離伝送設計方式を、空間チャネル数が増大し複雑化した非結合型マルチコアファイバ用に再設計する。シングルコアファイバと同様のパラメータ(中継器間隔、送信光出力強度、光ファイバ伝送損失、波長依存性)に加えてコア数、コア間クロストーク及びその波長依存性やコア間偏差などを考慮する。各パラメータが及ぼす影響力を評価しつつ許容限界や動作点を適切に設定し、目標水準以上の伝送性能を実現するとともに、給電電力に関する要求条件を明らかにする。研究開発項目3で構築される実証プラットフォームを利用し、数値計算及び伝送実験による検証を、開発の進展に応じ段階的に実施する。

・研究開発項目2：周波数拡大・効率最適設計技術に関する研究開発

実際の大規模通信に顕在するトラヒック需要の非対称性を踏まえ、対称トラヒックを前提とした従来の回線設計やシステム構成を見直し、非対称トラヒックを前提とした次世代の超大容量(毎秒1～数ペタビット)長距離光伝送システムの構成を、給電電力制限環境下で確立する。具体的には、片方向のトラヒックの優勢度や統計的なトラヒックの偏り、冗長性要求などを総合的に考慮した容量配分、装置構成、電力制御方式を検討し、目標水準の達成に資する多重化、変調、符号化方式や光ファイバ、増幅器、中継器、線路監視機構等の構成、そしてトラヒックパターンを踏まえたネットワーク設計指針を明らかにする。特に従来のC帯に加えてL帯などを含む波長多重のマルチバンド化や、マルチコアファイバのコア数やコア間クロストークに関する要件を、給電電力制限環境下で検討し、実運用を見据えた設計・運用指針(CAPEX/OPEX、エネルギー効率、スケーラビリティ)を提示する。

・研究開発項目3：超長距離大容量伝送のフィジビリティ検証に関する研究開発

研究開発項目1、2において、パラメータの波長依存性やコア間偏差等を考慮しつつ、伝送システムの性能を検証し給電電力要件を明確化するための実証プラットフォームを構築する。実証プラットフォームは広範なパラメータ調査を主眼としたシミュレーション環境と、WDM光源、送受信器、周回マルチコアファイバ伝送系などから構成され、重要なパラメータの変更機能を有する実験系から構成される。本研究及び将来の非結合型マルチコアファイバ利用の光海底ケーブルシステム開発において、より多数の試行を通じた多角的な性能検証を可能とする自動化された実証プラットフォームを構築する。

4. アウトプット目標・アウトカム目標

・研究開発項目1 超長距離大容量伝送の設計技術に関する研究開発

2028年度末におけるアウトプット目標(最終目標)

前年度に抽出した、影響の大きい伝送パラメータ少なくとも2つ以上に関して最適化を実施し、伝送距離を延伸する伝送設計技術を確立、実験により目標水準(毎秒1ペタビット以上の伝送容量と15エクサビット毎秒・km以上の容量距離積)を達成し、給電電力要件を明らかにする。

2027 年度末におけるアウトプット目標

目標水準の達成に向け、空間チャネル数（コア数）や周波数帯域幅（C 帯）等、システム性能への影響が大きい伝送パラメータを抽出し、各パラメータ単体での重みの検証、適用範囲の見通しをたてる。

・研究開発項目 2 周波数拡大・効率最適設計技術に関する研究開発

2028 年度末におけるアウトプット目標（最終目標）

非対称トラヒックを想定した次世代超大容量長距離光伝送システムの設計及び運用指針の明確化、目標水準の達成要件の明確化と基本実証を達成する。

2027 年度末におけるアウトプット目標

非対称トラヒックを想定したシステムモデルの構築と要求条件の定式化を完了する。供給電圧やファイバ収容数など、システム設計パラメータの前提条件を整理し、空間チャネル数（コア数）や周波数帯域幅、CAPEX や OPEX、将来的な設備更改の頻度などを併せて、最適化の優先順に関わる設計方針の明確化を完了する。

・研究開発項目 3 超長距離大容量伝送のフィジビリティ検証に関する研究開発

2028 年度末におけるアウトプット目標（最終目標）

伝送パラメータ設定の自動化を完了し、非結合型マルチコアファイバを利用した光海底ケーブルシステムの伝送容量と伝送距離を多角的に検証可能な実証プラットフォームを確立する。研究開発項目 1 又は項目 2 にて実験による目標水準の達成を確認し、実験結果がシミュレーション結果と一定の誤差の範囲内に収まることを確認する。

2027 年度末におけるアウトプット目標

研究開発項目 1、2 で実施する伝送パラメータの系統的影響評価に関し、シミュレーションと実験による個別の検証を可能とする。また構築する実験系が研究開発項目 1、2 の方法で、目標水準の性能を達成し得る事をシミュレーション等により検証する。

アウトカム目標

- ～2030 年 給電電力制限環境下において目標水準の性能を達成する超長距離・超大容量の光海底ケーブル伝送を実現する技術の研究開発を完了
- ～2033 年 商用化向けの信頼性検証と、安全保障を考慮したサプライチェーン体制の構築
- ～2035 年 超長距離・超大容量システムの実用化/商品化

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。