

# SRv6 による社内検証網の提供と、 SR-MPLS/SRv6 双方を運用してみてわかったこと

三島 航, 竹中 幹

NTTコミュニケーションズ イノベーションセンター

w.mishima@ntt.com, m.takenaka@ntt.com

# 登壇者紹介

## ■ 三島 航

(みしま わたる)

🐦 watal\_i27e

🐙 <https://github.com/watal>



## ■ 略歴

- 2019年～ NTTコミュニケーションズ  
技術開発部/イノベーションセンター

## ■ 仕事：NTT Com 全社検証網の技術検証・企画・設計・構築・運用

- 2 ASes (AS38639, AS37900) : 20+ routers, 200+ switches, ...
- multi-AS SR 網の設計・構築、SR-MPLS/SRv6 関連技術の研究開発、OSS 公開

## ■ 竹中 幹

(たけなか もとき)

🐦 Motok1\_24

🐙 <https://github.com/Motok1>



## ■ 略歴

- 2021年～ NTTコミュニケーションズ  
イノベーションセンター

# 目次

## ■ SR-MPLS の運用と SRv6 への期待

- NTT Com と Segment Routing
- SRv6 への期待と懸念点

## ■ SRv6 Testbed の構築・運用

- SRv6 で確認したい機能と SR-MPLS との比較
- 構築した SRv6 Testbed と構築時の考慮点

## ■ SRv6 に期待する活用と今後の取り組みについて

- SRv6 の独自ユースケース (EPE と Inline-SFC)
- SR-MPLS/SRv6 の共存 (interwork と migration)

※本発表内容は弊社の環境で行った独自の検証結果に基づくものです。

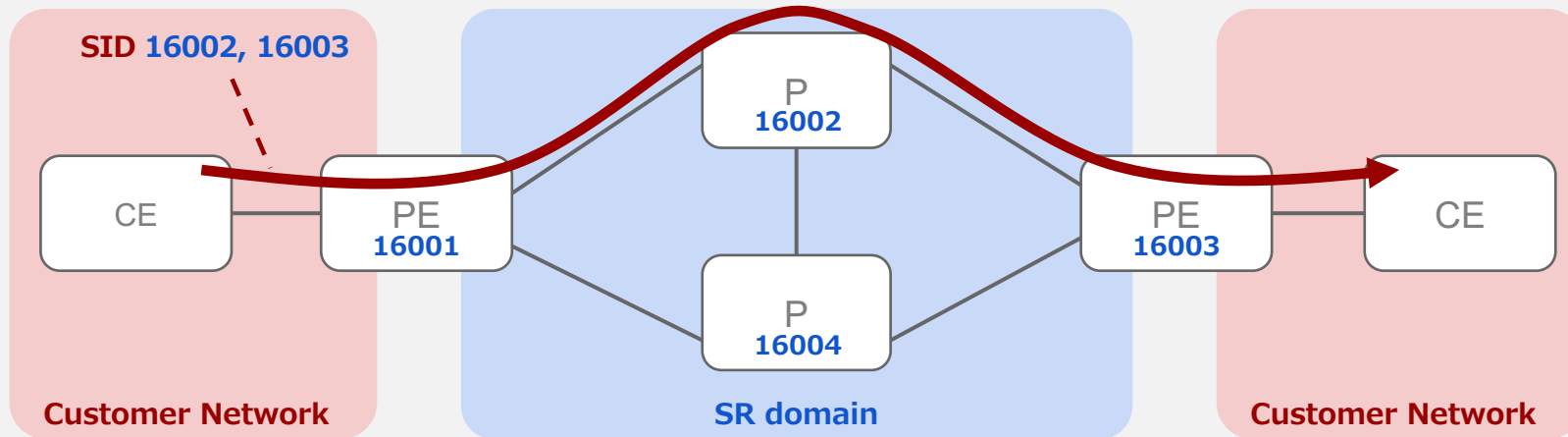
いかなるサービスの実装に言及するものではなく、また各ルータの性能を保証するものではありません。

# SR-MPLS の活用と SRv6 への期待

# Segment Routing とは



- ソースルーティングのパラダイムに基づいた次世代の経路制御技術
  - 送信元ノードで適用する TE/VPN を SID としてパケットに指定
  - 中間ノードは指定された SID に対応する処理を実施、TE/VPN を実現

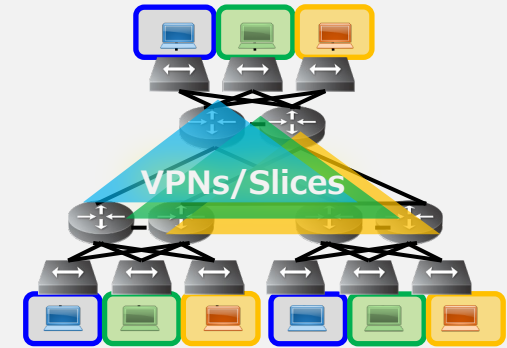


- D-Plane の違いにより、**SR-MPLS** と **SRv6** の2種が存在
  - SR-MPLS : 実装がある程度枯れており、SRv6 と比較し多くの TE/VPN 機能を利用可能
  - SRv6 : SFC, IPv6 transit, 自作 behavior 等固有の機能を持つ。一方枯れていない実装が多い

# NTT Com と Segment Routing

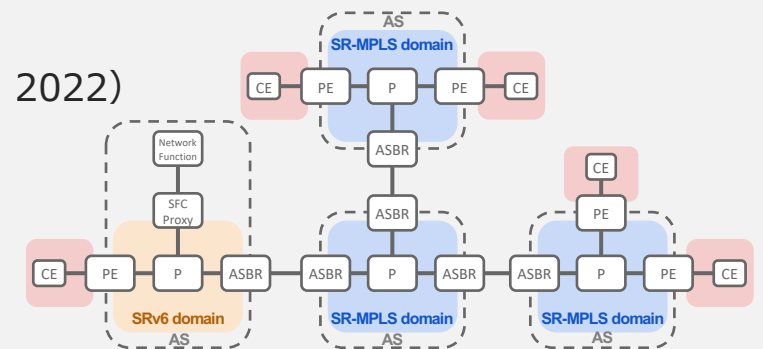
## ■ 社内網にて SR-MPLS を活用中

- TE/VPN ユースケースの実現
- 複数拠点を接続する社内ネットワークを提供
- [SR-MPLSの導入事例と今後の展望について](#) (MPLS JAPAN 2019)



## ■ multi-AS SR アーキテクチャを提案

- スケーラビリティのさらなる向上と新規ユースケースの開拓
- [ASを越えたE2E TEを実現するMulti-AS SR アーキテクチャの提案と検証](#) (JANOG50, 2022)
- [Multi-AS Segment Routing 検証連載](#) (NTT Communications Engineers' Blog)



→ SR-MPLS は 導入完了。R&D として SRv6 にも目を向けたい

# SRv6 への期待と懸念点

- SRv6 独自の強みとして、**固有機能やプログラマビリティに期待**
    - Service Function Chaining (SFC) による付加価値提供
    - endpoint behavior の活用、独自機能の開発
  - 商用利用を想定した SRv6 の**実装状況への懸念**
    - ベンダ製品において SRv6 で各種機能が利用可能か
      - **TE** (SR Policy, Flex-Algo, PCEP, etc.,)
      - **VPN** (L3/L2VPN)
- まずは社内向けの SRv6 Testbed を構築し、**フィールド検証を開始**
- SRv6 独自の強みを検証しつつ、SR-MPLS と比較しよう！

# SRv6 Testbed の構築・運用



# SRv6 Testbed の目的

## 1. TE/VPN ユースケースを実現する SRv6 網の運用試験

- ベンダ製品を中心に動作検証・運用試験
- SR-MPLS との機能比較、実装状況の差を確認

## 2. SRv6 独自機能のフィールド検証

- IPv6 シングルスタックでの構築
- SFC やプログラマビリティなど独自機能の検証
- ベンダ製品 + 機能拡張が可能な Linux/FRRouting で実装確認と動作検証

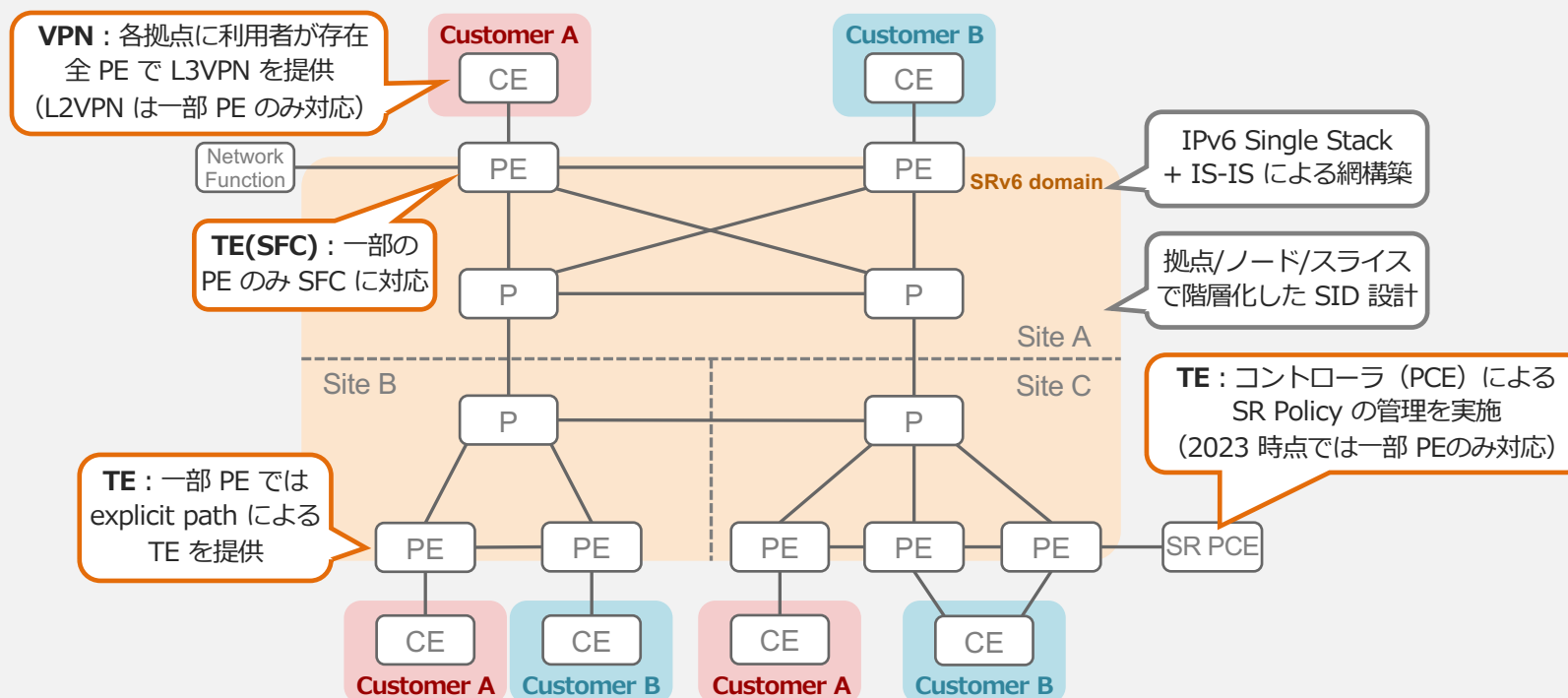
## 3. マルチベンダでの運用と相互接続性の検証

- SRv6 には IETF Internet Draft で標準化中の機能が多数存在
- マルチベンダ環境でも利用可能か、実装に差異がないかを検証

# SRv6 Testbed の要件と作成したトポロジ

## 1. 下記の TE/VPN ユースケースを実現する SRv6 網の運用試験

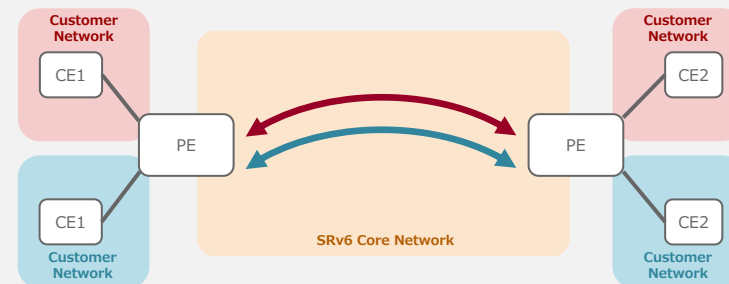
- **TE** : ユーザの需要に応じた SLA や、Network Function を選択可能なメニュー
  - ユーザごとに異なる QoS/SFC ポリシーを提供する仕組みと、コントローラによる管理
- **VPN** : 複数拠点のユーザを収容し、同一のユーザ同士を相互に接続する VPN サービス
  - 拠点間を接続する L3VPN (per-VRF) と L2VPN (VPLS)



# SRv6 で確認したい機能と SR-MPLS との比較

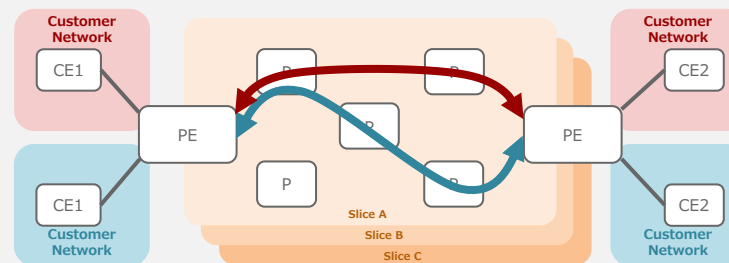
## ■ VPN 機能

- L3VPN: VPNv4/VPNv6
- L2VPN: EVPN



## ■ TE 機能

- Per-Color Steering: SR Policy, BGP Color Extended Community
- Slicing : Flex-Algo
- Controller : PCEP / BGP SR Policy



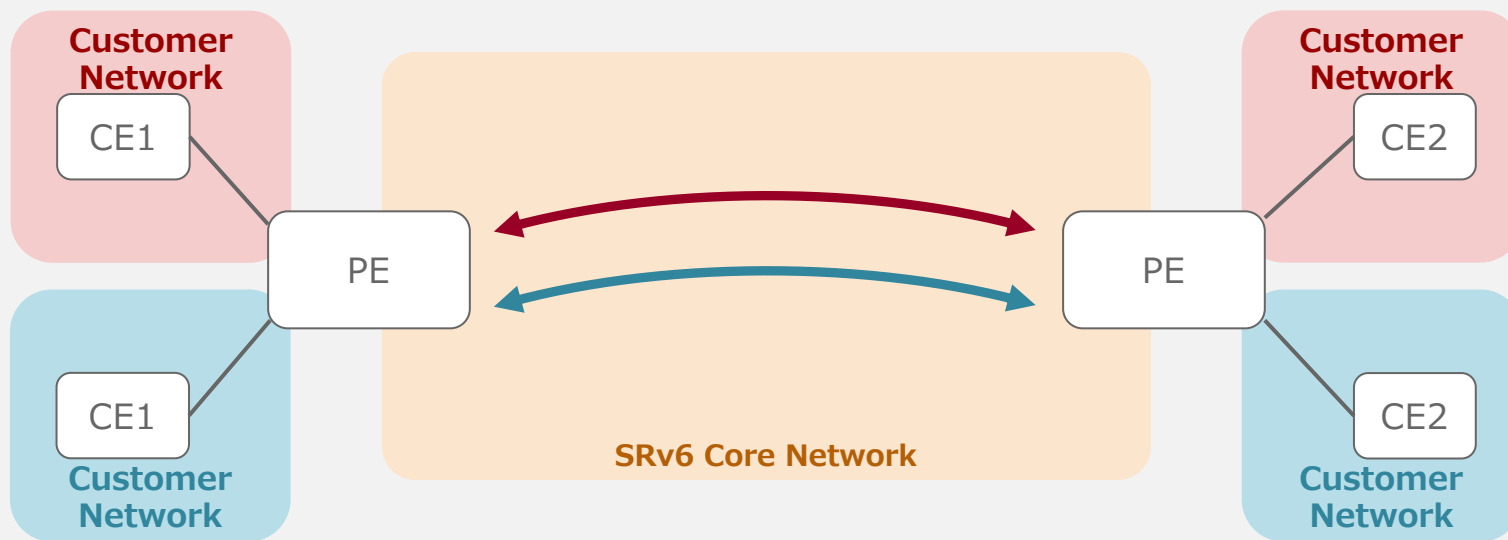
## ■ SRv6 独自機能

- SFC : End.Ax behavior
- 自作 behavior : 任意の behavior 作成

→ 各機能について、SRv6 の評価と SR-MPLS との比較を実施

# VPN (1/2)

- **L3VPN:** 異なるネットワークを相互に接続する VPN の提供
  - MP-BGP VPNv4/VPNv6 実装により実現
- **L2VPN:** 拠点を超えた L2 セグメントを提供する VPN の提供
  - MP-BGP EVPN 実装により実現



# VPN (2/2)

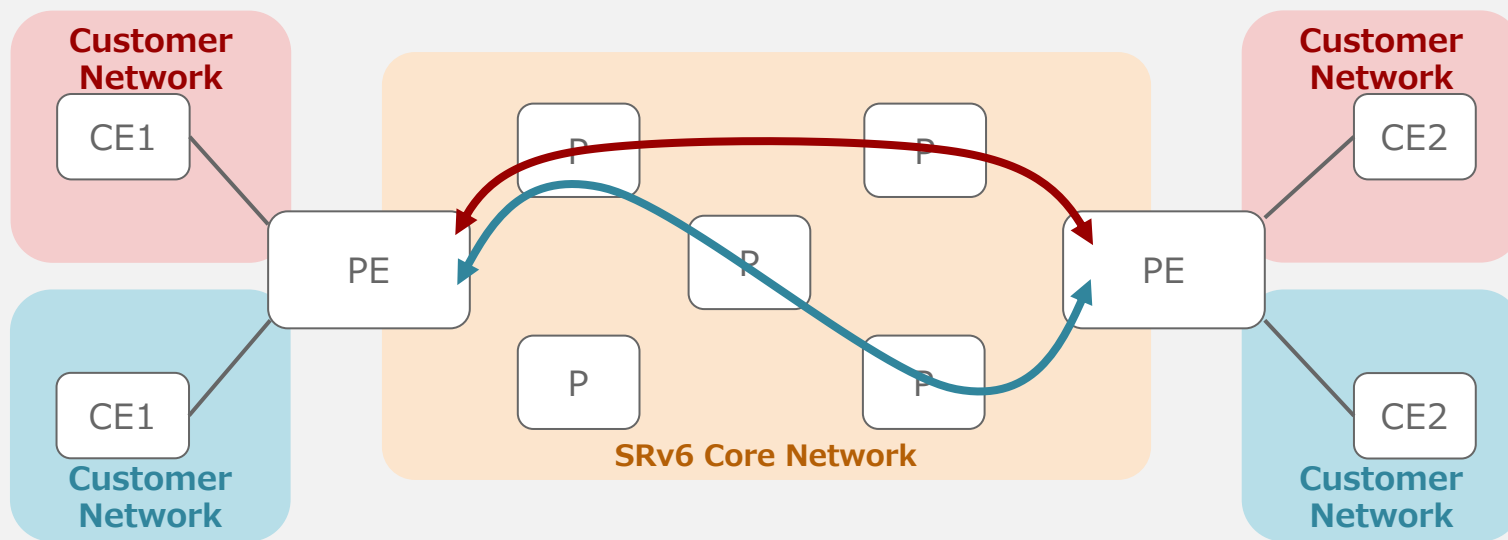
- 利用可能
- △ 一部制約があるが利用可能
- × 未実装 (or 未検証)



検証結果は当日のみ公開します

# TE (1/6)

- **Per-Color Steering:** 契約ユーザや経路ごとでの経路制御を提供
  - SR Policy により経路制御情報を定義
  - Color Extended Community と組み合わせ、Intent に応じた TE を提供



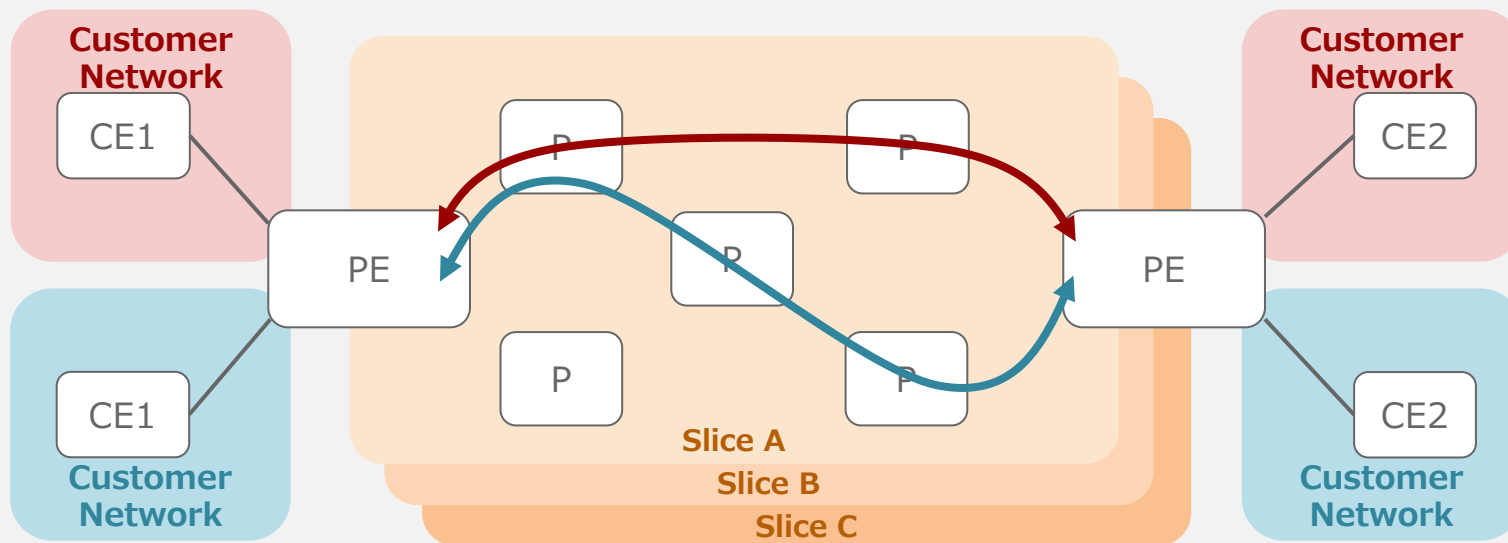
- 利用可能
- △ 一部制約があるが利用可能
- × 未実装 (or 未検証)



検証結果は当日のみ公開します

# TE (3/6)

- **Slicing:** ユーザへ用途に応じて分割された論理ネットワークを提供
  - Flex-Algo により、Intent に対応する Slice を作成
  - SR Policy と Flex-Algo の組み合わせにより、ユーザ毎に異なる Slice を提供





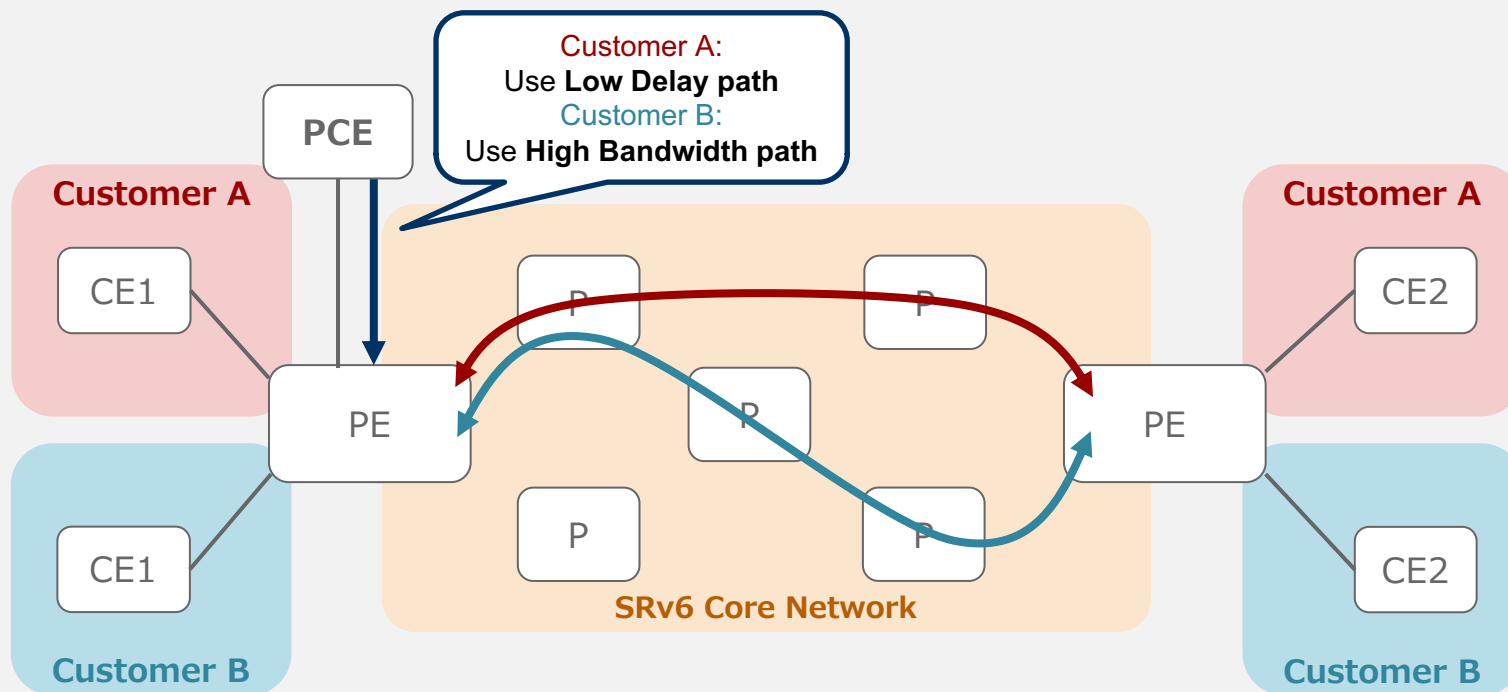
- 利用可能
- △ 一部制約があるが利用可能
- × 未実装 (or 未検証)



検証結果は当日のみ公開します

# TE (5/6)

- **Controller:** 送信元ノードの経路制御情報を一括管理
  - PCEP や BGP SR Policy によって SR Policy の管理機能を実現



検証に用いた PCE の SRv6 機能は、2022年度インターンシップにて慶應義塾大学の魏さんにご協力いただき開発しました。  
体験記：[インターンシップ体験記 ~SRv6 機能を Pola PCE に実装してみた~](#)

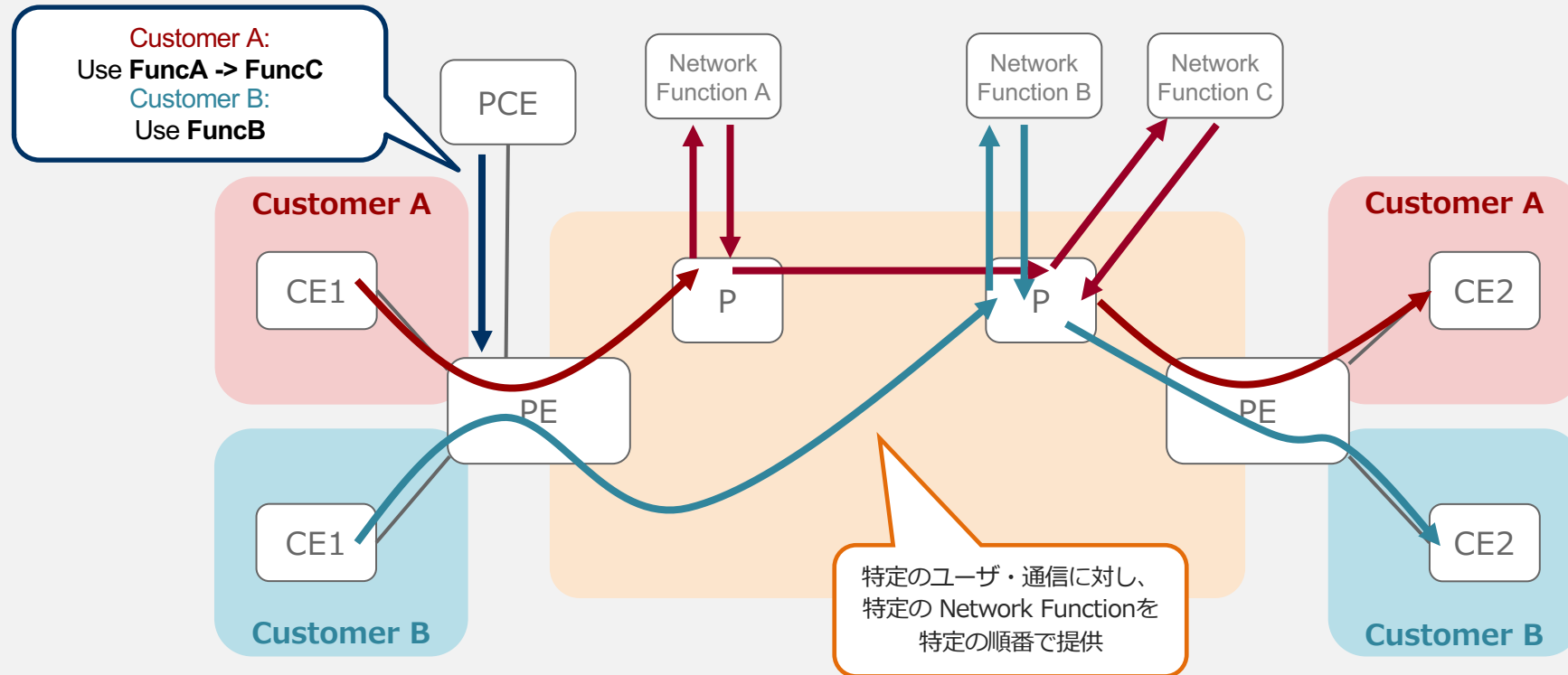
- 利用可能
- △ 一部制約があるが利用可能
- × 未実装 (or 未検証)



検証結果は当日のみ公開します

# SRv6 独自機能 (1/3)

- **SFC:** ネットワーク構成変更なしで Network Function を提供
  - End.Ax behavior によって機能実現



# SRv6 独自機能 (2/3)

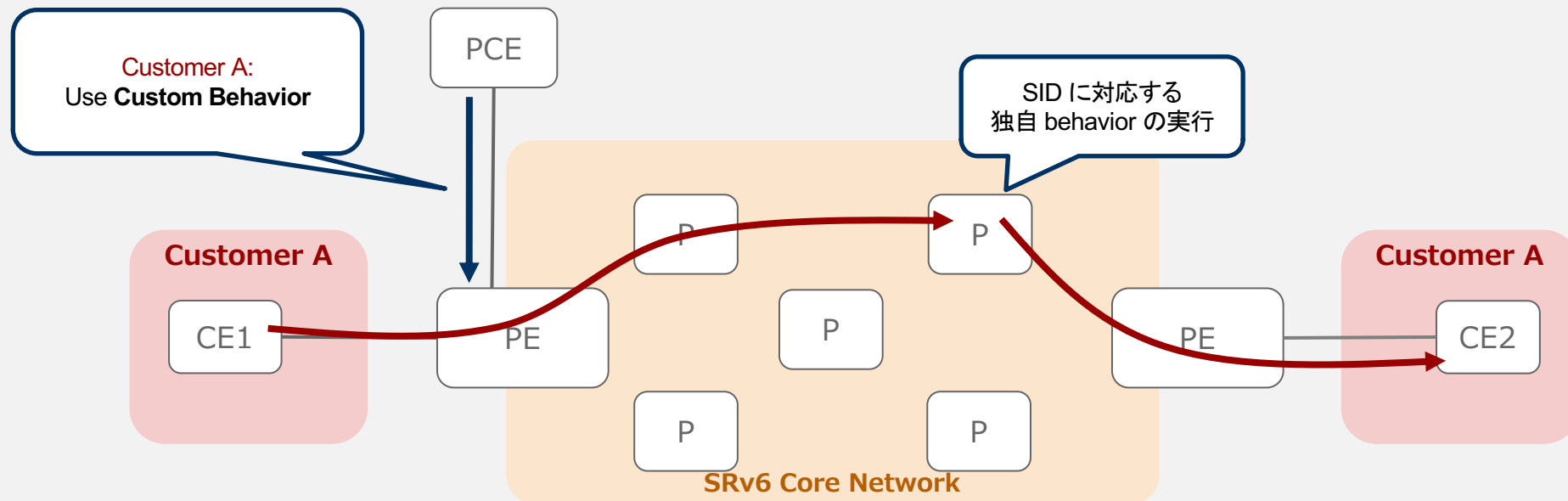
- 利用可能
- △ 一部制約があるが利用可能
- × 未実装 (or 未検証)



検証結果は当日のみ公開します

# SRv6 独自機能 (3/3)

- **自作 behavior:** NW 管理者へ任意の behavior 作成機能を提供
  - NW 管理者の求める機能を自作の endpoint behavior として実装
    - 現状ベンダ実装には存在せず
  - Linux のカーネル実装書き換え or 自作 D-Plane 等でのみ実現可能



# 検証状況のまとめ

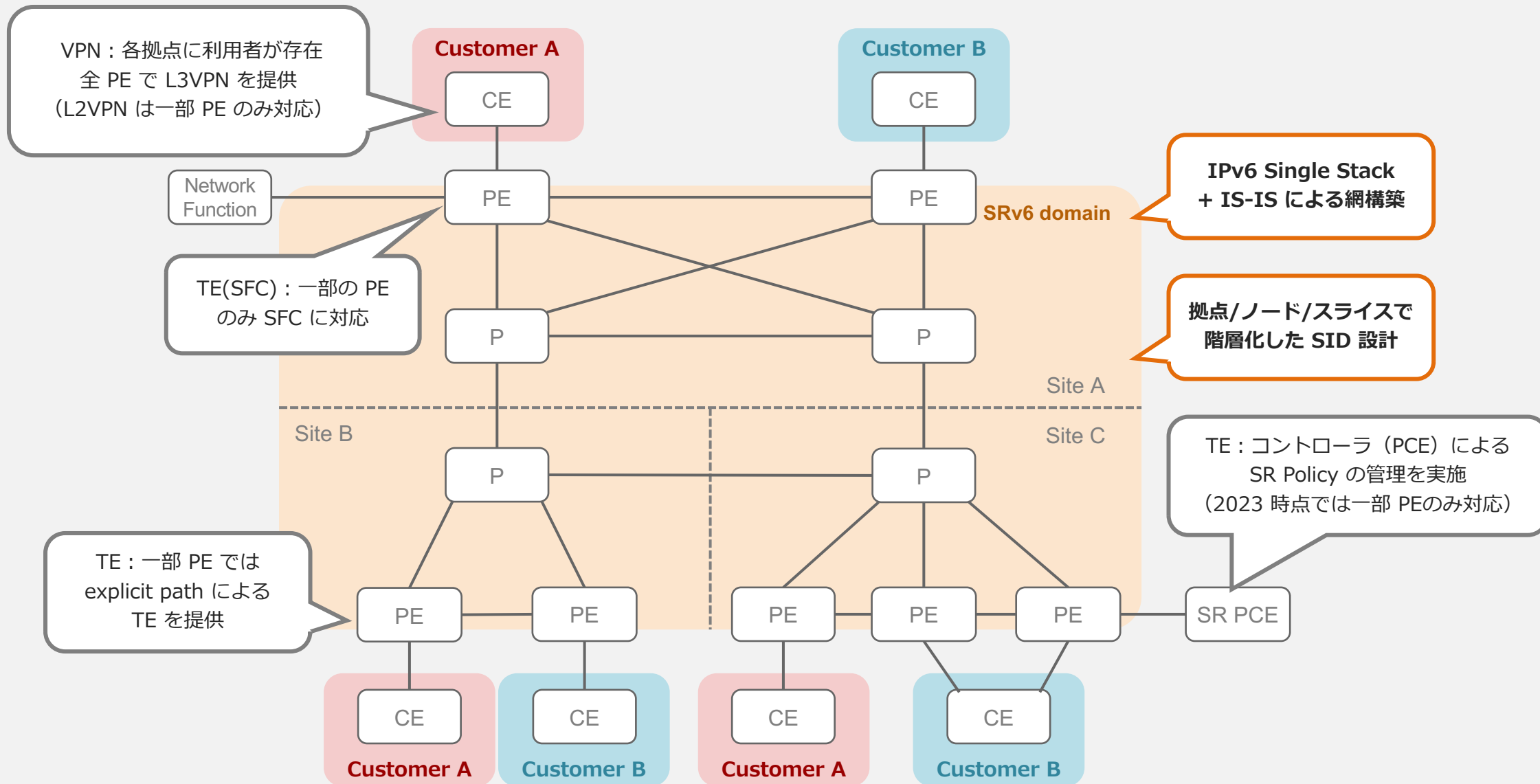
## ■ TE/VPN の標準機能は SR-MPLS/SRv6 共に動作を確認

- 一部複雑な機能については SR-MPLS が先行
  - コントローラでの経路制御
  - TE/Delay metric の利用など

## ■ SRv6 独自機能は今後に期待

- 自作 behavior の正式な実装機能はない
  - プログラマビリティが今後の課題
- SFC を実現する実装はわずか
  - End.Ax を用いた方法は改善の余地あり  
→後述の取り組みにて解決

# SRv6 Testbed (再掲)





# 構築時の考慮点

- SRv6 Testbed を設計する上で、下記2点を考慮ポイントとして設定
  1. **IPv6 シングルスタックでの網構築**
    - Link Local Address の活用による構築・管理コストの低減
  2. **網の階層的なアドレス設計**
    - prefix aggregation による将来的なスケーラビリティの向上

# 構築してみても① IPv6 シングルスタックでの網構築

## ■ IPv6 Link Local Address による網構築

- アドレスリソースの設計・管理が不要に
  - 2023年7月時点では IPv6 underlay SR-MPLS に限界があるため、SRv6 固有の利点。
- 一方、LLA の運用には手間も存在
  - 各リンクのアドレスが直感的でなくなるため、障害時のアドレス把握が難しい
    - 対向機器の LLA は show ip neighbor などで確認可能
  - コントローラでの可視化や死活監視が求められる。SR PCE との相性◎
- 将来的には BGP Unnumbered にも期待
  - 2022 年末現時点ではキャリア向け機器には未実装

IPv6 Single-Stack SR-MPLS は、2022年度インターンシップにて九州産業大学の太平さんにご協力いただき開発しました。  
体験記：[インターンシップ体験記 ～SR-MPLS IPv6 Underlay 相互接続検証～](#)

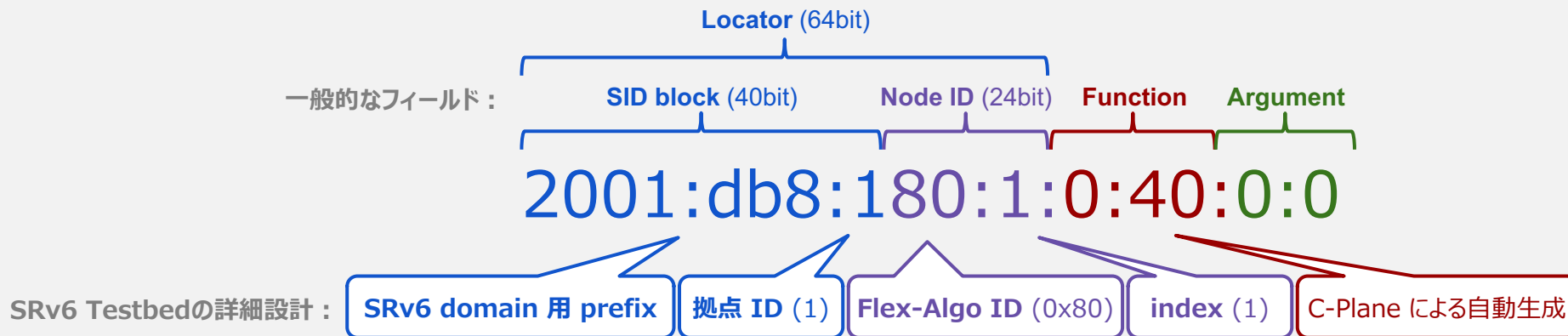
# 構築してみても② SRv6 網とアドレス設計

## ■ 一般的なフィールド構成

- full-length SID の Locator は可変長だが、64bit がデファクトに
  - 先頭 40bit を SID block、後半 24bit を Node ID とすることが多い

## ■ 弊社での設計：階層的な設計による運用効率化と拡張性の向上

- SID block：拠点毎に分割。将来的なPath Aggregationに対応
- Node ID：先頭 8bit を Algo ID、後半 16bit をノードの Index に利用
- Function フィールド：C-Plane による自動生成が多い



# SR-MPLS と SRv6 双方の網から得た所感

- **SRv6 固有の機能**も存在する一方で、**SRv6 ではまだ使えない機能**、SR-MPLS/SRv6 で**変わらない機能**も多く存在。
    - 固有の機能：SFC、IPv6 シングルスタック
    - 未実装な機能：コントローラによる TE 管理、TE/delay metric、一部のVPN
    - 基本的な TE/VPN では、既存の SR-MPLS を SRv6 化する利点は感じない
      - どちらの技術でもソースルーティングによる TE/VPN は可能
      - SRv6 に求めていたプログラマビリティは、2023 年時点では商用機器には存在しない
- **当初期待していた、SRv6 固有の強みはどうか？**

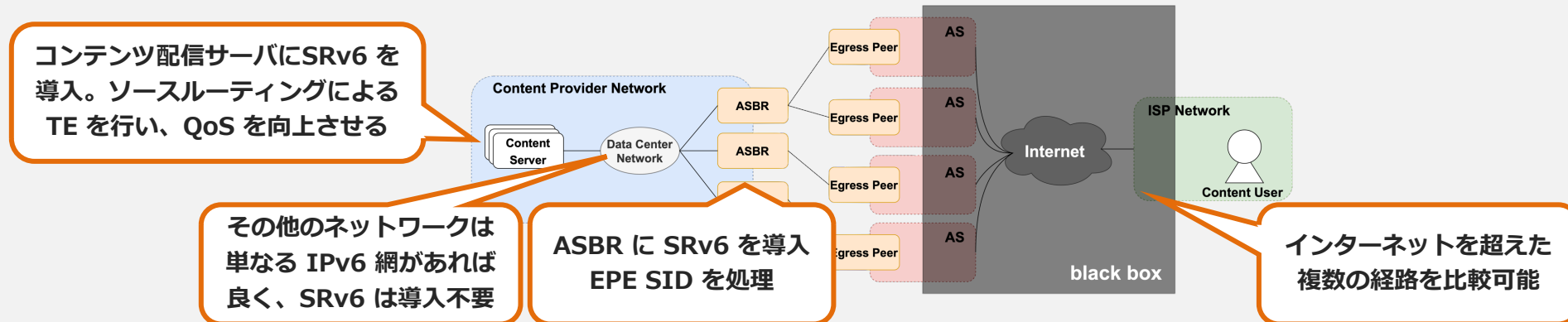
# SRv6 の独自ユースケース (EPE と Inline-SFC)

# SRv6 の独自ユースケースについて

- SRv6 独自の機能として、下記の点を期待
    1. **SRv6 のスポット的な導入**、SR-MPLS では実現不可能な構成の提供
      - 網内 TE が不要ならば、部分的な SRv6 の適用が可能
    2. SFC による通信への**付加価値提供**
      - SRv6 により、必要な機能を自由に組み替えて利用
    3. **プログラマビリティ**を生かした自作 behavior の開発
      - アイデアの迅速な実現
- **SRv6 独自の強みを活かす2つの研究を実施、確認に成功！**

# 活用例1: SRv6 のスポット的な導入による QoS 向上

- SRv6 を必要なルータにのみ導入。EPE による QoS 向上を実現
  - WIDE Project 様との共同研究
  - CSP 網を想定。網内 TE が不要なユースケースにおいて、SRv6 をスポット的に活用
  - EPE を利用し、顧客向けトラフィックに対する E2E の QoS 向上を実現



Toyota, Y., Mishima, W., Kanaya, K., & Nakamura, O. (2023). [Performance Aware Egress Path Discovery for Content Provider with SRv6 Egress Peer Engineering](#). IEICE TRANSACTIONS on Information and Systems, 106(5), 927-939.

Kanaya, K., Toyota, Y., Mishima, W., Shirokura, H., & Esaki, H. (2022, November). [Qoe-aware content oriented path optimization framework with egress peer engineering](#). In 2022 Tenth International Symposium on Computing and Networking (CANDAR) (pp. 36-45). IEEE.

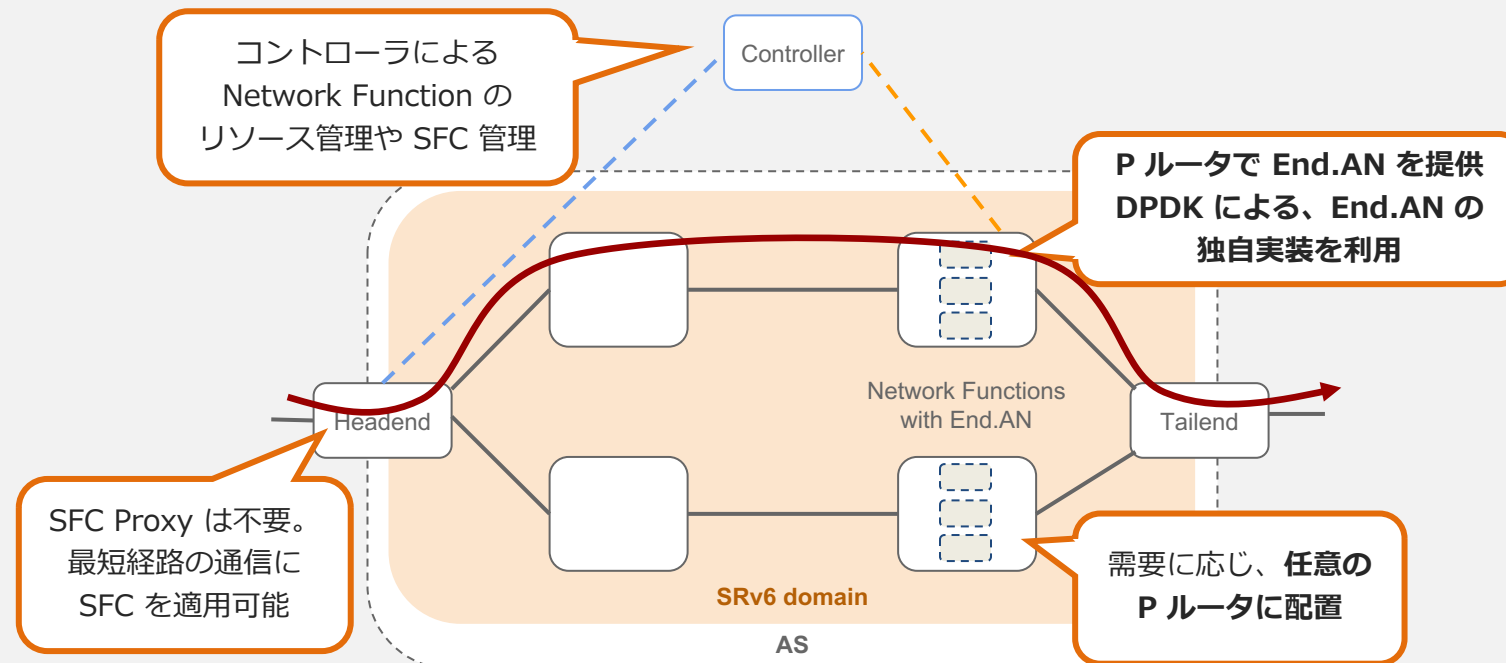
→ SRv6 により、必要な箇所のみサービスを提供しつつ QoS 向上を実現！

- 将来的には multi-AS SR と連携した更なる QoS 向上にも期待

# 活用例2: 効率的な SFC 機構の提案 (1/2)

## ■ 自作 endpoint behavior による効率的な SFC を考案し評価

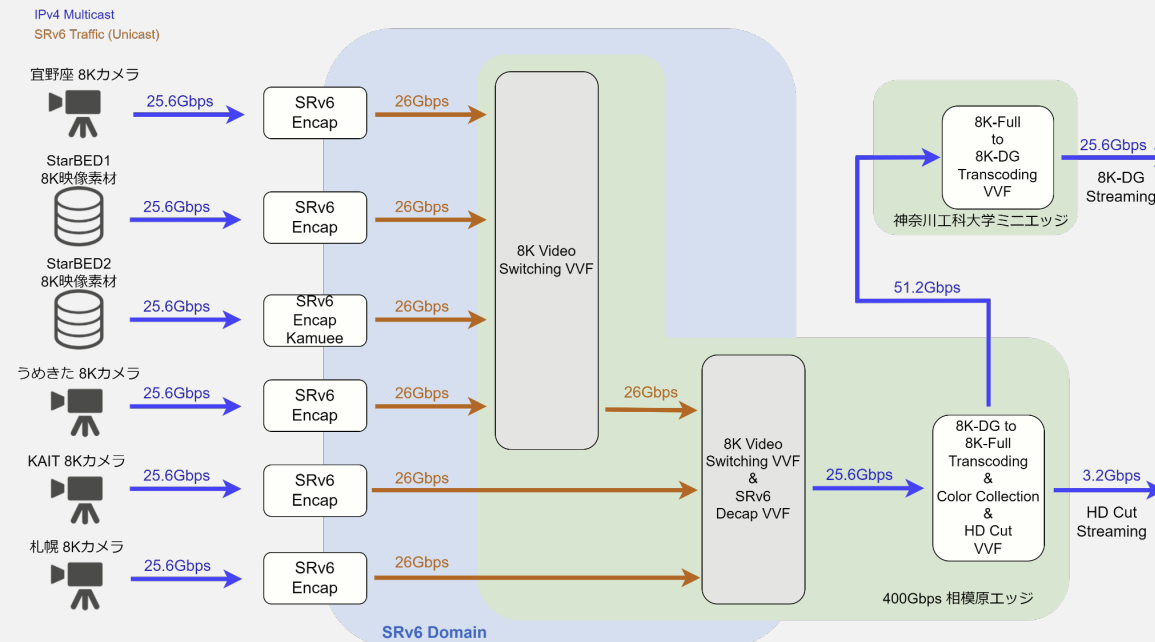
- 神奈川工科大学様、三井通信株式会社様との共同研究
- SR domain の任意の位置で Network Function を適用する Inline-SFC を提案
  - D-Plane : End.AN を詳細設計し、ルータ内で Network Function を提供可能に
  - C-Plane : 需要に応じた Network Function の配置と SFC の自由な組み換えを実現 (現在研究中)





# 活用例2: 効率的な SFC 機構の提案 (2/2)

- キャリア網におけるリモートプロダクションのユースケースを実現
  - SFC による映像補正と、需要に応じた SFC リソースの配置を効率的に実現
    - End.AN の詳細を設計 & 実装
    - さっぽろ雪まつり2023にて3日間の安定運用を実現



伊藤悠真, 青木弘太, 三島航, 深川祐太, 小原泰弘, 石岡朋紘, 岡本李輝, 瀬林克啓, 丸山充,  
[SRv6を用いたオンラインサービスチェイニングの提案と広帯域映像処理による実証](#), 2023, 信学技報, vol. 122, no. 406, NS2022-246, pp. 452-457

# まとめ：SRv6 独自のユースケースについて

- **SRv6 の独自機能**を活用し、QoS 向上と効率的な SFC を実現
  - 部分的な導入：網内 TE を考慮しなくても良い場合は SRv6 に利点
  - プログラマビリティ：欲しい機能を自作し試せるのは嬉しい
    - 一方、利用可能な機器に限られることは課題（現状では Linux 限定）
- NTT Com は既に SR-MPLS 網を所有、運用中
  - → **SRv6 独自の機能を、SR-MPLS から利用可能にしたい！**
    - 網を作り替えるのではなく、まずは interwork により機能を利用できないか？

# SR-MPLS/SRv6 の共存（相互接続と移行）

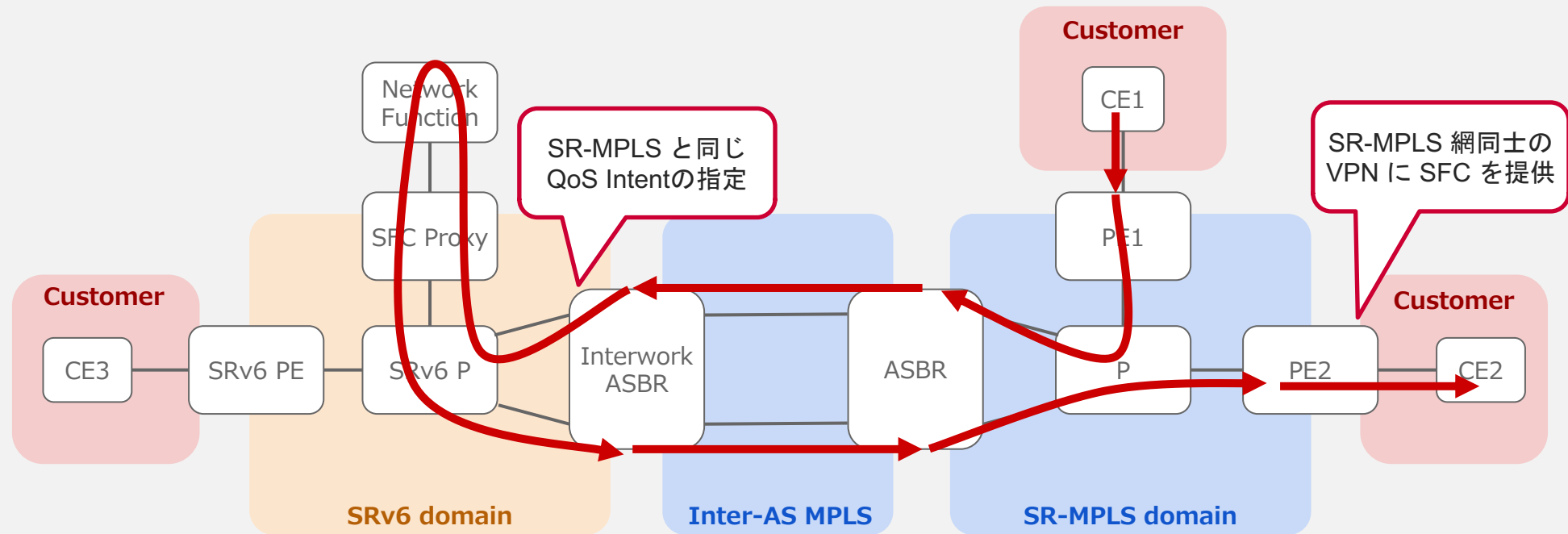
# SR-MPLS/SRv6 の共存

- 現状の実装では下記のトレードオフが存在
  - 1. 基本機能は枯れている SR-MPLS 網が優位
  - 2. 独自機能については SRv6 が優位
- 下記を満たす手段が欲しい
  - コア網は既存の SR-MPLS を活用しつつ、SRv6 を部分的に使いたい
  - SRv6 の実装が進んだ際にも移行の余地を残したい
- → **SR-MPLS/SRv6 interwork・migration手法を整理・検証**

# SR-MPLS/SRv6 Interwork

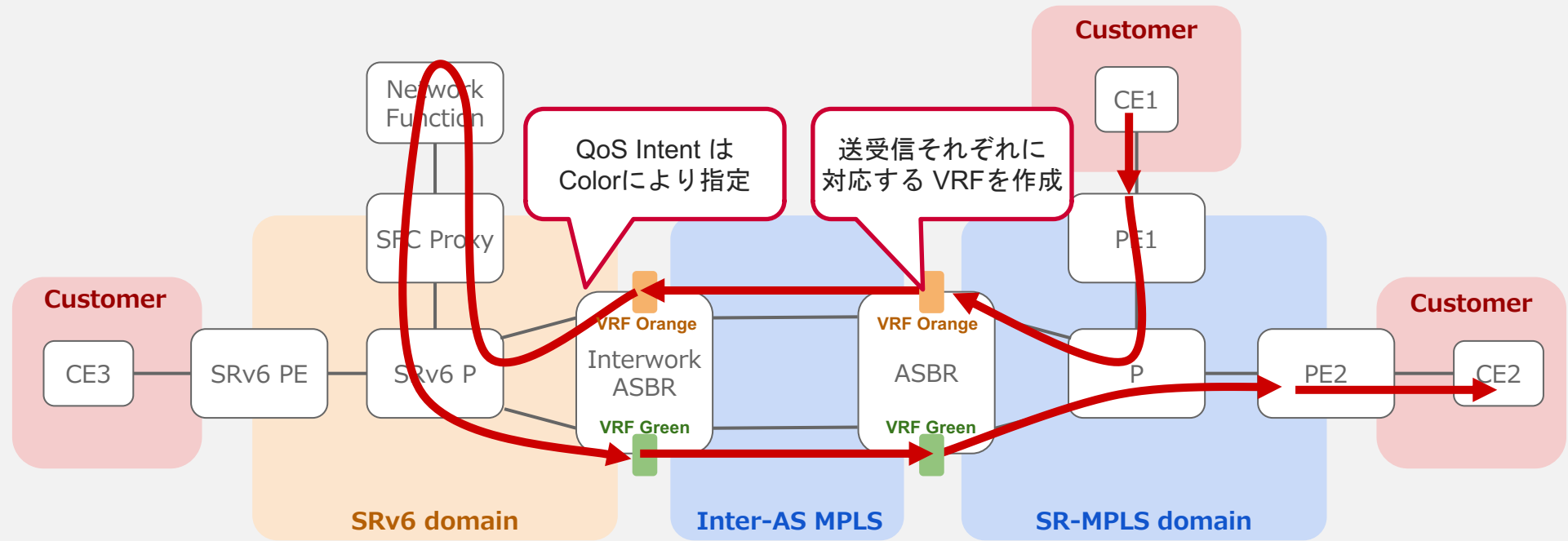
## ■ SRv6 を一時的に利用し、元のSR-MPLS に戻したい

- SR-MPLS 網を SRv6 とのデュアルスタックにする等いくつか手法はあるが、ここでは multi-AS SR らしく VPN / SR Policy の相互接続で実現
- VPN 毎の TE (QoS Intent) と両立したい



# SR-MPLS/SRv6 Interwork

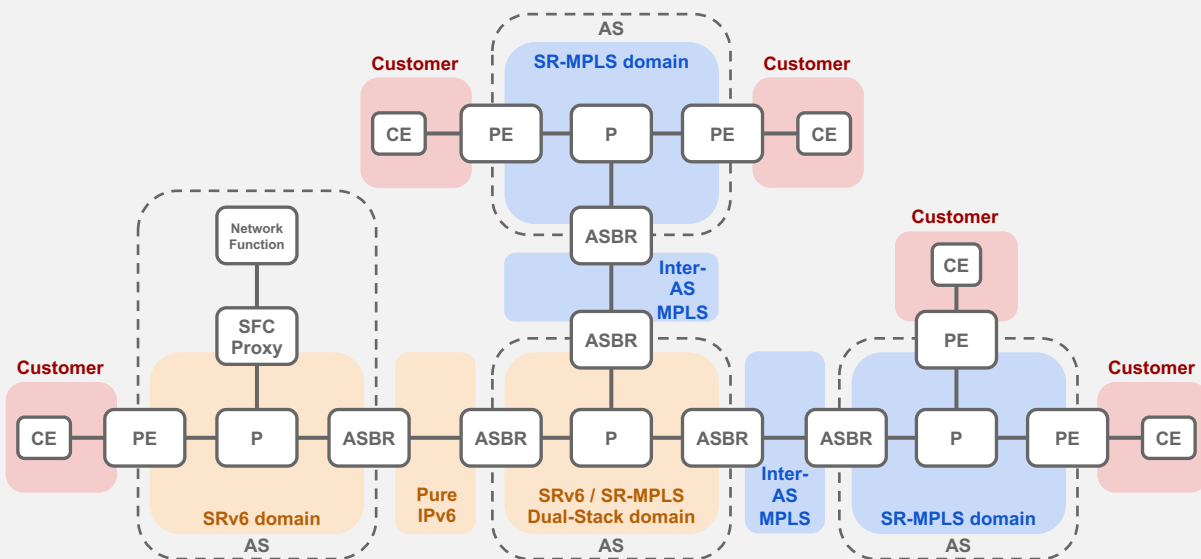
- 折り返しのため送受信双方の VRF を作成
  - 各 VRF で SR-MPLS/SRv6 の VPN を接続
- multi-AS SR を利用した接続
  - AS 間を Intent に対応した BGP Extended community color で接続



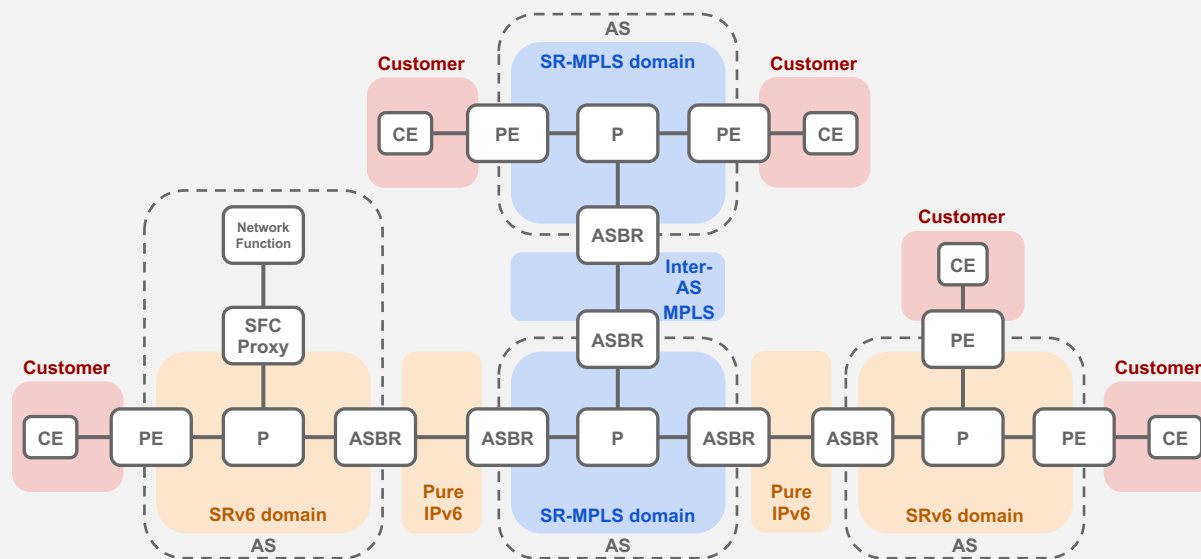
# SRv6 Migration

## ■ multi-AS SR と組み合わせた migration step

- SR-MPLS/SRv6 interwork による先進技術の **dogfooding** → **trial release** → **migration**
- SRv6 を適用したい場所に自由に導入可能
- 但し、先述の通り、2023年度時点では、Underlay IPv6 の SR-MPLS には制限あり
  - migration 時には一時的に IPv4/IPv6 デュアルスタック環境を作成する必要あり



隣接する AS を SRv6 migration する例



離れた AS を migration し、IPv6 underlay で接続する例

# SR-MPLS/SRv6共存のまとめ

## ■ interwork と migration による導入

- 枯れた SR-MPLS の利点を受けつつ、SRv6 を部分的に活用
- 将来的に実装が進んだ後で移行可能
- SRv6 導入にあたっては一部考慮ポイントが存在
  - 移行の際、一時的に IPv4 と IPv6 のデュアルスタックを構成する必要あり



# 本セッションのまとめ

- 社内向けの SRv6 Testbed を構築・運用
    - 多くの TE/VPN 機能は SR-MPLS/SRv6 共に動作
    - 一部機能は SR-MPLS が先行。ベンダ機器では SRv6 独自機能も発展途中
  - SRv6 の独自活用（EPE/Inline-SFC）
    - SRv6 の部分的な導入とプログラマビリティを検証
    - 一部のユースケースでは SRv6 に利点あり
  - SR-MPLS/SRv6 の共存手法を検討（interwork/migration）
    - SRv6 独自機能を SR-MPLS から利用可能 & 将来的な移行も
- **SRv6 の活用にあたっては固有の強みを分析する必要あり**
- キャリア網における TE や VPN だけであれば SR-MPLS と比較しメリットは感じない。  
**拡張性やプログラマビリティに期待**

# 議論トピック（もちろんこれ以外も大歓迎です！）

- **TE/VPN ユースケースでの SR-MPLS/SRv6 の活用や期待する点**
  - 本日紹介した事例以外にも、SR-MPLS/SRv6 を活用したい事例はありますか？
  - SRv6 プログラマビリティに対する期待は？
  
- **SR-MPLS/SRv6 共存と既存網からの移行**
  - SRv6 へ移行したい例、またできない例などがありますか？