

# 光IP連携マルチレイヤネットワーク

— 爆発するネットワークにおけるノード・ボトルネック回避技術 —

藤井 亮浩      中平 佳裕  
坂元 宏行

昨今のインターネット利用者数増大に伴い、IPトラフィックは爆発的な増加を続けている。この増大するネットワークのトラフィック需要を支える技術としてフォトリックネットワーク技術が期待されている<sup>1)</sup>。特にDWDM (Dense Wavelength Division Multiplex) 技術を中心とした光波長多重伝送技術の進展により、今後のネットワークに必要とされるリンク容量の確保は十分可能と考えられている。その反面、ネットワークのノード部分の処理能力は、現状のルータなどの電気処理技術に頼っている状況では処理能力が足りず、ネットワーク上で重大なボトルネックが生じると懸念されている。このボトルネックの回避策として、

- ① 光処理技術などを利用してノード処理能力を増大する技術
- ② ネットワーク全体から見てノード処理の負荷を分散化し効率化する技術

の2つが重要である。現状では、①を光処理技術で実現するには光メモリーなどの開発等、解決すべき課題が少なくない。②の技術は①の技術を補完する意味で重要であり、①で大容量化されていくノード処理能力をネットワーク全体で効率的に運用する点で、現状の電気ルータにおいても、将来①により開発される大容量ルータにおいてもボトルネックの回避策として効果があると考えられる。

筆者らは、ネットワークにおいて今後開発されるであろう大容量処理ルータをネットワーク上でどの様に運用してゆけば、ネットワークのノード部分でのボトルネックを避けえるかという②の観点で研究に取り組んでいる。増大するトラフィックに対し、ノード処理の部分でボトルネックにならないように、ノード処理を効率的に行うためには、次の手法が有効と考えられる。

- ① ネットワーク内のトラフィックを分散させるため、個々の通信経路をネットワーク全体で最適化する。
- ② IPレイヤのフォーワーディング処理などの複雑なノード処理の回数を減らし、低位レイヤの単純なスイッチングなどで処理の負担を軽減する。

①はノード処理を行うネットワーク資源であるルータの処理能力を効率的に利用するため、十分に供給されているDWDMなどの光多重リンク資源を用いて、ルータを再配置することを意味する。ネットワークが置かれているトラフィック状況が動的に変動する場合は、トラフィック状況に応じて、ルータを最適再配置する必要がある。

②はネットワーク上でボトルネックとなるIPルータなどのノード処理を、フォトリックネットワーク技術の一つである光スイッチ技術を用いることで回避するもので、IPカットスルーと呼ばれるものである。図1にカットスルーのイメージを示す。IPカットスルーを光レイヤの光スイッチで実現することにより、ボトルネックとなる可能性のあるルータの処理を軽減することが可能となる。

本稿で紹介する技術は、上述の①と②の手法を用い、来るべき大容量情報化社会に必要な超高速フォトリックネットワークにおいて、光パスを制御し、ノード処理能力の利用効率を最大化するものである。具体的には、時々刻々と変化するIPトラフィックに応じて、最適な網資源（光パス）の配置を検索し、動的にパス配置を変更するシステムを検討している。このシステムの実現により、筆者らは21世紀を支える大容量ネットワークの早期実現を目指している。

変動するトラフィックに応じて光パスを最適再配置する機能を実現するために、①フォトリックネットワークの各ノードから各ノードへのトラフィックを計測するトラフィック情報収集・集計機能、②最適な光パス配置を検索する最適光パス配置検索機能、③現状の光パス配置から最適な光パス配置へのパス再構成に伴うレイヤ間不整合修正機能を提案し、④小規模なネットワークを想定した光IPカットスルー装置（テストベッド）に①～③の機能を実装し、動作実験、機能検証を行った。この結果、小規模なネットワークについて、本提案手法の有効性を確認した。

## ネットワークアーキテクチャ

ここで、想定したフォトリックネットワークのアーキ

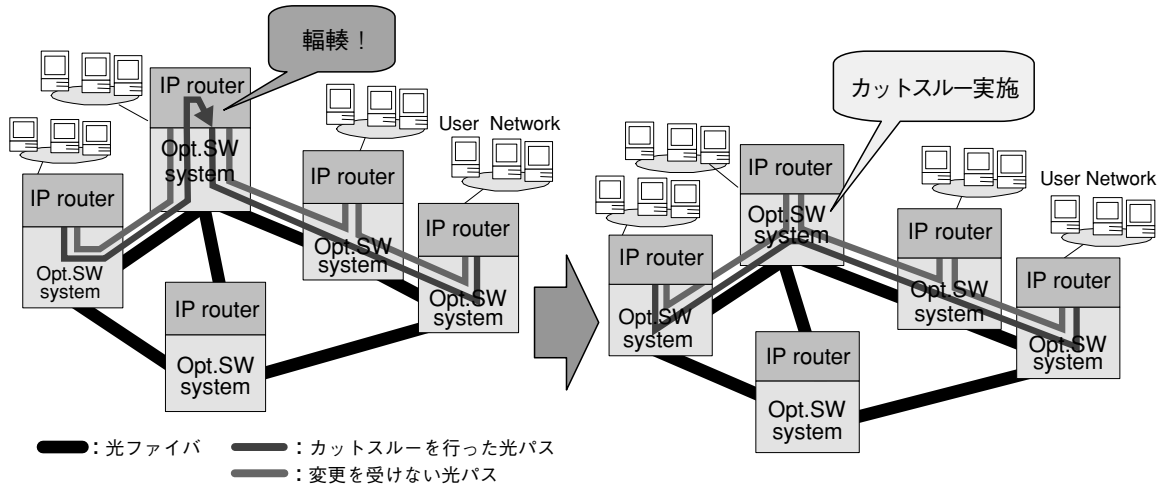


図1 カットスルーのイメージ

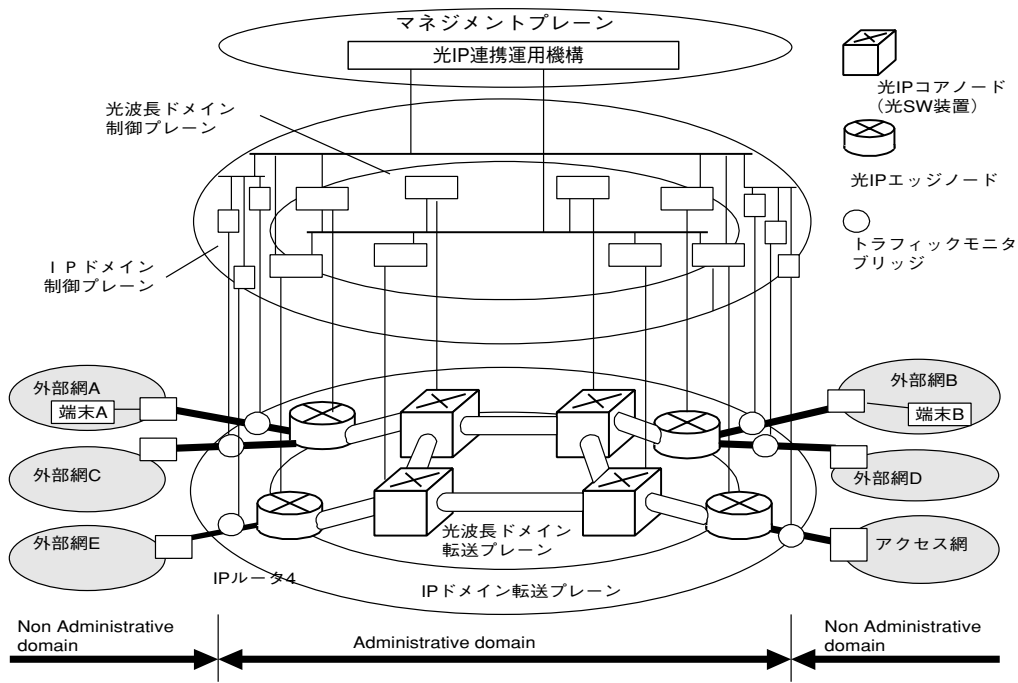


図2 ネットワークアーキテクチャ

テクチャを図2に示す<sup>2)</sup>。図2でAdministrative domainとして示されているネットワークの部分が、今回開発している「トラフィック変動に応じ、動的に最適光パス変更するネットワーク」であり、Non Administrative domainとして示されている外部網と接続されている。この図では、アクセス網は外部網に含めている。ネットワーク機能はマネジメントプレーン、制御プレーン、転送プレーンの3つのプレーンに分けられ、マネジメント・プレーンには、①トラフィック情報収集・集計機能、②最適光パス配置検索機能、③レイヤ間不整合修正機能が与えられている。制御プレーンはIPドメイン制御

プレーンと光波長ドメイン制御プレーンがそれぞれ別々に存在する、いわゆるOverlayモデルであることを想定した。

ネットワークの制御モデルには、Overlayモデルの他に、管理情報を複数のドメインで共有するPeerモデルがある。近年、Peerモデルによる、網運用コストの低減に対する期待が高まっているが、現状では、モジュラリティー、セキュリティ等の観点から、Overlayモデルが主流である。そこで、まずはOverlay方式での検討を進め、その後、Peerモデルの有効性を検討する方針で進めている。

光波長転送プレーンは、GMPLS (Generalized Multi

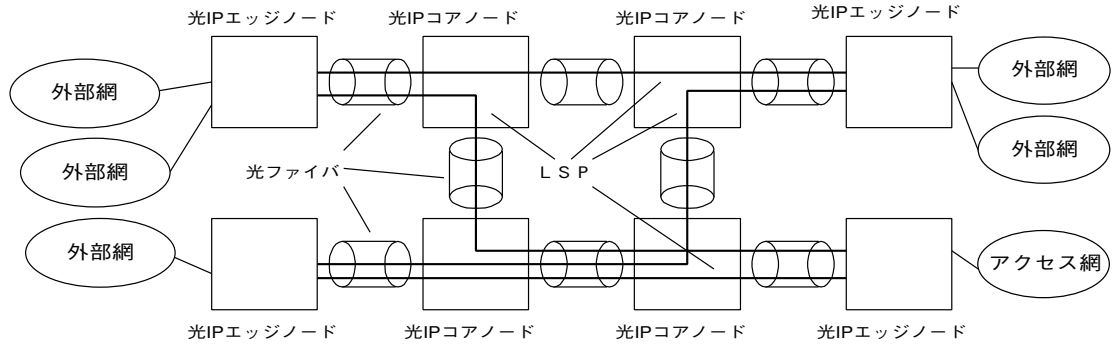


図3 光波長パス (LSP) の設定例

Protocol Label Switching) における, LSC (Lambda Switch Capable) 機能を持ち, 光IPエッジノードおよび光IPコアノードは, GMPLSにおけるLSCドメインのLSR (Label Switch Router) である。これらのノード (LSC-LSR) 間に, 光IPエッジノードを両終端点とし, 光IPコアノードが中継ノードとなる光波長を識別子とする光パス (LSC-LSP : LSC Label Switched Path) が設定される (図3)。IPパケットは, 光IPエッジノード間に設定されるこの光パスを通して転送される。光パスは, 必ずしもエッジノード間にフルメッシュに設定されるのではなく, 使用可能な網資源の範囲で, 光転送プレーンの光スイッチを制御することにより最適なパス配置状態に設定される。転送プレーンのうち, IPドメイン転送プレーンは, 光IPエッジノード, モニタ装置から構成され, 光波長転送プレーンは, 光IPコアノード, 波長多重信号装置と光スイッチから構成されている。

### 機能構成と要素技術

変動するトラフィックに対応して, パスを再配置するシステムを実現する各機能と機能間の関係を図4に示す。トラフィック情報収集・集計機能の過程を図5に示す。収集したトラフィック情報を加工し, 1台の管理システムに集約し, 最適パス配置検索機能に渡す。トラフィック情報収集機能でのトラフィック検出は, 将来の

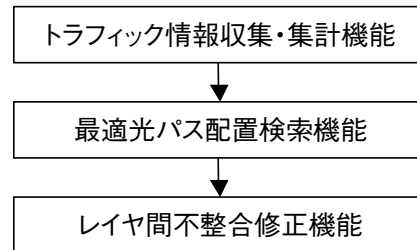


図4 光パス再構成の過程

## TIPS

### 【基本用語解説】

#### Overlay

IP網と光レイヤ網は独立で, IP網がクライアント, 光レイヤ網がサーバのクライアント/サーバモデルに基づいた個別の網管理が行われること。

#### Peer

IP網と制御網が同じルーティングプロトコルに従うこと。

#### GMPLS

ネットワークのオペレーションコスト低減のために, ネットワーク機器の制御IPベースの共通プロトコルで行えるようにしたプロトコル。

#### LSC

波長をラベルとして, その識別を可能にする機能。

#### LSR

ラベル識別機能を持ったルータ。

#### LSP

IPパケットにリンクローカルシグニフィカンスをもつ固定長のラベルを付与することにより, IPパケットを束ねて同一経路で運ぶパスのこと。

#### ペナルティ関数

最適解検索の際, 条件を満たさない解は, 解の候補から除外するために重み付けとして用いる関数。

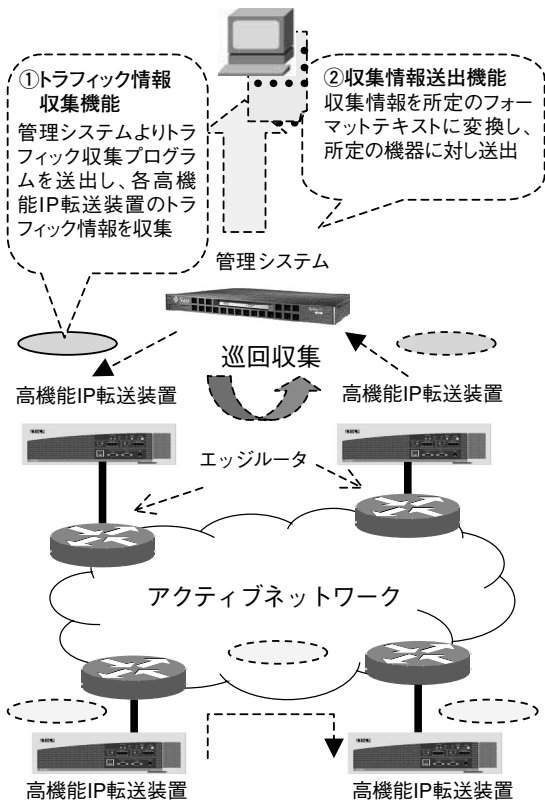


図5 トラフィック情報収集過程

高速化対応への可能性を探るため、ネットワークプロセッサを内蔵した光IP転送装置を改造したものにより実現した。ネットワークプロセッサは、パケット処理に特化したプロセッサを搭載したハードウェアであり、高速でパケットを処理できる他、Cやアセンブラで書いたプログラムを動作させることができるという特徴を持つ。

トラフィック集計機能には、管理網とトラフィック情報収集・管理システムの負荷低減のため、アクティブネットワーク技術を用いた方式を開発し、導入した。アクティブネットワークとは、ネットワークで伝送されるパケットのデータ部分以外に、アクティブプログラムと呼ばれるプログラム動作可能な部分を含ませ、パケットが送られた先でプログラムを実行することを可能ならしめるネットワークのことである。この技術により、再送パケット、制御パケットの発生を抑制でき、管理網とトラフィック情報収集・管理システムの負荷低減を実現している。

最適パス配置検索機能は、上記情報に基づき、最適パス配置を検索する。今回の実験では、最適なパス配置状態とは、最大負荷ノードの中継トラフィック量を最小化するパス配置状態と定義している。

最適パス配置検索機能は、遺伝的アルゴリズムを用いて最適解を検索する。遺伝的アルゴリズムとは、系を生

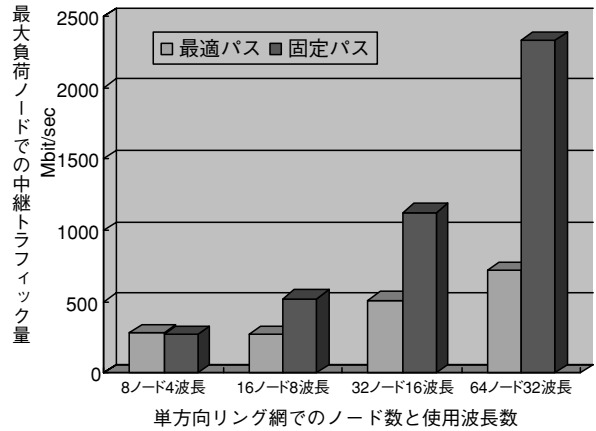


図6 最大負荷ノードの中継トラフィック量の比較

物の遺伝子に見立て、交叉、突然変異を用いて進化させることで最適解に近い解を求めるアルゴリズムである。このアルゴリズムは定式化が困難な組み合わせ最適化問題を解く場合に極めて有効であるとされている。

一般に、遺伝的アルゴリズムでは、制約に対する条件設定を行うことが困難とされているが<sup>3)</sup>、実際のネットワークに即した条件で最適光パスを求めるときには、リンク容量等、制約条件を導入する必要がある。そこで、著者は、ペナルティー関数を使用し、制約条件を導入する方法を試みた。この結果、制約下での求解指標を得た。

パスをリング網での対角線を端点として、固定的に張った場合と、最適パス配置への再構成を実施した場合についての最大負荷ノードの中継トラフィック量を、シミュレーションで比較したものを図6<sup>4)</sup>に示す。縦軸は中継トラフィック量、横軸は使用波長数とする。図6によると、最大負荷ノードでの中継トラフィック量は、最適パス配置検索を行った場合の方が少なくなっている。この結果は、ネットワークに流入するトラフィック量が同一であっても、パスの再構成を行うことで、ノードにかかる負荷をより軽減できることを示している。

レイヤ間不整合修正機能は、最適パス検索機能で得られた最適光パス配置と、現在設定されている光パス配置との差分を求め、現用光パスを解除し、新たな光パスを設定する。現用光パスを解除した場合、その光パスを使用しているIPトラフィックが欠落するため、パスを解除する前に、光IPエッジノードで、IP転送経路を書き換え、解除する光パス中のトラフィックを退避させる。その後、光パスの解除と、新光パスの設定を行う。

### 基本動作実験

図7に、筆者らが構築したテストベッドシステムの全体構成を示す。このネットワークで使用されるノードは、光



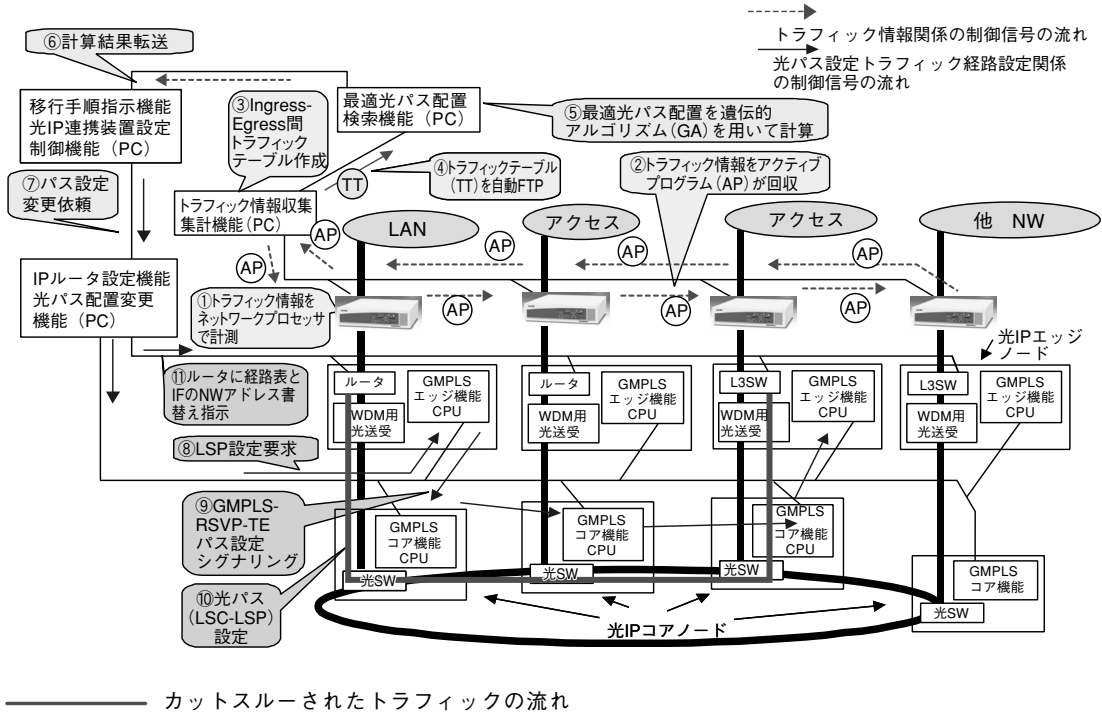


図7 テストベッドの全体構成

IPエッジノード4台と、光IPコアノード4台と、トラフィックモニター装置4台である。また、マネージメント・プレーン機能として、前述の要素技術による、トラフィック情報収集・集計機能、最適光パス配置検索機能、パス設定機能等から構成され、IPドメインと光波長ドメイン双方の運用管理を行う。また、外部網からの流入トラフィックは、IP負荷試験装置により模擬し、パケットを

発生させた。光IPエッジノードは市販のIPルータ、およびシングルモード/マルチモード光信号変換機+波長多重信号送信機とPCによるGMPLS制御部から構成される。光SWは、評価の結果、安定した光学特性が維持できたMEMS型光SWを採用した。写真1に光IPコアノードの外観を示す。

提案システムの実現性確認のために、テストベッドを用い、一連の機能を実装することにより基本動作の評価を行った。ある光IPエッジノードに大きな負荷がかかるようなトラフィックを人為的に発生させ、これを受け、一連の機能が動作することを確認し、時間推移をデータとして収集した。なお、パスの切り替えにより生じるIPルータのネットワークアドレス不整合は、パス切り替えと連係動作し、直接アドレスを書き換えることが可能なソフトウェアを実装することにより解決した。

トラフィック情報検出から、最適光パス配置への変更処理が完了するまでの一連の動作を確認した。図8に、各ステップの動作に必要であった時間を記す。一連の動作時間は約150秒であった。今回の実験では、ノード数は4であったため、最適パス配置検索はきわめて短時間に行えた。また、結果もシミュレーションどおりであった。しかし、レイヤ間不整合修正機能から光スイッチの切り替えにいたる時間は、大幅にかかっており、改善が必要である。



写真1 光IPコアノード

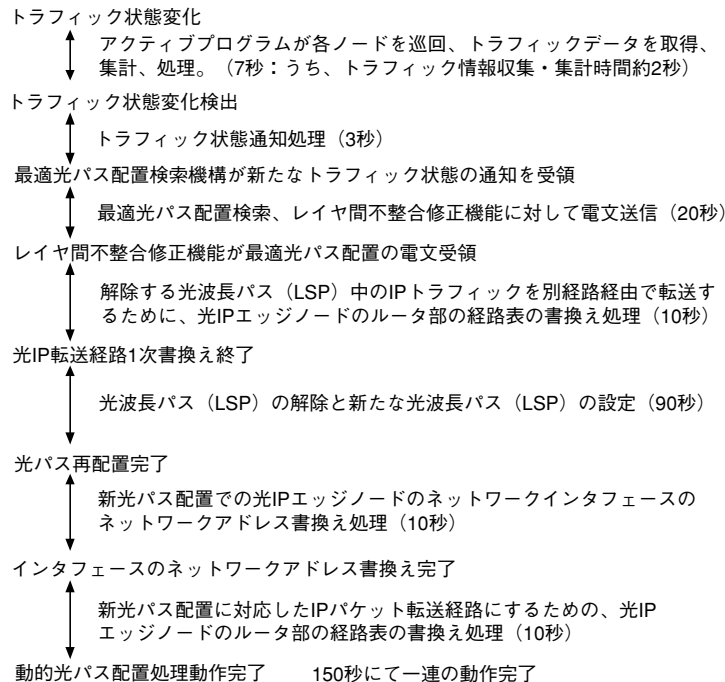


図8 各機能連携の時間経過

この一連の基本動作を確認することにより、最適なパス配置状態が実現されることを確認した。これにより、提案システムの有効性を検証することができた。しかし、実規模でのネットワークでの適用に際しては、機能面、処理時間を考慮しても十分であるとは言えず、今後は、実規模でのネットワークへの適用が課題である。

## まとめ

筆者らは、変動するトラフィックに応じて光パス配置を最適化し、ノード処理の負荷を分散すると同時に、光IPカットスルーを用いてIPノードの負荷を軽減する技術を開発し、基本機能の実現性を確認した。本方法が、ボトルネック回避に向け、有効な方法である手応えを得た。今後は、より実用的な規模、トポロジー構成において、より短時間に対応、最適パス配置の再構成をすべく、各機能間における連携の効率化、各機能の高機能化を目標におき、研究を進めていく。

筆者らは、最終的に、ITを基盤とする21世紀のサイバービジネスの急拡大に伴って爆発的に増加するインターネットトラフィックに柔軟に対処できる要素技術を確認し、21世紀のe社会を実現する基盤となる大容量ネットワークの早期実現とサービスの充実に貢献することを目指している。

## 謝辞

本研究は、通信・放送機構による委託研究開発「フォトニックネットワークに関する光アクセス網高速広帯域通信技術の研究開発」の成果の一部です。関係各位に感謝します。◆◆

## 参考文献

- 1) 青山友紀他：“フォトニックネットワーク革命-世界先端IT国家実現のキーテクノロジー-”，初版，超高速フォトニックネットワーク開発推進協議会，p.25，2003年
- 2) 中平佳裕他：“トラフィックに対応する動的光パス配置システムの実験—光IPトラフィックエンジニアリングを目指して—”，電子情報通信学会CS研究，2003年
- 3) 藤井亮浩他：“遺伝的アルゴリズムを用いたカットスルーNWにおける光パス配置検索手法の一提案”，電子情報通信学会総合大会，2003年
- 4) L.Davis (ed.)：“Genetic algorithm and simulated annealing”，Morgan Kaufmann Publishers，1987

## 筆者紹介

藤井亮浩：Akihiro Fujii.IPソリューションカンパニー NWインキュベーション本部 先端技術開発チーム  
 中平佳裕：Yoshihiro Nakahira.IPソリューションカンパニー NWインキュベーション本部 先端技術開発チーム  
 坂元宏行：Hiroyuki Sakamoto.IPソリューションカンパニー NWインキュベーション本部 部長