

## 第 VI 部

# ラベルスイッチ技術による インターネットの構築実験



## 第 6 部

## ラベルスイッチ技術によるインターネットの構築実験

## 第 1 章 はじめに

LAST(LaBeL Switching Technology)ワーキンググループでは、MPLS(MultiProtocol Label Switching)技術を中心にインターネット上におけるラベルスイッチング技術に関する研究を行っている。2003年の主な活動としては、BSD 上での MPLS スタックの開発を続けている AYAME プロジェクトの活動、および、MPLS を用いた次世代 IX 技術の研究を進めている次世代 IX 研究会(DISTIX)における活動が挙げられる。

本報告では、第 2 章で AYAME Project における 2003 年の活動を、第 3 章で次世代 IX 研究会における相互接続イベントを中心とした 2003 年の活動に関して述べる。章末には付録として、AYAME プロジェクトに関連する論文のリストを掲載する。

## 第 2 章 AYAME プロジェクト

## 2.1 AYAME プロジェクトの概要

MPLS は Sub-IP 技術の一種であり、既存の IP スタックではそのまま利用することはできない。また、経路制御に関しても IP 層とは独立した情報伝達(シグナリング)が必要となるため別途アプリケーションの開発が必要である。

AYAME プロジェクトは、フリーな OS 実装である NetBSD をベースとして、MPLS (Multi Protocol Label Switching)環境を実現するための拡張および実装を行っているプロジェクトである。主に、NetBSD カーネルにおける MPLS パケット(ラベル付パケット)の転送処理機構の拡張、MPLS 用シグナリングアプリケーションの開発、新規 MPLS 技術の検証と実装、評価を行っており、国内外の多くの大学、キャ

リア、ベンダなどで運用および検証用に利用されている。

## 2.2 2003 年度の主な活動

本節では、AYAME プロジェクトで 2003 年に行った主な活動について述べる。

## 2.2.1 6PE (IPv6 Provider Edge)

MPLS 網の制御を IPv4 により行いつつ、IPv6 トラフィックの配送を実現する手法として、IPv4 により確立した LSP 上に IPv6 パケットを流す手法が提案されている [212]。該当 ID では、IPv4 網を越えて IPv6 網を構築するトンネリング手法が各種まとめられているが、AYAME プロジェクトでは、MPLS LSP を用いた手法に着目し 2002 年より実装と実験を進めてきた。

実証実験では、引き続き、北陸通信ネットワーク(株)(HTCN)との 6PE を用いた接続を維持し、安定稼働を検証した。この実験網は、WIDE 小松 NOC と HTCN 間に構築した MPLS 網を用いて、WIDE IPv6 ネットワークと HTCN 間の IPv6 トラフィックの交換、および、HTCN と北陸先端科学技術大学院大学(JAIST)間の IPv6 トラフィックの交換を行うものである。この実験では、途中機材障害のために一時的な接続断が生じたが、その他の期間にわたっては、安定して動作した。

また、次世代 IX 研究会の運用する実証実験網においても、6PE を用いたトラフィック交換を行った。この実験では、複数の接続参加組織との間で、6PE を用いた接続とトラフィック交換を行った。

ここで実装した 6PE 対応コードは、AYAME 実装の version 0.4 以降に搭載し公開している。また、本実験により得られた知見等に関して SAINT2003 の IPv6 ワークショップにおいて発表を行った。

## 2.2.2 MPLS マルチキャスト

現在、MPLS のマルチキャスト対応に関する議論が盛んに行われており、ユニキャストの LSP を用いてマルチキャスト LSP を確立する手法として MMT や BLAST-CAST が提案されている。それらの手法

は、MPLS マルチキャスト技術導入のための移行技術として有用であるだけでなく、段階的な規模拡張が可能であるため、既設の MPLS 網へ MPLS マルチキャストを導入する際には、導入のコストや運用のコストを抑制可能であり、有用性は高い。しかしながら、それらの手法で用いる具体的なシグナリングプロトコルの検討や、それらの手法を用いた際に発生する問題の検討などは行われていない。そこで我々は、それらの手法に応用可能なシグナリングプロトコルを検討した上で、RSVP-TE を用いた MPLS マルチキャスト機構を考案した。さらに、同機構を実装し評価を行った。

我々は、上記機構を AYAME-0.5 RELEASE の拡張機能として実装した。AYAME-0.5 RELEASE では、すでに基本的なマルチキャスト MPLS の要素機能群が実現されている。そこで、RSVP-TE によって確立された複数の LSP を接合可能な RSVP-TE デーモンとして、mrsvdpd をユーザランドデーモンとして実装することで同機構を実現した。

我々は、実現した機構を、テストベッドネットワークを用いて評価した。この評価により、同機構の目的である既設 MPLS 網への柔軟な展開を実現するための機能が実証され、また、性能面においても既設 MPLS 網への展開が実現的であることが実証された。

さらに、東京大学、次世代 IX 研究会、地域間相互接続実験プロジェクト (RIBB: Residential Internet Backbone Project) の協力を得て、同機能を備えた PC ルータを東京大学、高知工科大学に設置し、次世代 IX 研究会のバックボーンネットワーク経由で動画を配信し、広域の既設 MPLS 網への展開を行った。

### 2.2.3 LSP プロテクション、高速フェイルオーバー

同一の LSR を端点とする複数の LSP を用いることで、障害時の経路の切り替え時間を短縮しネットワークの可用性を向上させる技術として、Fast Reroute と呼ばれる技術群が MPLS の領域において盛んに議論されている。

同技術群には、複数の手法が提案されており、その中でも (1) 複数の LSP をあらかじめ確立しておき障害時には切り替えのみを行う方式、(2) 障害時に新たな LSP を動的に確立し直す方式、の 2 種が主に議論されている。

AYAME プロジェクトでは、前者であるプロテク

ション方式を実現した。次世代 IX 研究会のルータ相互接続ワーキンググループにおけるルータ相互接続試験では、同手法の機能と相互接続性に関する実験が行われた。

同相互接続実験により、我々が実装した LSP プロテクション手法の機能および商用ルータとの相互接続性が確認された。詳細については、次項の次世代 IX 研究会「MPLS ルータ相互接続実験」への参加 (第 6 回相互接続実験) および (第 7 回相互接続実験) において述べる。

### 2.2.4 次世代 IX 研究会「MPLS ルータ相互接続実験」への参加

AYAME プロジェクトでは、次世代 IX 研究会の主催する MPLS ルータ相互接続実験に、初回より AYAME 実装を持ち込み参加している。2003 年には、第 6 回 ~ 8 回の相互接続イベントが開催された。

#### (第 6 回相互接続実験)

第 6 回実験では、L2VPN 機能および高速フェイルオーバーに関する相互接続性と性能に関する試験が行われ、AYAME は、高速フェイルオーバーに関する実験に参加した (AYAME では L2VPN 機能が未実装の為)。

AYAME の参加した「Global Repair (Protection) 試験」では、コアルータとして Juniper 社の M シリーズを用いた形態で相互接続性が確認された。また、切替時間の計測結果から、障害時には他実装に引けをとらない高速切替であることが検証された。一方で、障害回復時の切戻し動作において、切替時に数 ms の断が生じる問題が見られた。この原因は、経路切り替え時に一時的に経路が消失する実装となっていたことであり、改善すべき課題となった。

#### (第 7 回相互接続実験)

第 7 回実験では、MPLS-IX のエッジ機能に関する試験と、前回に引き続き高速フェイルオーバーに関する試験が行われた。AYAME は、MPLS-IX エッジ機能試験および Global Repair (Protection) 試験に参加した。

エッジ機能試験では、特に LDP を用いた試験において、従来同様高い相互接続性が得られた。一方で、搬入機材の到着遅れにより、RSVP を用いた試験への参加を断念せざるを得なくなったことが残念である。

Global Repair( Protection )試験では、前回接続性が確認された Juniper 社の M シリーズに加え、Cisco Systems 社および古河電工のものとの接続性が確認された。

#### ( 第 8 回相互接続試験 )

第 8 回実験では、MPLS-IX の DIX-IE 接続対応に必要な機能の試験および MPLS の QoS 機能試験が行われた。DIX-IE 対応では、LDP の targeted-hello 機能拡張の動作検証ならびに BGP でのラベル配布機能の検証が行われた。

AYAME は DIX-IE 対応試験のうち LDP 機能の試験に参加したが、初日に機材故障が発生したため、周辺機能の調査およびデバッグのみの参加となった。

### 2.3 パッケージのリリース履歴

- version 0.4 ( 2003/2/14 公開 )  
( 主な更新 )
  - 対応する NetBSD のバージョンを 1.6 ベースに更新
  - 対応する GNU Zebra のバージョンを 0.93b に更新
  - RSVP シグナリングデーモン ( Edge 機能限定 ) の実装
  - GNU Zebra の bgpd の拡張によりラベル配布 ( for 6PE ) に対応
- version 0.5 ( 2003/5/20 公開 )( 主な更新 )
  - 対応する NetBSD のバージョンを 1.6.1 ベースに更新。

## 第 3 章 2003 年の MPLS 相互接続試験の概要

本章では、2003 年に実施した MPLS 相互接続試験およびその内容についてまとめる。試験結果に関しては、<http://www.distix.net/router-wg/>を参照されたい。

- 第 6 回相互接続試験  
日程：2003 年 4 月 14 日-4 月 16 日  
場所：ネットマークス  
参加団体：  
- ネットマークス

- 日商エレクトロニクス
- 古河電工
- AYAME プロジェクト
- Riverstone
- アジレント
- 東陽テクニカ

#### 試験内容:

- Fast Reroute/Protection 試験  
MPLS を用いた冗長性機能である Fast Reroute の相互接続試験を行った。
- L2VPN 試験  
MPLS で作成される LSP 上にイーサフレームをのせるための L2VPN の相互接続試験を行った。

#### • 第 7 回相互接続試験

日程：2003 年 8 月 19 日-8 月 22 日

場所：アット東京

#### 参加団体：

- 日商エレクトロニクス
- Foundry/物産ネットワークス
- ネットマークス
- cisco
- 古河電工
- AYAME プロジェクト
- 富士通
- ネットワン
- 東陽テクニカ
- アジレント

#### 試験内容:

- MPLS-IX モデルを用いた場合のエッジ試験  
MPLS を用いた IX ( MPLS-IX モデル ) では、IX 運営者の MPLS コアルータに様々な MPLS エッジルータが接続される。本試験では、複数ベンダーのエッジルータをコアルータに接続し、マルチベンダー環境での相互接続試験を行った。試験参加機材は、表 3.1 の通りである。

- Fast Reroute/Protection 試験  
MPLS を用いた冗長性機能である Fast Reroute の相互接続試験を行った。試験参加機材は、表 3.2 の通りである。

#### • 第 8 回相互接続試験

日程：2003 年 11 月 25 日-11 月 28 日

場所：インテック大山研修センター

表 3.1. マルチベンダー環境での相互接続試験参加機材

	LDP interface	LDP Loopback	RSVP interface	RSVP loopback
Juniper M				
Foundry	—			
富士通			—	—
Laurel	—			
Juniper ERX	—			

表 3.2. Fast Reroute の相互接続試験参加機材

	Global repair Protection	Global repair Rerouting	Local repair Link	Local repair Node n
cisco			(PoS)	(PoS)
Juniper M				
Juniper ERX			(GbE)	
Foundry				
Ayame				
古河			(GbE)	(GbE)
Laurel				

参加団体:

- 日商エレクトロニクス
- ジュニパー
- ネットマークス
- cisco
- 古河電工
- AYAME プロジェクト
- 富士通
- リバーストーン
- CTC
- ネットワン
- 東陽テクニカ
- アジレント

試験内容:

- DIX-IE 試験  
WIDE プロジェクトで運営しているイーサネットベースの IX である DIX-IE と MPLS を用いた IX (MPLS-IX モデル) の相互接続実験が行われた。この試験では、MPLS-IX に存在する MPLS コアルータと DIX-IE に存在する MPLS エッジを仮定し、複数のエッジが MPLS-IX のコアルータに接続するマルチベンダー環境での相互接続試験を行った。
- QoS 試験  
MPLS-IX 内で LSP ごとの QoS が実現できるかの単体試験を行った。

付録 AYAME プロジェクト関連論文

(2003 年公開分)

- “IPv6 Support on MPLS network: Experiences with 6PE approach”: Satoshi UDA, Nobuo OGASHIWA, Yojiro UO and Yoichi SHINODA. Proceedings of SAINT2003 Workshops, pp.226-231, IEEE Computer Society Press. Orland FL, Jan. 2003.
- “ネットワークプロセッサを用いた MPLS ラベルスイッチングルータの実装”: 渡辺林音, 宇多仁, 小柏伸夫, 宇夫陽次朗, 篠田陽一. 電子情報通信学会技術研究報告 インターネットアーキテクチャ, Vol.103, No.62, pp.71-76, 電子情報通信学会. 京都府亀岡市, 2003 年 5 月.

(2002 年以前 / 抜粋)

- “解説・次世代インターネット研究開発の最前線, 10. 研究用 MPLS システムの開発と運用実験”: 宇夫陽次朗, 宇多仁, 小柏伸夫. 情報処理, 42 号 4 巻, pp.382-387, 情報処理学会. 2001 年 4 月.
- “細粒度 SLA 遂行のための多重フェーズ LSP 設

定機構の設計と実装”: 宇夫陽次朗, 宇多仁, 小柏伸夫, 篠田陽一. 電子情報通信学会論文誌, Vol.J85-B, No.8, pp.1191–1198, 電子情報通信学会. 2002年8月.

- “AYAME: A design and implementation of the CoS capable MPLS layer for BSD network stack”: Yojiro UO, Satoshi UDA, Nobuo OGASHIWA, Satoshi OHTA and Yoichi SHINODA. INET2000, Internet Society. Yokohama, Kanagawa, Jul. 2000.
- “BLAST-CAST: A bi-directional label switched multicasting”: Nobuo OGASHIWA, Yojiro UO, Satoshi UDA and Yoichi SHINODA. International Workshop on Communications Quality and Reliability (CQR2002), IEICE communication society and IEEE computer society. Nago, Okinawa, May 2002.

