

# 打楽器シンバルにおける超高周波音解析\*

## (脳波データ処理と統計手法による音圧評価)

中西 俊貴<sup>\*1</sup>, 北島 匠<sup>\*1</sup>, 酒井 哲也<sup>\*2</sup>, 岩原 光男<sup>\*2</sup>, 相原 建人<sup>\*2</sup>

### Ultra-high-frequency sound analysis of cymbals (Sound evaluation by Electroencephalogram data processing and statistical tool)

Toshiki NAKANISHI<sup>\*1</sup>, Takumi KITAJIMA<sup>\*1</sup>, Tetsuya SAKAI<sup>\*2</sup>,  
Mitsuo IWAHARA<sup>\*2</sup> and Tatsuhito AIHARA<sup>\*2</sup>

<sup>\*1\*</sup> Hosei Univ. Graduate school of Mechanical Engineering  
3-7-2 Kajinocho, Koganei-shi, Tokyo 184-8584, Japan

Received 30 June 2014

#### Abstract

In general, human audibility can be limited to 20 kHz. However, it is indicated that the harmonic sound over human audibility is affected to the sound quality. Therefore, in this study, the sound recording and analysis over 20 kHz are conducted by using cymbals and the sound evaluation system using Electroencephalogram (hereafter EEG) is also developed. As a result, these are found that the stiffness of cymbal shape and hammering process are mainly affected to the cymbal sound over 20kHz and Vickers hardness is primarily influenced affected to the cymbal sound below 20kHz. Moreover, the sound quality evaluation is tried to record and analyze by the alpha and beta wave of EEG at the calm condition of test subjects.

**Key Words** : Cymbal, Sound, Octave Band Analysis, Analysis of Variance, Sound Evaluation, Electroencephalogram

## 1. 緒 言

近年、様々な工業製品において、低騒音化、低振動化は重要な項目とされている。一方、楽器のように発生音が本来の性能である場合には音質が重要になる。音質は聞き手の感性に依存しているため、音質評価として官能試験が用いられている。

著者らはこれまでに、周波数解析や実験モード解析及び官能評価を行う事でシンバルの音質向上を試みてきた(湯浅他, 2004)が、大きく3つの課題が残されていた。

- ① これまでに行われた楽器の音質向上に関する研究では、音質に関わっている周波数帯は限定され、人間が本来聞き取っている音質とは異なるものであった。最近では、人間の可聴周波数限界である 20[kHz]を大きく上回る超高周波音が楽器の音質に大きな影響を与える研究例(仁科他, 2009)が報告され、音質向上を目指す上で可聴域外の超高周波音をも考慮する必要性が生じてきた。
- ② シンバルの音質向上を実現するためには、楽器の製造にまで踏み、発生音のメカニズムを解明する必要がある。
- ③ 音質に対する官能試験の定量的評価は非常に困難である。更に可聴域外の超高周波音を考慮した音質向上を行う際に、被験者の音質評価が可聴域内の周波数帯に限定される可能性があるため、新たな広帯域数値評価手法が求められる。

従って、打楽器シンバルの音質向上を最終目的と設定し、本研究ではシンバルが発する可聴域外の超高周波音も考慮した録音・解析・評価を行う。

<sup>\*1</sup> 学生員, 法政大学大学院 理工学研究科 (〒184-8584 東京都小金井市梶野町 3-7-2)

<sup>\*2</sup> 正員, 法政大学 理工学部

E-mail: 10x0078@stu.hosei.ac.jp

さらに、より製造に近づいた音質評価を行うために、打楽器シンバルを構成する形状、加工方法、使用材料に着目し、各々の条件について録音・解析・評価と超高周波音の発生要因調査を並行に行い、より良い音質を発するための最適な条件を究明する。最後に、官能評価に代わる新たな数値評価として、人間の生体反応である脳波を用いた音質評価手法を提案する。

## 2. シンバル音の録音・解析

シンバルは板材から打楽器として機能するまで様々な工程を経る。そこで、シンバルの音色を構成する要因を大きく3つに分類し、それぞれを比較することによる音質評価を試みる。コンデンサマイクروفフォンから入力された信号をFFTアナライザーにて録音処理する。また録音位置は図1に示す水平方向及び垂直方向で行う。解析には聴衆に近い水平方向を用いる。表1に録音条件を示す。

### (1) 2社のシンバルの形状比較

シンバルの形状違いを比較するため、K社製及びS社製の16インチクラッシュシンバルを使用する。図2および表2に両社の形状寸法を示す。両図よりK社製のシンバルはS社製のシンバルに比べて、中心のカップ部の径が大きく、シンバルの高さ $h$ も高い。このカップ部の形状違いが、剛性の差として現れ、超高周波音を含む周波数特性に影響を与える可能性がある。

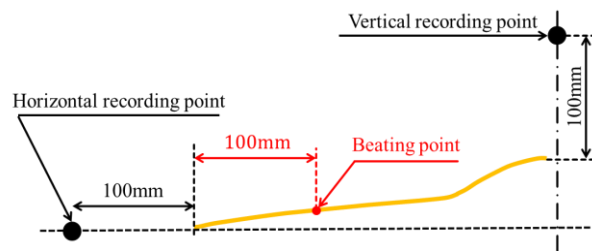


Fig.1 Recording and beating points

Table.1 Recording Condition

Sampling frequency [Hz]	Recording time [s]	Sampling number [-]
100000	0.64	65536

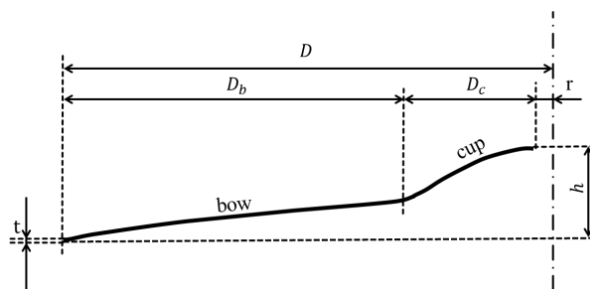
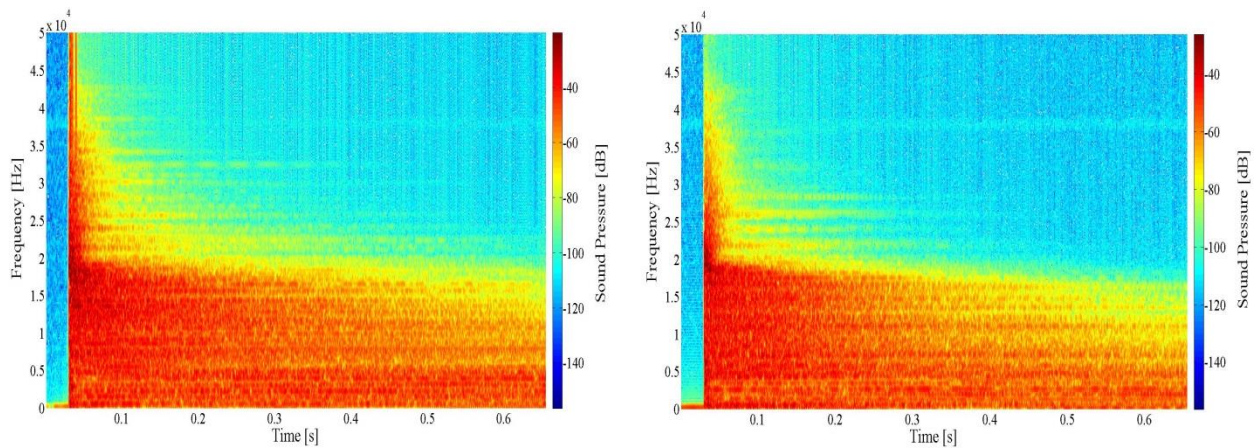


Fig.2 Dimensions of Cymbals

Table.2 Measurement data of two cymbals

Name	$t$ , (mm)	$D_b$ , (mm)	$D_c$ , (mm)	$h$ , (mm)	$r$ , (mm)
Company K	0.91	143.75	<u>53.14</u>	<u>36.40</u>	6.25
Company S	0.91	154.65	<u>42.07</u>	<u>31.90</u>	6.48



(a) Made by company K

(b) Made by company S

Fig.3 Spectrogram of cymbals sound

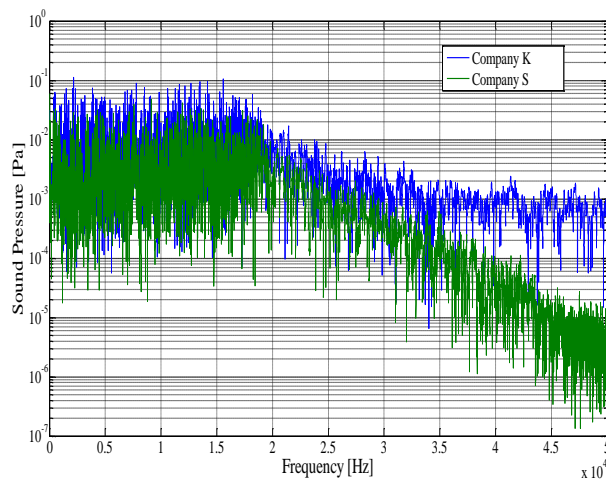


Fig.4 Frequency domain Sound Pressure of two Cymbals

図 3(a)に K 社製シンバルのスペクトログラムを、図 3(b)に S 社製シンバルのスペクトログラムを示す。横軸が時間、縦軸が周波数を表し、音圧が高いほど赤く、低いほど青く表示される。可聴域を超える超高周波数音は瞬時に減衰することが示されている。また K 社製のシンバルは S 社製より超高周波帯域の音圧が高く、減衰も遅いことが分かる。図 4 に、2 社の音圧の周波数解析結果を示す。可聴域内の 20000Hz までは明確な差異はないが、それ以上の超高周波帯域は K 社の音圧が高い。このことから、形状が超高周波帯域の周波数特性に影響している可能性がある。

## (2) K 社製シンバルの加工方法比較

シンバルは、板材から切削加工、カップ成形、ハンマリング、音溝加工、修正を経て製造されるが、職人の勘が頼りで、未だに各工程の工学的意義は解明されていない。ここでは、各工程の中で最も職人の経験を必要とし、且つ豊かな音作りが可能といわれるハンマリング工程に注目した。意図的にハンマリングの強さを变化させた 2 つのシンバルを用意し、その強弱による音質比較を試みる。

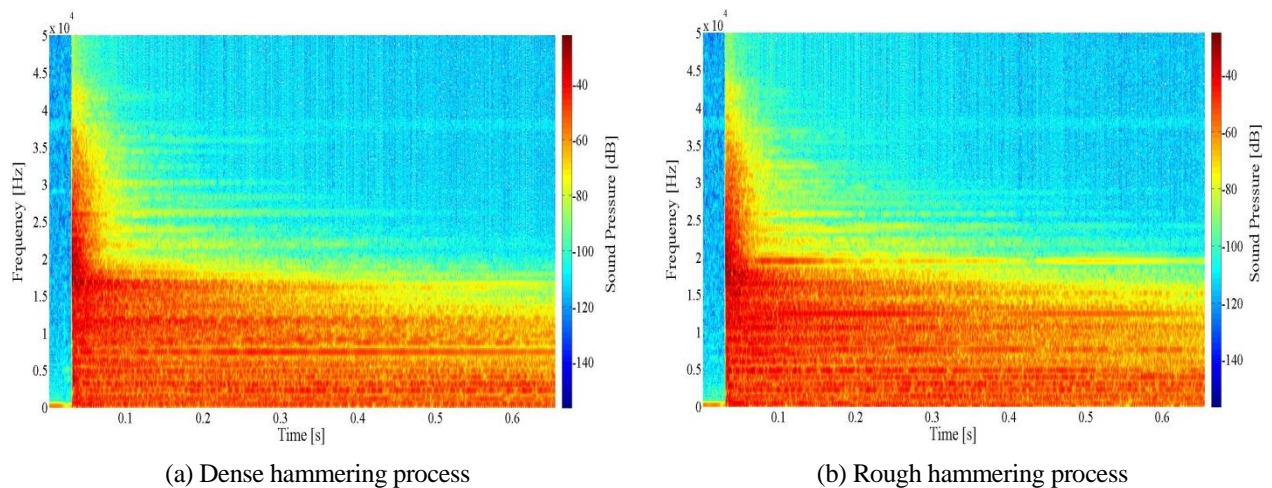


Fig.5 Spectrogram of cymbal sound

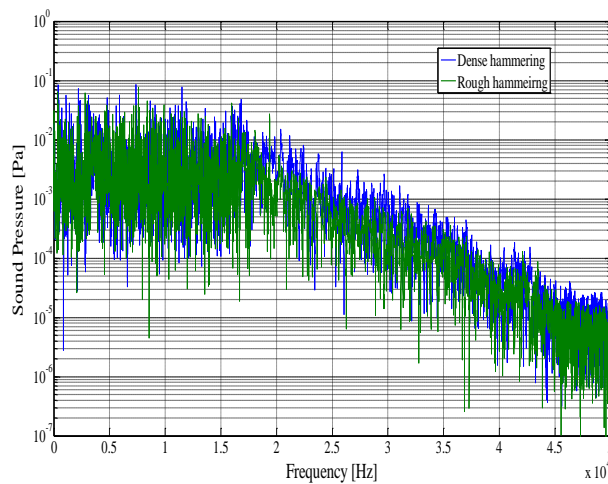


Fig.6 Frequency Domain Sound pressure of hammering effects

図 5(a)にハンマリング強のシンバルのスペクトログラムを、図 5(b)にハンマリング弱のシンバルのスペクトログラムを示す。2つの図からは明確な差異は確認出来ない。図 6 に音圧の周波数解析結果を示す。可聴域内では差はないものの、超高周波帯域ではハンマリング強のレベルが全体的にやや上回っていることが確認できる。

### (3) K 社製シンバルの材質比較

シンバルの材料には伝統的に青銅合金が用いられている。各メーカーは音色に特徴を与えるために錫以外に鉄、チタン等の金属元素を少量添加して、独自の音作りをしている。そこで、錫の含有率と金属添加物違いの2種類の製品について、音色の比較を試みる。表 3 に、使用した K 社製シンバルの金属元素含有率を示す。なお、White と題している鉄含有品は、輸入材料であるため詳細な含有率は不明である。また残りの金属元素は銅である。

Table.3 Used materials

Name	Sensitive	White
Materials	Sn 23%, Ti 0.3%	Sn 21%, Fe



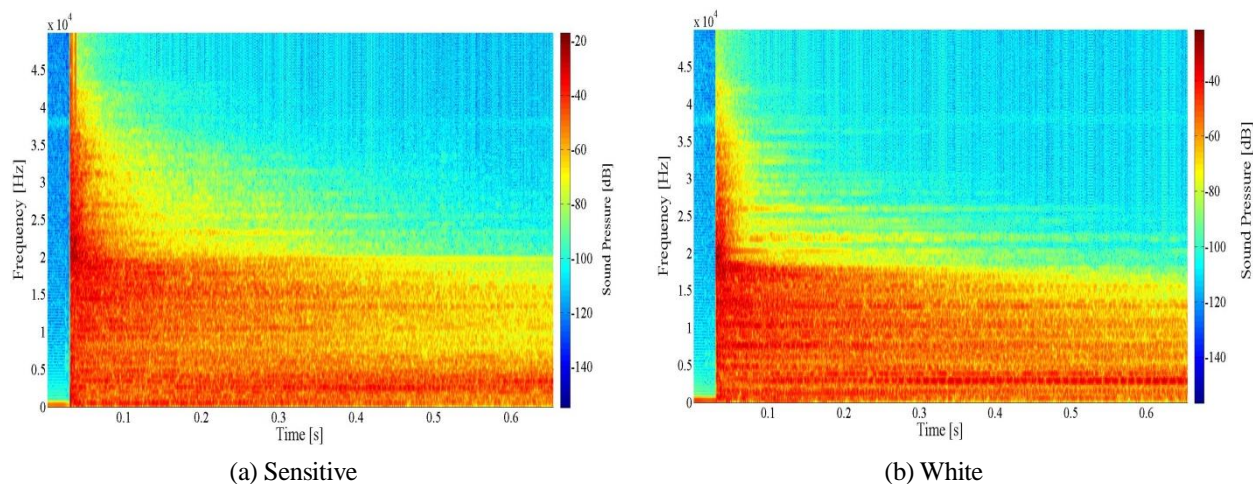


Fig.7 Spectrogram of cymbal sound

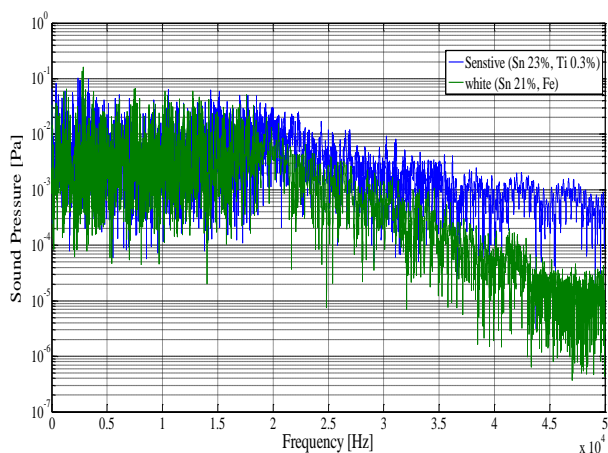


Fig.8 Frequency Domain Sound pressure of materials

図 7(a)に Ti 含有品のスペクトログラムを、図 7(b)に Fe 含有品のスペクトログラム示す. Ti 含有品は Fe 含有品に比べて超高周波帯域の音圧が高く、超高周波発生時間帯減衰も長いことが分かる. 図 8 に音圧の周波数解析結果を示す. 可聴域内においてはほぼ同じ音圧レベルであるが、超高周波帯域では Ti 含有品の音圧は低下しせず、周波数が高くなるに伴い、両者の差が拡大していることが分かる.

### 3. シンバルの音質評価

#### 3・1 1/1 オクターブバンド分析による比較

従来の FFT 解析では、高周波音の差異を明確に検出することが困難であり、全帯域を聴取することも現実的ではない. 広帯域音を精度よく比較するため、新たな周波数解析手法として 1/1 オクターブバンド分析による計測を試みる. 本分析法は、人間の耳に感じる周波数特性に等比するため、聴感を考慮する場合の振動騒音評価に最適である. また計測する騒音に対して、規格に定められたバンドパスフィルタを通して帯域毎の音圧レベルの算出が可能である.

Table .4 1/1 Octave band frequency

Band No. $n$	Lower limit Frequency $f_{1n}$ [Hz]	Center Frequency $f_{m_n}$ [Hz]	Higher limit Frequency $f_{2n}$ [Hz]
27	353.6	500	707.1
30	707.1	1000	1414.2
33	1414.2	2000	2828.5
36	2828.5	4000	5656.9
39	5656.9	8000	11313.8
42	11313.8	16000	22627.2
45	22627.2	32000	45254.8

Table.5 Analysis of variance

Factor	S	$\phi$	V	$F_0$	$F(\alpha)$
$A$	$S_A$	$\phi_A$	$V_A = S_A/\phi_A$	$V_A/V_e$	$F(\phi_A, \phi_e; \alpha)$
$B$	$S_B$	$\phi_B$	$V_B = S_B/\phi_B$	$V_B/V_e$	$F(\phi_B, \phi_e; \alpha)$
$A \times B$	$S_{A \times B}$	$\phi_{A \times B}$	$V_{A \times B} = S_{A \times B}/\phi_{A \times B}$	$V_{A \times B}/V_e$	$F(\phi_{A \times B}, \phi_e; \alpha)$
$e$	$S_e$	$\phi_e$	$V_e = S_e/\phi_e$		
$T$	$S_T$	$\phi_T$			

表 4 に、1/1 オクターブバンドの一覧を示す。フィルタの特性等は、JIS C 1514:2002 に規定されているが、本表における中心周波数と上限、下限周波数についても、JIS 規格に準拠した。

式(1)に、音圧レベル  $L_n$  の計算式を示す。ここで、波形  $x(t)$  のフーリエスペクトル振幅を  $F(\omega)$  とすると、オクターブバンドナンバー  $n$  の中心周波数  $f_{m_n}$  における音圧レベル  $L_n$  を求めることになる。

$$L_n = \sqrt{\sum_{f_{1n}}^{f_{2n}} F(\omega)^2} \quad (1)$$

表 4 に記されている中心周波数  $f_{m_n}$ 、上限周波数  $f_{2n}$ 、下限周波数  $f_{1n}$  は次式となる。

$$f_{2n} = \sqrt{2} \cdot f_{m_n}, f_{1n} = \frac{1}{\sqrt{2}} \cdot f_{m_n} \quad (2)$$

### 3・2 分散分析による評価

本研究では、人間による打撃で音を発生させているため、実験誤差が大きくなる可能性がある。そのため、誤差とシンバルの違いによる主効果を区別するため、分散分析(中里他, 1993)による検定を実施する。ここで、因子 **A** に「シンバルの種類」、因子 **B** に「録音方向」を割り付け、録音回数を 5 回として分散分析を行うことで、中心周波数毎に、シンバルの種類別音圧と、録音方向違いによる音圧の有意差を検定する。また、距離が遠くなるにつれ、音圧が低下することは明らかであるため、距離を制御因子として扱わないこととする。表 5 に分散分析表を示す。ここで、 $S$  は平方和、 $\phi$  は自由度、 $V$  は不偏分散、 $F_0$  は分散比、 $F(\alpha)$  は限界値を示す。有意性の判定は、各要因の分散比  $F_0$  を求め、 $F$  分布表の危険率  $\alpha$  における限界値  $F(\alpha)$  と比較して行う。

一例として表 6 に形状比較での中心周波数 8000Hz における分散分析結果を示す。ここで、F 表より求めた危険率 5% における  $F_{0.05}$  値に対して、分散比  $F_0$  値が高いほど有意であると言える。なお、本表には示していないが、因子 A、B の分散比  $F_0A$ 、 $F_0B$  は危険率 1% における  $F_{0.01}$  値(8.53)をも上回っており、高度に有意であると言える。同様に他のオクターブバンドの中心周波数毎に分散分析を行い、表 7 以下に纏める。さらに、分散分析後、推定を行い、オクターブバンドにおいて 95% 信頼区間を求めた。

### (1) 2社のシンバルの形状比較

図 9 に、2社のオクターブバンド分析結果を示す。黒線は 95% 信頼区間を表している。500, 2000Hz 以外の周波数では常に K 社製シンバルの音圧が高く出ることが推測される。表 7 に形状違いにおける音圧の主効果を示す。中心周波数 8000Hz が高度に有意であることが確認できる。また、一般的には、シンバル形状より録音方向違いの影響大であるが、16000, 32000Hz の超高域においては、逆転現象が見られる。

### (2) K社製シンバルの加工方法比較

図 10 に、ハンマリング強弱時のオクターブバンド分析結果を示す。1000, 8000, 16000, 32000Hz でハンマリング強の音圧が高くなるのが分かる。表 8 にハンマリング強弱時における音圧の主効果を示す。ハンマリング強が超高域の 16000Hz で高度に有意となるのが分かる。

Table.6 Analysis of variance (8000Hz)

Factor	S	$\phi$	V	$F_0$	$F(0.05)$
A	0.80835	1	0.80835	52.975	4.49
B	2.5247	1	2.5247	165.46	4.49
A × B	0.37583	1	0.37583	24.630	4.49
e	0.24414	16	0.015259		
T	3.9530	19			

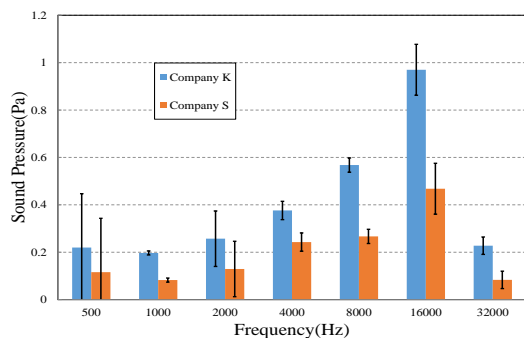


Fig.9 Octave band sound pressure of cymbals made by company K and S

Table.7 Main effect of cymbals made by company k and S

	$F_0A$	$F_0B$
500(Hz)	26.7	118
1000(Hz)	37.0	655
2000(Hz)	52.9	165
4000(Hz)	6.59	207
8000(Hz)	66.3	220
16000(Hz)	39.3	14.7
32000(Hz)	132	111

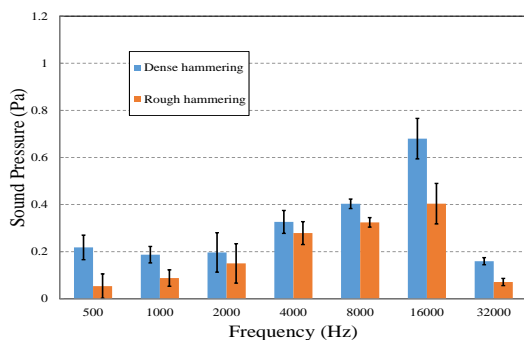


Fig.10 Octave band sound pressure of hammering

Table.8 Main effect of hammering

	$F_0A$	$F_0B$
500(Hz)	5.17	294
1000(Hz)	5.11	444
2000(Hz)	35.3	378
4000(Hz)		181
8000(Hz)	6.73	212
16000(Hz)	21.4	12.6
32000(Hz)	6.74	16.0

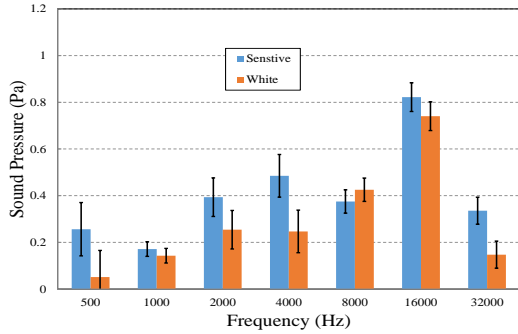


Fig.11 Octave band sound pressure of materials

Table.9 Main effect of materials

	$F_0A$	$F_0B$
500(Hz)	12.5	336
1000(Hz)	31.8	531
2000(Hz)	59.7	214
4000(Hz)	26.1	290
8000(Hz)		408
16000(Hz)	5.61	122
32000(Hz)	9.37	

Table.10 Simulated results by finite element method

Cymbal	Elements [-]	Nodes [-]	Calculated Mass [kg]	Mass Error [%]
Company K	127564	256805	1.133	0.875
Company S	128268	258292	1.110	0.541

Table.11 Used physical property of bronze in finite element method

Young's modulus [MPa]	Poisson's ratio [-]	Density [g/cm <sup>3</sup> ]
$1.1 \times 10^5$	0.38	8.8

Table.12 Simulated results by finite element method

Name	Company K	Company S
Max Displacement [mm]	13.2	19.8

### (3) K社製シンバルの材質比較

図 11 に材質違いのオクターブバンド分析結果を示す。Ti 添加品における 32000Hz の超高音帯域での音圧レベルが、Fe 添加品を大きく上回っていることが分かる。表 9 に材質違いの主効果を示す。中心周波数 8000Hz 以外の帯域で有意となっているのが確認できる。また、可聴限界を超える中心周波数 32000Hz においては録音方向による差異はなく、材質違いの影響が支配的であると言える。

## 4. 各シンバル構成要素における分析・実験

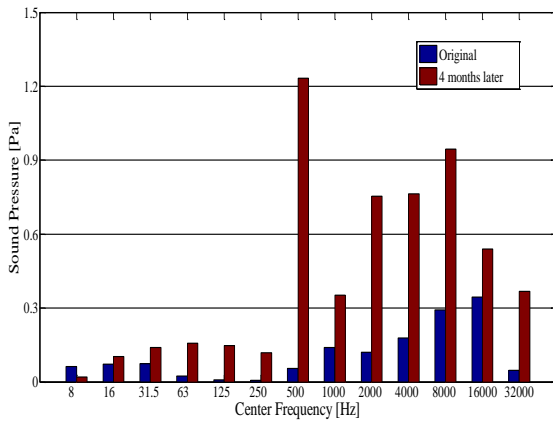
3 章までの録音評価時に明らかとなったオクターブバンド分析の有意差について、その要因を明確にするため、更なる分析・実験を行う。

### (1) 2社のシンバルの形状比較

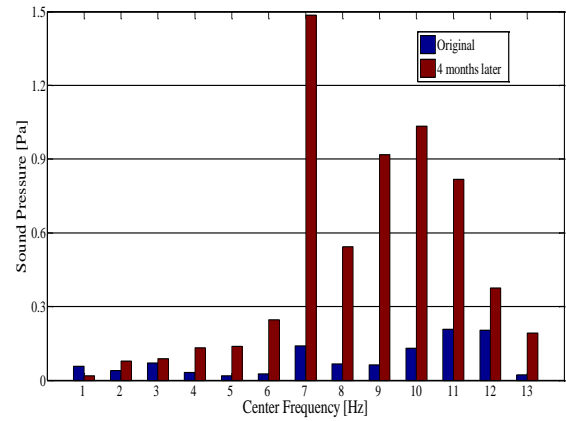
図 2 および表 2 に示した 2 種のシンバルは断面形状が異なることから剛性が異なると考えられる。そこで、2 種類のシンバルに対して有限要素モデルを作成し、静解析を同条件で実施することにより、剛性比較を行う。境界条件は、シンバル中心部を固定端とし、エッジ先端に 50[N]の荷重を加えた際の最大変位を計算する。

表 10 に有限要素モデル詳細を、表 11 に使用物性値を、表 12 に最大変位の計算結果を示す。最大変位は荷重作用点で発生し、中心部に近づくにつれて変位が小さくなる。2 枚のシンバル厚さと質量が同一にも関わらず、変位が大幅に異なるのは、シンバル中心部のカップ形状が影響していると考えられる。この剛性の違いが超高周波帯域における周波数特性に影響を与えると推測される。





(a) Dense hammering



(b) Rough hammering

Fig.12 Octave band sound pressure of time progress

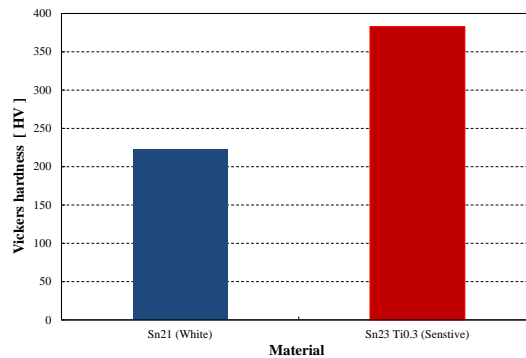


Fig.13 Vickers hardness measurement result

### (2) K社製シンバルの経時変化比較

ハンマリング工程後、数か月寝かせてから次の工程に移ることで、より豊かな高音が出てくると言われている。そこで、この説を検証するため、ハンマリング工程直後の2枚のシンバルを4か月間録音し、音圧の変化をチェックする。図12に、経時変化の結果を示す。ハンマリング強弱よも、500Hz以上の全帯域で音圧レベルが大幅に増大していることが分かる。また、8000Hz以上の超高域では、むしろハンマリング弱の方が音圧の変化が著しいものの、絶対値ではハンマリング強の音圧レベルが上回る。これは図10、表8の傾向とも一致し、ハンマリング強は超高域の音圧レベル向上に寄与すると考えられる。

### (3) K社製シンバルの材質比較

表面硬度の影響をチェックするため、2種の青銅合金のビッカース硬さ計測をした。今回は、 $\mu$ ビッカース硬さ試験により両者を比較する。計測では、試験力  $F = 5 [kgf]$  と設定して、各材料片に対して5回測定し、その平均値を求めた。図13に硬度試験結果を示す。本図から、超高周波音の主効果が高かったTi含有青銅の硬度が2倍近く高いことが確認できる。また本図と図11及び表9より、表面硬度と相関があるのは4000Hz並びに超高周波帯域の32000Hzだと考えられる。

## 5. 脳波反応を用いた音質評価

音質評価を行うに当たり、従来の官能評価では定量的な比較が困難なため、本研究では脳波を用いた音質の数値評価を試みる。従来の研究では、インドネシアの伝統楽器であるガムランを用いた研究例(大橋, 1998)が報告されている。当研究では、超高周波音を多く含む音源試聴時において脳波を計測し、癒し成分である $\alpha$ 波のレベルを解析する事で音質の良否判定を行っている。シンバルもガムランと同様、超高周波音域まで操音を発し、音源として類似しているため、脳波を用いた音質評価を採用する。但し、本研究では、評価成分として新たに刺激成分である $\beta$ 波を追加すると共に、ランダムに変動する脳波のデータ処理に関して、大幅な改良を加える。

### 5・1 音質評価手法の提案

これまでの著者らの研究(酒井他, 2012)では、シンバルを一定時間試聴した際に計測された $\alpha$ 波帯域のパワー総和 $P_\alpha$ 、および $\beta$ 波帯域のパワー総和 $P_\beta$ での比較を試みたが被験者各人の値が大きく異なっていたため分散分析を行ったものの、有意とはならなかった。そこで、シンバル試聴時の $\alpha$ 波帯域パワー総和、 $\beta$ 波帯域のパワー総和を、各被験者の平常時の $\alpha$ 波帯域パワー平均、 $\beta$ 波帯域のパワー平均と比較することで、「平常時に対する試聴時の $\alpha$ 波帯と $\beta$ 波帯のパワー増分」を新たな評価指標とする。式(5)に平常時脳波の1秒当たりの $\alpha$ 波帯域パワー $P_{\alpha_s}[\mu V^2/s]$ 、 $\beta$ 波帯域パワー $P_{\beta_s}[\mu V^2/s]$ を示す。式(6)に平常時と比較した $\alpha$ 波帯域のパワー総和 $P_\alpha[\mu V^2]$ 、 $\beta$ 波帯域のパワー総和 $P_\beta[\mu V^2]$ を示す。ここに、 $t[s]$ は時間、 $V_{fs}[\mu V^2]$ は $f[Hz]$ における平常時の脳波のパワーを表す。

$$P_{\alpha_s} = \frac{1}{t_s} \cdot \sum_{t=0}^{t_s} \left( \sum_{f=F_{\alpha_{min}}}^{F_{\alpha_{max}}} V_{fs} \right), P_{\beta_s} = \frac{1}{t_s} \cdot \sum_{t=0}^{t_s} \left( \sum_{f=F_{\beta_{min}}}^{F_{\beta_{max}}} V_{fs} \right) \quad (5)$$

$$P_\alpha = \sum_{t=0}^{t_e} \left( \sum_{f=F_{\alpha_{min}}}^{F_{\alpha_{max}}} V_{fs} - P_{\alpha_s} \right), P_\beta = \sum_{t=0}^{t_e} \left( \sum_{f=F_{\beta_{min}}}^{F_{\beta_{max}}} V_{fs} - P_{\beta_s} \right) \quad (6)$$

図17に、2名の被験者に対する $\alpha$ 波帯域及び $\beta$ 波帯域のパワー総和増分の解析結果を示す。いずれの被験者も $\alpha$ 波帯域のパワー総和増分、 $\beta$ 波帯域のパワー総和増分ともにプラスの値を示したため、シンバル試聴による影響が脳波に現れたことが分かる。また2名のパワー総和に大差が出たことから、被験者ごとの反応の差異も表現出来ていると考えられる。更に、被験者Bでは、 $\alpha$ 波のパワーレベルが大幅に向上しており、好みと相関が取れる可能性も考えられる。

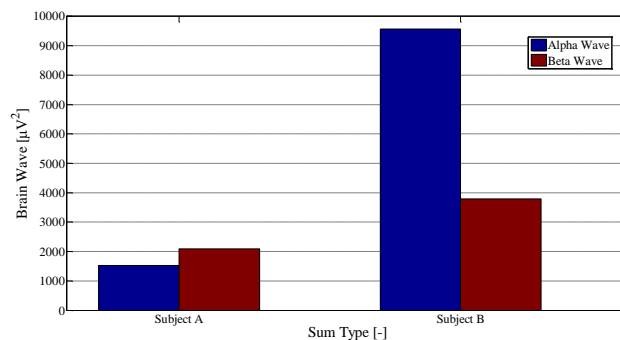


Fig.17 Sound quality evaluation test result

## 6. 結言

先ず、オクターブバンド分析を採用することでシンバルの形状・加工法・材質に起因する周波数特性の差異を明確にすることが可能となった。次に、分散分析を用いた検定を実施することによりシンバルの中心周波数ごとの音圧レベル差だけでなく、その主効果についても明確にした。以下に、その詳細について列記する。

### (1) 2社のシンバルの形状比較

主効果比較から、超高周波領域はK社製シンバルの音圧が高いことが分かった。次に、静解析の結果、質量が同等にもかかわらず、K社製シンバルの剛性が大幅に高くなったが、これはカップ部の径と深さが寄与していると考えられる。つまり、物体の固有振動数は剛性に比例して質量に反比例するため、可聴域内の固有振動数だけでなく、その倍音成分が混じった操音も高くなり、可聴域外の超高周波音の音圧差として現れたものと思われる。

### (2) K社製シンバルの加工方法比較

先ず、オクターブバンド分析結果で、ハンマリングの強弱によって、中心周波数16000Hz以上で有意差があることが分かった。次に、分散分析の主効果でも超高音域で有意となり、特に16000Hzは高度に有意であることが判明し、ハンマリングを密にすることが、超高音発生に繋がると考えられる。更に、加工後数か月経過することにより、金属組織が安定し、超高音のレベルが格段に向上することも確認できた。今後は、ハンマリングの強弱が金属組織に与える影響を、経時変化も含めて検討する必要があると考えられる。

### (3) K社製シンバルの材質比較

主効果比較において、Ti含有品は、中心周波数4000Hzと32000Hzで、有意であることが分かった。次に、ビッカース硬さ試験結果でも、材質違いで2倍近い硬度差を示したが、オクターブバンド分析結果の超高周波帯域の音圧レベル差と傾向が一致する。今後は、トレードオフの関係にある衝撃に対する疲労寿命についても検討予定である。

なお、本研究ではシンバル放射音の異方性もチェックするため、形状・加工法・材質違いと録音方向違いを二元配置で比較した。だが、録音方向自体は、本来の制御因子ではないので、今後、直接シンバルの音圧・音質向上につながる因子同士を割り付け、実験計画法を用いた効率的な実験・分析を行うことにより、それぞれの因子の寄与度を明らかにしていく。

### (4) 生体反応を用いた音質評価

官能評価に代わる新たな数値評価法として、 $\alpha$ 波及び $\beta$ 波のシンバル試聴時と平常時を比較する手法を提案した。これにより、シンバル試聴時の癒し成分 $\alpha$ 波と刺激成分 $\beta$ 波のパワーレベルが明らかになると共に、被験者の好みの数値評価も可能となった。今後は被験者を増やすことで精度向上を図ると同時に、超高周波音の癒しと刺激の相関も明確にしていく。

## 文 献

- 湯浅圭介, 辻和幸, 小林杏, 石渡輝行, 岩原光男, 御法川学, 長松昭男, シンバルの音質向上の研究, 日本機械学会関東支部講演会講演論文集, vol.10, (2004), pp.255-256
- 仁科エミ, ハイパーソニック・エフェクトの発現メカニズムに関する研究の進展”, 日本音響学会誌, 65 巻, (2009), pp.40-45
- 中里博明, 川崎浩二郎, 平栗昇, 大滝厚, “品質管理のための実験計画法テキスト”, 日科技連, (1993)
- 大橋力, “インドネシアの打楽器オーケストラ “ガムラン””, 日本音響学会誌, 54 巻, (1998), pp.664-667
- 酒井哲也, 北島匠, 萩原一郎, 小出俊雄, 癒しの音質からのアプローチ, Dynamic and Design Conference 2012 CD-ROM 論文集, 605(2012)