

電力保安通信ネットワークへのAPN技術適用に関する研究

Research on applying APN Technology to Electric Power Communication Network

オールフォトニクスネットワーク技術による送電線保護リレー通信システムの実現性

電力保安通信ネットワークは、電力設備の保護など電力安定供給のための重要な設備であり、低遅延かつ高い信頼性が要求される。このネットワーク用途の一つである通信要件が最も厳しい超高圧系の送電線保護リレー用通信システムを主な対象とし、All-Photonics Network (APN) による実現性について検討した。



執筆者
先端技術応用研究所
情報技術グループ
瀧本 隆

1 背景および目的

昨今、変電所システムにおいては通信機能のIP化を伴うデジタル変電所の検討が進められており、様々なシステムのIP化が進むと共に通信容量も増大することが想定される。

一方、光通信技術の進展は目覚ましく、通信区間を光信号のみで直結できるAPN(オールフォトニクスネットワーク)技術が進展しており、これらの低遅延かつ大容量である特性を生かしたシステムの高度化が期待されている。

電力保安通信ネットワークを利用するシステムにおいては、超高圧系の送電線保護リレーシステムの通信要件が最も厳しく、本報告では、これら用途へのAPN適用を想定し、その構成例や実現性および実現上の課題についての研究結果を紹介する。

2 電力保安通信ネットワークの要件について

電力保安通信ネットワークは、電気の需要と供給のバランスをとるため、発電所などの出力調整や、電力設備をコントロールするなどの、安定供給のための情報伝達に用いられる。また設備故障が発生した場合に、電力設備を保護するため、故障箇所の分離などの情報伝達にも用いられる。このため、これらの通信システムには、低遅延かつ高い信頼性が要求される。

特に送電線保護リレーシステムは、送電線故障などの事故を速やかに検出し対象区間を切り離す、あるいは事故による電力系統への影響波及を局限化・防止することを目的としたシステムである。このリレーシステムは、各電気所から送電線へ流れる電流値を比較し、この電流に差分が生じた場合に事故と判定し、遮断動作を行う。事故発生から遮断までの一連の動作において、通信設備に配分される伝送遅延時間は、超高圧系統では最大4.2m秒以下、リレーシステム全体での時間変動(ジッタ)の許容値は、最大200μ秒と規定されている。加えて、保護機能は停止させることなくシステムを継続して運用することが必要であり、不稼働率 10^{-7} 以下の高い信頼性が要求されている。

現状、これらは要件を満たすため、通信ルートにマイクロ波多重無線を利用し、信頼度が高く、遅延やジッタの少ない機器を用い、2ルート2系列によるシステムで構成している。

3 APNを構成する装置について

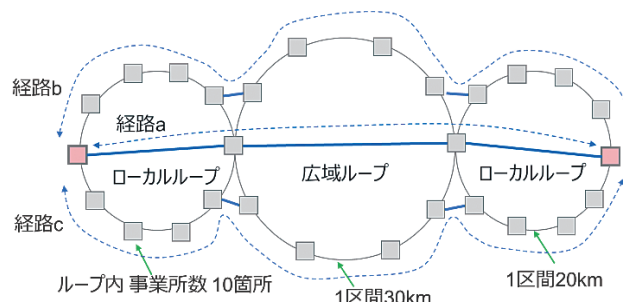
APNは、通信区間を光信号のみで直結するもので、光波長合分波器、光スイッチ、光増幅器等から構成される。途中経路で電気⇄光変換を行わないため、途中区間での遅延が光ファイバ内の伝搬遅延のみである。さらに1波長を占有する場合、100Gbps超の大容量通信が可能である。

遅延に関しては、光伝搬時間が支配的であり、光ファイバ区間においては約5μ秒/kmとなる。今回検討に用いたA社製のAPN装置の遅延は、中継ノードで約1μ秒/台、終端装置で約15μ秒/台である。例えば事業場間100km(5箇所・4中継×20km、1箇所の装置1台)の場合、遅延は約533μ秒であり、光ファイバ分の遅延が500μ秒と多くを占める。

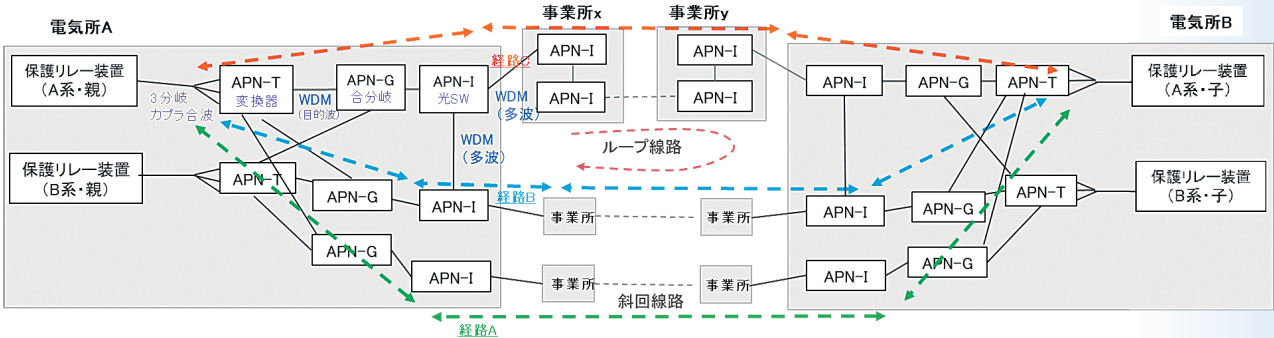
4 光ファイバによるネットワーク構成と信頼度

無線区間の不稼働率は、 $2.0 \times 10^{-7}/\text{km}$ 程度で、これに対し配電添架による光ケーブル伝送路の不稼働率 $3.6 \times 10^{-6}/\text{km}$ 程度と低い。このため、伝送路を光ファイバで構成する場合、2ルートでは数十km程度までと距離制約が大きく、これ以上の距離で信頼度を満足させるためには3ルート構成が必要となる。また、遅延制約が約4m秒の場合、最大距離は約800km以下となる必要がある。

光ファイバネットワークは、線路障害や装置故障を考慮し、2ルート構成が容易なループ状で事業場間を接続している形態が多い。これを踏まえ3ルートによるネットワーク構成モデルについて、第1図の構成例等で検討を行った。



第1図 光ファイバ3ルートモデル例



第2図 APN構成例（3ルート・送電線保護リレーシステム）

この場合、図の経路b、cは約300kmで、その遅延は1.5m秒となる。線路のみの不稼働率は 6.3×10^{-10} と、 10^{-7} に比べ十分小さく、遅延も要件を満たす。ただし図のローカルループ間が近接する構成となる場合、最長の迂回ルートが、500kmを超えるケースも想定され、遅延要件を満たせないケースに注意する必要がある。

5 APNによるシステム構成と実現性能

さらにAPN装置を含めたシステム構成例を第2図に示す。これは2系列3ルート構成の一例で、前記の広域ループ線路の2ルートと斜回線路の1ルートを利用する形態を想定したものである。

これを構成するAPN装置の信頼度と遅延について、試算に用いたA社製品の例を第1表に示す。

第1表 APN装置の不稼働率と遅延（例）

装置種別	不稼働率	装置遅延
終端装置APN-T	1.2×10^{-5}	15 μ 秒
合分波器APN-G	1.6×10^{-5}	1 μ 秒
光スイッチAPN-I	3.9×10^{-6}	1 μ 秒

これらの諸元を元に、送電線保護リレーシステムの広域モデル例による信頼度および遅延計算結果例を第2表に示す。不稼働率および遅延は、構成ケース例を前提とする最悪値である。なお、光ファイバ障害時のAPN-Tによる別経路への検知・切替時間は50m秒以下であるが、現状では3ルート切替に対応してない。また、光ファイバ経路の切替に伴い発生する遅延差は一時的なジッタとなる。

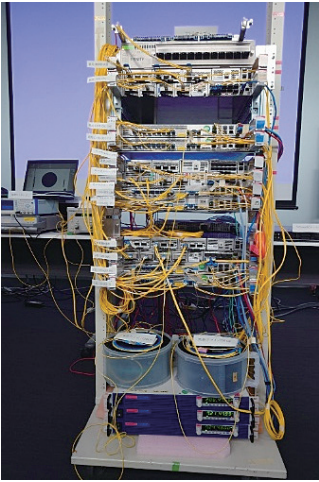
第2表 APN構成モデルによる不稼働率と遅延（例）

不稼働率	最大遅延	最小遅延	遅延差
5.1×10^{-9}	2.73m秒	0.49m秒	2.24m秒

試算結果例より、通信システムの不稼働率は 10^{-7} 以下、遅延は4m秒以下となる。また通常時のジッタは、ほぼ無く100n秒以下であるが、切替に伴い発生する経路差は400km超（遅延差2m秒超）となる場合があり、この遅延変動はジッタ制約の200 μ 秒（経路差40km相当）を大幅に上回るため、時間調整装置の利用等の対策が必要となる。

なお、利用波長数の点からは、複数システムが混在した場合でも、現行装置（96波長）での実装は十分可能と考えられる。

6 研究成果と今後の展開



第3図 APN基礎検証機器

装置実性能の確認のため、実機システムにより基礎的な評価も進めた。遅延や伝送品質（BER）等は机上想定通りであり、特に光パス区間のゆらぎ（ジッタ）については、切替時を除く常時ルートにおいて、測定限界の100n秒未満であることを確認している。

これらの結果から、APNによる送電線保護リレー用通信システムは、要件を概ね満たすことが可能で、制

約や課題はあるが、実現性はあると考えている。

本検討を通して把握した主な制約および課題は、送電線保護リレーシステム構成における光ファイバルートの信頼度確保のためには3ルート構成など信頼度の検討が必要となること、許容遅延制約による距離制限の考慮が必要なこと、ルート切替による瞬断と遅延変動（ジッタ）の発生があり、無瞬断・遅延調整装置の適用やリレー端末側での対応が必要となることが挙げられる。加えて、終端装置APN-Tに関しては実適用に向けて、収容インタフェース拡充、3ルート構成における切替機能の実装、異メーカーでの相互接続性の向上など、今後、ニーズに合う装置開発が期待されるところとなる。さらに、落雷時の電磁誘導や架橋での電車通過時などによりエラーが発生するなど、光ファイバへの外的影響の把握も望まれる。

今回の検討により、電力保安通信ネットワークへのAPN技術適用の可能性を高めることが出来た。今後、利用想定に対応した製品開発や展開が期待される一方で、光ファイバセンサとして活用する技術検討が進んでおり、リアルタイム線路監視などへの幅広い応用も期待される。このため、将来に向けて製品動向を注視し、合理的な設備形成に向けて技術開発を継続して実施していきたいと考える。