

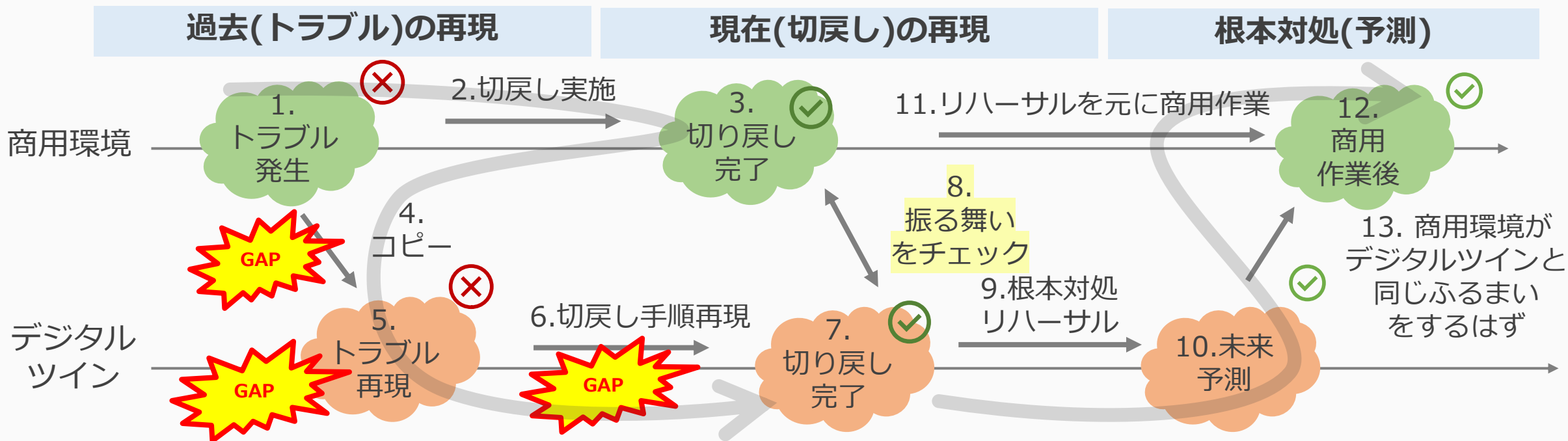
ネットワークのデジタルツイン に求める要件は何ですか？

～理想的な仮想環境への期待と現状～

過去障害の再現シナリオ

NDT上での信用の積み重ねを検証

各再現フェーズで起こる商用とNDT(Network Digital Twin)の
GAPに関して、どのようなアプローチをすることで
信用を積み重ねられるのかを検証する

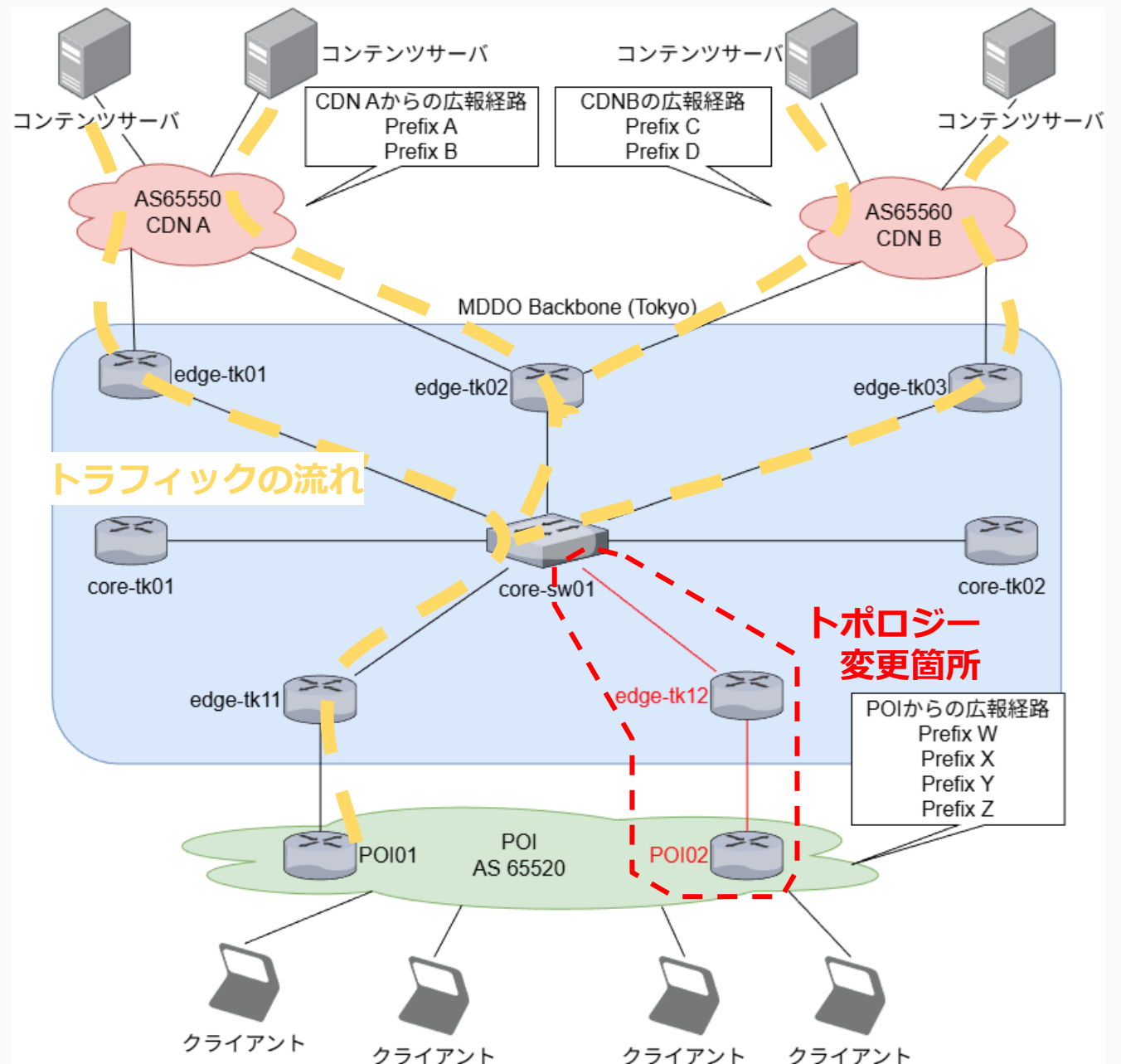


デモ構成

ISPネットワークにおける
POIと接続するルータを
増設するシナリオ

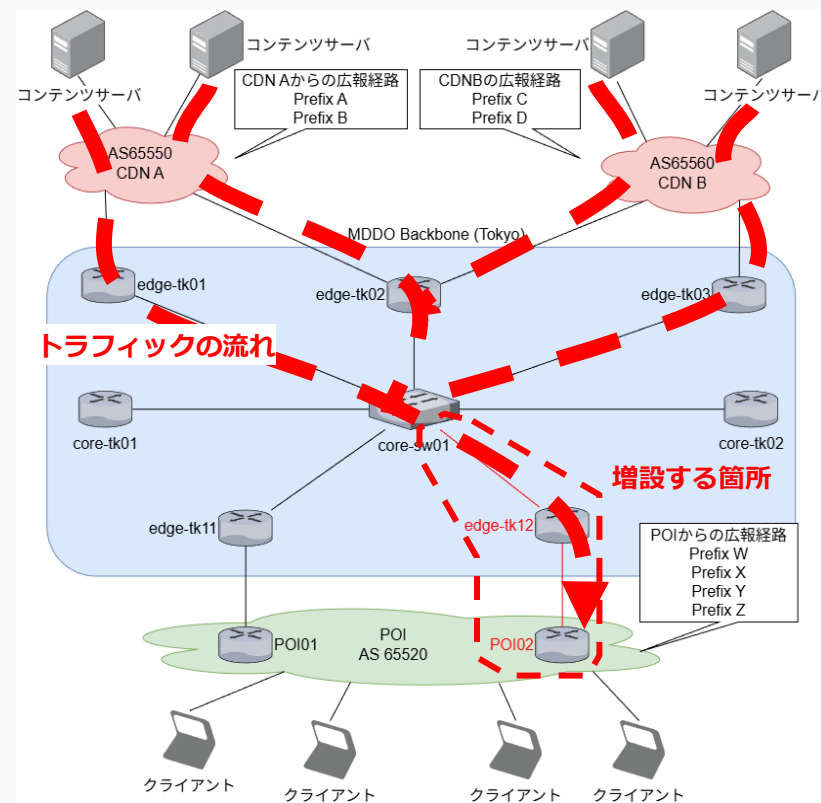
- 増設ルータ(edge-tk12)
はコアスイッチ
(core-sw01)および
POI02と接続
- POIとの接続直後は
増設ルータ経由の
通信は流さない

※コンテナ基盤としては
containerlab,
CNFはjuniper社のcRPD



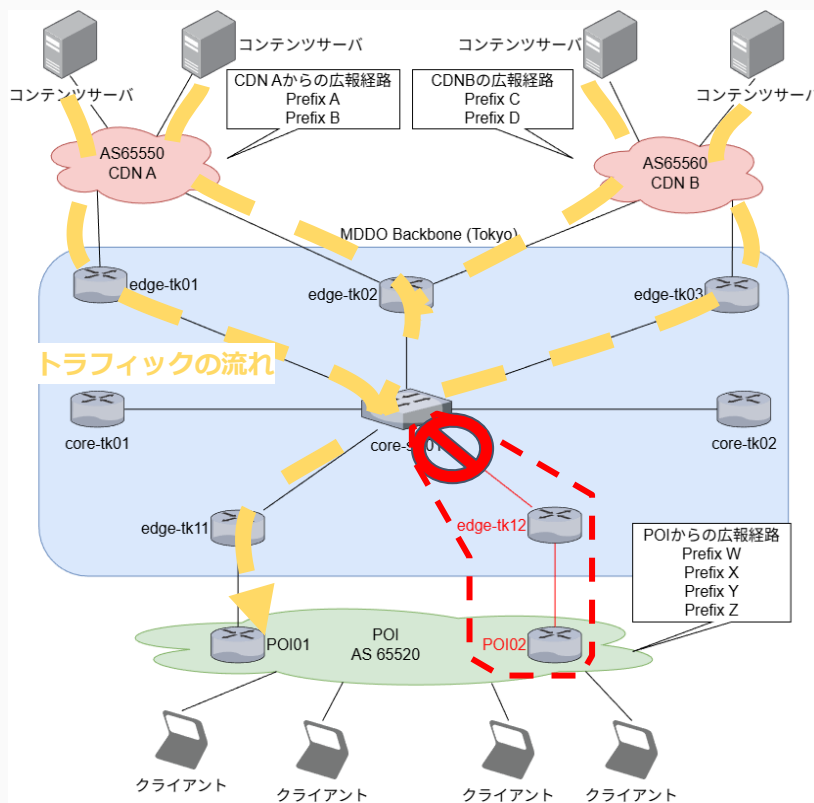
過去障害の再現シナリオ

過去(トラブル)の再現



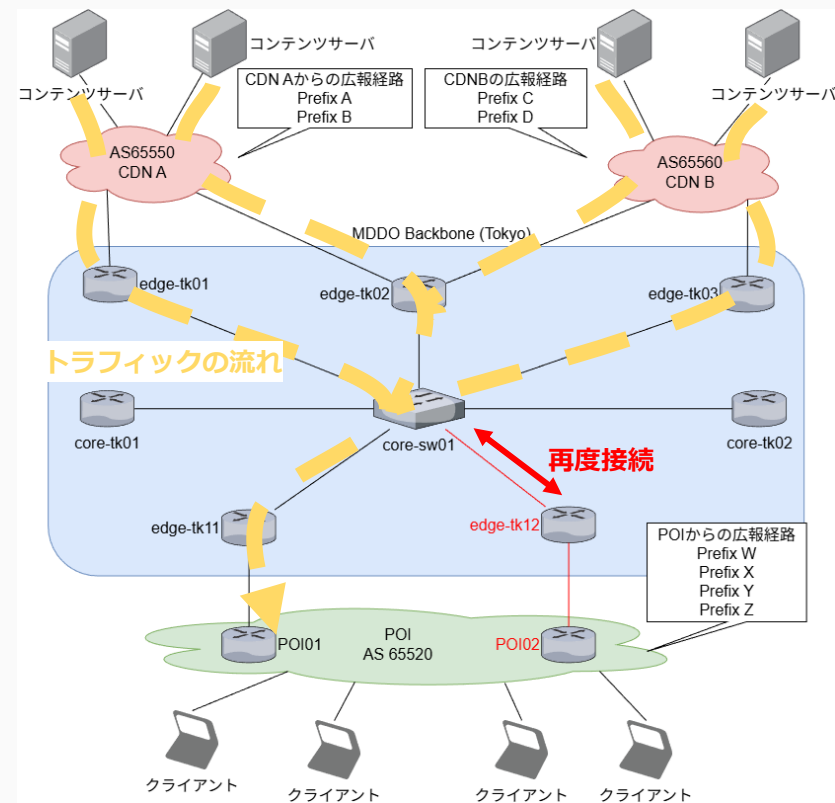
POIとのBGP接続時に
増設ルータ側へ
**意図しない
経路切り替えが発生**

現在(切戻し)の再現



切戻し作業を行い、
元の**通信経路へ復旧**

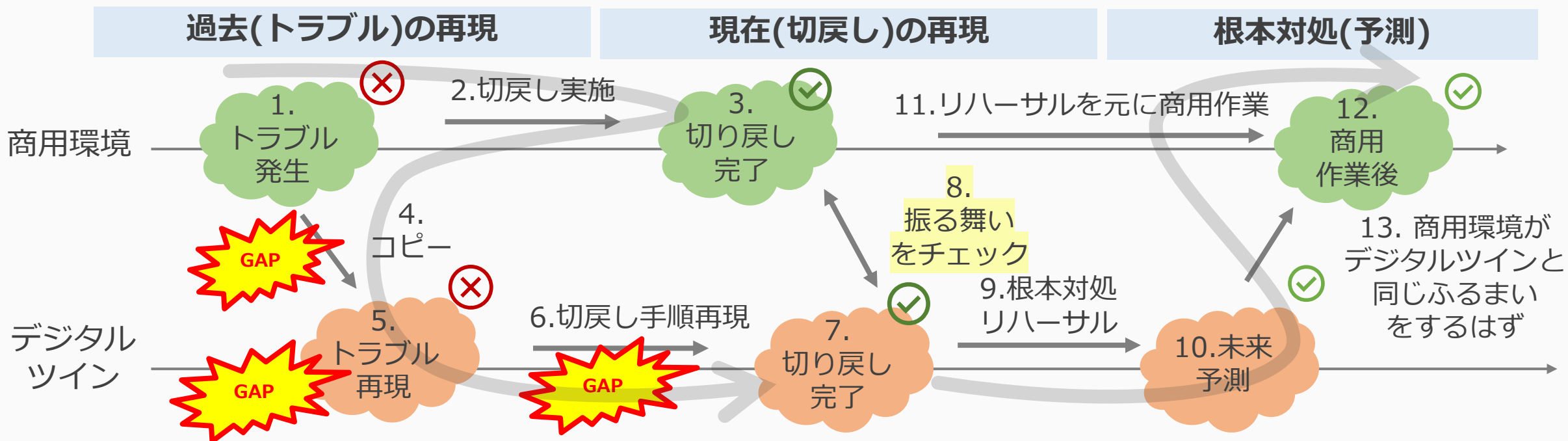
根本対処(予測)



NDT上で原因特定
**根本対処の手順をNDTで実施し、
効果を判断**

前提条件

- 「1.トラブル発生」から「3.切戻し完了」までのフェーズはすでに作業完了済み。
- 4「コピー」のフェーズからデモを開始**する。

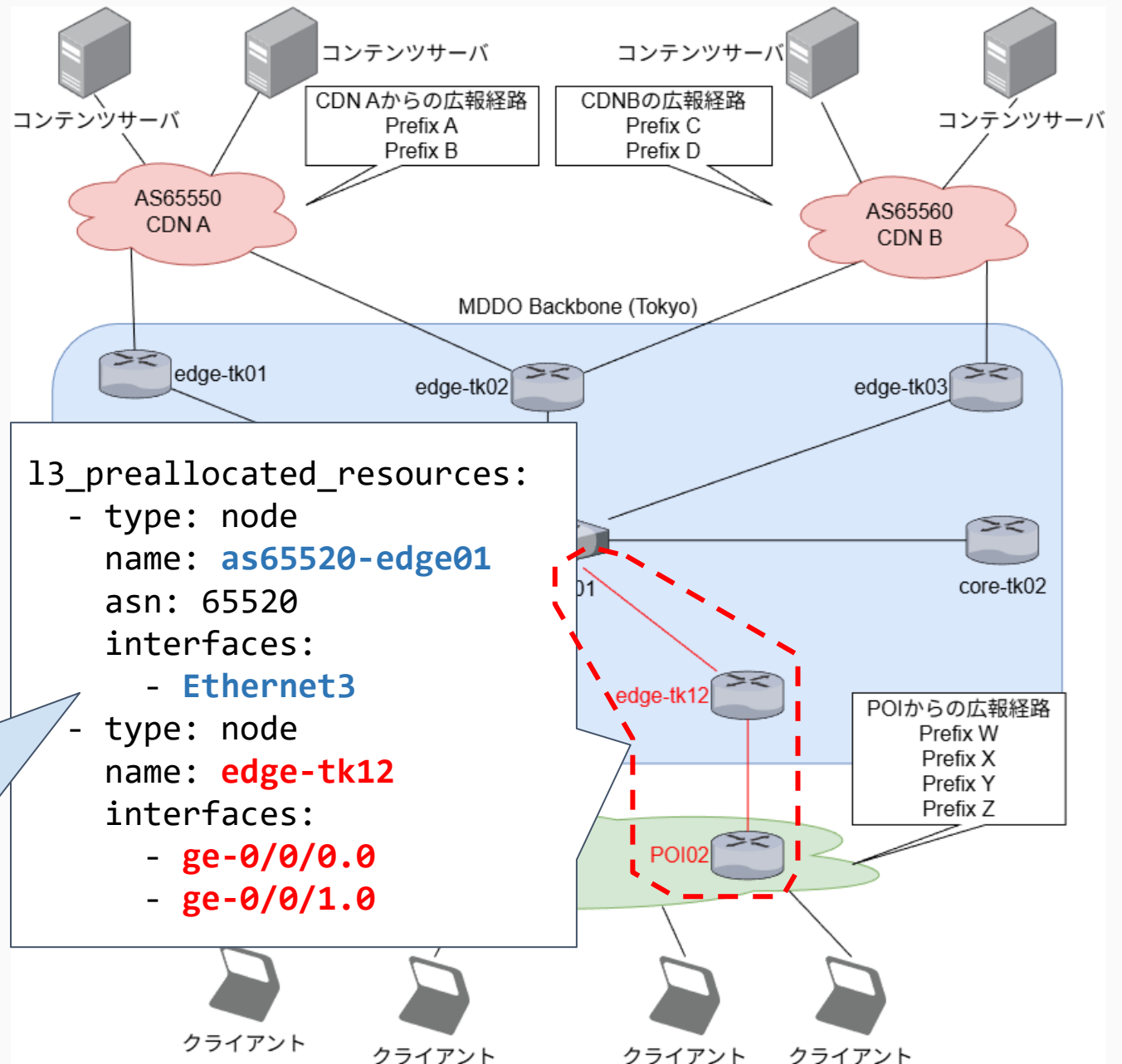


4. 「コピー」 -事前定義-

- コンテナ基盤上では動的なリソース追加はできないため、事前に**増設分のリソース定義**をしてNDTを起動する。

増設先の対向ルータ情報は本来では不明

NDTの検証構成としての補完ルールに則り、**対向ルータ名と対向IF名**を指定している



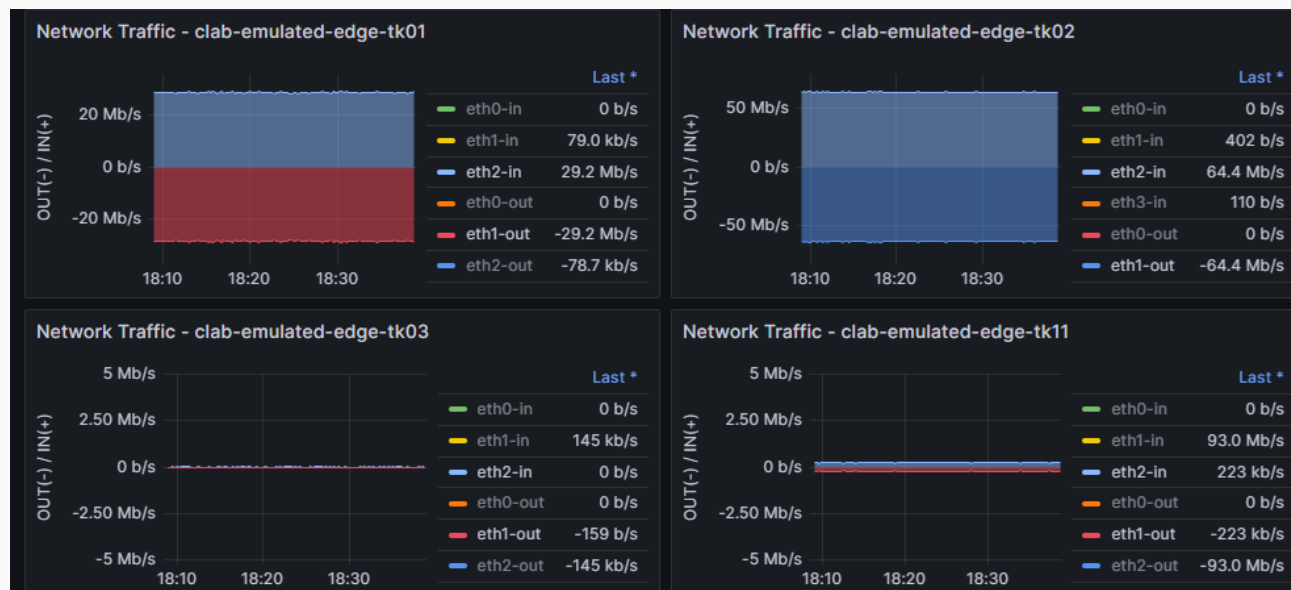
4. 「コピー」 -環境の起動-

- NDT環境の起動

```
mddo@mddo-srv02:~/playground/demo/candidate_model_ops$ bash  
11_manual_steps.sh
```

```
{"mddo-bgp":[{"physical":{"network":"mddo-  
bgp","snapshot":"original_asis","label":"original_asis"},"logical":[]}]  
}  
Network:mddo-bgp uses BGP, expand external-AS network and splice it  
into topology data  
{}  
{  
  "status": 201  
}
```

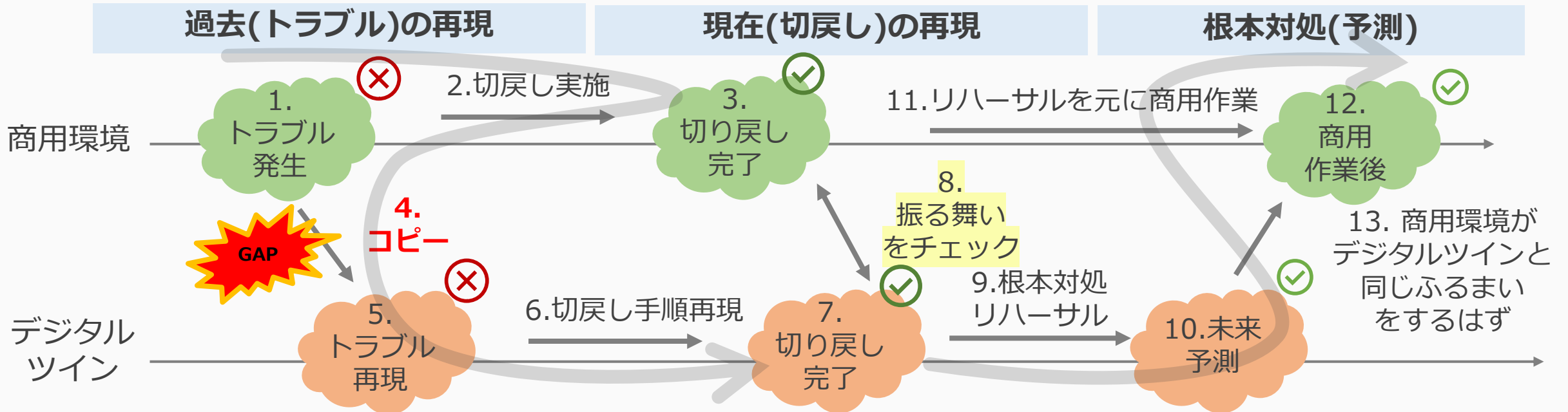
- 過去のトラブル時に影響
のあったEndtoEndの
トラフィックを流し、
トラブル前の通信状態
を再現



4. 「コピー」 -増設対象のルータをNDT上へ追加-

- ここで**GAPが発生**

- ① コンテナ基盤上で回線開通前の状態再現ができない
- ② 商用IF名でトポロジー変更ができない



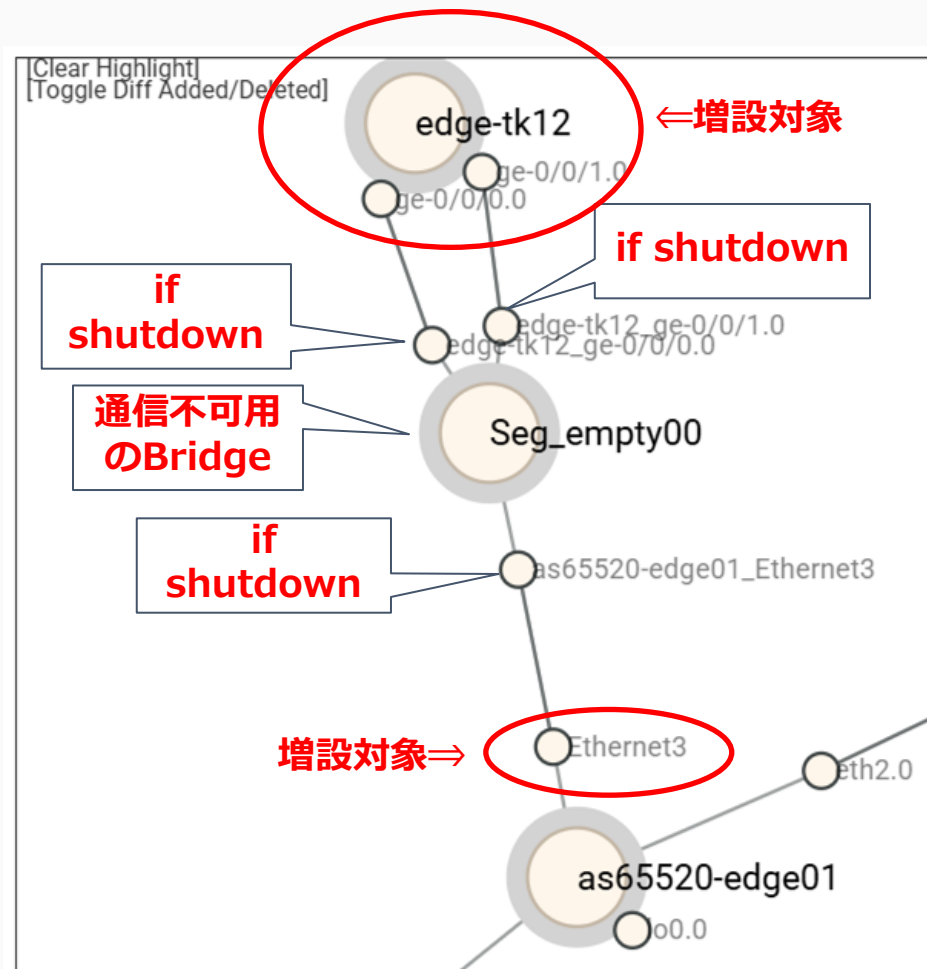
①回線開通前の 状態再現ができない

- 開通前の状態を再現するには
増設するIFを通信できない状態で
保持する仕組みが必要



通信不可用のOVS Bridge
(Seg_empty00)を用意し、これに
繋がるportをIF Shutdown状態にする
仕組みを実装して状態を再現

```
mddo@mddo-srv02:~/playground/demo/candidate_model_ops$ docker exec -it mddo-clab-docker /bin/bash
mddo-srv02:/home/mddo/playground/repos/mddo-worker/clab# ip link | grep "ovs-system state DOWN"
659: br25p0@if658: <BROADCAST,MULTICAST,M-DOWN> mtu 9500 qdisc noqueue master ovs-system state DOWN
673: br25p1@if672: <BROADCAST,MULTICAST,M-DOWN> mtu 9500 qdisc noqueue master ovs-system state DOWN
685: br25p2@if684: <BROADCAST,MULTICAST,M-DOWN> mtu 9500 qdisc noqueue master ovs-system state DOWN
```



②商用IF名でトポロジー変更ができない

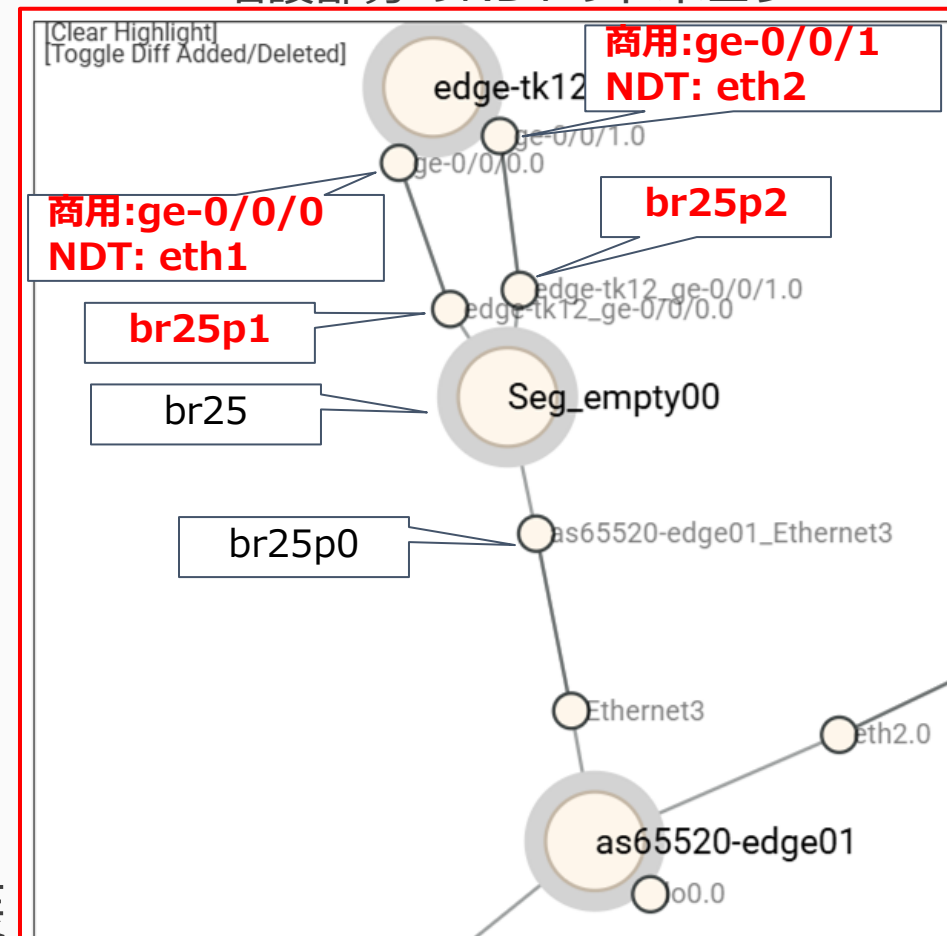
商用IF名でトポロジー変更するには以下の課題があった。

- 商用のIF名はNDT上ではコンテナルータのIF名(ethX)に置き換わってしまう。
- IFがつながるBridgeの対向ポート名も商用IF名からは特定できない。

OVS・CNFのIFをマッピングする機能を実装

マッピング例：	商用(Original)のIF名	ge-0/0/0
	NDT上のコンテナルータに対応するIF名	eth1
	NDT上の接続先Bridgeの対向ポート名	br25p1

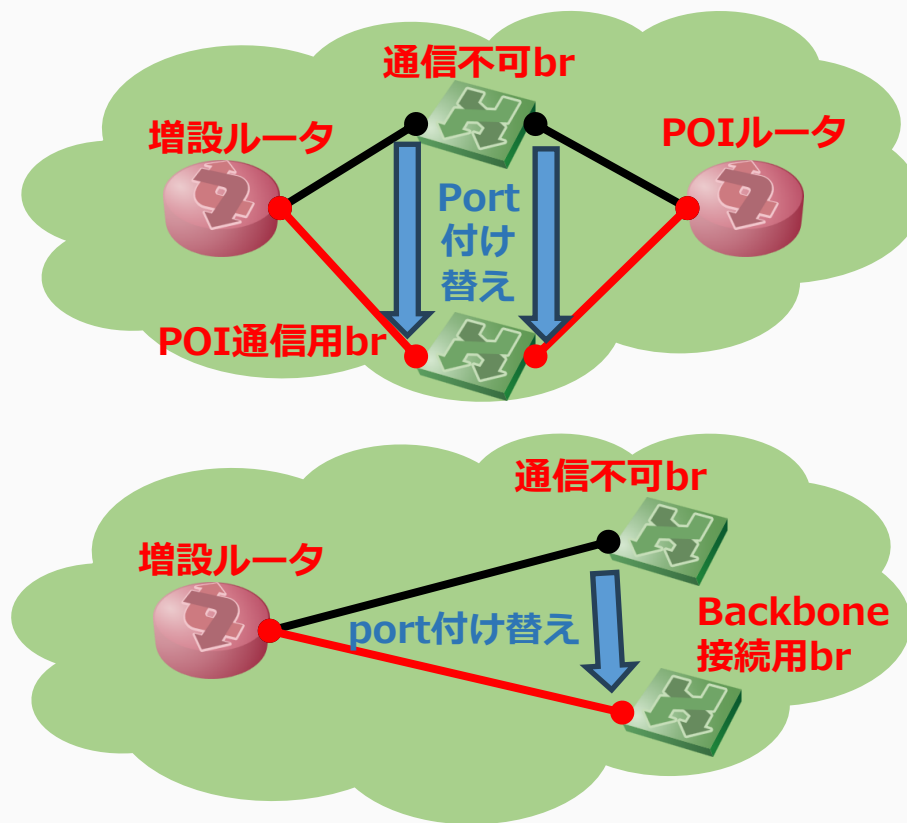
増設部分のNDTのトポロジー



②商用IF名でトポロジー変更ができない

アドホックな変更を実現するために、OVSの付け替えを自動化

- 操作①：POI側との接続
通信不可用のovs-brから
POIとの通信用の新設したovs-brへ
対象のポートを付け替える
- 操作②：Backbone側との接続
通信不可用のovs-brから他Backbone
ルータと通信できる既設のovs-brへ
対象ポートを付け替える

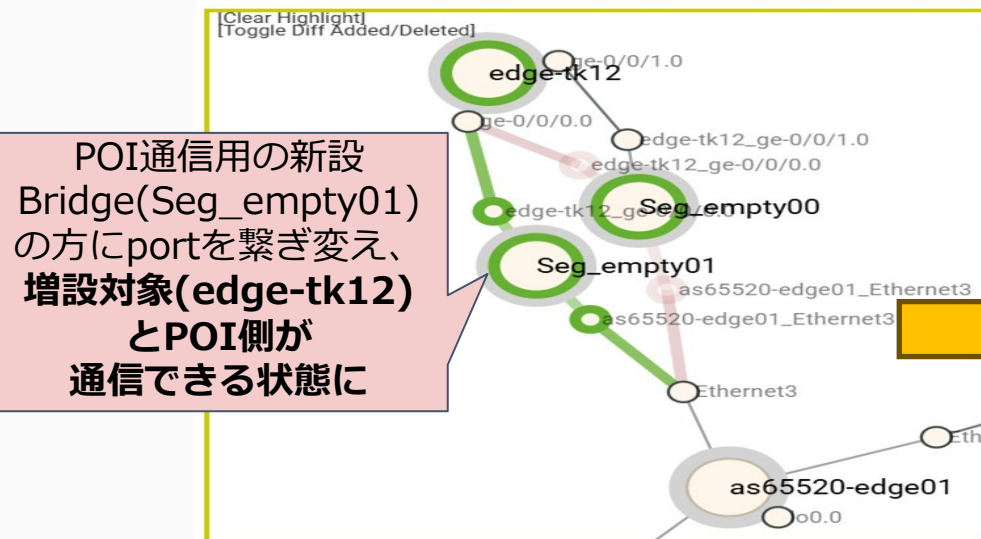


4. 「コピー」 - トポロジーの変更 -

商用IF名を使ってアドホックな構成変更を実現

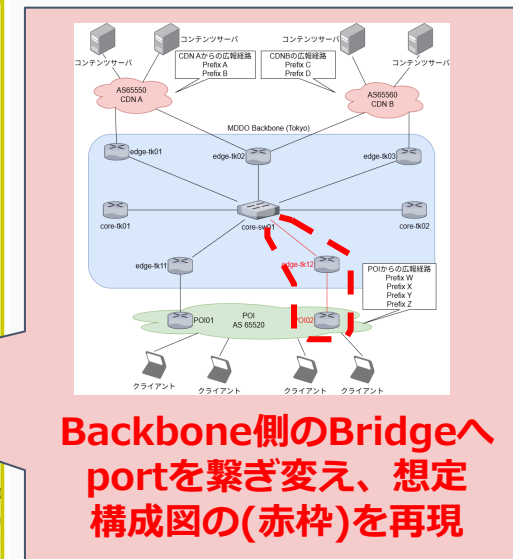
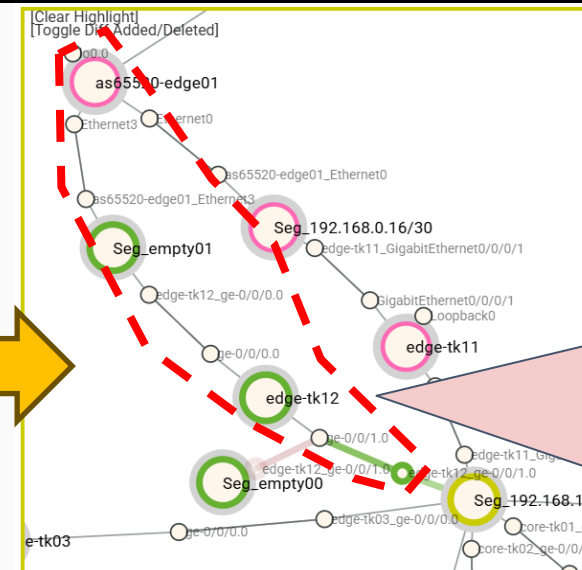
①POI側トポロジー変更

```
mddo@mddo-  
srv02:~/playground/demo/candidate_model_ops$ ./topo_frontend.py  
link --src as65520-edge01[Ethernet3] --dst edge-tk12[ge-0/0/0.0]
```



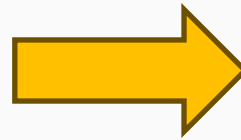
②Backbone側トポロジー変更

```
mddo@mddo-  
srv02:~/playground/demo/candidate_model_ops$ ./topo_frontend.py  
link --src edge-tk12[ge-0/0/1.0] --dst core-tk01[ge-0/0/0.0]
```



5. 「トラブル再現」 -BGP接続-

- 商用作業同等の手順を
NDT上で実行する



手順の実行後、
BGP接続は確立するが、、、



```
root@edge-tk12# run show bgp summary
Threading mode: BGP I/O
Default eBGP mode: advertise - accept, receive - accept
Groups: 2 Peers: 2 Down peers: 0
Table          Tot Paths  Act Paths Suppressed  History Damp State  Pending
inet.0
Peer           AS      InPkt   OutPkt   OutQ   Flaps  Last Up/Dwn
State|#Active/Received/Accepted/Damped...
192.168.200.2  65520    51      53       0       0     21:17 Establ
  inet.0: 8/9/9/0
192.168.255.101 65500    57      49       0       0     21:36 Establ
  inet.0: 29/31/31/0
```

設定作業2(切り戻しポイント作成)

```
save 20251204-5.conf
run file list
```

- ☐ 切り戻し用ファイルがあることを確認

設定変更3(設定投入)

```
set protocols bgp group 192.168.200.2 type external
set protocols bgp group 192.168.200.2 hold-time 90
set protocols bgp group 192.168.200.2 family inet unicast
set protocols bgp group 192.168.200.2 peer-as 65520
set protocols bgp group 192.168.200.2 neighbor 192.168.200.2 local-address 192.168.200.1
set protocols bgp group 192.168.200.2 neighbor 192.168.200.2 import POI-East_in
```

- ☐ 入力失敗が出ていないか確認
- ☐ 異常なログが出ていないことを確認

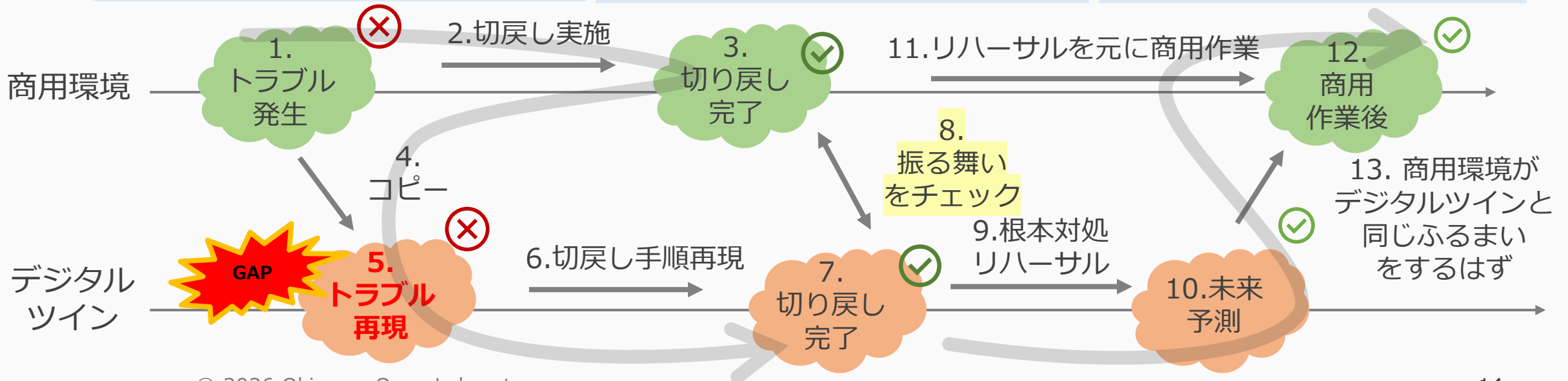
5. 「トラブル再現」 GAPの発生

- 商用手順をNDT上で実行するにあたりGAPが発生
 - ①物理とCNFの構成差分
 - ②オペレーション時の読み替え問題⇒次ページにて対応内容を解説

過去(トラブル)の再現

現在(切戻し)の再現

根本対処(予測)



①物理とCNFの構成差分

- 物理とCNFの構成差分による実行できないコマンド
 - シャーシ型・ボックス型等の機種依存コマンド
 - CNFの製品コンセプトでオミットされた機能

⇒この差分はいったんSKIPする。
トラブル再現時に必須な場合は
再現可能なCNF/VNFに対象を
置き換えする。

コンテナ上のlinux OSの機能で
IF down/upなど
代替できる振る舞いもあった

機種依存コマンド

事前確認2(トランシーバーの確認)

```
show chassis hardware | no-more
```



シャーシ型機種
依存コマンド
の実行エラー

```
root@edge-tk12> show chassis
^
syntax error, expecting <command>.
root@edge-tk12> show chassishardware
^
```

オミットされたコマンド

```
root@edge-tk12# set interfaces eth1 disable
^
syntax error.
```

```
root@edge-tk12# set interfaces eth1 gigether-
options802.3ad
^
syntax error.
```


②オペレーション時の読み替え問題

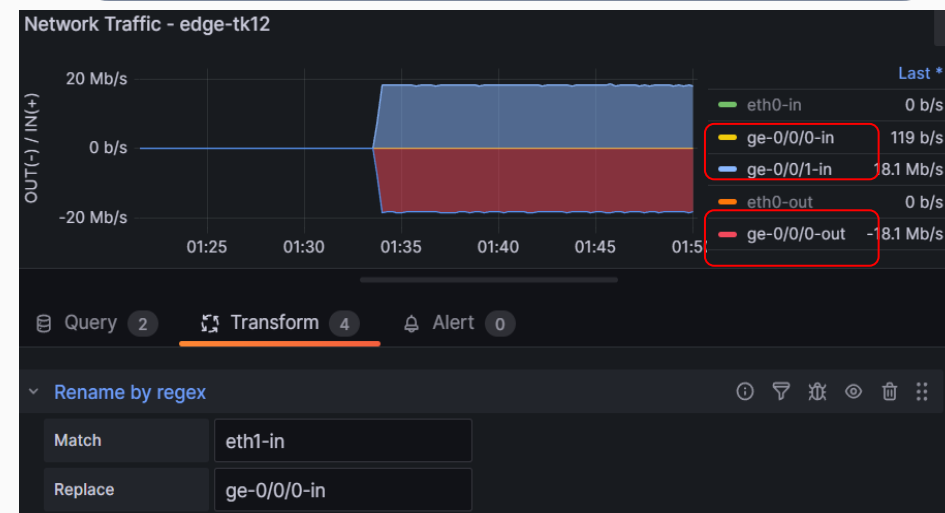
- 商用のIF名でオペレーション：
CNFでのIF名で操作することになる。
マッピング機能を元に商用IF名から
NDT上のIF名への変換をした手順を
事前準備する必要が発生。
- トラフィック確認：
振る舞いの再現確認に使う
トラフィック監視画面もマッピング
機能を基に**Original IF名を埋め込み**
する対応が発生。

読み替えした手順

事後確認3(状態確認)

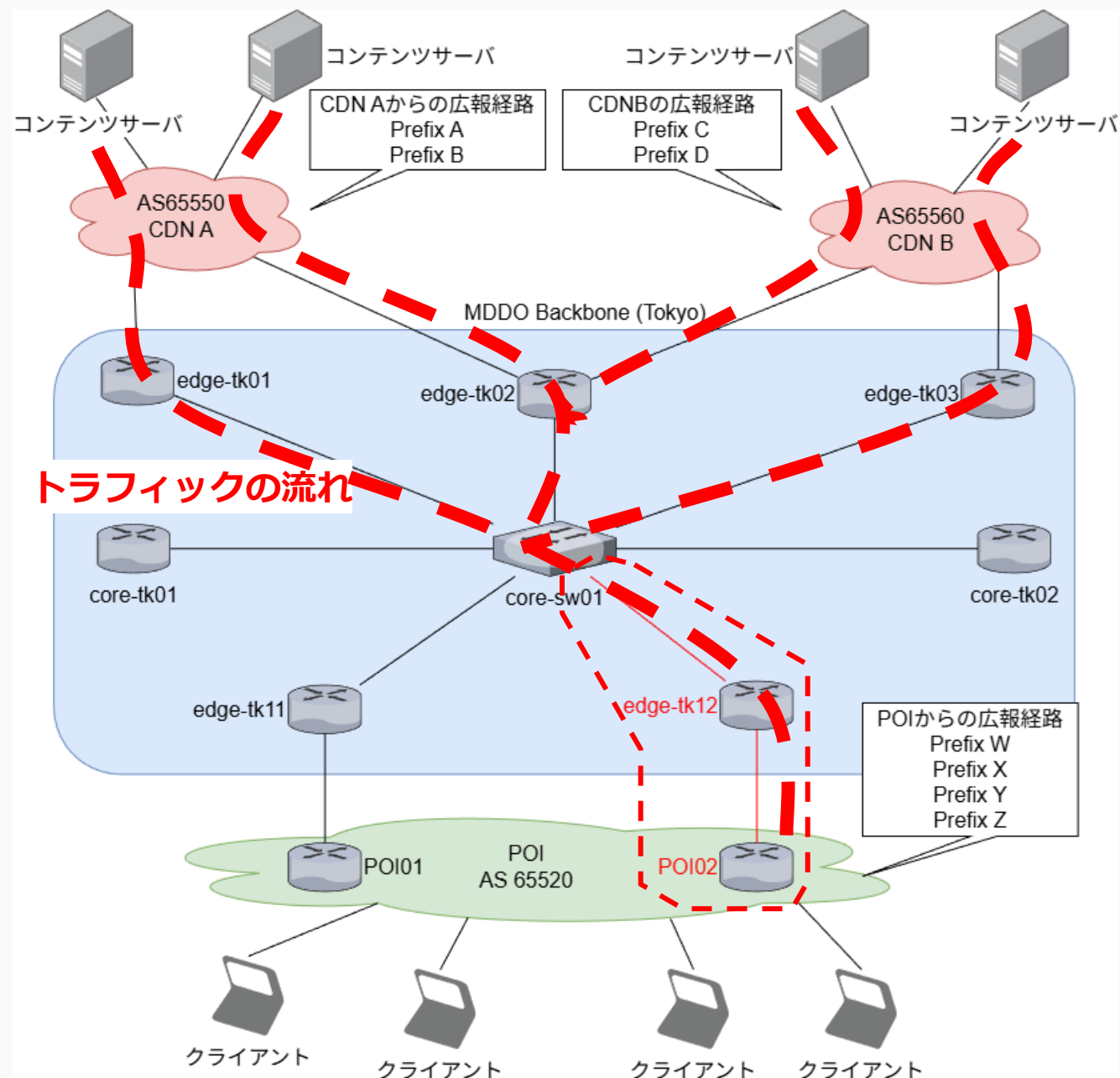
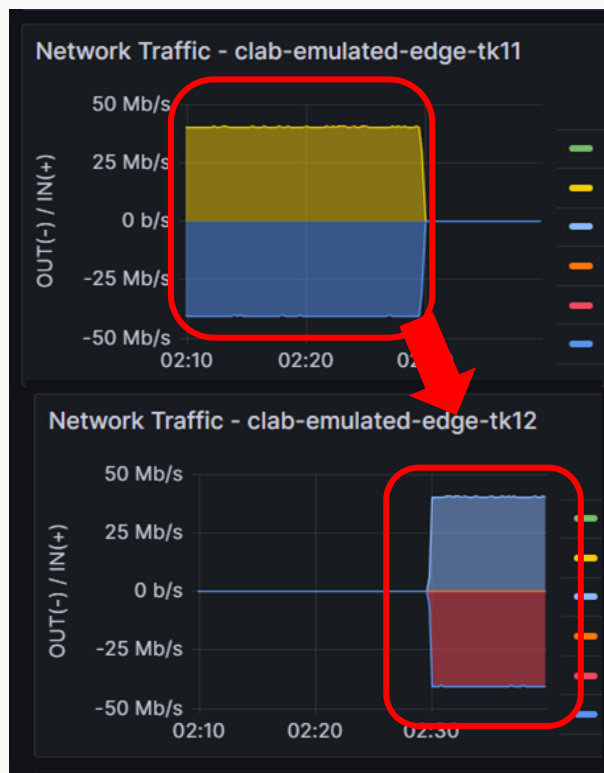
```
show interfaces terse | match "eth1|eth2" |
```

- ☐ eth1 (ge-0/0/0.0) がupしていること
- ☐ eth2 (ge-0/0/1.0) がupしていること



5. 「トラブル再現」

- edge-tk11⇒edge-tk12へ
通信の切替わりが発生



6.切戻し手順再現

- 商用実績の切戻し作業をNDT上で再現。
⇒発生したGAPの対処(オペレーション時の読み替えの問題と同じ対応を実施)

切り戻し(eBGP)

```
run file list
load override 20251204-5.conf
```

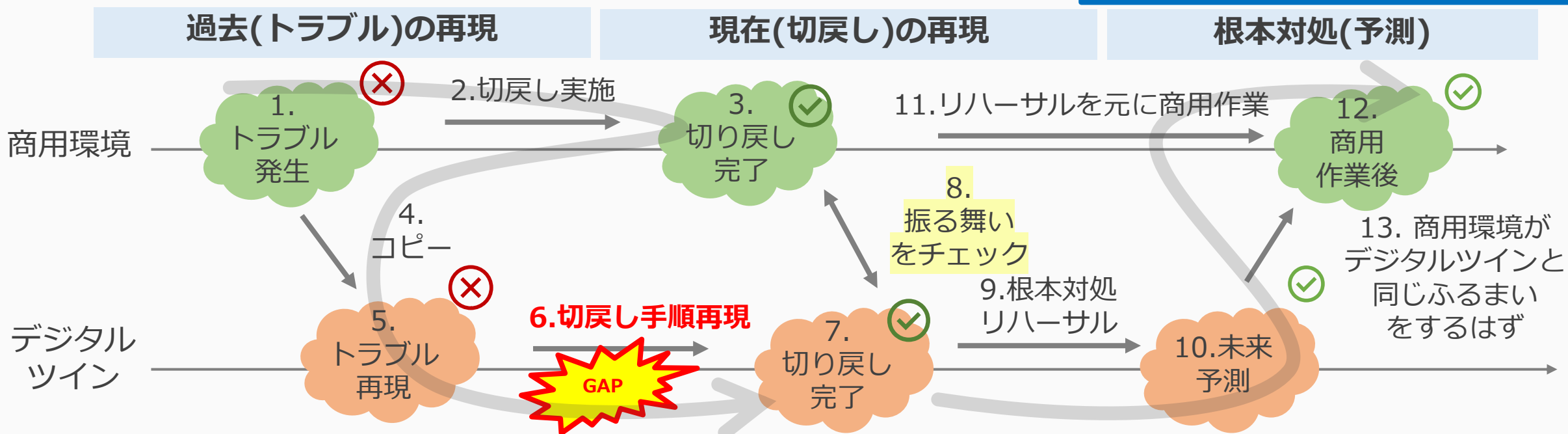
☐ 「load complete」と表示されるか確認

commitの実施

show | compare

☐ scriptで投入した設定が切り戻っていること

```
commit check
commit
```



7. 切り戻し完了

- 商用実績の切り戻し作業をベースとしたNDT変換手順で切り戻し作業は実績通り正常に完了

①POIとのBGP接続前の切り戻しポイントのコンフィグを正常にロード。

```
root@edge-tk12# load override 20251204-5.conf
load complete

[edit]
```

②BGP開通のコンフィグ分がエラーなく巻き戻す内容であることを確認して、ロールバック実行

```
root@edge-tk12# show | compare
[edit protocols bgp]
-   group 192.168.200.2 {
-       type external;
-       hold-time 90;
-       family inet {
-           unicast;
-       }
-       peer-as 65520;
-       neighbor 192.168.200.2 {
-           local-address 192.168.200.1;
-           import POI-East_in;
-       }
-   }

[edit]
root@edge-tk12# commit check

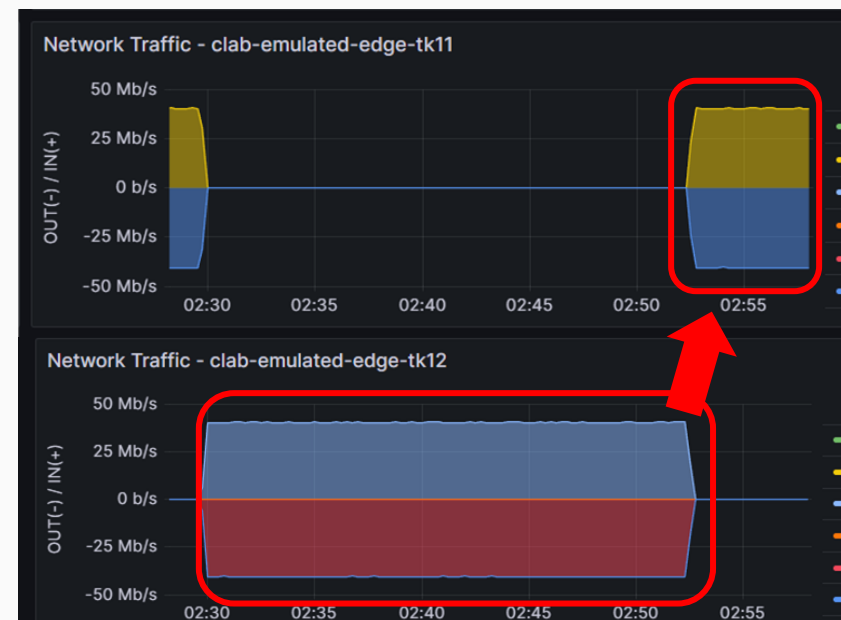
configuration check succeeds

[edit]
root@edge-tk12# commit

commit complete
```

8. 振る舞いをチェック

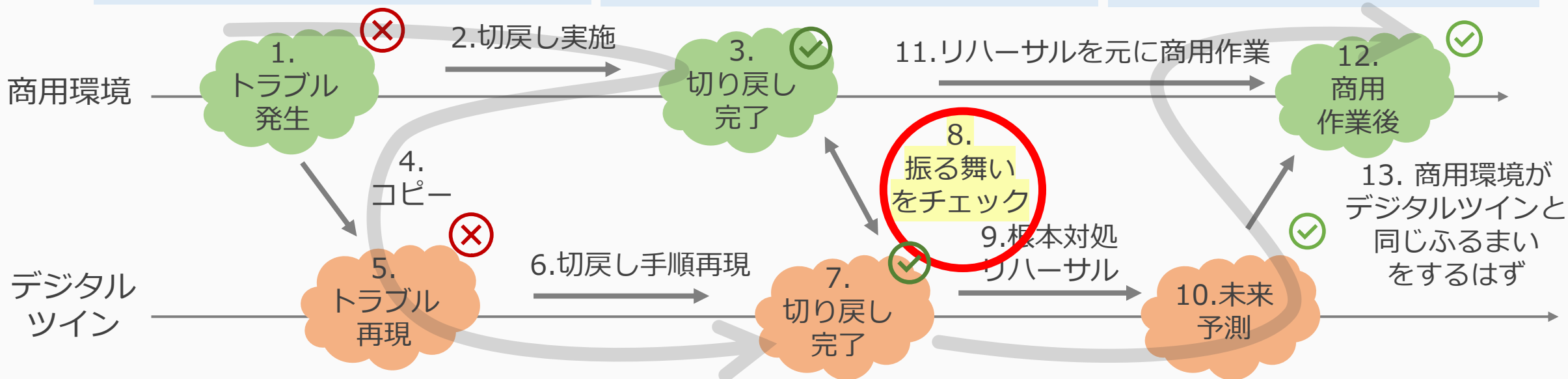
Grafanaにて切戻し後の動作を確認
⇒トラフィックが作業前の経路に戻り、
商用(切戻し)と同じ状態となった



過去(トラブル)の再現

現在(切戻し)の再現

根本対処(予測)



10. 未来予測①

- 再度トラブル状態を再現してNDT上で状態を確認して、想定外の経路の優先度になっている箇所を特定。

そこから**誤設定**を検出し、商用向けの修正手順を用意

```
root@core-tk01> show route inet.0: 49 destinations, 94 routes (49 active, 0
holddown, 0 hidden) + = Active Route, - = Last Active, * = Both
<省略>
```

```
10.100.0.0/24      *[BGP/170] 00:02:16, MED 100, localpref 100, from
192.168.254.12
                  AS path: 65520 I, validation-state: unverified
> to 192.168.1.12 via eth1
                  [BGP/170] 23:34:30, MED 100, localpref 100, from
192.168.255.11
                  AS path: 65520 I, validation-state: unverified
> to 192.168.1.11 via eth1
```



想定では**赤字の経路**が優先されてほしいが、
青字の経路が優先されている。
⇒設定ミスの箇所を特定

設定変更3(設定投入)

```
set protocols bgp family inet unicast
set protocols bgp group 192.168.255.101 type internal
set protocols bgp group 192.168.255.101 hold-time 90
set protocols bgp group 192.168.255.101 family inet unicast
set protocols bgp group 192.168.255.101 peer-as 65500
set protocols bgp group 192.168.255.101 local-as 65500
set protocols bgp group 192.168.255.101 neighbor 192.168.255.101 local-address 192.168.254.12
set protocols bgp group 192.168.255.101 neighbor 192.168.255.101 export 10gp-export
```

10. 未来予測②

- NDTで修正手順をリハーサルし、増設後の構成でBGP接続しても経路変更が起こらないことがわかった。
⇒手順の妥当性を確認できた

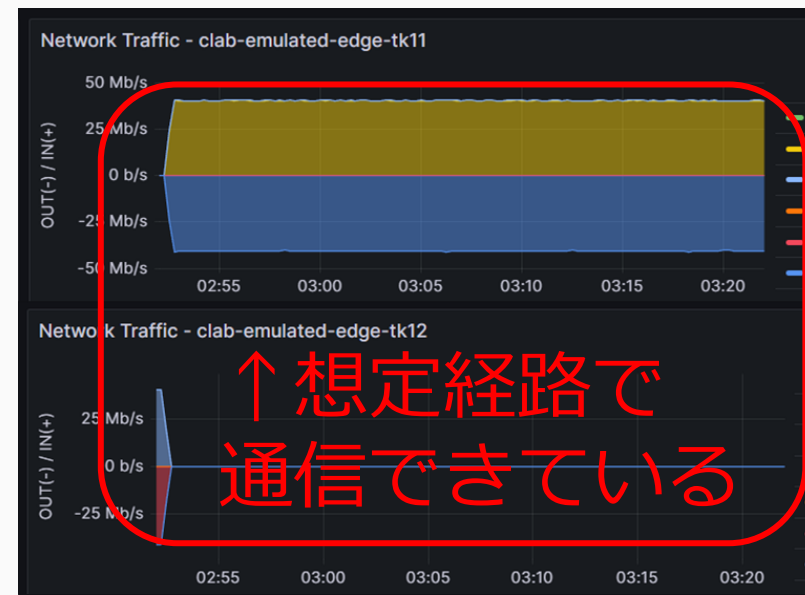
修正手順の実施

[edit]

```
root@edge-tk12# delete interfaces lo0 unit 0 family inet
address 192.168.254.12/32
set interfaces lo0 unit 0 family inet address
192.168.255.12/32
delete routing-options router-id 192.168.254.12
set routing-options router-id 192.168.255.12
```

新設ルータはBGP接続している
(現在から進んだ状態)

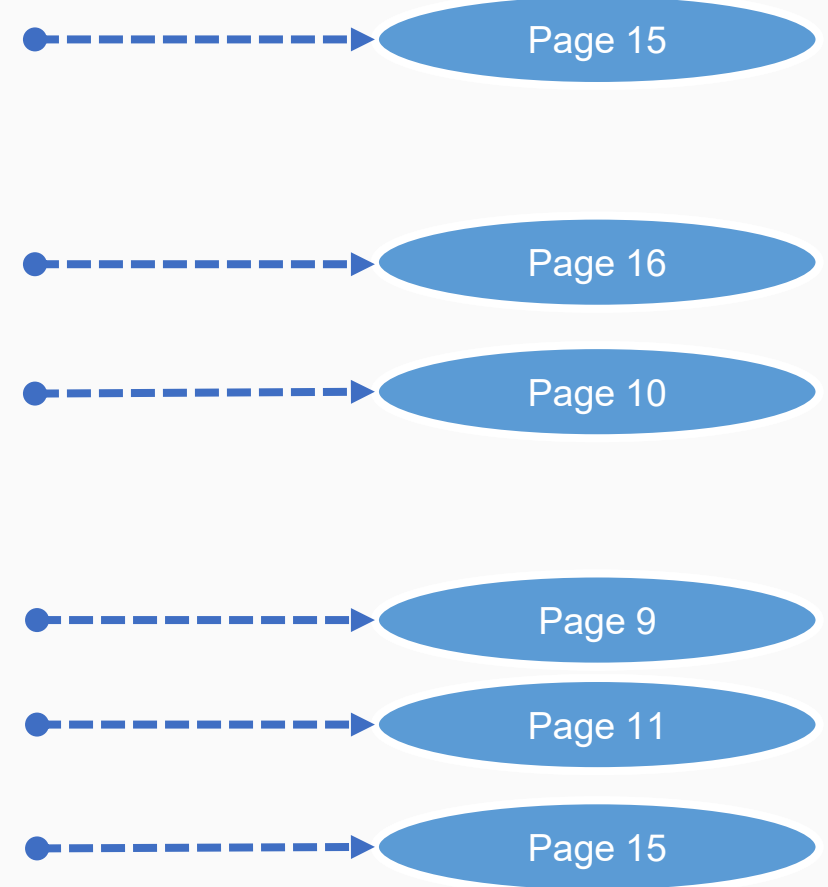
```
root@edge-tk12# run show bgp summary
Threading mode: BGP I/O
Default eBGP mode: advertise - accept, receive - accept
Groups: 2 Peers: 2 Down peers: 0
Table          Tot Paths  Act Paths Suppressed    History
Damp State      Pending
inet.0
0
47          37          0          0
0
0
Peer          AS          InPkt    OutPkt    OutQ
Flaps Last Up/Dwn State|#Active/Received/Accepted/Damped...
192.168.200.2 65520          4          6          0
0          1 Establ
inet.0: 8/9/9/0
192.168.255.101 65500         10          3          0
0          17 Establ
inet.0: 29/38/38/0
```



考察

直面したGAPのまとめ

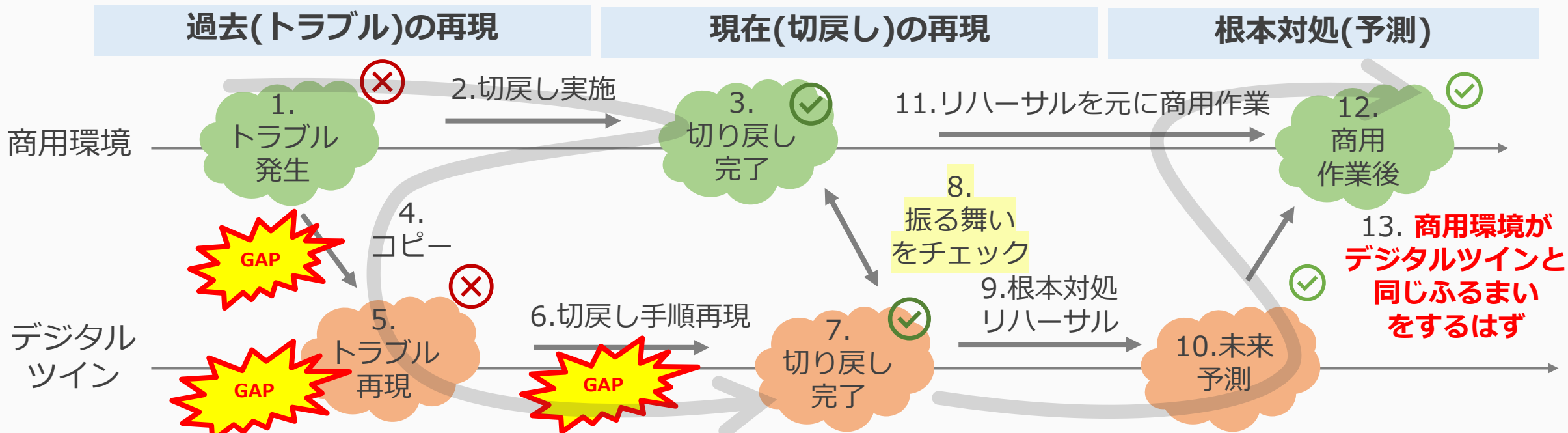
- ノードのH/W構成依存コマンド実行
- 物理トポロジ操作の読みかえ
 - 操作対象ノードのインタフェース名
 - L3トポロジ操作への読みかえ
- 仮想環境固有のノード状態操作
 - Ad hocなリソース追加ができない
 - Ad hocなトポロジ変更ができない
 - インタフェースshutdownができない



考察

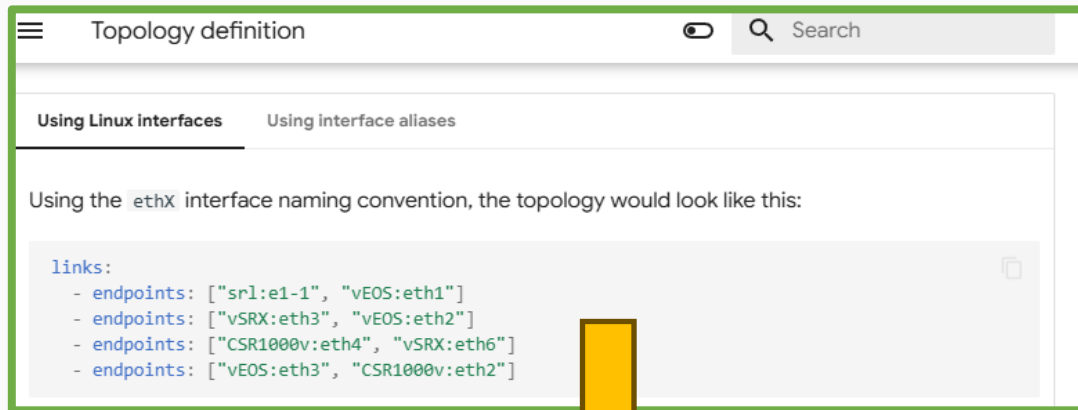
過去(トラブル)、現在(切戻し)の各再現フェーズにて、NDT (Network Digital Twin)が**商用と同様に振る舞うことが確認**できた。これによって、この過去と現在の間の**GAPが存在**しても NDT上の振る舞いが**信用できる**とわかった。

⇒延長線上であればNDT上での**未来の予測も信用できる**

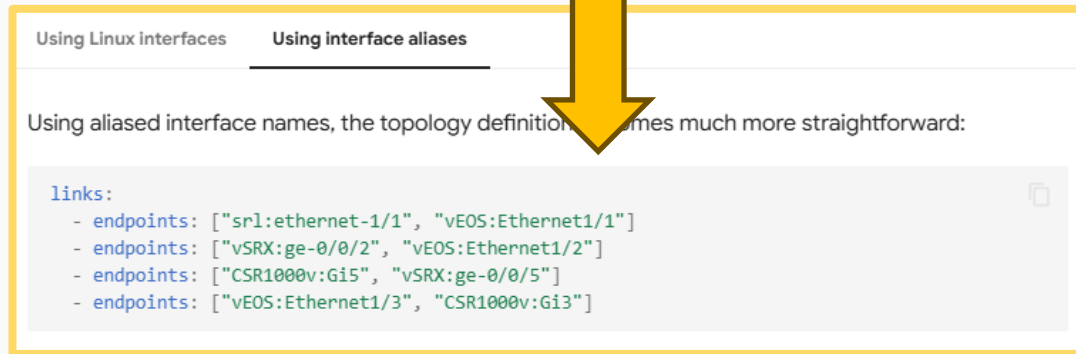


[おまけ]物理とCNFの構成差分の解消も進んでいる

- containerlab: コンテナルータ上のIF名でトポロジーの定義が可能に

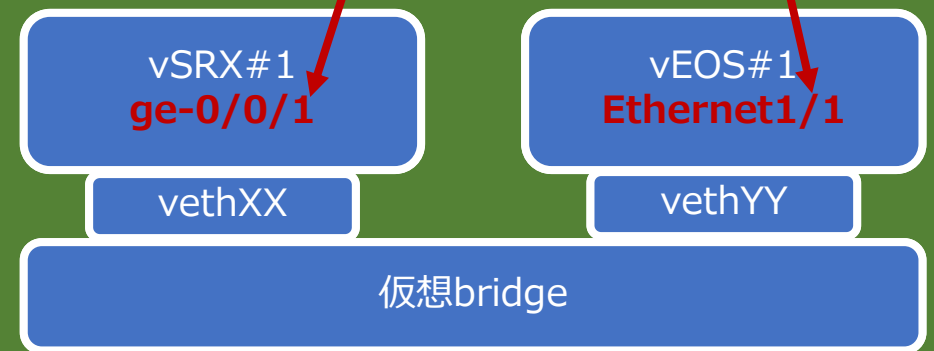


IFの読み替えが不要に



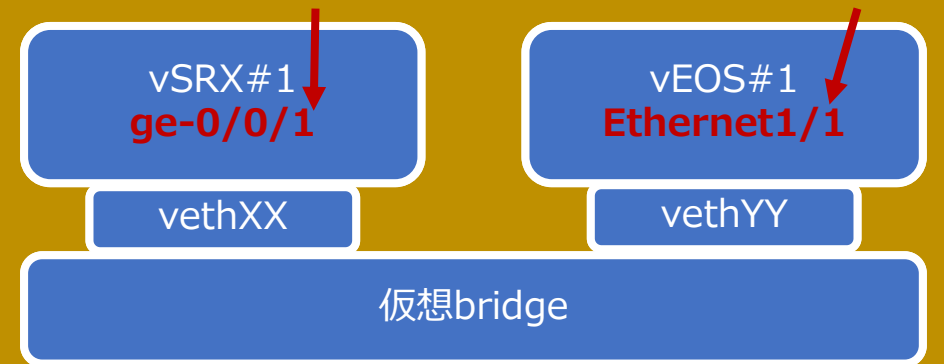
(旧来の)Containerlab上のトポロジー定義

vSRX#1: **eth1** <==> vEOS#1: **eth1**



最新のContainerlab上のトポロジー定義

vSRX#1: **ge-0/0/1** <==> vEOS#1: **Ethernet1/1**



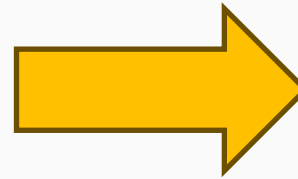
[おまけ]物理とCNFの構成差分の解消も進んでいる

- Nokia社のCNFのSR-SIM：物理機器と同様のコマンド体系を実現

```
13_preallocated_resources:
- type: node
  name: as65520-edge01
  asn: 65520
  interfaces:
    - Ethernet3
- type: node
  name: edge-tk12
  interfaces:
    - 1/1/c12/1
    - 1/1/c21/1
  emulated_params:
    license: ./sros_license.txt
    image: localhost/nokia/srsim:25.7.R1
    kind: nokia_srsim
    type: SR-2s
    components:
      - slot: A
- slot: 1
  type: xcm-2s
  sfm: sfm-2s
  env:
    NOKIA_SROS_CARD: xcm-2s
    NOKIA_SROS_MDA_1: s36-100gb-qsfp28
```

増設リソースにSR-SIMを指定して利用できる

よりGAPの少ない
操作が可能に



```
A:admin@edge-tk12-a# show card 1 memory-pools
```

```
=====
Card 1 Memory Pools
=====
Name                Max Allowed   Current Size   Max So Far     In Use
-----
IOM                  No limit     2,159,706,112  2,161,803,264  2,144,510,160
<省略>
```

```
A:admin@edge-tk12-a# show card a memory-pools
```

```
=====
Card a Memory Pools
=====
Name                Max Allowed   Current Size   Max So Far     In Use
-----
BFD                  No limit     9,444,656     9,444,656      8,318,528
BGP                  No limit     6,291,504     6,291,504      5,015,536
```

```
A:admin@edge-tk12-a# show port
```

```
=====
Ports on Slot 1
=====
Port Id            Admin Link Port  Cfg  Oper LAG/  Port Port Port  C/QS/S/XFP/
State             State MTU  MTU  Bndl Mode Encp Type MDIMDX
-----
1/1/c1             Down   Down          Cfg  Oper LAG/  Port Port Port  C/QS/S/XFP/
<省略>                                     MTU  MTU  Bndl Mode Encp Type MDIMDX
1/1/c12            Up     Link Up          Cfg  Oper LAG/  Port Port Port  C/QS/S/XFP/
1/1/c12/1          Up     Yes  Up    8704 8704  - netw null cgige 100GBASE-LR4*
<省略>
1/1/c21            Up     Link Up          Cfg  Oper LAG/  Port Port Port  C/QS/S/XFP/
1/1/c21/1          Up     Yes  Up    8704 8704  - netw null cgige 100GBASE-LR4*
```

[おまけ]物理とCNFの構成差分の解消も進んでいる

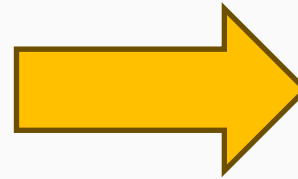
- Juniper社のcJunos Evolved：物理機器と同様のコマンド体系を実現

```
13_preallocated_resources:
```

```
- type: node
  name: as65520-edge01
  asn: 65520
  interfaces:
    - Ethernet3
- type: node
  name: edge-tk12
  interfaces:
    - et-0/0/1
    - et-0/0/2
  emulated_params:
    kind: juniper_cjunosevolved
    image: cjunosevolved:25.2R1.8-EVO
    env:
      CPTX_COSIM: "BT"
```

増設リソースに
cJunos Evolvedを
利用できる

よりGAPの少ない
操作が可能に



```
root@HOSTNAME> show chassis hardware
Hardware inventory:
Item          Version  Part number  Serial number  Description
Chassis                               JN9989820AJD  JNP10001-36MR [PTX10001-36MR]
Routing Engine 0                       BUILTIN      BUILTIN        RE-JNP10001-36MR
CB 0                               BUILTIN      BUILTIN        Control Board
FPC 0                               BUILTIN      BUILTIN        FPC-JNP10001-36MR
PIC 0                               BUILTIN      BUILTIN        8X400GE-MR + 4X100GE-MR
  Xcvr 0         REV 01    740-058732  1DJQA042004  QSFP-100GBASE-LR4
  Xcvr 1         REV 01    740-058732  1DJQA042004  QSFP-100GBASE-LR4
  Xcvr 2         REV 01    740-058732  1DJQA042004  QSFP-100GBASE-LR4
  Xcvr 3         REV 01    740-058732  1DJQA042004  QSFP-100GBASE-LR4
```

```
root@HOSTNAME> show chassis routing-engine
Routing Engine status:
Slot 0:
  Current state           Master
  Election priority       Master (default)
  Temperature             0 degrees C / 32 degrees F
  DRAM                   1353 MB (6292 MB installed)
  Memory utilization      78 percent
  5 sec CPU utilization:
    User                  2 percent
    Background            0 percent
    Kernel                2 percent
    Interrupt             0 percent
    Idle                  96 percent
  1 min CPU utilization:
    User                  2 percent
    Background            0 percent
    Kernel                3 percent
    Interrupt             0 percent
```

```
root@HOSTNAME> show interfaces terse
Interface      Admin Link Proto  Local      Remote
et-0/0/0       up    up
et-0/0/0.16386 up    up    multiservice
pfh-0/0/0      up    up
pfh-0/0/0.16383 up    up    inet
et-0/0/1       up    up
et-0/0/1.0     up    up    inet      192.168.200.1/30
                                     multiservice
et-0/0/2       up    up
et-0/0/2.0     up    up    inet      192.168.1.12/24
                                     multiservice
```