

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 109

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  
柔軟で高信頼なリージョナル海底マルチコアファイバネットワー  
ク実現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柔軟で高信頼なリージョナル海底マルチコアファイバネットワーク実現技術に関する研究開発』

## 2. 背景及び課題

2030年代に導入が見込まれる Beyond 5G (B5G) は、サイバー空間とフィジカル空間（現実世界）が高度に融合し、社会課題解決と経済成長を両立する社会（Society 5.0）の実現を支えるインフラとして中核的な役割を担うことが期待されている。革新的情報通信技術（Beyond 5G(6G)）基金事業では、B5G について、国際競争力の強化や経済安全保障の確保を図るため、研究開発自体を目的化する発想や国内市場中心の発想から脱却して、グローバルな視点に立って世界で活用されることを念頭に置き、我が国発の技術を確立し、社会実装・海外展開を志向した戦略的なプロジェクトを重点的に支援することを主たる目的としている。「Beyond5G に向けた情報通信技術戦略の在り方」中間答申（令和4年6月 情報通信審議会）において、我が国が注力すべき B5G の重点分野の一つと整理されたオール光ネットワークは、B5G に対する社会的要請のうち、特に、環境負荷低減や信頼性・強靭性を実現する上での鍵となる技術である。

オール光ネットワークの適用領域を世界規模で拡大するためには、陸上系オール光ネットワーク技術のみならず、海底系オール光ネットワーク技術に関する研究開発を戦略的かつ一体的に推進することが不可欠である。特に、四方を海に囲まれた島国である我が国においては、情報流通拠点化や経済安全保障の観点から、情報通信基盤を支える海底ケーブルが国家の社会・経済活動を支える最重要インフラの一つである。今後、アジア地域が経済的・政治的に一層の存在感を高めていく中で、我が国と近隣諸国を海底ケーブルで結ぶリージョナル海底ネットワークの重要性がますます増大していくことは、明らかである。このため、今後のリージョナル海底ネットワークにおいては、更なる大容量化が求められており、空間利用効率の高いマルチコアファイバ（MCF）の導入が検討されている。今後、商用海底ケーブルシステムへの導入が既に公表されている2コアファイバ（2CF）から4コアファイバ（4CF）への進展が考えられる。

さらに、前述の情報流通拠点化及び経済安全保障の観点から、トラヒック需要変動に即応した接続先及び通信容量の柔軟な制御を可能とする接続柔軟性と、自然災害、人為的障害及び装置故障に対する高い強靭性（信頼性）の確保が強く求められる。リージョナル海底ネットワークでは、複数の海底ケーブルの接続点となる海底光ノードによって、伝搬する光信号を適切な粒度で経路を切り替えることで、トラヒック需要に応じた通信容量を提供することができる。また、複数の陸揚げ地点を有するようにネットワークを構築することで、自然災害等による海底ケーブル切断時に海底光ノードによって光信号を別の海底ケーブルへ迂回させるネットワーク再構成によって接続性を維持できる。そのため、今後の MCF の導入を見据えて、MCF 海底ケーブルに対応した長期運用可能な海底光ノードを開発する必要がある。

本委託研究の目的は、柔軟で高信頼なリージョナル海底 MCF ネットワークを実現する上で必要な、非結合 MCF に対応した海底光ノードアーキテクチャ技術と、小型・低損失・高信頼・MCF 光デバイス技術、小型・高信頼光増幅技術を世界に先駆けて確立し、我が国の空間多重（SDM）技術のリード拡大に資することである。

### 3. 内容

本委託研究が対象とするリージョナル海底ネットワークには、ポイント・ツー・ポイント(P2P)、フィッシュブーン、リングなど種々のネットワーク・トポロジーがある。

将来の導入が検討されている非結合 4CF の海底ケーブルを用いたリージョナル海底ネットワークにおける柔軟で高信頼な運用を実現するため、以下に示す3つの研究開発項目(1)海底 MCF 光ノードアーキテクチャ技術、(2)海底 MCF 光ノードを構成する小型・高信頼 MCF 光デバイス技術、(3)海底 MCF 光ノードの損失を補償する小型・高信頼 MCF 光増幅技術に取り組む。さらに、各課題担当者との連携の下、以下に示す研究開発項目1、2、3の成果を組み合わせることで、4CF から構成されるトランク海底ケーブルの途中に配置された海底 MCF 光ノードにおいて、種々の粒度で柔軟な接続・切り替えが可能であることを実証する。

#### ・研究開発項目1：海底 MCF 光ノードアーキテクチャ技術

現行の海底光ノードは、主に2つの光スイッチ（トランク海底ケーブル内に収容された複数の単一モードファイバ（SMF）の中から特定の SMF ペアを分岐・挿入する光スイッチと、ブランチ海底ケーブル内の SMF ペアを伝搬する波長多重光信号のうち、特定の波長成分のみを分岐し、それ以外の波長成分を通過させる機能を有する波長選択スイッチ（WSS：Wavelength Selective Switch））を用いている。

4CF に対応した海底光ノードを従来技術で実現する場合、その構成は、4CF の4本のコアをファンイン・ファンアウト（Fan-In/Fan-Out（FIFO））デバイスによって4本の SMF に分離した上で、既存の SMF 用の光スイッチ及び WSS に接続する構成となる。しかしながら、海底光ノードの筐体は、海底ケーブル敷設船における船内設備のサイズ制約や信頼性、コスト等の観点から、現状以上の大型化は困難である。したがって、光デバイス数が実質的に4倍となるこのアプローチでは必要な数量の光デバイスを海底光ノードの筐体に収容することができず、現実的ではない。

以上のことから、海底ケーブルシステムに求められる長期信頼性を担保しつつ、4CF 化に対応可能な新たな海底光ノードアーキテクチャを開拓することが、早急に解決すべき重要課題である。そのための有望な光分岐のアプローチとして、従来の SMF 単位や波長単位のスイッチ粒度を、より大きな 4CF 単位やコア単位の粒度でスイッチするアプローチが有効と考えられている。これにより、4CF を収容しつつ、光デバイス数を大幅に削減することが可能になると期待される。

研究開発項目1では、将来の4CF 海底ケーブルを使用したリージョナル海底 MCF ネットワークにおいて、将来のトラフィック需要の変動、段階的な運用開始及び不測の事故等による障害状況に応じて、4CF 単位やコア単位といった多様な粒度で接続設定及び切り替え設定が可能な、海底 MCF 光ノードアーキテクチャ技術の確立に取り組む。

#### ・研究開発項目2：海底 MCF 光ノードを構成する小型・高信頼 MCF 光デバイス技術

本委託研究で対象とするリージョナル海底 MCF ネットワークにおいても、障害発生時の迅速な冗長切り替えや柔軟なネットワーク再構成、さらには光資源の効率的な利用を可能とする海底 MCF

光ノードの光分岐・挿入機能を実現するために、海底という実運用環境を想定した高信頼化及び 25 年以上の長期運用を前提とした上で、MCF 対応の光スイッチの実現が不可欠である。

研究開発項目 2 では、4CF 単位で切り替え可能な光スイッチや、4CF 内の各コアをコア単位で切り替え可能な 4CF コア選択スイッチといった 4CF ベース光スイッチに加え、4CF 光増幅を実現する上で不可欠な 4CF アイソレータや 4CF WDM カップラなどの 4CF ベース受動光デバイス（以下、「4CF ベース光スイッチ等」という。）について、小型と高信頼を両立させるための設計技術及び製造技術の開拓に取り組む。

#### ・研究開発項目 3：海底 MCF 光ノードの損失を補償する小型・高信頼 MCF 光増幅技術

SMF を 4CF に置き換えた場合、ケーブル内のコアペア数は 24 から 4 倍の 96 に増加する。これらすべてに対して従来の SMF ベース光増幅器ペアを用いて中継増幅を行おうとすると、同一サイズの光中継器ユニット内に 4 倍の SMF ベース光増幅器ペアを収容する必要が生じることになる。これは、スペースに限りのある海底光ノードにおいて、ノード内の損失を補償するための光増幅器についても同様の問題が生じる。このため、4CF に対応した海底光ノードにおける光増幅を実現するには、海底という実運用環境を想定した高信頼化及び 25 年以上の長期運用を前提とした上で、従来の SMF ベース光増幅器と比較して、コア当たりの体積を 1/4 以下に小型化した光増幅器が求められる。

研究開発項目 3 では、海底 MCF 光ノード内部における損失補償を担う光増幅技術を対象として、その小型化及び高信頼化技術の開拓に取り組む。

## 4. アウトプット目標・アウトカム目標

### アウトプット目標

#### ・研究開発課題全体の 2028 年度末におけるアウトプット目標（最終目標）

研究開発項目 1、2、3 の成果を統合し、非結合 4CF から構成されるトランク海底ケーブルの途中に配置された海底光ノードにおいて、多様な粒度（4CF/コアなど）で柔軟に接続切り替えが可能なことを実証する。

次に、研究開発項目 1、2、3 の個別の目標を示す。

#### ・研究開発項目 1 海底 MCF 光ノードアーキテクチャ技術

##### 2028 年度末におけるアウトプット目標（最終目標）

将来のリージョナル海底 MCF ネットワークにおいて、需要に応じて 4CF 単位やコア単位などの多様な粒度で分岐・挿入可能な海底 MCF 光ノードアーキテクチャを確立し、その有効性を示す。

##### 2027 年度末におけるアウトプット目標

将来のリージョナル海底 MCF ネットワークにおいて、需要に応じて 4CF 単位やコア単位な

どの多様な粒度で分岐・挿入可能な海底 MCF 光ノードアーキテクチャを提示する。研究開発項目 1、2、3の成果を統合した実証実験系と実証項目、実証シナリオを明らかにする。

• **研究開発項目 2 海底 MCF 光ノードを構成する小型・高信頼 MCF 光デバイス技術**

2028 年度末におけるアウトプット目標（最終目標）

4CF ベース光スイッチ等について、小型化と高信頼化を実現するための設計・製造技術を確認し、その有効性を実証する。小型化については、従来の SMF ベース光デバイスと同程度のサイズで 4CF ベース光デバイスを実現する（コア当たりの体積を 1/2 程度以下）ことを目標とする。また、従来の SMF ベース光デバイスと同様の高信頼化設計を採用することにより、海底用途レベルの信頼性を確保することとする。

2027 年度末におけるアウトプット目標

4CF ベース光スイッチ等を試作し、小型化と高信頼化を実現するために必要な設計・製造技術に見通しをつける。また、海底 MCF 光ノード損失補償用の MCF 光増幅器を構成する MCF 光受動デバイスの設計指針を明らかにする。

• **研究開発項目 3 海底 MCF 光ノードの損失を補償する小型・高信頼 MCF 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）

海底 MCF 光ノードの損失を補償する MCF 光増幅技術の小型化及び高信頼化に関する設計・製造技術を確認し、その有効性を実証する。小型化については、従来の SMF 光増幅器と比較して、コア当たりの体積を 1/4 以下に削減した 4CF 光増幅器の実現を目標とする。また、高信頼化については、各種 4CF 光デバイスを接続するための、長期安定性及び機械的強度に優れた融着接続技術を確認することを目指す。

2027 年度末におけるアウトプット目標

海底 MCF 光ノード内部の損失補償を担う、リージョナル海底 MCF ネットワーク向け 4CF 光増幅器において、その小型化及び高信頼化に関する要素技術を確認する。

**アウトカム目標**

2032 年 4CF ベース光スイッチ及び 4CF 光増幅器について市場提供を可能とするための技術的・製造的準備の完了

2034 年 リージョナル海底 MCF ネットワークへ 4CF ベース光スイッチ及び 4CF 光増幅器の実導入を開始

**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。