

島根原子力発電所の運転データを活用したプラント故障予兆監視システムの導入と運用

Shimane Nuclear Power Plant Implementation of the Prediction Monitoring and Diagnostic System

中国電力株式会社	林 司	Tsukasa HAYASHI	会員
中国電力株式会社	藤岡 隆	Takashi FUJIOKA	非会員
日本電気株式会社	山本 敬之	Takayuki YAMAMOTO	会員

Our Company, aims at tracking huge plant parameters (Big Data), managed by Nuclear Power Plants. By application of this Big Data, along with NEC Corporation we developed a system to detect any equipment abnormalities accurately and as much as possible at an early stage.

After the implementation of the system, checks of the actual working of the system can be conducted and performance gains enhanced drastically.

Keywords: Big Data, invariant, Real-time monitoring

1. はじめに

島根原子力発電所では、リアルタイムで故障の予兆を捉え早期に対応しプラントの運転の質と安全性の向上を図る目的から故障予兆監視システム(以下、「本システム」という)を2014年7月に2号機に、2015年3月に3号機に導入した。本システムはこれまで蓄積してきたあるいはリアルタイムの運転データ等を用いて原子力設備の異常を予兆の段階で検知するシステムである。当社は2号機の運転データ他を用い本システムの開発を2011年から2013年にかけて日本電気株式会社、株式会社IIUと共同で行い、2013年末には試験導入が完了した。実施してきた試験結果から本システムが実プラントで運用可能という判断を行い2014年7月に2号機、翌2015年3月には建設中の3号機に導入した。今回は、本システムの導入から、サーベイランス試験等における運用状況等について紹介する。

2. 故障予兆監視システムの構成、データ入力および予兆監視の概要

2号機の運転監視用計算機(以下、「プロコン」という)には約3,500種類の主要なセンサからのデータが250ms, 1s, 3sの間隔で取り込まれており、各機器の運転状態やシステムの健全性をリアルタイムで監視している。プロコンから予兆監視システムへは瞬時値を5sごとに入力する仕組みとなっている。

もうひとつのプラント運転データを活用する装置として過渡現象記録装置(以下、「ナプラス」という)がある。ナプラスはプラントに異常(以下、「イベント」という)が発生した場合、その原因とプラント挙動の解明・解析を目的として設置されている。イベント発生前5分からイベント発生後25分のプラントデータを応答の速いパラメータは1ms, 比較的遅いものは10msで取り込んでイベントとして記憶する。データは常に上書きされており、ナプラスにはプラント運転中の重要なデータ(350点(3,500に包絡):デジタル50点, アナログ300点)が全て取り込まれる。

本システムは新たにセンサ追加するのではなくプロコンおよびナプラスに入力されている運転データをそれぞれのシステムからサーバーを経由して入力している。それぞれのシステムのデータサンプリング時間の違いはサンプリング時間の長いパラメータの挙動補完(プロコンサンプリング1sデータの詳細補完)に使用する。

図1に本システムの構成を示す。



図1 システム構成

連絡先: 藤岡 隆、〒730-8701 広島県広島市中区小町4-33、
中国電力株式会社 電源事業本部 (炉心技術グループ)
E-mail: 278570@pnet.energia.co.jp

原子力プラントは機器や系統の状態が設計値や運転実績等により設定されたしきい値と運転データを用いて監視している。前述のとおり本システムはこの膨大な情報を活用し、プラントの種々のデータ間にある相関性に注目し、その関係が崩れることにより異常を早期に検知し的確かつ迅速に運転員に情報提供するものである。

本システムの異常検知の仕組みは、プラント起動や運転中等のリアルタイムデータと本システムでデータベース化した過去の運転データの評価結果、すなわちプラントが良いパフォーマンスで運転している時の機器や系統のデータとの関係性を分析することである。そして、その分析結果に何らかの関係性の違いを検知するとクライアント画面にその内容を表示するものである。

表1に2・3号機に導入された本システムの仕様、図2に本システムの装置外観を示す。

表1 システム仕様（上表：2号機，下表：3号機）

項目	仕様	備考	
データ保存期間	39ヶ月	保存用記録媒体増設可能	
記憶容量	96TB		
入力データ点数	運転監視用計算機	約3,500点	
	過渡現象記録装置	約350点	
データ周期	運転監視用計算機	5秒	取込み周期
	過渡現象記録装置	1秒	取込み周期
同時監視最大モデル数	6	モデル=センサ間相関の集合	
盤設置数	2面	H2.0m×D1.1m×W0.6m(1面)	

項目	仕様	備考	
データ保存期間	39ヶ月	保存用記録媒体増設可能	
記憶容量	192TB		
入力データ点数	運転監視用計算機	約13,000点	
	過渡現象記録装置	-	取込みなし
データ周期	運転監視用計算機	5秒	取込み周期
	過渡現象記録装置	-	取込みなし
同時監視最大モデル数	6	モデル=センサ間相関の集合	
盤設置数	3面	H2.0m×D1.1m×W0.6m(1面)	



図2 装置外観

3. システムの用途

本システムの用途はプラントの異常を予兆の段階で早期に発見し、人間が介入できる時間を確保することによりプラントの安全性を向上させることが設置の大きな目

的である。しかし、目的はこれだけではなくプラントの状態を的確に捉え、客観的に評価し運転員、保守員に注意喚起を促すことにより、運転および保守の質の向上を図り、結果としてプラント全体の信頼性の向上を図ることもその目的のひとつである。これらの目的を達成するために、具体的に下記の7つのケースで利用することを想定している。

3. 1. 各種系統のリアルタイム監視

プラント全体および重要視する系統において良いパフォーマンスの運転を行ってきた期間のデータを用いてモデルを作成し、そのモデルと比較して種々のデータ間にある関係性に崩れがないかをリアルタイムで監視することで、プラントの異常を予兆の状態でも早期に検知する。

3. 2. 注目する機器の状態監視（状態監視保全）

本システムにて機器のデータを定期的に取得し良いパフォーマンスの運転状態のモデルを用いて運転傾向を比較監視を行うことにより、劣化や機器故障を予想する状態監視保全に応用する。

3. 3. 定期試験における機器の状態判定

プロコンに蓄積されている過去の良いパフォーマンスで行われた定期試験時のデータによりモデルを作成する。そのモデルと現在行われている定期試験の運転データ間の関係性を検出し、モデルと実際の定期試験データとの比較により、現時点における注目機器の状態を判定する。

3. 4. プラント起動工程および停止工程におけるプラント健全性確認

プラントでは起動時に①原子炉起動～圧力上昇、②真空上昇、③タービン起動、④出力上昇等のイベントがあり、イベントごとにパトロールやパラメータ等の確認により機器の健全性を確認している。また、停止時には定格出力～解列～原子炉停止までを1つのイベントとして起動と同様に健全性の確認を行っている。これに加え本システムでは、各イベント終了時点で、過去データを用いて作成したモデルと比較、評価を行うことで、これまでとは別の視点で健全性の確認を行う。

3. 5. 機器点検前後およびリプレースした機器健全性評価

機器の分解点検またはリプレース後の試運転時のデー

タ間の関係性と、当該機器の前回点検後の試運転時またはリプレース前の運転時のデータ間の関係性を比較することにより、リプレース機器の健全性を評価し、いわゆる保守時のいじり壊しを防止する。

3. 6. トラブル事象後の分析機能活用

本システムは過去3年分のデータを保存できることから、トラブル事象後に対象機器および関連機器のトラブル事象発生時のデータ推移等を確認することで、原因究明・対策に活用する。

3. 7. シミュレータ機能

シミュレータ機能は、任意の計器・センサのパラメータを変動させることにより、パラメータ間の相関性、プラントの運転状態の変化等、予兆の発生から故障までの変動を模擬し、パラメータ間の関連性、故障のパターンとパラメータの変化、運転状態の変化等についての教育等に活用する。

4. 現在の状況

本システムの発電所への導入以降、これまでの試験運用の中から、前項で説明したシステムの用途のうち、リアルタイム監視および定期試験における機器の状態判定について紹介する。

4. 1. 各種システムのリアルタイム監視

3.1項で説明したリアルタイム監視画面の例を図2に示す。図3において黒線は2つのセンサ間の関係性が崩れていないことを示しており、赤線は関係性が崩れていることを示しており、アラームとして画面に表示される。

ただし、赤線の表示が必ずしも故障の予兆であるという訳ではなく、気温や海水温度等、周囲環境の影響を受けて変動したプロセス値の変化を捉えたり、系統切替等によるセンサ間の関係性の変化を捉えたりするものもある。

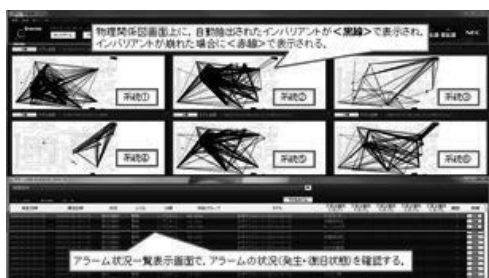


図3 リアルタイム監視画面

4. 2. 定期試験における機器の状態判定

ポンプの確認運転を対象に実施した例を説明する。分析結果は図3のようにセンサ間の二次元マトリクスで表示され、視覚的に従来との違いや、どのセンサが従来と異なる動作をしているかを捉えることができる。二次元マトリクス上に、自動抽出した関係性のあるデータ間は白塗で表示され、関係性が崩れた場合に赤塗で表示される。

図4に示すとおり、ポンプ関係のセンサ間（緑枠内）の関係性が過去と比較して崩れていないことからポンプ起動時、ポンプ流量一定時、停止時のいずれにおいても機器の性能は過去の状態と同様であり、異常がなく性能は維持されていると判断した。

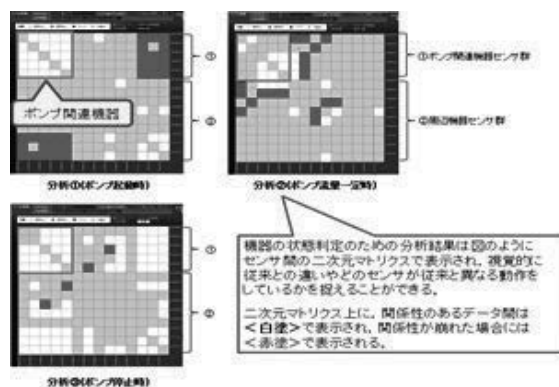


図4 機器の状態判定画面

また、運転員による通常点検（異音・振動等）および計測値も過去と同様の値であり、異常は認められなかった。今回の試験ではポンプ性能は維持されており、予兆監視システム十分に期待した性能を発揮していると考えられる。なお、図より周辺機器との関係性の崩れが見られるが、これは試験時のプラント状況が、過去の試験状態と相違していることを捉えたものであり注目している機器の健全性には関係がない。

4. 3. 過去のプラント不具合事象における解析例

島根2号機において、平成18年10月13日に発生した、主蒸気圧力検出器からの微小な蒸気漏えい事象について、プロコンのデータから、解析を行った。その結果、原子炉圧力に低下傾向が現れた後、運転員が検出器からの蒸気漏えい事象に気付いた時点よりも約6時間早く、予兆監視システムが明確に異常の兆候を検知できたことを確認した。予兆監視システムの有効性は解析では十分に確認している。

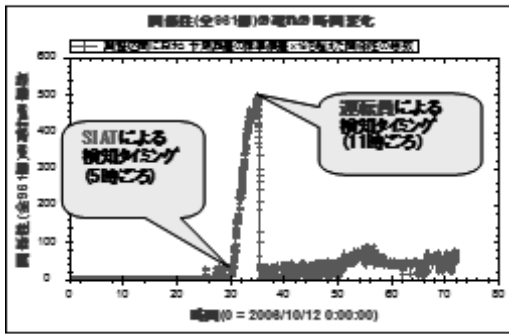


図5 主蒸気圧力検出器からの微小漏えい解析結果

5. おわりに

本システムを有効に運用していくためには適切なモデルの作成が不可欠であり、適切なモデルを作成するためにはセンサの選択やモデルを作成する運転期間等のチューニングが必要となる。

今後も継続してチューニング作業を実施し、実機での運転データ蓄積・解析を行い、本システムの故障予兆検知感度および精度の向上を図ることとしている。本システムを有効に活用することにより、島根原子力発電所の設備管理、運で検知するのではなく、保全の本来の姿である異常を発生させない適切な保全を行い原子力設備の最終目標である安全性の向上に努めたい。