

5 光ネットワークのフレキシビリティ向上を目指す研究開発

5 Research and Development Regarding Improvement in Flexibility of Optical Network

5-1 大規模フラットネットワーク基盤技術

5-1 Technologies for Large Scale Flat Optical Network

橋本俊和

Toshikazu HASHIMOTO

一気通貫で柔軟かつ高速可変なネットワークを実現する大規模フラットネットワークの研究開発が進められている。このネットワークは従来のネットワーク間の特性の違いを超高速のスイッチ技術やモニタ技術、制御技術により、吸収・協調させ、ネットワークの大規模化やフラット化を目指すものである。これまで開発されたデバイス技術や制御技術を紹介するとともに、それらを組み合わせて構築する光スイッチの構成やコンセプトの検証実験について紹介する。

Large scale flat network technology has been proposed that can provide a flexible and fast re-configurable network. The technology enables us to receive various services via conventional networks without being conscious of differences in characteristics between the networks. To realize the large scale flat network technology, we have been investigating several technologies including ultra-fast switching device, optical performance monitoring and control technologies. This paper introduces the large scale flat network technology with the device and control technologies and some verification experiments are also reported.

1 概要

通信技術を用いて様々なサービスが展開されている。音声や映像はもとより、これまでにない規模で、センサーや個人から様々な情報を集め、様々なニーズに応じてそれらを加工し、必要なところに伝える、といった、高度な情報処理と通信を使ったサービスが実現されている。このようなサービスにおいては、例えばレコメンデーションサービスのように、より多くの情報を結び付けることで、より価値の高いサービスが実現されることになる(例えば、知りたいと予想される情報カテゴリーと、最新情報を結び付けることで、本人にとって価値のある情報をいち早く届けることが可能となる)。すなわち、サービスという観点からはより多くの情報を地理的要因や時間の遅れなく、いかに多く結び付けられるかがネットワークの価値に直結することになる。例としては、8K等の超高精細映像転送においては、100 Gbps級の非圧縮データをテレビ番組に応じて各地のキー局から遠方の放送局に転送する必要が出てくる。また、クラウド化されたデータセンタにおいては、データセンタ間の通信の伸びは著

しく、現在の伸び率を適用すると2030年ころまでにはデータセンタとエンドユーザ間を越える通信量が予想され[1]、また、エンドユーザによるネットワーク利用についても深夜帯と早朝帯で3倍以上のトラフィック変動があり[2]、利用状況に対応できるネットワークが求められている。このようなニーズは今後も増え続けることが予想され、コア網やメトロ・アクセス網といった違いを意識させずに一気通貫で柔軟かつ高速可変性なネットワークを実現することが重要な課題となっている。

本稿では、このようなニーズを満たすネットワーク技術として研究開発を進めている大規模フラットネットワークの基盤技術を紹介する。

2 大規模フラットネットワーク技術の概要

2.1 大規模フラットネットワークに向けた課題

現在のネットワークは目的に応じて異なる形でネットワークが構成されてきた。それを概念的に示すと図1(左)のようになる。コアネットワークではネットワークのバックボーンとして、波長多重技術等により

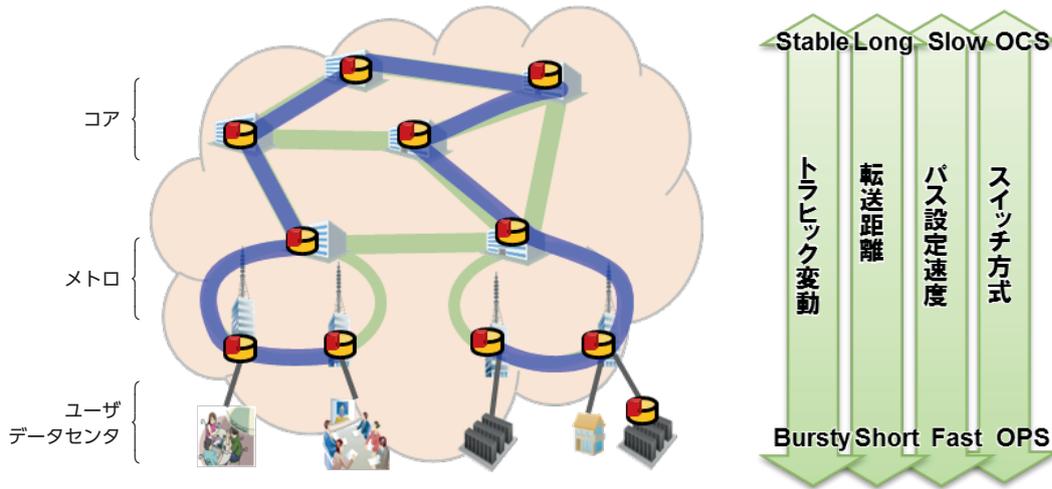


図1 現在のネットワーク構成(左)とその特徴の対比(右)

大容量かつ長距離伝送が行われてきた。一方、メトロ・アクセス網では ROADM (reconfigurable optical add/drop multiplexer) 等の技術により多数のノード間で信号を出し入れすることを可能にしたネットワークが構成されてきた。さらに、データセンタでは数千台～大規模なもので数十万台規模のサーバをパケット伝送により連携してサービスを行っているが、多くの情報が集まってしまうスイッチへの負荷は大きく、スループット拡大や低消費電力化が課題となっている。それらの課題に対応するため光と電気を融合させた光パケットネットワーク技術が提案されており、現在、光が用いられているのは機器間をつなぐための伝送に用いられているが、将来スイッチングを含めたより広い範囲で光を用いたデータセンタネットワークの実現が期待される。このように、コアネットワーク、メトロ・アクセスネットワーク、データセンタネットワークは、異なる特性を実現するため異なるネットワークとしてそれぞれ展開されている。定性的にそれらをまとめると図1(右)のように対比的な特性となっていることがわかる。トラフィック変動という観点ではデータセンタ内では仮想化されたサーバが連携して、サービスに応じて複雑に連携して動作しており、データの移動や計算の分散、集約が活発に行われており、突発的な通信量の変動が発生する。一方、コアネットワークでは、回線を定常的に確保して一定の通信容量で大容量伝送を安定に実現している。また、伝送距離についてはデータセンタネットワークでは基本的にデータセンタ内で通信が行われればよく、大規模なデータセンタであっても数 km 程度の伝送が行えればよい場合がほとんどであるが、コアネットワークは数百 km 程度の伝送が求められる。ネットワークの機能として経路を切り替える場合があるが、データセンタにおいては、必要に応じて自由にデータをやり取りしており、遅延な

くデータをやり取りするためには高速な経路の切替えが必須となる。一方、コアネットワークでは伝送容量をあらかじめ見越して回線を設定するため、経路の切替えはごくまれである。

これらの特性の違い、すなわち、階層性をなくし一気通貫で柔軟なネットワークを実現するためには、例えば GMPLS (Generalized Multi-Protocol Label Switching) 等のように、すべてを包含するようなネットワーク方式を用いる方法も考えられるが、本稿で紹介する大規模フラットネットワークは、ネットワーク間の特性の違いを超高速度のスイッチ技術やモニタ技術、制御技術等により、吸収・協調させ、大規模化・フラット化を目指すものである。次節で大規模フラットネットワークの構成やそれらを実現するための基盤技術の構成を紹介する。

2.2 大規模フラットネットワークの構成

大規模フラットネットワークでは、超高速度のスイッチによりネットワークに可変性を持たせ、ハードウェアとソフトウェアの連携により柔軟で大規模なネットワークを提供する。大規模フラットネットワークは大きく2つの技術から成っている。

1つは「弾力化制御アシスト高速スイッチングネットワーク技術」で、ネットワーク間の特性の違いを吸収・協調させ高速スイッチングにより、言わば時間のフラット化を実現するものである。

もう1つは「大規模化ネットワーク技術」で、大規模なネットワークを構成する際にも光のトランスパレント性を生かして様々な帯域・変調形式適用させることができるようにネットワーク全体をニーズに合わせて協調させる技術であり、言わば、距離のフラット化を実現するものである。

「弾力化制御アシスト高速スイッチングネットワー

ク技術」は、コア・メトロ領域で用いられる WDM (Wavelength Division Multiplexing) 及び ROADM における波長を使った光回線交換 (OCS: Optical Circuit Switching) と、データセンタにおける多数の端末を収容し動的に自由にパケットを送出し統計的に相互のパケットを時間多重して伝送するパケットスイッチングを光化した光パケット交換 (OPS: Optical Packet Switching) を、超高速光スイッチングと制御技術を組み合わせることにより吸収させる技術である。ネットワークの現在のトラフィック状況や、将来のニーズや予測されるトラフィック状態に基づく、ネットワークリソースや信号のルーティングの最適化制御、さらにはネットワークの状態変化に対し即応的な制御技術と超高速光スイッチング技術を組み合わせることにより時間変動に対して弾力的な時間のフラット化が実現される。

もう1つの「大規模化ネットワーク技術」では、多様なサービスを提供するうえで必要となる、高速な光スイッチングを含め様々な光伝達モードをサポートし大規模なネットワークを構築するために、光のトランスペアレント性を生かして様々な帯域・変調形式を適応する必要がある。そのためには、動的に設定される光パスの伝送品質を担保するためのモニタリング技術と、大規模なネットワークを協調させネットワーク全体をニーズに合わせて協調させる制御技術を組み合わせることが重要となる。

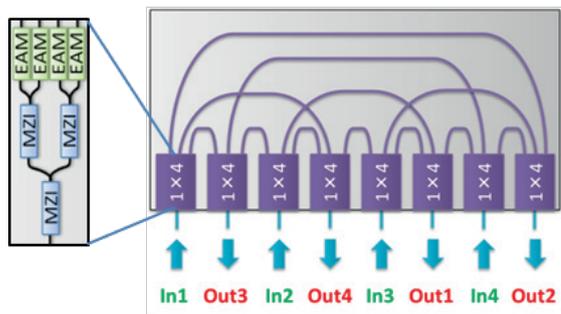
これらの技術について、その基盤となる技術の研究開発が、現在、精力的に進められている。次章でその基盤技術の概要を紹介する。

3 大規模フラットネットワークの基盤要素技術

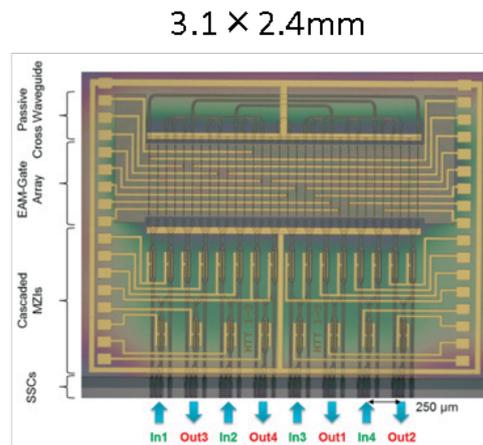
大規模フラットネットワークを構成する、時間のフラット化を実現する「弾力化制御アシスト高速スイッチングネットワーク技術」と空間のフラット化を実現する「大規模化ネットワーク技術」は、ハードウェアと制御技術の両側面から研究開発が進められている。その基盤となる各要素技術について紹介する。

3.1 超高速光スイッチ技術

大規模フラットネットワークは多種多様な大容量光信号の柔軟で高速な可変性を持ち、かつ、高速転送を可能とする光スイッチの実現が求められる。そのキーとなるのが光スイッチデバイスである。変調方式やデータレートに依存せず、かつ、光パケット等に対応するためナノ秒オーダーの高速な光経路切替えを実現する必要がある。そのための技術として、集積性と高速応答性に優れた化合物半導体である InP (Indium Phosphate) をベースとしたスイッチ技術の研究開発が進められている [3]。光化合物半導体を用いた光スイッチとしては、半導体光アンプ (SOA: Semiconductor Optical Amplifier) を用いたものも提案されている。SOA を用いた場合、高速にスイッチングとともに、損失補償を行える一方、一般に、素子の中を伝搬する光信号とも相互作用して、信号を歪ませたり、偏光状態に依存した増幅特性や遮断特性の違いが出てきたりしてしまうため、変調方式やデータレートに依存しないスイッチングを実現するが困難となる。本研究開発では、これらの課題を克服するため、InP をベースとした導波路型変調器と高速かつ偏光依存性を抑えた電



(a) 光回路構成



(b) 作製したチップ

図2 4×4のマトリックススイッチ素子 (a) 光回路構成と (b) 作製したチップ

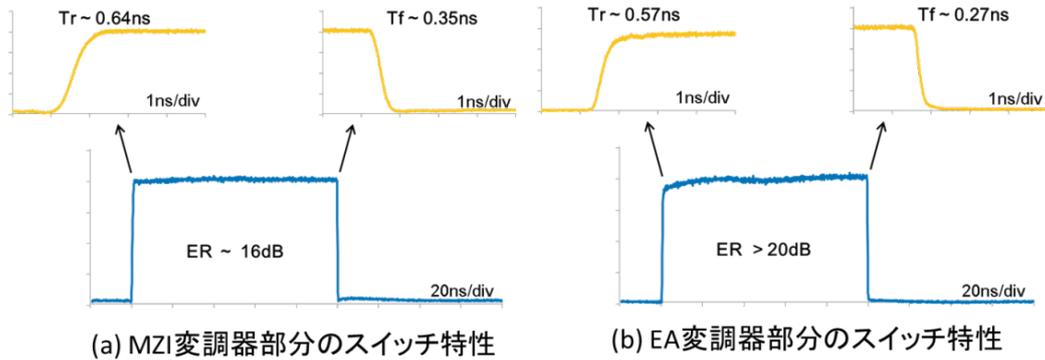


図3 ドライバ集積した光スイッチモジュールのスイッチング特性

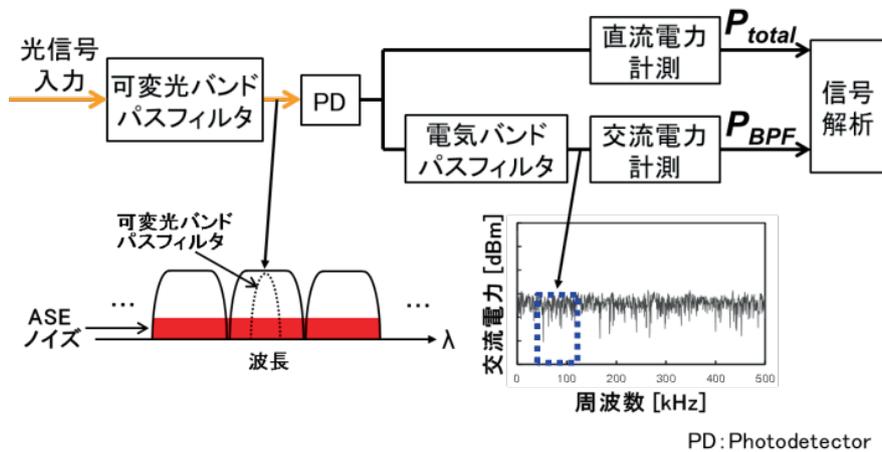


図4 OSNR モニタの計測方法

界吸収型光変調器 (EAM: Electro-Absorption Modulator) をゲートとして用いた超高速スイッチ素子を実現した。図2に作製した4×4のマトリックススイッチ素子を示す。

導波路型変調 (MZI: Mach-Zhender Interferometer) により、原理的には損失なく回路中を伝搬する光信号の行先を切り替えるとともに、EAMにより光信号の透過・遮断を選択することにより、光スイッチに求められる光信号のパターンや偏光に依存しない高いON/OFF比と高速応答性が実現される。さらに、光スイッチとして機能させるためには、光スイッチ素子の駆動回路が必要であり、高速応答性を実現するために、InPをベースとしたHEMT (High Electron Mobility Transistor) ドライバを開発するとともにそれを光スイッチと直接電氣的に接続させるフリップチップ実装を実現し光モジュールを実現した(図3)。

これにより、スイッチを構成するMZIとEA変調器どちらも1ナノ秒以下のスイッチング速度を達成している。また、MZIとEAMのそれぞれの偏波依存性を互いに打ち消すようにすることで偏光依存性を約

1 dB以下に抑え、光ファイバ増幅器等により安定して増幅可能な挿入損失約20 dB以下、消光比-40 dB以下を実現している。さらにそれを用いて4×4規模の光スイッチサブシステムを実現した。更なる大規模化に向けて、光素子としては1入力16出力の分岐選択型の光スイッチを実現しているが、分岐に伴う原理損失が12 dBありそれを組み合わせて16入力×16出力の光スイッチを構成した場合、損失が大きく、光ファイバアンプ等による損失補償が困難となるため、光スイッチ素子の損失低減や、サブミクロンの精度の組立技術が要求される光モジュール化において16ポートの入出力を安定して光接合させる組立技術等の研究開発を現在進めており、今後、更なる大規模光スイッチの実現が期待される。

3.2 フラット網光信号品質モニタ・監視技術

大規模フラットネットワークでは、様々なニーズに応じて頻繁なパス切替えが行われ、光パスが動的に設定される。その光パスの伝送品質の担保やネットワーク内に多数配置される光スイッチ等の障害検出など、

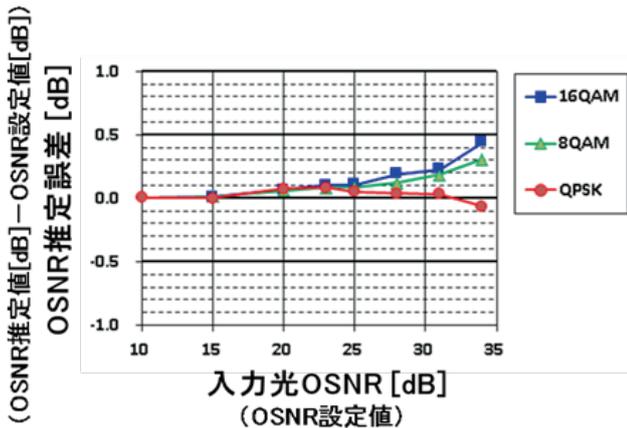


図5 OSNR モニタ (演算処理部を含む) (上) と誤差の評価結果 (下)

ネットワーク運用を行うためには、任意の経路で、かつ、運用状態に応じて様々な伝送方式に対応した光信号品質モニタ・監視技術が必要となる。現在、実用化されている光信号モニタ技術としては、光伝送装置内において光信号の波長及びその強度をモニタする光チャンネルモニタや、送受信機に実装されている誤り訂正符号処理の訂正ビット数から信号品質を見積もる品質モニタ方式があるが、そのような技術では、信号劣化の要因特定や、各スパン個別の劣化分を見積もることは困難である。そこで、本研究開発では、実用化が進むデジタルコヒーレント受信技術を活用し、光信号の強度、位相、偏波情報などから伝送路の物理的な状態を送受信機間でモニタし、加えてスパンごとでのリンク情報をコヒーレント受信機などの高価な部品を必要とせず、波長可変フィルタや低速のフォトダイオードなど簡易な構成でのモニタを実現する光モニタ方式の検討を行い、フラットネットワークにおけるエンドツーエンドでの柔軟なパス設定を担保するための実時間でのネットワーク情報を取得可能なモニタ方式の研究開発を進めている [4][5]。図4は開発したOSNR (OSNR : Optical Signal Noise Ratio) モニタの計測方法を示している。

このモニタは受光器 (PD : Photo Detector) によって検出される光信号強度の直流成分と、光信号と光ノイズとの干渉信号が支配的となる交流成分を抽出し、

それを分析することで OSNR を算出する方式であり、簡易な光部品と、1 MHz 以下の周波数領域で動作する低速な電子部品を用いて構成可能である。ROADM ノードで用いられる光チャンネルモニタと共用化が可能であり、電気バンドパスフィルタ及び交流電力計測の回路部分等のみの追加による簡易な構成で実現できる。試作した OSNR モニタユニットを図5(上)に示す。また、疑似的にノイズを付加した際のモニタ推定値との誤差を評価した結果を図5(下)に示す。16/8 QAM や QPSK 等の信号フォーマットによらず 0.5 dB 以下の誤差で推定可能であることを確認している。

また、光ファイバ伝送路で発生する偏波依存損失をモニタする方法として、デジタルコヒーレント送受信技術を基にしたモニタ方式についても検討を行った。この方式はデジタルコヒーレント伝送において適応等化補償を行うためにも使用されるトレーニング信号において、送信器側で、通信を行う主信号データに追加して特定の4つの偏波状態信号を付加し、受信側で検出される各偏波状態信号の信号光強度を基に、偏波依存損失を算出するものである。原理確認実験を行い、誤差 0.6 dB 以下の良好なモニタ特性が得られることを実証している。

これらのモニタ技術は既存構成部品と簡易な部品追加や計測工程を追加するのみで実現可能であり、大規模フラットネットワークを構成する各ノードに容易に設置可能で、動的に設定される任意経路のネットワーク運用を可能にする。

3.3 大規模ネットワーク制御技術

大規模フラットネットワークにおいては、将来の多様なサービスを提供するうえで必要となる、高速な光スイッチングを含む様々な光伝達モードをサポートするとともに、光のトランスペアレント性を生かして様々な帯域・変調形式を適応的に利用できる高いスループットと信頼性や可用性等のディペンダビリティを実現する効率的な制御法が必要とされる。本研究開発においては、大規模ネットワーク制御基盤技術として、百ポート以上のファイバを収容可能な大規模から数ポートの小規模なノードを含む、数百ノードから構成される大規模フラットネットワークのアーキテクチャ及びそれを制御するための技術の創出を目指している。そのようなネットワークを実現するためには、大規模なネットワークを構成した場合でも、光ファイバの周波数利用効率を維持し、波長選択スイッチ (WSS : Wavelength Selective Switch) を多段に透過することにより発生する波長フィルタ帯域の狭窄化の影響を緩和して、トランスペアレント領域の拡大を可能とすることが必要となる。本研究開発においては、

5 光ネットワークのフレキシビリティ向上を目指す研究開発

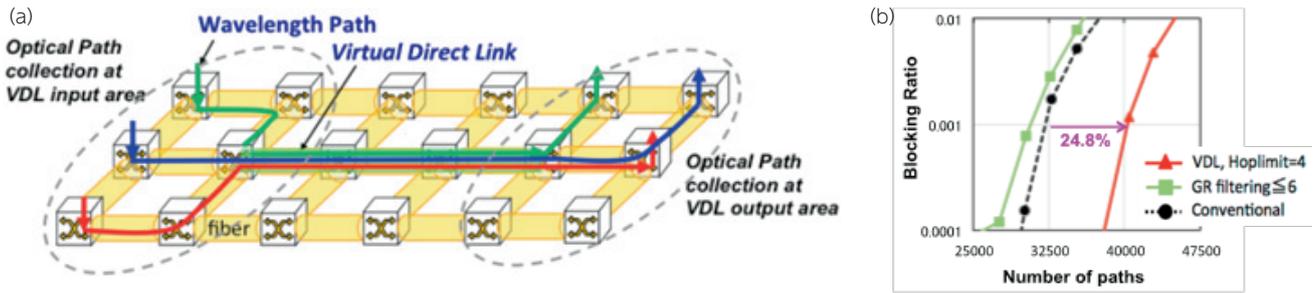


図6 (a) GREにVDRを適用したネットワークイメージと(b)パスの収容数評価

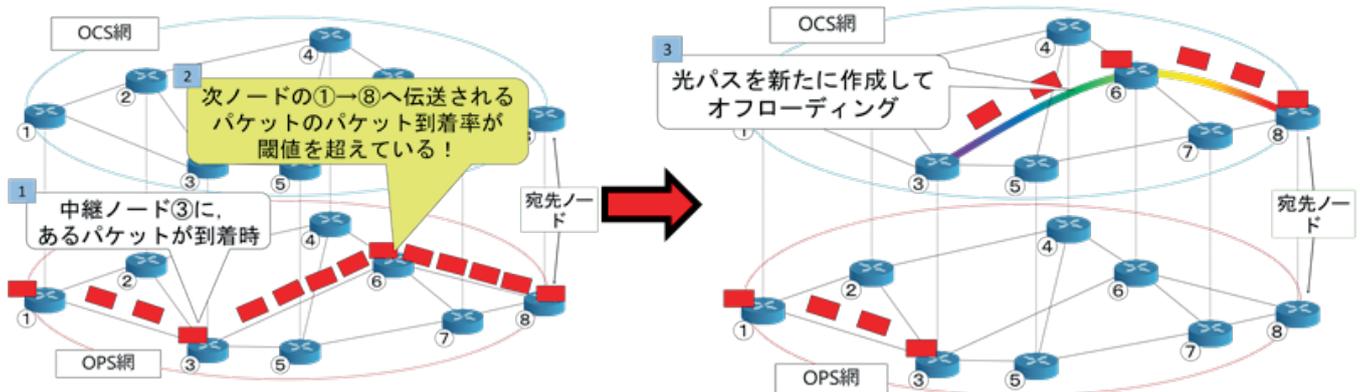


図7 OPS/OCSのオフローディングのイメージ図

図6(a)に示すように光パスをバンドルしてルーティングし、ノードでの光信号の送り出しと取り出しは波長ごとに処理する GRE (Grouped Routing Entity) 方式と、さらに、端点領域における光パスのアグリゲーションを行い波長ごとあるいはバンドルでのルーティングを行うことで高効率化を実現する VDR (Virtual Direct Routing) 技術の提案・実証を行っている [6]。

GRE 方式と VDR 技術の有効性を示すため、パスの設立・解放を考慮した動的経路波長割当アルゴリズムを用いてネットワークの設計を行い、その性能を評価した。具体的にはダイナミックなトラフィックに対するブロッキング特性を評価することにより、GRE ネットワーク及び従来のネットワークとの性能比較を行った。図6(b)に示すとおり、ホップリミット数4 (フィルタ透過回数を6回に制限し、ブロッキング割合を0.001で比較すると、ダイナミックトラフィック制御において、最大約25%程度パスの収容数を増加 (ファイバ数を削減) 可能であることを実証している。さらに、パス数、パス容量分布並びに総パス容量の変化等に対する効率的なネットワークアップグレード設計法を開発し、従来技術と比べて、ファイバ数を最大15%程度削減可能であることも確認している。これらの結果は、大規模フラットネットワークを実現する大規模ネットワーク制御基盤技術として、本技術の有効性を示しており、フラット網光信号品質モニタ・監

視基盤技術と組み合わせることにより「大規模化ネットワーク技術」として、距離のフラット化が実現されるものとして期待される。

3.4 大規模フラットネットワーク構築のための弾力性のある光パス設定制御基盤技術

大規模フラットネットワークにおいては、様々なニーズに応じて頻繁なパス切替えが行われ光パスやルーティング制御を即応的に設定する必要がある。これに対して、現在の準静的な、あるいは、緩やかなプロアクティブ型のパス設定制御は、ネットワーク状態の変化に対する即応性という意味では不十分になると考えられる。そこで、現状の対応状況を柔軟かつ迅速に修正する、あるいは、劣悪状態からの強い修復能力を有するパス設定制御や同一経路の周波数軸上の帯域柔軟性に着目した「弾力性」のある適応制御技術が必要となる。本研究開発では、弾力性のある光パスの波長/ファイバ割当方式と複数経路決定・選択制御に取り組み、適応制御性能向上を図り「弾力性」をもたらす制御技術の実現を目指している [7]。

1つの例として光パケット交換 (OPS: Optical Packet Switching) から光回線交換 (OCS: Optical Circuit Switching) のオフローディングイメージを図7に示す。これは OPS 網における負荷状況に応じて、能動的に OCS パスを準備し、保存パスとして提供す

4 大規模フラットネットワーク技術の概要

ることにより、より適切な対地間にオフローディングパスを提供するものである。プロアクティブな OCS 保存パスを用意することにより、OPS/OCS の動的な切替えを円滑に実現することが可能となる。オフローディングの効果を見るために計算機シミュレーションで定量的な性能を評価した(図 8)。オフローディングなしの方式と比較して、パス棄却率は劣化しているものの、パケットロス率を劇的に改善させている。特に高負荷時には、2桁程度の特長改善が見られている。

さらに、強化学習である Q 学習をベースに下流の輻輳状況を考慮に入れた知的 OPS-to-OPS オフローディング等の提案・実証も進めており、これらを用いることで、より高度な弾力制御が可能となると考えている。

冒頭のネットワーク階層による違いで述べたとおり、OPS と OCS とではネットワーク特性の違いが大きく、超高速の光スイッチの導入だけでは OPS と OCS との融合は困難であり、弾力性のある光パス設定制御基盤技術と超高速の光スイッチを組み合わせた「弾力化制御アシスト高速スイッチングネットワーク技術」により初めて、光スイッチの高速性を生かした、時間のフラット化を実現するネットワーク技術が実現されると考えられる。

大規模フラットネットワークは 3 で紹介したハードウェアとソフト(制御)の要素技術を相互に連携させることにより実現される。それぞれ相互に補完して一体となる技術であるが、時間のフラット化と空間のフラット化という観点からは、大きく以下のような組合せとなる。時間のフラット化を実現する「弾力化制御アシスト高速スイッチングネットワーク技術」は、主に、3.1 の超高速光スイッチ技術と 3.4 の弾力性のある光パス設定制御技術とを組み合わせることにより実現される。また、空間のフラット化を実現する「大規模化ネットワーク技術」は、主に、3.2 の光信号品質モニタ・監視技術と 3.3 の大規模ネットワーク制御技術とを組み合わせることにより実現される。本研究開発で検討を進めている、これらを連携させたシステム構成や実験例をいくつかを紹介する。

4.1 弾力化制御アシスト高速スイッチングネットワーク技術 [8]

超高速スイッチ技術を用いることにより、25 Gbps 級の変調信号によるパケット伝送が可能となる。一方、現在、コア、メトロ領域で回線交換用のスイッチは

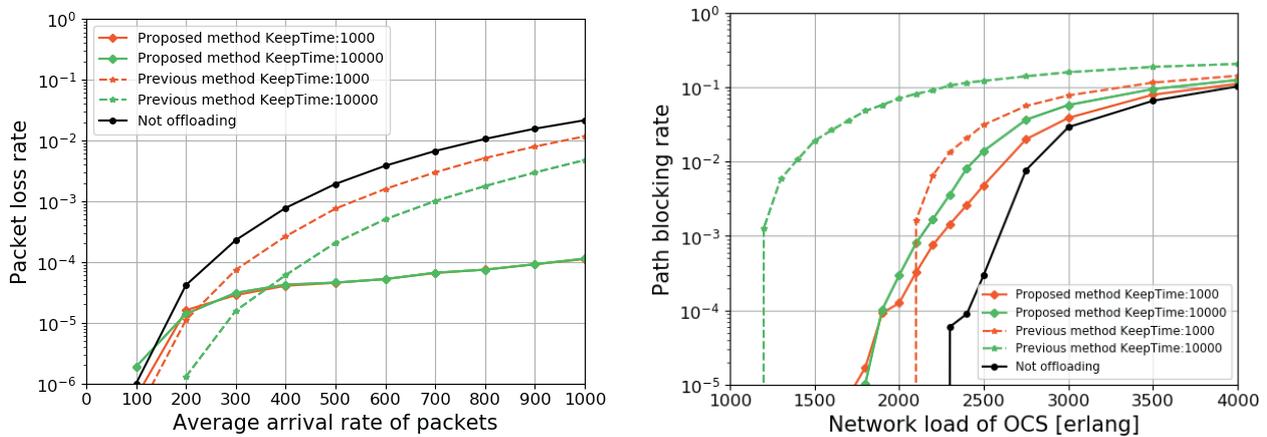


図 8 パケットロス率(左)、パスの棄却率(右)

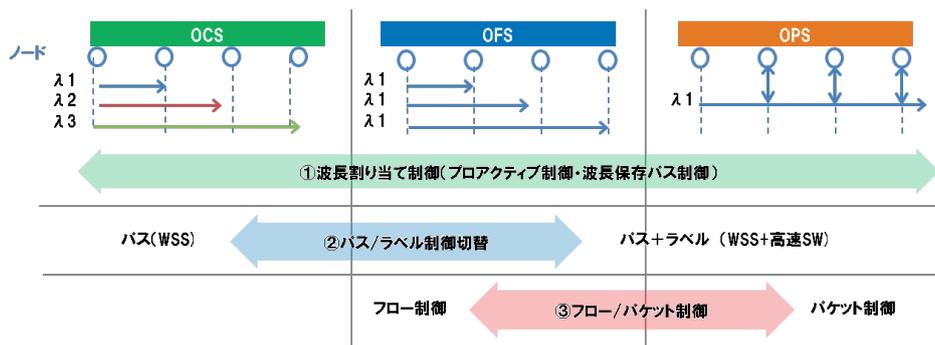


図 9 弾力化制御アシスト高速スイッチングの概念図

5 光ネットワークのフレキシビリティ向上を目指す研究開発

WSSが主流であり、物理的な応答速度としてマイクロ秒オーダーで切り替えることは現状困難であり、さらに集中制御型のネットワークコントローラを介し、切替えを行うためには秒オーダーの時間を要する。高速スイッチによる光パケット処理とWSSのようなゆっくりとした回線交換用のスイッチとのギャップを埋めるのが弾力性のある光パス設定制御技術である。図9はそれの最も簡単な例として模式図で表したものである。波長リソース($\lambda_1 \sim \lambda_3$)がノード(○印)に対してどのように割り当てられるかを示している。左端のノードから出た信号が、OCSとOFS(Optical Flow Switching)とOPSでどのように伝えられるかを示しており、OCSは波長の色に応じてどこのノードとつながるかが決められており、OFSは左端のノードをトーカー、他をリスナーとして光ラベルで送り先を決めている。OPSはすべてのノードが自由に信号を出し入れしている。これらのスイッチング構成に対して、①光割当制御、②パス/ラベルの制御切替、③フロー/パケットの切替えを行うことにより、言わば、ネットワークの階層性をスイッチ装置に取り込んで、(①のプロアクティブ制御や波長保存パス制御等により瞬時割当を可能にして)スイッチである程度ローカルに制御可能な形にまとめることで、高速かつ柔軟な切替えを可能とするスイッチを実現する。

図9の②、③については、現在、光スイッチと光ラ

ベル処理器を組み合わせ装置化しており、WSSにより構成されたRODAMの光ノード装置と連携させることにより弾力化制御アシスト高速スイッチを構成する(図10)。今後、本装置構成を実際に構築して、OCS-OFS-OPSの各スイッチングモードを切り替えて3ノード程度を連携動作させる基本的な実証実験を行う予定であり、現在装置化を進めている。

4.2 大規模化ネットワーク技術 [9]

大規模ネットワーク制御技術により検討を進めているGRE(Grouped routing entity)やVDR(Virtual Direct Routing)技術を導入することにより、多数のROADM装置を連携させ高効率な大規模ネットワークの実現が期待できるが、超高密度波長分割多重ネットワークでは、規模の拡大に応じて予期せぬ伝送特性変化(想定と異なるレーザ周波数ドリフト、WSS透過特性の非再現性など)の影響を受ける可能性が増大することとなる。そのため、ネットワーク運用観点から高信頼化、高効率化(マージンの最小化)に向けて、ネットワーク状況の把握やそれを基にした制御が必要となる。そこで、本研究開発においては光パフォーマンスモニタ(OPM: Optical Performance Monitor)が配備されたGrouped routing(GR) networkを構築し、その有効性の検証実験を行っている。図11にそのネットワーク構成のコンセプトと実際に作製したノード装置

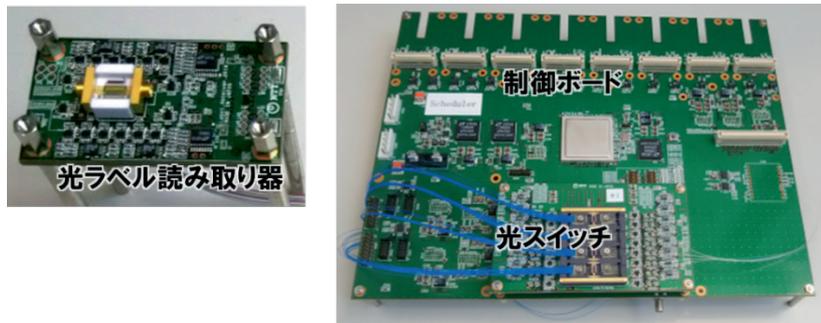


図10 スイッチ装置の構成(左)と光スイッチサブシステム及びラベル処理ボード(右)

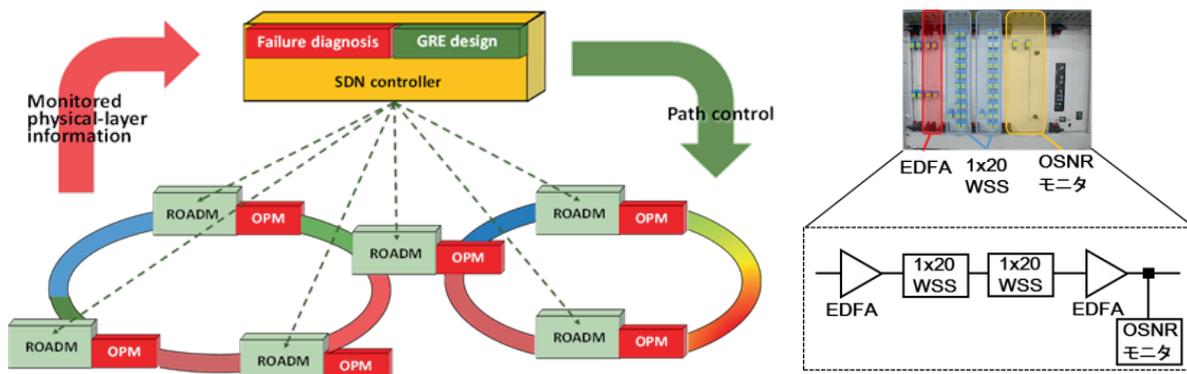


図11 ネットワーク構成のコンセプト(左)と実際に作製したノード装置(右)

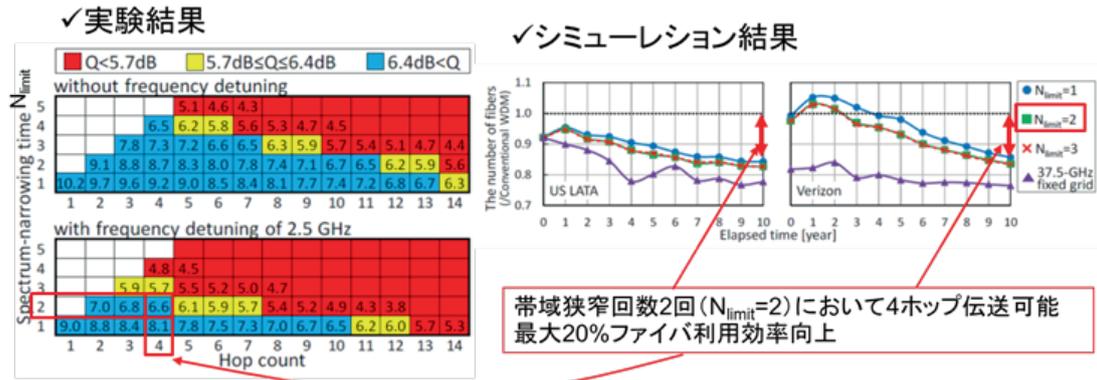


図12 ノード装置を用いて行ったコンセプトを実証する実験の結果

置を示す。装置としては、ROADM ノードに OPM が配備し、SDN コントローラには、GR ネットワーク設計機能 (GRE design) と故障劣化診断・分析機能 (Failure diagnosis) が備わっている。OPM またはトランスポンダから収集されるモニタ情報 (OSNR, BER) に基づき、Failure diagnosis 部において信号品質劣化状況を収集・解析する。その結果に応じて GR ネットワークにおける許容狭窄回数をコントロールすることで、高信頼かつ高効率なネットワーク運用を可能にしている。

このノード装置を用いて行ったコンセプトを実証する実験の結果を示したのが図12である。表の横軸がホップ数、縦軸が隣接波長の信号を落として意図的に狭窄化が発生する状況を作った回数、色がシグナルノイズ比 (Q 値) を表している。表の青色の部分が許容される領域でこの表を基に GR ネットワーク設計を行うことで帯域狭窄回数を2回に制限すると伝送可能となる。この条件を2つのネットワークトポロジ (US LATA, Verizon) に適用して、GR ネットワークから決まる収容波長数を評価すると最大20%のファイバ利用率が向上していることが確認できており、大規模化ネットワーク技術の有効性を示すものと考えられる。

5 まとめ

一貫通貫で柔軟かつ高速変性なネットワークを実現する大規模フラットネットワークの実現に向けて、基盤技術として高速光スイッチ技術、フラット網光信号品質モニタ・監視基盤技術、大規模ネットワーク制御技術、弾力性のある光パス設定制御技術の研究開発が進められ、それらを連携したシステム構築と実験が進められている。これらの技術を基盤として、更に技術を進展させることで、様々なサービスや要望に応じて、より多くの情報を地理的要因や時間の遅れなく提供する大規模フラットネットワークの実現が期待される。

謝辞

本内容は NICT 委託研究課題「大規模フラットネットワーク基盤技術の研究開発」により、日本電信電話株式会社、富士通株式会社、国立大学法人名古屋大学、公立大学法人大阪府立大学、国立大学法人大阪大学においてなされたものである。

【参考文献】

- 1 Cisco Global Cloud Index: Forecast and Methodology, 2015–2020.
- 2 平成28年度版情報通信白書
- 3 Y. Muranaka et al., "Monolithically Integrated 4x4 Route-and-Select Optical Switch with Cascaded MZIs and EAM-Gate Array," 43rd European Conference on Optical Communication, P1.SC2.33, 2017.
- 4 G. Huang et al., "Polarization Dependent Loss Monitor with Visualization on Poincaré Sphere in Digital Coherent System," 43rd European Conference on Optical Communication, P1.SC4.64, 2017.
- 5 Y. Ge et al., "Autonomous and Real-time Controlled Transceiver Prototype with FSK Supervisory Signal and Performance Monitoring," 43rd European Conference on Optical Communication, M.2.F.5., 2017.
- 6 K. Sato, "International Conference on Transparent Optical Networks," 9th International Conference on Transparent Optical Networks, Th.A1.5 (invited), 2017.
- 7 H. Tode, et al., "Packet Offloading Exploiting Life-Sustained Optical Path Resources in OPS/OCS Integrated Network," IEEE Photonics in Switching and Computing, Fr3B.5, 2018.
- 8 S. Ibrahim, et al., "Burst-Mode Enabled Optical DC Networks: Packet Switching and Beyond," IEEE Photonics in Switching and Computing, Th3B.3 (Workshop), (2018).
- 9 K. Kayano, et al., "Spectrally Efficient and Highly Resilient Grouped Routing Network Enhanced with Optical Performance Monitoring," 2018 Optical Fiber Communication Conference, M3J.8, 2018.

橋本俊和 (はしもと としかず)

日本電信電話株式会社
NTT 先端集積デバイス研究所
主幹研究員
光回路デバイス技術