

変電所のデジタル化と系統運用高度化を実現するデータ利活用

Data Utilization to Achieve Digitalization of Substations and Grid Operation

北山匡史*
Masashi Kitayama
片柳康孝†
Yasutaka Katayanagi
佐藤光馬‡
Koma Sato

小田和弘‡
Kazuhiro Oda

*電力システム製作所(博士(工学))
†系統変電システム製作所
‡電力システム製作所

要 旨

2050年カーボンニュートラルの実現に向けてGX2040ビジョンの下で脱炭素化を推進する中で、再生可能エネルギー(以下“再エネ”という。)の大量導入に加えて、再エネの大量導入を支えるための送配電網の整備や調整力の確保など系統安定性の確保が重要である。変電設備の効率的な運用や高経年化への対応のため、系統運用データ及び設備保全データを収集し、設備・系統運用について人手をかけずに監視し、異常時の迅速な対応が求められる。そのためには、収集したデータの分析と活用による運用者の判断支援がますます重要になる。

1. ま え が き

人口減少等によって電力需要が伸び悩む中、2050年カーボンニュートラルの実現に向けて、再エネ電源の導入拡大に対応するための送配電網の増強や調整力の確保、高度経済成長期に整備した送配電設備の計画的な更新、自然災害時の早期復旧が望まれている。系統運用では、再エネ電源出力や需要の変動に合わせて系統の空き容量を活用する新規電源のノンファーム型接続やN-1電制、送電線や変圧器の空き容量をリアルタイムで把握するダイナミックレーティングなど、柔軟な系統運用の課題に対して様々な取組みがなされている。また、設備保全では効果的・効率的な保守を行うスマート保安の実現に向けた取組みがなされている。

電力供給の要である変電設備の計画、運用で、コストを抑制しつつ必要な投資を着実に遂行していくためには、図1のように、変電所保護制御システム(以下“OTシステム”という。)から得られるデータ(以下“OTデータ”という。)と変電所設備保全システム(以下“ITシステム”という。)から得られるデータ(以下“ITデータ”という。)を統合することによって既存系統及び設備を有効に活用しながら、運用の高度化と保全の効率化を両立させることが必要である。OTシステム、ITシステムは変電設備と連携するための“ハブ”としての役割を果たす。

本稿では、変電所における運用・保全データを収集するシステム及び装置、データ分析システムについて述べて、循環型 デジタル・エンジニアリングへ向けた方向性について述べる。

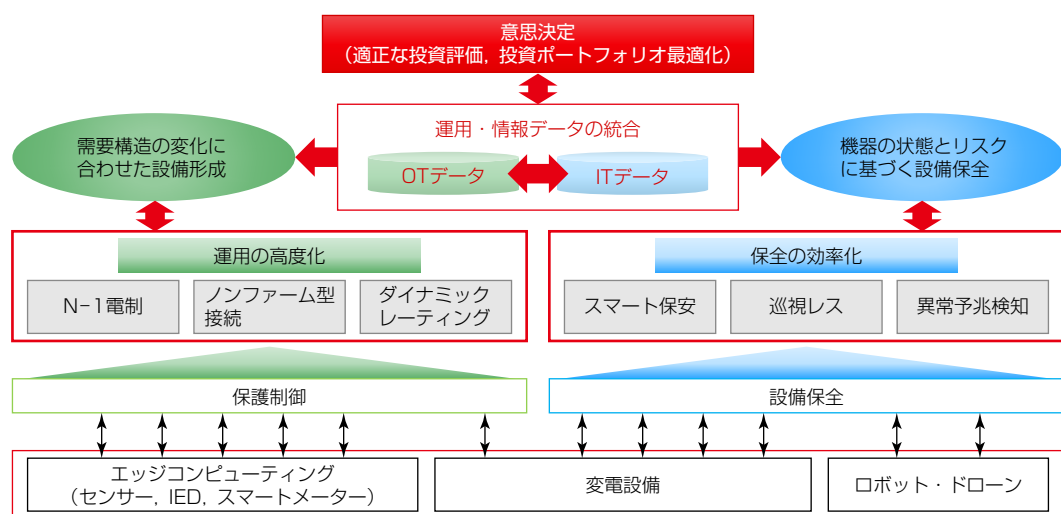


図1-運用・情報データの統合イメージ

2. デジタル変電所の構成と機能

電力系統は、電気を作る発電所、電気を送る変電所、電気を使う需要家で構成されて、電力系統の状態を監視・操作するために制御所が設置されている。発電所や変電所の情報を制御所に集約することで、電気の流れを監視・操作している。電気を需要家へ24時間365日安定的に供給し、需要に合わせて所定の品質の電気を需要家に届けるためには、制御所での変電設備の運用制御及び保守を適切に実施することが必要であり、変電所の設備には高い信頼性が求められる。

変電所は、主として電気を流す・止めるための遮断器、系統切替えなどのためのガス絶縁開閉装置(GIS)、送電電圧を昇圧・降圧する変圧器とそれらを監視するOTシステムから構成される。OTシステムのうち、制御機能としては、電圧、電流、周波数などのリアルタイムデータを収集し、異常値を検出した際に警報を発する機能、また、遮断器やGISの遠隔操作による系統操作、調相設備などによる電圧の自動制御などの系統監視制御の機能がある。保護機能は、系統事故時にリレー動作による設備の保護や、事故の拡大を防ぐ事故波及防止を目的として設置されている。このように、変電所は電力供給での系統運用・制御の要になるグリッドエッジとして重要な役割を果たしているが、人員不足などによって将来的に運用に支障が発生する可能性があることから、GISや変圧器など変電設備の経年による機器状態をセンサーによって監視するITシステムの導入も進みつつある。

変電所では、分散型電源の大量連系による電圧変動抑制、周波数調整、系統事故時の一斉解列による需給アンバランスなどの系統要因によるOTシステムの高度化のため、系統データや保全データを大量に収集することが求められる。また、設備構成の簡素化、メタルケーブルの省配線化や工事の簡素化などを目的にデジタルデータでの流通が進みつつあり、国際標準であるIEC 61850に準拠してステーションバス、プロセスバスと変電所上位からデジタル化、システムのネットワーク化によるデジタル変電所の導入が世界的に進んでいる⁽¹⁾。

デジタル変電所の全体構成イメージを図2に示す。デジタル変電所は、電力系統の運転監視のためのOTシステム、設備の状態監視のためのITシステムから構成される。変圧器やGIS・遮断器などの変電設備から情報を収集し、データを集約する機能を持つが、データ種別、リアルタイム性やデータ同期などの通信性能要件、信頼性やコストなどのシステム要件、標準化の取り入れの相違から国内ではそれぞれ別システムとして構築されることが多い。機器近傍に設置する装置として、計器用変成器や変流器で計測した瞬時値波形のサンプリングデータ、リレー情報などを収集するマーシングユニット、GISのガス圧、遮断器の動作特性、変圧器の油面や油温を計測するセンサーデータを収集するMEDがある。これらのデータを先に述べた変電所内システムを介して集約する。

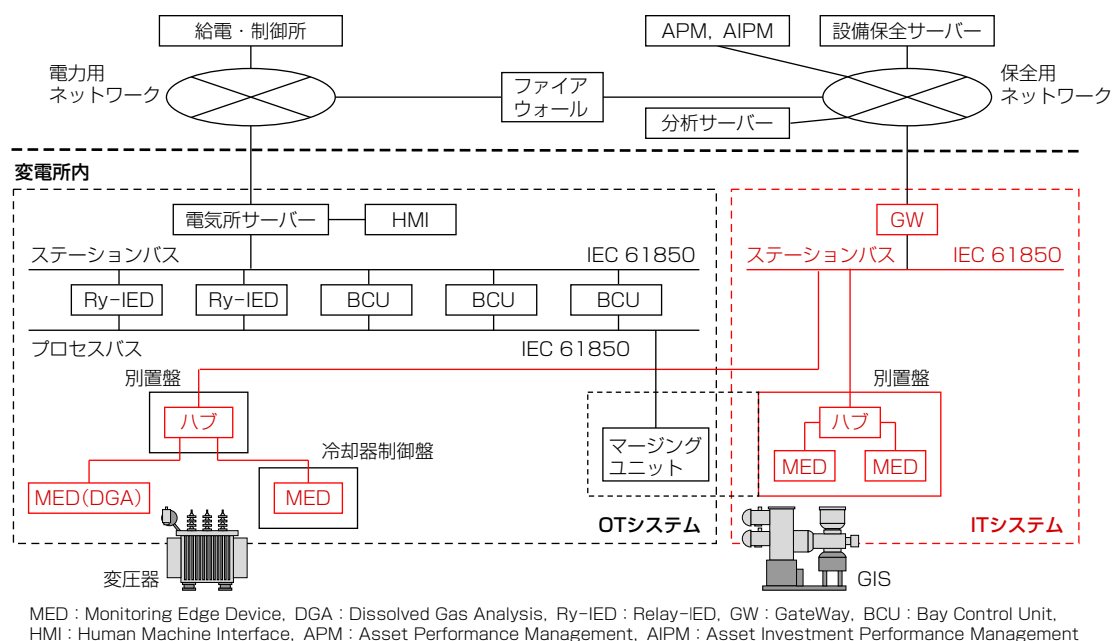


図2-デジタル変電所の構成イメージ

収集したデータは、OTシステムでは電力用ネットワークを介して給電所や制御所にITデータとして集約し、ITシステムでは保全用ネットワークを介して設備保全サーバーなどにOTデータとして集約する。電力用ネットワークと保全用ネットワークはファイアウォールによって連携しており、系統計画、系統運用を包括して取り扱うためには、OTデータとITデータを相互利用することが有効である。

3. 運用・保全データの活用

運用・保全業務の効率向上には、三菱電機が開発したIoT(Internet of Things)とAI技術を採用したIoTプラットフォーム“INFOPRISM”の適用が有効である⁽²⁾。INFOPRISMは様々なインフラ設備からのデータ収集・蓄積を行い、設備診断・異常兆候を検知するソリューションを提供する。設備診断・異常兆候検知は、適用するケースによって、センサーからデータを収集したフィールドでの分析処理、集約したデータのサーバーでの分析処理を実装することが可能であり、波形分析や画像解析などのデータ分析機能が実現できる。

3.1 運用データの活用

この節では図2でのOTシステムに適用するデータの活用例について述べる。電力系統の保護に用いられる保護リレーは系統の電流、電圧や遮断器、変圧器の接点の開閉状態などの情報を常時取り込んでいるが、これらの情報はリレー演算だけに利用されて、リレー動作時の故障解析用途以外には活用されていない。一方、保護リレー装置は電力系統のあらゆる場所に設置されているという特性からデータの利活用との相性は大変良いと考えられる。そこでこれらのデータを有効に活用することで、事故波形解析の高度化や事故波形データから異常原因を推定するAI技術の開発などが期待できる。図3に原因別の異常波形の例を示す。異常原因によって、電圧や周波数といった波形が変わるため、異常原因の推定が可能になる⁽³⁾。

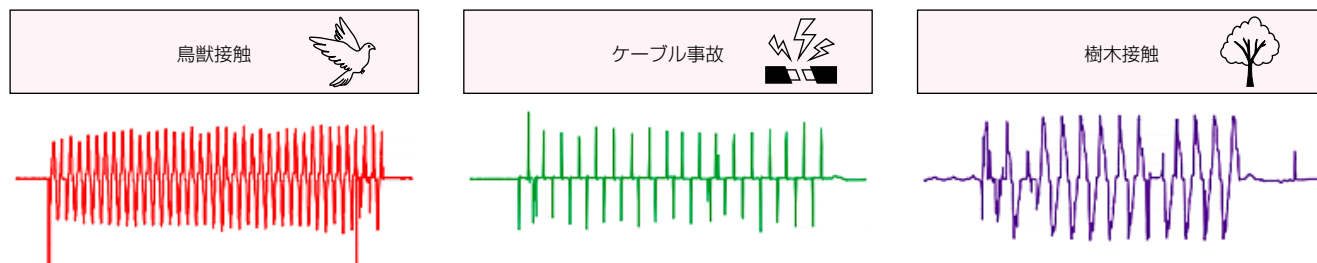


図3-原因別の故障波形(例)

推定には学習用の多数の異常データが必要であること、特徴を抽出し決定するためのアルゴリズムを開発することなど、幾つかの課題が考えられるが、このうちアルゴリズムについては当社製AIを用いることで対応可能であり、これを当社製IEDである“MELPRO-i”に適用している⁽⁴⁾。MELPRO-iでは3.2節で述べるITシステムに適用する異常兆候検知についてINFOPRISMを用いて実現している(図4)。今後はそれに加えて、異常原因分析の実現に向けて、ユーザーから異常データを入手することで学習データの構築を行うことを予定している⁽⁵⁾。

現状は技術者が波形を分析し、経験によって原因を推定しているため、原因の特定に時間を要する場合や、現地で直接確認しなければ特定に至らない場合があり、復旧作業に時間を要する一因になっている。AIによる異常原因分析を実現することによって技術者のスキルによらず異常原因の特定が瞬時に可能になり、現地に赴く前に原因に応じた復旧作業の準備を整えることが可能になることから、従来よりも早期の復旧が見込める。

3.2 保全データの活用

この節では図2に示したITシステムに適用するデータの活用例について述べる。近年、運用開始から30～40年を超える高経年の受変電設備が増加しており、経年劣化による故障リスクやメンテナンスコストの増加が懸念されている。この課題に対して、設備異常の早期発見と保全業務の省力化を目指した高精度かつ効率的な保全高度化技術として、セン

サーを活用した異常兆候検知システムの導入が期待されている。これまでの異常判定は、GISでのガス圧、油入変圧器での油温や油面など、運用中の設備のセンサーデータ又はそれらの演算処理から得られる特徴量のしきい値判定によるものであった。そのため、しきい値以下の異常挙動を捉えることはできなかった。これに対しては、INFOPRISMでのAIによるデータ分析機能として、波形分析と相関分析のハイブリッド検知を行う機能を適用することで判定が可能になった⁽⁶⁾。この機能は学習判定機能を備えており、健全状態の設備の電流波形や特徴量の時系列データをベースとして正常な波形パターンを学習し、生成した学習モデルと実測データの波形パターンの類似度から異常兆候を判定するものである。この機能を活用して特定の異常パターンを学習させることで、異常原因の識別判定にも応用可能であり、設備復旧工事の適正化、工期短縮の効果も期待される。

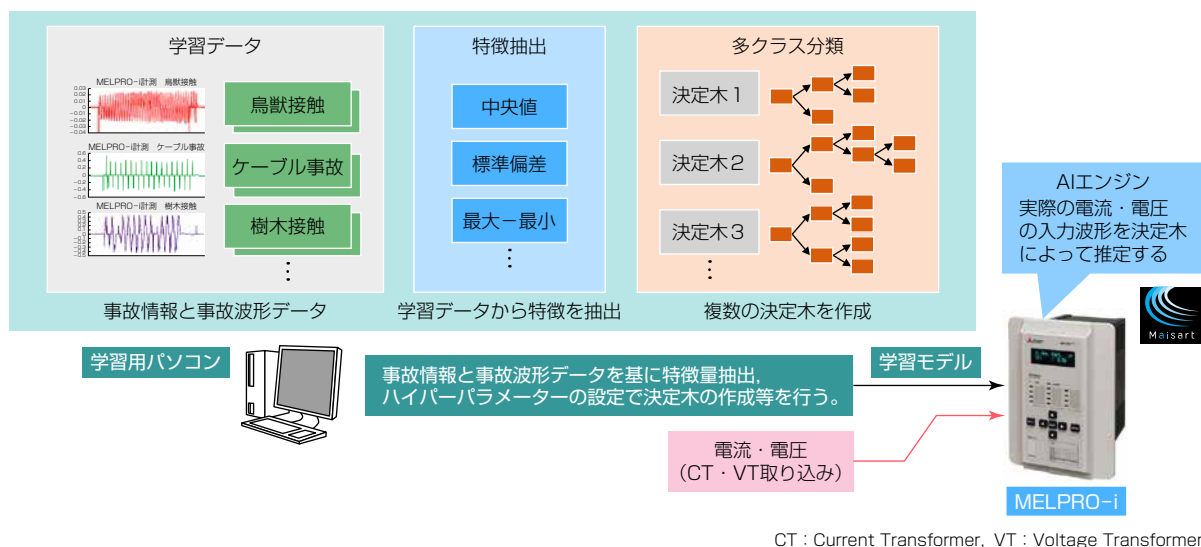


図4-故障波形の異常原因分析

図5に電力用GISを例にとり、異常兆候検知の概念図を示す⁽⁷⁾。設備運転開始前の学習に加えて、運転開始後の運用中の保全データを学習モデルにフィードバックさせることで、検知精度を向上することが可能である。

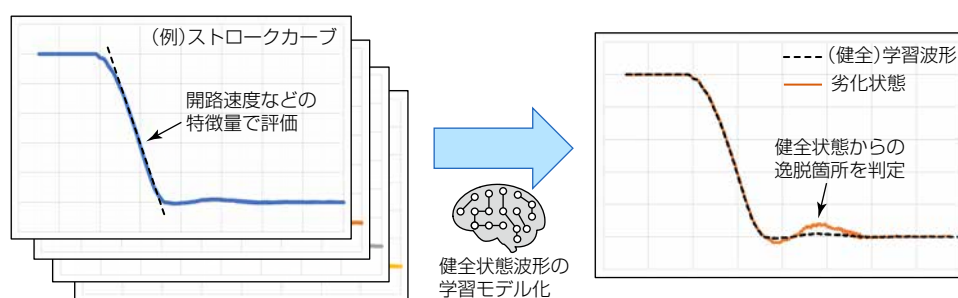


図5-保全データを用いた異常兆候検知の概念図

4. 今後の取組み

収集した各種データを活用した系統や設備の効率的な運用の考え方は、当社が目指す循環型 デジタル・エンジニアリングによる課題解決の考え方に基づいている。循環型 デジタル・エンジニアリングは、顧客から得られたデータをデジタル空間に集約し、分析した結果によって顧客の潜在課題を抽出してコンポーネント、システム、統合ソリューションを進化させた新たな価値を創出する。その新たな価値を更に幅広い顧客へ還元することによって、顧客とともに課題解決に貢献することを目指している。

この考え方を系統・変電設備の制御及び運用に適用すると、図6に示したように、変電所から収集した電流・電圧波形、センサー情報を集約・蓄積し、収集したデータをAIモデルで分析することによって、系統状態の変動、設備の劣化状態をリアルタイムに把握できる。それと並行して、収集データによるAIモデルを学習によって更新し、更新したソフトウェアやそれを実装した計測・監視装置を顧客に提供することで、系統・設備運用の高度化に貢献することが期待される。

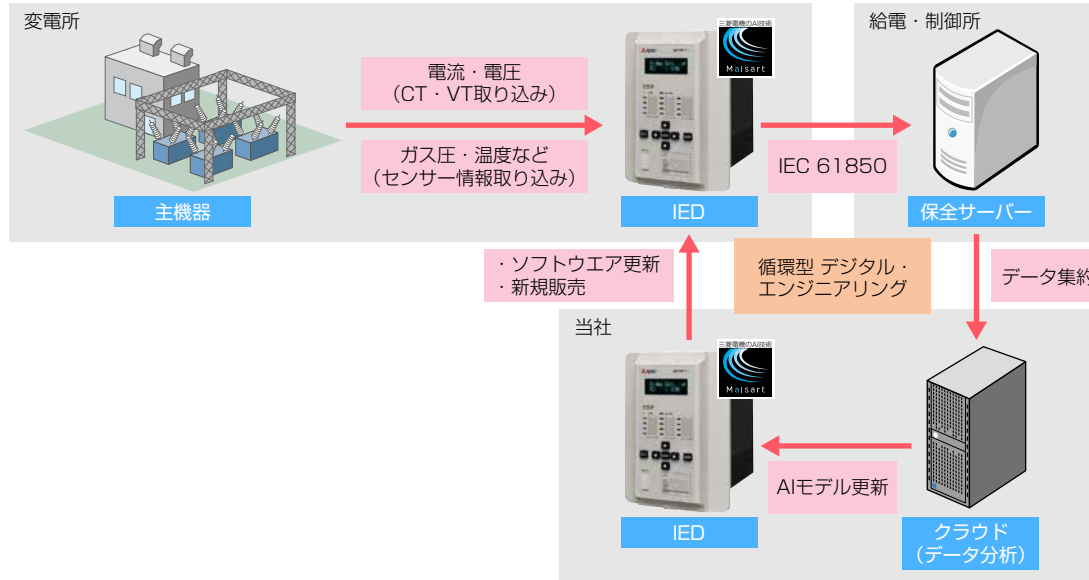


図6-デジタルデータ活用による循環型 デジタル・エンジニアリング

5. む す び

系統・設備計画のための変電所システムを起点としたデータ収集・分析の考え方、システム構成及びデータ分析に関する検討事例を述べた。系統・設備計画、運用の効率化と省人化を目的に、DX(Digital Transformation)の活用が今後加速するものと考えられる。また、目覚ましく発展している生成AIなどのデータ分析技術の活用も進むものと考えられる。今後ともこれらに向けて循環型 デジタル・エンジニアリングの実現に向けた技術開発を鋭意進めていく。

参 考 文 献

- (1) 天雨 徹，ほか：IEC 61850を適用した電力ネットワーク ースマートグリッドを支える変電所自動化システムー，コロナ社 (2020)
- (2) 廣岡俊彦：社会・電力インフラIoTプラットフォーム“INFOPRISM”，三菱電機技報，**93**，No.7，397～400 (2019)
- (3) 田中靖之，ほか：新型デジタルリレーMELPRO-CHARGE3/HB，三菱電機技報，**98**，No.6，7-01～7-04 (2024)
- (4) 匹田猛雄，ほか：監視・制御の高度化を図るエッジデバイス“MELPRO-i”シリーズ，三菱電機技報，**96**，No.6，235～238 (2022)
- (5) 藤井和希，ほか：需要家向け受変電設備の異常兆候検知，三菱電機技報，**98**，No.6，3-01～3-05 (2024)
- (6) 小田和弘，ほか：火力発電プラントの異常兆候検知システム，三菱電機技報，**93**，No.11，626～629 (2019)
- (7) 高原 優，ほか：ガス絶縁開閉装置への異常兆候検知適用検討，令和7年電気学会全国大会，No.6-001 (2025)