

平成24年度研究開発成果概要書

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
(16601、16602)

課題ア 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の研究開発
課題イ 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の研究開発

副題 省エネで高信頼な自己組織型の光通信ネットワーク制御技術の研究開発

(1) 研究開発の目的

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。

(2) 研究開発期間

平成24年度から平成26年度(3年間)

(3) 委託先

国立大学法人大阪大学<幹事者>、日本電信電話株式会社

(4) 研究開発予算(百万円単位切上げ)

平成24年度	75(契約金額)
平成25年度	70(〃)
平成26年度	60(〃)

(5) 研究開発課題と担当

課題ア: 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の研究開発(大阪大学)

課題イ: 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の研究開発

課題イー1 光パス復旧シナリオ決定アルゴリズムの研究開発(日本電信電話株式会社)

課題イー2 大規模光パストポロジー制御技術の研究開発(日本電信電話株式会社)

課題イー3 ネットワーク制御プラットフォームによる実証と普及推進(日本電信電話株式会社)

(6) これまで得られた研究開発成果

		(累計) 件	(当該年度) 件
特許出願	国内出願	1	1
	外国出願	0	0
外部発表	研究論文	0	0
	その他研究発表	9	9
	プレスリリース	0	0
	展示会	0	0
	標準化提案	0	0

具体的な成果

(1) 課題ア 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の研究開発

平成24年度は、アトラクターとして埋め込む光パストポロジー候補集合の導出方法を検討した。

われわれのこれまでの検討では、ランダムに生成した光パストポロジー候補をゆらぎ制御のアトラクターとし、環境変動に応じてゆらぎにより光パストポロジーを選択する方式を採用している。シミュレーション評価ではトラヒック変動や故障に強いことを示しているが、ランダムに構築した光パストポロジーを埋め込んでいることから、収束時間が長いなどの課題や最適性自体が十分でないなどの課題がある。そのため、アトラクターとして埋め込む光パストポロジーの候補集合を適切に設定することが必要であり、これによって高い確率で最適解又はそれに近い解を導出する光パストポロジー制御手法を実現する。

具体的には、オフライン計算により、ポート数制約、波長数制約のもとで、既存の発見的手法を用いていくつかの光パストポロジー候補を選出する。ここで選出した仮想ネットワーク候補の中より、光パストポロジー上の平均ホップの観点で光パストポロジー候補を選択する。さらに、アトラクターの多様性を向上し、環境変動への適応性を向上するためにランダムに生成した光パストポロジー候補を生成する。発見的手法を用いて生成した光パストポロジー候補とランダムに生成した光パストポロジー候補からなる光パストポロジー候補集合をアトラクターとする。

50ノードの物理基盤を想定したシミュレーション評価を実施し、提案手法の有効性を評価した。評価の結果、われわれの過去の提案手法であるランダムに生成した光パストポロジー候補のみをアトラクターとする方法では、解の発見までに要する時間が長くなる傾向がある。それに対して、発見的手法で生成した光パストポロジー候補のみをアトラクターとした場合は、一定のトラヒックパターンに対しては速くアトラクターに収束できるものの、その他のトラヒックパターンに対してはアトラクターを発見できる可能性が低いことが分かった。提案手法である発見的手法で生成した光パストポロジー候補とランダムに生成した光パストポ

ロジック候補を混合した集合をアトラクターとした場合は、最終的に環境変化に適応できる光パストポロジックを導出できる確率が最も高いことがわかった。さらに、5ノードの社内実験ネットワークを構築し、提案手法が実機上で動作することを検証した。

(2) 課題イー1 光パス復旧シナリオ決定アルゴリズムの研究開発

光ネットワークでは、物理ネットワーク上に光パスを設定することで上位レイヤのノードを接続する論理的なリンクを構成し、ユーザ間の伝送路を提供する。既存の光ネットワーク再構成技術では、最終的な光パス収容形態を決定しており、光パスの復旧順序には関与しない。光パストポロジックの再構成を行う際に、物理トポロジック上の光パスの逐次的な設定を非効率な順序で実施すると、一定の復旧率に達するまでの時間が長延化する課題がある。本検討では、光パスの復旧順序を効率化することで、一定の疎通流量に達するまでの時間(復旧時間)を短縮するアルゴリズムを提案し、その有効性と適用領域を明確化した。

具体的には、故障等によるネットワーク状態変化時の過渡状態において、トラフィック復旧を最早化する問題を定義し、観測が容易な論理リンク単位のトラフィック量のみを使用するヒューリスティックアルゴリズムを提案した。性能評価により、想定する1,000ノード・2万パス環境におけるアルゴリズムの計算を約20秒で完了することを示した。また、トラフィック依存性に関しては、分散の高い複数の交流パターンが重畳されるサービス統合網でより効果的であることを確認した。1,000ノード時のトラフィック復旧効果においては、従来法の1/10以下に復旧時間を短縮可能であることを示した。さらに、アルゴリズムの最適値に対する性能劣化の要因は、観測情報と設定情報の不一致が主要因であることを確認し、今後の更なる精度向上の方向性を明確化した。

(3) 課題イー2 大規模光パストポロジック制御技術の研究開発

大規模網において想定外の環境変動が発生した場合、光パストポロジック制御の対象となる光パス数が膨大になり、光パス設定・削除等の要求を受けた制御プラットフォームやネットワーク装置等の応答性能の劣化が発生する可能性が高い。このため、課題イー1で提案する光パス復旧シナリオ決定アルゴリズムの効果を確認するために、実ネットワークにおけるパス制御の挙動を再現した、光通信ネットワークシミュレータの構築・評価を実施した。

具体的には、以下の要求条件に基づき光通信ネットワークシミュレータを構築した。要求条件として、①光パスとMPLS(Multi-Protocol Label Switching)パスの階層化されたマルチレイヤパス構成の模擬、②マルチレイヤパスの収容関係に基づく順序性を考慮したパス設定、③装置種別に応じた制御処理遅延・装置間の伝送遅延の再現、を機能要件とした。また、④10,000ノードのネットワークまで模擬可能、の4要件に加えて、課題イー1で提案する大規模障害からの復旧を短縮するアルゴリズムを

実装した。本シミュレータを用いた性能評価の結果、多数の設定処理が集中する高負荷環境下でも、1,000 ノード規模ネットワークでの復旧制御時間が、従来技術と比較して 1/10 以下に短縮可能であることを示した。

(4) 課題イー 3 ネットワーク制御プラットフォームによる実証と普及推進

最終年度の広域ネットワークにおける実証実験で使用するネットワーク装置の応答速度等の基礎データを取得し、課題イー 2 の制御時間短縮に向けたボトルネックを明確化した。

具体的には、ネットワーク制御の高速化を目的として、ネットワーク装置制御手法毎の制御時間を基礎データとして取得した。従来の CLI (Command Line Interface) によるネットワーク装置制御と比較して API (Application Programming Interface) による制御は、制御プラットフォームとネットワーク装置間メッセージのやり取りが削減されるため、パス数などの制御量が大きい場合に制御時間短縮効果が大きいことを確認した。特に、大規模網における制御時間短縮効果は大きく、2,000 パスの制御を行う場合、制御時間を 1/20 に短縮可能であることを確認した。

(7) 研究開発イメージ図 成果概要書別添イメージ図 (パワーポイント資料) に記載

平成24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<幹事者>、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24年度 120百万円)

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、トラフィ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。

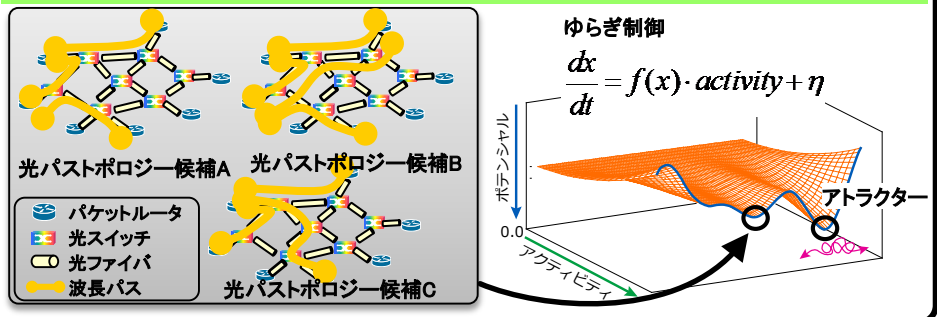
3. 研究開発の成果

研究開発目標

研究開発成果

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

物理基盤の制約を考慮した光パストポロジー候補をゆらぎ制御のアトラクターとして埋め込み、トラフィック変動もしくは故障等による物理基盤の変化が生じて、適応的かつ即応的に光パストポロジーが構成されることを示す



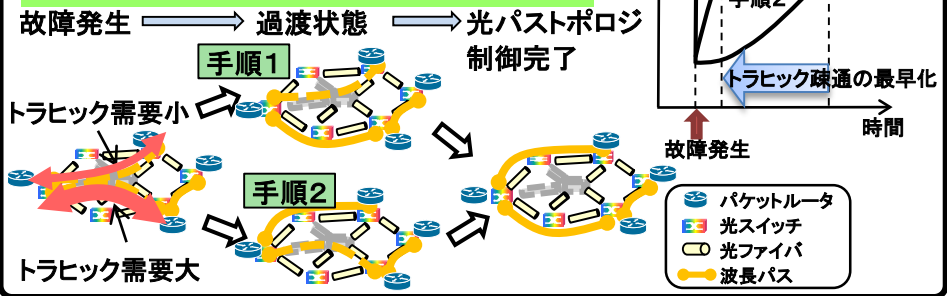
研究開発成果

従来手法では、ランダムに構築した光パストポロジー候補をゆらぎ制御のアトラクターとして埋め込んでいたが、開発見までに要する時間が長いなどの課題がある

- 物理基盤の制約として、ポート数と光ファイバーの波長数の制約を考慮した光パストポロジー候補をゆらぎ制御のアトラクターとした場合でもトラフィック変動に対して適応的に光パストポロジーが構成されることを示した。さらに、光パストポロジー候補として、**既存ヒューリスティックによって生成された光パストポロジーとランダムに生成した光パストポロジーからなる候補集合を用いることで提案手法の即応性が向上した。**
- 5ノードの社内実験ネットワークを構築した。さらに、提案光パストポロジー制御手法をソフトウェアに実装し、構築した社内実験ネットワーク上で動作検証した。

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

大規模光通信ネットワークにおける異常事態発生後の迅速な疎通率回復を実現。疎通率80%回復時間を1/10に短縮する手順を数分以内に導出



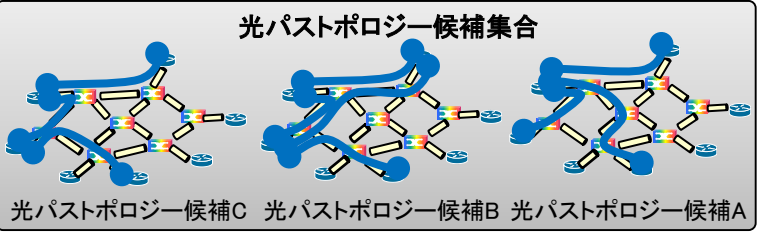
研究開発成果:光パス復旧最適化アルゴリズムの実現

大規模災害等から早期に通信を回復するためには、復旧手順の最適化が重要。しかしながら、大規模網においてはパス数が膨大になり最適解の導出は実用的な時間では解くことができない問題

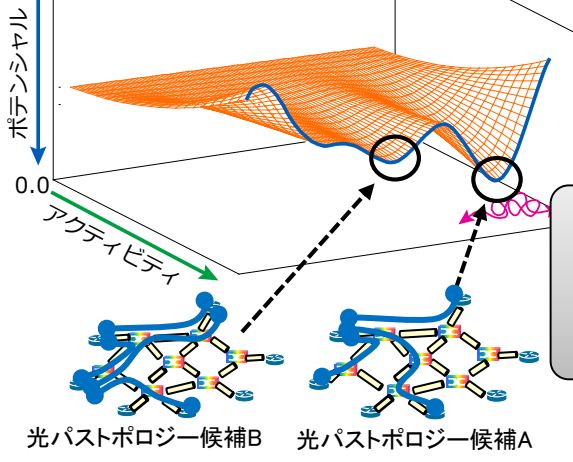
- 本研究開発では、故障等によるネットワーク状態変化時の過渡状態において、トラフィック復旧を最早化する問題を定義し、観測により容易に取得可能な論理リンク単位のトラフィック量のみを使用するヒューリスティックアルゴリズムを提案。**1,000ノード・2万パス環境において約20秒で解の導出完了。**また、1,000ノード時10%のノード・リンク障害からの復旧工程において、**復旧時間を従来法の1/10以下に短縮可能であることを机上確認。**
- また、膨大な量のパス設定要求が発生する可能性を考慮し、処理遅延等を再現するシミュレータ上で同アルゴリズムを評価し、同様の効果を確認。

①脳や生体の環境適応性に学ぶ光パストロジー制御技術(課題ア)

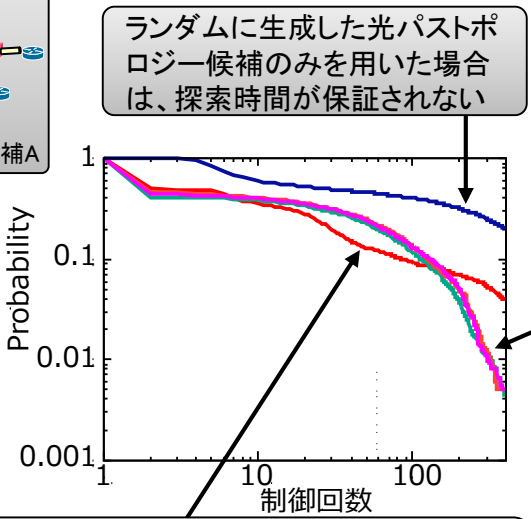
- 課題: われわれのこれまでの検討では、ランダムに光パストロジー候補をゆらぎ制御のポテンシャル関数に埋め込み、環境変動に応じてゆらぎにより光パストロジーを選択する方式を採用し、評価してきた。シミュレーション評価ではトラフィック変動や故障に強いことを示しているが、ランダムに構築した光パストロジーを埋め込んでいることから、収束時間が長いなどの課題や最適性自体が十分でないなどの課題がある
- 提案手法: 物理基盤の制約(ポート数と光ファイバー波長多重数)を考慮した光パストロジー候補をアトラクターとして埋め込む。さらに、既存の発見的手法で生成された光パストロジーに加えてランダムに生成した光パストロジー候補を混合した集合をアトラクターとする。
- 成果: 物理基盤の制約を考慮した場合でもトラフィック変動に対して適応的に光パストロジーを構成できることを示した。さらに、発見的手法によって生成された光パストロジー候補とランダムに生成した光パストロジー候補を50:50の割合で混合した集合をアトラクターとすることで、解の発見確率が向上することを示した。また、5ノードの社内実験ネットワークを構築し、提案手法が実機上で動作することを検証した。



ホップ長が大きい光パストロジー候補Cを除外、他の光パストロジー候補をアトラクターとする



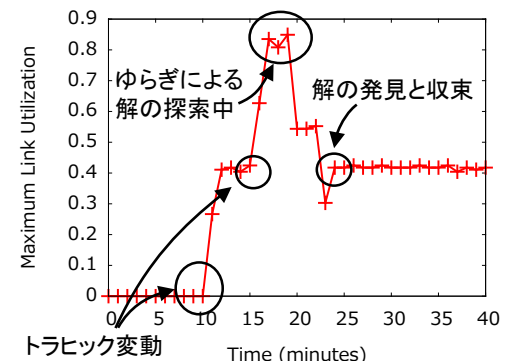
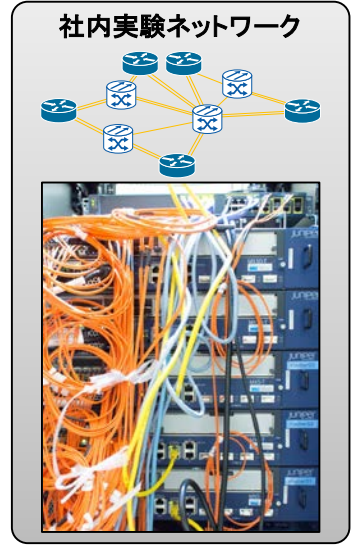
評価結果: 制御回数の分布



発見的手法で生成した光パストロジー候補とランダムに生成した光パストロジー候補をアトラクターとした場合は、探索に時間を要するものの、最終的にアトラクターを発見できる可能性が高い

シミュレーション評価条件

- 50ノードの物理基盤
- 通信需要量が増大した場合を想定したトラフィックパターンを2000パターン

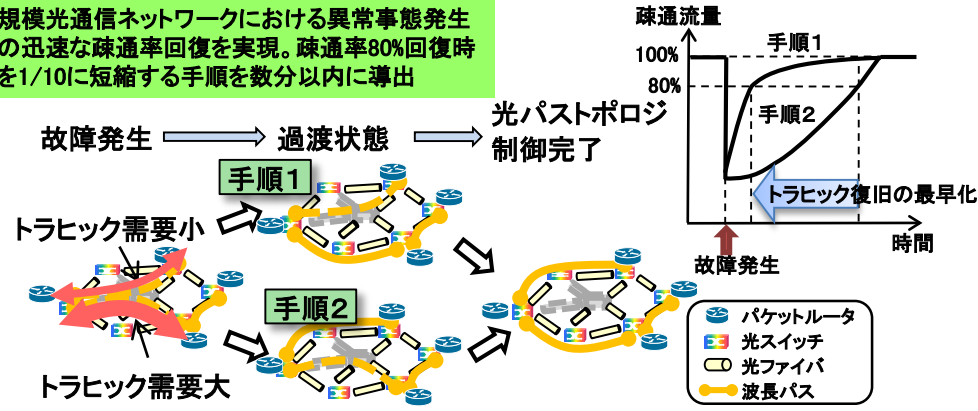


②大規模光パストポロジ制御を実現するネットワーク制御プラットフォーム技術(課題イ)

課題イー1 光パス復旧シナリオ決定アルゴリズムの研究開発

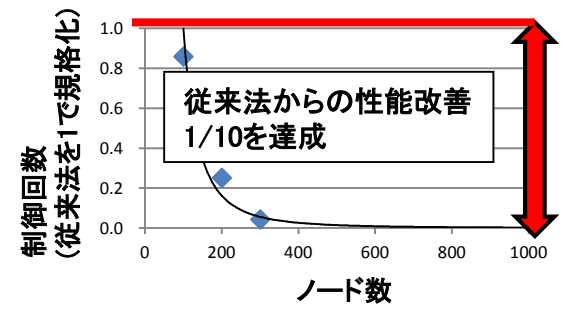
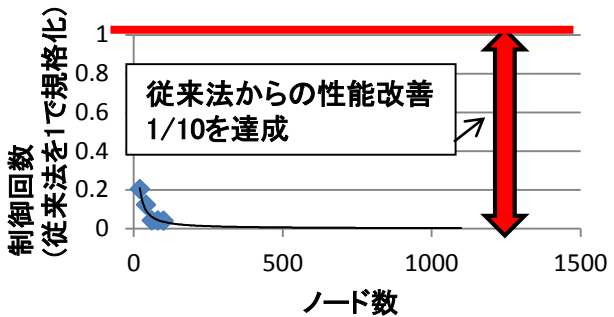
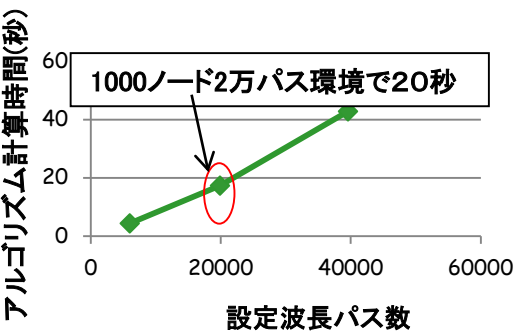
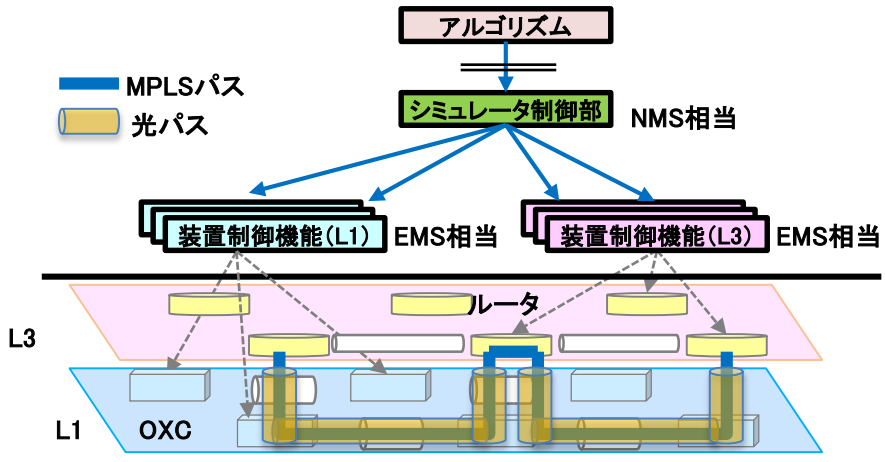
- 技術課題: 光パストポロジの再構成を行う際に、物理トポロジ上の波長パスの逐次的な設定を非効率な順序で実施すると、一定の復旧率に達するまでの時間が長延化
- 提案技術: 定期観測されるリンク単位のトラフィック量のみを入力とすることで演算処理をシンプル化しつつ、未観測情報の補完・上位レイヤルーティング挙動の反映により波長パス復旧手順を最適化
- 成果: 1,000ノード規模のネットワークで10%のノードが故障する大規模障害が発生した場合に、疎通流量を80%以上に回復する時間を従来技術に対して1/10以下に抑制する波長パス設定順序を数十秒オーダーで決定するアルゴリズムを確立

大規模光通信ネットワークにおける異常事態発生後の迅速な疎通率回復を実現。疎通率80%回復時間を1/10に短縮する手順を数分以内に導出



課題イー2 大規模光パストポロジ制御技術の研究開発

- 技術課題: 1000ノード規模のネットワークで大規模障害が発生した場合、膨大な数のパス設定処理要求が発生し、特定のノード/EMSへのパス要求処理集中による制御時間増大が課題となる
- 提案技術: NEのパス設定処理モデルを反映し、EMS・NE等の各装置間遅延まで再現する、ソフトスイッチベースの大規模光通信シミュレータを開発。制御内容の依存関係を考慮し手順を最適化
- 成果: 多数の設定処理が集中する高負荷環境下でも、1000ノード規模ネットワークでの復旧制御時間が、従来技術と比較して1/10以下に短縮可能であることを確認



課題イー3ネットワーク制御プラットフォームによる実証と普及推進についても、当初計画通り基礎データ取得実験および課題抽出を実施済み

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	1 (1)	0 (0)	0 (0)	9 (9)	0 (0)	0 (0)	0 (0)

5. 研究成果発表会等の開催について

平成24年度は該当なし

6. 今後の研究開発計画

この成果により、今後、どのような研究を行うのかを例示を上げながら、具体的、かつ簡潔に記載して下さい。

課題全体では、100ノード規模の物理基盤において、大局的な情報交換を行う発見的方式と比較しても高い確率で解を発見し、80%以上の確率で解を発見することをシミュレーションにより示す。また、光パス設定順序の決定アルゴリズムを用いた光パストポロジー制御技術について、10,000ノード規模の物理基盤における制御技術の有効性を示す。

課題アに関しては、トラヒック変動と故障が同時に生じる場合においても、適応的かつ即応的に光パストポロジーを構成することを確認する。また、光パストポロジー候補の更新アルゴリズムを決定し、100ノード規模の物理基盤において、大局的な情報交換を行う発見的方式と比較しても高い確率で解を発見し、80%以上の確率で解を発見することをシミュレーションにより示す。あわせて、平成26年度実施予定の広域実験ネットワークを用いた実証実験にむけて、ネットワーク機器の障害発生時の実証実験を実施可能な規模に社内実験ネットワークを拡張するとともに、光パストポロジー制御手法の実証実験による動作検証を実施する。

課題イに関しては、ネットワーク規模のスケラビリティを向上させ、10,000ノード規模のネットワークにおいても制御時間1/10を達成可能なアルゴリズムの拡張を実施する(H25年度)。あわせて、JGN-X等の広域テストベッドでの提案技術の実証を実施する(H26年度)。