

令和 5 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ン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、チャン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ン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リクス・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 5 年度 (2 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)  
※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	9	6
	外国出願	5	4
外部発表等	研究論文	2	2
	その他研究発表	42	31
	標準化提案・採択	2	2
	プレスリリース・報道	6	5
	展示会	3	1
	受賞・表彰	1	1

(7) 具体的な実施内容と最終成果

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

デバイス仕様の策定に関して、130Gbaud 超級シミュレーションモデルを構築し、信号対雑音比が最適となるデバイス特性を検討し、送受信デバイスの性能仕様の作成を完了した。作成した性能仕様をもとに 130Gbaud 超級光送受信デバイスの設計・試作を完成させた。それらのデバイスを搭載した原理試作を完成させ、評価結果をシミュレーションモデルにフィードバックし、デバイス仕様の課題の抽出を完了した。

送受信機歪みの高精度補償に関して、補償アルゴリズムにより求めたパラメータを取り込むことでシミュレーションモデルの構築を完了し、原理試作による目標性能を得た。原理試作機を用いた実機評価を完了し、モデルにより求めた目標性能とほぼ同等の性能が得られた。また、150Gbaud 級システムにおける課題の抽出を完了した。

1Tbps 級光信号の 500km 伝送の実現に向けた伝送性能の最適化設計技術に関して、光伝送シミュレーション環境を構築し、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について定量化を実施した。その結果を用いて、変復調方式の候補を確定し、劣化要因を考慮したとしても所望の伝送性能が得られる見込みを確認した。また、130Gbaud 超級の光伝送システム原理試作機を用いた 1Tbps 500km の伝送評価を完了し、最終目標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

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 級ドライバの高周波特性のマスク規定等の目標仕様を明確化した。これに基づき設計シミュレーションを実施し 150Gbaud 動作の見通しを得た。また、設計したドライバ IC の原理試作を行い、特性評価を実施し課題を明確化した。設計シミュレーションと実測の差分評価により差分要因を明らかにし、改良試作にフィードバックするためのデータが得られた。

また、C+L 帯光源を備えた測定系を構築し、C 帯 CDM を用いた L 帯への動作波長範囲拡大に向けた基礎検討を実施した。バイアス電圧の波長依存性を明らかにし、動作条件を調整することで波長範囲の拡大が可能であることを実験的に確認することにより、波長範囲拡大の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

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。

これをもとに 50kHz 級レーザの基礎設計の確立と課題の洗い出しを行った。パッケージング設計をするとともに、パッケージングを可能とする試作設備の整備を完了した。

## 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

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、得られた伝送性能の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、ノード基本設計を完了した。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、高速信号評価系の構築を完了した。

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

超高速デジタルコヒーレント信号を用いた評価が可能な実験系を構築。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。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。基本設計完了に向けて見通しを得、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、5dBを超える変換利得によりロスレス変換を原理実証した。さらに、2024 年度以降検討を予定していた長波長側への波長資源開拓に向けて、項目 2-a)と連携し、先行してU帯におけるデジタルコヒーレント信号の波長多重伝送の可能性を実験的に確認した。

また、波長帯一括変換試作を用いて、S、C、L帯に、U帯まで加えた4バンドにわたる帯域拡張(~16THz)を確認した。L帯とU帯間の波長帯変換は、C/S変換試作と、変換利得の波長依存性を離調制御したC/L変換試作を組み合わせることで既存波長帯からU帯への波長帯変換を、評価用に早期に実現し、波長多重伝送を実施。当初予定の3波長帯を上回る4波長帯での波長資源拡大の見通しを得た。さらに、2024 年度以降に検討・試作予定であったL帯とU帯間を変換する波長帯一括変換ユニットの原理試作を前倒して実施し、144Gbaudのデジタルコヒーレント信号を用いて、基本評価を完了した。

### 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を明らかにした。これをもとにしたS帯集中ラマンの実験により、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することで設計を終了させた。つづけてU帯集中ラマンの実験を行うことで、基礎設計を完了した。これらを評価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従来比で30%の向上を得て基本設計を完了した。U帯においてラマン増幅器用励起光源の開発を行った。高密度実装を可能とするDualポート励起光源のパッケージ設計を行った。C帯、L帯の前方励起ラマン用励起光源を高出力化し、ロスレス伝送の実現をも可能とする前方励起ユニットの設計を行った。

波長帯一括変換用の1.5 $\mu$ 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。

## (8) 研究開発成果の展開・普及等に向けた計画・展望

受託者各社は、2024年度から2027年度の期間に「社会実装・海外展開志向型戦略プログラム」に基づく助成事業の枠組みで研究開発を継続する。本委託研究開発の研究開発計画で想定していた最終目標を上方修正しこれを達成した上で、引き続き連携することで、帯域拡張伝送システムとそれを構成する各種要素デバイスの商品化をすすめ、それらの光ネットワークへの社会実装を視野に取り込む。