

生産支援のための故障診断システムの開発

Remote Surveillance System for Manufacturing

香川敏昌*，平井雅人**，小山茂則**，豊田佳克**

Toshiaki Kagawa，Masato Hirai，Shigenori Koyama and Yoshikatsu Toyota

抄 録

インターネットを利用して生産機械の動作状態を遠隔監視したり，LAN 経由で生産管理を行うシステムの試作と実証試験を行い，良好な結果を得ることができた．また，生産機械の動作波形を利用して，故障の自動診断を行うための方法を検討した．正常稼働時の動作波形から，信号の変化部分を自動検出する方法と，多変量解析手法の 1 つである MTS 法に基づいて波形を比較する方法を併用した結果，生産機械の異常波形（動作）を高精度に検出することができた．

1 はじめに

生産機械メーカーにおいて，製品納入後のメンテナンス作業を効率化するために，インターネットを利用して動作状態を遠隔監視したり，故障を自動診断するためのシステムを検討した．

大部分の生産機械には，その制御用にシーケンサが内蔵されている．シーケンサには様々な操作ボタンやモーターの駆動回路，各種センサーなど，機械の動作に関連する大部分の部品が接続されている．

従って，シーケンサの動作波形を解析することによって，機械の動作状態を正確に把握することが可能である．そこで，シーケンサの動作波形の収集方法やインターネット経由での転送・表示方法，故障の自動診断方法などについて検討した．

このシステムを利用して，機械の動作波形や故障の履歴を保存しておけば，新製品開発のための参考データとしても利用することができる．

2 方 法

2・1 システム構成

図 1 に試作したシステムの構成を示す．生産機械に動作波形収集装置(図中)を組み込み，シーケンサと通信することによって動作波形を収集した．

収集した動作波形はインターネット経由で生産機械メーカーのコンピュータへ送信され，動作波形の遠隔監視(図中)や，故障の自動診断(図中)に利

用される．また，動作波形は LAN 経由で納入先のコンピュータへも送信され，稼働率や動作状況の監視など，生産管理(図中)にも利用される．

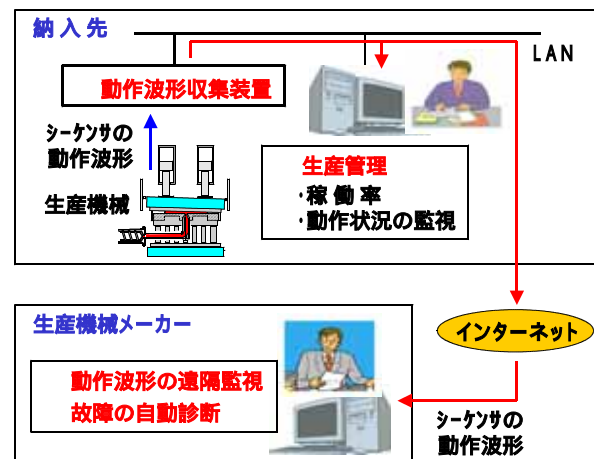


図 1 システム構成

2・2 動作波形収集装置

図 2 に，試作した動作波形収集装置の外観と仕様を示す．ハードウェアには組み込み用の小型コンピュータを利用した．一般的なパソコンと比較して処理速度は遅いが，動作波形の収集と通信のみに用いるため，性能的には十分である．

この動作波形収集装置とシーケンサとを RS-232C 通信ケーブルで接続し，シーケンサに対して要求コマンドを送信すると，その時刻における動作データが送られてくる．従って，一定時間間隔で要求コマンドを送信すれば，動作波形（時系列動作データ）を得ることができる．

*企画情報課，**株式会社 山本鉄工所

図3に、試作した動作波形収集装置の構造を示す。要求コマンドはシーケンサのメーカーによって異なり、そのフォーマットは一般には公開されていない。

そこで、図3に示すように、OPCサーバーを利用した。OPCサーバーは、通信の仲介用の市販ソフトウェアで、共通のコマンドを各メーカーのシーケンサ専用のコマンドに変換してくれる。

従って、動作データ収集・通信ソフトには1種類のコマンドを記述することによって、各メーカーのシーケンサに対応することができる。動作波形の種類は、X(入力データ)、Y(出力データ)、D(レジスタ)など、必要なものを複数、指定することができる。

図4に、動作波形の収集方法と、インターネット経由での転送方法を示す。大多数の生産機械は同じ動作を繰り返すため、動作データ収集・通信ソフトから100msec毎に要求コマンドを送信して動作データを受信し、1動作サイクル分のデータが集まった時点で、1個の動作波形ファイルとしてメモリーに保存する。ファイルの形式は、市販の表計算ソフトで読み書きが可能なCSV形式を採用した。

収集した動作波形ファイルは、インターネット経由でFTP(ファイル専用の通信方式)を利用して、メーカーのFTPサーバーへ自動送信する。FTPを利用すると、インターネットに接続できさえすれば、納入先のネットワーク設定に手を加えることなく、動作波形ファイルを送信することができる。

動作波形ファイルはすべて送信するのではなく、メーカーから指定された頻度で送信する。図4に示すように、「何個の動作波形ファイルが集まったら、その内の何個を送信するか」を記入した設定ファイルをFTPサーバーに書き込んでおくと、動作波形収集装置がこの設定ファイルを参照して、指定された頻度で送信する。メーカー側ではFTPサーバーに到着した動作波形ファイルをLAN経由で監視用コンピュータへダウンロードして利用する。

動作波形収集装置はWindowsを搭載したコンピュータであるため、周囲に設置された機械からの電磁波ノイズや、工場内の電源変動などによって動作が停止してしまう可能性がある。そこで、約1秒毎にCPUに信号を書き込むプログラムを組み込み、Windowsの異常動作によって書き込みが停止したら、コンピュータを自動的に再起動するようにした。



装置の仕様

CPU : NS Geode GX1 233MHz
Memory : 128MB
OS : Windows2000

図2 動作波形収集装置の外観と仕様

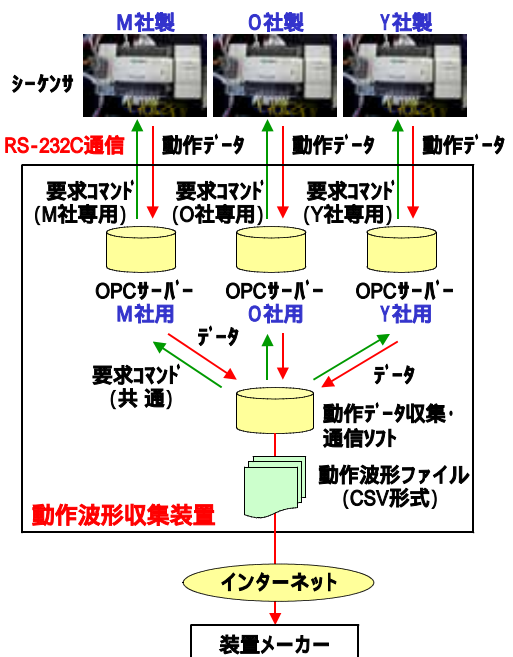


図3 動作波形収集装置の構造

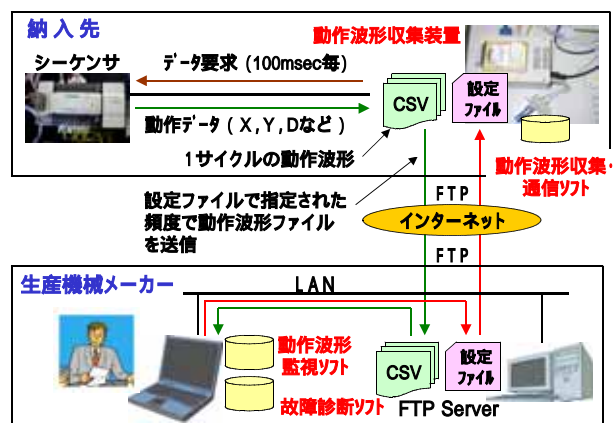


図4 動作波形の収集と送信方法

2・3 動作波形の遠隔監視

機械メーカーの担当者が、機械の動作状態を遠隔監視するためのソフトウェアを試作した。

図5に、その中の動作波形監視画面を示す。動作波形収集装置からFTPサーバーに送られてきた動作波形ファイルをLAN経由でローカルコンピュータへダウンロードし、様々な形式で表示して検査する。最大20個までの動作波形を重ね合わせて表示することができ、任意倍率で拡大表示したり、カーソル位置の信号値を表示することもできる。

また、動作波形の印刷や画像形式での保存など、比較・検討に便利な機能を組み込んだ。そのほか、動作波形を受信するFTPサーバーや、監視対象機械の登録、動作波形ファイルに含まれる信号の名称や仕様の設定なども行うことができる。

2・4 故障の自動診断

2・4・1 検査領域の自動設定と診断

2・3項で説明した遠隔監視機能は、故障が発生した時点での原因究明や、対策方法の検討に有効である。しかし、各地へ納入した製品すべての動作状態を定期的に監視することは困難であり、常時監視という点では不十分である。そこで、送られてきた動作波形を定期的に自動診断し、機械メーカーや納入先の担当者に故障の発生を知らせるための方法を検討した。

診断方法の検討には、共同研究企業の製品であるプレス装置を利用した。図6に、診断に使用した動作波形を示す。遠隔監視機能を利用して、各部に取り付けられたセンサーからの信号を収集した。診断には図に示す6種類の信号波形を使用した。

故障の診断は、プレス装置が正常に動作している時の動作波形に対して、評価波形がどの程度異なっているかを解析することによって行った。

但し、動作波形全体の比較では、機械の運転速度が変化したり、一部分の動作速度が変化した場合に対応することができない。そこで、波形が変化する部分のみを捉えて検査領域を自動設定し、その領域の数を比較する診断方法を考案した。その方法を図7に示す。まず、動作波形からノイズ成分を取り除くために、移動平均波形を作成する(図中)。

次に、移動平均波形から微分波形を作成し(図中)、再び移動平均を計算する(図中)。

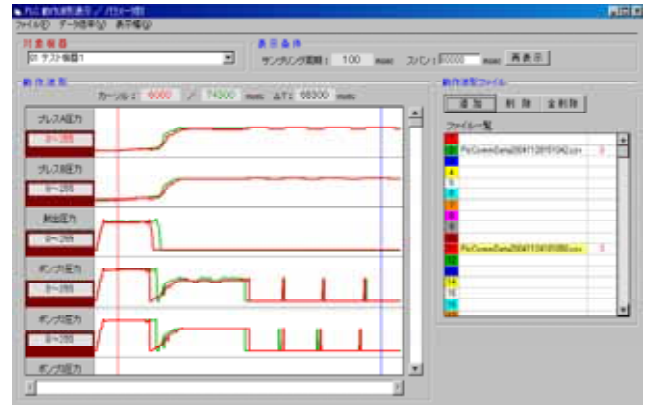


図5 動作波形監視画面

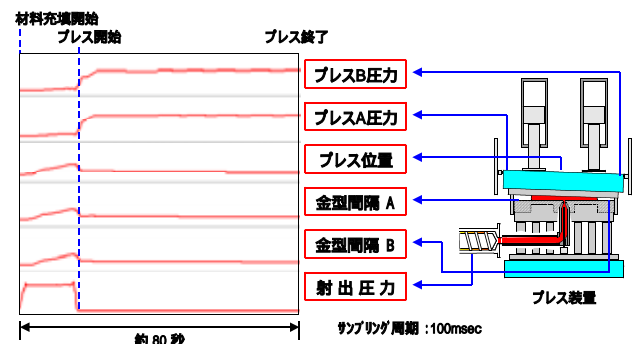


図6 診断に使用した動作波形

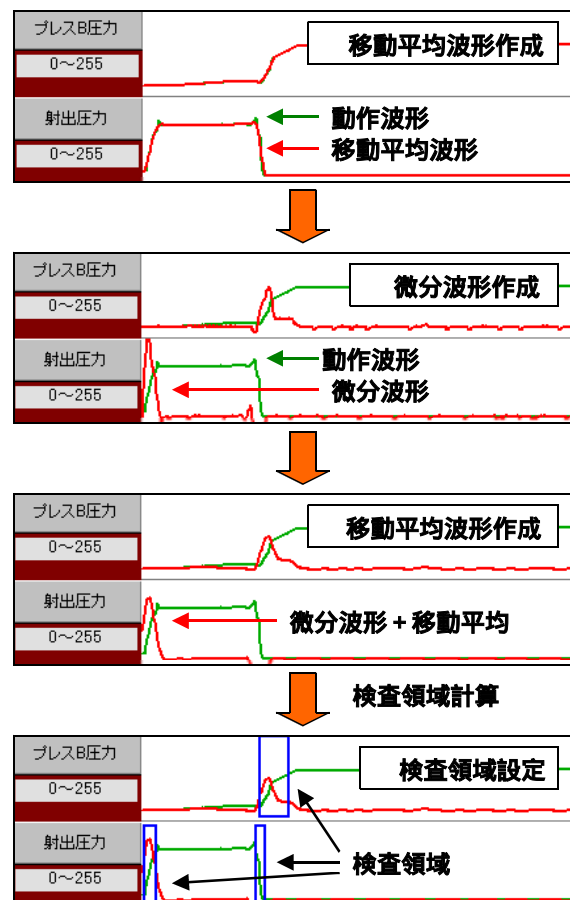


図7 検査領域の自動設定方法

出来上がった微分波形は、信号が増加する部分ではプラス、減少する部分ではマイナスの値を示す。従って、プラス側、マイナス側それぞれに閾値を設定し、それを超える部分を検査領域とした(図中)。

閾値の設定は、微分波形中のプラス方向、マイナス方向それぞれの最大値を計算し、その 25 % の値を採用した。

この方法で検査領域を自動設定することができるが、1 個であるはずの検査領域が、若干の凹凸によって 2 つに分かれてしまう場合がある。そこで、隣合う 2 つの領域の勾配方向が同じで、間隔が波形全体の 10 % に満たない場合は、1 つの領域であるとして合体した。

以上の方法を用いて、正常動作波形における検査領域数を求めておき、評価波形の領域数と比較することによって良否を判定することができる。

正常動作波形における検査領域数は、100 個前後の波形に対して検査領域を自動設定し、各信号(プレス A 圧力、射出圧力など)別の領域数を多数決によって決定する。同時に、波形の診断(次項で説明)に使用する、各検査領域のデータ数も記録しておく。

但し、データ数は動作波形によって異なるため、各領域の中で、最もデータ数の多いものを採用した。

図 8 に診断の一例を示す。正常動作波形では「プレス B 圧力」の検査領域数が 1 個であるのに対し、評価波形では 2 個になっている。従って、評価波形は「異常である」と診断することができる。

2・4・2 MTS法による動作波形の診断

検査領域数による診断で合格した場合、次の段階として、検査領域内の信号の形状による診断を行う。

図 9 の左側に示すように、診断には検査領域に含まれる全ての信号波形を利用する。これは、形状だけでなく、信号間の相関関係も考慮して診断するためである。また、図 9 の右側は、正常動作時の波形 3 個を重ねて表示したものである。この図から、同じ動作でも、必ずバラツキが発生することが分かる。

従って、正確に診断するためには、1 個の動作波形を基準にするのではなく、バラツキを含んだ多数の正常動作波形を用いて診断基準を作成する必要がある。そこで、分散を考慮した多変量解析手法の 1 つである MTS 法(Mahalanobis-Taguchi-System)を応用した診断方法を考案した。

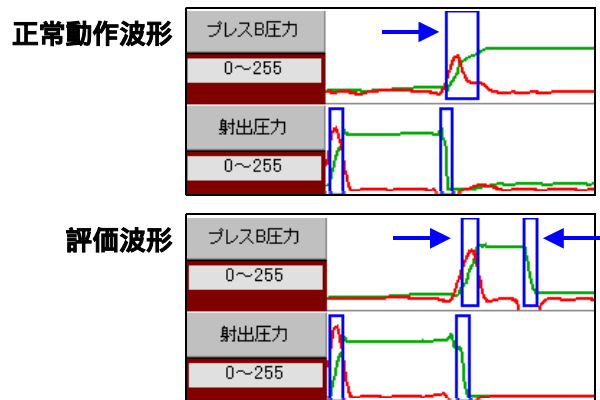


図 8 検査領域数による診断例

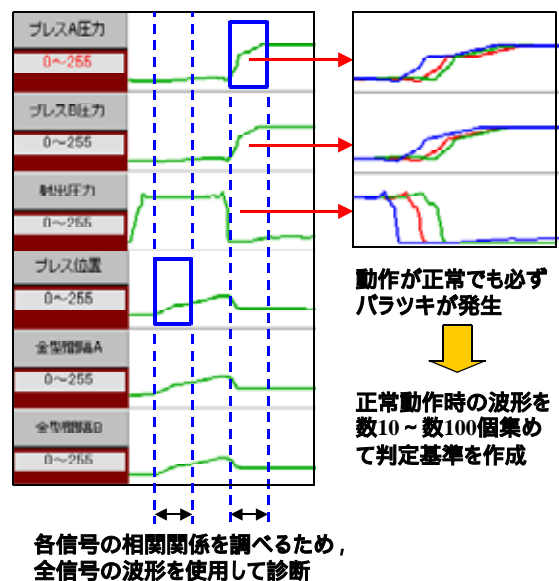


図 9 検査領域内の波形による基準作成

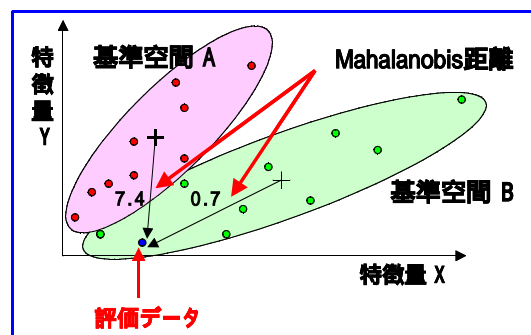


図 10 MTS法による分類イメージ

図 10 に MTS 法による分類イメージを示す。まず、特数量 X と Y で定義され、バラツキ(分散)を含んだ 2 つのサンプルデータの集合から、それぞれ基準空間 A と B を作成する。次に、評価データから、各空間までの Mahalanobis 距離(以下、距離)を計算する。この例では、基準空間 B までの距離(0.7)の方が近いので、評価データは基準空間 B に帰属

すると判定する。本研究では、6種類のセンサー信号を使用するため、特徴量の数は6個である。

図 11 に示すように、機械が正常運転を開始した時点で、正常動作波形の各時刻 $T_1 \sim T_P$ に対応する基準空間 1 ~ P を作成しておく。運転開始後は定期的に動作波形を収集し、各時刻におけるデータから基準空間までの距離を計算することによって異常を検出する。つまり、検査領域中に基準空間までの距離が大きければ「異常である」と診断する。

基準空間は、図 11 に示すように n 個(数 10 ~ 数 100 個)の正常動作波形を使用して作成する。

図中の特徴量 1 ~ 6 は、「プリア A 圧力」、「プリア B 圧力」・・・「金型間隔 B」のことである。

まず、すべての動作波形から時刻 T_1 における各特徴量の値 $(y_{11}, y_{12}, \dots, y_{16}) \sim (y_{n1}, y_{n2}, \dots, y_{n6})$ を取り出し、図 12 に示す計算方法に従って基準空間を作成する。同様に、時刻 $T_2 \sim T_P$ における基準空間を作成し、合計 P 個の基準空間を作成する。

但し、動作波形によって P の値(検査領域内のデータ数)が異なるため、検査領域の自動設定を行った際に決定したデータ数と一致するように、波形の拡大・縮小を行う。以上の処理を全検査領域に対して行い、それぞれの領域用の基準空間を作成する。

図 13 に、運転開始後の診断方法を示す。まず、検査領域を自動設定し、各検査領域内の波形を取り出して拡大・縮小を行い、それぞれの検査領域に指定されたデータ数に合わせる。次に、検査領域内の、各時刻における特徴量の値から、図 14 に示す方法で P 個の Mahalanobis 距離を計算する。

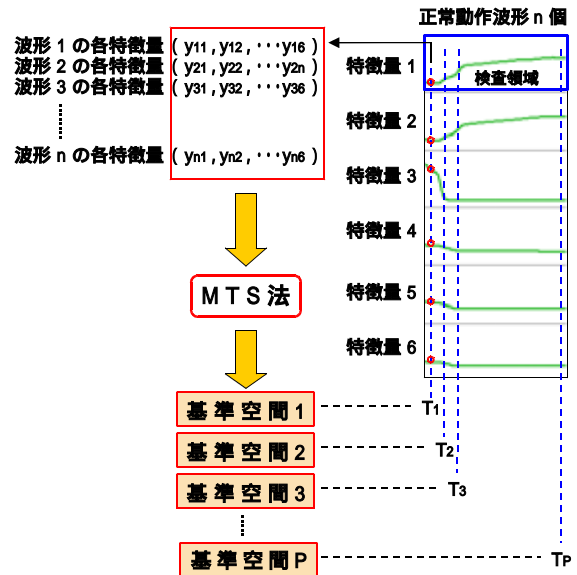


図 11 基準空間の作成方法

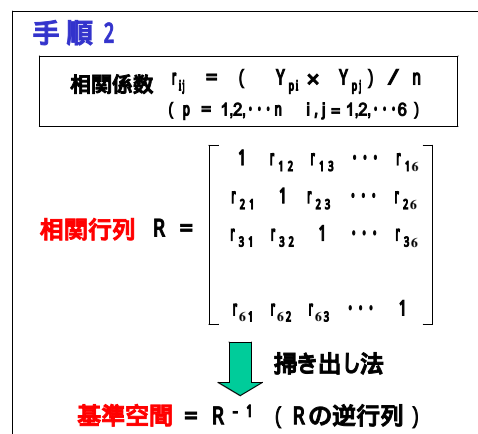
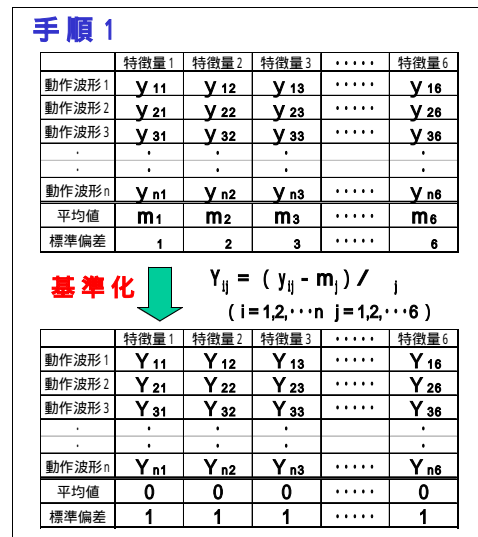


図 12 MTS法による基準空間の計算方法

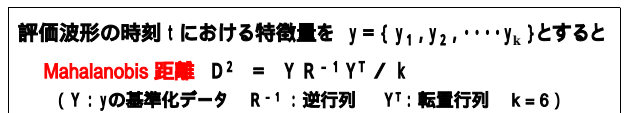


図 14 Mahalanobis距離の計算方法

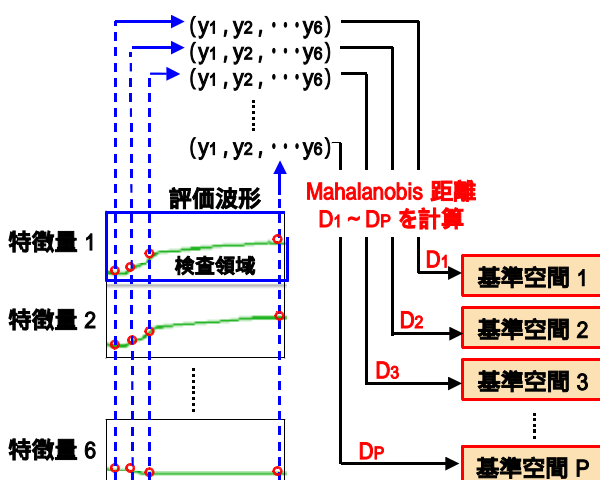


図 13 動作波形の診断方法

この方法に従って、検査領域内の診断を行った例を図15に示す。上側の図は、正常動作波形の一例(緑色の線)と、診断を行った評価波形(赤色の線)とを重ねて表示したものである。下側の図は、各時刻における Mahalanobis 距離の計算結果をグラフ表示したものである。これらの図から、正常動作波形との違いが大きい部分では、Mahalanobis 距離が極端に大きな値を示すことが分かる。従って、適当な閾値を設定しておけば、Mahalanobis 距離が閾値を超えた時に「異常である」と診断することができる。

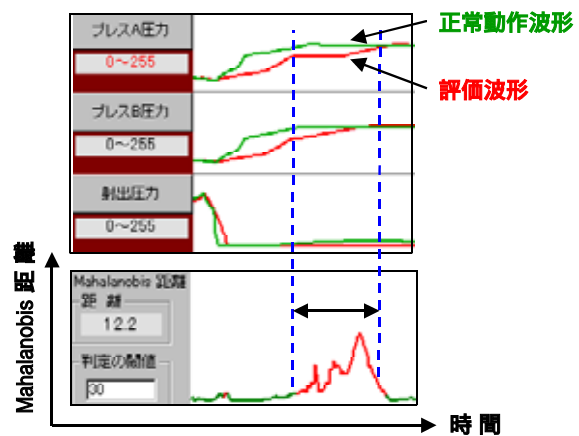


図15 検査領域内の診断例

同様に、全検査領域に対して Mahalanobis 距離を計算すれば、機械の動作が正常か否かを診断することができる。

3 結果と考察

試作した動作波形収集装置を使用して、共同研究企業と工業技術センターとの間でインターネット環境下での通信実験を行った。通信手段にFTPを採用したため、1個の動作波形ファイルを転送するために、数秒程度の時間が必要である。従って、完全リアルタイム監視とは言えないが、定期的に機械の動作を監視する上で問題はなく、快適に利用することができた。また、動作波形収集装置をプレス装置に組み込んで客先へ出荷し、約3ヶ月に亘って実働状態での動作波形を収集した。

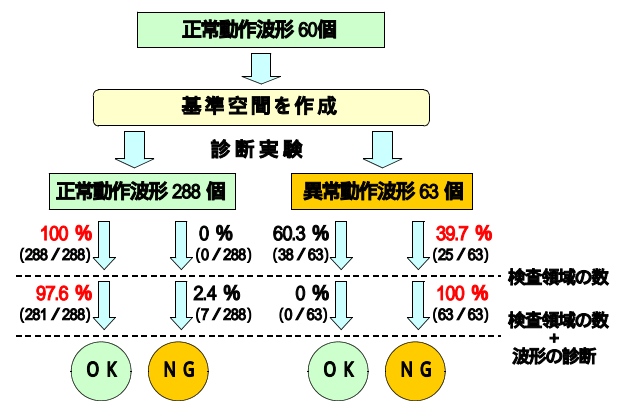


図16 自動診断実験の結果

これらの動作波形を使って故障の自動診断実験を行ったところ、良好な結果を得ることができた。

但し、波形収集期間中には故障が発生しなかったため、異常動作波形サンプルには、設置・調整時の動作波形を代用した。まず、60個の正常動作波形に対して検査領域を自動設定し、それぞれの領域に対する基準空間を作成した。次に、288個の正常動作波形と、63個の異常動作波形に対して診断を行った。

その結果を図16に示す。検査領域数の比較による診断では、正常動作波形を「正常である」と診断できたものは100%であったが、異常動作波形を「異常である」と診断できたものは39.7%に留まった。

次に、MTS法による波形の診断を併用したところ、正常動作波形を正しく診断したものは97.6%、異常動作波形を正しく診断したものは100%であった。

この結果から、2種類の診断方法がバランス良く機能しており、異常動作に対して高精度の検出率が

得られることが確認できた。

4 まとめ

以上の結果から、遠隔監視については、仕様を固めてプログラムを修正し、セキュリティ面での対策を施すことによって、実用化が可能である。

故障の自動診断については高い精度を得ることができたが、今回の実験では実際の故障波形を使用していないため、今後、長期間に亘って動作波形を収集し、実際に故障が発生した時点で、診断精度の評価と改良を行う必要がある。

そのほか、プレスの回数や、動作波形の監視を行うための生産管理プログラムを共同研究企業が試作したところ、快適に利用することができた。こちらも納入先との意見交換を踏まえて仕様を決定し、修正を加えることによって、実用化が可能である。

参考文献

- 1) 逸見 功, 田中 稔, 宇佐見嘉弘, 渡辺則生訳: 入門 時系列解析と予測(CAP 出版)2000年