

# Ethernet<sup>(†)</sup>通信を適用した環線保護リレーシステム

## Protection Relay for Loop Transmission Systems Using Ethernet<sup>(†)</sup>-based Communication

福島 将太

森 貴弘

栗山 恵

小比賀 勢一

■ FUKUSHIMA Shota

■ MORI Takahiro

■ KURIYAMA Megumi

■ KOHIGA Seiichi

送電線保護用電流差動リレー（以下、送電線保護リレーと呼ぶ）は、送電線で発生した落雷などによる事故を検出し、事故区間を切り離す指令を遮断器に対して送出する装置であり、電力系統の安定運用を支えている。従来は、送電線の全端子からの電流量データをPCM (Pulse Code Modulation) 通信を介して収集し、それらのデータを使った電流差動演算の結果によって、保護する区間内の事故か区間外の事故かを判定する方式が用いられており、現在、広く普及している。

東芝と東京電力（株）は共同して、PCM通信に代えて、汎用のEthernet<sup>(†)</sup>通信を用い、隣り合う変電所と電力を必要とする需要家設備（以下、需要家と呼ぶ）の間を接続する環状構成の電力系統（以下、環線系統と呼ぶ）に対応した送電線保護リレー（以下、環線保護リレーと呼ぶ）を開発した。汎用通信技術の特長を生かし、電流量情報と保守運用情報の伝送において同一の伝送路を共用することで、装置や通信回線構築のコスト低減と、更なる高機能化に貢献できる。

Protection relays, such as line current differential relays, support the stable operation of an electric power system by detecting faults that occur in the system due to a lightning strike, etc., and issuing a trip command to circuit breakers in order to isolate the part of the network in which the fault has taken place. The conventional type of system is capable of detecting whether a fault is an internal or external accident in the area covered by protection through differential calculations using current data from all of the terminals on the transmission line collected via a pulse code modulation (PCM) communication system.

Toshiba and Tokyo Electric Power Co., Inc. have now developed a protection relay for loop transmission systems adopting an Ethernet<sup>(†)</sup>-based universal communication system that makes it possible to share the differential calculation information as well as maintenance and operation information among equipment in the network. The newly developed protection relay is expected to contribute to reductions in overall system costs and enhanced sophistication of protection relay systems.

### 1 まえがき

送電線保護用電流差動リレー（以下、送電線保護リレーと呼ぶ）は、送電線で発生した落雷などによる短絡・地絡事故を検出し、事故区間を切り離す指令を遮断器に対して送出する装置であり、電力系統の安定運用を支えている。従来は、送電線各端子からPCM (Pulse Code Modulation) 通信を用いて電流量データを収集し、同一の時刻にサンプリングした瞬時値データを用いて電流差動演算を行っていた。

近年、PCM通信に代えて、IEEE 802.3（電気電子技術者協会規格802.3）に準拠したEthernet<sup>(†)</sup>通信を適用することで、送電線保護リレーや通信回線構築のコスト低減が図れ、将来的には広域的な保護リレーシステムの構築など更なる高機能化が期待されている。このような背景から東芝と東京電力（株）は共同して、Ethernet<sup>(†)</sup>通信機能を組み込んだ送電線保護リレーを開発した<sup>(1), (2)</sup>。

今回、このEthernet<sup>(†)</sup>通信を採用し、隣り合う変電所と需要家の間を接続する環状構成の電力系統（以下、環線系統と呼ぶ）に対応した送電線保護リレー（以下、環線保護リレーと呼ぶ）を開発した（図1）。ここでは、開発した環線保護リレー



図1. 開発した環線保護リレー — 初装置を2014年12月に東京電力（株）の22 kV 環線系統に納入し、安定稼働を続けている。  
22 kV loop topology line protection relay panels of Tokyo Electric Power Co., Inc.

及びこれを用いたシステムの特長、伝送路の冗長化技術、及び動作検証の結果について述べる。

## 2 汎用通信を適用した環線保護リレーシステム

### 2.1 環線保護リレーシステムの構成

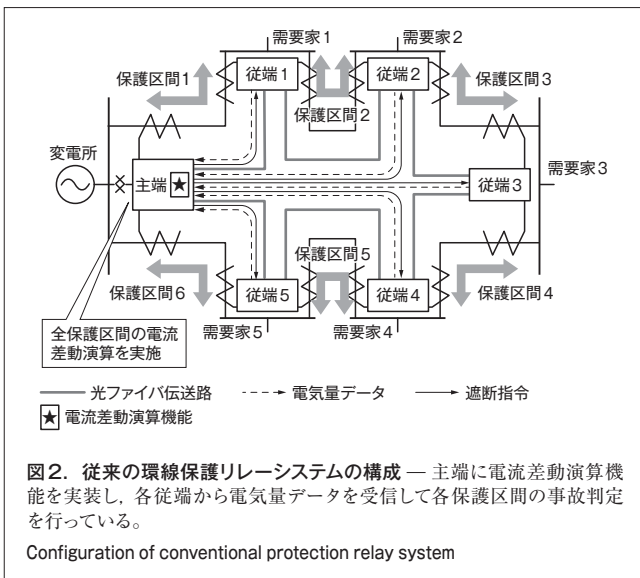
環線系統は、送電線が電力を流通する変電所から需要家を順に経由して、再び同じ変電所へとループ状に接続する電力系統である。変電所と需要家間及び需要家と需要家間の送電線保護は、電流差動演算方式を用いている。各送電線端での電流差動演算を行うために、電気量データを伝送する必要があるが、このための伝送路は、光ファイバを環線系統と同様にループ状に接続している<sup>(3), (4)</sup>。

従来の環線保護リレーシステムを図2に示す。変電所に設置している環線保護リレー（以下、主端と呼ぶ）と各需要家に設置している環線保護リレー（以下、従端と呼ぶ）に環線保護リレー専用の伝送インタフェースを実装し、光ファイバ伝送路内は環線保護リレーの電気量データだけを伝送している。

系統事故判定方式としては、代表端判定方式を採用している。この方式は、主端だけに電流差動演算機能を実装し、主端は各従端から電気量データを受信し、各送電線の保護区間の電流差動演算を行い、系統事故が発生した保護区間に隣り合う環線保護リレーへ遮断指令を送信することで、遮断器を開放し事故区間を切り離す。

また、従端は需要家内の地下に設置することがあり、保守などの際に電話回線や携帯電話を使えない場合があるため、他の通信手段が必要になる。このため、保護リレーの伝送データ内に音声通話データを実装し、専用のハードウェアで音声通信を実現している。

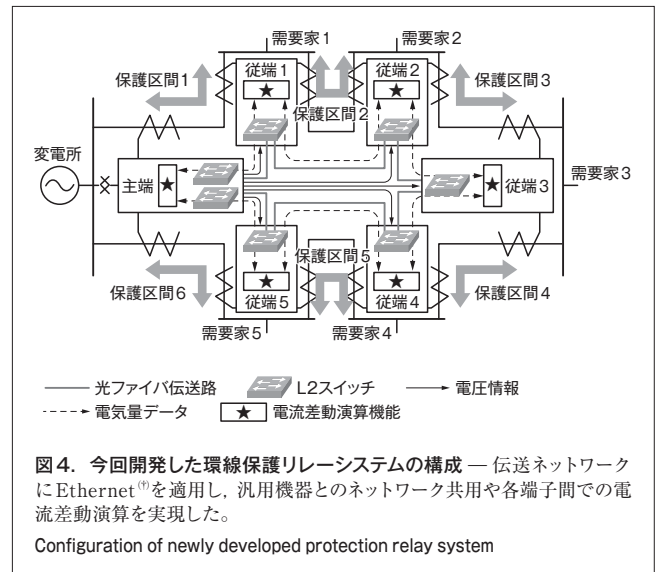
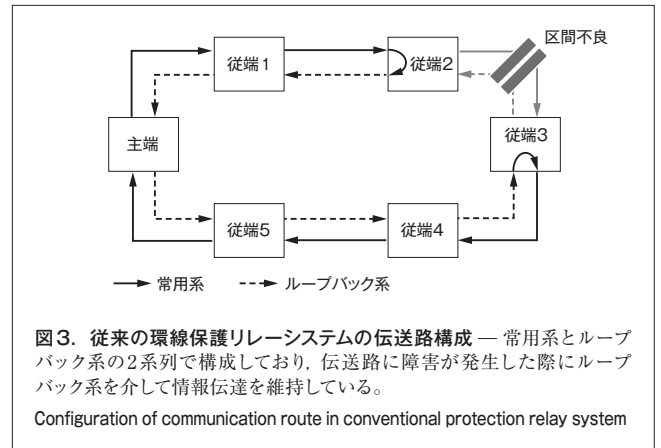
従来の環線保護リレーシステムの伝送路構成と伝送路区間不良時の応動を図3に示す。光ファイバ断線などの1区間の伝送不良に対して冗長性を確保するため、1対の光ファイバを伝送路として使用している。1対のそれぞれを常用系とループ



バック系として使用して、伝送路に障害が発生した場合は、不良区間手前で常用系とループバック系が折り返す形で情報伝達を維持するループバック機能を実装している。

今回開発した環線保護リレーシステムを図4に示す。主端及び従端にレイヤ2 (L2)<sup>(注1)</sup>スイッチを実装し、汎用のEthernet<sup>(注)</sup>通信によって各環線保護リレー間のデータを伝送する。また、敷設済みの光ファイバケーブルをそのまま流用して伝送できるように構成した。ここでは最大適用端子数を1主端と5従端の計6端子としている。

Ethernet<sup>(注)</sup>通信は、伝送路がループするとネットワーク内のEthernet<sup>(注)</sup>フレームが永遠に回り続け、通信帯域を圧迫して通信不良が発生する<sup>(5)</sup>ため、伝送路構成が物理的にループ状であっても、論理的には伝送トポロジーはスター型で構成する必要がある。このため、今回開発した環線保護リレーは伝送路がループ状であるが、論理的には伝送トポロジーはスター型構成



(注1) OSI (Open System Interconnect) の7段階層モデルのデータリンク層のうちの第2層で、Ethernet<sup>(注)</sup>はこの層の機能を備えている。

としている。

事故判定は、各端判定方式を採用している。この方式は、電流差動演算機能を各端子に実装し、各保護区間の事故判定を隣り合う端子の環線保護リレーで電流差動演算を行う。この電流差動演算結果と系統電圧の変化を組み合わせると事故を判定する。環線系統では、電圧を計測する端子は変電所だけであることから、電圧情報を主端が従端へ伝送することで、各装置で事故判定を行っている。

## 2.2 開発した環線保護リレーシステムの特長

今回開発した環線保護リレーシステムの特長は、以下のとおりである。

**2.2.1 汎用通信ネットワーク** 従来の環線保護リレーシステムでは、専用ハードウェアと伝送フォーマットによるサイクリック伝送を適用し、6.3 Mビット/sの伝送速度で電流量データを送受信している<sup>(4)</sup>。

一方、開発した環線保護リレーシステムでは、開発済みのEthernet<sup>(5)</sup>通信を適用した送電線保護リレーでの技術を活用し、1 Gビット/sの伝送速度で電流量データや保守運用データなどを伝送する。

**2.2.2 伝送路の冗長化** 伝送路の区間不良発生時に保護機能を継続できるよう、伝送路を冗長化する必要がある。このため、ネットワークを二重化すること、及び区間不良発生時に主端が電流量データの中継処理を行うことで、従来の環線保護リレー相当の機能を維持している。

### 2.2.3 電流量データと保守運用データの伝送路共有化

従来の環線保護リレーシステムの伝送路は、専用のネットワー

クにしているが、今回開発した環線保護リレーシステムではL2ネットワークを適用している<sup>(6)</sup>。また、保守運用のヒューマンインタフェースとしてパソコン(PC)を主端又は従端に接続し、整定値変更や状態表示などの保守運用データを、L2ネットワークを共有して他の各端子に送受信することで、各端子の状態表示や動作記録などを確認できるようにした。更に、音声通話データも同一のL2ネットワーク上で伝送することで、環線保護リレーシステムの簡素化を実現した。

ネットワークの構成を図5に示す。環線保護リレー内に実装するL2スイッチのVLAN(Virtual LAN)の設定により、物理的な接続形態は変えず、電流量データ、保守運用データ、及び音声通話データを同一ネットワーク上で論理的に分離して伝送する。

## 3 伝送路の冗長化技術

2.2.2項で述べたように、環線系統の伝送区間に不良が発生した場合は、伝送不良が発生した区間の両端に位置する端子間でデータの送受信が不可能になるため、伝送路を冗長化する必要がある。このため、今回開発した環線保護リレーは、ネットワークを二重化するとともに、主端で電流量データを中継できるようにした。

伝送路の構成を図6(a)に示す。主端を起点として、左回りに従端5を最終端にして折り返す1系ネットワークと、右回りに従端1を最終端にして折り返す2系ネットワークで伝送路を二重化して構成する。従端1から従端2、…、従端5までの回線は共有になる。

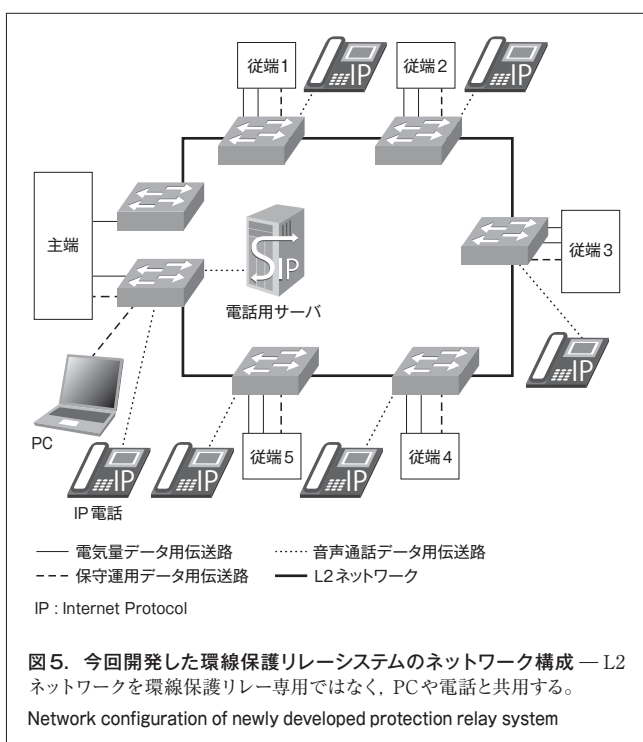
伝送不良時に環線保護リレーシステムが示す応動の一例として、従端2と従端3の間に伝送不良が発生した場合の応動を、図6(b)に示す。伝送不良を検出した従端2及び従端3は、中継用電流量データを主端に送信する。主端は中継用電流量データを受信し、そのデータを受信した側と異なる系のネットワークに中継して送信する。

これらの処理により、主端を経由して従端間で電流量データを送受信できる。

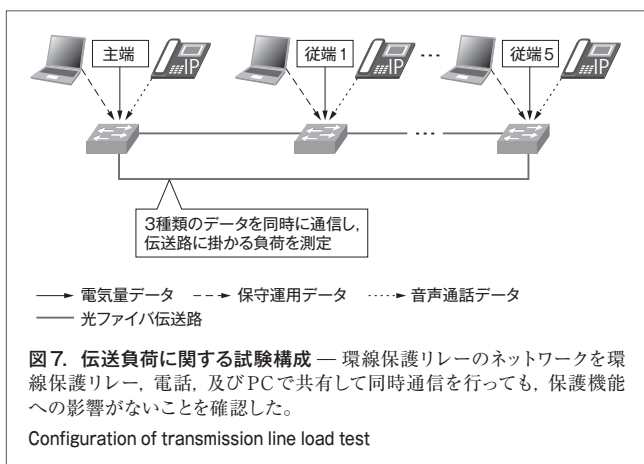
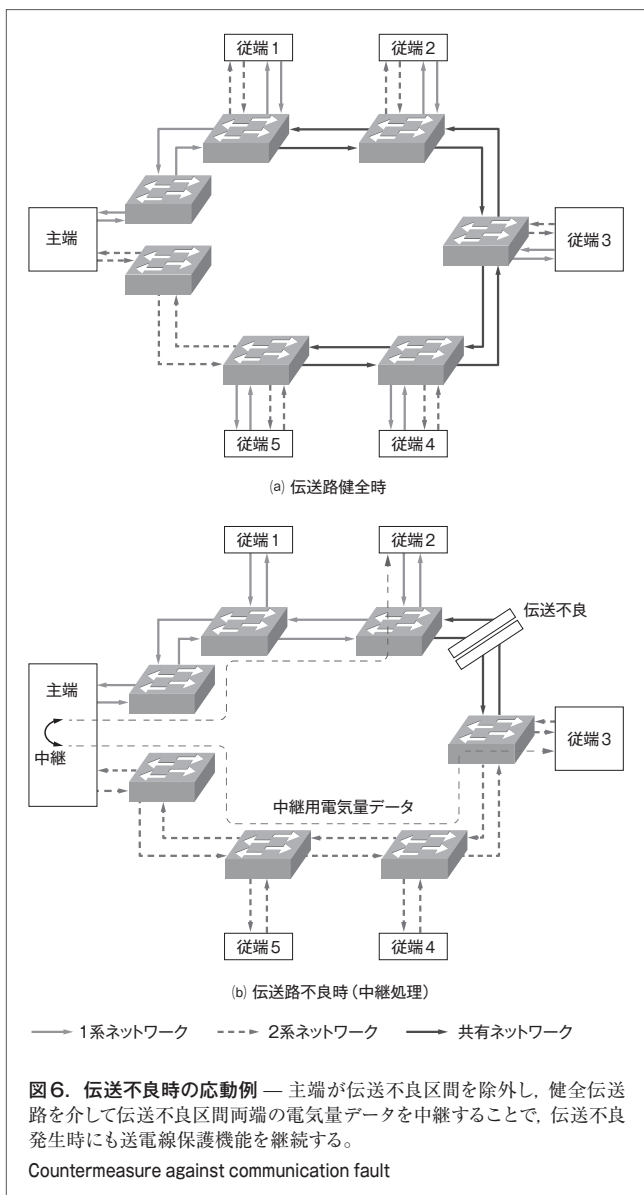
## 4 動作検証結果

今回開発した環線保護リレーの動作検証結果について述べる。

伝送負荷に関する試験構成を図7に示す。この構成は最大適用端子数を6端子とし、電流量データ、保守運用データ、及び音声通話データを1 Gビット/sのL2ネットワークの1系ネットワークに同時に伝送し、伝送負荷の発生と保護機能への影響を検証した。その結果、伝送負荷は最大6%の低負荷であり、保護機能への影響はないことを確認した。また、伝送負荷が90%程度になっても保護機能を維持可能であること







も確認した。これらにより、Ethernet<sup>(注)</sup>を環線保護リレーシステムへ適用することに問題ないことを確認した。

更に、図7と同様の試験構成で各端子間の伝送区間の不良を模擬して、伝送路の二重化構成及びデータの中継処理により保護機能を継続することを確認した。この結果、従来の環線保護リレー相当の保護動作性能であることを確認した。

## 5 あとがき

今回開発した環線保護リレーは、既設の光ケーブルを流用して汎用通信であるL2ネットワークを適用し、電気量データ以外のデータを同一ネットワークでも伝送可能にすることで環線保護リレーシステムを簡素化し、コストを低減した。この初装置を2014年12月に東京電力(株)の22kV環線系統に納入し、これまで安定して稼働している。

## 文献

- (1) 福島将太 他. “イーサネットを適用した送電線保護用電流差動リレーの開発”. 電気学会研究会資料. 東京, 2013-09, 電気学会. 2013, PPR13-21, p.33-37.
- (2) 西田知敬 他. 汎用通信網を適用した送電線保護用電流差動リレーの実用化. 東芝レビュー. 69, 7, 2014, p.40-43.
- (3) 川崎好博 他. “新ハードを適用した66kV環線系統用保護継電装置の開発”. 電気学会研究会資料. 東京, 2011-09, 電気学会. 2011, PPR11-35, p.39-43.
- (4) 川崎好博 他. “新ハードを適用した22kV環線系統用保護継電装置の開発”. 電気学会研究会資料. 金沢, 2012-02, 電気学会. 2012, PPR12-14, p.65-69.
- (5) 石田 修 他. 10ギガビットEthernet教科書. 改訂版. 東京, インプレスR&D, 2005, 389p.
- (6) 森 貴弘 他. “レイヤ2ネットワークを適用した環線保護リレー”. 電気学会研究会資料. 広島, 2015-02, 電気学会. 2015, PPR15-18, p.18-22.

• Ethernetは、富士ゼロックス(株)の登録商標。



福島 将太 FUKUSHIMA Shota

社会インフラシステム社 電力流通システム事業部 電力システム技術部。電力系統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.



森 貴弘 MORI Takahiro

東芝システムテクノロジー(株) システムソリューション第五部。保護継電器の開発・設計に従事。電気学会会員。

Toshiba System Technology Corp.



栗山 恵 KURIYAMA Megumi

社会インフラシステム社 府中社会インフラシステム工場 電力システム制御部主務。保護継電装置の開発・設計に従事。

Fuchu Operations - Social Infrastructure Systems



小比賀 勢一 KOHIGA Seiichi

東京電力(株) パワーグリッド・カンパニー 東京総支社 東京給電所 制御技術グループマネージャー。電力系統保護制御システムの運用、整定及び開発に従事。

Tokyo Electric Power Co., Inc.