

水力発電設備の機器状態監視システム

Monitoring System for Hydroelectric Power Station Equipment

水力発電所はほとんどが無人化され、遠方から集中制御されているため、運転員が発電設備の詳細な運転状況を把握するには困難な面がある。このため、発電設備の状況を確実に把握し、安全な運転の確保を図る目的で機器状態監視システムを開発した。本システムは、近年著しい技術発展を遂げたコンピュータ技術と情報伝送技術を有効に活用し、発電設備の主要データの自動収集、監視アルゴリズムによる異常の早期発見、及び保守データの一元管理を実現したものである。これらにより、運転員が発電所から離れた制御所にながら設備の運転状態をリアルタイムで監視できるとともに、異常発生時には早期に適切な対応がとれるため、保全業務の質の向上が可能となる。また、発電所を巡回点検する頻度も少なくなり、巡視の省力化にも寄与する。

伊藤明男* Akio Itō
森口一夫** Kazuo Moriguchi
吉田里美*** Satomi Yoshida

1 緒言

水力発電所は、制御所から集中遠隔制御によって無人で運転されるため、遠隔地に駐在する運転員が機器の詳細な運転状況を把握するには困難な面がある。このため異常の兆候を初期段階で見過ごし、事故に至るケースもしばしば見られる。また、設備は定期的な保守点検でその異常を発見する必要がある。このため、機器の運転状態の把握や異常の初期段階での検出、巡視点検の省力化などが行える監視装置の開発が望まれている。この要望にこたえるため、このたび水力発電所機器状態監視システムを開発した。以下、その内容について述べる。

2 システム概要

2.1 水力発電設備の巡視保守業務

水力発電設備はあらかじめ定められたチェックシートを用い、定期的に保守員が巡視点検を行っているが、この巡視点検方式には、次のような問題点がある。

- (1) 巡視時だけの断続的な点検であり、運転状態をリアルタイムで連続監視することができない。
- (2) 運転状態の異常判断には経験が必要であるが、経験のある熟練者が減少する傾向にある。
- (3) 異常が発生した場合、制御所では故障機器が識別できる集約表示警報が行われているだけであり、異常に至る経過での機器状態の把握を行うことは困難である。
- (4) 事故発生に及ぶまでの機器の状態量の記録が少なく、事故発生の経過を判定することが困難である。
- (5) 対象機器が多く、かつ補機の動作時間が長いため、巡視点検業務として実行される計器の読み取りや、補機の健全性

を試験するための補機動作時間の測定には長時間を要する。
(6) 巡視記録の有効活用を図るためにはデータの整理が必要であるが、人手にゆだねられているため整理に時間がかかる。

これらの問題点を改善するため、最新のエレクトロニクス及び通信技術などを駆使した予防保全、及び機器状態監視システムの導入が期待されていた。

2.2 システム構成

システムの構成の検討に当たっては、システムの不具合が直接、プラントの制御及び保護へ悪影響を及ぼさないように配慮することが重要である。また、システムを使いやすくするため、下記のような考慮を払う必要がある。

- (1) 無人発電所に設置するため信頼性が高く、保守の必要がないシンプルなハード構成とする。
- (2) 無人発電所でのデータの編集、加工、保存は必要最小限にとどめ、メモリ容量の削減に努める。
- (3) 定常の親局との情報授受は毎日1回とし、子局のメモリ容量は原則として1日分の情報が保存できるものとする。
- (4) データ伝送方法は、各発電所に設置されている専用保安電話を使用することとし、新たな通信線の増設は実施しない。
- (5) 異常検出時はその経過が分かるように、事前、事後の状態を記録できるようにするとともに、異常の発生を直ちに親局へ送信できるようにする。
- (6) 監視データの表示、加工、帳票作成は運転員が常駐している親局で行う。なお、データの編集内容は必要に応じ変更される可能性が大きいので、はん(汎)用性のあるパーソナルコンピュータを用い、ユーザー側でも変更できるようにする。
- (7) 制御所から監視すべき発電所は複数箇所あるため、1:n

* 日立製作所大みか工場 ** 日立製作所日立工場 *** 日立サービスエンジニアリング株式会社重電機サービス部

結合を可能とし、かつ各種データを同一フォーマットで一元管理することを可能とする。

以上の点を考慮して実現したシステムの構成を図1に示す。本システムは有人の制御所に設置する親局と無人の発電所に設置する子局、及び両局を結ぶ電話回線によって構成される。子局はプラントデータを取り込み、あらかじめ定められた監視アルゴリズムによって異常判断処理を行った後、必要に応じ各種データの加工を行う。更に、親局ではそのデータを自動編集し、運転員に必要な情報を分かりやすく提供するようにした。また、両局の情報授受は保安電話回線を用いて行うようにしている。

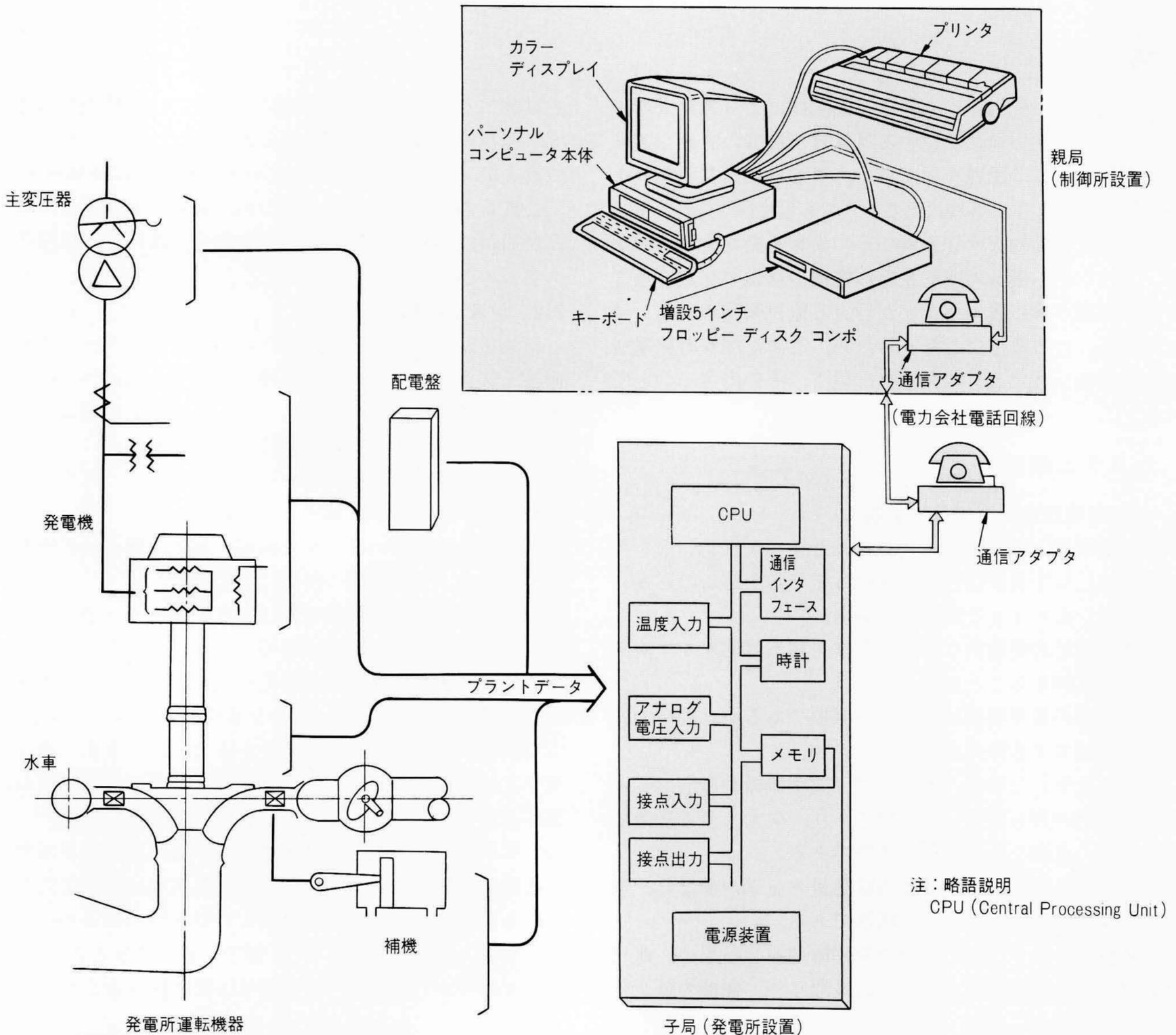
2.3 システムの特長

本システムの特長は下記のとおりである。
 (1) 常時、データを取り込み、起動、運転、停止過程のそれぞれの運転状況に応じて異常判定条件を対応させ、リアルタ

イムでのきめ細かい運転状態の監視を可能とした。
 (2) 異常検出時、異常前と異常後のデータを記録し、各種パラメータの様相を把握できるようにすることで、早期に機器の運転状況を確認できるようにするとともに適切な初期対応が行えるようにした。
 (3) 監視データのグラフィック表示及び帳票作成などによって機器状態の経年変化の把握が可能となり、予防保全や保守点検などに活用できる。また、このために必要なデータの一元管理、保存も容易になる。

2.4 システム機能

親局は分かりやすい画面表示、操作のしやすいシステムにすると同時に、将来のシステム拡張が図れるように配慮した。親局の主な機能を表1に示す。子局は無人発電所に設置するため、無保守、無点検を可能とするため、機能を最小限にとどめるのはもとより、大幅な標準化を目指したものである。



注：略語説明
 CPU (Central Processing Unit)

図1 監視システム基本構成 発電所設置の子局及び制御所設置の親局、並びに電話回線によって構成される。親局1局に対し複数の子局が接続できる。

表1 監視システム親局機能 親局は有人による対応を前提としており、運転員が容易に操作でき、更にシステム拡張や子局の設定値変更にも対応できるような機能を備えている。

No.	機能	内容
1	子局設定処理	子局仕様(増設, 入出力点数など)変更の登録
2	時刻合わせ処理	異常検出時間, 日付などのイベントタイムの同期化
3	入出力装置仕様設定処理	入出力装置仕様, 入力値上下限監視設定値の変更
4	監視アルゴリズムパラメータ設定処理	アルゴリズムパラメータ値の変更登録
5	監視アルゴリズムパラメータ子局送信処理	アルゴリズムパラメータ値のリモートローディング
6	監視アルゴリズムパラメータ出力処理	現在のアルゴリズムパラメータ値の出力表示
7	監視アルゴリズムパラメータフロッピーディスク格納処理	アルゴリズムパラメータ値のバックアップ格納
8	監視開始・中止処理	手動での監視処理停止及び再開の実行
9	子局入力値モニタ処理	異常検出時に発電所の運転状況や異常の継続をオンラインで確認するための子局入力値の表示
10	子局格納データ収集処理	監視異常時データ, 日報データの収集
11	月報データ出力処理	各監視対象機器の月報の作成, 出力表示
12	月単位トレンド表示処理	各監視対象機器の日替わり変化傾向のグラフ出力表示
13	年報データ出力処理	各監視対象機器の年報の作成, 出力表示
14	年単位トレンド表示処理	各監視対象機器の年変化傾向のグラフ出力表示
15	監視異常データ出力処理	監視異常判定前後データの数値リスト出力表示
16	監視異常データトレンド表示処理	監視異常判定前後データのグラフ出力表示
17	フロッピーディスク管理処理	フロッピーディスク初期化などのフロッピーディスク操作管理
18	親局通信インタフェース処理	通信アダプタとの情報伝送インタフェース

子局の主な機能を表2に示す。

3 監視方法

適切な監視アルゴリズムを作成するためには、監視対象機器の運転状態に関するプラントパラメータを明確にする必要がある。このため、長期にわたる運転データの実測を行うとともに、事故模擬試験を実施し、これらのデータから影響パラメータとの相関関係を見だし、監視方法を決定した。

3.1 事故模擬試験

事故模擬試験は、実機での異常に至る状態変化を定量的に把握するため必要であるが、機器を損傷させることになるため、従来実施したことがなかった。しかし、今回、総合更新前の実機を用いた事故模擬試験を実施する機会を得たため事故初期現象の解明を目的として、同試験を実施した。

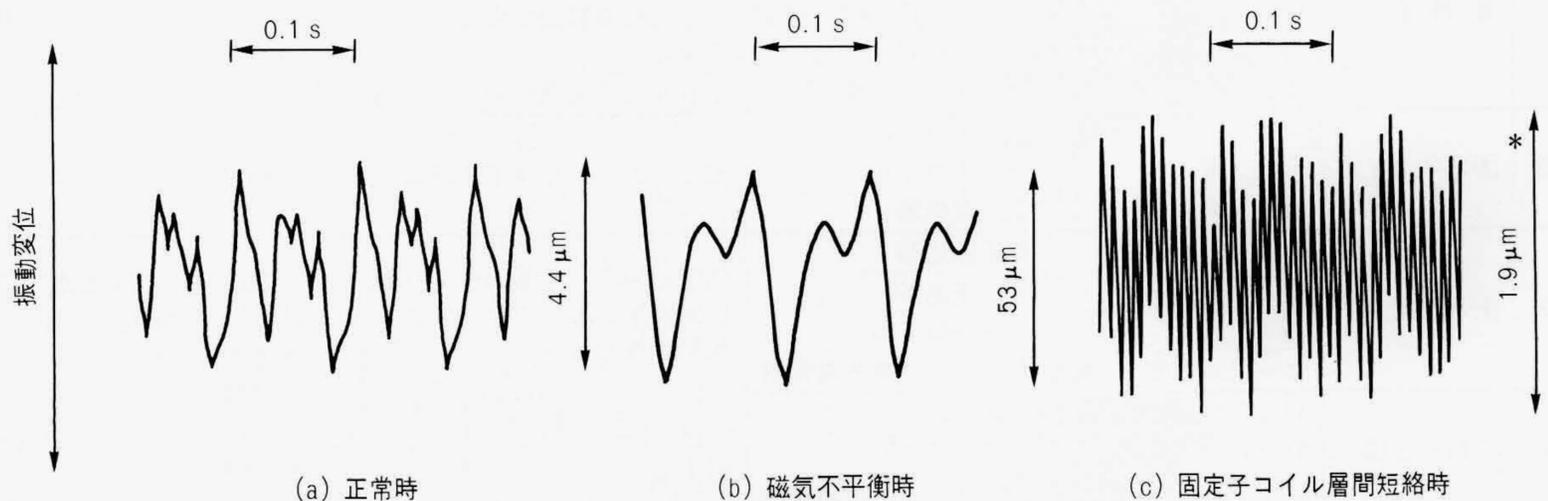
試験内容は、正常時の特性データを測定後、電氣的及び機械的事故模擬試験を実施した。主な試験結果は下記のとおりである。

(1) 発電機磁気不平衡試験

本試験は回転子の磁界が不平衡となった場合の現象を把握するために実施した。交互に設置された磁極を1極だけ消極

表2 監視システム子局機能 子局は無人であるため、設定値の変更などはすべて親局から行えるような機能を備えている。

No.	機能	内容
1	情報入力処理	各監視アルゴリズムに適したサンプリング周期でのプラントデータの入力
2	アルゴリズム実行処理	監視アルゴリズムの実行と異常判断
3	異常判定時データ記録処理	異常判定前後データの記録
4	異常判定時警報出力処理	異常判定時点での異常警報出力
5	日報データ作成・記録処理	日報データ演算の実行とデータ記録
6	現在入力データ送信処理	現在の子局入力値の親局への送信
7	監視アルゴリズムパラメータ変更処理	親局からの送信データによる監視アルゴリズムパラメータ値の変更
8	子局通信インタフェース処理	通信アダプタとの情報伝送インタフェース



注：* 固定子コイル層間短絡試験は、短絡電流を小さくするため、正常時の発電機電圧11kVに対し2.5kVで実施した。このため、振動変位も小さく検出されている。

図2 固定子振動波形 実機事故模擬試験によって、従来明確でなかった事故時の固定子振動波形を確認できた。

させた場合、磁気不平衡は固定子側の振動として観測された。この場合の振動レベル及び振動周波数は図2(b)のような波形となり、同図(a)に示す正常時波形と大きく異なることによつて、本現象は振動センサを用いて検出できることが分かった。

(2) 固定子コイル層間短絡試験

本試験は、固定子コイルの層間短絡が生じた場合の現象を把握するために実施した。コイル短絡時には非常に大きな短絡電流が流れ、局部的な高温及び同図(c)に示す固定子の振動波形が観測できた。本現象は振動波形が顕著に変化していることによつて、振動センサと温度センサを用いて検出できることが分かった。

(3) 軸受断油試験

本試験は軸受潤滑油を運転中に抜き、軸受焼損に至るまで

の軸受温度の変化を把握するために実施した。この場合、図3に示すように第1段階で潤滑油不足による温度上昇が発生し、更に第2段階で油膜切れによる急激な温度上昇となり、最終的に軸受焼損に至った。本現象は軸受温度の変化が顕著であることより、温度センサを用いて検出できることが分かった。

これらの試験結果から異常の初期段階で機器の運転状態の判定のために必要なパラメータが明確となり、これを含めたきめ細かい監視方法の実現が可能となった。

3.2 監視方法

運転状況に応じたきめ細かい監視を行うため、起動時、運

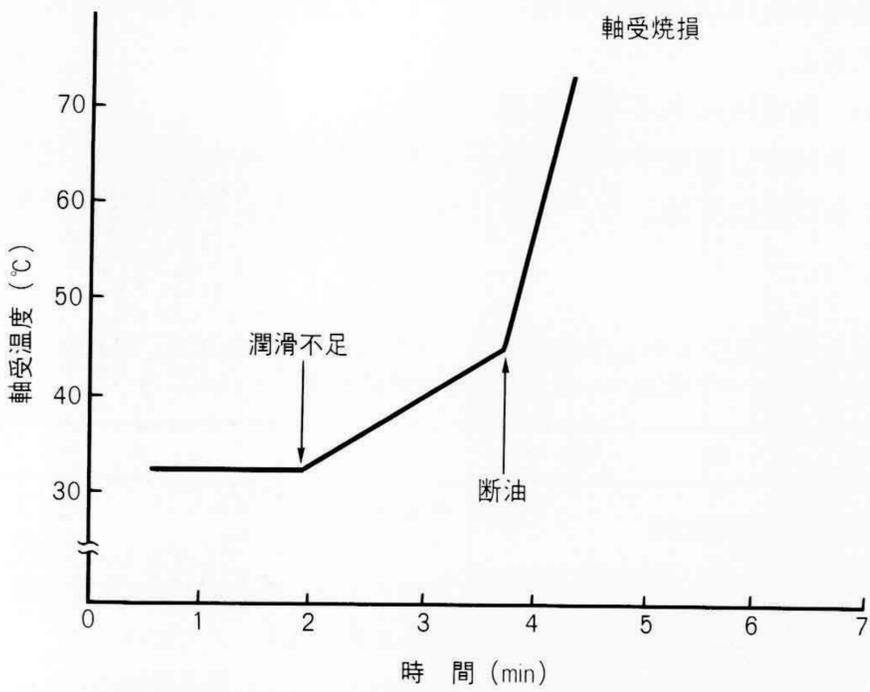


図3 軸受断油試験 軸受潤滑状態と軸受温度の変化が明確になり、本現象は温度センサによって検出が可能である。

表4 監視システムハードウェア仕様 監視システム(子局, 親局)のハードウェア仕様を示す。

No.	項目	仕様	
1	周囲温度	子局: 0~40℃ 自然冷却	
		親局: 5~35℃	
2	電源	子局: DC110V(90~140V) AC100V(±10%)	
		親局: AC100V(±10%)	
3	子局仕様	幅600mm×奥行600mm×高さ2,300mm 1面	
	(1)寸法		DC48V 16点
	(2)接点入力		+10V~-10V入力 16点
	(3)アナログ電圧入力		サーチコイルPt100Ω at 0℃ 16点
	(4)温度入力		DC110V接点 8点
4	親局仕様	B16FX(10Mバイトハードディスク内蔵)	
		5インチフロッピーディスクコンポ	
		JIS配列キーボード	
		14インチカラーディスプレイ カラープリンタ	
5	伝送仕様	親局子局間伝送速度: 4,800ビット/秒	
		親局子局間伝送方式: 8相差動位相変調方式	
		親局(子局)通信アダプタ間伝送速度: 4,800ビット/秒 親局(子局)通信アダプタ間伝送方式: RS-232C	

表3 監視方法 代表的な監視項目と監視内容を示す。監視方法は、対象機器の設置環境、形式などにより水車発電機1台ごとに異なる。

No.	監視項目	入力項目	使用センサ	監視内容
1	各軸受	軸受温度	サーチコイル	各入力項目から起動過程の軸受温度変化率を予測し、実測値と比較する。
		軸受油温	サーチコイル	
		軸受油面	差圧伝送器	停止過程の軸受温度変化率を実測値から計算し、設定値と比較する。
		負荷	電流変換器	
		室温又は冷却水温	サーチコイル	
2	固定子コイル	コイル温度	サーチコイル	室温と負荷からコイル温度を予測し、実測値と比較する。
		室温	サーチコイル	
		負荷	電流変換器	
3	圧油装置	油圧	差圧伝送器	油圧と油温から集油タンク油面を予測し、実測値と比較する。圧油装置の形式によっては、総油量監視、圧油タンク油圧油面 相関監視を行う。
		集油タンク油面	差圧伝送器	
		油温	サーチコイル	
		ニードル開度	ストローク電圧変換器	
4	振動・音響	軸受振動	加速度計	振動、軸振れの絶対値又は周波数分析値を実測し、設定値と比較する。
		軸振れ	非接触変位計	
		騒音	マイクロホン、騒音計	
5	補機	運転時間	動作接点	運転時間と運転回数を実測値から計算し、設定値と比較する。
		運転回数	動作接点	
6	工程	シーケンス経過時間	シーケンスリレー接点	シーケンス経過時間を実測値から計算し、設定値と比較する。

転時及び停止時に応じた判定ができるよう考慮した。このため、

- (1) 入力データの取込み周期
- (2) 各入力データとその相関関係
- (3) 異常判定とその表示方法
- (4) マンマシンインタフェース



図4 監視システム概観 子局はきょう(筐)体一面に、親局はパーソナルコンピュータラック1台に収められる。

を重点に検討を加え、表3に示す監視方法としこれらの監視方法を基に、詳細な監視アルゴリズムを作成した。

また、監視方法は対象機器の設置環境、形式などにより発電所ごとに異なるため、本システムの実運用に際しては各パラメータの設定値変更を容易にするとともに、制御所からも対応できる機能を持たせるようにした。

4 システム適用例

九州電力株式会社白水滝発電所用機器状態監視システムを完成し、納入した。

本発電所は4.3 MW横軸ペルトン水車である。本発電所に納入したハードウェア仕様、システム概観及び本システムの監視項目をそれぞれ表4及び図4、5に示す。子局は白水滝発電所に、親局は約40 km離れた人吉電力所に設置し、電力会社の電話回線を利用して両局間の情報伝送を行った。

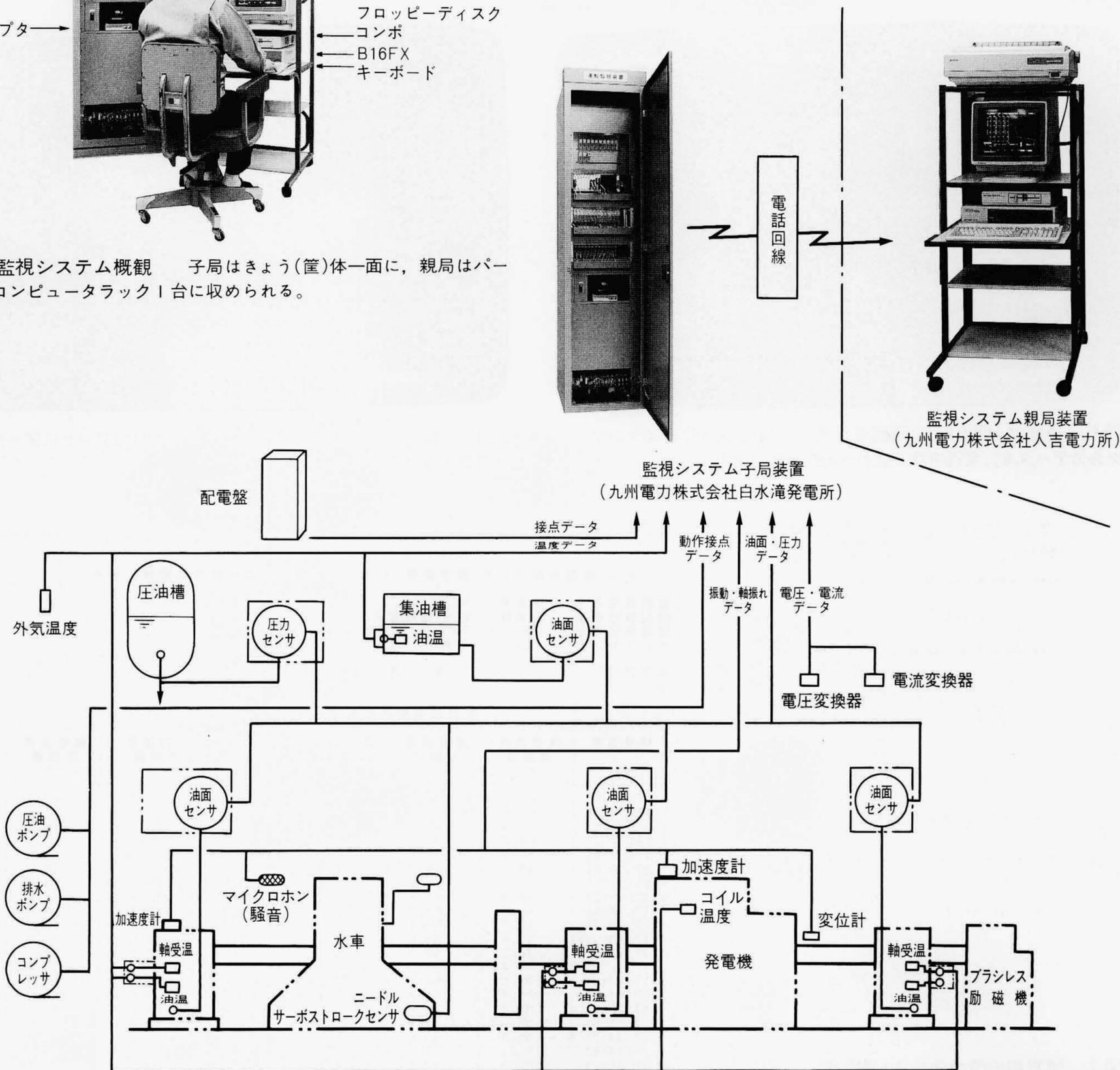


図5 九州電力株式会社白水滝発電所納め状態監視システム構成された。

子局は同社白水滝発電所に、親局は約40 km離れた同社人吉電力所に設置

本システムの親局から行える操作及び主な表示例を次に示す。

子局で異常を検出した場合には親局で、

- (1) 異常検出前後データの時系列表示
- (2) 異常検出前後データの数値リスト表示

を出すようにした。その画面表示例を図6に、数値リスト表示例を図7に示す。なお、画面表示はそのままカラープリンタに打ち出して記録し保存できる。

また、日報データは要求に応じて、

- (1) 1箇月間の時系列画面表示
 - (2) 1年間の時系列画面表示
 - (3) 毎日の最高値、最低値などを作表した月報リスト表示
 - (4) 毎月の最高値、最低値などを作表した年報リスト表示
- ができるようになっている。1箇月間の時系列画面表示例を図8に、1年間の表示例を図9に、月報リスト表示例を図10

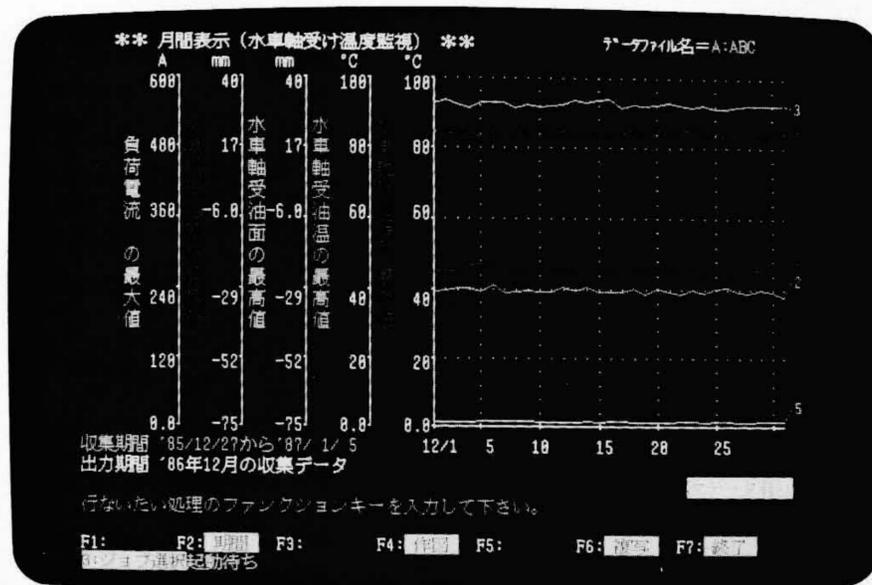


図8 月間時系列画面表示例 1箇月間の日報データの変化傾向を、グラフィック表示する。

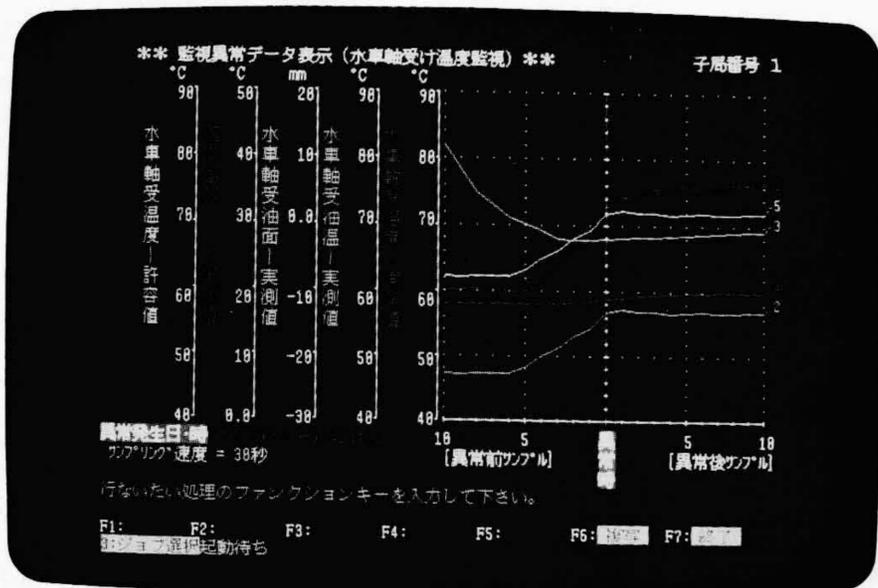


図6 異常検出時時系列画面表示例 異常検出前後10サンプリング分のデータを、関連項目と合わせ時系列表示する

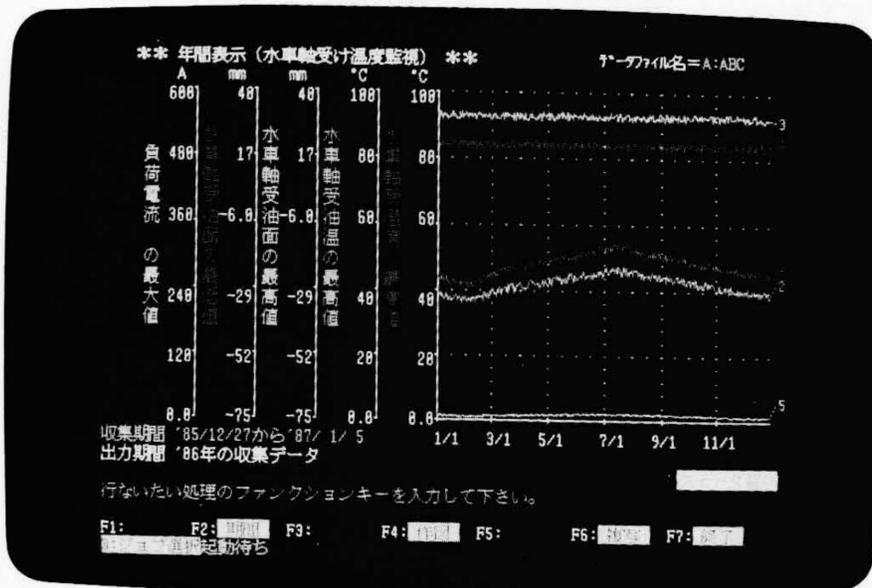


図9 年間時系列画面表示例 1年間の日報データの変化傾向を、グラフィック表示する。

図7 異常検出時数値リスト表示例 異常検出前後10サンプリング分の数値データを、関連項目と合わせリスト出力する。

** 監視異常データ 印字結果 ** (水車軸受け温度絶対値監視) **

監視異常発生 子局番号: No.1
 監視異常発生 子局名称: 白水滝発電所
 監視異常発生 日・時: '87年10月 9日 17時10分51秒
 サンプリング タイム: 30秒

印字日・時: '87年 10月 17日 16時 49分

< 監視異常時の収集データ >

信号名称	軸受温度 実測値 °C	潤滑油温 実測値 °C	潤滑油面 実測値 mm	負 荷 実測値 A	室内温度 実測値 °C	軸受温度 許容値 °C
17: 5:51	60.1	47.2	12.0	0.0	18.0	62.2
17: 6:21	60.1	47.1	8.4	0.0	18.0	62.1
17: 6:51	60.3	47.2	1.2	0.0	18.0	62.2
17: 7:21	60.2	47.3	3.0	0.0	18.1	62.3
17: 7:51	59.9	47.2	1.1	0.0	18.1	62.2
17: 8:21	60.0	48.2	0.1	0.0	18.1	63.2
17: 8:51	61.2	50.1	-0.8	0.0	18.1	65.1
17: 9:21	64.3	51.1	-2.1	0.0	18.1	66.1
17: 9:51	66.3	53.0	-2.2	0.0	18.3	68.0
17:10:21	67.9	54.1	-2.3	0.0	18.6	69.1
17:10:51	72.6	56.8	-2.1	0.0	18.8	71.8
17:11:21	74.2	57.2	-2.0	0.0	19.1	72.2
17:11:51	74.4	57.0	-1.9	0.0	19.3	72.0
17:12:21	75.5	56.9	-1.7	0.0	19.5	71.9
17:12:51	75.5	56.6	-1.6	0.0	19.7	71.6
17:13:21	76.0	56.8	-1.4	0.0	19.8	71.8
17:13:51	75.5	57.0	1.3	0.0	19.8	72.0
17:14:21	75.7	56.8	-1.2	0.0	19.9	71.8
17:14:51	76.1	56.9	1.0	0.0	19.9	71.9
17:15:21	76.3	57.0	0.9	0.0	20.0	72.0
17:15:51	76.5	57.0	0.7	0.0	20.0	72.0

** 月報データ 印字結果 ** (水車軸受け温度監視) **

データファイル名称: A:ABC
 子局番号&名称: No.1子局 白水滝発電所
 月報出力期間: '86年 12月分のデータ
 印字日・時: '87年 10月 17日 17時 15分

信号名称 年/月/日	軸受温度 最高値 °C	軸受油温 最高値 °C	軸受油面 最高値 mm	軸受油面 最低値 mm	負荷電流 最大値 A	軸受温上昇率 最大値 °C/分
'86/12/1	44.8	39.2	31.5	22.3	7.8	13.3
'86/12/2	45.5	39.6	32.4	21.6	7.7	13.2
'86/12/3	44.8	40.4	31.0	21.9	7.6	13.9
'86/12/4	46.7	40.3	30.1	21.5	7.7	13.5
'86/12/5	47.0	39.5	31.8	20.2	9.9	14.0
'86/12/6	46.9	41.3	31.9	21.4	9.0	13.7
'86/12/7	45.1	39.0	31.8	20.1	9.7	12.7
'86/12/8	46.2	39.2	30.2	21.7	9.8	14.1
'86/12/9	45.3	39.6	30.9	21.8	9.7	13.4
'86/12/10	46.8	39.5	30.2	22.8	7.8	12.5
'86/12/11	45.5	39.4	30.7	20.1	8.3	12.4
'86/12/12	45.9	40.7	31.2	22.6	8.7	13.7
'86/12/13	45.9	39.7	32.6	20.2	8.4	12.4
'86/12/14	45.5	40.5	31.7	20.5	9.7	13.0
'86/12/15	44.2	39.4	32.6	21.3	7.0	12.5
'86/12/16	46.1	39.5	33.0	20.1	8.9	12.3
'86/12/17	44.5	39.4	30.1	22.0	8.8	12.2
'86/12/18	45.8	40.2	31.3	22.1	8.6	12.5
'86/12/19	45.7	38.6	30.8	20.6	7.8	12.4
'86/12/20	45.5	40.3	31.3	22.5	8.2	13.1
'86/12/21	45.3	39.5	32.0	21.6	8.5	12.8
'86/12/22	45.4	38.6	31.1	22.5	8.9	13.2
'86/12/23	44.6	40.0	30.3	22.8	9.2	11.8
'86/12/24	43.2	39.1	31.3	21.7	8.2	12.0
'86/12/25	44.9	40.3	30.0	20.5	9.7	12.7
'86/12/26	44.1	40.5	30.1	20.8	9.1	13.2
'86/12/27	45.0	39.2	30.7	21.7	7.9	12.5
'86/12/28	45.6	38.9	31.1	22.0	6.9	12.3
'86/12/29	45.4	39.9	31.2	20.5	9.2	13.4
'86/12/30	45.8	39.5	31.1	21.4	9.2	11.7
'86/12/31	43.8	38.2	31.0	21.8	9.4	12.6

図10 月報リスト表示例 毎日の最高値, 最低値などを月報としてリスト表示する。

** 年報データ 印字結果 ** (水車軸受け温度監視) **

データファイル名称: A:ABC
 子局番号&名称: No.1子局 白水滝発電所
 年報出力期間: '86年分のデータ
 印字日・時: '87年 10月 17日 17時 16分

信号名称 年/月	(最高)軸受温度		(最高)軸受油温		(最高)軸受油面		(最低)軸受油面		(最高)室内温度		(最大)負荷電流	
	Max. °C	Min. °C	Max. °C	Min. °C	Max. mm	Min. mm	Max. mm	Min. mm	Max. A	Min. A	Max. °C/分	Min. °C/分
'86/1	45.2	40.5	39.5	36.2	33.0	30.2	23.0	20.2	9.1	5.4	13.4	10.3
'86/2	45.3	40.3	39.9	36.2	32.6	30.4	22.9	20.1	8.9	5.1	13.2	10.5
'86/3	48.1	43.6	42.5	38.2	32.8	30.1	23.0	20.3	10.8	7.2	14.6	12.0
'86/4	49.9	46.2	43.3	40.4	32.9	30.0	22.8	20.3	12.0	8.7	15.7	13.3
'86/5	51.7	48.3	45.4	41.4	33.0	30.1	22.9	20.1	13.2	9.5	17.1	14.4
'86/6	53.8	49.9	46.5	43.4	33.0	30.2	22.9	20.1	13.9	10.7	17.6	15.3
'86/7	54.7	51.5	47.6	44.8	32.9	30.1	23.0	20.0	14.4	11.3	18.5	16.4
'86/8	53.2	49.8	46.8	43.1	32.7	30.0	22.9	20.0	13.5	10.5	17.9	15.6
'86/9	51.9	48.1	45.2	42.2	33.0	30.0	22.8	20.1	12.9	9.9	16.9	14.8
'86/10	50.2	46.8	44.1	40.2	32.9	30.1	22.9	20.0	12.0	9.1	16.0	13.6
'86/11	48.8	44.8	42.4	39.3	32.9	30.1	22.8	20.2	10.9	7.6	15.1	12.5
'86/12	47.0	43.2	41.3	38.2	33.0	30.0	22.8	20.1	9.9	6.9	14.1	11.7

図11 年報リスト表示例 毎月の最高値, 最低値などを年報としてリスト表示する。

に、年報リスト表示例を図11に示す。

また、子局の監視アルゴリズムのパラメータ値を遠隔変更できる機能も備えている。

5 結 言

水力発電設備の運転信頼度の向上を図る目的で、主要データの自動収集、監視アルゴリズムによる異常の早期発見、及び保守データの一元管理を実現する機器状態監視システムを開発した。本システムの導入によって、運転員が制御所しながら設備の運転状態をリアルタイムで監視できるとともに、異常発生時には早期に適切な対応がとれるようになった。本システムは九州電力株式会社白水滝発電所へ納入し、順調に

稼動中である。

終わりに、本システムの開発に当たり御指導いただいた電力会社の関係各位に対し、心から御礼を申しあげる次第である。

参考文献

- 1) K.Moriguchi, et al.: Preventive Maintenance and Monitoring System for Hydroelectric Generating Equipment, Hitachi Review, Vol.37, No.4, p.91~94(1988-4)

AE法による回転機異常診断システム

日立製作所 佐藤式也・米山隆雄

計測自動制御学会論文集 23—10, 1024～1029 (昭62-10)

近年、発電プラント及び石油化学プラントなどでは、主要設備の保全費削減のために、保全に対する考え方が予防保全から予知保全に変わりつつある。このため、設備の状況監視システムの開発、導入が積極的に図られている。

従来、回転機などでの機械的異常現象の診断法は、二次的現象として発生する振動や温度などの変化を監視することによって行われていた。しかし、このような二次的現象は異常がかなり進行しないと変化が見られないため、手遅れになってしまう場合があるほか、異常発生箇所の究明が必ずしも容易ではなかった。

これに対してAE(アコースティック エミッション)法は、固体が変形又は破壊前に発生する弾性波を利用する方式であるため、一次的異常検出法として注目されていた。日立製作所でも、既にラビングモニタや滑り軸受診断などに適用して効果を挙げているが、これまでの技術では、診断対象が限

られていた。そこで、これまでの適用例も参考にして、更に各種異常発生に伴うAE信号の系統的解析を行うことによって、トータル診断が可能なアルゴリズムを開発し実用化した。

本論文では、蒸気タービン、発電機、圧延機のような回転機を中心とした設備の異常診断を、AE法によって行う診断システムの開発について述べたものである。本システムの基本アルゴリズムは、AE波の波形特徴と包絡線検波処理後の周波数特徴の関係から、異常の種別を判別するようになっている。波形解析のためのパラメータとしては、平均値、AE発生数、持続時間、ピーク値、ライズタイム及びAEエネルギーの6項目について求める。また、周波数特徴から広帯域形か狭帯域形か、狭帯域形の場合は回転同調形か非同調形かに分けると、6種類の異常形態に分類することができる。AE信号は2個のセンサにより検出し、異常発生源の1次元位置標定ができるようになっ

ている。

診断ソフトには、全体診断のための基本診断ソフトと対象目的別の応用診断ソフトがある。応用診断ソフトとしては、ラビング診断ソフト、ロータクラック診断ソフト、滑り軸受損傷診断ソフトが開発されており、これにより異常兆候の詳細解析と発生位置の標定がなされる。

本システムは対話形になっており、表示部には直感的に異常状態が分かるグラフィック表示、詳細なデータを示すデータ表示、及び時間的傾向の分かるトレンド表示が自由に選択できる。

本システムの評価を兼ねた実機適用例として、蒸気タービンでのラビング診断、圧延機用滑り軸受の損傷診断について言及する。いずれの場合も、現象波形とその解析結果、及び診断結果についての表示例を示しており、本結果が実際の現象とよく一致しており本システムが意図したとおりに機能していることが評価されている。

イソシアヌラート・オキサゾリドン系樹脂の化学構造と曲げ特性の関係

日立製作所 横山 隆・奈良原俊和・他2名

高分子論文集 44—9, 663～668 (昭62-9)

車両用主電動機やH種樹脂モールド形トランスなどには、高信頼性、小形・軽量化などが要求されている。これらの要請に対処するために、耐熱性や熱放散性の向上など、電動機の絶縁システムの高性能化は極めて重要な課題である。

一般に、電動機の絶縁層は、コイルの表面をフィルム、マイカあるいはガラスクロスなどの基材で被覆し、ワニスを含浸させた後に加熱硬化して一体化する構造になっている。硬化樹脂層は、耐熱性、機械的強度、絶縁性、耐環境性などの観点で優れていなければならない。従来の含浸ワニスには、接着・密着性の観点から、エポキシ系樹脂が用いられていた。しかし、耐熱グレードの向上(H種:180℃, 2万時間, C種:220℃, 2万時間)に伴って、耐熱性の高い

樹脂が強く望まれるようになった。一般に、ヘテロ環を含む樹脂には耐熱性の高いものが知られており、ポリイソシアヌラートは、耐熱フォームとして盛んに研究されており、ポリオキサゾリドンは耐熱ポリマとして主に米国で研究されている。しかし、両者の環を同時に含む樹脂組成物を開発する試みはなかった。

本論文では、イソシアナート化合物とエポキシ化合物の配合割合を大幅に変動して、イソシアヌラート環とオキサゾリドン環を同時に含む樹脂硬化物を種々作製して硬化物の曲げ特性を測定し、更に硬化物中の両ヘテロ環の生成割合をIR (Infra Red) スペクトルから定量している。配合割合と、加熱硬化条件をコントロールして、3次元架橋が可能で剛直性を付与するイソシアヌ

ラート環と、2次元連鎖が可能で柔軟性を付与するオキサゾリドン環の生成割合を制御できるとしている。これらの環の生成割合によって、曲げ強さを最大とする硬化条件を見いだしている。更に、未反応のイソシアナート基量を求め、反応完結条件を探索している。180～225℃に40日間放置して曲げ強さを測定し、エポキシ樹脂に比較して耐熱性を飛躍的に向上できることを明らかにしている。

本論文の基礎知見をもとに、耐熱性、絶縁性、機械強度などの観点で総合的に優れたISOX (Isocyanurate-Oxazolidone) Resinが開発された。ISOX Resinは、新幹線車両電動機、H種トランスなどの絶縁材料として用いられている。