

超高压電力ケーブル用故障点標定システム

東京電力株式会社 相原 靖彦・浅川 正人・矢代 誠一・大井 学
電力事業部 鈴木 聡*1・天野 一夫*2

Fault Location System for Power Cable Using GPS

Y. Aihara, M. Asakawa, S. Yashiro, M. Ooi, S. Suzuki & K. Amano

超高压電力ケーブル用故障点標定システムを東京電力株式会社の葛南世田谷線に納入した。本装置は、ケーブル故障点から発生する電気サージの伝搬時間差を、両端で測定することにより故障点を標定する。両端の時刻同期の手段としてGPSの計時技術を利用したこと、および電気サージの検出に高性能光磁界センサを適用したことにより、シンプルかつ極めて高精度の標定が可能なシステムを実現している。本報では、システムの標定原理、構成、および機能について概要を述べる。

Fault location system of power cable has been delivered to Katsunan-Setagaya Line of Tokyo Electric Power Co. by Fujikura Ltd. Ground-fault point is detected by measuring surge current propagation at both ends of cable using synchronizing technology of GPS (Global Positioning System). This system has advantages of high accuracy and compact size. This paper describes principle, configuration, and function of the system.

1. ま え が き

電力ケーブル線路の故障時における迅速な故障位置の特定は、復旧時間の短縮化の点から重要である。従来より超高压系の基幹線路には、故障電流の位相により接続区間単位で判別する区間標定方式が採用されてきた。近年では監視システムの内容の見直しが行われ、設備規模が大きくなりコスト増につながる接続部区間標定方式から、終端接続部区間標定または点標定方式が採用される傾向にある。点標定方式は、故障サージの伝搬時間差から故障位置を特定するものであり、計時部間での時刻同期の手段が必要となる。本手段として、同期装置および同期回線を使用したシステムが実用化されているが、構成が複雑で高コストとなる欠点があった。

このたび、計時部にGPS (Global Positioning System) 技術¹⁾を利用した、シンプルかつ高精度な標定が可能な故障点標定システムを、東京電力株式会社の葛南世田谷線に納入したので、その概要を報告する。

2. 線 路 概 要

葛南世田谷線は、葛南変電所と世田谷変電所とを結ぶ巨長32.5kmの地中送電線路であり、都心東部の主要電力供給ルートである。布設ケーブルは275kV1,400mm²CAZV

の3回線で構成されている。今回は、このうち葛南変電所から戸洞26号MHまでの6.64km区間に故障点標定システムを適用した。

3. システムの特徴

本装置は、ケーブル故障点から発生する電気サージの伝搬時間差を、両端で測定することにより故障点を標定する。標定原理は従来から知られているものであるが、両端での高精度の時刻同期を行うためには、高価で複雑な設備が必要であった。

本装置では、両端の時刻同期の手段として、GPS衛星に搭載されている原子時計から生成される高精度のパルス信号を利用している。また、電気サージの検出には、小型で据付容易な高性能光磁界センサを適用した。これらにより、以下の優れた特長を有するシステムを実現している。

- (1) GPS衛星のパルス信号による時刻同期により、極めて高精度の故障点標定が可能である(標定精度 $\pm 10\text{m}$ 以内)。
- (2) 各子局が独立して時刻同期をとることができるため、同期装置・回線が不要であり、非常にシンプルで低コストである。
- (3) 自己診断機能および擬似標定機能により、システム動作の健全性を確認することができ、メンテナンスフリーである。

*1 電力技術部

*2 電力技術部課長

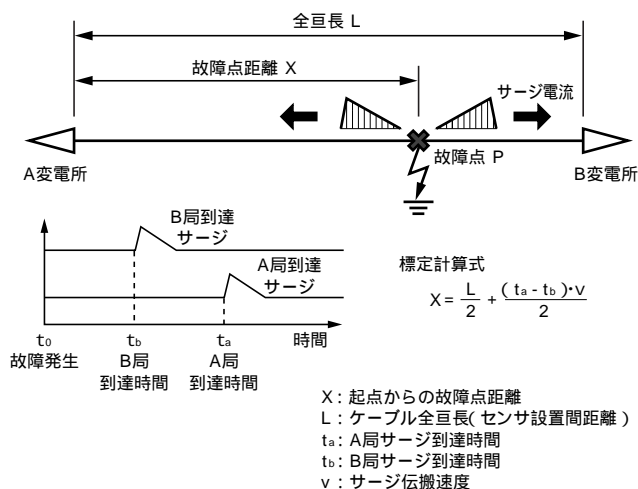


図1 故障点標定原理
Principle of fault location

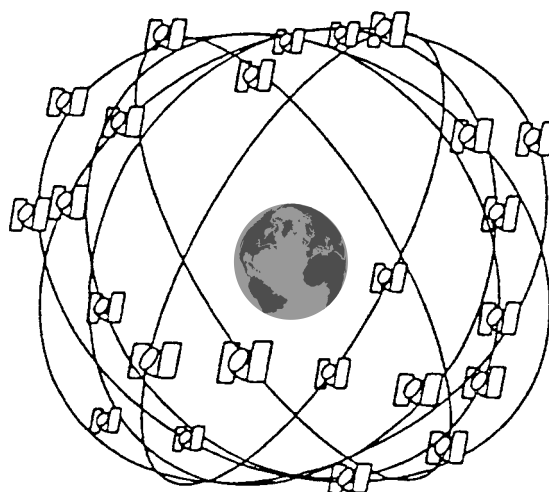


図2 GPS衛星軌道概念図
Orbit of GPS satellite

表1 GPS衛星の主要諸元
Specification of GPS satellite

項目	仕様
衛星個数	4基 x 6軌道面
衛星設計寿命	7.5年
軌道半径	26,561km
周回周期	12恒星時間(約11h58m2s)
軌道傾斜角	55度
搬送波周波数	L ₁ = 1,575.42MHz L ₂ = 1,227.60MHz
測距信号	C/A code: L ₁ 波で送信(民生用) P(Y) code: L ₁ , L ₂ 波で送信(非公開)
搭載原子時計	セシウム原子周波数標準器: 2台 ルビジウム原子周波数標準器: 2台

4. 標定原理

4.1 標定原理

故障点標定の原理を図1に示す。故障点標定は、ケーブル故障点から発生する電気サージの伝搬時間差を両端で測定することにより行う。図1において、故障点距離Xは、(1)式により求められる。

$$X = L/2 + (t_a - t_b) \cdot v / 2 \dots\dots\dots(1)$$

(1)式において、ケーブル全長Lおよびサージ伝搬速度vは既知の値であるため、標定にはサージ到達時間差(t_a - t_b)のみを測定すれば良い。すなわち時間計測の精度が、標定精度に直結する。標定精度向上に必要な条件としては、以下の3点が挙げられる。

一つ目は複数の計時装置間の同時性であり、二つ目は計時装置自身の精度である。これら2点の精度向上にGPSを利用している。そして三つ目はサージ検出の精度であり、ケーブルインピーダンスの周波数応答による波形の変歪から生じる誤差を補正している。

4.2 GPSの利用

GPSは衛星が送信する電波を利用した全地球規模の測

位システムであり、米国国防総省が軍用に構築したものである。GPSの主要諸元を表1に示す。GPS衛星は、図2に示すように6つの軌道面に4基ずつ配され、計24基の衛星が地上約2万kmを約12時間の周期で周回している。GPSは衛星、地上管制局、および受信機から構成され、時間、場所、天候を問わず無償で利用できる。また、1996年の米大統領承認事項および1998年の日米共同声明により、将来にわたり平和目的での利用が保証されている。

本標定システムでは、GPS衛星に搭載されている原子時計から生成されるC/Aコードとよばれる高精度のパルス信号を利用し、子局間の時刻同期をとっている。また、子局に内蔵される計時装置(計数カウンタ)も、衛星からのパルスに同期した高精度水晶発振器を利用している。このようにGPS衛星を利用することで、高精度の計時が比較的簡易な装置で実現できる。

5. システム構成

5.1 システム構成

本装置のシステム構成を図3に、概要を表2にそれぞれ示す。本装置は、標定区間両端にあたる葛南変電所および戸洞26号MHに設置された子局と、これに接続される光磁界センサおよびGPSアンテナ、ならびに船橋工務所に設置された親局とから構成される。親局 - 子局間は光ネ

表2 故障点標定装置の概要
Principle of fault location

項目	仕様
標定方式	サージ電流到達時間差検出方式
サージ検出センサ	光磁界センサ
センサ設置場所	ケーブル終端および中間接続部
時刻同期方式	GPS衛星パルス信号利用
標定精度	±10m以内
標定分解能	約2m
適用可能距離	約50km(地中線の場合)

超高压電力ケーブル用故障点標定システム

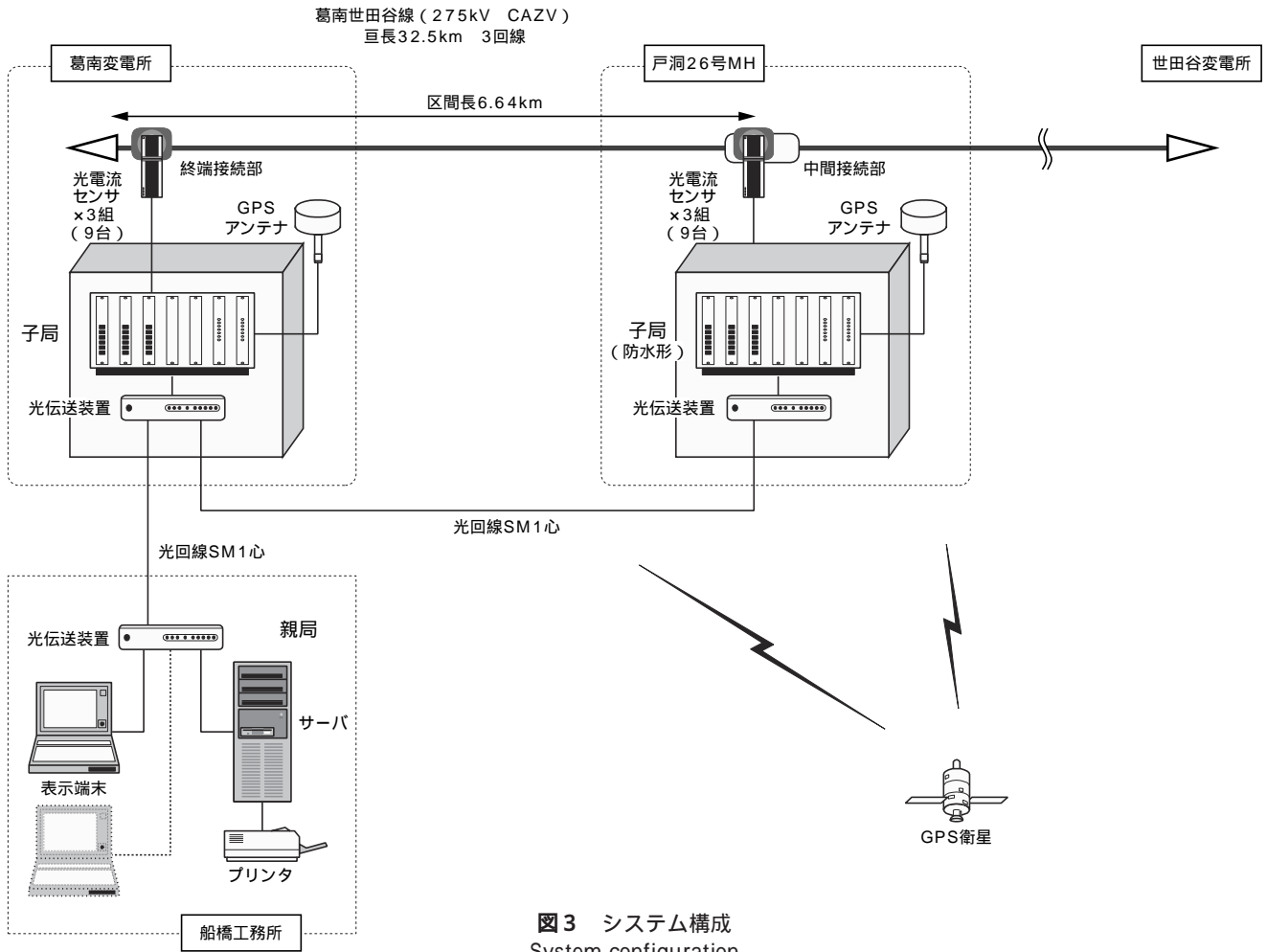


図3 システム構成
System configuration

ネットワークにより接続されており，SMファイバ1心で通信が可能である。

各子局は，常時，GPS衛星から送信される同期クロックを受信することにより，内部カウンタの同期をとっている．子局は地絡故障発生時に進行するサージ電流を，終端接続部および中間接続部に設置された光磁界センサをかいして波形処理装置に取り込み，ここで所定のレベルに達した時点のカウント値を保持する．親局は，子局でのトリップ信号の受信を確認した後，両子局からカウント値を収集し，(1)式により故障点距離を算出して画面表示する．

5.2 光磁界センサ

光磁界センサは，電流によってケーブル周囲に生じる磁界変化を，ファラデー効果により光量変化に変換するものである．高絶縁性，耐電磁誘導性の特長を持つことから電流計測の手段として実用化されている．

今回，サージ電流の検出に適した周波数特性をもつ，高性能な光磁界センサを開発し適用した．高価となるフェライトリングコアを省いており，コンパクトで据付容易な構造となっている．またセンサはモールドされ，防水構造となっている．

光磁界センサの主要仕様を表3に，外観を図4にそれぞれ示す．

表3 光磁界センサの主要仕様
Specification of optical magnetic-field sensor

項目	仕様
ファラデー素子	Bi置換型希土類鉄ガーネット
発光素子	0.8μm帯LED
受光素子	PIN - PD
周波数特性	20kHz～1MHz
検出電流設定範囲	数10A以上
自己診断機能	センサ光路に関する異常 発光素子，受光素子に関する異常



図4 光磁界センサ外観
Appearance of optical magnetic-field sensor



図5 子局外観
Appearance of local station

表4 計数カウンタの諸元
Specification of calculation counter

項目	仕様
方式	GPS同期制御水晶発振方式
カウンタ分解能	$25 \times 10^{-9} \text{sec}$
安定度	$1 \times 10^{-9} / \text{sec}$ 以内

5.3 子局

子局は、GPSアンテナ、GPS受信機、波形処理装置、計数カウンタ、CPU、および光伝送装置から構成される。子局の外観を図5に示す。

子局は水晶発信器を内蔵しており、これから生成されるクロックをもとに計数カウンタを駆動している。計数カウンタはGPS衛星のパルス信号を利用して同期をとるため、各子局の計数カウンタは常に高精度の同時性が保持されている。計数カウンタの主要仕様を表4に示す。カウンタ分解能25nsecは、ケーブル中のサージ伝搬速度が160m / μsec の場合、2mの標定距離分解能に相当する。

子局は光磁界センサからの入力信号が所定のレベルに達した時点で、計数カウンタのカウント値をサージ極性情報とともに保持する。また、子局（葛南変電所）は変電設備からトリップ信号を受信し、親局に故障検出情報（線路、相、時刻等）を通知する。

本適用例では、片端（戸洞26号）がマンホール部となっている。子局筐体は設置環境に応じて普通形と防水形の2種類が用意されており、戸洞26号MHに設置される子



図6 GPSアンテナ設置状況
Appearance of GPS antenna



図7 親局外観
Appearance of master station

局には、防水形を適用した。またGPSアンテナは、マンホール入孔口内部においてもグレーチング下面に設置することで、衛星からのパルス信号を受信することができる。GPSアンテナの設置状況を図6に示す。

5.4 親局

親局は、光伝送装置、サーバ、表示端末、プリンタ等から構成される。親局の外観を図7に示す。

親局は子局からトリップ信号検出の通知を受けると、各子局からカウント値をはじめとするサージ波形データを収集する。これらのデータを照合し、所定の条件を満足すれば、(1)式により故障点標定計算を行う。

標定結果はサージ波形データとともにサーバに保存され、これらのデータは表示端末で表示される。表示端末では、Webブラウザによりこれらのデータを表示することができ、ネットワーク上の任意の箇所（ハブ）に端末を接続することにより、情報表示が可能である。また、サーバおよびネットワークには標準規格に準拠した製品を使用し、かつ十分な処理能力／容量が確保されていることから、将来的な監視システムの増設等にも比較的容易に対応可能である。

5.5 自己診断機能

本システムは自己診断機能を有しており、自動的にシステムの健全性を確認することができる。主な診断項目としては、GPS電波受信状態、通信回線状態、波形処理装置のカウンタ、および光磁界センサの光損失がある。また、衛星の同期パルスを利用した擬似標定を行うことができ、システム全体の動作確認が可能である。これらの機能により、メンテナンスフリーを実現している。

6.むすび

GPSの計時技術を利用した、シンプルかつ高精度な標定が可能な故障点標定システムを、東京電力株式会社の葛南世田谷線に納入した。今後、ケーブル故障時の復旧時間の短縮化および保守の省力化に貢献できるものと期待する。

なお、本システムは東京電力株式会社の型式試験に合格し、地中線光式事故点標定装置の標準仕様の一つとなっている。

また、本システムは東北電力(株)と極東貿易(株)が共同開発したGPS利用架空送電線故障標定技術を応用したものである。

参 考 文 献

- 1) 大衡ほか：平成10年電気学会電子情報システム部門大会 A-15-3, 1998