（革新）様式 1-4-2 (2022-1)

令和４年度研究開発成果概要書

採 択 番 号　　04601
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小型低電力波長変換・フォーマット変換技術の研究開発
副　　題　大容量光ネットワークの利用効率向上に向けた小型低電力波長変換・フォーマット変換技術の研究開発

（１）研究開発の目的

Beyond 5G 時代を支える基盤インフラの実現に向けて、大容量光ネットワークの利用効率を向上するために、光／電気／光変換により 800 Gbps 以上の大容量波長チャネル毎に柔軟かつ小型・低電力で波長変換を実現する技術を研究開発する。波長変換と合わせて、変調方式、光信号帯域等を変更するフォーマット変換を実施することで空いている光波長リソースの有効活用を可能とする。800 Gbps 以上の大容量波長チャネルの広域伝送では、物理限界に近い伝送性能を実現できるデジタルコヒーレント技術が必要不可欠であり、800 Gbps 以上の大容量チャネルの光／電気／光変換を小型・低電力で実現するために、チャネル推定・統合最適化技術、符号化技術、波形歪み補償信号処理技術、偏波制御信号処理技術を開発し、小型波長変換・フォーマット変換用低電力デジタル信号処理の基盤技術を確立する。また、シリコンフォトニクス技術を活用した光送受信回路技術、二波長波長可変光源技術を開発し、小型波長変換・フォーマット変換に対応した小型光フロントエンドの基盤技術を確立する。上記技術を組み合わせて、800Gbps 以上の超高速・大容量光信号に対して波長変換・フォーマット変換を実証し、現行技術（既存 100 Gbps 再生中継器）と比較して、ビット当たり、1/10 の小型化および 1/10 の低電力化を実現する小型低電力波長変換技術を確立する。

本研究開発成果により、光ネットワークの利用効率が向上し、Beyond 5G における通信需要に対応するとともに、基地局全体の無線リソースの最適制御を可能とし、周波数がひっ迫する基地局における電波の効率的な利用を促進することで、電波の有効利用に資する。

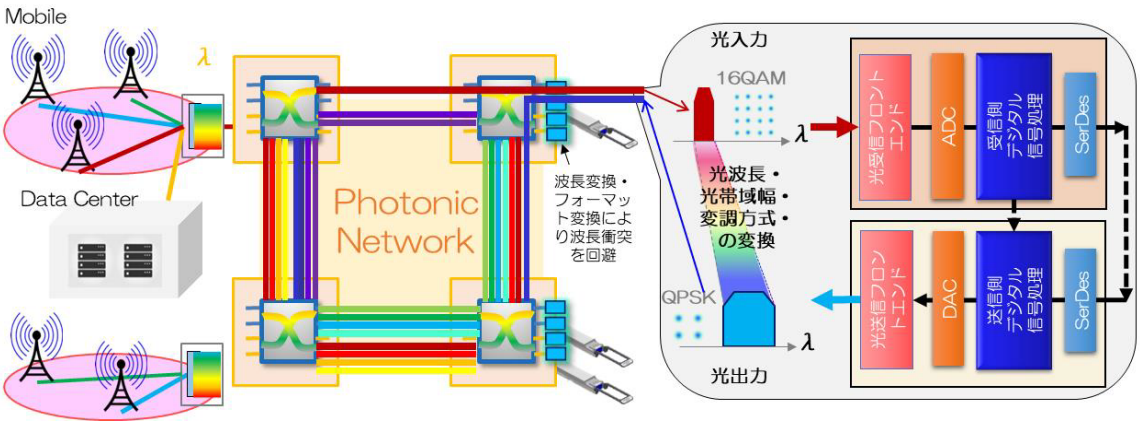

図１　波長変換・フォーマット変換の利用例と機能概要

（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

日本電信電話株式会社＜代表研究者＞
三菱電機株式会社
日本電気株式会社
富士通株式会社

（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　小型波長変換・フォーマット変換用低電力デジタル信号処理技術の研究開発
1-a　小型波長変換•フォーマット変換向けチャネル推定•統合最適化技術（日本電信電話株式会社）
1-b　小型波長変換・フォーマット変換向け符号化技術（三菱電機株式会社）
1-c　小型波長変換・フォーマット変換向け波形歪み補償信号処理技術（日本電気株式会社）
1-d　小型波長変換・フォーマット変換向け低電力偏波制御信号処理技術（富士通株式会社）

研究開発項目２　小型波長変換・フォーマット変換用フロントエンド技術の研究開発
2-a　小型波長変換用フロントエンド向け光送受信回路技術（日本電信電話株式会社）
2-b　小型波長変換用フロントエンド向け二波長波長可変光源技術（日本電気株式会社）

（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	3	3
	外国出願	5	5
外部発表等	研究論文	0	0
	その他研究発表	5	5
	標準化提案・採択	0	0
	プレスリリース・報道	0	0
	展示会	0	0
	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：小型波長変換・フォーマット変換用低電力デジタル信号処理技術の研究開発
1-a　小型波長変換•フォーマット変換向けチャネル推定•統合最適化技術（日本電信電話株式会社）
小型・低電力の波長変換およびフォーマット変換を実現するデジタル信号処理のチャネル応答特性推定技術および全体統合機能における課題抽出を行い、適用アルゴリズムおよび全体機能仕様の基本検討を完了した。チャネル推定技術に関しては、小型波長変換・フォーマット変換向けの光送受信器・光伝送路特性のモニタリング技術を検討し、チャネル応答特性の推定対象を明確化し、その方式検討・詳細評価を実施した。統合最適化技術に関しては、消費電力と性能の目標達成に向けた課題抽出を実施し、研究開発項目 1 の検討機能での電力と性能の全体最適化手法、および偏波モード分散補償と波長分散補償における消費電力と性能のトレードオフ緩和技術に課題があることを確認。これら課題に対して、全体性能・電力を早期に集約・予測する手法を導入し、性能と電力の全体最適化手法を確立した。さらに、研究開発項目 1-c, 1-d と連携し、偏波モード分散補償と波長分散補償において電力と性能のトレードオフを緩和する技術を確立した。結果として、電力・性能目標ともに達成できる基本方針を見出した。また、適用アルゴリズムおよび全体機能仕様・ブロック構成の基本検討を完了した。加えて、来年度に実施予定である全体性能評価環境の構築に向けて、機能モデルの統合設計に着手した。

1-b　小型波長変換・フォーマット変換向け符号化技術（三菱電機株式会社）

小型波長変換・フォーマット変換向け符号化技術に求められる機能抽出を実施し、確率整形符号化技術と誤り訂正符号化技術の両方式を組み合わせた複数方式について性能と電力の見積もり比較を実施し、性能と電力のバランスを考慮した方式を選定した。更に、復号処理アルゴリズムならびにパラメータの選定評価を行い、アルゴリズムの基本方針を明確化した。合わせて、来年度予定している機能モデルの設計に着手した。

1-c　小型波長変換・フォーマット変換向け波形歪み補償信号処理技術（日本電気株式会社）

小型・低電力での波長変換およびフォーマット変換実現を支える波形歪み補償デジタル信号処理について、設計に必要となる課題の抽出と、適用する構成及びアルゴリズムの基本検討を完了した。波形歪み補償デジタル信号処理にて対応すべき補償要素を評価するために、波長変換シミュレータを構築するとともに、その検証に用いるプロトタイプを構築し、定量評価により支配的要素を特定した。また、信号処理に必要な回路設計での課題抽出のために、短距離用と長距離用の歪補償回路の合成試行を行い、その結果から電力観点で有利となる構成・アルゴリズムの候補を決定し、基本検討を完了した。さらに来年度実施予定である機能モデルの設計に着手した。

1-d　小型波長変換・フォーマット変換向け低電力偏波制御信号処理技術（富士通株式会社）

小型・低電力の波長変換およびフォーマット変換を実現する偏波制御信号処理の適用領域とその課題を抽出し、これらの課題を解決するための基本検討を完了した。まず、偏波制御信号処理機能の整理と各機能の消費電力を分析し、低電力化のための課題を特定した。次に課題解決のため、偏波制御信号処理機能消費電力の支配的要因である偏波モード分散などの波形歪みを補償する等化部について、アルゴリズム、回路アーキテクチャ、実装設計の観点で基本検討を行い、低電力化のための回路アーキテクチャ候補の決定と、低電力かつ性能劣化を抑えるアルゴリズムの性能評価と候補選定を行った。さらに、来年度実施予定である機能モデルの設計に着手した。

研究開発項目２：小型波長変換・フォーマット変換用フロントエンド技術の研究開発

2-a　小型波長変換用フロントエンド向け光送受信回路技術（日本電信電話株式会社）

2022年度は小型波長変換用フロントエンドを構成する光回路とアナログ電子回路の基本検討を完了することを目標として取り組んだ。基本検討として、シリコンフォトニクス技術によるフロントエンド構成部品の小型集積化検討を進め、800 ギガビット級の高速化と波長変換機能の追加を両立する光回路についてビット当たり 1/10 の小型化の実現性を確認した。アナログ電子回路について、送信側の変調器ドライバに関する性能シミュレーションを実施し、 800 ギガビット級の高速化の実現可能性を確認した。また、受信側のトランスインピーダンスアンプについても性能シミュレーションを実施し、高速化の実現可能性を確認した。

2-b　小型波長変換用フロントエンド向け二波長波長可変光源技術（日本電気株式会社）

本研究開発項目の目標である二波長波長可変光源の実現に向けた課題抽出を、小型化、低消費電力化、二波長出力の個別独立制御の観点で実施した。小型低電力に寄与するシリコンフォトニクス光回路について、課題具体化のための試作により基礎評価とパラメータ抽出を完了した。光半導体チップ集積光増幅器についても試作によってレーザ発振設計のためのデータ取得を完了した。二波長の独立波長制御については、波長可変フィルタ方式とモード変換方式を選定し、試作の評価において制御基本動作の確認を完了した。以上より、光源実現のための課題抽出を完了するとともに、これらの結果を基に二波長波長可変光源の実現方式設計に着手した。

（8）今後の研究開発計画

研究開発項目１　小型波長変換・フォーマット変換用低電力デジタル信号処理技術の研究開発

2023 年度は、方式・アルゴリズムを決定。機能モデルの設計完了。性能・電力評価用回路実装モデルの設計を開始する。2024 年度は、回路実装モデルの設計完了し、800Gbps 以上の大容量波長チャネルの波長・フォーマット変換を実現するデジタル信号処理回路の回路実装サンプ

ル試作を試作する。2025 年度は 800 Gbps 回路実装サンプル試作用いて性能・電力評価を完了する。

研究開発項目２　小型波長変換・フォーマット変換用フロントエンド技術の研究開発

2023 年度は、それぞれの技術においてテストサンプルの試作を行い、評価を通じた実現方式技術の設計を完了させる。2024 年度は、光送受信回路技術と二波長波長可変光源技術のそれぞれの技術において、サンプル試作を通じた動作検証を完了させる。2025 年度は、実機評価を行い、小型波長変換用フロントエンドにおける動作を検証するとともに、性能評価を完了する。そのうえで、2026 年度には、研究開発項目１で試作したデジタル信号処理回路の実装サンプルと、研究開発項目２の光小型波長変換用フロントエンド回路サンプルとを組み合わせて波長チャネル毎の柔軟な波長変換およびフォーマット変換を実証する。また、電力 1/10 かつサイズ 1/10 での 800 Gbps 以上の波長変換動作を実証する。

更に、1Tbps 超級の大容量波長チャネル毎に柔軟な波長変換および変調方式、ボーレート等を制御するフォーマット変換を小型かつ低電力で実現するデジタル信号処理技術および小型波長変換用フロントエンド技術の研究開発を実施する。そのために、2025 年度には、800Gbps 以上の回路実装サンプルを用いた性能・電力評価を踏まえて、1Tbps 超級の実現に向けた課題抽出を実施する。そのうえで、2026 年度には、1Tbps 超級の機能設計の基本検討を完了する。