

### シンバルの音質向上の研究(OS.8 動解析の新展開 : マルチボディ, モード解析, 最適設計)

TSUJI, Kazuyuki / MINORIKAWA, Gaku / NAGAMATSU, Akio /  
IWAHARA, Mitsuo / KOBAYASHI, Anzu / 長松, 昭男 / YUASA,  
Keisuke / 湯浅, 圭介 / 辻, 和幸 / 小林, 杏 / 岩原, 光男  
/ 御法川, 学

---

(出版者 / Publisher)

日本機械学会

(雑誌名 / Journal or Publication Title)

日本機械学会関東支部総会講演会講演論文集 / 日本機械学会関東支部総会講演会  
講演論文集

(号 / Number)

10

(開始ページ / Start Page)

255

(終了ページ / End Page)

256

(発行年 / Year)

2004-03-03

# 03203 シンバルの音質向上の研究

Research for the improvement of cymbal sound quality.

○湯浅 圭介 (法政大学)

Keisuke YUASA Hosei University

辻 和幸 (法政大院)

Kazuyuki TSUJI, Graduate school

岩原 光男 (法政大)

Mitsuo IWAHARA Hosei University

御法川 学 (法政大)

Gaku MINORIKAWA Hosei

University

小林 杏 (法政大)

Anzu KOBAYASHI Hosei University

長松 昭男 (法政大)

Akio NAGAMATSU Hosei University

**Key Words:** Spectrum Analysis, Fast Fourier transform, Sound, Experimental Modal Analysis, Natural Analysis, Senses evaluation

This paper describes improvement of cymbal sound quality. At first we record the cymbal sound in time-domain to research the quality. In frequency-domain, we make a sound of cymbal to reduce the power level of frequency band by using FFT, and return in time-domain by using IFFT. We inspect in the method of paired comparison and choose best sound at the result of the inspection. To make a cymbal which has the good sound quality, analyzed the experimental mode, executed by using FEM and optimized the structure model. At the results, it is possible to link structure analysis and evaluation of sound quality

## 1. 目的

楽器のように発生音そのものが本来の性能である場合や、工業製品においても発生音に付加価値を求めるような場合には、その音質が重要になってくる。音質は聞き手の感性によって決まる量であるため、音質評価と呼ばれる官能検査が行われてきた。最近の機械設計においては、CAE 技術と官能検査を統合した音質向上を行うことで、構造設計と感性が融合することが求められている。本研究では、その一試行として打楽器シンバルの音色を加工し、音質向上を目的とした音質評価試験を行った。また、構造解析により、心地よい音を発生する構造の追求も試みた。

## 2. 官能試験の実験方法

### 2. 1 採取→分析→加工

シンバルの打撃音を無響室内で録音し、PC(Personal Computer)のハードディスクに取り込んだ後、PC上で音圧信号の時間波形をFFT分析し、任意の周波数帯域の音圧レベルを増減させ、逆FFTにより再び時間波形に戻した。PCでの操作は解析ツールMATLABを用いた。今回は、原音に加え、4種類の周波数帯域における音圧レベルをゼロとした加工音を作成し(Fig.1)、計5種類のサンプル音とした。

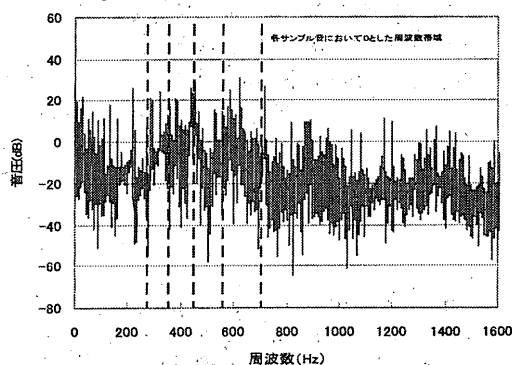


Fig1. Frequency spectrum of cymbal

## 2. 2 音質評価

音質評価法は最も簡便かつサンプル間の有意差を示しやすい一対比較法を採用し、「基準音に対して比較音がどれくらいシンバル音として良い音か」を5段階評価させた。分析法はシェッフェの法を変形した浦の変法を用いた。基準音と提示音を入れ替えた場合の順序効果の影響も考慮した。

## 3. 実験結果および考察

### 3. 1 サンプル音の嗜好度

Fig.2は音質評価後の、各サンプル音の平均嗜好度をまとめたものである。数値は5段階評価を+1.0~-1.0で正規化してある。被験者 GroupAでは、No.5の嗜好度が際立って低い。これは、No.5は最も高い周波数帯域をカットした音であるために、シンバル音の特徴である金属的な響きが失われたためと考えられる。また、それ以外のサンプル間では差が小さく、際立って好ましいと評価されたものはない。なお、原音であるNo.1が加工を施していない自然な音のため、最も評価が高くなることが懸念されたが、加工音でも評価が高くなることが確認された。一方、被験者 GroupBではサンプル音の間に多少の差はあるものの、GroupAに比べてわずかであり、サンプル音の間に有意な差を感じていないことが予測された。

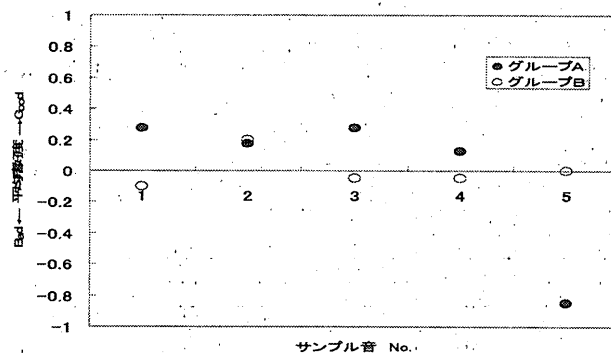


Fig2. Graph of cymbal sound evaluation

Group A

| items                  | F value | Judgment |
|------------------------|---------|----------|
| main effect            | 9.86    | ○        |
| main effect × personal | 0.57    |          |
| combination effect     | 0.9     |          |
| ordinary effect        | 1.62    |          |
| ordinary × personal    | 1.01    |          |

Group B

| items                  | F value | Judgment |
|------------------------|---------|----------|
| main effect            | 1.06    |          |
| main effect × personal | 4.35    | ○        |
| combination effect     | 2.55    |          |
| ordinary effect        | 0.22    |          |
| ordinary × personal    | 1.18    |          |

Table1.Result of analysis of variance

### 3. 2 分散分析

次に分散分析によって音質評価の影響因子を検証した結果を表2に示す。Group Aにおいては、サンプル音そのものの影響因子である主効果(main effect)のF値(F value)のみが信頼区間を超えており、有意であるという結果が得られた。その他の因子には有意性は見られなかった。Group Bにおいては主効果×個人の因子のみが有意となった。したがって、Group Bでは個人差の影響が強く出ていることが、サンプル音の有意差を明確にしていないことがわかった。

### 4.実験モード解析

インパルス・ハンマを用いた打撃加振で、加速度ピックアップを固定、ハンマを移動し、FFT装置を用いて応答を得る加振点移動で行った。打撃試験は5回平均で行い、3軸加速度ピックアップを使用した。X、Y方向の動きはほとんどないため、Z方向だけの応答を処理した。Fig.3にシンバルの加振点と計測点を示す。ハンマによりZ方向に計64点を垂直に加振した。

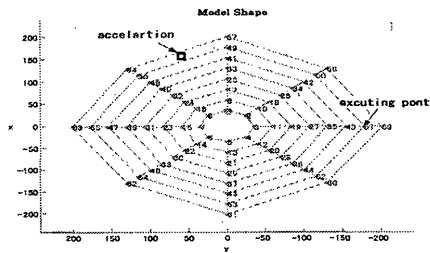


Fig.3 Measuring Points and Excitation Points

Table.2に第1～10モードまでの実験と計算の固有振動数を示す。途中実験値のMode No.4とNo.8が抜けているが、これは計算の固有振動数が0.01～0.5Hzくらいしか変わらず、実験では最小で1Hz程度までしかモードの分離ができないからだと思われる。

実験対象のシンバルは簡単な平板の形状をしているが、中心から外周に向かうにつれ湾曲している。さらに、表面には山と谷の段差があり、場所によって板厚が変わってきてしまう。従って寸法、特に板厚を測るのが非常に困難で、また、シンバルメーカーの企業秘密により正確な材料定数が分からなかった。精密な板厚を測るにはシンバルを切り断面を計測する必要があるが全く同じ型のシンバルをもう1つ用意し、予備実験をしたところ全く同じ物であるのに固有振動数に違いが見られた。これは実験対象のシンバルがハンドメイドであるため固有振動数に違いがでたものと思われる。以上のことから正確なモデルを作成することが困難になり、実験と計算に多少の誤差が出たと思われる。

| natural frequency |            |            | natural frequency |            |            |
|-------------------|------------|------------|-------------------|------------|------------|
| Mode No.          | experiment | caluculate | Mode No.          | experiment | caluculate |
| 1                 | 39.27      | 40.96      | 6                 | 109.01     | 108.63     |
| 2                 | 39.95      | 41.02      | 7                 | 158.3      | 164.61     |
| 3                 | 63.44      | 65.12      | 8                 | -          | 164.66     |
| 4                 | -          | 65.13      | 9                 | 224.5      | 225.91     |
| 5                 | 106.9      | 108.63     | 10                | 225.2      | 231.88     |

Table.2. Natural Frequency

### 5. 構造最適化

板厚が固有振動数に影響することを考慮し、擬似最小二乗法による構造最適化を試行した。本研究では、あるモードの固有振動数を目標に近づけるための最適な板厚、つまりどの部分の板厚を、どのような大きさに変更するか、という手法で行った。今回は音質評価によって280～355Hzまでの音圧を0としたものが評価が高いという結果が得られた。そこで280～355Hzの周波数帯域にある固有振動数を板厚を繰り返し計算、変更することによって移動させた。固有振動数の推移をFig.4に、板圧の変更量の推移をFig.5に示す。

### 6.結論、課題

打楽器シンバルの音質を加工し、音質評価を行った。その結果、高周波数域にシンバル音として好まれる特徴があることが予測できた。また、被験者の個性が音質評価に大きく影響することが確認できた。構造解析については、

1. モード特性を実験同定できる非線型最適化法を実験モード解析システムに組み込むことができた。
2. 有限要素法により実験対象物をモデル化して計算によりモード特性を求めた結果、固有モード形状を実験と計算で比較すると誤差の範囲内で一致し、また、なるべく重さを変えることなく板厚の構造変更の最適化を行うことができた。

今後は、構造解析と音質評価とをより密接にリンクし、打楽器の振動・音響特性を考慮した音色に加工することで、設計を意識した音質向上を図っていきたい。

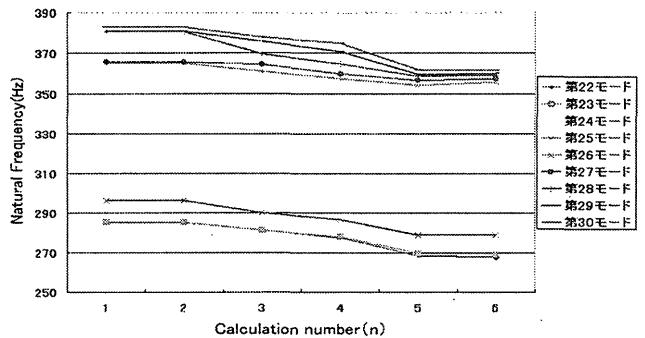


Fig.4 Transition of Natural Frequency

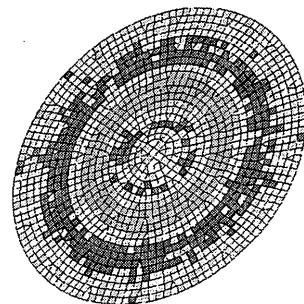


Fig.5 FEM sinbal model

### 参考文献

- 1)新版 官能検査ハンドブック, 日科技連
- 2)長松昭男,モード解析入門,(1993),10,コロナ社
- 3)戸川隼人,有限要素法へのガイド,(1979),81,サイエンス社