

# C102 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

## The latest report on the early-detection technique of omens of abnormal conditions in the facilities of the power station

○ 吉岡 匠 (マド・プランニング) 正 河合 洋明 (北海道工業大学)

Takumi YOSHIOKA, MADDO PLANNING, Chuou-ku Ohdori Higashi 11-24-604, Sapporo  
Hiroaki KAWAI, Hokkaido Inst. of Tech., Teine-ku Maeda 7-15-4-1, Sapporo,

This report introduces the operation examples of the real-time online data collection analysis system, which was developed originally. Some extremely effective functions included in this system, that is, double watch of central control room equipment, calibration watch of equipment set up on central post and each site, tuning of various static characteristics and dynamic characteristics, integrated checking of efficiency of system, and etc. were described with the operation case. In addition, possibility of application of this system to power plants, for instance, earlier detection of broken behavior change, trouble sign, and others were referred.

Key Words: Power station, Power plant, Performance diagnostics

### 1. はじめに

本報告は、著者らがこれまで数社の電力会社と検証してきた事例の紹介であり、各社の要望によるオンライン解析およびリアルタイム監視による予兆把握の概況やチューニング作業に対応するために開発してきた解析ツールの要点を報告する。

### 2. 開発の経緯

表1および表2にこれまでに検証してきた内容を記載する。

本リアルタイム-オンラインシステムにより予兆を掴むための準備として各社が経験した内容について、トラブル、傾向管理、診断事例について過去の運転データを用いて要因解析あるいは監視事例に基づいた検証を行い、そこで取り纏めた運転データ群（ノウハウの入った状態を基準として要約したもの）を将来の監視に適用可能なものとして整理した。この検証作業に4年間に要している。

Table 1 Evaluation of the analysis results of the collected data by off-line processing

| 調査項目          | 調査対象機器・システム  | 評 価                                                              | ※平成19年度時点評価結果<br>応 用                                                                                                                                                   |
|---------------|--------------|------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| ①スケールリング      | ①薬液注入ライン     | ※スケールリングの発生したと                                                   | ※腹水器・各種ヒータの管理指針ができる。                                                                                                                                                   |
|               | ②給水系統        | 考えられるプロセスと要因の                                                    | ・経年劣化レベルの把握                                                                                                                                                            |
|               | ③タービン本体      | 絞り込みができ、今後の管理                                                    | ・経年劣化レベルの把握に加え閾値管理と                                                                                                                                                    |
|               | ④復水系統        | 方法についても目途をつける                                                    | 次回清掃時期設定指針ができる。                                                                                                                                                        |
|               | ⑤抽気系統        | ことができた。                                                          | ・熱交換機関係停止時保管管理指針ができる。                                                                                                                                                  |
| ②発電機起動時モータリング | タービン系統・発電機全体 | ※真空が影響していることから<br>空気漏入の可能性を示唆した。<br>・定検事グラウンド部に穴開き確認             | ※本件だけでなく、運転中においても既存の運転<br>データを解析することによりタービン内部の状態が<br>把握できる可能性がでてきた。                                                                                                    |
| ③運転時タービン挙動    | タービン系統・発電機全体 | ※定格運転中のタービン挙動が<br>確認できたことから、今後タービ<br>ンに関する各種テスト、調整の<br>確認精度があがる。 | ①弁テスト<br>②腹水器逆洗・清掃評価<br>③ヒータ片肺運転<br>※ヒータチューブリークの早期発見等                                                                                                                  |
| ④ポンプ、ファンの振動管理 | ※主要回転機器      | ※実機での評価は実施していな<br>いが、他社同種実績もあることから<br>CBM化の早期運用が可能。              | ※CBM化による振動管理の高度化〔遠隔化〕<br>とともに、ポンプ等の効率管理―電力管理を行う<br>ことによる最適エネルギー管理(PAMシステム)<br>の構築も実現できる。<br>※振動管理に関しては、蒸気タービン・回転機器<br>に続き、挙動の激しいGT・エンジンにも摘要が可<br>能なことから他発電所への展開が期待できる。 |
| ⑤環境関係調査       | ①燃料システム      | ※多様な運転状態、銘柄の異なる燃料                                                | ①燃焼管理の精度向上                                                                                                                                                             |
| ○煙突からの白煙対策    | ②ボイラ         | さらに、燃焼系統ガス系統全装置の情報                                               | ②ミルの性能管理―他炭種対応                                                                                                                                                         |
| ○DESOX不良      | ③EP          | を全て網羅した評価が可能であることが                                               | ③EPの性能管理―灰の品質管理                                                                                                                                                        |
|               | ④DENOX       | 確認できた。                                                           | ④DESOXの性能管理―石膏の品質管理                                                                                                                                                    |
|               | ⑤DESOX       |                                                                  | ※炭種毎のデータベース作成により、装置毎の<br>管理が簡潔になることが期待される。                                                                                                                             |
| ⑥ボイラ熱吸収関連     | ①ボイラメタル温度    | ※スートブロウの効果管理が可能                                                  | ①起動時、増負荷時の管理、チューブリークの検知                                                                                                                                                |
| ⑦給水ヒータ経年変化    | ①タービン系統      | ※ヒータ清掃時期の管理が可能                                                   | ①ヒータリークの検知                                                                                                                                                             |
| ⑧ミルの経年変化      | ①燃料システム      | ※ミルと炭種の関係と性能評価が可能                                                | ①ミルの補修時期の管理                                                                                                                                                            |
| ⑨CONDの経年変化    | ①タービン系統      | ※COND経年劣化把握支援が可能                                                 | ①タービン効率管理の精度向上〔定量的管理〕                                                                                                                                                  |

Table 2 Evaluation of the analysis results of the collected data by on-line processing

| 調査項目                                            | 調査対象機器  | 評 価                                                                                                           | ※平成22年度時点評価結果                                                                                           |
|-------------------------------------------------|---------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|                                                 |         |                                                                                                               | 応 用                                                                                                     |
| ①地震後のダメージ評価                                     | ①タービン   | ※生データでは評価が難しい地震時の解析                                                                                           | ①運転中の潤滑油の分析と併せより精度の高い                                                                                   |
|                                                 | ②発電機    | が可能なことが確認できた。                                                                                                 | 診断が可能となる。                                                                                               |
|                                                 | ③付属設備   | ①タービン内部の挙動が視覚的に見える。                                                                                           | ②振動位相データから異状振動か否かの判断がより容易に判断ができる。一過去データとの比較評価が迅速にできる。                                                   |
| ②中圧タービン翼端損傷                                     | ①タービン   | ①起動時に異状振動を発生するタービンの運転中の振動状況について調査したところある時期に抽気圧力、温度が数時間に渡り変化している事を発見し詳細調査したところ上記抽気取り出し近傍の軸振動が同時期に変化している事が判明した。 | ①タービンの振動管理については、起動時だけでなく定常状態についても確認できることから、今後地震の影響を含め振動管理がより効率的にできる。さらに、用途により精緻な計器と併せる事で信頼性の高い管理が期待できる。 |
|                                                 |         | ※後日定検開放時、翼端が錆びていることを確認した。                                                                                     |                                                                                                         |
|                                                 |         |                                                                                                               |                                                                                                         |
| ③地震時の発電機効率変化                                    | ①タービン   | ①地震の前後に発電機の無効電力に特有な変化があることを発見した。                                                                              | ①運転中の発電機の効率管理に利用。                                                                                       |
|                                                 | ②発電機    | その変化は、地震の揺れが到達する前から起きていたことが解った。また、発電機本体もタービン関係とはことなる振動挙動を示していることが解った。                                         | ②この現象が発電機の出力、種類に関係ない事であれば、地震予知に関する新たなシステムの開発に大いに期待ができる。                                                 |
|                                                 | ③送電系    |                                                                                                               | ※本件は、地震予知について取り組んだ成果ではなく地震の影響評価の副産物として発見できた事ということで紹介いたします。                                              |
| ④コンバインドサイクル発電所<br>蒸気タービンの起動時の管理<br>※リアルタイム監視の適用 | ①タービン   | ①正常起動できたケースと、異状3ケースについて比較評価しトリップしたケースにのみ                                                                      | ①トリップするケースに特徴的なデータをつきとめたことから、リアルタイムモニタリングにて事前に                                                          |
|                                                 | ②ガスタービン | ウォーミング時に固有な挙動を示すことを確認                                                                                         | 判定が可能となった。                                                                                              |
|                                                 | ③発電機    | できた。                                                                                                          |                                                                                                         |

例えば、検証した設備としては以下のものがある。

- ① 原子力・タービン関係
- ② 火力設備・石炭火力・石油火力・ガスコンバインド・P-FBC
- ③ 自家発電関係
- ④ 回転機器震動監視

### 3 検証事例の紹介

#### (1) コンバインドサイクル発電所の起動時リアルタイムオンライン化の検証事例

図1に正常起動状態と振動異状によるトリップした状態の生データの表示例を、図2にソフトウェアによる解析結果をそれぞれ示す。解析の目的はトリップするケースのウォーミング時に特有な現象およびそれに関与するデータを特定することである。解析内容の観察と監視すべきデータの抽出という視点からトリップしたケースの状況の詳細を

見ると、タービン昇速中のクリティカルポイントよりも大きく前の400回転から振動の増大傾向が出始め、860回転のタービン昇速停止に伴って一旦振動は収まるが、その後の昇速により1180回転付近のクリティカルポイントで急激な振動増大へ繋がっている。トリップの予兆を捉えるためには、メタル温度、熱歪、軸位置の移動等の要因にも注目する必要があるが、供試タービンでは振動値の変化に最も顕著な変化がみられた。さらに、確認のためトリップには至らないが振動が高かった2つのケースを解析しウォーミング時にタービン軸振動にトリップ時と同様の挙動が見られないことが確認できた。従ってウォーミング時にタービン振動を監視することが一つの有効な対策と判断できる。この結果は解析作業ソフトによる絞り込みの成果であり、その監視には図3のようなオンラインリアルタイム監視システムが必須・有効である。

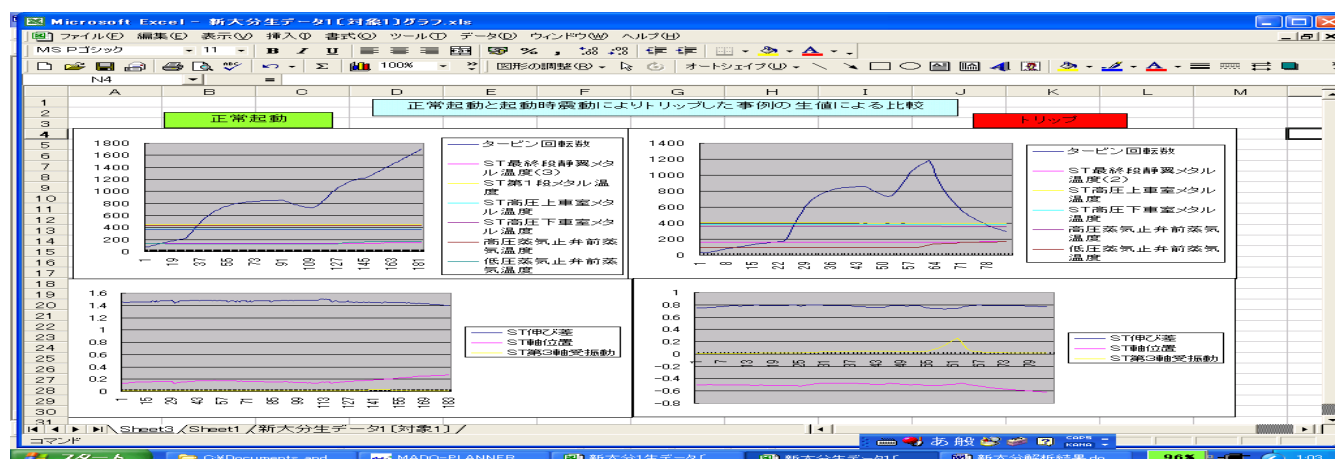


Fig. 1 Comparison of the observational data when it normality starts and when it starts attended with tripping

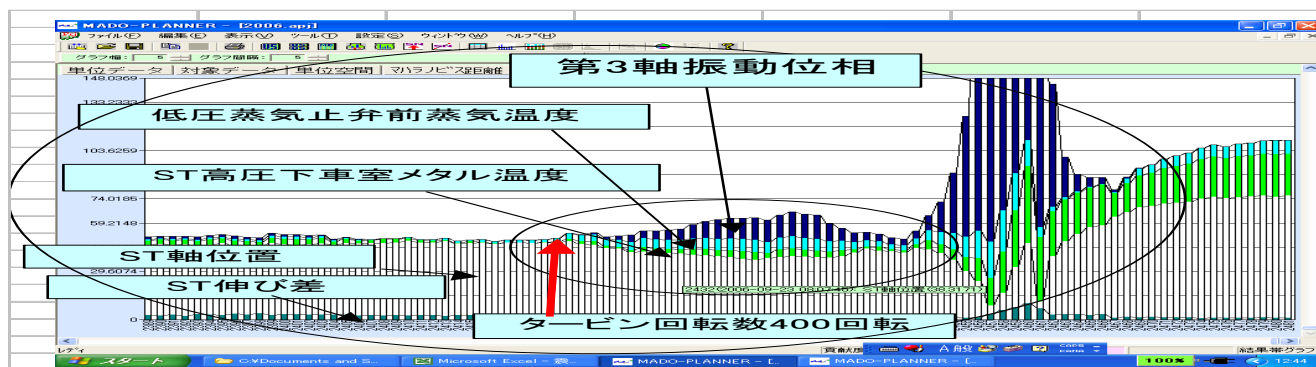


Fig. 2 Visualization of the data processing results

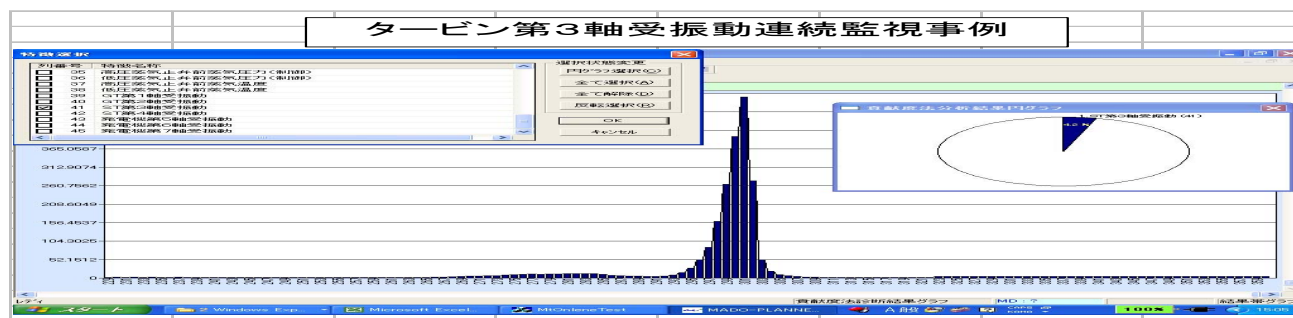


Fig. 3 Example of the real-time data observation at warming

## (2) 地震時におけるタービン発電機の特異な直前の状況についての事例紹介

以下に紹介する事例は、地震によるタービン発電機の内部状態把握とダメージの評価についての調査の中で偶然発見されたものである。これまでの調査では、地震発生時には発電機の無効電力が増加するとともに、激しい変動を起こしている。本事例での地震情報では、震源地は発電所より 200km、マグニチュード 6.2、サイトでの震度 4 であった。

地震時の設備の影響を評価する方法として、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、比較する対象データは基準データを含め地震発生後 2 時間として比較検討を行った。地震時の比較評価の結果、前述の基準とした期間において特異な変化を含んだデータが得られたことから、当該発電所において系統事故時

に所内単独運転を実施した実績データ (正常動作データ) との比較評価を試みた。

図 4 に解析ソフトウェアによる検証結果を示す。これによれば、タービン全体の振動挙動の全貌がきわめて把握しやすい形で表現されていることがわかる。具体的に観察すると、横波の到達直後にタービン発電機全体 (1 から 9 軸) が跳ね上がっている現象が見え、その 1 分後 (データサンプリング周期) には収まり、低圧タービンの位相は大きく変化し、それが継続している。つまり、この時からタービン軸位置も同時に変化していることから、地震の影響でタービンの納まり状態が変化していることが想定される。さらに注目すべきことは、地震の発生 30 分前から、地震の横揺れとは異なる要因による変化が現れていることが解った。

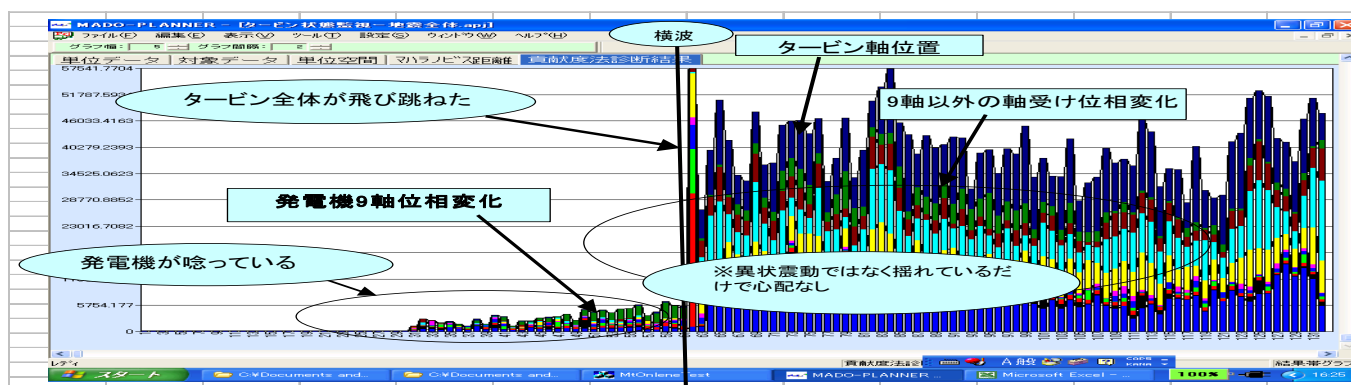


Fig. 4 Comparison of the states of turbo-generator when it is in normal and in earthquake

次に、地震発生前の状態についての挙動解析について述べる。図 5 は地震発生前の状態を示したものである。全体の評価では、無効電力の変化が注目されたが、生データにおいて詳細に検討を進めると、発電機軸受位相がタービン本体の軸受位相の挙動と明らかに異なっていることがわか

る。つまり、タービン本体の位相の大きな変化は横波の到達と合致しており、これが主因と考えられ、さらに軸位置の変化がそれを裏付けている。また、横波到達以前では、発電機軸受がタービンの他の軸受より大きな変化を起こしている。この現象と無効電力との関係について、解析ソフ

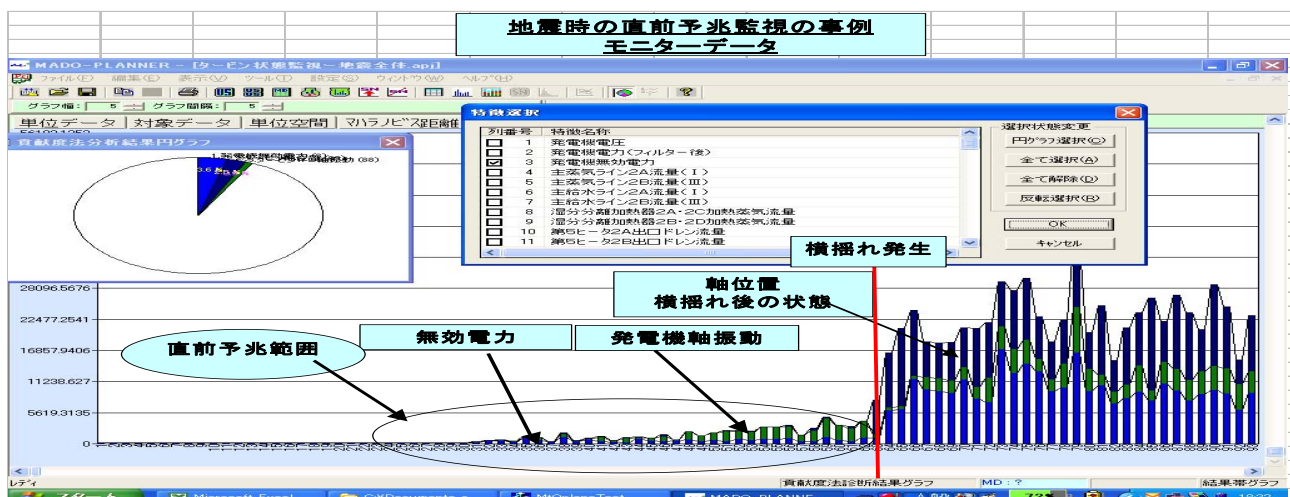


Fig. 5 Assessment of the condition before earthquake (Shaft vibration and the reactive power)

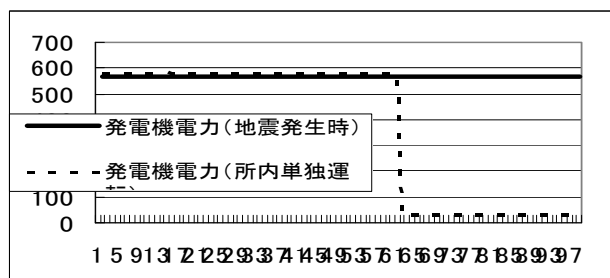


Fig. 6 Dynamo output

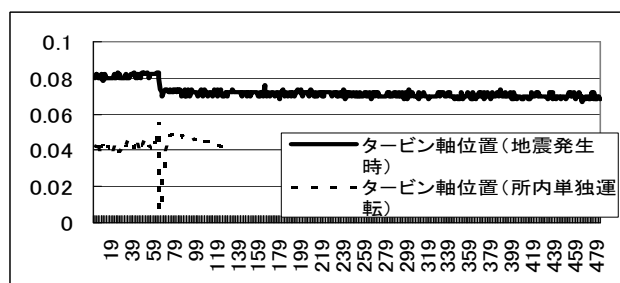


Fig. 7 Position of the turbine shaft

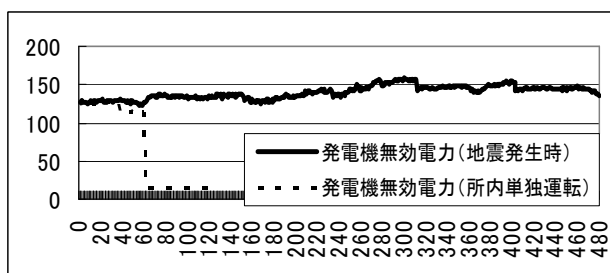


Fig. 8 Reactive power of the dynamo

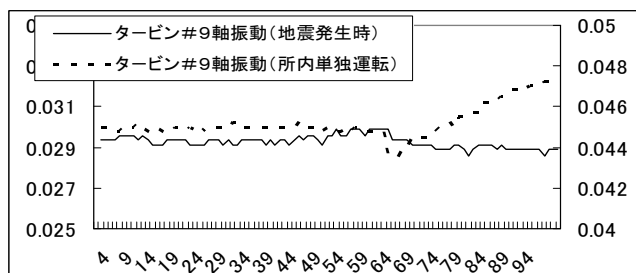


Fig. 9 Vibration of the dynamo

トにより現れる変化量ではなく、所内単独運転の生データと比較評価を実施した。なお、この際には発電出力は一定運転であり系統変更操作も実施していない。

地震時と所内単独運転における状態比較を行うため、図 6～9 に示す生データを見ると、無効電力および発電機振動の挙動が地震時と所内単独運転では異なることがわかる。無効電力 (図 8) については、所内単独運転のように出力が変化していないにもかかわらず地震時では無効電力は全体に増加しており、観測値の変動も大きい。発電機振動 (図 9) については、地震発生前に大きな周期をもって片揺れしている状況が見られ、振動状態が変化する頻度も多くなっていることがわかる。

#### 4 おわりに

今回の報告では表 1～2 の検証結果のうちオンライン監視で期待される検討事項 2 件の概要を取り纏め紹介した。以上に述べた成果は電力マンの努力の結果の一部であり、自らの責任で課題解決するという信念とその継続の賜物でもある。そのチャレンジの成果として、解析ソフトウェアの機能につ

いても多くの電力マンの要望により熟成を果たし、そのニーズはオンライン化システムの開発にまで到達している。今後は、発電所における運転情報の効率的管理 (予兆監視も含む) の実践と既存の監視・診断技術・各種解析ツールとの組み合わせにより従来に比べてより理解し易く質の高い管理が期待できる。また、本技術が発展・応用されることにより、保守に関する手法については電力会社のノウハウの蓄積および共有化が進み、従来型とは全く異なった判断手法の多様化を図ることができる。ここで、本質的な感想を述べる。これまでの評価作業の成果は人間感覚と現状のセンサー情報による総合評価の成果の一例である。つまり、ソフトはツールに過ぎず、解析作業を共にして感じたことは、彼等と今まで感じられなかったことを感じ、見えなかったことが見えてきたという仲間の実感を伝えたい。また、今後の保守技術は、協力メーカーあるいは診断会社の新技術の提案により、新たな段階へ入ることが期待される。最後に、本解析作業に関わった電力関係者等の多くが機械技術者であることを伝えたい。