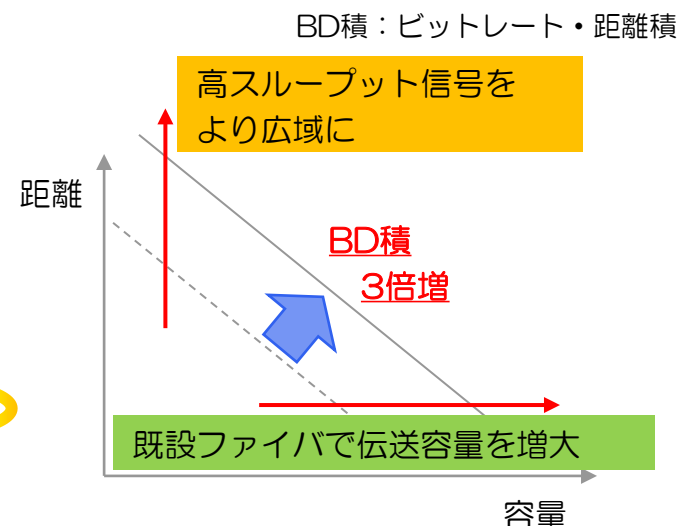
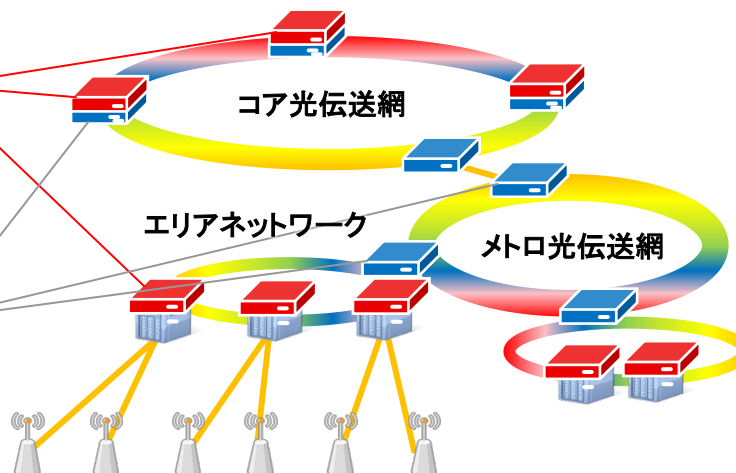


1. 研究課題・受託者・研究開発期間・研究開発予算

- ◆研究開発課題名 Beyond 5G超高速・大容量ネットワークを実現する帯域拡張光ノード技術の研究開発
- ◆副題 光ネットワークのビットレート距離積拡張に向けた帯域拡張光ノード技術の研究開発
- ◆受託者 富士通(株)、日本電信電話(株)、古河電気工業(株)
- ◆研究開発期間 令和4年度～令和5年度(2年間)
- ◆研究開発予算(契約額) 令和4年度から令和5年度までの総額6,000百万円(令和5年度2,000百万円)

2. 研究開発の目標

・従来商用化レベルにある光ネットワーク技術に対してビットレート・距離積(BD積)を3倍以上に拡大する帯域拡張ノード技術を確立する。距離(D)の拡張に関しては、送受信システムのボーレートとして、150Gbaud以上を実現し、1Tbps級で500km伝送を可能とする。帯域(B)の拡張に関しては、従来のC帯、L帯に加え、S帯およびU帯にかかる帯域を開拓することで、従来の3倍以上の波長領域資源を経済的に活用可能にする。

光送受信機の帯域拡張
(150Gbaud以上)波長多重ノードの帯域拡張
(従来比3倍以上)

研究開発項目1 帯域拡張光送受信技術の研究開発

現在一般的に幅広く商用化されている60Gbaud級および最近商用化が開始された90Gbaud級に対して、150Gbaud級を実現することで、1Tbps級の光信号の500km伝送が可能な光送受信システムを実現に必要な、基盤技術を確立する。要素デバイスに要求される仕様を明確化した上で、それらの開発を行い、これを統合することで帯域拡張光送受信技術を確立する。

研究開発項目2 帯域拡張波長多重光ノード構成技術の研究開発

従来の送受信機の利用のみでネットワークの帯域拡張を行う波長帯一括変換技術を用いた帯域拡張波長多重ノード技術の開発を行う。帯域拡張波長多重ノードの実現に必要な波長帯一括変換技術と励起光源・増幅技術及びそれらを統合する制御技術を開発し、帯域拡張波長多重ノード技術を確立する。

3. 研究開発の成果

研究開発項目1 帯域拡張光送受信技術の研究開発

研究開発項目1-a 帯域拡張光送受信機構成技術（富士通株式会社）

【最終目標】

- 150Gbaud級によって500kmを1Tbps級伝送が可能な光伝送システムの技術を確立する。

【2023年度までの目標】

- 130Gbaud超級光送受信システムの原理試作を完成させる。
- 130Gbaud超級光デバイスのひずみを高精度に補償するアルゴリズムを確立する。
- 最終目標である150Gbaud級の光デバイスの仕様における課題、変調方式などの伝送パラメータ候補の得失評価を行う。

【最終成果】

- 130Gbaud超級のシミュレーション結果を基にデバイス性能仕様を作成し、光デバイスの試作・評価を行い、光送受信システムの原理試作を完成した。
- 130Gbaud超級光デバイスのひずみを高精度に補償するアルゴリズムを確立し、130Gbaud級原理試作を用いた実機評価を完了した。
- 光伝送シミュレーション環境を用いて、150Gbaud級の光伝送システムの光ファイバ伝送に伴う劣化要因を定量化した。
- 原理試作機を用いた伝送評価で1Tbps 500km伝送を行い、目標の実現に向けた課題抽出を完了した。

研究開発項目1-b 超高ボーレート光送信デバイス技術（日本電信電話株式会社）

【最終目標】

- 超高ボーレート光送信デバイスの主要構成要素デバイス技術の研究開発を行い、帯域プロファイル最適設計を行った150Gbaud級CDM (Coherent Driver Modulator)の構成要素デバイス技術の確立、及び150Gbaud超級CDMに向けた構成要素デバイス設計技術を確立する。

【2023年度までの目標】

- 150Gbaud級ドライバICの原理検証試作の実施と、課題抽出を行う。CDMの動作波長範囲拡大制御技術を実証する。

【最終成果】

- 150Gbaud級ドライバICの原理試作結果から、シミュレーション手法および回路設計の課題抽出と、その対策に関する検討を完了した。
- 変調器素子の動作波長範囲拡大制御に向けた基礎検討を実施し、制御可能な技術的見込みを得た。

研究開発項目1-c 帯域拡張光送受信機光源技術（古河電気工業株式会社）

【最終目標】

- 超高ボーレート化を実現するための信号用光源の開発を行う。半導体レーザとパッケージング技術を組み合わせることにより帯域拡張技術及び150Gbaud級伝送に使用可能な50kHz級信号用光源の実用化にむけた基盤技術を確立する。

【2023年度までの目標】

- 50kHz級レーザの方式の比較検討を行い、特性確認を行うための測定系を整備するとともに、原理確認試作を行うことで基礎設計を確立する。
- 50kHz級レーザの試作を行い課題の抽出を行う。またパッケージング設計をするとともに試作設備の整備を行う。

【最終成果】

- 線幅50kHz級レーザの方式を比較検討するための原理確認試作を行い、フルCバンド帯で線幅50kHz以下を実現できる基礎設計を確立した。
- 50kHz以下の狭いスペクトル線幅や位相雑音を測定可能な測定系、及び設計したパッケージング試作を可能とする、精密組み立て設備を整備した。
- 線幅50kHz級レーザの試作を行うことによって課題を抽出し、各課題に対応できるパッケージング設計を完了した。

3. 研究開発の成果

研究開発項目2 帯域拡張波長多重光ノード構成技術の研究開発

研究開発項目2-a 帯域拡張波長多重ノード構成技術（富士通株式会社）

【最終目標】

- ・ 帯域拡張波長多重ノード内の帯域拡張に必要な制御技術の開発を行い、波長資源を既存の3倍以上に拡大可能であることを示し、帯域拡張波長多重光ノード構成技術を確立する。

【2023年度までの目標】

- ・ 各機能ブロック間の制御方式を確立するためのシミュレーション環境を構築する。
- ・ S帯にかかる短波長領域からL帯の波長範囲における帯域拡張波長多重ノード全体の制御方式及び仕様を明確化して基本設計を完了する。

【最終成果】

- ・ S帯にかかる短波長領域からU帯にかかる長波長領域における伝送性能を計算するシミュレーション環境を構築し、得られた結果から各機能ブロック間の制御方式を確立するための指針を得た。
- ・ 波長帯一括変換や集中ラマン増幅など機能ブロックの配置やノードレベルダイヤなど帯域拡張波長多重ノードの制御方式と仕様を明確化して、基本設計を完了した。

研究開発項目2-b 波長帯一括変換技術（日本電信電話株式会社）

【最終目標】

- ・ 項目内統合検証により、波長資源を既存の3倍以上に拡大可能なことを示し、波長帯一括変換基盤技術を確立する。

【2023年度までの目標】

- ・ 既存帯域の3倍以上の波長資源拡大に向けてC帯とS帯にかかる短波長領域、加えてL帯を活用した、ロスレス波長帯一括変換技術を実証する。

【最終成果】

- ・ 既存のL帯と、U帯にかかる長波長領域において高次多値のデジタルコヒーレント信号の波長多重増幅中継伝送を世界に先駆けて実証、長波側の波長資源拡大の可能性を早期に示した。
- ・ 既存帯域と新規開拓波長帯間の波長帯一括変換ユニットを試作し、5dBを超える変換利得を達成。これを用いて2023年度目標を超えるS, C, L, U 4バンド帯域(~16THz)でのデジタルコヒーレント信号の波長多重伝送に成功し、ロスレス波長帯一括変換技術を実証した。

研究開発項目2-c 帯域拡張光増幅・光源技術（古河電気工業株式会社）

【最終目標】

- ・ 帯域拡張光多重ノード内で使われる励起光源等および波長資源を既存の3倍以上に拡大可能とする光増幅器の基盤技術を確立する。

【2023年度までの目標】

- ・ 高密度実装を可能とする励起光源のパッケージ設計を行うとともに、S帯にかかる短波長領域用集中ラマン増幅特性を実験により確認し設計を終了させる。U帯にかかる長波長領域用の励起光源の試作を行う。また前方励起ラマン用光源の高出力化をおこない、前方励起ユニットの設計を行う。また波長帯一括変換用の1.5 μ m帯励起光源の特性改善試作を実施する。

【最終成果】

- ・ S帯用及びU帯の励起光源の高出力化を行い、高密度実装を可能とするパッケージ設計にてDualポートラマンポンプを開発した。開発した帯域拡張用励起光源を用いC帯での実験を経てS帯の短波長領域用集中ラマンの光学構成を確立し、暫定仕様を満たす利得と雑音指数を達成した。またU帯長波長領域用集中ラマンの実験を行い基礎設計を完了させた。C帯、L帯の前方励起ラマン用励起光源を高出力化を行い、S帯用でも同等以上の高出力化を行った。また波長帯一括変換用の1.5 μ m帯励起光源の特性改善試作を行い、18%以上の高出力化を達成した。

4. 特許出願、論文発表等、及びトピックス

国内出願	外国出願	研究論文	その他研究発表	標準化提案・採択	プレスリリース 報道	展示会	受賞・表彰
9 (6)	5 (4)	2 (2)	42 (31)	2 (2)	6 (5)	3 (1)	1 (1)

※成果数は累計件数、()内は当該年度の件数です。

(1) 主な学会発表

以下をはじめとする多数の発表を行い、成果の普及と本プロジェクトの成果と意義について発信を行った

- ・主要国際会議として、OFC2023: 3件、ECOC2023: 2件、SPIE Photonics West2024: 3件、OFC2024: 5件ほか
- ・Beyond 5Gに関する情報発信として、2023年電子情報通信学会ソサイエティ大会企画セッション「Beyond 5G超高速・大容量ネットワークを実現する帯域拡張光ノード技術の研究開発」ほか

(2) プレスリリース

- ・研究成果の一部を含む形で世界初の1.2Tbps 336kmフィールドトライアルに成功した成果について、プレスリリースを実施した(2023年10月30日)
- ・研究開発成果の一部を切り出して適用、実用化した業界トップ性能を有する高出力低消費電力の帯域拡張ラマン増幅器用励起光源に関し、4件のプレスリリースを実施した(2023年9月29日、2024年1月26日、2024年3月22日(2件))

(3) 標準化活動

- ・2023年7月以降、ITU-T SG15 Q6において、ROADMアーキテクチャに関するG.672にマルチバンドの概念拡張を導入するための2件の寄書提案を行い、方針に賛同を得て現在Appendix合意に向けた議論を先導している
- ・2023年9月以降、IOWN Global Forumにおけるオールフォトニクスネットワークの議論において、帯域拡張技術に関するコーディネータに就任し議論をリードしている
- ・IEC、OIF、IEEEなどの場において、提案に向けた情報収集と方針の検討を開始している

(4) その他

- ・2024年3月末までに、受託者間調整会議を40回、外部有識者を委員とする研究開発運営委員会を3回開催し、研究開発活動の質の向上に努めた
- ・OFC2024においてThe Tingye Li Innovation Prizeを受賞

5. 研究開発成果の展開・普及等に向けた計画・展望

- 2024年度以降、「社会実装・海外展開志向型戦略プログラム」に基づき、経営層による事業コミットメントの下、委託研究から助成事業に移行して2027年度まで研究開発を継続する予定
- 海外競合との競争激化を念頭におき、最終目標を上方修正することで、各社の技術優位性を一層高める予定