

スマートメーター (SM) の活用による断線検出

配電系統の分岐部分に対する断線検出を目指して

Broken wires Detection through the use of Smart Meters (SM)

Toward Broken wires Detection along Branches of Power Distribution Systems

(配電部配電制御技術G)

(Distribution Control Engineering Group, Distribution Department)

これまで配電線の断線検出は、自動化機器による幹線部分に限定されていた。そこで、配電系統全域に面的設置されているSMをセンサとして活用することで、分岐部分を含めた断線検出を実現した。

So far, the detection of broken wires in distribution lines has been limited to the main line sections using automated switches. However, we realized the detection of broken wires, including branch sections, by using SMs which are installed along the entire distribution system, as sensors.

1 背景・目的

配電設備は、お客さまに密接した設備であり、公衆保安対策が重要である。特に断線は公衆災害（感電事故）リスクが高いため、断線を早期発見し、緊急停電などの安全措置を施す必要がある。しかし、配電線は絶縁電線を使用しており、断線の状況によっては地絡状態とならないため、変電所の地絡リレーで事故を検出できず充電状態が継続する場合がある。

現在は、自動化機器（開閉器・子局）を活用し、断線発生箇所の負荷側の電圧不平衡率の変化を監視することで、断線を検出し緊急停電を実施している。しかし、自動化機器は主に配電線の幹線に設置されるため、分岐部分（巨長の約60%）で発生した断線は検出できない（第1図）。そこで、配電系統全域に面的に設置されているスマートメーター（以下、SMという）を断線検出用のセンサとして有効活用する方法を検討した。

(1) SM未設置箇所への対応

分岐部分の連系点などのSMが設置されない箇所は、SMに代わる断線検出機器が必要となる。

(2) 使用できるネットワーク帯域の制約

SMの本来機能である自動検針や開閉操作などに悪影響を与えないように、ネットワーク帯域の余力の範囲内で、大量のSMデータを活用した断線検出を実現する方法を検討する必要がある。

(3) SM異常情報の確度向上

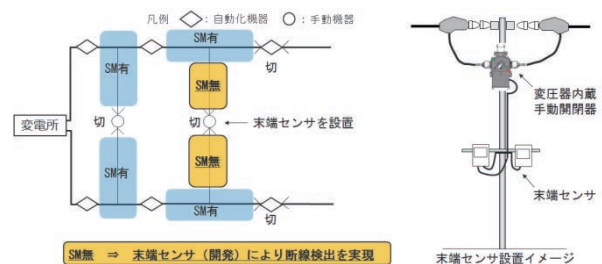
SMの異常情報は、断線以外の事由^(注1)により発生する場合があるため、これらの影響を除外し、断線検出情報としての確度を高める必要がある。

(注1) お客さま申込による現地作業や一時的な通信不良など。

3 課題に向けた対応

(1) SM未設置箇所への対応

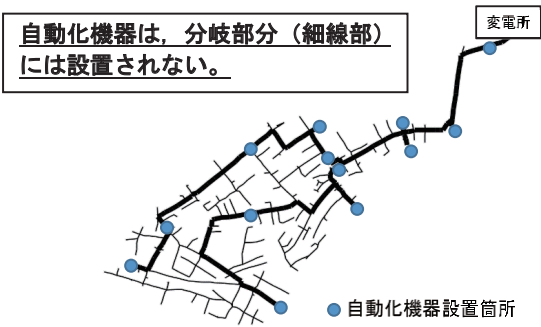
SMが設置されない箇所の断線検出を実現するため、SMを断線検出用に改造した末端センサを開発した。末端センサは、三相のSMを一部改造し、「電圧低下」「応答無」といったセンサ機能に特化したものである。また、末端センサへ電源供給するための変圧器内蔵手動開閉器もあわせて開発した（第2図）。



第2図 末端センサの設置箇所

(2) ネットワーク帯域制約を考慮した検出方法

自動検針等の本来機能と同時に、約1,000万台のSMの状態をリアルタイムで監視することはネットワークリソース（通信余力）上、困難である。異常情報は、柱上変圧器単位で発生することから、監視対象（粒度）を柱上変圧器単位（100万台）とし、それぞれ1台のSM（代表SM）の監視により監視対象を約10分の1とすることとした。これにより、ネットワーク帯域の余力の範囲内で実現できる見通しを得た（第3図）。



第1図 配電系統の例

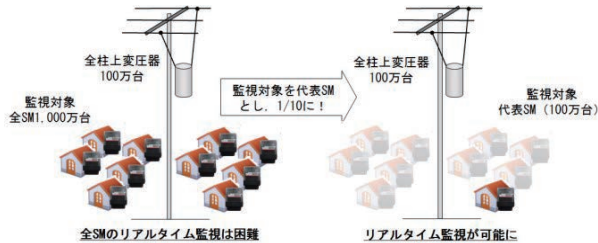
2 SMを活用した断線検出実現に向けた課題

SMをセンサとして有効活用することで、ほとんどのエリアはカバーできるが、SMが無い一部の箇所には設備追加が必要である。また、約1,000万台のSMの直接監視は、ネットワーク帯域の余力が無いため難しい。

高圧配電線が断線すると、SMの挙動として「駆動電源喪失による応答無」または「電圧低下通知」が発生するが、その異常様相は断線した相により異なる。また、現地作業や通信障害でも同様の異常は発生する。

SM情報の活用に向けた主な課題は次のとおり。

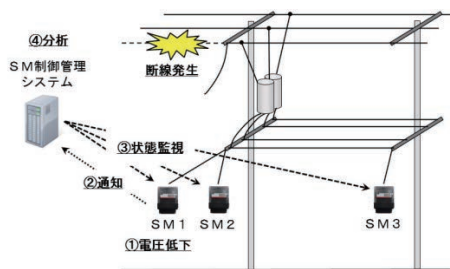
なお、代表SMは、通信品質が高いSMを選定することで、通信障害に起因する不要検出の発生を極力除外する仕組みとしている。また、この代表SMの選定（更新）はシステムにて自動で実施するため、運用者による設定などの個別対応は不要である。



第3図 SMの監視方法

(3) SM異常情報の分析方法

SMの異常情報は、断線以外の事由により発生する場合もあることから、複数SMの状態を確認することで分析の確度が高まると考えられる。そのため、代表SMより異常情報が通知されたら、それを起点に柱上変圧器配下の全てのSMの状態を確認し、その情報を合算して分析する仕組みとした。これにより、柱上変圧器単位で確度の高い分析を行うことが可能となった（第4図）。



- ①断線が発生しSM1が電圧低下状態となる。
- ②SM1は、SM制御管理システムに速やかに電圧低下状態であることを通知する。
- ③SM制御管理システムは、当該の柱上変圧器配下の全SMに対して10分程度状態監視を行う。
- ④状態監視の結果、電圧低下が継続している場合は、「欠相の可能性あり」と分析する。

第4図 「電圧低下」発生時の分析方法

4 SMを活用した断線検出手法の評価

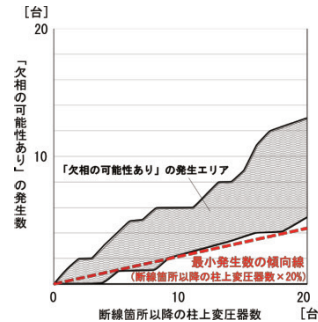
断線が発生した際の異常様相をシミュレーションにより評価し、それを踏まえて具体的な断線検出手法を決定することとした。

(1) シミュレーション方法

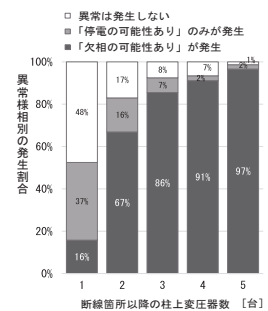
実際の配電系統の情報をもとにしたシミュレーションモデルを地域や規模に応じて複数作成し、断線時のSMの異常情報の発生傾向を確認した。あわせて、通信経路の情報を取り込むことで、通信経路上で上位に存在するSMが停止した際に、下位のSMが通信停止する、といった無線マルチホップ通信の影響も考慮した。また、高圧線や柱上変圧器、SMの接続相は管理していないことから、これらの接続相はランダムに設定した。シミュレーションでは、すべての電柱間で断線を相ごとに発生させ、異常様相の傾向を確認した。なお、シミュレーションでは電圧低下は「欠相の可能性あり」、応答無は「停電の可能性あり」としている。

(2) シミュレーション結果

異常様相は「欠相の可能性あり」「停電の可能性あり」があり、前者の方が断線情報としての確度が高い。異常様相は断線箇所の負荷側で発生するため、「断線箇所以降の柱上変圧器数」に対する「欠相の可能性あり」の発生傾向を調べた。その結果、おおむね20%以上の確率で「欠相の可能性あり」が発生することが分かった（第5図）。また、断線箇所以降の柱上変圧器数が5台以下になると、「欠相の可能性あり」が発生しない場合があることが分かった（第6図）。



第5図 「欠相の可能性あり」の発生傾向



第6図 柱上変圧器が少ない箇所における異常発生傾向

(3) 断線検出手法の確立

シミュレーション結果を踏まえ、判定結果を断線の可能性が高い「断線検出」と、断線発生が疑われる「断線の可能性あり」の2種類として、それぞれの断線検出手法を次のとおり確立した。

① 「断線検出」の判定条件

以下のいずれかに条件になった場合は「断線検出」とする。

- ・柱上変圧器のSMの電圧低下情報の発生数、断線箇所以降の柱上変圧器数に対し20%以上であること。
- ・SMの電圧低下情報が複数発生していること。
- ・末端センサの電圧低下情報が1台以上発生していること。

② 「断線の可能性あり」の判定条件

- ・以下の場合には「断線の可能性あり」とする。
- ・配電系統の末端（柱上変圧器数が5台以下の箇所）において、SMの電圧低下情報が1台発生し、かつSMの停電情報が1台以上発生していること。

(4) 断線検出手法の効果

上記の「断線検出」の判定条件により、断線検出が可能な範囲（巨長）を現在より約30%向上できる。また、「断線の可能性あり」の判定条件により、断線が疑われることを警報などで通知することで断線箇所の早期発見に活用することができる。

5 今後の展開

本研究の結果を踏まえ、2019年度より配電自動化システムに「SMを活用した断線検出手法による警報鳴動機能」を実装している。引き続き検証を重ね、今後はSM情報を活用した緊急停電機能の実現を目指す。



執筆者／西田康二