

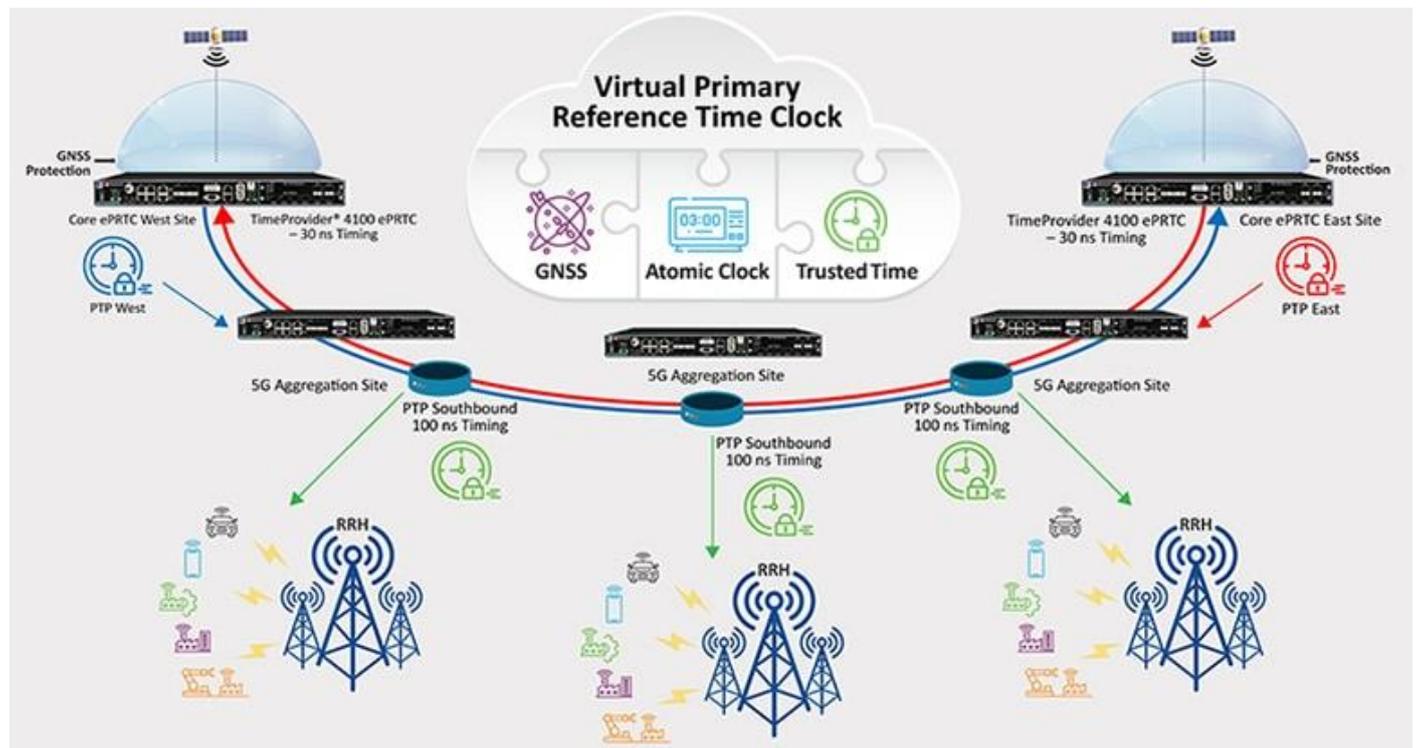
vPRTC(仮想プライマリ リファレンス タイムクロック)実装の 5 つのベストプラクティス

vPRTC アーキテクチャを使ってレジリエンスのあるタイミングネットワークを補助/作成する方法のヒント

([Barry Dropping](#), [Huda Farooqi](#), [Simon Butcher](#))

vPRTC: 現代のインフラストラクチャのタイミングを保護

vPRTC(仮想プライマリ リファレンス タイムクロック)は 5G、輸送、データセンター、電力会社等の現代のクリティカルなインフラストラクチャの拡大するニーズに対応するために開発された、非常にセキュアでレジリエンスの高いネットワーク ベースのタイミング アーキテクチャです。



以下に、複数の業界において vPRTC タイミング アーキテクチャを累積数百万時間運用して得られた 5 つの重要なベスト プラクティスをまとめます。

ベストプラクティス	概要
1. コア ePRTC(拡張 PRTC)タイミングハブ サイトを確立する	vPRTC システムでは最大 15 ホップのチェーンが可能です(各ホップは約 150 km)。したがって、ePRTC サイト間の距離を 2,000 km 以上離す事ができます。ePRTC サイト間の距離が長いほど、両方のサイトで妨害となりますが同時に発生する可能性は低くなります。
2. ePRTC サイトに BlueSky™ GNSS ファイアウォールを導入する	異常の検出と保護のために BlueSky™ GNSS ファイアウォールを導入します。非常に大規模なネットワークであっても GNSS を使っているサイトの数は少ないため、GNSS ファイアウォールの導入は大規模なネットワークを保護する事になります。
3. vPRTC ネットワークを冗長化して設計する	各 TimeProvider® 4100 高性能バウンダリ クロックがトレース可能な 2 つの高精度 UTC(協定世界時)タイミング フィードを受信するように vPRTC ネットワークを設計します。
4. vPRTC ノード間のパス選択を最適化する	vPRTC ノード間で最善かつ適切なファイバパスを使い、East 方向および West 方向からのタイミングを冗長化して供給し、全てのエンド アプリケーション タイミングノードへの保護された South 方向 PTP 配信を確立します。

5. vPRTC のサービス アシユアランスを監視する	各 vPRTC ノードのタイミング精度の整合性を検証するため、TimePictra®管理ツールでエンドツーエンドの vPRTC サービスを保証します。
-----------------------------	---

このレジリエンスが高いアーキテクチャは、ファイバベースの地上タイミング分配ネットワークの中核にある ePRTC(拡張プライマリ リファレンス タイムクロック) エリアのタイミングハブ サイトに自律的なタイムスケールグレードの原子時計を配置する事で、GNSS(全球測位衛星システム)等の衛星ベースのタイミングソースへの依存度を軽減します。セキュアなコアタイミング サイトとファイバ配信はネットワーク事業者が 100%コントロールでき、衛星ベースのタイミング ソリューションで潜在的に存在する妨害またはなりすましサイバー攻撃の影響を回避できます。

ベストプラクティス 1: レジリエンスのある ePRTC エリア タイミングハブ サイトを構築する

ePRTC はあらゆるクリティカル インフラストラクチャ ネットワークに対して 2 つのきわめて重要な働きをします。1 つ目は、ネットワークに 30 ns 未満の UTC 基準を 5.7×10^{-14} 以内の安定した周波数で提供する事です。2 つ目は、GNSS が失われた時に有効なホールドオーバ ソースを提供する事です。ネットワークを計画する際はエラーバジェットの計算に 30 ns を使う必要がありますが、TimeProvider® 4100 ePRTC ユニットの実際の性能はこれよりはるかに優れているため、導入時にネットワークの誤差マージンを大きく取る事ができます。

ePRTC の構成要素	説明
校正済み GNSS アンテナの設置	GNSS アンテナでは、ケーブル長と避雷器、アンプ、スプリッタ等の要素による伝播遅延が正確に校正されている事が重要です。詳細な手順は TimeProvider 4100 システムのユーザガイドを参照してください。
BlueSky GNSS ファイアウォール	GNSS のなりすましと妨害を検出するために ePRTC インストール時の推奨されるオプション。
TimeProvider 4100 PTP グランドマスタサーバ	2 つのセシウムクロックを実装すると、2 つのメリットがあります。1 つは ePRTC システムの出力性能を保護する事です。2 つ目は、2 つのセシウムクロックにより ePRTC の性能とホールドオーバ能力が向上する事です。
5071B セシウム周波数標準器	周波数と安定性の基準を提供します。確立するクリティカル インフラストラクチャに予備を持つため、各 ePRTC サイトに 2 つのセシウムクロックを設ける事を推奨します。
TimePictra®ソフトウェア	エンドツーエンドのネットワーク可視化により同期性能を確認できます。これにはエリアタイミングハブの ePRTC システム、サブテンディング アグリゲーション、エッジノードが含まれます。

ベストプラクティス 2: BlueSky™ GNSS ファイアウォールの異常検出および保護

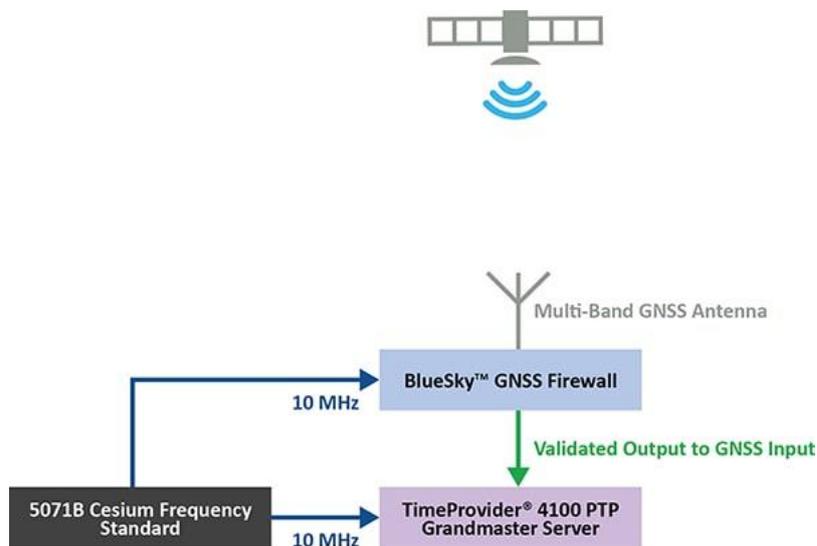
ePRTC サイトでは UTC トレース可能なタイミングと GNSS をタイミング基準として校正された時刻を使います。ただし、これらの時刻は校正済みのセシウム周波数標準器から自律的な動作となります。GNSS のなりすましまたは妨害攻撃等の脅威は先進のファイアウォール技術を使って継続的に監視されており、衛星からの有効な信号のみが中央クロックに渡されます。中央クロックシステムでは、業界で実証済みのセシウム原子周波数標準器を採用して UTC にトレース可能な 30 ns の保証精度を確立しています。GNSS が有効ではない事が検出された時点から、vPRTC ソースは最低 14 日間、100 ns のトレーサビリティを維持します。GNSS の異常検出および保護のために BlueSky GNSS ファイアウォールを導入するには 2 つの方法があります。

方法 1: BlueSky GNSS ファイアウォールをアンテナと TimeProvider 4100 システムの間に直列に導入します。

- GNSS アンテナを BlueSky GNSS ファイアウォールに接続します。
- BlueSky GNSS ファイアウォールからの有効な出力を TimeProvider 4100 ePRTC システムの GNSS 入力に接続します。
- BlueSky GNSS ファイアウォールの異常検出しきい値を設定します。
- しきい値を超える異常が検出された場合、ファイアウォールはアラームを生成して有効化された出力を無効にし、ePRTC システムが即座にホールドオーバー保護に入るようにします。

方法 2: BlueSky GNSS ファイアウォールを独立した監視システムとして導入します。

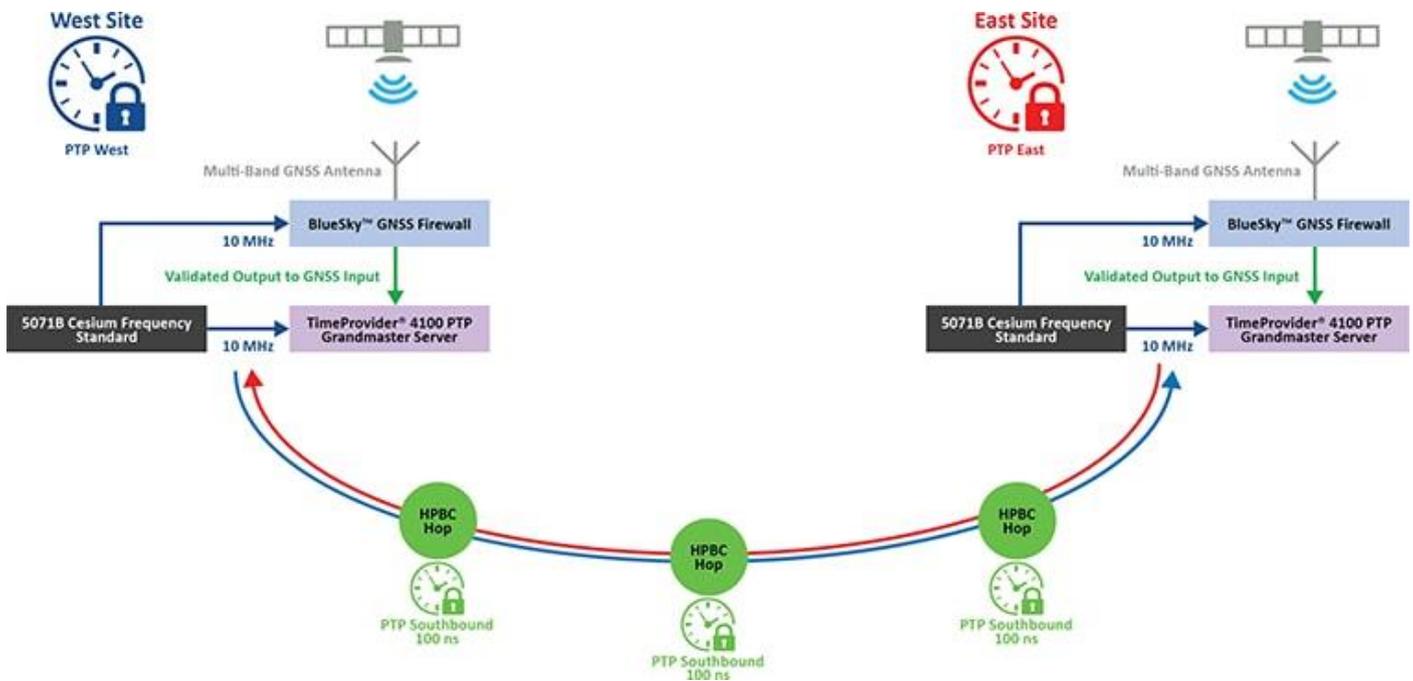
- BlueSky GNSS ファイアウォールを独立した GNSS アンテナまたはメイン アンテナライン上のスプリッタに接続します。
- BlueSky GNSS ファイアウォールの異常検出しきい値を設定します。
- しきい値を超える異常が検出された場合、ファイアウォールはアラームを生成してシステム運用センターに通知し、分析と必要な対策が取れるようにします。



ベストプラクティス 3: 各 vPRTC ノードで TimeProvider 4100 の HPBC(高性能バウンダリ クロック)を設定する

TimeProvider 4100 システムは、タイミングをきわめて高い精度で転送可能な高度なネットワーク クロック エLEMENTであり、ePRTC、PRTC-A、PRTC-B、ゲートウェイ クロック、光レイヤ用に設計された HPBC の各種動作モードで設定できます。HPBC モードでは、ITU-T G.8273.2 クラス D 仕様を満たすか上回り、HPBC ホップごとのエラーバジェット(typ.)は 2 ns です。

従来のバウンダリ クロックと vPRTC HPBC を比較すると、従来のバウンダリ クロックは単方向で、クロックドメインは 1 つで、基本的なデジタ機能があります。シングル入力用に設計されており、複数の基準間で計測する機能はありません。一方、HPBC クロック エLEMENTは複数の PTP 入力クライアントを持ち、各ポートに 2 つのクロックドメインを持ちます。完全な双方向機能により、システムは複数の方向(「East Site」と「West Site」)から同時に PTP 入力を受け付けます。HPBC は入力されたクロックを監視し、最も安定している高品質な入力を選択できます。また、HPBC は必要に応じて PTP 入力間的高速スイッチオーバーを可能にするグローバルな BMCA (Best Master Clock Algorithm)機能を実行します。図 4 に「West Site」、「East Site」、HPBC ホップ構成を示します。表 3 では、各 vPRTC ノードにおける TimeProvider 4100 HPBC の構成に寄与する要素を説明します。



TimePictra 同期管理システムは簡潔な監視画面を提供し、アラーム条件が発生すると即座に検出してオペレータに通知します。カスタマイズ可能な監視ダッシュボード画面に、アラーム ステータスと HPBC チェーンの視覚的な割り当てと、East と West の全リンクのロックおよび性能ステータスの状態が表示されます。

ベストプラクティス 4: 冗長なファイバ インターコネクト ネットワークの考慮事項

vPRTC アーキテクチャの光転送ネットワークは 2 つのセクションに分かれています。

1. ePRTC エリアタイミング ハブサイトと TimeProvider 4100 HPBC クロックの East から West へのチェーン間を接続するコアファイバ インターコネクト。
2. 個別の TimeProvider HPBC クロックから事業者ネットワーク内のエンド PTP クライアント クロックまでの South 方向 PTP 配信ネットワーク。

vPRTC ネットワークで専用のタイミングパスを使うと多くの利点があります。タイミングパスは 1 ナノ秒レベルの決定論的タイミング性能を実現できるだけでなく、トラフィックとタイミング ネットワークが完全に分離されます。この分離により、ファームウェア、ラインカード、既存または新規ベンダーからの新しい機器の追加等の計画内/計画外を更新または変更しても、タイミング ネットワークに影響が及ぶ事がなくなります。

シングルパス設計によるレジリエンスのある vPRTC の East/West ネットワーク用のファイバ インターコネクトは以下の 3 つの選択肢で構成されます。

1. OTC(光タイミング チャンネル)を使った DWDM
 - a. OTC は多くの場合、長距離に対応可能な Fast Ethernet 速度の SFP を使います。Fast Ethernet タイミング チャンネルでは WhiteRabbit 等のプロトコルの使用が禁止されている事を考慮する必要があります。これは vPRTC が広域でのタイミング用に広く導入されている理由です。
 - b. OTC は通常、外部フィルタを使います。この場合、使われる 2 つの Lambda が互いに非常に近く、ほとんどの場合、静的非対称性がほぼ 0 になります。
2. 双方向 SFP を持つ 1 本のファイバ
 - a. 中距離(約 100 km)によく使われます。

- b. 双方向 SFP は 1 本のファイバを使うと有利です。コストを削減でき、ファイバペアの不一致による問題も発生しません。
 - c. 1 つの欠点は色分散によるオフセットを正しく計算するためにファイバの長さを知る必要がある事です。
3. ファイバペア(最も一般的でない)
- a. ファイバペアを使うと問題が発生する可能性があります。ペアの長さが一致していない場合、大きな不一致が存在するとオフセットが発生します。

ベストプラクティス 5: TimePictra によるエンドツーエンド vPRTC サービス アシユアランス

vPRTC アーキテクチャにはネットワーク内で決定論的で正確なタイミングを提供するために欠かせない独自の特長が複数あります。

その特長を以下に挙げます。

- ノード間で PTP を使う事で、任意のパスを適切な速度で利用できます。
- ノード間で PTP を使う事で、East/West タイミング方向間の完全な独立性を保ちながら「East と West」のタイミング ソリューションを同一パス上で使う事ができます。
- 同期チェーンに沿った全ノードにおける East と West のタイミング方向の比較計測。
- vPRTC ネットワークは正確な時間を提供するだけでなく、自己監視および自己診断も可能です。

これらの機能を合わせて、TimePictra はお客様のネットワーク内の全てのタイミング チェーンを監視して各 HPBC が両方の ePRTC ノードに一致している事を確認できます。

vPRTC チェーンが確立されると、TimePictra の計測結果に以下の 3 つの要素が表示されます。

- vPRTC タイミング チェーンの両端の UTC ソース間の差。
- vPRTC チェーンに沿って存在する静的非対称性。
- 静的非対称性の急激な変化は、ファイバまたは構成に変更があった事を示します。

vPRTC(仮想プライマリ リファレンス タイムクロック)は、現代の重要なインフラストラクチャの拡大するニーズに対応するために開発された、高度なセキュリティで保護されたネットワーク ベースのタイミング アーキテクチャの新しいコンセプトです。比類のない安定性、セキュリティ、信頼性を備えた超高精度のタイミング サービスを提供する vPRTC ネットワークを構築する事を可能にする Microchip 社のソリューションの詳細については、正規代理店にお問い合わせください。

詳細は [vPRTC](#) をご覧ください。