

火力発電プラントの異常兆候検知システム

小田和弘* 近藤誠治*
谷 宏幸*
佐子朋生*

Abnormal Sign Detection System for Thermal Plant

Kazuhiro Oda, Hiroyuki Tani, Tomoo Sako, Seiji Kondo

要 旨

火力発電プラントの運営で、原子力プラントの再稼働や再生可能エネルギー発電の普及によって稼働率が低下して運転機会が減少、及びベテラン運転員の退職もあってスキル低下が懸念され、保安力向上ソリューションが期待される中、AI(Artificial Intelligence)技術を活用して発電プラント機器の異常兆候を早期に発見する異常兆候検知システム“INFOPRISM APR ANALYZER”の提供を開始した。

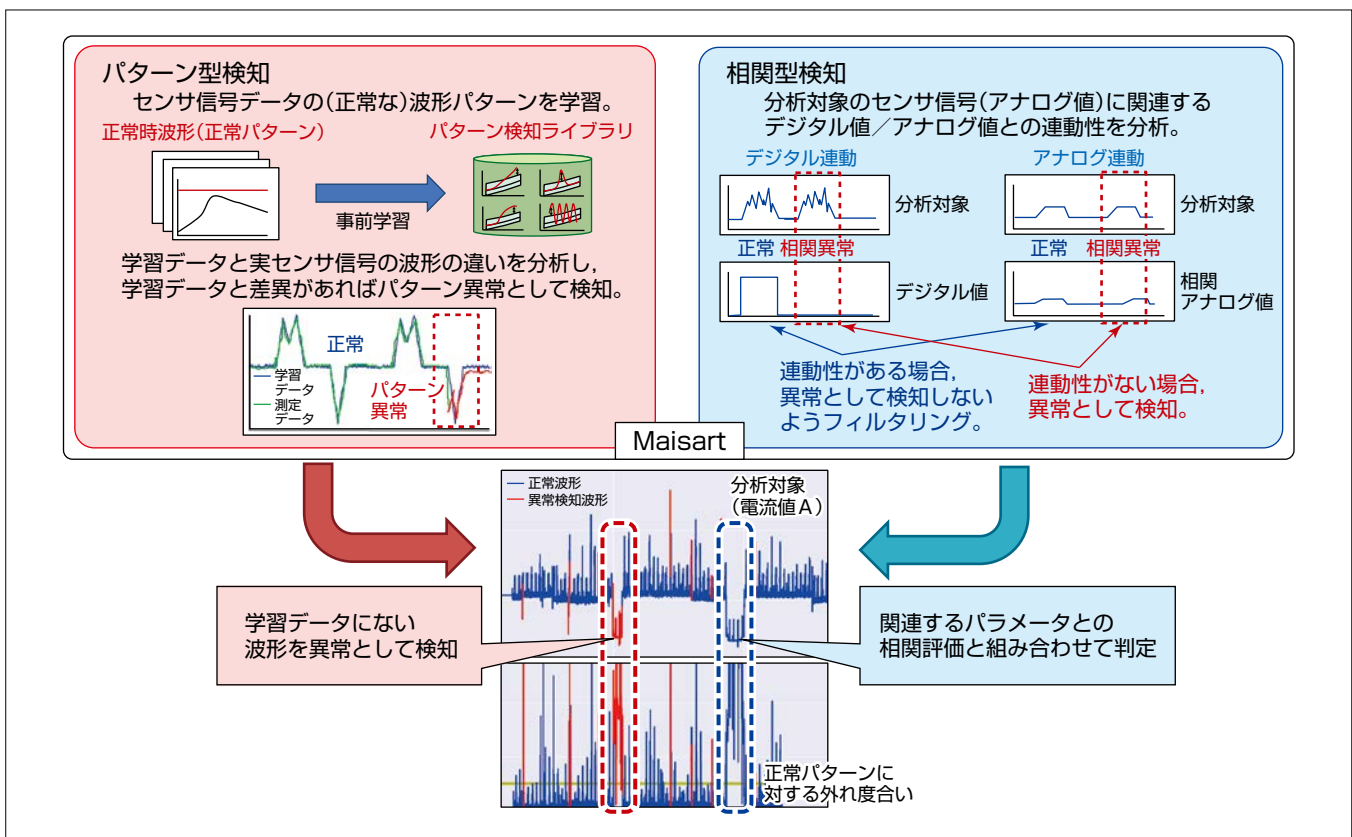
従来の異常検知方式は、プラントの計測値に対して警報制限値での判定を行っており、制限値以下でのトラブルに発展する可能性がある変動は検知できなかった。このシステムでは、正常運転時のデータの振る舞いを学習し、計測値が学習した運転データパターンと異なった“いつもと違う振る舞い”をした場合を異常と判定するため、警報制限

値を超える前にトラブルの兆候を捉え、かつ過去に経験がないトラブルの予兆も検知が可能である。

またパターン型検知がベースであるため、事前の相関抽出が不要で導入しやすく、全信号に対して検知ができ、相関型検知を組み合わせたハイブリッド型検知方式の開発によって、相関崩れの検知もできる特長を持つ。

さらに検知結果に対する正常/異常の判定結果をフィードバックして再学習させることで、継続的に検知精度を向上させていくことが可能である。

このシステムの導入によって、計画外停止の抑制や設備停止期間の短縮に寄与し、また異常時の処置などノウハウの蓄積も可能で故障要因の早期原因究明にも有効活用できる。



ハイブリッド型検知方式のイメージ

このシステムのパターン型検知技術は、信号ごとに過去の正常時の波形パターンを学習し、学習波形パターンとの差異度合いを外れスコア値として数値化し、統計分析によって相似性を判定する。

さらにデジタル/アナログ信号の相関、アナログ信号同士の相関分析も組み込んだ“ハイブリッド型検知方式”であり、これによって異常兆候の確実な検知と過剰検知の抑止を実現する。

1. ま え が き

近年、AIの実用化が急速に進んでいる。三菱電機も“コンパクトな人工知能(AI)”を始めとするAI基盤技術及び応用技術などをAI技術ブランド“Maisart(マイサート)”として事業展開しており、それを活用し、早期に設備の異常兆候を検知するパターン型検知技術を開発し、搭載した異常兆候検知システム“INFOPRISM APR ANALYZER”の提供を開始した。

本稿では、このシステムの概要と特長、及び発電プラントへの適用時の課題と対策事例について述べる。

2. 異常兆候検知システム “INFOPRISM APR ANALYZER”

2.1 機 能

(1) 異常検知通知

異常の兆候を検知した場合、監視画面(図1)に“検知カード”として表示する。また定期的にメールで状況を関係者に通知するメール通知機能も具備している。

(2) 関連信号との比較確認

あらかじめ関連する信号をグルーピングしておくことで、検知発生時に当該信号と関連する信号のトレンドを並べて比較ができる。

(3) 検知結果の評価支援

検知結果の評価支援として、検知回数や累積検知時間でのランキング表示による異常確度の優先付け、及び各信号の検知発生傾向を確認可能である(図2)。

(4) ノウハウ蓄積

発生した“検知カード”に対して、正常/異常の判定を行う際に判定理由等のノウハウを入力し、判定履歴として蓄積できる。

2.2 シ ス テ ム

このシステムのプラントデータ取り込みは、OPC(Object Linking and Embedding for Process Control)-UA(Unified Architecture)やPI Systemなどと連携できる汎用通信機能をサポートしている。また、システム内に保存されている過去データの分析や、監視制御システムから取り込んだ最新データをオンラインで検知することにも対応可能である(図3)。

3. 異常兆候検知技術の特長

3.1 検 知 技 術

このシステムのパターン型検知技術は、事前に信号ごとに過去の正常時の波形パターンを学習し、検知期間の波形に対して、過去の学習波形パターンからの差異度合いを外れスコア値として数値化し、統計分析によって相似性を判定するものである(図4)。

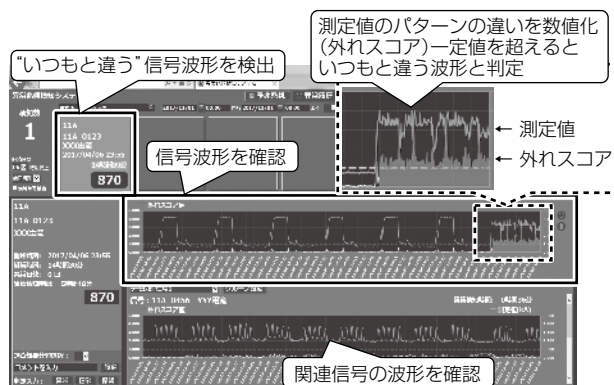


図1. 監視画面

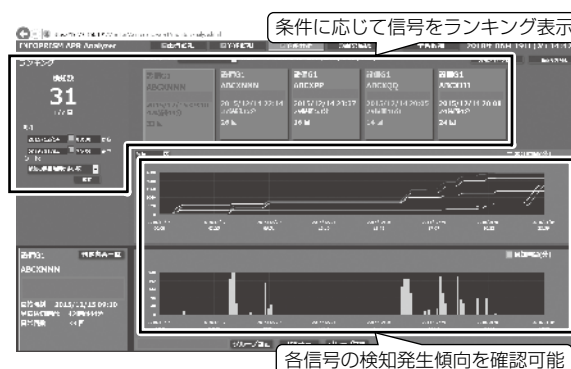


図2. 評価支援画面

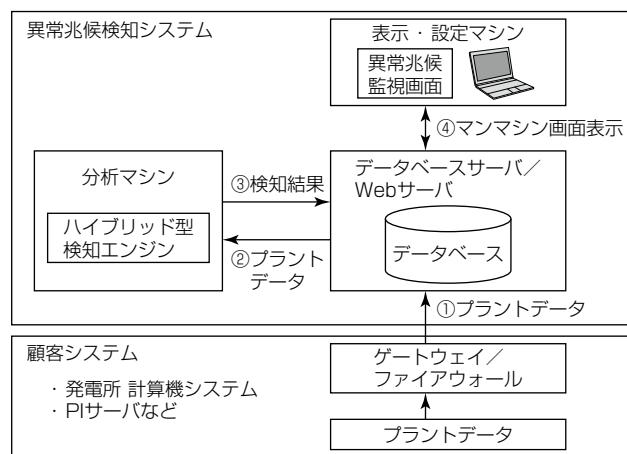


図3. システム構成

さらに、デジタル/アナログ信号の相関、アナログ信号同士の相関分析も組み込んだ“ハイブリッド型検知方式”であり、これによって異常兆候の確実な検知と過剰検知の抑止を実現している(図5)。

この検知技術は、過去の正常な運転期間のデータを投入することで自動的に正常な挙動/異常な挙動を導き出すため、故障情報を必要としないこと、及び相関分析による検知精度向上が可能であることが大きな特長である。

3.2 検知精度向上技術

3.2.1 判定結果のフィードバック

システムが検知した結果に対して“正常”と判定した場合、

判定結果をフィードバックして追加学習させることによって、ユーザーが大きな労力を割くことなく検知精度を向上させていくことができる(図6)。

3.2.2 過剰検知のフィルタ

学習が不十分な状態では不要な検知を行うため、検知結果を一定の条件でフィルタリングすることで、不要な過剰検知の抑制が可能である。

次にフィルタ機能の例を示す。

(1) デジタル相関フィルタ

デジタル信号の変化とアナログ信号の変化が連動している信号組を学習し、アナログ単信号では異常と判定しても、

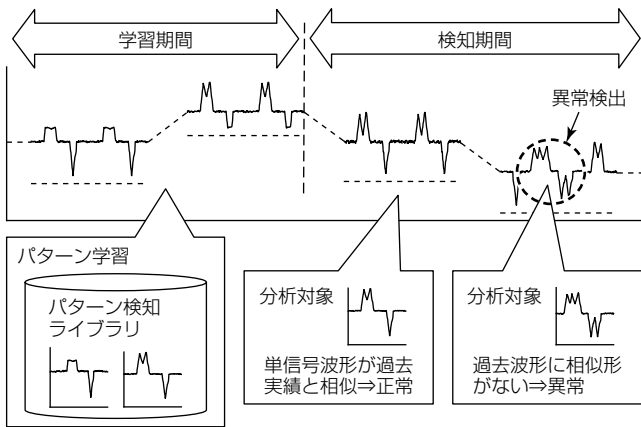


図4. パターン型検知

割付けたデジタル値/アナログ値との連動性を分析し、連動性がない場合に相関異常として検知

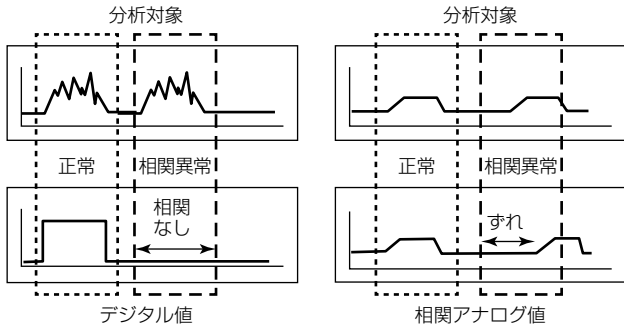


図5. 相関検知

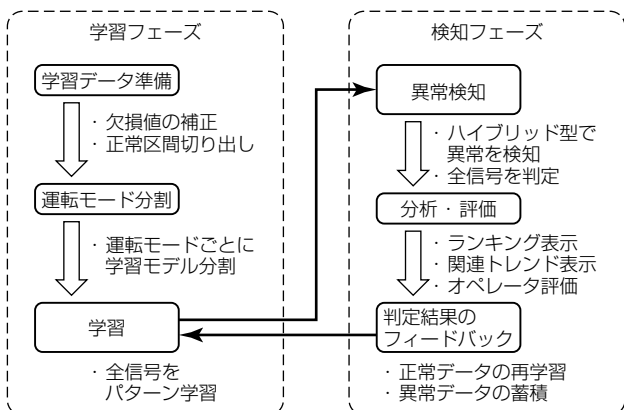


図6. 判定結果のフィードバック

学習した信号組のデジタル信号の変化情報を使い、結果をフィルタリングする。

(2) アナログ相関フィルタ

相関関係にある信号を相関組としてあらかじめ設定することで、アナログ単信号では異常と判定しても、相関組設定した信号同士が相関を保っていた場合は、検知をフィルタリングする。

4. 適用時の課題と対策事例

各メーカーが同様の異常兆候検知システムを開発しており、導入を検討している顧客側は、過去に起こった実際のトラブルをシステムが検知できるかの検知精度面や運用面を評価するオフライン分析でのコンペやオンライン検知での実証を行った上で、実導入するかどうかの判断及び採用メーカーを決定している。

ここでは実際にコンペや実証を通して出てきた課題とその対策について述べる。

4.1 パターン型検知の課題

パターン型検知の場合、人が見て信号の動きは正常であっても、学習データにない変動パターンであれば異常兆候と検知する。そのため学習データ不足やランダム性が高く学習ではパターンを網羅できない類の信号に関して不要な過剰検知が発生する傾向があり、検知精度向上には大きく次の二つの課題が挙げられた。

- (1) 学習データの充足
- (2) ランダム波形の種類に応じた対策

4.2 課題への対策

4.2.1 学習データの充足

学習データ不足に関しては追加学習で解消可能だが、効率よく学習データを充足させるためには、学習が不足しているデータ領域の選定を容易にする必要があった。

システムに保存されているデータから必要なデータを抽出し、学習データの充足度をグラフで可視化することで、学習不足領域を容易に選定できるようにし、追加学習の効率化を図った。

4.2.2 ランダム波形の種類に応じた対策

学習データ充足後に残った不要な過剰検知の信号を評価した結果、波形にノイズが重畳している信号、及び他信号の影響を受けて変動する信号が多く確認された。

このようなランダム性が高い信号に対しては、信号の変動パターンを学習データで網羅することは困難であり、学習データの充足だけでは十分な効果が得られないため、次の二つの対策を行い、その効果を確認した。

(1) ノイズが重畳した信号への対策

ノイズが重畳した信号は、ノイズの微小変動部分で短時間の不要な過剰検知を繰り返す傾向があった。そこで分析にかける前段階の処理で波形のスージング処理を行い、

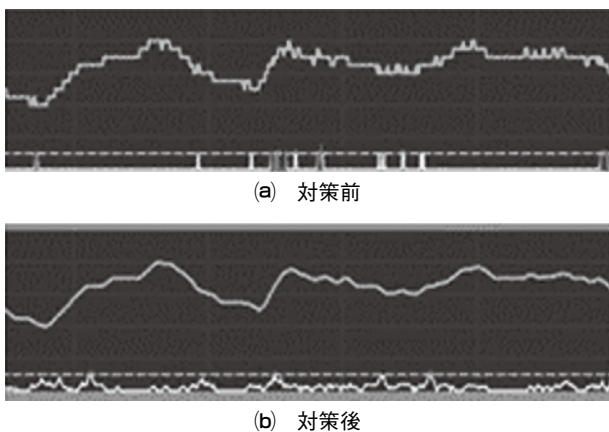


図7. 波形のスムージング処理

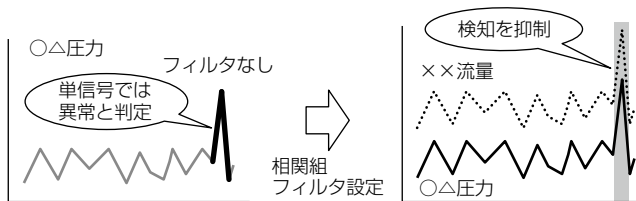


図8. アナログ相関フィルタのイメージ

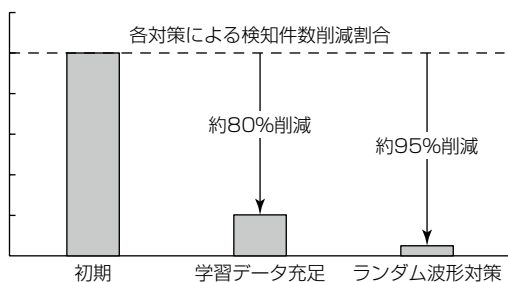


図9. 対策による不要な過剰検知の改善

ノイズ成分を取り除いた上で分析を行う対策を実施した(図7)。

(2) 他信号の影響を受けて変動する信号への対策

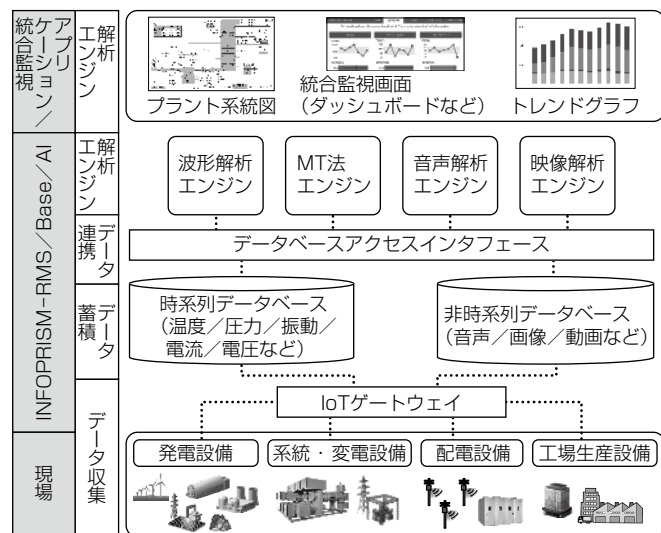
制御設定値に依存してプロセスデータが変化する信号や外部条件(大気温度や海水温度)に影響を受ける信号を過去の学習データで分析すると、不要な過剰検知が発生する傾向があった。アナログ相関フィルタを活用することで、過剰検知の抑制を図った(図8)。

4.3 対策の効果

学習データの充足及びランダム波形の種類に応じた対策を順次行った結果、1日当たりの検知件数が約95%削減される効果が確認できた(図9)。

5. 今後の展望と将来構想

本稿では、発電設備のアナログ信号の正常時との違いを検知することに優れる“波形分析”について述べたが、発電



MT : Mahalanobis-Taguchi, IoT : Internet of Things

図10. 発電プラント“まるごと監視”システム構成イメージ

プラントの監視要素としては、例えばモータの“異音”から設備の異常が分かるものや、設備に生じた亀裂など“見た目”で区別するものなどがある。

そこで、波形分析のほか、音声や映像データや設備の機械的な絶縁劣化など特徴的な異常兆候を捉える解析手法の開発を進めている。

これらは、発電プラントのセンサデータ及び異常兆候検知システム、監視制御システム、EMS(Energy Management System)など上位アプリケーションのデータを統合監視し、データアクセスインタフェースを介して、それぞれの解析エンジンでデータ解析を行い、その解析結果を統合的に監視・分析する仕組みを構築する(図10)。

このように、発電プラントの多種多様なセンサデータや機器の異変を、それぞれの解析エンジンにかけ、統合的に監視可能なユーザーインタフェースを構築することによって、発電プラントを“まるごと監視”可能なシステムを提供していく。

6. むすび

異常兆候検知システム“INFOPRISM APR ANALYZER”このシステムの実証で出てきた改善点の開発及び不要な過剰検知への対策を継続して進めていくとともに、検知結果を効率的に分析するための分析画面の機能拡充も進めていく。

参考文献

- (1) 中村隆顕, ほか: 標本部分列を用いた時系列データ異常検知方式, 電気学会論文誌C, 136, No.3, 363~372 (2016)