オールフォトニクス・ネットワークを支えるネットワーク設計技術

石塚 美加（いしづか みか）/金子 康晴（かねこ やすはる）
越地 弘順（こしぢ こうじゅん）/瀬戸 三郎（せと さぶろう）
安川 正祥（やすかわ せいしょう）
NTTネットワーク基盤技術研究所

本稿では，光フルメッシュネットワークのネットワークの管理・制御の高度化に向けた要素技術として，膨大な数の光パスを効率的に収容するためのアーキテクチャ，トポロジ設計，波長設計技術について紹介します．また，これらの技術を適用したシミュレーションのデモンストレーションを紹介します．

はじめに

NTTネットワーク基盤技術研究所では，オールフォトニクス・ネットワーク（APN）の実現に向けたネットワーク設計技術の検討に取り組んでいます．

現状のネットワークでは，複数のユーザやサービスが，1つの光パスを共有しているのに対し，APNでは，ユーザやサービスごとに光パスを割り当てることで高品質・低遅延を実現しています．ユーザやサービスごとに光パスを割り当てるということは，膨大な数の光パスが波長を要求することを意味しています．しかし，大規模ネットワークにおいて波長を効率的に割り当てるのは難しいことが知られています[(1)]．

そこで，私たちは，さまざまな最適化手法を組み合わせることにより，膨大な数の光パスを効率的にネットワークに収容することを可能にするネットワーク設計技術の検討を進めています．

光フルメッシュネットワークの設計の課題

光パスに対して波長を割り当てる際には，エンド・ツー・エンドで同一の波長を割り当てる必要があります．また，同一リンクの中では，1つの波長は1つの光パスにのみ割り当てられます．例えば，**図1**(a)において，光パス＃3に対して波長を割り当てる際に，リンクAでは波長＃1は未使用ですが，リンクBでは使用しているため，リンクAの波長＃1は未使用のままで，波長＃2を割り当てることになります．このように，光パスに対して波長を逐次割り当てていくと波長のフラグメント化が発生します．しかし，波長の割り当てを図1(b)のようにすることにより，必要となる波長数を減らすことができます．つまり，需要予測技術と組み合わせ，需要を見越した波長割当のルールを決めることにより，光パスを効率的に収容することが可能になります．

光フルメッシュネットワークのアーキテクチャ

先述したように，ネットワークの規模が大きくなるにつれて，エンド・ツー・エンドで効率的に波長を割り当

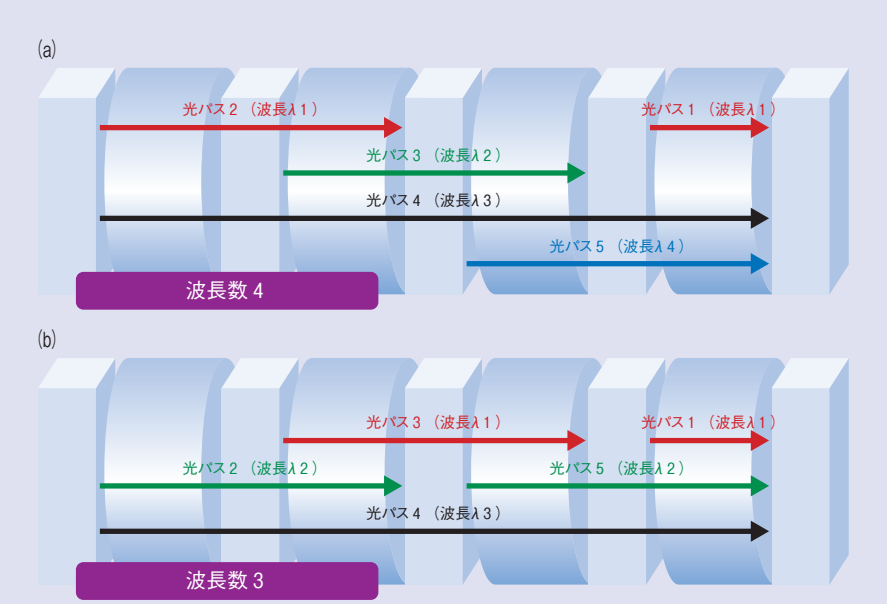
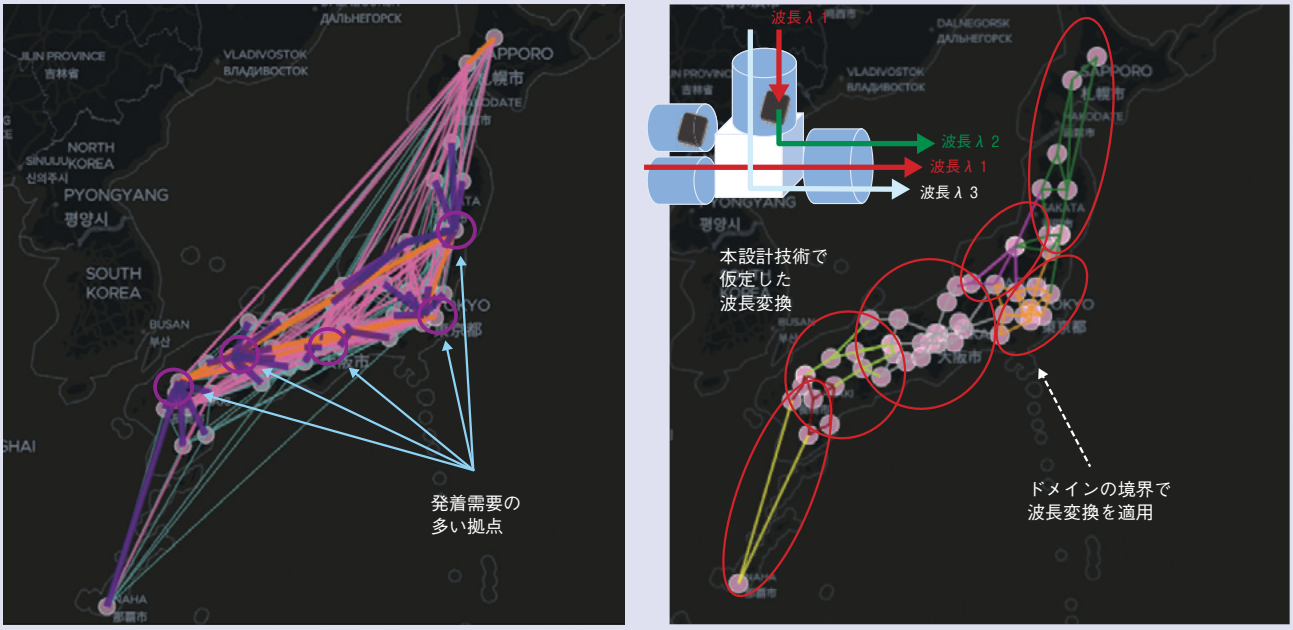


図1　光フルメッシュネットワーク設計の課題



発着需要の多い拠点を中心にドメインを構成

図2　光フルメッシュネットワークのアーキテクチャ

てることが難しくなるとともに計算量が爆発し，最適な波長割当を計算すること自体が困難になります．そこで私たちは，波長を効率的に使用し，かつ問題の規模を削減するために，ネットワークを領域（ドメイン）に分割するアーキテクチャを採用しています（**図2**）．ドメインの境界では，フォトニックゲートウェイ，フォトニックエクスチェンジを配備し，これらの装置で波長変換を実施します．ドメイン分割により，必要となる波長数を減らすとともに，波長割当最適化技術が適用可能となるように問題の規模を小さくすることができます．ドメインは，需要の発生分布に応じて，ドメイン間をわたる光パスが極力小さくなるように設定します．

光フルメッシュネットワークのトポロジ設計・波長設計

ドメイン内の波長資源を有効に使うためにトポロジ設計，波長最適化技術を適用します．トポロジ設計では，ドメイン内の各ファイバを経由する需要の大きさが極力均等になるような，ルート設計，追張り，新たなファイバルート追加といった手段を，コストミニマムになるように適用していきます．さらに，波長最適化にあたっては，ドメイン内の始終点の組合せに対して，フレックスグリッド波長割当最適化の手法を適用することにより，最適な波長割当を実現します．この波長割当最適化については，量子コンピューティング（LASOLV®[2]）を適用することが可能です．

シミュレーション結果

JPN48[3]を対象に，IOWN（Innovative Optical and Wireless Network）時代のサービスを想定したトラフィックモデル（県に配備されたデータセンタ間の通信，クラウド経由遠隔操作アプリケーション，法人P2P通信）を収容し

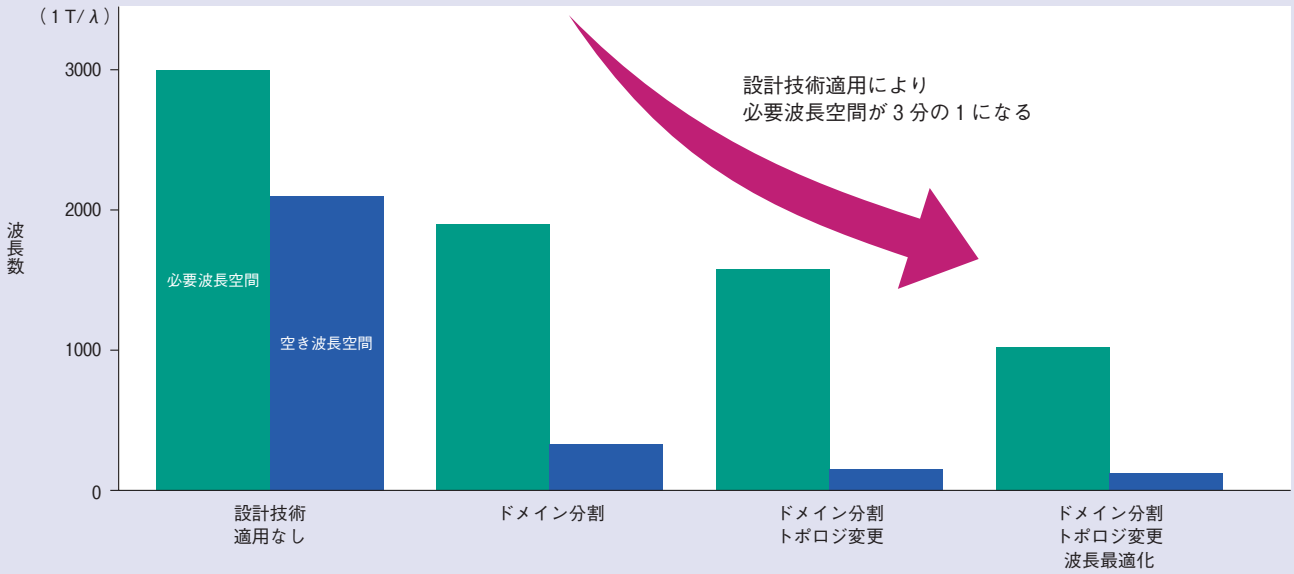


図 3　シュミレーションの結果

たシミュレーションの結果を紹介します．研究所技術を適用しない場合はファイバ当り 3 Pbit/sの容量が必要であるのに対し，研究所技術を適用することにより，ファイバ当り 1 Pbit/sの容量で，これらのトラフィックを収容することが可能となるとともに，ファイバの利用効率が大幅に向上していることが分かります（**図 3**）．

今後の展望

本稿では，多様かつ大量の光パスを効率的に収容するオール光フルメッシュネットワークの実現に向けた，アーキテクチャ，トポロジ設計，波長設計技術について紹介しました．

今後は，本技術をさまざまなネットワークの要件に柔軟に対応するネットワーク設計技術へ発展させるとともに，実フィールドへの早期展開をめざします．

■参考文献

⑴ L. Velasco, A. Castro, M. Ruiz, and G. Junyentm: “Solving Routing and Spectrum Allocation Related Optimization Problems: From Off-Line to In-Operation Flexgrid Network Planning,” Journal of Lightwave Technology, Vol.32, No.6, pp.2780-2795, 2014.
⑵ https://www.ntt.co.jp/RD/product/case/case-sclab/lasolv.html
⑶ https://www.ieice.org/cs/pn/jpn/jpnm.html

（左から）瀬戸　三郎/ 石塚　美加/
金子　康晴/ 越地　弘順/
安川　正祥

オールフォトニクス・ネットワークを支える設計技術の開発により，IOWNが切り拓く新たな世界に貢献していきます．

◆問い合わせ先
NTTネットワーク基盤技術研究所
コグニティブファウンデーションNWプロジェクト
アーキテクチャ技術SEグループ
TEL　0422-59-3477
FAX　0422-59-6384
E-mail　mika.ishizuka.st@hco.ntt.co.jp