

# 工場設備の故障診断等を目的とした ウェーブレット解析による音振データの見える化

八塚直紀 竹田真之介

Sound visualization using wavelet analysis for fault diagnosis of plant equipment

YATSUZUKA Naoki and TAKEDA Shinnosuke

工場設備の故障診断への活用を目指して、ウェーブレット解析を用いた音振データの可視化プログラムを作成した。打音品質検査を模擬した 3D プリンター造形物の打撃音解析と、工場機械設備を模擬した模型用ギヤボックスの異音解析を行い、ウェーブレット解析の結果を比較した。

解析結果に音の違いが可視化されていることが確認でき、製品の品質検査や設備異常診断に使える可能性が示唆された。

キーワード：故障診断、異音解析、ウェーブレット解析

## はじめに

工場設備等の故障は、製造業における生産工程に及ぼす影響が大きいため、故障につながる設備の経年劣化を簡易的に診断する手法が求められている。工場設備の振動や音の従来の生データ解析手法から、経年劣化や故障の有無に関する診断を行うことは困難であるが、そのデータを「見える化」（可視化）することにより、簡易的な故障診断につながる。

本研究では、Python 等を活用したウェーブレット解析による振動や音データの可視化手法の開発を行い、その有効性を検証した。

## 実験方法

### 1. ウェーブレット解析プログラムの作成

音声ファイルを読み込んで、ウェーブレット解析し画像に変換する Python プログラムを作成した。数学計算に NumPy、音声ファイルの入力に PySoundFile、グラフ可視化に Matplotlib を使用した。マザーウェーブレットとしてモルレーウェーブレットを採用し、周波数ごとに分解能が異なるウェーブレット変換の特性を生かすため、解析対象となる周波数をあらかじめ対数軸に合わせて準備してから順次畳み込み演算を行った。その結果効率よく演算を行うことができた。

Windows に含まれる音声ファイル（WAVE ファイル）をウェーブレット解析した。例として、音声の時間波形を図 1 に、ウェーブレット解析した結果を図 2 にそれぞれ示す。音の高さの時間変化が明確に把握できた。

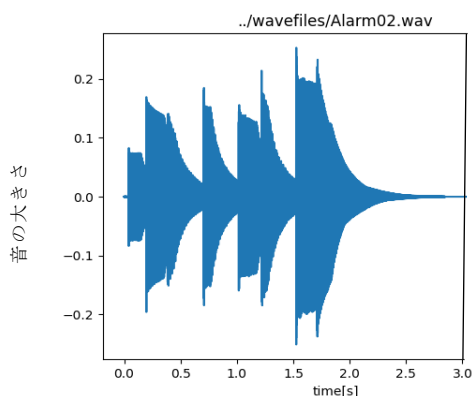


図 1 時間波形

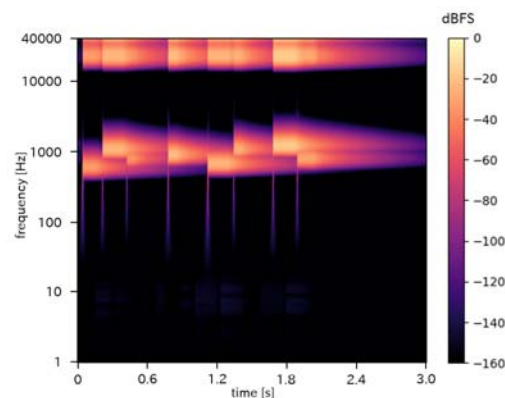


図 2 ウェーブレット解析

## 2. ウェーブレット解析プログラムを用いた診断検証

### (1) 3D 造形物の打音の測定

作成したウェーブレット解析プログラムの有効性を検証するために以下の実験を行った。

樹脂造形 3D プリンター (Stratasys 製 uPrint SE) を用いて、2 種類の試験片の造形を行った。造形した試験片は、外径 30 mm、高さ 50 mm の円柱と外径 30 mm、厚さ 1 mm、高さ 50 mm の円筒で、材料は ABS 樹脂である (図 3)。万力で試験片の両端を圧縮による挟み込みを行い、厚さ 8 mm、幅 10 mm で長さ 260 mm と 520 mm の 2 種類の金属角棒で叩いた音声を収録した (図 4)。角棒による叩く位置と叩く強さを統一するために、万力の上に置いた金属板に角棒の先端を置き、金属板を横にスライドし角棒を落として叩いた。打点から IC レコーダーのマイクロホンまでの距離は、100 mm とした。IC レコーダー (ZOOM 製 H1n) を用いて、サンプリング周波数は 96 kHz で収録した。その音声から 1 秒分を切り出してウェーブレット解析した。



図 3 左：円柱、右：円筒

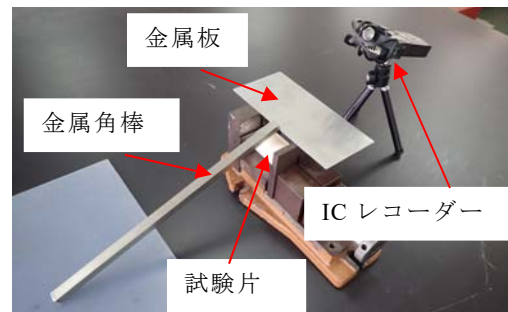


図 4 打音の様子

### (2) ギヤボックスの歯車音の測定

図 5 のようにギヤボックス (株タミヤ製; プラスチック製 12 速、31.2 mm×30 mm×厚さ 17 mm) の電池駆動時における歯車音を歯先から 20 mm の位置で IC レコーダーにより収録した。傷の無い正常な歯車の構成と図 6 のようにギヤボックスの一つの歯車 (歯数 21) のみの一部に傷をつけた構成の 2 パターンで実施した。サンプリング周波数は 96 kHz で、収録した音声から 1 秒分を切り出してウェーブレット解析した。また、ハイスピードビデオ (株ナックイメージテクノロジー製 MEMRECM GX-1Plus) を用いて、回転中のギヤボックスの歯車を撮影した。ハイスピードビデオによる歯車動作解析を分かりやすくするために、歯車の傷位置にマジックで印をつけた。

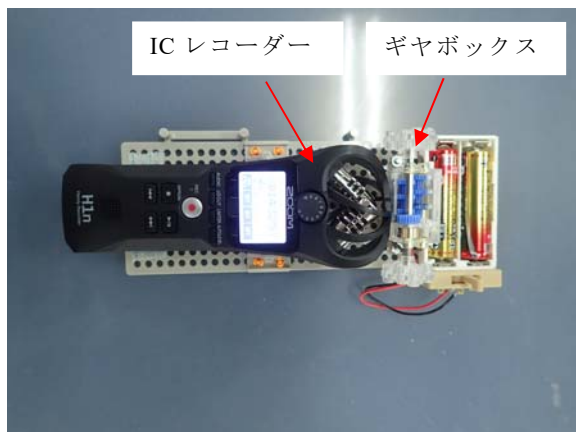


図 5 音声収録の様子 (ギヤボックス)

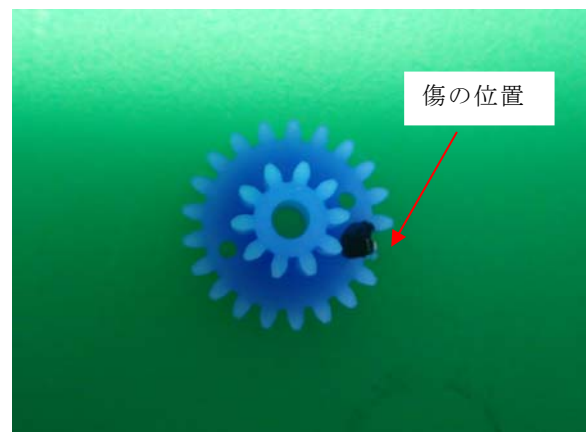


図 6 歯車の傷

## 結果と考察

### 1. 3D 造形物の打音評価

長さ 260 mm の角棒を用いた打音について、円柱と円筒の音声の時間波形を図 7、図 8 に、ウェーブレット解析した結果を図 9、図 10 にそれぞれ示す。時間波形では、円柱と円筒の特徴的な違いは確認できなかった。一方、ウェーブレット解析では、円柱と円筒いずれにおいても、10000 Hz 付近の高周波帯と 100 Hz 付近の低周波帯で大きな音が発生していることが分かった。高周波帯において、円筒の方が円柱よりも音が小さくなっている。

長さ 520 mm の角棒を用いた打音について、円柱と円筒の音声の時間波形を図 11、図 12 に、ウェーブレット解析した結果を図 13、図 14 にそれぞれ示す。時間波形では、円柱と円筒の特徴的な違いは確認できなかった。一方、ウェーブレット解析では、長さ 260 mm の角棒による打音した結果と同様に、高周波帯において、円筒の方が円柱よりも音が小さくなる傾向を示した。

これらの結果から、叩く物の長さに関わらず円柱に比べて円筒は空洞があることで高周波帯の音が小さくなると推察される。

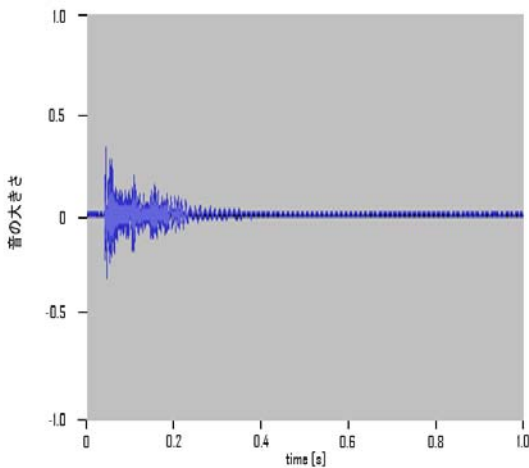


図 7 円柱の時間波形(長さ 260 mm)

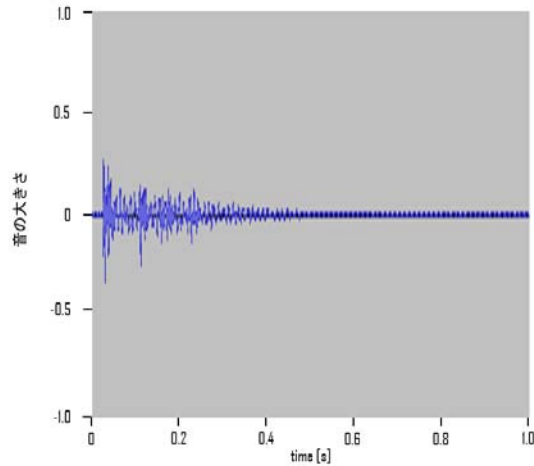


図 8 円筒の時間波形(長さ 260 mm)

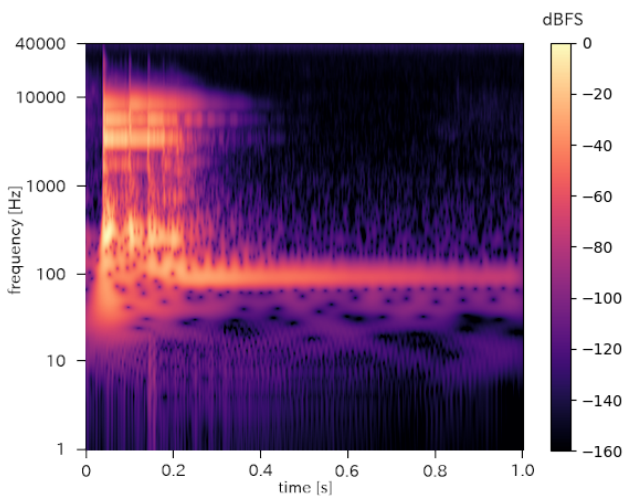


図 9 円柱のウェーブレット解析(長さ 260 mm)

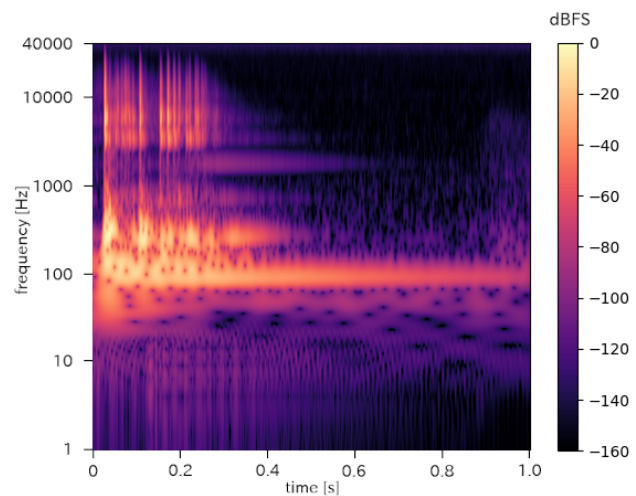


図 10 円筒のウェーブレット解析(長さ 260 mm)

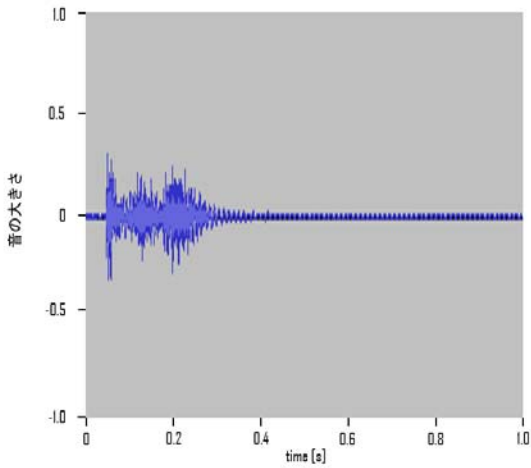


図 11 円柱の時間波形（長さ 520 mm）

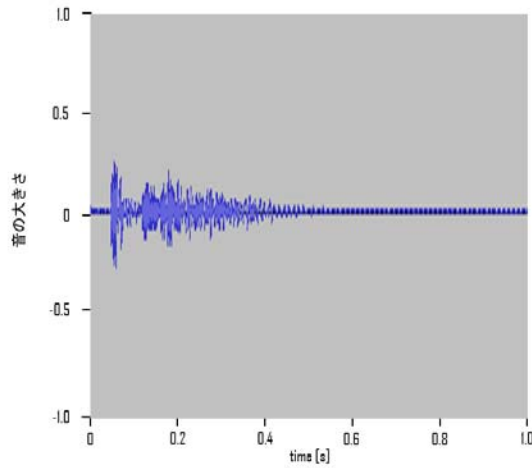


図 12 円筒の時間波形（長さ 520 mm）

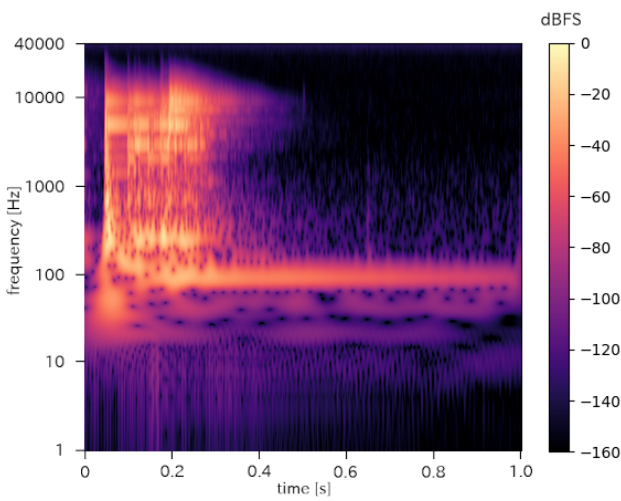


図 13 円柱のウェーブレット解析（長さ 520 mm）

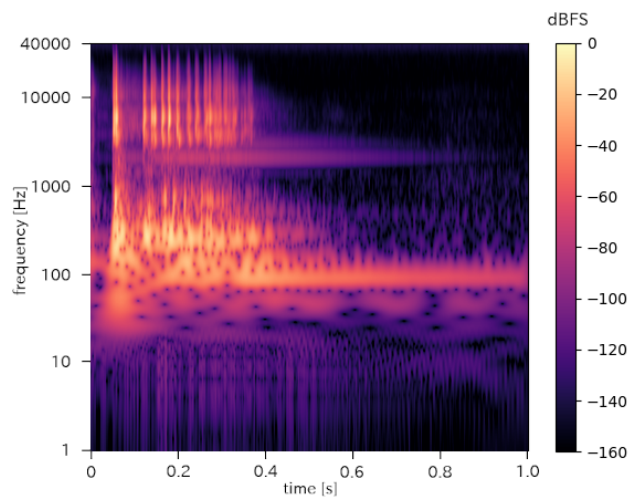


図 14 円筒のウェーブレット解析（長さ 520 mm）

## 2. ギヤボックスの検証

正常な歯車を組み合わせたギヤボックスと傷がある歯車を含むギヤボックスの動作時の音声の時間波形を図 15、図 16 に、ウェーブレット解析した結果を図 17、図 18 にそれぞれ示す。時間波形では、傷がある歯車の方が正常な歯車よりも若干音が大きいことが分かるが、明確な差は把握しにくい。一方、ウェーブレット解析では、正常な歯車と比べると傷がある歯車は、100 Hz 以下に周期的な音が発生していることが分かった。ハイスピードカメラで傷がある歯車の回転周期を確認した結果、約 0.3 秒間に 1 回転しており、100 Hz 以下の音の周期に概ね一致していることが分かった。

このことから、傷がある歯車を含むギヤボックスの 100 Hz 以下の音は、歯車の傷が原因で発生したと推察される。

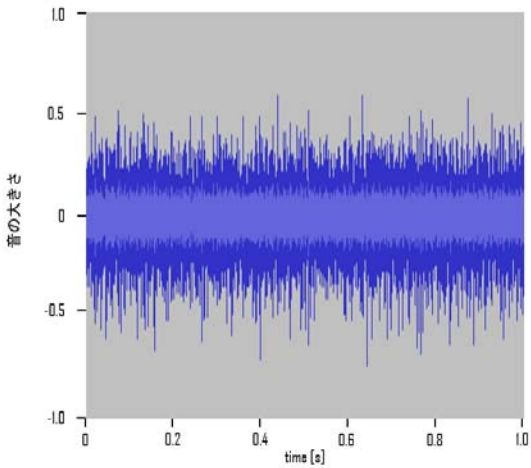


図 15 正常な歯車の時間波形

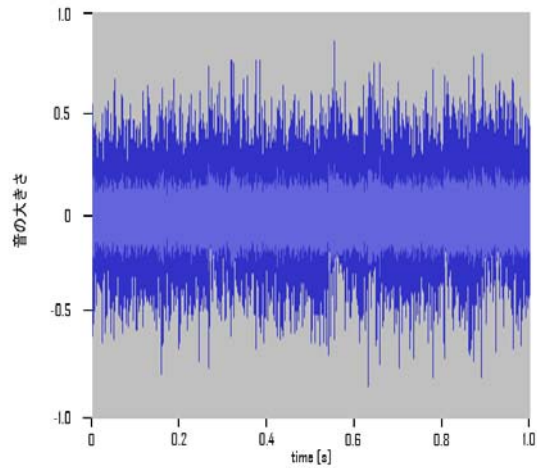


図 16 傷がある歯車の時間波形

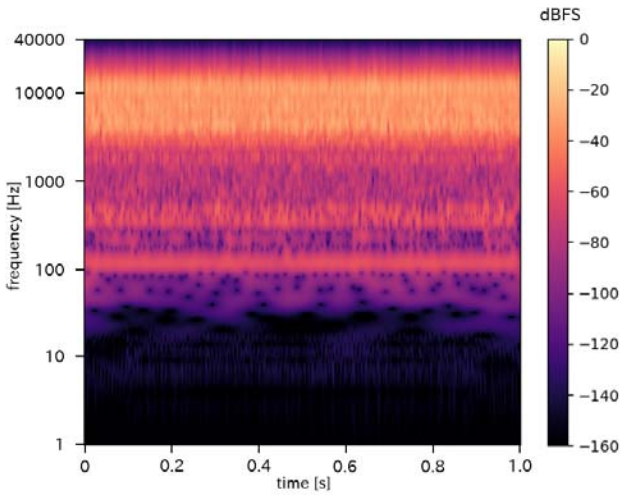


図 17 正常な歯車のウェーブレット解析

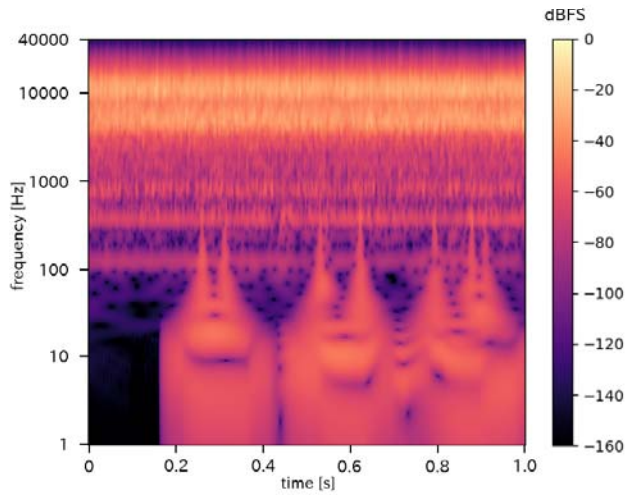


図 18 傷がある歯車のウェーブレット解析

### まとめ

Python 等を活用したウェーブレット解析による振動や音データの可視化手法の開発を行い、その有効性を検証した結果、以下のことが分かった。

1. Python を用いて、任意の時間波形データを入力するとウェーブレット変換し、解析結果を図示できるような、ウェーブレット解析プログラムを作成することができた。
2. 3D 造形物の打音評価の結果から、本プログラムを用いることで、打音検査（非破壊検査）により製品の品質検査に使える可能性が示唆された。
3. ギヤボックスの検証結果から、本プログラムを用いることで、設備から発生する連続音の解析により設備異常診断に使える可能性が高いことが分かった。