

石本智之\*  
Tomoyuki Ishimoto  
小島慎護\*  
Shingo Kojima  
片山 匠\*  
Takumi Katayama

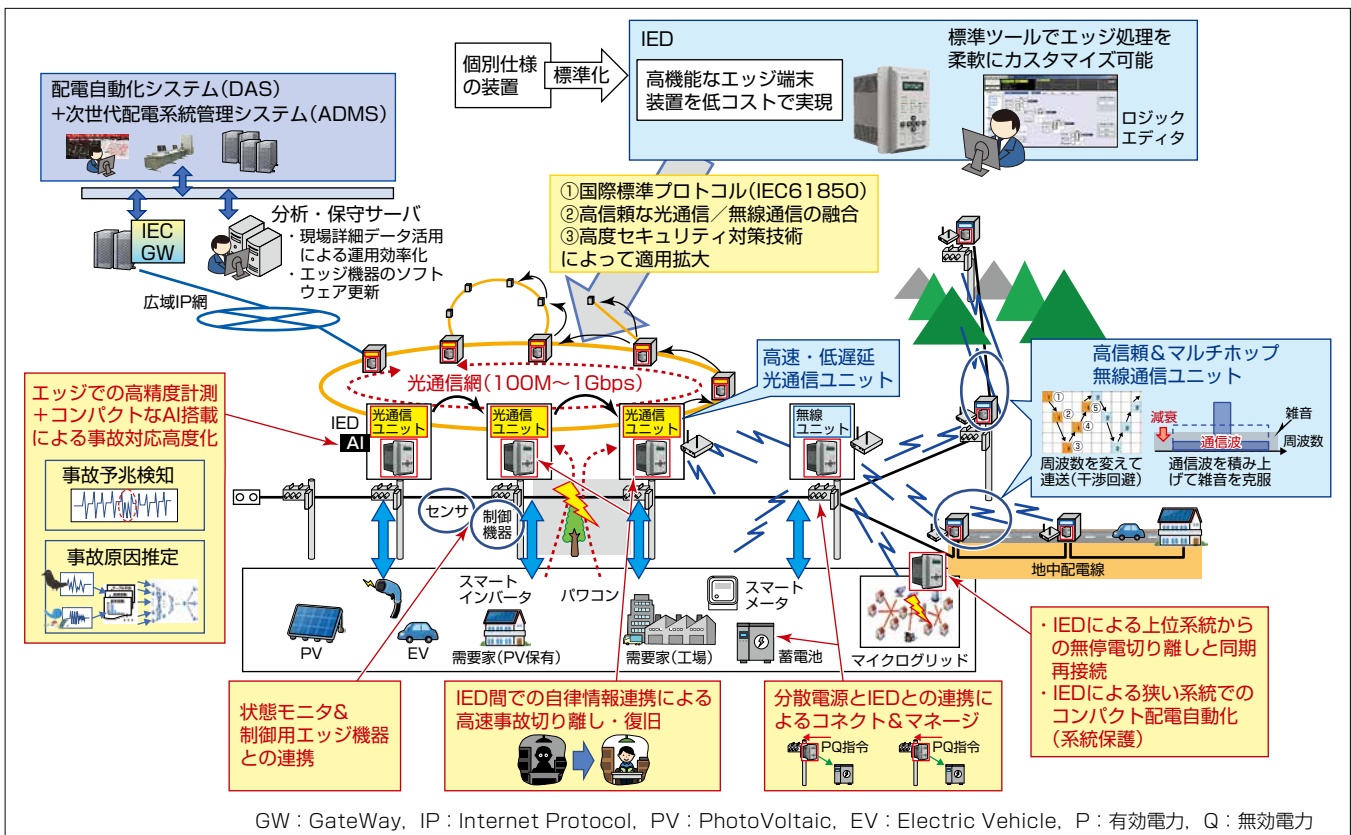
# 次世代配電システムでの配電高度化技術

Advanced Power Distribution Technologies for Next-generation Power Distribution Grid Networks

## 要旨

三菱電機では、配電システムでの分散電源の導入拡大に伴う電力品質に関する問題、自然災害や設備老朽化に伴う電力安定供給に関する問題に対して、エッジコンピューティング技術に着目し、拡張性が高く、柔軟性のあるエッジ端末装置 (IED : Intelligent Electronic Device) を活用したソリューションの技術開発に取り組んでいる。また、社会情勢として、レジリエンスの向上や地域サービスの活性化などを目的に、配電事業での制度改正に向けた議論が活発化しており、配電事業ライセンスの活用によって、一般送配電事業者以外の事業者による配電システムの運用が可能になる見込みである。市場動向や社会情勢を鑑みて、次世代

配電システムを見据えた配電技術の高度化を目的に、マイクログリッドやオフグリッドといった、従来の電力システムとは独立して運用される分散型グリッドでの課題解決に向けた検討を進めている。当社では、1980年代から培ってきた配電自動化システム (DAS : Distribution Automation System) や次世代配電システム管理システム (ADMS : Advanced Distribution Management System) など、配電システムの運用ニーズに関する知見に加えて、保護継電器や光通信/無線通信、人工知能 (AI) などの関連技術を組み合わせることによって、配電市場での新たな価値を創造し、社会に貢献していく。



## 当社の配電制御エッジソリューション

当社では、エッジでの高精度計測及びコンパクトなAI搭載による事故予兆検知・事故原因推定、IED間での自律情報連携による高速事故切離し・復旧、分散電源とIEDとの連携によるコネクとマネージ、IEDによる各種マイクログリッド対応、国際標準プロトコル (IEC (International Electrotechnical Commission) 61850) への対応、高信頼な光通信/無線通信の融合、高度セキュリティ対策技術など、次世代配電システムを見据えた配電制御エッジソリューションを開発推進中である。

## 1. ま え が き

近年、配電領域では、分散電源の導入拡大、設備老朽化、配電事業ライセンスなどといったキーワードを中心に、一般送配電事業者を始めとして、大手研究所や当社を含むシステムメーカーなどで幅広く検討が進められている。配電領域では、太陽光発電、蓄電池、電気自動車(EV)などの分散電源に加えて、VPP(Virtual Power Plant)やアグリゲータなど、数多くの新たなプレーヤーが配電システムに接続され、又は接続される見込みであり、配電システムを取り巻く環境は目まぐるしく変化し、大きな転換期を迎えている。

本稿では、次世代配電システムを見据えながら、解決すべき課題に対する当社の取組みとエッジコンピューティングに着目した配電制御エッジソリューション及び期待される効果について述べる。

## 2. エッジコンピューティング技術の適用

### 2.1 マイクログリッド向け対応技術

配電システムのレジリエンスを高めるため、マイクログリッド実現に向けた検討が進められている。マイクログリッドでは、事故時での電流量の違いなどから、上位系統連系時とマイクログリッド単独運用時で系統保護を切り替える必要がある。また、状況に応じて、単独運転しているマイクログリッドシステムを上位系統へ再連系することが求められる。さらに別の課題として、マイクログリッドで扱う分散電源導入量の拡大によって、従来の電力システムでは上位系統から需要家側へ一方であった電力供給に逆潮流が発生し、配電システム内の電圧や電流が適正範囲を逸脱する可能性がある。当社では、これらマイクログリッドが抱える課題を解決するため、IEDや分散電源を統合管理するシステムとしてDERMS(Distributed Energy Resource Management System)の開発を進めている(図1)。

IEDはIEC61850規格による通信を標準サポートしており、従来の配電自動化システムとの通信に加えて、IED間の通信が可能である。IED間の相互通信が可能になったことで、自律的にマイクログリッドと上位系統との接続状態を認識し、状況に応じて、系統保護を切り替えることが可能になる。また、マイクログリッドシステムを上位系統に再接続する場合、マイクログリッド内の電圧や位相を上位系統と一致させる必要があるが、IEDの導入によって、マイクログリッド内の分散電源を制御し、電圧や位相を上位系統と同期させることで、マイクログリッドを停電させることなく、上位系統へ再接続することが可能である。

上位システム(配電自動化システムなど)

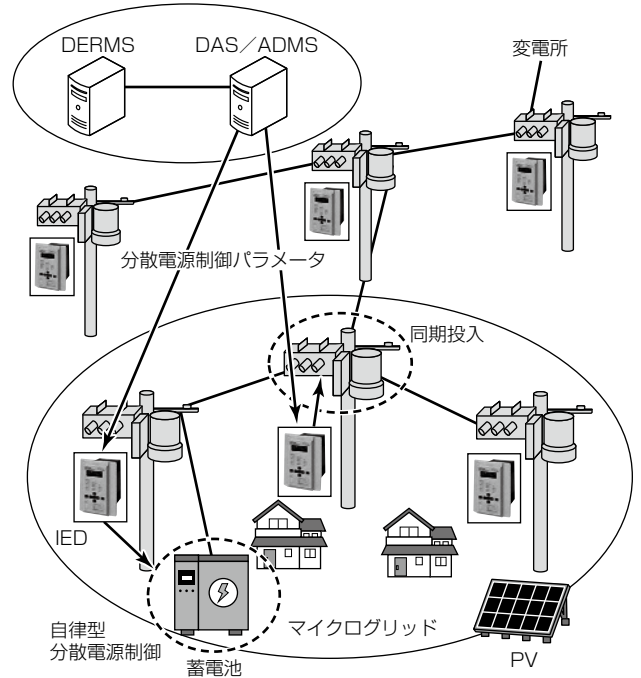


図1. マイクログリッド向け対応技術

DERMSはVPPやアグリゲータと連携し、蓄電池やEVなどの分散電源を活用し、配電システムでの電圧や潮流を管理する。今後はEVが更に普及することで、予測できない急峻(きゅうしゅん)な電圧変動や潮流変動が発生する可能性があり、特にマイクログリッドなどの小規模なエリアで顕在化しやすい。マイクログリッド向けに急峻な電圧変動や潮流変動にも対応する仕組みとして、分散電源を高速に制御する機能を搭載したIEDを開発した。上位システムとの連携なしに、IEDは自律的に分散電源を制御し、マイクログリッド内の配電システムを安定化させることが可能になる。

さらに、当社では、分散電源を大規模に制御可能なセンター集中型システムDERMSと分散電源を小規模に制御可能なエッジ分散型端末IEDを協調動作させることで、システム全体としての最適化にも取り組んでいる。

### 2.2 配電線の事故予兆検知と事故原因推定

配電線や配電設備などの交換は、経過年数による管理や目視による劣化診断などが一般的であることから、最適な交換時期を見極めることは困難であった。また、設置環境によっては、計画時期よりも早く劣化し、配電線事故や設備故障につながることもあるため、人による定期的な巡視点検が必要であることも課題である。

そのため、近年、効率的な設備投資が求められ、かつ少子高齢化による人手不足に対する取組みとして、配電線情報を活用した事故予兆検知及び事故原因推定に関する検討が進められている。

配電線の電圧・電流値で、事故発生時と平常時では様相

が異なることに加えて、事故発生前でも特徴的な様相が現れる可能性がある。従来のセンター集中型システムでは、上位システムで平常時と異なる様相を抽出し、事故発生の予兆を検知するため、計測情報を上位システムへ連携することに伴う回線圧迫が課題であった。当社では、事故予兆を検出する機能を独自アルゴリズムによって、エッジ端末に搭載可能なAI技術<sup>(1)</sup>で実現した。図2に示すように、このAI技術をIEDに搭載することで、エッジ側でリアルタイムなデータ解析が可能になり、解析用の膨大なデータを上位システムにリアルタイムに連携することなく、事故発生を未然に検知することが可能になる。学習モデルは、リソースが豊富な上位システムで定期的に生成し、エッジ側に配信する。学習に必要なデータは、回線圧迫をしないようにして上位システムに収集される。当該機能によって、事故未然防止による設備投資削減、現場の巡視コストの削減及び電力供給の信頼性向上に寄与する。

一方で、事故が発生した場合、事故原因を判別し、事故原因に適した停電復旧に対処する必要がある。配電線事故は、雷・樹木接触や鳥の営巣など、様々な要因によって引き起こされる。事故の原因によって、事故時の電圧・電流の波形は異なることから、熟練運用者の判断によって事故原因を判別している。当社ではAI技術を適用し、事故時の波形データや付加情報(時間や天候など)を学習することによって、事故原因を推定する機能を開発した。この機能は上位システムとIEDを連携させることで実現する。この機能によって、熟練運用者の判断によらず、事故原因推定が可能になり、現地作業の効率化、事故復旧の高速化に寄与する。

### 2.3 配電自動化システムでの無線通信技術の適用

配電自動化システムでの通信方式は、従来の配電線搬送方式やメタル方式の老朽化が進むとともに、事故点標定や

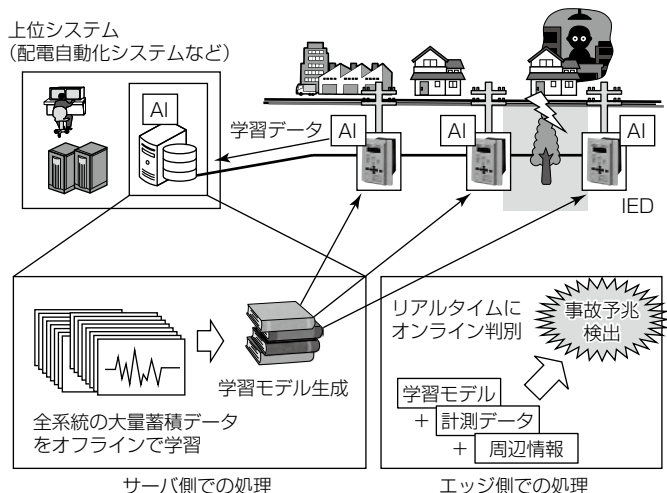


図2. 配電線の事故予兆検知

事故予兆検知などのシステム高機能化に伴い、光通信などに置き換えが進むと想定される。一方で、配電線が地中化された都市部や光通信網が整備されていない郡部や島嶼(とうしょ)部では、低コストで通信網の構築が可能な通信方式として無線技術への期待が高まっている。また、通信網のレジリエンスを高めるため、有線網のバックアップとしても無線技術が期待されている。当社では、図3に示すように、スマートメータ通信技術を応用したマルチホップ無線通信を始めとする配電自動化システムに適用可能な無線通信技術の開発を進めている。

スマートメータのマルチホップ無線通信<sup>(2)</sup>が使用する920MHz帯は障害物に対する回折性が高く、郡部に多い山間部など樹木が多いエリアにも適用しやすい。当該無線通信での伝送速度は数百kbpsであるため、大容量通信には向かないものの、配電自動化システムで使用する秒周期の電圧値や電流値、機器情報などを収集するには十分に活用できる。マルチホップ無線通信の特性を生かして、図4に示すように、冗長化した複数経路を構築し、第1経路で障害が発生しても、第2経路での通信を維持することによって、配電自動化システムに求められる通信路のレジリエンスを高めて、高い信頼性を実現した。さらに、干渉回避技術や誤り訂正を統合活用した当社独自の無線伝送方式を活用することで、配電自動化システムの通信方式として、更なる高信頼化が可能である。

今後は配電自動化システム向けに無線通信の各種パラメータを最適化し、山間部などでフィールド実証を進めていく予定である。さらに、別の無線技術として、複数のLTE(Long Term Evolution)無線通信を通信品質に応じ

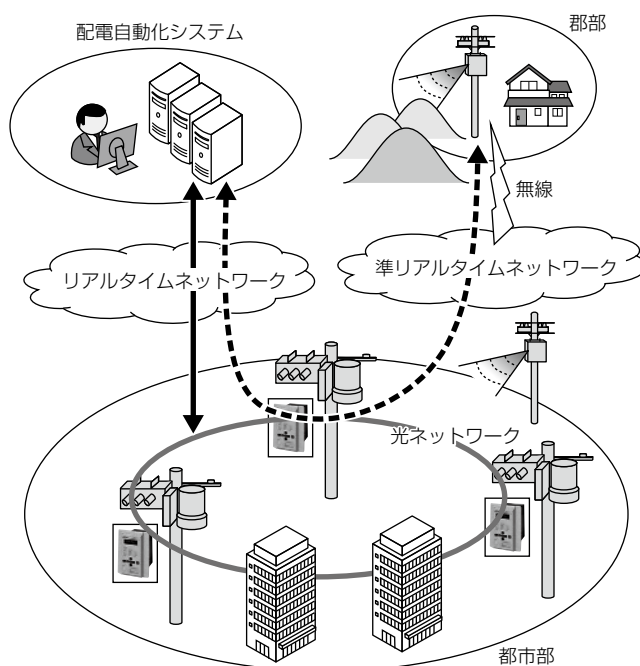


図3. 配電自動化システムへの無線適用



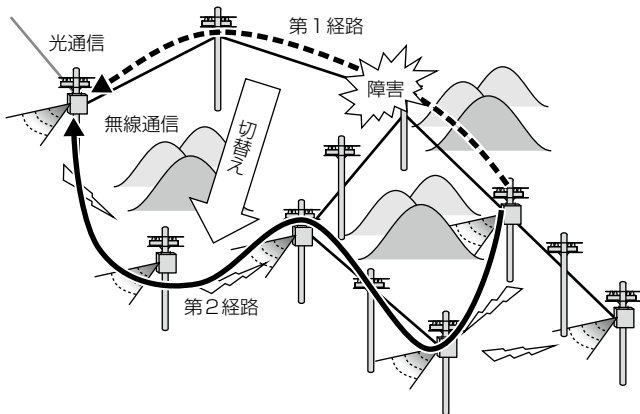


図4. 経路冗長化による高信頼通信

て自動的に切り替えるLTEキャリアダイバーシチ通信の適用も検討している。今後、並行して配電自動化システムへの有効性を評価する計画である。

## 2.4 エッジでの高速事故遮断と高速事故復旧

当社は、IEDによる配電線の高速事故遮断機能及び高速事故復旧機能(FLISR: Fault Location, Isolation and Service Restoration)を開発した。

従来であれば、配電システムで事故が発生した場合、変電所に設置してある保護継電器が動作し、FCB(Feeder Circuit Breaker)を遮断後、再閉路という処理を経て、開閉器が持つ時限順送機能などによって、事故が発生している区間を特定するため、事故発生から事故区間以外の停電復旧までに数分程度の時間を要する。当社が開発したFLISR機能では、図5に示すようにIED間で事故情報を相互に通信することによって、変電所の保護継電器が動作する数百ms以内に事故区間を特定する。開閉器の遮断能力内であれば、IEDが判断して高速に事故区間を遮断することが可能である。従来方式に比べて高速に事故区間の特定・遮断が可能であるため、停電区間を局所化でき、事故復旧時間を大幅に短縮できる。子局間の通信は、GOOSE(Generic Object Oriented Substation Events)と呼ばれるIEC61850通信規格を使用することで、高速通信を実現している。

また、当社が開発したFLISR機能は、海外で主流のリング状配電システムだけでなく、国内の配電システムの大多数を占める放射状配電システムに対応している。放射状配電システムではシステム状態に応じて、遮断すべき開閉器が動的に変化する。当社の独自アルゴリズムによって、システム状態に応じた事故区間特定/遮断処理を可能にしている。

さらに、事故区間遮断後の事故復旧は、配電自動化システムと連携することで実現している。事故区間以外の停電区間を救済するには、区間負荷や融通元配電線の予備力など、配電システム全体を考慮した制御が必要になる。エッジコ

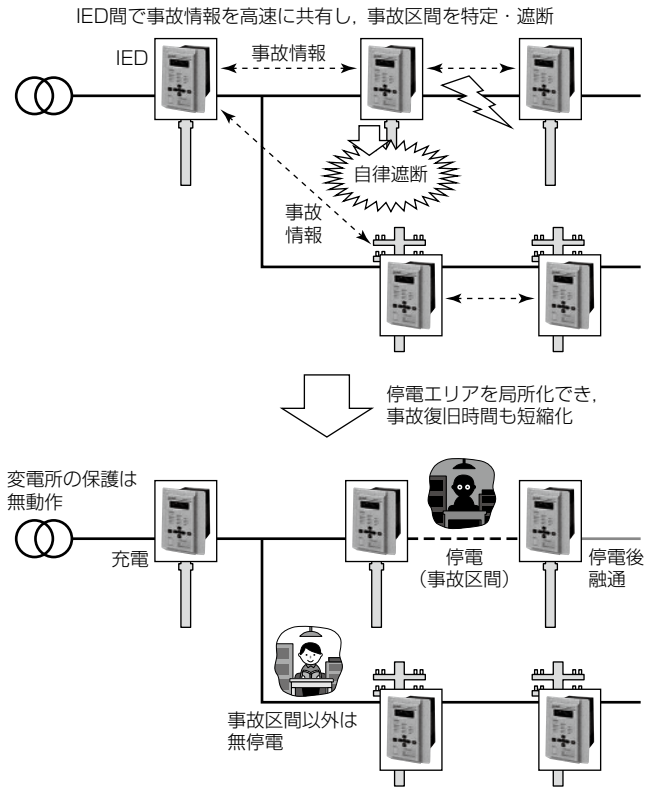


図5. 高速事故遮断と高速事故復旧

ンピューティングは高速な自律制御を得意とする一方で、全体最適化は不得意である。当社では、エッジから上位システムまでのトータルソリューションによって、エッジコンピューティングでは困難な処理を、配電自動化システムなどの上位システムと協調させることで、システム全体として最適化することが可能である。

## 3. む す び

当社では、従来の配電自動化システムなどの技術に加えて、保護継電器技術、光通信/無線通信技術、AI技術などの関連技術を総合的に組み合わせ、エッジコンピューティング技術と掛け合わせることで、目まぐるしく変化している配電システムに対して、柔軟に対応していくことができると考える。今後、実証実験やフィールド検証などを通じて、当該技術を適用し、有効性を評価することによって、より多くの知見を獲得し、実際の運用に即したものと洗練していく。

本稿で述べた次世代配電システムでの配電高度化技術を活用することで、配電市場でのソリューションを提供し、社会に貢献していく。

### 参考文献

- (1) 三嶋英後：三菱電機でのAI技術の現状と今後の展望、三菱電機技報、94, No.6, 318~323 (2020)
- (2) 高橋浩一、ほか：IoT・ICT技術を応用した電気事業向けソリューション、三菱電機技報、90, No.11, 609~612 (2016)