

# 設備監視システムの開発

○岡村 整、小林健一郎、村尾 崇

東京都水道局  
経営計画部技術開発室

## 概要

プラント設備等の日常点検の補完、予防保全等を目的として、設備の異常を監視するシステムの開発を行った。

今回開発した「設備監視システム」の異常診断は、既存の監視・制御用センサ等から得られる複数のデータを用いて、その相関関係をもとに行う「相関関係異常診断」と、データや状態変数の変化傾向をもとに行う「傾向診断」からなる。これらの異常診断等のアルゴリズムは、実際過去に起こった故障事例の分析とFMEA (Failure Mode and Effects Analysis) による故障解析に基づき構築した。このシステムを用いることによりプラント設備の異常を早期に検知することが可能となる。

## キーワード

異常診断、設備監視システム、FMEA

### 1. はじめに

水道施設は、社会基盤としての重要性が大きく、常に安定した施設運用が求められている。特に電気・機械設備に問題が生じその機能の一部又は全部が停止すると、施設運用に多大な影響を及ぼす。このため、当局では日頃から設備の巡視点検や補修等の保全業務に力を入れており、異常状態の早期発見、早期対応によって安定給水の維持に努めている。

しかし、水道施設は都内全域に点在し、最近では遠隔制御による無人施設も多くなっている。また、場内の各設備は多様な機種があり、機器台数も膨大な数に上る。これらの設備機器を効率よく維持管理するには、機器の状況を的確に掴み、故障で停止や機能発揮ができなくなる前に、適切な保全作業を行うことが必要である。

最近では、設備の異常を監視する様々な方式の設備異常診断システムが開発されている。これらのシステムは、そのほとんどが専用のセンサ（振動センサ、温度センサ、臭いセンサ等）を設置し、これらのセンサからのデータに基づいて異常の有無を判定する方式が一般的である。しかし、対象となる機器に個別にセンサや配線を新たに設置することは多額の費用を必要とする。

このため当局では、専用のセンサを設置することなく、プラントの監視・制御用に既に設置されている既存のセンサ（電流計、流量計等）からのデータ等を用いて設備の異常の兆候を早期に検知するシステムの開発を行った。

## 2. 開発のコンセプト

今回の「設備監視システム」においては、次の2点をコンセプトとして開発を行った。

### (1) 監視・制御システムのオンラインデータを利用した設備異常診断

- ・新たに専用のセンサ等を設置することなく、プラントの監視・制御システムに使用されている既存のセンサの信号や制御ループ内の制御信号、状態変数等を利用して設備の異常を検知するシステムとする。
- ・既存のセンサ等から得られないデータについても、出来る限り他のデータを用いて推定を行う。

### (2) 浄水場、給水場等の各種プラントに適用できる汎用システム

- ・各種の水道施設（浄水場、給水所等）の設備に汎用的に使用可能なソフトウェア構成とする。

## 3. 設備故障事例の解析

設備の異常診断を行うソフトウェアを作成するのに先立ち、過去の故障事例から故障の種類、故障発生場所、故障に伴う現象、故障原因を分析し、異常診断のために必要なプロセス値等の整理を行った。また、過去の故障事例のみの分析では、新たに発生する故障には対応できないため、診断対象となるプラントの機器構成と影響度を加味して検出すべき故障について、代表的な信頼性の解析手法であるFMEA (Failure Mode and Effects Analysis) を用いて整理を行った。FMEAは、個々の故障要素からシステム全体への影響を解析する手法であるが、本研究開発では、解析の目的が設備の異常を診断するシステムの構築であるため、一般的な手法に加え、診断方法の検討、診断に必要なプロセス値の選定も合わせて行っている。今回整理を行った故障事例等の一例を表1に示す。

表1 故障事例分析の一例（ポンプ設備）

| 対象機器 | 原因                | 故障内容   | プロセス値   | 分析方法  |
|------|-------------------|--------|---------|---|
| ポンプ  | 羽根車の摩耗<br>接触、異物混入 | 吐出流量不足 | 電流、回転速度 | 電流≠回転速度、回転数≠吐出流量、圧力<br>電流が大きい場合は接触、小さい場合は摩耗 |
|      |                   | 吐出圧力不足 | 吐出圧力、流量 |   |

## 4. システムの構成

### (1) ハードウェア構成

図1に今回開発した「設備監視システム」のハードウェア構成を示す。今回のシステムは機能検証用のプロトタイプであるため、プラントのオンラインデータを収集するためのデータ収集用PCおよび収集されたオンラインデータを用いて診断や通知等を行うUI/DB用PC（ユーザインタフェース・データベース用PC）の2台のPCから構成した。

データ収集用PCは、プラントの制御系LANに接続されており、アナログ、デジタルの各種オンラインデータを常時収集している。UI/DB用PCでは、これらのデータを用いて異常の有無について診断を行い、その診断結果をCRTに表示する。

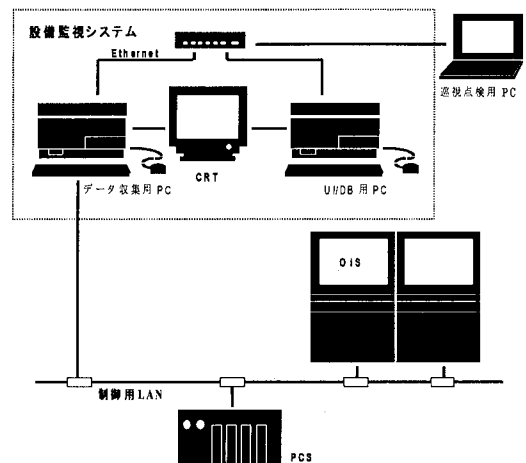


図1 「設備監視システム」ハードウェア構成

### (2) ソフトウェア構成

図2に「設備監視システム」のソフトウェア構成を示す。浄水場、給水所等には多種多様の設備、機器が

あり、異なる機器を診断するために個別にソフトウェアを開発していたのでは膨大な作業量となる。このため、異常診断を行うアルゴリズムは各プラント共通に使用可能なものとし、異常の判定基準を定めた診断ルールのみ個別の機器毎に定義してデータベース化する構成とした。

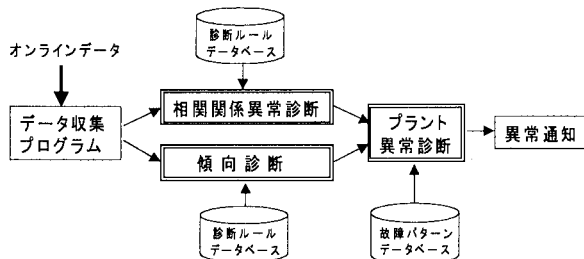


図2 「設備監視システム」ソフトウェア構成

### 5. 異常診断方式

本システムにおける異常診断は、複数のプロセス値の相関から診断を行う「相関関係異常診断」およびプロセス値の変化傾向をもとに診断を行う「傾向診断」から構成した。また、複数の異常判定結果を組み合わせることにより、プラントのどの機器に異常が発生したかを推定する「プラント異常診断」機能を有している。

#### (1) 相関関係異常診断

相関関係異常診断とは、一定の条件のもとでは特定のプロセス値間同士に一定の相関関係が存在することに着目し、設備の異常兆候を検知するものである。

例えば、図3、4、5は正常時における配水ポンプの回転速度、電流、電力のそれぞれの関係（実測データ）を示したグラフである。これを見ると各プロセス値間には一定の相関があることが判る。本システムにおいては、これらの相関関係を監視し、相関が崩れた場合に何らかの異常があると判定する。ただし、グラフからも判るようにプロセス値は正常運転時においても多少の変動があるため、判定のしきい値にはある程度の幅を持たせる必要がある。これは見方を変えれば、例えば「回転速度に対応した電流値の適正範囲を設定する」ということであり、従来の警報設定範囲をより狭めることにより、異常の兆候を捉えやすくしているものである。

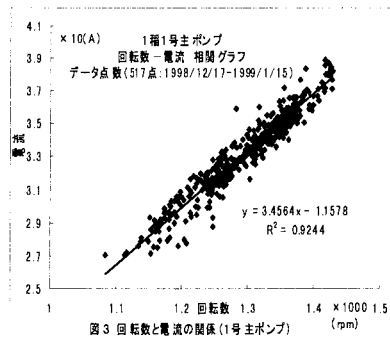


図3 回転数と電流の関係(1号主ポンプ)

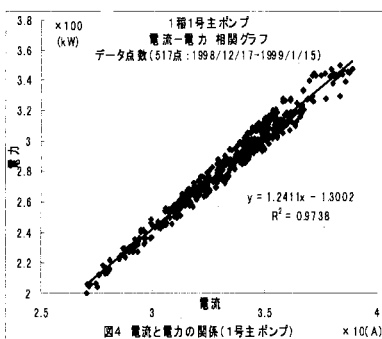


図4 電流と電力の関係(1号主ポンプ)

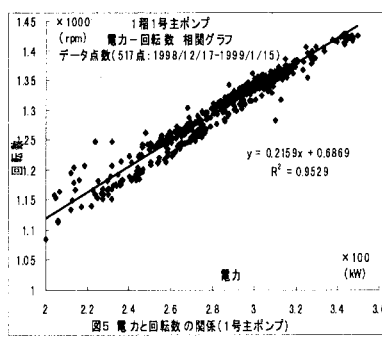


図5 電力と回転数の関係(1号主ポンプ)

なお、今回例として挙げた「回転速度と電流値」の関係においては、第2、第3のパラメータ（このケースでは、配水システムの切り替え等による管路抵抗曲線の大幅な変化等）によって相関が崩れることがある。このような例では、それらのパラメータも加味して診断を行う必要がある。

#### (2) 傾向診断

傾向診断とは、対象信号の変化傾向を監視する事によって、システムの異常兆候を検出する機能である。この傾向診断は、対象信号が指定された条件を満たすまでにかかる時間を監視する「時間要素による診断」、

単位時間内に対象イベントの発生する回数を監視する「イベント要素による診断」、対象信号の変化率を監視する「値の変化率による診断」の3種類の診断方式から成る。いずれの診断方式を適用するかは、診断対象物の特性によって選択する。以下に各診断方式に関する説明を記す。

#### ①時間要素による診断

機器等に対して、ある動作の開始要求信号を出してから、動作完了の信号が返ってくるまでの時間を計測し、動作時間の変化から異常の兆候を検知するものである。

代表的な例としては、バルブの全開要求信号を出してから、リミットスイッチによる全開信号が返ってくるまでの時間を計測し、動作時間が長くなったりバラツキがないかを監視する。例えば油圧駆動式のバルブであれば、油圧系統などの異常の兆候を動作時間の変化として捉えることが出来る。

#### ②イベント要素による診断

指定したイベントの発生回数をカウントし、一定期間内に発生するイベント回数の変化を監視する事により異常を検知するものである。

例えば、排水ポンプ等の運転回数に適用することにより、逆止弁やレベルスイッチの動作不良や排水量異常等を検知することが可能となる。

#### ③値の変化率による診断

一定周期にてサンプリングしたデータについて、その値の変化率を監視して異常を検知するものである。例えば、タンクの水位等に適用することにより、漏水等による急激な水位変化を捉えることが可能となる。

### (3)プラント異常診断

複数のプロセス値の異常診断結果をもとに、どのプロセス値が異常であるかを特定し、さらに、特定されたプロセス値の異常の原因(故障箇所)を推定するものである。この故障箇所の推定は、先に述べた過去の故障事例およびFMEAによる解析から予め作成した故障パターンのデータベースに基づき行っている。

具体的な事例として、先に挙げた配水ポンプを例にとれば、回転速度と電流の相関が崩れた場合、これだけでは回転速度と電流のどちらが(または、両方とも)異常であるかの判断はつかない。しかし、「電流と電力」および「電流と流量」などの相関が保たれているとすれば、回転速度が異常であると推定できる。そして、その原因(回転速度のみ異常)としては、故障パターンのデータベースから速度検出用機器不良の可能性があると推定される。

## 6. フィールド試験

本システムを実際の機場に適用しその有効性を確認するため、当局の稲城ポンプ所にシステムを設置して試験を行った。試験は、監視・制御システムからオンラインデータを収集し、相関関係のあるデータの組み合わせの洗い出し・検証を含め、約2年間に渡り行った。その結果、正常運転時には複数のデータに一定の「相関」または「傾向」があり、これを用いて異常を検知することが可能であることを確認した。

## 7. おわりに

今回、既存の監視・制御用のオンラインデータを活用して、設備の異常の兆候を検知するシステムの開発を行った。本システムは、既設の監視・制御システムのオンラインデータを最大限利用することにより、比較的安価にシステムを構築することができる。

プラント設備の集中管理化や遠隔制御による無人化が進む中、機器等の異常の早期発見、早期対応の重要性はより一層高まっている。また、設備の集中管理化に伴い、より多くのデータが制御用LAN等を通して容易に取得可能となっており、オンラインデータを用いた今回の異常診断手法は、今後の設備管理を効率的、効果的に行う有効な手段の一つと考えている。