

令和 4 年度研究開発成果概要書

採 択 番 号 04501
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
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 2 帯域拡張波長多重光ノード構成技術の研究開発
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

(1) 研究開発の目的

モバイルアクセスの超高速・大容量化を実現しつつ、超低消費電力化を推進するためには、バックボーンとなる光ネットワークの進化として、大容量の光波長チャネルを広範囲にエンド・ツー・エンドで届けることが重要である。光ネットワークの大容量化については、既にマルチコアファイバ等を活用した空間分割多重 (SDM) 技術の研究開発が進められているが、これと並んで、チャネル当たりのビットレート・距離積 (Bitrate-Distance 積、BD 積) を拡張し、組み合わせることが極めて効果的である。

本研究開発では、光送受信機と波長多重ノードそれぞれの帯域拡張を実現し、それらを組み合わせることで、現在商用レベルにある技術に対して、BD 積を 3 倍以上に拡大する。これによって、波長あたり 400Gbps、800Gbps、1Tbps などの大容量光波長チャネルの到達範囲を拡大させる。また、本研究開発成果により、エンド・ツー・エンドの波長パスの容量と到達範囲を同時に拡大することができれば、Beyond 5G (B5G) における通信需要の増大に対応できるばかりか、ネットワーク中の光・電気・光変換の回数を低減することを通じてネットワークの遅延と消費電力を低減することも可能となる。このようにオールフォトニクス・ネットワークの適用範囲を広げることは、光ネットワーク技術の一層の強化を図るとともに、B5G で実現される 2030 年代の各種サービスの持続的発展に大きく寄与する。

(2) 研究開発期間

令和 4 年度から令和 8 年度 (5 年間)

(3) 受託者

富士通株式会社<代表研究者>
日本電信電話株式会社
古河電気工業株式会社

(4) 研究開発予算 (契約額)

令和 4 年度 4,000 百万円 ※百万円未満切り上げ

(5) 研究開発項目と担当

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)
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)
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)

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)
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)
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)

(6) 特許出願、外部発表等

		累計 (件)	当該年度 (件)
特許出願	国内出願	4	4
	外国出願	0	0
外部発表等	研究論文	0	0
	その他研究発表	11	11
	標準化提案・採択	0	0
	プレスリリース・報道	1	1
	展示会	2	2
	受賞・表彰	0	0

(7) 具体的な実施内容と成果

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

130Gbaud 級の光送受信システムの予備試作を完成させ、特性評価を実施し、期待値と同等の結果を得た。本評価結果をシミュレーションモデルに取り込み、130Gbaud 超級の信号に対応したシミュレーションモデルの構築を行い、予備試作の実機特性と整合する結果を得た。次に本シミュレーションモデルを用いて、信号対雑音比が最適となるデバイス特性を検討し、130Gbaud 超級の各デバイスの性能仕様の作成を完了した。さらに、クライアント信号の帯域を拡張する検討を、800Gbps プラガブルモジュールを用いた事前検証により完了した。これらによって、130Gbaud 超級の光伝送システムの原理試作の基本検討を完了した。

光伝送システムのシミュレーションモデルと伝送路部のシミュレーションモデルから光伝送シミュレーション環境を構築した。次に 150Gbaud 級信号の伝送品質に影響を与える各種劣化要因について構築した環境を用いて定量化を行い、150Gbaud 級の光送受信システムの伝送性能の見積りを完了した。これにより、1Tbps 級の信号の 500km 以上の伝送可能な変復調方式の候補を確定した。

研究開発項目 1-b) 超高ボーレート光送信デバイス技術

従来の 130Gbaud 級のドライバ内蔵コヒーレント変調器モジュール (CDM) の特性および伝送特性から、150Gbaud 動作に要求される CDM の特性を推定することにより、150Gbaud 級ドライバの目標仕様を明確化し、高周波特性のマスクを規定した。更には、目標仕様を元にした回路設計およびシミュレーションを実施し 150Gbaud 動作の見通しを得た。CDM の波長範囲拡大に向けては、C+L 帯光源を備えた測定系を構築し、基礎検討として C 帯 CDM を用いた L 帯への動作波長範囲拡大の検証を実施し、動作条件を調整することにより範囲拡大可能であることを実験的に確認した。また、超高ボーレート光デバイスを測定するための広帯域特性評価系構築を完了した。

研究開発項目 1-c) 帯域拡張光送受信機光源技術

レーザ線幅 50kHz 級を達成可能なレーザ構造の比較検討を行い、それをもとに原理確認試作を実施した。また位相ノイズ特性測定系を構築し原理確認試作品の測定を行い、共振器長、フィルタ構造を変更することにより 20~100kHz の線幅の結果を得られた。これにより設計に必要なパラメータを確認し基礎設計を確定した。

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

帯域拡張波長多重ノードの機能ブロックの仕様を決定するため、波長帯一括変換器や波長選択スイッチなどの配置が異なる複数のノード構成の候補を策定し、各候補において机上検討によるレベルダイヤやノード特性の比較をして、候補の絞り込みを行った。ノード制御については

複雑な制御を緩和する擬似波長光の効果を確認した。以上をもって帯域拡張波長多重ノードの基本アーキテクチャの策定を完了した。また帯域拡張波長多重ノード評価系、帯域拡張伝送評価系、高速信号評価系の設計を完了し、それらの構築を開始した。

さらに 2024 年以降に検討する長波長側への波長資源開拓に向け、項目 2-b) と連携し、先行して U 帯にかかる長波長側の伝送可能性を確認した。

研究開発項目 2-b) 波長帯一括変換技術

偏波多重信号に対応した 2 種類の波長帯一括変換ユニットの構成を策定し、既存帯域用の光パラメトリック光信号処理ユニットを用いて、入出力特性等を抽出し、基本設計を完了した。また、C 帯と S 帯にかかる領域の波長帯一括変換ユニットの試作評価を実施し、ロスレス変換の原理実証を完了した。さらに、項目 2-a) と連携し、2024 年度以降検討する長波長側への波長資源開拓に向けて、先行して信号伝送の可能性を確認する必要性を議論し、U 帯における波長多重伝送の可能性を 60 波長の 96Gbaud の高速高次多値信号を用いて実験的に確認した。

研究開発項目 2-c) 帯域拡張光増幅・光源技術

C 帯集中ラマン増幅器を試作した。増幅特性は、入力光信号強度が $-10\text{dBm}/\text{ch}$ の時、ラマン利得 20dB、総出力パワー 19dBm、雑音指数 5dB であることを確認した。増幅特性は EDFA と同等であるが消費電力が課題であることがわかった。S 帯における最初の取り組みとして、同様の構成と特性を実現することを目標とした。

これらを実証するための信号品質評価系を立ち上げた。また S 帯用励起光源を試作し最高光出力 975mW と従来比で 30% の向上を得て基本設計を完了した。当該技術成果をもとに、4 月以降の社会実装のためのサンプル対応を開始すべく、“高出力低消費電力駆動のラマン増幅器用ポンプレーザ FRL1441U シリーズの帯域拡張で S 帯・L 帯に対応” の題目でプレスリリースを行った。また波長帯一括変換用の励起光生成部の試作を行い 60kHz の線幅で 500mW 以上となり今後の設計指針を得られた。

(8) 今後の研究開発計画

研究開発項目 1 では、1 波長あたりのボーレートに着目し、光送受信機の一層の高速化を実現する。そのために、ドライバ IC 内蔵光変調器モジュール技術、狭線幅光源技術、高ボーレート動作特有の劣化要因を克服する補償技術を開発、統合し、波長あたり 1Tbps 級の信号を 500km 以上の伝送可能な光送受信機の構成技術を確認する。2022 年度は、光伝送システムの基本シミュレーションモデルを構築し伝送符号形式の候補抽出を完了した。2023 年度は 130Gbaud 超級光デバイスによる光送受信システムの原理試作を完了し、その実機評価を行い、150Gbaud 級光送受信システムを実現する最終目標に向けた課題の抽出を行う。2024 年度は、前年度の原理試作の改良試作を行い、これを用いて、様々な伝送路条件を組み合わせたシミュレーションと実験を実施する。この結果を用いて、最終試作における光デバイスの性能仕様を確定し、最終試作の基本設計を開始する。2025 年度は光送受信システムの最終試作の基本設計・詳細設計を完成させ、それに基づき、試作機を完成させるとともに、光送受信システムとしての単体評価および伝送性能評価を実施する。また更なる帯域拡大を実現する 150Gbaud 超級光伝送を実現するためのデバイス仕様の作成を行う。最終年度となる 2026 年度は前年度に試作した 150Gbaud 級光送受信システム最終試作機によって、1Tbps 級で 500km 以上の伝送と、研究開発項目 2 で検討する帯域拡張波長多重ノードを組み合わせた統合検証を実施し、これらにより BD 積 3 倍以上の性能向上を実証する。さらに、150Gbaud 超級光デバイスの予備試作の評価と光伝送評価を実施、150Gbaud 超級光伝送システムの実現可能性について検討を行う。

研究開発項目 2 では、従来の光伝送網で用いられてこなかった S 帯や U 帯にかかる波長帯などを含めた新たな波長資源を利用し、波長領域の資源を従来の 3 倍以上に拡張することを目指す。このための基盤技術として広帯域ラマン増幅技術、周期分極反転二オブ酸リチウム (PPLN) を非線形媒質として用いた波長帯一括変換技術、それらの励起光源を開発した上で各技術を統合し、帯域拡張波長多重ノード技術を確認する。2022 年度は、光レベルダイヤや機能ブロックの検討

を行い帯域拡張波長多重光ノードにおける課題を抽出し、基本アーキテクチャの策定を完了した。また波長帯一括変換技術、帯域拡張光増幅器およびこれらに適用する光源技術については必要となる要素技術を抽出し、一部の試作・評価を実施した。2023年度は帯域拡張波長多重光ノードの基本設計を完了し、波長帯一括変換技術、帯域拡張光増幅器およびこれらに適用する光源技術の部分試作を行う。2024年度は、帯域拡張波長多重光ノードの1次試作として、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光ノードの部分試作を完了し、最終目標の達成に向けた課題抽出を行う。また、波長帯一括変換技術、帯域拡張光増幅器およびこれらに適用する光源技術については試作評価をそれぞれ行い、課題を抽出する。2025年度は帯域拡張波長多重光ノードの2次試作として、L帯の波長範囲からU帯にかかる波長範囲における帯域拡張波長多重光ノードの部分試作を完了し、最終目標の達成に向けた課題抽出を行う。また、波長帯一括変換技術、帯域拡張光増幅器およびこれらに適用する光源技術については改良試作評価を行い、それぞれの技術を確立する。最後に2026年度はS帯からU帯にかかる波長範囲において帯域拡張波長多重光ノードの最終試作を行い、その動作を実証し、波長資源が既存の3倍以上に拡大可能なことを実証する。これにより、波長帯一括変換器、帯域拡張光増幅器の各サブシステム、およびこれらに適用する光源などの光デバイスの技術確立を確認する。