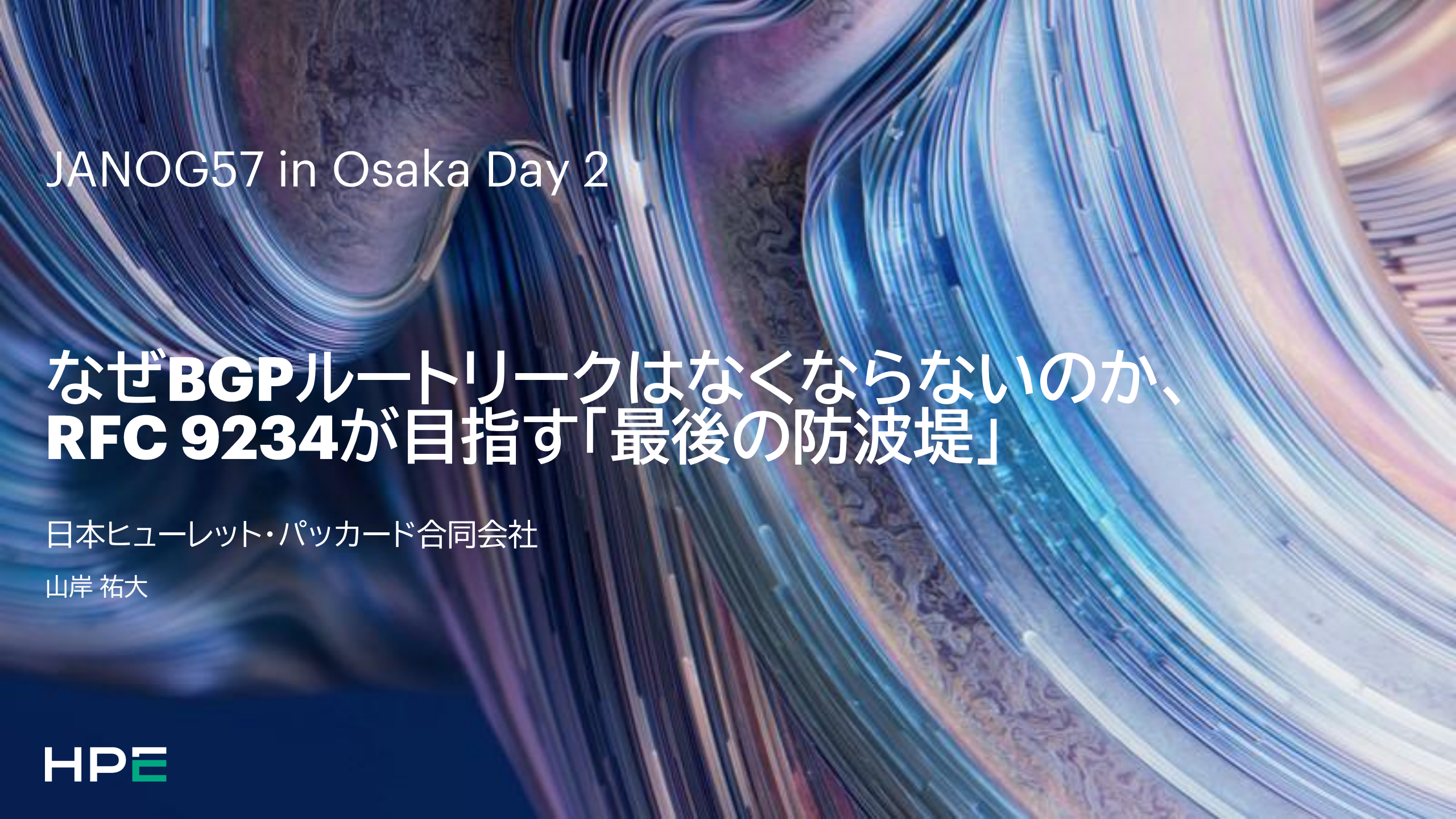


JANOG57 in Osaka Day 2

# なぜBGPルートリークはなくならないのか、RFC 9234が目指す「最後の防波堤」

日本ヒューレット・パッカード合同会社

山岸 祐大

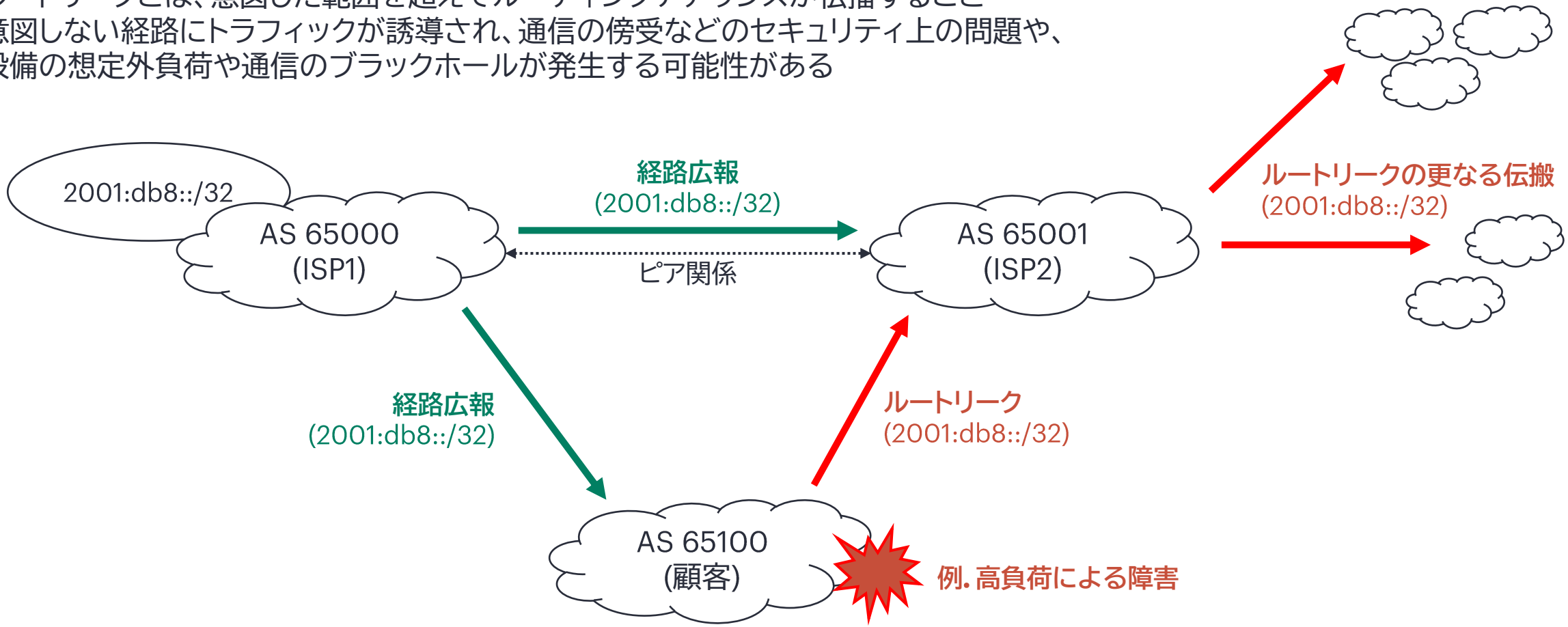
HPE

# BGPルートリークとは？

RFC7908にて、BGPルートリークは以下のように定義されている:

**RFC 7908: Problem Definition and Classification of BGP Route Leaks**

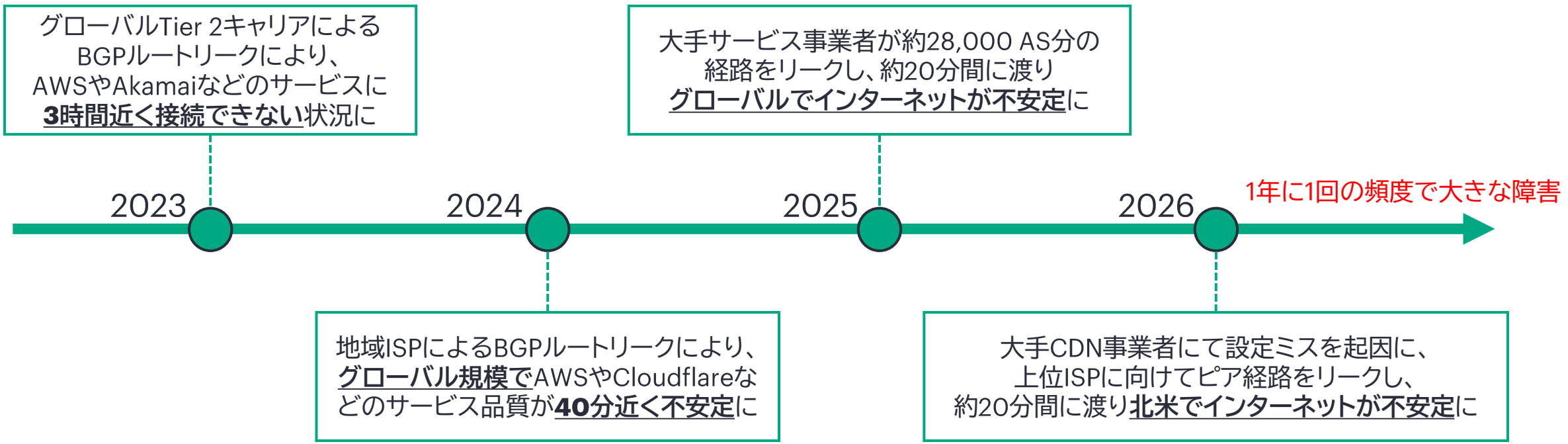
- ルートリークとは、意図した範囲を超えてルーティングアナウンスが伝播すること
- 意図しない経路にトラフィックが誘導され、通信の傍受などのセキュリティ上の問題や、設備の想定外負荷や通信のブラックホールが発生する可能性がある



# BGPルートリークは身近で起きている

" In 2025, ... On average, **1,966 ASes per month were involved in route leaks**, compared to 1,977 in 2024. The dynamics of global BGP incidents differed from those observed for ordinary incidents. In 2025, **the number of global route leaks** decreased by roughly one third compared to 2024, **falling from 33 to 25**. "

2025 DDoS, bad bots, and BGP incidents statistics and overview [*1]
Qrator Labs

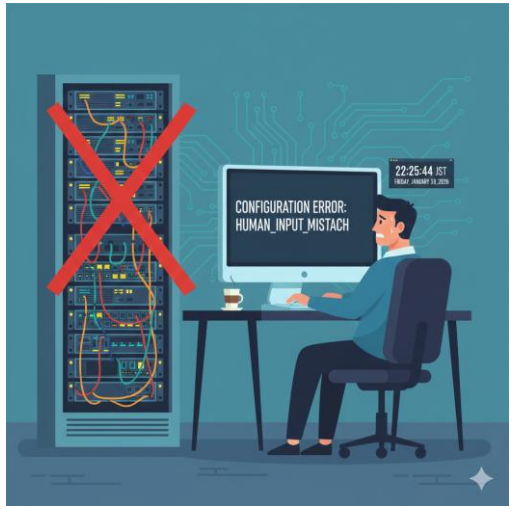



*1. 出典: 2025 DDoS, bad bots, and BGP incidents statistics and overview, Qrator Labs, https://qrator.net/blog/details/2025-DDoS-bad-bots-and-BGP-incidents-statistics-and-overview/

# なぜBGPルートリークは起きるのか？

BGPルートリークが発生する原因の例として以下の4つが挙げられる:

**1. 設定エラー**




**2. 故意的**

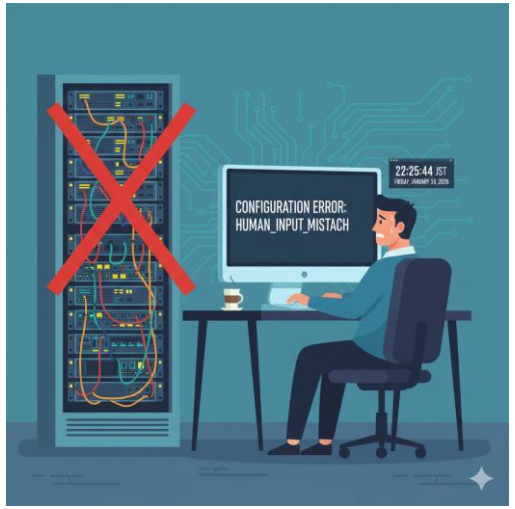
**3. コミュニケーションミス**

**4. 機器不具合**

# なぜBGPルートリークは起きるのか？

BGPルートリークが発生する原因の例として以下の4つが挙げられる:

**1. 設定エラー**




**2. 故意的**

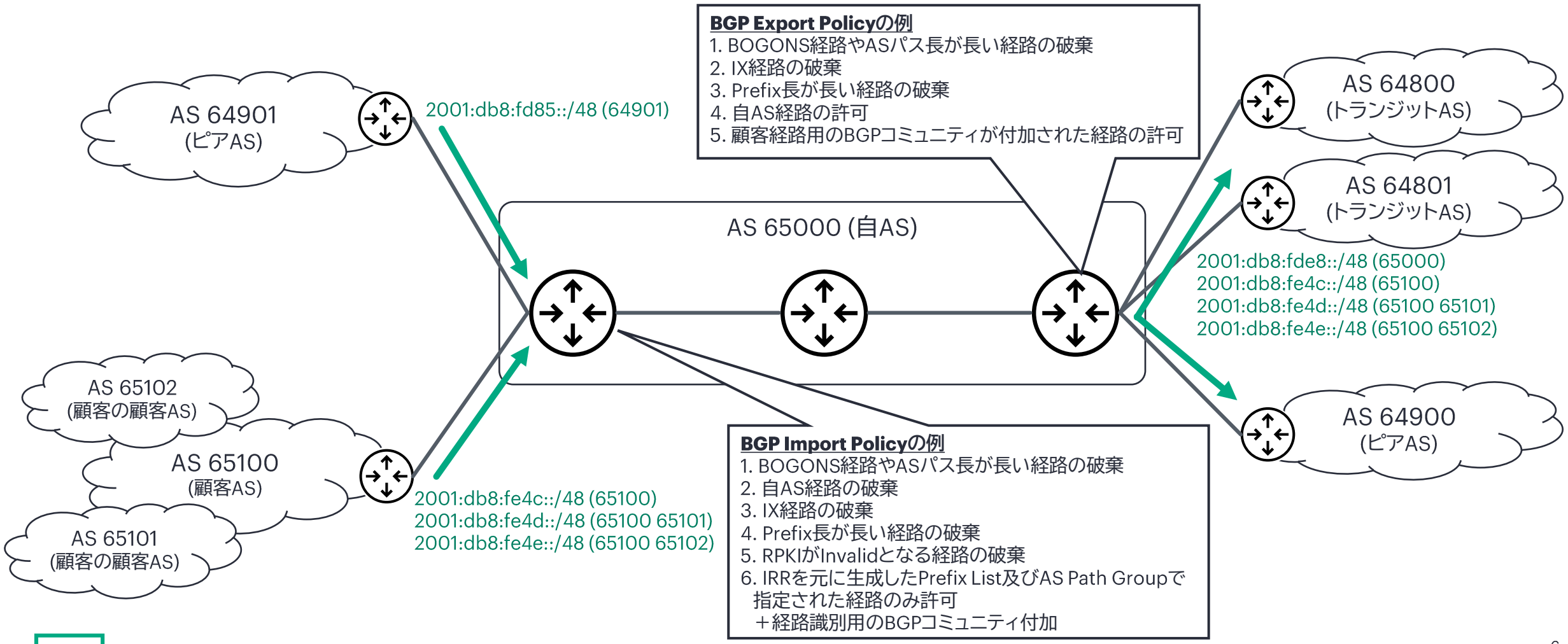
**3. コミュニケーションミス**

**4. 機器不具合**

"Route leaks can be accidental or malicious but **most often arise from accidental misconfigurations**."
RFC7908より

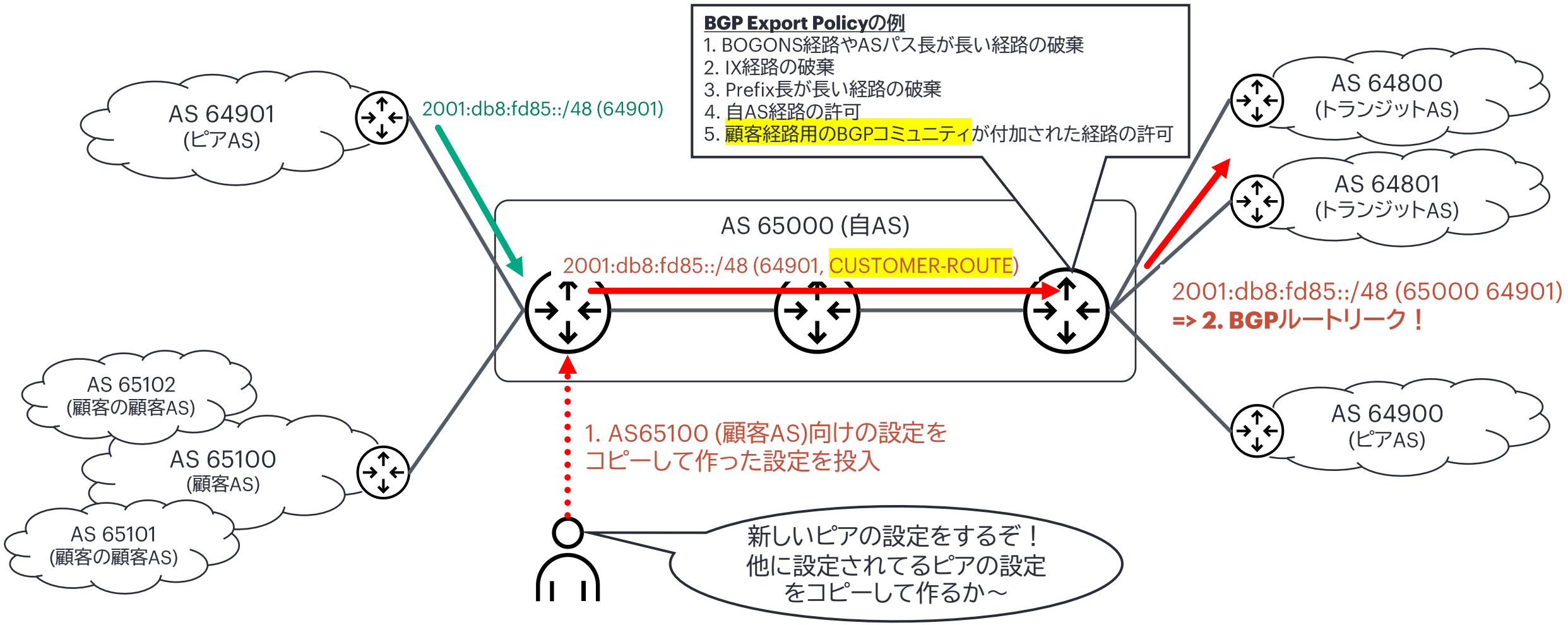
# 外接ルータの設定は複雑 #1

近年推奨されているベストプラクティスなBGPポリシーを全て導入するとコンフィグが比較的複雑に



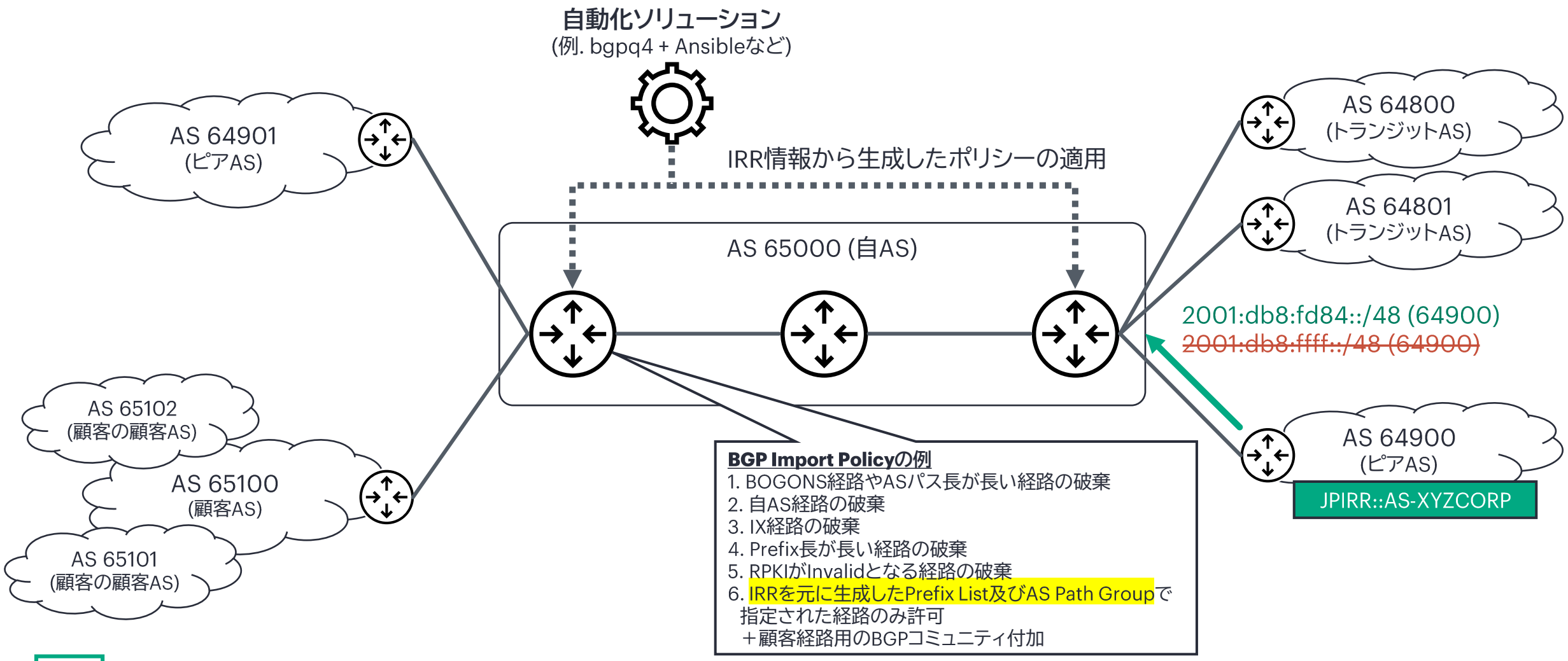
# 複雑が故にヒューマンエラーの温床に

設定変更時に考慮するポイントが多く、細かい部分での見落としが発生しやすい



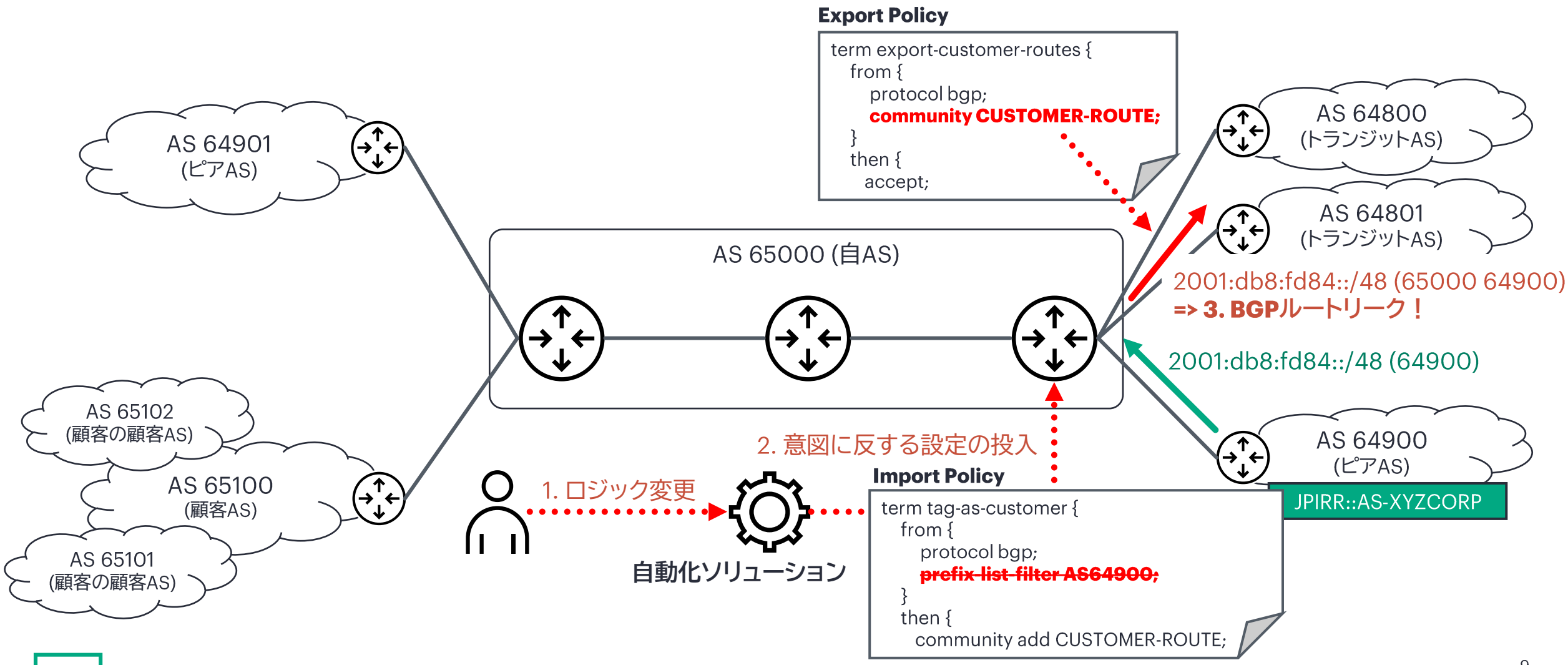
# 外接ルータの設定は複雑 #2

IRRの情報に追従させるためなど、BGPポリシー制御を自動化しているケースも多い



# 自動化によるトラブル

BGPポリシーが複雑な故に、自動化するためのソフトウェアロジックも複雑になりがち



# BGPルートリークを防止する仕組みの必要性

DevOpsやSREの考え方では「ミスが障害につながることを許したシステム側の不備に責任がある」

> “A “Bad Apple” problem, to the extent that you can prove its existence, **is a system problem and a system responsibility**.”
>
> Sidney Dekker, The Field Guide to Understanding ‘Human Error’, Routledge, 2014

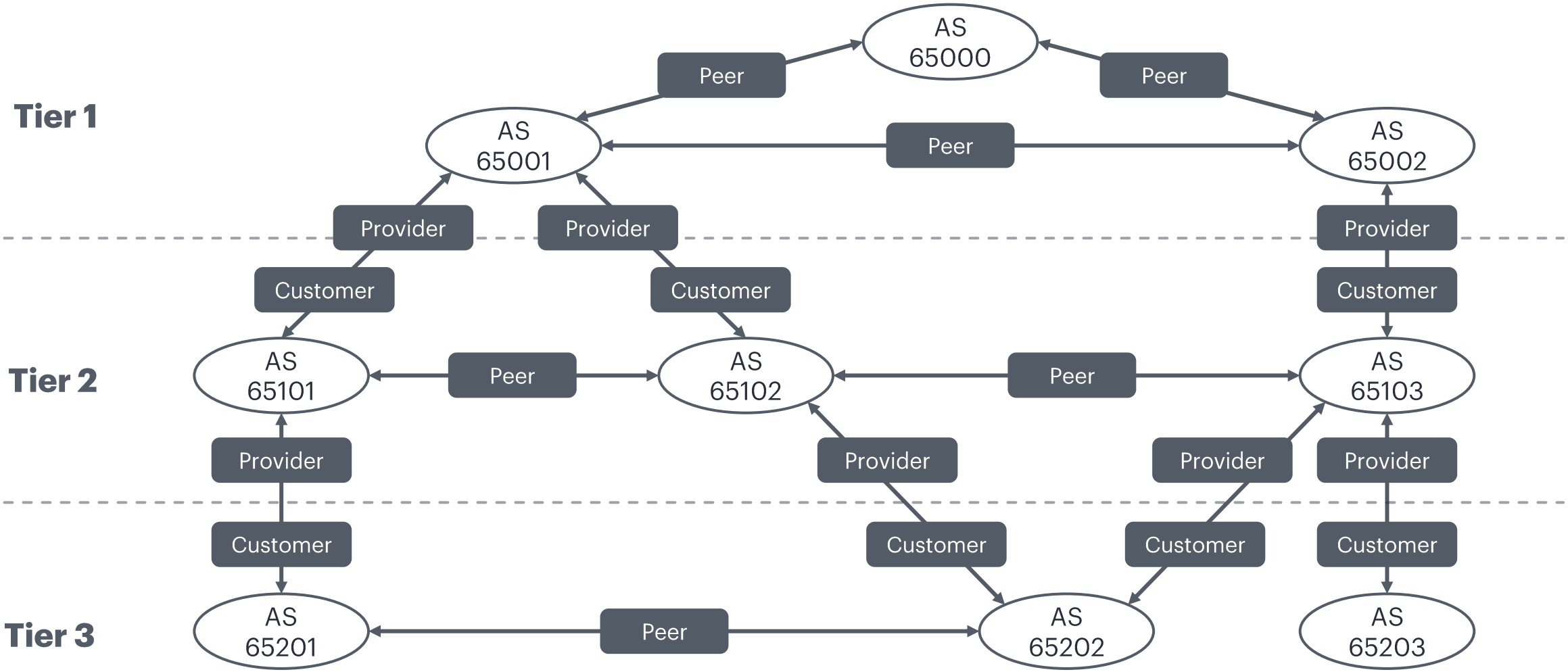
> “it is not acceptable to have a countermeasure to merely “be more careful” or “be less stupid” — instead, **we must design real countermeasures to prevent these errors from happening again**.”
>
> Kim, Gene, et al. The DevOps handbook: How to create world-class agility, reliability, & security in technology organizations, It Revolution, 2021

ヒューマンエラーは起きるものとして考え、
万が一の際にBGPルートリークによる障害を防ぐ「防波堤」が必要

**RFC 9234: Route Leak Prevention and Detection Using Roles in UPDATE and OPEN Messages**

# インターネットの構造

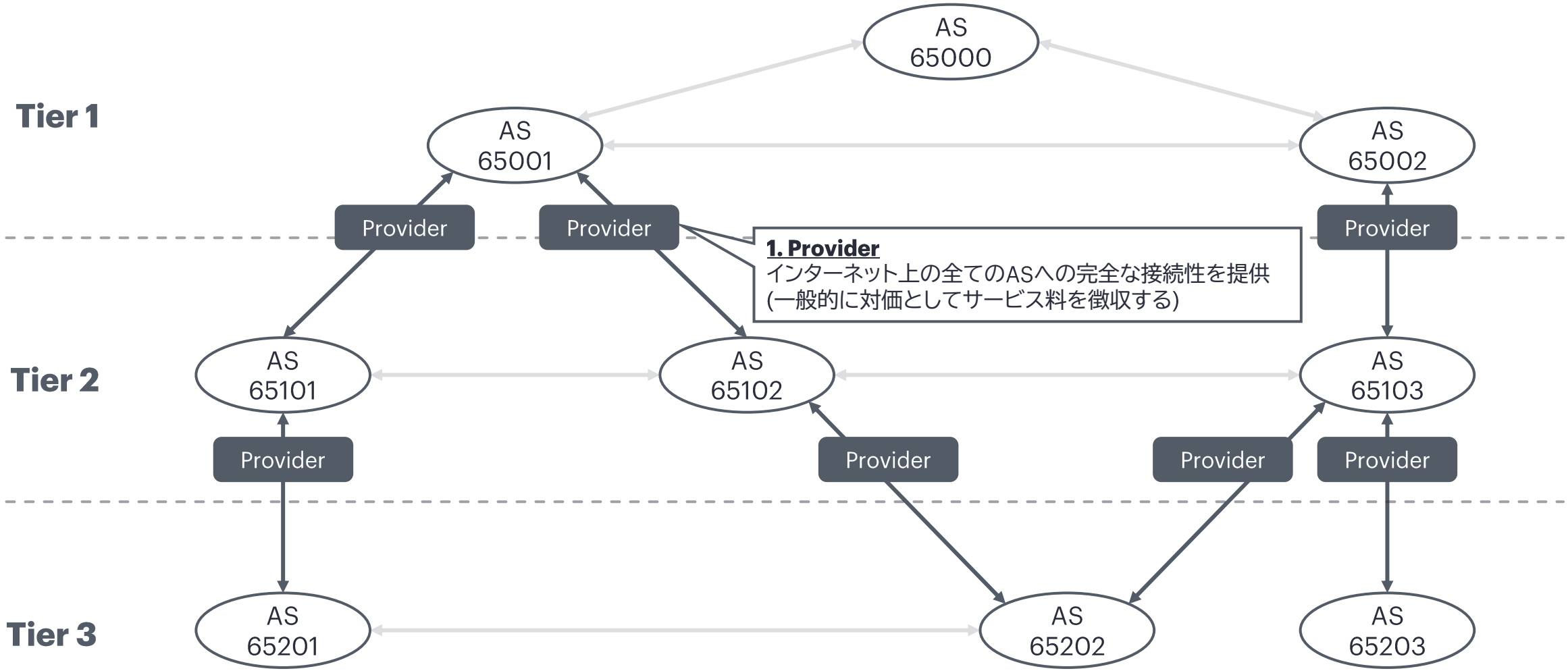
インターネットには、接続組織間 (=AS間)の「関係性 (Role*)」が存在する




* 意訳

# インターネットの構造

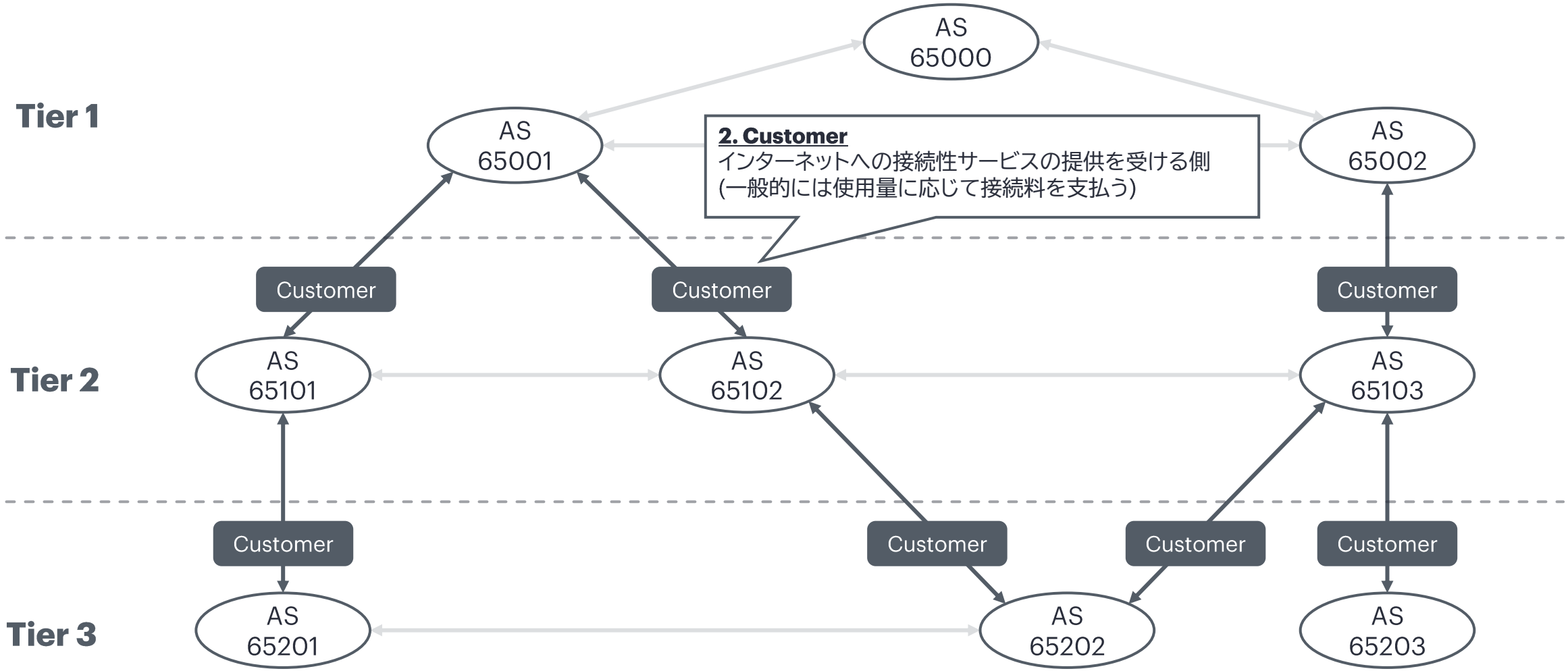
インターネットには、接続組織間 (=AS間)の「関係性 (Role*)」が存在する




* 意訳

# インターネットの構造

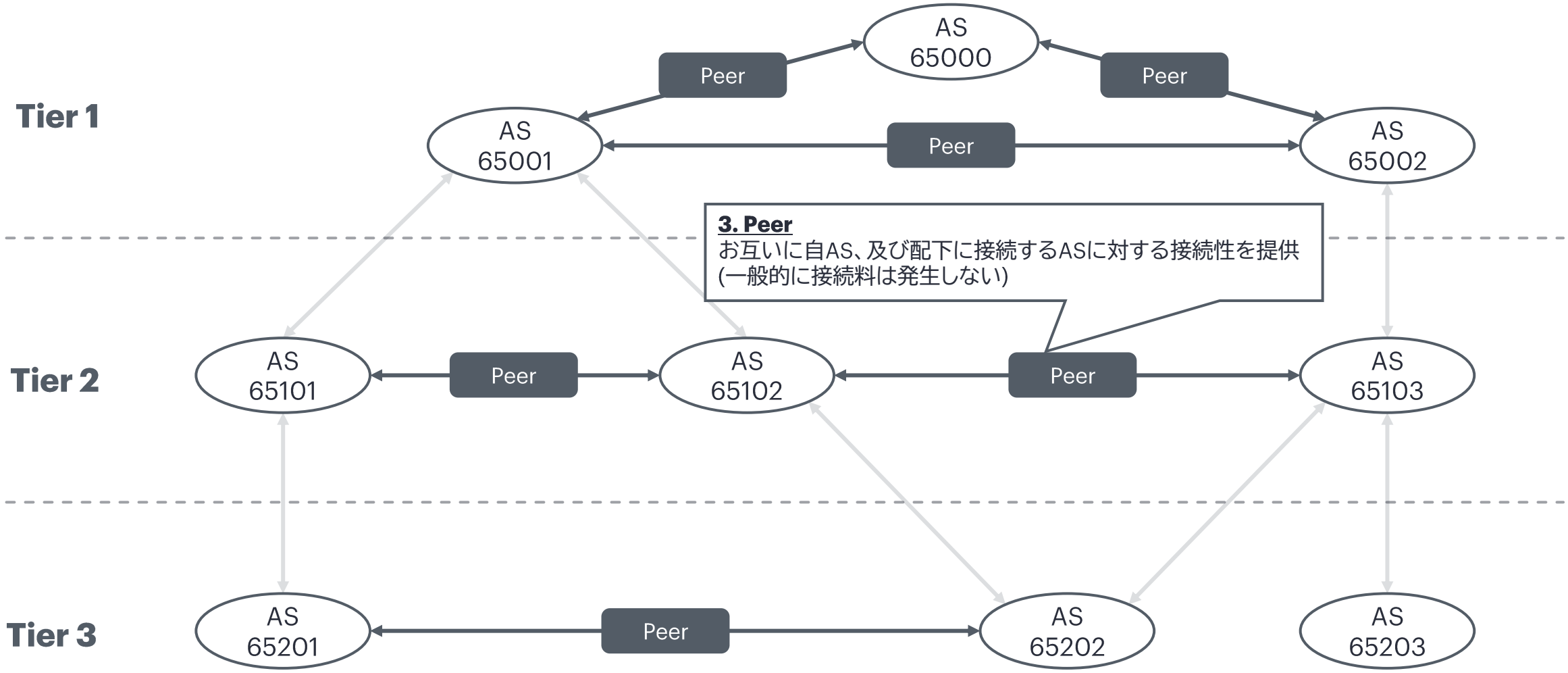
インターネットには、接続組織間 (=AS間)の「関係性 (Role*)」が存在する




* 意訳

# インターネットの構造

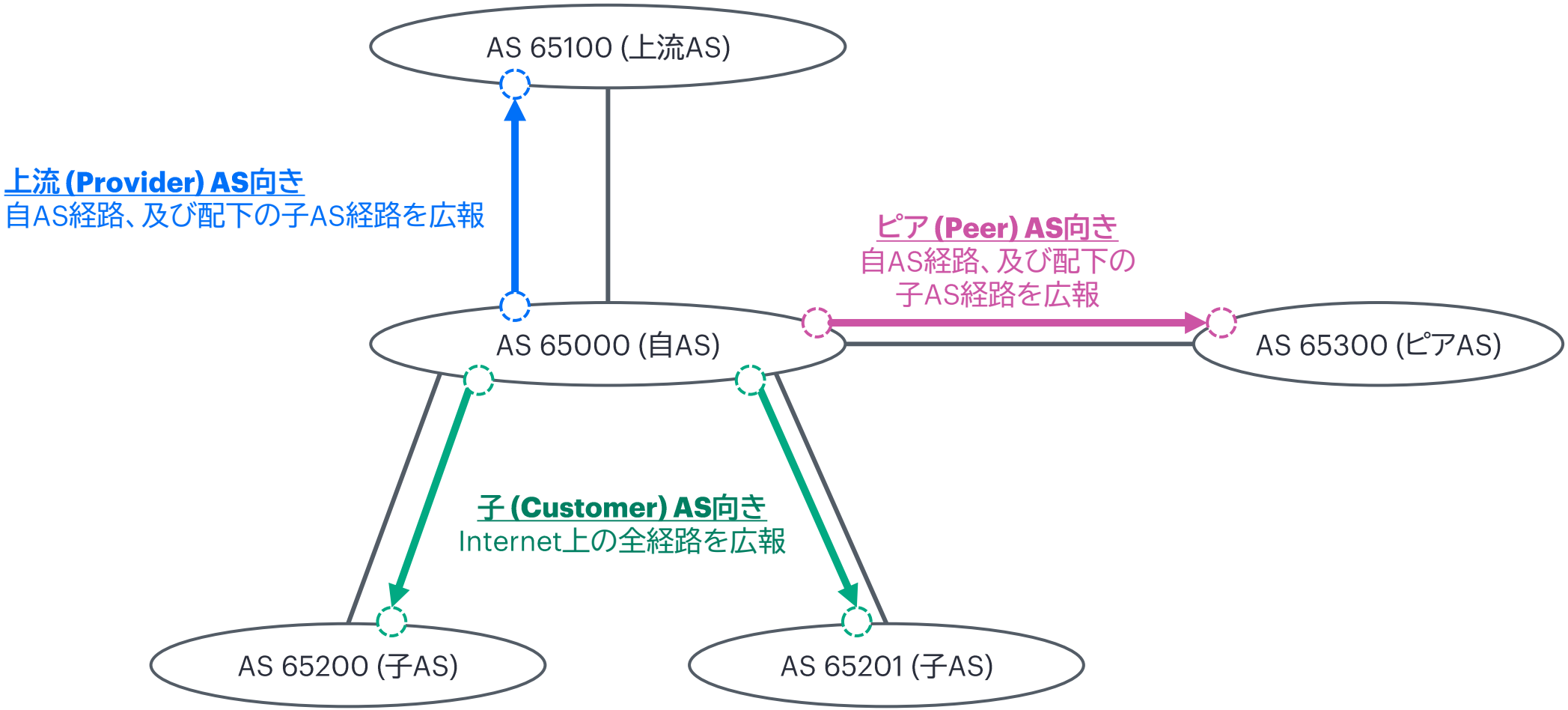
インターネットには、接続組織間 (=AS間)の「関係性 (Role*)」が存在する




* 意訳

# 組織間で交換される経路

組織間の関係性が対向組織に広報する経路、及び対向組織から受信する経路を大きく左右する

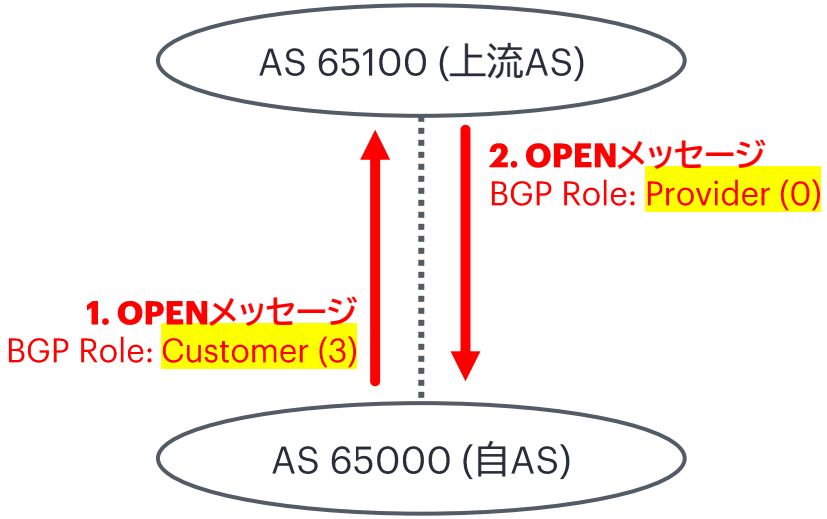


# RFC 9234: 関係性の概念をBGPへ

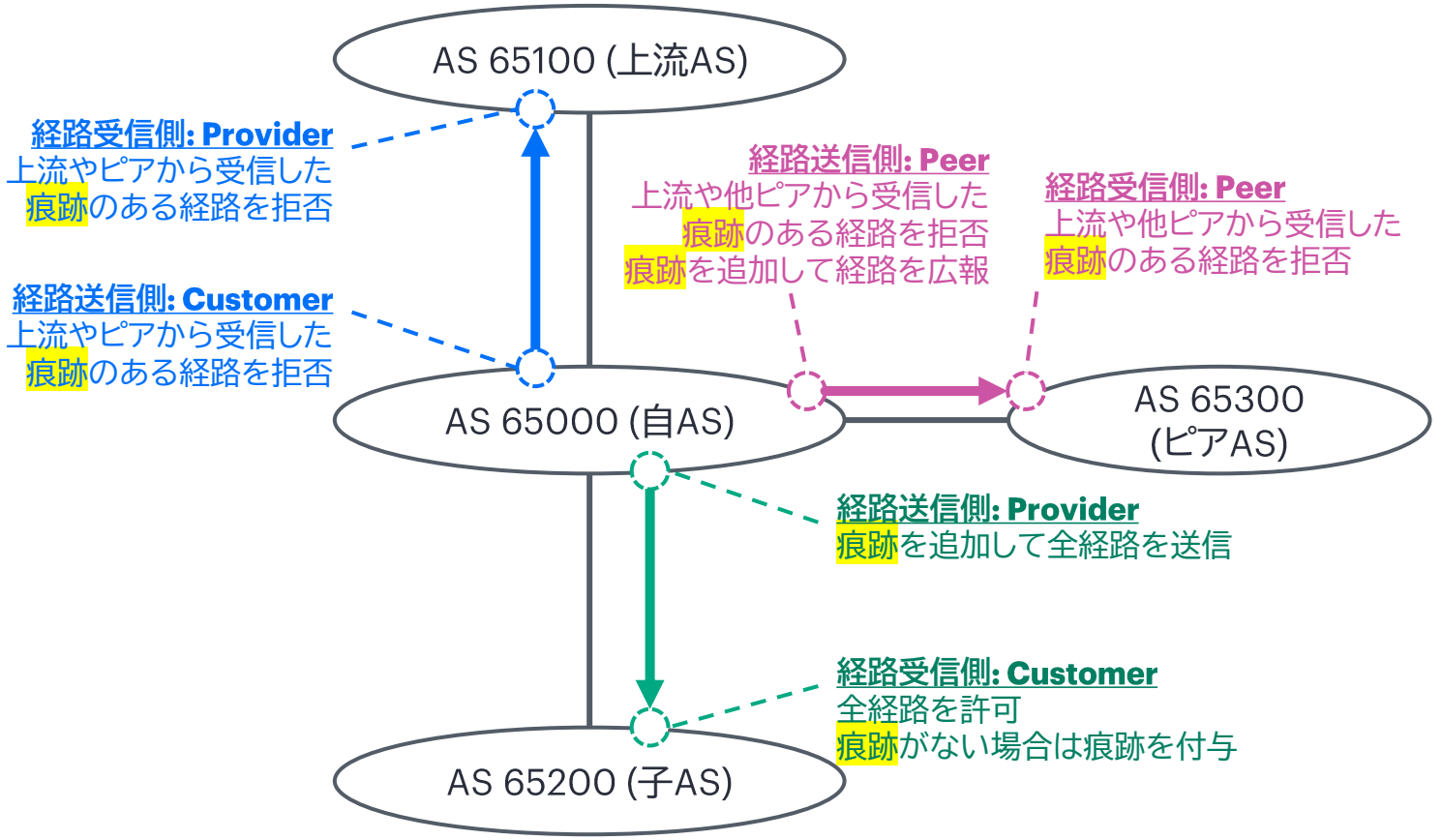
BGP上でお互いの「関係性 (Role)」を合意し、「関係性 (Role)」に応じて交換できる経路を制限する

**RFC 9234: Route Leak Prevention and Detection Using Roles in UPDATE and OPEN Messages**

**1. 関係性 (Role)の合意**



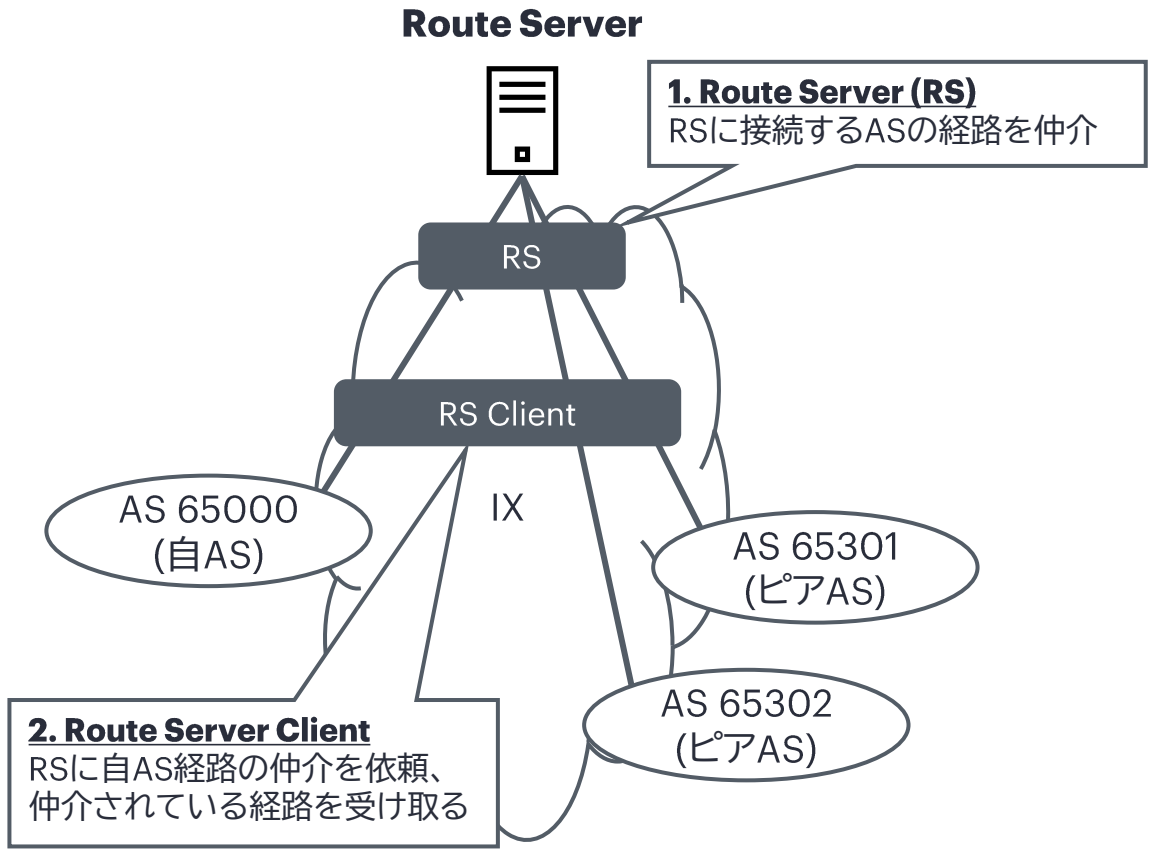

**2. 交換できる経路の制限**



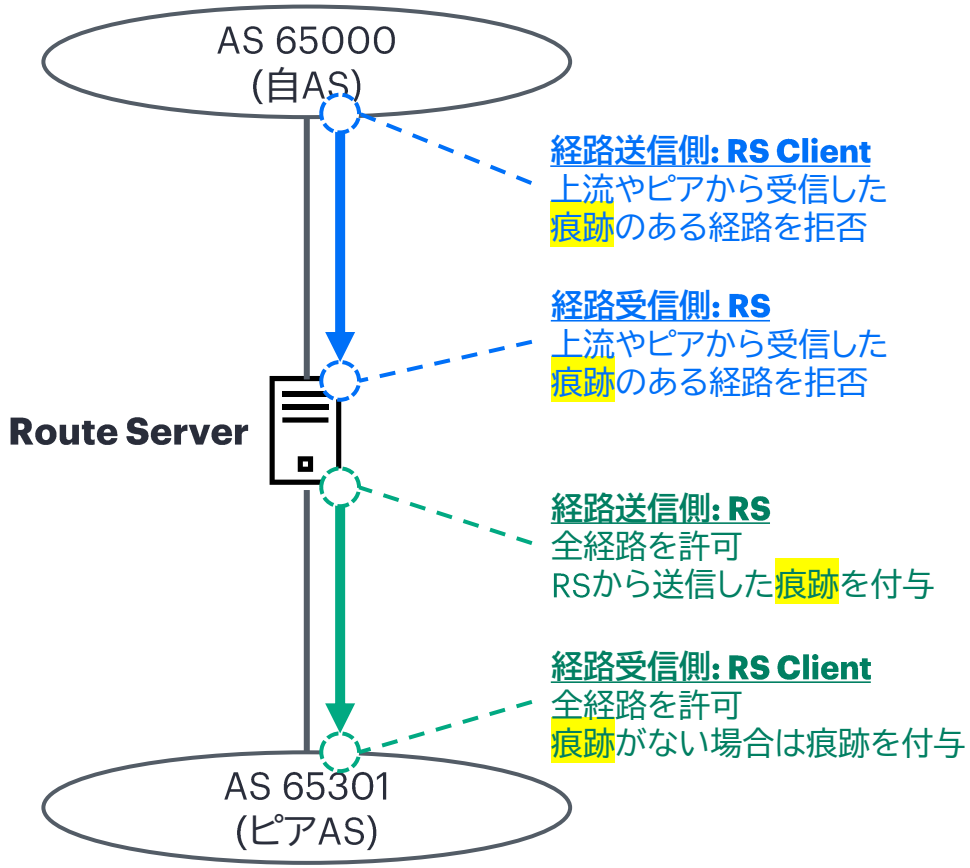
# IX Route Serverへの対応

Route Serverとの接続におけるRoleも定義されており、交換できる経路の制限も行われる

## Route Serverとの関係性




## Route Serverと交換できる経路



# RFC 9234の設定はシンプル

基本的にはBGPピアとの「関係性 (Role)」を指定するだけ

## Junos/Junos EVO (>= 25.2R1)

```
protocols {
    bgp {
        group AS65000-CUSTOMER-V4 {
            type external;
            import [ ... ];
            family inet {
                unicast;
            }
            export [ ... ];
            peer-as 65000;
            otc-local-role {
                provider;
            }
            neighbor 100.64.1.1;
        }
        log-updown;
    }
}
```

## FRRouting (FRR)

```
router bgp 65100
  bgp router-id 192.168.2.1
  network 192.0.2.0/24
  neighbor AS65000 peer-group
  neighbor AS65000 remote-as 65000
  neighbor AS65000 local-role provider
  neighbor 100.64.1.1 peer-group AS65000
  address-family ipv4 unicast
    neighbor AS65000 route-map AS65000-ROUTE-MAP in
  exit-address-family
```

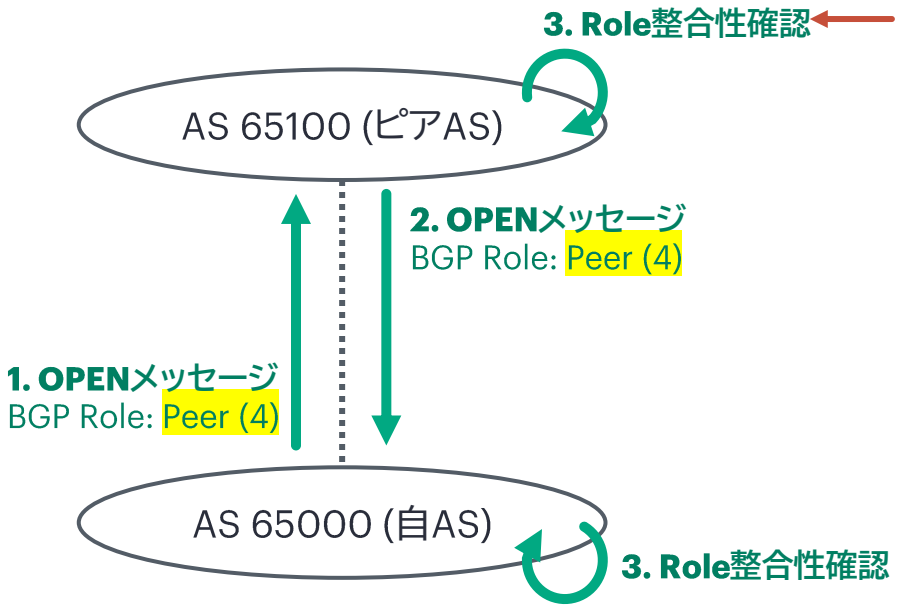
* 他にもBIRD, OpenBGPDなどでサポート

# BGPセッション確立時の関係性の合意

OPENメッセージを通じてBGP Roleを通知し、組み合わせの整合性をお互いが確認する

**OPENメッセージ例**

```
Internet Protocol Version 4, Src: 100.64.0.1, Dst: 100.64.0.2
Transmission Control Protocol, Src Port: 59323, Dst Port: 179, Seq: 1, Ack: 1, Len: 68
Border Gateway Protocol - OPEN Message
    Marker: ffffffffffffffffffffffffffffffff
    Length: 68
    Type: OPEN Message (1)
    Version: 4
    My AS: 65000
    Hold Time: 90
    BGP Identifier: 192.0.2.1
    Optional Parameters Length: 39
    Optional Parameters
        Optional Parameter: Capability
        Optional Parameter: Capability
        Optional Parameter: Capability
        Optional Parameter: Capability
        Optional Parameter: Capability
        Optional Parameter: Capability
        Optional Parameter: Capability
            Parameter Type: Capability (2)
            Parameter Length: 3
            Capability: BGP Role
                Type: BGP Role (9)
                Length: 1
                BGP Role: Peer (4)
```




**許容されるRoleの組み合わせ**

| Local AS Role | Remote AS Role |
|---|---|
| Provider (0) | Customer (3) |
| Customer (3) | Provider (0) |
| RS (1) | RS-Client (2) |
| RS-Client (2) | RS (1) |
| Peer (4) | Peer (4) |

**組み合わせに不整合がある場合**

```
Internet Protocol Version 4, Src: 100.64.0.2, Dst: 100.64.0.1
Transmission Control Protocol, Src Port: 179, Dst Port: 59323, Seq: 69, Ack: 69, Len: 21
Border Gateway Protocol - NOTIFICATION Message
    Marker: ffffffffffffffffffffffffffffffff
    Length: 21
    Type: NOTIFICATION Message (3)
    Major error Code: OPEN Message Error (2)
    Minor error Code (Open Message): Role Mismatch (11)
```

**対向がRFC 9234をサポートしていない場合**

- デフォルトでは、BGPセッションは通常通り上がる
  (自AS側だけでOTCの動作を行う)
- Strict Mode"を設定すると対向でのRFC 9234サポートを強制

# 経路のマーキング: Only To Customer (OTC) Attribute

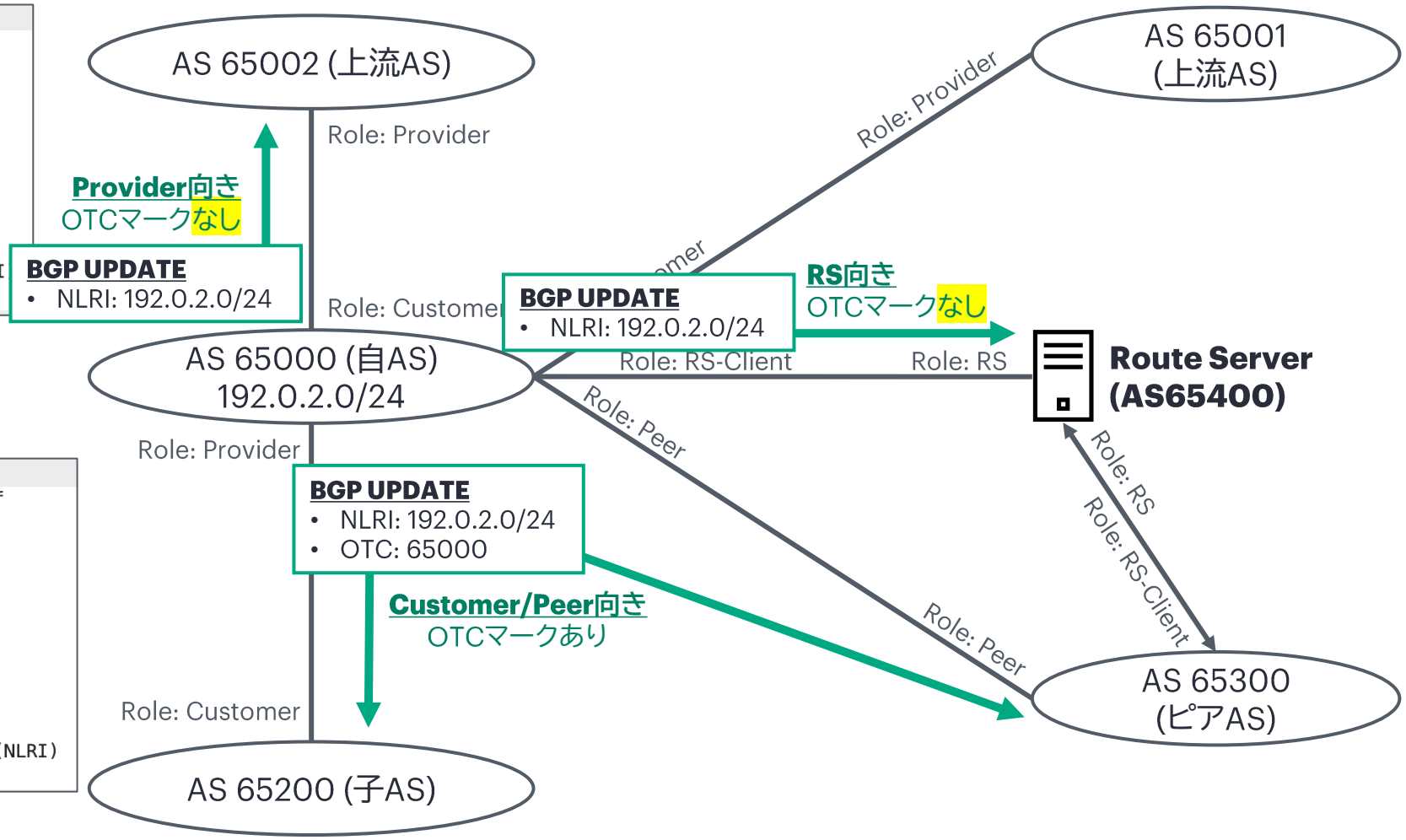
上流、またはピアから受信した経路である「痕跡」としてOTC Attributeを経路にマーキングする

**UPDATEメッセージ例 (OTCなし)**

```
Border Gateway Protocol - UPDATE Message
    Marker: ffffffffffffffffffffffffffffffff
    Length: 47
    Type: UPDATE Message (2)
    Withdrawn Routes Length: 0
    Total Path Attribute Length: 20
  Path attributes
    > Path Attribute - ORIGIN: IGP
    > Path Attribute - AS_PATH: 65000
    > Path Attribute - NEXT_HOP: 100.64.1.1
  Network Layer Reachability Information (NLRI
    > 192.0.2.0/24
```

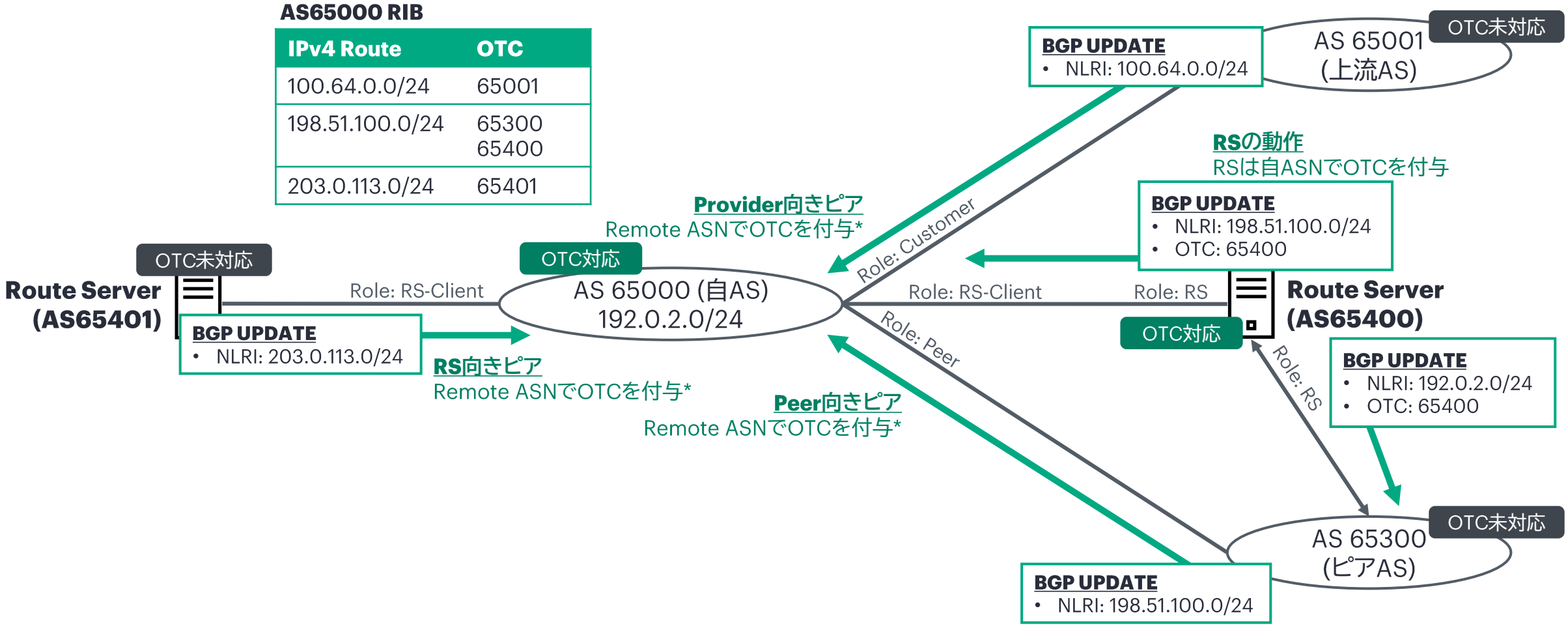
**UPDATEメッセージ例 (OTCあり)**

```
Border Gateway Protocol - UPDATE Message
    Marker: ffffffffffffffffffffffffffffffff
    Length: 54
    Type: UPDATE Message (2)
    Withdrawn Routes Length: 0
    Total Path Attribute Length: 27
  Path attributes
    > Path Attribute - ORIGIN: IGP
    > Path Attribute - AS_PATH: 65000
    > Path Attribute - NEXT_HOP: 100.64.0.1
    > Path Attribute - OTC: 65000
  Network Layer Reachability Information (NLRI)
    > 192.0.2.0/24
```



# 受信経路に対するOTCマーキング

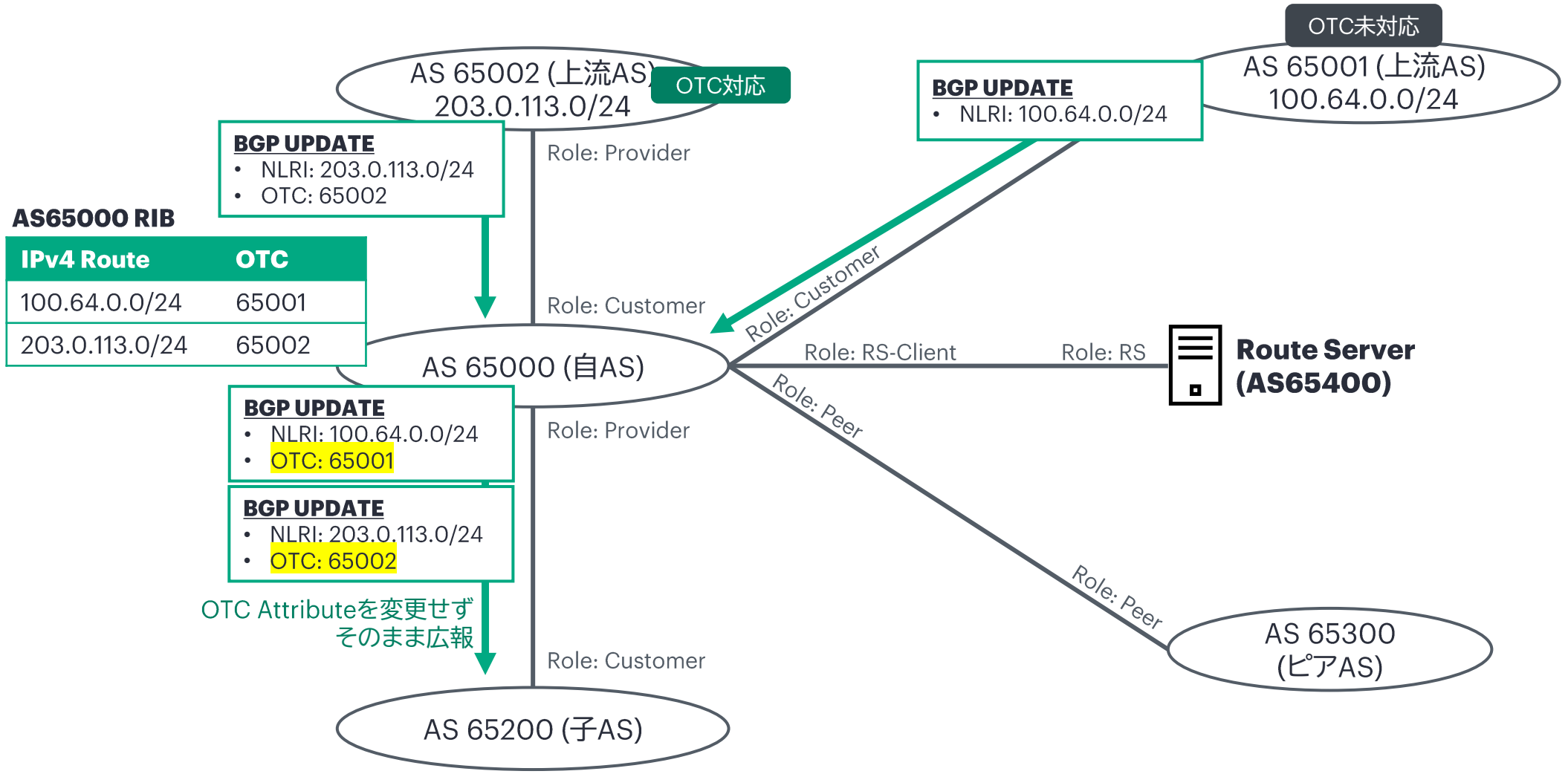
OTC未対応のASから経路を受信した際や、RSが経路を広報する際にもOTCが付与されるケースがある




*ただし、OTCを付与するのはOTCが既に付与されていない場合に限る

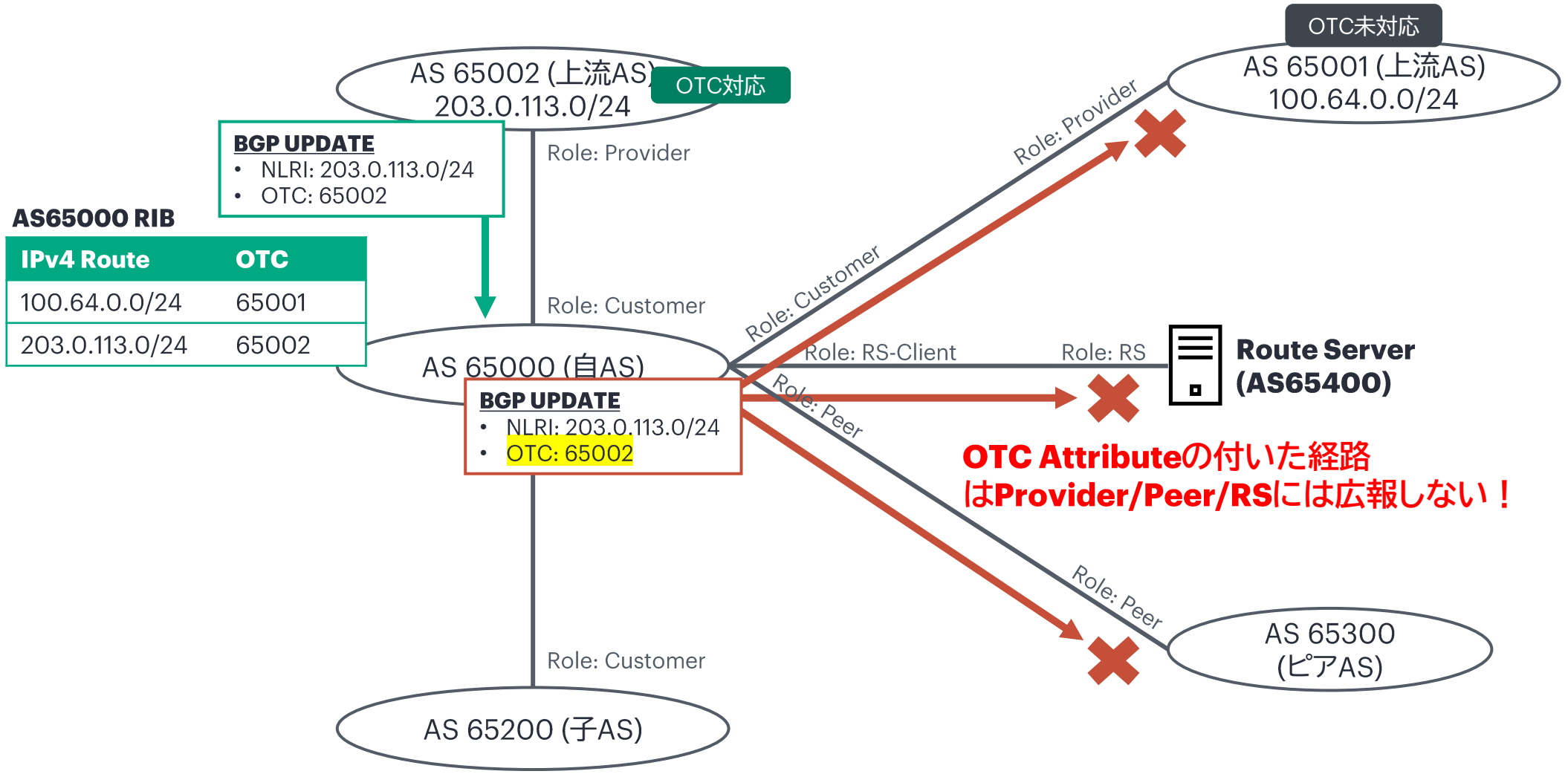
# OTCが付与された経路の広報: Customer

経路をOTCの値を維持したまま広報する



# OTCが付与された経路の広報: Provider/RS/Peer

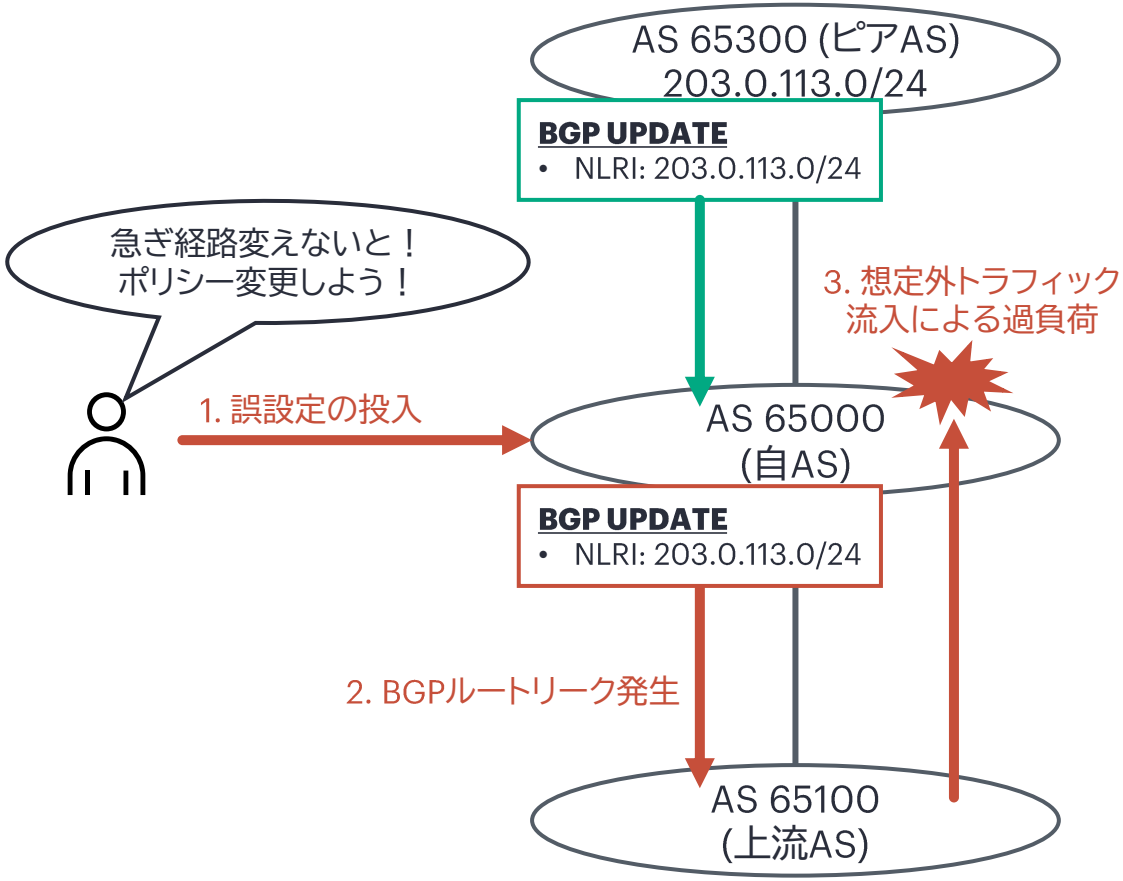
OTCでマークされた経路はRoleが “Provider”, “RS”, “Peer”のピアに対しては広報しない



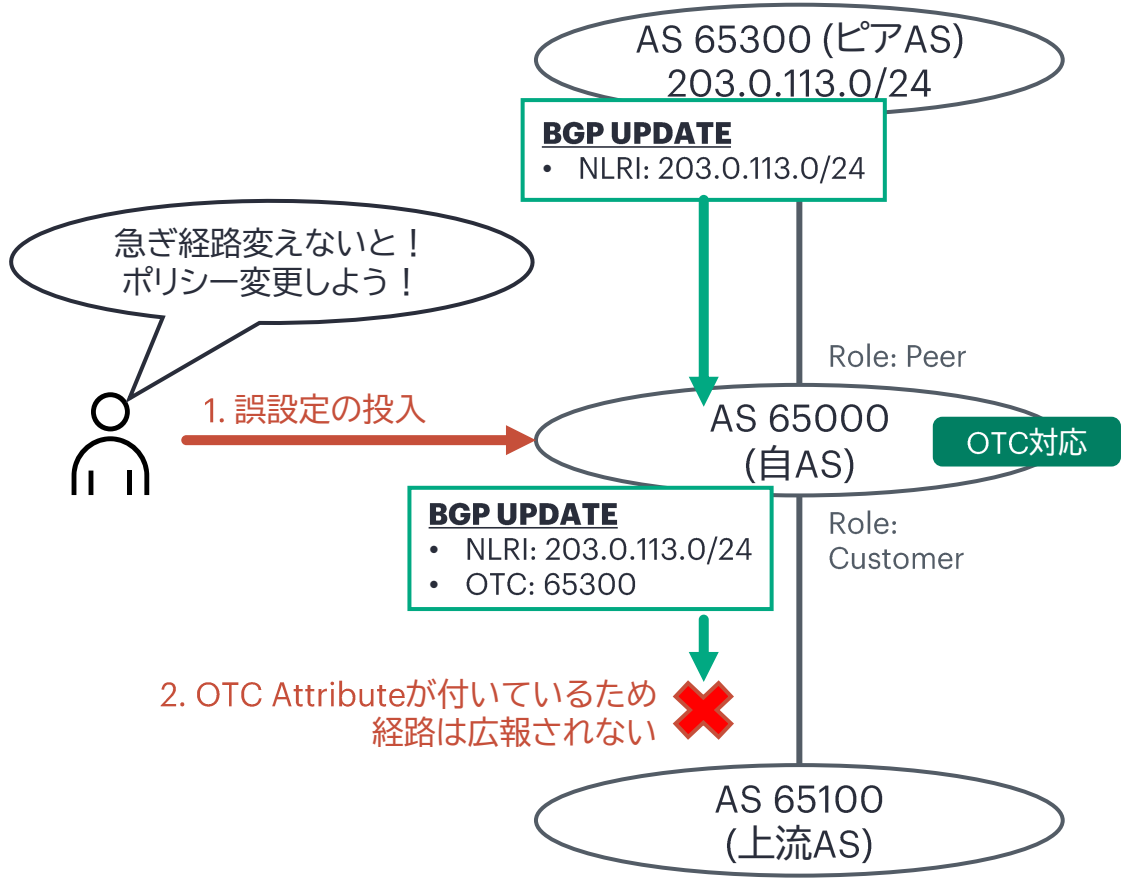
# RFC 9234を入れることによるBefore/After

自AS内だけでもRFC 9234対応を行うことで、万が一の設定ミスによるトラブルを防止できる

**RFC 9234を導入していない場合**

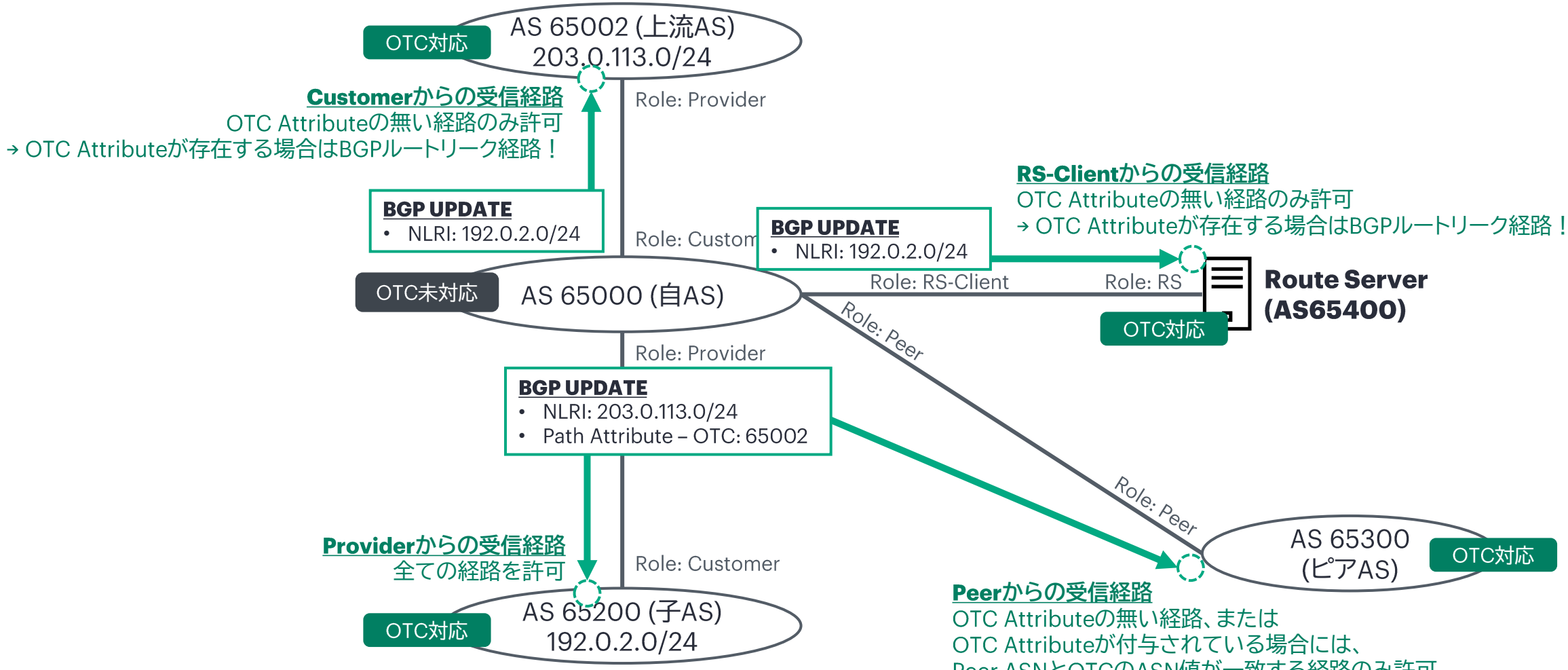



**RFC 9234を導入した場合**



# 経路受信側におけるOTCの評価

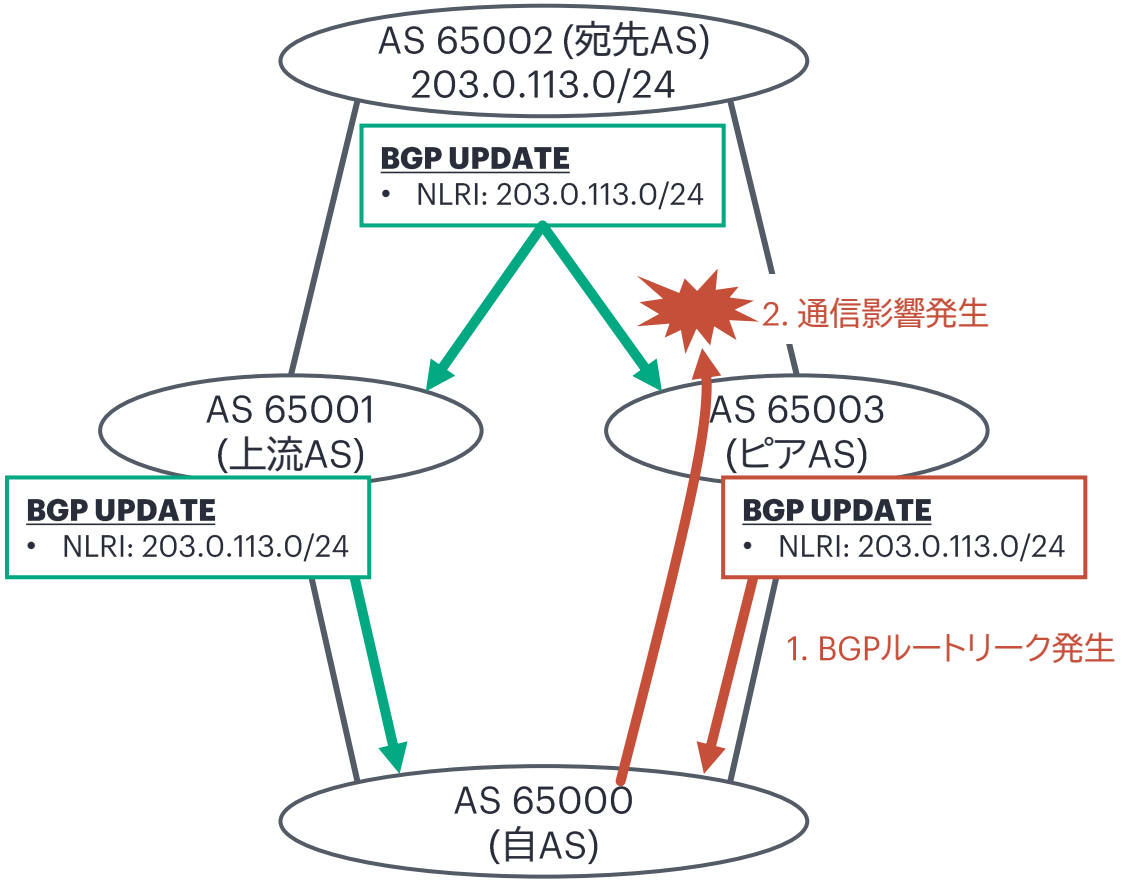
OTCが付与された経路を受信した場合は、受信側でも送信側と同様の評価を行っている



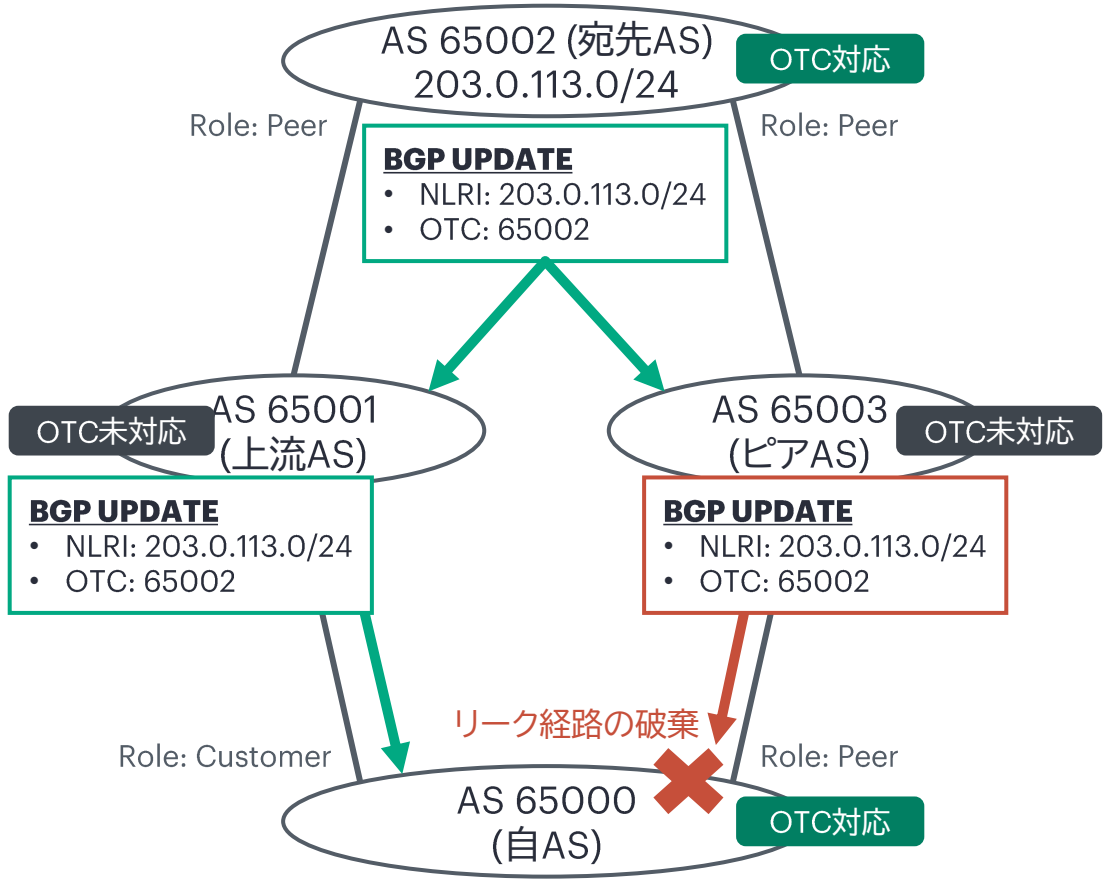
# 受信側での評価が役立つ例 #1

中継区間がRFC 9234に対応していない場合でもBGPルートリークの影響を阻止できるケースがある

**RFC 9234を導入していない場合**



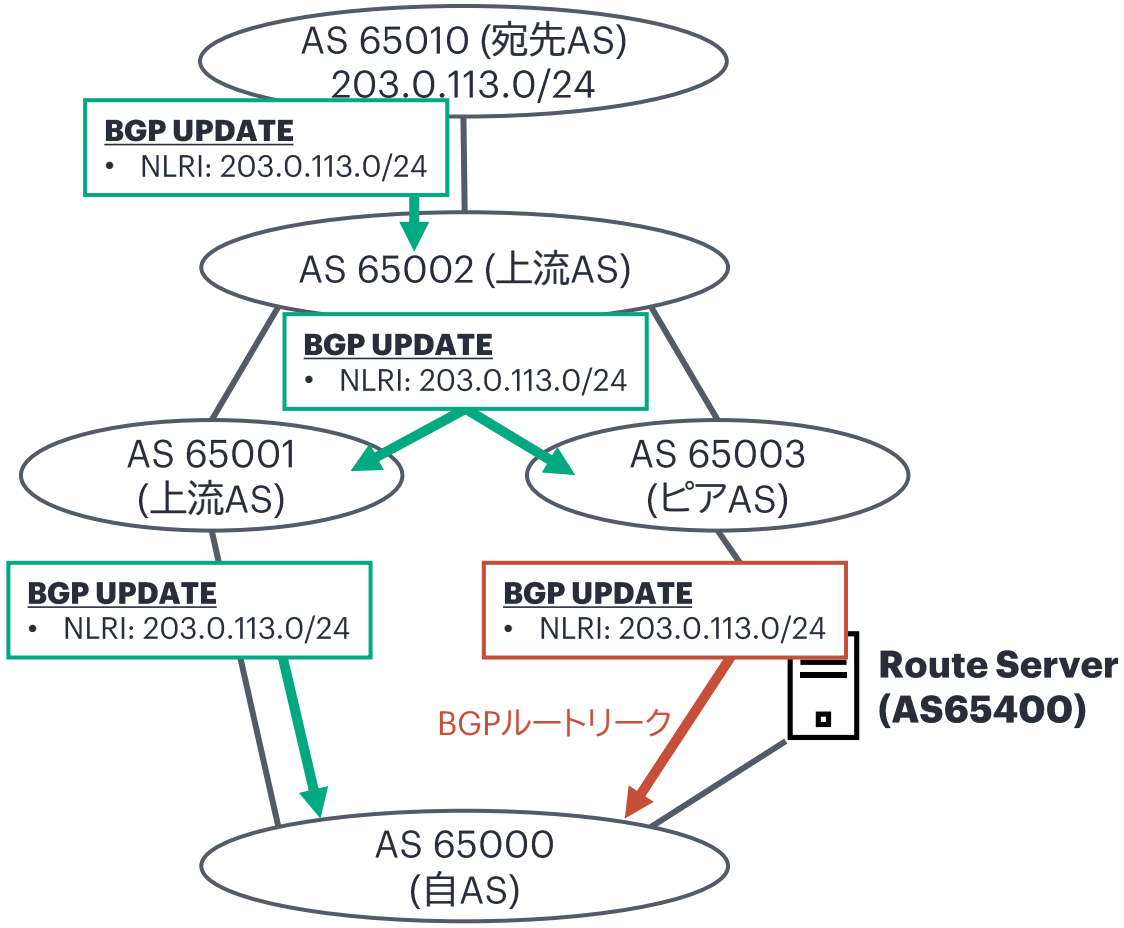

**RFC 9234を導入した場合**



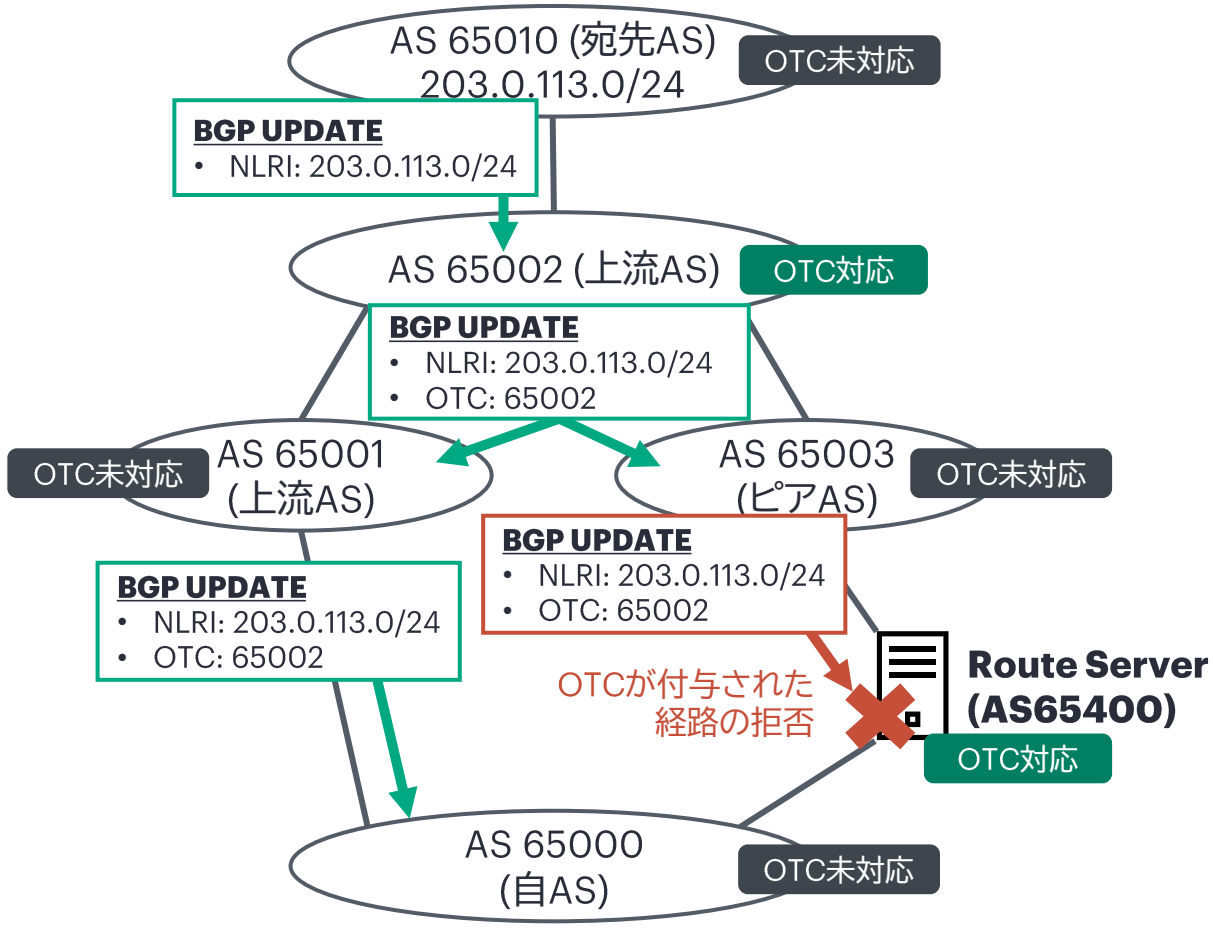
# 受信側での評価が役立つ例 #2

Route Serverや中継区間がRFC 9234に対応している場合にルートリークから守られるシナリオもある

**RFC 9234を導入していない場合**

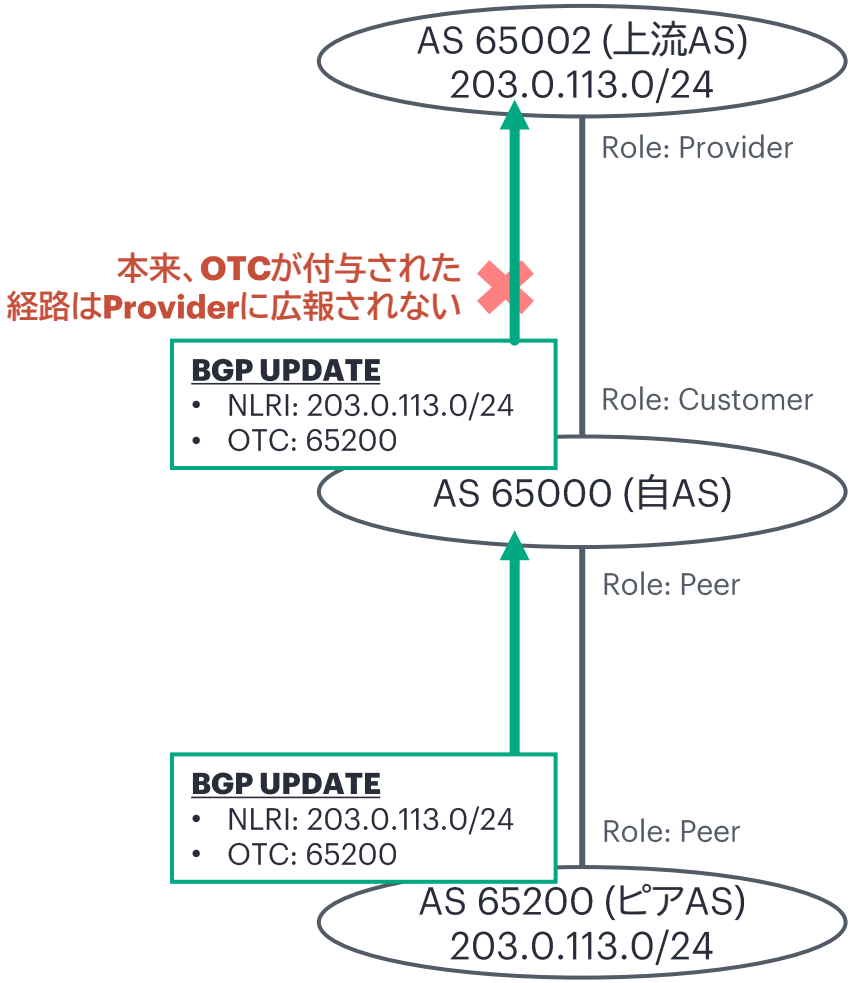



**RFC 9234を導入した場合**



# Route Leakをしたい特殊ケース

RFC 9234では推奨されていないが、特殊ケースに対応できるよう柔軟性を持たせてる実装もある



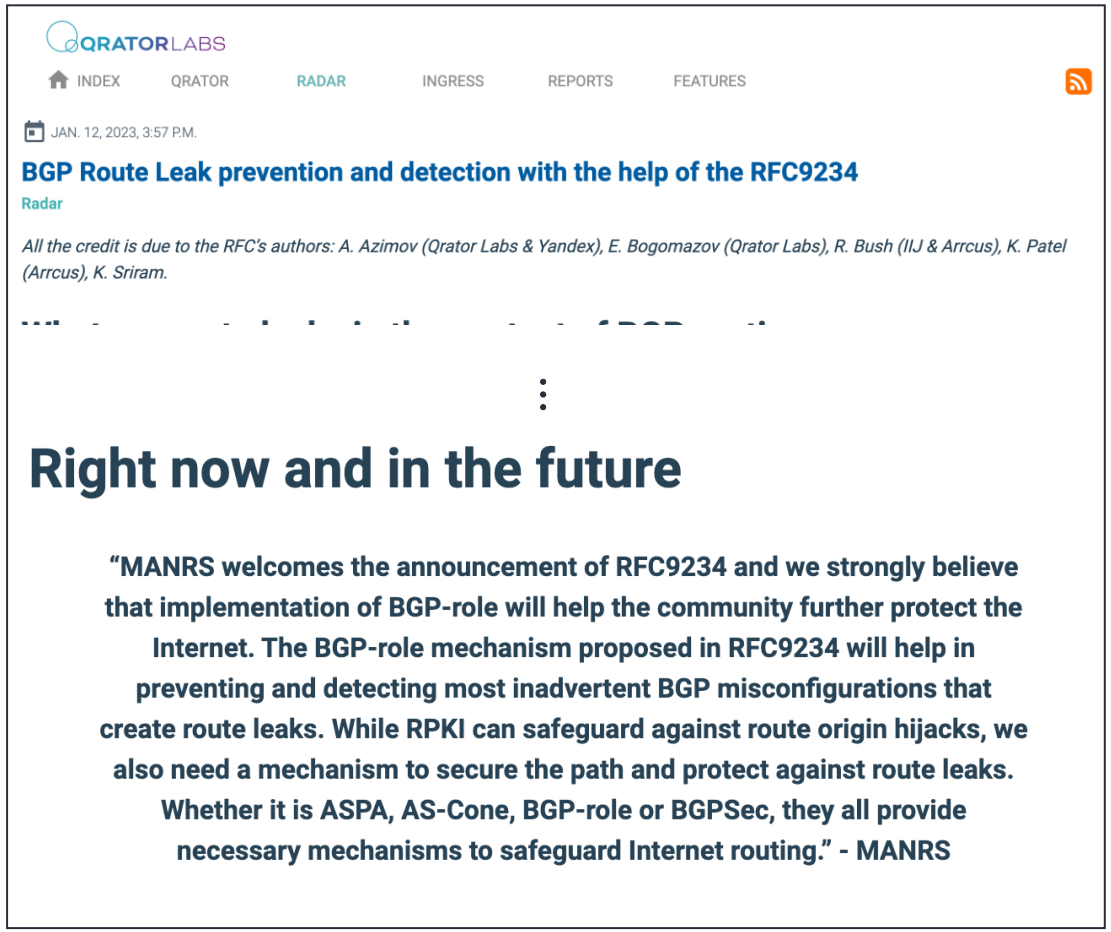

**Junosでの例**

```
policy-options {
    policy-statement EXPORT-AS65002 {
        term PARTIAL-TRANSIT-OVERRIDE {
            from {
                protocol bgp;
                route-filter 203.0.113.0/24 exact;
            }
            then {
                accept;
                otc-local-role provider;
            }
        }
        term CUSTOMER {
            from {
                protocol bgp;
                community CUSTOMER;
            }
            then accept;
        }
```

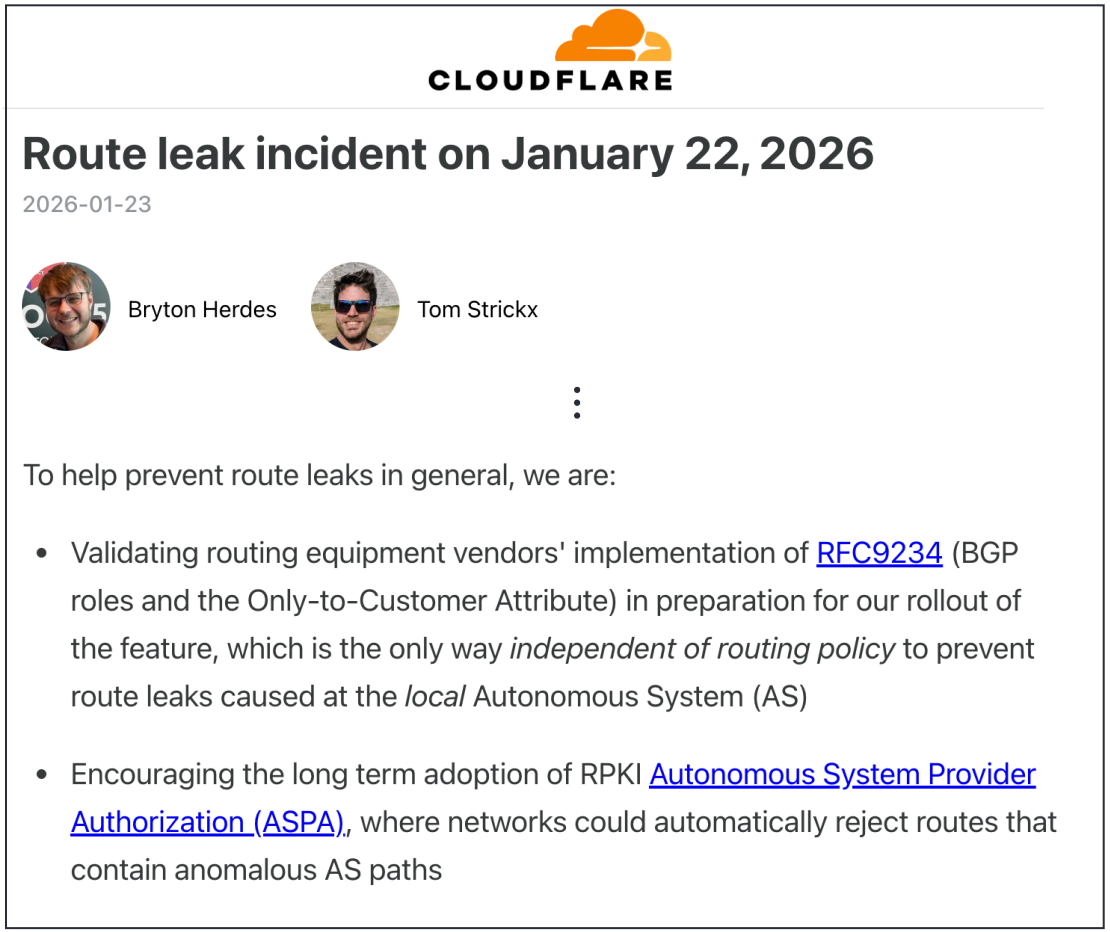
**acceptだけでは広報されない！**
**特定経路におけるOTCのRoleを**
**変更する必要がある**

# RFC 9234への期待

BGPルートリークの対策としてRFC 9234に期待している事業者が増えている




出典: https://blog.qrator.net/en/route-leak-prevention-and-detection-rfc9234_162/




出典: https://blog.cloudflare.com/route-leak-incident-january-22-2026/

# RFC 9234への期待: Internet Exchangeでの採用

RFC9234はLINXやAMS-IX、France IX、MSK-IX、YYCIXなどのRoute Serverで既に導入されている

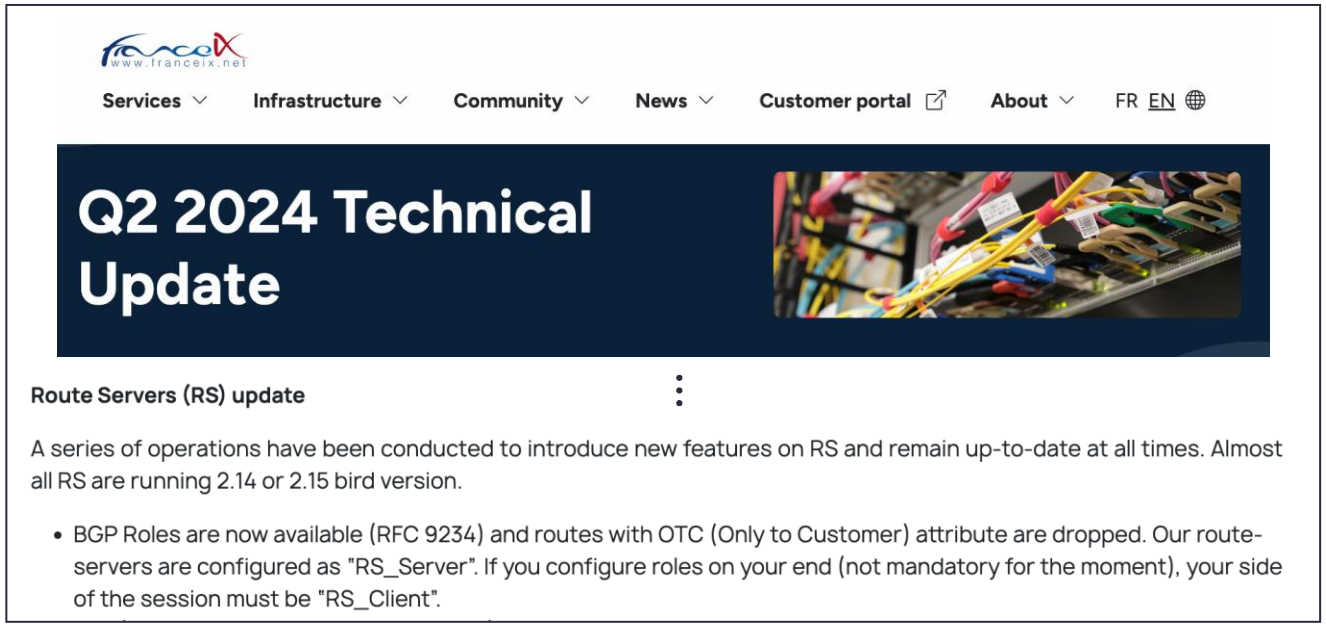

Written by Moyaze Shivji, Senior Network Engineer at LINX

**The LINX engineering team has enabled RFC9234 on all LINX Route Servers for the detection and prevention of BGP route leaks, usually caused by errors and misconfigurations.**

*RFC (Request for Comments) – a formal document that can outline technical specs and protocols.*


## AMS-IX Route Servers

- **AMS-IX Route Servers support BGP roles** (RFC9234) for Route leak detection and prevention by default. We have configured our role as "rs__server" (or RS) and BGP sessions with "rs__client" (or RS-Client) role are expected from the other side. However, this attribute is an optional one and BGP sessions that do not support RFC9234 are still being accepted.




**Route Servers (RS) update**

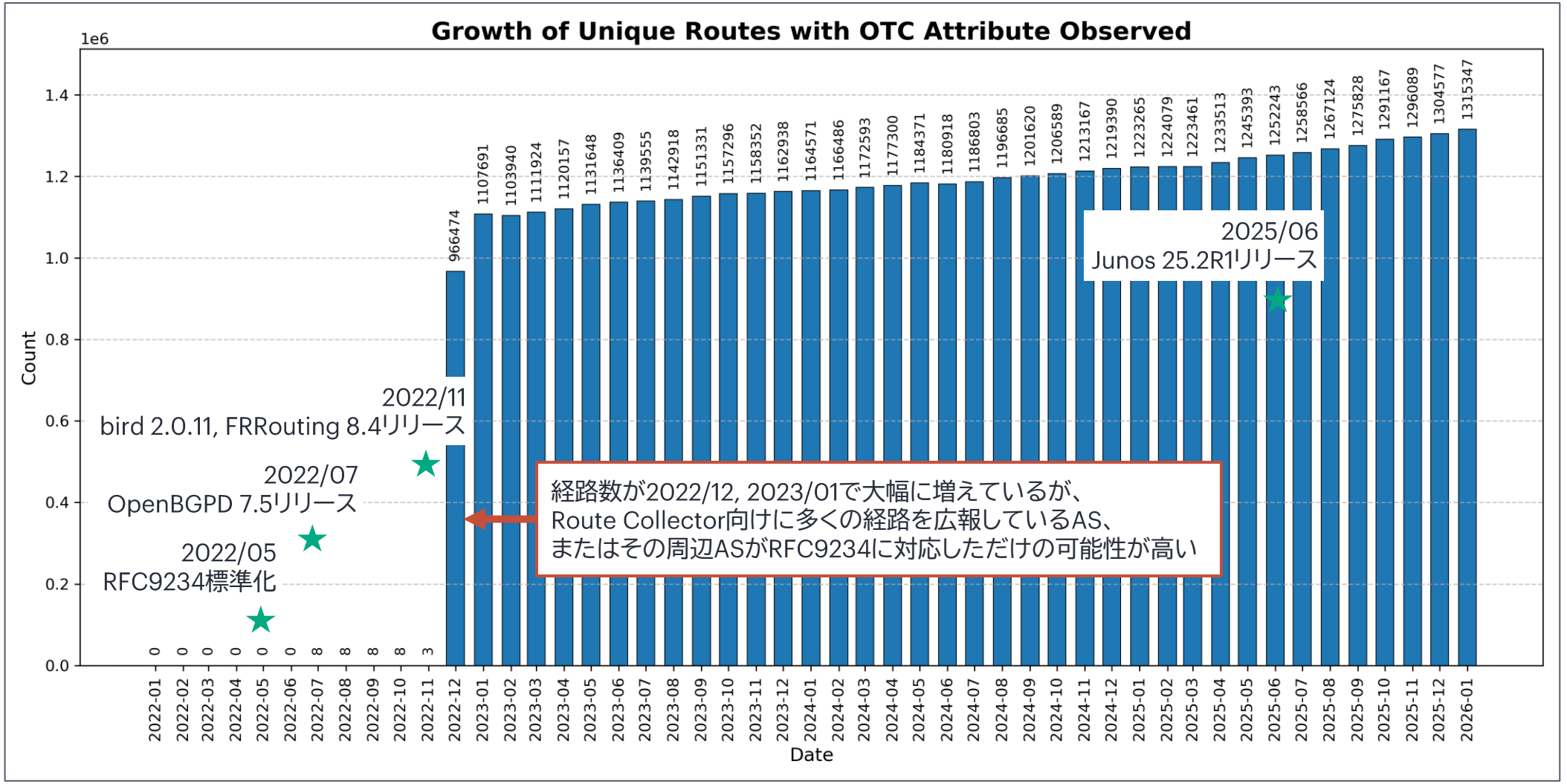
A series of operations have been conducted to introduce new features on RS and remain up-to-date at all times. Almost all RS are running 2.14 or 2.15 bird version.

- BGP Roles are now available (RFC 9234) and routes with OTC (Only to Customer) attribute are dropped. Our route-servers are configured as "RS_Server". If you configure roles on your end (not mandatory for the moment), your side of the session must be "RS_Client".

出典:
1. LINX: https://www.linx.net/rfc9234-enabled-on-linx-route-servers/
2. AMS-IX: https://www.ams-ix.net/ams/documentation/ams-ix-route-servers
3. France-IX: https://www.franceix.net/en/infrastructure/techhub/rapport-technique-t2-2024/

# RFC 9234への期待: OTC Attributeの付いた経路数の推移

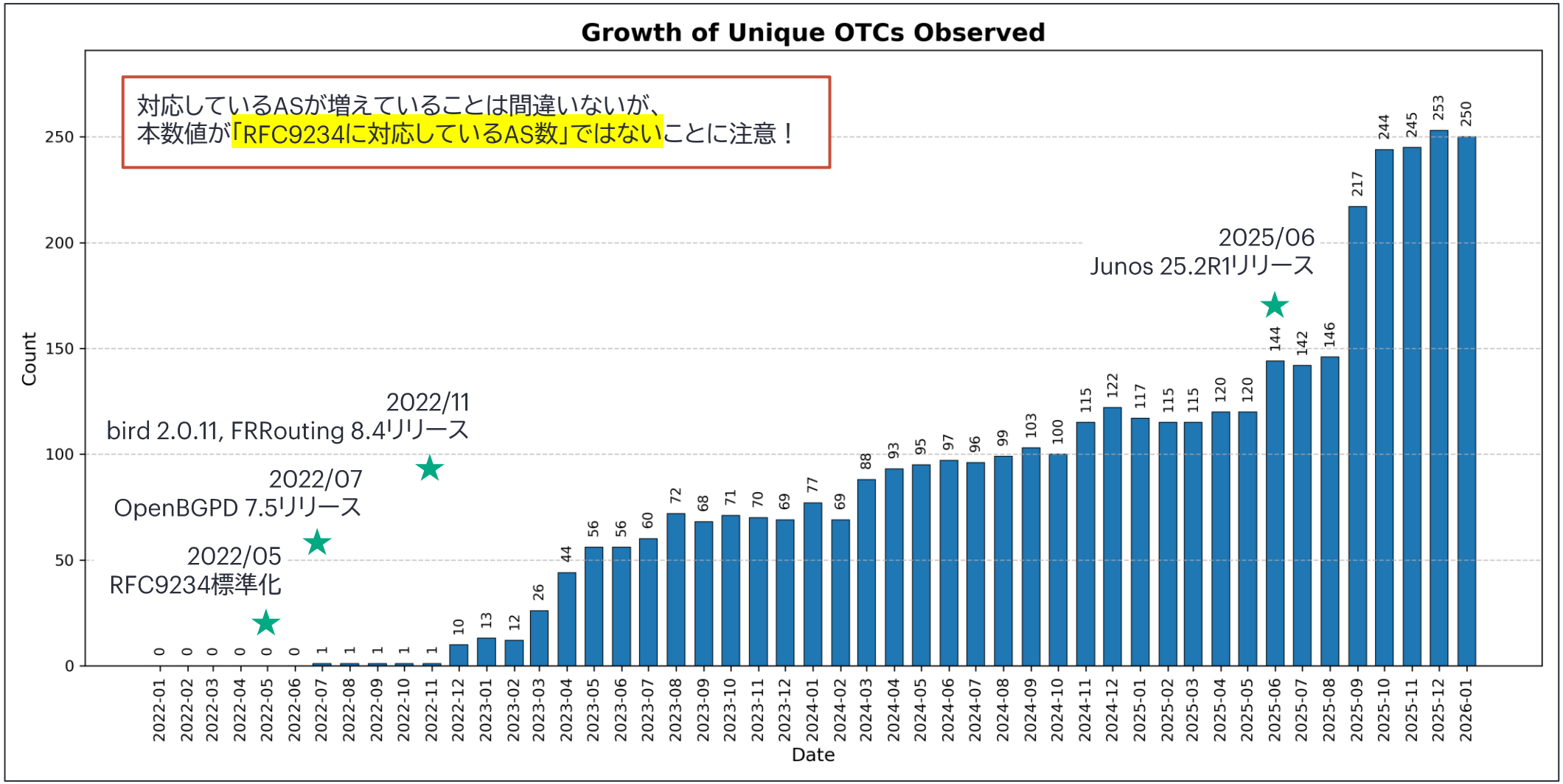
IPv4/IPv6のBGP Full Route上にOTC Attribute付きの経路が存在し、増加傾向にあることが分かる




*1. 以下、合計23のRoute Collector上のデータより算出:
rrc00, rrc01, rrc03, rrc04, rrc05, rrc06, rrc07, rrc10, rrc11, rrc12, rrc13, rrc14, rrc15, rrc16, rrc18, rrc19, rrc20, rrc21, rrc22, rrc23, rrc24, rrc25, rrc26
*2. データは月末日 0:00 UTCのものを利用

# RFC 9234への期待: OTCとして出現するAS数の推移

IPv4/IPv6のBGP Full Routeに存在するOTCとして出現するAS数も増加傾向にある




*1. 以下、合計23のRoute Collector上のデータより算出:
rrc00, rrc01, rrc03, rrc04, rrc05, rrc06, rrc07, rrc10, rrc11, rrc12, rrc13, rrc14, rrc15, rrc16, rrc18, rrc19, rrc20, rrc21, rrc22, rrc23, rrc24, rrc25, rrc26
*2. データは月末日 0:00 UTCのものを利用

# RFC 9234を導入しているASを見つけるには

抜け漏れは発生する可能性はあるが、以下手法を使い、高確率でRFC 9234を導入しているASを検出
(より良い方法を思いついた方は教えてください・・！ & メモリーが大量に必要にならない方法)

1. AS_PATH上にOTCの値が存在しないパターンを抽出 => Route ServerがRFC 9234対応の可能性
    1. 同じOTCの値が入っているAS Pathのパターンを全て抽出
    2. 同じASが全パターンに存在するか確認 => データセットが不十分のため判断不能
    3. 頻出するASの上位2つのASが全パターンに存在するか確認 => 恐らくRoute Server以外だがデータ不十分
    4. 上記にマッチしないもの => Route Serverが高確率で対応している

2. AS_PATHの最も左にいるASがOTCの値と一致しているパターンを抽出 => RFC 9234を高確率でサポート

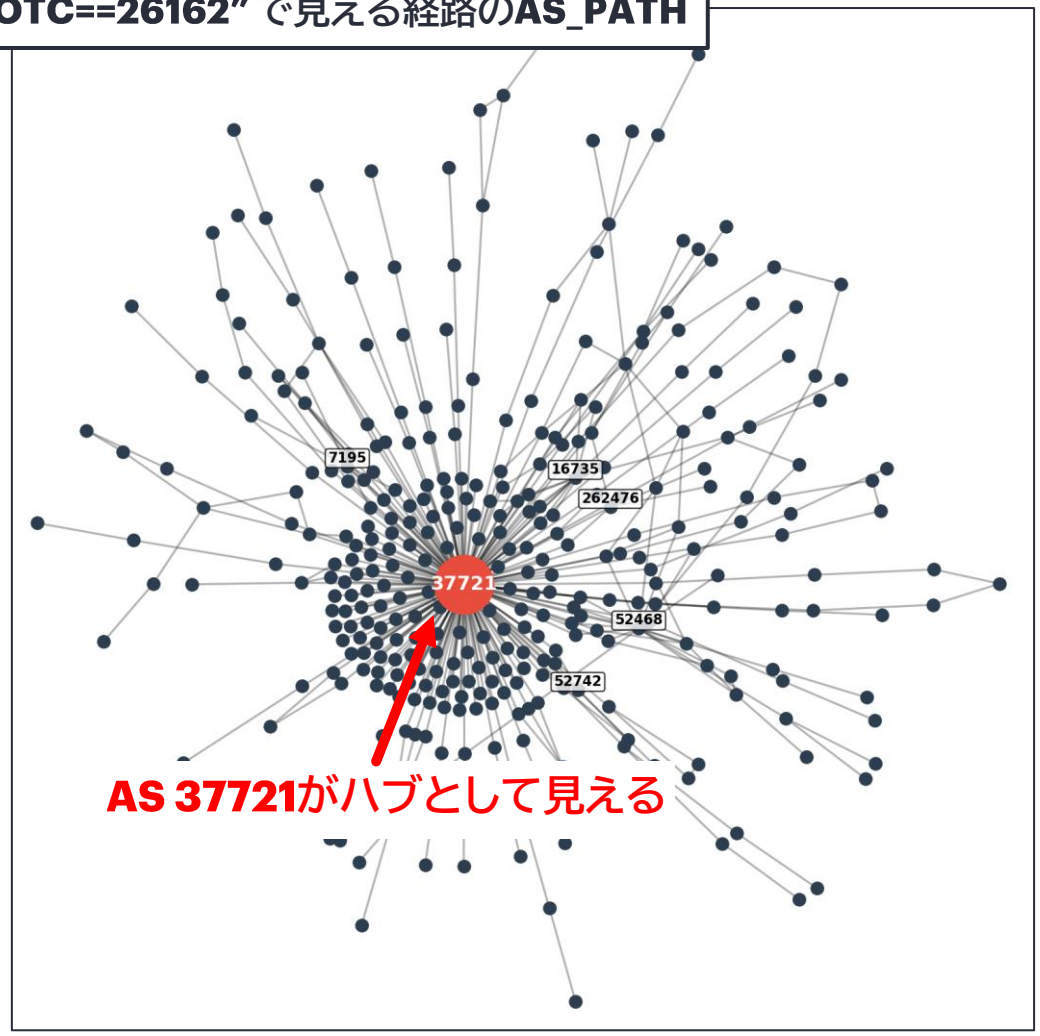
3. Origin ASとOTCの値が一致している経路を抽出
   => Origin ASまたはOrigin ASのPeer/CustomerがOTCをサポート
    1. Origin AS (X)のTransit AS (P)を検出 (1つの経路に対してOrigin ASの次に来るASが複数のAS Pathに存在している)
    2. PがOrigin ASとなっている経路のAS Pathパターンを抽出
        1. PのTransit AS (P')を検出 -> AS PathパターンからP'が含まれるものを除外
        2. 残るAS Pathの全てがOTC == Pとなっているか確認 -> 正であれば、PはRFC 9234対応
    3. XがOrigin ASとなっている経路のAS Pathパターンを抽出
        1. AS PathパターンからPが含まれるものを除外
        2. 残るAS Pathの全てがOTC == Xとなっているか確認 -> 正であれば、XはRFC 9234対応

説明は割愛します

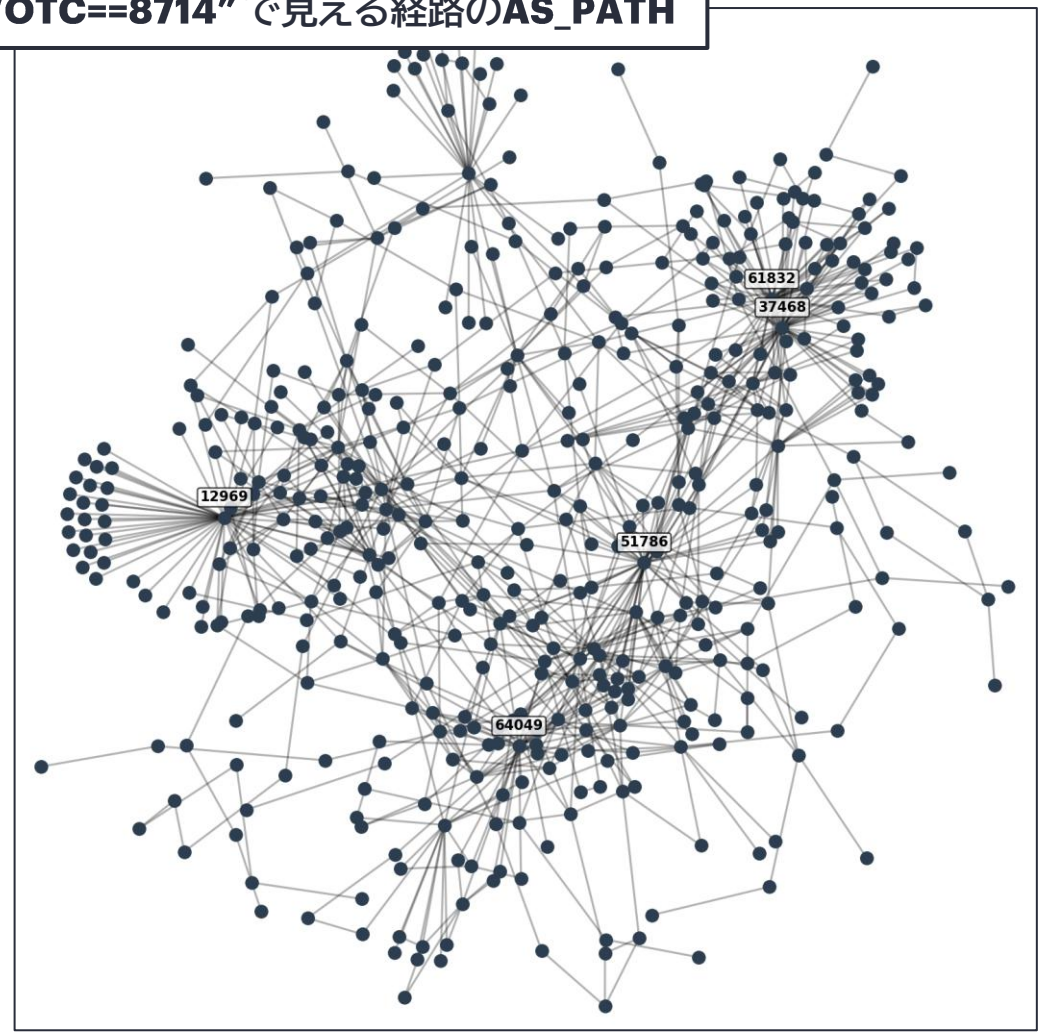
# RFC9234に対応したIX Route Serverの検出

ハブとなるASが存在しない場合にはIXのRoute Server自体がRFC 9234に対応していると考えられる

**“OTC==26162”** で見える経路の**AS_PATH**



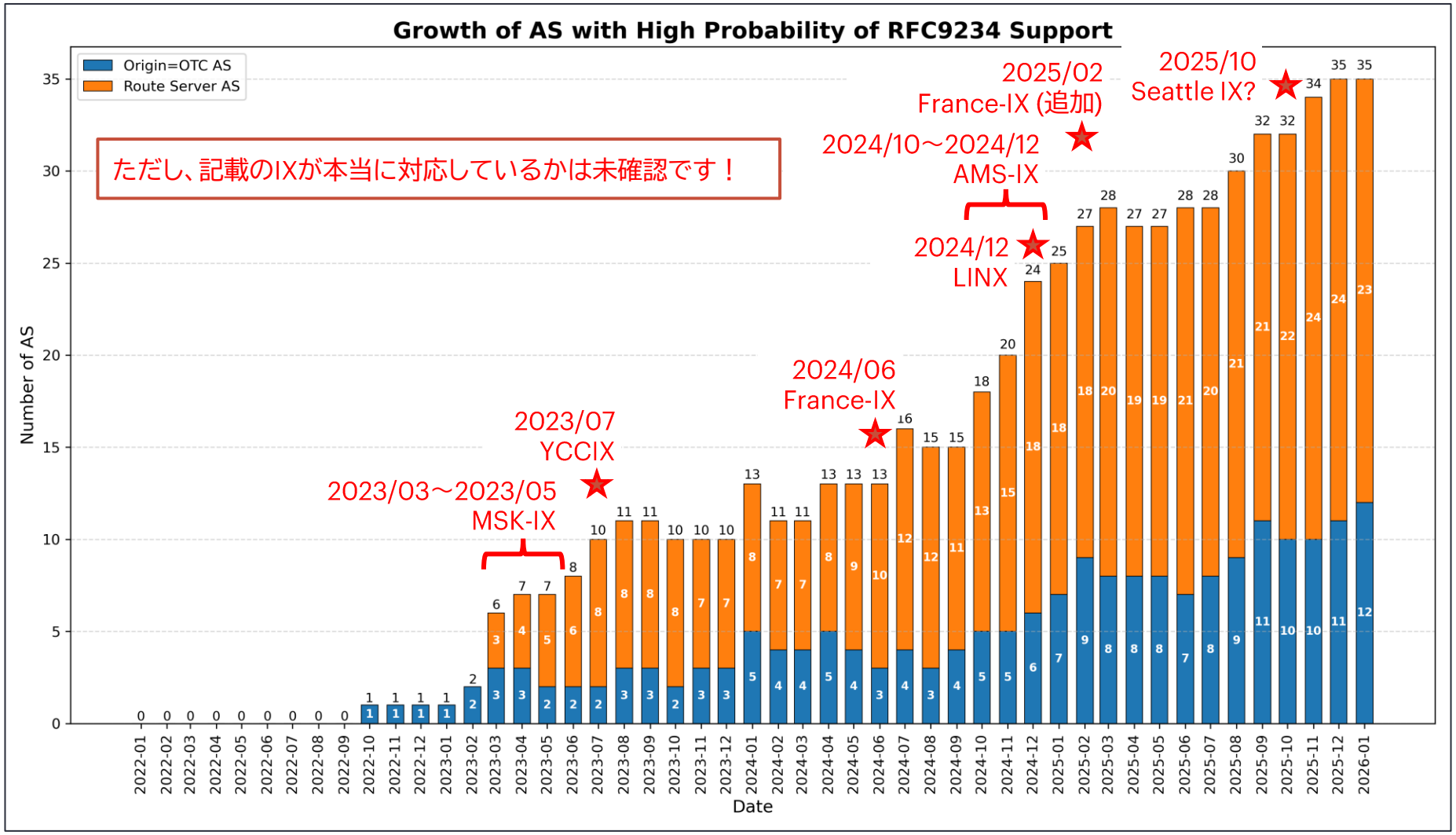

**“OTC==8714”** で見える経路の**AS_PATH**




*2026/01月末時点

# RFC 9234への期待: RFC9234導入済みASの予測

RIPEのMRTデータから高い確率でRFC 9234に対応しているASを抽出 (多少の誤判定はある)




*1. 以下、合計23のRoute Collector上のデータより算出:
rrc00, rrc01, rrc03, rrc04, rrc05, rrc06, rrc07, rrc10, rrc11, rrc12, rrc13, rrc14, rrc15, rrc16, rrc18, rrc19, rrc20, rrc21, rrc22, rrc23, rrc24, rrc25, rrc26
*2. データは月末日 0:00 UTCのものを利用

# RFC 9234は完璧か？

## RFC 9234のデザイン思考

- シンプルなアプローチで大多数の設定ミスによるBGPルートリークを解決する
- 守る範囲は自ASと自ASと関係性の近いAS
- シンプルが故に複雑なピアリング関係で適用することは非推奨
  “Roles MUST NOT be configured on an eBGP session with a Complex peering relationship.”

## RFC9234が対象としていない問題

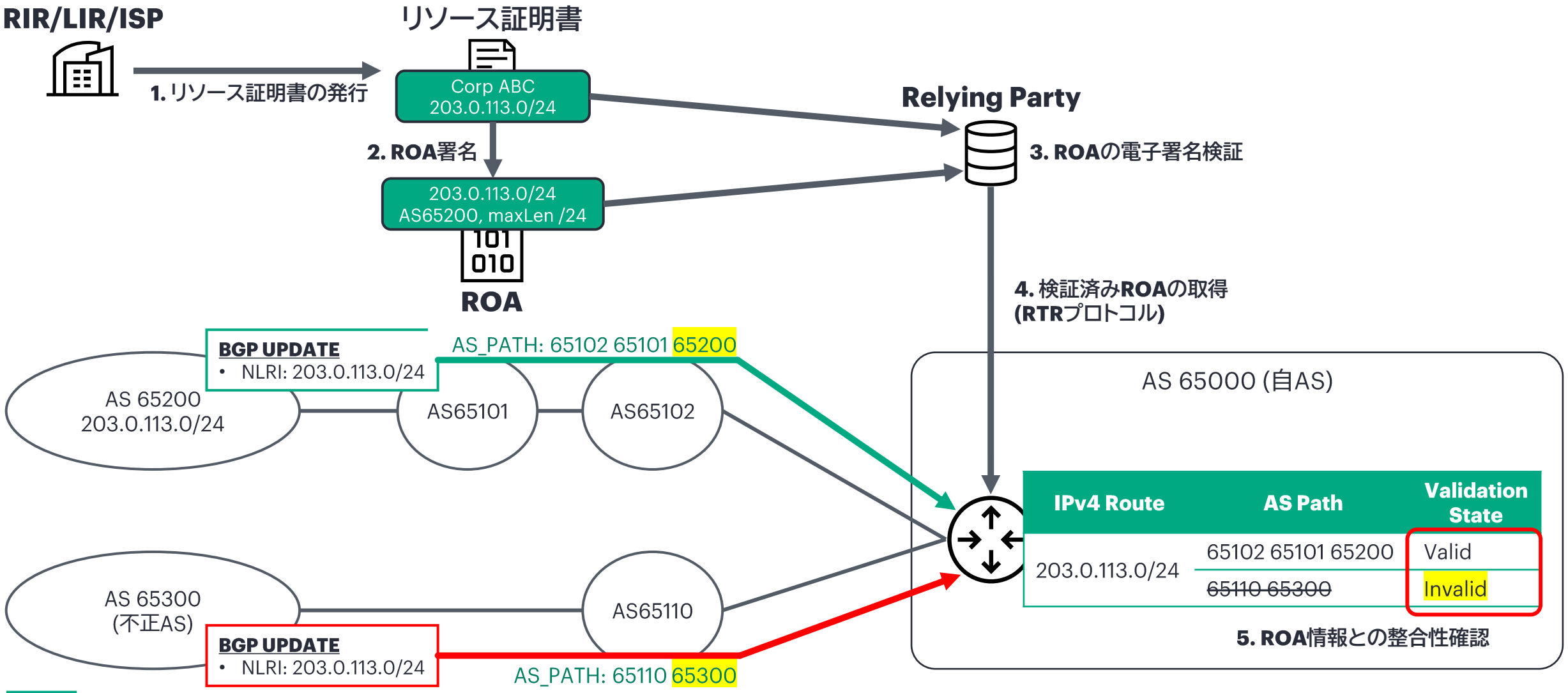
- BGPハイジャック (IP Prefixの不正広報) -> RPKI ROA
- 自ASから遠く離れた場所のBGPルートリーク, 悪意のある意図的なBGPルートリーク -> ASPA
- AS_PATHの改ざん -> BGPsec

## RFC 9234の課題

- RFC 9234をサポートしており、OSが成熟状態のキャリアグレードルータが存在しない (調べた限りでは)
  - 例. Junos 25.2R1にてサポート、商用環境向けのR2は未リリース ☹
  - 現時点でRFC 9234を導入しているASの多くは恐らく「実験 (+ホビー) AS」または「Internet Exchange」
    (つまり、BirdやOpenBGPDなどのソフトウェアベースのBGPデーモンで動いてそうなところ)

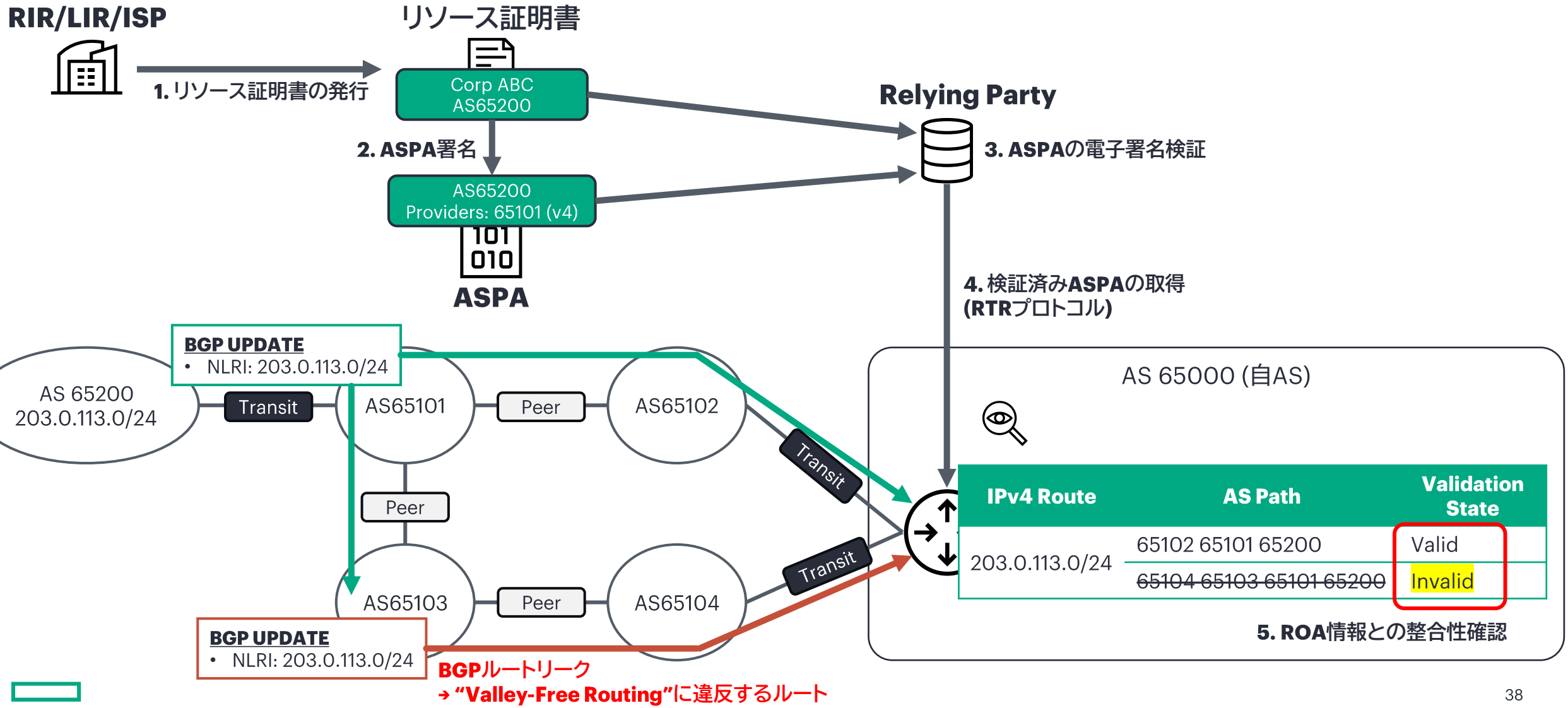
# RPKI Route Origin Validation (ROV)

BGPルータがROA (Route Origin Authorization) を使って経路のOrigin ASが正しいことを検証



# Autonomous System Provider Authorization (ASPA)

BGPルータがRPKIで署名されたASPAオブジェクトを使って経路のAS Pathの正当性を検証



# まとめ

設定ミスによるBGPルートリークをRFC 9234で撲滅しましょう！

## RFC 9234

- 昨今発生しているBGPルートリークの大多数は設定ミスによるもの
  →システムとしてBGPルートリークが起きない「防波堤」のような仕組みが必要
- RFC 9234はシンプルなアプローチで大多数のBGPルートリークを防止する
  - BGPの仕組みにピア同士の「関係性」情報を入れ込む
  - BGPセッション確立時に関係性を確認
  - 経路交換時に、関係性の情報を元に交換して良い経路かシステムとして判断
- 既に一部のASやInternet Exchangeなどでは導入され始めている

## ディスカッションポイント

- 現在、皆様が導入しているBGPルートリークに対する対策
- RFC 9234はBGPルートリークに有用だと思いますか？
- 各社ベンダーでの実装が進んだ後にRFC 9234を導入したいと思いますか？

# Thank You