



送電ネック箇所の監視を可能にした センサ伝送型過負荷リレーシステム

Sensor Transmission-based Overload Relay System for Enabling Monitoring of Transmission Line Bottleneck Locations

梅村 侑史*
Yuji Umemura

梶谷 翔太
Shota Kajiya

酒井 治
Osamu Sakai

岩間 成美
Narumi Iwama

長野 宏治
Koji Nagano

カーボンニュートラルの実現に向け、再生可能エネルギーの主力電源化の取り組みが進められている。しかし、架空送電線において送電容量不足により再生可能エネルギーが接続できないという課題がある。この課題解決のために2022年より既存設備を最大限活用するN-1電制の適用が開始されている。N-1電制とは、送電線の事故などによって送電できなくなった電流が、他の健全回線へ流れることで過負荷となった場合に、一部電源の出力を抑制し過負荷を解消するものである。そこで、リアルタイムで電流を計測できる当社製送電線センサを活用したセンサ伝送型OLRシステムを開発・実用化したので紹介する。

To achieve carbon neutrality, efforts are being made to establish renewable energy as the primary power source. However, a significant challenge is the inability to connect renewable energy sources due to insufficient transmission capacity in overhead transmission lines. To address this issue, the N-1 contingency for electricity transmission has been implemented since 2022, utilizing existing infrastructure to its maximum potential. The N-1 control system allows electricity that becomes unavailable due to transmission line accidents to flow to other operational lines, which can lead to those lines becoming overloaded. To mitigate this, the output of some power sources is reduced. In this context, we have developed and put into practical use a sensor-based Over Load Relay (OLR) system that utilizes our transmission line sensors, enabling real-time current measurements.

キーワード：再生可能エネルギー、架空送電線、過負荷保護リレー（OLR）、N-1電制

1. 緒 言

カーボンニュートラルの実現に向け、再生可能エネルギー（再エネ）の主力電源化の取り組みが進められている。

近年の再エネの増加に伴って架空送電線において送電容量が不足し、従来の運用方法では新規電源の接続が困難になるという課題があった。容量が不足した送電線に新規電源を接続するには、送電容量を増強するために、導体のサイズアップや送電線の増設などが考えられるが、それには多額の費用と時間がかかる。

そこで、2022年7月より、既存の設備を最大限活用する運用方式である「N-1電制」の適用が開始されている。

N-1電制とは、送変電設備の事故などで送電できない電流が健全送電線に迂回されることで電流が集中し、その送電線の容量を超えた（過負荷）場合に、過負荷リレー（OLR:Over Load Relay）システムによって発電の出力を制限することを条件に、送電線に電源を接続する仕組みである。これにより、平常時には送電容量を拡大することが可能である。

OLRシステムの過負荷電流を検知する電流計測器として、5秒間隔のリアルタイムで電流を計測できる当社製送電線センサを活用したセンサ伝送型OLRシステムを開発・実用化したので紹介する。

2. 過負荷区間検知の課題と解決策

図1の2回線送電線モデルにおいて、再エネを含む新規電源が追加された送電線網を考える。当初は図1(a)のように、1回線事故が発生した場合でも、送電線が過負荷とならないように送電線が設計され運用していたが、新規電源が送電線の途中に接続されることで図1(b)のように、送電線の途中区間で過負荷が生じるケースがでてきた。再エネが多く導入されると、天候によって出力が大きく変化し、送電電流が季節や時間帯によって大きく変化するため、送電線の途中区間が過負荷とならないよう、リアルタイムで送電電流を監視する必要がある。

途中区間の電流検出方式として、送電線網に接続された全ての電源と負荷に電流測定端末を設置し、それぞれの電流値から、送電線区間の電流を算定する多端子伝送型OLRが実用化されている。多端子伝送型OLRは1区間ないしは2区間の送電電流を把握するために、全ての電源と負荷に電流測定端末を設置することが必要となり、費用や時間がかかるという課題がある。

今回開発したセンサ伝送型OLRシステムでは、過負荷区間の送電線にセンサを取り付けて電流を測定する方式である。つまり過負荷区間を直接監視することが可能なため、新規電源などに電流測定端末を必要としない特徴がある。

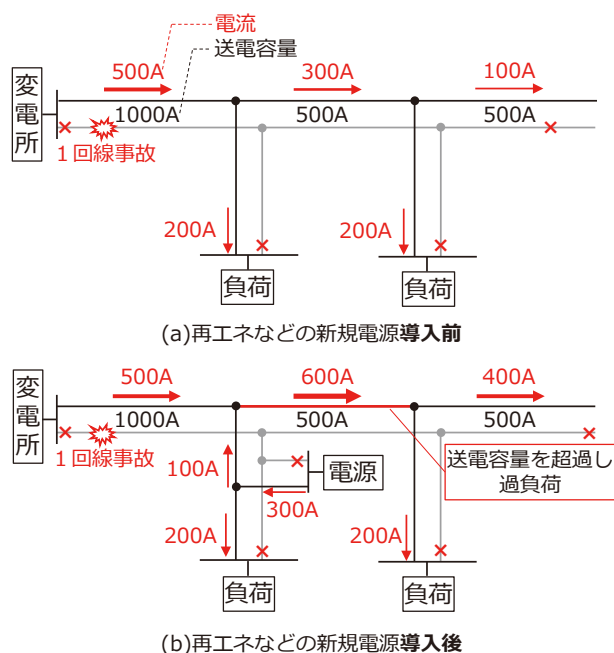


図1 1回線事故時の電流イメージ

3. センサ伝送型 OLR システムの概要

センサ伝送型 OLR システムは、送電線センサ、中継機、集約装置、OLR 装置、端末装置で構成される (図2)。過負荷区間に送電線センサを取り付け送電されている電流を測定する。測定された電流は無線で集約装置に送られ、光ファイバを介して変電所に設置された OLR 装置まで伝送される。OLR 装置は送られてきた電流が送電容量を超えた場合に抑制信号を端末装置に送出し、発電を抑制することで送電される電流を送電容量以下にする。このシステムにおいて送電線センサ、中継機、集約装置を当社が担当した。

送電線センサから集約装置間の無線伝送には、多段の中継を行う、マルチホップ通信機能^{*1}を採用し、送電線のような線の形で長距離の設備に沿って伝送できるように工夫している (図3)。

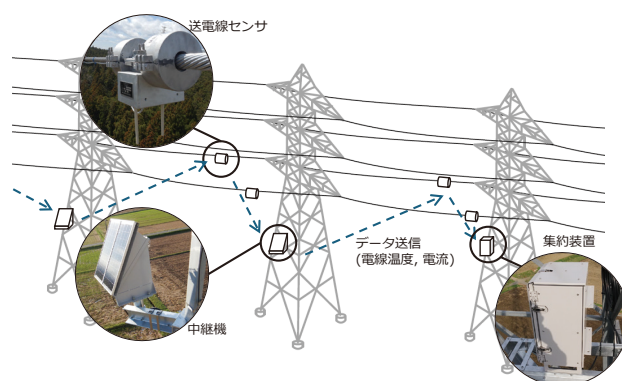


図3 当社システムの概要

またここで使用している920MHz帯無線は、公衆回線を使用しない自営通信網であり、通信事業者のサービスエリア外となるような山間部などにおいても通信が可能となっている。さらに、無線データの内容は当社独自の仕様として非公開とし、加えて暗号化することで、情報漏洩やデータ乗っ取りにより作動的に誤作動させられるリスクを低減している。

送電線センサは送電線の電流と温度を測定し、そのデータを無線で集約装置に伝送する。また冗長性^{*2}を確保するため、各回線に送電線センサを2台ずつ取り付けている。

中継機は集約装置を送電線センサと無線通信ができない場所に設置する場合に使用する。中継機を送電線センサと集約装置間に設置することで、送電線センサのデータを中継し、集約装置に伝送することが可能となる。

集約装置は鉄塔上に設置され、送電線センサから無線で受信したデータをメディアコンバータ^{*3}で光信号に変換し、光ファイバ複合架空地線 (OPGW) の光ファイバで変電所内の OLR 装置まで伝送する。

OLR 装置は集約装置から送られた電流データを用いて送電線の過負荷判定と発電抑制を担う。OLR 装置は東京電設サービス(株)が担当した。

4. 各種機器

4-1 送電線センサ

送電線センサの外観を写真1に示す。本センサは送電線の電流と電線温度を測定することができる。

本センサは高電圧の送電線に直接装着するため、外部からの電源供給は困難であり、送電線電流で動作する電磁誘導方式を用いている。

電流の測定には電磁誘導を使用し、また温度の測定には精度を重視し、測温プローブ^{*4}を使用している。

電流の測定範囲の下限を下回ると、電磁誘導によって得られる電力も小さくなる。この状態で装置が起動するのを避けるため、得られている電力を監視し、それに基づいて

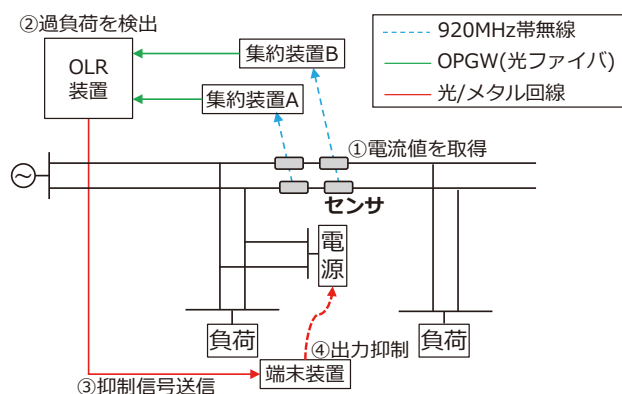


図2 センサ伝送型 OLR システムの概要

起動を制御する機能を搭載しており、送電線センサやシステム全体としての安定性を高めている。
送電線センサの主な仕様を表1に示す。



写真1 送電線センサの外観

表1 送電線センサの主な仕様

	項目	仕様
概要	適用電線サイズ	ACSR160～810mm ²
	寸法	282×252×225mm
	重量	約13kg
	送信周期	5秒
	無線周波数	920MHz
	無線伝送距離	見通し1km以上
電流測定	測定範囲	50～1200A
	測定誤差	±3%
温度測定	測定範囲	-20～120℃
	測定誤差	±2℃

4-2 中継機

中継機の外観を写真2に示す。中継機は鉄塔脚部に設置される機器であり、太陽光発電パネルとバッテリーによる独立電源としている。
送電線センサの無線伝送距離は見通し1km以上だが、送電線途中の鉄塔に中継機を設置することで、無線マルチホップ通信が可能となり、距離の離れた集約装置までのデータ伝送が可能となる。



写真2 中継機の外観

4-3 集約装置

集約装置の外観を写真3に示す。集約装置は鉄塔内に設置され、太陽光発電パネルとバッテリーによる独立電源としている。
集約装置は、送電線センサから送られてくるデータを受信し、国際標準プロトコルであるGOOSE^{※5}フォーマットに変換する。また、集約装置とOLR装置間はOPGWで通信するため、メディアコンバータにて電気信号を光信号へ変換し送出する。OPGWがない場合でも、集約装置は、携帯の通信網を使用し、無線でデータを送出することが可能である。



写真3 集約装置の外観

5. 冗長化

情報伝送ルートのイメージを図4に示す。送電線センサは1回線あたり2つ取り付けており、センサAとセンサBはそれぞれ集約装置A、集約装置Bに情報を伝送することで、センサから集約装置間の通信を冗長構成としている。一般的な2回線送電線の場合、1Lと2Lの送電線にセンサを取り付けており、集約装置AはセンサA_{1L}とセンサA_{2L}、集約装置BはセンサB_{1L}とセンサB_{2L}の情報伝送の役割を担っている。
鉄塔上に設置された集約装置と変電所に設置されたOLR装置の間は、OPGWの光ファイバケーブルで接続している

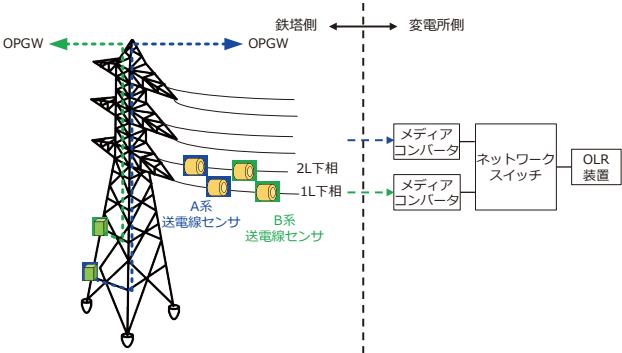


図4 冗長化のイメージ

る。OPGWの通信障害発生時でも伝送可能となるよう、集約装置Aと集約装置Bを別ルートとしている。

6. データ伝送

データの伝送には、電力設備の運用自動化のための国際標準プロトコルである IEC 61850 GOOSE を使用している。以下センサAでのデータ伝送について説明する。

集約装置では、センサから5秒おきに伝送されてくる電流値の情報を、GOOSEに載せてOLR装置に伝送している。なお、センサから集約装置に伝送するタイミングは、センサA_{1L}とセンサA_{2L}で異なることから、以下のような処理を行い、OLR装置へGOOSE信号を送信している。

図5に処理方法を示す。集約装置はセンサA_{1L}から電流値を受信したタイミングでデータを送信するが、このタイミングではセンサA_{2L}の電流値を受信していないため、センサA_{1L}の電流値を不明(-99999)として送信する。同様に、センサA_{2L}から電流値を受信した場合では、センサA_{1L}の電流値を-99999として送信する。

また、センサは送電線電流による電磁誘導で駆動しているため、電流が小さいとセンサは駆動せず、電流値を送信できない。そのため、センサからの電流値が受信できない状態が30秒続いた場合は、電流値を-99999としてOLR装置へ送信する。

OLR装置とは別に、データ蓄積・検証用のシステム管理

サーバも設置しており、収集したデータを蓄積して分析できるようにしている(図6)。この送電線の送電容量は約730Aであるため、例えば1Lでトラブルが発生して2Lのみで送電すると、送電容量を超過してしまいOLRが必要であることがデータからわかる。

7. 結 言

本稿では、当社の送電線センサを用いたセンサ伝送型OLRシステムについて述べた。今回開発したセンサ伝送型OLRシステムは、2023年5月に東京電力パワーグリッド(株)の66kV送電線において運用開始されている。カーボンニュートラルとそれに向けた再エネ導入に対応すべく、本送電線センサをOLRシステムはじめ、ダイナミックレーティング^{※6}や送電線の劣化診断など様々なニーズに取り組む予定である。

8. 謝 辞

最後に、本システムの仕様策定にあたり東京電力パワーグリッド(株)および東京電設サービス(株)の関係者の皆様には多岐にわたるご助言を賜り、謹んで感謝の意を表します。

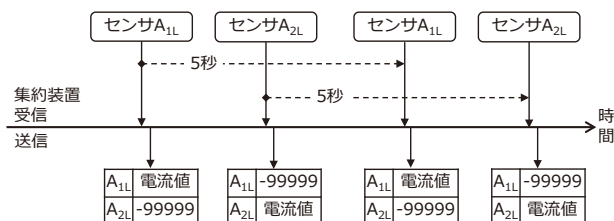


図5 電流情報の送信

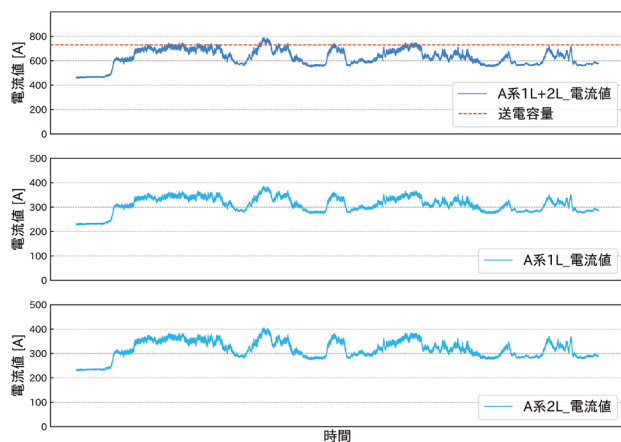


図6 送電線の電流値データ例

用語集

※1 マルチホップ通信機能

複数の無線端末が隣接する端末を中継し、バケツリレーのようにデータを伝送していくことで、広範囲の通信を可能にする技術。

※2 冗長性

耐障害性を高めるためにネットワークを含むシステム全体を二重化して予備システムを準備すること。

※3 メディアコンバータ

異なる通信媒体（LANの電気信号と光ファイバの光信号など）の間で信号を変換するネットワーク機器。

※4 測温プローブ

温度を測定するために、温度計本体から離れた箇所にある測定対象に接触されて使用する温度を感知するセンサ部。本センサでは熱電対を使用。

※5 GOOSE

Genetic Object Oriented Substation Events：汎用オブジェクト指向変電所イベント。IEC 61850の通信方式の一つ。

※6 ダイナミックレーティング

送電線の温度をリアルタイムで監視し、気象条件に合わせて送電容量を動的に制御する技術。

参考文献

- (1) 東栄治、丸山剛史、梅村侑史、吉田雄一郎、三田雅樹、小嶋隆夫、「再生可能エネルギーの大量導入に向けた架空送電線監視装置」、住友電工テクニカルレビュー第202号、pp. 110-115 (2023)
- (2) 三田雅樹、小嶋隆夫、東栄治、丸山剛史、岩間成美、酒井治、「ダイナミックレーティング用送電線監視システム」、住友電工テクニカルレビュー第193号、pp. 63-68 (2018)
- (3) 松原好宏、関昌也、丸山剛史、田原徹也、辻誠、金澤明永、末吉大佑、「架空送電線電流センサを用いた過負荷保護リレーシステムの開発」、電気学会保護リレーシステム研究会、PPR-23-012 (2023)

執筆者

梅村 侑史*：架空線事業部



梶谷 翔太：架空線事業部



酒井 治：架空線事業部 部長補佐



岩間 成美：架空線事業部 部長



長野 宏治：架空線事業部 主幹



*主執筆者