

プラント機器の健全性診断技術の開発

Development of integrity diagnosis technique for plant equipment

日立製作所	金田 昌基	Masaki KANADA
日立製作所	笠原 孝保	Takayasu KASAHARA
日立製作所	牛尾 裕一	Yuichi USHIO
日立製作所	雨川 洋章	Hiroaki AMAKAWA
日立 GE	大城戸 忍	Shinobu OKIDO
日立 GE	花木 洋	Hiroshi HANAKI
日立 GE	岡澤 周	Hiroshi OKAZAWA

Abstract

In order to optimize plant maintenance, it is important to diagnose an integrity of equipment and use it for maintenance planning. We developed the integrity diagnostic method combining statistical model and physical model. The statistical model detects abnormality from process data and estimates abnormal parameters. The physical model estimates failure equipment from abnormal parameters. As a result of test data evaluation, it was confirmed that the proposed method can detect anomalies and estimate failure equipment.

Keywords: Equipment, Integrity diagnosis, Statistic model, Physical model, Bayesian network

1. はじめに

原子力プラントの機器は、定期検査による時間基準保全が行われているが、機器の状態に応じて保全計画を策定する状態基準保全の導入が検討されている。運転中の機器を監視する手段としては、プロセス値を用いた統計処理により、正常時との違いを検知する手法が広く用いられている。異常予兆を早期検知することにより、機器異常によるプラント停止を防止し、プラント稼働率向上に寄与することが可能と考える。また、異常の原因である故障機器を特定できれば、保全計画に反映することにより保全作業を合理化可能である。

ただし、プロセス値の監視によって得られるのは異常なパラメータであり、そこから故障機器を特定することは困難な場合が多い。例えば、過去の異常事例とデータが十分にあれば、類似事例を検索して故障機器を推定可能であるが、原子力プラントでは異常事例は少ない。そこで、機器の構造や物理特性に関する知見をモデル化して診断に活用する方法が有効と考えた。

2. 健全性診断システムの概要

本研究で提案する健全性診断システムの構成を図1に示す。診断アルゴリズムは統計モデルと物理モデルから構成される。統計モデルでは、プラント全体についてプロセス値の異常の有無と異常パラメータを特定する。具体的には、密度比直接推定法¹⁾を用いて、各パラメータ間の相関関係を監視し、正常状態から相関が変化した場合にそのパラメータを異常と判定する。

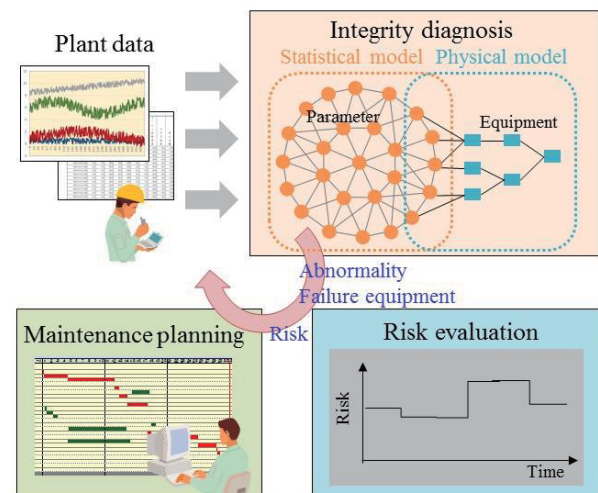


Fig.1 Configuration of Integrity diagnosis system

一方、物理モデルは機器の物理特性をモデル化したもので、異常パラメータから故障機器を推定するために用いられる。物理モデルは機器の劣化メカニズム整理表をベースとして、機器、部位、劣化事象とパラメータへの影響を関連付けたものである。これに機器の故障事例をもとに各事象の発生確率を設定してベイジアンネットワーク²⁾を構成した。統計モデルで検出した異常パラメータをもとに、機器の故障確率を求めることで、故障機器を推定することができる。

また、診断結果はリスク評価と連携して、プラント全体への影響も評価し、保全計画に反映することで保全を合理化することを目指している。

3. 模擬データによる評価

提案した診断アルゴリズムについて、実機事例に基づく模擬データによる評価を行った。対象には原子炉冷却材再循環(PLR)ポンプを選定し、PLR ポンプの物理モデルを構築して、異常の検知と故障機器の推定を行った。

図2に統計モデルによる模擬データ評価結果の例を示す。PLR ポンプでは、第一段シール室と第二段シール室の間に圧力差があり、その間はメカニカルシールで隔離されている。このメカニカルシールが磨耗して、第二段シール室の圧力が上昇する事例が確認されており、その異常を模擬した。統計モデルによる診断の結果、第二段圧力が上昇すると、パラメータ間の相関関係が変化することが確認でき、その際の異常パラメータが第二段圧力であることも特定できた。また、異常検知のタイミングは人と同等かより早く検知可能な見通しを得た。

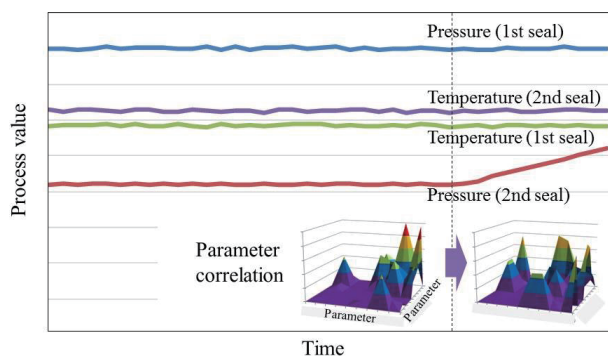


Fig.2 Diagnosis result of test data by statistical model

図3にPLR ポンプの物理モデルを示す。PLR ポンプの部位、劣化事象、影響が出る可能性のあるパラメータを整理し、NUCIA（原子力施設情報公開ライブラリー）の

故障事例をもとに事前確率と条件付確率を求め、ベイジアンネットワークを構成した。

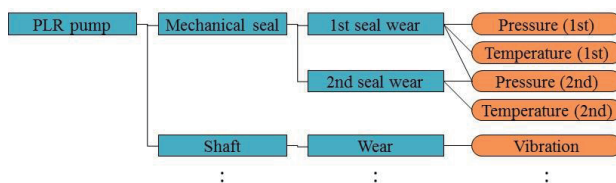


Fig.3 Physical model of PLR pump

統計モデルで特定した第二段圧力のパラメータ異常をもとに、物理モデルで故障機器を推定した結果を表1に示す。この結果、PLR ポンプの故障の可能性が高く、その原因がメカニカルシールだと推定できることがわかった。ただし、故障確率の値については、物理モデルの対象範囲や故障事例の数に依存するため暫定的な数値であり、今後モデルの拡充による高精度化が必要と考える。

Table 1 Estimation result of failure equipment

Equipment / Parts	Failure probability (%)
PLR pump	95.5
Mechanical seal	93.6
Others	2.0
Others	4.5

4. まとめ

保全に活用可能な機器の健全性診断手法として、プロセス値の相関評価により異常を検知する統計モデルと、機器の劣化メカニズムを用いて故障機器を特定する物理モデルを組み合わせた診断手法を開発した。PLR ポンプを対象とした模擬データ評価により、統計モデルでは異常を検知して異常パラメータを特定でき、物理モデルでは故障機器を推定できることを確認した。

今後は、提案手法の有効性を検証するとともに、対象機器を拡大するために物理モデルを追加していく計画である。

参考文献

- [1] 井出剛、杉山将、“異常検知と変化検知”、講談社、2015.
- [2] 本村陽一、岩崎弘利、“ベイジアンネットワーク技術”、東京電機大学出版局、2006.