

平成28年度研究開発成果概要書

採択番号：171B01

課題名：エラスティック光通信ネットワーク構成技術の研究開発

個別課題名：課題B エラスティック光ノード・リンク構成技術

副題：グリーンで高信頼なエラスティックノード・リンクを実現

(1) 研究開発の目的

通信トラフィックの継続的な増大傾向により、10G~100Gのイーサネットクライアントの効率的収容と転送のため、現在100Gb/sのリンクシステムの商用化が進展しており、最近では400Gイーサネットの標準化がIEEEにおいて開始されつつある。一方で、モバイルやクラウド等の新しいサービスの進展と浸透により、トラフィックの量や分布を正確に予測し、ネットワーク設計に反映することがますます困難になっている。また2012年ITU-Tにおいて、これまでの固定グリッドに代わる新しい光周波数リソースの活用方法として、フレキシブルグリッドが提案・合意され、G.694.1勧告の改訂が完了した。このように、今後100Gb/sを超える大容量化や、予測の難しいトラフィックに対応するとともに、フレキシブルグリッドに基づくエラスティック光通信ネットワークの柔軟性を最大限に引き出す、エラスティック光通信ネットワーク構成技術の開発が急がれる。通信オペレータ、システムベンダ、大学の3者がそれぞれの強みを持ちより、エラスティック光通信ネットワーク構成技術の研究開発を行い、光周波数の利用効率において、固定グリッドに比較して30%以上の高効率化と、ネットワーク全体としての消費電力の50%以上の低減を可能とする方式の実現可能性を示す。さらに、東日本大震災などの大規模災害に対して、エラスティック光通信ネットワークの柔軟性を最大限活用することにより、固定グリッドに比較して50%以上の復旧性能向上を実現する超高信頼化技術のフェージビリティを検証する。課題Bは特に、エラスティックNWそのものを構成する主要素である光ノード・リンク構成の課題を取り扱う。同ノードやリンクにおいては、ITU-Tで国際標準化された任意のスロット幅を持つ光信号を、光のまま自在にスイッチングしたり、あるいは電氣的終端シグルーミング処理を行ったり、あるいは伝送距離を達成するために、光再生中継処理を行うなど、従来の単一帯域の光信号を取り扱う場合に比較して、非常に多種多様な機能を提供することが可能となる。加えて100Gを超えるような大容量の光信号が不具合を起こすインパクトは甚大なため、その転送の信頼性を根本的に向上する必要もある。さらに、万が一の故障や災害に際して、光帯域を柔軟に生かすことで高い復旧性能を実現することも肝要である。その一方で、多くの機能を実現するノード・リンク構成が取り得る形態は非常に多岐にわたると考えられる。

(2) 研究開発期間

平成25年度から平成28年度（4年間）

(3) 実施機関

日本電信電話株式会社<代表研究者>、日本電気株式会社、
国立大学法人香川大学（実施責任者 教授 神野正彦）

(4) 研究開発予算（契約額）

総額 256百万円（平成28年度 59百万円）
※百万円未満切り上げ

(5) 研究開発課題と担当

(28-1)

課題 B-1：ロバスト・エラスティック光リンク構成技術の研究

(日本電信電話株式会社)

課題 B-2：高信頼エラスティック光ノード構成・制御技術の研究

(日本電気株式会社)

B-2-1 高信頼エラスティック光ノード制御技術

B-2-2 エラスティック光ノード構成技術

課題 B-3：エラスティック光エッジシステム構成・制御技術の研究

(国立大学法人香川大学)

(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	33	9
	外国出願	14	3
外部発表	研究論文	3	2
	その他研究発表	47	14
	プレスリリース	2	2
	展示会	5	3
	標準化提案	3	2

(7) 具体的な実施内容と成果

・課題 B-1 ロバスト・エラスティック光リンク構成技術の研究

(日本電信電話株式会社)

【最終目標】

マルチキャリアをベースとする直交周波数分割多重光信号やナイキスト WDM などのマルチレーン化に対応し、これを飛躍的に高信頼化することにより、故障や災害時の復旧性能を、課題 B-2 高信頼エラスティック光ノード構成・制御技術の研究、および課題 B-3 エラスティック光エッジシステム構成・制御技術の研究と連携することで 50%以上向上するロバスト・エラスティック光リンク構成技術の実現可能性を明らかにする。

【実施内容および最終成果】

①マルチレーン伝送に適した新しい冗長化原理 (MLRC) の提案を行い、二重化 (ミラー) 伝送と比較して、Elastic 技術と組み合わせることで 50%以下の光帯域で同等の信頼性確保可能なことを示した。

②Ethernet (IP) および OTU4/OTUCn への適用方法の検討を行い、FPGA 実装により汎用アプリケーションや測定器との接続検証から既存技術との整合性を示した。

③課題 B-2/B-3 との連係実験を行い、冗長による高信頼化が行われている事を確認した。また、課題 B-2/B-3 の経路冗長化技術との併用より、光送受信モジュールの3重障害の場合、100%通信経路確保が可能なことを示し、本手法を用いない経路冗長の場合から 75%の改善を示し最終目標を達成した。

④ITU-T Focus Group on DR & NRR に災害に対するエラスティックネットワークによる復旧のフレームワークに関する寄書を提案し承認された。

⑤外部発表も積極的に実施し、ほぼ目標としていた成果を達成した。

・課題 B-2 高信頼エラスティック光ノード構成・制御技術の研究

(日本電気株式会社)

B-2-1 高信頼エラスティック光ノード制御技術

【最終目標】

課題 B-2-1 ダイナミックかつ高速な光パス生成を行うために不可欠となる光パス設定・制御技術開発を行う。課題 A と連携し、転送データに対して容量や距離に応じた光周波数帯域設定を光ノード・パスにおいて最適化する。これにより、従来網における光周波数帯域利用の無駄の削減を強化し、利用可能な光周波数帯域を実効的に増大させることを特徴とする。実効的に増大した光周波数帯域を追加の予備パスとして利用するなどして、復旧性能を 50 %以上向上させる設定・制御技術確立する。

【実施内容および最終成果】

光パス設定・制御技術における波長帯域割当に関し、複数光パスに分割して断片化領域を利活用、帯域利用率を考慮した最短経路探索方式、光パス毎に光伝送特性を考慮して所要ガードバンドの最小化方式を考案した。課題 A との共通 NW モデルにおいて障害復旧性能を最大で 52 %（パーセンテージポイント）向上を達成した。

B-2-2 エラスティック光ノード構成技術

【最終目標】

課題 B-2-1 の光パス設定・制御技術を実現するための光ノード構成技術開発を行う。課題 B-2-1 より提供される制御情報を元に、アダプティブかつ柔軟な光パス生成や切替えを可能とする構成を確立する。

【実施内容および最終成果】

光送受信部に関し、サブ GHz オーダの高精度波長チューニング制御を行うことにより光パス到達性を 1 dB 向上した。波長多重分離部に関し、隣接チャンネルと透過帯域を一部オーバーラップさせることで光パス到達性を 2 dB 向上した。考案方式適用のプロトタイプを作成・評価を推進した結果、高精度波長チューニング方式を自社光ノードシステム製品に搭載した。当初目標になかった成果の実用化に結びつけた。

【実施内容および最終成果（B-2 全体）】

①課題 B-2-2 研究開発成果である光ノード構成に課題 B-2-1 研究開発成果である光ノード制御を適用した光ノードシステムにおける障害復旧を実験的に確認した。

②課題 B-1/B-3 との協働実証実験を行い、課題 B-2 全体が連携動作することを確認した。

③知財化を推進した結果、出願件数が目標件数の 10 倍以上上回った。ITU-T SG15 Q17 において障害復旧ユースケースの寄書と IEC において周波数利用効率を向上させる CDC スイッチの性能テンプレートに関する寄書とを提案し、当初目標の 2 倍の件数の標準化提案を行った。

④OFC2017 での招待講演に合わせて報道発表を実施し、大きく取り上げられた（日刊工業新聞 2017 年 3 月 17 日 1 面掲載）。

以上により、最終目標を大きく上回る成果を達成した。

・課題 B-3 エラスティック光エッジシステム構成・制御技術の研究

（国立大学法人香川大学）

【最終目標】

「広域」の光ネットワークにおいて、アプリケーションからの要求に「即応」して最適な光パスを「経済的」かつ「高信頼」に提供するためには、光ネットワークのスペクトル資源のみならず、トランスポンダやリジェネレータなどのハードウェア資源を、共有可能な資源として需要に先立ち経済的に先行配備でき、これをプログラマブルに制御可能な、光ノードシステムを確立することが重要である。先行配備された共

有トランスポンダ/リジェネレータにより、様々な帯域の光パスの、オンデマンド設定と長距離予備ルートへの即時切り替えを、経済的に提供できると期待される。

本課題では、課題 B の全体目標である「固定グリッドに比較して 50 %以上の復旧性能向上」に必要な①ネットワークグローバルな最適化設計・制御技術、ならびに②共有可能でプログラマブルなエラスティック光エッジシステムの構成方式の実現可能性を明らかにする。

【実施内容および最終成果】

ネットワーク資源の仮想化に基づく共有プロテクション（縮退資源再割当て）方式を考案し、復旧性能（2重経路障害に対する接続性救済率と定義）を 70 %向上可能（>目標 50 %）であることをシミュレーションにより実証することで、最終目標を 100 %達成した。外部発表も積極的に実施し、目標を大きく上回る研究開発成果をあげた。

①ネットワークグローバルな最適化設計・制御技術：ネットワーク資源仮想化に基づく共有プロテクション（縮退資源再割当て）により激甚災害時の接続性救済率を 70 %以上向上できることを実証した。さらに 200 Gb/s スーパーチャンネルと Flex-grid ROADM を用いた実験によりその実現可能性を実証した。

②共有可能でプログラマブルなエラスティック光エッジシステムの構成方式：上記の救済方式を実現するために必要な、光エッジシステム・アーキテクチャを検討するとともに、ET/ER を実現するために必要なプログラマブルマルチキャリア発生器の実現可能性を実験により実証した。また、エラスティック光ネットワークに特徴的な物理転送特性をシミュレーションにより明らかにした。