

平成24年度研究開発成果概要書

「光トランスペアレント伝送技術の研究開発（λリーチ）（153ウ01）」

課題ウ ダイナミック適応型フォトニックノード構成技術に関する研究

副題 副題 スケーラブルかつ柔軟に再構成可能なネットワークを実現

(1) 研究開発の目的

フォトニックネットワーク上で転送されるトラフィック需要の10G～100G超ビット/秒にわたる広範囲のサービスを収容し、また、エネルギー効率最大化のための制御等を含む大規模なトラフィック変動に動的に適応する、光ネットワーク再構成技術の実現可能性を明らかにする。そのために、スケーラブル・再構成可能なフォトニックノード構成・制御、適応収容、光分岐挿入の各技術の研究開発を行い、これらを連携させたダイナミック適応型フォトニックノードのフィージビリティを検証し、ネットワーク全体で1桁以上の消費電力削減を可能にする。

(2) 研究開発期間

平成23年度から平成27年度（5年間）

(3) 委託先機関

日本電信電話株式会社<幹事>、国立大学法人名古屋大学、日本電気株式会社

(4) 研究開発予算（百万円単位切上げ）

平成23年度	77（契約金額）
平成24年度	73（ 〃 ）
平成25年度	68（ 〃 ）
平成26年度	64（ 〃 ）
平成27年度	61（ 〃 ）

(5) 研究開発課題と担当

課題ウ-1 スケーラブル光ノード構成・制御技術

課題ウ-1-1 スケーラブル光ノードアーキテクチャ・制御技術

（国立大学法人名古屋大学）

課題ウ-1-2 スケーラブル光ノード実現技術

（国立大学法人名古屋大学）

課題ウ-2 スケーラブル光スイッチインタフェース技術

課題ウ-2-1 スケーラブル適応収容技術（日本電信電話株式会社）

課題ウ-2-2 スケーラブル光分岐挿入技術（日本電気株式会社）

(6) これまで得られた研究開発成果

(累計) 37 件

(当該年度) 22 件

特許出願	国内出願	4	2
	外国出願	1	1
外部発表	研究論文	7	5
	その他研究発表	24	13
	プレスリリース	0	0
	展示会	1	1
	標準化提案	0	0

具体的な成果

(1) スケーラブル光ノード構成・制御技術 (課題ウ-1)

【課題ウ-1-1 スケーラブル光ノードアーキテクチャ・制御技術】

- ① グループドルーティングと波長単位の add/drop を適用する新しいノード構成と効率的な設計アルゴリズムの開発により、ファイバ数の増加を数%以下に抑え、一方、スイッチ規模を大幅 (ポート数比で 85%以上) に削減できる事を示した。
- ② 従来構成における WSS のルーティング機能を、波長グループ化と出力ファイバ選択の 2 段階の選択機能で簡易化 (大規模 WSS を小規模 WSS と $1 \times n$ 光 SW で置換) することにより大幅にデバイスコストを削減。ファイバ数 6% の増加で、 1×20 WSS 数を 63% 削減。
- ③ 小規模 OXC サブシステムを用いたノード構成並びにネットワークの動的パス制御法を開発。提案型ノード構成は、従来構成と比較して、同一ファイバ数・同一ブロッキング率の条件下でほぼ同程度のパス収容能力を達成。ハードウェア規模も大幅に削減。

【課題ウ-1-2 スケーラブル光ノード実現技術】

- ① これまでに開発した多段選択型可変波長フィルタ PLC チップに、入力ファイバ選択用 $1 \times n$ スイッチを集積化し、さらなる小型化を図ったチップの試作に成功した。現在複数チップを搭載した小型波長ドロップ用モジュールを開発中である。

(2) スケーラブル適応収容技術 (課題ウ-2-1)

- ① クライアント収容再構成技術のキーとなる「再構成可能トランスポンダ」の「分割結合送受信機能」と「可変トランスポートフレーム機能」を機能拡張し、「動的に再構成を可能とする制御機能の方式検討」を実施した。また、再構成可能トランスポンダ構成法の検討結果の一部成果を電子情報通信学会光通信システム研究会にて発表した。
- ② 「動的に再構成を可能とする制御機能」の実現方式として、フロー帯域 (ビットレート) 制御と、フロー帯域に見合うトランスポートフレームサイズならびに物理的な並列レーン数の変更を連携動作する「フォーマット変換インタフェース変換機能」を検討した。さらに、

- 「フォーマット変換インタフェース基本機能」の機能設計を実施した。
- ③「フォーマット変換インタフェース基本機能」の機能設計をもとに、ハードウェア実装試作により実現性を評価した。フロー帯域に対応して、トランスポートフレームサイズを変更する可変トランスポートフレーム機能を検証するために、試験機で所定帯域のフローを生成し、その帯域に応じたフレームを構成し、16 バイト分割分配 (OTN-MLD) により複数物理レーン (ラインレート : 11.1 Gb/s) による半固定的なフォーマット変換機能での入出力動作を確認した。

(3) スケーラブル光分岐挿入技術 (課題ウ-2-2)

- ①熱光スイッチ素子を多数集積化したシリコン光回路基板をフレキシブル基板上に実装し、シリコン光回路基板端面へのファイバ接着による光接続とソケットを備えたパッケージ組み込みによる電気接続をとったシリコン光スイッチモジュールに対して、光信号に対するオンオフ特性の詳細評価を進めた。オフ時には熱光スイッチ素子への加熱なし、オン時には定電流駆動による一定電流値の加熱とする駆動条件で、光信号のオンオフ特性において約 40 dB の高い消光比を得た。
- ②モジュールを電氣的に駆動制御するボードの仕様を策定していく上で、シリコン光回路基板上の熱光スイッチの全素子の駆動条件をモジュール実装された状態で評価することが重要であった。熱光スイッチ素子の加熱部電気抵抗を評価し、1 台のモジュールにおける電気抵抗ばらつきは平均値±約 4%以下と小さいことを確認した。
- ③シリコン光スイッチモジュールを通過させた光信号の BER 評価を行い、劣化の小さい良好な特性を得た。

(7) 研究開発イメージ図
別紙参照

平成24年度「光トランスペアレント伝送技術の研究開発(入リーチ)課題ウ ダイナミック適応型フォトニックノード構成技術に関する研究」の研究開発目標・成果と今後の研究計画

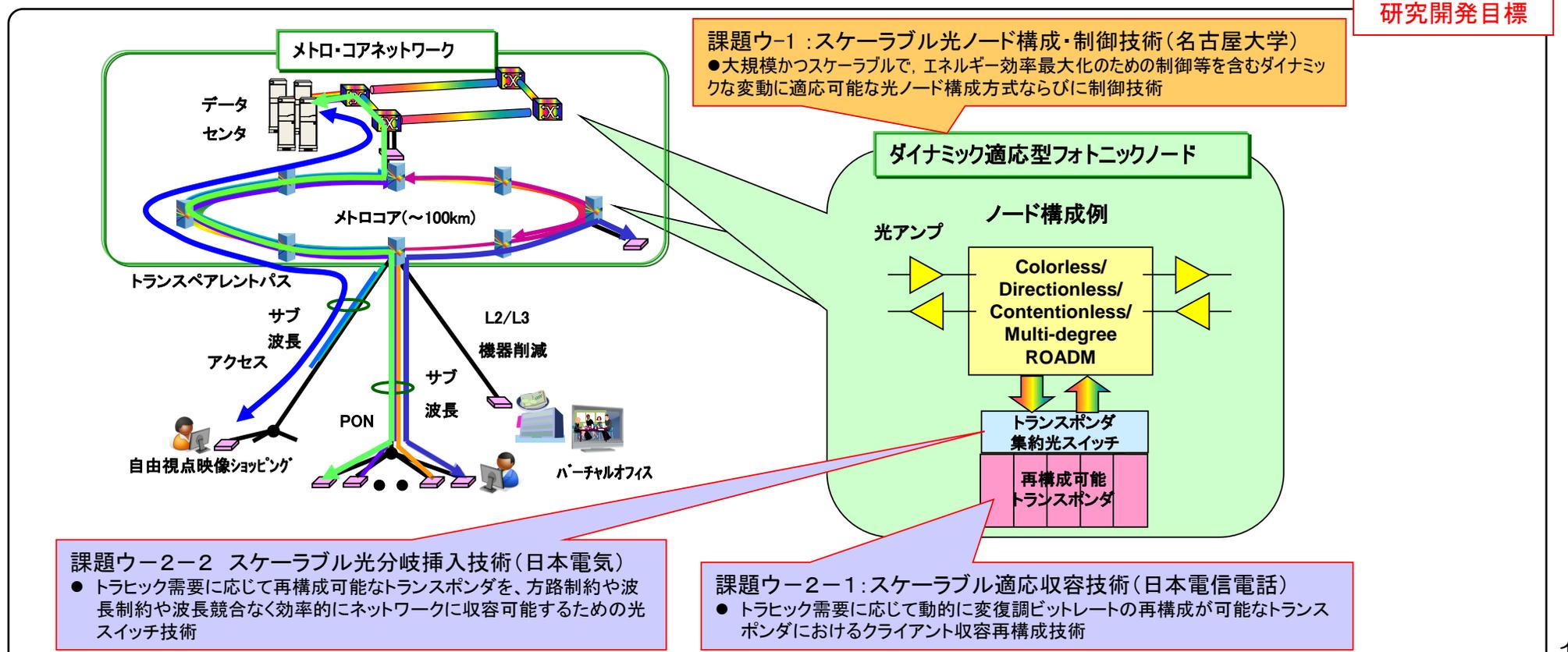
1. 実施機関・研究開発期間・研究開発費

- ◆実施機関 日本電信電話株式会社(幹事者)、国立大学法人名古屋大学、日本電気株式会社
- ◆研究開発期間 平成23年度から平成27年度(5年間)
- ◆研究開発費 総額343百万円(平成23年度:77百万円、平成24年度:73百万円、平成25年度:68百万円、平成26年度:64百万円、平成27年度:61百万円)

2. 研究開発の目標

トランスペアレント領域(ファイバあたりの伝送容量×リンク長)を現状の100倍以上に相当する4 [Pビット/秒 × km] に拡大したメトロコアネットワークのフォトニックノードに対して、「スケーラブル光ノード構成・制御技術」による25%以上の消費電力削減と、「スケーラブル適応収容技術」と「スケーラブル光分岐挿入技術」を適用した「スケーラブル光スイッチング技術」を研究開発することで25%以上のインタフェース数削減を目標とする。

3. 研究開発の成果



研究開発成果: 課題ウ-1 スケーラブル光ノード構成・制御技術

課題ウ-1-1 スケーラブル光ノードアーキテクチャ・制御技術 (国立大学法人名古屋大学)

目標
 昨年度考案した入出力ファイバ数が100程度まで拡張可能なノードの性能を評価するために、考案した各種のアーキテクチャ毎に対応するネットワーク設計アルゴリズムを開発し、各アーキテクチャの性能評価を開始。

成果
 ① グループドルーティングと波長単位のadd/dropを適用(図1参照)する新しいノード構成と効率的な設計アルゴリズムの開発により、ファイバ数の増加を数%以下に抑え、一方、スイッチ規模を大幅(ポート数比で85%以上)に削減できる事を示した。

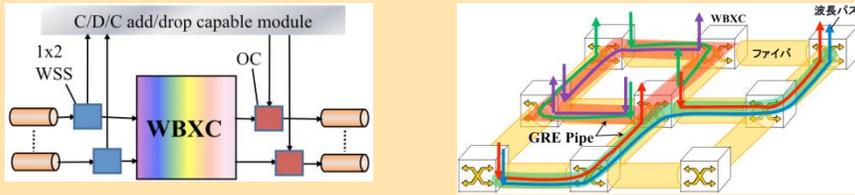


図1 (a) Grouped Routing Network ノード

(b) GREパイプ

② 従来構成におけるWSSのルーティング機能を、波長グループ化と出力ファイバ選択の2段階の選択機能で簡易化(大規模WSSを小規模WSSと1xn光SWで置換)することにより大幅にデバイスコストを削減。ファイバ数6%の増加で、1x20 WSS数を63%削減。

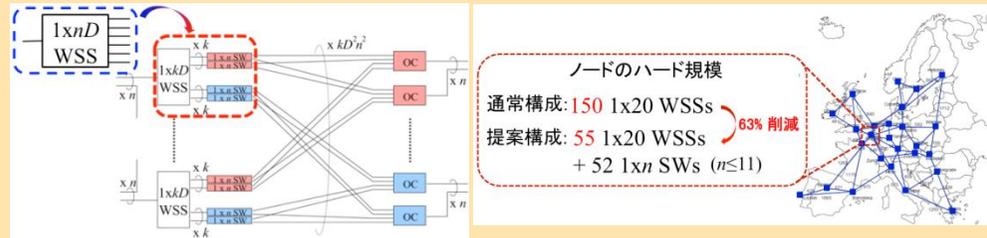


図2 (a) 新構成ノード

(b) ハード規模評価例

③ 小規模OXGサブシステムを用いたノード構成並びにネットワークの動的パス制御法を開発。提案型ノード構成は従来構成と比較して、同一ファイバ数・同一ブロッキング率の条件下でほぼ同程度のパス収容能力を達成。ハードウェア規模も大幅に削減。

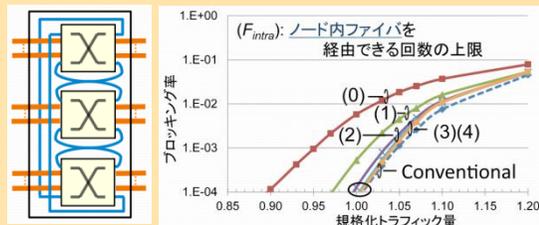
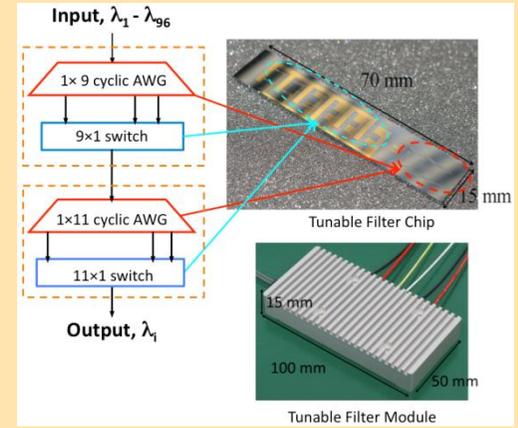


図3 提案ノード構成とブロッキング率

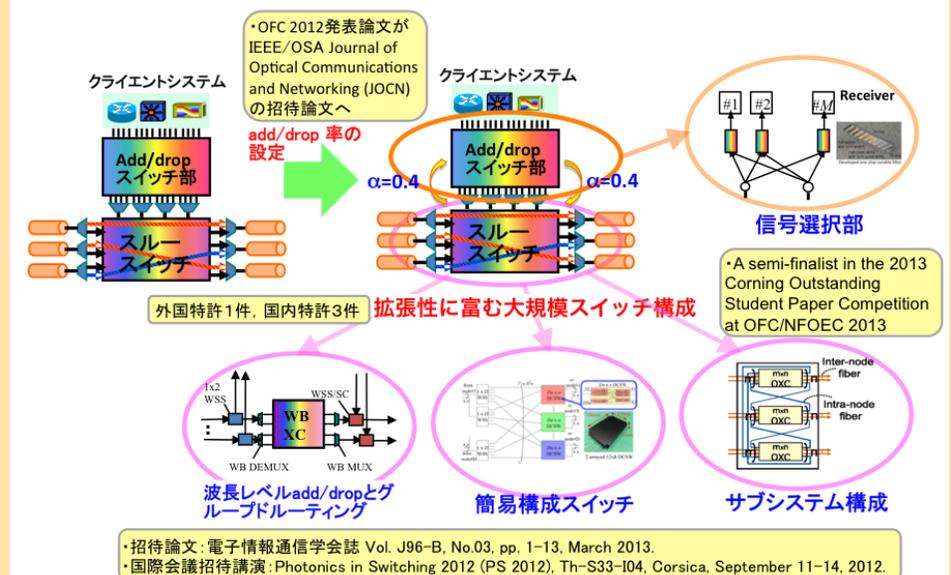
課題ウ-1-2 スケーラブル光ノード実現技術 (国立大学法人名古屋大学)

目標
 課題ウ-1-1で開発した光ノードアーキテクチャを構成する上でキーとなる光機能を一部試作し特性を評価する。特に大規模でスケーラブルなノードに適用可能なAdd/dropトラヒックに対するインタフェース部に必要となる信号選択部の機能検証を行なう。

成果
 これ迄に開発した多段選択型可変波長フィルタPLCチップ(右図)に、入力ファイバ選択用1xnスイッチを集積化し、さらなる小型化を図ったチップの試作に成功した。現在複数チップを搭載した小型波長ドロップ用モジュールを開発中である。



課題ウ-1 研究開発成果のまとめ (国立大学法人名古屋大学)



・招待論文: 電子情報通信学会誌 Vol. J96-B, No.03, pp. 1-13, March 2013.
 ・国際会議招待講演: Photonics in Switching 2012 (PS 2012), Th-S33-104, Corsica, September 11-14, 2012.

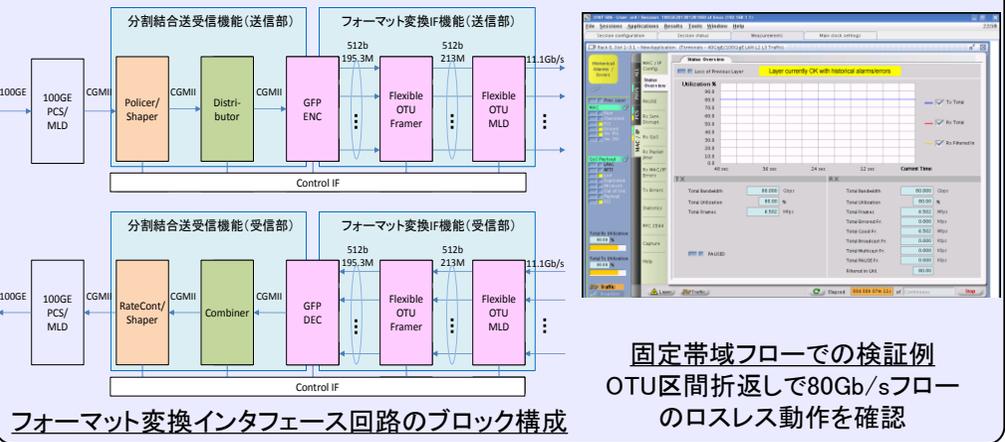
研究開発成果:課題ウ-2 スケーラブル光スイッチインタフェース技術

課題ウ-2-1 スケーラブル適収容技術

(日本電信電話株式会社)

目標:
ノードあたりのインタフェース数を削減可能なスケーラブル光スイッチインタフェース技術の実現に向け、10G~100Gビット/秒にわたる突発的な負荷変動するクライアントに対し、再構成することで適収容する「クライアント収容再構成技術」のキーとなる「再構成可能トランスポンダ」の要素技術の試作とその初期評価を実施する。

- 成果:**
- ① クライアント収容再構成技術のキーとなる「再構成可能トランスポンダ」の「分割結合送受信機能」と「可変トランスポートフレーム機能」を機能拡張し、「動的に再構成を可能とする制御機能の方式検討」を実施した。また、再構成可能トランスポンダ構成法の検討結果の一部成果を電子情報通信学会光通信システム研究会にて発表した。
 - ② 「動的に再構成を可能とする制御機能」の実現方式として、フロー帯域(ビットレート)制御と、フロー帯域に見合うトランスポートフレームサイズならびに物理的な並列レーン数の変更を連携動作する「フォーマット変換インタフェース変換機能」を検討した。さらに、「フォーマット変換インタフェース基本機能」の機能設計を実施した。
 - ③ 「フォーマット変換インタフェース基本機能」の機能設計をもとに、ハードウェア実装試作により実現性を評価した。フロー帯域に対応して、トランスポートフレームサイズを変更する可変トランスポートフレーム機能を検証するために、試験機で所定帯域のフローを生成し、その帯域に応じたフレームを構成し、16バイト分割分配(OTN-MLD)により複数物理レーン(ラインレート: 11.1Gb/s)による半固定的なフォーマット変換機能での入出力動作を確認した。



課題ウ-2-2 スケーラブル光分岐挿入技術

(日本電気株式会社)

目標:
前年度試作したシリコン光スイッチ・モジュールが、トランスポンダ集約光スイッチとして必要な特性を有することを検証し、モジュールを駆動制御するボードの仕様を策定することを目標とする。トランスポンダ集約光スイッチでは、多数本の入出力ファイバあるいは多数のトランスポンダが接続されることから、高消光比特性が必要である。これをモジュールレベルで特性実証を行うと共に、個々の光スイッチ素子を駆動制御する上で必要となる駆動電圧範囲等の仕様を明らかにする。

- 成果:**
- ① 熱光スイッチ素子を多数集積化したシリコン光回路基板をフレキシブル基板上に実装し、シリコン光回路基板端面へのファイバ接着による光接続とソケットを備えたパッケージ組み込みによる電気接続をとったシリコン光スイッチモジュールに対して、光信号に対するオンオフ特性の詳細評価を進めた。オフ時には熱光スイッチ素子への加熱なし、オン時には定電流駆動による一定電流値の加熱とする駆動条件で、光信号のオンオフ特性において約40dBの高い消光比を得た。
 - ② モジュールを電氣的に駆動制御するボードの仕様を策定していく上で、シリコン光回路基板上の熱光スイッチの全素子の駆動条件をモジュール実装された状態で評価することが重要であった。熱光スイッチ素子の加熱部電気抵抗を評価し、1台のモジュールにおける電気抵抗ばらつきは平均値±約4%以下と小さいことを確認した。
 - ③ シリコン光スイッチモジュールを通過させた光信号のBER評価を行い、劣化の小さい良好な特性を得た。

The complex block contains three main elements:

- 8x8超小型シリコン光スイッチモジュール**: A photograph of a small, green, rectangular silicon optical switch module.
- 光オンオフ特性**: A line graph showing Transmission (dB) vs. Wavelength (nm). The transmission is stable around -10 dB from 1570 nm to 1620 nm.
- 素子加熱部電気抵抗**: A histogram showing the distribution of electrical resistance (Ohm) for the heating elements. The x-axis is logarithmic, ranging from 100 to 1000 Ohm. The distribution is centered around 200-300 Ohm.

A schematic diagram on the right shows a **ダイナミック適応型フォトニックノード** (Dynamic Adaptive Photonic Node) containing a **スケーラブル Multi-degree ROADM** (Scalable Multi-degree ROADM) with **スルーパスルーティング機能** (Through-pass routing function), **グルーミングスイッチ機能** (Grooming switch function), and **add/drop機能** (add/drop function). This node is connected to **トランスポンダ集約光スイッチ 5-less機能** (Transponder aggregation optical switch 5-less function) and **再構成可能トランスポンダ** (Reconfigurable transponder).

4. これまで得られた成果(特許出願や論文発表等) ※成果数は累計件数と()内の当該年度件数です。

	国内出願	外国出願	研究論文	その他研究発表	プレスリリース	展示会	標準化提案
光トランスペアレント 伝送技術の研究開発(Λリーチ)課題ウ	4 (2)	1 (1)	7 (5)	24 (13)	0 (0)	1 (1)	0 (0)

5. 研究成果発表会等の開催について

(1) 学会発表・表彰

- ・電子情報通信学会「光通信システム研究会(平成24年1月26日)」にて「光トランスペアレント伝送技術の研究開発(Λリーチ)」の研究計画概要を発表(H23)
- ・電子情報通信学会「フォトニックネットワーク研究会(平成24年3月11日)」にて若手研究賞を受賞(名大・山田祥之)(H23)
- ・Photonics in Switching 2012(PS 2012)で「光トランスポートネットワークとノードアーキテクチャ」ならびに「シリコン光スイッチデバイス」の現状と展望を発表(H24)
- ・OFC/NFOEC 2013でA semi-finalist in the 2013 Corning Outstanding Student Paper Competition at OFC/NFOEC 2013を受賞(H24)

(2) 展示会

- ・第26回 光通信システム(OCS)シンポジウム(2012年12月、静岡県三島市)でパネル展示(H24)

(3) 報道発表

6. 今後の研究開発計画

- ・平成25年度は、平成26年度における課題間での連携動作確認実験を念頭におき、課題項目毎に以下の中間目標(平成26年3月末)を設定する。
- ・【課題ウ-1 スケーラブル光ノード構成・制御技術】
 - ・入出力ファイバ数が100程度まで拡張可能な光ノード基本アーキテクチャの性能をネットワーク設計と連携して定量的に評価し、ハード規模の最小化と拡張性を両立できる構成を明らかにする。
 - ・ダイナミック適応型フォトニックノード基盤技術の検証(平成26年度)向けの光伝達実験に必要な光モジュール開発着手と、光トランスペアレント伝送技術の実現性を実証する為の課題間総合実験(平成27年度)に向けたノード機能検証用の光スイッチモジュールの設計に着手する。
- ・【課題ウ-2 スケーラブル光スイッチインタフェース技術】
 - ・「100Gイーサネット分割結合送受信基本機能回路(平成23年度)」と「フォーマット変換インタフェース基本機能回路(平成24年度)」を用い、「可変レート基本機能回路」の試作により、レート可変基本機能動作のハードウェア動作を検証する。
 - ・平成24年度までに試作したシリコン光スイッチモジュールと駆動制御ボードを結合し、方路制約や波長制約や波長競合のない光スイッチインタフェースの初期システム検証を実施する。