

# 配電自動化の新しい技術

## 配電システムの事故探査システムの開発

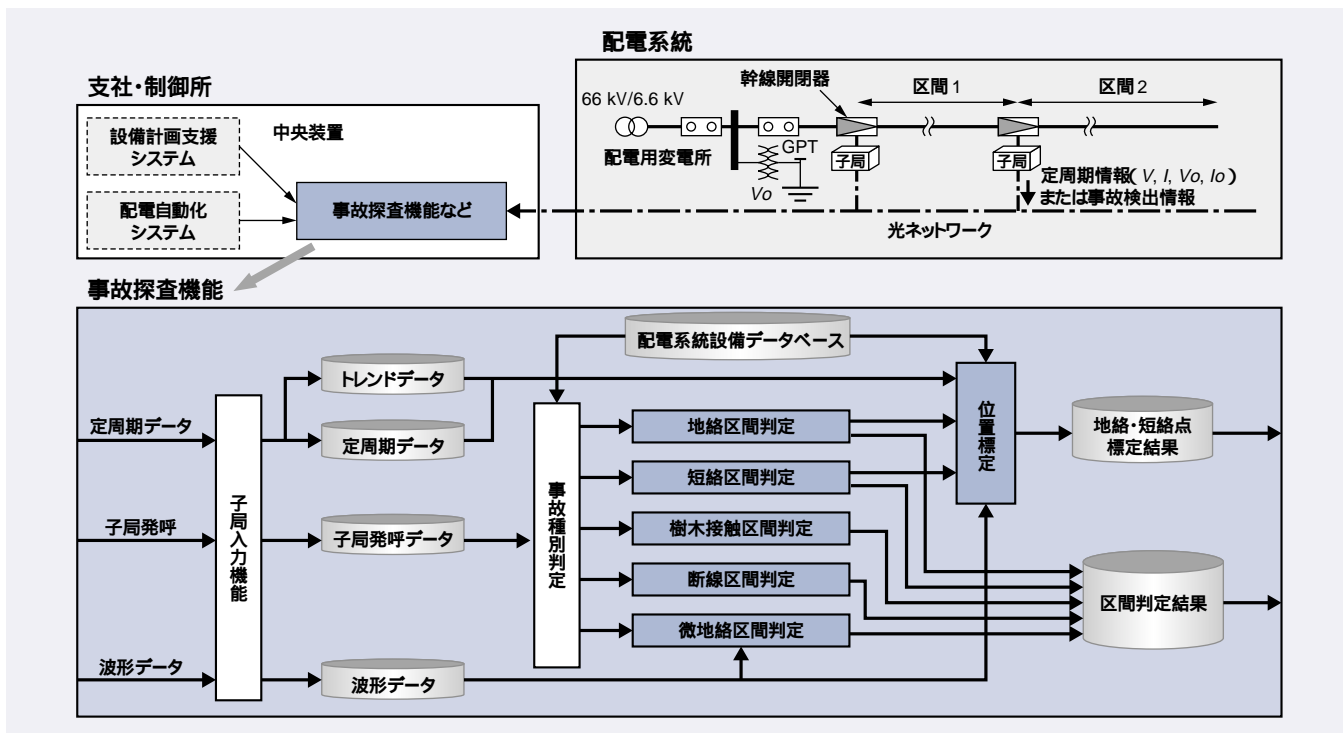
### New Technologies for Automating Power Distribution

橋身 優 Masaru Tatemi

渡辺 雅浩 Masahiro Watanabe

中村 知治 Tomoharu Nakamura

島村 秀彦 Hidehiko Shimamura



注:略語説明  $V_0$ (零相電圧),  $I_0$ (零相電流),  $V$ (線間電圧),  $I$ (線路電流), GPT( Grounding Potential Transformer )

#### 配電システムでの事故探査機能の位置づけと概要

子局で検出した事故(微地絡, 樹木接触, 地絡事故, 短絡事故, 断線)を中央装置で把握し, 事故点探査機能により, 事故の発生区間を特定する。地絡・短絡事故については, 事故点探査機能により, 位置標定も行う。事故の区間判定や位置の標定に必要な配電線の設備情報を共有するために, 既存システムである設備計画支援システム・配電自動化システムと連系している。

東京電力株式会社は, 数社の協力の下に, 配電ネットワーク運転高度化システムの開発を進めている。日立製作所は, そのうちの事故探査機能を担当し, 開発した。事故探査機能は, 地絡時の巡視範囲を縮小し, 保守作業を軽減させるための地絡事故点探査機能と短絡事故点探査機能, 樹木の電線への接触を検知する樹木接

触検出機能, 変電所リレーが反応しない程度の微地絡を検知するケーブル状態監視機能, および切れた電線を確認に検知するための断線検出機能を備えている。これらの機能は, 安全かつ安定的な電力供給に貢献する。

## 1 はじめに

日立製作所は, 東京電力株式会社からの委託により, 配電ネットワーク運転高度化システムを構成する事故探査機能を開発した。このシステムは, 事故時の迅速な対応と電力品質の維持を目的として開発されたものである。

ここでは, 配電ネットワーク運転高度化システムの概要と, 日立製作所が担当した同システムの事故探査機能について述べる。

## 2 配電ネットワーク運転高度化システム

このシステムは, 配電線上に点在して電流センサ・電圧センサを備えているセンサ内蔵開閉器と, データを集約する子局, および子局から計測データを受け取る中央装置で構成されている。子局と中央装置をつなぐ通信線は, すでにインフラストラクチャーとして整備されている光ファイバを利用する。

子局では, 地絡または短絡, 微地絡, 樹木接触を検出すると, そのときの波形を内部に記録し, 直ちに中央

装置へ異常を知らせる。事故探査機能は、それらの子局の異常検出情報と事故波形を分析して、事故区間の特定や事故点の標定を行うものである。配電ネットワーク運転高度化システムの機能は、(1)ケーブル状態監視、(2)樹木接触管理(3)高圧モニタリング(4)低圧モニタリング(5)系統電圧リアルタイム監視(6)高調波、フリッカなど、電力品質の常時監視、(7)リアルタイム系統電圧・電流を用いた監視制御(8)地絡・短絡事故点探査、(9)引込開閉器の監視、および(10)断線検出である(図1参照)。

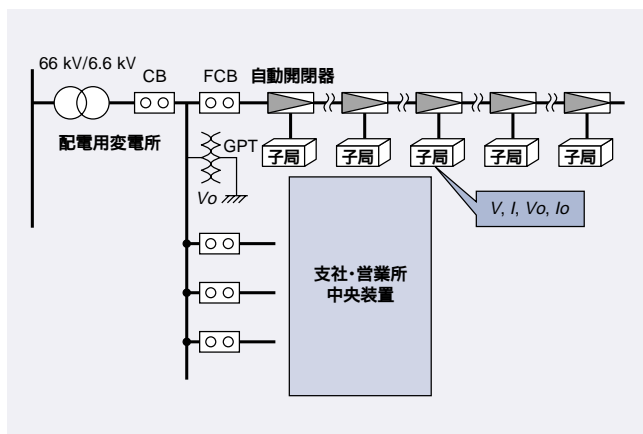
### 3 事故探査機能

事故探査の主な機能を表1に示す。さらに、事故探査機能の代表例として、ケーブル状態監視機能と地絡事故点探査機能について以下に述べる。

#### 3.1 ケーブル状態監視機能

変電所リレーが反応しない程度の微地絡を検出し、地絡による停電を未然に防止するために、ケーブル状態監視機能が必要になる。ケーブル状態監視機能は、ケーブルが劣化したときに発生する微地絡(針状波状の電流)を検出して区間判定を行う。ケーブル状態監視の処理内容を図2に示す。

同図中で、電力積方向判定は、零相電圧  $V_0$  および零相電流  $I_0$  の電力積を計算し、その極性によって微地絡の方向を判定するものである。電力積方向判定の具体例を図3に示す。これは子局2の  $V_0$  と  $I_0$  波形から微地絡の方向を決定した例である。同図(a)の  $I_0$  波形は、ケーブルの微地絡に特有な針状波形となっている。 $I_0$  波形は、同図(c)に示す  $V_0$  波形と極性反転のタイミングが一致するため、そのまま  $V_0$  と  $I_0$  の積から方向判定をする



注:略語説明 CB(遮断器),FCB(フィーダ遮断器),GPT( Grounding Potential Transformer )  
 $V_0$ (零相電圧), $I_0$ (零相電流), $V$ (線間電圧), $I$ (線路電流)

図1 配電ネットワーク運転高度化システムの概略構成  
 子局の電圧・電流センサの情報を利用して、地絡または短絡、樹木接触、微地絡区間(子局で区分された区間)を特定できる。

表1 事故探査機能の概要

$V_0, I_0$ 波形などから、配電系統で発生する異常(微地絡、樹木接触)や事故(地絡、短絡、断線)を検出し、その発生位置を特定する。

機能	内容
ケーブル状態監視	<ul style="list-style-type: none"> <li>ケーブルが劣化したときに発生する微地絡を検出した子局の位置情報から、微地絡発生区間を特定する。</li> <li>微地絡を検出した子局の <math>V_0, I_0</math> 波形を用いて区間判定する。<math>I_0</math> を90度シフトして <math>V_0 I_0</math> の電力積で極性判定しているため、誤判定が少ない。</li> </ul>
樹木接触管理	<ul style="list-style-type: none"> <li><math>V_0, I_0</math> のしきい値判定またはトレンド監視により、樹木接触を検出した子局の位置情報から樹木が接触している区間を特定する。</li> </ul>
地絡事故点探査	<ul style="list-style-type: none"> <li><math>V_0, I_0</math> のしきい値判定で地絡事故を検出した子局の位置情報に基づいて地絡事故点の区間を特定する。</li> <li>地絡区間特定後、事故時の <math>I_0</math> の共振周波数を用いて地絡事故点を標定する。</li> </ul>
短絡事故点探査	<ul style="list-style-type: none"> <li>電流のしきい値判定で短絡事故を検出した子局の位置情報に基づいて短絡事故点の区間を特定する。</li> <li>短絡区間を特定した後に、短絡点から電源側の二つの子局の線間電圧を用いて短絡点を標定する。</li> </ul>
断線検出	<ul style="list-style-type: none"> <li>断線点から、負荷側での零相電圧の上昇や、断線による負荷脱落分の電流低下を検出した子局の位置情報に基づいて断線区間を特定する。</li> </ul>

注: 区間 = 子局で区分される配電線区間

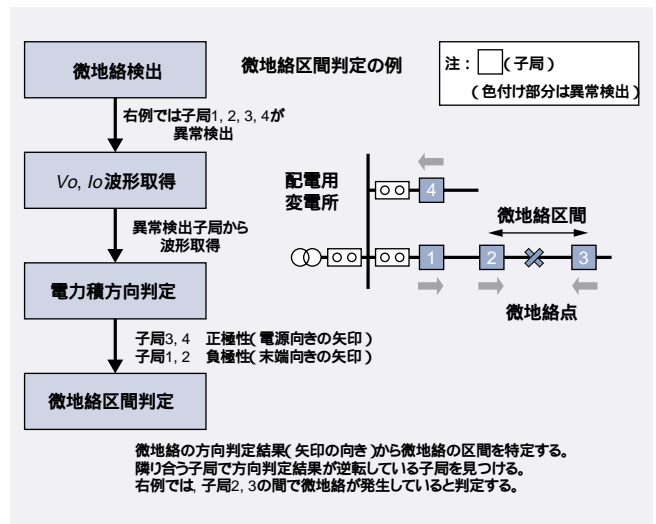
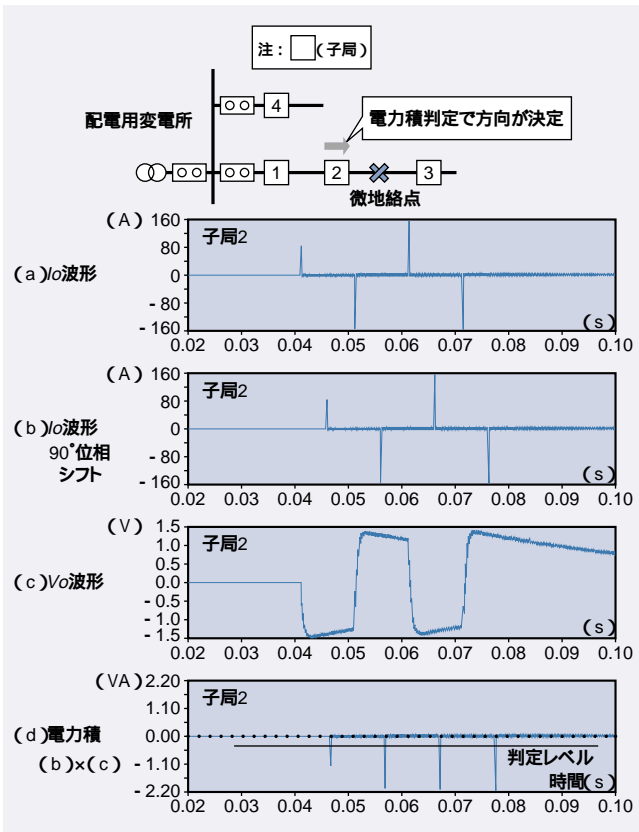


図2 ケーブル状態監視の処理内容

微地絡を検出した子局は、中央装置に異常を送信する。中央装置は異常検出した子局から  $V_0, I_0$  波形を取得し、電力積によって微地絡の方向(電源側か末端側か)を判定する。すべての異常検出子局について方向判定を行うことによって、微地絡区間を特定できる。

と誤判定する可能性がある。誤判定を防止するため、同図(b)に示すように  $I_0$  を90度シフトさせる処理を行った後に、電力積を計算する。結果を同図(d)に示す。この例では、電力積が負に振れて判定レベルを超えているため、負極性と判定する。すなわち、子局2より末端側に微地絡が存在すると判断する。以上の方向判定をすべての異常検出した子局に適用することにより、微地絡発生区間が特定できる。

このケーブル状態監視機能により、ケーブルの異常を初期の段階で発見し、地絡事故などの停電事故につながる前段階で適切に処置することができるため、電力品質の維持が期待できる。



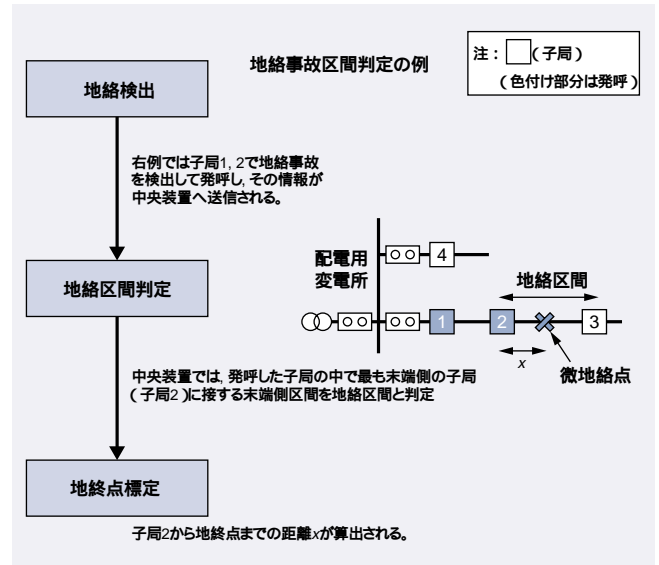
**図3 電力積方向判定法**  
 子局2のVo, ioによる方向判定(負極性)の例を示す。io波形を90度シフトした, Voとの電力積を算出する。電力積演算結果はプラスかマイナスのどちらか一方に振れるため, 極性がわかる。例では, マイナス側に振れているため負極性と判断され, 末端側に微地絡があると判定される。

### 3.2 地絡事故点探査機能

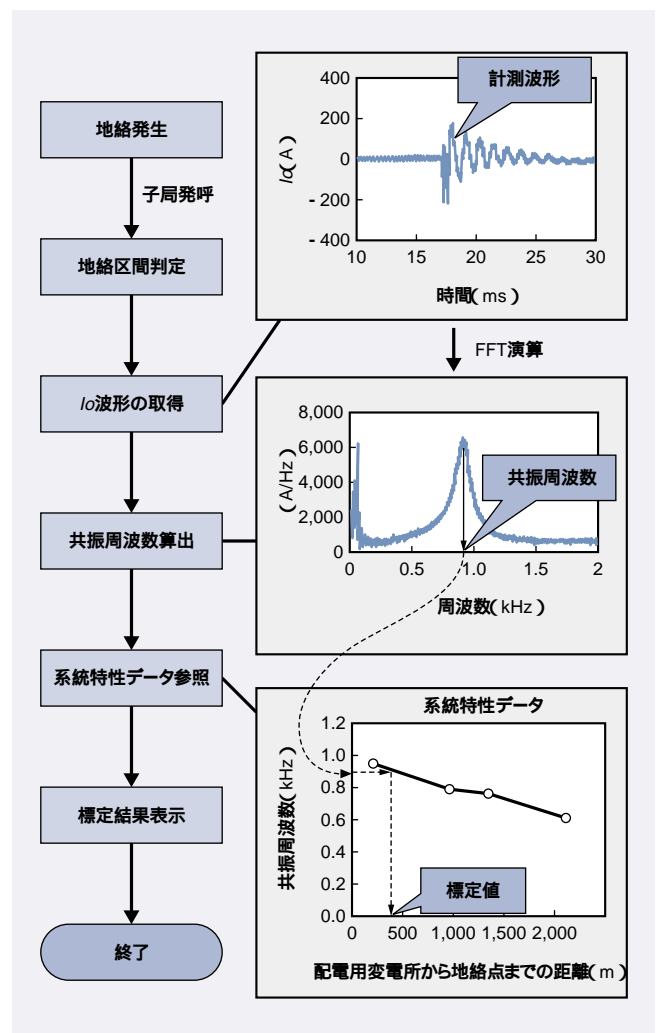
この機能は, 地絡発生時に地絡点を見つけるための巡視作業を軽減できるため, 省力化に貢献する。

地絡事故点探査の処理内容を図4に示す。地絡が発生すると, 地絡点が存在する配電線で地絡点より電源側の子局が, Voとioのしきい値判定により, 発呼して中央装置へ地絡事故を知らせる。中央装置は, 発呼した子局の位置を調べて地絡区間を特定する。具体的には, 配電線の最も末端側で発呼した子局に接する末端側の区間を地絡区間と判定する。地絡区間が判定されたら, 地絡区間の中のどこで地絡が発生しているのかを調べるために, 地絡点標定が行われる。

地絡点標定の処理内容を図5に示す。地絡区間判定の後に, 中央装置では, 地絡の発生している配電線の最も電源側の子局(図4の例では子局1)からio波形を取得する。取得したioをFFT(高速フーリエ変換)演算して共振周波数を求める。共振周波数は, ioスペクトルにおいて, ピーク値をとる点に対応する周波数とする。共振周波数をあらかじめ算出しておいた系統特性データ(事前シミュレーション結果)に当てはめ, 共振周波数に一致する系統特性データの周波数を検索し, その周波数に対応する距離を標定値とする。求まる距離は, 配



**図4 地絡事故点探査の処理内容**  
 地絡を検出した子局1, 2では, 中央装置へ地絡事故が発生したことを送信する(発呼)。中央装置は, 配電線の最も末端側の子局を調べて, その子局に隣接する区間を地絡区間と判定する。区間判定が終わると地絡点標定が行われる。



注: 略語説明 FFT(高速フーリエ変換)

**図5 地絡点標定の処理内容**  
 あらかじめ標定の対象となる系統をEMTP(Electromagnetic Transients Program)などの過渡解析ツールで模擬し, 各電柱で地絡が発生したときのioの共振周波数を系統特性データとして記録しておく。地絡時のioの共振周波数と系統特性データから標定値が求まる。

電用変電所から地絡点までの距離である。配電用変電所から近接する子局までの距離を差し引くことにより、近接する子局から地絡点までの距離(図4の例では子局2からの距離 $x$ )が求まる。

## 4 実証試験

配電ネットワーク運転高度化システムについては現在、検証試験を実施中である。しかし、実線路での検証期間中に事故探査機能の事象を検証できる可能性が低いため、試験場で人工的に事故を発生させ、事故探査機能を検証した。その結果の概要は以下のとおりである。

### (1) ケーブル状態監視機能

区間判定では、すべてのケースで正しく判定されうる結果を得た。

### (2) 樹木接触管理機能

トレンド変化による検出、または子局異常検出による区間判定では、すべてのケースで正しく判定されうる結果を得た。

### (3) 地絡事故点探査機能

地絡抵抗などの制約条件はあるものの、標定誤差が配電線総こう長の $\pm 10\%$ 以内となる結果を得た。

### (4) 短絡事故点探査機能

短絡事故区間判定では、すべてのケースで正しく区間判定された。試験系統条件では、標定誤差が配電線総こう長の $\pm 5\%$ 以内となる結果を得た。

### (5) 断線検出機能

断線区間判定では、すべてのケースで正しく区間判定された。

以上の結果から、事故探査機能の有効性が確認できた。

## 5 おわりに

ここでは、配電ネットワーク運転高度化システムの概要と、このシステムを構成する日立製作所が開発した事故探査機能について述べた。

日立製作所は、配電システムの合理化のため、今後も事故探査機能の実用化に取り組んでいく考えである。

### 執筆者紹介



楯身 優

2002年日立製作所入社、電力グループ 電力・電機開発研究所 送変電プロジェクト 所属  
現在、配電システムの絶縁監視技術の研究に従事  
電気学会会員  
E-mail:masaru.tatemisa@hitachi.com



中村 知治

1978年日立製作所入社、電力グループ 電機システム事業部 電機ソリューション本部 所属  
現在、配電用機器、システムに関するソリューションの企画に従事  
電気学会会員、IEEE会員  
E-mail:tomoharu.nakamura.vm@hitachi.com



渡辺 雅浩

1991年日立製作所入社、日立研究所 情報制御第二研究部 所属  
現在、配電システムの解析制御技術の研究に従事  
電気学会会員、IEEE会員  
E-mail:mwata@gm.hrl.hitachi.co.jp



島村 秀彦

1983年日立製作所入社、電力グループ 日立事業所 国分生産本部 受変制御設計部 所属  
現在、配電システムの制御システムの開発に従事  
電気学会会員  
E-mail:hidehiko.shimamura.sb@hitachi.com