

# ネットワーク形オシロ・FLシステム

## Web-Based Wide Area Measurement and Fault Locator System

高荷 英之

■ TAKANI Hideyuki

三好 哲也

■ MIYOSHI Tetsuya

藤田 泰伸

■ FUJITA Yasunobu

電力系統の保護制御分野において、事故現象解析や事故点探索のために、事故時の電気量及び保護リレー動作などをモニタリングするオシロシステムや、事故時の電気量から事故点を特定する事故点標定（FL：Fault Locator）システムが広く利用されている。近年、このオシロ及びFLシステムに対しては、電力系統保安業務の合理化の観点から複数系統対応や機能の統合化のニーズが、また、対応時間の短縮化の観点から事故点探索の高精度化などのニーズが高まっている。

東芝は、このようなニーズに応えるために、GPS (Global Positioning System) 技術やイントラネット技術を応用したネットワーク情報端末を用いて電力系統の多地点の情報を収集・解析するネットワーク形オシロ・FLシステムを開発し、実用化した。このシステムは多端子で、かつ複数の電力系統に適用でき、従来システムと比較して高機能・高精度化を実現している。順次、電力系統への適用を進めており、既に実系統において良好な実績が得られている。

Fault and disturbance recording systems are widely used for analysis and maintenance work in the field of power system protection and control. Such fault and disturbance recording systems using the latest communication and information technologies can provide innovative solutions to a wide range of power system problems.

Toshiba has developed a Web-based wide area measurement system to realize a fault location function and a fault and disturbance analysis function using one server. This system is applicable to multi-terminal transmission lines and multiple power systems. The proposed network devices, server, and browser in the system communicate to share information that can enhance the overall fault and disturbance analysis. Various services using a network have been proposed and their practical use has been made possible by the diffusion of the Internet. Introduction of this system has progressed in Japan, and it has been applied as a standard system.

## 1 まえがき

高い信頼性に裏づけられた安定した電力供給が求められる昨今では、たとえ系統事故が生じた場合でも速やかな復旧と送電再開が期待されており、そのためには、適切な系統現象の把握と事故点の早期発見が必要とされる。

オシロシステムは、事故発生時の系統現象を把握するために、事故発生前後の電気量及び保護リレー動作などをモニタリングする装置であり、従来は、装置の設置された電気所（以下、自端と称す）の電気量や保護リレー動作を表示していた。しかし近年では、近隣の複数電気所間のデータを突き合わせて系統現象を解析するといったニーズがあり、各電気所間で同期のとれたデータを表示する必要がある。更に、ベクトル解析や高調波解析など付加機能のニーズも増加している。

また、送電線の事故点を特定する事故点標定（FL：Fault Locator）システムは、従来のカップリングコンデンサなどの特殊機器を用いるパルスレーダ形FLから、特殊機器の不要な自端の電気量を用いる自端判定形FLへ移行してきた。しかし、自端判定形FLは事故点残り電圧や対向する電気所

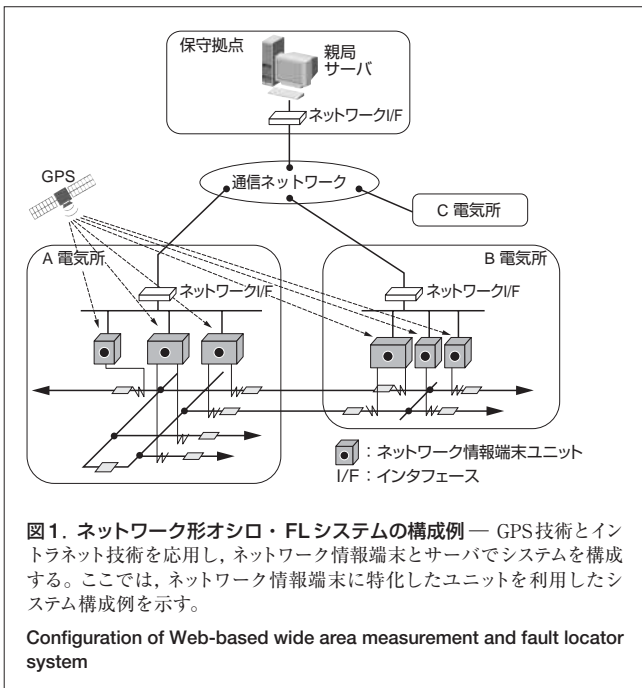
（以下、対向端と称す）からの流入電流などの影響によって誤差を生じやすく、特に原理上、多端子の電力系統の分岐点以遠の事故点を特定できないという欠点がある。

一方、電力系統保安業務の合理化の観点から多端子かつ複数の電力系統への適用、対応時間の短縮化の観点から多端子の電力系統を含めた事故点探索の高精度化、及び経済性の観点から複数機能の統合などのニーズが高まっている。

このようなニーズに応え、複数の電気所間で同期のとれたデータの解析や表示ができ、ベクトル解析や高調波解析などの付加機能を持つオシロ機能と、多端子系統を含めて高精度な事故点標定が可能なFL機能を統合したネットワーク形オシロ・FLシステムを開発し、これを実用化した。

## 2 システムの概要

ネットワーク形オシロ・FLシステムの構成例を図1に示す。系統電気量やリレー動作などの情報を収集するネットワーク情報端末又は、ネットワーク情報端末機能付き基板を内蔵した保護制御装置を電気所各端子に設置する。情報端末はリアルタイム処理とウェブサーバ機能を持つほか、GPSや



Ethernet LANのインタフェースなどを備えており、系統情報を蓄積し加工して伝送出力する。情報端末でGPSによる時刻情報を付加された系統情報は、ルータやモデム、ハブなどの通信ネットワークインタフェース機器経由で通信ネットワークに接続され、保守拠点に伝送される。保守拠点に設置された親局サーバは、伝送された系統情報を使用して、オシロ機能及びFL機能を実現する。また、情報端末と親局サーバはウェブサーバ機能を実装しているため、汎用ブラウザによりネットワークを介して、情報端末の状態、各アプリケーションの記録及びFL演算結果を容易に閲覧することができる。

### 3 システムの特長

システムへのニーズと、このニーズに応えるために開発・実用化した要素技術との関係を図2に示す。

高機能化や、対応時間の短縮化、経済性、標準化などのニーズに対し、要素技術としては主に端末機構、GPS時刻同期機構、サーバ機構、オシロ機能、及びFL機能の五つに分類できる。

#### 3.1 端末機構

端末装置はコア領域とウェブ領域で構成される。コア領域では効率の良いリアルタイム処理OS(基本ソフトウェア)を用いており、演算処理はマイクロ秒オーダで管理されたタスクで実行され、取得した入力データにはGPSから受信した絶対時刻を付与する。

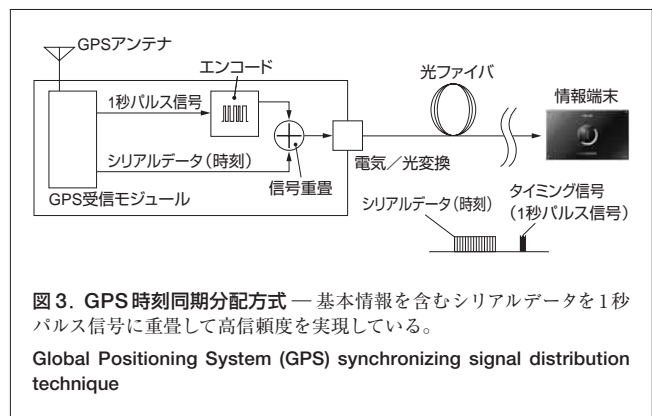
ウェブ領域ではインターネットと同様な通信と情報処理機構を設けることで、サーバやブラウザと自在に情報交換が行える。なお、実行スレッド動作をトレースする機構や、デジ

タルリレー相当の自己診断機能をウェブ領域に設け、信頼性を高めている<sup>(1)</sup>。

#### 3.2 GPS時刻同期機構

系統情報データの同期方式としてGPS時刻を適用している。現状では、変電所の装置へのGPS時刻分配には、1kHzのキャリアを時刻信号で振幅変調するIRIG-B(Inter Range Instrumentation Group standard-B)方式がよく使われているが、電気信号であるため、伝送路のフィルタ特性による立上り時間のずれなどの影響を受けて、同期誤差を生じる場合がある。特に高精度な時刻同期を必要とするFLに対しては適用が難しい。また、専用のデコード回路が必要となるので高価となる。

そこで、日付や時刻情報を含むシリアルデータ信号を、GPSの1秒パルス信号に重畳して1信号とし、光ファイバを媒体として伝送する方式とした(図3)。これにより、光ファイバ



1本だけで通信ができ、光ファイバの耐ノイズ性や広帯域性を生かした、高精度かつ高信頼度のGPS時刻信号を送送できる。また、シリアルデータを調歩同期フォーマットとして送るため専用のデコード回路が不要となり、マイクロプロセッサ処理にも適している<sup>(2)</sup>。

### 3.3 サーバ機構

親局サーバは、経済性の面から1台で様々なサービスを実現することが要求される。今回開発した親局サーバは、対象装置からデータを収集してデータベースに保存し、更にアプリケーションに取得情報を流す機能を持った広域分散プラットフォームを実装した<sup>(3)</sup>。親局サーバの構成を図4に示す。これにより、オシロ機能とFL機能の両機能に共通して必要とされる情報端末とのインタフェース処理を、広域分散プラットフォームで実現できる。処理の冗長性が低くなり、処理負担が低減され、1台の親局サーバ上で複数の機能の実現が可能となった。また、ウェブ機能を実装しているため、汎用ブラウザによりネットワークを介して各アプリケーションの記録や演算結果を容易に閲覧することができる。

また、多端子系統対応として、直接接地系では最大4端子、高抵抗接地系では最大14端子の系統に適用することができ、かつ複数の系統を一つの親局サーバ上で処理できる。

### 3.4 オシロ機能

GPSによって高精度に同期のとれたデータを、必要な端子から自動的に収集するので、容易に系統事故や系統動揺などの擾乱(じょうらん)時の電気量の表示、解析ができる。また、情報端末が取得する電気量データは、保護リレー演算に使用するデータと同じ変成器から取得できるため、その場合には保護リレーの応動に直結した事故解析を行うことができる。

データ伝送に際しては、ネットワークの帯域が十分広い場合

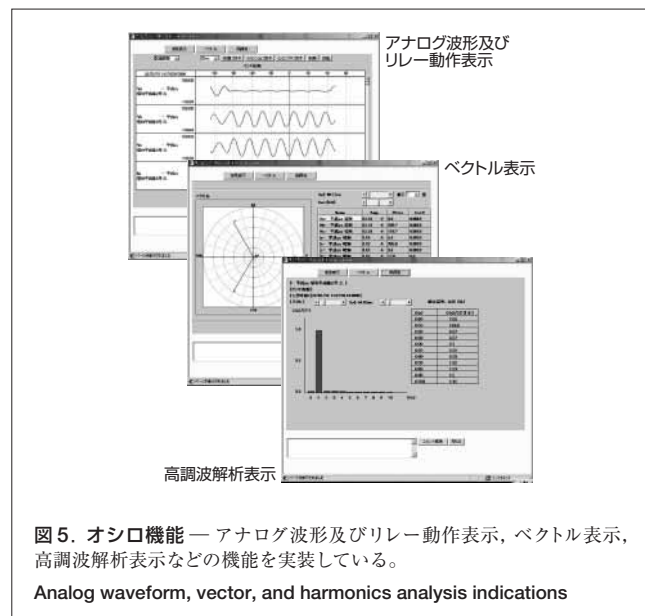
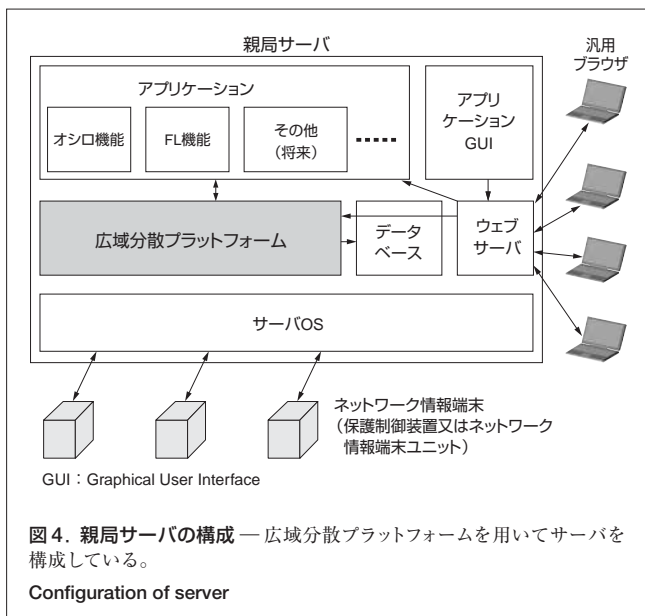
には、収集したデータサイズが大きくても遅延は問題とならない程度であるが、既存のネットワークでは帯域が狭いものも多く、このような場合には圧縮技術が有効となる。ただし、系統事故波形の場合は、信号が持つ急激な立下りなどの時間情報の特徴部分を正確にとらえる必要がある。この条件を満たす信号圧縮技術として“ウェーブレット縮退”に着目し、このデータ圧縮機構を情報端末に搭載した。周波数成分に時間分解能を持たせることができ、時間的に局在する特徴点を残しながらデータサイズを圧縮することができる<sup>(4)</sup>。

オシロ機能は、アナログ波形及びリレー動作表示、ベクトル表示、高調波解析表示などの機能を実装している(図5)。GPSによって高精度に同期のとれたデータを用い、異地点から取得したデータを同一画面で比較・解析できる。ウェーブレットによるデータ圧縮技術により、ネットワークの帯域が狭い場合にも迅速な解析への着手が可能である。

### 3.5 FL機能

GPSを利用して高精度な時刻同期をとった送電線の全端子の電気量情報を用いて、事故点標定を自動的に行う。

従来の自端判定形FLは、事故点抵抗、負荷潮流及び対向端から事故点への流入電流などの影響を受け、誤差を生じやすい。そのため、原理上それらの影響を受けない事故点電圧同定形FLアルゴリズムを用い、正相成分をベースとした高精度な両端標定方式を適用した。正相成分を使用することによって事故相選別を不要とし、特に平行2回線送電線では回線間差分を用いることによって、より高精度な標定を可能としている。正相成分は伝播(でんぱ)速度の早いモード成分であり、伝播速度の遅い対地帰路モードを含まないため、事故直後から収束性の面で安定した傾向を示す利点があり、継続時間の短い事故の標定にも有利である<sup>(5)</sup>。





## 4 装置の性能

従来のシステムと比較して、特にFL標定性能が向上しており、既に実システムにおいて良好な実績が得られている。ここでは、実績を踏まえた事故点標定及びデータ収集時間の性能について述べる。

### 4.1 事故点標定性能

実システムにおける標定起動率はこれまで100%で、多重事故のケースを含めて良好な実績を得ている。事故点電圧同定形FLの標定実績を表1に示す。平均誤差0.29 kmの高精度な結果が得られている<sup>(6), (7)</sup>。

### 4.2 データ収集時間性能

データ量の関係から、オシロデータ伝送中にFLが起動した場合には、標定完了までの時間が遅れる懸念があるが、

表1. 事故点電圧同定形FLの標定実績

Actual measured results

電圧	系統	事故様相 <sup>(※)</sup>	絶対誤差(km)
275 kV	直接接地	1L-b, 2L-bc	0.0
		1L-bc	0.1
187 kV	直接接地	1L-b	0.1
		2L-c	0.4
77 kV	高抵抗接地	1L-ac, 2L-a	0.3
		1L-bc, 2L-b	0.3
		2L-c	0.1
77 kV	高抵抗接地	2L-b	0.4
		2L-ab	0.0
		2L-a	0.1
		1L-c	0.1
		2L-a	1.6
		絶対誤差の平均値	0.29

(※) 1L-bは、事故様相が“1号線b相事故”であることを表す。

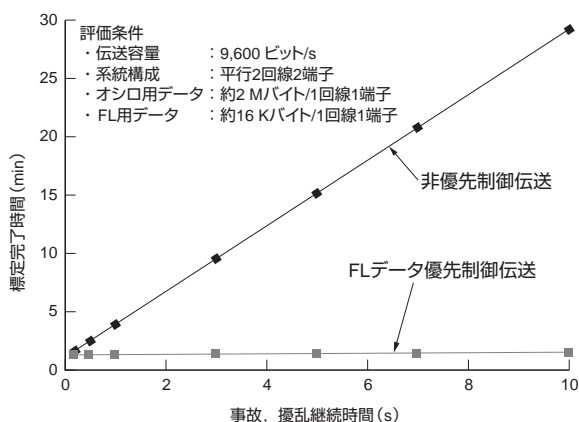


図6. 標定時間評価 — FLデータ優先制御によって、オシロデータ伝送中でもFL標定完了時間の遅れはなく、常に一定の時間で標定できる。

Timing of fault location

このシステムではFLデータ優先制御伝送によって問題を解決している。平行2回線2端子での標定時間の評価結果を図6に示す。事故点標定に必要な分のデータサンプリングとデータ長を伝送する方式を適用していることから、事故継続時間によらず、常に一定の時間(1分30秒以内)で標定結果を出力することができる。

## 5 あとがき

イントラネット技術を応用したネットワーク形オシロ・FLシステムの概要、特長と性能について述べた。オシロ機能及びFL機能として実績を上げており、いくつかの電力会社で既に標準システムとして適用されている。

今後は、これらを基盤として、電力品質監視、エージェント、フェーザ計測などサーバへ実装するアプリケーションを拡張し、サービス範囲の拡大を検討していく。

## 文献

- (1) 関口勝彦, ほか. 電力系統保護制御システムへのイントラネット応用保護制御システムの提案. 東芝レビュー, 54, 6, 1999, p.34-37.
- (2) 板垣大樹, ほか. “保護制御用GPS時刻分配方式の実用化と実績”. 平成16年電気学会全国大会. 相模原, 2004-03. 6-160, p.281-282.
- (3) 鏡 敏朗, ほか. “電力系統モニタリングのための広域分散プラットフォームの開発”. 平成15年電気学会全国大会. 仙台, 2003-03. 6-263, p.447-448.
- (4) 関口勝彦, ほか. ネットワーク形保護制御システムの検討. 電気学会論文誌B. 123, 9, 2003, p.1030-1039.
- (5) 佐藤文章, ほか. “保護リレーからの情報を利用したネットワーク形FL・オシロの実用化”. 平成16年電気学会全国大会. 相模原, 2004-03. 6-165, p.289-290.
- (6) 竹垣 晋, ほか. “直接接地系事故点電圧同定形FLの標定実績評価”. 平成16年電気学会全国大会. 相模原, 2004-03. 6-167, p.293-294.
- (7) Takani, H., et al. Analysis and Evaluation of Multi-terminal Fault Location using Actual Fault Data. IEE DPSP2004 Conference Proceedings. Amsterdam, 1, 2004-04, p.208-211.



高荷 英之 TAKANI Hideyuki

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



三好 哲也 MIYOSHI Tetsuya

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。Fuchu Complex



藤田 泰伸 FUJITA Yasunobu

電力システム社 電力流通事業部 電力系統技術部主務。保護・制御システムのエンジニアリング業務に従事。Transmission & Distribution Systems Div.