

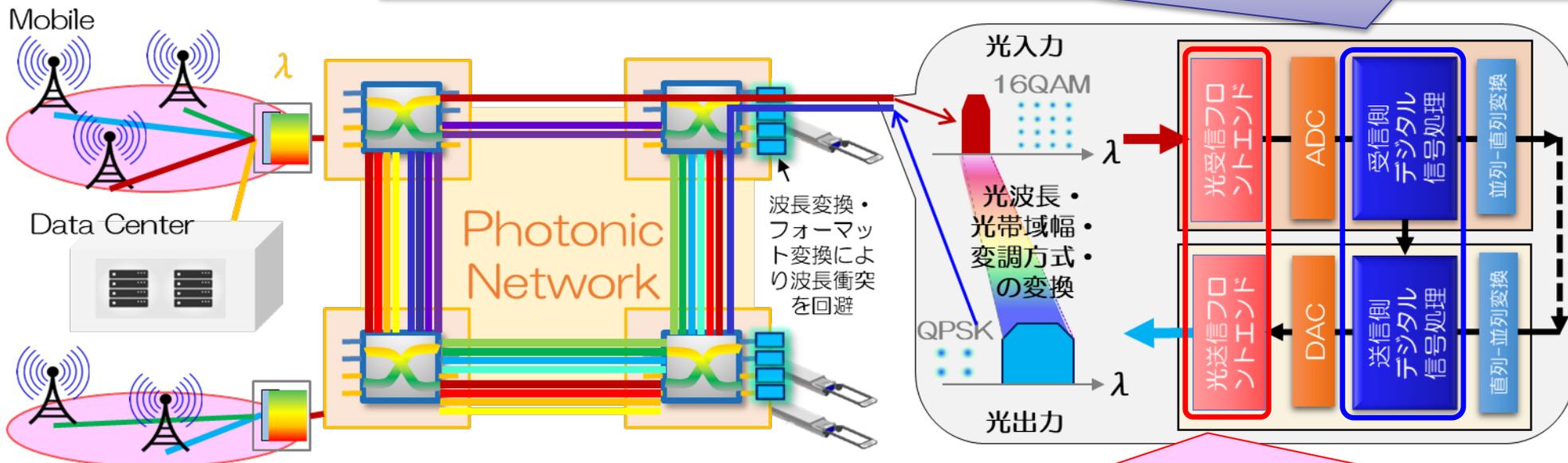
1. 研究課題・受託者・研究開発期間・研究開発予算

- ◆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
- ◆受託者 日本電信電話株式会社、三菱電機株式会社、日本電気株式会社、富士通株式会社
- ◆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

B5G時代における超高速・大容量光ネットワークにおいて、光信号の波長リソースの有効活用を可能とする小型低電力波長変換・フォーマット変換技術の実現を目指し、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、及び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を確立する。

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：日本電信電話 (NTT)、三菱電機、日本電気 (NEC)、富士通



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：NTT/NTTイノベーティブデバイス (連携研究者)、NEC

3. 研究開発の成果

※「成果」中の下線部は当初計画からの上積みを表す。5年計画の最終目標に対して、プロジェクト全体で当初計画40%を上回る達成度で研究開発を実施。

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

研究開発項目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）

【目標】チャネル応答特性推定機能、全体機能の方式・アルゴリズムを決定。機能モデルの設計を完了し、性能評価を実施する。また、統合最適化技術において、規模・電力と性能を評価するための800Gbps動作に対応した全体回路実装モデルの設計を開始する。

【成果】2022年度実績：チャネル推定技術について方式検討および基本評価を完了した。統合最適化技術の検討では、電力・性能目標を達成可能な基本設計方針を策定、全体機能仕様・ブロック構成の基本検討を完了した。さらに、2023年度に実施する全体性能評価環境の構築に向けて、機能モデルの設計に早期に着手した。

2023年度実績：チャネル推定技術について機能モデルの設計・性能検証を完了。統合最適化技術について目標達成に向け課題を抽出、全体性能・電力を早期に集約・予測する手法を導入、全体最適化手法を確立した。さらに、回路実装モデルの設計は前倒して着手し、研究開発を完了した。（達成度44%）

研究開発項目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）

【目標】小型・低電力な波長変換・フォーマット変換用デジタル信号処理に求められる符号化・復号技術について、初年度に策定したアルゴリズム基本方式を基にした機能モデル設計を完了するとともに、性能・電力評価用回路実装モデルの設計に着手する。

【成果】2022年度実績：符号化技術に求められる機能を抽出し、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性能と電力のバランスを考慮した方式の選定を完了した。さらに、選定方式の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実施し、アルゴリズムの基本方針を策定し、2023年度目標の機能モデル設計に着手した。

2023年度実績：22年度に策定したアルゴリズムの基本方式に基づき、機能モデルの設計を完了した。伝送路に応じて1.7dBの範囲で可変性が得られることを検証し、1/10低電力化に目途を得た。また、機能モデルの設計に並行してアルゴリズムの機能モデルを実現するための、性能・電力評価用回路実装モデルの設計に前倒して着手した。（達成度44%）

研究開発項目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）

【目標】基本検討の結果を踏まえ、波形歪み補償の信号処理方式について複数の候補を比較検討してアルゴリズムを決定し、機能モデルの設計を完了する。さらに、性能・電力評価用回路実装モデルの設計を開始する。

【成果】2022年度実績：波形歪み補償信号処理技術について、回路構成およびアルゴリズムの課題抽出、比較評価を行い構成・アルゴリズムの基本検討を完了した。さらに、2023年度に実施するアルゴリズムの決定に向けて、機能モデルの設計に早期に着手した。

2023年度実績：必要な歪み補償処理の選定、補償の実装位置等の検討を行いアルゴリズムを決定し機能モデル設計を完了した。回路実装モデル設計に向け、主要部分であるFFTデータ並び替え処理について複数の構成候補に対する比較検討を行った。さらに、回路実装モデルの設計に前倒して着手し、研究開発を完了した。（達成度44%）

研究開発項目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）

【目標】昨年度の基本検討結果を踏まえ、偏波制御信号処理の方式を決定し機能モデル設計を完了する。さらに偏波制御信号処理機能の回路実装モデル設計を開始する。

【成果】2022年度実績：性能を最適化しつつ消費電力を低減するための基本検討方針を決定し、アルゴリズム、回路アーキテクチャの複数候補を考案し基本検討が完了した。

さらに機能モデル設計に先行着手し機能モデルの仕様検討が完了した。

2023年度実績：昨年度の基本検討結果に基づき機能モデル設計を完了し性能評価により想定機能をすべて盛り込んだ上で期待通りの性能が得られることを確認した。また、複数の回路アーキテクチャ候補を検討し回路実装性評価が完了。さらに回路実装モデル設計は前倒して着手し、論理モデル設計が完了した。（達成度44%）

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

研究開発項目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、NTTインベティブデバイス（連携研究者））

【目標】波長変換用フロントエンド向け光送受信回路を構成する、光回路およびアナログ回路をサンプル試作し、評価を通して実現方式技術の設計を完了する。

【成果】2022年度実績：800Gbps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1/10の小型化の実現性を確認した。アナログ電子回路（変調器ドライバとトランスインピーダンスアンプ）について性能シミュレーションを実施し、800Gbps級の高速化の実現可能性を確認した。

2023年度実績：光送受信回路を構成する回路要素の詳細な設計を進め、光送受信回路全体として1/10の小型化の見通しを得た。送信信号と受信信号間のクロストークを抑制する技術の検討を進め、試作評価を通してその抑制効果を確認した。2024年度試作に向けた光送受信回路の設計を完了した。（達成度40%）

研究開発項目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）

【目標】基本検討の結果を踏まえ、候補となる二波長波長可変光源の実現方式の絞り込みに向けたテストサンプルの試作を行い、評価を通して実現方式技術の設計を完了する。

【成果】2022年度実績：小型・低電力の二波長波長可変光源を実現するための要件や構成を検討し、シリコンフォトリソグラフィ光回路、光半導体チップ、および波長制御技術についての基本設計を実施、試作品評価を通して課題抽出を完了した。

2023年度実績：実現方式の絞り込みに向け、小型化実現のための光集積回路レイアウト設計および光半導体チップ実装方式検討を実施してウェハ試作を完了した。

試作品の実装試作検証を行うと共にテストサンプル試作を完了し、レーザ発振特性評価を通して実現方式技術の設計を完了した。（達成度40%）

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
13 (10)	11 (6)	0 (0)	11 (6)	1 (1)	0 (0)	0 (0)	0 (0)

※成果数は累計件数、()内は当該年度の件数です。

- 特許(国内出願・外国出願)、外部発表(査読付収録論文/機関誌論文/一般口頭発表)、標準化提案を積極的に推進。特に、特許および外部発表においては、2022年度から2023年度の2年間の目標(国内出願目標4件、外国出願目標7件、研究発表目標7件)に対して、大幅に上回る成果を達成。
- 1. 電子情報通信学会 ソサイエティ大会 企画セッション「BI-7: Beyond 5G超高速大容量光ネットワークの研究開発と展望」(2023年9月13日)にて、「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」の題目で招待講演を実施。
 - Beyond 5G時代の通信需要に対応するために、バックボーン光ネットワークの超高速・大容量と共に、光ネットワークの波長資源を有効活用し、その利用効率を向上できる小型・低電力な波長変換・フォーマット変換技術の研究開発に取り組んでいることを紹介。
 - 現行技術と比較して、ビット当たり1/10の小型化および1/10の低電力化を目指すとともに、光伝送性能も十分な確保する必要があり、性能と電力のトレードオフを解決する技術が必要であり、これを実現するために、大容量光伝送システムに不可欠なデジタルコヒーレント光伝送技術を利用して、800Gbpsの大容量波長パスに対して小型・低電力で波長変換・フォーマット変換を実現する技術開発について解説。
 - 本講演内容について、電子情報通信学会会誌 2024年8月号の特集記事へ招待論文として掲載予定。
- 2. 米国テキサス大にある相互接続団体であるOpenLabに参画し、グローバルな伝送システム相互接続検証を進める体制を確立。
 - OpenLabをハブとし国内フォーラム(IOWN Global Forum)と北米フォーラム(OpenROADM MSA)連携を実現。
 - 既存技術である400Gbps伝送での北米ベンダを含む相互接続検証に成功(Super Computing 2023)し、グローバルな相互接続検証環境を確立。
 - 2024年3月に実施された国際会議OFC2024の展示会において、800Gbps信号の異ベンダ相互接続(トランシーバラインシステム間)のフィージビリティを確認。

5. 研究開発成果の展開・普及等に向けた計画・展望

- 本研究開発課題(04601)では、研究開発目標の達成に向けて、来年度以降の研究継続のため、革新的情報通信技術(Beyond 5G(6G))基金事業の社会実装・海外展開志向型戦略的プログラムに、「ネットワークの低消費電力化に向けた小型低電力波長変換・フォーマット変換技術に関する研究開発プロジェクト」として応募、採択された。後継のプロジェクトにおいても、引き続きBeyond 5G(B5G)時代のデジタル社会を支える基盤インフラとなる大容量光ネットワークの更なる進化に向けて、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。
- さらなる光波長資源の効率化を目指し、波長変換と合わせて、変調方式、光信号帯域等のフォーマット変換を実施することにより、大容量光ネットワークの利用効率の向上を実現する。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、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。
- これら技術を組み合わせることにより、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の低電力化をもたらす小型低電力波長変換・フォーマット変換機能の実現により、将来の省電力・経済的な情報通信基盤を実現する。
- 本研究開発および後継プロジェクトの成果を活用して、各技術の知財化、実用化に実施各社で取り組み、小型・低電力な波長変換・フォーマット変換機能を実現するキーデバイス、および、それを搭載した光伝送装置の製品化やネットワーク導入を目指す。2025年以降、順次、市場投入を進めていく計画である。