

(27-1)

## 平成27年度研究開発成果概要書

課題名 : 光トランスペアレント伝送技術の研究開発(λリーチ)  
採択番号 : 153ウ01  
個別課題名 : 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 : 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) 実施機関

日本電信電話株式会社<代表研究者>、  
国立大学法人名古屋大学(実施責任者 教授 佐藤健一)、日本電気株式会社

### (4) 研究開発予算(契約額)

総額 340百万円(平成27年度 60百万円) ※百万円未満切り上げ

### (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(国立大学法人名古屋大学)  
ウ-1-1. スケーラブル光ノードアーキテクチャ・制御技術  
ウ-1-2. スケーラブル光ノード実現技術  
課題ア-2: 非線形補償信号処理技術  
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)  
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) これまで得られた成果(特許出願や論文発表等)

		(累計) 件	(当該年度) 件
特許出願	国内出願	17	3
	外国出願	9	3
外部発表	研究論文	15	5
	その他研究発表	78	18
	プレスリリース・報道	3	0
	展示会	10	3
	標準化提案	4	1

(27-1)

(7) 具体的な実施内容と成果

・課題ウ-1 スケーラブル光ノード構成・制御技術

ウ-1-1. スケーラブル光ノードアーキテクチャ・制御技術

【最終目標】

以下の機能を有するスケーラブル光ノードアーキテクチャ・制御技術の実現可能性を明らかにする。

- (1) 10 G ~ 100 G 超ビット/秒の速度の光信号を収容
- (2) 将来のトラヒックの大幅な増加に対するスムーズな拡張性
- (3) 100 入出力ファイバ数規模にスケール可能
- (4) 複数の粒度の光信号をスイッチ可能
- (5) 課題ウ-2 で開発するノードでの add/drop トラヒックに対するスケーラブルインタフェース部を効率的に収容可能
- (6) ノードの機能と構成要素に応じてその性能を最大化するための制御技術

【実施内容】

入出力ファイバ数が100程度まで拡張可能なノードの実現に向け、各種光ノードアーキテクチャを考案し、その詳細な性能比較を行った。ノードの実現においては、光信号の分岐/挿入部の構成も重要なポイントであり、これに関しても新たな方式を考案し評価した。以下に示す結果が得られた。

【最終成果】

目標を達成する新たな光ノードアーキテクチャを考案し、その有効性を実証した。得られた成果は、当初の目標を大幅に上回る論文/国際会議発表/特許として公表した。

ウ-1-2. スケーラブル光ノード実現技術

【最終目標】

課題ウ-1-1 で開発したアーキテクチャ・制御技術を実現するための、キーとなる光機能部品の基本特性を実証する。また、課題ウ-2 と連携してダイナミック適応型フォトニックノード基盤技術の実証を行う。最終年度に課題間の統合実験により光トランスパアレント伝送技術の実証を行う。

【実施内容】

課題ウ-1-1 のスケーラブル光ノードアーキテクチャ・制御技術を実現する上で必要なキーとなる光機能部品の実現性を評価するための試作を行った。ダイナミック適応型フォトニックノード基盤技術の実現性を実証するために、ノード全体の機能検証を課題間の統合実験により実施した。

【最終成果】

キーとなる光機能部品の基本特性、ならびにダイナミック適応型フォトニックノード基盤技術を統合実験により実証した。

・課題ウ-2 スケーラブル光スイッチインタフェース技術

ウ-2-1. スケーラブル適応収容技術

【最終目標】

以下のスケーラブル適応収容技術について実現可能性を検証する。検証結果をもとにIEEE802 等での 100 G 超インタフェース国際標準化を提案する。

- (1) トラヒック需要に応じて 10 G ~ 100 G 超ビット/秒まで動的に送受信ビットレートを変更することが可能
- (2) 動的に変更に再構成可能とするトランスパアレントネットワークとシームレスに協調
- (3) 10 G ~ 100 G 超ビット/秒まで動的にデータ重畳分離を実現する高速信号処理に基づくトランスポートフォーマットへの収容
- (4) 変復調方式、ビットレート、波長数などに依存しない光スイッチとスケーラブルに接続可能

## 【実施内容】

100 G ビット／秒の双方向の2入出力を有する FPGA ボードを機能検証用のテストボードとして用い、クライアントのフロー帯域制御と方路制御を行う「分割結合送受信機能」、識別分離したフローをトランスポートフレームにマッピングする「可変トランスポートフレーム機能」、遠隔送受間でトランスポートレートを制御する「レート可変情報転送機能」を段階的に機能実装し、最終的に「可変レート・再構成基本機能」のハードウェア実装することにより、再構成可能トランスポンダに適用するスケーラブル適応収容技術のフェージビリティを検証した。

また、「可変トランスポートフレーム機能」と「可変レート・並列トランスポートレーン接続インタフェース機能」を400 G ビット／秒の双方向の2入出力を有する B100G 試験機に機能実装し、統合実験によって、適応変復調機能、可変トランスポートフレームを備える再構成トランスポンダとチューナブルフィルタ、トランスポンダ集約光スイッチによりダイナミック適応型フォトニックノードを構成し、適応変復調機能、可変トランスポートフレームによる伝送距離と変復調方式の連携動作、ならびに、コヒーレントλ（課題 175）成果の高精度光周波数光源を用いた波長救済動作によるダイナミック適応型フォトニックネットワーク動作を実演した。

## 【最終成果】

- (1) 最終課題に掲げた機能要件（4 要件）を満足する「再構成可能トランスポンダ」のアーキテクチャを検討し、「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」を主機能とする「可変レート・再構成基本機能回路」の機能設計を実施した。
- (2) 「可変レート・再構成基本機能回路」のハードウェア実装による機能検証を完了し、10 G ~ 100 G 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、再構成可能な可変トランスポートフレームによるスケーラブル適応収容技術のフェージビリティを検証した。
- (3) 「100G 超 OTN に対する要求条件」の ITU-T SG15 に寄書提案を行い、ITU-T G.709 勧告に採録予定である。
- (4) λリーチ各課題と連携した統合実験において ITU-T G.709 勧告化に先がけて B100G トランスポートフレーム (OTLCn) を 400G 試験機に実装し、統合実験により再構成トランスポンダにおける可変トランスポートフレームを実証した。

## ウ-2-2. スケーラブル光分岐挿入技術

## 【最終目標】

最大 100 入出力ファイバ数のノードに対し、スケーラブルに増設が可能なトランスポンダ集約光スイッチアーキテクチャの検討と要素技術の研究開発と検証を行う。また、課題ウ-1 と連携してダイナミック適応型フォトニックノード基盤技術の実証を行う。最終年度に課題間の統合実験により光トランスペアレント伝送技術の実証を行う。

## 【実施内容】

小型化・大規模化・高密度化に適した、シリコンフォトニクス技術を用いたトランスポンダ集約光スイッチの要素技術試作を行った。ダイナミック適応型フォトニックノード基盤技術の実現性を実証するために、ノード全体の機能検証を課題間の統合実験により実施した。

## 【最終成果】

20×50 mm の小型 8×8 シリコン光スイッチモジュールの試作と、これを複数個用いた 8×96 トランスポンダ集約光スイッチインタフェースの性能検証を行い、平均 25.1 dB の低損失化と平均 0.32 dB の低 PDL 化を実証し、最終目標である 100 ポートクラスまでの容量拡張の目処を得た。ダイナミック適応型フォトニックノード基盤技術を統合実験により実証した。