
回転機械振動診断技術の開発

Development of Diagnosis Technique for Rotating Machine by Vibration Analysis

笠井 聡(Satoshi Kasai) 埴田 吉男(Kichio Tada) 長谷川 恒也(Tsuneya Hasegawa)
佐能 克明(Katsuaki Sano) 藤本 茂樹(Shigeki Fujimoto)

要旨：

当社では、1970年代後半より振動法による回転機械診断技術の導入、開発を積極的に進めてきた。回転機械診断エキスパートシステムは、マニュアル、オフラインおよびオンライン診断のすべてに適用でき、操作も容易で、すでに16システムが稼働している。自動診断機能を有するオンライン診断システムは、自動報告書作成機能を持ち、マン・マシンインターフェースの改善を図っている。さらに、ホストコンピュータとリンクする振動計付ハンディターミナルの開発は、測定範囲の拡大と点検作業の大幅な効率化につながった。これらのシステム化、インテリジェント化の結果、ダウンタイムの低減やオーバーホール周期の延長など著しい効果が得られた。

Synopsis：

Ever since the latter half of the 1970s, Kawasaki Steel has aggressively promoted the development and introduction of the diagnosis technique of rotating machines. Manual, off-line and on-line diagnoses are applicable to the easy-to-operate expert system for rotating machines, and 16 systems are now in operation. The on-line diagnosis system furnished with the automatic diagnosis function is also equipped with the automatic report making function with a view to improving the man-machine interface. Further, the development of the handy-terminal with a vibration meter which is linked to a host computer has led to the expansion of the measuring range as well as substantial improvement of efficiency. The systematization of techniques and development of intelligent systems have produced an excellent effect on reducing downtime and extending overhaul cycles.

(c)JFE Steel Corporation, 2003

Development of Diagnosis Technique for Rotating Machine by Vibration Analysis



笠井 聡
Satoshi Kasai

千葉製鉄所 保全部保
全技術室 主査(課長
補)



多田 吉男
Kichio Tada

千葉製鉄所 保全部保
全技術室 主査(掛長)



長谷川 恒也
Tsuneya Hasegawa

千葉製鉄所 保全部保
全技術室



佐能 克明
Katsuaki Sano

本社 システム部シス
テム研究室 主査(掛
長)



藤本 茂樹
Shigeki Fujimoto

川鉄アドバンテック
(株) 技術部

1 緒 言

鉄鋼、化学、石油などの装置産業においては、ファン、ポンプ、モータに代表される各種回転機械が幅広く使用され、一貫製鉄所においては、主要なものだけでも1万台を超える。一方、装置産業においては、安定に稼働することが必須条件で、これら回転機械のトラブルは大幅な生産ダウンにつながるし、工程攪乱の要因にもなる。また、定期的なオーバーホールや予備機の整備に多額の費用も発生する。

これに対し、設備の状態を定量的に把握し、異常や将来への影響を予知、予測する設備診断技術の導入が提唱された¹⁾。なかでも、最もよく研究され実用性の高い分野が回転機械診断技術である²⁾。

当社においても1970年代後半から、振動法による回転機械診断(以後、振動診断と称す)を手始めに設備診断技術の導入、開発を積極的に進めてきた。その後、各種振動診断機器の開発³⁾もあって、振動診断技術が急速に普及、拡大した。その結果、技術蓄積も

要旨

当社では、1970年代後半より振動法による回転機械診断技術の導入、開発を積極的に進めてきた。

回転機械診断エキスパートシステムは、マニュアル、オフラインおよびオンライン診断のすべてに適用でき、操作も容易で、すでに16システムが稼働している。自動診断機能を有するオンライン診断システムは、自動報告書作成機能を持ち、マン・マシンインターフェースの改善を図っている。さらに、ホストコンピュータとリンクする振動計付ハンディターミナルの開発は、測定範囲の拡大と点検作業の大幅な効率化につながった。これらのシステム化、インテリジェント化の結果、ダウンタイムの低減やオーバーホール周期の延長など著しい効果が得られた。

Synopsis :

Ever since the latter half of the 1970s, Kawasaki Steel has aggressively promoted the development and introduction of the diagnosis technique of rotating machines. Manual, off-line and on-line diagnoses are applicable to the easy-to-operate expert system for rotating machines, and 16 systems are now in operation. The on-line diagnosis system furnished with the automatic diagnosis function is also equipped with the automatic report making function with a view to improving the man-machine interface. Further, the development of the handy-terminal with a vibration meter which is linked to a host computer has led to the expansion of the measuring range as well as substantial improvement of efficiency. The systematization of techniques and development of intelligent systems have produced an excellent effect on reducing downtime and extending overhaul cycles.

でき、今日の診断のシステム化やインテリジェント化につながった。ここでは、自動化、システム化技術を中心に当社の回転機械診断技術について述べる。

2 振動診断技術の導入と展開

2.1 振動診断技術の変遷

振動診断技術の導入は1970年代後半に各地区で試験的に始まった。当初は、振動計は市販のものをを用い、診断レベルも簡易診断が主体であった。しかし、1980年代に入ると、ポータブルな解析器が開発され、フィールドでの簡易と精密の総合的診断が可能となり、技術の蓄積が急速に進んだ。しかし、まだその技術は一部の診断業務を専門にする人たちの手に握られていた。1980年代後半に入ると、体制もほぼ確立し、教育、実習を通して診断技術の普遍化

* 平成2年2月8日原稿受付

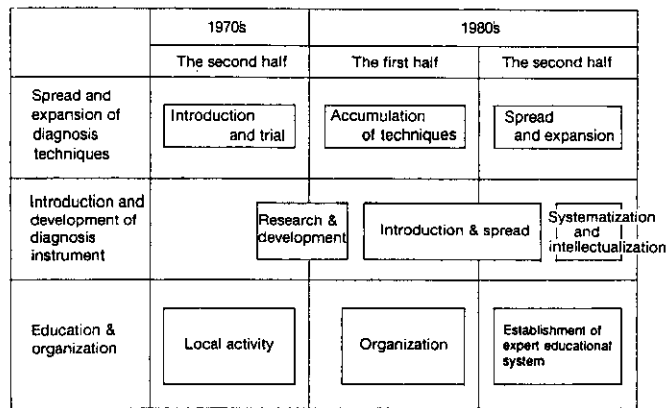


Fig. 1 Kawasaki Steel's history of machine diagnosis techniques

を進めてきた。また同時に、診断機器の普及も行い、現在ではほとんどの保全員が診断機器の操作とある程度の解析が可能となった。また一方、少数精鋭下での保全管理体制に対応するため、振動診断のシステム化、インテリジェント化を進めていった。当社の振動診断技術の変遷を Fig. 1 に示す。

2.2 振動診断事例

最近では、異常を予知し故障を未然に防止したとか、診断によってオーバーホール周期を延長したとか、そうした診断事例は年間 100 件を超える。これらは診断報告書として 1 件 1 葉にまとめ、技術の蓄積を行ってきた。これらのうち、異常予知事例を機器、要素、異常原因別に整理したものを Table 1 に示す。機器としては、ファ

ン、ポンプ、減速機、ロールが多く、異常原因としては、アンバランス、ミスアライメント、カップリング異常、ベアリング異常が多い。次に、この診断事例のうち特徴的な事例を Fig. 2 に示す。

No. 1 は、アンバランスの例で、周波数スペクトルに回転基準周波数成分 $f_0 (=N(\text{回転数 rpm})/60)$ が明瞭に表われていることが特徴である。No. 2 はミスアライメントの例で、 f_0 , $2f_0$, $3f_0$ が明瞭に表われていることが特徴で、一般的にはアキシアル方向の振動に着目すべきであるが、危険で測れない場合が多く、ラジアル方向の測定でも十分判別可能である。No. 3 はチェーンカップリングの歯が摩耗していた例で、周波数スペクトルに f_0 , $2f_0$, $3f_0$, …… と回転基準周波数成分の倍数がほぼ歯数分、規則正しく出ていることに特徴がある。No. 4 は軸の軸受嵌合部が摩耗していた例で、不規則な波形に特徴がある。No. 5 はころがり軸受外輪がフレーキングを起こしていた例で、周波数スペクトルがこうした山形分布することに特徴があり、エンベロープ処理後の周波数スペクトルと発生生周波数⁵⁾とを対応させる方法もあるが、前述の方法でも軸受の異常を判別できる。No. 6 はファンの架台の亀裂を発見した事例で、振動波形に特徴があり、アンバランスによる規則正しい振動波形のほかに、もっと低い周波数のうねりが合成されていることがわかる。これは周波数スペクトルで、低周波のものに着目してもわかるが、そのスペクトルは小さいために見落とされる可能性が高い。

以上述べてきたように、当社では、振動値の大きさ、方向、モードだけでなく振動波形や周波数スペクトルの特徴も加味して総合的に診断している。

2.3 診断技術開発体制

当社の診断技術への取り組みは、決して早いとはいえないが、短期間で技術の蓄積と普及、拡大および後述するシステム化、インテリジェント化の推進ができたのは、当社の開発体制にある。

当社の診断技術開発体制を Fig. 3 に示すが、当社グループ内に診断機器の開発部門（川鉄アドバンテック(株)）、システムの研究部門（たとえば川鉄システム開発(株)）があり、メンテナンス部門のニーズにすばやくこたえて診断機器の開発や診断システムの構築を行い、さらには、エキスパートシステムの開発やホストコンピュータとのリンケージも容易にできた。しかも、ユーザであるメンテナンス部門の生の声を聞きながら開発を進めるわけだから、開発されたものも商品化に結びつくものが多かった。こうしたこともあって、三位一体の開発体制が現在も続いている。

Table 1 Number of precise diagnosis cases

(◎: many ○: a few)

Element	Cause of fault	Fan, blower	Pump	Motor	Gear box	Roll
Rotor	Unbalance	◎	○			◎
Shaft	Bending	○	○			◎
Coupling	Wear of shaft	○	○			
	Misalignment	◎	◎	◎	○	○
	Wear of key				○	
	Loose bolt				○	○
	Wear of teeth	◎	◎	◎	○	
Bearing	Wear of bore				◎	○
	Wear of bearing	◎	◎	○	◎	◎
	Flaking of bearing	◎	◎	◎	○	◎
	Crack of bearing				○	
Base structure	Loose bolt	○			○	○
	Faulty setting	◎	○	○		◎
	Crack	○			○	
Others		Pressure pulsation		Electro magnetic unbalance	Wear of teeth Chipped tooth	

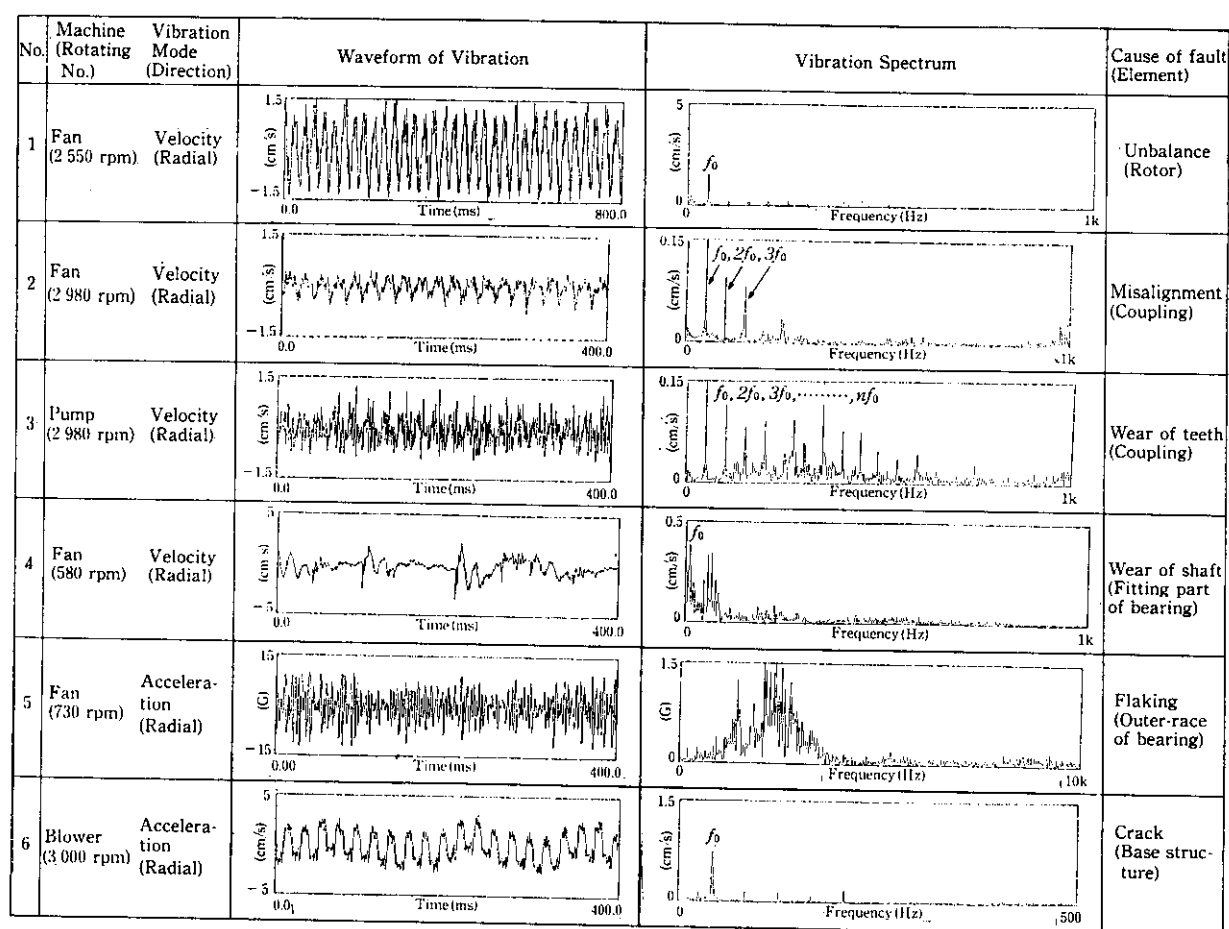


Fig. 2 Examples of vibration analysis

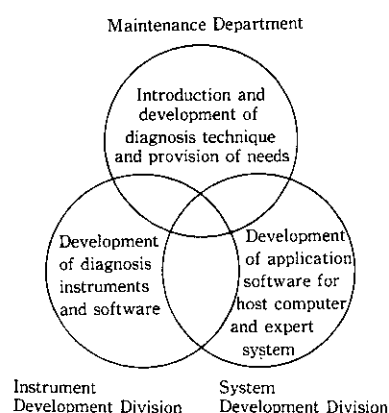


Fig. 3 Organization for development of diagnosis techniques

3 オンラインシステムとも通信可能なエキスパートシステムの開発⁶⁾

3.1 経 緯

保全員の教育が一段落つくと、次に必要になってくるのは、異常の原因の判定・処理ができる専門家の育成であった。当社千葉製鉄

所では、OJT(on the job training)を通して毎年5名程度の専門家の育成に努めてきた。しかし、フィールドで発生する異常現象は複雑で、その主要原因と間接原因を読み取る高度な解析能力を身につけるためには、少なくとも1年間の教育期間が必要で、数多くの専門家を短期間で育成することは困難であった。そこで、ポピュラリティのあるパソコン上で動作し、専門家と同等の判断ができ、さらに誰でも操作できることを目標にエキスパートシステムの開発に取り組んだ。

3.2 システム構成

3.2.1 機能の構成

今回開発した回転機械振動診断エキスパートシステムは、当社で使用している振動計 (MK-10 シリーズ)、ポータブル振動解析器 (MK-300 シリーズ)、振動計付ハンディターミナル (MK-20M, 30M シリーズ)、オンライン設備診断システム (DM-2000, CMS-3000 シリーズ) のいずれのデータも取り扱うことが可能で、多機能化を図っている。機能構成を Fig. 4 に示し、その概要を以下に述べる。

- (1) マニュアル診断: 振動値のみを使用して行う診断 (簡易診断) で、診断に必要なデータはマニュアルインプットとする。
- (2) オフライン診断: ポータブル解析器やハンディターミナルで測定・記憶した振動値、振動波形、周波数スペクトラムなどを使用する診断 (簡易診断と精密診断) で、そのデータは RS-232C インターフェースによりパソコンに伝送する。
- (3) オンライン診断: オンラインの設備診断システムで収集し

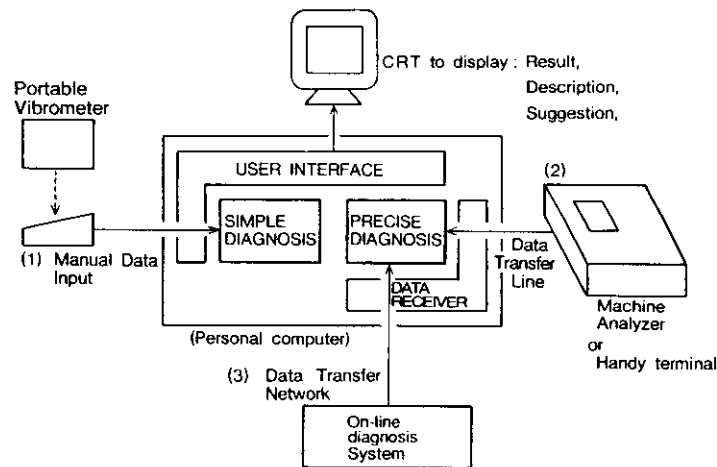


Fig. 4 Configuration of expert system

た各種データを使用する診断（簡易診断と精密診断）で、そのデータは RS-232C インターフェースによりパソコンに伝送する。

3.2.2 ハードウェアと開発支援ツールの選定

開発支援ツールを選定する上で具備すべき条件を以下に示す。

- (1) ポピュラリティのあるパソコン上で動作すること。
- (2) ファイルとのインターフェースが可能であること。
- (3) 推論の途中で振動波形や周波数スペクトラムなどの図形が表示可能であること。
- (4) 安価な開発支援ツールであること。

以上の理由から、本システムのハードウェアと開発支援ツールは

以下のものを選定した。

ハードウェア: PC9800 シリーズ (NEC 製)

OS: MS-DOS

開発支援ツール: TELL (岩崎技研(株) 製)

3.2.3 知識の整理

知識の整理の手順を Fig. 5 に示し、以下に説明する。

まず、これまでに得られた事例をもとに、周波数スペクトルや波形の特徴を抽出し、整理した。次に、それらを測定方向、振動モード、特性周波数、波形の特徴ごとにマトリックス形式にまとめた。さらに、それらを IF~THEN 形式のルールに書き換えた。特に、この段階で数値演算で対処しうるものは極力数式化し、問診の数を減らした。最後に、起こりえない結論が導き出されないように、各機器、要素ごとにルールの適用を分類した。

3.2.4 ソフトウェアの構成

本エキスパートシステムのソフトウェアの構成を Fig. 6 に示す。前述のとおり開発支援ツールは TELL を使用している。TELL は Prolog 言語をもとにしたツールであるが、その Prolog は、ウィンドウや浮動小数点演算などの機能を WING というプロダクトで付加している。知識ベースは、ルール、フレームおよびユーザ定義述語で構成され、ルールおよびフレームはブロック分割している。ル

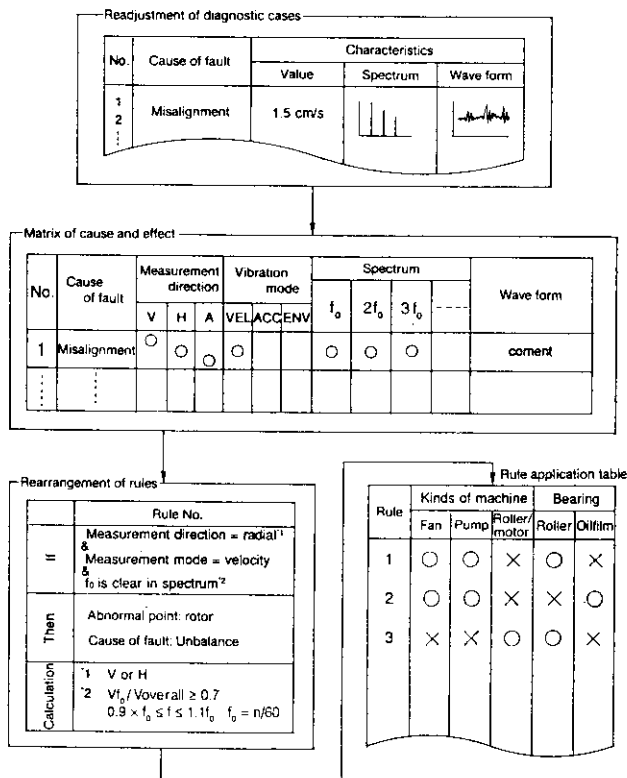


Fig. 5 Procedure of acquisition of knowledge

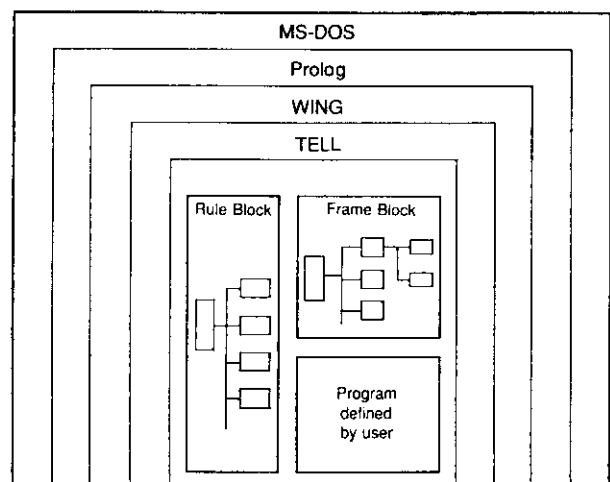


Fig. 6 Software configuration of expert system

ールは診断用の知識を IF~THEN 形式で格納している部分で、総ルール数は約 240 である。フレームは、診断用のデータを格納する部分で、総フレーム数は約 50 である。ファイルの読み込み、グラフ表示、数値演算などの処理は、ユーザ定義述語として作成し、登録している。ユーザ定義述語の総数は約 60 である。これ以外にも約 60 のデモン用の述語を作成した。

3.3 システムの動作手順と表示例

本エキスパートシステムのオフライン診断の場合の動作手順を Fig. 7 に示す。まず、データ No. を選択し、指示された転送操作を行うことにより、オフライン用診断器に記憶されているデータが、エキスパートシステム側へ自動的に転送される。次に、機種を選択し、回転数やモータ容量などを入力する。入力操作はここまでで、データを読み込んでの劣化度の判定やその組み合わせによる簡易診断、さらには周波数スペクトルの大きさやその組み合わせによる精密診断などは自動的に行われる。ただし、数値演算で処理しないルールにヒットした時は自動的に問診が発行される。しかし、その問診はすべて対話形式で、YES, NO, UNKNOWN をマウスで選択するだけであり、操作は簡単である。その他にも、ころがり軸受の傷発生周波数や固有振動数および軸の危険速度の演算も簡単な操作で行うことができる。診断結果は自動的に表示され印刷することもできる。機種選択、問診発行、診断結果の表示例を Fig. 8 に示す。

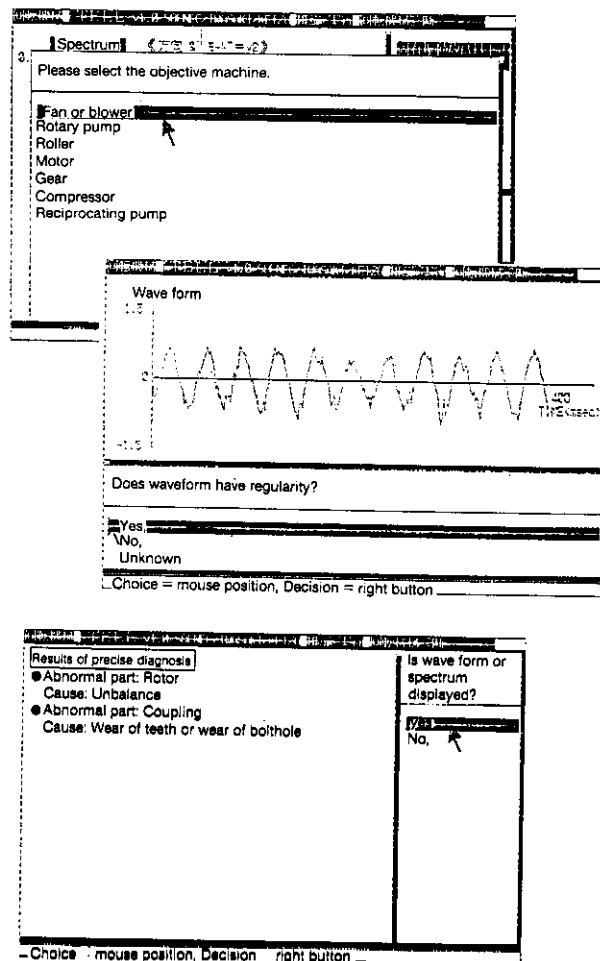


Fig. 8 Examples of CRT display

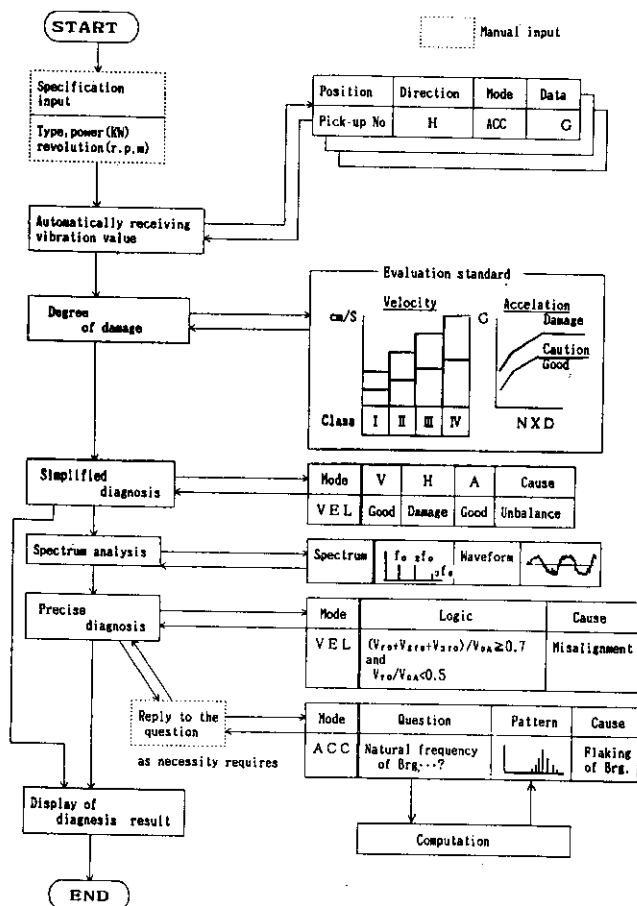


Fig. 7 Procedure of analysis

3.4 特徴と成果

3.4.1 特徴

本エキスパートシステムの特徴を以下に示す。

- (1) 通信機能の柔軟性: オンラインシステムを含む当社の各種診断機器とのリンケージが可能である。
- (2) 高度な判断機能: 当社の長年にわたる技術蓄積をベースにノウハウを構築し、約 240 のルールにまとめている。
- (3) 人間介入の極小化: 論理化、定量化を図り、数値演算で対処しうるものはそれを利用して極力人間の判断部分を少なくした。
- (4) 安価なシステム構成: ポピュラリティのあるパソコン上で動作可能のようにシステム設計を行った。
- (5) ガイダンス機能: マルチウィンドウで振動波形やスペクトル解析結果の表示を可能とした。

3.4.2 成果

当社では、現在までに 16 システム (うちオンライン用は 2 システム) が稼働している。本エキスパートシステム導入前後の精密診断件数の変化を Fig. 9 に示す。本システムを使用することにより精密診断件数が大幅に増加し、導入前の約 3 倍になっていることがわかる。これによって、故障の未然防止、オーバーホール周期の延長に大きく寄与している。

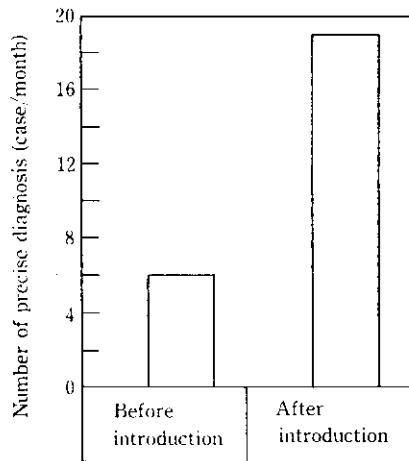


Fig. 9 Comparison of the number of precise diagnosis cases before and after the introduction of system

4 自動診断機能を有するオンライン設備診断システムの開発⁷⁾

4.1 経緯

当社では、少数精鋭で高能率、高品質を保证する設備管理体制の確立のために、早くからオンラインの設備診断システムの導入を進めてきた。現在までに、20数システムが稼働しているが、その多くは、回転機械振動診断を主体とするものであった。ただ、その測定対象部位は、重要設備の重要装置の点検困難箇所を優先している。しかしながら、最近のように自動化、メカトロ化が進むと、その対象範囲も広がり、測定点数も200点を超えるシステムが出現してきた。こうなると、単にデータを採取し、演算し、判定する信号処理だけでなく、オペレータや保全員にわかりやすく、さらには迅速な対応ができるように、人間の判断、手間を省くマン・マシンインターフェースがより重要になってきた。そこで、当社では自動診断、自動報告書出力機能を有するオンラインの設備診断システムの開発を行った。

4.2 システム構成

4.2.1 基本的なハード構成

設備診断システムの基本的なハード構成を Fig. 10 に示す。主として振動センサー、振動計、制御部、端末装置からなり、それにスペクトルアナライザーや信号切換装置などが付いている。振動センサーは通常、絶縁・防水型の圧電素子を使ったピックアップであるが、炉回りについては高温用の、ミル回りについては防水型の特

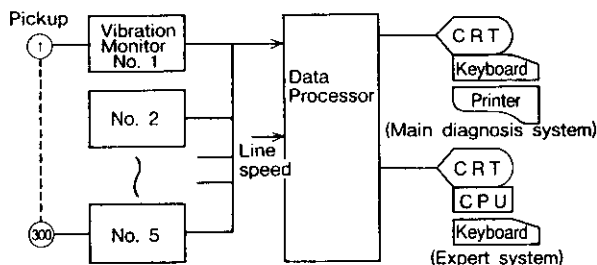


Fig. 10 Hardware configuration of on-line diagnosis system

ピックアップを使用している。振動計は1台につき60点の振動センサーの接続が可能で、外部信号によってチャンネルの切換を行っている。なお、振動計の選択およびモードの選択は、シグナルモニターで行っている。制御部はシステム全体をコントロールしている部分で、信号の選択、演算、記憶、表示をつかさどり、ライン速度などのプロセス信号や ON-OFF などの条件信号の入力も可能である。端末装置は、通常のオンラインシステム用とエキスパートシステム専用のものと2台ある。

4.2.2 機能の構成

設備診断システムの機能構成を Fig. 11 に示す。大きく分けると、オンライン診断機能、マニュアル診断機能、記憶データの表示機能、基準の設定機能、自己診断機能がある。オンライン診断機能の中には、データの収集や警報判定はもちろんのこと、自動診断機能や報告書の自動作成、印字機能がある。マニュアル診断は必要に応じて任意に行うもので、そこには、自動診断機能のついた精密診断機能と前述のエキスパートシステムによる診断機能がある。記憶データについては、2年分のデータの保存、表示が可能である。基準の設定機能は、サンプリングタイミング、演算のための定数、判定基準などの設定を行うものである。自己診断は主に断線を自己チェックする機能である。

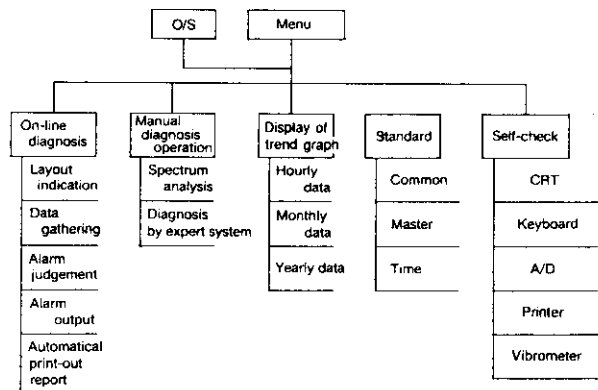


Fig. 11 Functions of on-line diagnosis system

4.3 システムの特徴と表示例

4.3.1 警報判定と自動診断ロジック

回転機械の振動診断の判定基準を設定する場合によく問題とされるのは、回転数の変化による振動値のバラツキである。当社では、この問題を解決するために二つの方法を採用している。一つは、最高速に近い速度で稼働し、その時間もある程度確保できる冷間圧延機や連続焼鈍設備およびそのライン速度に連動して回転する減速機やロールなどの診断を行う場合で、それらは一定速度（設定）以上でデータをサンプリングするようにしている。あと一つは、熱間圧延機の減速機やロールおよび可変式のファンのように、回転数の変化が激しく、その変動幅も大きい装置の診断の場合で、それらは回転数に見合った補正係数を測定値に掛ける（いわゆる DN 補正する）ようにしている。

次の問題として、負荷の変化による振動値のバラツキの問題がある。これに対しては、警報処理に工夫をこらしている。すなわち、短時間（たとえば2時間）のデータをもとに警報判定を行う場合には、どうしても負荷変動の影響を受けるので、真に異常であることを見極めるために、警報基準を連続して数回（設定）超えた場合の

み警報を出力するようにしている。1日間や1箇月間のデータをもとに警報判定を行う場合は、それらのデータを平均化することで、負荷変動によるバラツキの影響は少なくすることができる。

一方、異常と判定された場合(警報出力)には、CRTのレイアウト画面上の該当部位がフリッカーするとともに、チャンネルを当該部位に切り替え、自動診断が行われる。自動診断は、①アンバランス、②ミスアライメント、③軸受傷(内輪、外輪、転動体)、④歯車損傷(摩耗、欠損)、について判定を行い、該当しない場合は⑤「以外の異常」と表示する。通常の多くはこれらのいずれかに該当するケースが多いが、「以外の異常」と表示された場合やさらに詳しく原因追求する場合は、前述のマニュアル診断でエキスパートシステムと連動させて解析することができる。

4.3.2 報告書自動作成機能

報告書の自動作成機能を Fig. 12 にしたがって説明する。まず、

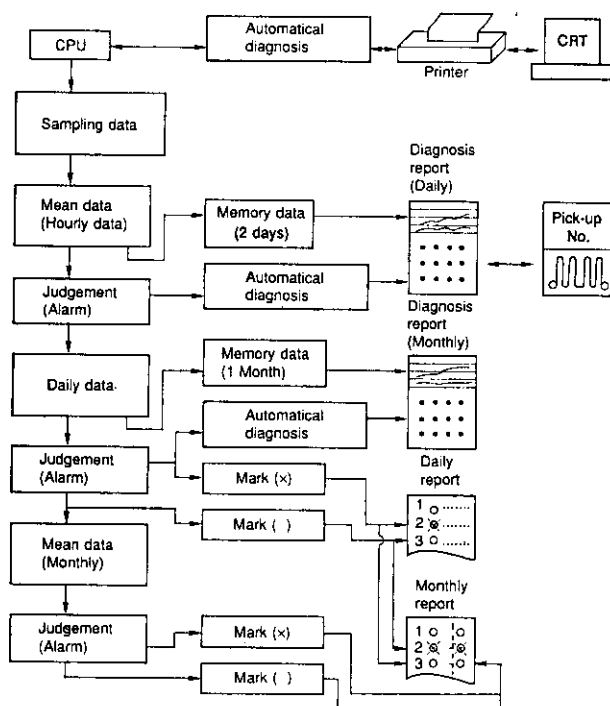


Fig. 12 Flow of automatic printing-out

NO. 3 CAL CONDITION DIAGNOSIS SYSTEM											
MONTHLY REPORT 88. SEP. 01											
O: GOOD X: WARNING - : DISCONNECTION											
88. AUG.											
PU NO.	Machine	1	2	3	4	5	6	7	8	9	M
181	CS - FAN01	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O
182	CS - FAN02	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O
183	CS - FAN03	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O
184	CS - FAN04	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O
185	CS - FAN05	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O
186	CS - FAN06	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O
187	CS - FAN07	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O
188	CS - FAN08	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O
189	CS - FAN09	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O
190	CS - FAN10	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O
191	CS - ROLL01 (OP)	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O
192	CS - ROLL01 (DR)	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O
193	CS - ROLL02 (OP)	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O
194	CS - ROLL02 (DR)	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O
195	CS - ROLL03 (OP)	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O
196	CS - ROLL03 (DR)	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O
197	CS - ROLL04 (OP)	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O
198	CS - ROLL04 (DR)	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O
199	CS - ROLL05 (OP)	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O
200	CS - ROLL05 (DR)	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O
201	CS - ROLL06 (OP)	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O
202	CS - ROLL06 (DR)	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O
203	CS - ROLL07 (OP)	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O
204	CS - ROLL07 (DR)	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O
205	CS - ROLL08 (OP)	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O
206	CS - ROLL08 (DR)	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O
207	CS - ROLL09 (OP)	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O
208	CS - ROLL09 (DR)	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O
209	CS - ROLL10 (OP)	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O
210	CS - ROLL10 (DR)	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O

Fig. 14 An example of monthly report

サンプリングデータの2時間分を平均化し、前述の警報ロジックにしたがって判定し、異常があれば自動診断結果とともに、直近2日間のトレンドグラフが出力され、時報異常報告書として出力される。日報異常報告書も同様に、1日分のデータを平均化し、さらに警報判定を行い、異常があれば、自動診断結果と直近1箇月間のトレンドグラフが出力される。それ以外に、定時出力として毎朝出力する日報と月初めに出力する月報がある。これらはいずれも、振動レベルを記号化し、測定点数が多い場合でも、異常発生部位がどこかすぐにわかるようにしている。時報異常報告書の例と月報の例を Fig. 13 および 14 にそれぞれ示す。

4.4 成果

設備診断システム導入後、大型減速機の軸受損傷やカップリングキーボルトの切損、ロールの曲がり、ファンの架台の剛性不足など重大トラブルにつながる異常を数多く発見してきた。その一例として、設備診断システム導入前後の千葉製鉄所 No. 2 連続焼鈍設備の稼働率と機械系のダウンタイムの推移を Fig. 15 に示す。導入後、振動センサー装着部位のダウンタイムは減少し、現在は「ゼロ」を

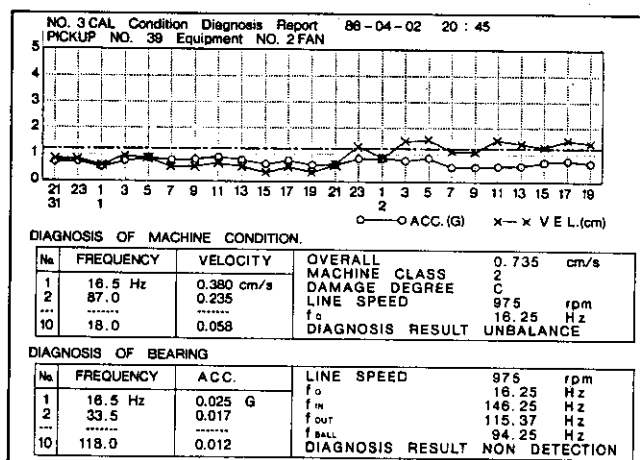


Fig. 13 An example of diagnosis report

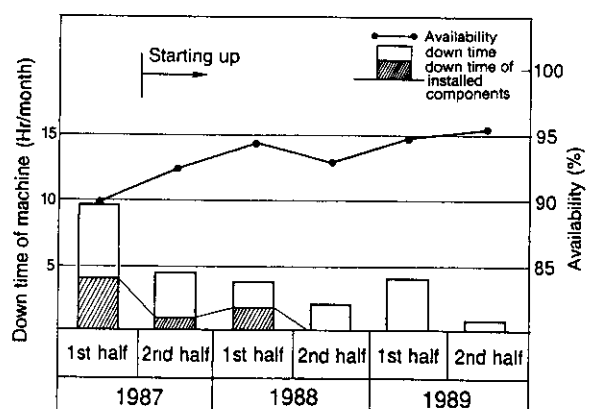


Fig. 15 Change of availability and downtime of No. 2 CAL

続けている。また、これに伴って機械系の全ダウンタイムも減少し、稼働率は着実に上昇している。これは、まず装着部位の重要設備の重要装置のダウンタイムがなくなる（あるいは正常であることがすぐに確認できる）ことにより、保全員の点検範囲が広がり、工事計画精度がアップする、次に、それにより全体のダウンタイムも減少し、操業が安定し、稼働率の向上につながったものと思われる。

5 設備保全管理システムとリンケージする 振動計付ハンディターミナルの開発

5.1 経緯

オンラインの設備診断システムの導入は有効であるが、投資効果を考えるとその測定対象部位が限定される。そこで、次の目標は、オンライン装着部位以外の回転機械の診断をいかに効率よく行うかであった。また一方では、点検データをもとに寿命予測し、工事計画の立案ができる設備保全管理システム⁸⁾がすでに稼働していた。しかし当時は、点検データを手帳に記入し、ホスト端末からハンドで入力していた。そこで、点検、診断作業の簡素化とデータ入力作業の負荷軽減を目的として、ホストコンピュータとリンケージする振動計付ハンディターミナルの開発を行った。

5.2 システム概要

5.2.1 システム構成

振動計付ハンディターミナル (MK-30M) と設備保全管理システムとをリンケージしたシステム構成を Fig. 16 に示す。ハード構成としては、ハンディターミナル、多機能端末、ホストコンピュータからなる。

ハンディターミナルは、基本的にはパソコン用データメモリ (MK-20M⁹⁾) をベースに改良を加えたもので、設備保全管理システムと連動させるために、①点検件名、点検項目などの表示をカナ・漢字としたこと、②振動データ以外に 26 種類の汎用データのハンド入力による記憶を可能としたこと、③汎用データについては、整数部 5 桁、小数部 3 桁の入力を可能としたこと、④前述のエキスパートシステムとのリンケージを可能としたこと、に特徴がある。多機能端末は大きく分けて二つの機能がある。一つは、パソコンとしての機能であり、ハンディターミナルで収集した振動データをもとに、振動波形の表示や周波数分析、振動値レベルの判定など、いわゆる設備診断機能である。あと一つは、ホスト端末としての機能で、振動データをもとに寿命予測し、工事計画を組み立てる

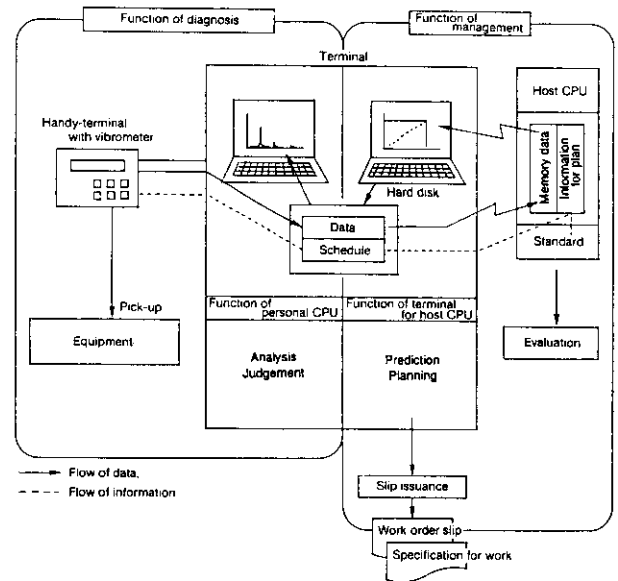


Fig. 16 Configuration of linking system between handy-terminal with vibrometer and maintenance control system

機能である。ホストコンピュータは、過去の測定データや基準類の記憶、点検のスケジューリングなどを行う。なお、ハンディターミナルと設備保全管理システムとの情報の授受は、設備保全管理システム側で設定したコード（点検基準 No.―点検項目 No.）をキーコードとして行う。

5.2.2 システム運用

本システムを使った点検作業のフローを Fig. 17 に示す。保全員は、まず当日の点検予定項目を多機能端末のディスクからハンディターミナルにコピーする。次に現地で、ハンディターミナルの画面に表示されたガイダンスにしたがって振動測定（ワンタッチキー操作）を行う。そして今度は逆に、ハンディターミナルに記録されたデータを多機能端末のディスクに格納する。そして、パソコン機能を用いて、診断、解析を行い設備の状態を判定する。一方、ディスクに格納されたデータは、ホストコンピュータに転送され、設備保全システムのデータベースに蓄積される。なお、点検のスケジューリングは、設備保全管理システム側で行い、定期的に多機能端末へ転送されるので、保全員は、指示された点検作業だけを行えばよいことになる。

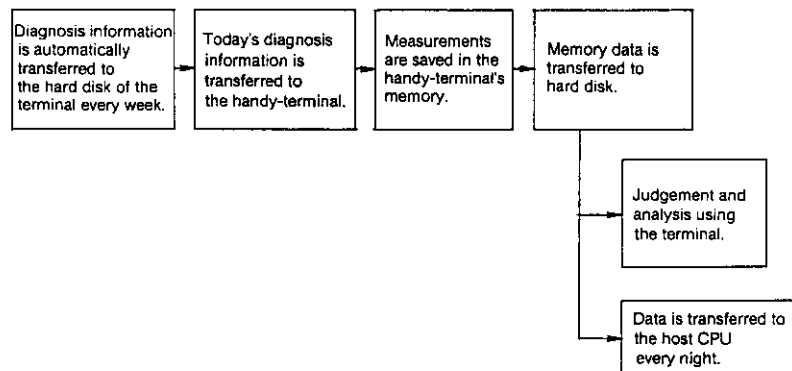


Fig. 17 Working Procedure of periodic diagnosis by using handy-terminal

5.3 特 徴

本システムの特徴を以下に述べる。

- (1) 既存システムのデータを活用できる柔軟性のあるシステム
既存のシステム（設備保全管理システム）のキーコードを本システムのキーコードとして利用でき、新たに標準化や基準の登録をする必要がない。
- (2) 診断結果がダイレクトに工事計画に連動
点検結果にしたがって工事計画を自動立案する機能や寿命予測を行い、その結果をもとに工事の予定日を変更する機能が設備保全管理システムの中に組み込まれており、利用できる。この結果、診断データがダイレクトに工事計画に連動され、保全業務の全体の中に組み込まれたものとなる。
- (3) 振動以外の点検データの取り扱いが可能
振動以外の圧力、温度、寸法などの点検データも同様に扱うことができる。
- (4) 振動測定とデータの入力が容易
ハンディターミナルの画面に指示された測定部位に振動センサーを当て、ボタンを押すだけで振動データの記憶が行えるので、その数値を確認し、記録する必要がない。また、記憶したデータの転送も対話形式で簡単に行える。

5.4 成 果

本システムは、測定点数が増えるほど、有効である。振動の測定点数が100点を超える場合の従来の方法と本システムを使用した場合との、測定点数1点当たりの測定時間とデータ入力時間の比較を行ったものを Fig. 18 および 19 にそれぞれ示す。測定時間は、1点当たり0.5分であり従来の20%になった。入力時間は、1点当たり、3.5秒であり従来の19%になった。これにより、点検作業、点検データの入力作業の大幅な効率化が図れた。

6 結 言

システム化技術を中心に、当社の回転機械診断技術について述べた。その要点をまとめると以下のとおりである。

- (1) パソコン上で動作し、オンライン診断システムとも通信可能で、人間の判断する部分が少なく、しかも操作が容易なエキスパートシステムを開発した。
- (2) 自動診断および自動報告書作成機能を持ち、マンマシンインターフェースの改善を図ったオンライン診断システムを開発

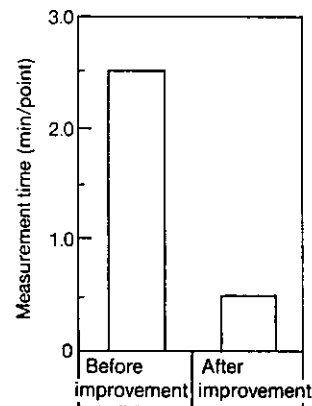


Fig. 18 Improvement of working time for measurement by using handy-terminal

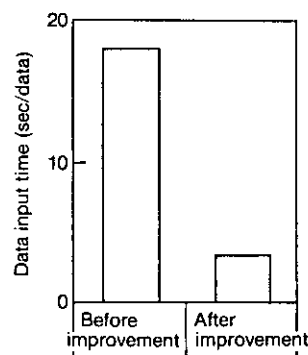


Fig. 19 Improvement of working time for data input by using handy-terminal

した。

- (3) 点検や診断データの記憶と、ホストコンピュータとリンケージし設備保全管理システムへのデータ入力が容易な振動計付ハンディターミナルを開発した。

これらの技術開発は、当社グループ内に診断機器開発部門、システム研究部門およびユーザーである保全部門があり、協力しえたことが大きい。しかし、今後さらに診断の自動化、システム化、インテリジェント化を進める必要がある。また、振動診断技術はプロセス診断分野へも応用展開が図れるので、こうしたパートナーシップを大切に、診断技術の発展に貢献してゆきたい。

参 考 文 献

- 1) 佐田登志夫:「設備診断技術」,(1978),〔(社)日本プラントメンテナンス協会〕
- 2) 豊田利夫:「設備診断技術ハンドブック」,(1986),〔(社)日本鉄鋼協会〕
- 3) 永井 勲, 和田憲三, 竹内一則: 川崎製鉄技報, 22 (1990) 2, 121-125
- 4) 寺前克彦: 川崎製鉄技報, 22 (1990) 2, 129-130
- 5) 豊田利夫:「設備診断の進め方」,(1982), 145,〔(社)日本プラントメンテナンス協会〕
- 6) 笠井 聡:「振動法による回転機械エキスパートシステムの開発」,'89

- 設備診断技術シンポジウム, (社)日本プラントメンテナンス協会, (1989), B1-3
- 7) 岸田宏昭:「自動診断機能を有するオンライン設備診断システム」,'89 設備管理全国大会, (社)日本プラントメンテナンス協会, (1989), C3-1
 - 8) 長谷川恒也:「総合設備管理システムの開発とその活用」, 保全の情報システム研究セミナー, (社)日本プラントメンテナンス協会, (1989)
 - 9) 寺前克彦: 川崎製鉄技報, 22 (1990) 2, 131-132