

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

It is an important problem that the sound noise of the machine decreases. Sound power level is often used for the noise rating of the machine. However, the background noise often causes the problem in the measurement of the sound using the microphone. Then, we tried the estimation of the sound by the vibration measurement. Concretely, we calculated the relationship between sound pressure level and vibration level of a jigsaw using the generalization regression analysis. From the relation, PWL was calculated under the situation with the background noise(the band saw) using the vibration level of a jigsaw. The effectiveness of this method was confirmed by the comparison between the measurement using the acceleration pickup and the measurement using the microphone.

キーワード：一般化回帰分析, 暗騒音, 機械騒音, ジグソー, 音響パワーレベル

1 緒 言

近年, 国際的な環境保全の要求から, 騒音・振動規制への対応はもとより, 機械機器等の低騒音化が重要な課題となっている。機械機器に関する騒音評価の指標として, 機器そのものから発生する音のエネルギーを示す音響パワーレベルが現在よく用いられる。しかしながら, 騒音測定はもとより, 音響パワーレベル測定については, 特に以下のような問題が挙げられる。

・測定には暗騒音(周囲の騒音)の影響の少ない環境を必要とする

・大型機械の測定には, その機器の大きさに伴い計測領域が大きくなるため, マイクロフォンの設置も大がかりとなる。

・音響パワーレベル計測では, 測定点数・位置等において騒音レベル計測以上に計測が煩雑となる。

以上の問題点を改善した計測手法を構築することは, 計測を非常に容易なものとし, 音響パワーレベルによる測定・評価を, 製品の検査や異常診断に取り入れることが可能となる。そこで, 上記の問題点を考慮にいれ, 音と振動の密接な関係から, マイクロフォンの測定に比べ暗騒音の影響を受けにくい加速度ピックアップを用いた振動計測により, 音響パワーレベルの推定

を試みることを念頭におき, 本報告では, 目標とする音響パワーレベル推定への足がかりとするため, 先ず機械振動とそれに起因する騒音の間に内在する複雑多様な関係を振動加速度レベル計測を基に拡張型回帰分析法^{1)~3)}を用いて把握した。次いで音響パワーレベルと振動の関連について把握することによって音響パワーレベル推定に関する問題点を抽出した。

2 理論的背景

2.1 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, x に起因して発生する騒音レベル y (dB)を出力する振動 - 音変換システムに着目する。今 x をもとに 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 $P(x, y)$ を x と y の各平均と各分散をパラメータに持つ正規分布($P_0(x), P_0(y)$)の積を初項として, あらかじめ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} は入出力間の低次およ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)およびその周辺分布 $P(x)$ を用いて次式で算出できる。

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

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

2.2 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

研究目的は, y の揺らぎ形態を統計的にできるだけきめ細かに予測することにある。この目的に志向させるため, 機能的には, まず, y の多様な変動形態に着目し, 任意の値 ($=1, 2, \dots$) をべきにもつ y 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立する。すなわち, y を予め式(3)のように直交展開しておく。

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

ここで, C_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。

$$\begin{aligned} \langle y^\lambda | x \rangle &= \int y^\lambda P(y|x) dy \\ &= \frac{\sum_{m=0}^{\infty} \sum_{n=0}^{\lambda} C_{\lambda n} A_{mn} \frac{1}{\sqrt{m!}} H_m \left(\frac{x - m_x}{s_x} \right)}{\sum_{m=0}^{\infty} A_{m0} \frac{1}{\sqrt{m!}} H_m \left(\frac{x - m_x}{s_x} \right)} \\ &\triangleq \underline{\underline{\lambda}} (x) \end{aligned} \quad (4)$$

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的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 と, 回帰モデルに基づく推定値 $f(x)$ との間に生じる誤差の自乗平均が $A_j (j=1, 2, \dots)$ 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 実験方法

3.1 計測システム概要

振動と音圧レベル及び音響パワーレベルの関係を把握するための対象物としてジクソーを取り上げ, 暗騒音として電動帯鋸を用いて実験を行った。計測システムの基本構成を図1に示す。音響パワーレベル計測は, JIS Z 8732 の半無響室における音響パワーレベル測定に準じ, 測定対象物を中心とした半球状の測定位置 10 点について4本のマイクロホンによる同時測定を繰り返すことにより測定した。振動レベルと音圧レベルの同時測定に関しては, 1チャンネルを振動情報の測定に使用し, 3チャンネルを音圧レベルの測定に使用した。

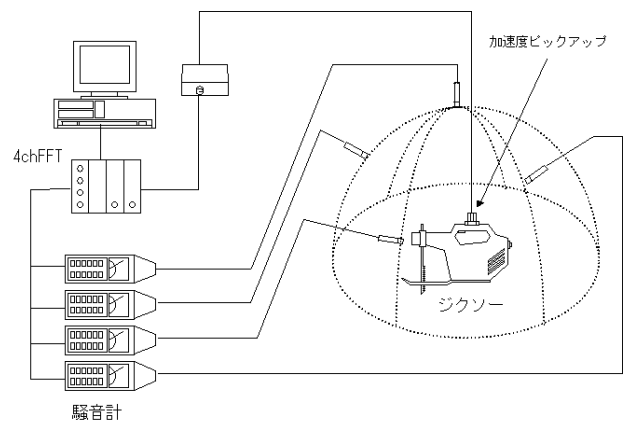


図1 計測システム構成図

測定周波数範囲は 100Hz から 10kHz (1/3 オクターブバンド音響パワーレベル及び AllPass)。測定点 1 点の測定時間は 100 秒, 測定半球面の半径は 1 m, 暗騒音と仮定した電動帯鋸は, 測定半球面に近接して設置した。定常・非定常の各場合について測定を行い, ジクソーの入力電圧は 80V から 100V の 5V 間隔とした。

3.2 振動及び音圧測定における暗騒音の影響

本研究では、音の測定に加速度ピックアップを使用した振動計測を利用するため、暗騒音による測定対象物の振動加速度レベルへの影響を把握する必要がある。そこで、測定対象物であるジクソーの定常時（入力電圧 80V～100V）において、暗騒音と仮定した電動帯鋸の騒音が、音響パワーレベル計測に及ぼす影響を測定し、次に同条件における振動加速度の変動について測定した。図2、図3に、ジクソー（100V、80V）定常時に暗騒音を付加した場合の音響パワーレベル測定結果を示す。

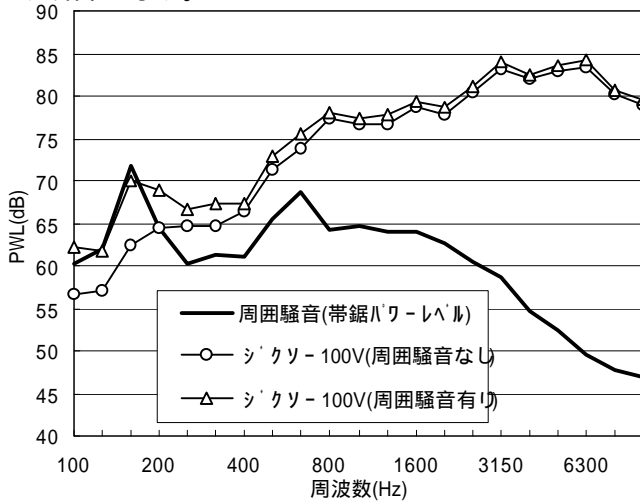


図2 ジクソーの音響パワーレベル (100V)

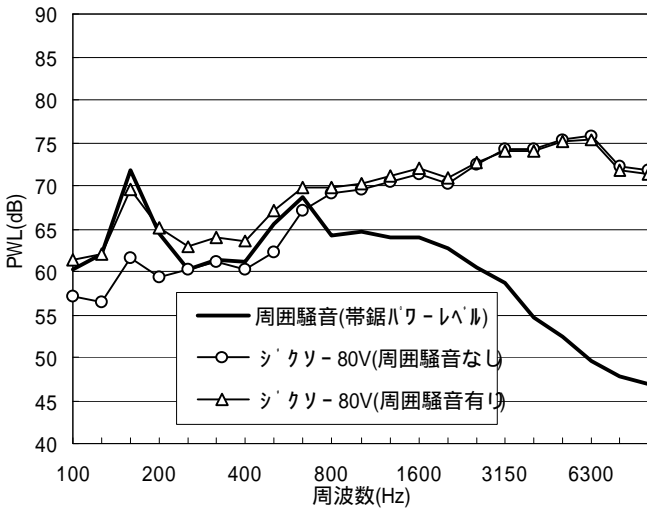


図3 ジクソーの音響パワーレベル (80V)

図2、図3から今回の測定条件において、ジクソーの音響パワーレベル測定に暗騒音の影響がかなりあることがわかる。同条件において測定点の中で最も暗騒音の影響を受けやすいと考えられる測定点における振動加速度レベルの変動状況（中心周波数 1kHz）の一例を図4に示し、ジクソーの入力電圧を無作為に変動

させた場合における音圧レベルと振動レベルの関係（中心周波数 1kHz）を図5に示す。

図4の結果において、振動加速度レベルの変動は暗騒音の有無に関わらずほぼ ± 2 dB の範囲内で揺らいでいる。他の各中心周波数（100Hz～10kHz）においても、ほぼ同様の傾向を示した。これらの結果から、暗騒音の影響は振動加速度レベルには、それほど影響がないことがわかる。

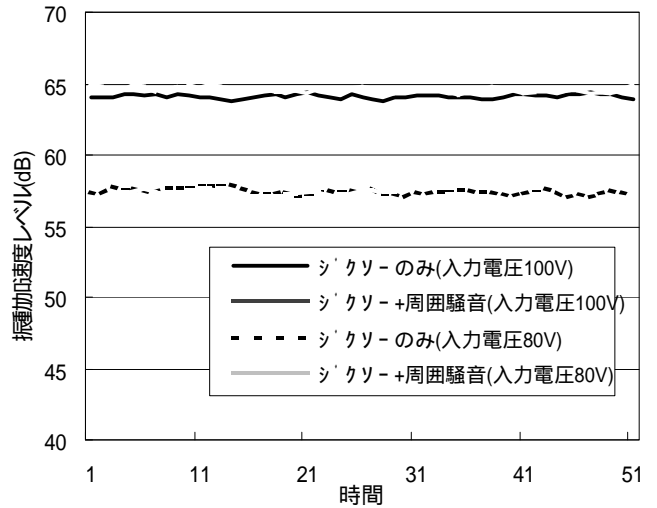


図4 振動加速度の変動状況（周波数帯域 1kHz）（ジクソー入力電圧 100V、80V 定常時）

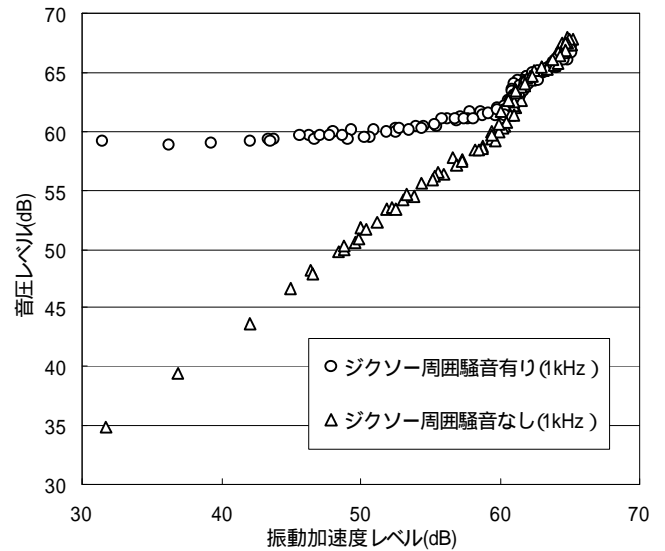


図5 入力電圧変動時の振動音間の分布（1kHz）

3.3 音響パワーレベルの予測に関する検討

入力電圧が一定条件（80V～100V：5V 間隔）のもと、10 点の測定点における音圧測定及び振動測定を同時測定と仮定し、音圧レベルデータから音響パワーレベルを算出し、式(4)により回帰係数 A_{mm} を推定し、振動加速度レベルと音響パワーレベル間の回帰曲線を求めた。図6に暗騒音がない場合の音響パワーレ

ベル実測値と回帰曲線を示し、図7に暗騒音がある場合のマイクロフォン測定による音響パワーレベルの実測値と図6で得られた回帰曲線を比較した結果を示す。更にこの結果に基づいて、暗騒音がある場合の振動加速度データから回帰曲線によって算出した音響パワーレベル値とマイクロフォンによる測定で得られた結果についての比較を表1に示す。これらの結果から暗騒音がある場合において、振動加速度レベルからジクソーの音響パワーレベルを±2 dB程度の誤差で推測できることがわかる。これらの実験条件は、無響室内において出来るだけ振動を伝えない条件のもと行っており、測定対象物に外部からの振動が加わる場合の考慮は行っていない。そのため、外部振動の対策は今後の課題として取り上げていく予定であり、この推定手法を利用する用途(品質保持のための検査,異常診断等)によって、その対策も変える必要がある。

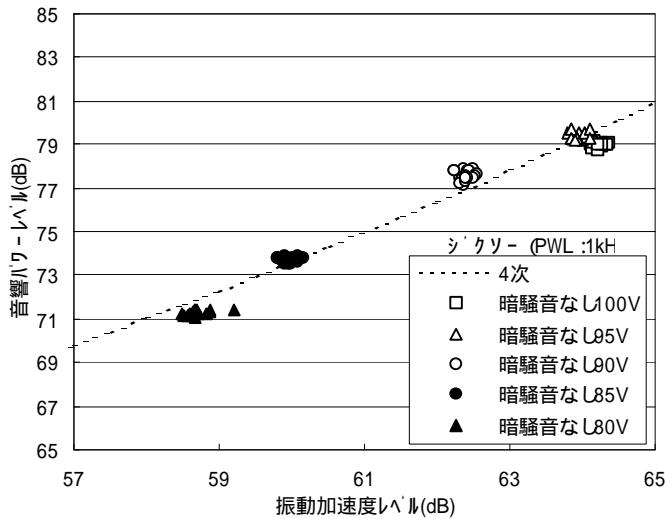


図6 ジクソーの入力電圧変更によるPWLの推移

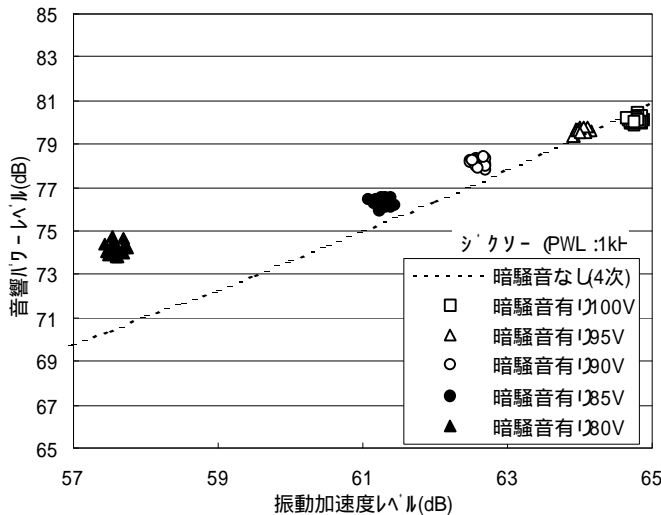


図7 ジクソーの入力電圧変更によるPWLの推移

表1 振動計測による音響パワーレベル算出の誤差

	80V	85V	90V	95V	100V
マイクロフォン測定VL(dB)	71.2	73.7	77.8	79.3	79.2
マイクロフォン測定との誤差)	3.1	2.5	0.4	0.4	0.9
振動レベルからの算出値(との誤差)	-0.7	1.7	-0.6	0.1	1.3

:ジクソー単体のPWL :暗騒音付加状態 :暗騒音付加状態

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し、対象としてジクソーを取り上げ音響パワーレベル推定に関する基礎実験及び検討を行った。1/3 オクターブバンドの各周波数帯域における振動レベルと音圧レベルの関係について把握し、暗騒音による音響パワーレベルの影響を測定した。測定対象物の周囲に暗騒音がある場合、振動加速度レベルの測定により、音圧レベルを推定することで、音響パワーレベルを予測することが可能であることを実験により確認した。

今後の課題として、機器の異常診断・製品検査への適用が考えられるが、これらに適用するためには、更に、駆動状況の変動に伴う各周波数バンド間の関係についても把握していく必要がある。実用化に関して言えば、振動レベル(AllPass)から直接、各周波数における音響パワーレベルを推定することが望ましいと考えられるが、振動をAllPassとして捕らえた場合、各周波数の音と振動の関連性が的確に捉えることが出来なくなる問題点についても詳細に調べる必要がある。

今回は、出来るだけ周囲の振動の影響を受けない状態において実験を行ったが、実際の現場に適応可能にするためには、対象機器の振動レベルの他に周囲の振動も測定し推定に反映していく必要があるため、現場により近い残響室や実際の現場において音響パワーレベル推定の検証を行う必要がある。

文 献

- 1)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.
- 2)西村, 勝田, 太田, 平成11年日本音響学会講演論文集, (1999), 659.
- 3)長谷川, 吉野, 野地, 西村: 広島県西部工技研究報告, No42(1999), 52.