

エンジン異音診断装置

坪井桂一* 竹田博** 橋弘幸**

Engine Sound Diagnostic Equipment

Keiichi TSUBOI, Hiroshi TAKEDA, Hiroyuki TACHIBANA

Engine sound diagnostic equipment for assembly inspection of automotive engines on mass production lines has been developed.

This equipment has installed system software of a sonogram analyzer and a neural network, which play human hearing and brain functions, respectively.

As a neural network, an optimum pattern recognition method, *viz.* the category boundary data method for learning, which can identify normal and abnormal patterns as well as bounded output functions, is adopted. As a result, this automated diagnostic equipment having the same performance as that of human experts could be commercialized.

In this paper, reflection coefficients which reduced data of the sonogram analysis, a learning method of the neural network, specifications of this equipment, and also their respective application results are described.

量産ラインにおける自動車エンジンの組立検査のためのエンジン異音自動診断装置を開発した。

本装置は、熟練者の診断機能を自動化するために、人の耳の機能をソナグラム解析に置き換える、脳の機能をニューラルネットワークに置き換えるソフトウェアを開発し、搭載している。

ニューラルネットワークとしては、パターン認識に優れた限局型出力関数及び正常パターンと異常パターンを識別するカテゴリ境界設定法を用いた。その結果、熟練者並みの診断性能を有する自動診断装置を製品化することができた。

本報では、ソナグラム解析の情報量を圧縮した反射係数、ニューラルネットワーク学習法の原理、装置の機能、それらの適用結果を説明する。

1. まえがき

自動車エンジンの組立工場では、組み立てた後にエンジンを回転させ、その回転音を検査員が聞いて音感による官能検査で正常に組み立てられたか否かを判定している。

検査が作業員の官能検査であるため、多くの勘と経験を必要とし、判定基準の定量化は難しく、個人差による判定のはらつきなどを生じる恐れがあり、長時間の作業疲れから検査ミスにつながる心配もある。また、エンジンから発生する回転音が大きいことから作業環境は必ずしも良くなく、検査員を熟練者に育てるには多くの費用が掛かっている。

このような検査作業の状況を改善するため、三井造船では、人の感覚によらず、信号処理技術による異音検出とニューラルネットワークにより、良否を判定するエンジン異音診断装置を商品化したので、ここに紹介する。

2. 診断方法

エンジンの回転に伴って発生した音は、広帯域の周波数成

分を有するため、周波数的な特徴と時間的な特徴をソナグラム分析し、特微量を抽出することで、正常と不良が識別できる。

ソナグラムは、計測信号を短時間の波形に分割し、分割された波形に対して最大エントロピー法(MEM)を用いて周波数分析を行い、これらのスペクトルを時間方向に並べることによって計算する。

ソナグラムをそのまま特微量として判定に用いると、単位時間当たり数百個のパラメータが必要になるが、最大エントロピー法で計算した反射係数を用いることで、5~30個程度のパラメータで特微量を表現できるので、処理が簡潔になる。

判定は抽出した反射係数を基に、パターンマッチング能力の高い3層階層型ニューラルネットワークを用いて行う。

学習済みのニューラルネットワークの入力層にエンジン音の特徴パラメータの1秒程度の時間分の反射係数を与えると、出力層にエンジン状態の診断結果が得られる。良否判定は、出力層の細胞の一つで行い、その細胞の出力が設定した、しきい値より大きい場合に良品と判断し、小さい場合に不良品とする。不良品の場合は、不良部位を推定することも可能である。

* (株)三造試験センター プロジェクト部

** 技術本部 機械制御技術開発センター

テゴリー境界設定法³⁾を用いることによりカテゴリーに属さない未学習データに対する誤判定率を大幅に低減できる。

3. エンジン異音診断装置

3.1 概要

エンジン異音診断装置を写真1に示す。装置は、エンジン音を収集するマイク計測部、外部制御信号を取り扱うディジタル入出力制御部、特徴抽出及び診断を行う解析診断部で構成される。エンジン音は、信号増幅され、フィルタ処理後の最適な周波数帯域で解析診断される。

3.2 装置構成

本装置の構成概要を図2に示す。

(1) マイク計測部

エンジン音は高感度のコンデンサーマイクロホンで収集し、信号増幅後にアナログ信号をデジタル信号に変換し、デジタルフィルタによりフィルタリングされる。デジタルフィルタは、バンドパス(BPF)、ローパス(LPF)の設定が任意にできる。マイクロホンは3入力まで拡張が可能であり、ソフトウェアで選択できる。

(2) ディジタル入出力制御部

診断開始タイミング、エンジン車種識別、診断終了などのエンジンテストベンチ制御盤との制御をやりとりするディジタル回路であり、入力信号16点、出力信号16点に対応できる。

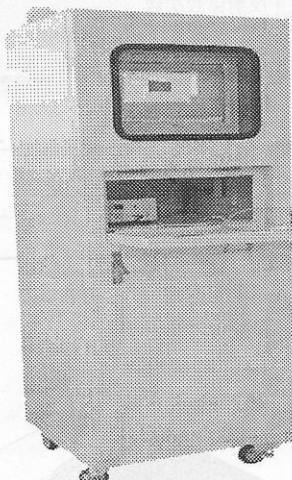


写真1 エンジン異音診断装置
Engine Diagnostic Equipment

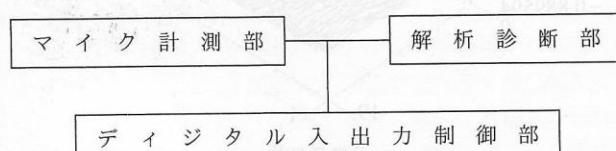


図2 装置構成概要
Structure of Engine Diagnostic Equipment

(3) 解析診断部

解析は、マイク計測部のデータを基に漸化式を利用して反射係数を順次求めて特徴量を抽出し、ニューラルネットワークの入力パターンとする。診断は、入力パターンと学習パターンの特徴量を比較し、パターン認識で正常・異常を判定する。設定したしきい値を基準に、それより小さければ異常とし、入力パターンの特徴量から異常部位を推定して診断結果を出力する。診断に用いたエンジン音データ及び診断結果は内蔵ディスクに保存できる。

3.3 機能

本装置は、外部からの診断開始信号をトリガーとしてエンジン音の取り込み、特徴解析、診断、結果の表示、データ保存をリアルタイムに行ない、異常の場合は、推定部位を診断画面に表示する自動診断装置である。本装置の処理フローを図3に、診断結果の画面を図4に示す。

(社)自動車技術会発行の17種類のエンジン音による性能試験で、すべて正確に判定し、反射係数の特徴パターンから故障原因が特定でき、熟練者並みの性能を得た。この試験に用いたエンジン音を表1に、この音の反射係数の一例を図5に示す。

3.4 装置仕様

本装置のハードウェア仕様概要を表2に、ソフトウェア仕様概要を表3に示す。

(1) ハードウェア

コンデンサーマイクロホン、マイクロホンアンプ、AD変換基板、ディジタル入出力基板、解析診断用コンピュータを専用ラックに収納している。

(2) ソフトウェア

診断開始タスク、車種認識タスク、エンジン音データ収集

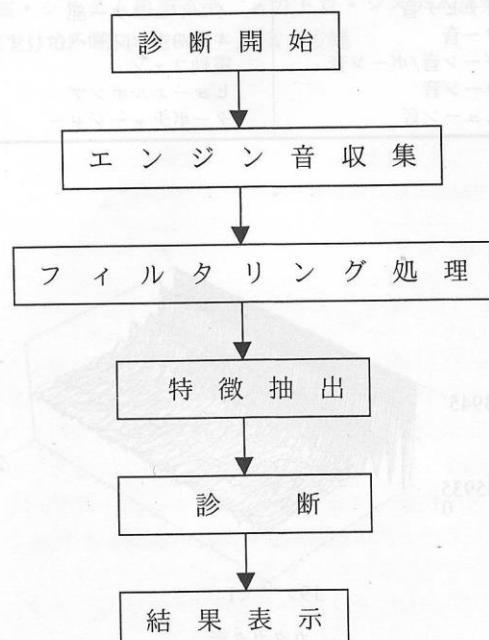


図3 診断処理フロー
Flow Chart of Diagnostic Method

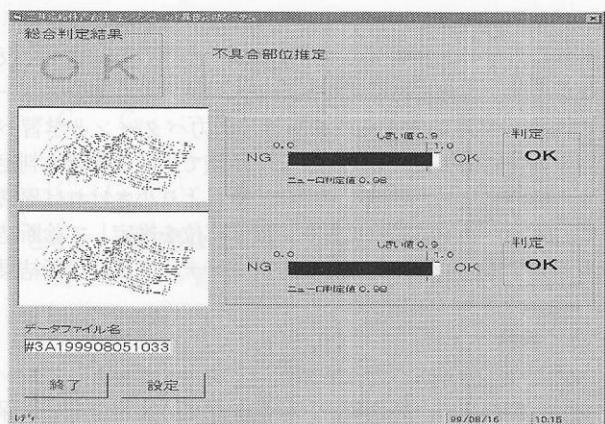


図4 診断画面

Example Screen of Engine Diagnosis

表1 エンジン音
List of Engine Sounds

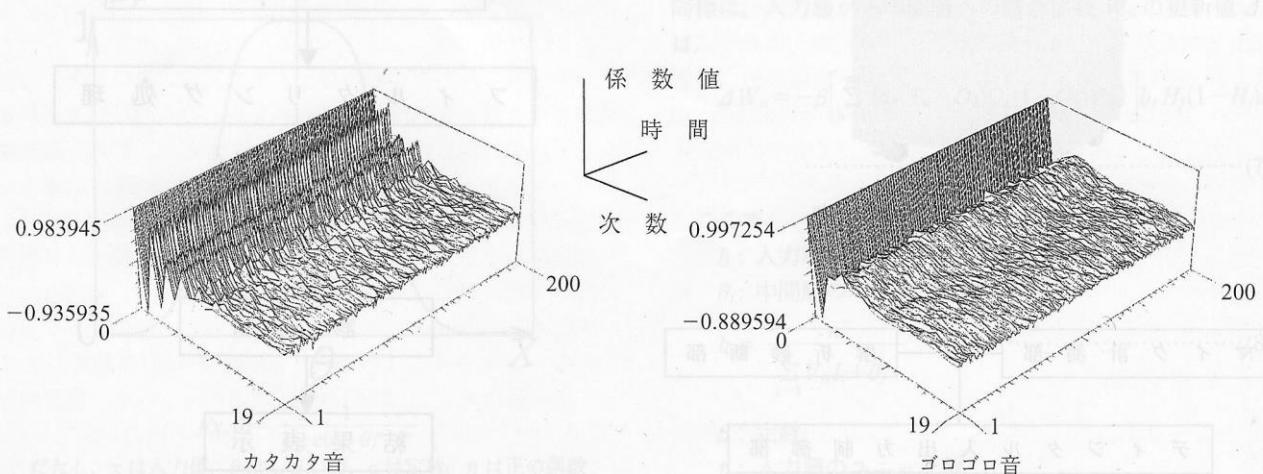
エンジン音の種類	現象名
①カタカタ音	ピストンスラップ音
②ガ一音	燃焼音
③ゴロゴロ音/ガ一音	往復慣性力、吸気音
④ゴロ音	加速時パワープラント騒音
⑤ゴロゴロ音	往復慣性力、吸気音
⑥モ一音	車体内こもり音
⑦割れ音	往復慣性力
⑧ボ一音	燃焼、吸気音管内共鳴
⑨ウォンウォン音	タイミングベルト振動
⑩ヒューン音1	チーンノイズ
⑪ヒューン音2	チーンノイズ
⑫ガラ音/ジャラ音	タイミングギア歯打ち
⑬ピチピチ音	インジェクター部
⑭ワ一音	オイルポンプ噛み合わせ
⑮ブーン音/ボーン音	電動ファン
⑯ウーン音	ヒュエルポンプ
⑰ヒューン音	ターボチャージャー

表2 エンジン異音診断装置ハードウェア仕様
Specifications of Hardware

マイクロホン	コンデンサーマイク
入力回路	最大3チャンネル
周波数特性	20 Hz~20 kHz
AD変換	12ビット分解能 最高サンプリング周波数: 40 kHz
デジタル入出力	16点入力、16点出力
CPU	Pentium II 400 MHz相当
メインメモリ	64 MB
HDD	4.5 GB
OS	Windows NT 4.0
表示装置	15インチCRT
収納筐体	550(W)×550(D)×1600(H)

表3 エンジン異音診断装置ソフトウェア仕様
Specifications of Software

デジタルフィルタ	上下限周波数設定、減衰度設定 フィルタタップ数: 任意に設定可能(奇数値)
サンプリング周波数	40 kHzまで任意に設定可能
データ収集時間	任意に設定可能
解析パラメータ	解析時間 解析窓長 反射係数次数 ステップサイズ 取込開始時間
解析方法	反射係数解析 ソナグラム解析
診断方法	ニューラルネットワークによるパターンマッチング
動作環境	Windows NT 4.0

図5 エンジン異音の反射係数例
Example of Engine Diagnosis

タスク、フィルタタスク、反射係数計算タスク、診断タスク、データ保存タスクで構成され、各タスクは、制御パラメータファイルのパラメータ値に従って動作する。

制御パラメータファイルは、本装置とは別売のニューラルネットワークシミュレータでユーザが作成する。制御パラメータファイルを作成する入力画面はGUIに優れ、画面に従って操作すれば簡単に入力できるようになっている。入力画面の一部を図6に示す。

シミュレータには、信号処理機能、特徴抽出機能、学習・検定機能があり、数十～数百台の正常エンジンのデータで学習・検定すれば、それぞれのタスクで未定となっているエンジン音収集時間、サンプリング周波数、フィルタ定数、反射係数次数、解析時間、ニューラルネットワーク結合係数などの各パラメータを指定するパラメータファイルが作成され、このファイルを本装置にインプリメントすれば診断ソフトウェアができる。

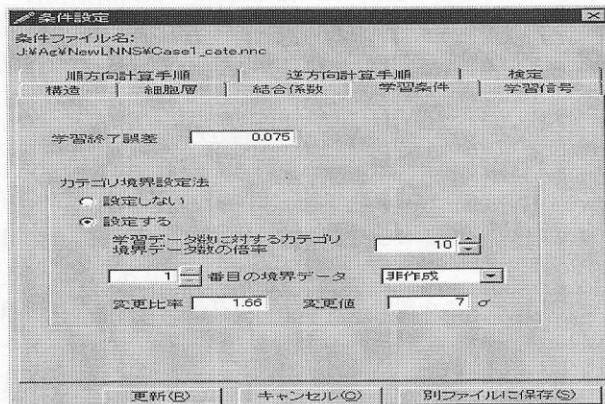


図6 入力画面
Screen of Input Parameters

車種が複数になる場合は、車種ごとに制御パラメータファイルを作成し、診断時にプログラムで指定する。

不良原因の推定は、反射係数の特徴パターンで行うが、原因と特徴パターンの対応付けを行い、データベース化しておくことが必要である。

4. あとがき

現在、多くの工業製品が自動化により製造されているが、製品検査は自動車エンジンをはじめとして、人の勘と経験による官能検査で行われることが多い。本装置は、反射係数による特徴抽出とニューラルネットワークの組み合わせにより製品検査を自動化したものである。

自動車エンジンの検査工程に本装置を導入することで、これまで計量化されなかった検査基準が明確になり、検査効率と品質管理の向上を図ることが可能になった。

今後は、電気モータなどの回転体検査にも適用できるようソフトウェアの品揃えをする予定である。

最後に、装置開発に際して、ご指導・ご協力をいただいた関係各位に深く感謝する。

参考文献

- 1) 日野: スペクトル解析 (1977), p. 210, 朝倉書店
- 2) 中野: ニューロコンピュータ (1989), p. 38, 技術評論社
- 3) 竹田: カテゴリー境界設定法を用いて学習した限局型出力関数を有するニューラルネットワークによるパターンマッチング, 第38回自動制御連合講習会 (1995-12)

[問い合わせ先]

機械・システム事業本部 メカトロ・システム営業部
TEL 03-3544-3664 高橋 俊輔