

高信頼度 GPS 受信システム及び GPS 受信実績評価

Field Experience and Assessment of GPS Signal Receiving and Distribution System

板垣 大樹

■ ITAGAKI Daiju

近年、電力系統の保護制御システムでは、様々な場面で広域の時刻同期処理が要求され、GPS (Global Positioning System) による時刻同期が利用されている。GPS を利用する場合、GPS 衛星からの時刻信号を安定して受信する必要があるが、変電所などにおける受信安定性については明らかになっていないのが実情である。

東芝は、保護制御システム向けの GPS 受信システムの開発を進めてきた過程において、様々な変電所で GPS 受信状態を計測し、十分な信頼性があることを確認した。また、GPS 衛星が故障するなど過酷な状況でも、受信を継続する方法を確認した。これらの実績から、保護制御分野で GPS による時刻同期がますます有効活用されることが期待される。

A number of applications have emerged in the power systems field that require synchronized data samples having precise absolute time obtained from the Global Positioning System (GPS), such as power system protection, control, and monitoring. However, the actual performance and reliability of GPS signal reception within the substation environment has not been comprehensively assessed.

Toshiba has undertaken long-term assessments of the stability of GPS signal reception in a variety of substations, and confirmed stable reception of the GPS signal. We have also demonstrated methods for reliably applying GPS in the event of GPS signal loss or failure. Our GPS synchronization system has already been widely applied in operational systems and protection relays. The results have been excellent to date.

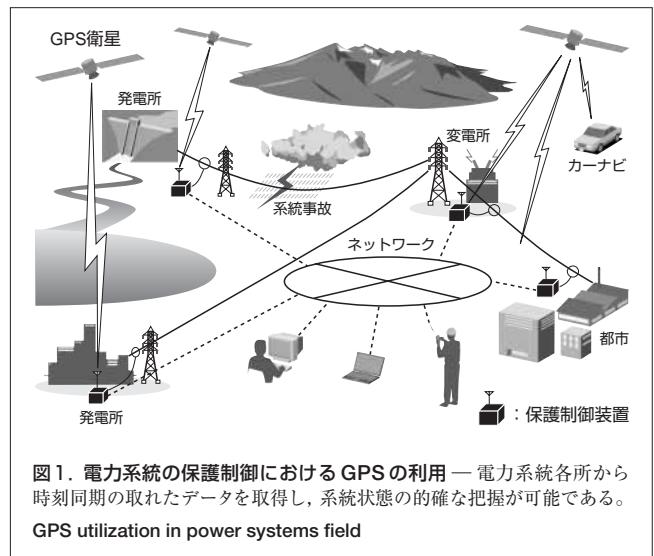
1 まえがき

電力系統の保護制御システムでは、広域の時刻同期処理が要求される場合がある。これは、近年のネットワーク技術の適用により、図 1 のように電力系統の変電所や発電所に設置された保護制御装置の取得データを利用して、系統現象把握や新しい保護システムなど、新たな応用が可能となってきたためである。この場合、各所の保護制御装置では同一のタイミングでデータを取得する必要があり、システムによってはマイクロ秒 (μs) オーダの時刻同期精度が要求される。

そこで、GPS (Global Positioning System : 全地球測位システム) 衛星からの信号を受信することで、保護制御装置の正確な時刻同期が行われている。

電力系統の保護制御システムは高い信頼度を要求されるため、それに使用する GPS 信号は十分安定して受信する必要がある。しかし、実際の変電所における受信状況の確認や、長期の信頼性評価など十分なデータが明らかになっていないのが実情である。

東芝は、保護制御システムに要求される高い信頼性を保ちかつ設置も容易な GPS 受信システム及びこれを適用した応用システムの開発を進めてきた。その過程で、様々な変電所において GPS 受信状態を計測してきた。ここでは、GPS 受信システムの基本構成を示すとともに、受信状況の測定結



果とその考察を述べる。

2 GPS による時刻同期

GPS はカーナビゲーションなどで位置情報の取得に利用されているが、正確な時刻の取得にも利用することができる。

GPS 衛星からの電波を受信することにより、地球上どこでも 24 時間、 μs オーダの高精度の時刻が得られる。ほかにも

時刻を得る手段はあるが、GPSは、高精度の時刻を現在もっとも低コストで得ることができる。

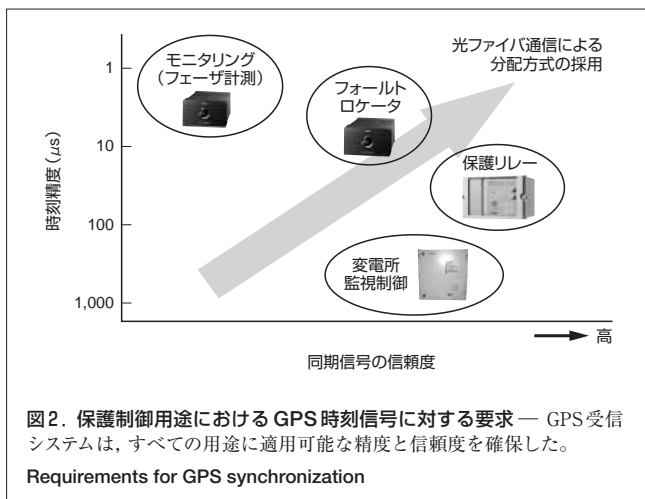
GPSは米国により運営されており、運用開始以来衛星数が増強され、ここ数年では28～30機の衛星が軌道上にある。衛星の一部がメンテナンスなどで停止することがあっても、十分な数の衛星が利用できる。

GPS衛星からの信号は、周波数1.575 GHzの電磁波で、雨や多少の雪など、天候の影響を受けにくくなっている。

3 保護制御システム用 GPS 受信システム

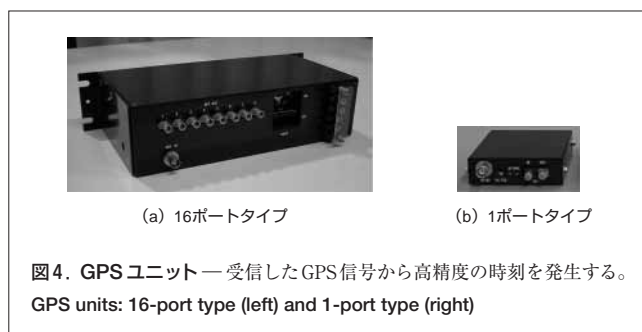
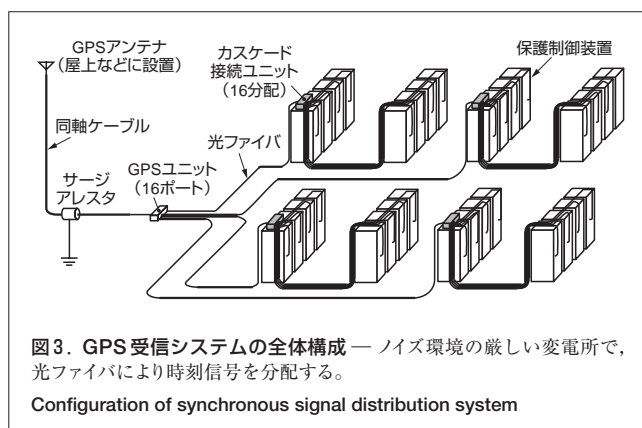
GPSによる時刻同期では、GPS衛星から電波を受信し、時刻信号を発生して変電所内の保護制御装置に分配することが必要である。この章では、当社が開発したシステムの構成について述べる。

電力系統の保護制御において、各種用途で要求される時刻同期信号の精度と信頼度を図2に示す。当社は、ノイズ環境の厳しい変電所でも信頼度の高い伝送が可能な、光ファイバ通信による分配方式を開発した。



この方式では、協定世界時(UTC: Universal Coordinated Time)に対し μs オーダの精度で、GPSから得られる1s周期の高精度時刻信号(1PPS信号: 1 Pulse Per Second)をパルス状の光信号で伝達する。併せて、汎用的な調歩同期(非同期)通信により、時刻、日付、及びGPS受信状況の情報をシリアルデータとして伝送する。1PPS信号とシリアルデータを1本の光ファイバに重畳して伝送することで、光ファイバの敷設本数を削減している。

変電所に設置したGPS受信システムの構成を図3に示す。GPSアンテナは変電所内の建物の屋上などに設置され、同軸ケーブルをGPSユニットまで引き回す。GPSユニットは受信した信号をもとに時刻信号を発生させ、光ファイバにより複数の保護制御装置に分配する。GPSユニットの外観を図4



に示す。電力規格の耐ノイズ・耐サージ試験をクリアしており、変電所環境での使用が可能である。

4 GPS 受信実績評価

4.1 長期受信安定性の観測結果

電力系統の保護制御システムの時刻同期は高い信頼性が求められるため、GPS衛星からの信号を安定して受信する必要がある。

変電所では周囲に高圧線などもあり比較的過酷な受信環境と考えられる。このため、GPS受信状況を長期にモニタリングした。このモニタリングでは、GPSユニットからの1PPS信号の出力の有無を24時間連続で、毎秒確認し、衛星からの電波の受信障害により1回でも1PPSが抜けた場合、記録した。

モニタリングの結果を表1に示す。モニタリングは複数の変電所で行い、1年間を通して実施したので季節や天候による影響も測定することができた。

変電所B、Cは、アンテナの設置環境が良好なため一度も中断が見られず、安定した受信結果が得られた。変電所Aのように設置環境の良くない場所(図5)などでは、中断時間率 10^{-5} 程度の中断があった。最大連続中断秒数は22sであり、この程度の時間であれば、保護制御装置の内部クロックでの自走により必要な同期精度を保つことができる。

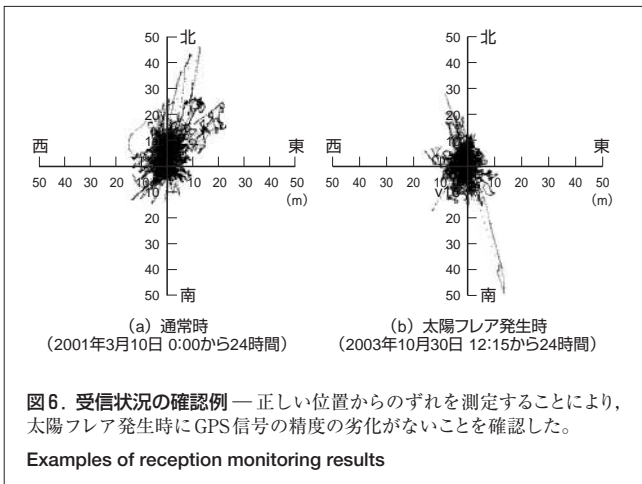
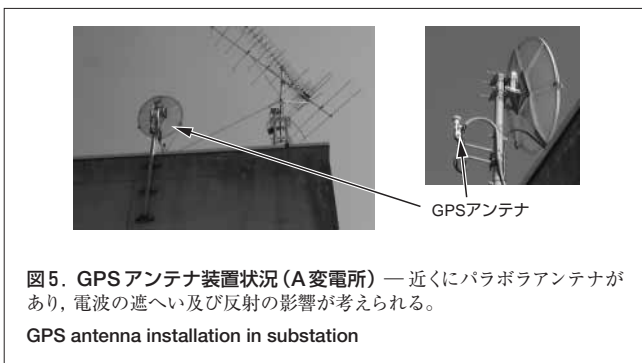
4.2 自然現象の影響の観測結果

GPSについて天候の影響を調査した。特に過酷と考えら

表 1. 変電所での GPS 受信状況長期モニタリング結果

Results of GPS signal reception monitoring at substations

項目	GPS アンテナ設置場所			
	A 変電所リレー室屋上	東芝府中事業所内	B 変電所リレー室屋上	C 変電所リレー室屋上
モニタリング期間	2001年11月1日～2002年9月25日	2001年11月3日～2002年7月3日	2002年6月10日～2002年11月27日	同左
1PPS 信号中断パルス数	225 パルス	203 パルス	受信断なし	受信断なし
中断時間率	9.3×10^{-6}	13×10^{-6}	中断なし	中断なし
最大連続中断秒数	22 s	9 s	中断なし	中断なし
GPS アンテナ	標準タイプ		高感度タイプ	
備考	GPS アンテナのそばにパラボラアンテナがあり、電波の遮へい及び反射の影響が考えられる。	同軸ケーブル長が推奨より長めの厳しい条件であった。	275 kV 変電所で屋外に各種機器があるが、機器の閉鎖ノイズなどの影響を受けない結果であった。	住宅地にある屋内変電所である。



れる条件として、太陽フレアの影響で2003年10月29日から31日にかけて磁気嵐が発生している期間に、GPS信号の精度劣化有無を確認した。結果を図6に示す。水平位置精度の標準偏差は5.3 m (24時間)で、通常時の結果6.2 mと比べて違いのない結果が得られた。また、2003年のイラク戦争中もGPSの信号受信状況と測位精度を一定期間観測したが、平常時との差異は見られなかった。

4.3 GPS 衛星異常の影響の観測結果

2004年1月2日午前3時33分ころ～6時18分ころに、GPS衛星のうち1機に搭載されているルビジウム時計の故障によって、誤った情報が送出された⁽¹⁾。この影響で、多くのGPS受信機が断続的に測位できなくなった。当社が日本各

地の変電所に納入しているGPS時刻分配システムでも、ほとんどの地点で1PPS信号の中断が発生した。

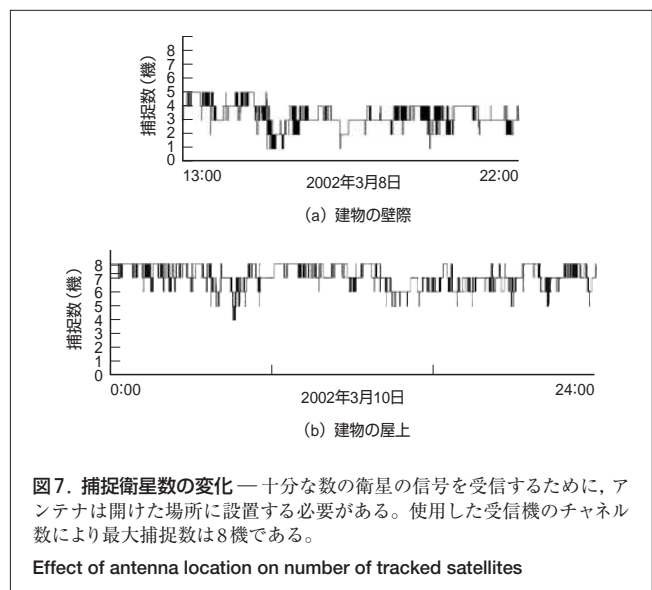
この状況のなかで、T-RAIM (Time Receiver Autonomous Integrity Monitoring) 機能を使用した受信機は、1PPS信号が中断せず正常に出力継続できていたことを確認している。この機能は、GPS受信機が通常必要とする数より多くの衛星から信号を受信することによって、異常衛星を検出し排除する機能である。これまでこのような大規模な異常の発生はなく、極めてレアケースであると考えられるが、T-RAIM機能の使用により、対策可能なことが確認できた。

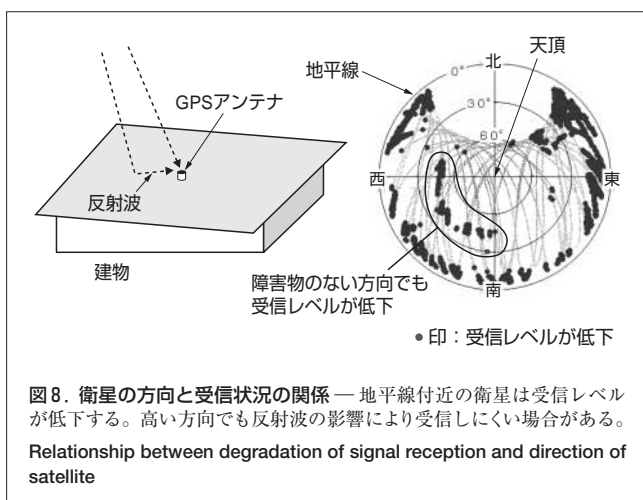
5 保護制御へGPSを適用するうえでの留意点

ここでは、GPS信号を安定して受信するための留意点及び、万一GPSの受信が正しく行えない場合に備えての対策について述べる。

5.1 GPS アンテナの設置場所について

GPS衛星からの電波は直進性があるため、障害物の陰では受信しにくい性質がある。移動衛星のため、図7に示すよ





うに、捕捉(ほそく)衛星数は1日を通して変化する。建物の壁際のような場所に設置した場合には、受信できる衛星は最低0~1機になり、GPSの受信中断が時々発生してしまう。屋上の開けた場所に設置した場合はおおむね4機以上受信でき、環境の変化などにより一部衛星が受信できなくなっても、支障はないと考えられる。

GPS衛星配置のシミュレーション結果から、アンテナは原則的に仰角30°以上には障害物がない場所に設置することが望ましい。この環境で設置できない場合は、空の半分以上が見える場所に設置することが必要である。衛星の軌跡を受信レベルでプロットした結果を図8に示す。北側には、衛星が通らないエリアが存在する。また、地平線付近の衛星からの信号は、大気圏での減衰により受信レベルが低いため、対象から除く必要がある。更に、反射波との干渉の影響により、障害物のない方向でも受信レベルが低い方向が発生するため、アンテナは電波を反射する物から離れた場所に設置することが望ましい。

これまで、GPSアンテナを設置した変電所で可搬形GPSモニタによりモニタリングを実施した結果では、山間部の変電所を含まない箇所ですべて4機以上受信できており、問題なくアンテナを設置することができている。

5.2 GPS受信の中断及び信号劣化に対する留意点

GPS衛星からの信号は安定して受信できることが確かめられたが、万一中断した場合でも、前記した内部クロックによる同期維持などにより、必要な期間同期を維持できるようにする必要がある。

一方、電力系統の保護への応用では、受信異常によるリレー誤動作は停電にもつながるため、注意が必要である。GPS信号の受信断だけでなく、精度が著しく劣化した場合まで考慮して、前述のT-RAIMを使用することが望ましい。

(注1) 電力系統の各所で電圧と電流の位相を計測して、電力系統全体の状態を把握する。

6 保護制御システムへの適用実績

当社のGPS受信システムは、海外を含め多数の変電所に設置され、各種システムで運用されている。国内では、送電線の両端で同期の取れたデータを取得し正確な事故点の標定を行う、ネットワーク形FL (Fault Locator) システムの納入がもっとも多く、これまで標定稼働率100%、平均誤差0.3kmの良好な実績を得ている⁽²⁾。また、事故時に複数の地点で同期データを取るオシロシステムにも使用され、事故発生時の系統現象把握に役だてられている。海外では、GPSにより送電線の両端でサンプリング同期を取る電流差動リレーが実系統で運用されており、良好な実績を得ている。

更に、電力系統の広域での同期フェーズ計測^(注1)にも使用されている。大学間のネットワークを利用した西日本60 Hz系統動特性観測システムが完成し、系統動揺の観測が可能となっている。また、瞬時電圧低下時における広範囲の電圧波形など、瞬間的な現象も確実に観測できている⁽³⁾。

7 あとがき

GPS信号の受信実績評価を行い、GPSの信頼性は十分高いことが確認できた。また、GPSを保護制御に適用する場合のいくつかの留意点を明らかにした。これらを考慮することにより、システムの信頼度を確保することが可能である。GPS受信システムはこれまで数多くの変電所に適用してきており、良好な実績を得ている。今後、更に様々な用途への適用が期待できる。

文献

- (1) K. Kovach. "SVN-23/PRN-23 Integrity Failure of 01 January 2004". Summary Report of the 43rd CGSIC Meeting. Arlington, Virginia, 2004-03. U.S. COAST GUARD. <<http://www.navcen.uscg.gov/cgsic/meetings/summaryrpts/43rdmeeting/09%20PRN-23%2043.PPT>>, (accessed 2006-12-25).
- (2) 高荷英之, ほか. ネットワーク形オシロ・FLシステム. 東芝レビュー. 61, 7, 2006, p.45-48.
- (3) Hashiguchi, T., et al. "Observation of Power System Oscillation Characteristics by Using Measurement Data Obtained from Demand Side Outlets." IEEE Bologna PowerTech Conference '03. 2003-06. 289.



板垣 大樹 ITAGAKI Daiju

電力システム社 府中事業所 電力システム制御部。
保護・制御システムの設計・開発に従事。電気学会会員。
Fuchu Complex