



JANOG33

MPLSトラフィックエンジニアリングチュートリアル

Shishio Tsuchiya

shtsuchi@cisco.com

本セッションの位置づけ

- 本セッションを受けると下記の理解が出来る
 - ✓ MPLS TEで出来る事
 - ✓ MPLS TEとルーティングプロトコルの違い
 - ✓ MPLS TEで用いるプロトコル
- JANOG33 一日目 グローバルインターネットにおける大容量トラヒックコントロールとリソースマネジメント
<http://www.janog.gr.jp/meeting/janog33/program/gin.html>
を楽しく聞ける！

Agenda

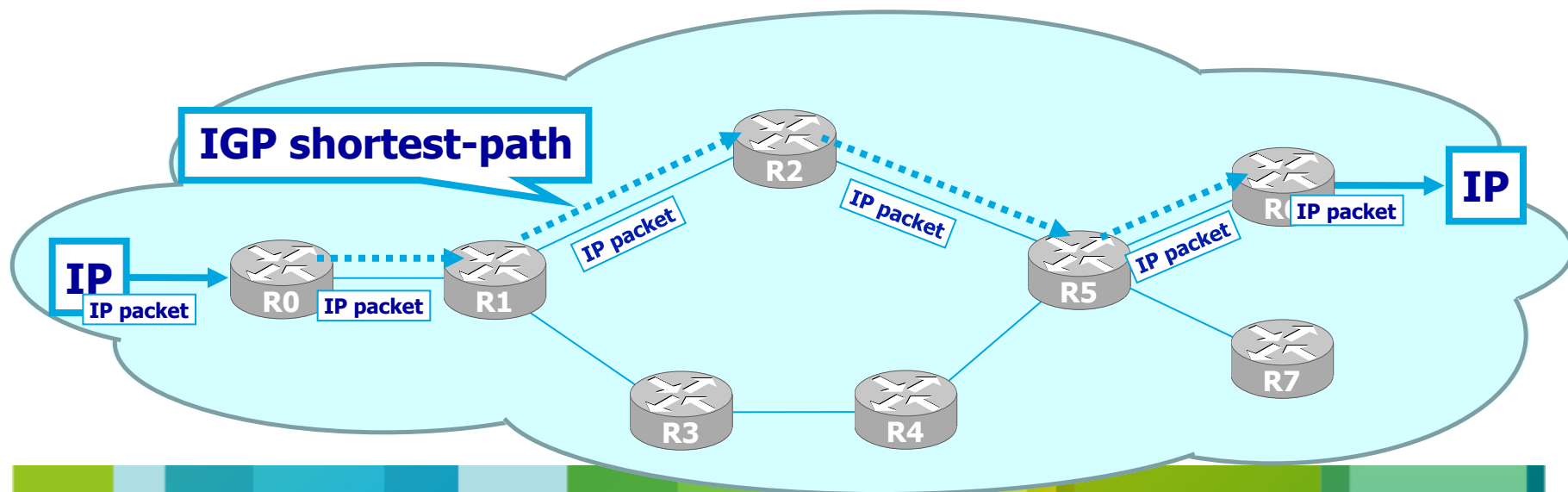
- MPLS TE概要
- 情報の分配
- パス計算
- パスセットアップ
- ルートへの適用
- Q&A

MPLSトラフィックエンジニアリングとは何か？

- MPLS Traffic Engineeringが可能にするもの
 - ✓ ネットワーク管理者による明示的なパス作成
 - IGP shortest pathに依存しない任意のLabel Switched Pathを作成
 - ✓ リソースの有効活用
 - 帯域や任意のリンク属性に基づく最適パス計算
 - ✓ 高速復旧メカニズム
 - Fast Reroute Link/Node Protection

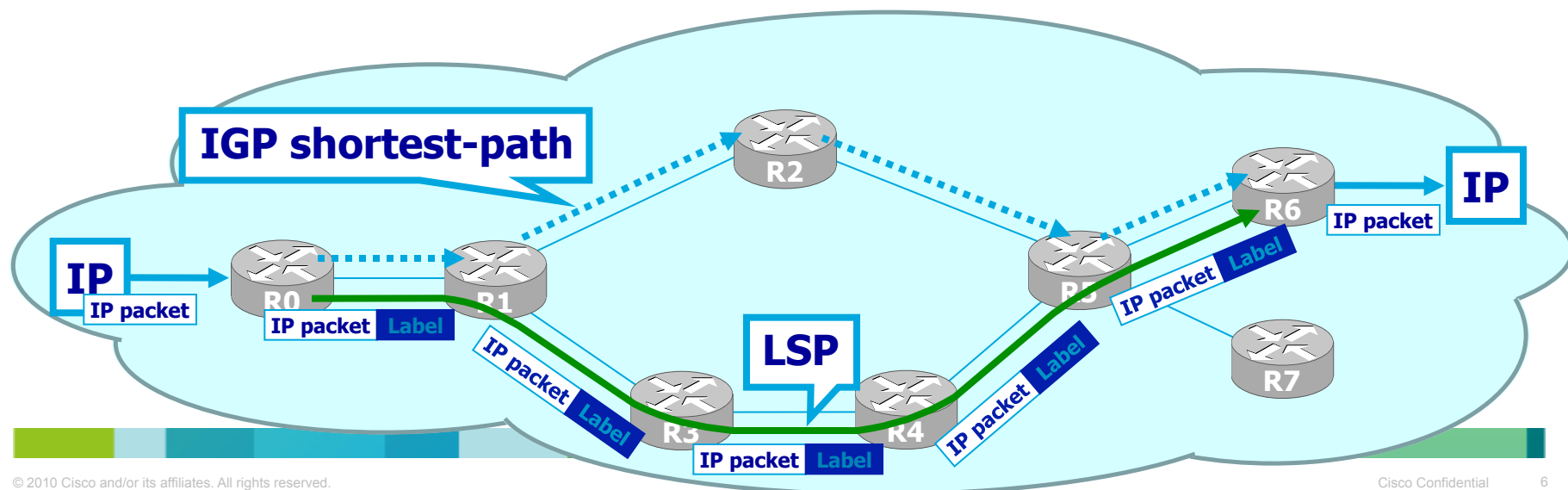
MPLS-TEの基礎動作

- 通常のIGP最短パス
 - IPパケットはメトリックに基づきNexthopに転送される

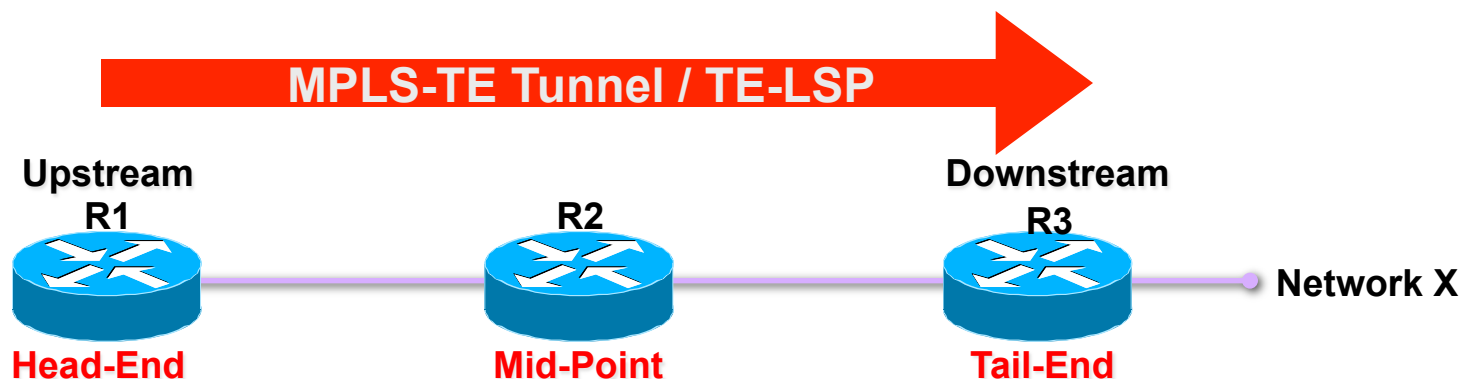


MPLS-TEの基礎動作

- 通常のIGP最短パス
 - IPパケットはメトリックに基づきNexthopに転送される
- Engineer **unidirectional paths**
 - IGP shortest path以外のpathを選択
 - Labeled Packetであれば網内ではlabelに基づいて転送される



MPLS-TE基本用語



- **Head-End:** TE Tunnel Interfaceが設定されるノード (R1)
- **Tail-End:** TE Tunnelを終端するノード (R3)
- **Mid-point:** TE Tunnelが通過するノード (R2)
- **LSP:** Label Switch Path = TE Tunnelが通過するパス
ここではR1-R2-R3

MPLS-TEのキーコンポーネント

1. 情報の分配とパス計算(CSPF:Constrained SPF)

✓ Link State Protocolの拡張

- TE Extensions to OSPF Version 2 [RFC3630](#)
- IS-IS extensions for Traffic Engineering [RFC3784](#)

2. パスセットアップ

✓ RSVPの拡張

- RSVP-TE: Extensions to RSVP for LSP Tunnels [RFC3209](#)

3. ルートへの適用

✓ マッピングメカニズム

- Static Route,PBR,Autoroute
- トラフィックをLSPにマッピングする

4. ラベルスイッチング

Agenda

- MPLS TE概要
- 情報の分配
- パス計算
- パスセットアップ
- ルートへの適用
- Q&A

情報の分配

- MPLS TE LSPは最適パスを計算する上で、IGPリンクステート情報よりも詳細な情報が必要となる
 - ✓ Traffic Engineering Metric
 - ✓ Bandwidth
 - ✓ Link Attribute
- これらの情報は拡張されたリンクステートプロトコルにより、エリア内にフラッディングされるトラフィックエンジニアリングデータベース (TEDB) に格納され、パス計算に使われる。

リンクステートプロトコルの拡張

- OSPF/ISISへのプロトコル拡張

- ✓ OSPF

- Type10 (Opaque area local) LSAを使用([RFC5250](#))

- (TE Extensions to OSPF Version 2 [RFC3630](#))

- ✓ IS-IS

- Type 22 TLVを使用

- IS-IS extensions for Traffic Engineering [RFC3784](#)

- ✓ ISIS/OSPFのシングルArea/Levelにフラッディング

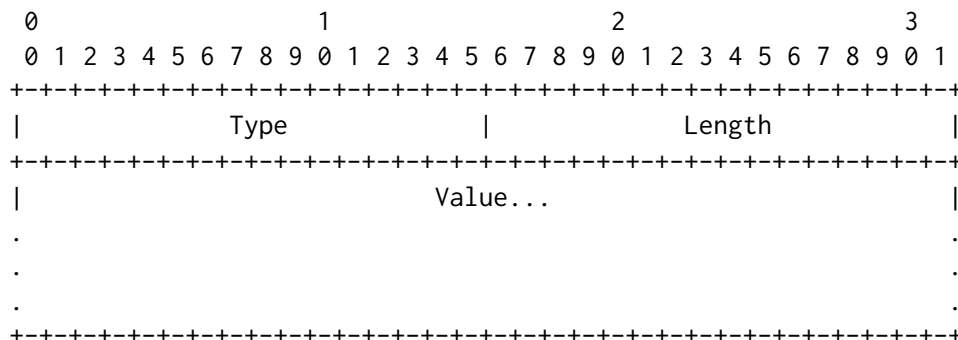
- Link ID
 - TE metric
 - Bandwidth (max physical, max reserveable, available per-class)
 - Attribute flags

なぜOSPFではOpaque LSAが必要か？

- OSPFは新しいネットワークをサポートする度にLSAを追加し対応してきた。(例:MOSPF)
- 一方多くのネットワークで展開されていた為、プロトコルとしての拡張性が求められた。
- Opaque LSAでは拡張性の高いTLVフォーマットをサポートする為にフラッディングの範囲をLSAとして定義。

Value	Opaque Type	Reference
1	Traffic Engineering LSA	[RFC3630]
2	Sycamore Optical Topology Descriptions	[John_Moy]
3	grace-LSA	[RFC3623]
4	Router Information (RI)	[RFC4970]
5	L1VPN LSA	[RFC5252]
6	Inter-AS-TE-v2 LSA	[RFC5392]
7-127	Unassigned	
128-255	Reserved for private use	[RFC5250]

<http://www.iana.org/assignments/ospf-opaque-types/ospf-opaque-types.xhtml>



TE LSAの中に含まれる新しい情報

Traffic Engineering LSA Type 10 Opaque-LSA Type1

- Traffic engineering metric (4 octets)
- Maximum bandwidth (4 octets)
- Maximum reservable bandwidth (4 octets)
- Unreserved bandwidth (32 octets)
- Administrative group / Resource Class - Color(4 octets)

<http://tools.ietf.org/html/rfc3630>

<http://www.iana.org/assignments/ospf-traffic-eng-tlvs/ospf-traffic-eng-tlvs.xhtml#subtlv2>

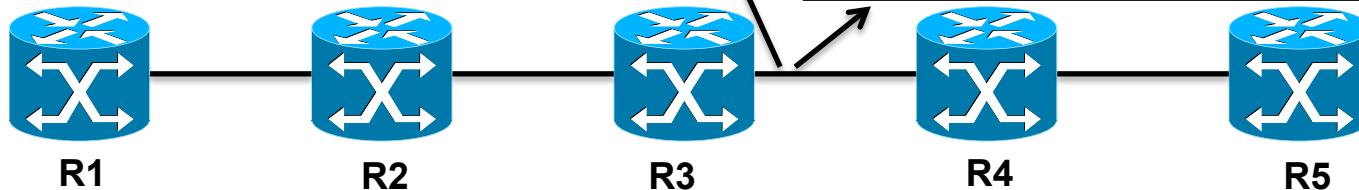
Router-LSAとTE-LSAの比較

show ospf database router

```
Link connected to: another Router (point-to-point)
(Link ID) Neighboring Router ID: 10.255.255.4
(Link Data) Router Interface address: 10.10.1.17
Number of TOS metrics: 0
TOS 0 Metrics: 1
```

show ospf database opaque-area

```
Link connected to Point-to-Point network
Link ID : 10.255.255.4
(all bandwidths in bytes/sec)
Interface Address : 10.10.1.17
Neighbor Address : 10.10.1.18
Admin Metric : 1
Maximum bandwidth : 125000000
Maximum reservable bandwidth global: 93750000
Number of Priority : 8
Priority 0 : 93750000 Priority 1 : 93750000
Priority 2 : 93750000 Priority 3 : 93750000
Priority 4 : 93687496 Priority 5 : 93687496
Priority 6 : 93687496 Priority 7 : 93562496
Affinity Bit : 0
IGP Metric : 1
Extended Administrative Group : Length: 8
EAG[0]: 0
EAG[1]: 0
EAG[2]: 0
EAG[3]: 0
EAG[4]: 0
EAG[5]: 0
EAG[6]: 0
EAG[7]: 0
```



LSAアップデート

- Type10 LSAのアップデートのタイミング
 - ✓ Periodic(timer base)
 - ✓ 使用可能帯域の変化
 - ✓ リンク設定の変更
 - ✓ リンクステートの変化

Agenda

- MPLS TE概要
- 情報の分配
- **パス計算**
- パスセットアップ
- ルートへの適用
- Q&A

どの様にPathを設定するのか?

- OSPF/ISISによりTEトポロジーデータベースを完成させたノードは、LSPの通るパスを決定する Explicit Routed Object(ERO) を作成する
- **DynamicまたはExplicitにEROを作成する事が可能**

```
RP/0/0/CPU0:R1(config-if)#path-option 1 ?  
dynamic  Setup based on dynamically allocated path  
explicit Setup based on preconfigured path
```

Dynamic vs Explicit Path

DYNAMIC

CSPF + path verification

EXPLICIT

explicit-pathの設定 (& partial CSPF) + path verification

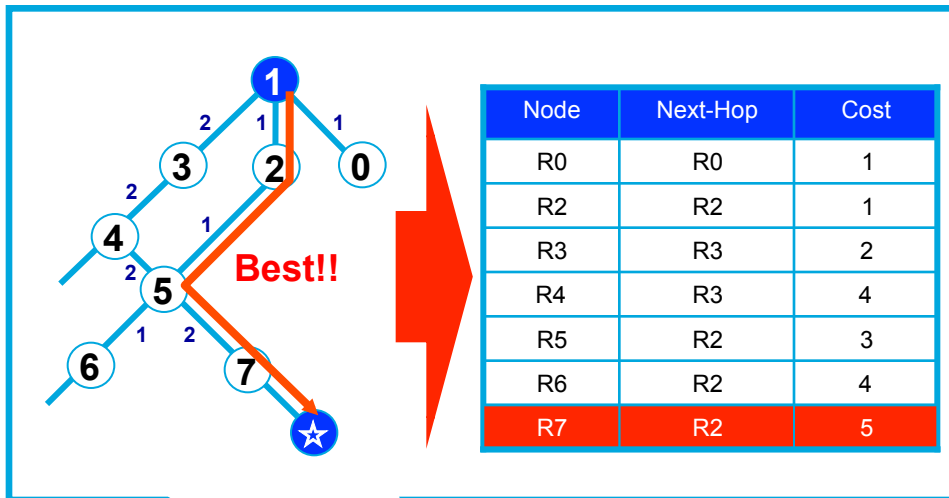
- **strict** : sourceからdestinationまですべてのリンクを明示的に指定
- **loose** : 中継ノードをいくつか指定。headendと、指定されたノードは次のloose nodeまでCSPFを実行してEROを作成
- **exclude** : FRR backup LSPの作成時に使用: protectしたいlinkまたはnodeを除外してCSPFを実行し、EROを作成

CSPF: Constrained Shortest Path First

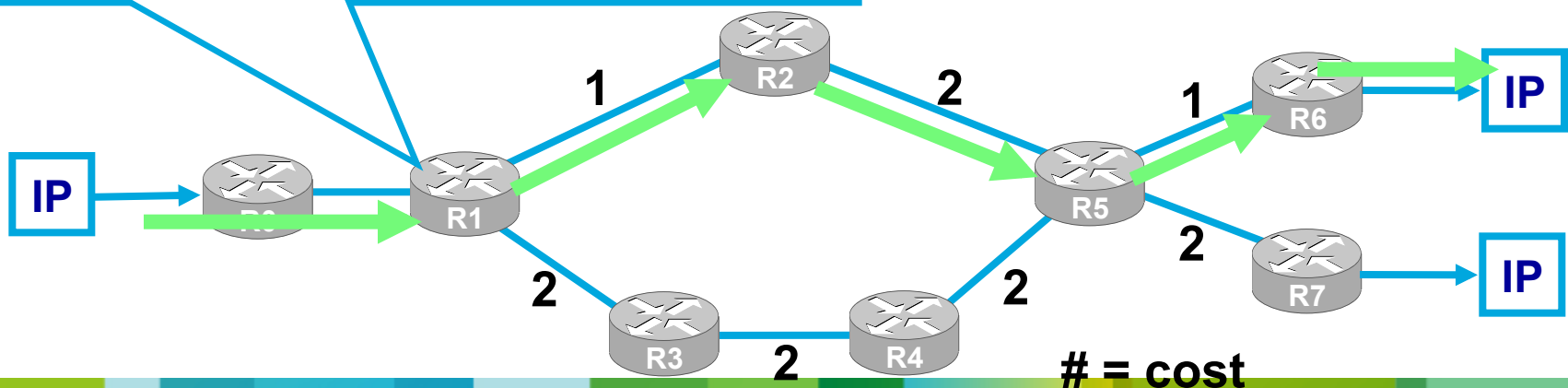
- 基本アルゴリズムはダイクストラであるが、SPF実行時にMetricだけではなく、帯域、link attributeなどのConstraintsに影響される=Constrained SPF
- Tunnel Headendが各LSPに対して計算を実行
- CSPF Trigger
 - ✓ LSP Setup
 - ✓ LSA Update受信
 - ✓ RSVP Patherro受信
 - ✓ Reoptimization(再最適化)

Constrained-based SPF Algorithm

- 通常のSPF Algorithm

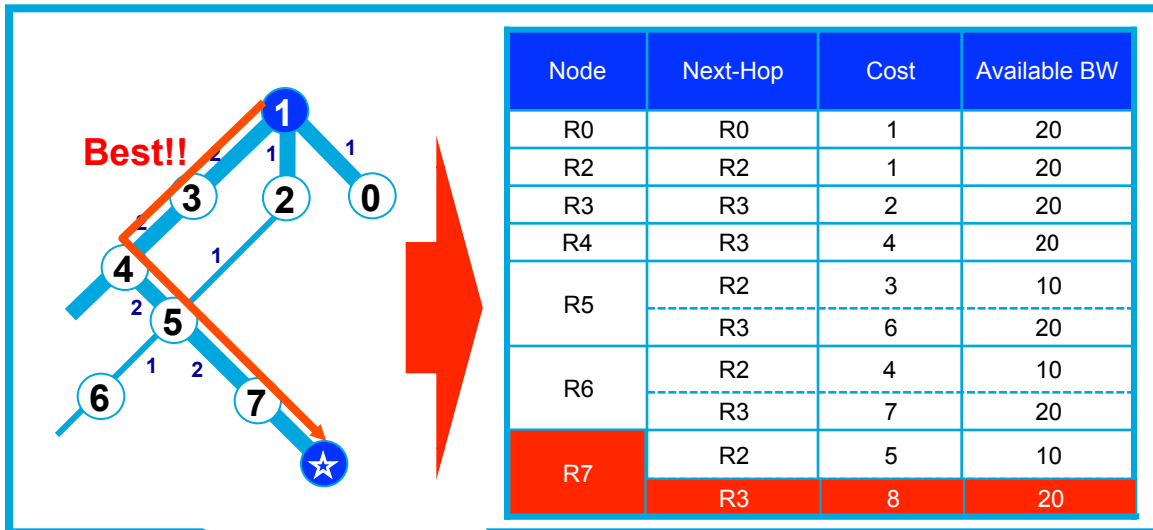


- Metric(COST)値に基づくSPTの Best-pathにのみパケットをフォワーディング

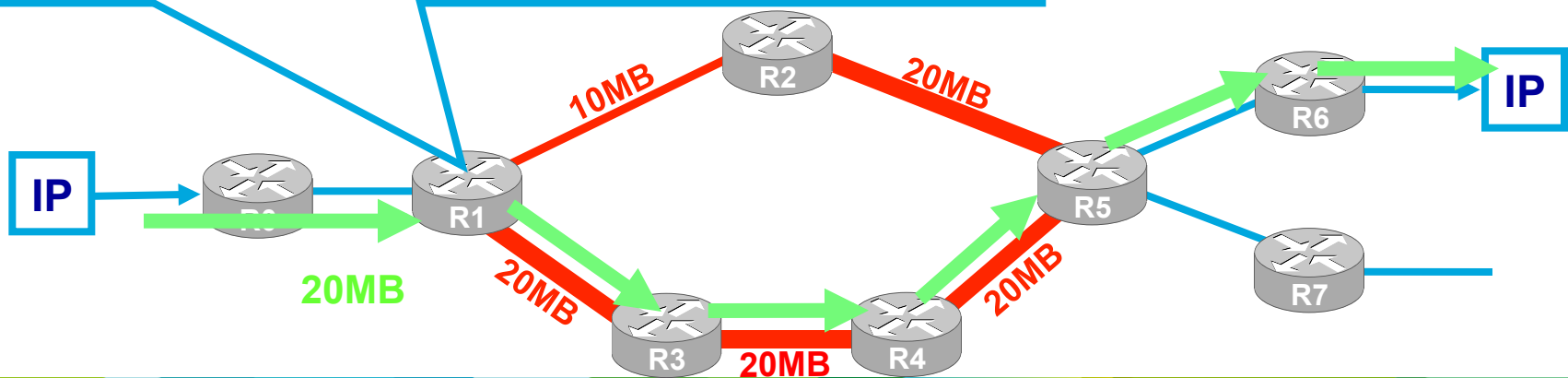


Constrained-based SPF Algorithm

- Constrained-based SPF Algorithm



- Metric値に加え、利用可能帯域やLink-attribute等に基づいてBest-pathを選択



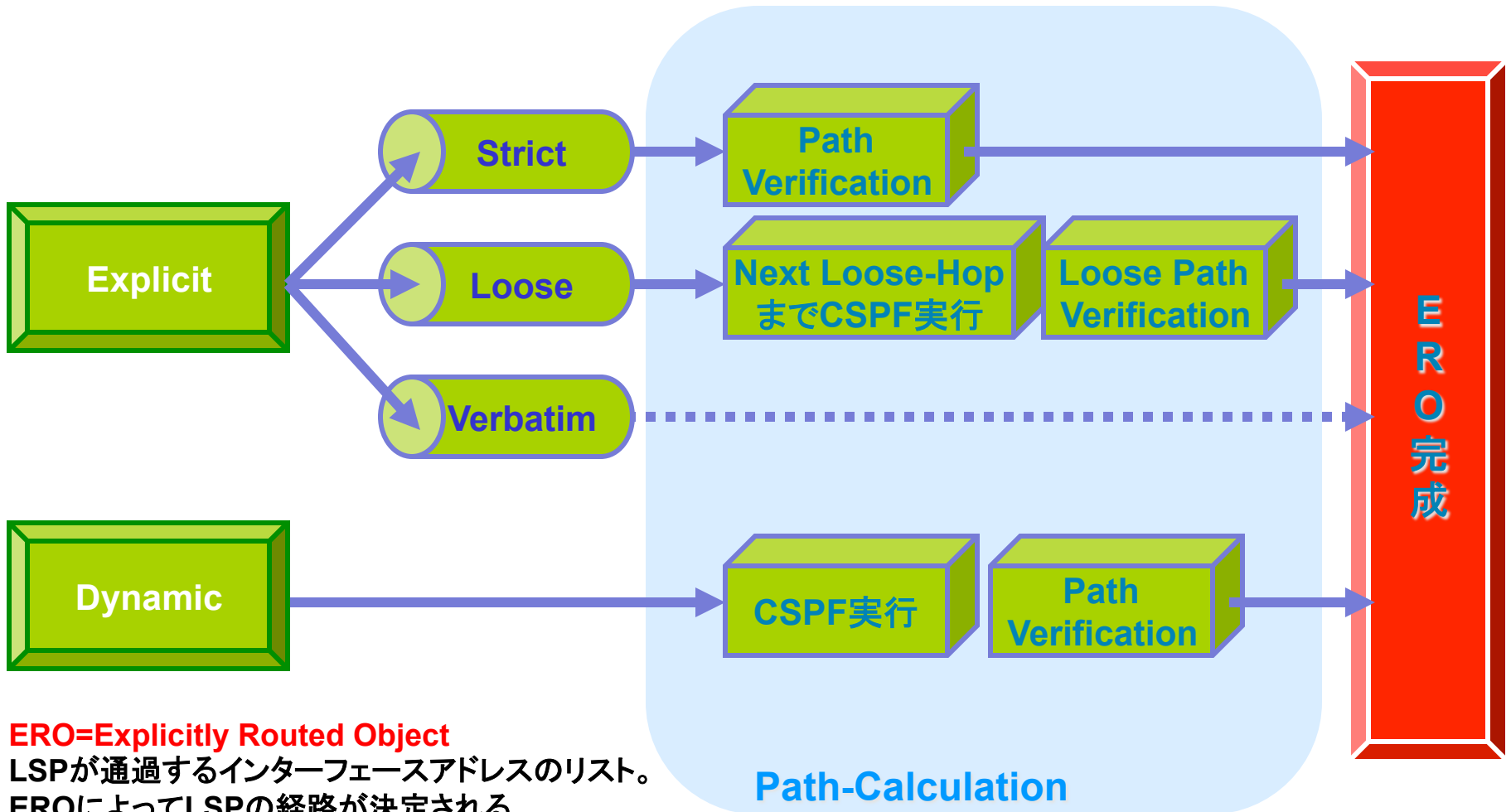
CSPF Algorithm

1. 帯域要件を満たさないリンクは除外
2. Affinity要件を満たさないリンクを除外
3. 上記から残ったリンクにダイクストラを実行。この際 Administrative Weight(TE Metric)が設定されていない場合はIGP MetricがTE Metricとして使用される
4. まだ複数パスが存在する場合は下記条件に従って唯一のパスを選択
 - IGPのコスト最小のパス
 - 最小使用可能帯域が最も大きいパス
 - ホップ数が最も少ないパス
 - ランダムに選択

Path Verification

- path verificationはEROに指定されているリンクをトポロジデータベースと照らし合わせ、リンクID/Available BW/Attributeを確認(Path Verify)する
- リンクがTEDBに存在しない、または要件を満たさない場合、パス計算は失敗する
- 完全にPath Verifyを行わない設定→Verbatim Option

EROが完成するまで・・・



ERO=Explicitly Routed Object

LSPが通過するインターフェースアドレスのリスト。

EROによってLSPの経路が決定される。

詳細はパス・セットアップ章を参照

トポロジーデータベースの表示

show mpls traffic-eng topology

```
Link[1]:Point-to-Point, Nbr IGP Id:10.255.255.4, Nbr Node Id:9, gen:6432
  Frag Id:4, Intf Address:10.10.1.17, Intf Id:0
  Nbr Intf Address:10.10.1.18, Nbr Intf Id:0
  TE Metric:1, IGP Metric:1
  Attribute Flags: 0x0
  Ext Admin Group:
    Length: 256 bits
    Value : 0x::
  Attribute Names:
  Switching Capability:None, Encoding:unassigned
  BC Model ID:RDM
  Physical BW:1000000 (kbps), Max Reservable BW Global:750000 (kbps)
  Max Reservable BW Sub:0 (kbps)
```

	Total Allocated BW (kbps)	Global Pool Reservable BW (kbps)	Sub Pool Reservable BW (kbps)
bw[0]:	0	750000	0
bw[1]:	0	750000	0
bw[2]:	0	750000	0
bw[3]:	0	750000	0
bw[4]:	500	749500	0
bw[5]:	0	749500	0
bw[6]:	0	749500	0
bw[7]:	1000	748500	0

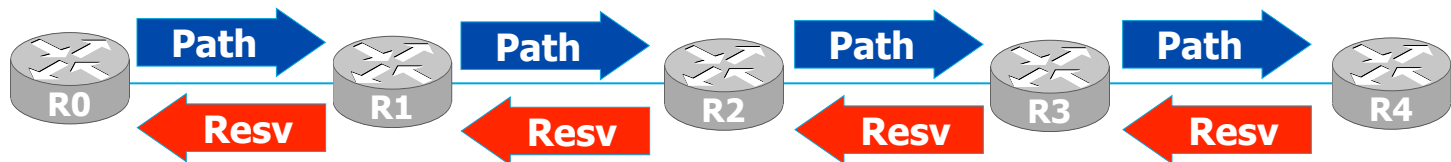


Agenda

- MPLS TE概要
- 情報の分配
- パス計算
- **パスセットアップ**
- ルートへの適用
- Q&A

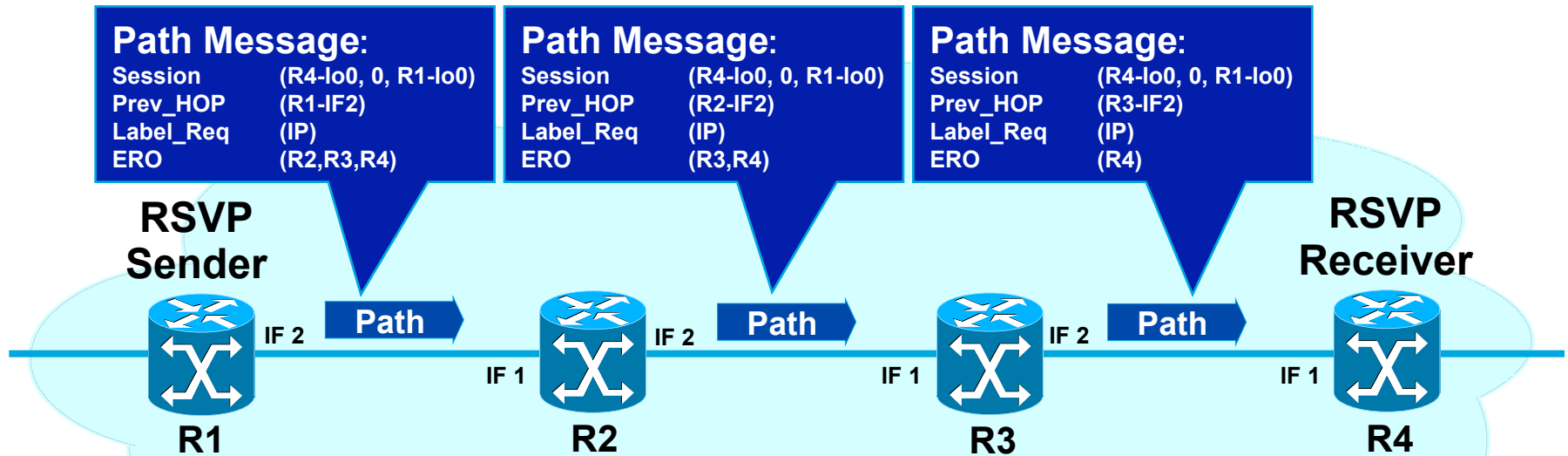
Ready to setup the LSP

- EROが完成すると、Label Switched Path(LSP)のセットアップを開始
- RSVPを使用したLSP signaling (RFC3209)
downstream-on-demand label allocation
- RSVP Path / Resv Messageを使用してLSP確立
転送に使われるLabelはResv Messageに含まれる



RSVP LSP シグナリング概要

RSVPシグナリング概要

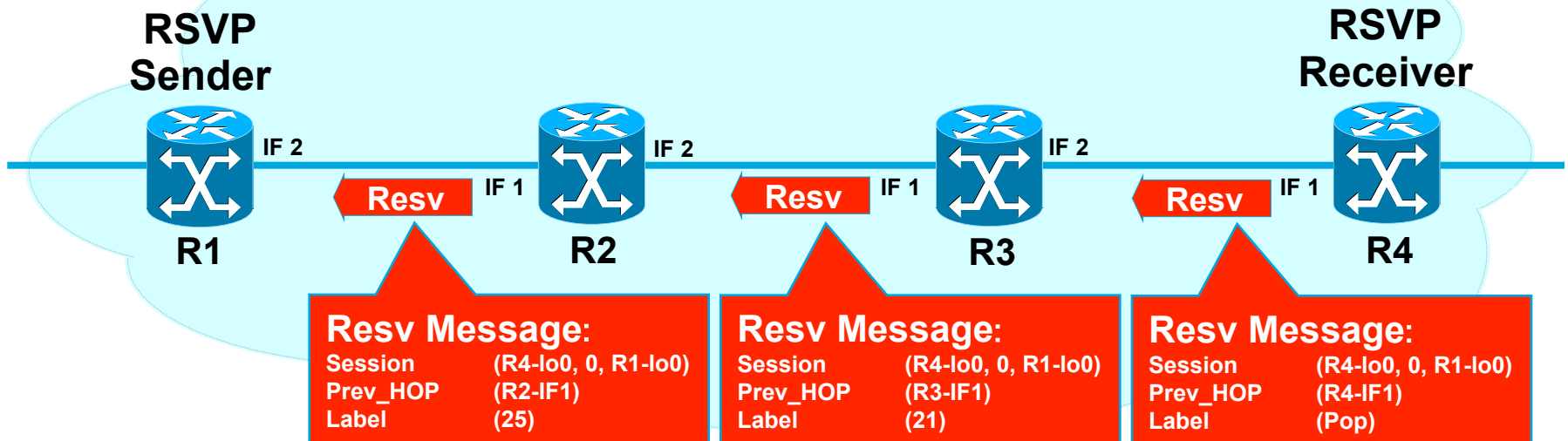


RSVP Sender がERO を計算し、そのERO に基づいて、Path メッセージがHop by Hop で、Sender からReceiver へ送られる。

RSVP LSP シグナリング概要

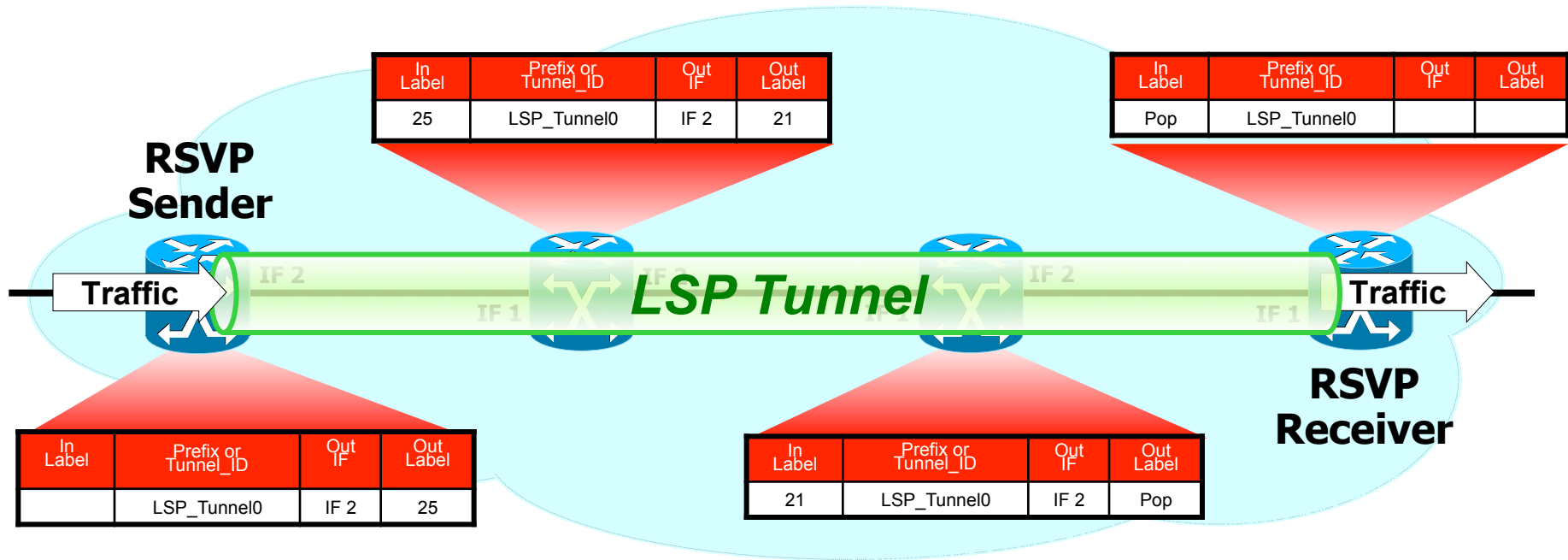
RSVPシグナリング概要

Path メッセージとは逆方向にResvメッセージを送り、Hop by Hop でラベルをアサインしていく。



RSVP LSP シグナリング概要

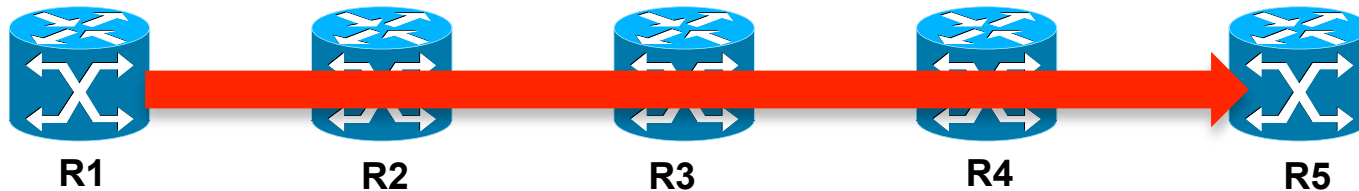
RSVPシグナリング概要



アサインしたラベルをLFIB に登録することで、
Sender-Receiver 間で、LSP_Tunnel を確立

EROの作成/パスセットアップ

```
RP/0/0/CPU0:R1#show explicit-paths
Tue Jan  7 17:22:12.687 UTC
Path R1-R2-R3-R4-R5    status enabled
   1: next-address strict 10.10.1.2
   2: next-address strict 10.10.1.10
   3: next-address strict 10.10.1.18
   4: next-address strict 10.10.1.22
   5: next-address strict 10.255.255.5
RP/0/0/CPU0:R1#show running-config interface tunnel-te 1
Tue Jan  7 17:22:47.045 UTC
interface tunnel-te1
  ipv4 unnumbered Loopback0
  signalled-bandwidth 1000
  destination 10.255.255.5
  record-route
  path-option 1 explicit name R1-R2-R3-R4-R5
  path-option 2 dynamic
!
```

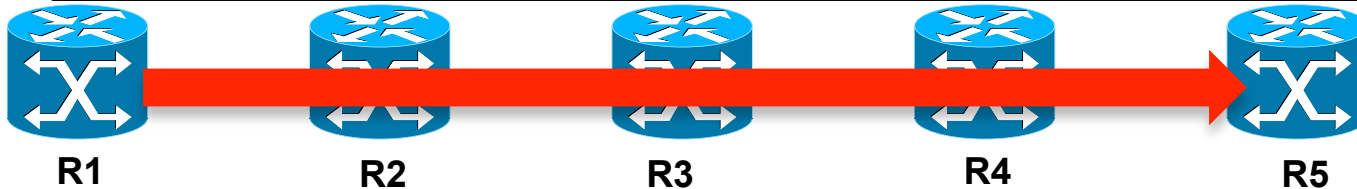


CSPF/Path Verificationの結果表示

show mpls traffic-eng tunnels 1 detail

```
Name: tunnel-te1 Destination: 10.255.255.5
Signalled-Name: R1_t1
Status:
  Admin:    up Oper:    up Path:  valid Signalling: connected

  path option 1, type explicit R1-R2-R3-R4-R5 (Basis for Setup, path weight 4)
  path option 2, type dynamic
G-PID: 0x0800 (derived from egress interface properties)
Bandwidth Requested: 1000 kbps CT0
Creation Time: Tue Jan  7 09:05:18 2014 (08:28:31 ago)
Config Parameters:
  Bandwidth:    1000 kbps (CT0) Priority:  7 7 Affinity: 0x0/0xffff
  Metric Type:  TE (default)
  Hop-limit:   disabled
  AutoRoute:   disabled LockDown: disabled Policy class: not set
  Forward class: 0 (default)
  Forwarding-Adjacency: disabled
  Loadshare:   0 equal loadshares
  Auto-bw:     disabled
  Fast Reroute: Disabled, Protection Desired: None
  Path Protection: Not Enabled
  BFD Fast Detection: Disabled
  Reoptimization after affinity failure: Enabled
  Soft Preemption: Disabled
===snip==
```



PSVP Path/Resvの結果表示

show mpls traffic-eng tunnels 1 detail

Current LSP Info:

Instance: 9, Signaling Area: OSPF 1 area 0
Uptime: 08:18:16 (since Tue Jan 07 09:25:51 UTC 2014)
Outgoing Interface: GigabitEthernet0/0/0/0, Outgoing Label: 16000
Router-IDs: local 10.255.255.1
 downstream 10.255.255.2

Soft Preemption: None

Path Info:

Outgoing:

Explicit Route:

Strict, 10.10.1.2
Strict, 10.10.1.10
Strict, 10.10.1.18
Strict, 10.10.1.22
Strict, 10.255.255.5

Record Route: Empty

Tspec: avg rate=1000 kbits, burst=1000 bytes, peak rate=1000 kbits

Session Attributes: Local Prot: Not Set, Node Prot: Not Set, BW Prot: Not Set

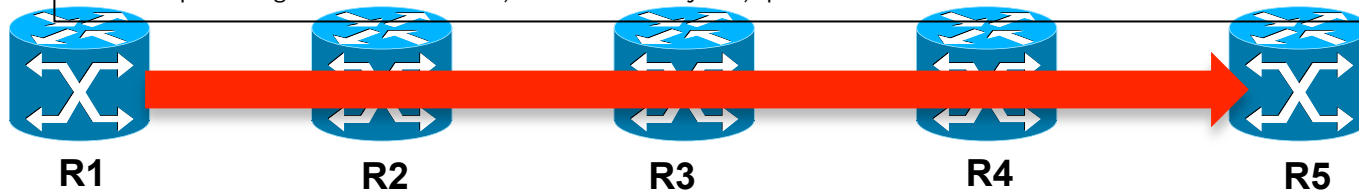
Soft Preemption Desired: Not Set

Resv Info:

Record Route:

IPv4 10.10.1.2, flags 0x0
IPv4 10.10.1.10, flags 0x0
IPv4 10.10.1.18, flags 0x0
IPv4 10.10.1.22, flags 0x0

Fspec: avg rate=1000 kbits, burst=1000 bytes, peak rate=1000 kbits



PSVP Path/Resvの結果表示

show mpls traffic-eng tunnels 1 detail

Current LSP Info:

Instance: 9, Signaling Area: OSPF 1 area 0
Uptime: 08:18:16 (since Tue Jan 07 09:25:51 UTC 2014)
Outgoing Interface: GigabitEthernet0/0/0/0, Outgoing Label: 16000
Router-IDs: local 10.255.255.1
 downstream 10.255.255.2

Soft Preemption: None

Path Info:

Outgoing:

Explicit Route:

Strict, 10.10.1.2
Strict, 10.10.1.10
Strict, 10.10.1.18
Strict, 10.10.1.22
Strict, 10.255.255.5

Record Route: Empty

Tspec: avg rate=1000 kbits, burst=1000 bytes, peak rate=1000 kbits

Session Attributes: Local Prot: Not Set, Node Prot: Not Set, BW Prot: Not Set

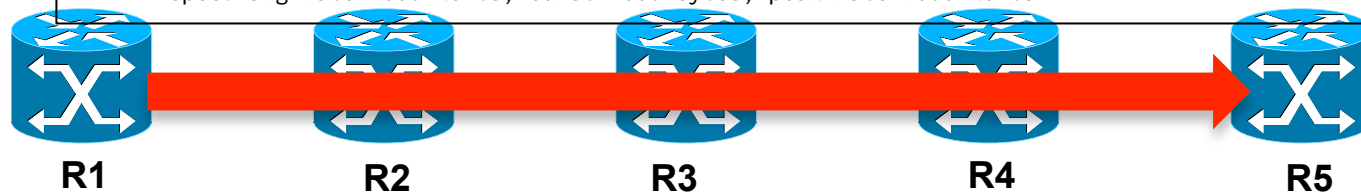
Soft Preemption Desired: Not Set

Resv Info:

Record Route:

IPv4 10.10.1.2, flags 0x0
IPv4 10.10.1.10, flags 0x0
IPv4 10.10.1.18, flags 0x0
IPv4 10.10.1.22, flags 0x0

Fspec: avg rate=1000 kbits, burst=1000 bytes, peak rate=1000 kbits

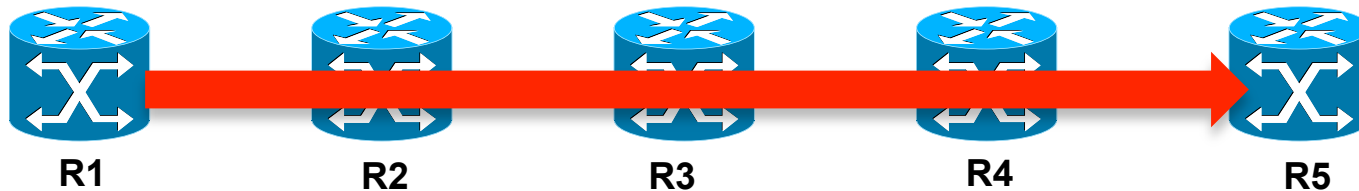


PSVP Path/Resvの結果表示

show mpls traffic-eng tunnels on Midpoint

```
LSP Tunnel 10.255.255.1 1 [9] is signalled, connection is up
Tunnel Name: R1_t1 Tunnel Role: Mid
InLabel: GigabitEthernet0/0/0/1, 16000
OutLabel: GigabitEthernet0/0/0/0, 16000
Signalling Info:
  Src 10.255.255.1 Dst 10.255.255.5, Tun ID 1, Tun Inst 9, Ext ID 10.255.255.1
  Router-IDs: upstream  10.255.255.2
              local    10.255.255.3
              downstream 10.255.255.4
Bandwidth: 1000 kbps (CT0) Priority:  7  7 DSTE-class: 0
Soft Preemption: None
Path Info:
  Incoming Address: 10.10.1.10
  Incoming:
  Explicit Route:
    Strict, 10.10.1.10
    Strict, 10.10.1.18
    Strict, 10.10.1.22
    Strict, 10.255.255.5

  Outgoing:
  Explicit Route:
    Strict, 10.10.1.18
    Strict, 10.10.1.22
    Strict, 10.255.255.5
==cont' d==
```



PSVP Path/Resvの結果表示

show mpls traffic-eng tunnels on Midpoint

Record Route:

IPv4 10.10.1.9, flags 0x0

IPv4 10.10.1.1, flags 0x0

Tspec: avg rate=1000 kbits, burst=1000 bytes, peak rate=1000 kbits

Session Attributes: Local Prot: Not Set, Node Prot: Not Set, BW Prot: Not Set

Soft Preemption Desired: Not Set

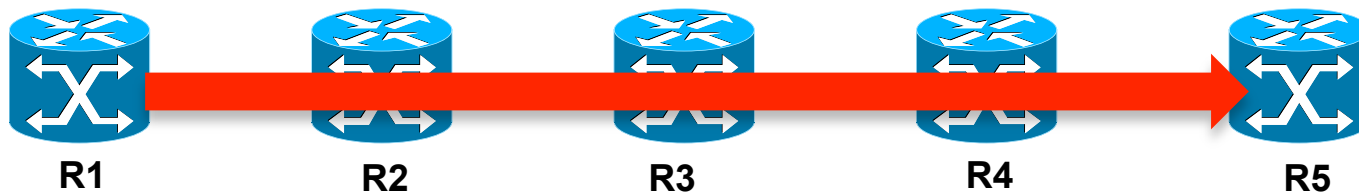
Resv Info:

Record Route:

IPv4 10.10.1.18, flags 0x0

IPv4 10.10.1.22, flags 0x0

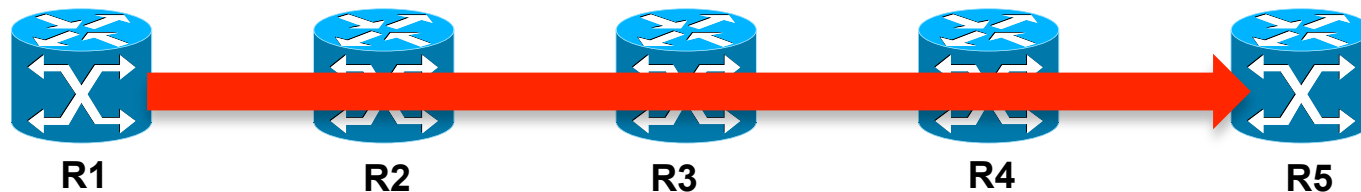
Fspec: avg rate=1000 kbits, burst=1000 bytes, peak rate=1000 kbit



PSVP Path/Resvの結果表示

show mpls traffic-eng tunnels on tailend

```
LSP Tunnel 10.255.255.1 1 [9] is signalled, connection is up
Tunnel Name: R1_t1 Tunnel Role: Tail
InLabel: GigabitEthernet0/0/0/1, implicit-null
Signalling Info:
  Src 10.255.255.1 Dst 10.255.255.5, Tun ID 1, Tun Inst 9, Ext ID 10.255.255.1
  Router-IDs: upstream 10.255.255.4
              local   10.255.255.5
  Bandwidth: 1000 kbps (CT0) Priority: 7 7 DSTE-class: 0
  Soft Preemption: None
Path Info:
  Incoming Address: 10.10.1.22
  Incoming:
  Explicit Route:
    Strict, 10.10.1.22
    Strict, 10.255.255.5
  Record Route:
    IPv4 10.10.1.21, flags 0x0
    IPv4 10.10.1.17, flags 0x0
    IPv4 10.10.1.9, flags 0x0
    IPv4 10.10.1.1, flags 0x0
  Tspec: avg rate=1000 kbits, burst=1000 bytes, peak rate=1000 kbits
  Session Attributes: Local Prot: Not Set, Node Prot: Not Set, BW Prot: Not Set
                    Soft Preemption Desired: Not Set
Resv Info: None
Record Route: Disabled
Fspec: avg rate=1000 kbits, burst=1000 bytes, peak rate=1000 kbits
```

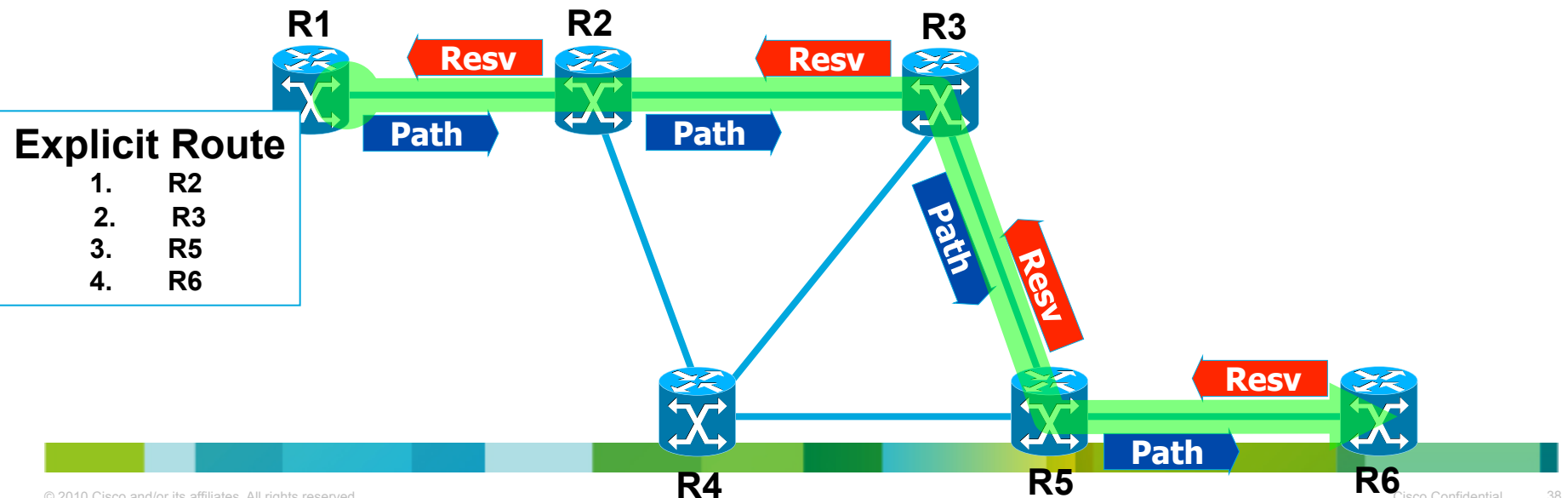


RSVP LSP シグナリング概要

ERO = Explicit Route オブジェクトとは？

RSVPのPath メッセージの経路を決定するRSVPのオブジェクト。
RSVPのResvメッセージはPathメッセージと逆方向で返ってくるので、EROの各エントリがLSP_Tunnelの通過リンク(or ノード)を決定する役目を担っている。

EROのエントリには必ず次のNextHopを指定する”Strict” と経路地点を指定する「Loose」があり、「Strict」と「Loose」は混在して使用可能である。



RSVP LSP シグナリング概要

ERO = Explicit Route オブジェクトとは？

EROのエントリが「Strict」の場合

Explicit Route

1. R2 , Strict
2. R4 , Strict
3. R5 , Strict
4. R6 , Strict

ERO

1. R2 , Strict
2. R4 , Strict
3. R5 , Strict
4. R6 , Strict

ERO

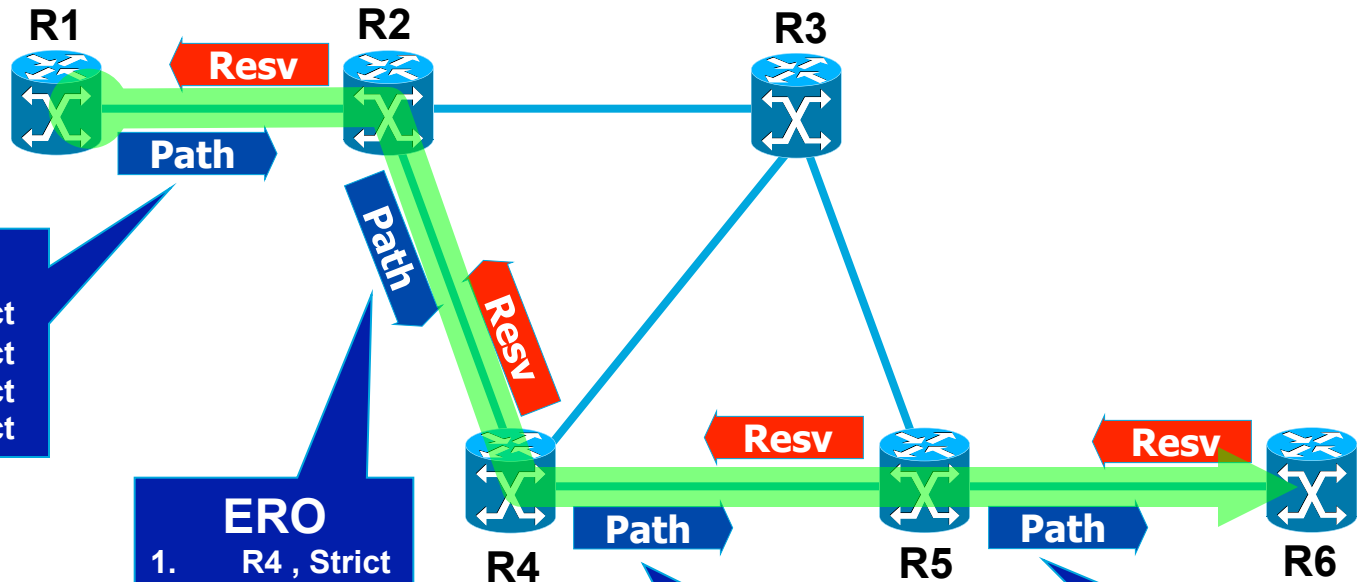
1. R4 , Strict
2. R5 , Strict
3. R6 , Strict

ERO

1. R5 , Strict
2. R6 , Strict

ERO

1. R6 , Strict



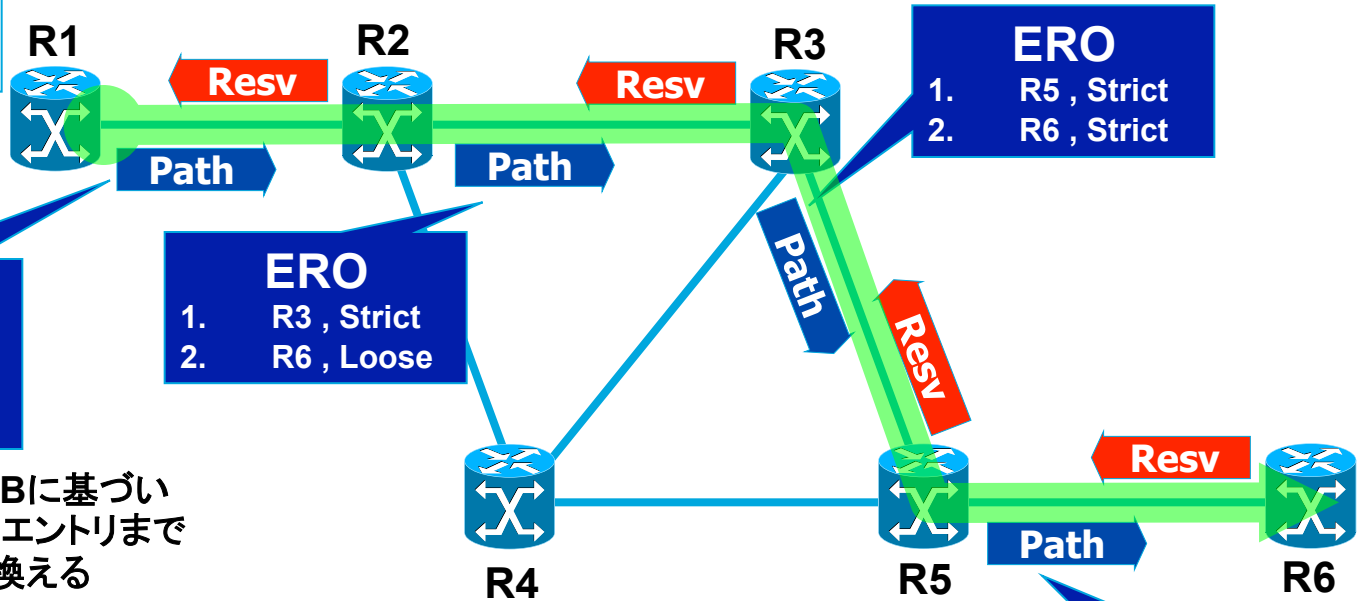
RSVP LSP シグナリング概要

ERO = Explicit Route オブジェクトとは？

EROのエントリが「Loose」の場合

Explicit Route

1. R3 , Loose
2. R6 , Loose

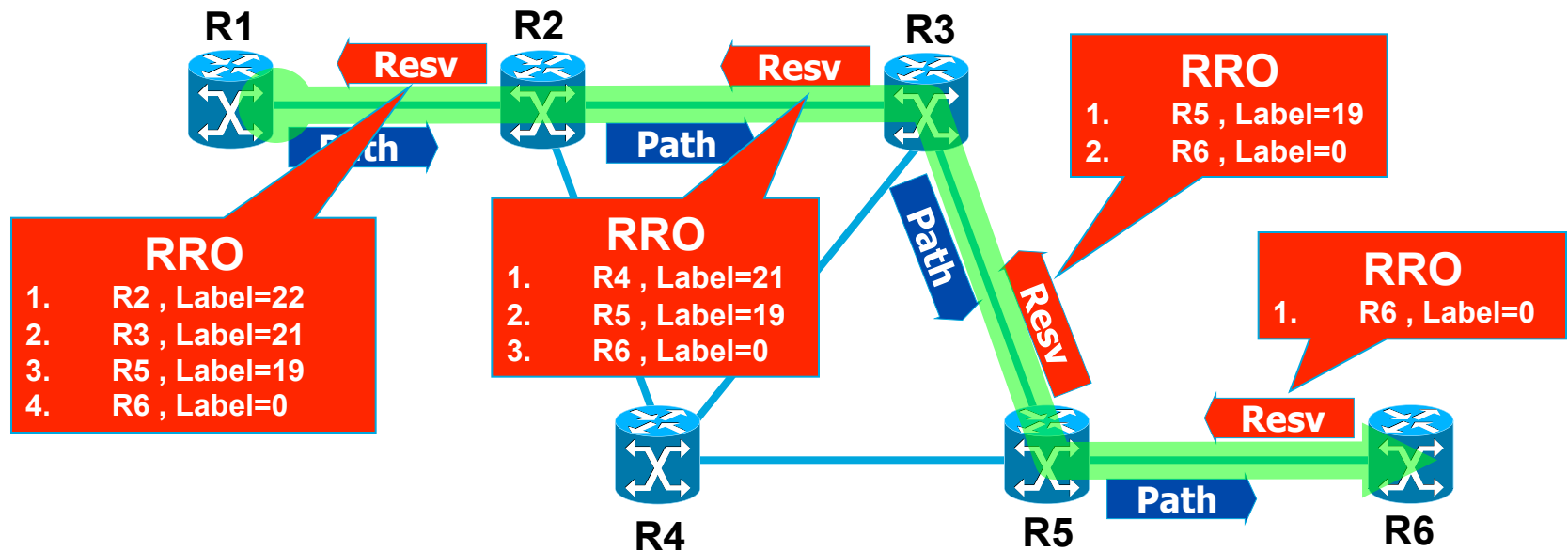


自分のもつトポロジーDBに基づいて最初のLoose指定のエントリまでのStrictエントリに書き換える

RSVP LSP シグナリング概要

RRO = Record Route オブジェクトとは？

Path/Resvメッセージに含まれメッセージの通過経路を記録するオブジェクト。
基本的にはResvメッセージに含まれ、同時にアサインされたラベルも記録することもできる。RSVPメッセージのLoop検知やFast Rerouteに使用される。



Agenda

- MPLS TE概要
- 情報の分配
- パス計算
- パスセットアップ
- **ルートへの適用**
- Q&A

ルーティングへの適用方法

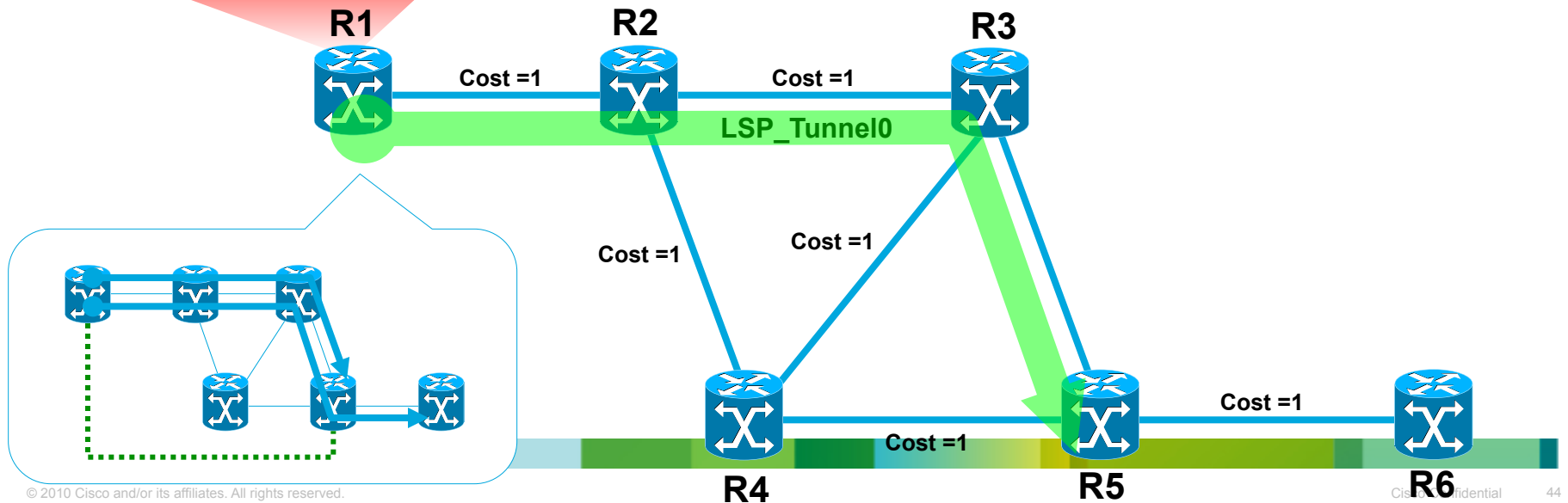
- Autoroute
- Static route
- Policy Based Routing

ルーティングへの適用

LSP_Tunnelを設定しただけでは・・・

RSVPによって設定されたLSP_Tunnelは、ルーティングテーブルには現れることはない

Node	NextHop	Cost
R2	R2	1
R3	R2	2
R4	R2	2
R5	R2	3
R6	R6	4



Autoroute Announce

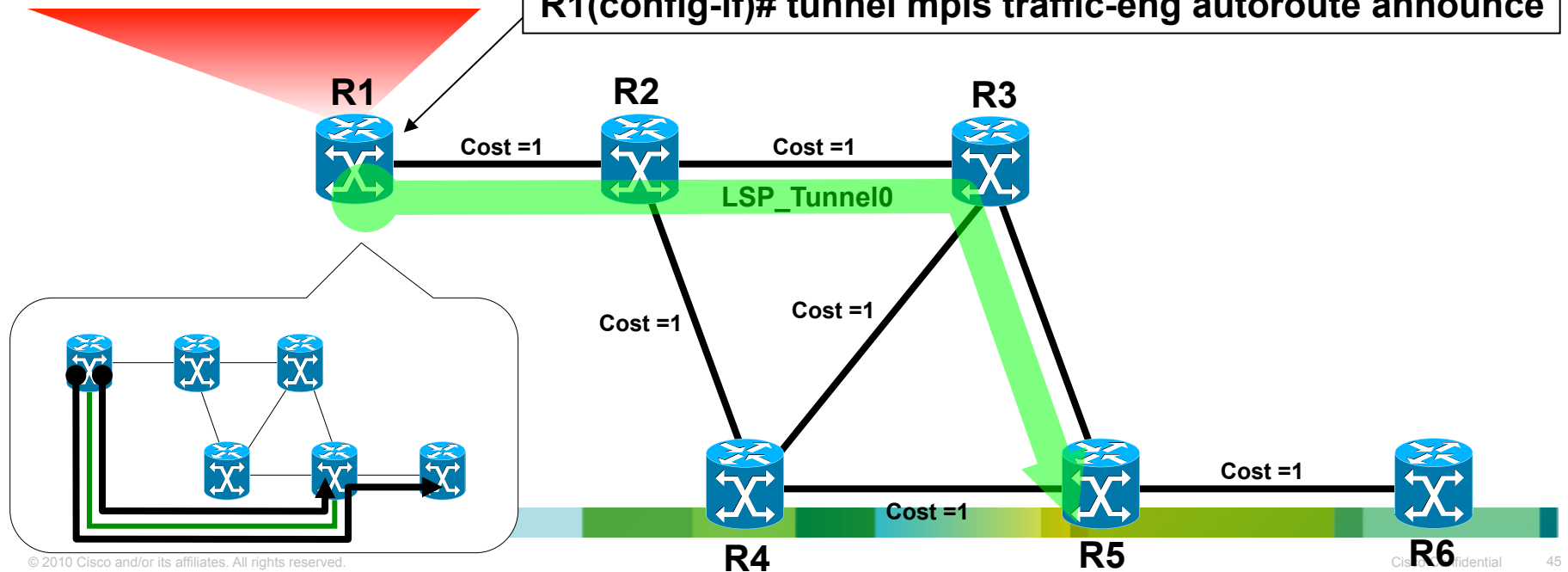
autoroute announce

Node	NextHop	Cost
R2	R2	1
R3	R2	2
R4	R2	2
R5	Tunnel0	3
R6	Tunnel0	4

LSP_Tunnel を
Direct Connect インターフェースとして認識させる

LSP_Tunnel経路が最短経路となるルートすべての
NextHopがTunnel0となる

```
R1(config-if)# tunnel mpls traffic-eng autoroute announce
```



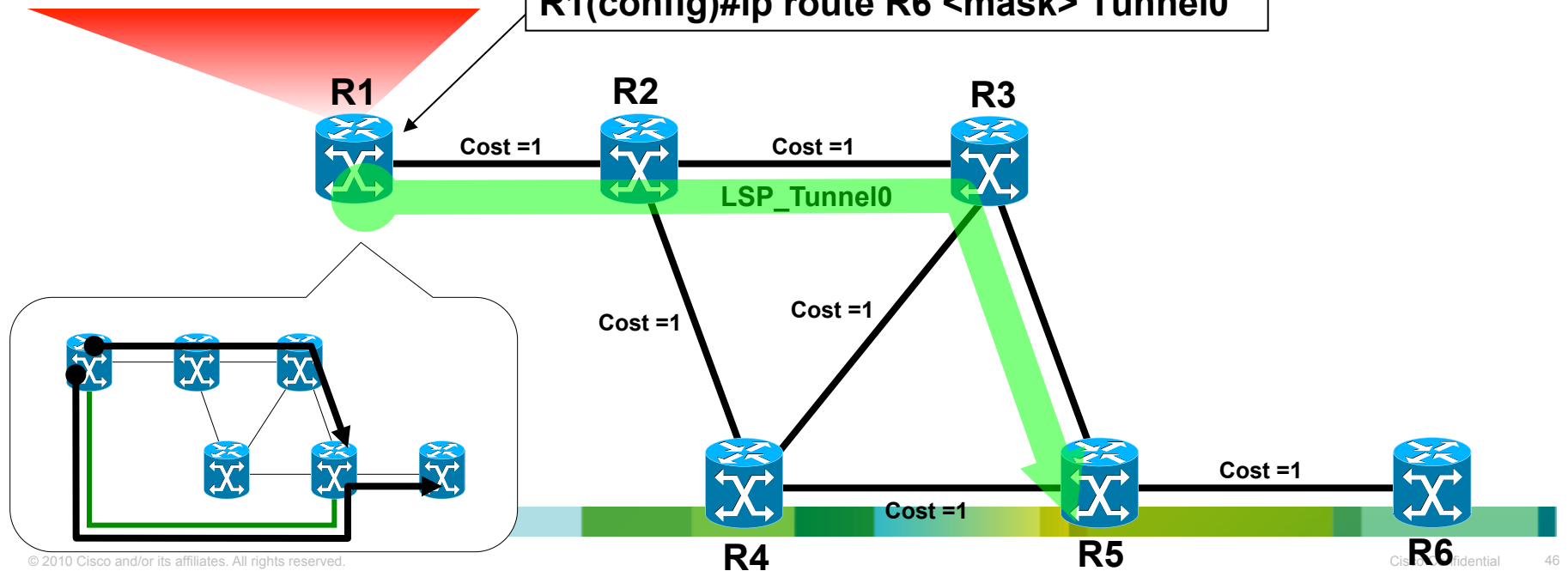
Static Route

Static route

Node	NextHop	Cost
R2	R2	1
R3	R2	2
R4	R2	2
R5	R2	3
R6	Tunnel0	4

Staticを設定されていない「R5」に関しては、通常のルーティングに基づく最短経路が選択される

```
R1(config)#ip route R6 <mask> Tunnel0
```



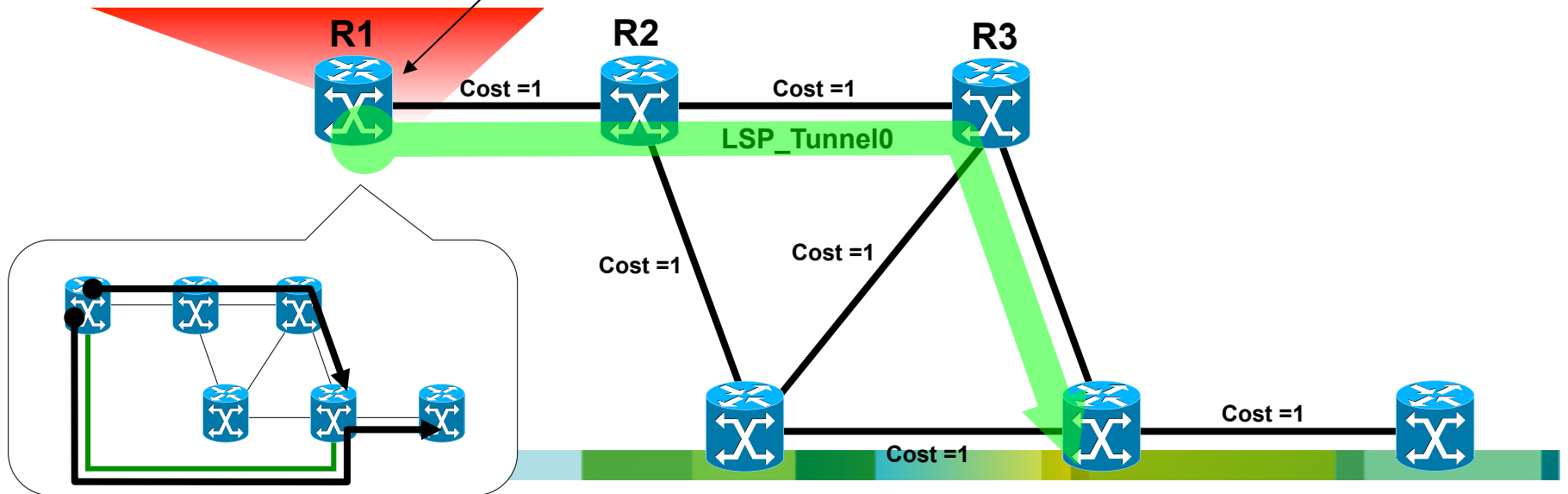
Policy Based Routing

Policy Based Routing

Node	NextHop	Cost
R2	R2	1
R3	R3	2
R4	R3	2
R5	R2	3
R6	R2	4

ルーティングテーブルには反映されないが、
トラフィックはTunnel経由で流れる

```
R1(config)#ip policy route-map set-tunnel
R1(config)#route-map set-tunnel
R1(config-route-map)#match ip address R6
R1(config-route-map)#set interface Tunnel0
```



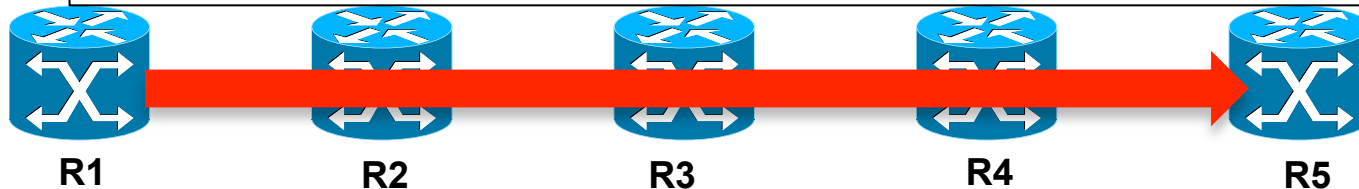
IGPルーティングテーブル

```
RP/0/0/CPU0:R1#show route ipv4  
Tue Jan 7 18:16:15.385 UTC
```

```
Codes: C - connected, S - static, R - RIP, B - BGP, (>) - Diversion path  
D - EIGRP, EX - EIGRP external, O - OSPF, IA - OSPF inter area  
N1 - OSPF NSSA external type 1, N2 - OSPF NSSA external type 2  
E1 - OSPF external type 1, E2 - OSPF external type 2, E - EGP  
i - ISIS, L1 - IS-IS level-1, L2 - IS-IS level-2  
ia - IS-IS inter area, su - IS-IS summary null, * - candidate default  
U - per-user static route, o - ODR, L - local, G - DAGR  
A - access/subscriber, a - Application route, (!) - FRR Backup path
```

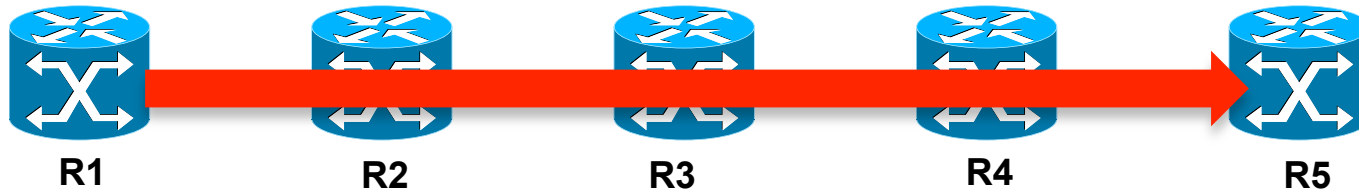
Gateway of last resort is not set

```
C 10.10.1.0/30 is directly connected, 12:19:40, GigabitEthernet0/0/0/0  
L 10.10.1.1/32 is directly connected, 12:19:40, GigabitEthernet0/0/0/0  
C 10.10.1.4/30 is directly connected, 12:19:40, GigabitEthernet0/0/0/1  
L 10.10.1.5/32 is directly connected, 12:19:40, GigabitEthernet0/0/0/1  
O 10.10.1.8/30 [110/2] via 10.10.1.2, 10:31:42, GigabitEthernet0/0/0/0  
O 10.10.1.12/30 [110/2] via 10.10.1.2, 10:31:42, GigabitEthernet0/0/0/0  
O 10.10.1.16/30 [110/3] via 10.10.1.2, 10:28:00, GigabitEthernet0/0/0/0  
O 10.10.1.20/30 [110/3] via 10.10.1.2, 10:26:16, GigabitEthernet0/0/0/0  
L 10.255.255.1/32 is directly connected, 12:21:30, Loopback0  
O 10.255.255.2/32 [110/2] via 10.10.1.2, 10:31:42, GigabitEthernet0/0/0/0  
O 10.255.255.3/32 [110/3] via 10.10.1.2, 10:28:00, GigabitEthernet0/0/0/0  
O 10.255.255.4/32 [110/4] via 10.10.1.2, 10:27:20, GigabitEthernet0/0/0/0  
O 10.255.255.5/32 [110/3] via 10.10.1.2, 10:26:16, GigabitEthernet0/0/0/0
```



autoroute announce

```
RP/0/0/CPU0:R1(config-if)#autoroute announce
RP/0/0/CPU0:R1(config-if-tunte-aa)#commit
Tue Jan 7 18:18:47.205 UTC
RP/0/0/CPU0:Jan 7 18:18:47.465 : config[65708]: %MGBL-CONFIG-6-DB_COMMIT : Configuration committed by user 'cisco'. Use
'show configuration commit changes 1000000028' to view the changes.
RP/0/0/CPU0:R1(config-if-tunte-aa)#end
RP/0/0/CPU0:Jan 7 18:18:48.364 : config[65708]: %MGBL-SYS-5-CONFIG_I : Configured from console by cisco
RP/0/0/CPU0:R1#show running-config in
inheritance interface
RP/0/0/CPU0:R1#show running-config interface tunnel-te 1
Tue Jan 7 18:18:55.114 UTC
interface tunnel-te1
 ipv4 unnumbered Loopback0
 signalled-bandwidth 1000
 autoroute announce
 !
 destination 10.255.255.5
 record-route
 path-option 1 explicit name R1-R2-R3-R4-R5
 path-option 2 dynamic
 !
```



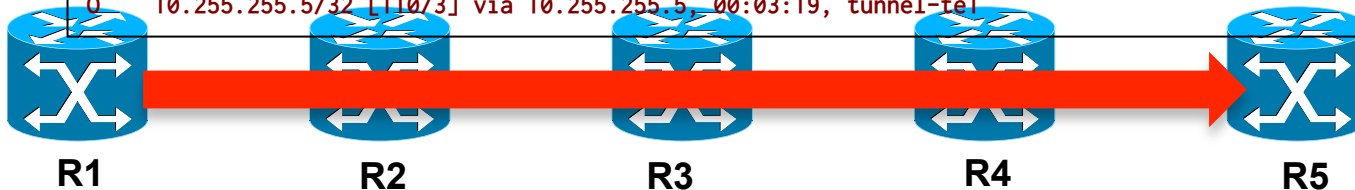
LSPのルーティングへのマッピング

```
RP/0/0/CPU0:R1#show route ipv4
Tue Jan 7 18:22:06.481 UTC
```

```
Codes: C - connected, S - static, R - RIP, B - BGP, (>) - Diversion path
D - EIGRP, EX - EIGRP external, O - OSPF, IA - OSPF inter area
N1 - OSPF NSSA external type 1, N2 - OSPF NSSA external type 2
E1 - OSPF external type 1, E2 - OSPF external type 2, E - EGP
i - ISIS, L1 - IS-IS level-1, L2 - IS-IS level-2
ia - IS-IS inter area, su - IS-IS summary null, * - candidate default
U - per-user static route, o - ODR, L - local, G - DAGR
A - access/subscriber, a - Application route, (!) - FRR Backup path
```

Gateway of last resort is not set

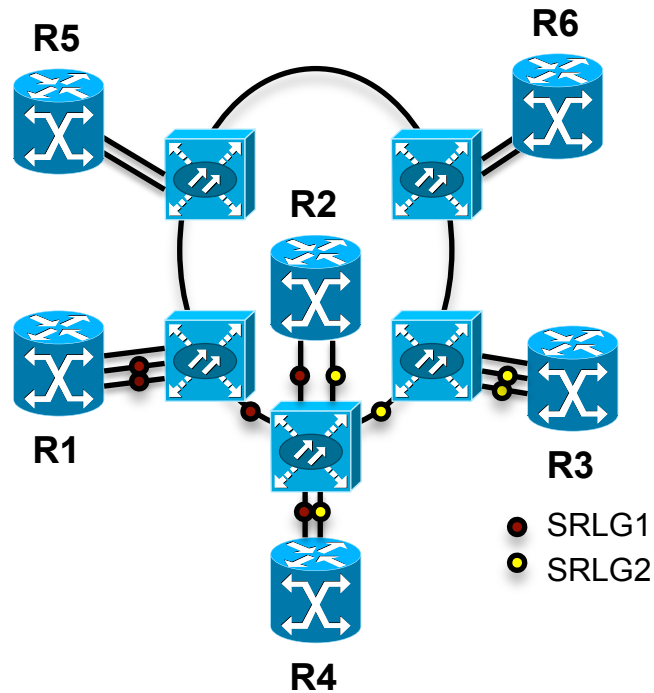
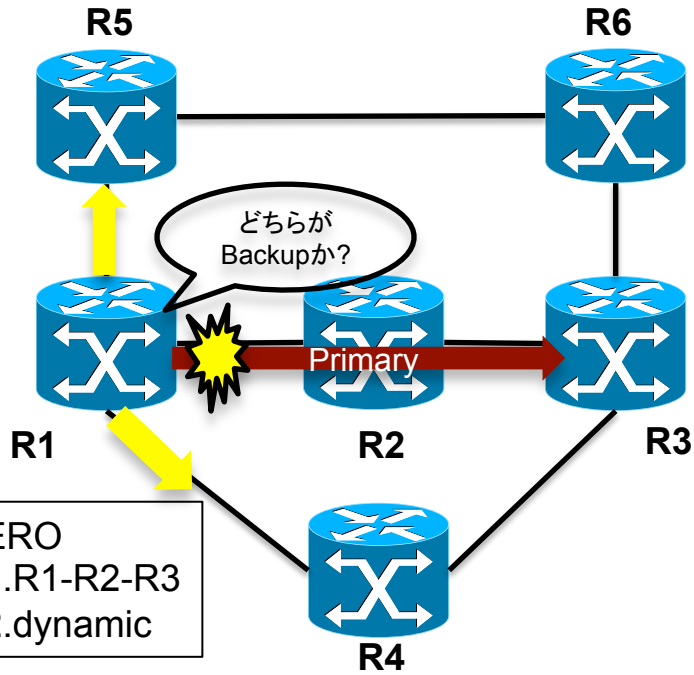
```
C 10.10.1.0/30 is directly connected, 12:25:31, GigabitEthernet0/0/0/0
L 10.10.1.1/32 is directly connected, 12:25:31, GigabitEthernet0/0/0/0
C 10.10.1.4/30 is directly connected, 12:25:31, GigabitEthernet0/0/0/1
L 10.10.1.5/32 is directly connected, 12:25:31, GigabitEthernet0/0/0/1
O 10.10.1.8/30 [110/2] via 10.10.1.2, 10:37:33, GigabitEthernet0/0/0/0
O 10.10.1.12/30 [110/2] via 10.10.1.2, 10:37:33, GigabitEthernet0/0/0/0
O 10.10.1.16/30 [110/3] via 10.10.1.2, 10:33:51, GigabitEthernet0/0/0/0
O 10.10.1.20/30 [110/3] via 10.255.255.5, 00:03:19, tunnel-te1
L 10.255.255.1/32 is directly connected, 12:27:21, Loopback0
O 10.255.255.2/32 [110/2] via 10.10.1.2, 10:37:33, GigabitEthernet0/0/0/0
O 10.255.255.3/32 [110/3] via 10.10.1.2, 10:33:51, GigabitEthernet0/0/0/0
O 10.255.255.4/32 [110/4] via 10.10.1.2, 00:03:19, GigabitEthernet0/0/0/0
O 10.255.255.5/32 [110/3] via 10.255.255.5, 00:03:19, tunnel-te1
```



まとめ

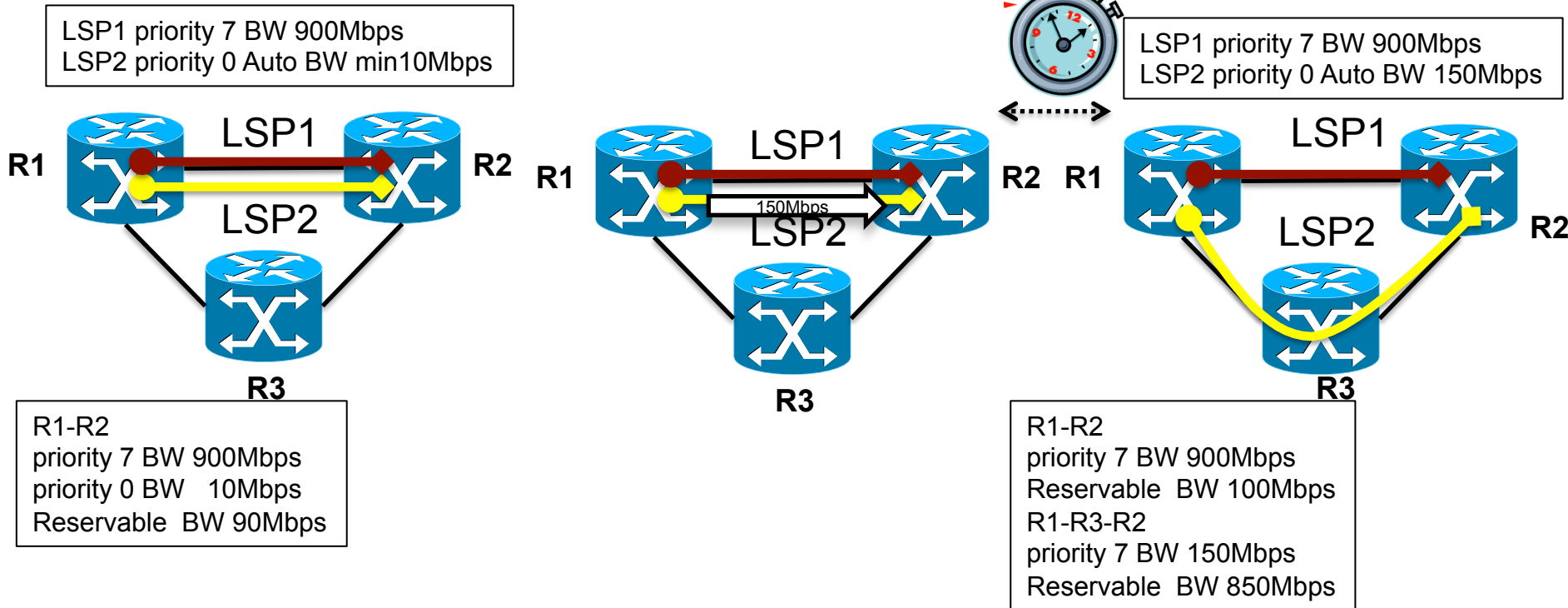
- 本セッションで下記が理解出来た。
 - ✓ MPLS TEで出来る事
 - ✓ MPLS TEとルーティングプロトコルの違い
 - ✓ MPLS TEで用いるプロトコル
- 楽しく聞けそう？

SRLG(Shared Risk Link Group)



- ファイバー経路を共有してるなど、リスクを共有しているリンクのグループ
- SRLGはCSPFの際に考慮され、SRLGは除外され計算される

MPLS-TE Automatic Bandwidth



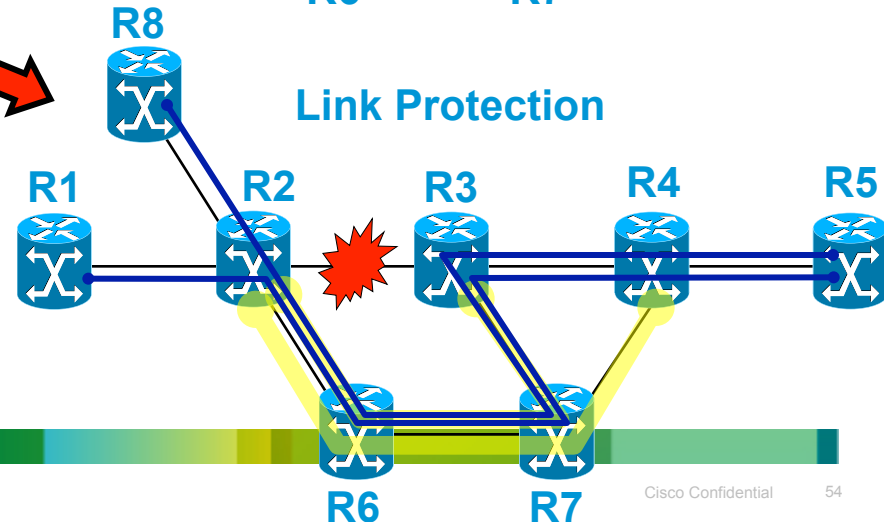
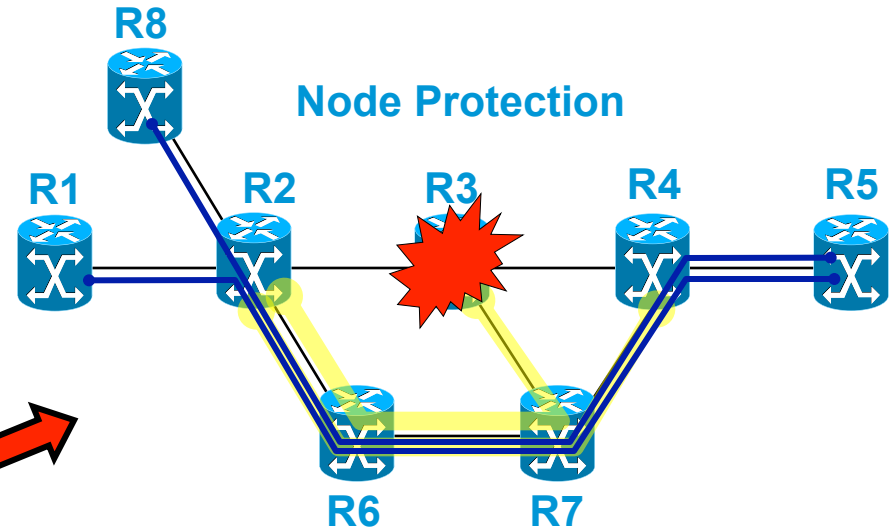
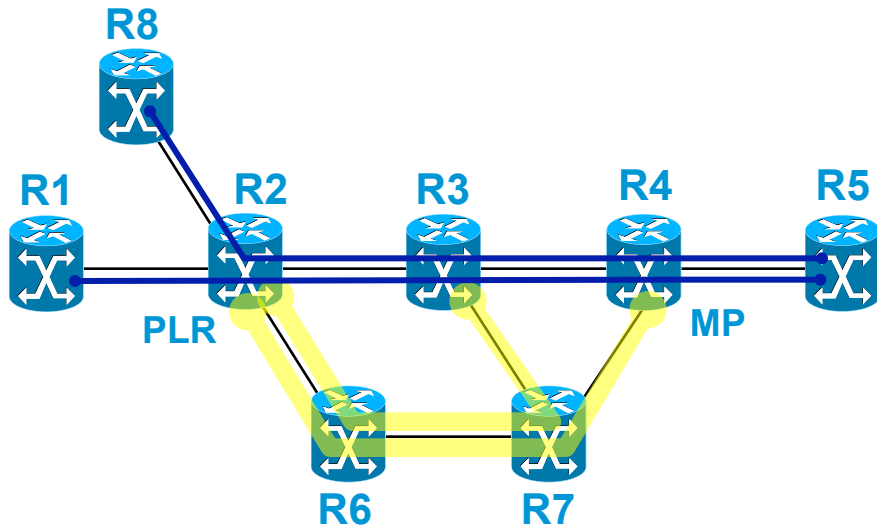
- MPLS TE AutoBWではLSP上に流れる実際のトラフィックをモニターし、LSPのセットアップBandwidthを調整する

MPLS-TE Fast Reroute

MPLS-TE Fast Reroute Method

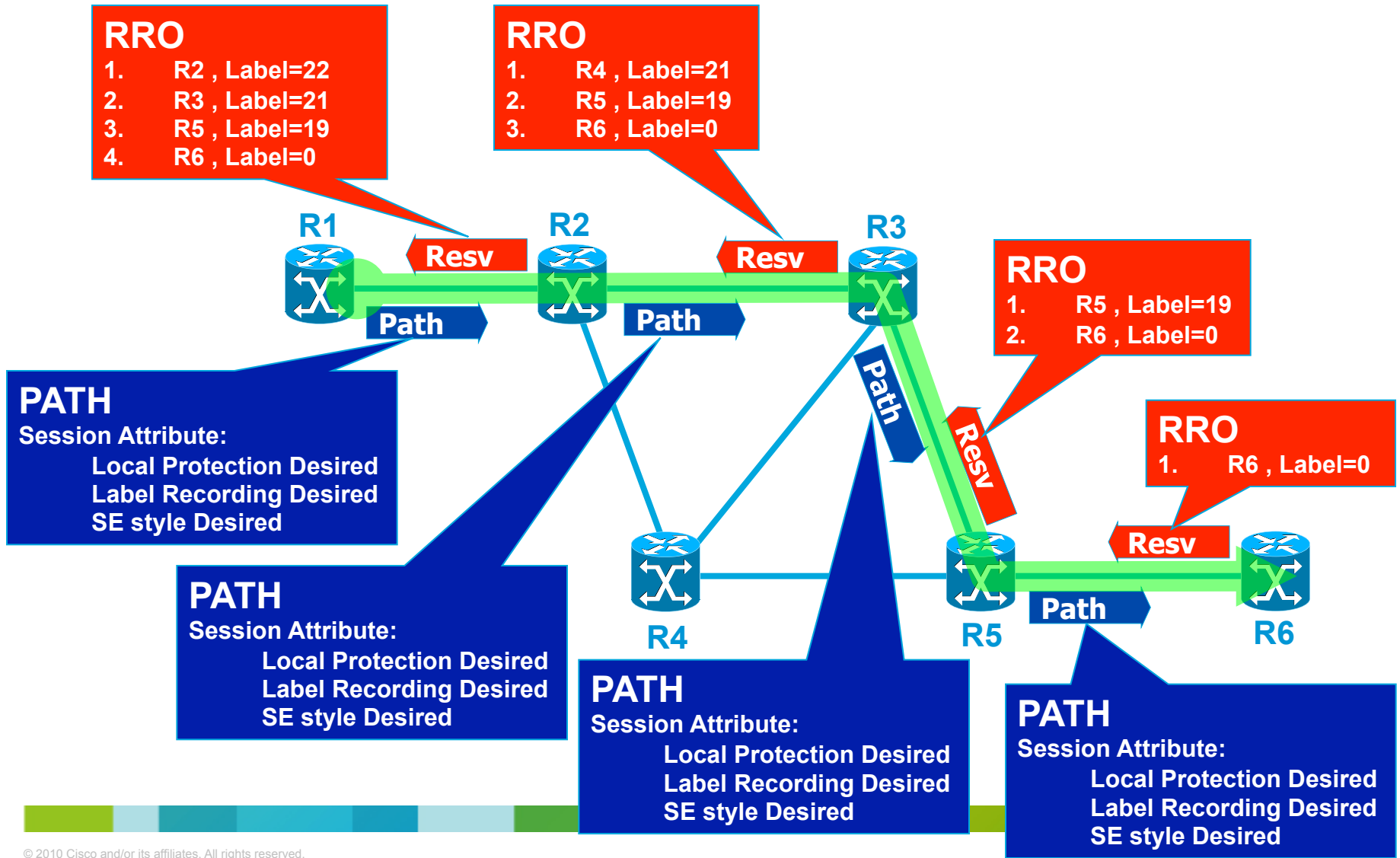
Facility Backup方式とは

- PLRからMPまで、Bypass LSPを設定
- N:1 protection
- SESSION_ATTRIBUTE OBJECT および、RECORDED_ROUTE OBJECT を使用



Bypass Tunnel

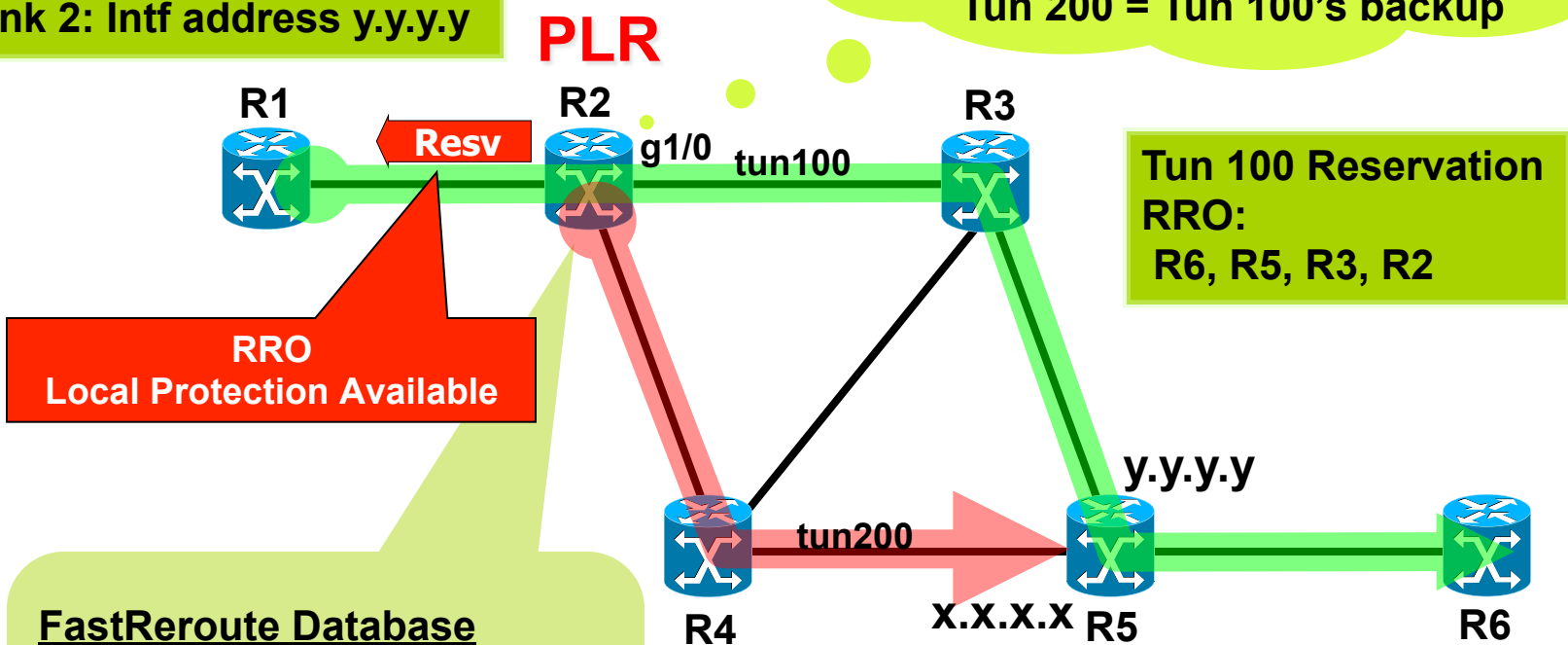
Headend + Mid-Point Behavior



PLR Behavior

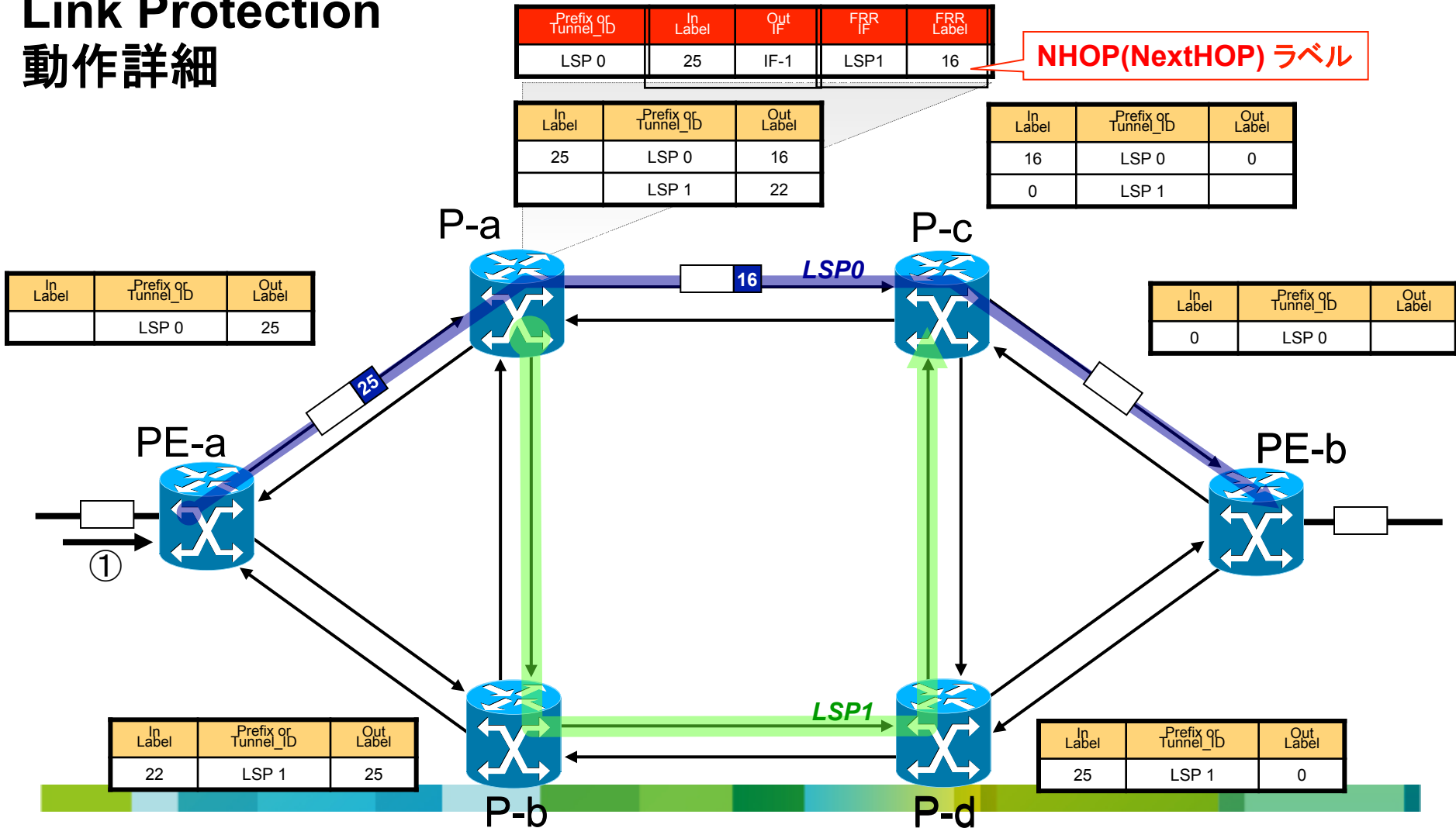
Topology Database:
Node R5
link 1: Intf address **x.x.x.x**
link 2: Intf address **y.y.y.y**

Tun 200's tailend = R5,
If R5 is R2's NNhop on
Tun100, then
Tun 200 = Tun 100's backup



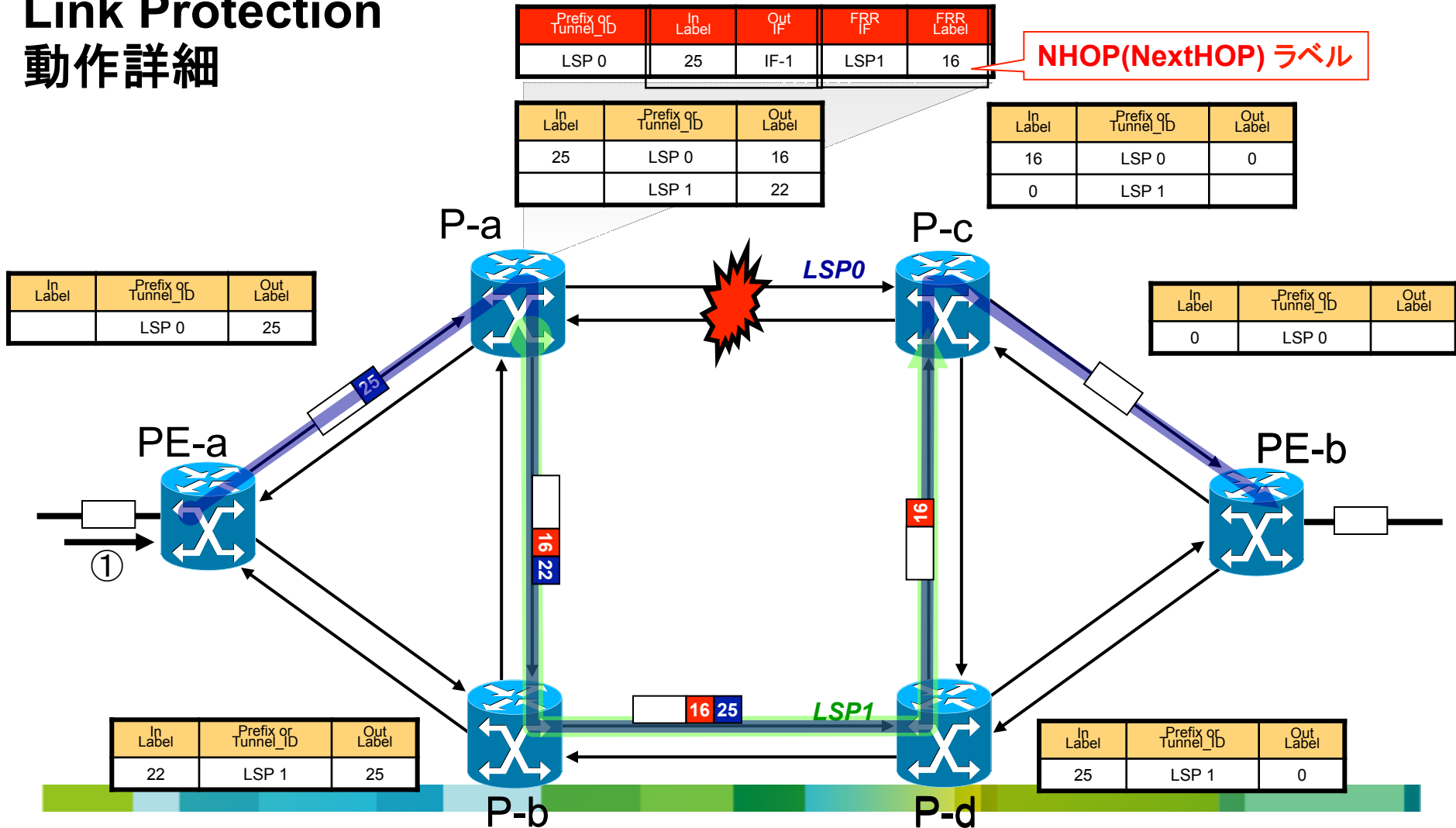
MPLS-TE FRR

Link Protection 動作詳細



MPLS-TE FRR

Link Protection 動作詳細



別府でまた会おう！

Thank you.

