

波形を特徴量とした音の定量化に関する研究

日大生産工（院）○館 明博 日大生産工 矢野 耕也

アルパインプレシジョン（株）賀澤 秀樹 楠本 剛史 星野 隆臣 小林 勇造 松崎 昌弘

1. はじめに

今日、我々の身近に存在する機械製品は、市場へ出荷される際、計測器具や治具を用いて数値による複数の検査を行っている。しかし、製品の動作音などを確認する音の検査工程では、未だ多くの場面で検査員の感覚に頼った検査が行っている。そこで、本研究では車載オーディオ製品（以下、車載製品）の検査工程の一つ、異常音の検査工程に対して検査員の感覚に依存しない検査方法の検討を行った。

2. 研究目的および検査工程の概要

これまで異常音の検査工程では、組みあがった車載製品を動かし、約 2 秒間の動作音を聞き評価を行ってきた。しかし、検査員の年齢や能力などにより判断基準が異なっていたことから、動作音を別の特徴量である振動情報に置き換え RT 法¹⁾により定量的な評価することを試みた。これにより、車載製品より生じる異常音に対して検査基準の構築および製品識別力の向上を目指した。

＊車載製品から生じる音の全て（一次特性）を動作音、動作音の中で動作不良の機器が生じる音を異常音、動作音を置き換えた特徴量を振動波形（二次特性）、と表記する。

3. マルチ RT¹⁾法の適用

RT 法は MT システム²⁾の手法の 1 つで、サンプル数より項目数が多い時やパターン認識の際に用いられる。サンプルごとの SN 比 η と感度 β を特徴量として、余因子行列

より求めた距離を評価の尺度とする。マルチ RT とは項目の区間を複数に分割し、区間ごとの SN 比 η と感度 β を新たな単位空間として解析を行う手法である。区間ごとの波形の特徴量や変化を細かく得ることができるため解析精度が向上することが見込まれる。

4. 実験計画

4.1 研究対象

本研究では車載製品の DISC 入出動作を対象として行なう。次の Fig.1 は解析対象の製品、Fig.2 は DATA 測定機器を示している。

研究対象である振動波形は、車載製品の①部分に存在する動作部品が稼働する際に生じることから、②の位置に③の様な加速度センサーを設置し、0.1msec (m/s^2) 間隔でサンプリングを行い特徴量の抽出を行った。



Fig.1 車載製品



Fig.2 DATA 測定機器

A Study with Quantity of Sound Using Characteristic of Waveform
Akihiro TACHI, Koya YANO, Hideki KAZAWA, Takeshi KUSUMOTO
Takaomi HOSHINO, Yuzou KOBAYASHI and Masahiro MATUZAKI

4.2 準備 DATA

解析対象のサンプルとして、製品を日ごろ検査している検査員が良品と判断した製品を 120 台、不良品と判断した製品を 20 台用意した。波形の一例を Fig.3 として次に示す。また、製品の動作は DISC が挿入される LOAD と排出される EJECT の 2 動作、可動部品の違いにより次の 2 つの区間に分割される。

- ① DISC 搬送立ち上がり + DISC 搬送中 (12000 項目)
- ② DISC チャッキング時(5000 項目)

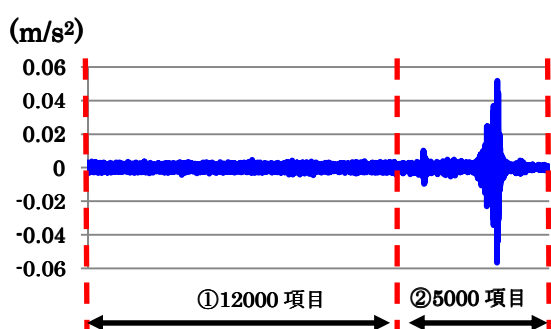


Fig.3 車載製品の振動波形

ここでは、多くの異常音が確認された LOAD 時における①区間の解析を行う。良品と不良品の振動の違いを Fig.4 として示し、Fig 内の数字の意味を次に示す。

- ① 良品サンプル波形（振幅が小さい）
- ② 不良品サンプル波形（振幅が大きい）
- ③ 振幅の大小に加え異常音の特徴波形

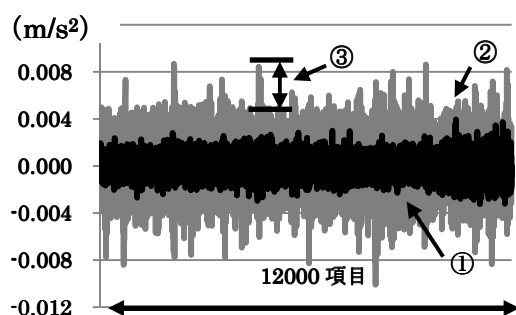


Fig.4. 区間①の波形の比較

Fig.4 において、①波形と②波形から見て取れる振幅などの波形パターンの違いを、距離という尺度の結果に反映させたい。

4.3 解析準備

採取した振動データは、車載製品が動作していない時の値を「0」とすると、プラスとマイナスに振動するため正負の値が存在する。しかし、解析を進める上で負の値が存在すると精度が下がる可能性があったため、採取した振動値に対して絶対値に変換し進める。

次に単位空間の検討を行う。最初に良品と定めた 120 サンプルは検査員の感覚に依存した検査であるため、非常に良い製品と不良品に近い製品が混在していると思われる。振動波形において動作音が小さい良品とは、振動値の振幅が小さい望小特性であると考えた。そこで、振動波形が一定の数値より小さいサンプルを探すため、振動値に対し任意の標本線 α を引き、値が 0.005 以下に収まるサンプルを抜き出し用いることとした。

良品サンプルの精査によって抜き出した 20 個を単位空間とした。それに対し距離を求める対象である未知サンプルを、良品サンプル 120 個、不良サンプル 14 個とした。未知サンプルに良品サンプルも含めたのは、双方のサンプルの距離にどのような違いがあるかを比較検討するためである。

単位空間サンプルを横軸にサンプリングタイム、縦軸にメンバーとして Table.1 の様に割り付け、5.1 手順(1)~(10)より波形が平均値と比べてどの程度ばらついているかを SN 比(Signal/Noise)、平均値からの振動値の大きさを感度 β として、2 つの項目を求める。

Table.1 DATA の割り付け

	1	2	...	12000
1	$X_{1,1}$	$X_{2,1}$	...	$X_{12000,1}$
2	$X_{1,2}$	$X_{2,2}$	...	$X_{12000,2}$
...	...	...	...	...
20	$X_{1,20}$	$X_{2,20}$	...	$X_{12000,20}$
平均値 (m)	m_1	m_2	...	m_{12000}

5. 解析 1 (RT 法)

5.1 解析手順

(1) 有効除数 $r = m_1^2 + m_2^2 + \dots + m_{12000}^2$

(2) 線形式 $L = m_1 X_{1.1} + \dots + m_{12000} X_{12000.20}$

(3) 感度 $\beta = \frac{L}{r}$

(4) 全変動 $S_T = X_{1.1}^2 + X_{1.2}^2 + \dots + X_{12000.20}^2$

(5) 比例項の変動 $S_\beta = \frac{L^2}{r}$

(6) 誤差変動 $S_e = S_T - S_\beta$

(7) 誤差分散 $V_e = \frac{S_e}{12000-1}$

(8) SN 比 $\eta = \frac{1}{V_e}$

(9) $Y_1 = \beta$ (10) $Y_2 = \frac{1}{\sqrt{\eta}}$

求めた SN 比 η と感度 β を(9) Y_1 、(10) Y_2 と置き換え Table.2 の様に割り付けた後、余因子行列および余因子行列距離(D^2)を求める。

Table2. 新たな項目の割り付け

	Y_1	Y_2
1	$Y_{1.1}$	$Y_{2.1}$
2	$Y_{1.2}$	$Y_{2.2}$
...	...	...
i	$Y_{1.i}$	$Y_{2.i}$
平均	$\bar{Y}_1$	$\bar{Y}_2$

(11) 余因子行列 $A = \begin{bmatrix} V_{22} & -V_{21} \\ -V_{12} & V_{11} \end{bmatrix}$

$$V_{11} = \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (Y_{1i} - \bar{Y}_1)^2 \quad V_{22} = \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (Y_{2i} - \bar{Y}_2)^2$$

$$V_{12}(V_{21}) = \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (Y_{1i} - \bar{Y}_1)(Y_{2i} - \bar{Y}_2)$$

(12) 余因子行列距離

$$D^2 = \frac{1}{2} \begin{bmatrix} V_{22}(Y_{11} - \bar{Y}_1)^2 \\ -V_{21}(Y_{11} - \bar{Y}_1)(Y_{21} - \bar{Y}_2) \\ -V_{12}(Y_{11} - \bar{Y}_1)(Y_{21} - \bar{Y}_2) \\ +V_{11}(Y_{22} - \bar{Y}_2)^2 \end{bmatrix}$$

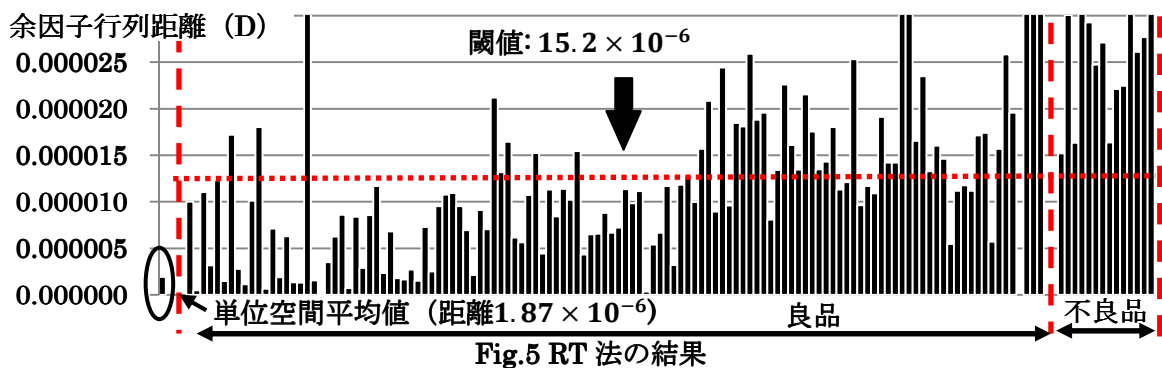
以上の計算より余因子行列距離 D^2 を得ることができる。単位空間に用いた 20 個のサンプルを平均しその平方根をとることにより、単位空間平均値(D)が得られる。

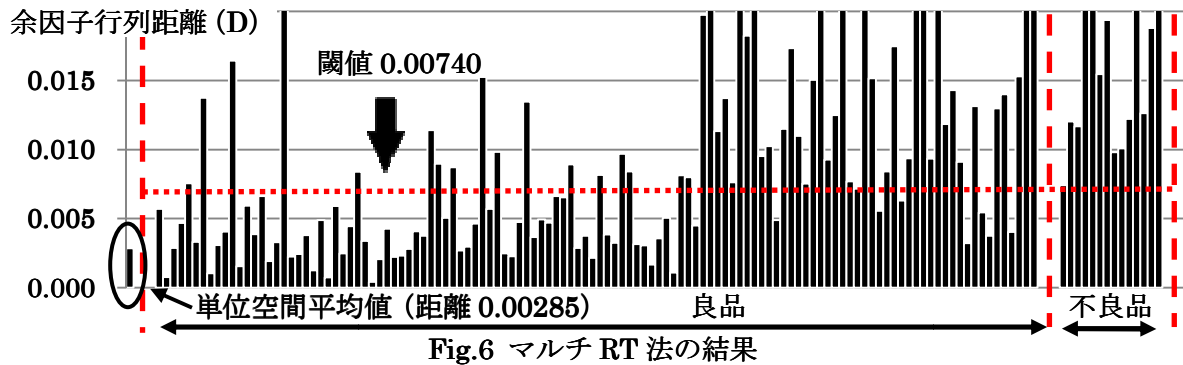
同様に、未知サンプルにおいても Table.1 の平均値($m_1 \sim m_{12000}$)を基準とし、個々の Y_1 、 Y_2 を求め、手順(12)の式に代入することにより余因子行列距離を得ることができる。全てのサンプルの解析結果を Fig.5 として示す。

5.2 解析結果

RT 法による解析結果として、単位空間平均値 1.87×10^{-6} と閾値 15.2×10^{-6} を得た。単位空間を振動の小さいサンプルで作成したことから、余因子行列距離が大きくなったサンプルは、振動値にばらつきがあると評価できる。本研究では、閾値として検査員が不良品と判断したサンプルの中で最も距離が小さい値と定義した。これにより、良品サンプルの中で閾値を超える距離も存在した。

しかしながら、RT 法では多項目の情報を 2 つの項目に集約するため、Fig.1 の③などの特徴的な波形情報が欠落している可能性がある。そこで、解析区間の分割によって欠落情報を採取し、解析精度の向上が見込めるマルチ RT 法による解析を新たに行った。





6. 解析 2 (マルチ RT 法)

6.1 解析手順

12000 項目を 1000 項目×12 区間に分割し、区間ごとの SN 比 η と感度 β (手順(9)、(10)参照)を求め Table.3 の様に割り付ける。

Table.3 マルチ RT 法の項目割り付け

	1-1000 区間		...	11001-12000 区間	
	感度	SN 比		感度	SN 比
1	$Y_{1.1}$	$Y_{1.2}$	...	$Y_{1.23}$	$Y_{1.24}$
2	$Y_{2.1}$	$Y_{2.2}$	...	$Y_{2.23}$	$Y_{2.24}$
...	...	...	...	...	...
i	$Y_{i.1}$	$Y_{i.2}$	...	$Y_{i.23}$	$Y_{i.24}$
平均	m_1	m_2	...	m_{23}	m_{24}

割りつけた 24 項目に対し、5.1 と同様に(1)から(12)の手順を行い、新たな単位空間平均値および余因子行列距離(D)を求める。得られた結果を Fig.6 として示す。

6.2 解析結果

マルチ RT 法による解析結果として、単位空間平均値 0.00285 と閾値 0.00740 を得た。また、RT 法による解析で閾値を超えたサンプルに加えて、新たに閾値を超えたサンプルが検出された。その一例をあげると、RT 法の解析では、閾値からの距離が 0.96 倍であったサンプルがマルチ RT 法では 1.69 倍となる。また、RT 法で閾値からの距離が 1.70 倍であったサンプルがマルチ RT 法では 3.61 倍と距離がより大きくなり、RT 法による解析で閾値を超えていた他のサンプルに関しても、同様の傾向を見ることができた。

7. 考察

単位空間を作成する際、全てのサンプルを使用するのではなく、サンプルの振動値に対し標本線を引き波形の振幅が小さいサンプルを用いたことにより、波形の振幅が大きくなればなるほど、総合距離が大きくなる一定の評価を可能とした。

また、波形の項目を複数の区間に分割したマルチ RT 法を適用したことにより、RT 法で閾値を超えていたサンプルの距離がマルチ RT 法ではその距離がさらに大きくなった。よって、項目数を増やしたマルチ RT 法により識別精度が向上する可能性が示唆された。

振動波形に対して RT 法を用いた解析を行うことにより、車載製品より生じる動作音の程度を数値で評価することを可能とした。これにより、今後、検査工程に一定の基準を設けることができ、検査精度の向上および検査工程の自動化の可能性が示唆された。

8. 今後の研究

現在は LOAD 作業の搬送区間までの解析を行った。今後はチャッキング時における識別が可能かどうかの検討を行いたい。

—参考文献—

- 1) 田口玄一ほか 認識のための T 法 品質工学 便 P170-177 日刊工業新聞社 (2007)
- 2) 矢野 耕也著 はじめての品質工学 P71-85 日本規格協会 (2006)
- 3) 田口 玄一 刊行委員会委員長 MT システムにおける技術開発 日本規格協会(2002)