

配電線における可搬型地絡区間標定装置の開発

堀田 剛^{*1}

1. まえがき

高圧配電線で微地絡（変電所の DG リレーは動作するが、継続時間が短いために遮断器が遮断に至らない地絡）が発生すると、巡視点検や高圧地絡方向表示器の取付等により地絡点の探査を実施している。現在、高圧地絡方向表示器が各支店支社に 10 台程度ずつ配備されているが 標定精度と取り扱いの難しさに問題がある。また、微地絡の区間を特定できない場合は、配電線の全範囲の巡視点検が必要となり、多大な労務量がかかっている。そこで、今回、配電線路途中に施設されている自動開閉器に内蔵された零相変流器（ZCT）からの 零相電流(I₀)を利用して微地絡区間を標定（地絡相と地絡方向の判定）できる低コストな可搬型システムを開発したのでその概要を報告する。

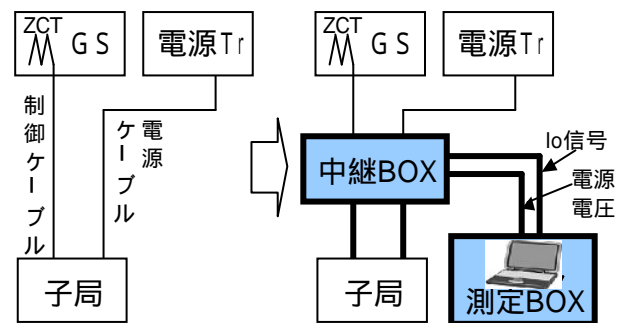
2. 地絡区間標定装置の概要

地絡区間標定装置は、測定ボックス、中継ボックスおよび接続ケーブルで構成されている。零相電流（I₀）信号は数十 mV 程度の微小信号であるため、ノイズ低減対策として中継ボックスを設け、中継ボックスから測定ボックス間のケーブルはシールド線を使用した。

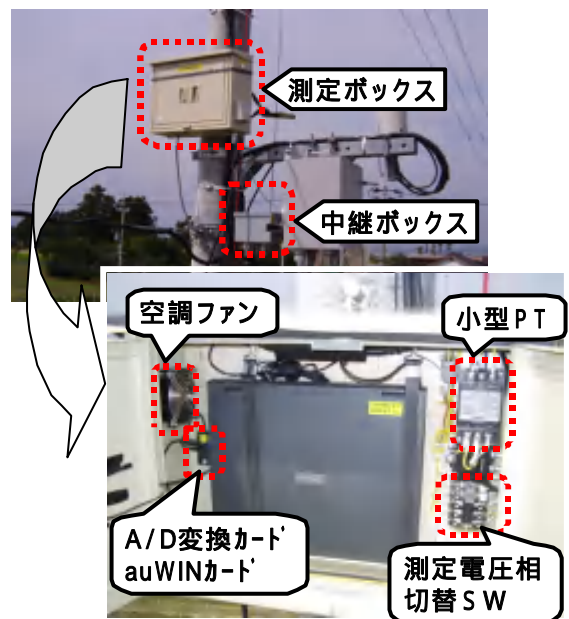
測定ボックスについては、小型化および低コスト化を図るため、市販の波形記録専用測定器等は採用せず、必要最小限の機能を有すればよいという観点でノート PC のカードスロット挿入タイプの A/D 変換カードを採用した。A/D 変換後のデータ処理（トリガ監視、データ保存等）は全てノート PC 側で実施するため、ある程度高性能の仕様（本 PC はクロック周波数 2.3GHz、メモリ 512MB に増設）を満たすものが必要である。データ通信は、省スペース、通信料低減を考慮して PC カードタイプの携帯電話回線のデータ通信を利用した「WIN カード」を採用した。また、夏期の測定に対応させるため小型空調ファンを取り付けし、測定ボックス内部の過熱防止対策とした。電源電圧の取り込みは、現場がどのような相配置でも対応

できるように、バナナ端子で簡単に切り替え可能とし、小型 PT（PT 比 40 : 1）を經由して降圧した信号が A/D 変換される。

そして、中継ボックスは取付・取外し時間の短縮および少設置スペースの確保を意識して、子局の片出しアームに取り付けることができる形とした。



（取付け前） （取付け後）
第 1 図 地絡区間標定装置の取付前後の接続図



第 2 図 地絡区間標定装置設置状態（上）と
測定ボックス内部（下）

装置の単価は現在の高圧地絡方向表示器の約 6 割となった。地絡区間標定装置の取付前後の接続図を第 1 図に、地絡区間標定装置を実際に電柱上に取り付けた状態と測定ボックス内部の写真を第 2 図に示す。子局の周辺のみコンパクトに取り付

^{*1} 技術開発・環境保全センター 技術開発チーム

けてあるのがわかる。

装置の取付・取外しの作業性については、中継ボックスを追加したため、時間を要することが懸念されたが、既設ケーブルと中継ケーブルの余長処理が容易になったことや測定ボックス背面に足場ボルトへ取り付け可能なフックを設けたこともあり、取付時間は1台当たり30分程度となり作業性等は問題無い。また、子局周辺でのみで作業するため、高圧線にセンサを取り付ける必要のある高圧地絡方向表示器よりも安全性も高いと思われる。

3. 地絡区間標定プログラムの開発

(1) プログラムの概要

今回開発した地絡区間標定プログラムは、現地に設置するノートPC内にインストールしておく「標定装置用」と各装置からの記録データを伝送し、そのデータを使って事務所で解析(地絡相と地絡点向きの判定)する「事務所用」とに分かれている。その地絡区間標定プログラム以外に事務所から現地のパソコンの遠隔操作やデータ伝送に必要なソフトはフリーソフトを採用した。

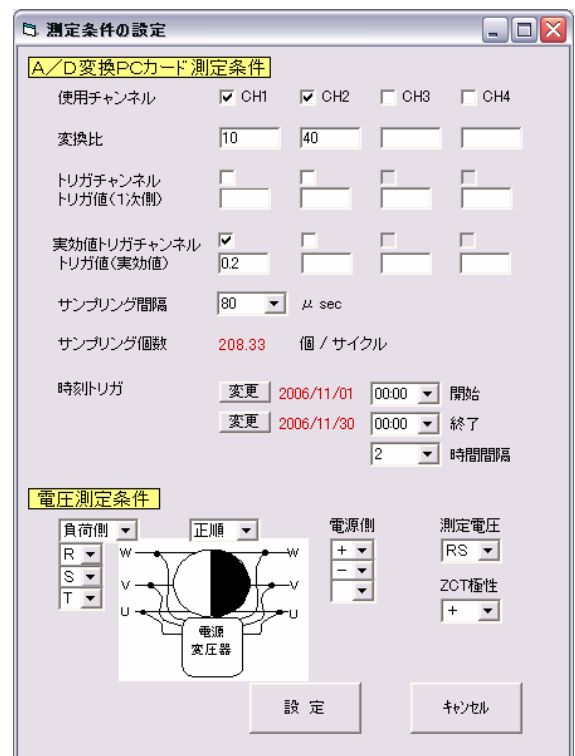
第1表に各プログラムの機能および必要なフリ

第1表 プログラムの機能

	標定装置側 PC	事務所側 PC
装置情報設定		
測定条件設定		
メール通報先設定		
波形表示 (単独・5連)		
解析 (地絡相・向き判定)		
(必要市販ソフト)		
・WINVNC：PCの遠隔操作		
・桜時計：定期的にPC時刻を標準時刻に補正		
・DiCE：ダイヤルアップ毎に変化するIPアドレスをDNSサーバーに自動登録することで、グローバルIPアドレス指定を不要にする		

ソフトを示す。ただし、標定装置用パソコンでもHD内に保存してあるデータを使用して解析することも可能とし、現地でも地絡相、地絡向きがわかる。第3図に標定プログラムの測定条件設定

の画面を示す。今回採用したA/D変換カードは入力chが4ch仕様であるため、プログラム上でも4chまで対応可能であり(本方式の必要ch数は2ch)、各ch毎に、「変換比」、「波高値トリガ」、「実効値トリガ」を設定可能とした。トリガ条件(OR条件)を満たした場合、トリガ時の±1秒、計2秒間の波形データが保存される。また、「時刻トリガ」機能を付加し、数時間間隔で定期的な残留Io値も測定可能である。電圧測定条件については、各現場の相配列、系統の潮流(電源側、負荷側)をグラフィックで確認しながら設定できるように工夫した。なお、自動開閉器に内蔵されたZCTについても現場毎に開閉器の施設方向が一定ではない(必ずしもZCTのK側が系統の電源側ではないケースもある)ため、極性を入力するような欄を設け、それを後述する位相差計算結果に反映する(「-」の場合は180度反転させる)ようになっている。



第3図 測定条件設定画面

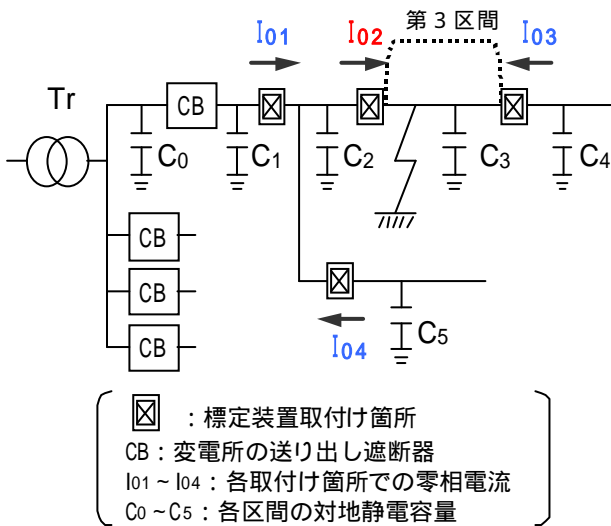
(2) 標定方式

Ioと電源電圧の波形データから地絡相(R, S, T相)と地絡方向(電源側か負荷側)を判定するアルゴリズムについては、「Io実効値比較方式」と「電源電圧とIoとの位相差比較方式」と2つを採用し

ており、それについて述べる。

a . I₀ 実効値比較方式

配電用変電所からは通常、複数の配電線が接続されており、地絡が発生した場合、各配電線から一様に地絡点に向かって I₀ が流れる。各配電線の開閉器には、地絡点側と反対の向きにある区間の対地静電容量を合計した値に相当する I₀ が流れることになり、本方式は各開閉器で観測される I₀ の実効値の大小を比較することで地絡方向を判定するものである。第4図の場合は、地絡区間標定装置を4台設置した場合であり、地絡地点の電源側から流れ込む I₀₂ が最も大きく、かつ I₀₃ は非常に小さくなり、事故区間は第3区間と標定できる。



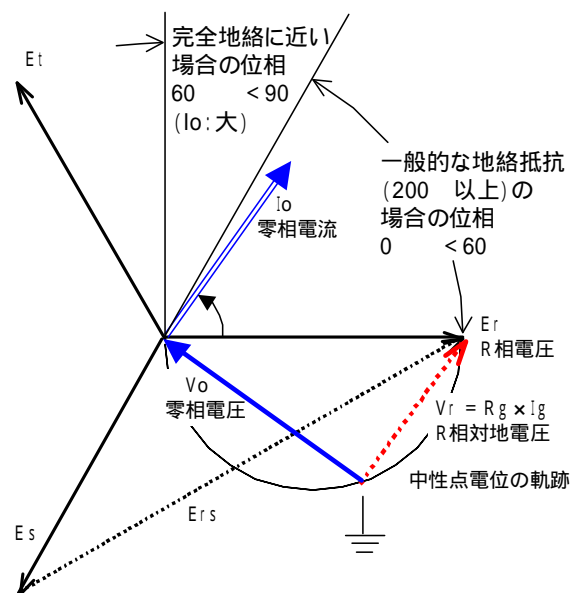
第4図 I₀ 実効値比較方式の説明図

b . 電源電圧と I₀ との位相差比較方式

任意の電源電圧(基準)と零相電流(I₀)の位相を比較し地絡相および地絡点向きを判定するものである。

第5図にR相が地絡した場合の各相電圧、I₀ および V₀ のベクトル図を示す。一般的に、配電線に地絡が発生すると、地絡相の相電圧(3,810V)を電源として地絡回路に I₀ が流れる。地絡回路は、対地静電容量と地絡抵抗のみの回路として単純化して計算すると、通常の配電系統(配電用変電所の同一変圧器に接続された配電線全体の対地静電容量が約 9 μF/三相)では、地絡抵抗が 200 以上の場合で、地絡点当該監視箇所の負荷側の場合は、地絡時の I₀ の位相は地絡相電圧の位相から約0度から 60度進んだ範囲内に存在することにな

る。また、地絡時の零相電流は地絡点の電源側と負荷側で 180 度位相が異なるため、地絡点を挟んだ反対側では地絡相電圧の位相に対して約 180 度から 240 度進んだ範囲内となる。このことから電源電圧と I₀ の位相差に応じて地絡相および向きを判定することができる。なお、過年度の研究で、配電用変電所で観測した地絡事故時の V₀ と I₀ のデータを統計した結果、200 以上の地絡は全体の約 80% を占めており、前兆地絡時には高抵抗となる傾向にあることを考慮すると、R相の負荷側が地絡した場合は、R相電圧と I₀ の位相差は 0 ~ 60 度の範囲に入る可能性が高くなると思われる。これにより、標定装置を1箇所のみ取付けた場合でも、任意の電圧を基準とした I₀ の位相に応じて、地絡相(R, S, T相)および地絡点向き(電源側, 負荷側)を判定することが可能である。



第5図 R相地絡時のベクトル図

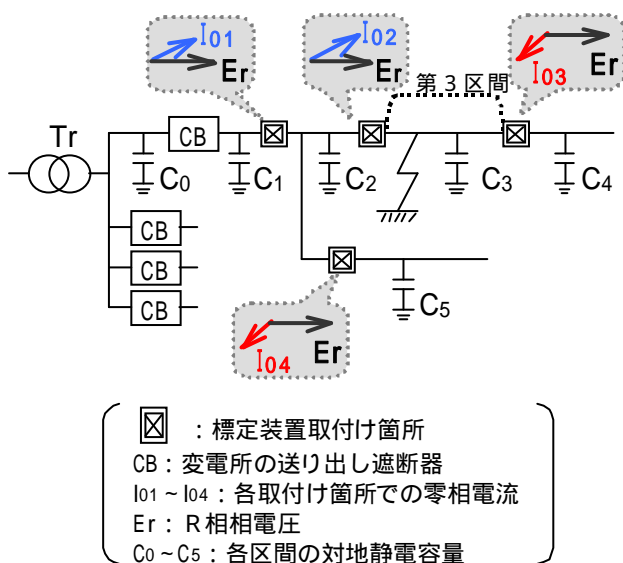
第2表に電源電圧が Er (R相電圧) の場合の判定表を示す。例えば、電源電圧と I₀ の位相差が 100 度の場合は S 相の電源側と判定し、210 度の場合は R 相の電源側と判定する。

第6図は、地絡区間標定装置を4台設置した場合である。I₀₁ と I₀₂ の電源電圧との位相は約 30 度とすれば、第2表から地絡相は R 相で地絡方向は負荷側となり、I₀₃ は約 210 度であるため、地絡相および地絡方向は R 相・電源側となる。I₀₄ も I₀₃ と同様に R 相・電源側となるが、隣接する I₀₁ と I₀₂ の結果から、最終的には、地絡は第3区間の R 相

と判定される。

第2表 電源電圧（R相電圧）とI₀の位相差と地絡相および地絡点向きの関係

I ₀ の位相 (度, 進み)	地絡相(地絡点向き)
0 < 60	R相(負荷側)
60 < 120	S相(電源側)
120 < 180	T相(負荷側)
180 < 240	R相(電源側)
240 < 300	S相(負荷側)
300 < 360	T相(電源側)



第6図 電源電圧とI₀との位相差比較方式の説明図

実際の測定では、電源電圧は線間電圧を測定するため、その測定電源電圧がR-S相の場合は、第2表の数値に30度を減算した区分となる。それを第3表に示す。仮に、測定する電源電圧がS-T相、T-R相であれば、それぞれ240度、120度を位相差に加算して補正することになる。

(3) 標定手順

同一配電線に本標定装置を複数台設置し、地絡が発生した場合の標定手順は、記録された波形で、まず「I₀実効値比較方式」で区間を特定する。地絡抵抗値が高くなれば、実効値の差は小さくなる傾向にあるが、その差は必ず現れるため区間の特定は可能である（特異なケースとして、スキー場に電力供給していて先方ケーブルがバンク全体のケーブルよりも大きい等、極端な系統の場合は地絡点の負荷側の方が実効値が大きくなるケースは

ある）。次に、その区間の特定結果を考慮して「電源電圧とI₀との位相差比較方式」で地絡相と地絡点向きを判定する。最終的には、地絡点の電源側と負荷側で零相電流の位相は約180度異なることや、複数設置箇所での判定結果、変電所情報(OVGリレーで地絡相が検出された場合)を総合的に判断し、区間を特定することになる。

第3表 電源電圧（R-S相）とI₀の位相差と地絡相および地絡点向きの関係

I ₀ の位相 (度, 進み)	地絡相(地絡点向き)
0 < 30 330 < 360	R相(負荷側)
30 < 90	S相(電源側)
90 < 150	T相(負荷側)
150 < 210	R相(電源側)
210 < 270	S相(負荷側)
270 < 330	T相(電源側)

4. フィールド試験の実施

開発した装置および標定プログラムの有効性を検証するため、現在、微地絡発生で原因不明な配電線に装置を複数台取り付けてフィールド試験を実施した。実施した箇所は、T支店のO線である。

第7図にO線の系統図を示す。現場からの情報によると、風速15m/sec以上の強風時に変電所のDGRが動作する傾向にある配電線であった。この配電線は7区間までである系統であるが、今回、標定装置を7600と8500に2台取り付けた（同図の印）ことにより、標定区間は、同図の「標定区間1」から「標定区間3」までの3つの区間のどの区間が微地絡発生区間かを標定することになる。波形記録は実効値トリガとし0.2Aと設定した。

第8図に複数回観測された中の代表波形を示す（2005年9月7日は台風が県内を通過した日）。同図の上の波形は7600で記録された波形で、同図の下の波形は8500で記録された波形である。波形継続時間は両波形とも約0.12secであり立ち上がり急峻な針状の波形で、ピーク値で約10A、3サイクル分の実効値で2.2A(7600)、1.7A(8500)である。実効値が同程度であること、立ち上がりの極性(立ち上がり部分が+側か-側)も同じであることから、標定区間1が地絡原因物が存

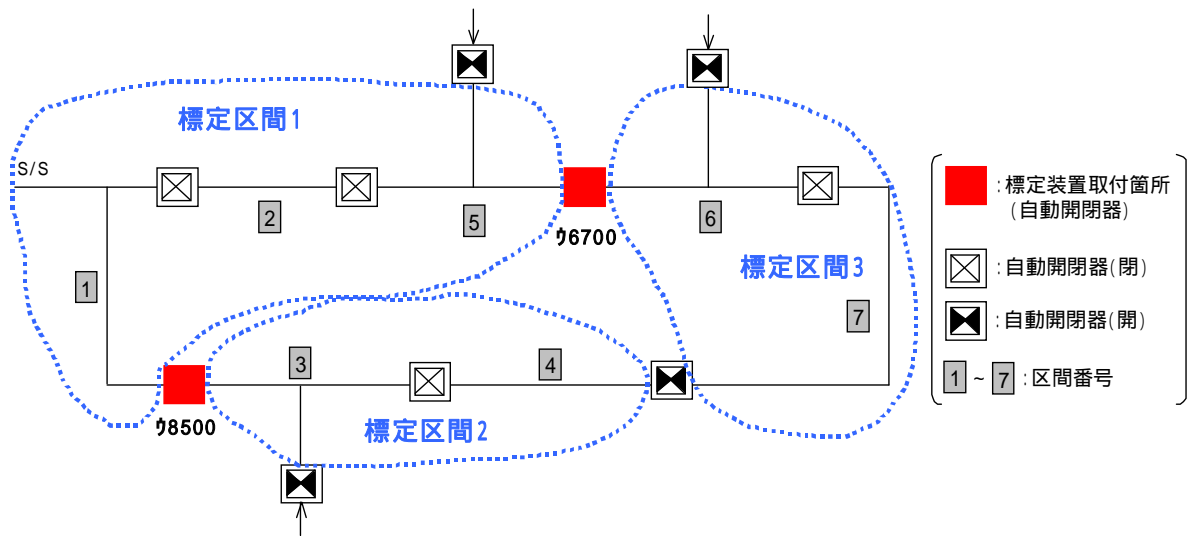
在する区間と推定できる。実効値の差異は、装置取付箇所より負荷側の対地静電容量の違いによるものと思われる。

また、電源電圧(R-S 線間電圧)と I_o との位相差計算結果を第4表に示す。 ω 6700 は 198 度、 ω 8500 は 199 度となり、第3表より、地絡相と地絡点向きはいずれも R 相の電源側となり、 I_o 実効値比較方式による判定結果が一致した。

仮に、標定区間2 が微地絡区間であれば、 ω 8500 にはその電源側と健全フィーダの対地静電容量分

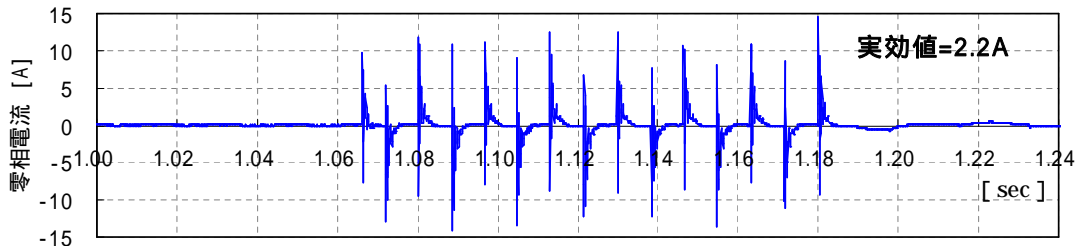
の電流が流れるため、 ω 6700 よりも実効値が大きくなるはずであり、電源電圧(R-S 線間電圧)と I_o との位相差も逆方向になるはずである。

この波形が観測された後の T 支店での巡視の結果、第1区間(第7図の区間1)で高圧スペースメッセンジャーと高圧線が接触しているのが発見され、標定結果と一致した。これにより、 I_o 実効値の大きさ、あるいは電源電圧と I_o の位相差を比較すれば、地絡区間が標定できることが検証された。

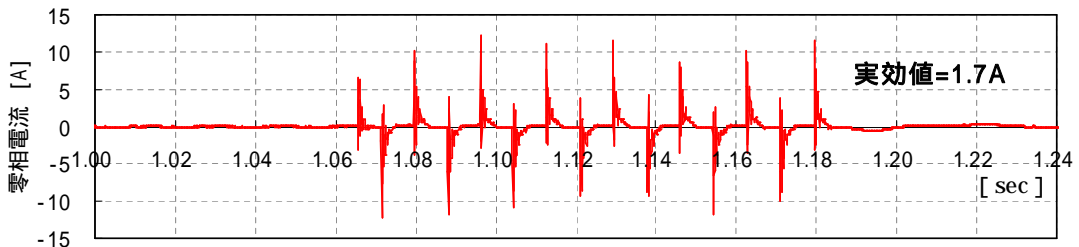


第7図 O線系統図

記録日時:2005/09/07 11:23:10



(a) 96700で記録された I_o 波形



(b) 98500で記録された I_o 波形

第8図 O線で観測された波形

第4表 O線での電源電圧（R - S相）と
Ioの位相差

測定箇所	Ioの位相差 (度, 進み)	地絡相 (地絡点向き)
ウ6700	198度	R相(電源側)
ウ8500	199度	R相(電源側)

5. まとめ

本研究では、地絡区間標定装置の製作、標定プログラムの開発を実施し、実フィールド試験でそれらの有効性が確認できた。既設の自動開閉器に内蔵されたZCTを利用した低コストかつ特徴的なシステムになったと思われる。この成果は、平成18年度からの「配電自動化による地絡区間標定の実用化研究」に引き継がれ、配電自動化システム(事業所計算機, 自動化子局)更新に合わせて、今回開発した地絡区間標定機能を常設型として組み込まれる計画である。このシステムが現場の保守業務に有益に働くことを確信している。

本研究の実フィールド試験においては、富山支店、高岡支社、魚津支社、石川支店の各営業部配電サービス課、配電課にご協力いただき、関係各位に深く感謝の意を表す。