

## 発電設備異常監視システムによる地震予知の試み

Trial of the earthquake prediction with remote monitoring system  
for power generation facility

河合 洋明\* 吉岡 匠\*\*

Hiroaki Kawai, Takumi Yoshioka

## Abstract

In this report, introducing a function of the application software, explaining a useful observation example in foreseeing an earthquake, and possibility to foretelling an earthquake is suggested. Authors developed online real-time analysis, monitoring application for the purpose of the facilities management of the power plants. Through the operation, we inspected usefulness about a function of the analysis of the accident and the omen grasp of the malfunction. While visualization of monitoring data and evaluation were conducting, abnormality data such as the axis vibration of the generator turbine and the increase of the reactive power appeared before an earthquake occurrence was discovered. The length of the foresight time to earthquake occurrence surpasses conventional technique and is accurate. Because generation facilities function as an earthquake sensor, it comes out to build an earthquake-monitoring network easily. This is extremely useful from the viewpoint of disaster prevention.

## 1. まえがき

著者らは電力各社の設備管理を目的としたオンライン・リアルタイムの解析・監視アプリケーションを開発し、その運用を通じて発電プラントにおける事故解析や不具合の予兆管理などについて有用性を検証してきた。プラントにおける各種予兆の把握および設備のチューニングに関わる監視データの可視化を行い、これらの評価を行ったところ、地震発生前に発電機タービンの軸振動および無効電力の増大などの異常データが顕れることを発見した。<sup>1), 2), 3), 4)</sup> これらの予知時間のスパンは、従来の手法を凌駕するものであり、確度も高い。また、発電設備がセンサーとして機能することを考えれば、現状の稼働状態で地震監視網を構築することができ、災害予防の観点からも極めて有益であると考えている。

本報告では、本アプリケーションの機能概要を紹介すると共に、地震予兆に関わる観測値の具体例およびそれらの地震予知との関連性の一端を紹介し、本アプリケーションおよび運用手法に内在する災害回避に係わる高い可能性について述べる。

## 2. アプリケーションの機能概要

一般的に、発電プラントの運転監視では、単独の運転データのしきい値超過チェックやトレンド監視による変化確認、複数の運転データの相関関係を整理して傾向を管理するパターン監視などを行っている。これらの監視方法でも十分であるという考え方もあるが、個人の経験・知見に基づいた基準により対応を都度判断することが多く、経験差による判断のばらつきや、処置判断のための時間経過などが生ずることがある。今後は、熟練した運転員の確保が一層困難になると思われ、更なる運転監視方法の強化が望まれている。監視設備としては、一般に、プラントメーカー製作の総合運転監視用計算機やそれらから独自に継承開発したFAシステムなどが用いられている。運転監視データのほとんどは技術系社員に配置されたFA端末によって見ることができ、トレンド監視や帳票管理などを効果的に行なっている。ここで、前述のような熟練の知見と同等かつ高水準の運転監視方法をFAシステムに付加するためには適切な統計的手法を組み入れることが極めて有効である。

本アプリケーションは、MT法 (Mahalanobis-Taguchi Method)<sup>5)</sup> による多変量統計解析を基本

\* 北海道科学大学 高等教育支援センター 学士課程教育支援部門  
\*\* マド・プランニング (有) 代表

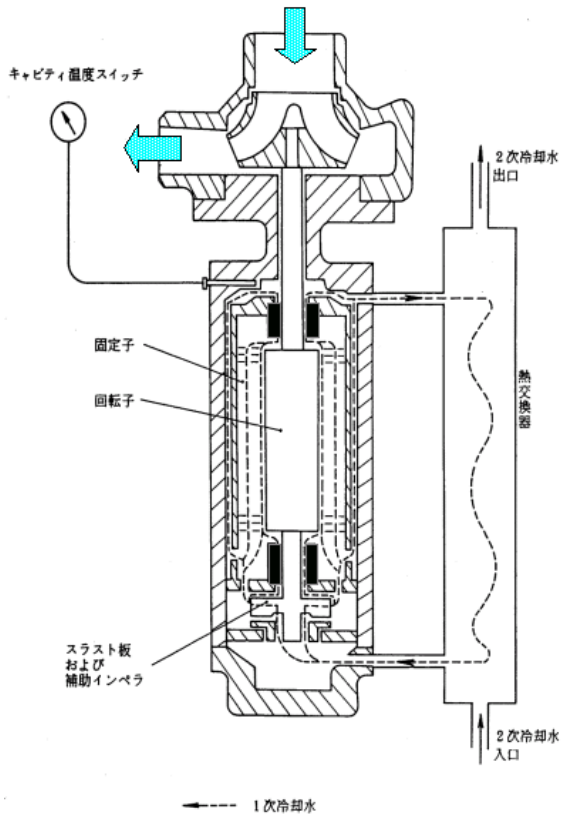
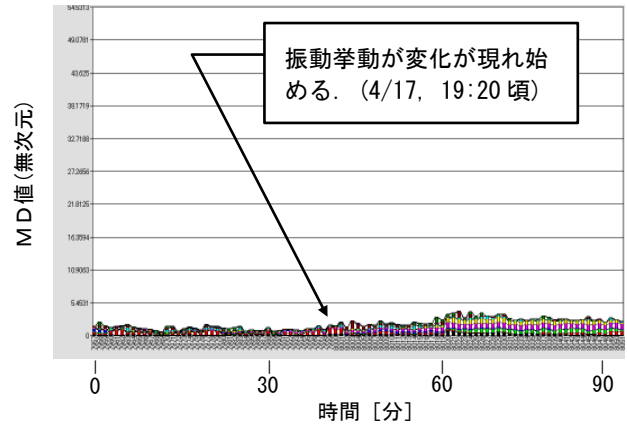


図1 ポイラ循環ポンプ

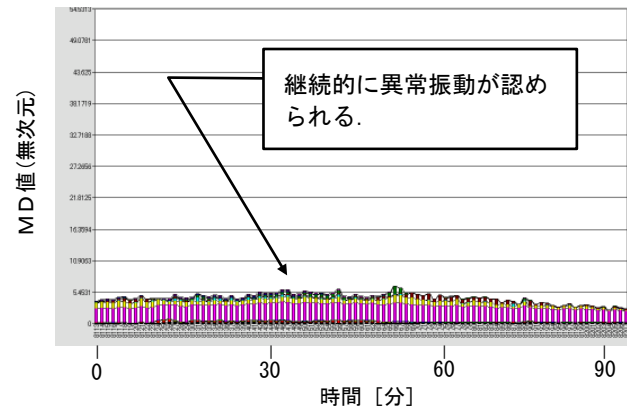
としており、多次元データからマハラノビス距離 (Mahalanobis' Distance, MD値) を算定・評価するものである。MD値は、「あるデータ群」から、「評価しようとしているデータ」がどの程度離れているか、あるいは近いかを統計的に計算し、1つの数値として表現したものである。「あるデータ群」を正常な運転状態にあるプラントデータ群、「評価しようとしているデータ」を点検データと読み替えれば、マハラノビス距離は、正常な運転状態からの統計的距離、すなわち異常を計る指標になると言える。また、本システムでは、貢献度を併用し、MD値の増加に寄与した項目の抽出も可能となっている。これらにより、リアルタイムに客観的な異常および異常予兆の判断・評価を可能とするものである。

### 3. 発電所設備における解析事例

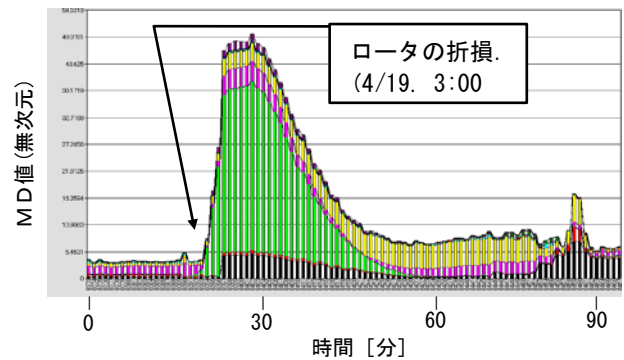
ここでは、本アプリケーションによる設備異常の可視化の例を説明する。図1のような、ある発電プラントのポイラ循環ポンプについて、H18年3月20日～H18年4月19日の期間の時系列観測値を解析処理した。図2(a)～(c)は、期間中の4月



(a) 正常状態から振動異常の発現



(b) 振動異常の持続



(c) ロータ折損

図2 ポイラ循環ポンプロータ折損事故例

17日～19日の結果を示したものである。分析対象は、ポンプ電流値、ポンプ入り口給水温度、キャパティ温度、発電機出力、主給水流量、振動値(負荷側, 反負荷側), ECO入り口給水圧力, ウォー

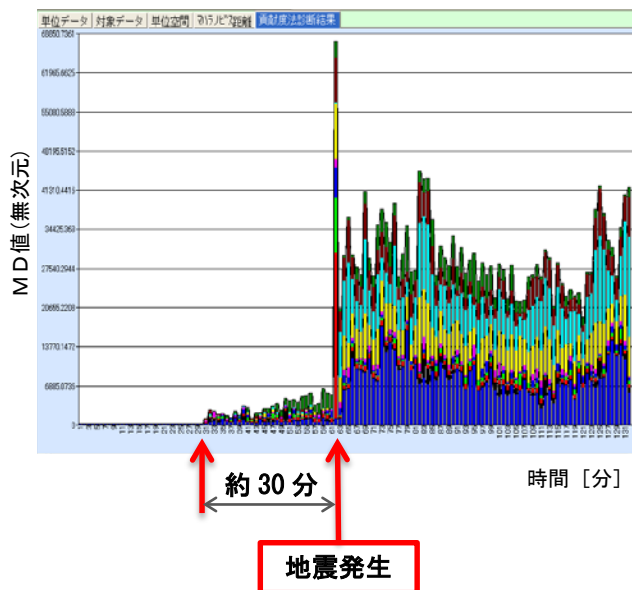


図3 地震発生前後の発電諸設備の挙動

ターウォール出口流体温度など合計12項目である。なお、図の縦軸はMD値、横軸は経過時間[分]であり、棒グラフのピッチが1分となっている。この事例では、【下部軸受ハウジングボルト破断】→【回転子傾きと振動発生(4/17, 19:20)】→【スラストディスク取付部破損】→【ロータ折損(4/19, 3:00)】→【62℃以上のキャビティー温度上昇】→【ポンプトリップ】、という履歴を辿っている。縦軸は、MD値(無次元)で、それぞれの観測値に関して、MT法により得られた異常の度合いを表しており、異常に関係すると思われる要因を積層表示することにより異常を増幅して示すこともできる。図2において、桃色は振動値(反負荷側)、緑色はキャビティー温度を表しており、ロータ折損の2日前より振動挙動が変化していることが示されている。ロータ折損の後、振動値およびキャビティー温度が急激に増大している。本アプリケーションで可視化できた振動値の上昇は、実際には巡視でもつかめな微少なレベルであり、離散化した監視機器や監視データからこのような兆候を明確に把握・推測することは極めて困難である。

#### 4. 発電機の異常兆候と地震の発生

図3および図4は、2006年6月12日に発生した地震の前後における、徳島県橋湾の発電プラントの設備機器挙動の分析結果である。図の縦軸はMD値(無次元)、横軸は経過時間[分]であり、棒

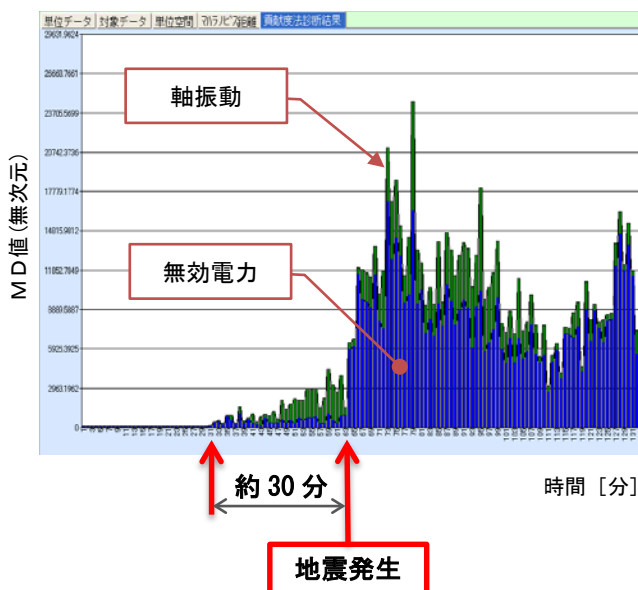


図4 地震発生前後の発電機軸振動および無効電力の挙動

グラフのピッチが1分となっている。本事例は、地震によるタービン・発電機の内部状態把握およびダメージの評価に関する調査の中で偶然発見されたものである。震源地は、大分西部(北緯30.08°, 東経131.26°), 発電所からの距離200km, 深さ145km, マグニチュード6.2, サイトでの震度4であった。本手法により地震が設備へ及ぼす影響を評価するに際して、地震の発生10分前から50分間前の運転データ群(90データ)を基準として設定し、この基準データを含め地震発生後2時間までのタイムスパンのデータを対象として、貢献度法を適用して比較検討を行った。図3は、タービン諸軸の位置、タービン軸受関連の諸温度、熱交換器諸温度、および無効電力などに現れた異常の度合いを表したものである。また、図4は、図3の結果を踏まえ、地震前に強く表れる要因として無効電力(青色)および発電機9軸振動(位相変化、緑色)に絞り込んで示したものである。図3では、地震発生の30分前から、それまでには見られなかった軸振動などの機器の挙動が現れ、地震発生とともにタービン全体が大きく揺れていることがわかる。後者は、地震そのものによる影響と思われるが、前者は地震による揺動によるものとは明らかに異なる。また、図4によれば、地震30分前からタービンの軸振動および無効電力が増大の傾向を見せ、発生直後には格段の増加を見せている。これらのことから、地震の発生に関わるエネルギー

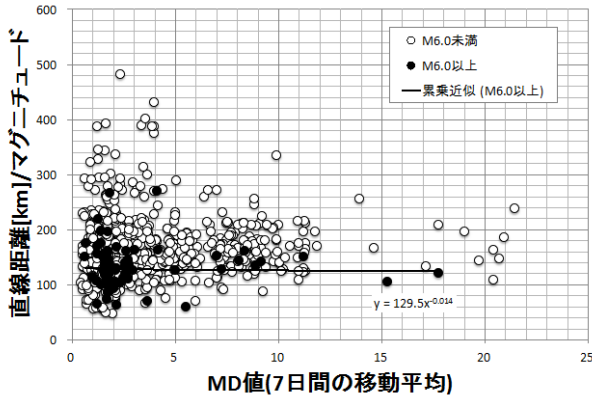


図5 MD値と直線距離[km]/Mの関係  
(7日間の移動平均を施したMD値を用いた場合)

一が発電機に影響を及ぼしていることが示唆される。これらの挙動についての解釈として、現段階では、推測の域をでるものではなく、あくまで仮説として述べることにするが、プレート境界に蓄えられたエネルギーが、一部電磁気的エネルギーとして顕れ、それらが送電線網に影響を及ぼし、送電線網に発生した外乱と直接的に結びつく発電機においては無効電力の増大や機器における強い制御的反応に結びついたものと考えることが妥当のように思われる。いずれにせよ、ユーザーサイドも含めて、特定される外乱の無い環境下において、かつて例の無い時間スパンで地震発生の予兆と思われる発電機の異常を検出・察知できていることは事実であり、地震の予知手法として高い可能性を秘めているものと考えられる。別の側面から見た本手法の有用性は、昨今強く危機管理が求められる発電プラントにおいて、特段の投資を行うことなく、計装設備も含めた既存の設備をほぼそのまま活用可能である点、また、全ての発電プラントを観測拠点とすることができ、且つ明確に兆候を取得することができる点にある。次に、いままでに解析した地震例の範囲内で得られている本手法の検出確度について述べておく。現在のところ、マグニチュード5以上の地震の8割程度については異常値として事前に検知できていることを確認している。ただし、千島、鳥島などでの遠隔地震や地震情報として震度が検出できない微弱なものは難しい。

##### 5. 時系列MD値と有感地震との関連について

2010年9月13日から2014年2月27日の期間の全国各地におけるM2以上の有感地震1871件を対

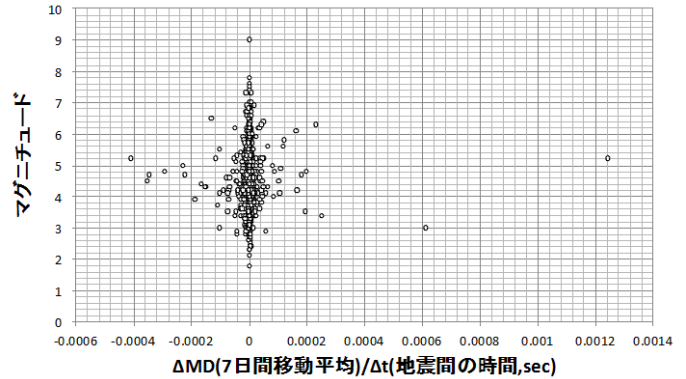


図6 MD値の地震間隔における時間傾斜とマグニチュードの関係

象とし、観測地点(ある特定の発電プラント)で得られた時系列運転データから、計算したMD値と地震発生が対応できた1365件のケースを用いて、無効電力に関するMD値と地震との関連性について検討を試みた。図5は7日間の移動平均を施したMD値と直線距離[km]/マグニチュードの関係を示したものである。また、図中の○はM6.0未満の場合を、●はM6.0以上の場合を表している。図中、●のM6.0以上の場合について近似曲線を示してあるが、近似式との間に比較的良好な相関が認められる。この関係性から、観測されるMD値より直線距離/マグニチュードを予測する可能性は考えられるが、地震発生の予測に直接結び付けることには繋がらない。もう一つの特徴は、MD値が比較的小さい場合に地震の発生頻度が高いことである。このことから、MD値の変動が小さいときに地震発生頻度が高いものと仮定して、MD値の時間変動、すなわち、あるMD値の時間傾斜について注目してみた。ここで言う時間傾斜とは、ある時間に観測された有感地震を1つ目とし、その後観測された有感地震を2回目として、これらの地震が発生した時間間隔でその間のMD値の変化を除いたものである。また、縦軸は、前述の時間傾斜に要した2回の地震の後に発生した3つ目の有感地震のマグニチュードを示している。これにより、MD値の変化と、次の発生地震の規模との関係を見ることが出来る。図では、多くの地震がMD値の傾斜が小さい時に発生していることがわかり、特に、大型の地震にその傾向が高く、MD値の時間傾斜の検討も規模予測に対して有効と思われる。

## 6. あとがき

本報告で取り上げた、MT法を用いた発電設備監視アプリケーションは、処理の特質上、異常を増幅し、複合的に可視化できるため、経験の浅い技術者であっても高度の対応が可能となる。また、リアルタイムでの運用が可能であるため、運転を休止することなく検知・判断ができる。

これらの機能を運用したとき、極めて副産物的ではあるが、発電設備の異常と地震との関係性に気づいた。これは上述の機能と有効性がもたらしたものと考えている。既存の発電プラントが地震センサーとして機能するとしたら、プラントおよび国民の双方にとって極めて有益であることは言うまでも無い。

発電所の運転データの入手は、そう容易いことではないため、十分な検証は今後待たなければならないが、図3および図4に示したように、機械・電機技術の大規模な集合体である発電設備は、本来微弱な物理的影響について、少なくとも地震発生30分前には予兆として捉えているようであり、それが本手法により可視化できたことの意義は大変大きい。

今後は、再現性および確度・精度を向上させるために、より多種多数かつ多地域にわたるデータ

解析、データの二次的処理手法の検討、および予兆を半自動的に確認する技術などについて、継続的な検討が必要と考えている。

## 参考文献

- 1) 吉岡 匠, 河合洋明: 発電機による地震予知手法の開発と 3.11 以降の地震解析結果について, 日本地震予知学会 第1回学術講演会(2014).
- 2) 吉岡 匠, 河合洋明: 最新の発電設備監視システムと地震予見の可視化, 可視化情報学会 全国講演会講演論文集(2011), Vol. 31, No. 2, pp. 81-84.
- 3) 吉岡 匠, 河合洋明: 発電設備におけるトラブル予兆発見への新リアルタイムオンライン・データ収集・分析システムの適用と地震予知の可能性について, 日本機械学会北海道支部 第49回講演会講演論文集(2010), pp. 101-102.
- 4) 吉岡 匠, 河合洋明: 発電設備における異常予兆の早期発見についての最新状況報告, 日本機械学会第15回動力・エネルギー技術シンポジウム講演論文集, No. 10-6 (2010), pp. 79-82.
- 5) 例えば, 鈴木真人, “MTシステム解析法入門”, 日刊工業新聞社, (2012).