

理論と現場をつなぐ 設備診断技術

Part1 設備診断技術はここまで進んでいる！

進化する設備診断技術の世界的潮流

豊田利夫(日本診断工学研究所所長、工学博士)

Part2 即！ 現場で役立つ設備診断事例

企業における設備診断技術の位置付けと役割

岡本渉(トヨタ自動車)

電力診断による故障予知技術の確立

日野功司、岡本渉(トヨタ自動車)

設備動作の見える化ツール「サイクルモニター」の活用

鈴木利斉、斉藤洋明、伊藤裕章(トヨタ自動車)

鍛造機の設備診断・監視技術による予知保全化

宮下誠、横山勇治、大林邦夫(トヨタ自動車)

穴加工における設備診断事例

犬飼康宏(愛知機械工業)

Part1

設備診断技術は
ここまで進んでいる！

進化する設備診断技術の 世界的潮流

豊田利夫

日本診断工学研究所所長
工学博士

企業資産の最適管理ソリューションとしての設備管理技術という世界的な潮流——その中核をなす設備診断技術。特集 Part1 では、設備診断技術を主人公とした、この世界的な潮流をとらえる。

IT時代の到来は、従来の設備管理(PE)関連技術を新しい姿に進化させた。すでに、その姿は企業資産の最適管理ソリューションとしてとらえられるべきものである。

具体的には、保全管理技術が企業資産管理“EAM”(Enterprise Asset Management)に進化し、予知保全システムがプラント資産管理“PAM”(Plant Asset Management)に進化してきている。中でも、設備診断技術(CDT)は、その重要性和有効性が保全現場で再認識され、遠隔監視と遠隔診断(合わせてE-MONITORという)というIT時代の装いをもって再登場している。

また、設備診断技術の一般化・普遍化が進む

とともに、ISO規格化とISO設備診断技術士の創設が進められている。日本では、日本機械学会によって2004年4月から「ISO設備診断技術士」の資格認定が開始される。

それでは、最新の研究動向を踏まえながら、設備診断の最新動向を見ていこう。

1. 新時代の保全戦略“PRM”の登場

読者は、プロアクティブ保全“PRM”(Proactive Maintenance)という言葉や、耳にしたことがあるだろうか？ それは、オクラホマ州立大学のE.C.Fitch教授が1990年代の初め

設備管理関連技術の進化^{1), 2)}

従来、設備管理(Plant Engineering: PE)の機能は、「建設管理」と「保全管理」でとらえられてきた。これに、システム最適化理論、企業資源情報、経営情報を付加したシステムが最新のソリューション技術として企業資源計画システムERP(Enterprise Resource Planning)と呼ばれるようになった。単なる設備の建設管理、保全管理だけではなく、企業の有する資源を最適活用するためのソリューションERPへと進化しつつある。

一方、従来、保全管理システム“CMMS”(Computerized Maintenance Management System)と呼ばれていたシステムは、操業生産情報も考慮して企業資産の最適化を図るシステムへと進化し、企業資産管理システム“EAM”(Enterprise Asset Management)と呼ばれるようになった。最近では、さらにこれをシステム化したものが、総合資産管理システム“TEAM”(Total Enterprise Asset Management)と呼ばれている。

また、保全部門に期待される機能が拡大してきている。従来のように、単に「故障を予防する」だけではなく、あらゆる専門部門と協力して「資産の生涯に設備オーナーが受け取る投資回収率(ROA: Return on Asset)を最大にすること」を求められるようになった。このためのソリューションは、協業資産生涯管理“CALM”(Collaborative Asset Lifecycle Management)と呼ばれている。

Part1—設備診断技術はここまで進んでいる！

に提唱した新しい保全戦略である。

すなわち、保全部門の主機能とは「劣化に反応して(Reactive)修復することではなく、事前に劣化の原因を取り除くこと(Proactive)である」という理念に基づく。従来の予防保全(PM)は、故障を予防するために、それを予測して保全を実施する。しかし、PRM では設備診断技術を用いて、劣化の原因系パラメータを監視診断し、故障原因を“事前に除去”しようとする。

このような意味で、PRM を劣化防止型保全(Failure Proactive)と呼び、従来の予防保全を劣化反応型保全(Failure Reactive)と呼ぶ。

PRM では、修正アクション(Corrective Action)のターゲットを故障の兆候(Failure Symptoms)ではなく、故障の根本原因(Failure Root Causes)の排除に置く。したがって、その基本フィロソフィーは劣化原因排除による機械の寿命延長活動である。

■米国が日本から学んで生み出した PRM ■

Fitch 教授によると、PRM の基本は日本から学んだとされる。

- ① TPM における整理整頓などの 5S 活動
- ② 新日本製鉄・名古屋製鉄所が、油圧系統の汚染管理プログラムによりポンプの取替え頻度を 5 分の 1 に削減した事例

- ③ 川崎製鉄が、油圧系統の汚染管理を強化して、97%のシステム故障を削減した事例
これらが参考になったそうである。

2. 設備診断技術のISO規格化²⁾

今、設備診断が国際的に熱い注目を集めている。それは、生産プラントの機械設備のためという概念を大きく超えているのだ。

上下水道施設、橋やトンネルなどのインフラ施設、ビルディングなどの構造建築物など、あらゆる施設の最適管理にとって“必須の基本技術”と見なされるようになり、世界共通の基準が必要であると唱えられてきた。

この世界的な風潮を受けて、国際標準機構 ISO(International Organization for Standardization)で、その規格化が検討されている。

ISO 規格化の特徴は、単に診断法や診断機器に対する規格化だけでなく、異常の修復方法や診断技術者の資格検定を含むことである。

■日本の ISO 設備診断技術士への対応■

ISO 設備診断技術士は、2004 年 4 月から日本機械学会により資格認定が開始される予定である。そのための教育機関を認定する審査認証

PRM が実用化されている事例

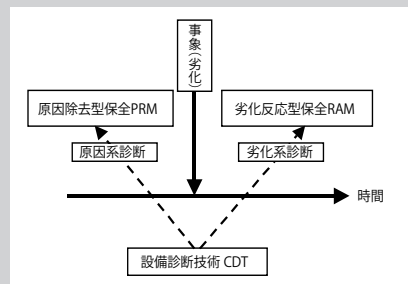
現在、プロアクティブ保全“PRM”が実用されているのは、主として油圧系統や潤滑系統である。導入のための第 1 ステップは、潤滑油、作動油、ギヤ油、トランスミッション液などの汚染管理プログラムの整備である。

プロアクティブ保全“PRM”の導入は次の3ステップによる。

- ①第1ステップ：機械油系統の目標清浄レベル TCL(Target Cleanness Level)の設定
- ②第2ステップ：目標清浄レベル TCL を実現するための、フィルター装置と汚染除去装置の選定
- ③第3ステップ：設備診断技術による清浄レベルの監視診断

右図は、プロアクティブ保全“PRM”と設備診断技術の関係を示す。すなわち PRM においては、設備診断技術を用いて、故障や劣化の兆候ではなく、その原因系パラメータを監視する。

ここでいう原因系パラメータとは、潤滑油中の水分、高圧空気の汚染粒子など機械の劣化の原因となる要素を意味している。



特集—理論と現場をつなぐ設備診断技術

は、2003年度から始まる。

また、資格認定は、初年度は第1種、第2種から試験が開始される。日本の場合、第1種は機械保全技能士の設備診断系の資格を有する人は、無条件で認定されることになっている。

生産現場で培ってきた技術を、さまざまな分

野で生かすべき時代に来ていることを強く認識すべきである。ことに、インフラなどが建設投資の時代を終え、メンテナンスへの社会的な投資が急激に拡大しつつあることを繰り返し指摘しておきたい。

3. 設備診断技術の動向²⁾

IT時代が深化し、設備診断関連ソフトおよび機器製造者(以下、CDT関連ベンダーと呼ぶ)や設備ユーザーの動向を見ると、下記のような一般的傾向を指摘できる。

3-1 診断機器・サービスのシステム化

設備診断関連ソフト、機器、サービス、教育を総合したCDT関連ベンダーが多数登場し、従来の専門的な診断業者は少数派となりつつある。

米国の設備診断関連機器およびソリューションソフトベンダーの製品系列を参考に、最近の診断技術業界の動きを見てみよう(図表-1)。

図表-1のように最近の欧米の設備診断関係の専門会社の事業内容を見ると、設備診断機器やサービスの提供だけでなく、診断関連ソリューションの総合メーカーに成長しつつあることがわかる。

とくに注目すべき点は

- ① プラント資産管理システム“PAM”が、最

図表-1 欧米の設備診断企業の典型的な提供事業

- PAMソフトウェア(Plant Asset Management software)
- 振動解析(vibration analysis)
- 無線監視(wireless monitoring)
- 連続オンライン監視(continuous online monitoring)
- 油分析(oil analysis)
- 赤外線サーモグラフィ(infrared thermography)
- 電動機診断(motor diagnosis)
- 非破壊検査(non-destructive evaluation)
- 超音波検査(ulasonics)
- 機械のバラシングや心出しなどの修復技術(corrective tools such as alignment and balancing)
- 顧客教育および訓練
- 関連専門研究会の主催

ISO 設備診断技術士の資格検定体制

ISO 設備診断技術士の資格検定の内容は、バラシングや心出し技術、予測技術など設備保全に関わる中核技術を含む。このことから、日本においても検定機関、教育訓練機関、訓練用テキスト出版機関などの整備が急がれるといえる。

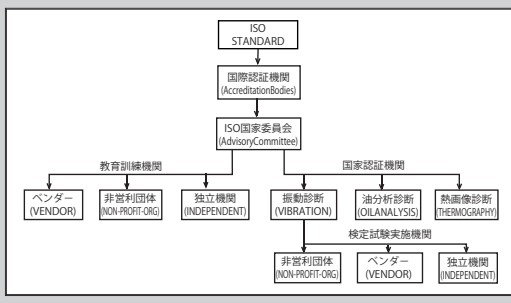
ISO規格化が検討されている分野(2001年4月時点)

- ① 振動診断(vibration)
- ② 油分析診断(lubricant analysis)
- ③ 心出し診断(alignment)
- ④ バラシング診断(balancing)
- ⑤ 予測法(prognosis)
- ⑥ 赤外線サーモグラフィ診断(infrared thermography)
- ⑦ 電動機電流診断(electrical current analysis)
- ⑧ 性能診断技術(performance analysis)
- ⑨ AE信号診断(acoustic emission)

ISO 設備診断技術士の範囲

- ① 第1種振動診断士(Category1)
1チャンネルの振動測定機器を扱う資格。センサー選択、分析、測定結果には責任がない
- ② 第2種振動診断士(Category2)
1チャンネルの振動測定機器を使って、機械振動の基本的な測定と分析ができる
- ③ 第3種振動診断士(Category3)
確立し認識された手順に従って、機械振動測定と振動分析の実行および指示ができる
- ④ 第4種振動診断士(Category4)
すべてのタイプの機械振動測定と振動分析の実行および指示ができる

ISO 設備診断技術士の資格検定体制



Part1—設備診断技術はここまで進んでいる！

重要事業項目として位置付けられていること

- ② 振動診断から油分析、赤外線画像診断、非破壊検査などすべての分野の診断技術およびサービスを包含すること
- ③ バランシングやアライメントなど修復技術やサービスが、必須の事業項目となっていること
- ④ 顧客教育や訓練および関連研究会の主催など、顧客サービスが重要な事業項目として重視されていること

である。

日本の設備診断関連事業の振興にとって、大いに参考とすべき点である。

3—2 監視システムのワイヤレス化³⁾

ITによって、設備監視用センサーも様相を一変しつつある。たとえば、米国の Computer Systems Inc. が開発したワイヤレス振動・温度センサーは、高さ約 10cm、直径約 4cm の円筒形で、小型・堅牢に設計されている。振動センサーとしては、約 20Hz から 10kHz の広帯域で変位、速度、加速度の振動信号と温度の同時計測が可能である。

これを用いた回転機械の監視システムの略図を、**図表—2** に示す。典型的な応用は現在のところ、「接近困難な危険領域に存在する回転機械」「高所にあり、登るのにハシゴなどが必要なクーリングタワー用回転機械」「ロボット、クレーン、工作機械などの移動機械もしくは移動部位」などである。

しかし、配線工事や配線ダクトが不要である点を考慮すれば、今後このようなワイヤレス設備監視システムが急速に拡大していくものと予想される。

3—3 新しい制御系の診断方法—ヒステリシスプロット法

設備診断技術の実用分野が、従来の石油化学や鉄鋼業などのプロセス産業から、自動車産業などの加工組立型産業に進展してきた。

加工組立型産業では、劣化故障の監視診断に加えて、機械の制御性能や性能の監視診断がより重視される。ところが、油圧制御系のように、制御弁やピストンなど非線形要素を多く含む制御系の診断は、従来の線形制御理論では正確な診断ができない。

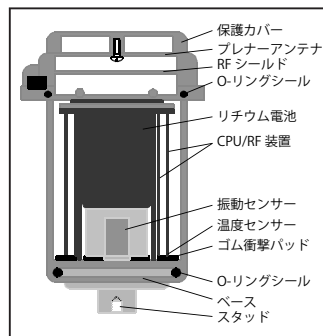
このようなとき、制御系の基準入力を単調に上昇および下降させて制御量の描くヒステリシスを観測する手法が考案されている。制御系が正常だとヒステリシスが少なく、異常が存在すると大きなヒステリシスを生じる。また、ヒステリシス曲線の形状により、異常の個所や種類が推定できる。

事例として、大型ファン制御系の風量を基準入力、ブレード角度を出力として、そのヒステリシスをプロットしたものを**図表—3** に示す。

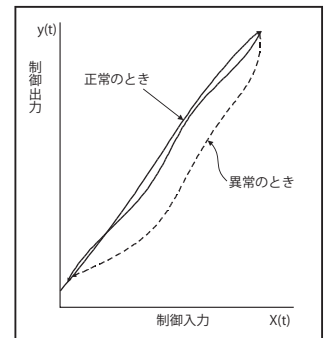
3—4 振動解析による回転機械の診断

従来から設備診断の中核技術といわれてきた、振動解析による回転機械の診断もその様相を変革しつつある。

図表—2 設備監視用ワイヤレス振動・温度センサー³⁾

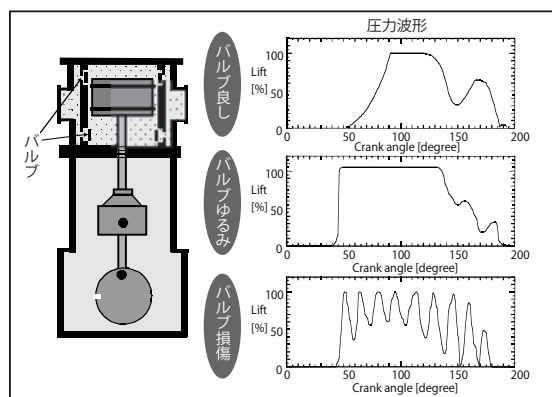


図表—3 大型ファンの制御系のヒステリシスプロットによる診断



特集—理論と現場をつなぐ設備診断技術

図表—4 間歇動作・往復運動機械の診断



① 振動・温度センサーのワイヤレス化

欧米では無線方式の振動・温度の同時測定センサーが実用化されている。つまり、今後は設備監視システムの取付け配線工事は不要となり「ワイヤレス設備監視システム」が主流となる。

② 多数の状態変数の同時監視

振動・温度だけでなく赤外線温度画像、潤滑油中の金属粉監視など、多数の設備状態変数および機械の性能パラメータである消費電力や効率などを同時監視する。そして、多変量診断理論により設備劣化を同定し、過酷度を推定する方式が一般化しつつある。

③ 空間領域の情報の活用

従来は、回転機械の一定個所の振動を解析して機械の状態を推定していた。最近では、複数個所で複数方向の振動を同時計測し、相互の振動信号の相関関係により、微妙な異常の識別が可能となりつつある。

3—5 ^{かんけつ} 間歇動作・往復運動機械の診断技術

加工組立型産業においては、プレスやせん断機などの間歇動作機械や加工機などの往復運動機械が重要な機能を受け持つ。

このような間歇動作機械の診断では、以下のような特徴が現れる。

- ・単発圧力信号の形状が、バルブの劣化とともに

に特徴的な形状を呈する(図表—4)

- ・バルブ開閉で発生する振動波形が、機械の劣化とともに微小変移または欠落する
 こうした単発過度信号の微小変移を敏感にとらえる必要があるが、古典的な振動解析法や電流解析法では困難である。

そこで、情報理論を用いてこれらの間歇動作機械の異常や性能を高精度で診断する手法が、筆者のグループで開発された。

情報理論によると、図表—4の圧力信号のようにバルブの状態変化による形状の特徴的な変移を、定量的に情報量の単位[bit]で計測することが可能である。

3—6 診断システムを内蔵したスマートマシンの登場

重要機械に、当初から診断システムを組み込んで(Built-in)内蔵した機械が増加している。これをスマートマシンという。すなわち、CPUチップを装置の制御系内に持ち、機械の「性能効率監視システム」「劣化異常監視システム」「表示装置」を内蔵した機械である。

最近の欧米の動向を中心に、保全管理と設備診断技術の一端を紹介した。本稿が諸氏の業務の一助になれば幸いである。

■参考文献

- 1)ARC Advisory group. ; EAM/CMMS Software and Service Global Outlook, 11/21/2000
- 2)最近の予知保全システムについて：豊田利夫、2001 国際メンテナンステクノショー
- 3)Computational Systems Inc. website : <http://www.compsys.com>
- 4)回転機械診断の進め方：豊田利夫、日本プラントメンテナンス協会、1991
- 5)AEMS : Advanced Energy Monitoring Systems 社カタログ“Yatesmeter Pump Monitoring System”
- 6)Predictive Maintenance by Performance Maintenance of Plant : Ray Beebe, Monash University Gippsland School of Engineering, Australia
- 7)Proactive Maintenance for Mechanical Systems : E.C.Fitch, FES Inc.USA