Dell Networking と Cisco スイッチ間のスパンニングツリー相互運用法

Dell FTOS の VLT、および、Cisco Nexus OS の vPC 間でスパニングツリーの相互運用性を検証

デルテクニカルホワイトペーパー

Dell Networking - テクニカルマーケティング

Mario Chow

本書は、情報提供のみを目的に執筆されており、誤字脱字、技術上の誤りには一切責任を負いません。
本書の内容は執筆時現在のものであり、明示的、暗示的を問わず、いかなる内容も保証いたしません。

© 2013 Dell Inc. ©2013 デル株式会社 All rights reserved.（版権所有）
Dell、DELL のロゴマーク、その他の Dell の名前とマークは、米国および各国における Dell Inc. の商標です。
その他に記載されている商標は、それぞれの所有者に帰属します。

2013 年 7 月 | Rev 1.0

目次

要旨 5
はじめに 5
テスト方法 9
テスト： VLT (アグリゲーション) と vPC (コア) を採用した環境 10
テストケース 1： RSTP (Dell S4810) と RPVST+ (Cisco 5548UP) 10
テストケース 2： RSTP (Dell S4810) と MST (Cisco 5548UP) 14
テスト： VLT (アグリゲーション) と vPC (コア) を採用しない構成 17
テストケース 1： RSTP (Dell S4810) と RPVST+ (Cisco 5548UP) 19
テストケース 2： PVST+ (Dell S4810) と RPVST+ (Cisco 5548UP) 22
テストケース 3： RSTP (Dell S4810) と MST (Cisco 5548UP) 24
一般的な／シングルスパニングツリーインスタンス 25
複数のスパニングツリーインスタンス 27
テストケース 4： MSTP (Dell S4810) と MST (Cisco 5548UP) 28
まとめ 29
付録： スイッチの構成 31
Cisco 5548UP： vPC 構成時の RPVST+ 31
Dell S4810： VLT 構成時の RSTP 32

図

図 1. Dell VLT トポロジ 6
図 2 Cisco vPC の典型的な導入例 6
図 3. テスト環境の物理および論理ネットワーク図 8
図 4. vPC と VLT を使用しない場合のテスト環境 9
図 5. 物理および論理ネットワークトポロジ： VLAN 20 11
図 6. VLT LAG ピアのステータス 12
図 7. Cisco の RPVST+ リンクステータス 13
図 8. S4810 の RSTP リンクステータス 13
図 9. VLAN 10 のストリーム統計情報 14
図 10. 物理および論理ネットワークトポロジ 15
図 11. リンクフェールオーバー時のトラフィックポート統計情報 16
図 12. 物理ネットワークトポロジ： RSTP (Dell) と RPVST+ (Cisco) 19
図 13. VLAN 20 のスパニングツリーインスタンス (N5K_1) 19
図 14. VLAN 10 のスパニングツリーインスタンス (N5K_2) 20

図 15. VLAN 10 の RSTP BPDU 21
図 16. Cisco RPVST+ スパニングツリーのデバグ画面 21
図 17. フェールオーバー時の画面ショット 22
図 18. 物理および論理ネットワークトポロジ： RPVST+ と PVST+ 22
図 19. VLAN 10 の S4810 リンクステータス (スパニングツリー) 23
図 20. Vlan 20 のトラフィック (スパニングツリー) 23
図 21. 物理および論理ネットワークトポロジ 24
図 22. Cisco のリンクステータス： MST 25
図 23. Dell S4810 の リンクステータス： RSTP 25
図 24. RSTP を使用する S4810_1 上のポート状態の遷移 26
図 25. Cisco MST ポートの状態 27
図 26. Cisco MST ポートの状態 27
図 27. 物理および論理ネットワークトポロジ 28

表

表 1. スパニングツリートラフィックの収束結果 29

要旨

スパニングツリーは、今日のネットワークでも依然として重要な役割を担い続けています。スパニングツリーには、たとえば、非効率的なバンド幅消費、拡張性の限界、複雑な管理など、固有の課題がいくつかあるものの、導入済みのレガシーネットワークにとっては、最も基本的な実装法の 1 つです。

このようにインストール基盤が大きいため、主要ネットワークベンダのエンドツーエンドソリューションは、標準的なスパニングツリープロトコル (STP) や拡張版 STP を運用している既存環境に、自社製品とソリューションを隔てなく統合させる必要があります。こうした拡張版 STP には、RSTP (Rapid Spanning-Tree、または「802.1w」標準) や、MST (Multiple Spanning-Tree、または「802.1s」標準) などがあります。

Dell Networking 製品ポートフォリオは、スパニングツリーの包括的な機能セットを完備しており、既存環境への統合および相互運用に完全対応できるため、お客様にとって多大な価値となります。この相互運用ドキュメントは、最も一般的なスパニングツリーの導入法をいくつか検証しながら、デルの実装方式がいかに高性能 (パケット損失率＝0.001% 未満) かつ高可用性 (ネットワークリンク障害時におけるスイッチオーバー時間＝0.001 秒未満) であるかを示します。

はじめに

この相互運用ドキュメントは、エンタープライズ環境で Cisco スイッチと Dell スイッチを使用し、互いに同種、もしくは、異なるスパニングツリーモードを実行したときの検証結果を文書化したものです。

本書では、Cisco 環境と Dell スイッチ環境間で、性質の異なるスパニングツリー手法やそれぞれのデバイス冗長構成が導入されたとき、ネットワークトラフィックがどのように動作するのか考察しています。

本書は、ネットワーク設計者、システムエンジニア、ネットワーク管理者向けに執筆されました。後述のテスト結果は、今後、ネットワーク環境を設計、統合する際の参照情報としてご活用ください。

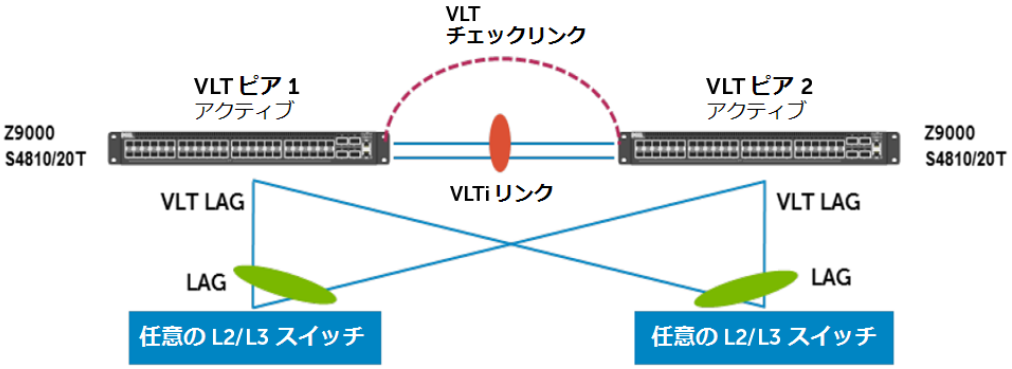
今回実施した相互運用テストでは、主に二種類のテクノロジー分野を取り上げています。

1. デバイスの冗長性
   a. Dell FTOS VLT (Virtual Link Trunk、仮想リンクトランク)
   b. Cisco vPC (Virtual Port-Channel、仮想ポートチャネル)
2. スパンニングツリープロトコル (STP)

Dell FTOS VLT： VLT (Virtual Link Trunk) は、2 台のシャーシ間の物理リンクを、ネットワークコアやその他のスイッチ (エッジ、アクセス、または、ToR) に、1 つの仮想リンクとして見せるテクノロジーです。VLT は、ループ形成を防ぐ「ループフリートポロジ」対応のうえ、2 台別々のディストリビューションまたはコアスイッチ上で LAG をターミネーションできるため (標準の LAG 機能をサポートするスイッチであれば、たとえ他社製でも可)、スパニングツリープロトコルの役割を軽減することができます。(VLT の構成前は、初期ループを回避するため、依然としてスパニングツリープロトコルが必要です。VLT の構成後は、たとえば RSTP を利用することで、VLT ドメイン外から誤って接続された新しいリンクがループを形成するのを防ぐことができます。) レイヤ 2 のマルチパスを提供する VLT は、増加したバンド幅を通して冗長性を確保し、ノード間に複数の並列パスを渡せるほか、別経路 (代替パス) が利用できる場合は、トラフィックの負荷分散もサポートします。

下記の「図 1. Dell VLT トポロジ」は、デルの VLT を使用した典型的な物理ネットワークレイアウトを示しています。

図 1. Dell VLT トポロジ

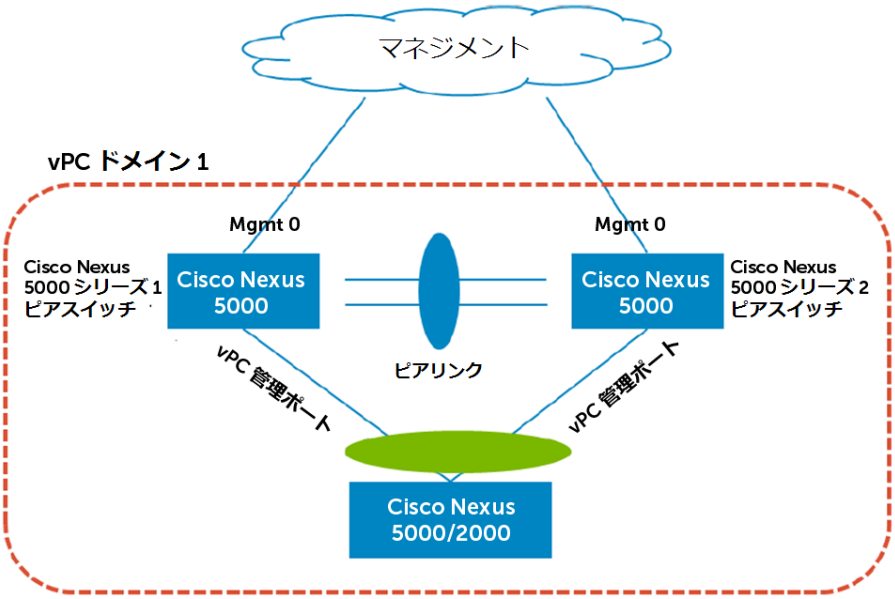


Cisco vPC： vPC (Virtual Port-Channel) は、2 台別々の Cisco Nexus™ 5000 シリーズデバイスに物理接続されているリンクを、他のデバイスに 1 つのポートチャネルとして見せる機能です。ここで言う他のデバイスとは、Cisco Nexus 2000 シリーズファブリックエクステンダ、スイッチ、サーバはもちろん、あらゆるネットワーク機器が考えられます。レイヤ 2 のマルチパスを提供する vPC は、増加したバンド幅を通して冗長性を確保し、ノード間に複数の並列パスを渡せるだけでなく、別経路 (代替パス) が利用できる場合は、トラフィックの負荷分散もサポートします。

vPC ドメインには、両方の vPC ピアデバイス、vPC ピアのキープアライブリンク (相手が稼働していることをチェックするリンク)、vPC ピアリンクが含まれるほか、下流のデバイスに接続される vPC ドメイン内の全ポートチャネルも含まれます。各デバイスには、1 つの vPC ドメイン ID しか割り当てることができません。

下記の図 2 は、Nexus オペレーティングシステムを稼働する典型的な Cisco vPC 導入例です。この図を見ると、メンバースイッチからのリンクの半分が、それぞれの vPC メンバースイッチに接続されている様子がわかります。

図 2 Cisco vPC の典型的な導入例



スパニングツリープロトコル： スパニングツリープロトコル (STP) とは、ブリッジ接続されるあらゆるイーサネット LAN で、ループの形成を防ぐために開発された、いわば「ループフリートポロジ」対応ネットワークプロトコルの一種です。ブリッジループが形成されると、ブロードキャストストームを引き起こしてしまうため、これを防ぐことが STP の主要機能です。また、スパニングツリーは、スペア (冗長) リンクを含んだネットワーク設計も可能にします。これによって、アクティブリンクに障害が発生しても自動的にバックアップパスが対応するため、ブリッジループ形成の危険性を排除できますし、これらのバックアップリンクを手動で有効／無効にする必要もありません。

オリジナルのスパニングツリー (IEEE 802.1D) が策定されて以来、この標準には、様々な拡張や機能強化が加えられてきました。たとえば、次のような拡張版プロトコルがあります。

- **RSTP (802.1w)** ： Rapid Spanning Tree (高速スパニングツリー、RSTP) は、標準規格団体の IEEE (米国電気電子学会) が、2001 年に「802.1w」仕様として導入した標準です。これ以前は、ネットワークトポロジの変更が発生すると、スパニングツリーのコンバージェンス (収束) に長時間を要していたため、この RSTP で大幅な改善が果たされました。

  たとえば、従来のスパニングツリーでは、トポロジの変更に対応するまでに 30～50 秒かかることもありましたが、RSTP なら、物理リンクの障害発生後、典型的に 6 秒以内、または、ミリ秒レベルで対応できます。RSTP は、従来のスパニングツリーに対して下位互換を提供します。

- **MSTP／MST (802.1s)** ： MSTP は、RSTP をさらに発展させた機能です。従来 VLAN 単位だったスパニングツリーインスタンスの仕組みを改善し、効率化を図りました。MSTP が登場する前は、ネットワーク上にある VLAN ごとに、スパニングツリーインスタンスを 1 つずつ構成する必要がありました。しかし、MSTP を導入すると、複数の VLAN を 1 つのスパニングツリーインスタンスに割り当てられるので、複数のスパニングツリーインスタンスの作成に消費されていた CPU リソースを節約することができます。特に、数千もの VLAN から構成される大規模ネットワークでは、MSTP の強みが活かされます。

  MSTP は、RSTP への完全な下位互換を提供します。

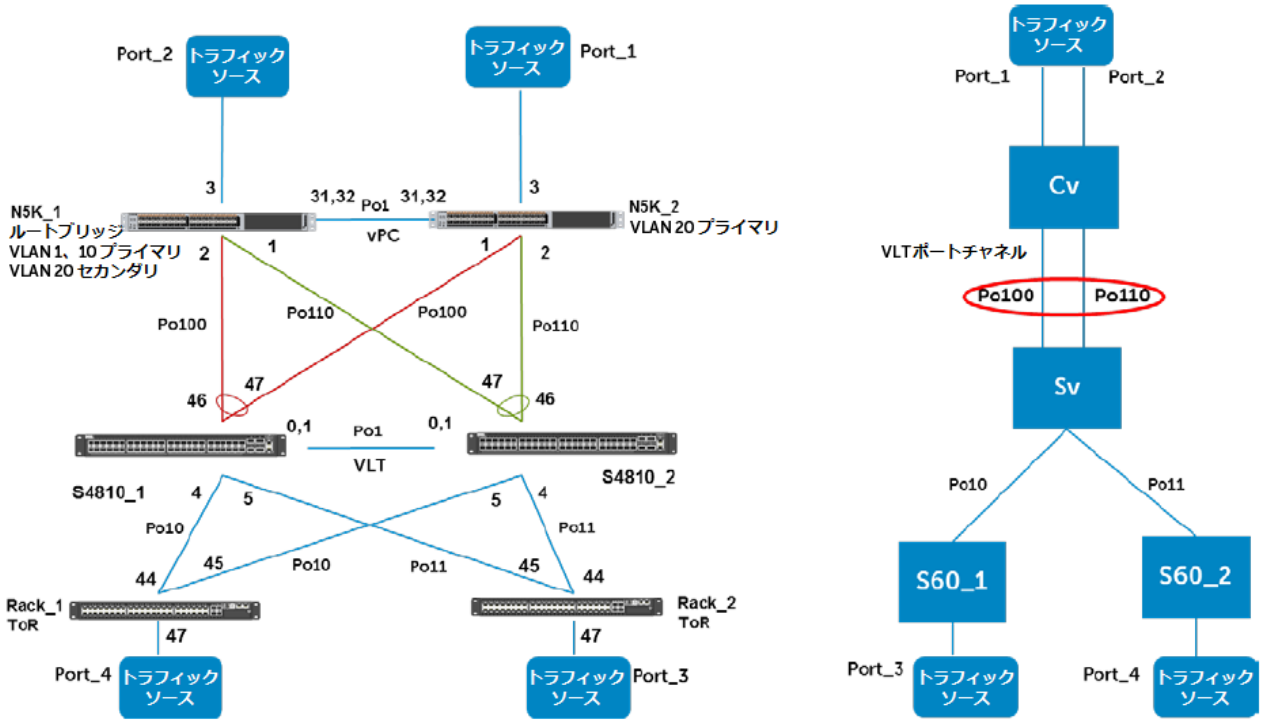
- **PVST+**： PVST+ は、Cisco が独自開発したレイヤ 2 プロトコルです。VLAN 単位で個別のスパニングツリーインスタンスを作成する際に使用します。スパニングツリーインスタンスを VLAN ごとに作成すれば、様々に異なるネットワークリンクを活用できるようになり、可能性として負荷分散 (ロードバランシング) も提供できます。

  このプロトコルは、デル、Extreme Networks、Avaya を始めとする様々なネットワークベンダがサポートします。

※追記： 本資料には、RPVST+ (Rapid PVST+)を利用したテストも記載されています。RPVST+も Cisco が独自開発したレイヤ 2 プロトコルです。

図 3 は、最初のテストセットに使用した検証用環境の概要図です。

図 3. テスト環境の物理および論理ネットワーク図



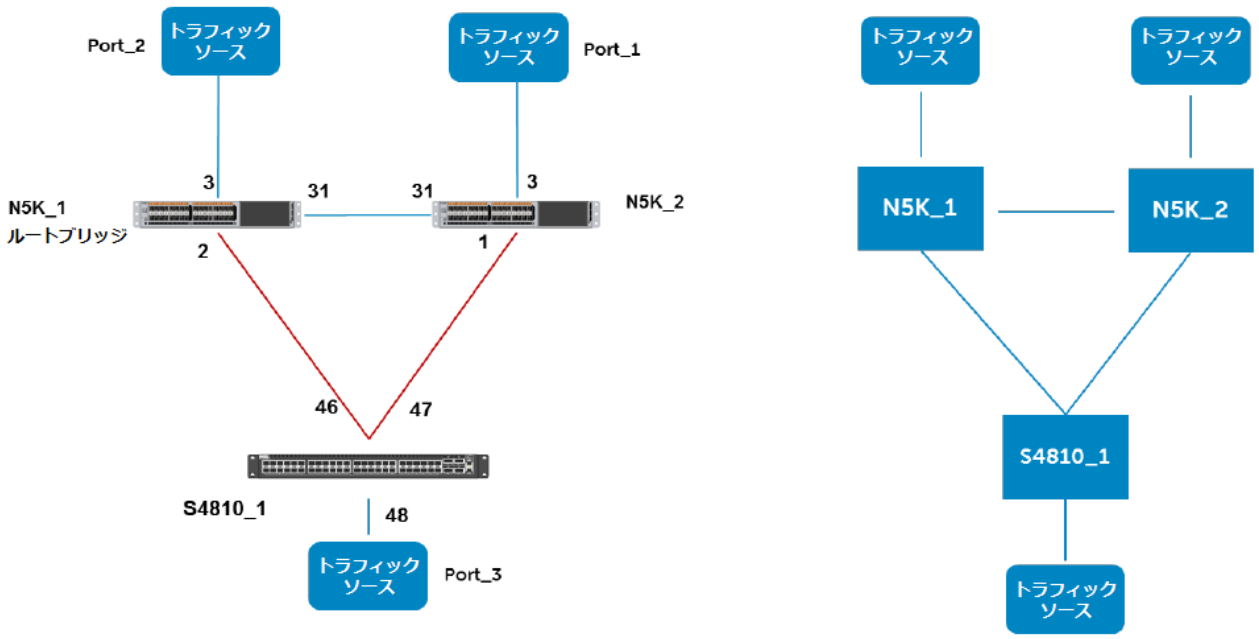
ここで特筆すべき点は、vPC と VLT を構成すると、作成される論理ネットワークトポロジが非常に簡潔明瞭になるということです。シンプルなスイッチペア同士が、4 メンバーのポートチャネルリンクを介して相互接続されます。

この 4 メンバー編成のポートチャネルリンクは、各スイッチ (2 台の Cisco 5548 と 2 台の Dell S4810) のデュアルホームリンクから形成されます。図内では、Cisco のシングルポートチャネルリンクを、各スイッチから引かれた赤と緑の線で示しており、また、Dell のデュアルポートチャネルリンクは、丸で示しています。

スパニングツリーをオンにし、スパニングツリーアルゴリズム (STA) が稼働し始めると、このポートチャネルはフォワーディング (転送) モードに入ります。その理由は、スパニングツリーがこれを「4 リンクから成る 1 つのポートチャネル」として扱うからです。つまり、ネットワークのループを避けるために、一方をブロックしなければならない 2 つの個別なポートチャネルとは見なしません。

図 4 は、二番目のテストセットに使用した検証用環境の概要図です。

図 4. vPC と VLT を使用しない場合のテスト環境



テスト方法

今回のテストは、図 3 、図 4 に示したネットワーク構成を基に、大きく分けて次の三項目を調査します。

1. 冗長デバイステクノロジー (VLT、vPC) を有効／無効にした構成
2. スパニングツリーを構成し、様々なモードを組み合わせたときの相互運用性
3. デバイス間リンクに障害を発生させるシミュレーション

本テストでは、ネットワークのいずれかの一端から、タグ付きトラフィックを生成・送信しました。したがって、テストによっては、ポート 2 または 1 からポート 3 と 4 に向けてトラフィックを発信し、別のテストでは、ポート 3 からポート 2 と 1 に向けてトラフィックを発信しています。

注：

1. **Cisco スイッチ「N5K_1」は、全テストを通して、ネットワークのルートとして構成されています。すべてのテスト結果は、ルートスイッチとして構成したこの Cisco スイッチから取得しました。**
2. **Dell FTOS の場合、デフォルトでは、スパニングツリーをオンにしません。Cisco では、デフォルトのスパニングツリーモードとして、RPVST+ を使用します。**

今回実施した 2 セットのテストでは、環境を次のように構成しました。

1. 1. VLT と vPC を採用した環境
   a. RSTP (Dell) と RPVST+ (Cisco) を使用
   b. RSTP (Dell) と MST (Cisco) を使用
2. VLT と vPC のどちらも採用しない環境
   a. PVST+ (Dell) と RPVST+ (Cisco) を使用
   b. RSTP (Dell) と RPVST+ (Cisco) を使用
   c. MSTP (Dell) と MST (Cisco) を使用
   d. RSTP (Dell) と MST (Cisco) を使用

今回のテストでは、次のハードウェアとソフトウェアを使用しました。

ハードウェア

- Dell S4810 x 2
- Dell S60 x 2
- Cisco 5548UP x 2
- トラフィックソース (送信元)： IXIA XM2 シャーシ、4-10GE モジュール搭載

ソフトウェア

- FTOS-SE-9-1-0-0.bin
- FTOS-SC-8.3.3.9.bin
- Cisco 5.1(3)N2 (1)

パケット損失率とパケット損失時間 (トラフィックの中断時間) の計算には、次の式を使用しました。

- パケット損失率 = (送信フレーム数合計 – (受信フレーム数合計)) / 送信フレーム数合計
- パケット損失時間 (秒) = (送信フレーム数合計 – (受信フレーム数合計)) / フレーム送信レート

テスト： VLT (アグリゲーション) と vPC (コア) を採用した環境

テストケース 1： RSTP (Dell S4810) と RPVST+ (Cisco 5548UP)

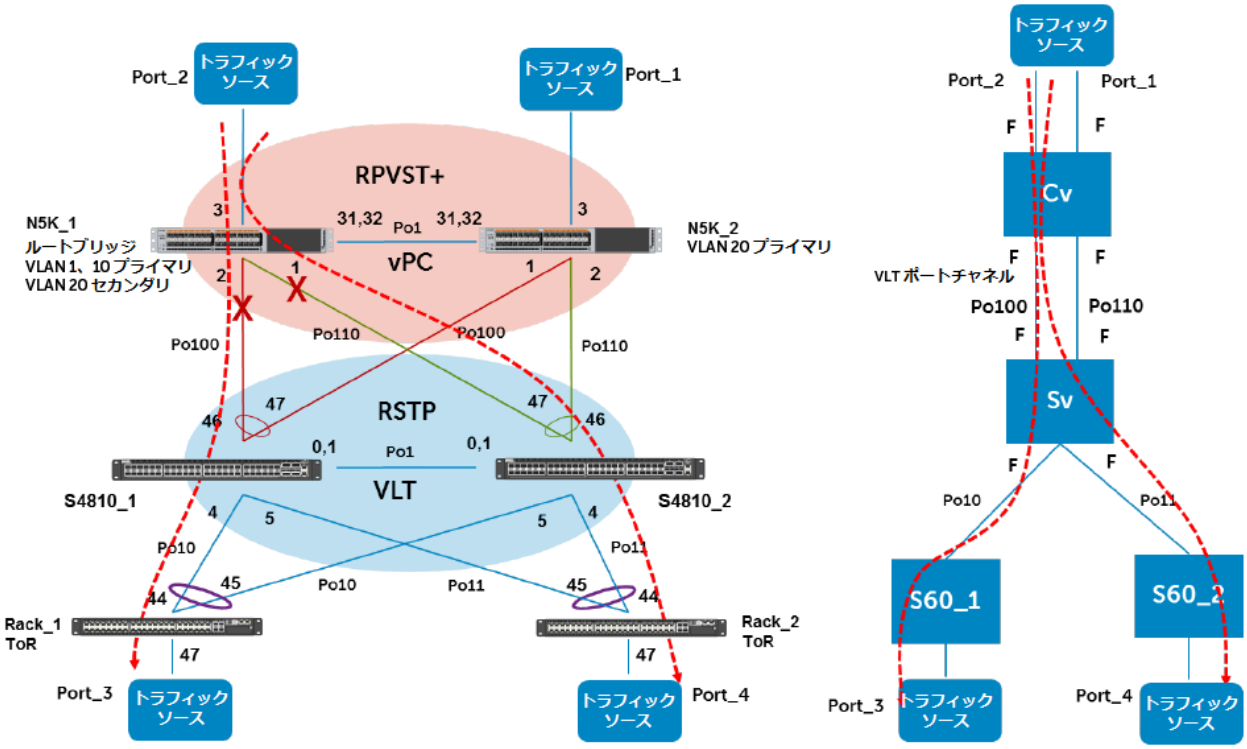
このテストでは、Dell スイッチと Cisco スイッチを、それぞれのデバイス冗長テクノロジーを使って構成しました。

また、Cisco スイッチは RPVST+ を、Dell スイッチは RSTP をスパニングツリーとして使用しています。

注： VLT を使用する場合、現在サポートしているスパニングツリー機能は RSTP のみです。

図 5 は、構成した各 VLAN のトラフィックフローを示しており、VLAN 10 のフェールオーバーシナリオをシミュレーションするため、無効にするリンクには「X」印を付けています。N5K_1 は、VLAN 10 のルートブリッジ、または、プライマリであることに注意してください。

図 5. 物理および論理ネットワークトポロジ： VLAN 20



テスト手順：

1. MAC アドレス「2」のポート 2 (Port_2) を送信元 (トラフィックソース) とし、また、MAC アドレスがそれぞれ「3」、「4」のポート 3 (Port_3)、ポート 4 (Port_4) を宛先とする、VLAN ID 10 のタグ付きストリームを 2 つ生成します。
2. トラフィックソースのポート 2 から送信されるタグ付きの VLAN 20 トラフィックは、この図に示したとおり、Cisco N5K_1 スイッチを経由させるようにします。
3. N5K_2 上のインタフェースカウンタが、ゼロであることを確認します。
4. フェールオーバー状況を再現するため、N5K_1 上のポートチャネル 100 (Po100) と 110 (Po110) を両方ともシャットダウンし、トラフィックの中断を調べます。これで、ポート 2 からポート 3 と 4 へのデータフローは、vPC ポートチャネルを経由して N5K_2 に流れ、そこから下流にある各リンクへと流れます。
5. 両ポートを復旧させて、トラフィックの中断がないかチェックし、N5K_1 がルートブリッジに戻っていることを確認します。
6. 個々のポート 1 と 2 をシャットダウンして、トラフィックの中断を調べます。
7. ポート 3 (Port_3) を送信元に、ポート 2 と 1 (Port_2 と Port_1) を宛先に設定し、ステップ 4～6 を繰り返します。

テスト結果： ~~マイクロ~~秒単位で測定したトラフィックの中断時間は、0.02 秒 未満でした。また、パケット損失率は、0.0001% 未満でした。ステップ 4～6 に示した他のすべてのテストでも、一様に同じ結果を達成しています。図 9 は、ポート 1 からポート 3 & 4 へ送信したとき、フェールオーバーと復旧中に取得したテスト結果のスナップショットです。

- **パケット損失率 = 0.0001 %**
- **パケット損失時間 = 0.02 秒**

これらの達成結果をよく理解するには、詳しい分析と、Cisco スイッチと Dell スイッチ間の相互接続に関する考察が必要です。Cisco と Dell の各スイッチ上で それぞれ vPC と VLT を構成すると、これらのスイッチ間で、4 メンバーのポートチャネルリンクが形成されます。

S4810_1 からは、`vlt-lag-peer <port-channel>` コマンドを通して Po100 と Po110 がバンドルされます。この場合、Po100 と Po110 のバンドルによって、pseudo-master-VLT (疑似マスタ VLT) チャネルが形成されます。

次に、Cisco スイッチ側から見ると、4 つの個別リンクは同じ仮想ポートチャネル番号下に構成されるため、4 メンバー編成のポートチャネルリンクが形成されることになります。

図 6 は、S4810_1 上のローカルおよびリモートポートチャネルの関係を示したものです。言い換えれば、このスイッチ上でローカルのポートチャネルをシャットダウンしても、リモートのポートチャネルメンバーはそのまま稼働し続けるため、フォワーディング (転送) 能力に影響はありません。Po100 をローカルでシャットダウンしても、両方のポートチャネルがフォワーディングを維持するため、Po110 はトラフィックを転送し続けます。

VLT ポートも、vPC ポートと同類の機能を有しており、デフォルトで常にフォワーディングを維持します。しかし、これは、VLT ポートが決してブロッキングモードに入らない、という意味ではありません。当然のことながら、VLT ポートにループが検出されれば、ブロッキングモードに入ります。

図 6. VLT LAG ピアのステータス

```
S4810_1_convg_rack(conf-if-vl-20)# do sh vlt det
Local LAG Id  Peer LAG Id  Local Status  Peer Status  Active VLANs
-------------  ----------  ------------  -------------  ------------
100            110         UP            UP             1, 10, 20
S4810_1_convg_rack(conf-if-vl-20)#
```

図 7 と図 8 は、4 台すべてのスイッチについて、スパンニングツリーのリンクステータスを示しています。これらのすべてがフォワーディングしている点に注目してください。

図 7. Cisco の RPVST+ リンクステータス

```
Cisco_N5K_2# sh spanning-tree

VLAN0001
Interface        Role Sts Cost      Prio.Nbr Type
---------------- ---- --- --------- -------- -------------------------------
Po1              Root FWD 1         128.4096 (vPC peer-link) Network P2p
Po100            Root FWD 1         128.4195 (vPC) P2p
Po110            Desg FWD 1         128.4205 (vPC) P2p
Eth1/3           Desg FWD 2         128.131  P2p

VLAN0010

Interface        Role Sts Cost      Prio.Nbr Type
---------------- ---- --- --------- -------- -------------------------------
Po1              Root FWD 1         128.4096 (vPC peer-link) Network P2p
Po100            Desg FWD 1         128.4195 (vPC) P2p
Po110            Desg FWD 1         128.4205 (vPC) P2p
Eth1/3           Desg FWD 2         128.131  P2p

VLAN0020
  Spanning tree enabled protocol rstp

Interface        Role Sts Cost      Prio.Nbr Type
---------------- ---- --- --------- -------- -------------------------------
Po1              Desg FWD 1         128.4096 (vPC peer-link) Network P2p
Po100            Desg FWD 1         128.4195 (vPC) P2p
Po110            Desg FWD 1         128.4205 (vPC) P2p
Eth1/3           Desg FWD 2         128.131  P2p
```

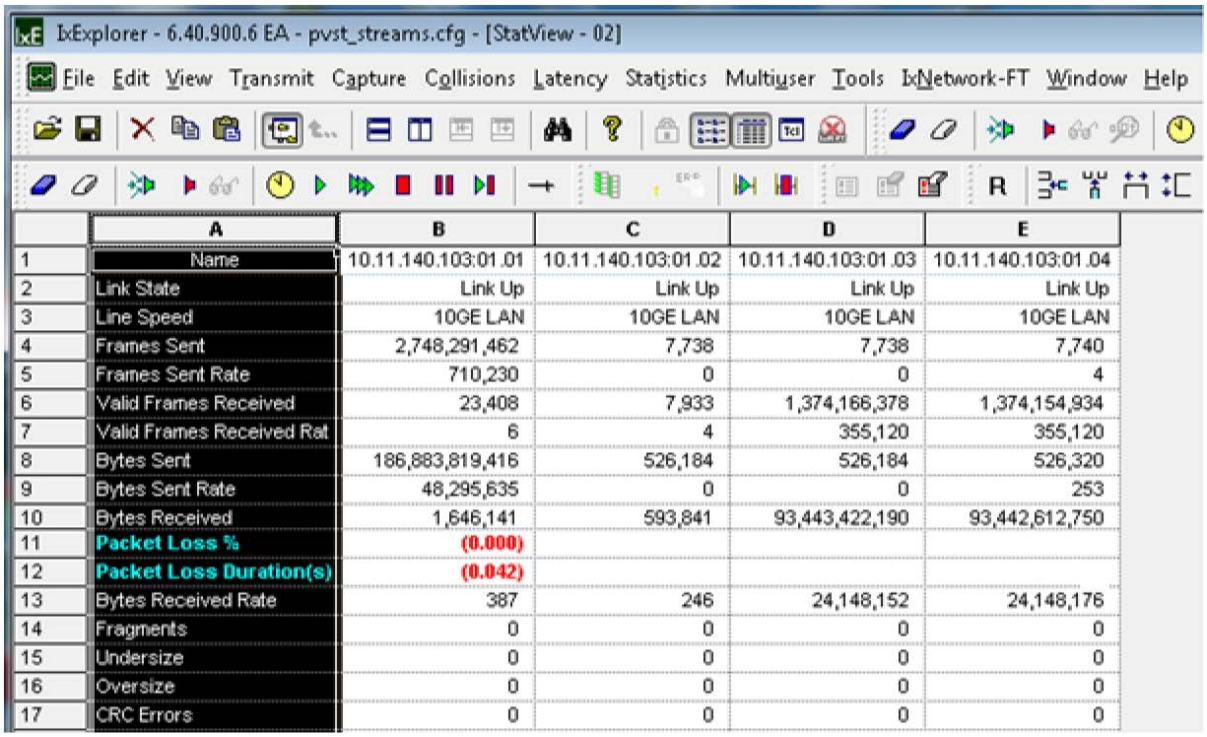
```
Cisco_N5K_1(config-if-range)# sh spanning-tree brie

VLAN0001

Interface        Role Sts Cost      Prio.Nbr Type
---------------- ---- --- --------- -------- -------------------------------
Po1              Desg FWD 1         128.4096 (vPC peer-link) Network P2p
Po100            Root FWD 1         128.4195 (vPC) P2p
Po110            Desg FWD 1         128.4205 (vPC) P2p
Eth1/3           Desg FWD 2         128.131  P2p
Eth1/4           Desg FWD 2         128.132  P2p

VLAN0010

Interface        Role Sts Cost      Prio.Nbr Type
---------------- ---- --- --------- -------- -------------------------------
Po1              Desg FWD 1         128.4096 (vPC peer-link) Network P2p
Po100            Desg FWD 1         128.4195 (vPC) P2p
Po110            Desg FWD 1         128.4205 (vPC) P2p
Eth1/3           Desg FWD 2         128.131  P2p

VLAN0020

Interface        Role Sts Cost      Prio.Nbr Type
---------------- ---- --- --------- -------- -------------------------------
Po1              Root FWD 1         128.4096 (vPC peer-link) Network P2p
Po100            Desg FWD 1         128.4195 (vPC) P2p
Po110            Desg FWD 1         128.4205 (vPC) P2p
Eth1/3           Desg FWD 2         128.131  P2p
```

図 8. S4810 の RSTP リンクステータス

```
S4810_1_convg_rack(conf-if-vl-20)# do sh spanning-tree rs bri

Interface                                Designated
 Name      PortID   Prio Cost   Sts       Cost       Bridge ID
PortID
---------- -------- ---- ------- ---------- ------- -------------------- --------
Po 1       128.2    128  1800   FWD(vltl)  0        0
Po 100     128.101  128  1400   FWD(vlt)   0        0
Te 0/4     128.134  128  2000   FWD        0        0
Te 0/5     128.135  128  200000 DIS        0        32768

Interface
 Name      Role   PortID   Prio Cost   Sts        Cost    Link-type
Edge
---------- ------ -------- ---- ------- ---------- ------- --------- ----
Po 1       Desg   128.2    128  1800   FWD        0       (vltl)P2P
No
Po 100     Desg   128.101  128  1400   FWD        0       (vlt) P2P
No
Te 0/4     Desg   128.134  128  2000   FWD        0       P2P
Yes
Te 0/5     Dis    128.135  128  200000 DIS        0       P2P      No
S4810_1_convg_rack(conf-if-vl-20)#
```

```
S4810_2_convg_rack(conf-if-po-110)#do sh spanning-tree rs bri

Interface                                Designated
 Name      PortID   Prio Cost   Sts       Cost       Bridge ID
PortID
---------- -------- ---- ------- ---------- ------- -------------------- --------
Po 1       128.2    128  1800   FWD(vltl)  1800     0
Po 110     128.111  128  1400   FWD(vlt)   1800     32768
Te 0/4     128.134  128  20000  FWD        1800     32768

Interface
 Name      Role   PortID   Prio Cost   Sts        Cost    Link-type Edge
---------- ------ -------- ---- ------- ---------- ------- --------- ----
Po 1       Root   128.2    128  1800   FWD        1800    (vltl)P2P No
Po 110     Desg   128.111  128  1400   FWD        1800    (vlt) P2P
No
Te 0/4     Desg   128.134  128  20000  FWD        1800    P2P
No
S4810_2_convg_rack(conf-if-po-110)#
```

図 9. VLAN 10 のストリーム統計情報



	A	B	C	D	E
1	Name	10.11.140.103:01.01	10.11.140.103:01.02	10.11.140.103:01.03	10.11.140.103:01.04
2	Link State	Link Up	Link Up	Link Up	Link Up
3	Line Speed	10GE LAN	10GE LAN	10GE LAN	10GE LAN
4	Frames Sent	2,748,291,462	7,738	7,738	7,740
5	Frames Sent Rate	710,230	0	0	4
6	Valid Frames Received	23,408	7,933	1,374,166,378	1,374,154,934
7	Valid Frames Received Rat	6	4	355,120	355,120
8	Bytes Sent	186,883,819,416	526,184	526,184	526,320
9	Bytes Sent Rate	48,295,635	0	0	253
10	Bytes Received	1,646,141	593,841	93,443,422,190	93,442,612,750
11	**Packet Loss %**	**(0.000)**			
12	**Packet Loss Duration(s)**	**(0.042)**			
13	Bytes Received Rate	387	246	24,148,152	24,148,176
14	Fragments	0	0	0	0
15	Undersize	0	0	0	0
16	Oversize	0	0	0	0
17	CRC Errors	0	0	0	0

上図のうち、赤字で示したセルは、パケット損失率 (%) とパケット損失時間の測定値を示しています。

※追記： 本スナップショットのパケット損失時間が文章内の表記と異なりました。ご了承ください。

テストケース 2： RSTP (Dell S4810) と MST (Cisco 5548UP)

次は、図 4 と同じ環境を基に、Cisco スイッチ上で MST を構成した後、「テスト 1」と同じテストセットを繰り返しました。

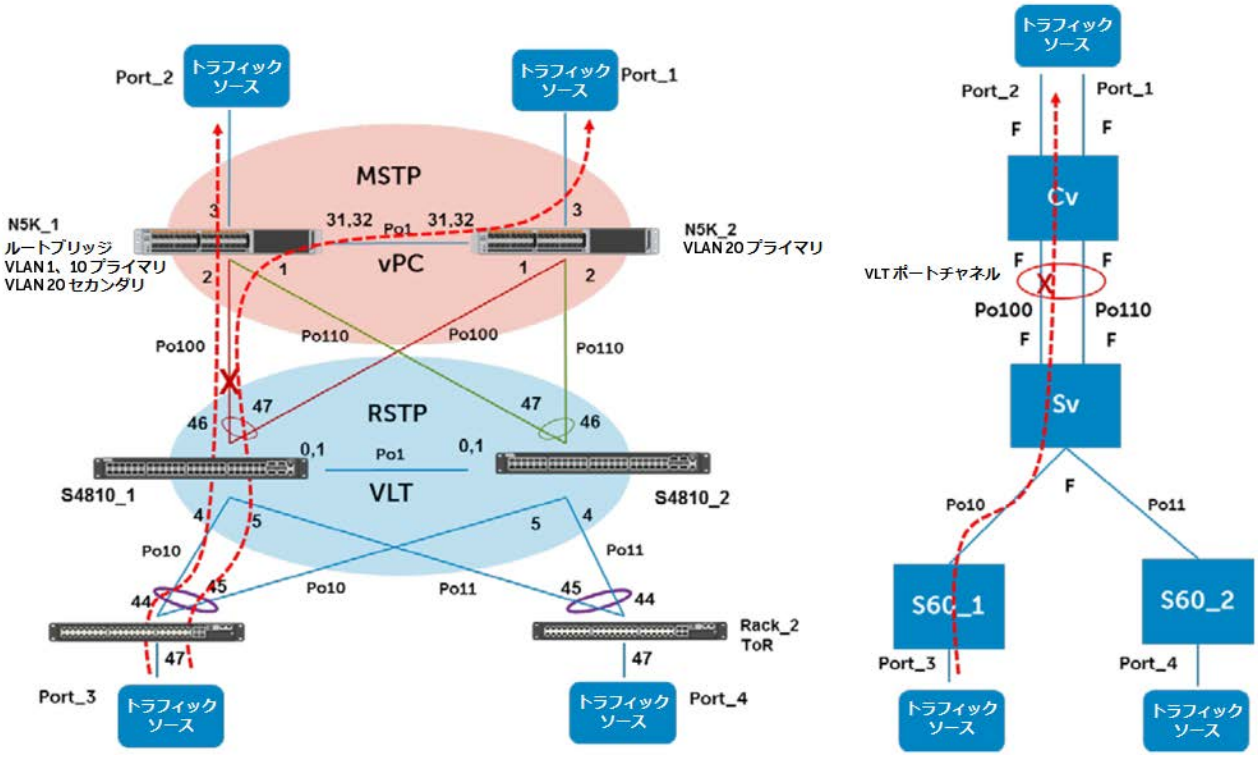
RSTP と MST を有効にする本構成の場合、収束時間は、1～2 秒、場合によっては、それ以下になることが期待されます。その論拠は、MST の仕組み上の理由 (MST は、RSTP の収束タイマーを実行／利用している)、また、2 つの異なる領域 (リージョン) 間でただ 1 つのスパニングツリーインスタンスしか稼働していないという理由のためです。

図 10 は、ポート 3 から送信されたトラフィックが、ネットワークとリンクを横断して、どのようにポート 2 と 1 に流れるのか、また、どのリンクをシャットダウンおよび復旧するのかを示しています。

ここでは、ポート 1 (Port_1) に向かうトラフィックが、ルートブリッジを経由し、vPC チャネル内を通過してセカンダリスイッチに到達した後、最終的にポート 1 に届けられることに注目してください。

さらに、図 10 には、Cisco N5K_1 スイッチ上の Po100 (ポートチャネル 100) をシャットダウンする最初のテストについても示しています。

図 10. 物理および論理ネットワークトポロジ



テスト手順：

1. MAC アドレス「3」のポート 3 を送信元、ポート 1 と 2 を宛先とする、VLAN ID 20 のタグ付きストリームを 2 つ生成します。
2. この場合、N5K_1 がスパニングツリーの共通ルートブリッジであるため、ポート 3 から送信される VLAN 20 トラフィックは、必ず N5K_1 を経由するようにします。
3. N5K_2 のポート 1 と 2 のインタフェースカウンタがゼロであることを確認します。N5K_2 上で増加するインタフェースは、内部 vPC チャネルと、ポート 3 の送信カウンタだけのはずです。
4. フェールオーバー状況を再現するため、N5K_1 上のポートチャネル 100 (Po100) をシャットダウンし、トラフィックの中断を調べます。
5. N5K_1 上の Po100 を復旧させて、トラフィックの中断がないかチェックし、N5K_1 がルートブリッジに戻っていることを確認します。
6. S4810_1 上の個別ポート 46 と 47 をシャットダウンして、トラフィックの中断を調べます。この場合、トラフィックは、S4810_2 上の Po110 にスイッチオーバーされ、感知可能な中断なしに通信を維持できるはずです。
7. ポート 46 および 47 を復旧させ、トラフィックに感知可能な中断がないかチェックします。

テスト結果： 本テストからは、非常に良好な結果が得られました。VLT と vPC を採用した本構成では、合計 4 台のスイッチが、4 メンバー編成のポートチャネルリンクを通して、シンプルなスイッチペアを形成・接続することができます (図 10 の論理ネットワークトポロジを参照)。

- **パケット損失率 = 0.0001 %**
- **パケット損失時間 = 0.006 秒**

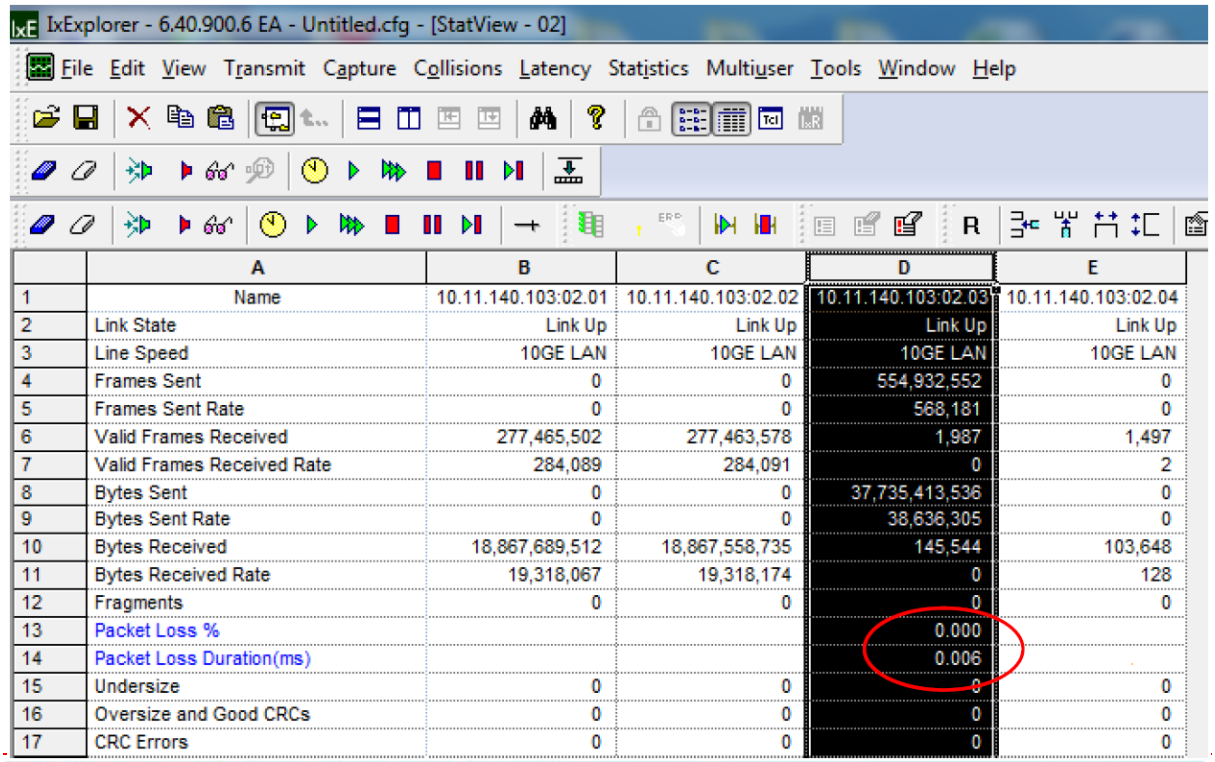
vPC と VLT を構成すると、期待した通り、両 Dell S4810 と両 Cisco 5548 のリンクから、実際に 4 メンバーのポートチャネルリンクが形成されます。したがって、たとえ、Cisco N5K_1 上のポートチャネル 100 をシャットダウンしても、依然、フォワーディングを続ける 3 つのリンクが利用可能なため、トラフィックは影響を受けないはずです。

この件は、Te0/47 カウンタを調べることで、確認できました。最初、Te0/47 は送信数＝「0」でしたが、Cisco N5K_1 上で Po100 をシャットダウンすると、Te0/47 カウント数が増えていき、スイッチオーバーが発生したことがわかります。

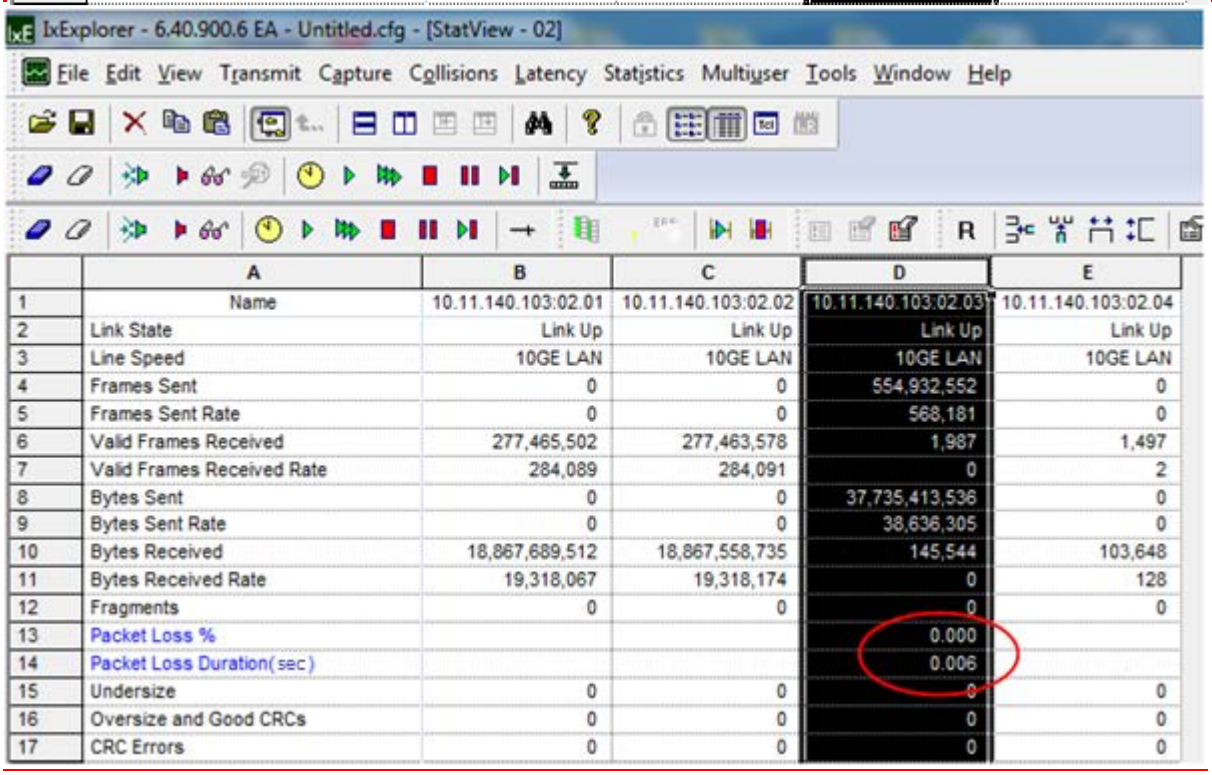
また、Dell S4810_1 スイッチ上で個々のリンクをシャットダウンした場合でも、結果に違いは出ませんでした。これは、スイッチの立場から見た場合、ポートチャネルの一部であるリンクを個別にシャットダウンしても、冗長リンクが残されている限り、何の問題もないからです。本テスト構成では、他にも 3 つのリンクが利用でき、フォワーディングすることができます。

図 11 は、スイッチオーバー障害発生時と発生後のカウンタ (赤線の部分) を示した画面ショットです。

図 11. リンクフェールオーバー時のトラフィックポート統計情報



	A	B	C	D	E
1	Name	10.11.140.103:02.01	10.11.140.103:02.02	10.11.140.103:02.03	10.11.140.103:02.04
2	Link State	Link Up	Link Up	Link Up	Link Up
3	Line Speed	10GE LAN	10GE LAN	10GE LAN	10GE LAN
4	Frames Sent	0	0	554,932,552	0
5	Frames Sent Rate	0	0	568,181	0
6	Valid Frames Received	277,465,502	277,463,578	1,987	1,497
7	Valid Frames Received Rate	284,089	284,091	0	2
8	Bytes Sent	0	0	37,735,413,536	0
9	Bytes Sent Rate	0	0	38,636,305	0
10	Bytes Received	18,867,689,512	18,867,558,735	145,544	103,648
11	Bytes Received Rate	19,318,067	19,318,174	0	128
12	Fragments	0	0	0	0
13	Packet Loss %			0.000	
14	Packet Loss Duration(ms)			0.006	
15	Undersize	0	0	0	0
16	Oversize and Good CRCs	0	0	0	0
17	CRC Errors	0	0	0	0



	A	B	C	D	E
1	Name	10.11.140.103:02.01	10.11.140.103:02.02	10.11.140.103:02.03	10.11.140.103:02.04
2	Link State	Link Up	Link Up	Link Up	Link Up
3	Line Speed	10GE LAN	10GE LAN	10GE LAN	10GE LAN
4	Frames Sent	0	0	554,932,552	0
5	Frames Sent Rate	0	0	568,181	0
6	Valid Frames Received	277,465,502	277,463,578	1,987	1,497
7	Valid Frames Received Rate	284,089	284,091	0	2
8	Bytes Sent	0	0	37,735,413,536	0
9	Bytes Sent Rate	0	0	38,636,305	0
10	Bytes Received	18,867,689,512	18,867,558,735	145,544	103,648
11	Bytes Received Rate	19,318,067	19,318,174	0	128
12	Fragments	0	0	0	0
13	Packet Loss %			0.000	
14	Packet Loss Duration(sec)			0.006	
15	Undersize	0	0	0	0
16	Oversize and Good CRCs	0	0	0	0
17	CRC Errors	0	0	0	0

テスト： VLT (アグリゲーション) と vPC (コア) を採用しない構成

次のテストセットでは、vPC と VLT をどちらも構成せずに、様々なスパニングツリー手法を組み合わせて実行しました。本テストの目的は、ベンダ固有の拡張機能を一切使わず、相互運用性が問題とならない標準ベースの

スパニングツリーモードと、シンプルなレイヤ 2 リンクを使用した、典型的な「三角形」方式の導入を確認することにあります。

テストケース 1： RSTP (Dell S4810) と RPVST+ (Cisco 5548UP)

図 12 は、安定した状態でのトラフィックフローを描いたものです。各 Cisco N5K スイッチが、それぞれ VLAN 10 と 20 のルートとなっていますが、黒の矢印は、VLAN 10 と 20 のトラフィックフローをです。スパニングツリーの論理ネットワークトポロジを見ると、Te0/46 はフォワーディング (F) していますが、Te0/47 はブロック (B) されています。Dell S4810 スイッチ(RSTP を使用)がすべての VLAN に 1 つのスパニングツリーインスタンスしか存在しない状況のため、これが正常な動作となります。一方、RPVST+ を実行している Cisco の場合は、2 個別々のスパニングツリーインスタンスが作成されます。

N5K_1 スイッチから見ると、VLAN 20 トラフィックのルートは N5K_2 のため、N5K_2 をルートスイッチとして指し示す個別のインスタンスを作成します (図 13)。また、N5K_2 スイッチから見ると、VLAN 10 トラフィックのルートは N5K_1 のため、N5K_1 をルートスイッチとして指し示す個別のインスタンスを作成します (図 14)。

図 12. 物理ネットワークトポロジ： RSTP (Dell) と RPVST+ (Cisco)

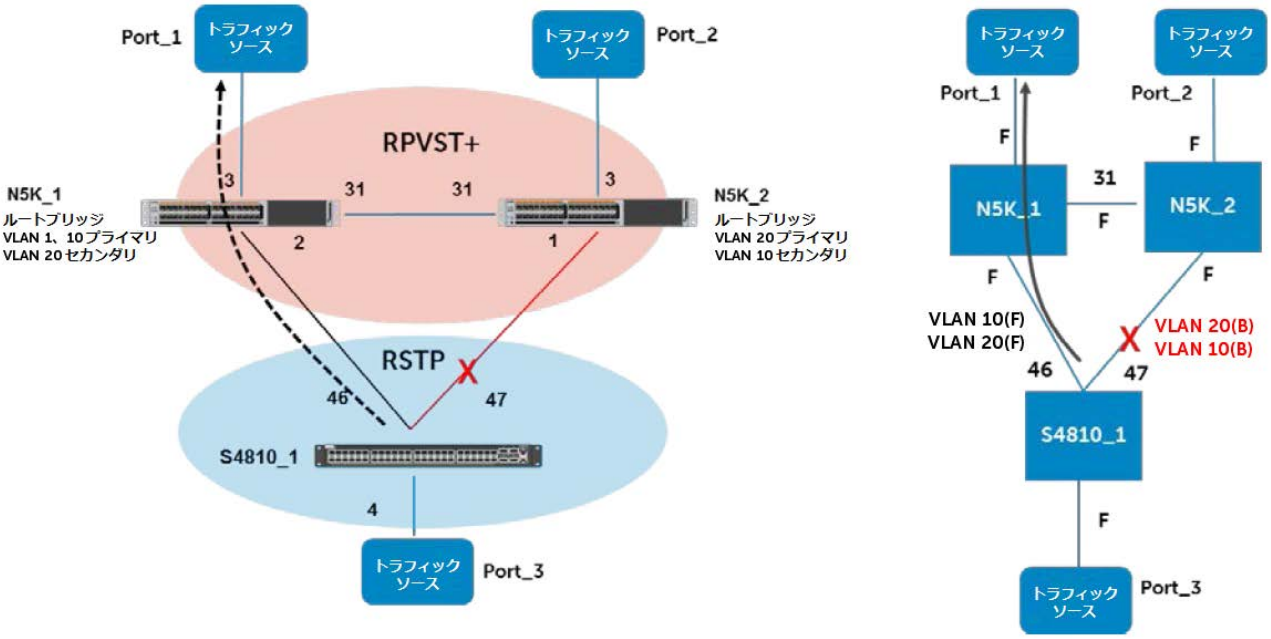


図 13. VLAN 20 のスパニングツリーインスタンス (N5K_1)

```
VLAN0020
  Spanning tree enabled protocol rstp
  Root ID    Priority    24596
             Address     547f.eeac.13c1  << N5K_2 MAC Address
             Cost        2
             Port        159 (Ethernet1/31)
             Hello Time  2  sec  Max Age 20 sec  Forward Delay 15 sec

  Bridge ID  Priority    28692  (priority 28672 sys-id-ext 20)
             Address     547f.eeab.dbbc
             Hello Time  2  sec  Max Age 20 sec  Forward Delay 15 sec

Interface        Role Sts Cost      Prio.Nbr Type
---------------- ---- --- --------- -------- --------------------------------
Eth1/2           Desg FWD 2         128.130  P2p
Eth1/3           Desg FWD 2         128.131  P2p
Eth1/31          Root FWD 2         128.159  P2p     << Pointing to N5K_2 as the root switch

N5K_1#
```

図 14. VLAN 10 のスパニングツリーインスタンス (N5K_2)

```
VLAN0010
  Spanning tree enabled protocol rstp
  Root ID    Priority    24586
             Address     547f.eeab.dbbc   << N5K_1 MAC Address
             Cost        2
             Port        159 (Ethernet1/31)
             Hello Time  2  sec  Max Age 20 sec  Forward Delay 15 sec
  Bridge ID  Priority    28682  (priority 28672 sys-id-ext 10)
             Address     547f.eeac.13c1
             Hello Time  2  sec  Max Age 20 sec  Forward Delay 15 sec
Interface        Role Sts Cost      Prio.Nbr Type
---------------- ---- --- --------- -------- --------------------------------
Eth1/1           Desg FWD 2         128.129  P2p
Eth1/3           Desg FWD 2         128.131  P2p
Eth1/31          Root FWD 2         128.159  P2p   << Pointing to N5K_1 as the root switch
N5K_2#
```

テスト手順：

1. MAC アドレス「3」のポート 3 を送信元、ポート 1 と 2 を宛先とする、VLAN ID 20 のタグ付きストリームを 2 つ生成します。
2. フェールオーバー状況を再現するため、S4810_1 上の Te0/46 をシャットダウンし、トラフィックの中断を調べます。
3. S4810_1 上の Te0/46 を復旧させ、トラフィックの中断がないかチェックします。

テスト結果： このテストでは、2 つの異なるスパニングツリーモードを使用しており、一方は完全なベンダ固有機能 (RPVST+)、もう一方は標準ベースの機能 (RSTP) を構成しています。このような組み合わせにしたため、相互運用性に何らかの問題が出ることが予想されました。以下に、本テストの結果を示します。

1. Te0/46 をシャットダウンしたとき：

- **パケット損失率 = 0.003 %**
- **パケット損失時間 = 0.224 秒**

Te0/46 が無効になると、ALTR (S4810 上の代替ルートポート Te0/47) が即座にフォワーディングモードに移行します。これは、RSTP 内の代替ルートポート機能に基づく、想定通りの動作です。この代替ルートポートは、バックアップ (控え) のルートポートであるため、図 12 のネットワーク内で行われるような BPDU の交換は発生しません。したがって、この場合、スイッチオーバーとフォワーディング時間は非常に高速です。

2. Te0/46 の復旧後：

- **パケット損失率 = 40～50 %**
- **パケット損失時間 = 30 秒**

RSTP の場合、ポイントツーポイントのリンク間で、直接、メッセージ交換が行われます。この交換で送受信するのは、RSTP BPDU プロポーザルメッセージとアグリーメントメッセージです。RPVST+ の場合も、同じメッセージ交換が行われるものの、これらのメッセージは、VLAN ごとに生成されます。Cisco 固有の実装法である RPVST+ は、これらの交換メッセージを生成した後、VLAN 1 以外のあらゆる VLAN を対象とした特定のマルチキャストアドレスに送信する仕組となっています (図 15 と 16 を参照)。また、このマルチキャストアドレスは、唯一、Cisco スイッチ「**しか**」理解することができません。

そのため、今回実施したテストの場合、VLAN 10 と 20 の RSTP BPDU は、Dell S4810 から応答が得られません (図 15)。

このように、RSTP 実装法が双方で噛み合っていないため、Cisco スイッチは、BPDU プロポーザルメッセージに応じたアグリーメントを受信することができず、そのせいで、Cisco スイッチの動作を旧式のスパニングツリー方式に戻してしまい、少なくとも転送遅延タイマー (15 秒) の二倍、待機してしまいます。

図 15. VLAN 10 の RSTP BPDU

Port 1/2 上の VLAN 10 用 RSTP BPDU、Cisco が予約しているマルチキャストアドレスはすべて赤字で記載

```
RSTP BPDU FOR VLAN 10 on Port 1/2  all Cisco reserved Multicast address in red

2013 Jul 19 16:50:38.073188 stp: RSTP(10): transmitting RSTP BPDU on Ethernet1/2
2013 Jul 19 16:50:38.073203 stp: vb_vlan_shim_send_bpdu(1977): VDC 1 Vlan 10 port Ethernet1/2
enc_type 1 len 42
2013 Jul 19 16:50:38.073225 stp: BPDU TX: vb 1 vlan 10 port Ethernet1/2 len 42 ->01000cccccccd CFG
P:0000 V:02 T:02 F:0e R:60:0a:54:7f:ee:ab:db:bc 00000000 B:60:0a:54:7f:ee:ab:db:bc 8082 A:0000
M:0014 H:0002 F:000f      T:0000 L:0002 D:0a
```

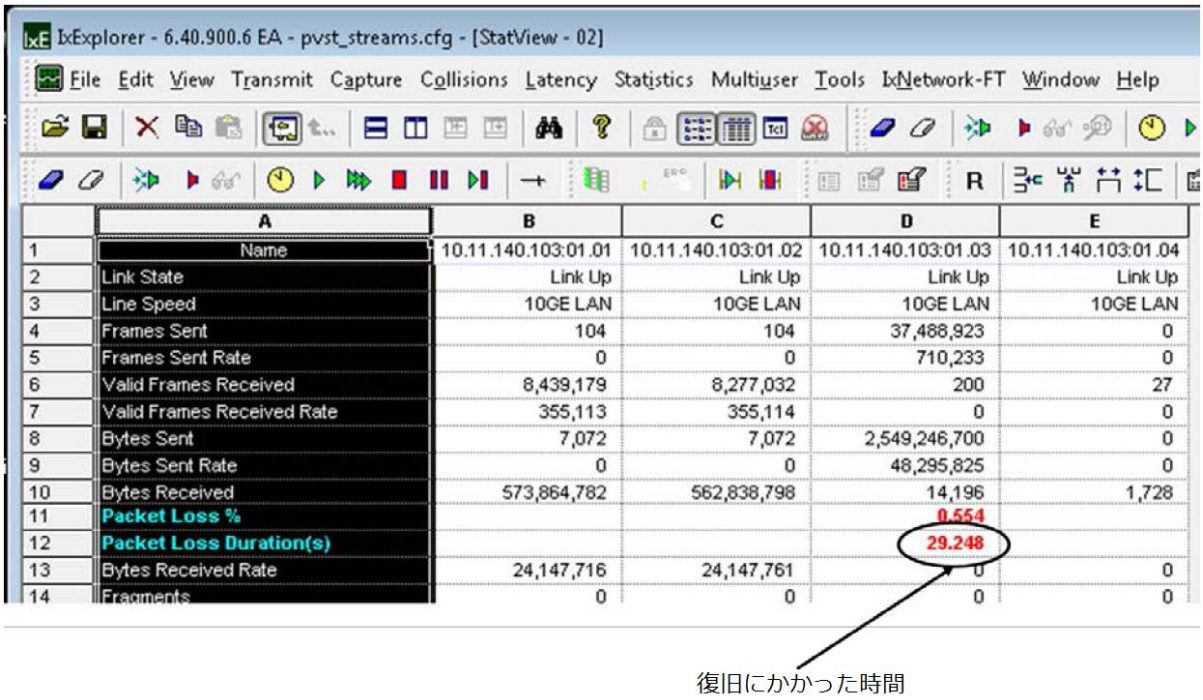
図 16 からは、各 Cisco N5K が、特定の VLAN を対象とした特定のマルチキャストアドレスに向けて RSTP BPDU を送信していることがわかります。VLAN 1 については、良く知られた IEEE 標準ベースのアドレス (0180.C200.0000) と、Cisco の予約アドレス (0100.0CCC.CCCD) が確認できますが、VLAN 10 では、Cisco の予約アドレスしか使用されていないことに注目してください。Dell S4810 は、単純にこのアドレスをドロップしてしまいます。

図 16. Cisco RPVST+ スパニングツリーのデバグ画面

```
Cisco_N5K_1# debu spanning-tree all
2013 Jun 28 21:54:54.162746 stp: RSTP(1): transmitting RSTP BPDU on Ethernet1/2
2013 Jun 28 21:54:54.162769 stp: vb_vlan_shim_send_bpdu(1977): VDC 1 Vlan 1 port
Ethernet1/2 enc_type 2 len 36
2013 Jun 28 21:54:54.162794 stp: BPDU TX: vb 1 vlan 1 port Ethernet1/2 len 36 ->
0180c2000000 CFG P:0000 V:02 T:02 F:3c R:20:01:54:7f:ee:ab:db:bc 00000000 B:20:0
1:54:7f:ee:ab:db:bc 8082 A:0000 M:0014 H:0002 F:000f
2013 Jun 28 21:54:54.162807 stp: vb_vlan_shim_send_bpdu(1977): VDC 1 Vlan 1 port
Ethernet1/2 enc_type 1 len 42
2013 Jun 28 21:54:54.162828 stp: BPDU TX: vb 1 vlan 1 port Ethernet1/2 len 42 ->
01000cccccccd CFG P:0000 V:02 T:02 F:3c R:20:01:54:7f:ee:ab:db:bc 00000000 B:20:0
1:54:7f:ee:ab:db:bc 8082 A:0000 M:0014 H:0002 F:000f      T:0000 L:0002 D:01
2013 Jun 28 21:54:54.162841 stp: RSTP(1): transmitting RSTP BPDU on Ethernet1/31
2013 Jun 28 21:54:54.162860 stp: vb_vlan_shim_send_bpdu(1977): VDC 1 Vlan 1 port
Ethernet1/31 enc_type 2 len 36

2013 Jun 28 21:54:54.163122 stp: BPDU TX: vb 1 vlan 10 port Ethernet1/2 len 42 -
>01000cccccccd CFG P:0000 V:02 T:02 F:3c R:20:0a:54:7f:ee:ab:db:bc 00000000 B:20:
0a:54:7f:ee:ab:db:bc 8082 A:0000 M:0014 H:0002 F:000f
```

図 17 は、ポートチャネルリンクの回復中、トラフィックが中断した時間の長さを示しています。

図 17. フェールオーバー時の画面ショット



	A	B	C	D	E
1	Name	10.11.140.103:01.01	10.11.140.103:01.02	10.11.140.103:01.03	10.11.140.103:01.04
2	Link State	Link Up	Link Up	Link Up	Link Up
3	Line Speed	10GE LAN	10GE LAN	10GE LAN	10GE LAN
4	Frames Sent	104	104	37,488,923	0
5	Frames Sent Rate	0	0	710,233	0
6	Valid Frames Received	8,439,179	8,277,032	200	27
7	Valid Frames Received Rate	355,113	355,114	0	0
8	Bytes Sent	7,072	7,072	2,549,246,700	0
9	Bytes Sent Rate	0	0	48,295,825	0
10	Bytes Received	573,864,782	562,838,798	14,196	1,728
11	Packet Loss %			0.554	
12	Packet Loss Duration(s)			29.248	
13	Bytes Received Rate	24,147,716	24,147,761	0	0
14	Fragments	0	0	0	0

テストケース 2： PVST+ (Dell S4810) と RPVST+ (Cisco 5548UP)

図 1~~8~~5 は、それぞれ物理および論理ネットワークトポロジを示したものです。VLAN 10 は Te 0/46 上でフォワード (F) され、Te0/47 上でブロック (B) されており、VLAN 20 はその逆であることに注目してください。

図 18. 物理および論理ネットワークトポロジ： RPVST+ と PVST+

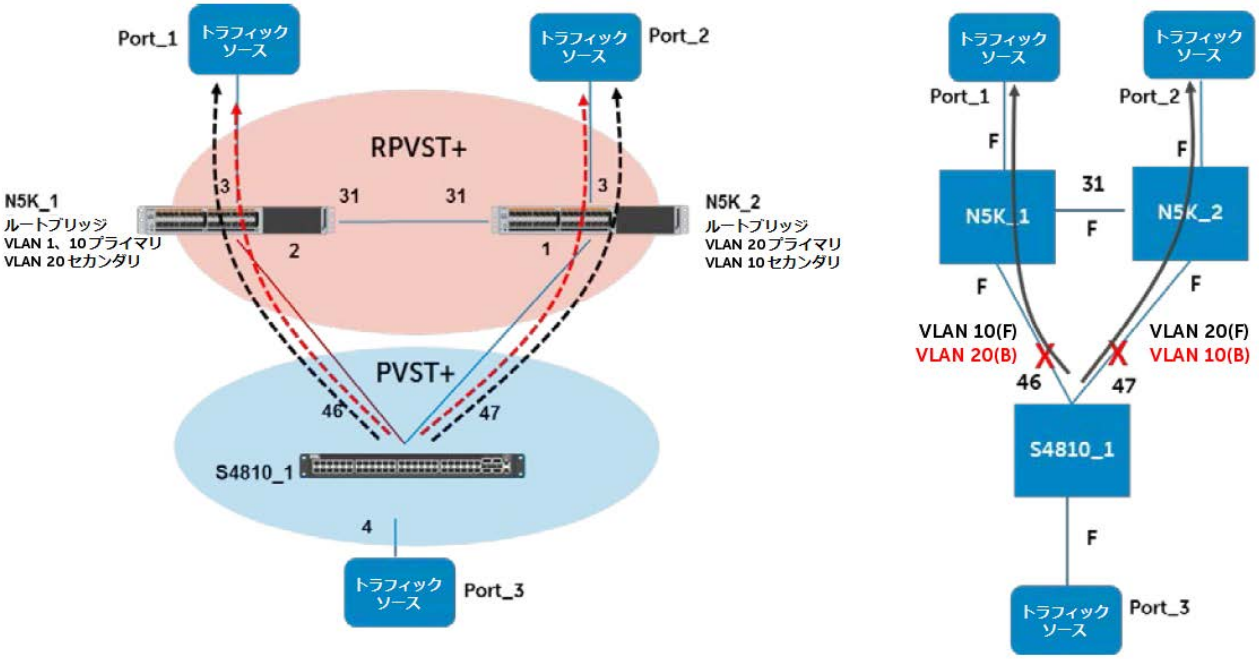


図 1~~9~~6 と図 ~~17~~20 は、PVST+ を使用する Dell S4810 上のポート状態を示しています。

図 19. VLAN 10 の S4810 リンクステータス (スパニングツリー)

```
S4810_1_convg_rack(conf-if-vl-20)#do sh spanning-tree pvst vlan 10 bri
VLAN 10
Executing IEEE compatible Spanning Tree Protocol
Root ID    Priority 8202, Address 547f.eeab.dbbc
Root Bridge hello time 2, max age 20, forward delay 15
Bridge ID    Priority 32768, Address 0001.e88a.f033
Configured hello time 2, max age 20, forward delay 15

!
!
!
Interface
 Name      Role   PortID   Prio Cost    Sts        Cost    Link-type Edge
---------- ------ -------- ---- ------- ---------- ------- --------- ----
Te 0/4     Desg   128.134  128  20000   FWD        2000    P2P       No
Te 0/46    Root   128.176  128  2000    FWD        2000    P2P       No
Te 0/47    Altr   128.177  128  2000    BLK        2000    P2P       No
S4810_1_convg_rack(conf-if-vl-20)#
```

図 20. VLAN 20 のトラフィック (スパニングツリー)

```
S4810_1_convg_rack(conf-if-vl-20)#do sh spanning-tree pvst vlan 20 bri
VLAN 10
Executing IEEE compatible Spanning Tree Protocol
Root ID    Priority 8202, Address 547f.eeab.dbbc
Root Bridge hello time 2, max age 20, forward delay 15
Bridge ID    Priority 32768, Address 0001.e88a.f033
Configured hello time 2, max age 20, forward delay 15

!
!
!
Interface
 Name      Role   PortID   Prio Cost    Sts        Cost    Link-type Edge
---------- ------ -------- ---- ------- ---------- ------- --------- ----
Te 0/4     Desg   128.134  128  20000   FWD        2000    P2P       No
Te 0/46    Altr   128.176  128  2000    BLK        2000    P2P       No
Te 0/47    Root   128.177  128  2000    FWD        2000    P2P       No
S4810_1_convg_rack(conf-if-vl-20)#
```

テスト手順：

1. MAC アドレス「3」のポート 3 を送信元、ポート 1 と 2 を宛先とする、VLAN ID 10 と 20 のタグ付きストリームを 2 つ生成します。
2. フェールオーバー状況を再現するため、S4810_1 上の Te0/46 をシャットダウンし、トラフィックの中断を調べます。
3. S4810_1 上の Te0/46 ポートを復旧させて、トラフィックの中断がないかチェックし、N5K_1 がルートブリッジに戻っていることを確認します。
4. RS4810_1 スイッチ上の Te0/47 を対象に、ステップ 2～3 を繰り返します。

テスト結果： 予想通り、ブロックされていた VLAN は、リンク障害直後から転送を開始し、別のスパニングツリーインスタンスが VLAN 単位で作成されました。S4810_1 と各 N5K 間を結ぶリンクに障害が発生したとき、観察されたタイマーの測定値は次のとおりです。

- **パケット損失率 = 0.0 %**
- **パケット損失時間 = 0.1 秒 (各リンクのフェールオーバー時)**

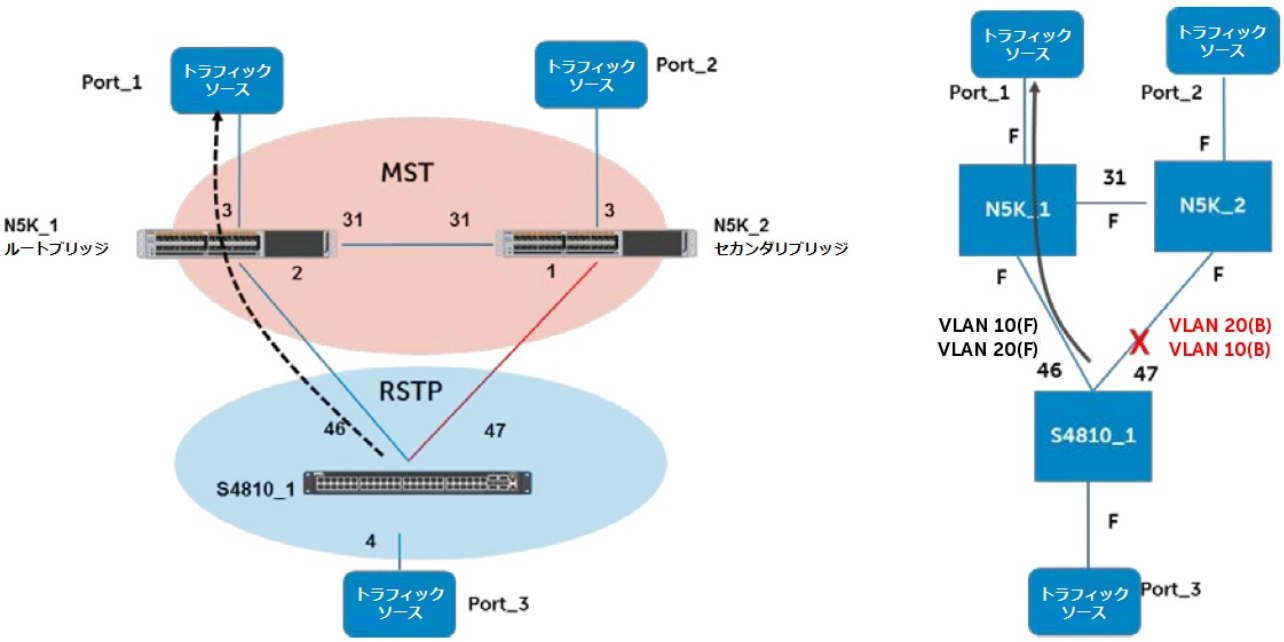
テストケース 3： RSTP (Dell S4810) と MST (Cisco 5548UP)

このテストでは、次の構成を使用して、2 セットのテストを実施しました。

1. MST と RSTP によって、デフォルトの一般的な／シングル (1 つの) スパニングツリーインスタンスが作成されます。
2. Cisco スイッチ上で 2 つのスパニングツリーインスタンスを作成し、VLAN 10 と 20 を各インスタンスに割り当ててテストを実行します。

図 ~~18~~21 は、一般的な／シングルスパニングツリー構成を採用した、物理および論理ネットワーク図です。

図 21. 物理および論理ネットワークトポロジ



一般的な／シングルスパニングツリーインスタンス

以降の画面ショットは、ネットワーク全体で 1 つのスパニングツリーインスタンスを構成したときの、Cisco スイッチと Dell S4810 におけるスパニングツリーのリンクステータスを示しています。

図 22~~19~~ と図 ~~20~~23 から、両方の Cisco スイッチが同じスパニングツリー領域、同じインスタンス、同制御下で実行される RSTP を共有していることがわかり、当然のことながら、迅速な収束時間が期待されます。

図 22. Cisco のリンクステータス： MST

```
N5K_1# sh spanning-tree brief

MST0000
 Spanning tree enabled protocol mstp
 Root ID    Priority    0
        Address     547f.eeab.dbbc
        This bridge is the root
        Hello Time  2  sec  Max Age 20 sec  Forward Delay 15 sec

 Bridge ID  Priority    0     (priority 0 sys-id-ext 0)
        Address     547f.eeab.dbbc
        Hello Time  2  sec  Max Age 20 sec  Forward Delay 15 sec

Interface        Role Sts Cost      Prio.Nbr Type
---------------- ---- --- --------- -------- -------------------------------
Eth1/2           Desg FWD 2000      128.130  P2p
Eth1/3           Desg FWD 2000      128.131  P2p
Eth1/31          Desg FWD 2000      128.159  P2p

N5K_1#
```

```
N5K_2# sh spanning-tree brief

MST0000
 Spanning tree enabled protocol mstp
 Root ID    Priority    0
        Address     547f.eeab.dbbc
        Cost        0
        Port        159 (Ethernet1/31)
        Hello Time  2  sec  Max Age 20 sec  Forward Delay 15 sec

 Bridge ID  Priority    28672  (priority 28672 sys-id-ext 0)
        Address     547f.eeac.13c1
        Hello Time  2  sec  Max Age 20 sec  Forward Delay 15 sec

Interface        Role Sts Cost      Prio.Nbr Type
---------------- ---- --- --------- -------- -------------------------------
Eth1/1           Desg FWD 2000      128.129  P2p
Eth1/3           Desg FWD 2000      128.131  P2p
Eth1/31          Root FWD 2000      128.159  P2p

N5K_2#
```

図 23. Dell S4810 のリンクステータス： RSTP

```
S4810_1_convg_rack#sh spanning-tree rstp  bri
Executing IEEE compatible Spanning Tree Protocol
Root ID    Priority 0, Address 547f.eeab.dbbc
Root Bridge hello time 2, max age 20, forward delay 15
Bridge ID    Priority 61440, Address 0001.e88a.f033
Configured hello time 2, max age 20, forward delay 15
Interface                                   Designated
 Name       PortID   Prio Cost    Sts        Cost        Bridge ID        PortID
---------- -------- ---- ------- ----------- ------- -------------------- --------
Te 0/4      128.134  128  2000    FWD         2000     61440 0001.e88a.f033 128.134
Te 0/46     128.176  128  2000    FWD         2000     0     547f.eeab.dbbc 128.130
Te 0/47     128.177  128  2000    BLK         2000     28672 547f.eeac.13c1 128.129
Interface
 Name       Role   PortID   Prio Cost    Sts        Cost    Link-type Edge
---------- ------ -------- ---- ------- ----------- ------- --------- ----
Te 0/4      Desg   128.134  128  2000    FWD         2000    P2P       No
Te 0/46     Root   128.176  128  2000    FWD         2000    P2P       No
Te 0/47     Altr   128.177  128  2000    BLK         2000    P2P       No
S4810_1_convg_rack#
```

テスト手順：

1. ポート 3 からポート 1 と 2 に送信される、VLAN ID 10 と 20 のタグ付きストリームを 2 つ生成します。
2. S4810_1 スイッチ上の Te0/46 をシャットダウンし、トラフィックの損失とその経過時間を測定します。
3. S4810_1 スイッチ上の Te0/46 を復旧させ、トラフィックの損失とその経過時間を測定します。

すべてのスイッチが同じスパニングツリー領域内に含まれているため、理想的には、トラフィックの中断が無視できる程度に収まると考えられます。

テスト結果： Te0/46 をシャットダウンすると、即座にブロックされていたリンク (Te0/47) がフォワーディング状態に移行します。以下に、このテスト結果を示します。

- **パケット損失率 = 0.015 %**
- **パケット損失時間 = 0.3 秒**

Te0/46 が復旧すると、Te0/47 がブロッキング状態に入ります。以下に、そのときのテスト結果を示します。

- **パケット損失率 = 0.009 %**
- **パケット損失時間 = 0.5 秒**

S4810_1 スイッチは、最初に収束するとき、Te0/47 を「ALTR」 (代替) ポートとして認識します。このポートは、バックアップ (控え) のルートポートであるため、Te0/46 (ルート) ポートが遮断されると、その処理を引き継ぎます。この切り替えが発生するときは、他のスイッチと対話しないため、BPDU は送信されません。したがって、発生する唯一のイベントは、リンク動作ステータス (Te0/46 および Te0/47) 関連と、「Discarding」 (廃棄) から「Forwarding」 (転送) 状態に遷移するときの RSTP タイマーのみです。

この場合、RSTP を使用すると、Discarding → Learning (学習) → Forwarding の遷移がほとんど瞬時に行われます。図 24~~1~~ は、Cisco スイッチをシャットダウンし、その後、復旧させたときのポート状態の遷移を、デバグ機能を使い、S4810_1 上でキャプチャしたものです。

図 24. RSTP を使用する S4810_1 上のポート状態の遷移

```
Shutting down e1/2 on the Cisco N5K_1 (root) port
1w0d1h: %STKUNIT0-M:CP %IFMGR-5-OSTATE_DN: Changed interface state to
down: Te 0/46

1w0d1h : RSTP: astpProcessIfmOperDnMsg: PORT OPER DOWN, port 176
1w0d1h : RSTP: STSM: Port 176: Inst 0: Moved to state DISCARDING
1w0d1h : RSTP: STSM: Port 177: Inst 0: Moved to LEARNING
1w0d1h : RSTP: Topology Change detected on port Te 0/47
1w0d1h : RSTP: STSM: Port 177: Inst 0: Moved to FORWARDING


Restoring e1/2 on the Cisco N5K_1 (root) port
INST 2: Flags: 0x4e, Reg Root: 24576:547f.eeac.13c1, Int Root Cost: 2000
        Brg/Port Prio: 32768/128, Rem Hops: 19
1w0d3h : RSTP: STSM: Port 177: Inst 0: Moved to state DISCARDING
1w0d3h : RSTP: STSM: Port 176: Inst 0: Moved to LEARNING
1w0d3h : RSTP: Topology Change detected on port Te 0/46
1w0d3h : RSTP: STSM: Port 176: Inst 0: Moved to FORWARDING
```

複数のスパニングツリーインスタンス

本テストでは、Cisco スイッチ上に複数のスパニングツリーインスタンスを構成しました。このとき、VLAN 10 はインスタンス 1 に割り当て、N5K_1 スイッチをこのインスタンスのルートスイッチとして構成しています。

また、VLAN 20 はインスタンス 2 に割り当て、N5K_2 スイッチをこのインスタンスのルートスイッチとして構成しています。

本テストでは、Cisco スイッチ上に複数のスパニングツリーインスタンスを構成していますが、結果は、シングルインスタンス時と同等になると予想されます。

図 ~~22~~25 と図 ~~23~~26 は、Cisco スイッチ上の、スパンニングツリーインスタンスを示したものです。

図 25. Cisco MST ポートの状態

```
N5K_1# sh spanning-tree mst 1

##### MST1   vlans mapped:  10
Bridge      address 547f.eeab.dbbc  priority    1    (0 sysid 1)
Root        this switch for MST1

Interface      Role Sts Cost     Prio.Nbr Type
---------------- ---- --- --------- -------- -------------------------------
Eth1/2         Desg FWD 2000     128.130  P2p
Eth1/3         Desg FWD 2000     128.131  P2p
Eth1/31        Desg FWD 2000     128.159  P2p

N5K_1#
```

```
N5K_2# sh spanning-tree mst 1

##### MST1   vlans mapped:  10
Bridge      address 547f.eeac.13c1  priority    28673 (28672 sysid 1)
Root        address 547f.eeab.dbbc  priority    1    (0 sysid 1)
            port   Eth1/31      cost       2000     rem hops 19

Interface      Role Sts Cost     Prio.Nbr Type
---------------- ---- --- --------- -------- -------------------------------
Eth1/1         Desg FWD 2000     128.129  P2p
Eth1/3         Desg FWD 2000     128.131  P2p
Eth1/31        Root FWD 2000     128.159  P2p

N5K_2#
```

図 26. Cisco MST ポートの状態

```
N5K_1# sh spanning-tree mst 2

##### MST2   vlans mapped:  20
Bridge      address 547f.eeab.dbbc  priority    32770 (32768 sysid 2)
Root        address 547f.eeac.13c1  priority    24578 (24576 sysid 2)
            port   Eth1/31      cost       2000     rem hops 19

Interface      Role Sts Cost     Prio.Nbr Type
---------------- ---- --- --------- -------- -------------------------------
Eth1/2         Desg FWD 2000     128.130  P2p
Eth1/3         Desg FWD 2000     128.131  P2p
Eth1/31        Root FWD 2000     128.159  P2p

N5K_1#
```

```
N5K_2# sh spanning-tree mst 2

##### MST2   vlans mapped:  20
Bridge      address 547f.eeac.13c1  priority    24578 (24576 sysid 2)
Root        this switch for MST2

Interface      Role Sts Cost     Prio.Nbr Type
---------------- ---- --- --------- -------- -------------------------------
Eth1/1         Desg FWD 2000     128.129  P2p
Eth1/3         Desg FWD 2000     128.131  P2p
Eth1/31        Desg FWD 2000     128.159  P2p

N5K_2#
```

テスト手順：

1. ポート 3 からポート 1 と 2 に送信される、VLAN ID 10 と 20 のタグ付きストリームを 2 つ生成します。
2. S4810_1 スイッチ上の Te0/46 をシャットダウンし、トラフィックの損失とその経過時間を測定します。
3. S4810_1 スイッチ上の Te0/46 を復旧させ、トラフィックの損失とその経過時間を測定します。

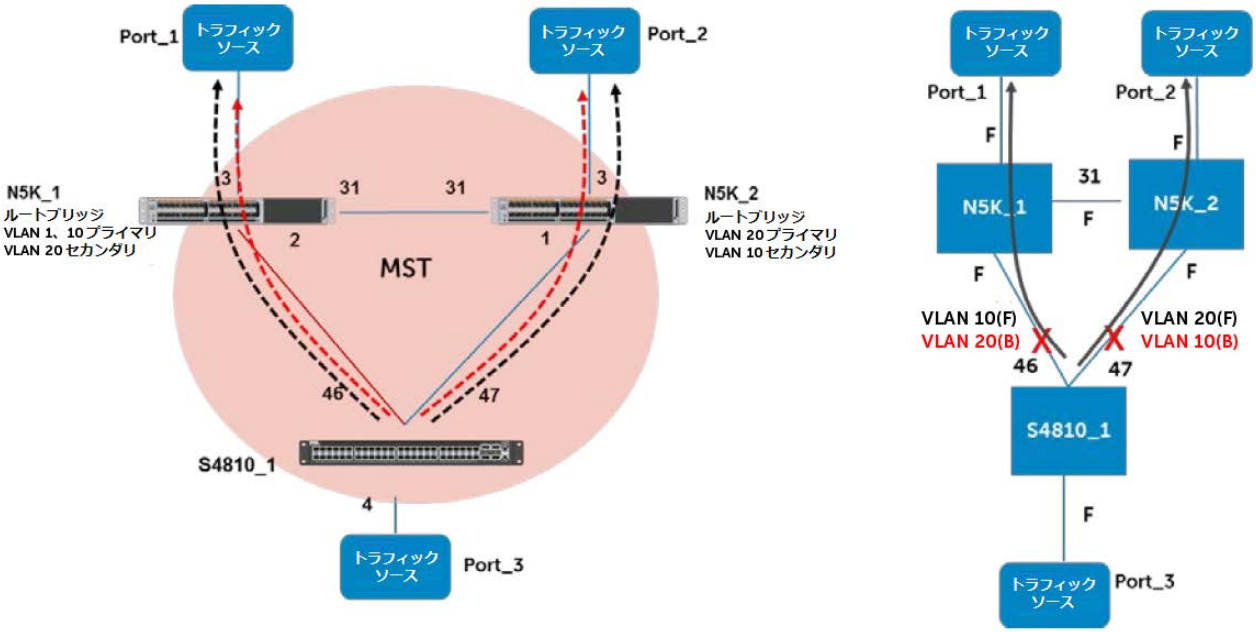
テスト結果： 予想したとおり、結果は、スパニングツリーインスタンスが 1 つしかなかったときと同等でした。MST は RSTP タイマーを利用するので、収束時間が同一になるのも当然の結果と言えます。

テストケース 4： MSTP (Dell S4810) と MST (Cisco 5548UP)

このテストでは、3 台すべてのスイッチを同じスパニングツリー領域内に配置し、2 台の Cisco スイッチを、特定の VLAN のルートとして動作させました。

図 ~~24~~27 は、一般的なスパニングツリーモードを構成した本テスト環境を示しています。このテストでは、全スイッチ上に複数のスパニングツリーインスタンスを作成し、各 VLAN にインスタンスと領域名をそれぞれ対応させました。

図 27. 物理および論理ネットワークトポロジ



テスト手順：

1. MAC アドレス「3」のポート 3 を送信元、ポート 1 と 2 を宛先とする、VLAN ID 10 と 20 のタグ付きストリームを 2 つ生成します。
2. フェールオーバー状況を再現するため、S4810_1 上の Te0/46 をシャットダウンし、トラフィックの中断を調べます。
3. S4810_1 上の Te0/46 ポートを復旧させて、トラフィックの中断がないかチェックし、N5K_1 がルートブリッジに戻っていることを確認します。
4. RS4810_1 スイッチ上の Te0/47 を対象に、ステップ 2～3 を繰り返します。

5. S4810_1 に別の領域名を設定することで、S4810_1 を異なるスパニングツリー領域に配置し、すべてのテストを繰り返します。

テスト結果： 予想通り、ブロックされていた VLAN は、リンク障害直後から転送を開始し、別のスパニングツリーインスタンスが VLAN 単位で作成されました。S4810_1 と各 N5K 間を結ぶリンクに障害が発生したとき、観察されたタイマーの測定値は次のとおりです。

- **パケット損失率 = 0.0～0.004 %**
- **パケット損失時間 = 0.1～0.7 秒 (各リンクのフェールオーバー時)**

まとめ

異種スパニングツリーが混在する環境は推奨しないものの、現在の Dell FTOS が提供するスパニングツリーオプションとデバイス冗長機能から、安定した性能と高い相互運用能力が得られることは、知っておくべき有用な情報です。

今回のテスト結果 (表 1) から、デルのスパニングツリー機能には高い統合力があり、特定の構成を通して、既存環境に隔てなく統合できることが確認されました。これらの情報は、ネットワーク移行前に理解を明確にする際、役立ちます。

一連のテスト結果を踏まえ、最も効率的な導入環境とするには、双方でスパニングツリー機能の特性やモードを揃えるよう推奨します。

表 1. スパニングツリートラフィックの収束結果

Dell FTOS	Cisco (NX_OS)	
	vPC (RPVST+)	**vPC (MST)**
VLT (RSTP)	パケット損失率 = 0.0 % パケット損失時間 = 0.02 秒 **強み：** 両方の論理ドメイン間を、ポートチャネルリンクで相互接続するため、最も効率的かつシンプルな導入となります。 **弱み：** シンプルな導入モデルを実現するには、両方のスイッチにデバイス冗長テクノロジーが必要です。	パケット損失率 = 0.001 % パケット損失時間 = 0.006 秒 **強み：** MST は収束時に RSTP のタイマーを利用する仕組みとなっているため、両方のスパニングツリーバージョンを 100% 相互運用できます。 **弱み：** リンク数の増加に伴い、レイヤ 2 ドメインの規模が大きくなると、収束タイマーが予測不能になってきます。
	vPC なし (RPVST+)	**vPC なし (MST)**
VLT なし (RSTP)	パケット損失率 = 40～50 % パケット損失時間 = 29～30 秒 **強み：** 無し。ベンダの固有機能という RPVST+ 実装の性質上、RPVST+ と RSTP の間には、相互運用性という課題そのものが存在しません。	パケット損失率 = 0.009 % パケット損失時間 = 0.5 秒 **強み：** vPC も VLT も構成しない、という点を除けば、上記と同じ強みがあります。

Dell FTOS	Cisco (NX_OS)	
	vPC なし (RPVST+)	**vPC なし (MST)**
VLT なし (MST)	該当シナリオなし	パケット損失率 = 0.004 % パケット損失時間 = 0.7 秒 **強み：** 双方で同じモードのため、100% の相互運用性を提供します。スパニングツリーイベントの発生時は、RSTP タイマーが使用されます。 **弱み：** スパニングツリーのインスタンス数に上限があるため、レイヤ 2 ドメインのサイズも制限されます。
VLT なし (PVST+)	パケット損失率 = 0.0 % パケット損失時間 = 0.1 秒 **強み：** RPVST+ と PVST+ の使用時は、VLAN の負荷分散が可能になります。両方のスパニングツリーモードが同じ収束タイマーを使用するので、リンク障害時から収束するまでの時間は高速です。	該当シナリオなし

付録： スイッチの構成

Cisco 5548UP： vPC 構成時の RPVST+

Cisco 5548UP は、デフォルトで RPVST+ を稼働するため、下記のコンフィギュレーション表示 (`show running-config` コマンド) 結果に、RPVST+ は含まれません。

```
Cisco_N5K_1# sh run

!Command: show running-config
!Time: Tue Jul  2 17:33:38 2013

version 5.1(3)N2(1)
hostname Cisco_N5K_1

feature telnet
no feature http-server
cfs eth distribute
feature lacp
feature vpc
feature lldp
!
vrf context management
  ip route 0.0.0.0/0 10.11.131.254
vlan 1,10,20
vpc domain 1
  role priority 1
  peer-keepalive destination 10.11.129.56

interface port-channel1
  description vpc_peer_channel
  switchport mode trunk
  spanning-tree port type network
  speed 10000
  vpc peer-link

interface port-channel100
  switchport mode trunk
  vpc 10

interface port-channel110
  switchport mode trunk
  speed 10000
  vpc 20
!
interface Ethernet1/1
  description link_2_S4810_1
  switchport mode trunk
  channel-group 110 mode active

interface Ethernet1/2
  description link_2_S4810_2
  switchport mode trunk
  channel-group 100 mode active

interface Ethernet1/3
  switchport mode trunk

interface Ethernet1/4
!
interface Ethernet1/31
  description Links_between_N5Ks
  switchport mode trunk
  channel-group 1 mode active

interface Ethernet1/32
  description Links_between_N5Ks
  switchport mode trunk
  channel-group 1 mode active

interface mgmt0
  ip address 10.11.129.55/22
line console
line vty
boot kickstart bootflash:/n5000-uk9-kickstart.5.1.3.N2.1.bin
boot system bootflash:/n5000-uk9.5.1.3.N2.1.bin
mac address-table aging-time 1000000


Cisco_N5K_1#
```

Dell S4810： VLT 構成時の RSTP

```
sh run
Current Configuration ...
! Version 9-1(0-0)
! Last configuration change at Tue Jun 11 23:27:20 2013 by
admin
protocol spanning-tree rstp
 no disable
 bridge-priority 61440
!
protocol spanning-tree rstp
 no disable
!
vlt domain 1
 peer-link port-channel 1
 primary-priority 1
!
stack-unit 0 provision S4810
!
interface TenGigabitEthernet 0/0
 description vlt_link_members
 no ip address
 flowcontrol rx on tx off
 no shutdown
!
interface TenGigabitEthernet 0/1
 description vlt_link_members
 no ip address
 flowcontrol rx on tx off
 no shutdown
!
interface TenGigabitEthernet 0/46
 description channel_member_2_Cisco
 no ip address
 flowcontrol rx on tx off
!
 port-channel-protocol LACP
  port-channel 100 mode active
 no shutdown
!
interface TenGigabitEthernet 0/47
 description channel_member_2_Cisco
 no ip address
 flowcontrol rx on tx off
!
 port-channel-protocol LACP
  port-channel 100 mode active
 no shutdown
!
interface ManagementEthernet 0/0
 ip address 10.11.129.20/22
 no shutdown
!
interface Port-channel 1
 description vlt_peer_LAG
 no ip address
 channel-member TenGigabitEthernet 0/0-1
 no shutdown
!
interface Port-channel 100
 no ip address
 switchport
 no shutdown
!
interface Port-channel 120
 no ip address
 switchport
 vlt-peer-lag port-channel 120
 no shutdown
!
interface Vlan 1
!untagged Port-channel 1,100,120
management route 0.0.0.0/0 10.11.131.254
!
protocol lldp
 advertise management-tlv system-description system-name
!
end
S4810_1_convg_rack#
```