

車載用 CD チェンジャーメカ動作音自動検査システムの開発

Development of automatic inspection system for operational sound of
In-car 6-CD Changer mechanism

中谷 彰宏, 中野 卓充, 尾川 謙一
Akihiro Nakaya, Takumitsu Nakano, Kenichi Ogawa

要 旨 車載用 CD チェンジャーメカの動作音自動検査システムを開発した。

本検査システムは、人との置き換えを可能とするため、良否の判定基準が熟練者の感覚と一致することや、不良品の流出がゼロであること、良品を NG 判定することを少なくすることが求められた。生産ライン環境でのデータ収集やソフトウェアの改良を重ねた結果、優れた良否判定性能を得られ、本システムの有効性が確認できた。

Summary We have developed an automatic inspection system for operational sound of In-car 6-CD Changer mechanism.

In order to make it possible to replace the human inspector, the requirements for the system are as follows: standard of quality judgements should correspond well to expert human ears and feeling, the system must never miss defective units and should be less frequent on judging a good unit as defective.

We have continuously run data collection in a production line environment and improved the system software.

As a result, we have confirmed the excellent discrimination performance and validity of the system.

キーワード : 異音, 官能検査, 聴覚, 品質, 統計

1. まえがき

従来、製品製造時におけるメカの動作音の検査は、すべて人の聴覚に頼って行っていた。これは想定しない異音も判別できる能力などは機械に比べて人間の方が優れているからである。

一方で、人に頼った検査は以下のような問題点もあった。

- ① 体調や疲労, 集中力の違いなどによって判断が変化する。
- ② 人の判断基準は緩やかに経時変化する。
- ③ 判断の元となるデータが残らないので他人に伝えることが難しい。
- ④ 一般に動作させる度に音が微妙に異なるので、異音が再現しないことがある。

昨今の品質に対する要求は非常に厳しいものとなってきており、もはや市場に流出する異音不良は許されないとまでできている。検査を人だけに頼ってはいはこういった要求に応えるのは難しい。人と機械の優れたところを生かし、劣るところを互いに補いあうという発想が必要となってくる。

我々は、このような発想をベースに、PAIS(Pioneer Allophone Inspection System) という異音検査プラットフォームソフトウェアを開発した。本ソフトウェアを使うことにより、録音された動作音をデータとして残せるようになり、判定基準が経時変化しないためリファレンスとして活用することもできる。人による検査も併用することにより、異音検査のパフォーマンスを飛躍的に高めることが可能である。

本論文では、PAIS ソフトウェアの説明と、最初の
 応用事例として CD チェンジャーメカ生産における動
 作音検査機について述べる。

2. 異音検査プラットフォームソフトウェア (PAIS) について

まず、異音検査システムの中核となる異音検査プラッ
 トフォームソフトウェアについて簡単に解説する。

「まえがき」でも述べたように、PAIS は生産ライ
 ンでの異音検査において、人と相補的な関係を築く思
 想で開発した PC アプリケーションソフトウェアである (図 1)。

さまざまな用途を想定した異音検査プラット
 フォームとして、大まかには以下の様な処理を行うこ
 とができる。

- ① 設定されたシーケンスに従って、検査対象製品
 や装置の制御や「録音の開始・終了」を実行
- ② 録音された製品の動作音から、設定によって複
 数の特徴量を抽出

③ 予め準備しておいた複数の良品動作音の特徴量
 の分布と比較し良品を判断

統計的な手法により、良品に近いものを良品と判
 断し、それ以外を不良品とするので、さまざまな種類
 の不良品の音を用意する必要がなく、想定外の不良音
 も検出が可能であるということが特徴である。ソフ
 トウェア構成図を図 2 に示す。

ソフトウェアは大きく、

- ・シーケンスブロック部
- ・サウンドブロック部

で構成される。

シーケンスブロック部では複数個の録音データを作
 成することができ、各録音データごとにサウンドブ
 ロックという単位で管理される。

複数の良品データを基にした統計的判定はこのサ
 ウンドブロックごとに行われ、最終判定では「FAIL」
 と判定されたサウンドブロックが 1 つでもあれば、そ
 の製品は「不良」と判定されるようになっている。

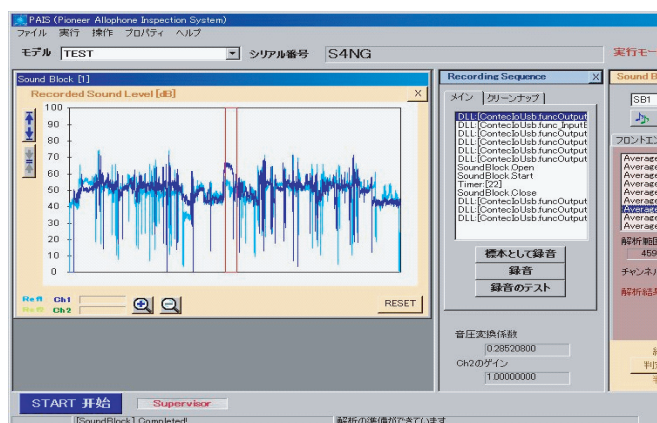


図 1 PAIS 実行画面

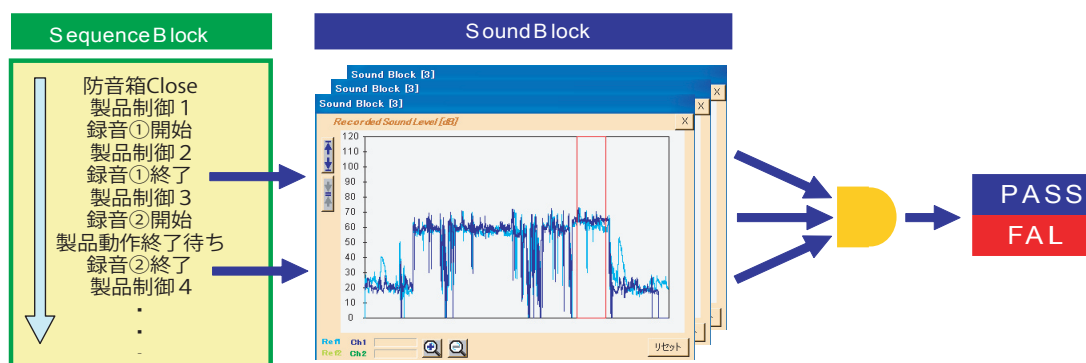


図 2 ソフトウェアの構成

2.1 シーケンスブロック部

シーケンスブロックは登録されている動作を順番に実行する。登録可能な動作は以下に示すようなものがある。

- 録音の開始と終了
- Wait タイマー
- ソフトウェアモジュール (DLL : Dynamic Link Library)

「録音の開始・終了」と「Wait タイマー」は PAIS の標準モジュールとして用意されている。「ソフトウェアモジュール」は、製品の動作を制御するためにそのモデルごとに作成されるもので、PAIS 用のインターフェースを持った .net 形式の DLL をサポートしている。

録音されたデータは、PAIS 独自のチャンクデータが付加された WAV 形式で保存されるので、Windows

Media Player などの汎用的な音楽再生ソフトでも試聴することができる。PAIS では録音された 1 つの WAV ファイルを 1 つのサウンドブロックという単位で扱う。シーケンスブロックには複数回の録音動作を登録できるので、サウンドブロックも複数できる。

2.2 サウンドブロック部

サウンドブロックの構成を図 3 に示す。

2.2.1 時間軸補正 (TBC)

サウンドブロック内のデータは、機械的な動作を録音したものであるため、動作の開始・終了のタイミングや、動作時間などが毎回微妙に異なる。PAIS では後の解析の精度を高めるために、良品の代表データと時間軸を合わせる処理 (TBC = Time Base Corrector) を行っている。

この処理は演算時間を考慮し良品の代表データと検

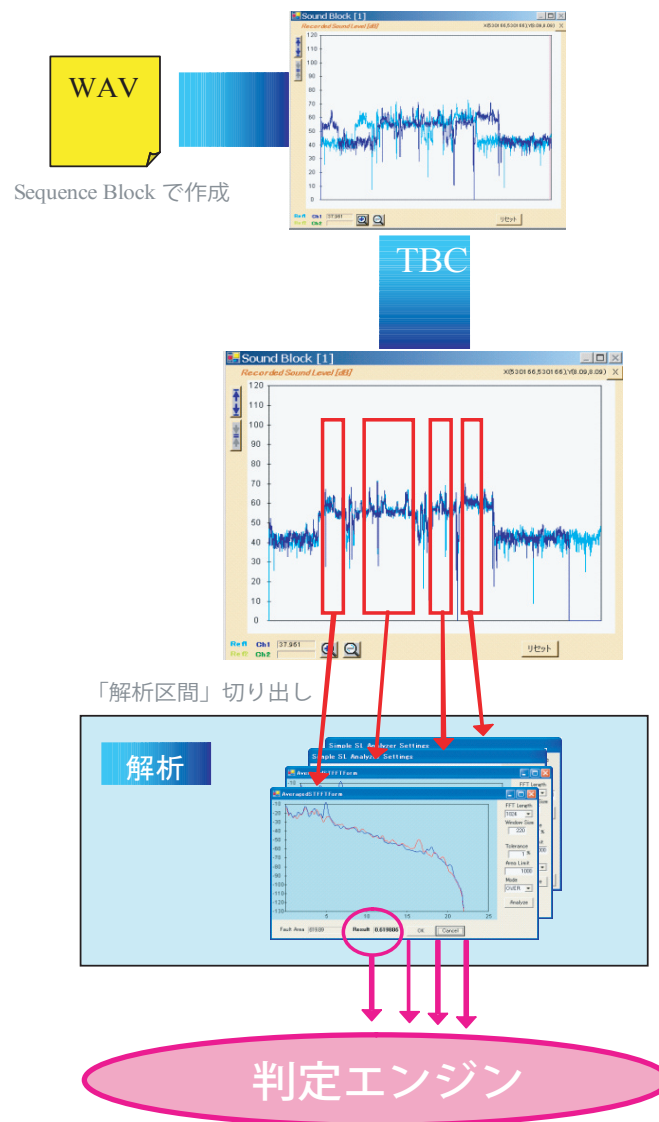


図 3 サウンドブロックの構成

査対象データとの SPL(Sound Pressure Level) 信号における相互相関関数を使っている。良品の代表データと時間軸をそろえてから、以降の解析演算を実施する。

2.2.2 解析(特微量)演算

サウンドブロック内のデータは、さらに「解析区間」と呼ぶ任意の区間(時間帯)で管理される。サウンドブロック内であれば、「解析区間」の位置・長さは自由に設定でき、もちろん他の「解析区間」とオーバーラップすることも可能で、数の制限もない。1つの「解析区間」に1つの「解析モジュール」を割り当てることができる。

「解析モジュール」は予め用意されているものを使用しても良いし、ユーザが作成したものを使用することも可能である。「解析モジュール」は与えられた「解析区間」について、特微量を出力する。多くの場合、特微量は「解析区間」における複数の良品データとの比較演算によって算出される。

2.2.3 判定エンジン

複数の「解析区間」から得られた特微量はベクトル量として扱い、予め計算しておいた複数の良品の特微量ベクトル群との統計的距離を求め、距離が離れていれば「FAIL」と判定する。距離の閾値は、パラメータとして設定できるようになっている。統計距離演算はマハラノビス距離を用いている。

3. 車載用 CD チェンジャーメカ動作音検査機への応用事例

3.1 概略

当社の車載用 CD チェンジャー製品に搭載されている6枚チェンジャーメカユニット(図4)は、東北パイオニア(株)の国内外生産拠点で生産されている。車室内で動作する製品で、メカ動作音そのものが静寂であることや、複雑なメカ動作をすること、また高い

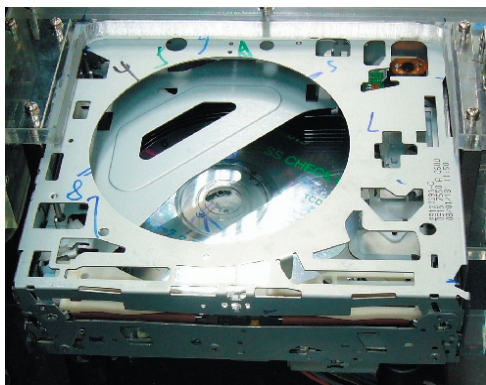


図4 6枚チェンジャーメカユニット

OEM 品質が求められていることから、以前より生産現場では人の感覚だけに頼らないデータに基づいた客観的な判定基準や検査機が求められていた。

今回、東北パイオニア(株)メカトロ事業部生産技術部と共同で、PAIS を応用した動作音検査システムを開発した。

3.2 動作音検査について

本検査システムでは、チェンジャーメカユニットへ、CD ディスクを挿入し、ディスクチェンジ動作を行い、ディスクがプレイ状態に至り、ピックアップを内周側から外周へサーチ動作させ、逆にディスクがメカから排出されるまでのメカ動作音(約20秒)を検査対象としている。これはメカユニット完成後にライン内の静寂な検査室で検査員が確認しているのと同等の内容である。ディスク挿入、ディスクチェンジ動作、カム動作、ピックアップ移動などの一通りのメカ動作を含んでいることから、部品不良や組み立て不良のために異常音が出た場合は、不良と判断して不良品の流出を防止することができる。

3.3 システム構成

検査システムの構成を図5に示す。図6に示す遮音箱をチェンジャーメカ動作検査機内に完成したメカユニットをセットして、ディスクを挿入すると、遮音箱が閉じ、自動制御されたメカ動作音をマイクから USB オーディオインタフェースを経由して PC へを取り込み、解析および判定演算を行い結果が表示される。小型な遮音箱を使うことで、人が入って検査を実施するための検査室が削減できるなど、ラインレイアウト面でも利点が見込まれる。

3.4 動作音検査機の要求

製造現場での検査機に対する要求は、人との置き換えが可能な検査機であるため、以下の項目が求められた。

- ①良否の判定基準は、人(熟練者)の感覚と一致すること
- ②不良品の流出がゼロである(不良品をOK判定しない)こと
- ③判定基準が厳しすぎると、多数の良品をNG判定してしまい後で人による確認が必要となるため、過剰なNG検出(良品をNG判定する)を少なくすること

最後の③については量産機導入の判定目標値として、人の判定結果との違いを0.5%以下に抑えるという非常に厳しい基準が設定された。

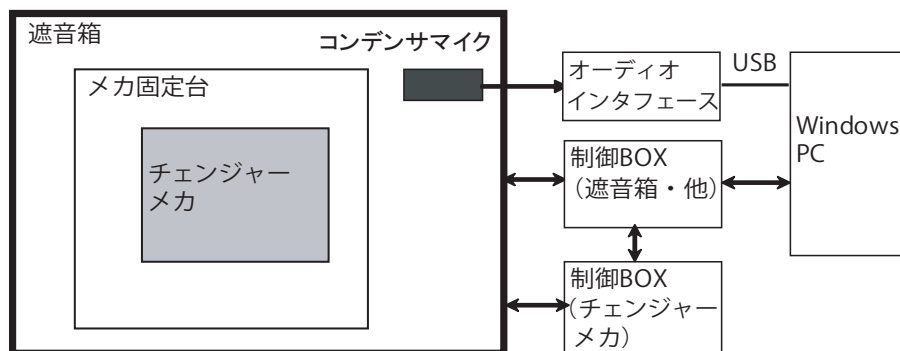


図5 検査システムの構成



図6 遮音箱の外観

3.5 解析(特徴量)演算

一連の動作のうち、メカが動かない区間や、メカ動作の良否とは関係のないばらつきの大きな区間を除いた、良否判定に必要な解析対象動作の区間のみ解析演算を行う。

解析対象動作は約 0.5 ～ 1.2 秒程度で、それぞれの動作音の特徴に適した解析手法をとっている。表 1 に解析対象動作を、図 7 に解析対象区間を示す。

表 1 解析対象動作

①	ロード動作
②	ディスクチェンジ動作
③	カム動作
④	サーチ動作(内周→外周)
⑤	サーチ動作(外周→内周)
⑥	カム動作
⑦	ディスクチェンジ
⑧	イジェクト動作

解析手法の1つとして、短時間フーリエ変換を行ってスペクトルパワーの時間平均波形を算出し、複数良品データの平均波形を基に生成した良品許容領域と比較した場合の超過したパワーを積分した量を動作音の不良特徴量としている(図8)。上記の解析演算で正確な判定が困難な動作音では、他の解析演算を行う場合

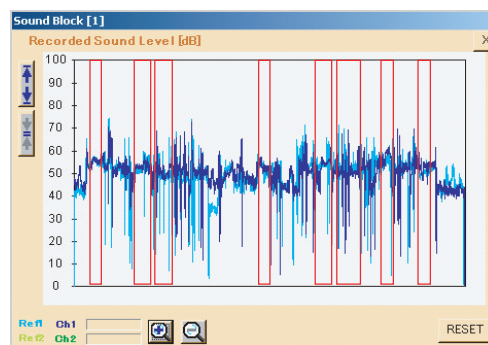


図7 解析対象区間

や複数の解析演算を行っている場合もある。

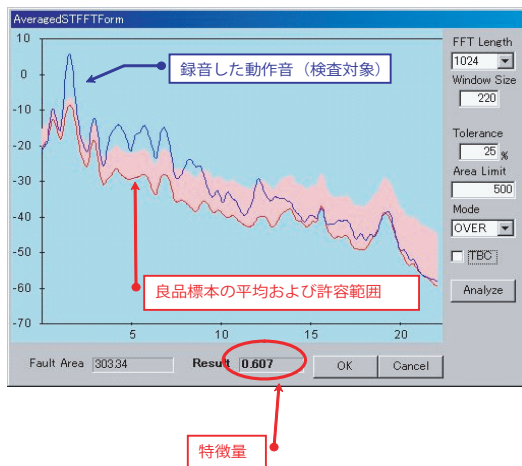


図8 動作音の特徴量算出

3.6 良否判定

PAISの「判定エンジン」では、サウンドブロック内の複数の「解析区間」から得られた特徴量をベクトル量として扱い、予め計算しておいた複数良品の特徴量ベクトル群とのマハラノビス距離を求め、距離が離れていれば「FAIL」というしくみである。

しかし今回は検査時間（解析演算処理時間を長くできない）や、スケジュール（最適な特徴量が得られる解析演算を検討・作成する時間を取ることができない）の制約から、解析区間に対する1つの解析（特徴量）演算を特定の異音検出に最適化して閾値を調整し、判定エンジンだけでなく各解析区間の特徴量がそれぞれ持つ閾値に達したかどうかを組み合わせ、良否判定を行った。

4. まとめ

2008年1月から海外生産拠点のライン環境で、約9000台分のデータ収録と段階的な試験運用を継続して行い、解析演算パラメータや閾値パラメータ、アルゴリズムの改善を行った結果、不良流出ゼロ、過剰検出0.5%以下の目標に達し動作音検査機の有効性が確認できた。現在は量産性を高めたシステムの導入を進めている。

今後の課題として、ソフトウェア面では、

- ①多数のパラメータ設定容易化や自動化
- ②異音検出精度の向上
 - ・異音レベルが小さい場合（良品、不良品を問わず発生する動作音に埋もれる場合）

・異音が発生する時間が短く発生タイミングが一定でない

③不良音データが十分に取得できていない場合の導入期間短縮

などがあげられ、改良を進めている。また、生産ラインでは、遮音箱の利用は作業性の面から設置できない場合があることや、人の声による影響が見られたことなどを考慮して、遮音箱とマイクを使わずに加速度ピックアップなどを利用した異音検査システムの開発も進めている。

著者紹介

- 中谷 彰宏（なかや あきひろ）
技術生産部 生産技術センター
中野 卓充（なかの たくみつ）
技術生産部 生産技術センター
尾川 謙一（おがわ けんいち）
技術生産部 生産技術センター