

スマート・グリッドのためのよりスマートな通信ネットワーク

イーサネット・ベースの packets・オプティカル・ネットワークによるスマート・グリッドの変革の推進

はじめに

電気公益事業者様がスマート・グリッドの取り組みを強化するにつれ、基盤となる通信ネットワークもしかるべく進化させる必要が生じています。公益事業者様がビジネス目標を達成し、スマート・グリッド・アプリケーションを安全かつ確実に稼働するには、帯域の将来的な増大に対応する柔軟なネットワークが不可欠です。しかし、現在のほとんどの公益事業者様のネットワークは進取性に富むとは言い難いため、次世代のネットワークソリューションを大規模に導入しようとする、複雑になり、費用が大幅にかさむ場合があります。

スマート・グリッドは、次のような高度なネットワークを必要とします。

- グリッドの運用と管理に極めて重要となる音声サービスとデータ・サービスを提供できる。
- パフォーマンス、帯域、セキュリティ、統合、レガシー・アプリケーションの対応といったますます厳しくなる要件に対応できる。

→ スマート・グリッドのすべてのエレメントの柔軟性、信頼性、セキュリティ、効率性を強化できる。

→ グリッド運用のモニタリング、自動化、最適化を実現する。

SONET/SDH技術を基盤とする現在の公益事業者様のネットワークは、維持が大変であり、高額なコストがかかります。そのため、スマート・グリッドの長期的なニーズに対応することができません。さらに、多くの公益事業者様の環境では、レガシー装置に対応する要件や、ITと運用の特殊な要件に対応する目的で構築された専用のオーバーレイ・ネットワークが複数存在しているので、これらのネットワークを置き換える必要もあります。

スマート・グリッドへ移行する場合、このようなレガシー・ネットワークに投資を続けることは現実的ではありません。それよりも、公益事業者様とその顧客がスマート・グリッドのメリットを完全に活かすことができる、図1に示すような次世代の通信ネットワークのオプションを検討する方が賢明です。

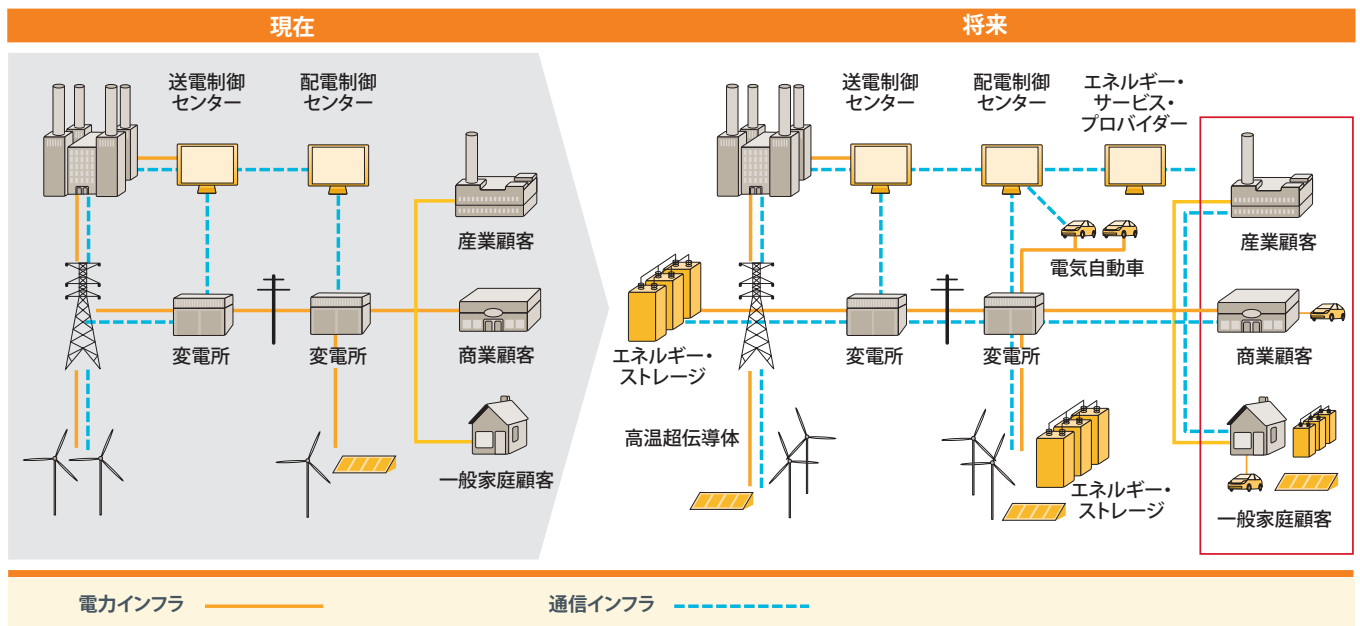


図1. スマート・グリッドでは、ネットワークが公益事業者様のグリッド内とITインフラ内のあらゆるレベルのシステム間および外部の顧客との通信を実現

重要なスマート・グリッド通信のサポート

スマート・グリッドに最適化されている通信ネットワークは、次のような機能をサポートできます。

- 顧客のメーターから制御センターへデータを集約および伝送して、リアルタイムまたはほぼリアルタイムで検診プログラムと検針データ管理プログラムを実行できる。
- グリッド制御システムおよび最適化システムで使用される自動化装置とインテリジェント電子機器 (IED) を接続できる。
- 遅延が許されない極めて重要な変電所のデータをモニタリング・プログラムと診断プログラムに送信して、グリッドの信頼性を高められる。

通信ネットワーク・アーキテクチャの選択肢

通常、レガシー・ネットワークをアップグレードする場合の選択肢としては、IP/MPLSネットワークがデファクト・スタンダードとなっていますが、次世代ネットワークを設計するための別の選択肢があることを多くの公益事業者様はご存知ありません。多くの場合、そのように考える前提となっているのは、他の企業ネットワークがIPベースであるので、マルチプロトコル・ラベル・スイッチング (MPLS) サービスを用いたベスト・エフォートのルーター・ベースのネットワークを構築するのが唯一の選択肢になるという認識です。

今、世界中の極めて重要なネットワークを運用する事業者様の多くが、確実性の高いパケット・オプティカル技術へと移行しています。とはいえ、公益事業者様のIT部門が、パケット・オプティカル技術の検討をためらう場合もあるようです。それは、ルーテッド・ネットワークとの比較から、パケット・オプティカル技術の設計と機能に2つの誤解が生じているためです。

1つ目の誤解は、すべてのネットワーク・サービスがIPに移行するのだから、すべてのトラフィックをルーティングするのが最善の方法であるというものです。公益事業者様のネットワークには、IPトラフィックだけが流れているわけではありません。複数の種類のトラフィックを扱うのであれば、通常はパケット・オプティカル・スイッチングの方が効率的です。一方、サービス・レイヤーでは、IPアドレッシングを行う場合があります。不要なIPルーティングによってパケット・トランスポート・レイヤーに負荷をかけなければならない理由はどこにもありません。

また、IP自体はコネクションレス型の技術であるため、トラフィック・エンジニアリングの重要なタスクを正確に処理することは無理であり、IPにとってはそのようなタスクは大きな負担となります。IPトラフィック・エンジニアリング向けのツールを用いてこのタスクを簡素化することはできますが、この処理はネットワーク運用に不要な複雑さをもたらします。

結局、ルーティングが有力な選択肢ということになるのですが、ネットワークのすべての場所にルーターを導入すると、無駄なコストと複雑さを抱え込む可能性があります。例えば、新しいルーターが導入される度に1台ずつ手動でルーターを設定する手間は、運用コストのリニアな上昇につながります。それよりも、信頼性と確実性が極めて高い、下位のトランスポート・レイヤーでデータ・トラフィックをスイッチングした方が、よりシンプルでコストも低く抑えられます。

2つ目の誤解は、IPルーティングにすれば、下位のネットワーク・レイヤー (L0、L1、L2) が不要になるので、ネットワーク・アーキテクチャ全体が簡素化され、コストが削減されるというものです。むしろ、下位レイヤーは、特定の公益事業アプリケーションが生成するルーティング処理が不要なトラフィックを伝送するのに加え、ネットワークの効率と可用性を向上させます。

パケット・オプティカル・スイッチングの究極の目的は、ビット当たりのコストをルーテッド・ネットワークと比べてより低く抑えながら、ネットワークのスケラビリティと耐障害性を向上させることです。

パケット・オプティカル・ネットワーク: 仕組み

パケット・オプティカル・ネットワーク・アーキテクチャは、レイヤー0の高密度波長分割多重方式 (DWDM) を使用して、機動性の高い光レイヤーを、レイヤー1のオプティカル・トランスポート・ネットワーク (OTN) レイヤーとレイヤー2のキャリア・イーサネット・パケット・レイヤーと統合します。このアーキテクチャにより、最も費用効果の高いネットワーク・レイヤーを使用して、アプリケーションのトラフィックを波長、タイムスロット、またはパケットとして伝送できるようになります。

最も基本的なパケット・オプティカル・スイッチングでは、すべてのトランスポート・エレメントをレイヤー0~2.5で動作する単一のプラットフォームに統合します。それに比べて、IPルーターはレイヤー3のみで動作します。すべてのトラフィックがIPルーティング処理を必要とするわけではないので、図2に示すように、多くのネットワーク・サービスが下位レイヤーでのスイッチングによってメリットを享受できます。

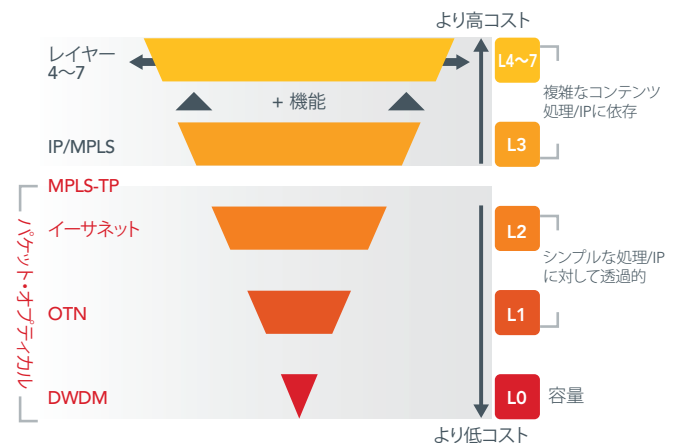


図2. レイヤー0~2.5で動作するパケット・オプティカル技術が費用効果の高い方法で様々な種類のネットワーク・トラフィックを処理

これらの下位レイヤーから得られるもう1つのメリットは、コネクションレスのIPトランスポートではなく、コネクション型のパケット・トランスポートを提供できることです。コネクション型のトランスポートは、波長、OTN接続、またはイーサネットのいずれのトンネルを使用するのであれば、帯域幅の割り当て、ネットワークを通るパス、エンドツーエンドの測定について、より高い確実性を発揮します。この設計は、特にトラフィック・エンジニアリング、保守、トラブルシューティングに関して、はるかにシンプルで、より予測可能なパケット・トランスポート運用を可能にします。

下位レイヤーを使用することで、様々な運用シナリオに合わせてネットワーク・ソリューションをカスタマイズできるようになります。例えば、図3に示すように、レイヤー同士を分離したまま、純粋なレイヤー2のキャリア・イーサネットの変電所リングを展

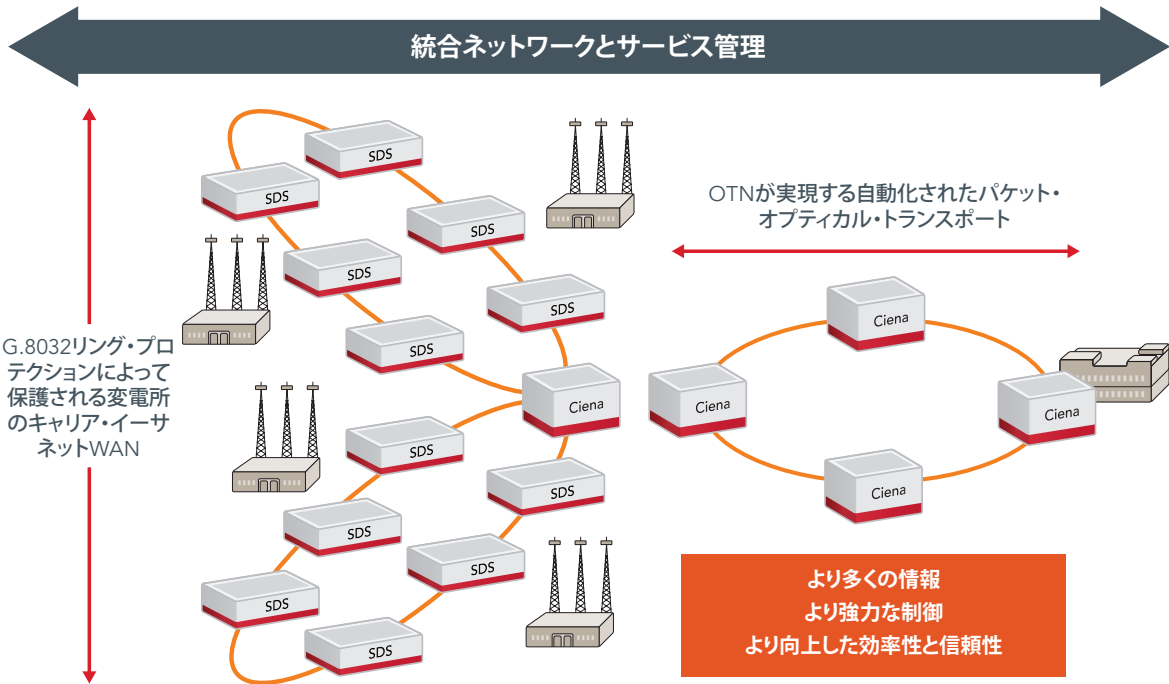


図3. キャリア・イーサネットに基づく変電所のアグリゲーション・ネットワークが、OTNが実現するコア・パケット・トランスポート・ネットワークと相互接続するアーキテクチャ

開するシナリオなどが考えられます。このシナリオでは、変電所のイーサネット・トラフィックと、ファイバー・チャンネル・ストレージ・データなどの公益事業者様のデータセンター間を流れる別のプロトコルの両方を伝送する統合パケット・オプティカル・コア・ネットワークも使用します。

また、統合パケット・オプティカル・ネットワークを変電所まで拡張して、レガシーの時分割多重方式 (TDM) 回線と共に、IPとイーサネットの packets・トラフィックを伝送するという別のシナリオもあります。いずれの例でも、パケット・オプティカル技術を組み合わせるアプローチにより、変電所ネットワークとコア・ネットワークの最も効率性と費用効果の高いレイヤーを使用して、トラフィックを集約、スイッチングするようにネットワークを設計できます。

OTNによって実現されるプログラム可能な光帯域について

OTNは、コストが高く、制約があるSONET/SDHトランスポート・ネットワークを置き換えられる、この上なく汎用性の高いオプティカル・トランスポート技術です。レイヤー1技術であるOTNは、オプティカル・トランスポート・システム上で複数のサービスを効率的かつ確実に、費用効果の高い方法で処理できます。OTNは、プログラム可能な帯域の機能により、トラフィック・ニーズの変化がネットワークに及ぼす影響を食い止めることができます。

OTNは、WDMレイヤーにおいて、プログラム可能な帯域に関する3つの重要な機能を提供します。つまり、あらゆるプロトコルを搬送できるコンテナを備え、効率的な波長の共有を可能にして、ネットワーク全体にわたってトラフィックのスイッチングとグルーミングを実現します。これらの機能が連携することで、複数の種類のトラフィックの形式、サイズ、ルーティングという観点から、WDMレイヤーの帯域がよりプログラム可能なものになります。

SONET/SDH、OTNの両方が、プロトコルをトラフィック・コンテナにマッピングします。SONET/SDHネットワークでは、これ

らのコンテナはすべて同じサイズです。ただし、コンテナが必ずしもデータで一杯になるわけではないので、トランスポート・システムの効率は落ちます。

OTNでは、図4に示すように、コンテナはあらゆる組み合わせのすべてのデータ・プロトコルを搬送でき、特定のトラフィックとトランスポートの要件に合わせてコンテナのサイズを調整できます。OTNのこのプログラマビリティは、ネットワーク全体の効率性につながります。つまり、公益事業者様のネットワークがデータの増大に対応してスケールしたときに、OTNは極めて広い帯域を提供することができます。

また、OTNは、同じファイバー・ネットワークで極めて重要なグリッド運用トラフィックと企業/ITのトラフィックが伝送されるときに、これらのトラフィックを安全かつ簡単に分離することができます。

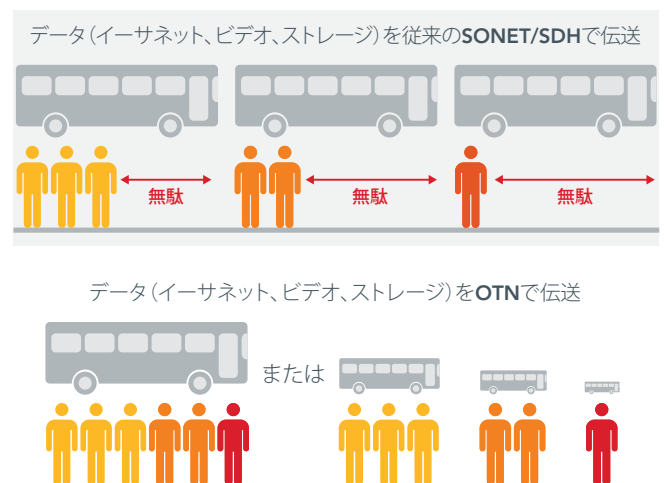


図4. OTNのプログラマビリティによりネットワーク帯域の有効利用が大幅に向上

キャリア・イーサネットについて

キャリア・イーサネットは、パケット・オプティカル・ネットワークのレイヤー2通信技術です。ユビキタス性、並外れたコストの低廉性、シンプルさ、迅速さ、信頼性といった従来のLANイーサネットが備えるすべての利点を要求の厳しいWANで実現します。また、公益事業者様の従来のネットワーク・ソリューションに匹敵する信頼性、管理性、予測可能性を提供します。

キャリア・イーサネットは、標準化されたサービス、スケーラビリティ、信頼性、サービス品質（QoS）、およびサービス管理という5つの重要な技術特性によって特徴づけられ、LANイーサネットとは明確に区別されます。これらの特性は、LANでのイーサネットの役割を受け継いでいますが、キャリア・イーサネットは、WANでの導入に耐えられるように拡張されています。また、イーサネットが企業LANのIPと連携するのと同様に、キャリア・イーサネットはWANのIPと連携します。

キャリア・イーサネットは、IPアプリケーションや新しいイーサネット・ベースのIEDをサポートするので、配電ネットワークや変電所ネットワークのTDMを費用効果の高い方法で発展させた代替技術となります。また、レイヤー3に付随するセキュリティとレイテンシーの懸念も解消します。

このような理由から、公益事業者様は、重要なIT機能と運用機能に対するセキュリティと制御を確保すると同時に、コスト抑制とビジネス・プロセスの効果的なスケールアップを確保できるキャリア・イーサネットに強い関心を寄せています。

パケット・オプティカル・ネットワークの利点

パケット技術と光技術が融合することで、2つの重要な利点を実現します。1つ目は、IP、イーサネット、レガシーTDMベースの各データが、同じ光WDMネットワーク上に共存できるという利点です。2つ目は、パケット・オプティカル技術がもたらすパケット・アグリゲーション、QoS、帯域の有効利用などの特性により、ネットワーク効率が向上するという利点です。

パケット・オプティカル技術は、慣れ親しんだ運用と管理、確実性の高いパフォーマンス、耐障害性、高可用性、低遅延などのレガシーのトランスポート・サービスが備える複数の利点を備えています。これらの利点は、低コスト、複数サービスのサポート、帯域の効率性と柔軟性、QoSの割り当てなど、パケット技術の重要な効率性の特性によってさらに強化されます。

パケット・オプティカル技術は、投資を無駄にすることなく、あらゆる組み合わせのトラフィックを効率的にサポートできるので、レガシーのSONET/SDHネットワークから次世代のOTN/キャリア・イーサネット・ネットワークへの移行において橋渡しの役割を果たします。公益事業者様は、時間の経過と共に、トラフィック・ミックスを変化させていくことができます。レガシー回線の使用を止めて、イーサネット・ベースのサービスの利用を増やすだけで、これが実現します。

パケット・オプティカル・ネットワークが備えるこれらのすべての利点に加え、キャリア・イーサネット技術は、公益事業者様のスマート・グリッド通信に次のようないくつかの重要な利点をもたらします。

→ **シンプルさ:** キャリア・イーサネットは、自動化されたプロビジョニングとリモートからのターンアップ・テストと検証を使用することで簡単に導入できます。障害をリモートから検出して分離し、より容易に変更できるので、公益事業者様のネットワーク運用チームのネットワークの管理と保守の負担が軽減されます。

→ **コストの削減:** キャリア・イーサネットにより、すべての通信サービスを共通のネットワーク・インフラ上に統合できるので、運用が大幅に簡素化されて、コストを抑制できます。

→ **ネットワーク・セキュリティと制御の向上:** キャリア・イーサネットはルーティング可能なプロトコルではないので、アドレス・スヌーピングの懸念がなく、本質的にセキュリティの高いレイヤーを構築できます。イーサネット・ベースのデータ・カプセル化を使用することで、公益事業者様は、トラフィックを適切な宛先に確実に送信できます。

→ **柔軟でスケーラブルな帯域:** 帯域の追加単位が固定されているTDM技術とは異なり、イーサネットは、サイトごとの容量の要件に合わせて動的に調整できる極めて粒度の細かいスケーラビリティを備えています。

→ **高度な運用・管理・保守(OAM)ツール:** キャリア・イーサネットは、ネットワークの高度なモニタリングと管理の機能を提供する、標準ベースの圧倒的に充実したOAMツールをサポートします。これらのツールは、ネットワーク接続の状態とパフォーマンスに対する大幅に向上した可視性を公益事業者様に提供します。

→ **低遅延:** 変電所とグリッドの自動化アプリケーションは、ミリ秒単位の絶大な低遅延を必要とします。このような遅延が許されない特性により、IPベースのMPLSネットワークでは、大きな問題が生じます。ジッター、輻輳、パケット廃棄、再送などが生じる可能性があるからです。これとは対照的に、キャリア・イーサネット接続は、この上ない確実性を備えるように設計できます。その低遅延の特性により、キャリア・イーサネットは、遠隔保護といった極めて重要なアプリケーションで使用される時間要求の厳しいプロトコルについても、有効な選択肢となります。

→ **確実性の高いトラフィック・フロー:** キャリア・イーサネットではトラフィック・エンジニアリングが可能であるため、パケット・フローがネットワークの特定のルートを通るように制御することができます。これらのルート・リンクをバックアップ・ルートと共に計画することで、50ms以下のフェイルオーバーによって耐障害性を保証できます。

→ **プロトコルの透過性:** IPベースの仮想プライベート・ネットワーク(VPN)サービスとは異なり、イーサネットVPNは、公益事業者様の環境で引き続き使用される可能性のあるレガシー・アプリケーションのすべてのプロトコルをサポートできます。このようなサポートは、レイヤー2フレームへの簡易なトラフィック・マッピングによって実現できます。これにより、変換などの追加処理を行うことなく、ネットワークを透過的に横断できるようになります。

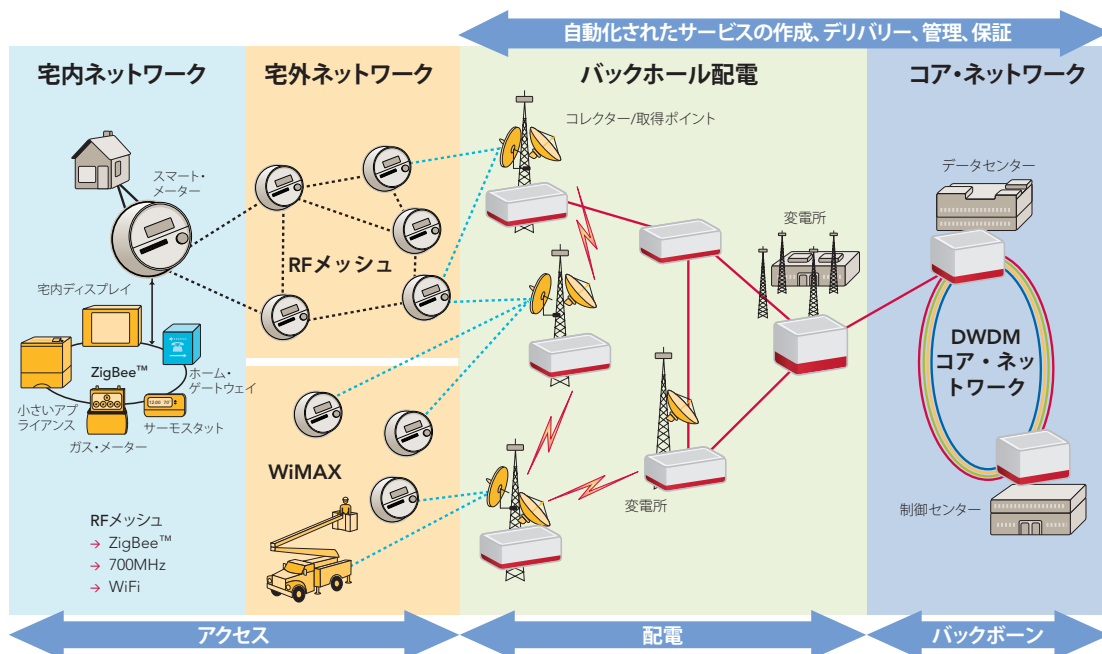


図5. スマート・グリッド通信に対応するパケット・オプティカル・ネットワーク標準アーキテクチャ

スマート・グリッド通信ネットワーク向けのパケット・オプティカル標準アーキテクチャ

図5に、エンドツーエンドのスマート・グリッド通信向けのCienaのパケット・オプティカル・ネットワーク標準アーキテクチャを示します。このアーキテクチャは、4つの地区のネットワーク・ドメインに分かれます。

宅内ネットワーク・ドメインは、顧客宅内の有線または無線ネットワークを使用して、ディスプレイ、コンピューター、エネルギー管理装置、スマート・メーターなどの顧客のデバイスとグリッドの間で情報を伝送します。

宅外ネットワーク・ドメインは、スマート・メーターと、データ・コレクターまたはアクセス・ポイント間の双方向の情報伝送をサポートします。このネットワークは、有線または無線のいずれでもよく、公益事業者様またはサードパーティのサービス・プロバイダーが所有する場合があります。

次に説明する2つのドメインであるバックホール・ネットワーク・ドメインとコア・バックボーン・ネットワーク・ドメインは、グリッドの重要な送電システム、配電システム、制御システムのほとんどを網羅します。これらのドメインには、高可用性、スケーラビリティ、低遅延、相互運用性、セキュリティの最も厳しいネットワーク要件が課せられます。

バックホール・ネットワークは、スマート・メーターのデータ・コレクターや送電や配電の変電所など、公益事業者様のすべてのデータ収集ポイントを接続します。通常、このネットワークでは、大容量ファイバー、無線マイクロ波通信、専用電話回線を組み合わせて使用します。

コア・バックボーン・ネットワークには、公益事業者様の制御センター、データセンター、変電所の配電ネットワークを相互接続する大容量ノードが存在します。このネットワークは通常、リング・トポロジーまたはデバイス間のAny-to-Any接続が可能なメッシュ・トポロジーで接続されます。

バックホール・ネットワークとコア・ネットワークは、監視制御データ収集システム (SCADA) の制御システムやモニタリング・システムなどの極めて重要なグリッド運用をサポートします。また、これらのネットワークは、配電を自動化するためのフィールド機器も接続します。具体的には、遠隔のモニタリングや制御を可能にする、遠方監視制御装置 (RTU) や、サーキット・ブレイカー、リクローザー、スイッチ、コンデンサー、変圧器といったIEDなどの機器です。

変電所の自動化のためのレガシー・インフラの移行

変電所の自動化は、公益事業者様のインフラをスマート・グリッドに向けて変革する上で重要なエレメントとなります。International Electrotechnical Commission (国際電気標準会議、IEC) 61850標準では、変電所の自動化に使用する情報とアプリケーションのサポートに必要なネットワーク要件を規定しています。原則として、この標準は、シンプルでより密接に統合されたインフラを構築して、コストを削減して信頼性を向上させる、イーサネットをベースとする変電所ネットワークの実現を目指すものです。

しかしながら、レガシーの変電所からIEC 61850が確約する次世代の変電所へ移行するのは、かなり難易度の高い作業です。IEC 61850に準拠していない装置上で引き続きレガシー・ネットワークのTDMインターフェイスをサポートする必要があるため、多くの公益事業者様は完全には標準に準拠していません。

IEC 61850標準への移行では、すでに導入されているプロトコルを置き換えることは強制されていない点を理解しておく必要があります。レガシーのプロトコルを使い続けながら、ネットワークにIEC 61850標準の一部を追加できるソリューションを実装できます。適切に計画することで、公益事業者様は、パケット・オプティカル通信技術をレガシー・プロトコルとパケット・プロトコルの橋渡し役として使用して、独自のペースでネットワークを近代化できます。

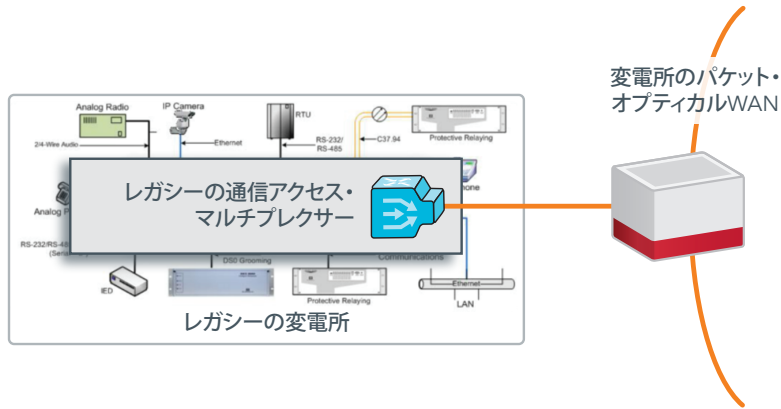


図6. パケット・オプティカル・ネットワークによって実現される変電所と制御センターの内部またはその間の統合データ・トランスポート

図6に、そのレガシー移行の課題に対する1つのアプローチを示します。ネットワークは、新しいIP/イーサネット装置に加え、変電所用にかなりの数になるであろう導入済みのレガシー・プロトコルをサポートする必要があります。公益事業者様は、レガシーのSCADA装置を最新のイーサネットIEDに置き換えることを計画されているかもしれません。

この例では、変電所専用のマルチプレクサーを使用して低速のシリアル・インターフェイスとTDMインターフェイスを集約してから、イーサネットLANインターフェイスをパケット・バックホール・ネットワークにハンドオフしています。そうすることで、パケット・オプティカル機能により、変電所と制御センター間で極めて高い管理性と耐障害性を備えた統合データ・トランスポートが実現します。

スマート・グリッド通信ネットワークのためのよりスマートなモデル

Cienaは、堅牢で管理がしやすく費用効果の高い方法で公益事業者様のネットワークを近代化する、よりスマートなアプローチを提供いたします。このアプローチは、SONET/SDHネットワークとIP/MPLSのルーテッド・ネットワークの代替となります。パケット・オプティカル・アーキテクチャは、公益事業の業界では新しいアーキテクチャであるかもしれませんが、これらの技術は世界中の要求の厳しい有線ネットワークと無線ネットワークに導入されてきた実績があります。パケット・オプティカル・ネットワークは、公益事業者様に、設備投資と運用コストの削減、より確実性の高い動作、複数のネットワーク・サービスに関する予測可能性などのメリットを提供します。

Cienaのソリューションは将来を見据えて、1Gから10G、さらに100G帯域への容易なアップグレードをサポートします。情報は公益事業者様のビジネスと運用の変革にますます不可欠なものとなっているため、このような容易なスケーラビリティは重要性を増していくはずで

公益事業者様は、CienaのDWDM、OTN、およびキャリア・イーサネット技術のビルディング・ブロックと統合管理を活用して、進化し続ける自社ネットワークをカスタマイズすることで、スマート・グリッド運用のあらゆる手法に対応できるようになります。

Velcoが州全域にパケット・オプティカル・ネットワークを導入

ヴァーモント州全域に電力サービスを提供するVelcoは、州内の20社の配電企業を接続する650マイル(1,046km)の送電システムを管理しています。この公益事業者様の既存のネットワーク環境は、レガシーのOC-48 SONETファイバー・インフラと変電所を接続するT1専用線に基づいていました。変電所内では、TDM電話システム、アナログ音声、レガシーのRTU装置やSCADA装置など、複数のレガシー・サービス用の様々な装置が使用されていました。

次世代のネットワークを実現するために、Velcoは、IBMとCienaのパケット・オプティカル・ネットワーク・ソリューションを州全体で使用しています。このネットワークは、パフォーマンスとスケーラビリティの向上、Velcoが接続しているすべての配電企業との相互運用性に加え、運用コストの削減を実現します。またVelcoは、この新しいネットワークで、トラフィックの中継、SCADA、社内の音声とデータ、高度な計測インフラなどの現在の運用要件に対応することができます。新しいスマート・グリッド・プログラムを実装しているので、この公益事業者様は比較的少ない人数で新しいネットワークを管理できています。

ここに記載された製品や仕様について、予告無しに変更することがございます。予めご了承ください。Copyright © 2014 Ciena Corporation. All rights reserved. WP159_ja_JP 9.2014