

## 4-3 テラビット級スーパーネットワークの実験

### 4-3 Experiments of a Terabit-Class Super-Network

成瀬勇一 八木 毅 西岡 到 加納慎也 児玉武司 沖田英樹

NARUSE Yuuichi, YAGI Takeshi, NISHIOKA Itaru, KANO Shinya,  
KODAMA Takeshi, and OKITA Hideki

#### 要旨

テラビット級スーパーネットワークの研究開発では、総務省 e-Japan 構想で目標とする約 4000 万世帯へのブロードバンド常時接続の実現に向け、動的な光パス制御を最適化するレイヤ間連携型トラフィックエンジニアリング技術を提案している。本稿では、プロトタイプシステムを用いた実験の結果について述べる。

We propose the cooperative multi-layered traffic engineering technologies. Our technologies are designed to achieve the scalability goal of the "e-Japan Strategy" of Ministry of Internal Affairs and Communications in which a terabit-class network can accommodate about 40 millions of broadband users. We report the experiments of the Terabit-class Super-network using prototype systems.

#### [キーワード]

光パス制御, O-UNI, GMPLS, トラフィックエンジニアリング, カットスルー, CDN  
Optical path control, O-UNI, GMPLS, Traffic engineering, Cut-through, CDN

## 1 研究開発の概要

総務省の e-Japan 構想では、3000 万世帯による高速アクセス網、1000 万世帯による超高速アクセス網への常時接続が可能な環境を整備することを目標としている。この目標実現に向けて、IP ネットワークにおいて、転送能力の向上と収容拠点数の拡大が重要となる。

転送能力の向上については、光パス転送技術の研究が進められているが、ポイント-ポイント型の転送技術であるため、ポイント-マルチポイント型の IP ネットワークとして活用するためには、光パスの動的制御技術が必要となる。この光パス制御技術としては、IP アドレスを用いるシグナリング技術である GMPLS (Generalized Multi Protocol Label Switching) 技術が注目されている。IP ネットワークを構築するには、シグナリング技術に加え、IP ルーティング技術等の様々な関連技術と連携させていくことが必要となる。特に、IP ネットワークの高速化を経済的に実現するために

は、IP トラフィックの変動やアプリケーションからの要求に応じて光パスを動的に設定・削除するとともに、光パス配置そのものも動的に最適化することが求められる。

そこで、このような要求に応えるテラビット級ネットワーク制御技術として、レイヤ間連携型トラフィックエンジニアリング技術を提案する[1]。この技術は、アプリケーションレイヤから光パスレイヤまでを連携させて、IP ネットワークを一元的に制御・運用することで、必要最小限の転送リソースでネットワーク全体での総スループットを最大化することを特徴とする。

## 2 ネットワーク構成

実験のネットワークは、図 1 に示すように、コアネットワーク、アクセスネットワーク、制御ネットワークで構成される。

コアネットワークは、光パスネットワークにルータネットワークをオーバーレイさせたレイヤ構

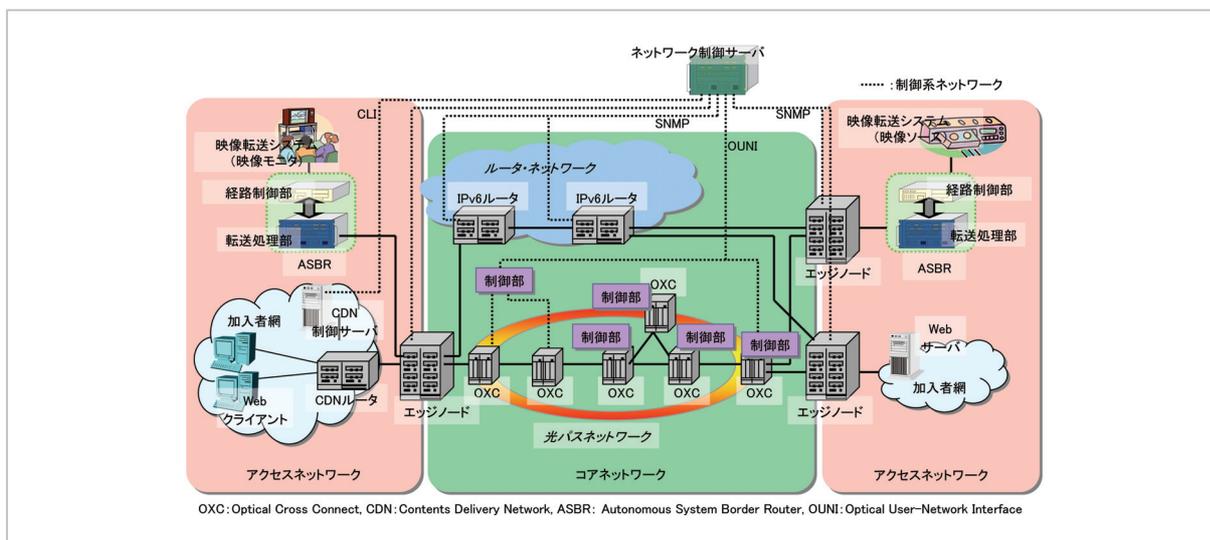


図1 ネットワーク構成

造で、加入者ユーザを収容するエッジノード間を、このコアネットワークで接続した。光パスネットワークは、OXC (Optical Cross Connect) とその制御部からなる光ルータで構成し、エッジノードと 2.4G-POS (Packet over SONET) で接続した。ここで、光ルータは、分散制御型 [2] と集中制御型 [3] の 2 種類を用いた。ルータネットワークは、2 台の IPv6 ルータを配置して、構成した。

アクセスネットワークは、web データのキャッシュヒット判定を行う CDN ルータ [4]、光パス要求を行う CDN 制御サーバ、web サーバ及び web クライアント端末で構成した。また、経路制御機能を強化したルータ (ここでは ASBR (Autonomous System Border Router) と呼ぶ。) も配置し [5]、映像転送システム (映像ソース、映像モニタ) を接続した。エッジノードとアクセスネットワークとの接続には、1000BASE-SX を用いた。

制御ネットワークは、ネットワーク制御サーバ、CDN 制御サーバ、IPv6 ルータ、エッジノード、光ルータ上の制御部で構成し、100BASE-T で接続した。ここで、ネットワーク制御サーバと各装置間のインタフェースは、CDN 制御サーバとの間は CLI (Command Line Interface)、IPv6 ルータ及びエッジルータ間は SNMP とした。また、光パス制御を行うエッジノード上の制御機能を、ネットワーク制御サーバにプロキシ機能として集中配備することで、ネットワーク制御サーバと光

ルータ上の制御部との間を、OUNI (Optical User Network Interface) で接続した [6]。

### 3 トラヒックドリブン型の光パス制御実験

トラヒックドリブン型の光パスカットスルー制御技術は、コアネットワーク内のトラヒック負荷情報に基づき、ネットワーク内の総スループットが最大化するようにエッジノード間に光パスを最適配置する技術である。実験は、以下の手順にて行った (図 2 参照)。

(1) 最初に、ネットワークが空いている時の IPv6 転送での映像品質の状態と、ルータが輻輳した場合の品質劣化の発生を検証した。

実験では、ASBR 配下の映像転送システムを用いて、IPv6 ルータを経由した IPv6 転送経路により映像転送を行い、乱れない良好な映像品質を確認した。引き続き IPv6 ルータに外部負荷を加え、IPv6 ルータを輻輳状態とし、IPv6 転送経路を経由した映像転送において、映像の乱れを確認した。

(2) 次に、今回実装したネットワーク制御サーバによる、トラヒック情報の収集、輻輳原因のフローの特定、そのフローの両端エッジノードの検出を検証した。

ネットワーク制御サーバは、30 秒間隔のポーリングにより IPv6 ルータのトラヒック情

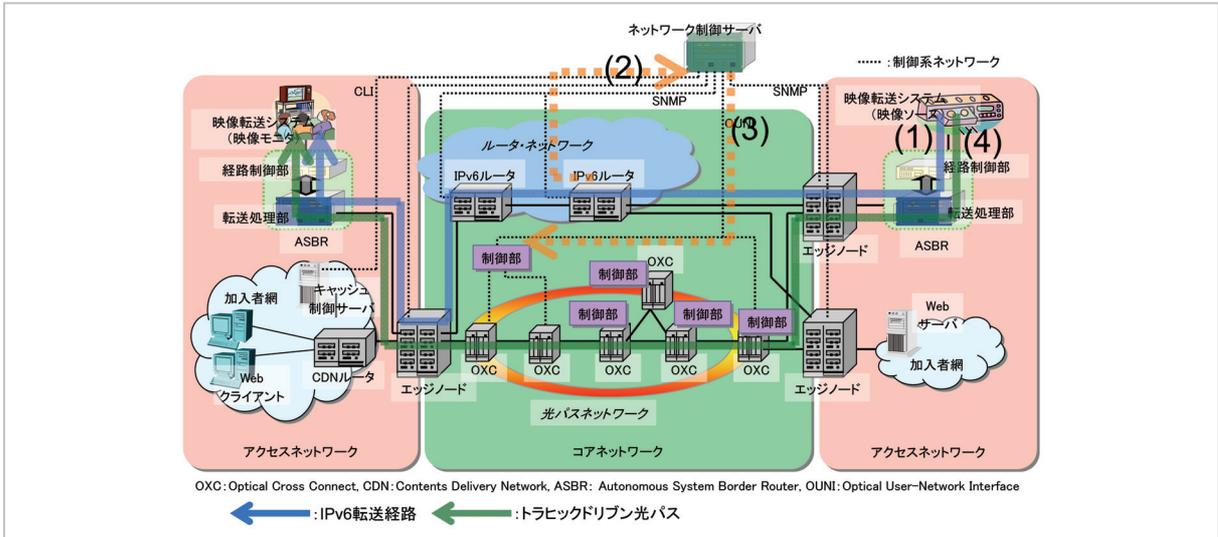


図2 トラフィックドリブン光パスカットスルー制御の実験概要

報を収集し、得られたトラフィック情報より、輻輳 IPv6 ルータを検出するとともに、輻輳原因となる主要フローを識別した。また、そのフローの両端のエッジノードを検出し、後述の光パス制御を実行した。

- (3) 続いて、ネットワーク制御サーバが集中的にネットワーク全体の光パス割当てを行う場合でも、光ルータ間で自律分散的な光パス設定を行うことにより制御を効率化できることを検証した。

ネットワーク制御サーバは、上記で検出したエッジルータに隣接する OXC 上の制御部

に対して、OUNI によりカットスルー光パスの設定制御を要求した。これを契機として、OXC 上の制御部の間では、要求に基づき GMPLS 光パスシグナリングにより、自律的にカットスルー光パスの設定を行った。この際の光パス設定シグナリングの様子を図3に示す。これは、GMPLS ATViewer により [7]、OUNI シグナリングパケットをリアルタイムでキャプチャし、設定された光パスを表示させたときのスクリーンショットである。

- (4) 光パスの設定により、映像データに与える効果を検証した。

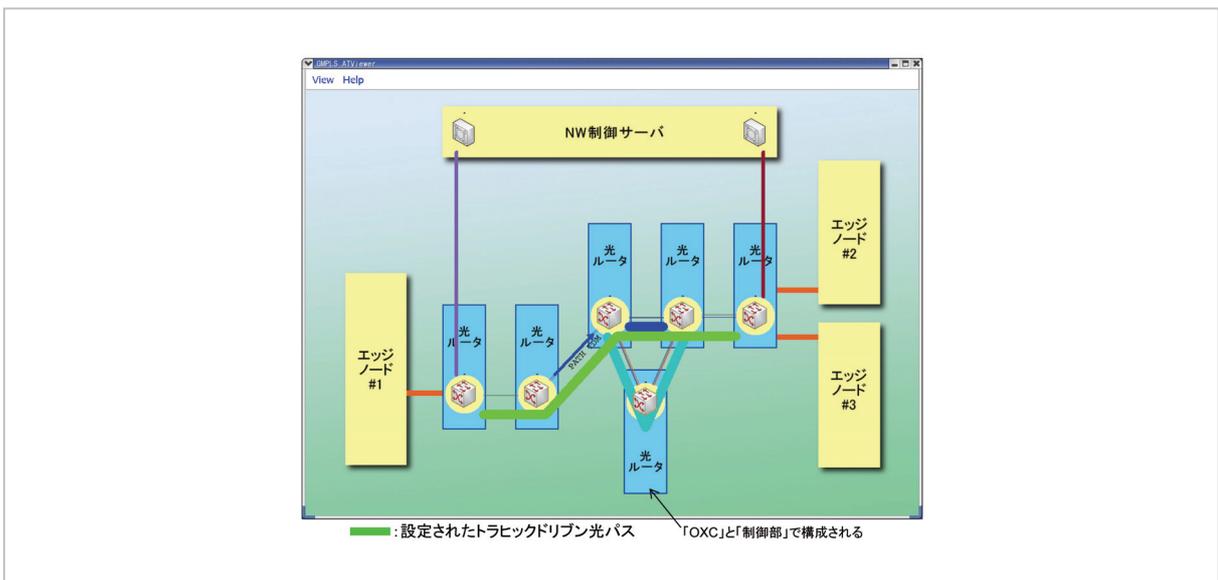


図3 GMPLS ATViewer による光パスの設定状況表示

上記で設定したカットスルー光パス上に、輻輳により品質劣化が生じている IPv6 転送経路上のフローが移し替えられることにより、映像の乱れが回復することを視認した。ここで、IPv6 ルータに外部負荷を掛け輻輳状態を発生させてからおよそ1分弱の時間で、設定した光パス上に映像データが移し替えられた。ただし、光パス設定の要求が発生してから、光パスを設定し、IP レイヤでトラヒックが切り替わるまでの時間はおよそ3秒であった。

上記の実験結果より、トラヒック負荷状態に基づいた、ネットワーク制御サーバによるトラヒックエンジニアリング制御及び光パス制御が有効に動作することを実証した。

#### 4 アプリケーションドリブン型の光パス制御実験

アプリケーションドリブン型の光パスカットスルー制御技術は、ユーザアプリケーションからの要求に応じてデータ転送が行えるようエッジノード間に光パスを設定する技術である。本実験では、前述の CDN でのキャッシュミスヒット時に、CDN 制御サーバからネットワーク制御サーバへカットスルー光パス設定／削除を明示的に要求することで、CDN におけるコアネットワークを介した大容量データ転送を可能とする。

また、この制御において、アプリケーションド

リブン型のカットスルー光パスをトラヒックドリブン型のカットスルー光パスに優先して設定する「ポリシー制御」を行う。これは、アプリケーションドリブン型を「ユーザーサービス」と位置付け、エッジノードに空きポートがない場合でも、トラヒックドリブン型のカットスルー光パスがあればこれを削除して、アプリケーションドリブン型のカットスルー光パスを設定する制御である。

制御の高速化をねらうためには、アプリケーションドリブン型のカットスルー光パス向けに、多少のリソースを確保しておくことが望ましい。この場合、残りのリソースは、トラヒックドリブン型のカットスルー光パスで、ネットワーク全体のスループットが最大化されるように利用される。

実験は、以下の手順で行った(図4参照)。

(1) 後述の光パス設定の競合を発生させるため、トラヒックドリブン光パスを設定しておき、この光パス上で映像データを転送する。ここで、映像の品質劣化は良好である。

(2) 最初に、ユーザアプリケーションからネットワーク制御サーバへの光パス設定要求を検証した。

まず、web クライアント端末から web サーバへデータ取得を要求させる。この際、キャッシュミスヒットの判定を元に、データを送受信するユーザ IP アドレス間への光パス設定が、CDN 制御サーバからネットワーク制御サーバへ要求された。

(3) 続いて、ポリシー制御に基づくトラヒックド

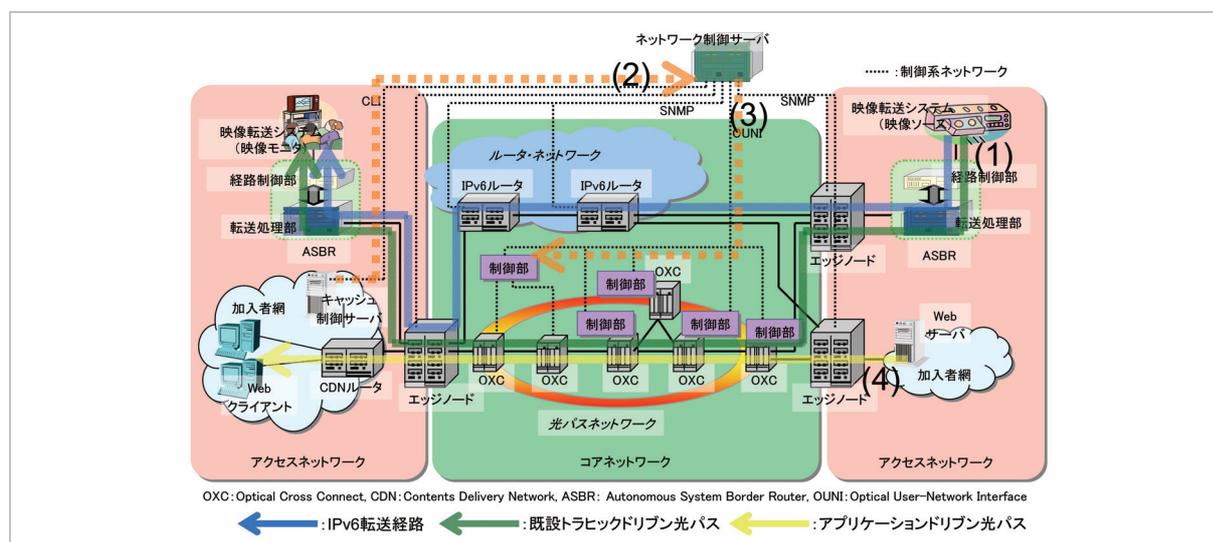


図4 アプリケーションドリブン光パスカットスルー制御の実験概要

リブ型光パスの削除及びアプリケーションドリブ型光パスの設定制御を検証した。

本実験における CDN 制御サーバからの光パス設定要求では、前述の映像転送中の既設トラヒックドリブ型光パスと競合させた。このため、ポリシー制御に基づき、ネットワーク制御サーバは、映像転送を IPv6 転送経路に移し替え、OUNI プロトコルにより既設のトラヒックドリブ型光パスを削除する制御を行った。このとき、IPv6 経路は輻輳状態のままにしておき、映像の品質劣化を視認した。

この後、トラヒックドリブ型と同様に、OUNI プロトコルにより、アプリケーションドリブ型光パスの設定を行い、その光パス上への IPv6 経路の設定処理を行う。

- (4) 最後に、設定したアプリケーションドリブ型の光パス上でのデータ転送について検証した。

前述のとおり、アプリケーションドリブ型の光パスが設定された後、CDN 制御サーバからの指示に基づき、web クライアントが要求した大容量 web データがこの光パス上で高速転送されることを視認した。ここで、CDN 制御サーバからネットワーク制御サーバへの光パス設定の要求が発生してから、既設光パスを削除して新たな光パスを設定し、IP レイヤでトラヒックが切り替わるまでの時間はおよそ 10 秒であった。

アプリケーションドリブで設定されたカットスルー光パスは、web データ転送の完了後、CDN 制御サーバからの明示的な要求に

よって削除され、その後、再度トラヒックエンジニアリング制御により、トラヒックドリブ型光パスが設定された。web データ転送後、光パスを切断要求すると、数十秒後に映像転送用に光パスが再設定され、映像の乱れが回復することを視認した。

上記の実験結果より、アプリケーションからの要求に基づいた、ネットワーク制御サーバによる光パス制御が有効に動作することを実証した。

## 5 まとめ

テラビット級ネットワーク制御技術としているレイヤ間連携型トラヒックエンジニアリング技術について、プロトタイプによる実験を行った。本実験により、提案技術のトラヒックドリブ型／アプリケーションドリブ型の動的光パス制御を、おおむね数十秒程度で行えることを確認した。これらの結果は、総務省 e-Japan 戦略構想のスケラビリティ目標の達成に大きく貢献する。

## 謝辞

本研究の検証実験は、情報通信研究機構(NICT) けいはんな情報通信オープンラボにて実施した。良好な実験環境の提供とサポートをしていただいた、けいはんなオープンラボラトリーの潮見治男、西浦哲慶両氏はじめラボ関係各位へ感謝する。

本研究の一部は、NICT 委託研究により実施したものである。

## 参考文献

- 1 J.Murayama, et al., "Traffic-Driven Optical IP Networking Architecture", IEICE Trans. Commun., Vol.E86-B, No.8, pp.2294-2301, Aug.2003.
- 2 西岡到ほか, "GMPLS 制御プレーンのスケーラビリティ評価 —制御情報量と制御チャネル帯域の影響—", 電子情報通信学会 2003 年ソサイエティ大会予稿集 B-7-66, 2003 年 9 月.
- 3 中後明, 河合正昭, 尾中寛, "次世代フォトニック IP ネットワーク", 雑誌 FUJITSU, Vol.56, No.4, pp.307-312, 2005 年 7 月.
- 4 片岡幹雄ほか, "大規模網向け分散キャッシュシステム", 電子情報通信学会 2005 年ソサイエティ大会予稿集 B-6-103, 2005 年 9 月.
- 5 川崎健ほか, "情報処理技術との連携による中継処理の高速・高度化手法", 電子情報通信学会 2003 総合大会予稿集, B-6-178, 2003 年 3 月.
- 6 成瀬勇一ほか, "光パス制御技術の動向", NTT 技術ジャーナル, Vol.16, No.10, pp.38-41, Oct.2004.
- 7 <http://www.ntt-at.co.jp/product/atviewer/index.html>

なる せ ゆういち  
**成瀬勇一**

NTT 情報流通プラットフォーム研究  
所研究主任  
トラヒックエンジニアリング、IP  
over 光ネットワーク

やぎ たかし  
**八木 毅**

NTT 情報流通プラットフォーム研究  
所  
トラヒックエンジニアリング、IP  
over 光ネットワーク

にしおか いたる  
**西岡 到**

日本電気株式会社システムプラットフ  
ォーム研究所  
光ネットワークアーキテクチャ、光ネ  
ットワーク装置、ASON/GMPLS 制  
御プレーンの研究開発

かのうしんや  
**加納慎也**

富士通株式会社フォトニクス事業本部  
開発企画部  
光ネットワーク制御

こ だ ま た け し  
**児玉武司**

富士通株式会社サーバシステム事業本  
部システムフロント事業部  
IP ネットワーク制御技術

おきたひでき  
**沖田英樹**

株式会社日立製作所中央研究所ネット  
ワークシステム研究部  
ネットワーク運用管理