

## GMPLS 制御ラムダ IX 間における動的帯域制御方式の提案と検討

宮澤 雅典<sup>†</sup> 釣谷 剛宏<sup>†</sup> 大谷 朋広<sup>†</sup> 田中 英明<sup>†</sup>

<sup>†</sup>株式会社 KDDI 研究所 〒356-8502 埼玉県ふじみ野市大原 2-1-15

E-mail: <sup>†</sup> {ma-miyazawa, tsuri, otani, hide}@kddilabs.jp

あらまし 今後もトラフィックが増大すると、Internet eXchange (IX) でトラフィックが集中することに加えて、遅延が増大することが懸念されており、トラフィックの分散化や低遅延化を図ることが必要となってきている。本稿ではこのような要求に応えるために光クロスコネクタ装置を分散的に配したラムダ IX アーキテクチャの波長ベースピアリング方式の提案を行うとともに、IX 間の波長リソースを有効利用するレイヤ2機能と GMPLS 機能の連携による動的帯域制御方式の提案を行う。さらに、後者においてレイヤ2スイッチが有するリンクアグリゲーション機能と GMPLS による高速プロビジョニング機能とを連携させ、IX 間のトラフィックに応じて IX 間の波長パス数を増減させて、レイヤ2のリンク帯域を動的に可変できることを示す。

キーワード Internet eXchange, GMPLS, PXC, 帯域制御装置

## Proposal and demonstration of bandwidth manager system for GMPLS-controlled lambda-IX

Masanori MIYAZAWA<sup>†</sup> Takehiro TSURITANI<sup>†</sup> Tomohiro OTANI<sup>†</sup> Hideaki TANAKA<sup>†</sup>

<sup>†</sup> KDDI R&D Laboratories Inc. 2-1-15 Ohara, Fujimino-shi, Saitama, 356-8502 Japan

E-mail: <sup>†</sup> {ma-miyazawa, tsuri, hide, otani}@kddilabs.jp

**Abstract** Recently, the IX exchanging the traffic has been increasing the traffic congestion and the traffic delay, due to the emergence of new applications and services. Therefore it's hoped that next generation IX architecture will be supported the traffic distribution, low latency and the effective use of available network resources. In this paper, we propose a distributed lambda-IX architecture using distributed photonic cross connects which can provide the high reliable and high quality lambda-based interconnections between AS border routers, and propose and develop the dynamic bandwidth modification depending on traffic flow to achieve an effective use of available network resources. Bandwidth manager can coordinate between the lambda path provisioning operation, traffic monitoring and link bundling possessed by the GMPLS-controlled L2SW. We demonstrate that bandwidth manager controls the number of lambda-LSPs which are established between L2SWs, and the number of bundled Ethernet connection over the lambda-LSPs which are realized by the LAG technique in distributed lambda-IX testbed.

**Keyword** Internet eXchange, GMPLS, PXC, Bandwidth Manager

### 1. まえがき

インターネットサービスを提供している ISP (Internet Service Provider) は、相互に接続し合うことによりユーザに対して様々なサービスを提供している。ISP 間の相互接続方法には ISP 同士が個々に接続を行うプライベートピアリングと、ISP 同士が同一地点で接続する、インターネットエクスチェンジ (Internet eXchange) によるピアリングとがある。IX における接続形態にはレイヤ 2 (L2) ベースとレイヤ 3 (L3) ベースのものがあるが、ISP を主体とした経路制御やリ

ンクアグリゲーションによる帯域追加の自由度、経済性の観点から、L2 ベースのアーキテクチャが主流となっている [1]。

スター型が基本である L2/L3 ベースの IX のアーキテクチャでは、IX にトラフィックが集中するしかないため、今後トラフィックがますます増加していくと [2-3]、遅延のより増加だけでなく、社会のインフラとして重要性が増してきた IX に障害が発生した場合の社会へのインパクトが大きくなる。また、広がりの著しい P2P アプリケーションにより、限られた ISP 間のトラフィックだけが增加し、その他の ISP 間接続品質や信頼性ま

でも低下することが懸念され始めている。これらの問題を解決するため、IX 点を分散的に配する分散 MPLS-IX[4]が提案され、運用される段階までなってきた。また、GMPLS(Generalized Multi-Protocol Label Switching)技術[5]を使った波長(ラムダ)ネットワークが様々な機関等で盛んに研究開発されており、将来的には ISP 間で従来のパケットレベルの接続に加えて、波長レベルの接続が出現すると予想される。そのため波長レベルの接続を実現するラムダ IX を我々は提案し、実証を行ってきた[6]。提案したラムダ IX は、光信号を電気に変換することなく光信号を波長レベルでスイッチングする光クロスコネクタ(PXC: Photonic Cross Connect)技術と光の経路を制御する GMPLS を用いることにより、ISP 側からの要求により ISP 間に波長パスを動的に生成して波長単位のピアリングを提供する。ラムダ IX は扱う単位が波長であり、現在のパケット単位のグラニューアリティに比べて差が大きいいため、既存の L2 ベースの IX 等と親和性を考慮することが必要となる。

IX 間に流れる実際のトラフィックは、様々なアプリケーションの出現により一日の中でも大きく変動しており、トラフィック量の最大時にあわせて設備を増強することは IX 事業者にとっては難しい。IX のトラフィックに応じて帯域増加にあわせて高価なインタフェースの増設を行いながら、帯域数を確保しているのが現状である。それによりサービス帯域の不足、高価なインタフェースの追加や運用者の負担の増大といったことが問題となっている。そのため、IX に流れるトラフィックをリアルタイムに監視し、トラフィックに応じて ISP 間のピアリング帯域を動的に制御する技術の実現が期待される。

本稿では、MPLS-IX の分散アーキテクチャをラムダベースに拡張し、まず、ISP 間に波長ベースのピアリングを提供する分散ラムダ IX アーキテクチャについて検討を行う。本 IX は、GMPLS 制御の PXC を分散的に配置し、光領域で経路を制御することにより、MPLS-IX と比較して ISP 間に流れる大容量トラフィックの遅延や局所的なトラフィックの集中を回避可能なアーキテクチャである。さらに、本ラムダ IX をレイヤ 2 の帯域制御技術である LAG(Link Aggregation)と連携させることにより、トラフィックの変動に応じて柔軟な帯域制御を実現させる技術の提案を行う。本技術は分散ラムダ IX に流入するトラフィックをモニタし、その負荷変動に応じて IX のボーダノード間の波長パス数を動的に増減させ、且つ波長パス上の Ethernet リンク

帯域を LAG によって動的に可変させる。現在まで GMPLS 制御技術を用いた帯域制御技術はいくつか提案[7,8]されているが、新たに L2 と GMPLS との連携について検討を行った。また、L2 との連携は、既存の L2 ベース IX との連携にも適用することが可能であるため広く展開可能な連携手段である。そこで、今回 GMPLS コントロールプレーンと L2 スイッチと連携制御可能な帯域可変制御装置を開発し、環境下で実証試験を行ったので報告を行う。

## 2. 分散ラムダ IX の動的帯域可変機能の検討

### 2.1. 基本アーキテクチャ

ISP 事業者に対し帯域制限のない相互接続ポイントを提供するためのアーキテクチャとして、ビットレート、フォーマットに関してトランスペアレントな GMPLS 制御 PXC を用いた IX のアーキテクチャを提案している。図 1 に分散ラムダ IX アーキテクチャの概念図を示す。本稿で取り扱う分散ラムダ IX とは、GMPLS 制御の PXC を分散的に配備した IX アーキテクチャを示している。ISP が所有している ASBR (AS ボーダルータ)を直接 PXC に接続し、ISP 間の ASBR でピアリングを行う。ISP の ASBR 間でピアリングを行う際、GMPLS 機能を用い ASBR 間もしくは PXC 間に Lambda-LSP(Label Switched Path)を生成し、この LSP を用いて ASBR 間のピアリングを実現するアーキテクチャである。この IX では、IX 内の経路を GMPLS 機能のトラフィックエンジニアリング技術 (Traffic Engineering: TE) による最適な経路設計が可能であり、また、IX の運用ポリシーに従って経路を選択することが可能になるため、トラフィックの分散や遅延を考慮した経路選択が可能となる。この IX アーキテクチャにより、現状の IX の抱えるトラフィックの集中や遅延の問題を緩和することが可能となる。また、本 IX は GMPLS 制御によって光領域での高速な障害復旧が可能であるため、安定で且つ高い耐障害性が期待できる。

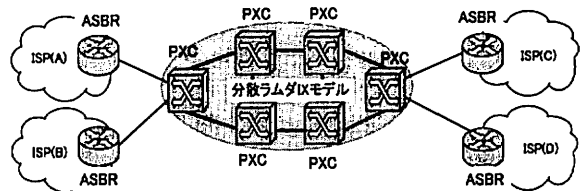


図 1 分散ラムダ IX アーキテクチャ

### 2.2. 動的帯域制御可能な分散ラムダ IX アーキテクチャ

1 章で述べたように、次世代 IX のアーキテクチャに

おけるネットワークリソース有効活用のため、帯域制御機能が課題であることから、本稿では、自律的に経路制御可能な GMPLS 網（分散ラムダ IX 網）と帯域制御可能なレイヤ 2 技術との連携を図ることにより、トラヒックの変動に応じて柔軟に L2 スイッチ間の帯域を制御可能なアーキテクチャを提案する。図 2 にこの IX アーキテクチャの概念図を示す。構成として、上述したラムダ IX アーキテクチャの ASBR と PXC の間に L2 スイッチを配備し、ラムダ IX にレイヤ 2 をオーバーレイさせ、かつ、GMPLS 機能とレイヤ 2 リンクアグリゲーション(LAG: Link Aggregation)を連携させる。ISP 間のピアリングは、L2 スイッチ間に Lambda-LSP を生成し、この LSP 上で L2 スイッチ間の Ethernet 接続を確立させることで ASBR 間のピアリングを実現する。今回、L2 スイッチを GMPLS 対応化するため、L2 スイッチに GMPLS コントローラを付加し、GMPLS コントロールプレーン上で GMPLS ルーティング及びシグナリングの交換を行えるようにする。また、この形態では、L2 スイッチ間のループの防止が重要であるが、今回、STP(Spanning Tree Protocol)は用いず、L2 スイッチ-ASBR 間に UnTag VLAN, L2 スイッチ間には VLAN Tag を設定することで、ループ形成を回避した。さらに、トラヒックに応じた帯域制御を実現するために、LAG と GMPLS を連携制御する帯域制御装置を開発した。この帯域制御装置は、L2 スイッチ間に流れるトラヒック量を収集計測するトラヒックモニタリング機能、モニタしたトラヒックの増加または減少に応じて L2 スイッチ間に Lambda-LSP の設定/削除を GMPLS コントローラへ要求する波長パスプロビジョニング機能、L2 スイッチへリンクアグリゲーション設定を要求するリンクバンドリング機能に分けられる。これにより、ある ISP 間のトラヒックの増減に応じて、L2 スイッチ間に新たに LSP を生成/削除し、Ethernet リンクを確立、そして、この新たに生成された Ethernet リンクの本数を論理インタフェースである LAG により制御する一連のプロセスの自動化することで帯域可変を動的に実現している。さらに、本 IX アーキテクチャは、LAG と GMPLS 制御の PXC の障害復旧動作を連携させ信頼性のある障害復旧が提供可能である[9]。

### 3. 動的帯域制御技術

#### 3.1. 帯域制御装置

今回開発した帯域制御装置は、L2 スイッチ間に流れるトラヒック量のモニタリングを行いながら、予めユーザが設定したリンク使用率の閾値以上または以下のトラヒックが検知されると、L2 スイッチ間の LSP の設定または削除を行い、且つ L2 スイッチに設定されている LAG の設定追加または削除設定を自動で行う

ことが可能であり、トラヒックに応じた動的帯域制御が可能な装置である。図 3 に帯域制御装置のシステム構成図を示す。帯域制御装置は 5 モジュールにより構成されている。MIB 情報収集モジュールはトラヒック算出に必要な各種情報(インタフェース、VLAN, LAG)を SNMP(Simple Network Management Protocol)を用いて L2 スイッチから収集する。トラヒックモニタモジュールは MIB 情報収集モジュールで収集された情報を元に L2 スイッチ間に流れるトラヒック量及びリンク使用率を算出し、予め設定された閾値（上限の閾値、下限の閾値）と比較し帯域の増減の判断を行う。設定モジュールはトラヒックモニタモジュールから帯域の増減の要求がきた場合に、GMPLS コントローラ及び L2 スイッチへ Lamda-LSP 及び LAG の設定を GMPLS コントローラと L2 スイッチへ要求することにより動的帯域制御を実現している。また、共通処理モジュールはクライアントへサービスを提供するためのインタフェースやエラー時の処理を提供し、ファイル管理モジュールは、帯域制御を行うために必要な各種設定ファイルを管理、制御している。

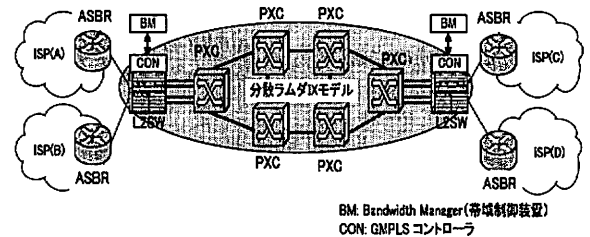


図 2 帯域制御可能な分散ラムダ IX

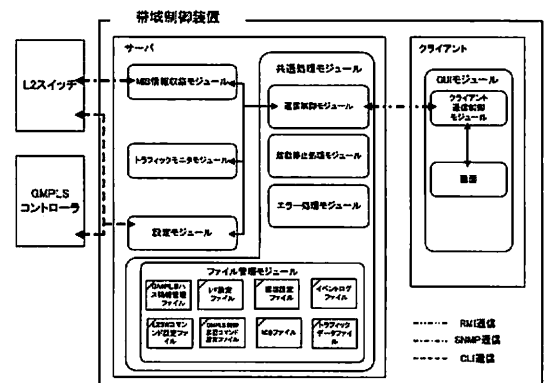


図 3 帯域制御装置システム構成図

#### 3.2. 動的帯域制御

図 4 に帯域制御装置の動作概念図を示す。動作の前

提として、少なくとも L2 スイッチ間には 1 本の LSP が存在し、L2 スイッチ間にはトラヒックが疎通可能状態であるものとし、また、LSP により接続された L2 スイッチのポートは必ず 1 つの LAG に属しているものとする。以下に帯域制御装置の処理についてトラヒックが増加した場合とトラヒックが減少した場合に分けて説明する。

### 3.2.1. トラヒック増加時の動作

トラヒック増加時の帯域制御装置の処理動作について説明する。ISP1 側の帯域制御装置は、L2 スイッチ間を通過するトラヒック量をインシエータ側の L2 スイッチ 1 から SNMP を用いて定期的に収集する。収集するポートは、LSP が設定されたポートであり、In 及び Out 両方のトラヒック量を取得する。取得したトラヒック量のデータは帯域制御装置 1 のトラヒックモニタモジュールへ引き渡され、論理インタフェース (LAG) 単位の総トラヒック量と LAG インタフェースの使用率(リンク使用率)を算出する。リンク使用率の算出は以下の式から算出される。

$$\text{InputBandwidthUtilization}(\%) = \frac{\Delta \text{ifHCInOctets} \times 8}{\text{ifSpeed} \times \text{IntervalTime}} \times 100$$

$$\text{OutputBandwidthUtilization}(\%) = \frac{\Delta \text{ifHCOutOctets} \times 8}{\text{ifSpeed} \times \text{IntervalTime}} \times 100$$

$\Delta \text{ifHCOctets}$  はポーリング間隔内に LAG インタフェースに流れた総トラヒック量、 $\text{ifSpeed}$  とは LAG として登録されているインタフェースの総帯域、 $\text{IntervalTime}$  とは SNMP ポーリング間隔の実時間を示す。その後、トラヒックモニタモジュールは算出されたリンク使用率を元に、予めユーザにより設定された閾値 (上限閾値) と比較を行う。閾値を超えた場合に限り、トラヒックモニタモジュールは設定モジュールへ帯域の増加要求を行う。しかしながら、IX に流れるトラヒックは特に突発的なトラヒックが発生するために、その都度、帯域可変を行うことは各ノードやシステムに負荷をかけてしまう。この問題を解決するために、トラヒックモニタモジュールにカウンタ設定とカウンタリセット機能を設け、ユーザが設定したカウント分上限の閾値を超えた場合に限り、帯域追加要求を行うように設計されている。次に、トラヒックモニタモジュールの要求により設定フェーズへ移行する。設定モジュールでは帯域増加要求により GMPLS コントローラ 1 へ Lambda-LSP の生成を依頼する。これを受信した GMPLS コントローラ 1 は帯域増加を行う対向の GMPLS コントローラ 2 に向けて Path メッセージを送信する。Path メッセージを受けた GMPLS コントローラ 2 は送信元の GMPLS コントローラ 1 へ Resv メッセ

ージを返送、この一連の RSVP シグナリングが正常に終了すると L2 スイッチ間に新たに Lambda-LSP が生成される。次に、新たに生成された LSP 上の Ethernet リンクの帯域を増加するため、L2 スイッチへ LAG 設定要求を行う。LAG の設定は、両 L2 スイッチのポートへの設定が必要であるため、LSP が設定されたポートを特定する必要がある。そのために、L2 スイッチのポートと TE リンクの論理的なインタフェース情報をリストとしてファイル管理モジュール内の I/F 設定ファイルへ予め登録しておく。新たな LSP が設定された時、両帯域可変制御装置は LSP 上で使用された TE リンクのインタフェース情報を両 GMPLS コントローラから取得し、I/F 設定ファイルの情報と照合を行うことによって、LAG に設定する L2 スイッチのポートを割り出す。各帯域制御装置は各 L2 スイッチに対して、割り出されたポートの LAG 設定を行い、この設定が完了した時点で帯域は増加され、処理が終了となる。

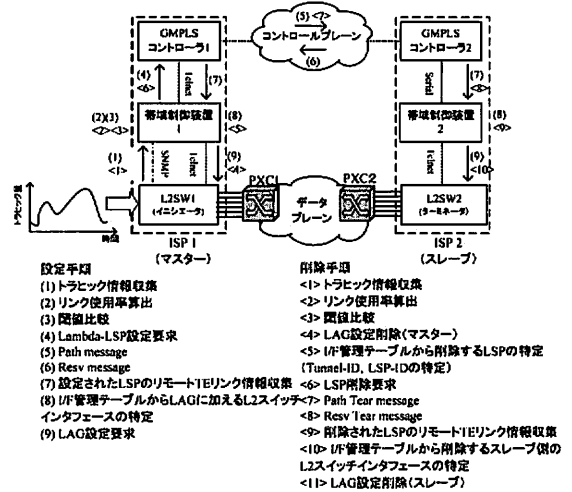


図 4 分散ラムダ IX 上の帯域制御手順

### 3.2.2. トラヒック減少時の動作

トラヒック減少時の帯域制御装置の動作について説明する。帯域削除プロセスは、LSP のインシエータになる ISP1 側の帯域制御装置 1 とターミネータになる ISP2 の帯域制御装置 2 で LAG の削除動作が異なる。帯域制御装置 1 は、L2 スイッチ間を通過するトラヒック量をインシエータ側の L2 スイッチ 1 から SNMP を用いて定期的に収集する。ある LAG インタフェースのトラヒック量が、予めユーザにより設定されたリンク使用率の下限閾値以下に下回ると、ISP1 の帯域制御装置 1 が L2 スイッチ 1 に対し、LAG インタフェースの任意の 1 ポートのシャットダウン及び LAG ポートからの設定削除を行う。L2 スイッチ 1 のポートを最初にシ

ットダウンすることにより、ロスなく帯域の削除を行うことが可能である。その後、帯域制御装置 1 は Lambda-LSP の削除要求を GMPLS コントローラ 1 へ送信し、要求を受信した GMPLS コントローラ 1 は PathTear メッセージを GMPLS コントローラ 2 へ送出、GMPLS コントローラ 2 が受信することで LSP は削除される。続いて、ISP2 側の LAG 設定の削除を行う。LAG 設定を削除する L2 スイッチのポートは、LSP の削除により開放された TE リンクのインタフェース情報を GMPLS コントローラ 2 から帯域制御装置 2 が取得し、I/F 設定ファイルと対応付けることにより決定する。最後に、ISP2 側の帯域制御装置 2 が L2 スイッチ 2 へ LAG 削除要求を行い、L2 スイッチ 2 が当該ポートの LAG 設定を削除することで帯域は正常に減少され、処理が終了となる。

## 4. 分散ラムダ IX 上の動的帯域制御実験

### 4.1. 実験構成

本稿で提案している動的帯域制御技術を実証するため、分散ラムダ IX の擬似環境を構築し検証実験を行った。図 5 に実験構成図を示す。検証環境では分散ラムダ IX として PXC 3 台及び L2 スイッチ、GMPLS コントローラ、帯域制御装置をそれぞれ 2 台ずつ分散配備した。また、4 つの ISP を想定するためにトラフィックジェネレータを用いて擬似トラフィックを発生させた。PXC と GMPLS コントローラは、シグナリングプロトコルとして Resource reservation protocol(RSVP)-TE[10]及びルーティングプロトコルとして Open short path first(OSPF)-TE[11]がサポートされ、これは、100Base-T で接続されたコントロールプレーンを介して各ノード間で交換される。各ノード間の TE リンクには L2 スイッチ 1-PXC1 及び L2 スイッチ 2-PXC2 間には 2 本の TE リンクを、PXC 間には 1 本ずつ TE リンクを設定した。また、L2 スイッチのインタフェースとして GbE を使用した。ISP1-3、ISP2-4 間のトラフィックを分離するため ISP 側の L2 スイッチに VLAN100 と VLAN200 をそれぞれ設定した。また、L2 スイッチ間には LAG 及び Tag-VLAN を設定した。尚、予め L2 スイッチ 1-L2 スイッチ 2 間に Lambda-LSP (L2SW1-PXC1-PXC2-L2SW2) を生成し、ISP1-ISP3 と ISP2-ISP4 間の 2 つのトラフィックを疎通可能とした。帯域制御装置は L2 スイッチから 10 秒間隔のポーリングでトラフィック情報を収集し、帯域可変閾値は上限閾値を 90%、下限閾値を 50% に設定した。また、カウンタ設定は 1 とし、閾値を超えるか、または下回った直後に帯域可変を動作できるように設定を行った。

### 4.2. 検証結果

図 6 に ISP1 から ISP3 へ送出したトラフィック量と、

ISP2 から ISP4 へ送信したトラフィック量の総和の時間変化を表す。トラフィックジェネレータ 1(ISP1)からトラフィックジェネレータ 3 (ISP3) へ 700Mbps のトラフィックを定常的に流し、また、トラフィックジェネレータ 2(ISP2)からトラフィックジェネレータ 4(ISP4)へ 700Mbps のトラフィックを一定期間だけ流したため、L2 スイッチ 1 に流入するトラフィックの合計値は断続的に最大 1400Mbps に達する。図 7 は帯域制御を行わない場合のトラフィックジェネレータ 3,4 が受信したトラフィック量の総和の時間変化を表す。ISP1-ISP3 間のトラフィックのみの場合、送信トラフィック量が 700Mbps であるため 100% のスループットが保持されているが、ISP2-ISP4 間のトラフィックが L2 スイッチに加算されるとトラフィックの合計値が 1400Mbps となり、L2 スイッチ間のリンク帯域である 1000Mbps を超えるため、400Mbps のロスが発生した。

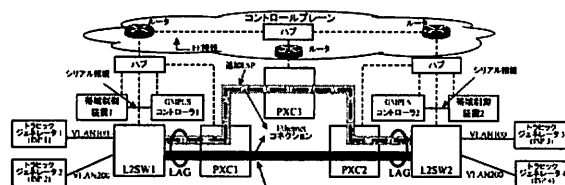


図 5 検証構成図

図 8 のグラフは、帯域制御を行った場合のトラフィックジェネレータ 3,4 で受信したトラフィック量の合計値を示す。120 秒付近でトラフィックジェネレータ 2 からのトラフィックが追加されると、総トラフィック量が帯域制御装置の上限閾値 90% (900Mbps) を越えたことをトリガに帯域制御装置が帯域増加処理を開始し、約 30 秒後に帯域を増加させた。L2 スイッチ 1-2 間のリンク帯域が 2Gbps に増加したことで、送信された総トラフィック 1400Mbps をロスなく受信できることが確認された。30 秒間のロスは、本帯域制御装置が必要とするセットアップ時間であり、この時間配分は、ポーリング間隔を 10 秒に設定したことに起因するトラフィック増加検知時間（最大で 20 秒）、並びに、LSP 及び LAG の設定時間（10 秒程度）であった。また、250 秒付近でトラフィックジェネレータ 2 からのトラフィックをゼロにすると、総トラフィック量が 700Mbps へ変化し、帯域制御装置は L2 スイッチ間のトラフィックが下限閾値の 50%(1000Mbps)以下に達したことを検知するため、L2 スイッチ間の 2Gbps の帯域を半分の 1Gbps へ減少させた。これにより、分散ラムダ IX アーキテクチャ環境下において、トラフィックの状況に応じた動的帯域可変が正常に行われたことが確認された。

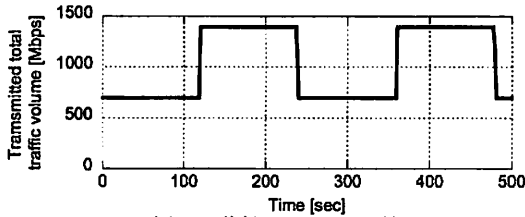


図6 送信トラフィック量

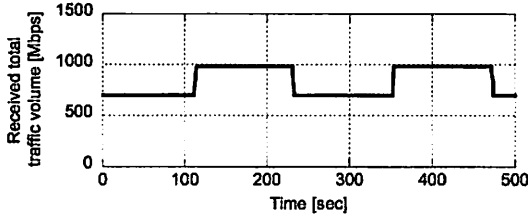


図7 受信トラフィック量 (帯域制御なし)

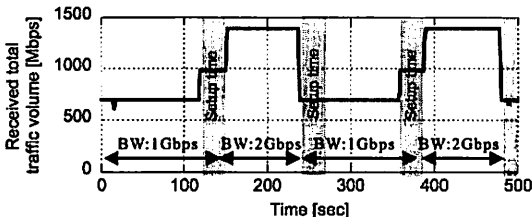


図8 受信トラフィック量 (帯域制御あり)

## 5. まとめ

本稿では、GMPLS制御のPXCを分散的に配置したラムダIXにおいて、L2スイッチと連携してIXを通過するトラフィック量に応じてIX内の帯域を動的に制御する方式の提案を行った。さらに、ラムダIX環境を構築し、開発を行った帯域制御装置の評価を行い、本装置がGMPLSコントロールプレーンとISPのトラフィックをアグリゲートするL2スイッチとの連携動作によって、トラフィック変動に応じてL2スイッチ間の帯域を動的に制御可能であることを確認した。これにより、分散ラムダIXアーキテクチャが、今後のインターネットの大容量化を支えるネットワーク技術として有効であることを示すことができた。

## 謝辞

本研究の一部は、総務省の「国際情報通信ハブ形成のための高度IT共同実験」により研究開発した結果を含んでおります

## 文 献

[1] 中村修, 加藤朗, 長谷部克幸, 森島直人, 関谷勇司, 重近範行, "NSPIX: 大規模IXテストベッド", 電子情報通信学会論文誌 B Vol.J88-B No.10 pp.1900-1909.

[2] JPIX, "IX backplane Maximam/Minimum Traffic Volume"  
<http://www.jpix.ad.jp/jp/technical/traffic.html>

[3] AMS-IX "AMS-IX Traffic Statistics"  
<http://www.amd-ix.net/technical/stats/>

[4] I. Nakagawa, H. Esaki and K. Nagami, "A Design of a Next Generation IX using MPLS Technology", Applications and the Internet 2002 (SAITA 2002), Proceedings, Pages 238-245.

[5] E. Mannie, "Generalized Multi-Protocol Label Switching (GMPLS) Architecture" RFC 3945.

[6] T. Tsuritani, S. Okamoto, T. Otani, H. Tanaka "Proposal and demonstration of lambda-based internet exchange (IX) point using GMPLS protocols and photonic cross-connect (PXC)", Proc.SPIE, Vol.5596 (2004), Pages 119-125.

[7] S.Spadero, A.D'Alessandro, A.Manzalin, J.Catlunya, "A Procedure for the Automatic Set-up and Tear-down of Switched Connections Tracking Traffic Fluctuation in IP/MPLS over ASON/GMPLS Networks", ECOC2004 Proceedings, Vol.2 We4 pp.146.

[8] Ippei Shake, Mitsunori Fukutoku, Osamu Kurahashi, Yukiyasu Tarui, Yukio Tsukishima, Wataru Imajuku "Experiments on optical link capacity adjustment for photonic IX", ECOC2005 Proceedings Vol2 Tu3.4.3 Pages 217-218

[9] 釣谷剛宏, 宮澤雅典, 大谷朋広, 田中英明 "L2スイッチとPXCの連携による高速障害復旧方式の検討", 2005 信学全大

[10] L. Berger, "Generalized Multi-Protocol Label Switching (GMPLS) Signaling Resource Reservation Protocol-Traffic Engineering (RSVP-TE) Extensions", RFC 3473

[11] K.Kompela, Y. Rekhter, "OSPF Extensions in Support of Generalized Multi-Protocol Label Switching (GMPLS)", RFC 4203.