

# 平成25年度「脳や生体の動作原理に基づく光通信ネットワーク制御基盤に関する研究開発」の研究開発目標・成果と今後の研究計画

## 1. 実施機関・研究開発期間・研究開発費

- ◆実施機関 国立大学法人大阪大学<代表研究者>、日本電信電話株式会社
- ◆研究開発期間 平成24年度から平成26年度(3年間)
- ◆研究開発予算 総額290百万円(平成25年度90百万円)

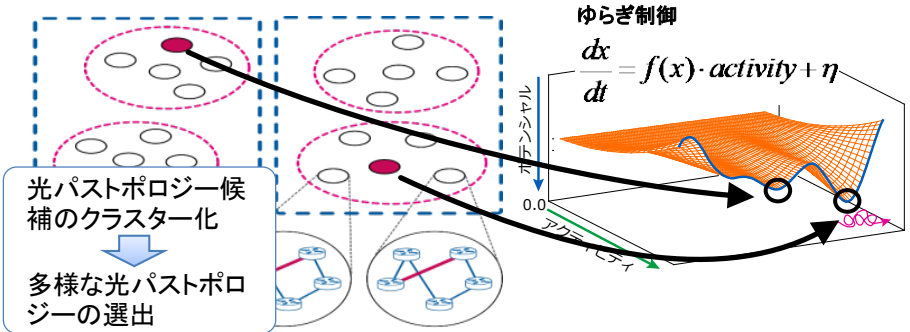
## 2. 研究開発の目標

大局的な情報集約による全体最適化を行わず、脳や生体に見られる局所的情報交換によって、予測困難な環境変動にも適応的に動作することが可能な自己組織的制御によって、高信頼、すなわち、トラヒック変動や故障等が発生した場合にも、その状況に基づいた全体最適化を必要とせず、新しい状況に適応して最適又はそれに近い性能を短時間で得ることのできる光パストポロジーを構成する大規模光通信ネットワーク制御基盤技術を確立する。

## 3. 研究開発の成果

### ①脳や生体の環境適応性に学ぶ光パストポロジー制御技術

膨大な光パストポロジー候補から多様な環境に適応できる少数の光パストポロジー候補の選出する手法の提案



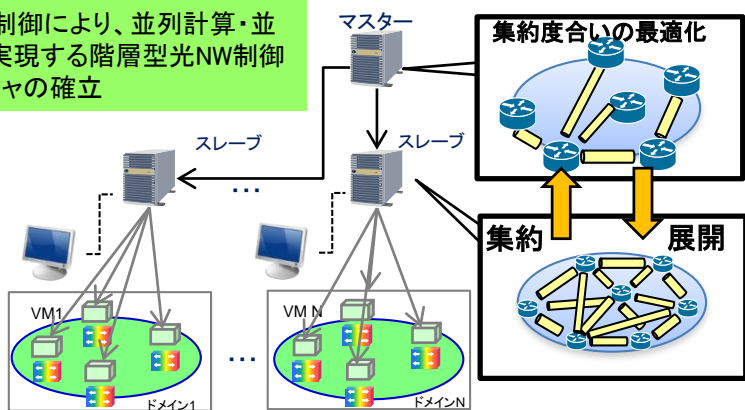
### 研究開発成果

ゆらぎ制御のアトラクターとして保持する光パストポロジー候補の選出方法検討、社内実験ネットワークによるOXC障害への適応の実証を課題とする。

- ゆらぎ制御のアトラクターとして保持する多様な(異なる特性を持つ)光パストポロジー候補を選出する方法を提案した。5ノード規模の物理基盤を対象とした評価では、提案手法が従来のランダム選出よりも多様なトラヒックを収容できることを確認し、さらに、階層化により100ノード規模の物理基盤でも光パストポロジー候補を算出可能であることを確認した。
- 7ルーター・10OXCに拡張した社内実験ネットワーク上で、トラヒック変動、単一OXC障害、複数OXC障害、およびOXC障害とトラヒック変動同時発生による環境変動が発生した場合の動作検証を実施し、実ネットワークでも適応的に光パストポロジーを制御可能であることを示した。

### ②大規模光パストポロジー制御を実現するネットワーク制御プラットフォーム技術

階層型の網制御により、並列計算・並列網制御を実現する階層型光NW制御アーキテクチャの確立



### 研究開発成果

1万ノード光網において、災害から早期に通信を回復するパス復旧アルゴリズム確立(課題イー1)、網制御アーキテクチャ確立(課題イー2)、制御プラットフォーム実装と成果普及促進(課題イー3)を課題とする。

- 障害復旧手順を最適化し、疎通流量が80%以上に回復する時間を最早化し、1,000ノード網の計算を数十秒で完了するアルゴリズムを確立。
- 並列計算・並列網制御を実現する階層型光NW制御プラットフォームを開発し、1万ノード網の高速制御実現性(約10分)を机上で確認した。
- H26年度のJGN-X実証実験に向け、網制御プラットフォーム(NTT)とゆらぎAPL(課題ア)との接続IFや実機(ルータ+OXC)高速制御を実現する集中型制御機能の開発を完了しつつ、受託研究内容の普及促進に向け、故障復旧メカニズムに関する要件をITU-T SG13会合に寄書提案した。

# ① 脳や生体の環境適応性に学ぶ光パストポロジー制御技術(課題ア)

**【研究開発内容】**  
 ゆらぎ制御のアトラクターとして保持する光パストポロジー候補の選出方法検討、社内実験ネットワークによるOXC障害への適応の実証

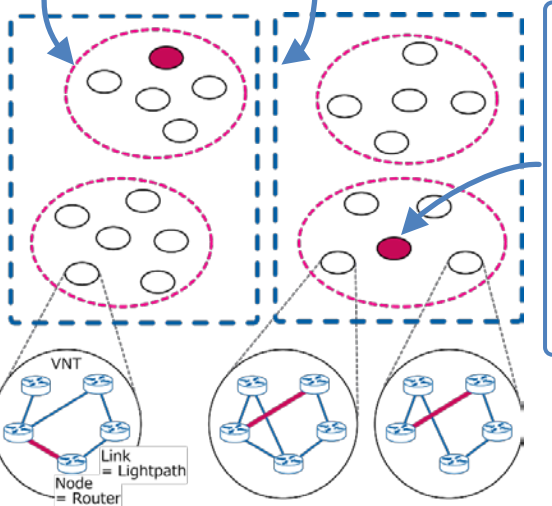
## 1) 多様な光パストポロジー候補選出手法

課題:  $2^{N(N-1)}$  個の候補から  $N^2/10$  個程度の多様性を持った候補を選出する ( $N$  はノード数)  
 概要:

- 同様の特性を持つ光パストポロジーをクラスターにまとめる
  - 異なるクラスターに属する光パストポロジーは異なる特性を持つ  
→ 異なる環境に適応できる
- 各クラスターから代表となる光パストポロジーを選出する

**Step 1:** 辺の媒介中心性を用いてポトルネックになりうるリンクが同じである光パストポロジーをクラスター化する

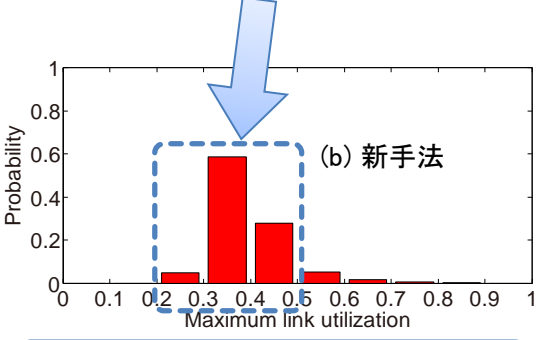
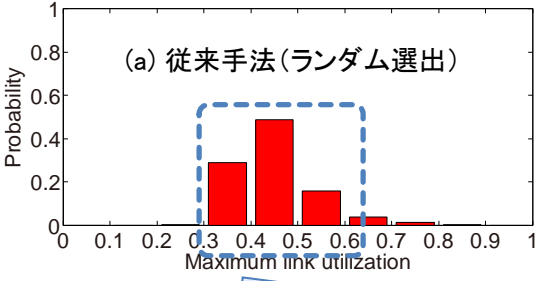
**Step 2:** 次数中心性を用いてポトルネックになりうるリンクが近い光パストポロジーのクラスター同士をマージする



**Step 3:** 各クラスターから、ポトルネックリンクの負荷が最も低いと期待できる光パストポロジーを選出する

**評価条件**

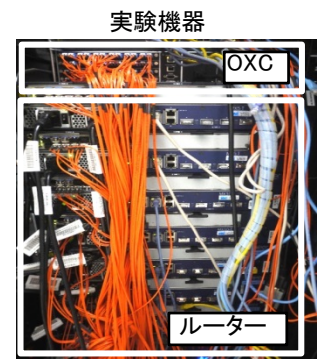
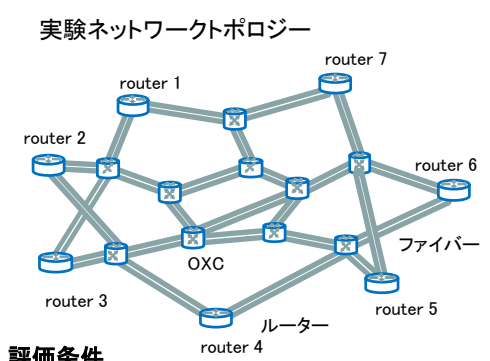
- 5ノードの物理基盤 (約10<sup>6</sup>の光パストポロジー候補)
  - 5ノード・3階層 (125ノードを想定)
- 従来手法(ランダム選出)と新手法で、それぞれ8個の光パストポロジー候補を選出
- 10,000パターンランダムに生成したトラフィックに対して選出した光パストポロジーの最大リンク利用率を計算し、その分布を調査



新方式で選出した光パストポロジー候補は、多様な環境(10,000通りのトラフィック)に対して、最大リンク利用率が低い  
 → これらの光パストポロジー候補をアトラクターにすることで、トラフィック変動に対する適応性・即応性向上が期待できる

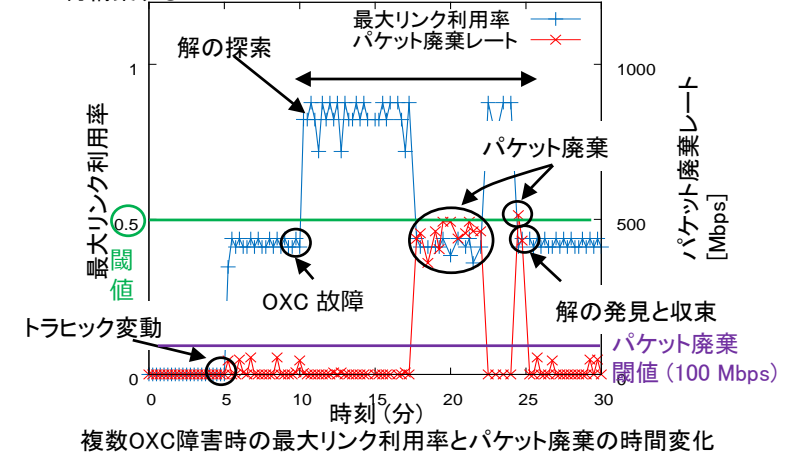
階層化により、100ノード規模の物理基盤でも光パストポロジー候補を算出可能なことを確認

## 2) OXC障害に対する適応性の実機検証



### 評価条件

- 7ルーター・10OXCsの物理基盤
  - Juniper MX5/MX10・Glimmerglass System 100
- 複数のOXCに同時に障害を発生させる
- OXC障害の情報をゆらぎ制御に通知しない
  - ゆらぎ制御は障害に関する情報を利用することなく光パストポロジーを再構築する



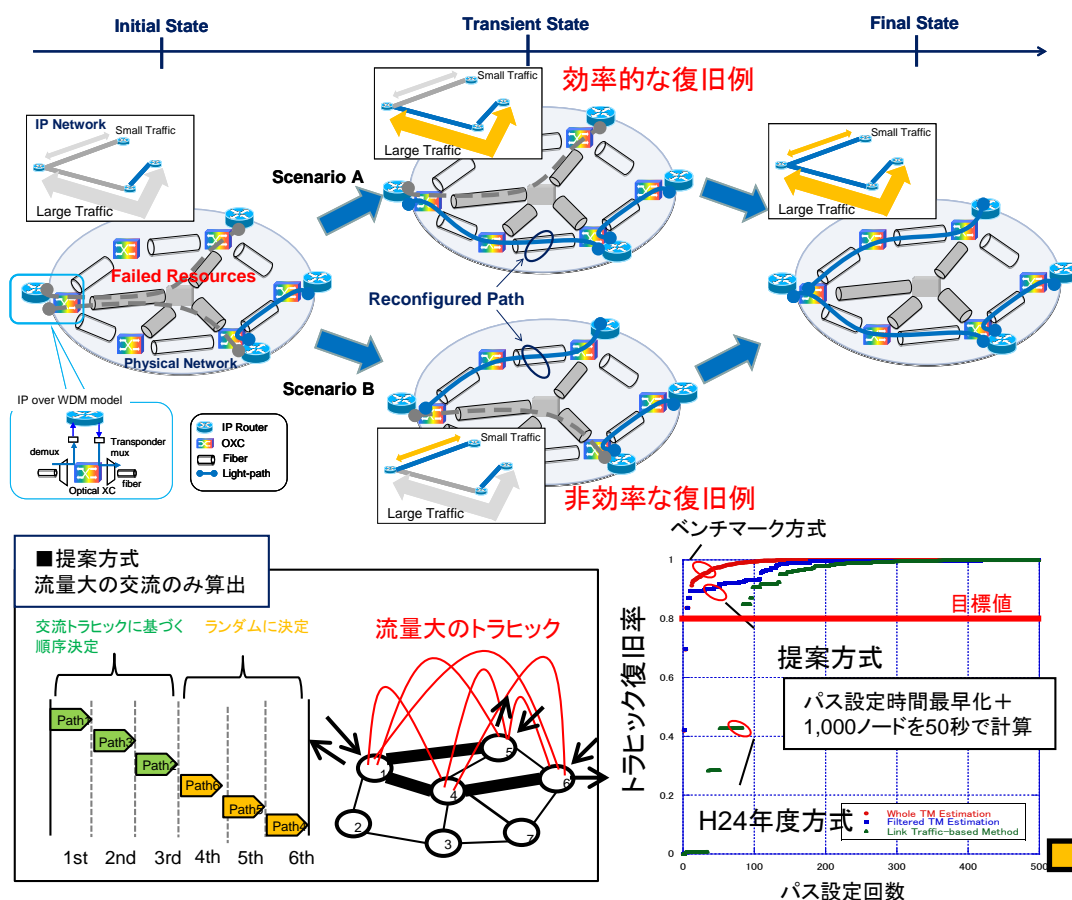
複数OXC障害時の最大リンク利用率とパケット廃棄の時間変化

パケット廃棄レートをゆらぎ制御にフィードバックすることで、単一OXC障害、複数OXC障害に対しても適応的に光パストポロジーを再構築できることを確認

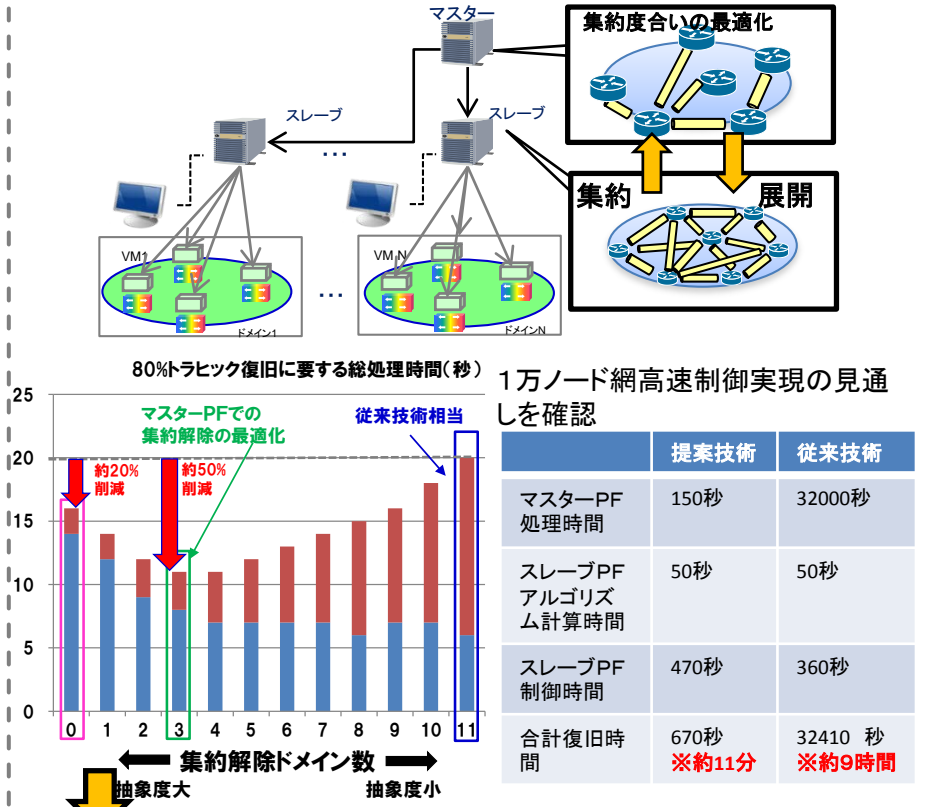
# ②大規模光パストロジー制御を実現するネットワーク制御プラットフォーム技術(課題イ)

**【研究開発内容】**  
 光パス復旧順序アルゴリズム高度化(課題イー1)、階層型制御アーキテクチャによる10,000ノード網の高速制御(課題イー2)、及びJGN-X実証実験に向けた制御プラットフォーム開発(課題イー3)を実施する。

**課題イー1)**  
**問題の定義:** 1,000ノード規模のネットワークで10%のノードが故障する大規模障害が発生した場合に、疎通流量を80%以上に回復する時間を最早化する光パス設定順序を数分オーダーで決定する  
 →フィルター演算により流量大の交流トラフィックを高速に特定し、疎通量の復旧効果が高い光パスから順次復旧するヒューリスティック法を提案



**課題イー2)**  
**問題の定義:** 階層型の網制御により、並列計算・並列網制御を実現する階層型光NW制御アーキテクチャの確立  
 →上位階層のマスターPFと下位階層のスレーブPF構成で、スレーブPFによる網の集約・展開機能、マスターPFによる集約度の最適化機構により、精度向上と計算時間削減を両立する



**課題イー3)**  
 課題イー1、イー2の検討内容を踏まえ、H26年度JGN-X実証実験に向けた制御プラットフォームを開発

4. これまで得られた成果(特許出願や論文発表等) ※成果数は累計件数と( )内の当該年度件数です。

	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	展示会	標準化提案
脳や生体の動作原理に基づく光通信ネットワーク制御基盤に関する研究開発	4(3)	0(0)	0(0)	18(10)	0(0)	0(0)	1(1)

5. 研究成果発表等について

平成25年度は該当なし

6. 今後の研究開発計画

研究開発課題全体では、10,000ノード規模のネットワークにおいて、適応的に動作可能であり、既存の発見的方式によって得られる性能と同等程度の性能を80%以上の確率で得られる光パストポロジー制御技術を示し、広域実験ネットワークでの実証実験を行う。

課題Aでは、ゆらぎ制御を活用した光パストポロジー制御手法について、既存の発見的方式と比較して80%以上の確率で解を発見し適応的に動作可能であることをシミュレーションにより確認する。それにもとづいて、ゆらぎ制御を活用した光パストポロジー制御手法を実装し、課題イで構築される光通信ネットワークシミュレーターを用いて10,000ノード規模のネットワークで動作することを確認する。さらに、課題イと連携してJGN-X広域テストベッド網を用いて実証実験を実施する。

課題イでは、10000ノード規模の光通信ネットワークを複数ドメインに分割し、並列制御を行う階層型制御アーキテクチャにおいて、H25年度に課題イー1で確立した光パス復旧シナリオアルゴリズムに従い光パスの接続構成を動的に変更する。このとき、ネットワークのドメインを動的に分散管理する機構の導入により、ドメインを跨いで発生する局所的な大規模ネットワーク障害に対しても、残存総トラフィック流量の80%以上の疎通を既存の制御方式と比較して1/10の時間で復旧可能であることを確認する(課題イー2)。また、課題イー2の階層型制御アーキテクチャを複数のネットワーク制御プラットフォームを用いて構築し、最大10000ノード構成可能なネットワークシミュレータと10台程度のJGN-X広域テストベッド網を相互接続した大規模ネットワーク上で実証実験を行い、残存総トラフィック流量の80%以上の疎通を既存の制御方式と比較して1/10の時間で復旧可能であることを確認するとともに、実ネットワーク適用に向けた課題を明確化する(課題イー3)。