



2022年3月30日

報道関係者各位

慶應義塾大学
日本電気株式会社
株式会社 KDDI 総合研究所

オープン光ネットワークの監視・制御の課題解決に向けた

共通の監視・管理制御技術の開発・実証に成功

ーマルチベンダ環境でも信頼性の高い光ネットワーク構築が可能にー

慶應義塾大学（塾長：伊藤公平）、日本電気株式会社（代表取締役 執行役員社長 兼 CEO：森田隆之、以下 NEC）、株式会社 KDDI 総合研究所（代表取締役所長：中村元、以下 KDDI 総合研究所）、の3機関は、総務省委託研究 研究開発課題「新たな社会インフラを担う革新的光ネットワーク技術の研究開発」の技術課題Ⅲ「高効率光アクセスメトロ技術」（平成30年度～令和3年度）（JPMI00316）に取り組み、異なる複数のベンダの伝送装置で構成されたオープン光ネットワークにおいても、共通に監視及び制御することが可能な技術を研究開発（以下、本研究開発）し、信頼性の高い光ネットワークの構築が可能となることを実証しました。

オープン光ネットワークは、更改周期や更新時期の異なる光ネットワークの機能モジュール（トランスポンダ、ROADM（※1）機能等）を適時適所に導入可能であり、光ネットワーク全体の装置コストの低減が期待されています。一方で、光信号品質の担保や装置制御の複雑化、障害特定・復旧の困難さが増大することが予想され、オペレーションコストの増大や信頼性の低下が懸念されていました。

本研究開発では、リアルタイム監視、マルチベンダ制御、高可用ルーティング技術を確立し、国内外の5ベンダの伝送装置から構成されるテストベッドにて、光ファイバ障害やトランスポンダ障害時の自動障害復旧が可能であることを確認しました。これにより、運用コストの増加を抑えると共に高信頼なマルチベンダ光ネットワークを構成できることを実証し、今後のマルチベンダ対応光ネットワークの実用化に道筋をつけることができました。

なお、本研究開発は、慶應義塾大学理工学部山中研究室、NEC、KDDI 総合研究所ら（以下、本研究グループ）によって実施しました。

1. 本研究開発のポイント

- 異なる複数のベンダの伝送装置で構成されたオープン光ネットワークにおいて、伝送路やノードの障害をベンダ非依存でモニタリング可能な監視技術と、共通な API を用いてベンダ非依存に装置の制御が可能な制御プラットフォーム技術を研究開発しました。
- 上記開発技術を、5ベンダの装置で構成されたテストベッドにて自動障害復旧のシナリオに適用し、運用コストの増大を抑えながら高信頼な光ネットワークの構築が可能であることを実証しました。
- データセンタ並の信頼度の機器を用いても、耐障害性を劣化させない新しい経路割当概念を提唱しました。

2. 研究背景

光伝送装置のオープン化の流れは急速に進んでおり、今後数年程度で実用化が行われる可能性があります。オープン化に必要な技術として、各ベンダの装置の制御インターフェースの共通化、各コンポーネントの共通モデル化、異種ベンダ間の相互接続性の担保等が必要であり、TIP（※2）、Open ROADM（※3）等のデファクト標準化団体により、検討が進められています。一方、メトロ・基幹伝送ネットワークで必須である、異種ベンダ装置で構成されるマルチベンダ光ネットワークにおける監視技術、ファイバ断線等の異常検知時におけるネットワークプロテクション等の高信頼化技術については、検討が道半ばです。例えば、マルチベンダ光ネットワークの管理系はベンダ毎の異なったアラーム体系に基づくため、各ベンダのアラームを統一解釈する仕組みが別途必要となる等、管理系の複雑化、コスト高を招く可能性があります。

3. 研究内容・成果

本研究グループは、オープン光ネットワークの監視・制御の課題を解決するために以下の基盤技術を開発しました。

- ・光物理層の監視技術として、障害として起こる可能性が高い伝送路障害、トランスポンダ異常出力を監視する技術に注目し、かつ、光ネットワークへの多数配置、常時監視を行うための低コスト化を実現する技術の開発を行いました。具体的には、伝送路を監視する多ポート伝送路監視装置（リアルタイム OTDR（※4））、および、波長フィルタ、フォトダイオード、独自のアルゴリズムで構成したリアルタイム簡易スペクトルアナライザの開発を完了しました。（図 1: NEC）
- ・ベンダ非依存の管理システムとしてオープンソースである Open Network Operating System (ONOS)（※5）を活用し、Open ROADM モデルを用いた管理モデルの共通化や光パスの設計モジュール等の開発等を通して、監視、プロテクション等の高信頼化技術を搭載したマルチベンダ対応の管理システムを構築しました。また、設計モジュールにおいて GN モデル（※6）を用いた伝送路特性の推定を行い、これまでベンダ固有の機能に依存していた光信号品質の保障技術をマルチベンダ対応の管理システム上に実現しました。（図 1: KDDI 総合研究所）
- ・転送容量を固定的な確定値ではなく、期待値として確保する転送容量期待値保証ルーティング（ECGR : Expected Capacity Guaranteed Routing）の概念（図 2）を提唱し、稼働率が 99%の光伝送装置を用いても、稼働率が 99.999%の光伝送装置を用いた場合と同等の通信容量提供が可能であることをコンピュータシミュレーションにより実証しました。また、光伝送装置から取得した情報に基づいて個々の機器の故障予測を行うことで、ECGR において機器全体の故障率平均値ではなく個々の機器の状況に対応した故障率を適用し、光ネットワークの資源利用効率の向上が図れることを確認しました。さらに、故障予測に基づいた動的な資源割り当ての考え方を、将来のホワイトボックス転送・伝送装置の制御部が提供すると予想されている計算機資源群に適用する ECGR を応用したエッジコンピューティング環境に適用することの有効性を確認しました。（図 1: 慶應義塾大学）

4. 実証実験

本研究グループは、個々の上記基盤技術を組み合わせることで、オープン光ネットワークにおける高信頼化技術を実証しました。なお、本実証の風景は、けいはんな情報通信オープンラボ研究推進協議会 IoT ネットワーク基盤分科会オープン光ネットワーク基盤ワーキンググループの Web サイトにて掲載しております。（<https://www.khn-openlab.jp/bunkakai-gw/network/wg2/>）

① 物理層（光レイヤ）の連携検証

異種ベンダ機器で構成するマルチベンダ光ネットワークのテストベッド（図3）を KDDI 総合研究所内に構築し、NEC が開発したマルチベンダ対応の監視装置、および、KDDI 総合研究所が開発したオープンソースベースのマルチベンダ対応の管理システムを組み合わせ、実証実験を行いました。実証実験では、マルチベンダ対応の監視装置が光伝送路障害やトランスポンダ障害を検知し、経路再設計と装置設定が連動したマルチベンダ対応管理システムを介することで、シングルベンダで構成した光ネットワークと同等の運用コスト（シングルコマンド動作）で高信頼なマルチベンダ光ネットワークを構成できることを実証し、今後のマルチベンダ対応ネットワークの実用化に道筋をつけました。

② 物理層とルーティング技術を組み合わせた連携検証

①で構築したマルチベンダ光ネットワークテストベッドと、慶應義塾大学内に構築した ECGR テストベッドを接続し、ECGR テストベッド内の光リンクを光ネットワークテストベッドが提供する実証実験環境を構築しました。光ネットワークテストベッドの光ネットワーク制御プラットフォームが保持する装置の状態情報や品質情報を、ECGR テストベッド内の ECGR 管理装置に取り込み、計算される光ネットワークの故障率が時間の変化に伴い劣化または光ネットワーク内の経路変更により向上するのに併せて、ECGR が利用する複数経路の容量割り当てが動的に変化することの実証実験を行いました。実証実験において、光ネットワークと上位レイヤの ECGR が連携することで信頼性向上に寄与しうることを実証し、将来のデータセンタ並の信頼性機器での運用可能性に道筋をつけました。

NEC 光ネットワーク監視・分析技術

- ベンダ固有の監視系とは異なるベンダ非依存の光物理層モニタリングの研究開発
- リアルタイム簡易スペアナ
- リアルタイムOTDR
- 1) 伝送路監視：リアルタイムOTDR
- 2) ノード監視：リアルタイム簡易スペクトルアナライザ

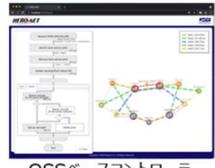


KDDI 光ネットワーク制御プラットフォーム技術

KDDI Research

- オープンソースソフトウェア（OSS）ベースのベンダ非依存共通制御プラットフォームの研究開発
- 1) Open API（NETCONF）による装置設定
- 2) マルチベンダ対応の品質推定・経路設計

OSSベースコントローラ



慶應義塾大学 高可用ネットワーク

- 故障率増大に対応する新概念に基づいたネットワーク技術の研究開発
- 1) 容量期待値保証型ルーティング（ECGR）：蓄積転送型＋並列伝送
- 2) ECGRを応用したエッジコンピューティング環境

ECGRテストベッド



オープン光NWの相互接続性検証（複数サイト間連携）

- マルチベンダテストベッドによる**オープン光ネットワークの相互接続性デモ実施**
- 自動障害回線復旧デモ
- 運用工数の評価等



図1. 各開発内容と実証実験概要

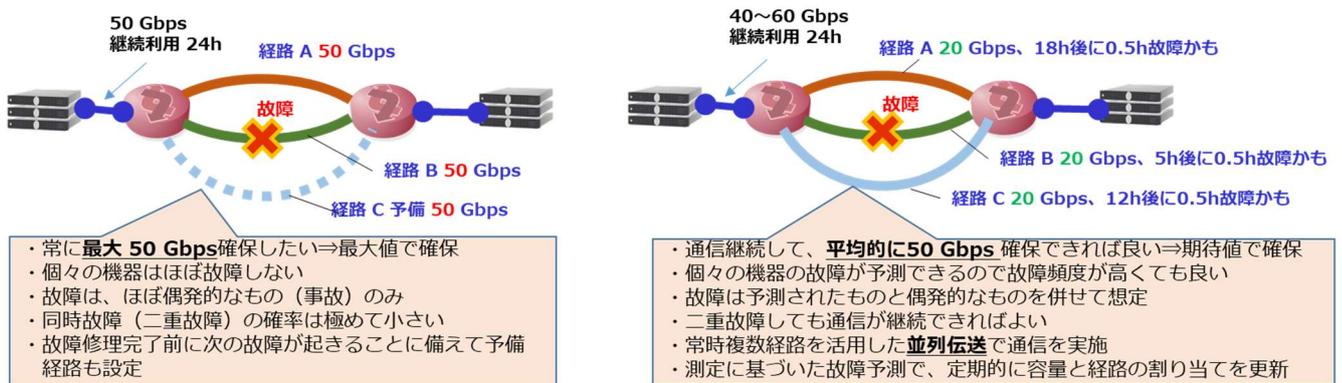


図 2. 転送容量期待値保証ルーティング (ECGR) の概念説明図

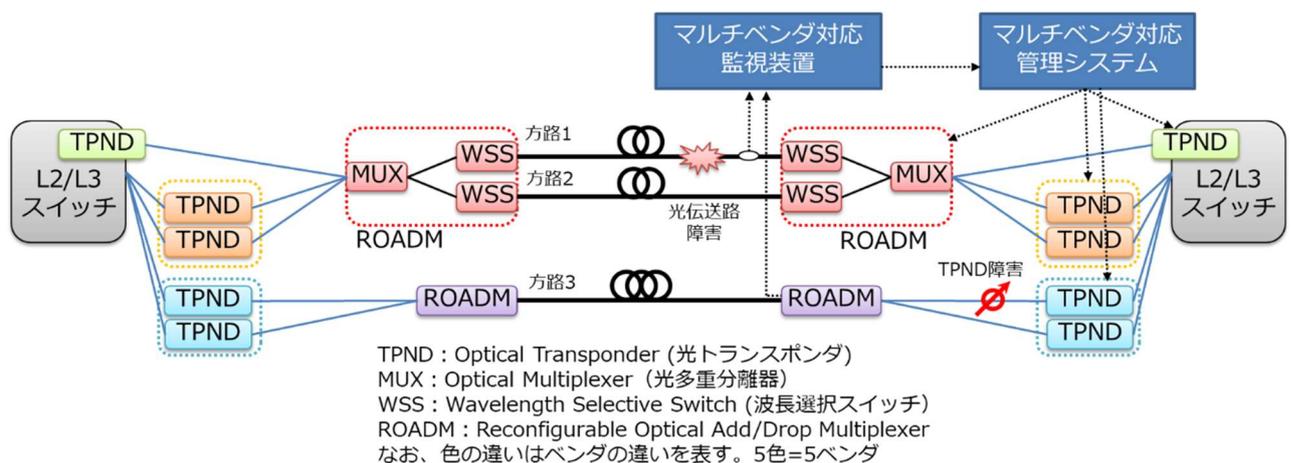


図 3 マルチベンダ構成のオープン光ネットワークテストベッド

5. 今後の展開

今回の研究開発の結果から、運用コストの増加を抑えると共に高信頼なマルチベンダ光ネットワークを構成できること確認することができました。これらは安心安全な電気通信ネットワークの構築に大きく貢献します。今後は、本研究開発で確立した基盤技術を基に、これまで進めてきた顧客ヒアリングをさらに進めて真に役立つ技術の峻別を行い、光ネットワーク監視・制御基盤技術の開発及び検証等を推進し、2020年代半ばの実用化を目指して研究開発に取り組みます。

<原論文情報>

[1] M. Arikawa and K. Hayashi, "Transmitter and receiver impairment monitoring using adaptive multi-layer linear and widely linear filter coefficients controlled by stochastic gradient descent," Optics Express, Vol. 29, Issue 8, pp. 11548-11561, Mar. 2021.
doi: <https://doi.org/10.1364/OE.416992>

[2] C. Manso, R. Vilalta, R. Munoz, N. Yoshikane, R. Casellas, R. Martinez, C. Wang, F. Balasis, T. Tsuritani, and I. Morita, "Scalability analysis of machine learning QoT estimators for a

cloud-native SDN controller on a WDM over SDM network,” Journal of Optical Communications and Networking, Vol. 14, No. 4, pp. 257-266, Feb. 2022.

doi: <https://doi.org/10.1364/JOCN.449009>

- [3] R. Kawase, T. Okumura, M. Murakami, Y. Uematsu, T. Kurimoto, S. Okamoto, and N. Yamanaka, “Assessing service survivability under failure conditions in reliable multipath network testbed,” IEICE Communications Express, Vol. 10, No. 8, pp. 422-427, Aug. 2021.

doi: <https://doi.org/10.1587/comex.2021ETL0010>

<用語説明>

※1 ROADM: Reconfigurable Optical Add/Drop Multiplexer. 波長分割多重技術を用いて光ネットワークの伝送容量を拡大させる再構成可能な光波長信号の多重分離化装置。

※2 TIP: Telecom Infra Project. 通信インフラに関する技術を共同で開発するコミュニティ。内部の Open Optical & Packet Transport プロジェクトグループでは、GN モデルを用いた光伝送路の特性を推定するオープンソースソフトウェアの開発等を行っている。

※3 Open ROADM: 複数の機能が組み合わさった一体型の ROADM 装置を機能毎に分離し (ディスプレイアグリゲーション)、各機能の共通化・相互接続性を推進するコンソーシアム。共通モデルの作成・公開等を行っている。

※4 OTDR: Optical Time-Domain Reflectometer. 光伝送路の長手方向の損失特性や断線箇所等を測定する装置。

※5 Open Network Operating System: Open Networking Foundation と複数の通信キャリアや通信装置ベンダにより開発されているオープンソースの制御・管理プラットフォーム。

※6 GN モデル: Gaussian Noise モデルと呼ばれる光信号推定手法に適用される高速に実用的な光信号品質の推定を可能にする簡易計算モデル。

※ご取材の際には、事前に下記までご一報くださいますようお願い申し上げます。

※本リリースは文部科学記者会、科学記者会、各社経済部・科学部等に送信させていただいております。

・研究内容についてのお問い合わせ先

慶應義塾大学 理工学部 情報工学科 教授 山中 直明 (やまなか なおあき)

TEL : 045-566-1744 E-mail : yamanaka@keio.jp

・本リリースの配信元

慶應義塾広報室 (澤野)

TEL : 03-5427-1541 FAX : 03-5441-7640

Email : m-pr@adst.keio.ac.jp <https://www.keio.ac.jp/>

日本電気株式会社 コーポレートコミュニケーション本部 広報室 高木

E-mail: press@news.jp.nec.com

TEL : 080-8817-6218

株式会社 KDDI 総合研究所 営業・広報部

お問い合わせ : <https://www.kddi-research.jp/inquiry.html>