

特集論文

需要家向け受変電設備の異常兆候検知

Abnormal Sign Detection of Power Distribution Facilities for Consumers

藤井和希*
Kazuki Fujii
宮本靖也†
Seiya Miyamoto
佐子朋生*
Tomo Sako

*電力システム製作所
†系統変電システム製作所

要旨

三菱電機では、電力・社会インフラ分野向けIoT(Internet of Things)プラットフォーム“INFOPRISM”⁽¹⁾を中心に、その構成要素の一つとして、人工知能(AI)によるデータ分析機能を持つ“INFOPRISM-AIS”を開発している。INFOPRISM-AISは電力設備の保守点検に適用することで保守運用の高度化に貢献可能である。今回、顧客の(株)シーテックと共同で、受変電設備である遮断器の正常波形と異常兆候模擬波形を自動で判別する手法⁽²⁾について検証を行った。今後の取組みとして、異常データの収集手法を開発し、判別精度の向上を目指す。

1. まえがき

近年、電力事業者を取り巻く設備保守の人材不足や高経年化などの環境変化を背景にIoTを活用した点検省力化・高度化(スマート化)のニーズが高まっている。当社では、これら社会・電力インフラシステムに対する課題や働き方の更なる効率化のニーズに対して、運用・保全業務の効率向上に貢献するIoTとAI技術を採用したIoTプラットフォームINFOPRISMを開発している。INFOPRISMは、ゲートウェイ、データダイオード、エッジデバイスなどを含むデータ収集機器層、運用監視・構成管理、データベース・ファイルサーバー、マスターデータ管理・データ連携インターフェース、システム間連携インターフェースなどを含むデータ蓄積・連携層、遠隔監視・制御、AI・異常兆候検知、高度カメラ監視、セキュリティ対策製品・標準設計などを含むデータ分析・可視化層で構成している。INFOPRISMでのAIによるデータ分析機能の構成要素をINFOPRISM-AISと呼ぶ。本稿では、INFOPRISM-AISの開発内容と、顧客の(株)シーテックと共同で検証した受変電設備である遮断器の正常波形と異常兆候模擬波形を自動で判別する手法⁽²⁾について、それぞれ述べる。

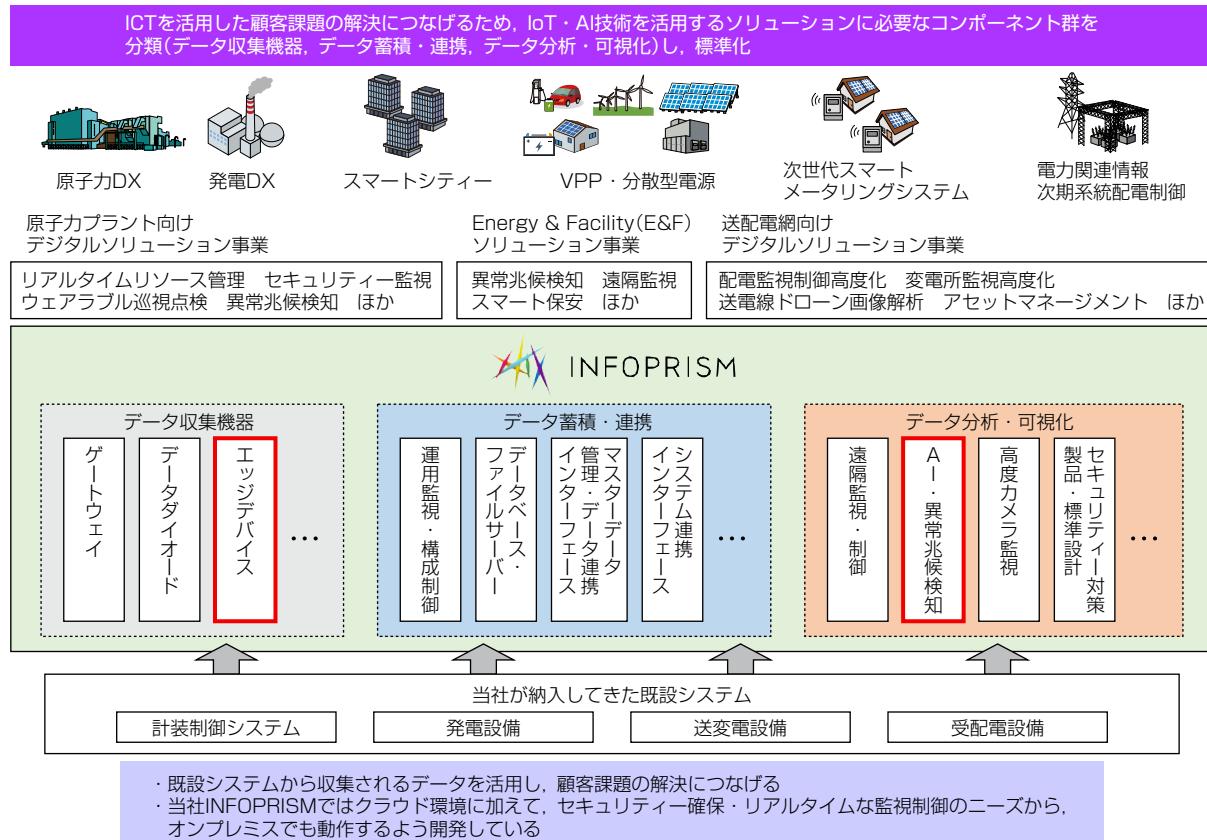
2. INFOPRISM-AISを活用した異常兆候検知

2.1 INFOPRISM-AISの概要

INFOPRISM-AISに採用している当社AI技術である“Maisart”のAI解析エンジン群(波形解析、交流波形解析、多変量解析、画像解析)を活用して、設備診断や異常兆候検知を行うことで、点検業務効率化、設備運用・保全計画の改善に貢献可能である(図1)。さらに、AI解析は現場に近いエッジデバイスで実行できるようにすることで、リアルタイム性やレスポンスの向上、ネットワークの負荷軽減などの効果が期待でき、適用可能な事業領域を拡大できる。そのため、AI解析エンジン群はエッジデバイス上でも動作するように開発した。エッジデバイスには当社製のIED(Intelligent Electronic Device)である“MELPRO-i”⁽³⁾を採用した。

2.2 INFOPRISM-AISの開発の特徴

INFOPRISM-AISの波形解析は、効率良く運用するためにサーバーとエッジで構成しており、サーバーもエッジも学習、検知機能を持ち、状況に応じて使い分けをしている(図2)。それぞれの動作環境の特徴を表1に示す。



■ INFOPRISM-AISの構成要素

ICT : Information and Communication Technology, DX : Digital Transformation, VPP : Virtual Power Plant

図1 - INFOPRISMの全体像とINFOPRISM-AISの構成要素

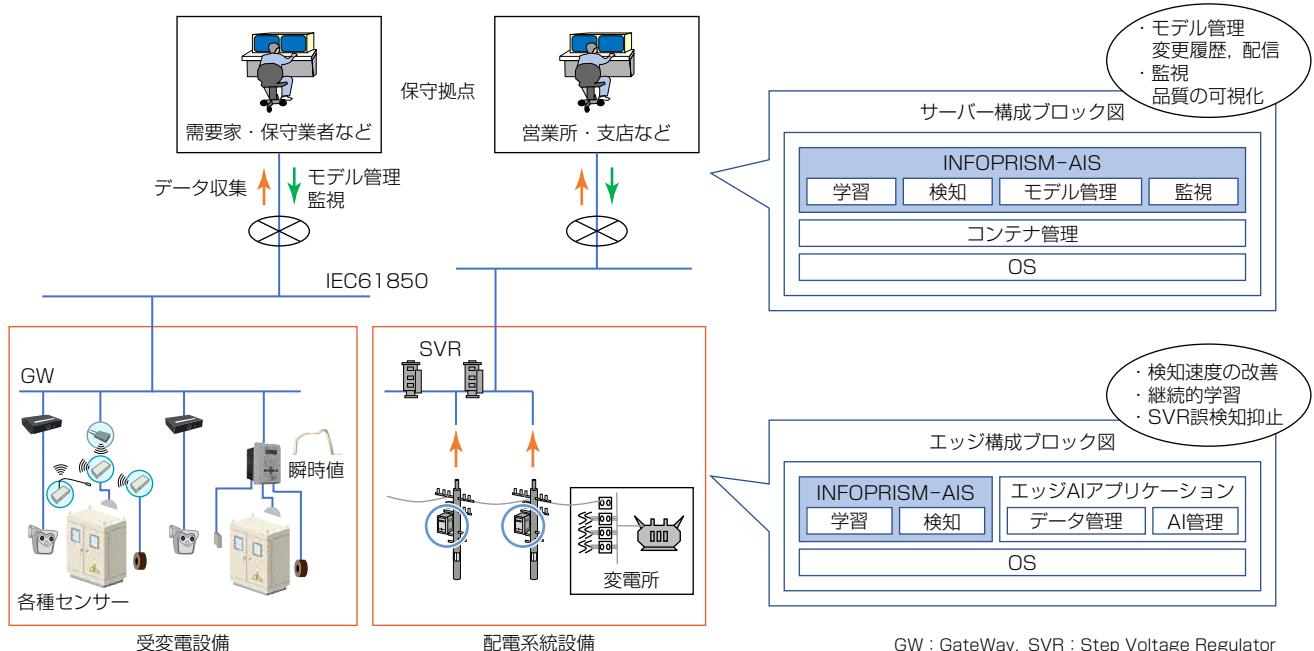


図2 - INFOPRISM-AISの運用構成

表1-サーバーとエッジの動作環境の特徴

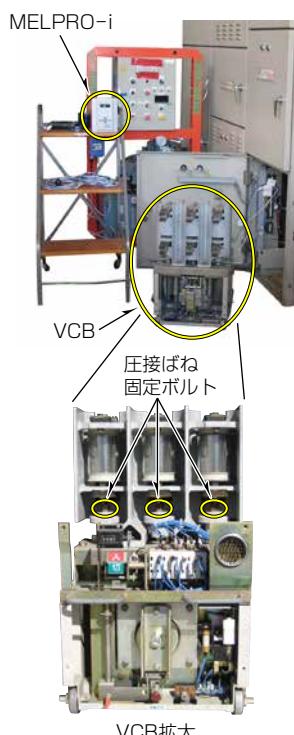
項目	サーバー	エッジ
リソース	十分なCPU、メモリーのリソースを確保できる。GPUがある場合、波形解析エンジンは高速計算に活用できる。	CPUやメモリーがサーバーと比較して低スペック。GPUはなし。波形解析エンジンはエッジ用に検知速度を改善した。 ⇒特徴①
学習	保守拠点で学習モデルの作成、モデル管理(変更履歴、配信)、監視(品質の可視化)を担当。 ⇒特徴②、③	サーバーと接続できないときに新規データの継続的学習を担当。 ⇒特徴④
検知	保守拠点で高機能な検知をしたいときに検知を担当。	設備側でデータ収集、検知を担当。瞬時値解析、SVR誤検知抑止ができる。 ⇒特徴⑤
特徴		
① エッジ用の検知速度の改善対応	エッジは低スペックであるため、エッジ専用として全般的に処理を最適化する対策(アルゴリズム内で繰り返し発生する処理の削除、エッジ特化の処理化、時系列データのメモリー渡し、行列計算の高速化、関数呼び出し回数削減等)を行った。従来比、99.7%の処理時間の削減を実現した。サンプリング周期が非常に高い波形である瞬時値も異常兆候検知できる。	
② 学習モデルの配信	サーバーで学習モデルを作成し、多くのエッジに配信して運用する。サーバーで管理している学習モデルをIEC 61850経由でエッジに配信できる機能を実現した。	
③ 学習モデルの変更履歴・検知品質の可視化	サーバーで学習モデルの変更履歴や検知品質の可視化を実現した。この機能を活用して、学習モデルに含めるデータの取捨選択や異常データを判別するしきい値を調節して検知精度を向上させることができる。	
④ 継続的学習	基本的に学習モデルの生成はサーバーで行うが、サーバーと接続ができない環境を想定し、エッジで定期的に学習モデルを更新できる機能を実現した。異常を検知すれば更新をスキップし、検知がなければその期間分のデータを学習モデルに取り込むことで最新のデータを含めて更新するよう工夫をしている。	
⑤ SVR誤検知抑止	エッジが事故予兆検知をする際に、配電系統設備上のSVRによる瞬間的な電圧の変動(昇降圧)が原因で誤検知することがある。この現象を抑止するため、解析しようとしている業界や事業についての専門的な知識や意見、トレンドを指すドメイン知識を活用して末端側のSVR動作の影響をフィルタリングする機能を実現した。	

GPU : Graphics Processing Unit

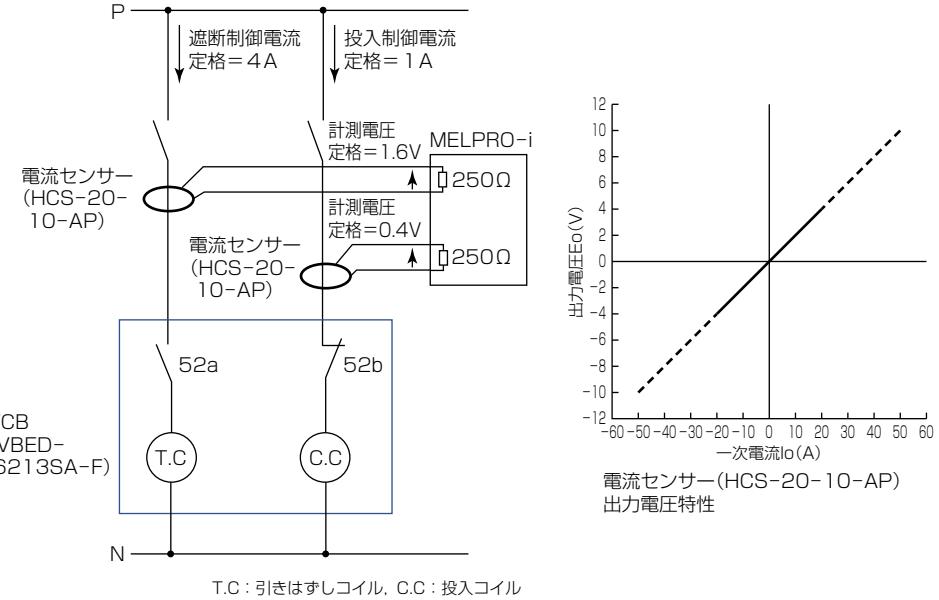
3. 受変電設備の異常兆候検知検証

3.1 検証内容

2章で述べたINFOPRISM-AISのエッジAI機能を活用した真空遮断器(VCB: Vacuum Circuit Breaker)の制御電流波形を用いた異常兆候検知検証を実施した。検証ではVCB遮断／投入時に流れる制御電流波形を計測した。測定の様子と測定回路を示す(図3)。



(a) VCB制御電流測定

図3-VCB制御電流測定環境⁽³⁾

VCBは(株)シーテックが持つ(株)明電舎製の3サイクル遮断器(型式:VBED-6213SA-F:1997年製)を用いた(図3(a))。この検証では(株)シーテックの経験・知見を参考にVCBの圧接ばね固定ボルトを緩ませることで遮断動作の異常兆候を模擬した。計測方法はVCBの制御回路に(株)URD製の汎用直流電流センサーを設置し、センサー信号(直流4~20mA)をMELPRO-iで計測・記録した(図3(b))。

正常・異常兆候模擬時の遮断／投入それぞれのVCBの制御電流波形のグラフを図4に示す。

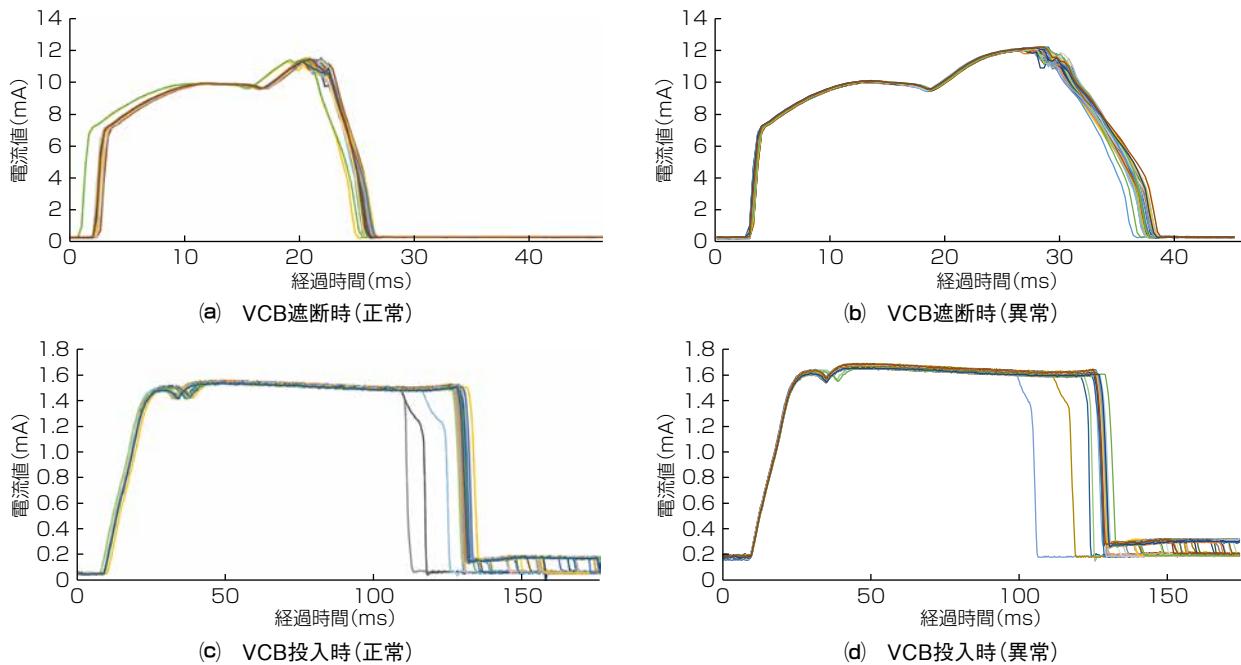


図4-VCBの制御電流の正常波形と異常兆候模擬波形(サンプリング周波数:2,880Hz)⁽³⁾

3.2 単变量解析エンジンによる正常／異常の判別可能性と精度検証

MELPRO-iのエッジAI機能には、“類似波形認識”技術⁽⁴⁾を応用した単变量解析エンジンが実装されている。単变量解析エンジンとは、単变量の時系列データを解析するAIエンジンであり、パターンマッチングをベースとしたアルゴリズムとフィルターを組み合わせたアルゴリズムである。事前に学習させた波形=時系列データ(学習モデル)と検知データとの類似度を数値化する(スコアを算出する)機能を持つ。この機能を用いて次の(1)~(3)の処理順でVCBの制御電流波形を処理・解析し、正常／異常の判別可能性と精度を検証した。

(1) 学習モデル生成

学習モデルは、VCB正常動作時の制御電流波形群からばらつきの大きい波形を除いて、残った波形群で“平均”を取る。モデルはVCBの遮断時と投入時で各一つずつ作成する。VCB遮断／投入時の学習モデル波形を図5に示す。

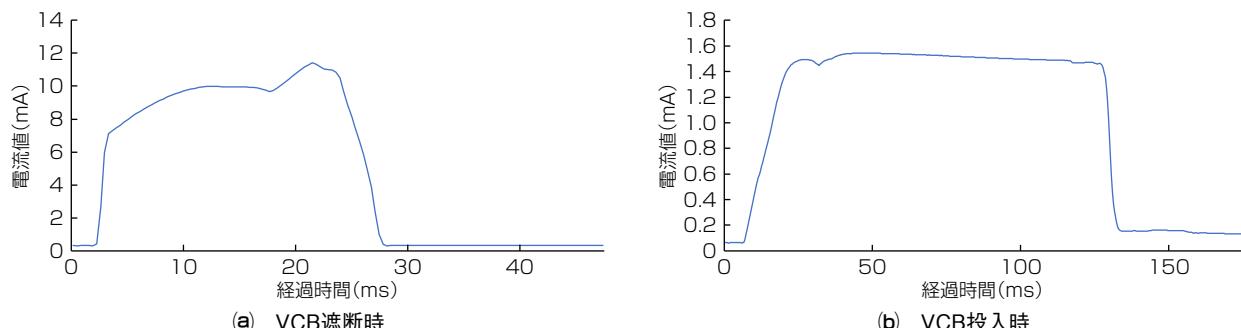


図5-学習モデル(VCB遮断／投入時)⁽³⁾

(2) 検知

検知では、先に述べた単变量解析エンジンで作成した二つの学習モデルを用いる。VCB遮断／投入時の異常兆候模擬波形は、単变量解析エンジンでスコアを計算する。スコアとは、学習モデルと検知データの類似度を定量的に表したものであり、スコアが小さければ類似度が高く、スコアが大きければ類似度が低いことを指す。

検知結果を図6に示す。VCB遮断時には、立ち上がり部(経過時間3～7ms付近)で2.0以上のスコア、立ち下がり部(経過時間36～39ms付近)で5.0以上のスコアが算出された。同様にVCB投入時には、立ち上がり部(経過時間42～58ms付近)で約0.5までのスコアの上昇が見られ、立ち下がり部(経過時間125～133ms付近)でスコアが最大値を示して、約0.75のスコアが算出された。

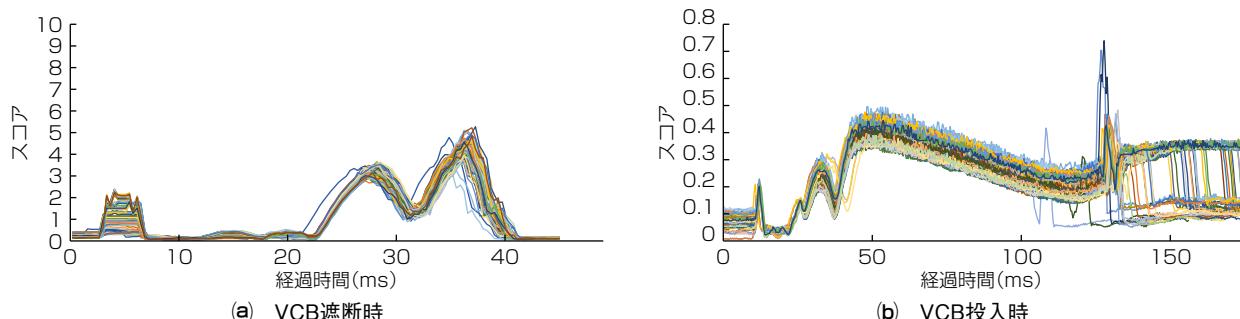


図6-異常波形スコア(VCB遮断／投入時)⁽³⁾

(3) 誤判定防止

VCB遮断時は、立ち上がり部で約2.0、立ち下がり部で約5.0のスコア最大値であった。正常・異常兆候模擬波形のスコア波形で、スコア最大値での正常・異常兆候模擬の判別が可能であることが分かった。VCB投入時は、立ち上がり部で約0.5、立ち下がり部でも約0.75のスコア最大値であった。VCB遮断とは異なりVCB投入では、スコア最大値での判別は不可であり、スコアの積算値(全スコアの総和)で正常・異常兆候模擬の判別が可能であることが分かった。

4. 今後の取組み

3章では、正常波形と異常兆候模擬波形を特定の条件下で自動判別できることを検証した。一方で、判別精度を向上させるためには多くの故障のケースを網羅した異常データの収集が必要であるが、受変電設備では、そもそも異常の発生頻度は低く、仮に発生したとしても様々な条件で起こりうる故障のケースが網羅されているとは限らないため、異常データをいかにして収集するかが課題である。ドメイン知識(解析しようとしている事象についての知識や知見、トレンドなどの情報)に基づいて機械的に異常を発生させたり、シミュレーションを活用して異常を模擬したりすることで、これらの課題に対応していく予定である。

5. む　す　び

INFOPRISM-AISに搭載しているエッジAIを活用した検証試験を通じて正常波形か異常兆候模擬波形かを自動判別できることを述べた。引き続き、エッジAIの異常兆候検知の高精度化に向けて改善していく。

参考文献

- (1) 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)
- (2) 宮本靖也, ほか：需要家向け受変電設備の異常兆候検知, 令和5年電気学会電力・エネルギー部門大会, No.46, 9-3-5～9-3-10 (2023)
- (3) 匠田猛雄, ほか：エッジデバイスMELPRO-iシリーズの開発, 電気学会 保護リレーシステム研究会, PPR-22-011 (2022)
- (4) 平井規郎, ほか：設備維持管理向けデータ分析技術, 三菱電機技報, 90, No.7, 416～420 (2016)