

成果概要書

「高機能フォトニックノード技術の研究開発」

(1) 研究の目的

今日、ブロードバンドインターネット接続が可能な世帯数は、e-Japan 戦略 I の目標値を大幅に上回っている。今後、こうしたブロードバンドアクセス網を基盤として、従来のインターネットアプリケーション利用者数の増加に加え、高精細映像ストリーミングサービス、大容量データ交換サービスなどの広帯域データ転送サービスが増加すると考えられ、アクセス網からのトラフィックが集中するバックボーンネットワークには高いスループットの転送能力が求められる。また、インターネットで転送される IP トラフィックの統計的性質も多様化しており、サービス品質 (QoS) への要求も多様化している。したがって、ネットワークに流入するデータの特徴 (帯域幅やサイズ) に応じて、多元的な粒度で効率的なスイッチングを行う高機能なノードが必要となる。

以上を受け、本研究テーマでは多元的なスイッチング粒度を有する 100 Tbit/s 級高機能フォトニックノード構成技術の研究開発とそれらのフォトニックノードを配備するネットワーキング技術の研究開発を行う。

(2) 研究期間

平成 17 年度から平成 21 年度 (5 年間)

(3) 受託社名

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	360
平成 19 年度	400
平成 20 年度	379
平成 21 年度	312

(5) 研究開発課題と担当

課題ア：超高速スイッチング技術に関する研究開発

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

(富士通株式会社)

課題イ：波長群スイッチングノード技術に関する研究開発

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の研究開発

(大分大学)

課題ウ：多元的光パスネ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 - 2 多元粒度光パスネットワーク制御技術の研究開発

(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

課題エ：研究テーマ全体管理

(NTT コミュニケーションズ株式会社)

(6) これまでの主な研究成果

特許出願：国内出願	39件	外国出願	40件		
外部発表：研究論文	84件	その他研究発表	120件		
報道発表	7件	展示会	35件	標準化提案	0件

具体的な成果

課題ア：超高速スイッチング技術に関する研究開発

(1) 超高速スイッチアーキテクチャの検討として、最終目標である 256 ポート規模までの拡張性と、ナノ秒オーダーの高速スイッチを実現する、半導体光増幅器 (SOA: Semiconductor Optical amplifier) を用いる多段ゲート型分配選択光スイッチ構成の詳細設計、試作を行った。試作構成として、初期導入時から 256 ポート構成までのシームレスな拡張方式を実現する光スイッチ構成に用いる、光分配部、光合流部、制御部の各ユニット試作を行った。3. 超高速スイッチ制御技術の成果とあわせて、256 ポート構成におけるエラーフリー動作と、10 ナノ秒以下のスイッチ速度を実現し、最終目標である、256 ポート規模の拡張性と、ナノ秒オーダーのスイッチ速度を両立する光スイッチアーキテクチャを確立した。

(2) 9 つの SOA と光カプラを同一基板上にモノリシック集積した 8 入力 1 出力型集積化 SOA 素子について、高い ON-OFF 消光比と低い挿入損失が得られる導波路構造を明確にし、小型・低損失なテーパ型 MMI (Multi-Mode Interference) カプラを適用した集積化素子の最終構造を確立した。本構造で試作した集積化 SOA 素子では C バンド全域に渡って、10.0dB 以上の光利得、50dB 以上の消光比等の高い基本性能と共に、各 8 ポート・各偏波間におけるトータル利得偏差 2.0dB 以下の非常に高い特性均一性を確認し、256x256 ポート規模のスイッチシ

システムに充分適用可能な高い基本特性と均一性を実証した。また、高環境温度下での動作に対応するため SOA 光ゲート素子のセミクールド動作による低消費電力化の検討を行い、セミクールド動作時に高い特性が得られる素子構造を明確化し、256x256 ポート規模のスイッチシステムに適用可能な性能を保持しながら 40 セミクールド動作により高温環境下の消費電力を 45%削減する見通しを得た。

また、集積素子実装技術およびレンズによる斜めアレイ結合技術の開発により、MSA14 ピンパッケージとほぼ同じ大きさの小型モジュールを実現し、各 8 ポートで 12dB 以上の光利得、80dB 以上の ON-OFF 消光比が得られ、256 x 256 スイッチシステム適用に充分であることを確認した。さらに、搭載部品の小型化により、SOA 素子温調電力を 50%以上削減し、モジュール消費電力の 30%以上削減を実現するとともに、低損失、高アイソレーション特性のアレイ光アイソレータを内蔵したモジュールの実現により、スイッチシステムの高信頼化、小型化に大きく貢献した。

これにより、実用レベルでの集積素子およびモジュール技術の開発に成功し、目標を上回る成果が得られた。

(3) 256 ポート規模のスイッチ構成におけるスイッチ高速動作の課題を、8 ポート規模のスイッチ試作結果から明らかにし、システム全体を制御するマスター制御部と、拡張ユニット単位である各光合流部を制御するスレーブ制御部間での、スイッチタイミング調整機構を試作装置に実装した。その結果、256 ポート構成の光スイッチにおいて、試作した 8 ポート間での全接続において 10 ナノ秒以下のスイッチ速度を実現した。また、光スイッチに実装するレベル制御機構の検討として、半導体光増幅器の利得飽和特性と、利得可変範囲の関係を明確にし、高速自動レベル調整機能の可能性を示し、当初、目標以上の成果が得られた。

課題イ：波長群スイッチングノード技術に関する研究開発

イ-1

(1) 波長バーチャルコンカチネーション技術について、ODU マルチフレームを用いてチャンネル間のスキュー検出およびデスクューを行う方法を提案した。提案方式に基づき波長バーチャルコンカチネーション転送を行うボードを試作し、総容量 160 Gbps の波長群パスで大容量データの低遅延転送を実証した。

(2) 波長群合分波部の制御アルゴリズムを提案し、波長群パス/波長パスの自在な編集およびスイッチング機能（波長群アグリゲーション機能）の実証に成功した。さらに波長変換前後での信号品質の劣化が測定限界以下であることを確認し、当初の目標を達成した。

(3) 多元的スイッチング粒度を有するフォトニックノード構成の導入によって、光パススイッチと電気ルータのみからなる光ノードで 100Tbit/s 級ノードを構成した場合と比較してノード規模を 7 分の 1 程度以下に小型化できる見通しを得た。

イ-2

(1) 複数の種光源を一括して多波長化する多波長光源構成を新たに提案し、周波数間隔 50 GHz、光キャリア数 80ch (= 40 + 40 ch)、各チャネルの相対強度雑音が約 - 140 dBc/Hz の光源を実現した。大分大学で開発の光位相同期技術と組合せて、光位相が同期された 80 ch 級チェーン化多波長光源を実現するための技術を確認した。

(2) 波長群変換の規模を拡大するために、マルチ QPM-LN 素子の設計を見直し 8 波長で励起可能なマルチ QPM-LN モジュールを新たに作製した。同モジュールを偏波無依存構成にてボード上に実装し、さらに励起用波長可変光源も内蔵した小型の波長変換装置を構成した。同装置を用いて 50 GHz 間隔 12 波長の波長群を励起光波長を切り替えることにより 600 GHz ごとに 8 つの波長群の中から自由に選択して波長変換可能であることを実験実証した。

(3) C 帯全域で高速にチャンネルを抽出することができる高速波長選択部を作製し、波長選択部と高速に連携して波長群品質を監視する波長群品質監視回路を構成した。高速波長群品質監視回路を用いて、C 帯における複数の波長群 (44 Gbit/s DQPSK 信号、収容波長数 12、波長群数 8) の高速 (波長群当り 1.4 秒) での品質監視実験に成功し、当初の目標を達成した。

イ-3

(1) 44 Gbit/s DQPSK 符号を用いた送受信機構成において、EDC (電気分散補償回路) を用いることにより、高密度 WDM 伝送時の光フィルタリングによる波形歪を抑制することを提案し、25 GHz 間隔の波長多重、分離時の光フィルタリング劣化に対して本方式が有効であることを確認した。また、波長間隔 33.3 GHz 間隔での WDM 伝送実験に成功した。これにより、目標としていた局所的スペクトル領域 (波長群内) における周波数利用効率 1 bit/s/Hz 以上を達成した。また、本方式を適用した送受信回路を試作し、自動バイアス制御回路などの安定化動作を確認するとともに、伝送実験を行うことによりその機能検証を行った。

(2) 光ファイバ伝送路中で発生する四光波混合に起因した、非線形クロストークに伴う波形劣化、ならびに WDM チャネル間の信号スペクトル重なりに起因した線形クロストークに伴う波形劣化に対し、搬送波間の光位相同期を用いた抑圧・補償方式に関する検討を行った。実証実験を通し、光ベクトル変調器または送信端電気処理を用いたプリコーディング波形の生成、非線形クロストーク補償による特性改善効果を確認した。また、多値変調信号、ならびにスペクトル重なりを有する高密度 WDM 信号 (共に周波数利用効率 1.0 bit/s/Hz) に対し、搬送波光位相同期とプリコーディングによるチャネル間干渉 (線形・非線形クロストーク) の抑圧・補償を、実験により実証した。さらに、上記方式の中継系への適用性、10 波程度の波長多重信号への適用性を実証実験により確認した。

イ-4 光位相同期多波長光源広帯域化チェーン技術の研究開発

(1)光周波数コム基準による ITU-T 周波数グリッドの提供と光周波数同期網の提案：光周波数確度の高い高コヒーレント光キャリアをいずれのフォトニックノードでも容易に生成可能とする光周波数同期フォトニックネットワークを提案し、本研究の中で提案した変調サイドバンド光安定化方式により 5kHz 線幅 LD を 10 桁の安定度で安定化実証した。安定化光に基づいて光周波数コム基準を生成し、位相同期マルチ光キャリアのチェーン広帯域化の基準として提供した。

(2)光 PLL によるマルチ光キャリアのチェーン広帯域化技術：

マルチ光キャリア間の光位相を同期させてチェーン化し、広帯域化するには、光位相を揺らがせる要因をすべて安定化する必要がある。主要要因には 3 項目が考えられ、マルチ光キャリア種光源間光位相（一般には無相関）、マイクロ波発振器位相雑音、導波路長揺らぎ、である。が引き起こす個々の種光源光の位相揺らぎを同一とするために一括して光 PLL を行える構成を提案し、広帯域化を実証した。強度揺らぎは、この方式では大きい。光 PLL は、位相誤差 57mrad の範囲で技術確立できた。ただし、光キャリアとして採用するためには、マイクロ波発振器位相雑音を mrad 以下のもを準備する必要がある。を抑える構成も提案し、この場合、強度揺らぎを前者に比べ、1/5 程度まで抑えることができた。

(3)位相同期マルチ光キャリア伝送における四光波混合光のキャンセル：

DWDM 伝送システムにおいて四光波混合光(FWM)は光ファイバへの入力パワーを制限する深刻な要因のひとつである。DWDM 伝送における光キャリア間に位相同期を施し送信時に特定の条件に光位相を設定すると、任意のチャンネルに発生する FWM 光の位相を反転させ得るので FWM 光が打ち消しあい、FWM 光クロストークを抑制できる方式を提案し、実証した。IM 変調だけではなく、PSK, DQPSK へも展開可能である。

課題ウ：多元的光パスネットワーク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

(1) 経済的なネットワーク増設を可能とするスケーラブルマルチレイヤ Quasi-Dynamic ネットワーク設計アルゴリズムを開発した。特に、サービスの属性を効率的に記述する新たなパラメータ“Age”考案し、ネットワーク設計における有効性を示すとともに、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、電子情報通信学会に論文として発表し、同論文は平成 19 年通信ソサイエティ最優秀論文賞(tutorial paper)を受賞した。

(2) 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に関して、光レイヤがハイヤーオーダとロ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。これを用いて単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、9x9 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、パンヨーロピアン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。

(3) ノード間トラフィック需要がネットワーク全体のコストに与える影響を詳細に評価した。ネットワーク規模が3x3以上であればノード間規格化平均光パス需要が4以上の領域で、6x6以上であれば、光パス需要が1以上の領域で多階層光パスネットワークが単一階層と比べてコスト的に有効となることを明らかにした。また、最適な波長群幅を、ノード間規格化平均光パス需要程度とすることが、最も効率が良いことを初めて明らかにした。

(4) 多階層光パスネットワークの各ノードにおいて、波長群から波長パスに落とせる割合並びに終端出来る波長パスの割合に関する制約がネットワークコストに与える影響を評価し、add/drop 率が0.3-0.4以上であれば、上記制約によるコスト増はほとんど無いことを実証した。

(5) 波長群選択スイッチ(WBSS)に関して、連続配置型波長群構成並びに、分散配置型波長群に対して、世界で初めて石英光導波路を用いた集積化光スイッチを試作し、機能検証をにより設計通りの機能を確認した。試作スイッチの平均損失としては、各々6.1並びに8.2 dBの良好な値が実現された。

尚、上記を含む成果について、平成20年電子情報通信学会通信ソサイエティ最優秀論文賞(tutorial paper)、平成20年第2回フォトニックネットワーク研究会学生ワークショップ優秀賞を受賞している。

(6) 分散配置型波長群選択スイッチを利用した新しい波長群クロスコネクタアーキテクチャを考案した。前記石英光導波路を用いた集積化光スイッチチップを利用し、世界で初めて超小型波長群クロスコネクタスイッチモジュール($5 \times 12.5 \times 21 \text{ cm}^3$)を試作した。伝送実験により良好な特性を実証した。本成果は、第2回フォトニックネットワーク研究会学生ワークショップ優秀賞、電子情報通信学会東海支部平成20年度学生研究奨励賞受賞並びに、本分野で最も権威の有る国際会議の一つOFC/NFOEC2010への投稿論文が、Corning Outstanding Student Paper Award、Semi-Finalistに選定されるなど、国際的にも高い評価を得ている。

ウ・2 多元粒度光パスネットワーク制御技術の研究開発

(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では、シームレスなトラヒックエンジニアリングを行う為の制御アルゴリズムを開発し、ネットワーク設計アルゴリズムとの連携を実証した。また、機能検証の為にプロトタイプ制御システムの開発に成功した。具体的には、ウェーブレット変換を適用した精度の良いリアルタイムトラヒック予測処理と、トラフィック変動予測情報を用い、期間全体に渡るパス配置の最適化を行う数理的手法を開発。

ネットワーク設計制御システムとGMPLSとの連携を図り、課題ア、課題イとの連携実により動作検証を行い、その実現性を実証した。実証実験においては、

ネットワーク全体の最適設計手法および同手法と GMPLS 制御プレーンとの連携を確認した。

(2) 多元粒度光パスネットワーク高信頼化の研究開発に関しては、電気レイヤと光レイヤ2階層のパ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。また、階層的パスネットワークに関しては効率的な波長群パスレイヤでのプロテクションアルゴリズムを初めて開発した。本研究開発に関して平成19年電気学会東海支部長賞、平成20年度電子情報通信学会東海支部学生研究奨励賞を受賞。また、同分野で最も権威の有る国際会議の一つ OFC/NFOEC2009 への投稿論文が、Corning Outstanding Student Paper Award、Semi-Finalist に選ばれるなど、国際的にも高い評価を得ている。

ウ-3 高機能フォトニックノード構成要素技術の連携

波長群対応に拡張した GMPLS シグナリングを実装し、また、複数階層で構成されたスイッチを連携して1つのノードとして動作させるプログラムを作成・実装した。さらに、前述のシグナリングやプログラムを用いて課題間の連携動作確認を行い、良好な結果を得た。具体的には、仮想ノード2台と課題ア・課題イの成果で構成された実ノード1台の計3台で構成されたネットワークにおいて、課題ウのネットワーク設計ツールの計算結果を受け取り、計算結果にしたがってシグナリングやスイッチ制御することにより波長/波長群の挿抜を行うことができた。これにより、各課題(高機能フォトニックノードの構成要素)を連携して動作できることが確認できた。

課題エ：研究テーマ全体管理

各課題の連携実験や3PJ連携実験を実施するため、また研究の進捗確認ため、研究当初から定期的な企画調整会議を行い、研究開発の全体最適化を図ることができた。3PJ連携実験では、広域網の1ドメインとして高機能ノードドメインを形成し、大容量ファイル転送を行うことができた。また、CEATEC、新世代ネットワーク分科会ワークショップ(けいはんな情報通信オープンラボ研究推進協議会新世代ネットワーク分科会)、光通信システムシンポジウムなど、多くの来場者が見込まれる展示会に参加して、委託研究の成果を広く一般にアピールすることができた。

(7) 「高機能フォトニックノード技術の研究開発」の開発成果について

1. 施策の目標

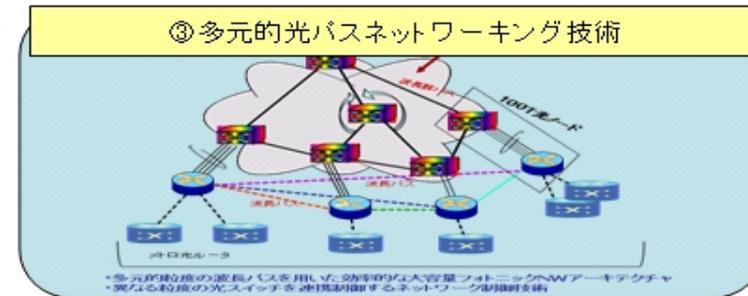
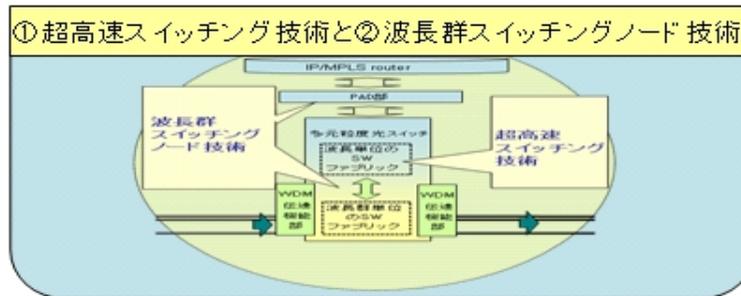
・2010年度までに光-電気技術により100テラビット級のコアノード実現のための要素技術を確立するとともに、2020年度以降に超大容量光ノードの実現する。

2. 研究開発の背景

・インターネットの急速な普及やコンテンツの大容量化、及び様々な新しい情報通信サービスの展開に伴い、アクセス網からのトラフィックが集中するバックボーンネットワークには、100テラビット級という高いスループットの転送能力と多角的な粒度で効率的なスイッチングが求められる。100テラビット級の転送能力を現在の技術実現するには40 Gbpsの光パス容量を想定する場合、2500ポート規模の光スイッチが必要となる。同時にネットワークで管理すべき光レイヤパスの本数も著しく増大しその管理負荷が重くなる。そこで、100テラビット級のノードスループットを有し、持続時間がマイクロ秒領域のバーストデータから数百Gbpsの容量の波長群パスまでの広い範囲の粒度でのスイッチングを可能とする高機能フォトニックノード基本技術の確立を早期に進める必要がある。

3. 研究開発の概要と期待される効果

・高機能フォトニックノード技術は①超高速スイッチング技術②波長群スイッチングノード技術③多角的な光パスネットワーク技術に大別①ではナノ秒オーダーの高速スイッチング速度と、数十から256ポート規模の多ポートスイッチ特性の両立を可能とし、現在検討されている光バースト(分、秒オーダー)スイッチングから、より粒度の細かいマイクロ秒オーダーの光バーストスイッチが可能とする超高速スイッチング技術の開発を行う。②では同一対地間に複数の異なる波長を一括してルーティングを行う波長群スイッチング機能により光パス数や光スイッチポート数を削減し、ノードの小型化、省電力化を可能とするとともに、超大容量の波長群を限られた帯域で提供可能なダイナミクス性に優れた多角的なスイッチング粒度を有するフォトニックノード構成技術の開発を行う。③では多元粒度光パスを用いるスケラブルな光ネットワークの設計法並びにネットワークを構成する高機能フォトニックネットワークノードをはじめとする各種のフォトニックノードにおける多元粒度光パス処理機能の配備法を確立する。また、電気レイヤ、多元粒度光パスレイヤで構成されるマルチレイヤネットワークにおけるシームレスなトラフィックエンジニアリングを行うための制御アルゴリズムを開発する。



4. 研究開発の期間及び体制

平成17年度～平成21年度(5年間)

NTTコミュニケーションズ株式会社<幹事会社>、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

主な課題成果

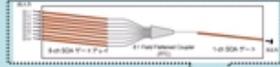
課題ア 超高速スイッチング技術

ペタビット級の次世代
基幹ネットワーク
向け小型スイッチ開発
【日刊工業新聞
2008年2月26日】

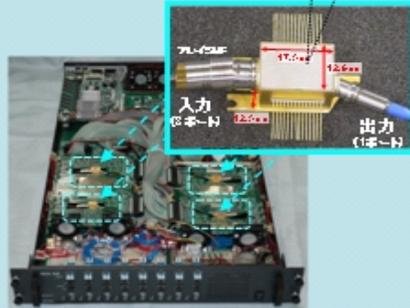
次世代ネットワークに
対応する超小型集積
光スイッチモジュール
【Laser Focus World
Japan 2008年5月号
12月号】

集積光スイッチ
消費電力半分に
【日経産業新聞
2008年2月27日】

高利得8チャネル集積化スイッチ(世界初)



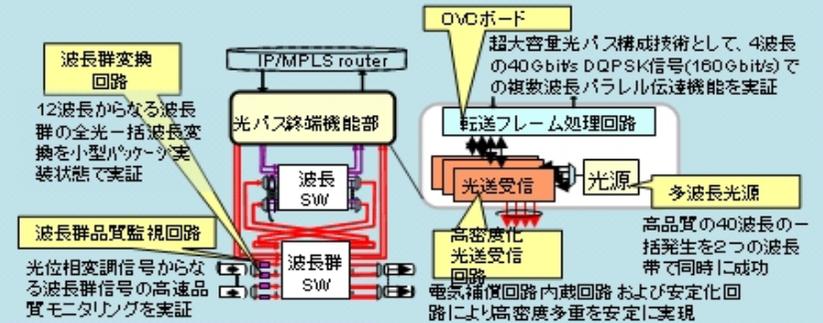
超小型集積モジュール(世界初)



超高速スイッチシステム

課題イ:波長群スイッチングノード技術

・波長群を光信号のまま伝達するための下記要素技術について、
回路実装により、基本機能及び連携動作の実証に成功した。



多階層光スイッチ 毎秒10テラビット
で動作 NTTと富士通が成功【日刊
工業新聞 2009年3月30日】

波長数を変更できるパケット送受信技術を開発、大容
量映像のオンデマンド同時配信に成功(3PG連携実験)
【日経産業新聞 2009年12月9日】

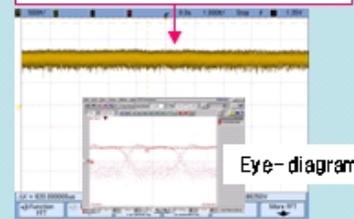
イ-4 光位相同期多波長光源広帯域チェーン技術

①アラン分散10⁻¹⁰以下の光周波数安定化と②チェーン化基本技術である光PLLを
実証し、チェーン化後電界重畳された光キャリアによるアイパターンの観測に成功した。

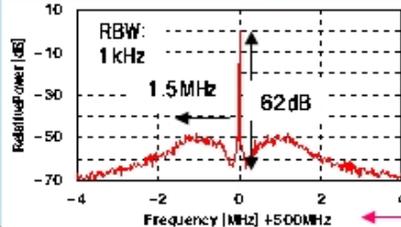


600kHz以下の周波数安定化に成功。

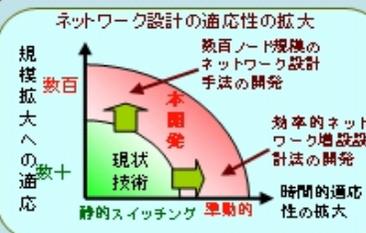
限界重畳光キャリアの光強度測定結果
とそのアイパターン



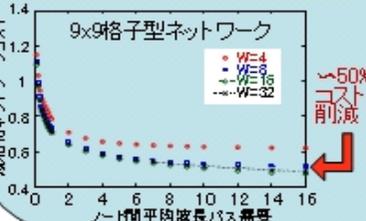
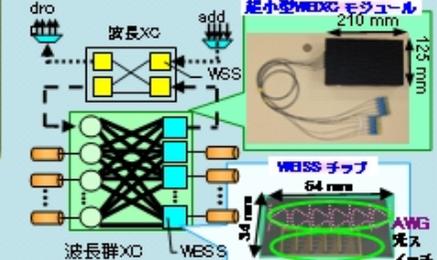
57mradの強い位相引込を
可能とする光PLLを実証。



課題ウ 多元的光パスネットワークの研究開発



モノリシック光集積化波長群選択スイッチ (WESS)とそれ
を用いた超小型波長群クロスコネクタモジュールの開発

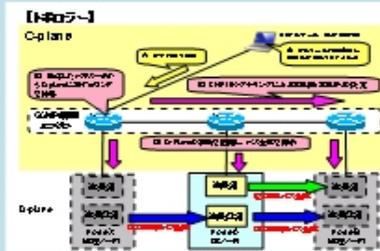


研究業績に対して各賞を受賞: (1) 平成18年度電子情報通信学会東海支部
学生研究奨励賞, (2) 2007年電気学会東海支部賞, (3) 電子情報通信学会
東海支部平成19年度学生研究奨励賞, (4) 2007年電子情報通信学会通信
リサイエンス最優秀論文賞, (5) 2008年電子情報通信学会通信リサイエンス
最優秀論文賞, (6) 第4回フォトニックネットワーク研究会学生ワークショップ
優秀賞, (7) 電子情報通信学会東海支部平成20年度学生研究奨励賞, (8)
A semi-finalist in the 2009 Coming Outstanding Student Paper Competition
at OFC/NFOEC 2009, (9) Best Student Presentation Award Honorable
Mention, ACP 2009, (10) A semi-finalist in the 2010 Coming
Outstanding Student Paper Competition at OFC/NFOEC 2010

主な課題成果

課題ウ 多元的光パスネットワーク技術の研究開発

課題ア～課題ウまでを連携した連携実験を行い、制御管理プレーンから転送プレーンまで一連動作が可能であることを確認した。



連携実験における
ネットワークポロジ（左）と実験機器（右）

1. これまで得られた成果（累計）

	国内出題	外国出題	研究論文	その他研究発表	報道発表	展示会	標準化提案
高機能フォトニックノード 技術の研究開発	39	40	84	120	7	35	0

2. これまで得られた成果（報道発表）

課題ア-1: 報道発表2008年2月26日、「ペタビット級の次世代基幹ネットワーク向け小型スイッチ開発」、日刊工業新聞
 課題ア-2: 雑誌掲載2008年5月号 12月号、「次世代ネットワークに対応する超小型集積光スイッチモジュール」、Laser Focus World Japan
 課題ア-3: 報道発表2008年2月27日、「集積光スイッチ消費電力半分に」、日経産業新聞
 課題ア-3/課題イ: 報道発表2009年3月30日、「多階層光スイッチ毎秒10テラビットで動作NTTと富士通が成功」、日刊工業新聞
 課題イ/エ: 報道発表2009年12月9日、
 「波長数を変更できるパケット送受信技術を開発、大容量映像のオンデマンド瞬時配信に成功」、日経産業新聞