

1. 研究開発課題・実施機関・研究開発期間・研究開発予算

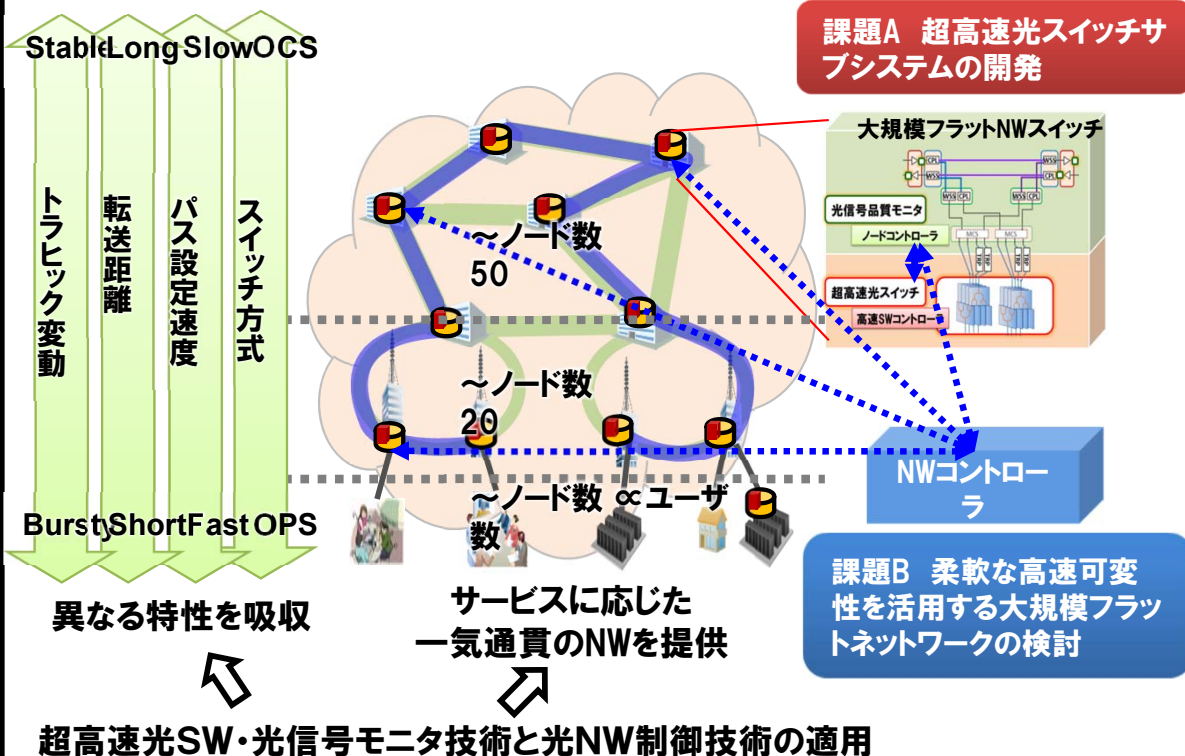
- ◆研究開発課題名 : 大規模フラットネットワーク基盤技術の研究開発
- ◆副題 : 高速光スイッチサブシステムと複数サービスを提供する弾力性のある光ネットワーク制御技術
- ◆実施機関 : 日本電信電話株式会社、富士通株式会社、国立大学法人名古屋大学、公立大学法人大阪府立大学、国立大学法人大阪大学
- ◆研究開発期間 : 平成26年5月26日～平成31年3月31日
- ◆研究開発予算 : 886,986,589円

2. 研究開発の目標

コア網からメロ・アクセス網までを一気通貫に柔軟かつ高速可変性なネットワークを提供可能とする大規模フラットネットワークの基盤技術を、下記の課題A(デバイス技術～ハードウェア技術)と課題B(制御技術～ソフトウェア技術)の両面の要素技術に取り組むとともに課題Aと課題Bで連携し課題間連携実験を行いソフトとハードの融合による大規模フラットネットワークの実証を行う。

3. 研究開発の成果

目標: 超高速光SWと光NW制御技術による大規模フラットNW基盤技術の確立



研究開発成果

超高速光SWと光NW制御技術として下記の技術を実現し、大規模フラットNW基盤技術を確立

A-1 超高速光スイッチサブシステム基盤技術

- ・超高速光スイッチサブシステムの素子基盤技術を確立
- ・光スイッチ素子の大規模化技術を確立
- ・大規模化光スイッチ素子実装技術を確立
- ・弾力化制御アシスト高速スイッチNWを提案、実証 (課題A,B連携実験)

A-2 フラット網光信号品質モニタ・監視技術

- ・プロアクティブ光ネットワーク制御の実験実証
- Transmission-Quality-Aware Online Network Design & Provisioningを提案実証(課題A,B連携実験)

B-1 マルチサービスを提供する大規模フラットネットワーク制御技術

- ・光パスのアグリゲーションを行う新たな技術を提案
- B-2 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

- ・OPS-OPS, OPS-OCSオフローディング手法の提案
- ・実証実験を見据えたトラフィックオフローディング技術の拡張提案

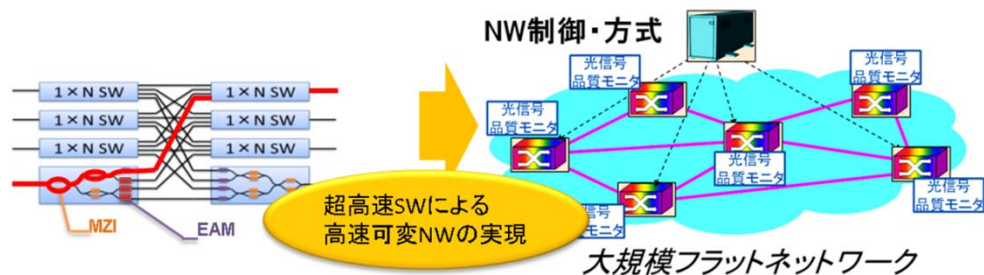
課題A-1 超高速光スイッチサブシステム基盤技術の研究開発

課題:大規模フラットネットワークの実現に向けて多種多様な大容量光信号の柔軟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。

目標:超高速・超小型・低電力の超高速スイッチサブシステムと、フラットネットワークの実現を目指した応用技術の研究開発と実証を行う。

取り組み・ポイント:

- (1) ナノ秒級の超高速光スイッチ要素の開発
- (2) 16x16級のスイッチを実現する光スイッチの大規模化・低損失化
- (3) 光スイッチサブシステムの実現



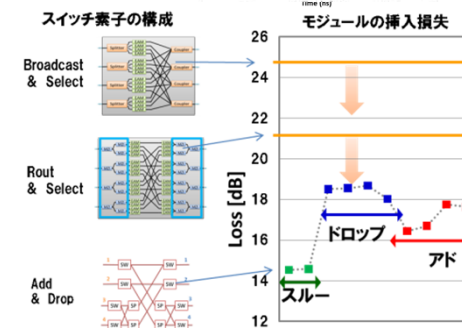
研究成果: 超高速光スイッチサブシステムを実現するための基盤技術の確立

高速スイッチ素子技術を確立: **動作速度 < 1nsec**
 光SWチップとドライバ集積技術を確立: **フリップチップ接合積層化**



研究成果: 光スイッチ素子の大型化技術の確立

素子の損失低減技術(交差損失低減)を確立
 交差低減構成、提供機能に基づく構成の見直しで損失低減
 ⇒ **4x4SWで19dB以下を実現 (8x8SWで損失25dB以下相当)**



研究成果: 大規模化光スイッチ素子実装技術の確立

16x16規模のスイッチを構成可能な実装技術として
 Si ガイド構造×90° 捻り3次元実装を検討
 ⇒ **2 μm程度の組立誤差、光メタサーフェスによる高精度レンズアレイ検討中**

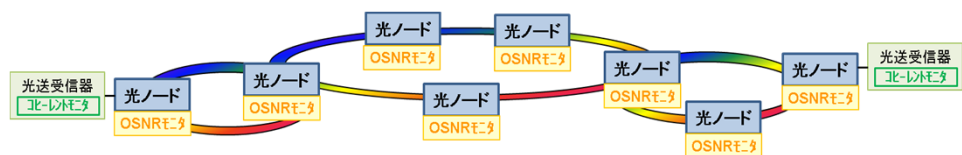
課題A-2 フラット網光信号品質モニタ・監視技術の研究開発

課題:大規模フラットネットワークの実現に向けて、任意経路での光パスの光伝達特性の検証、運用中でのモニタ技術の実現が求められる。

目標:様々な伝送方式に対応した光パスモニタ・監視技術を開発する。それらのモニタ結果を用いたネットワーク制御方式を実験実証する。

取り組み・ポイント:

- (1) RF解析型OSNRモニタの開発
- (2) コヒーレント受信技術に基づいたモニタの開発
- (3) 柔軟に拡張可能な光ノードの開発



研究開発成果: プロアクティブ光ネットワーク制御の実験実証

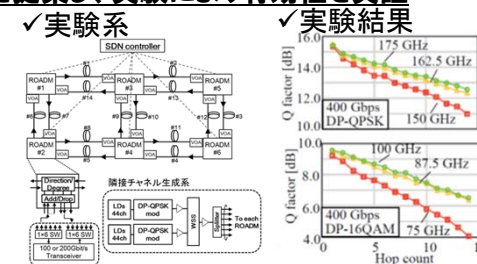
光モニタで障害予兆・劣化を検出し、光信号パワーを制御することで信号断を予防回避するプロアクティブ制御を検討し、試作OSNRモニタサブシステムと試作光ノードを用いて実験実証した。



研究開発成果: 課題B-1との課題間連携により、Transmission-Quality-Aware Online Network Design & Provisioningを提案し、実験により有効性を実証

400Gbps信号の伝送性能を評価、明確化
 ・ 2 subcarrier DP-16QAM with 75/87.5/100GHz
 ・ 4 subcarrier DP-QPSK with 150/162.5/175GHz

評価結果に基づき数値シミュレーションを行い(名大実施)、ファイバ必要数を45%削減できること確認した。



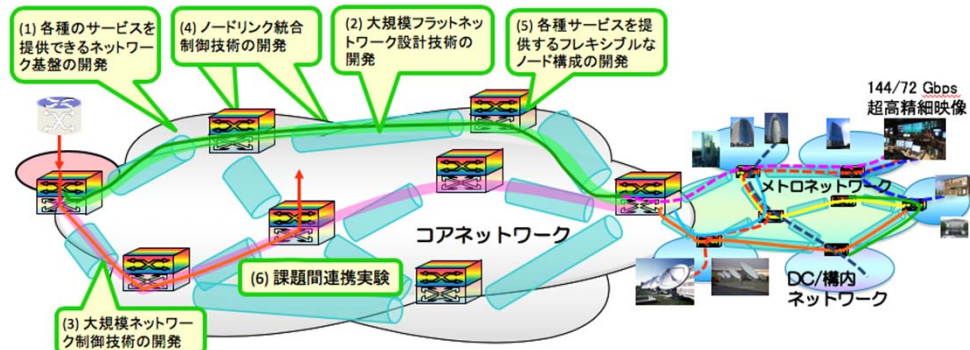
課題B-1 マルチサービスを提供する大規模フラットネットワーク制御技術

課題: 高速な光スイッチングを含む将来の多様なサービスを効率的に提供できる、高スループットで大規模なネットワークの実現技術

目標: 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並びに制御技術の開発

取り組み・ポイント:

具体的な検討項目

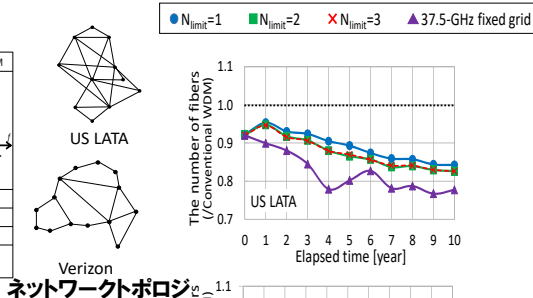


研究開発成果: 光パスのアグリゲーションを行う新たな技術を提案

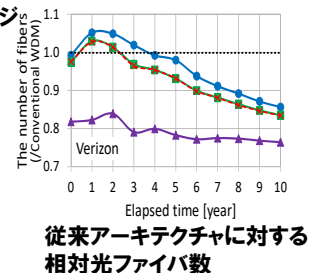
継続的に増加する通信トラフィック(光パス)に対して、VDL (Virtual Direct Link) を適応的に設定し、帯域狭窄化効果を抑制しながら高密度な波長多重をネットワーク全域で用いる方式の提案と数値実験による実証に成功。

パス収容方式一覧

Method	Proposed Grouped Routing	37.5GHz fixed-grid WDM	50GHz fixed-grid WDM
Conceptual diagram			
Express operation	GRE	Each path	Each path
Add/Drop operation	Each path or GRE	Each path	Each path
Guard band	Broad (between each GRE)	Narrow	Broad
Number of wavelengths	~110	117	88



継続的な設備増設が行われた後のもっとも光ファイバ数の多い状況下で、帯域狭窄化効果が存在しない理想的な状況に迫る優れた光パス収容能力を発揮。また、従来の光パス収容方式に比べると、ネットワーク全体で最大15%程度の光ファイバを削減可能。



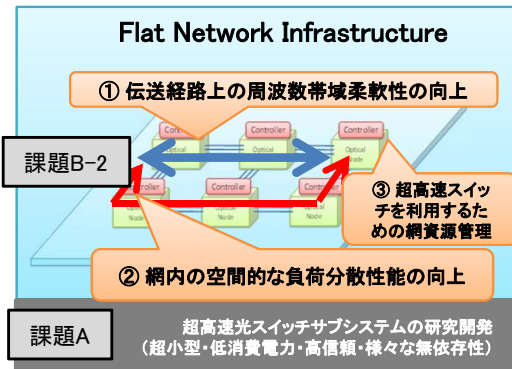
課題B-2 大規模フラットネットワーク構築のための弾力性のある光パス設定制御

課題: 状態変化に対する即時的な修正能力を強化した弾力性のある適応制御の新規導入

目標: 呼接続棄却確率を代表的な方式(波長割当はFirst Fit方式、経路選択はK-Shortest Paths方式を想定)と比較して相対的に1/10以下に低減させる。

取り組み・ポイント:

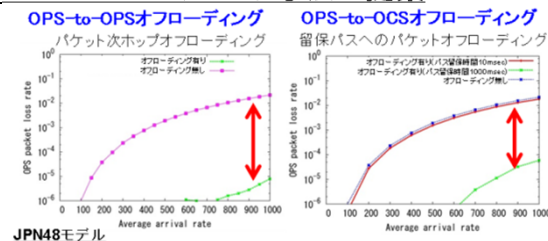
- 弾力性のある光パスの波長/ファイバ割当・変更制御の研究開発
- 弾力性のある複数経路決定・選択制御の研究開発
- 弾力性のある光パス設定方式のコントロール部構成法の開発と実証実験



研究開発成果: OPS-OPS, OPS-OCSオフローディング手法の提案

OPS-OCS, OPS-OPSオフローディング手法の高度化手法を提案
 ⇒ 最終目標性能を達成
 例) パケット棄却率を
 2-3桁程度改善

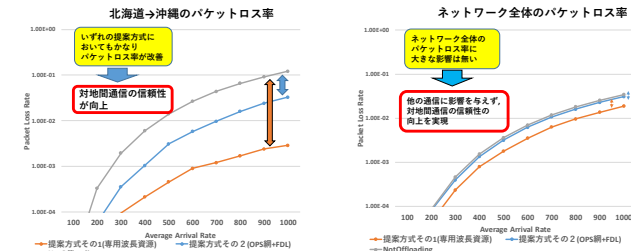
連携実験等により動作を実証
 ・NICT仙台テストベッド上でOPSフロー切替の機能検証
 ・課題A-1,A-2と連携したOPS-弾力化制御OCSオフローディングの実証実験



研究開発成果: 実証実験を見据えたトラフィックオフローディング技術の拡張提案

OPS-to-弾力化制御OCS (OFS) オフローディングとして、OFSパスを弾力化制御OCS保存パスとして配備する方式

- OPS網 (JPN48)
 平均到着率: 100 ~ 1,000
 パケットサイズ: 1,500KByte
 北海道 → 沖縄のフローのみ
 平均到着率を他のフローの100倍(高負荷)
- OFS網資源(オフローディング用)
 OPS網資源と同じものを用意

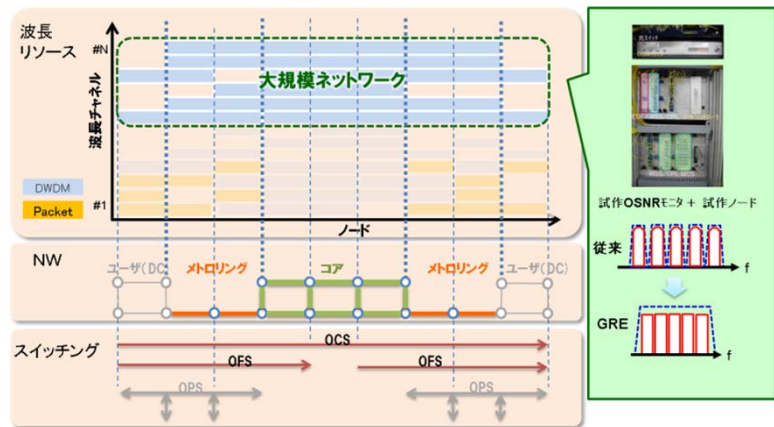


実際のネットワーク環境でも有効性を実証

連携実験 大規模化技術

目標: 課題A-2, B-1の連携により「空間のフラット化」技術を検証

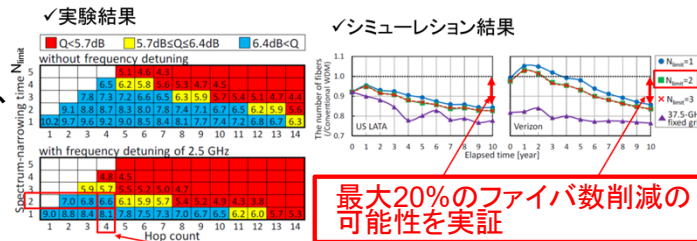
- 大規模NWへの Grouped Routing Entity・Virtual Direct Link Network等の技術の適用可能性を検証
- OSNRモニタ技術のGRE・VDL等への適用可能性の検証と伝送距離改善の実証



研究開発成果: Transmission-Quality-Aware Online Network Design & Provisioningを提案し、連携実験により有効性を実証

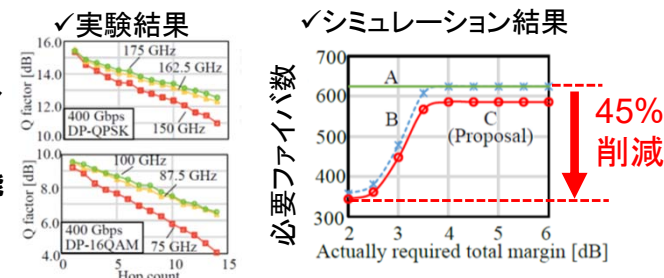
① 伝送特性変化に応じたGrouped-routing networkにおける許容スペクトル狭窄回数制御

伝送品質モニタに基づく精密なマージン管理により、高密度という特長を保持したままGrouped Routing Networkを運用可能であることを実証



② 伝送特性に応じた最適変調フォーマットおよびチャンネル帯域幅選択

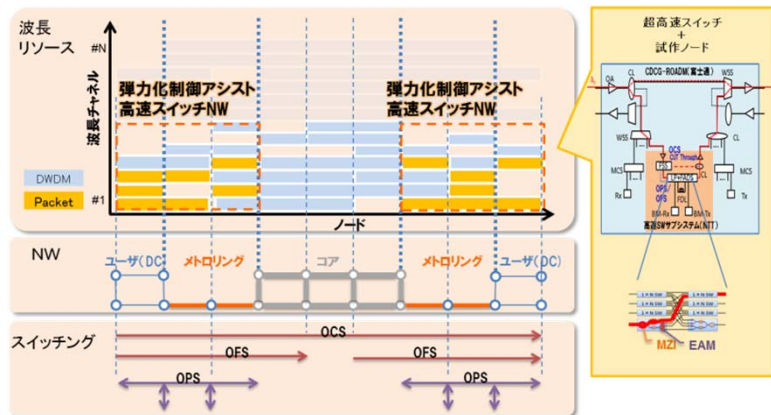
伝送品質モニタに用いたオンラインでの変調フォーマット及び帯域幅制御技術により、マージンが適正化された高効率光ネットワークの運用が可能であることを実証



連携実験 弾力化技術

目標: 課題A-1, B-2の連携 + A-2試作ノードにより「時間のフラット化」技術を検証

- OCS/OFS/OPSの運用に超高速SWを導入し、動的パス制御やスイッチ特性を踏まえたリソース予約制御等を実証
- NWコントローラ、ノードコントローラ、ラベルプロセッサ連携機能の実現と実証



研究開発成果: OPS/OFS/OCSモード切替え動作可能な弾力化制御アシスト高速スイッチNWを提案、連携実験により有効性を実証

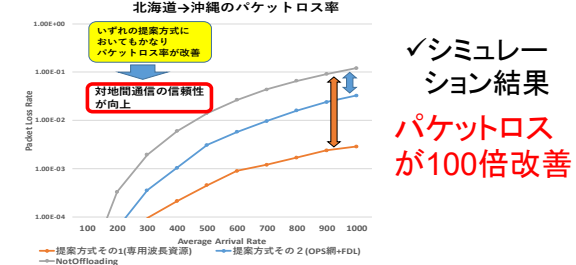
① ROADMノードに超高速スイッチサブシステムを組み込み、OPS/OFS/OCSモード切替え動作を実証



② 実際のNW構成での弾力化制御アシスト高速スイッチNW有効性の検証

北海道→沖縄のバケットロス率

OPS-to-弾力化制御OCS (OFS) オフロードイングとして、OFSパスを弾力化制御OCS保存パスとして配備する方式で有効性を実証 (B-2でのシミュレーション結果)



国内出願	外国出願	研究論文	その他研究発表	プレスリリース 報道	展示会	標準化提案
22 (2)	13 (3)	10 (0)	144 (23)	0 (0)	1 (0)	0 (0)

※成果数は累計件数、()内は当該年度の件数です。

研究成果については、国内外に積極的にアピールを行い国際会議の招待講演4件や表彰2件をはじめとして、高い評価を得ている

国際会議招待講演:4件

S. Ibrahim, et al., Invited paper “Burst-Mode Enabled Optical DC Networks: Packet Switching and Beyond,” OFC2019

S. Ibrahim, et al., Invited paper “Novel Lambda-Rich Data Center Network: From Underlying Principles to Candidate Technologies,” OFC2019、等

国際会議一般講演:8件

K. Kayano, et al., “Ultra-Dense Elastic Optical Networks Enabled by Grouped Routing with Distance-Adaptive Modulation,” PSC2019

H. Tode, et al., “Packet Offloading Exploiting Life-Sustained Optical Path Resources in OPS/OCS Integrated Network,” PSC2019、等

表彰:2件

IEEE Nagoya Section Student Award

子情報通信学会フォトニックネットワーク研究会 第5回 JPN デザインコンテスト優秀賞

5. 研究開発成果の展開・普及等に向けた計画・展望

大規模フラットネットワーク基盤技術が普及していくには、既存のネットワークの規模を拡大しネットワーク基盤を構築するフェーズと、高度なサービスの展開を行うために、サービスに応じてネットワーク機能を拡張していくフェーズの2つのフェーズでの展開を想定している。大規模フラットネットワーク自体は社会基盤の一翼を担うものであり、実際の普及までに時間が掛かるため、まずは、本研究で確立した基盤技術について、上記のフェーズでの技術的な要請に応えられるように、学会発表等により積極的に世の中に広め、普及の素地を継続的に作っていくことが当面の展開となる。