

音環境評価技術に関する研究

振動計測に基づくPWL推定に関する研究

長谷川浩治, 吉野信行, 西村公伸*

Study for Measurement Technology of Sound Noise

A Estimation Method on PWL of Mechanical Noise Based on the Vibration Measurement

HASEGAWA Koji, YOSHINO Nobuyuki and NISHIMURA Kiminobu

The sound pressure level and power level are often measured for an abnormal diagnosis and the quality inspection of products. But it is difficult for us to measure the sound pressure level of the product using a microphone in the background sound noise. Then we developed a method that can estimate the sound noise of the target by vibration measurement. We made program that can calculate the relation between the sound pressure level and the vibration level by the generalized regression analysis.

キーワード：一般化回帰分析, 暗騒音, 音圧レベル, 音響パワーレベル

1 緒 言

工場稼働している機械装置の異常は、作業者の異常音に対する認識に頼る部分が多く、作業者は、普段聞き慣れた音と異なる音を検知することで異常を判断して機械装置のメンテナンスを行う。現場作業者の過去の経験に基づき、その音の特徴から故障部位の特定が可能な場合もある。工場の生産ラインに組み込まれている1台の機械の故障は、最悪の場合、全ラインの停止にもつながる。また、異常の早期発見による機械の修繕は、完全に故障した後に行う場合と比べて短時間でトータルコストも少なくすむことが多い。このため、早期発見を可能とする異常診断の要求は高い。

機械の異常を判断する方法として音情報や振動情報そのものがよく利用される。通常、機械から発生する音の測定はマイクロフォンを用いて行われるが、周囲騒音の影響があるため、その影響を無視できる環境（無響室等）で利用し音の測定を行うことが多い。しかし、工場内に設置した機械の異常監視や製品検査に対する音の評価を考えた場合、このような周囲騒音が多く存在する現場においても音の測定・評価を可能とする技術が要求される。文献1)2)では、機械装置（ジグソー）の稼働音を対象としてマイクロフォン測定に関する周囲騒音の影響や周囲振動の影響について測定を

行い、振動情報から音響情報への変換の可能性について述べた。そこで本年度は、周囲騒音のある環境下においても音の評価（音響パワーレベル、累積度数分布、音圧レベル等）を可能とする測定手法の開発を図り、振動から音に変換するアルゴリズムを拡張型の回帰分析法により構築し、その手法の実現のため、基礎となるアルゴリズムについてソフトウェア化を行った。

今後、このアルゴリズムを利用した計測システムの構築と適用範囲の拡大を図る。

2 システム

2.1 システム概要

周囲騒音のある環境下での音の評価を可能とするため、本手法では、音との相関が大きく周囲騒音の影響を受けにくい振動情報を基に音情報に変換することで音の推定を行う。対象とする音の評価項目は、一般的な音の指標として使われる音圧レベル及び輸出製品や大型機械で音の指標として重要視されている音響パワーレベルとした。

2.2 システム構成

図1に、構築したシステムの構成を示す。音情報を取得するセンサとして精密騒音計（NL-14：リオン株）、また振動情報の取得には加速度ピックアップ（PV-90B：リオン株）を用いた。各センサから得られたデータは、FFT（DS9100Data-Station：株小野測器）

を用いてオクターブバンドごとの時間変動データとして加工処理し開発したソフトウェアで音の推定を行う。本年度は 既存計測装置を活用したシステムとしたが、最終的には、短時間で容易に計測を可能とするシステムとするためハードウェア面も含め、再構築する予定である。

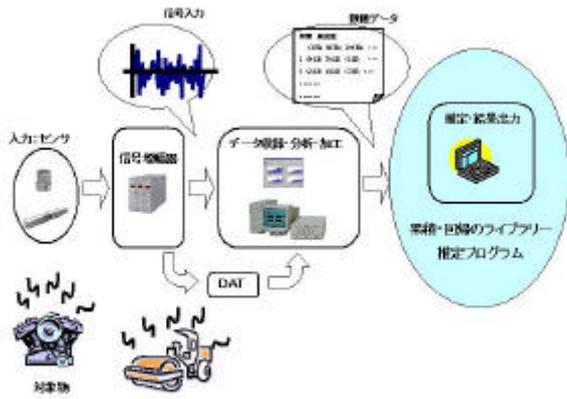


図1 計測システム構成図

3 音推定手法

3.1 音推定フロー

図2に音推定処理の全体の流れを示す。

振動から音を推定する前処理として、計測システムにより、測定対象物の正常な状態における音と振動の情報を取得し回帰パラメータを算出する。そして、推定アルゴリズム内部の次数選定のために誤差を算出し最適な次数決定を行う。これを基に、音の推定は、振動データを測定することにより行うことが可能となる。

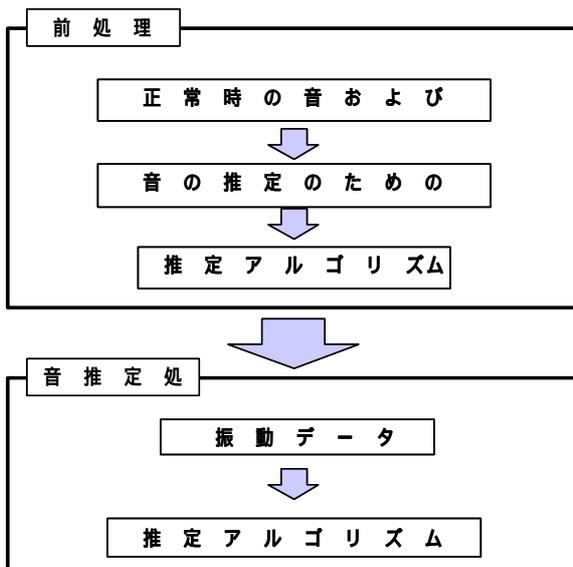


図2 音推定フロー

3.2 推定アルゴリズム(振動 - 音間の回帰分析法)

評価対象から計測される振動加速度レベル x (dB)を入力とし、これに起因する騒音レベル y (dB)を出力する振動 - 音変換システムに着目する。今 x を基に y の変動分布を評価することが目的であり、 x と y の同時結合確率密度関数 $P(x, y)$ について、 x と y の各平均、分散をパラメータに持つ正規分布 $(P_0(x), P_0(y))$ の積を初項とする次式で一般表示しておく。

$$P(x, y) = P_0(x)P_0(y) \sum_{m=0}^{\infty} \sum_{n=0}^{\infty} A_{mn} \times \frac{1}{\sqrt{m!}} H_m \left(\frac{x - m_x}{s_x} \right) \frac{1}{\sqrt{n!}} H_n \left(\frac{y - m_y}{s_y} \right) \quad (1)$$

ただし、 A_{mn} は入出力間の低次及び高次の各相関関数(平均・分散等)を逐次階層的に反映している。 y の条件付き確率密度関数 $P(y | x)$ は、ベイズの定理と式(1)及びその周辺分布 $P(x)$ を用いて次式で算出できる。

$$P(y | x) = P(x, y) / P(x)$$

$$= P_0(y) \frac{\sum_{m=0}^{\infty} \sum_{n=0}^{\infty} A_{mn} \frac{1}{\sqrt{m!}} H_m \left(\frac{x - m_x}{s_x} \right) \frac{1}{\sqrt{n!}} H_n \left(\frac{y - m_y}{s_y} \right)}{\sum_{m=0}^{\infty} A_{m0} \frac{1}{\sqrt{m!}} H_m \left(\frac{x - m_x}{s_x} \right)} \quad (2)$$

3.3 非線形回帰モデルの階層的設定と最小自乗規範に基づく回帰パラメータ A_{mn} の推定

y の揺らぎ形態を統計的にできるだけ細かに予測するため、機能的には、まず、 y の多様な変動形態に着目し、任意の λ 値 ($\lambda = 1, 2, \dots$) をべきにもつ y^λ と x との間で、線形又は高次の各非線形相関をも反映し得る非線形回帰モデルを設定する。すなわち、 y^λ をあらかじめ式(3)のように直交展開しておく。

$$y^\lambda = \sum_{i=0}^{\lambda} C_{\lambda i} H_i \left(\frac{y - m_y}{s_y} \right) \quad (3)$$

ここで、 $C_{\lambda i}$ は、式(3)を満たす直交展開の係数である。これに、式(2)を用いることで、式(4)の非線形モデルを得る。

$$\langle y^\lambda | x \rangle = \int y^\lambda P(y | x) dy = \sum_{m=0}^{\infty} \sum_{n=0}^{\lambda} C_{\lambda n} A_{mn} \frac{1}{\sqrt{m!}} H_m \left(\frac{x - m_x}{s_x} \right) = \sum_{m=0}^{\infty} A_{m0} \frac{1}{\sqrt{m!}} H_m \left(\frac{x - m_x}{s_x} \right)$$

$$(\Delta f_\lambda(x)) \quad (4)$$

また、各 $A_{mn}(m=0, n=0)$ は回帰パラメータの位置を占め、互いの揺らぎ形態における各種の相互相関情報を階層的に反映している。 $m=0$ または $n=0$ に対する係数 A_{mn} はそれぞれ x または y 個々の低次および高次統計量（平均・分散等）であり、事前にそれぞれ個別に算定しておくことができる。未知として $A_{mn}(m=0, n=0)$ とともにあとから推定することも可能である。ここでは、特に x による y の変動をより良く説明することを目指し、式(4)の回帰モデルによる推定自乗誤差の平均が最小となるよう A_{mn} を x と y の同時データにより算定する。つまり、 x に対する観測値 y^λ と、回帰モデルに基づく推定値と $f_\lambda(x)$ の間に生じる誤差の自乗平均が $A_{j\lambda}(j=1,2,\dots)$ について、最小となるように推定アルゴリズムを導出する。

$$\langle e_\lambda^2 \rangle \triangleq \langle (y^\lambda - f_\lambda(x))^2 \rangle \quad (5)$$

3.4 ソフトウェア仕様

振動から音を推定するソフトウェアの開発には、Microsoft 社の Visual Basic を使用した。図3にソフトウェアの初期画面を示す。この初期画面から音を推定するために必要となる表1に示した機能を選択する。



図3 メインメニュー（初期画面）

表1 ソフトウェアの機能

- ・回帰パラメータの算出
- ・近似評価（自乗誤差和の算出）
- ・累積確立分布の算出
- ・回帰曲線の算出
- ・グラフ表示

表1の各種演算により算出されたデータの一例（回帰パラメータ）を図4に示したが、累積確立分布につい

ては、図5に示すグラフ表示も可能である。

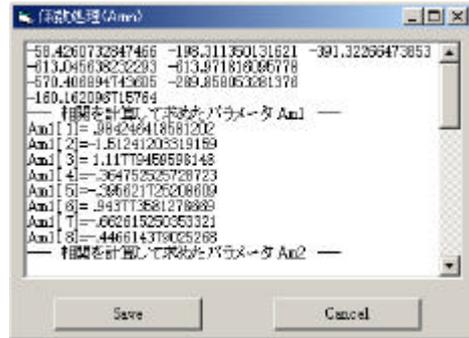


図4 演算データ出力例（回帰パラメータ出力）

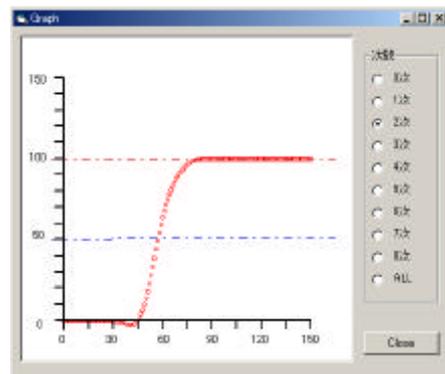


図5 グラフ表示による演算データ出力例（累積度数分布表示）

4 結 言

振動に起因する騒音の変動を、高次相関まで把握できる拡張型の回帰分析法を用いて解析するソフトウェアを開発した。

今後は、騒音の推定・評価ソフトウェアに関する各種表示機能の追加、操作性の改善を行う。また、前処理段階における騒音・振動データの取得について必要なハードウェアおよびソフトウェアの役割分担も考慮し、システムを開発する。

異常診断への適用には、対象製品に対して定常・異常状態の騒音・振動データベース構築の必要性和閾値の問題等があり、取り組んで行く予定である。

文 献

- 1)長谷川, 吉野, 野地, 西村: 広島県西部工技研究報告, No42(1999), 52.
- 2)長谷川, 吉野, 西村: 広島県西部工技研究報告, No44(2001), 75.
- 3)西村, 太田: 平成 8 年日本騒音制御工学会研究発表講演論文集, (1996), 331.
- 4)西村, 勝田, 太田: 平成 11 年日本音響学会講演論文集, (1999), 659.