

# インвариант解析技術(SIAT)を用いた発電所向け故障予兆監視ソリューション

吉永 直生 日野 勇夫 寺澤 哲 前田 力俊 重本 佳孝 井上 敬

## 要 旨

発電所では、安全、安定かつ効率的な運用によりお客様に安心して電気を使用いただくことが求められています。一方で、故障の発生は避けられないため、故障予兆の早期検知と対処が重要です。しかし従来のセンサー値のしきい値監視では、早期の予兆検知が難しい場合がありました。NECが電気事業者様と共同で開発した発電所向け故障予兆監視ソリューションでは、独自のビッグデータ技術であるインвариант解析技術を用い、プラントの「いつもと違う」動きをとらえることで、設備の故障予兆を早期に、かつ的確に検知できます。更に、プラントの運転効率の向上につながる機能の開発も行っており、電気事業者様の安定した電力供給に貢献していきます。



インвариант解析技術(SIAT)／発電所／故障予兆監視／ビッグデータ／運転効率化

## 1. まえがき

発電所においては、安全、安定かつ効率的な運用によりお客様に安心して電気を使用いただくことが求められています。一方で、発電所プラントに故障が発生することは避けられないため、プラント監視によって故障の予兆を早期に検知し、対処することが重要です。

ここで、プラントの監視は一般的に、温度や圧力、流量などのセンサーデータをもとに行われています。数百から数千に及ぶ多数のセンサー値の動きの監視は困難であるため、従来は、設計やこれまでの運転実績に基づき設定されたしきい値(警報設定値)をもとに管理していました。このため、しきい値を超えない範囲での異常兆候の発見ができないことが課題となっていました。また、しきい値を超えない範囲での異常兆候の発見は、人の経験・知識などに依存する部分が多く、画一的な実施が難しいという課題もありました。

上記の課題を解決するため、大量のセンサー値データから機械学習によって有用な情報を引き出す、ビッグデータ分析技術が着目されています。NECでは、電気事業者様と協力し、NEC独自のビッグデータ分析技術であるインвариант解析技術(System Invariant Analysis

Technology: SIAT)を用いた、発電所向け故障予兆監視ソリューションを共同開発しました。SIATでは、センサー間の不变関係を学習し、関係性の崩れを検知することによって、「いつもと違う」動きを早期に検知することができます。本ソリューションは、原子力発電所の過去の運転データを用いて効果検証を行っており、既に原子力発電所に導入されています<sup>1)</sup>。

本稿では、SIATの概要と故障予兆監視ソリューションについて説明します。

## 2. インвариант解析技術(SIAT)

インвариант解析技術とは、システムの時系列センサーデータをもとに、センサー間に成り立つ不变関係(インвариант)を関係式として学習し異常検知を行う技術です(図1)。

例えば、発電所プラントが安定した運転状態にあるときに、発電出力を上げるとポンプ圧力も上がるという正の関係性がある場合を考えます。このような関係は例えば、「ポンプ圧力=発電出力×α」というような、線形の予測式によって表すことができます。SIATでは、この式から算出される予測値と実際の値を比較し、関係性の崩れを検

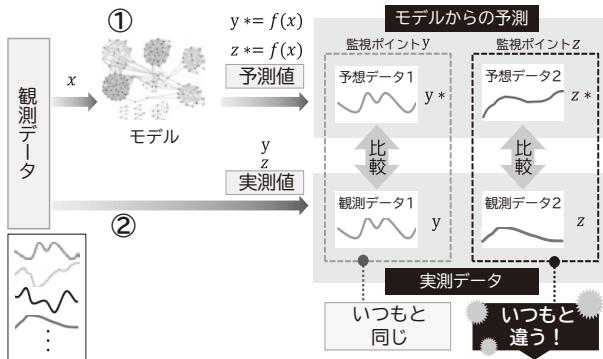


図1 インвариант解析技術 (SIAT) の概要

知ることによって、「いつもと違う」動きをとらえることで事象の早期検知を実現しています。

上記の関係性がある場合において、ポンプに亀裂などの障害が発生し、発電出力を上げたにもかかわらず、実際のポンプ圧力に変化が無い場合を考えます。この場合、ポンプ圧力の予測値は正常に圧力が上昇傾向になると予測するため、実測値より値が時間とともに大きくなり、これにより予測値と実測値に誤差が生じることで関係性が崩れ、この結果をポンプ圧力の異常検知に利用します。

上記の異常例では、圧力の値がしきい値内の場合は正常範囲と判定するため、圧力がしきい値を超えるまでは、しきい値監視では異常を検知することができません。またSIATでは、センサー間の関係を網羅的に学習するため、センサーごとにしきい値を設定する手間がなく、しきい値に関する知見の無いセンサーについても、利用することができます。

### 3. 発電所向け故障予兆監視ソリューション

#### 3.1 システム構成

発電所向け故障予兆監視ソリューションでは、既設の運転監視装置からデータを取得し、そのデータをもとに分析を行います。したがって、既設プラントに故障予兆監視のシステムを導入することが可能で、新たに専用のセンサーを設置する必要もありません。

システム構成は、運転・保守などの別部署の監視員が同時に状態を確認できるように、複数のクライアントを兼ね備えたサーバークライアント方式を採用しています(図2)。サーバは大きく「分析サーバ」と「ストレージサーバ」に分

けられ、取得したデータはSIATエンジンを搭載した分析サーバで解析され、ストレージサーバに結果を保存する仕組みになっています。クライアントでは、結果の確認や監視方法の設定などの操作が可能です。

#### 3.2 インвариантモデルの学習

故障予兆監視のために、まずは通常運転時におけるインвариантモデルを学習します。インвариантモデルとは、システムに存在するインвариантの集まりのことです。SIATでは、通常運転時の時系列データを入力するだけで、センサー間の関係を網羅的に学習し、自動的にモデルを作成します。このモデルによって、「通常運転時のセンサーの動きが予測できる(例えば発電出力に対するポンプ圧力の予測)」状態になります。

#### 3.3 故障予兆監視

故障予兆監視では、まず、インвариантモデル内のすべてのインвариантについて予測値と実測値の誤差を計算し、システム全体の異常度を計算します。この異常度が一定以上の値に達するか、時間経過とともに増加している

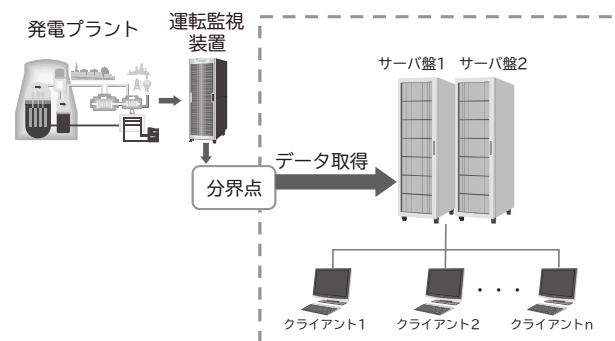


図2 システム構成図



図3 異常度の表示画面

かなどの条件によって、故障の予兆と判断します(図3)。また、システム部位ごとのインバリアントモデルを表示し、崩れた関係性がシステムのどの部分に集中しているかを示したり、誤差が大きいインバリアントのリストや、異常の要因になっているセンサーのランキングを示したりすることによって、発生部位、発生原因の解析を補助します。

#### 4. 発電所への本ソリューションの導入効果について

本ソリューションの主な導入効果は、早期の異常検知を実現できることと、異常の発生原因を特定しやすくなることの2つです。これらの効果によって、異常や異常兆候への素早い対応が可能になります。これによって、異常の影響範囲が拡大して大きな故障が発生する前に対処することが可能になり、計画外の停止期間を短くすることへの貢献が期待されます。

上記2つの効果については、複数の実証実験によって検証されています。例えば原子力発電所において、実データを使った実証検証を行った結果、運転員よりも約7時間前(条件による)に故障予兆の検知ができる事を確認しました。

また本稿では、発電所向け故障予兆監視ソリューションに含まれる機能のうち、リアルタイムのプラント監視について主に説明していますが、過去のデータを使って詳細な分析を行うことも可能です。例えば、複数の類似プラントのデータ学習したインバリアントモデルの差異を見ることで、プラントごとの運転状態の違いを比較することができます。また、プラントの起動工程や定期点検工程について、過去のデータと比較しながら、各工程が正常に完了したかを判定する機能も備えています。

#### 5. 現状の課題と今後の取り組みについて

SIATでは、プラントの「いつもと違う」動きをとらえることによって、早期の異常検知を実現しています。「いつもと違う」動きをとらえるためには、「いつも」の状態を学習し、モデル化する必要があります。現在は、過去のプラントデータから、学習する期間を設定することで、自動的にモデル化を行います。

モデル化の例として、本ソリューションの既存適用先である、原子力発電所について説明します。原子力発電所は、

ベース電源として運用されるため、長期間にわたって安定した稼働を行うことが一般的です。したがって、安定稼働している期間を学習することで、「いつも」の状態をモデル化することができます。例えば、直近の1週間のデータを使って学習し、異常検知を行うことができます。

一方で、ピーク電源として運用している発電所、例えばガスタービン発電所では、1回の稼働期間は比較的短くなり、毎日起動と停止を行う場合もあります。このような発電所では、1日ごとに、また1日の時間ごとに運転状態が微妙に変化するため、どのようにして「いつも」の状態を学習するのかが課題になります。

また、発電所向けソリューションとしては、故障予兆監視以外の機能も求められています。例えば火力発電所では、原子力発電所と比べて、運転効率化が重要な課題となっています。石炭火力発電所を例にとると、石炭の種類やプラントの状態、運転状態、設備の劣化状況によって総合効率が変わるため、効率化によって費用を大きく削減できる可能性があります。

本章では、ソリューション対象領域の拡大と、機能の追加による新たな価値の提供について説明します。

##### 5.1 対象領域の拡大について

ガスタービン発電所のように毎日起動と停止を行う場合は、1日ごとの運転状況の違いも含めて「いつも」の状態を学習する必要があります。これを実現するため、複数の期間を入力して、それぞれの期間に共通するモデルを学習する手法を開発しています。この機能によって、起動ごとに運転状況が微妙に変わっても、異常を早期に検知することができます。

また、太陽光発電や風力発電など、再生可能エネルギーを利用した発電所では、その日の天気や季節によって発電量が大きく異なるなど、プラントの運転状況が大きく異なる場合があります。このような場合、複数の運転状況をまとめて「いつも」の状態を学習することが難しいため、運転状態をパターン化などによってモデル化して学習し、自動的にモデルを切り替えながら異常検知する手法を開発しています。

##### 5.2 機能の追加による新たな価値の提供について

今後の取り組みとしては、異常の発生原因特定機能の充実と、運転効率向上に貢献できる機能の開発を検討し

ています。

現在、異常の発生原因特定機能としては、異常の原因となっている可能性の高いセンサーのランキング機能などがあります。しかし、異常に対してどのような対策をとればいいかは、センサー値の推移などを人が目で見て判断する必要がありました。この手間を軽減するため、過去に発生した異常と対策の記録をデータベースに保存し、新たに発生した異常に対して対策案を提示する機能の開発を検討しています。

運転効率を向上させるための機能としては、運転効率の異なる2つのデータ、例えば燃焼効率が違う2つのプラントや、2つの異なる期間のデータから学習したモデルを比較し、効率の違いに影響しているセンサーや、センサー同士の関係性を抽出する機能の開発を検討しています。この機能によって、燃料の消費が少ない効率的な運転の検討が可能になり、経済面と環境負荷軽減の両方に貢献することができます。

## 6. むすび

以上、インвариант解析技術 (SIAT) の概要と、故障予兆監視ソリューションについて説明しました。今後は精度向上や異常の発生原因特定機能の充実とともに、運転効率の向上につながるソリューションの開発を行い、電気事業者様の安定した電力供給に貢献していきます。

### 執筆者プロフィール

#### 吉永 直生

交通・都市基盤事業部  
主任

#### 日野 勇夫

交通・都市基盤事業部  
マネージャー

#### 寺澤 哲

交通・都市基盤事業部  
主任

#### 前田 力俊

交通・都市基盤事業部  
主任

#### 重本 佳孝

交通・都市基盤事業部  
主任

#### 井上 敬

交通・都市基盤事業部

### 参考文献

- 1) 福島慶ほか：インвариант解析技術 (SIAT) を用いたプラント故障予兆監視システム, NEC技報, Vol.67 No.1, P.119-122, 2014.11
- 2) 寺澤哲：発電プラントにおけるビッグデータ活用～プラント故障予兆監視システムの開発～, 電気評論, 100 (615夏季増刊), pp.22-25, 2015.6

# NEC技報のご案内

NEC技報の論文をご覧いただきありがとうございます。  
ご興味がありましたら、関連する他の論文もご一読ください。

NEC技報WEBサイトはこちら

NEC技報(日本語)

NEC Technical Journal(英語)

## Vol.68 No.2 ICTが拓くスマートエネルギーソリューション特集 ～ICTとエネルギーの融合を目指して～

ICTが拓くスマートエネルギーソリューション特集によせて  
NECの目指すスマートエネルギービジョン

### ◇ 特集論文

#### 一般需要家様向けソリューション

データ活用で進化するNECのクラウド型HEMSソリューション  
自律適応制御を用いたHEMSデータ活用ソリューション  
クラウド型EV・PHV充電インフラサービス  
“電気をためて、賢く使う”を実現する小型蓄電システム  
軽量で長寿命を誇る通信機器用リチウムイオン二次電池パックの開発

#### 企業様向けソリューション

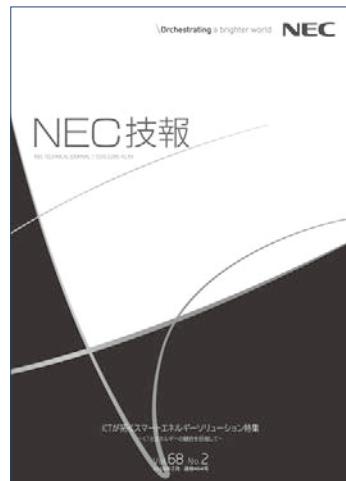
大林組技術研究所に導入したスマート化システムとNEC玉川事業場9号館への展開  
データセンターの空調電力を削減する冷却技術  
玉川スマートエネルギー実証  
携帯電話基地局のエネルギー使用を最適化するEMSソリューション

#### エネルギー事業者様向けソリューション

電力サプライヤーソリューションの中核を担う電力需給管理システムの開発  
インバリアント解析技術(SIAT)を用いた発電所向け故障予兆監視ソリューション  
Situational Intelligenceによるリソース最適化  
分散蓄電池による電力需給調整ソリューション  
クリーン・高信頼性・再生可能な将来を目指した電力グリッド向けエネルギー貯蔵装置の活用  
電力の安定供給を支える系統安定化ソリューション～イタリアENEL様向け系統用蓄電システム～  
スマートメーター通信システム(AMI)における実績

#### 技術開発・標準化

国連CEFACT標準のメソドロジー  
OpenADR(自動デマンドレスポンス)とNECの取り組み  
標準手順を用いた蓄電池遠隔制御の実証  
1つのセンサーで複数機器の消費電力や利用状況を見る化する電力指紋分析技術  
デジタルグリッドが実現するインバランス削減ソリューション  
レジリエントなマイクログリッド管理ソリューション  
高エネルギー密度リチウムイオン電池の安全性技術  
NECエナジーデバイスのLIB電極の特長と生産実績



Vol.68 No.2  
(2016年2月)

特集TOP