

高機能フォトニックノード技術研究開発

(1) 研究の目的

100Tbps 級のフォトニックノード構成技術の実現を達成すべく、超高速光スイッチング技術と複数の波長を一括して設定／伝達する波長群スイッチングノード技術を研究開発する。また、多元的粒度の光パスを用いた効率的な大容量フォトニックネットワークアーキテクチャと異なる粒度の光スイッチを連携制御するネットワーク制御技術を研究開発する。

(2) 研究期間

平成17年度から平成21年度（5年間）

(3) 委託先企業

NTTコミュニケーションズ株式会社＜幹事＞、富士通株式会社
日本電信電話株式会社、国立大学法人名古屋大学、
国立大学法人大分大学

(4) 研究予算（百万円）

平成17年度	400
平成18年度	359
平成19年度	400

(5) 研究開発課題と担当

課題ア：超高速スイッチング技術の研究開発（富士通株式会社）

- ア-1 超高速スイッチアーキテクチャの構築
- ア-2 スイッチデバイス、モジュール技術
- ア-3 超高速スイッチ制御技術

課題イ：波長群スイッチングノード技術の研究開発

- イ-1 波長群編集伝達技術
- イ-2 波長群トランスペアレント運用技術
- イ-3 波長群高密度対応化技術

（日本電信電話株式会社）

- イ-4 光位相同期多波長光源広帯域化チェーン技術

（国立大学法人大分大学）

課題ウ：多元的光パケットワーキング技術に関する研究開発

ウ-1 複数階層のコア／エッジネットワークを含むスケーラブル
多元粒度光パケットワークアーキテクチャ並びに設計アルゴリ
ズムの開発

ウ-2 多元粒度光パケットワーク制御技術の研究開発

(国立大学法人名古屋大学)

ウ-3 高機能フォトニックノード構成要素技術の連携

(エヌ・ティ・ティ・コミュニケーションズ株式会社)

(6) 主な研究成果（平成 19 年度分）

特許出願： 13 件

外部発表： 60 件

具体的な成果

課題ア：超高速スイッチング技術

ア-1 超高速スイッチアーキテクチャの構築

8～16 ポート程度の拡張粒度で、8x8 構成程度の初期導入時から 256x256 までのシームレスな拡張方式の確立し、256 ポート拡張性を実現する集積型光スイッチ素子仕様および装置ユニット分割などの装置構成を明確にした。

ア-2 スイッチデバイス、モジュール技術

能動デバイスである半導体光増幅器 (SOA: Semiconductor Optical amplifier) と受動部品である光カプラ部を同一基板上にモノリシック集積したデバイスおよびモジュールの構造を明確にし、8 入力 1 出力型集積化 SOA デバイスおよびモジュールの設計、試作を行い、基本動作を確認した。

ア-3 超高速スイッチ制御技術

多ポート素子におけるナノ秒オーダのスイッチ速度を実現するための、スイッチ制御、駆動回路の構成を明確にし、8x8 規模のスイッチサブシステムの設計、試作と、試作結果に基づく多ポート化装置での制御、駆動方式の課題抽出を行った。また、標準制御インターフェース (GSMP: General Switch Management Protocol) の実装と、光スイッチング動作実証を行った。

課題イ：波長群スイッチングノード技術

イー1 波長群編集伝達技術

波長群信号構成技術として波長コンカチネーション（OVC）について方式検討を行った。OVC ボードおよびデスキューボードを試作し 2 波長のデスキューフィルタ機能の実験検証に成功し、波長コンカチネーション技術の実現の見通しを得た。

イー2 波長群トランスペアレント運用技術

①多波長光源技術

50 GHz 間隔で 8 dB 以下の搬送波光パワー偏差、−140 dBc 以上の相対雑音強度を有する波長数 30 の多波長光源ボードを実現した。また、本多波長光源ボードの改良により波長数 40 までの多波長化に成功した。L 帯光源の高光周波数確度評価法の有効性を実証した。

②波長群変換技術

周期分極反転ニオブ酸リチウム導波路を用いて 8 波程度の波長群を 5 程度以上の群波長帯から自由に選択変換可能な任意群波長変換回路の実験実証を行った。同素子を用いて光ファイバ付モジュールを作製し、低クロストーク任意群波長変換回路の有効性の実験による実証を行った。

③波長群品質監視技術

非同期サンプリングを用いた光信号品質監視技術における、光位相変調方式 (DPSK 信号) および多値変調方式 (DQPSK 信号) への適応性を確認した。また、波長セレクタと組み合わせることで、40Gbit/s RZ-DQPSK 信号を 50GHz 間隔で多重した高密度波長群信号品質の監視も可能であることを示した。

イー3 波長群高密度対応化技術

狭帯域光フィルタリングによる光波形劣化を抑圧する目的で EDC (Electrical Dispersion Compensator) を用いた DQPSK 送受信機の構成法を検討し、フィルタリング劣化の抑圧効果を確認した。

搬送波光位相同期 WDMにおいて、電気的送信端補償技術を用いた光非線形クロストーク（4 光波混合）補償の原理を実験実証した。

イー4 光位相同期多波長光源広帯域チェーン技術

本期間ににおける研究では、①1585nm 帯 $^{12}\text{C}^{16}\text{O}$ ガス吸収線安定化光源の安定度の向上、②マルチ光周波数キャリア広帯域化チェーン技術の構成の考

案、が主要課題である。

①に関しては、H. 18 年度の成果である安定化光源試作品を NTT 未来ねつと研究所より継承して推進しているテーマである。一定の成果を得ており、より一層の安定度向上をねらって研究を進めた。その結果、光周波数安定度 10^{-6} を達成した。

安定化光源に用いる半導体レーザは、温度に対して概ね $100\text{MHz}/0.01^\circ\text{C}$ 、注入電流約 60mA (出力パワー 10dBm)において概ね $100\text{MHz}/100\mu\text{A}$ の周波数変化を起す。基準として適用する $^{12}\text{C}^{16}\text{O}$ ガス吸収セルは、基準とはいえ、吸収線が温度に対して概ね $600\text{kHz}/^\circ\text{C}$ の割合で高い周波数へシフトする。また、 $^{12}\text{C}^{16}\text{O}$ ガスの吸収量は 10%弱と非常に小さく、C-band 用シアンガス吸収線吸収量が 60%以上の吸収量を示すのに比べても一桁小さい。このため同期検波を行う際に、誤差信号 SN は一桁小さくなる。この点でも、周波数安定度を C-band 安定化光源と同程度に確保するのは、高度な電子回路設計・実装技術を必要である。H. 18 年度試作光源に基づいて、パラメータ最適化により光周波数安定度 10^{-6} を確認した。構成回路における雑音特性を並行して検討し、周波数揺らぎを 10MHz 以下に抑えるべく、最も光周波数揺らぎに影響を及ぼす注入電流について、 60mA にて数 μA 、すなわち 5 桁以下の電流安定度を可能とする回路形式を試作した。来年度に実験検証を行う。

②に関しては、2つの構成について考案した。ひとつは、マスタースレーブ方式、ふたつは、基準光周波数コムによる注入同期方式である。いずれも、2つのマルチ光周波数キャリアの“つなぎめ”において、SNR を劣化させることなく光キャリアを合波させることが重要である。そのために、光移相器つき方向性結合器により合波する構成を提案した。同一周波数となっているそれぞれ2つの光キャリアの位相を $\pi/4$ シフトさせて方向性結合器で結合することにより、原理損なく加算できる。Y 分岐による加算の場合、位相差はゼロに調整する。単純な光カプラに比べると、SNR においても、得られる光強度においても 3dB 有利となる。特許出願手続き中である。

限られた研究開発費の中では、来年度前者にて試作実証を行う予定である。なお、当該特許では、マルチ光周波数キャリアの一部を使ってガス吸収線へのロック方式することにより種光源波長選択の自由度を高めている。

その他、設計パラメータの最適化、方式構成の吟味のために、シミュレータを構築した。群速度分散を与える分散性媒質を置換できる方法等の吟味を進めた。また、企画調整会議にて、最終年度連携実験は C-band で実

施することが決定したので、当該実験へ向けた波長配置案を連携機関へ提案し、承認を得た。

課題ウ：多元的光パスネットワーキング技術

ウー1 複数階層のコア／エッジネットワークを含むスケーラブル多元粒度光パスネットワークアーキテクチャ並びに設計アルゴリズムの開発

ウー1－1 拡張性を有するトランスペアレントネットワークアーキテクチャ並びに数百ノードに対応できる設計アルゴリズムの開発

光レイヤがハイヤーオーダとロワーオーダの階層的な光パスで構成される多元粒度光パスネットワークに対して、これまでには無い効率的なネットワーク設計アルゴリズムを開発した。これを用いて单一粒度と多元粒度光パスネットワークの性能を比較することにより、本研究課題の多元粒度光パスネットワークが有効となる条件をトポロジーに対して定量的に評価した。その結果、 9×9 格子型ネットワークにおいて、単一レイヤの光パスネットワークと比較して 50% 程度コスト削減が可能（波長群幅 $W = 8 \sim 16$ ）である事を初めて明らかにした。また、ヨーロッパの COST 266 ネットワークなどの各種トポロジーに対するコスト削減効果も明らかにした。

ウー1－2 経済的なネットワーク増設を可能とするマルチレイヤ Quasi-Dynamic ネットワーク設計アルゴリズムの開発

サービスの属性を示す “Age” パラメータを複数のサービスに拡張した場合の、ネットワークの長期的増設におけるコスト評価を行った。本設計アルゴリズムは、電子情報通信学会英文論文誌に発表し、2007 年ソサイエティ論文賞を受賞した。

また、ハイヤーオーダ光パスクロスコネクトの小型・経済化に向けたアーキテクチャ、新たな光部品の検討を開始した。従来には無い新しい構成の波長群選択スイッチ並びに波長群クロスコネクトアーキテクチャを考案し、実現性検証に向けたキーとなる部品の実験試作を開始した。

ウー2 多元粒度光パスネットワーク制御技術の研究開発

ウー2－1 マルチレイヤ統合トラヒックエンジニアリング並びにネットワークコントロールシステムの開発

前期までの一般的の目的において最適化された既存のウェーブレット変換に加え、ネットワークに適した変換を定義した。問題の根本からの解決を目指し、変換に求められる性質を最適化問題に定式化し、解決策の検討

を行った。この課程で、トライフィック解析・予測に適した性質を実現する制約を明らかにした。この制約により、代表的なトライフィック生成モデルにおける望ましく無い条件を適切に抑圧できることを示し、かつ本制約が最適化に適した性質を備えていることを明らかにした。

また、ネットワークコントロールシステムの初期プロトタイプの開発に向け、パス配備状況を表示する視覚的なユーザーインターフェースを実現した。GMPLSを、ハイヤーオーダ光パスの制御に利用する為のプロトコルの拡張の基礎検討を行った。

ウー2－2 多元粒度光バスネットワーク高信頼化の研究開発

多元粒度光バスネットワーク高信頼化の研究開発の第一歩として、電気レイヤと光レイヤ2階層のバスネットワークに関して、ネットワークの増設を考慮した光レイヤでの切替系アルゴリズムを開発し、切替系の導入によるリソース増を定量的に明らかにした。

ウー3 高機能フォトニックノード構成要素技術の連携

波長／波長群スイッチを扱えるよう、GMPLS RSVP シグナリングを機能拡張した。拡張したシグナリングは、検証環境にて動作確認を行った。また、ウー1、ウー2と連携動作確認を行った。

課題エ：研究テーマ全体管理

成果を効果的にアピールするために、PJのロゴを作成し、対外発表に利用するよう、各組織に周知した。

(7) 研究開発イメージ図

