

## 1. 研究課題・実施機関・研究開発期間・研究開発予算

- ◆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
- ◆個別課題名 : 課題B 柔軟な高速可変性を活用する大規模フラットネットワークの検討
- ◆副題 : 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
- ◆実施機関 : 大阪府立大学(戸出英樹)、大阪大学(渡辺尚)
- ◆研究開発期間: 平成26年度から平成30年度(5年間)
- ◆研究開発予算: 総額 45百万円(平成28年度9百万円)

## 2. 研究開発の目標

従来の準静的な光スイッチの使用を前提とした現状態における動的最適化制御と将来状態を見据えた安全側のプロアクティブ型制御のさらなる洗練化と、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による相乗効果により、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以下に低減させる提案方式の実現を最終目標とする。

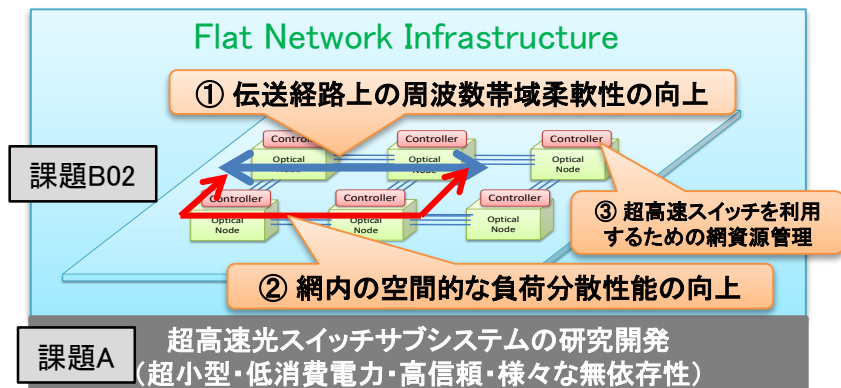
## 3. 研究開発の成果

## 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

DC内/DC間NWやメトロ・コアNWの重要性の高まり

- ・ 負荷集中によるボトルネックの輻輳
- ・ 冗長化によるリンク利用効率の低下
- ・ 階層ごとの中継処理による遅延

通信の高信頼化  
周波数資源の  
高効率利用  
地理的・ノード数的  
大規模化



## 課題ア:

## 「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」

- ・ マルチコアEONでのRSA手法, 仮予約方式, 境界制御手法を確立 (SDM, エラスティック, 仮予約制御, OPS/OCSハイブリッド, 境界制御) JOCN(招待論文), OFC, PSなどで成果発表

## 「課題イ: 弾力性のある複数経路決定・選択制御の研究開発」

- ・ 複数経路設定手法, 輻輳発生後の高速な経路切替手法の確立 (オフローディング, 遺伝的アルゴリズム, 高速スイッチ切替による経路制御) ICC, ECOC, PS, HPSRなどで成果発表

## 課題ウ:

## 「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」

- ・ フラットネットワーク制御のための管理システムを設計 (SDN, 課題Aとの連携)
- 今後、課題A超高速スイッチサブシステムを用いた実証実験の予定

## ① 周波数資源の高効率利用に向けた領域分割

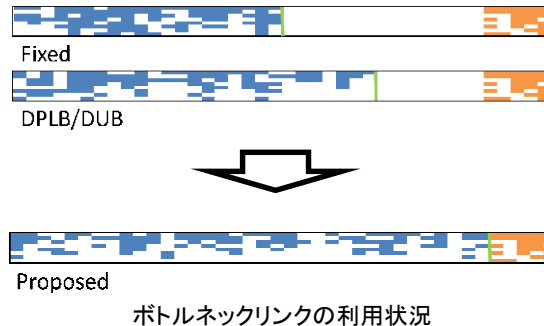
### メタヒューリスティック

**目的** 棄却率改善のための適応的周波数資源境界制御手法の確立

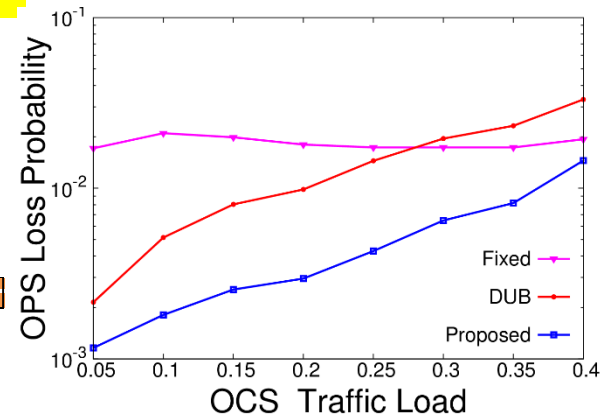
### 基本方針 OPS/OCS境界の動的制御

- 集中制御による統一的な境界設定を基本方針とし、デフォルト経路で想定デマンドを収容した時のボトルネックリンクにおけるトラフィック比を事前に見積もり、その比を基に境界を設定
- 各制御方式用周波数資源は、更に要求周波数スロット数ごとに仮想グリッド化を実施
- OCS側は集中制御で経路選択及び周波数割当を実施、OPS側との境界領域付近はできる限り割り当てない方式を採用
- 周波数境界のOCS側の周波数スロット利用状況に基づき、境界を移動

### 周波数資源の境界領域制御とその性能評価



最近接領域の周波数資源利用状況に基づいた境界の移動により、交換方式の違いによる利用効率の差を解消し、高効率な伝送が可能



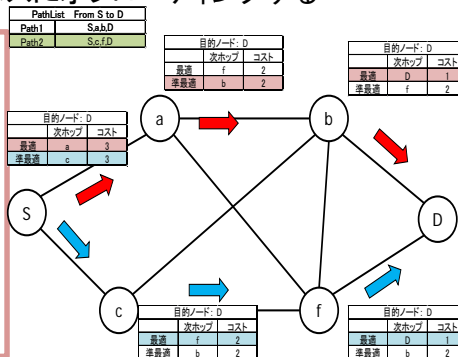
これまでの提案方式と比較して50%以上棄却率改善効果を明らかにした。他のトポロジでも提案方式の有効性を確認している。

## ② トラフィックバランスと対地間公平性を実現する複数経路事前設定法(1/2)

### ヒューリスティック OPS-to-OPS 及び OPS-to-OCSオフローディング

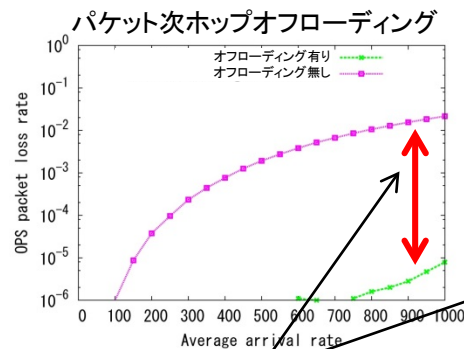
**目的** ■ 中継ノードが過負荷になるとパケットを高速にパケット交換網のHop-by-Hop経路情報に基づいた次ホップ、または同一s-dノードペアの光パスにオフローディングする

- 方針**
- 中継ノードへの平均パケット到着率が閾値より小さくなることで過負荷状態を判定
  - パケット交換網用次ホップの算出アルゴリズムとしてTwo Best First Hops (TBFH) アルゴリズムに注目



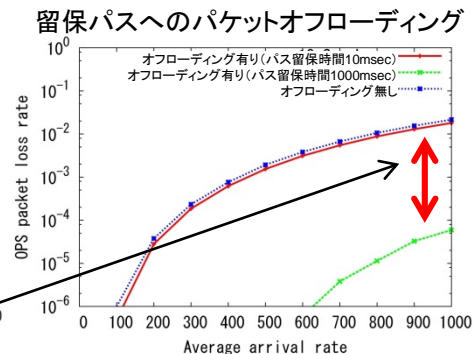
### JPN48モデルでの評価

#### OPS-to-OPS



パケット棄却率を2-3桁程度改善

#### OPS-to-OCS



中継ノード混雑時に Primary、Secondaryの次ホップ および留保された未使用の光パスを適切に利用

## ②トラフィックバランスと対地間公平性を実現する複数経路事前設定法(2/2)

### メタヒューリスティック 遺伝アルゴリズム(GA)ベース複数経路設計手法

**目的** ■ 「各対地間で重複の少ない経路を複数用意すること」と  
「全対地間の上位優先度の経路集合に対して網内のリンク重複度の分散を図ること」を両立

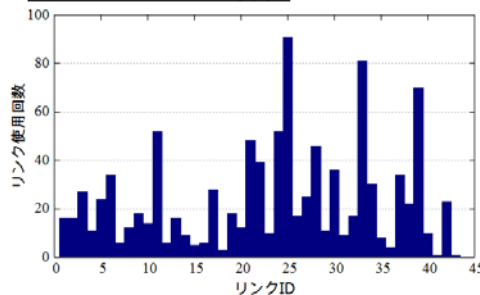
**適応度** (平均リンク使用量)+ $\alpha$ (リンク使用量の標準偏差) +(ペナルティ)

**個体表現** ■ 各ノードペアに対して事前にK-Shortest Path (KSP) アルゴリズムでk個のパスを準備  
■ 各ノードペアに対してパスを選択し、個体を構成

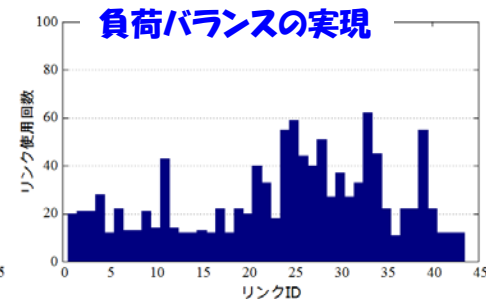


第1経路から順番に、逐次、第N( $\leq J$ ) 経路に対して経路間リンク重複の削減と網全体のリンク重複の分散が図られたGAを段階的に適用

### JPN25モデルでの評価



最短経路のみを選択した場合のリンク使用回数



### 負荷バランスの実現

提案方式により経路を1つ選択した場合のリンク使用回数

最短経路のみを選択した場合の平均ホップ数とリンク使用率特性

	平均ホップ数	平均リンク使用量	リンク使用量の標準偏差
第1経路	3.39	23.67	20.76

提案方式を適用した場合の平均ホップ数とリンク使用率特性

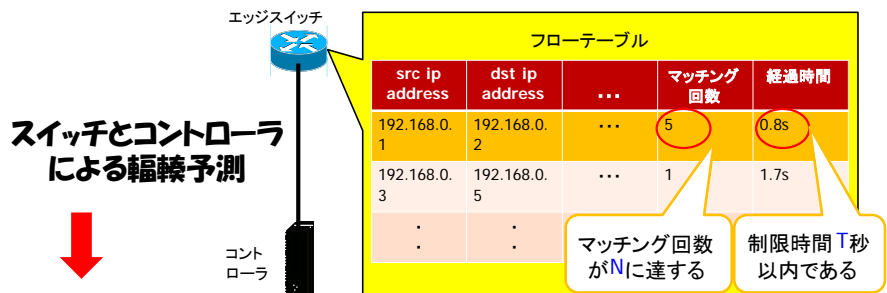
	平均ホップ数	平均リンク使用量	リンク使用量の標準偏差
第1経路	3.76	26.23	14.62
第2経路	4.19	29.28	14.28
第3経路	4.58	31.98	17.51
1-3経路	4.18	87.51	44.56

網内リンク使用率の均等化を図りつつ  
負荷バランスを考慮した  
経路選択を実現

## ③柔軟なコントロール部の設計とプロトタイプ検討

### 光フラットネットワーク管理システム

具体的な動的制御として、光パケット交換網から光パス網への一時的なオフローディング制御の高度化に注目し、基本提案方式のフレームワークを確立



スイッチとコントローラによる輻輳予測

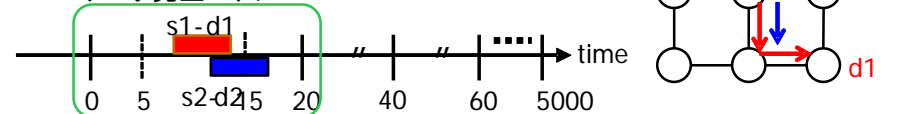
オフローディング制御

送受信ペア	経路情報
1-9	1-2-5-8-9
3-7	3-6-5-8-7
...	...

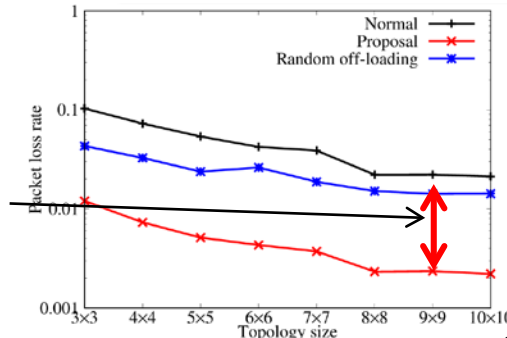
経路が重複している

### Ryu+Mininetによる基礎動作実験 End-to-End光パスにパケットを流す手法を評価

- $n \times n$  ( $n = 3 \sim 10$ ) の格子状トポロジ
- 各スイッチに対してホストが1つずつ接続
- データ発生モデル



パケット棄却率を1桁程度改善



#### 4. これまで得られた成果(特許出願や論文発表等)

	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
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に関する研究開発	0 (0)	0 (0)	1 (1)	37 (16)	0 (0)	0 (0)	0 (0)

※成果数は累計件数、( )内は当該年度の件数です。

##### (1) 課題Aとの連携会議を開催

課題AのNTT、富士通と課題B02の大阪府立大学、大阪大学相互の研究開発項目と進捗状況の把握を通じて最終段階のスムーズな連携に備えた。

##### (2) 共同研究組織間の研究ミーティングを週2回ペースで継続的に開催

インターネットテレビ会議システムを利用して、176B02内の研究進捗会合を週2回1.5時間程度のペースで行い、研究の進捗を加速させた。

##### (3) 国際ジャーナルへの招待論文掲載

IEEE/OSA Journal of Optical Communications and Networking (JOCN) に招待論文が掲載された。

#### 5. 今後の研究開発計画

176B02内の課題ア-1、ア-2、イにおける各種提案方式において、計算機シミュレーションによる評価を行った結果、典型的な既存方式と比較して既に最終目標に相当する性能向上を概ね実証できている。今後は、次年度以降の実証実験に向けて親和性の高い方式に限定した上で、さらに当該技術の適用領域を明らかにする。また、将来の光ネットワークの発展を見据え、例えば、マルチコア/モードファイバを使用した空間多重(SDM)ネットワーク環境を想定した効率的な資源予約機構の確立を目指し、各課題における方式との融合を図る。さらに、実証実験を考慮に入れた場合、パス接続要求や伝送パケットの棄却率の向上に加えて、高速な処理をアルゴリズムの面から追求する必要がある。一部、実証実験を考慮に入れて焦点を当てるべき提案方式として、オフローディング制御のチューンアップを進めてきた。さらなる高速・高性能化を図り、高い Feasibility を有する方式に改良し、実証実験に望む予定である。