

# MPLS～基礎、実現するサービス、そして最新動向～

2005年12月8日 10:00-13:00

日本テレコム(株)

松嶋 聡<satoru@ft.solteria.net>

アジアネットコムジャパン(株)

石井秀雄<hishii@ancip.net>

## 発表内容

- |                         |     |    |
|-------------------------|-----|----|
| (1)MPLS基礎               | 40分 | 石井 |
| (2)MPLSで何が出来るか。         |     |    |
| ■ Traffic Engineering技術 | 50分 | 松嶋 |
| ■ IP-VPN技術              | 50分 | 石井 |
| (3)MPLS運用               | 30分 | 松嶋 |
| (4)MPLS最新動向(Next-MPLS)  | 10分 | 松嶋 |

# MPLSの基礎

---

Internet Week 2005  
アジアネットコムジャパン株式会社

石井 秀雄 < hishii@ancip.net >

## MPLSの基礎 Agenda

---

- **MPLSとは、**
- **MPLS動作概要**
- **MPLSラベルパス決定プロトコル**
- **MPLSの利点**

# MPLSとは

- **MPLS: Multi Protocol Label Switching**
  - IPネットワーク上で、ラベル(Label)という概念を用いて、パケットを転送する技術
  - ルーティングに対する柔軟性や、IPアドレスの重複を許可
  - **Connectionless**のIPネットワークにバスの概念をもたらし、様々なレイヤ、サービスの統合トランスポートネットワークに変貌させる技術の一つとして注目
    - TrafficEngineering, L3/L2VPN、Ethernet over MPLS, MPLS-IX、IPv6、マルチキャスト
    - Voice、他アプリケーション etc
  - MPLSを使うことで、ラベル転送という一つのフォワーディングスキームですべてを同じに扱うことができる。

# MPLSとは

- MPLSになると。。

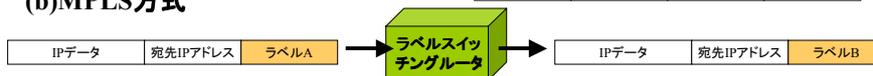
(a)既存IPルーティング方式



※宛先IPアドレスに基づきルータが方路選択(パケットルーティング)

ラベルテーブル			
入力インタフェース	ラベル	NextHop	出力時ラベル
:	:	:	:
:	:	:	:

(b)MPLS方式



※ラベル番号に基づきラベルスイッチングルータが、方路選択(ラベルスイッチング)

## MPLSの特徴

- 32ビット固定長のラベルカプセリング
  - フォワーディング時はラベルのみ参照する。
  - ラベルヘッダカプセリングすることにより、IPv4/IPv6パケット、レイヤ2フレーム、Ethernetフレーム等あらゆるプロトコルの情報をIPネットワーク上でラベルフォワーディングという統一スキームで扱うことを可能にする。
  
- ◆ ラベルパスの形成
  - IPネットワーク上にメディアに依存しないパスの概念をもたらし、柔軟な経路制御を可能にする。
  
- ◆ ラベルのスタッキング
  - ラベルを複数つけてスタッキングすることにより、IPネットワークの階層化を可能にする。

## MPLSの歴史と発展

- ATMからの発展
  - VC/VPの概念とIPルーティングの融合
  - IP Switching, CSR (Cell Switching Router), Tag Switching etc
  
- MPLSの誕生
  - IPネットワーク上でのマルチプロトコル転送技術として誕生
    - 当初は、IPパケットのカプセリング転送技術
    - 徐々にレイヤ2フレームなどの転送にも応用

## MPLSの歴史と発展

- **GMPLS (Generalized MPLS)の展開**
  - 光パスなど、IPネットワーク上だけではない、光伝送路へのラベルパス概念の導入
- ネットワークの実用化に伴い、OA&M機能の実装が行われている。
  - LSP path (Data Plane)双方向の疎通確認 >> Bidirectional Forwarding Detection <BFD>
  - LSP Path (Data Plane)の疎通確認 >> LSP Ping and LSP Traceroute

## MPLSレイヤ位置付け

- Layer2、Layer3双方からマルチプロトコル

Application	レイヤ5以上
TCP/UDP	レイヤ4
IP(v4/v6)	レイヤ3
<b>MPLS</b>	レイヤ2.5
ATM	レイヤ2 レイヤ1
FR	
PPP	
Ether他	



- 様々なレイヤ間のサブレイヤとして発展

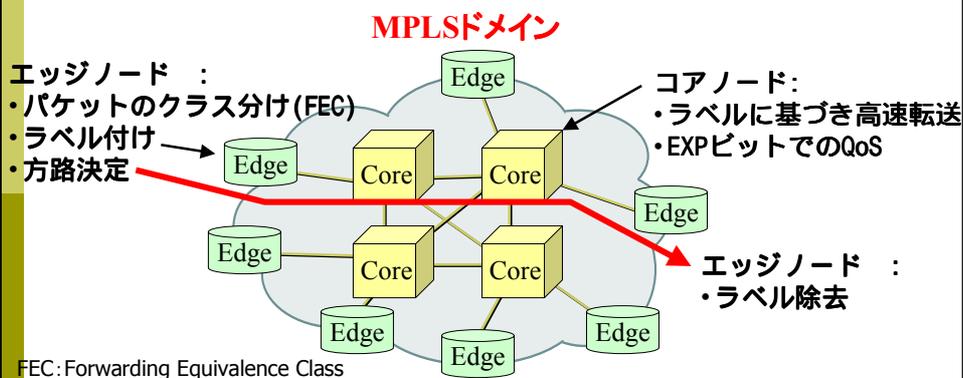
Application	
TCP/UDP	
IP(v4/v6)	
L2	Application
<b>MPLS/IP</b>	<b>MPLS/IP</b>
L1/L2	L1/L2

# MPLS動作概要

※基本となるIPv4の例を中心に説明します。

## MPLSアーキテクチャ

- 一つの管理ドメインに所属し、MPLSが動作する機器で構成されるネットワークをMPLSドメインと呼ぶ(MPLSアーキテクチャ)

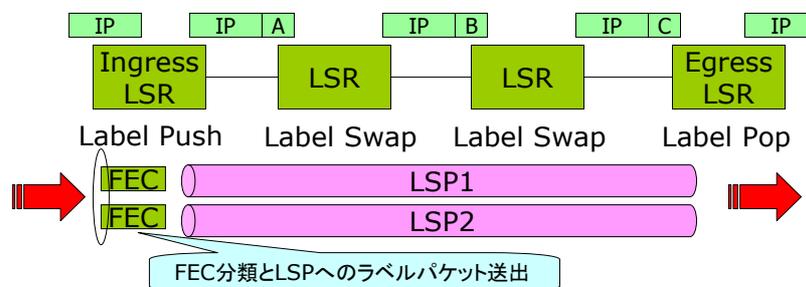


## MPLS 用語説明

- **LSR(Label Switching Router)** : MPLSドメイン内にありMPLSを解釈できるLayer3装置
  - **Ingress LSR** : MPLSドメイン入り口のエッジLSR
  - **Egress LSR** : MPLSドメイン出口のエッジLSR
- **FEC(Forwarding Equivalence Class)** : 同じ経路、同じ扱いで転送されるIPパケットの集合
  - FEC 1 : 宛先IPアドレス
  - FEC 2 : 宛先IPアドレス + ある特定のTCPポート番号
- **LSP(Label Switched Path)** : FECに対応して形成されるMPLSラベルパス

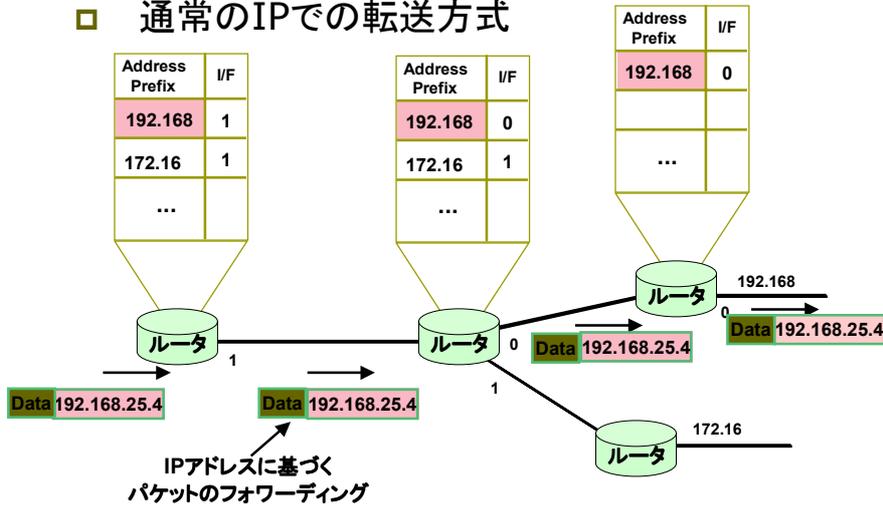
## MPLS ラベル処理

- **Label Push** : ラベルの付与
- **Label Swap** : ラベルの付け替え
- **Label Pop** : ラベル除去



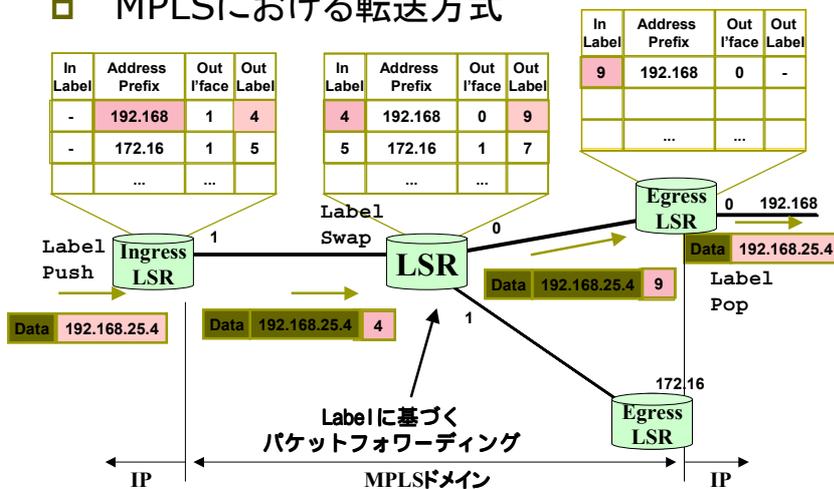
# MPLSフォーワーディング

## □ 通常のIPでの転送方式



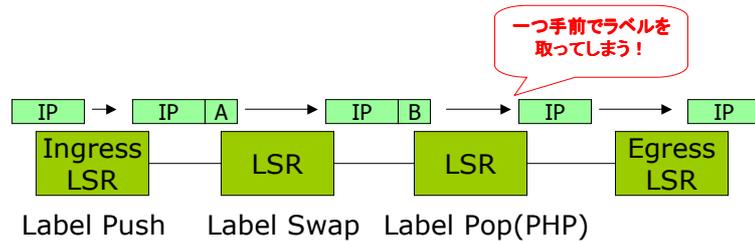
# MPLSフォーワーディング

## □ MPLSにおける転送方式



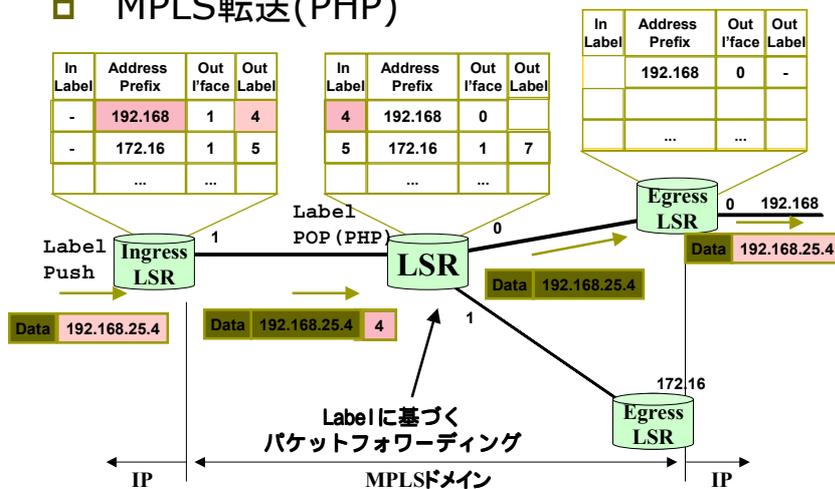
## MPLS ラベル処理(PHP)

- **PHP(Penultimate Hop Popping)**
- Egressの一つ手前のルータでラベルを除去。
- Egressでラベルが必要なかったり、ラベルをStackしてる場合によく使われる。



## MPLSフォワーディング(PHP)

- **MPLS転送(PHP)**



## MPLSフォーワーディングまとめ

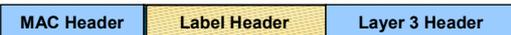
- ラベルの値は個々のLSR内でユニークに決定
- LSRホップバイホップに値は変わっていく(ATM/FRと同様の考え方)
- ラベルパスは一方方向(両方向のパスを作るために2本のパスが必要)
- トラフィックが来る前にあらかじめラベルパスを形成する(トポロジードリブン)
- ラベルパケットは、ラベルのみをみて対向のエッジまで転送される(Stackされてる場合は先頭のラベルのみを見る)。
- Egressの一つ手前でラベルを取るPHP

## MPLSラベルフォーマット

### □ Shimヘッダ

PPP Header/HDLC Header (Packet over SONET/SDH) 

ATM Header(IP-Based) 

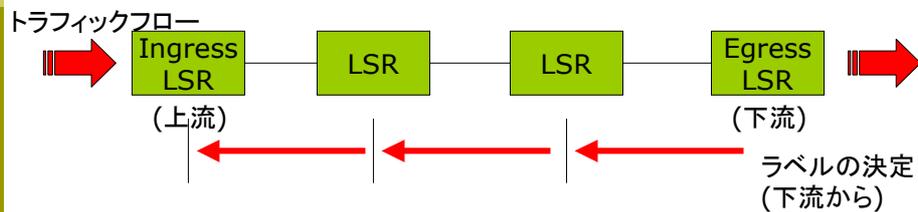
LAN MAC Label Header 

- レイヤ2ヘッダとレイヤ3ヘッダの間に挿入
- 2つ以上のラベルを挿入することも可能



## MPLSラベルパス決定プロトコル

- IngressLSRからEgressLSRまでのラベルパスを決定するためのプロトコル
- ラベルパスの形成には、IPプロトコルを必要とする。  
(MPLSは、IPネットワーク上で実現される)
- よく使われるのは、トラフィックフローの下流(宛先)からラベルを順次決定していく方法(DownStream型)

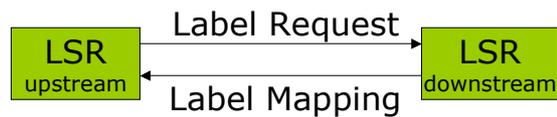


## 4つの主なプロトコル

- FECとそれに付加するラベル情報をPoint-to-Pointで交換する方法
  - LDP(Label Distribution Protocol)
  - BGP-Extension
    - ※ 主にL3/L2VPN等に使われる
    - ※ IGP(OSPF/ISIS等)が動いている前提
- 明示的にEnd-to-EndのLSPを張る方法
  - RSVP-Extension
  - CR(Constraint Based Routing)-LDP
    - ※ 主に経路制御、QoS制御などTraffic Engineeringが必要な場合に使われる
    - ※ OSPF/ISISの拡張とあわせて使われる

## 各方式に共通する Label Advertisement Mode

- 2つの主な考え方
- **Downstream-on-Demand(DoD)**



※ラベル要求を受けてからFECに対応したラベルを配布  
※必要な分だけラベル情報が配布される。

- **Downstream Unsolicited(DU)**

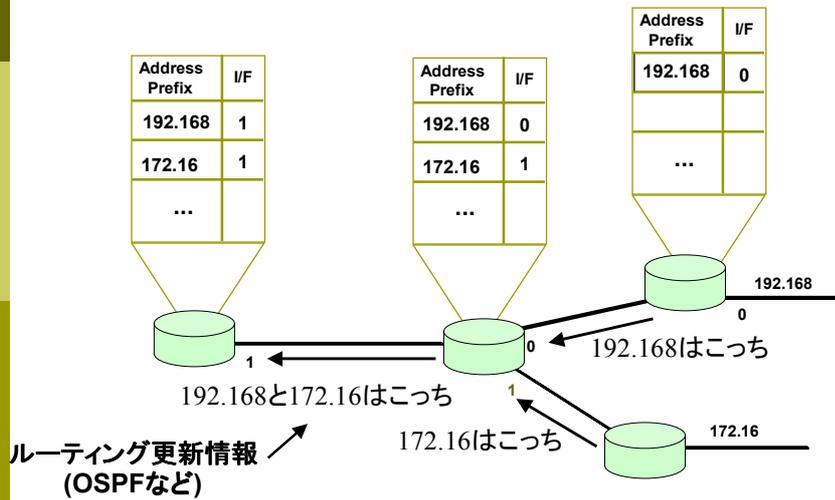


※ラベル要求がなくてもFECに対応したラベルを配布  
※LSPの収束が早い。

## ラベルパス決定の例

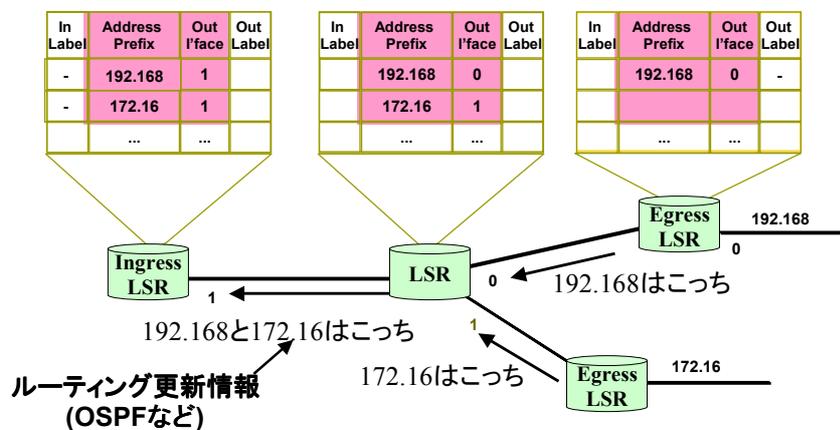
- では、DownStream Unsolicited(DU)モードでのLDPを使ったラベルパス決定の様子と、DoDモードでのRSVP-TEを使ったラベルパス決定の様子を見てください。

## 通常のIPでのルーティング決定



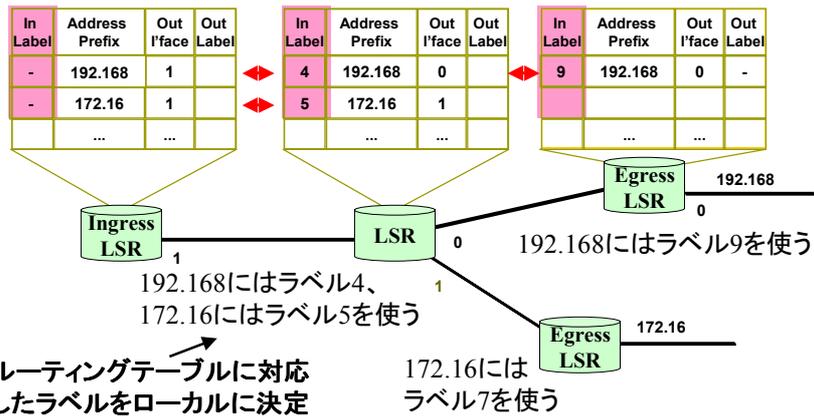
## LDPでのラベルパス決定

- まずはOSPF等のIGPで経路情報を交換



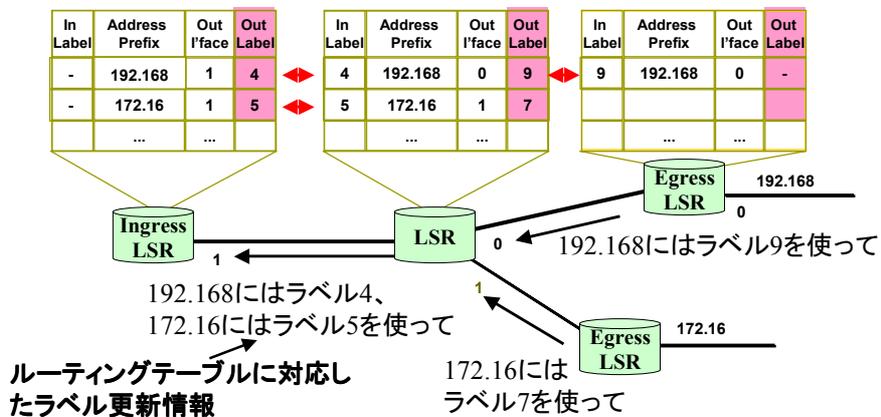
## MPLSラベルパス決定プロトコル

- 自分自身が各々のFEC(IP経路情報)に使用するラベルを決定する。



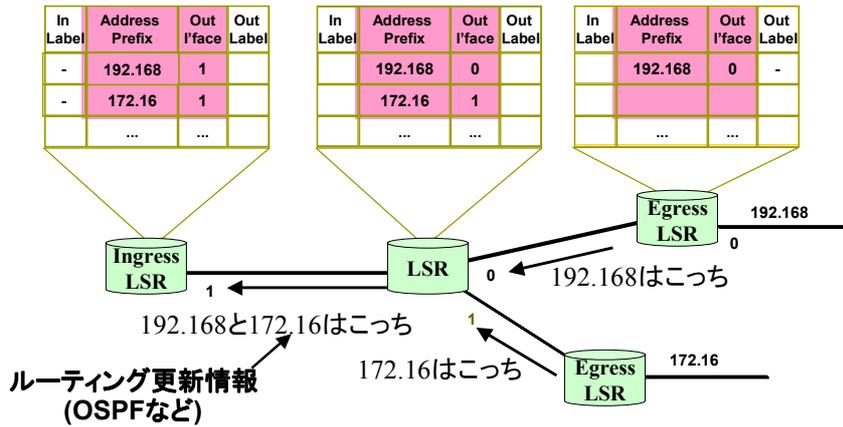
## MPLSラベルパス決定プロトコル

- エッジにて使用ラベルを決定し隣に教える。これを繰り返すことによりラベルパスを形成



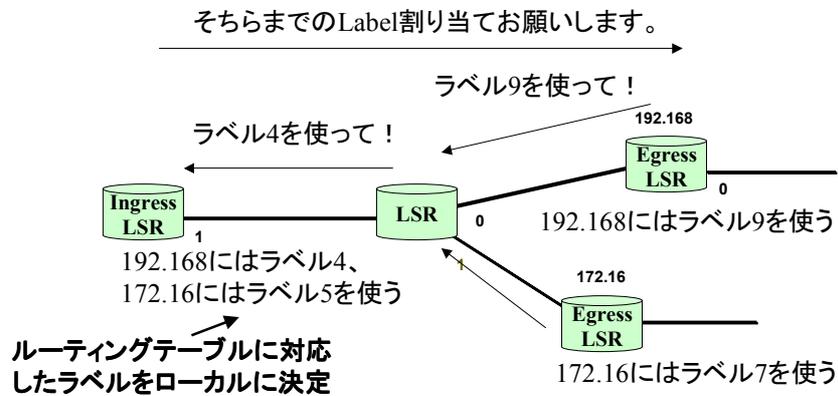
## RSVP-TEでのラベルパス決定

- まずはOSPF等のIGPで経路情報を交換



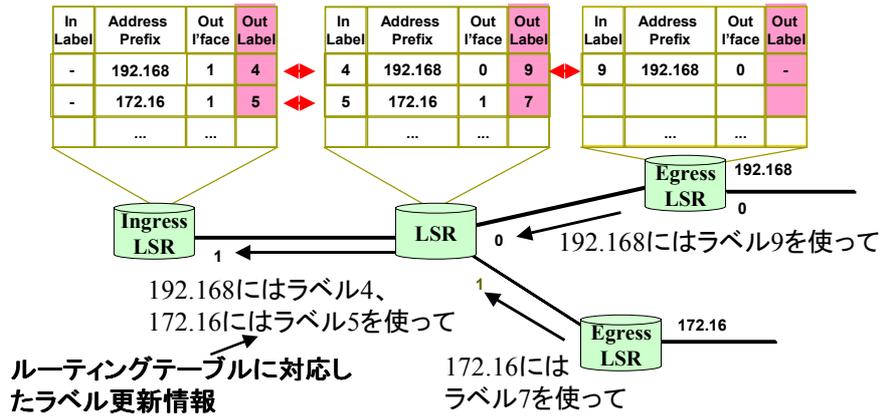
## MPLSラベルパス決定プロトコル

- Ingress LSRがEgress LSRにFEC(IP経路情報)に使用するラベルを尋ねる。



## MPLSラベルパス決定プロトコル

- エッジにて使用ラベルを決定し隣に教える。これを繰り返すことによりラベルパスを形成



MPLSがIPネットワークにもたらす  
 利点  
 今、何が出来るか。。

## MPLSの特徴(再掲)

- 32ビット固定長のラベルカプセリング
  - フォワーディング時はラベルのみ参照する。
  - IPv4/IPv6パケット、レイヤ2フレーム等あらゆるプロトコルの情報をIPネットワーク上でラベルフォワーディングという統一スキームで扱うことを可能にする。
  
- ◆ ラベルパスの形成
  - IPネットワーク上にメディアに依存しないパスの概念をもたらし、柔軟な経路制御を可能にする。
  
- ◆ ラベルのスタッキング
  - ラベルを複数つけてスタッキングすることにより、IPネットワークの階層化を可能にする。

## 固定長のラベルカプセリングの利点

- L3VPNの実現
  - カプセリング化により同じIPアドレスでもまざらない
  - ラベルによりVPNを識別し、ATM/FRと同等レベルのセキュリティの実現
- L2VPNの実現
  - IP以外のプロトコルのIPネットワーク上でのフォワーディング( Layer2 Frame etc)
  - IPネットワーク事業者がフレームリレーサービスなどの提供もできる。
- IPv6 PE (6PE)の実現
  - エッジのPEのみがIPv6をサポートし、IPv4のみサポートするMPLS coreを利用して6PE-6PE間でMPLS LSPを構築してIPv6 over MPLSのネットワーク環境を実現する。

## 固定長のラベルカプセリングの利点 (Cont.)

- 様々な粒度(**granularity**)の packets 及びプロトコルに各々ラベルを付与し(FECに分類)、一つのフォワーディングスキームで実現



Label=100	Dst:192.168.10.0/24	IPv4
Label=101	Dst:192.168.0.1, Dst Port=20	IPv4
Label=102	VP=1, VC=1	ATMセル
Label=103	00-00-00-00-00-01	Etherフレーム
Label=104	Dst: FEC8::801	IPv6

## MPLSの特徴(再掲)

- 32ビット固定長のラベルカプセリング
  - フォワーディング時はラベルのみ参照する。
  - IPv4/IPv6パケット、レイヤ2フレーム等あらゆるプロトコルの情報をIPネットワーク上でラベルフォワーディングという統一スキームで扱うことを可能にする。
- ◆ ラベルパスの形成
  - IPネットワーク上に**メディアに依存しないパスの概念**をもたらし、柔軟な経路制御を可能にする。
- ◆ ラベルのスタッキング
  - ラベルを複数つけてスタッキングすることにより、IPネットワークの階層化を可能にする。

## ラベルパスの形成による利点

---

- 経路制御においてパスの概念をIPネットワーク上に持ち込むことができる。
- **Constraint-Basedルーティングの実現(Traffic Engineering)**
  - 明示的経路の指定(Explicit Routing)
  - バックアップパスをあらかじめ用意しておくことによる障害発生時の高速迂回(Fast Reroute)
  - 帯域などを指定したパスを張ることにより、LSPごとのQoSの実現
  - Load-sharing機能を使うことによって、IGPでは実現できない帯域制御が可能

## ラベルパスの形成による利点 (Cont'd.)

---

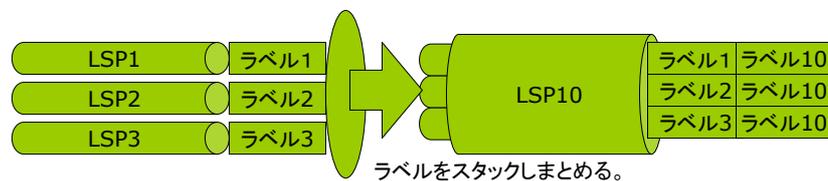
- 帯域幅や空き帯域に合わせたトラフィックの割り当てが可能
  - Traffic Engineering とExplicit route+load-shareの組み合わせにより、柔軟なトラフィック分散が可能になる。
  - ExplicitのPriorityをつけることによって、障害時の迂回経路を順番付けが可能となり、トラフィック移行の予測が可能となる。

## MPLSの特徴(再掲)

- 32ビット固定長のラベルカプセリング
  - フォワーディング時はラベルのみ参照する。
  - IPv4/IPv6/パケット、レイヤ2フレーム等あらゆるプロトコルの情報をIPネットワーク上でラベルフォワーディングという統一スキームで扱うことを可能にする。
- ◆ ラベルパスの形成
  - IPネットワーク上にメディアに依存しないパスの概念をもたらし、柔軟な経路制御を可能にする。
- ◆ ラベルのスタッキング
  - ラベルを複数つけてスタッキングすることにより、IPネットワークの階層化を可能にする。

## ラベルのスタッキングによる利点

- ルーティングの階層化が可能



- 拡張性の高いIP-VPN(L2/L3VPN)の実現
  - スタッキングを利用することによるLSPの節約の実現
- 複数のLSPの取り回しを1つのLSPで可能

## MPLSの基礎 まとめ

---

- **MPLSとは、**
  - MPLS特徴、マルチプロトコル。
- **MPLS動作概要**
  - MPLSアーキテクチャ
  - MPLSラベル
- **MPLSラベルパス決定プロトコル**
  - IP上での複数のプロトコル
  - LDP/RSVP-TE
- **MPLSの応用例**
  - MPLSがIPネットワークにもたらす利点

## MPLSで実現できるものと最新動向

---

- 以下について、より詳しく説明します。
  - **Traffic Engineering**
  - **IP-VPN(BGP/MPLS-VPN)**
  - **MPLSの運用技術**
  - **MPLSの最新動向**