

令和7年度卒業論文

シンバルの音色の物理指標と心理指標の関係について

追加検討

関西大学環境都市工学部建築学科

建築環境工学第Ⅰ研究室

学籍番号 建 22-107

氏名 山田瑚々南

指導教員 豊田政弘

目次

第1章 序論	1
1.1 研究背景	1
1.2 既往研究	1
1.3 既往研究との違い.....	2
1.4 研究目的	2
第2章 実験	3
2.1 研究対象	3
2.2 使用した機材・ソフト	4
2.3 収録方法	6
第3章 分析方法	7
3.1 スペクトログラム	7
3.2 音の立ち上がりと余韻	8
3.3 アンケート	9
第4章 結果	10
4.1 アンケート結果とスペクトログラム、グラフの対応	10
4.2 考察	63
第5章 結論	65
参考文献.....	66

第1章 序論

1.1 研究背景

吹奏楽やドラム演奏において、シンバルは楽曲の印象を大きく左右する重要な楽器であり、「明るい音」「暗い音」などの言葉で音色が表現されることが多い。しかしこれらの表現は聞き手の感覚に依存しており、どのような周波数成分や音の特徴がその印象を生み出しているのかは明確に整理されていない。特に打楽器の一つであるシンバルの音は、音階のある楽器に比べると、複雑に構成されており、人によって認識が異なる。それらを明確にすることで、シンバルを購入する際に生じる生産者と消費者で認識の違い、それによる生産者の意図と異なった商品を消費者が選択してしまうことなどの解決につながることに繋がるのではないかと考え、本研究に取り組む。

1.2 既往研究

井上[1]は、クラッシュシンバル3枚、ライドシンバル3枚の計6枚のシンバルを対象として、音色の物理的指標と心理的評価の関係について検討した。各シンバルについて、カップ、ボウ、エッジ、および演奏音の4種類の打撃音を収録し、周波数特性、音の立ち上がり時間、減衰時間などの物理的特徴と、「暗い 明るい」「低い 高い」「乾いた 濡れた」「濁った 澄んだ」の4項目による心理評価との対応関係を分析した。

その結果、明るいと評価されるシンバルは2000～4000 Hzの高音域成分が多く、余韻が長い傾向があることが示された。一方、暗いと評価されるシンバルは500 Hz付近の低音域成分が長く残り、高音域の減衰が早い傾向が見られた。また、周波数成分が比較的単純でピークが鋭い音は澄んだ音として知覚され、成分が多くノイジーな音は濁った音として知覚される可能性が示唆された。

1.3 既往研究との違い

既往研究[1]では主に明るいシンバルの特徴に着目して分析が行われているのに対し、本研究では「暗いシンバル」の音色的特徴に着目し、その物理的要因を明らかにすることを目的とする点が異なる。

また、既往研究ではクラッシュシンバル3枚、ライドシンバル3枚の計6枚を対象としていた。しかし、ライドシンバルとクラッシュシンバルでは厚みなども違い、振動の広がり方が異なる。このような構造の違いがあり、演奏での役割も異なる。それが音の暗さの評価につながる可能性が高いため、本研究ではライドシンバルに絞り研究を進める。枚数も既往研究から3枚増やし、9枚で行う。

さらに、既往研究では叩く位置をカップ、ボウ、エッジ、演奏音の4種類としていたが、本研究では演奏音を除き、カップ、ボウ、エッジの3種類の打撃音に限定して実験を行う。加えて、心理評価アンケートについては、既往研究では5段階評価であったのに対し、本研究では評価の幅を広げるため7段階評価とし、新たに「冷たい 温かい」という評価項目を追加した点が異なる。

1.4 研究目的

既往研究[1]に引き続き、物理評価と心理評価、シンバルそのものの特徴(重さ、ハンマリング、材料の比率)からシンバル音の心理的な印象の根拠となる特徴を見つけ、シンバルの音色の暗さの要因となるものを導く。

第2章 実験

2.1 研究対象

本研究で取り扱うシンバルの概要を説明する。シンバルは楽器自体の振動によって音を発する体鳴（たいめい）楽器に分類される打楽器の一つで、つば広帽子の形に薄く伸ばした金属（主に銅、錫（すず））でできている。シンバルにはクラッシュシンバル、ライドシンバル、ハイハットシンバル、チャイナシンバルなど大きさ、使い方によって様々な種類がある。本研究では図1のような直径20インチの大きさのライドシンバルを9枚用意し、比較検討を行う。



図1 本研究で使用したシンバル

なお、本論文では図1に対応して、次のように表記する。

- シンバル : 一段目左 小出シンバル 非売品
- シンバル : 一段目中央 小出シンバル 808 Series
- シンバル : 一段目右 小出シンバル 非売品
- シンバル : 二段目左 Sabian Artisan Light Ride 20
- シンバル : 一段目中央 小出シンバル Cadence
- シンバル : 二段目右 小出シンバル Eolian Series
- シンバル : 三段目左 小出シンバル Fezr Series
- シンバル : 三段目中央 Paiste Masters Dark Ride
- シンバル : 三段目右 Zildjian K

2.2 使用した機材・ソフト

実験に使用した機材・分析ソフトを以下に示す。

- ・ IC レコーダー : SONY PCM D-1 (図 2)
シンバル音の収録に使用した。



図 2 IC レコーダー

引用 : <https://www.sony.jp/ic-recorder/products/archive/PCM-D1/>

- ・ ドラムスティック : TAMA Traditional Series H7A (図 3)
一般的にドラムの演奏で使用されるヒッコリー製のドラムスティックを使用した。



図 3 ドラムスティック

引用 : <https://www.tama.com/jp/products/detail/h7a.html>

- ・ 分析ソフト : MathWorks MATLAB
MATLAB は関数やアルゴリズム開発、行列計算、GUI 開発など様々なことができるインタープリンタ型のプログラミング言語である。収録した音源を数値計算処理し、素早くグラフの作成ができる。そのため、本研究ではこれを使用して、物理的な評価を行った。

引用 : <https://jp.mathworks.com/products/matlab.html>

2.3 収録方法

無響室内にシンバルを設置し、演奏者の耳にあたる位置（シンバルの中心から水平方向に 100 cm、鉛直方向に 30 cm 上方に離れた位置）に置いたマイクで各シンバルの音を収録した（図 4）
また、シンバルを叩く位置によって音の印象が大きく異なるため、各シンバルを下記の 3 パターンに分けて叩いた音を収録した。

- 1 カップ ... シンバルのカップ（中心部分）を一回叩く
- 2 ボウ ... シンバルのボウ（面の部分）を一回叩く
- 3 エッジ ... シンバルのエッジ（フチの部分）を一回叩く

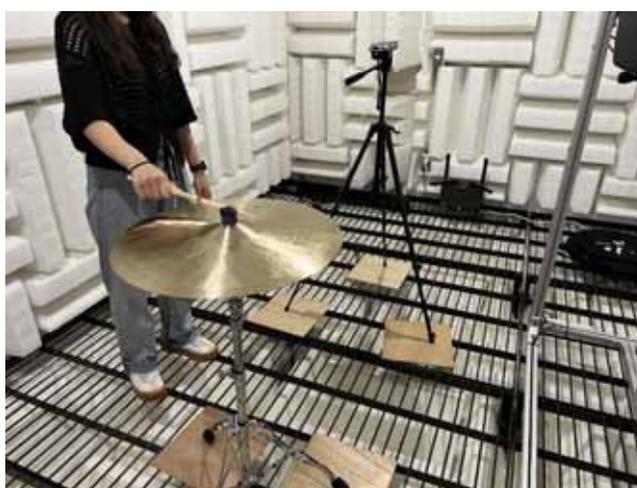


図 4 収録の様子

第3章 分析方法

3.1 スペクトログラム

短時間スペクトルを時間方向に並べたものをスペクトログラムという。スペクトルとは、周波数と音圧レベルの関係を表したものである。スペクトログラムは横軸が時間、縦軸が周波数を表しているものであり、音圧レベルを色で表示している。色が赤いところは音圧レベルが大きく、色が青いところは音圧レベルが小さいという意味である。このグラフでは、倍音の鋭さ、音の伸びに注目する（図5）。

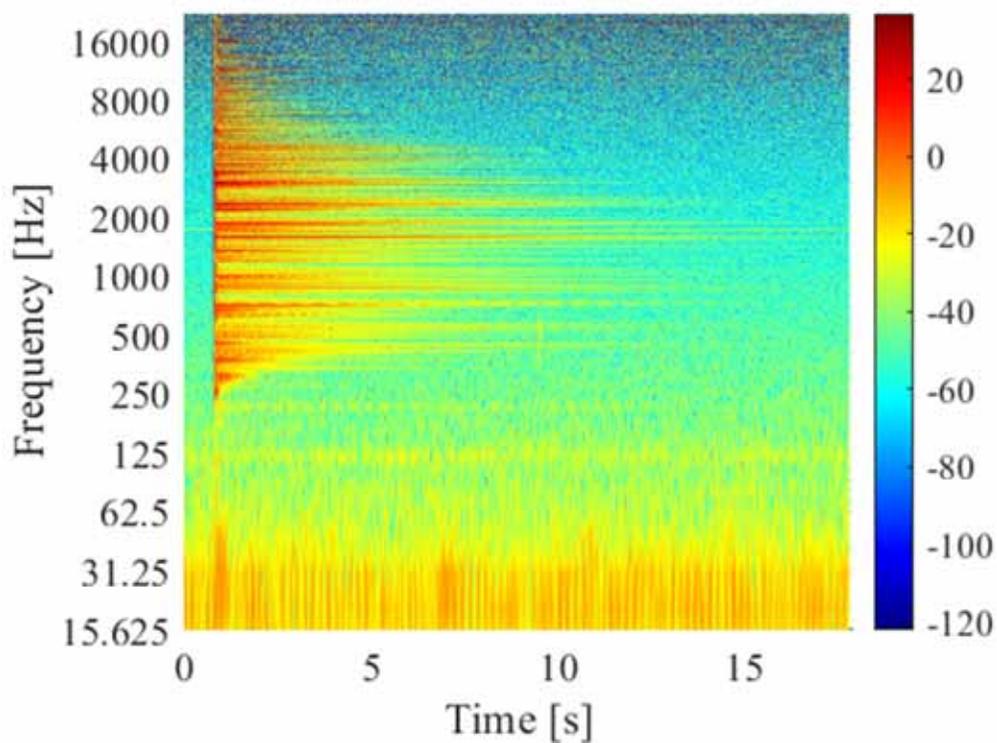


図5 スペクトログラムの例

3.2 立ち上がりと余韻

シンバル音の特徴として、音の立ち上がりと余韻で音の聞こえ方が異なることが挙げられる。したがって、本研究では周波数帯ごとの音の立ち上がり、余韻に注目するためにこの下記のグラフを使用する（図6）。青線が各周波数帯の音圧レベルの実効値（時間特性 Fast）の波形、緑線が立ち上がりを表す直線、赤線が余韻を表す直線である。実効値の最大値を 0 dB としとき、-30 dB ~ 0 dB に上がるまでの時間を 2 倍したものを「立ち上がり時間」として定義した。また、-5 ~ -35 dB に下がるまでの時間を 2 倍したものを「減衰時間」として定義した。これらの値は各周波数帯のグラフの上に「中心周波数, 立ち上がり時間, 減衰時間」として表示している。

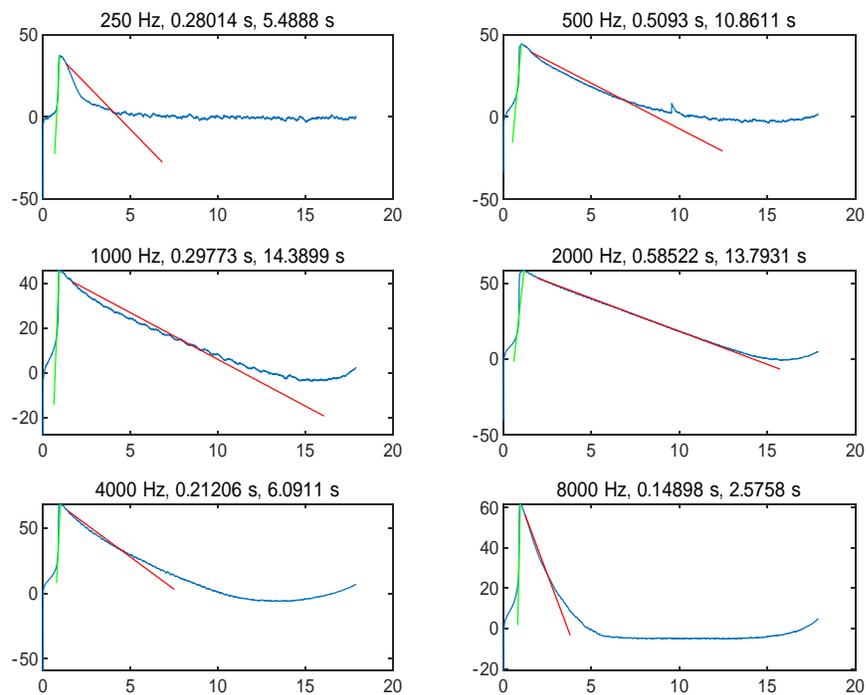


図6 立ち上がりと余韻のグラフの例

3.3 アンケート

音楽活動を行っている 10 代後半～20 代前半の被験者 25 名に聴音回数を無制限としてランダムな順序で音源を聞かせ、心理評価のアンケート調査を行った。今回のアンケートでは、[暗い - 明るい][低い - 高い][乾いた - 濡れた][濁った - 澄んだ][冷たい - 温かい]の 5 つの評価項目を用意した(図 7)。これらの評価項目について被験者に 7 段階で評価を行わせて平均と標準偏差を算出し、その結果を心理的評価として取り扱う。

音源 1 *

	1	2	3	4	5	6	7
暗い[1] - 明るい[7]	<input type="radio"/>						
低い[1] - 高い[7]	<input type="radio"/>						
乾いた[1] - 濡れた[7]	<input type="radio"/>						
濁った[1] - 澄んだ[7]	<input type="radio"/>						
冷たい[1] - 温かい[7]	<input type="radio"/>						

図 7 アンケート回答フォーム

第4章 結果

4.1 アンケート結果とスペクトログラム、グラフの対応

以下に各音源の結果を示す。

・カップ音

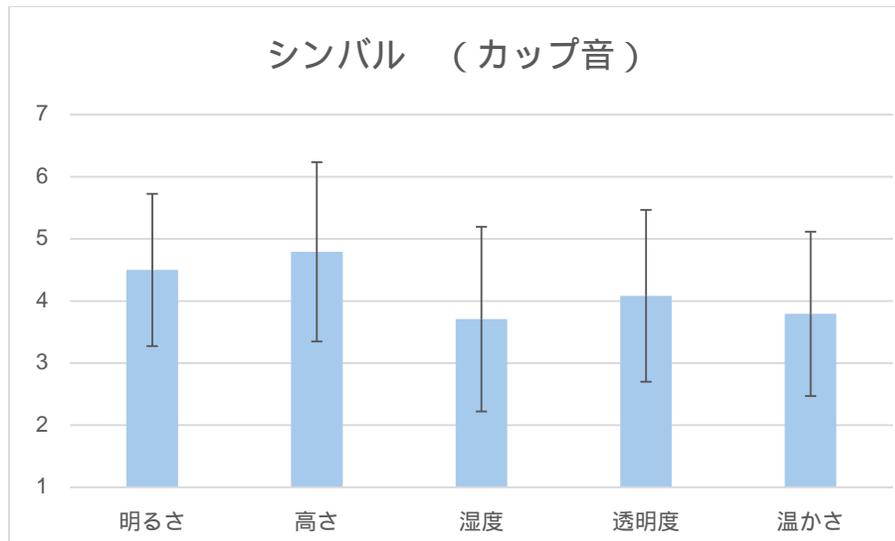


図8 シンバル (カップ音) のアンケート結果

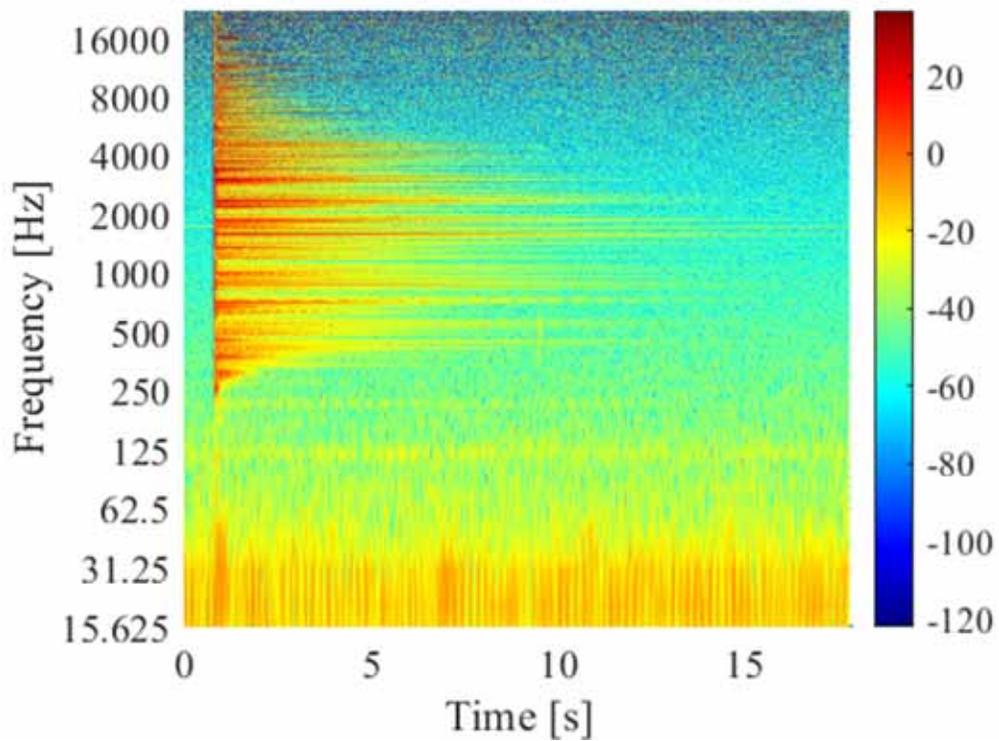


図9 シンバル（カップ音）のスペクトログラム

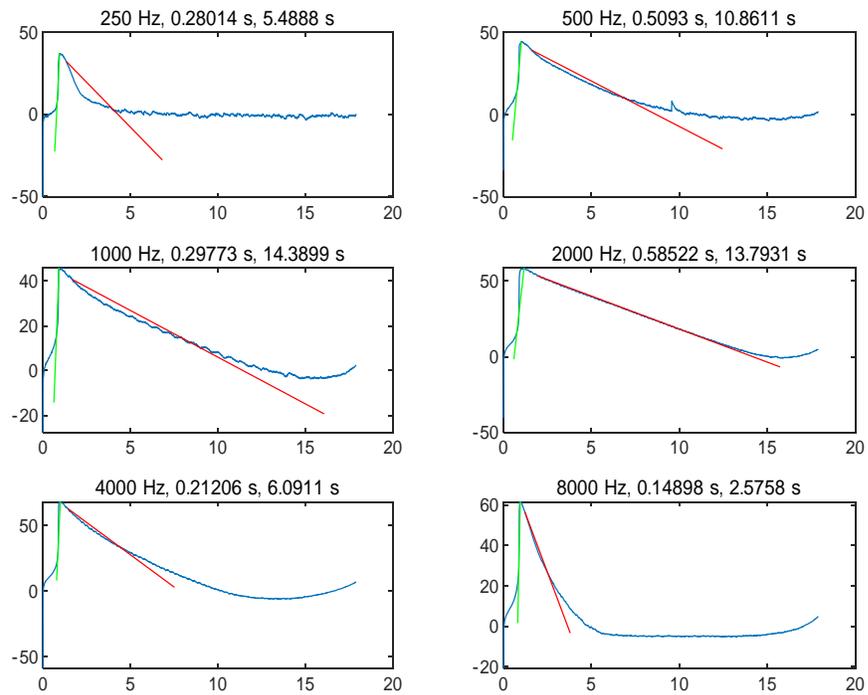


図10 シンバル（カップ音）の立ち上がりと余韻のグラフ

（図8などの心理評価結果のグラフ、標準偏差の下側の線が見づらいです。棒グラフの色を調整して、標準偏差の下側も見やすいようにしてください。以下すべて同様。）

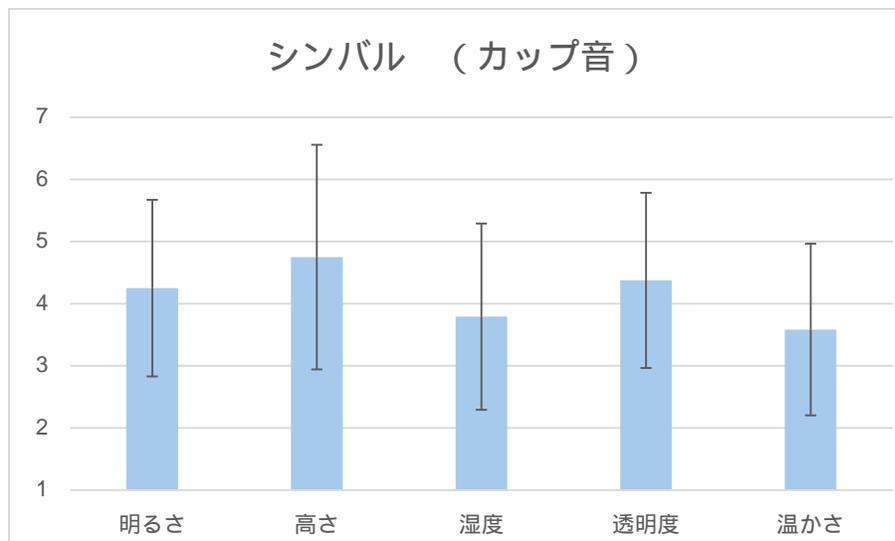


図 11 シンバル (カップ音) のアンケート結果

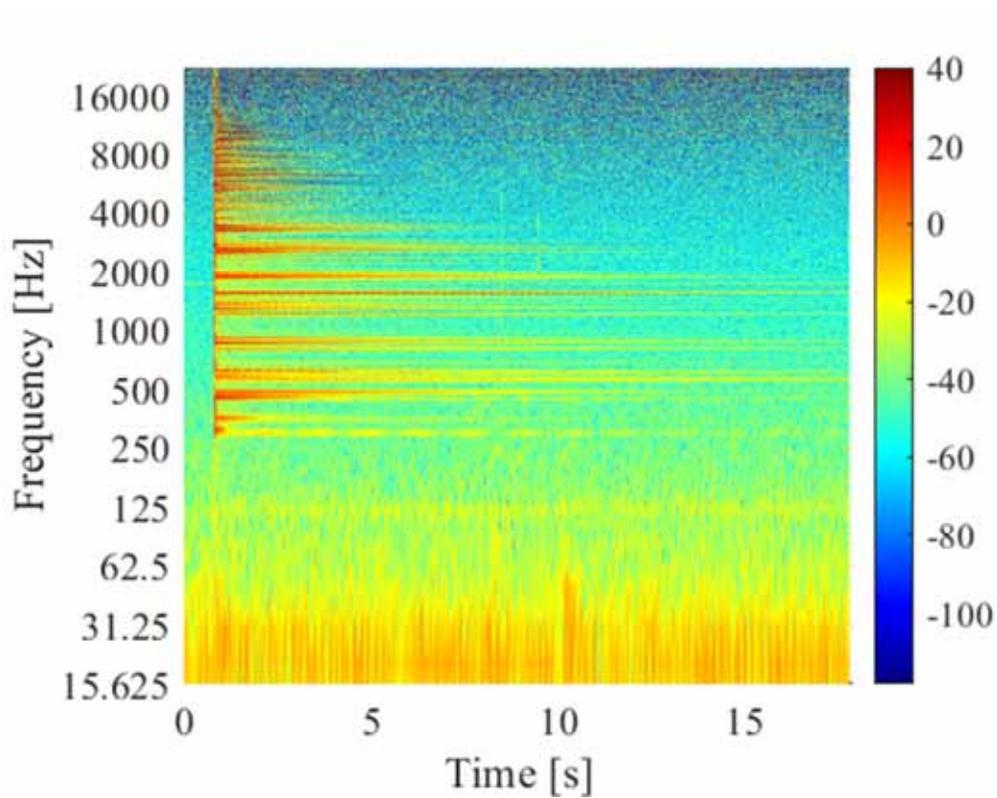


図 12 シンバル (カップ音) のスペクトログラム

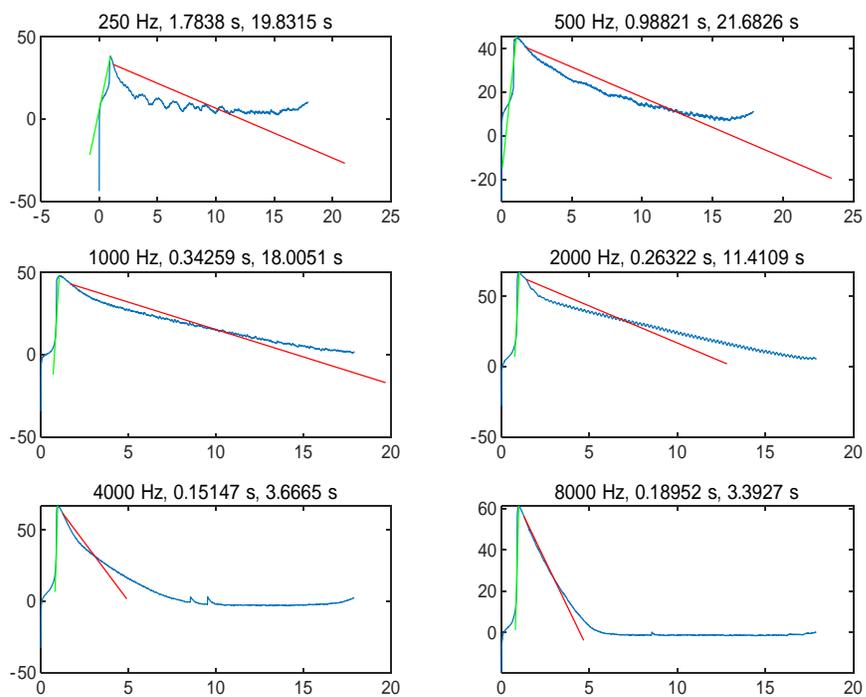


図 13 シンバル (カップ音) 立ちあがりと余韻のグラフ

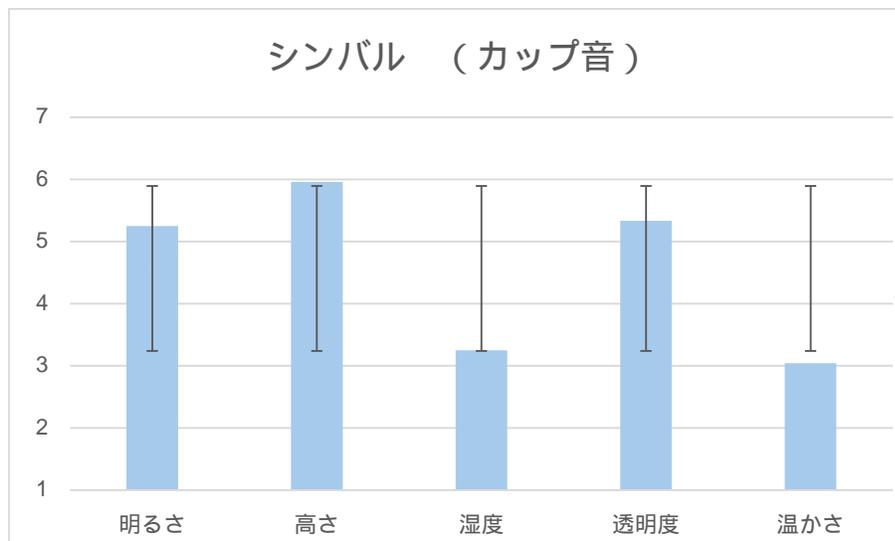


図 14 シンバル (カップ音) のアンケート結果

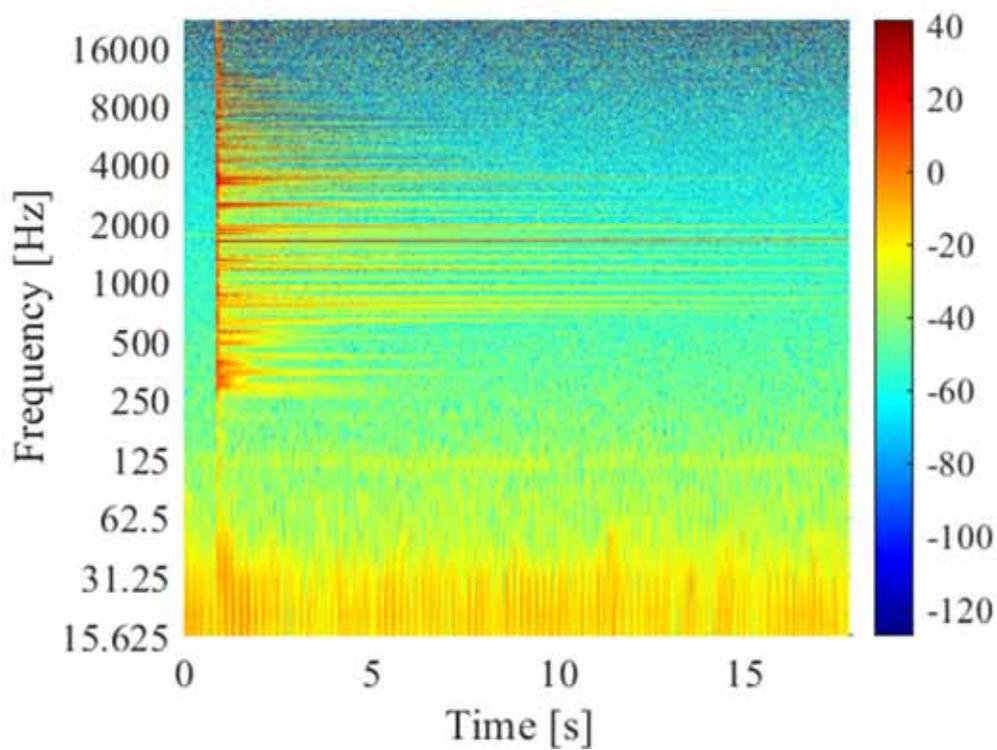


図 15 シンバル (カップ音) スペクトログラム

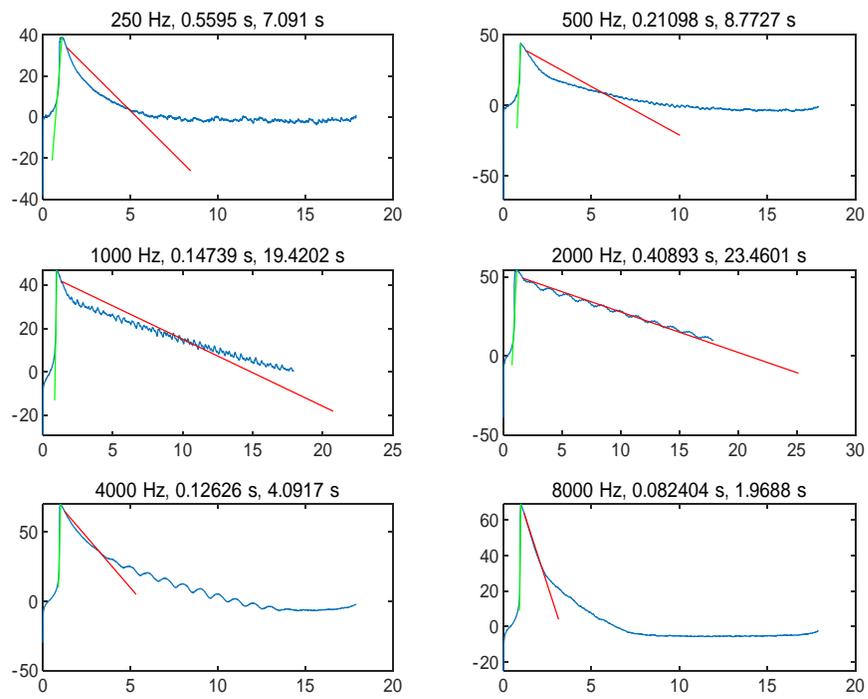


図 16 シンバル (カップ音) 立ち上がりと余韻のグラフ

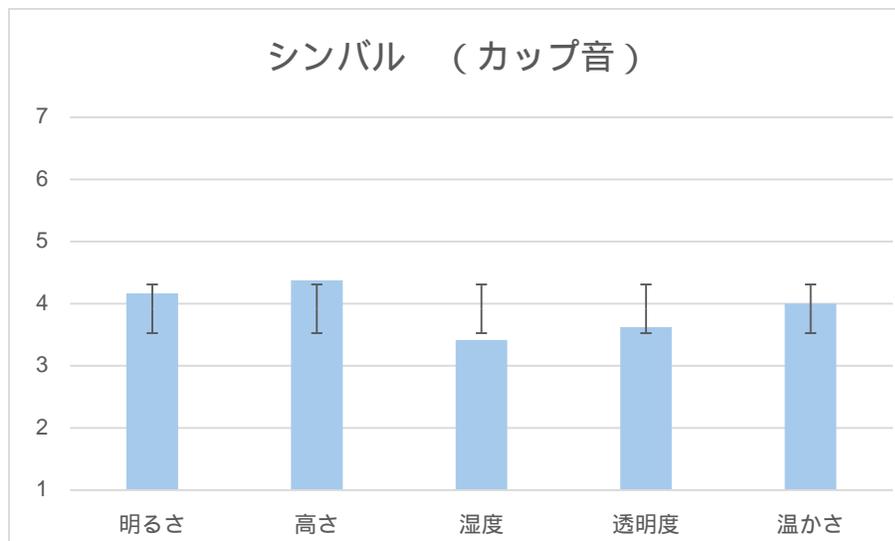


図 17 シンバル (カップ音) のアンケート結果

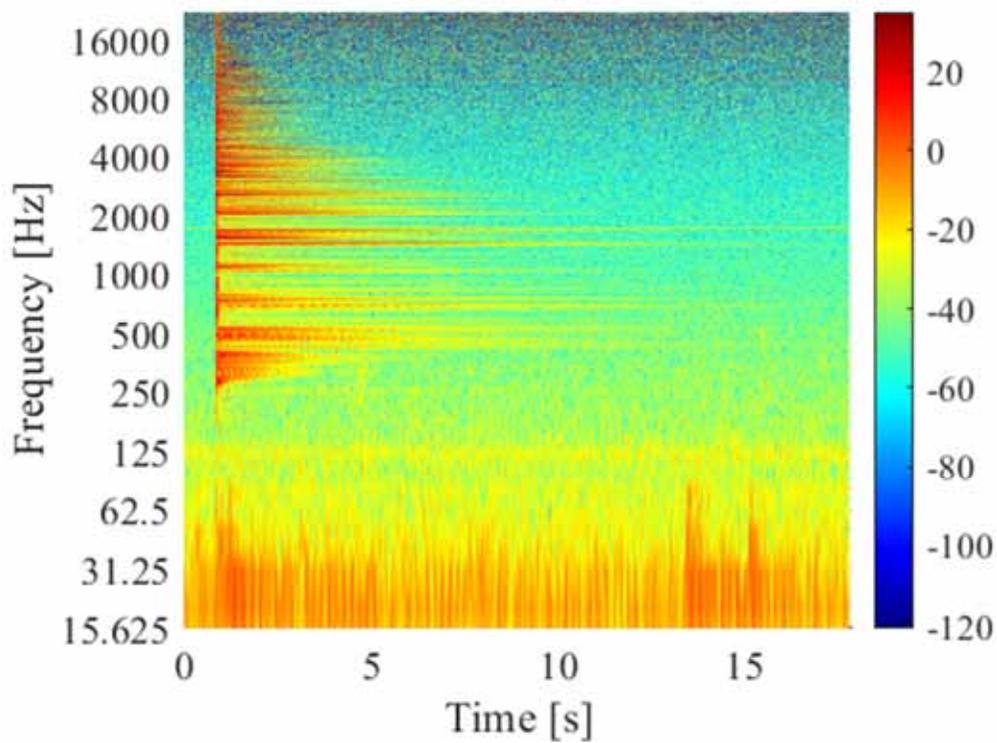


図 18 シンバル (カップ音) のスペクトログラム

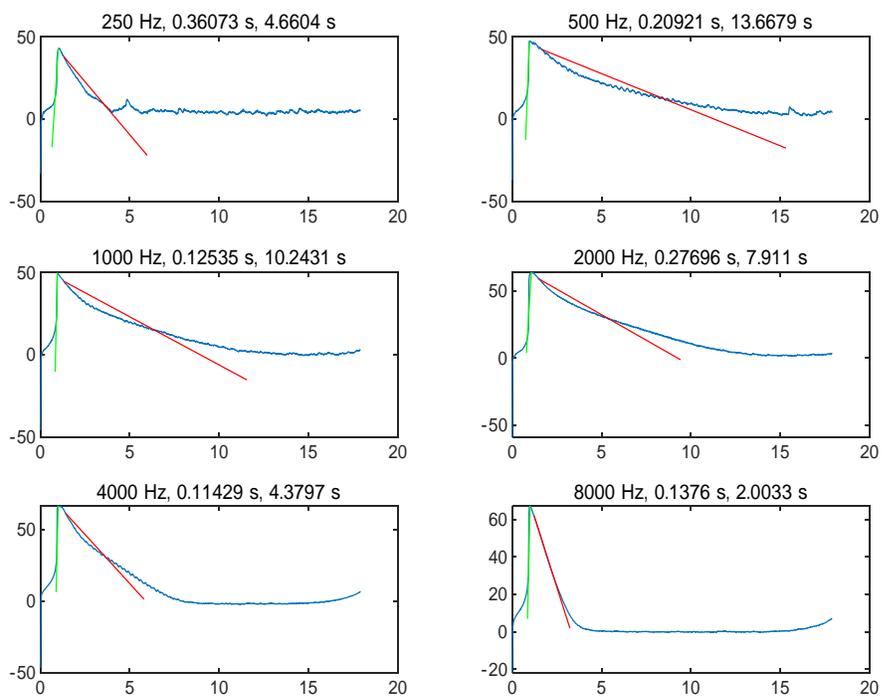


図 19 シンバル（カップ音）の音の立ち上がりと余韻のグラフ

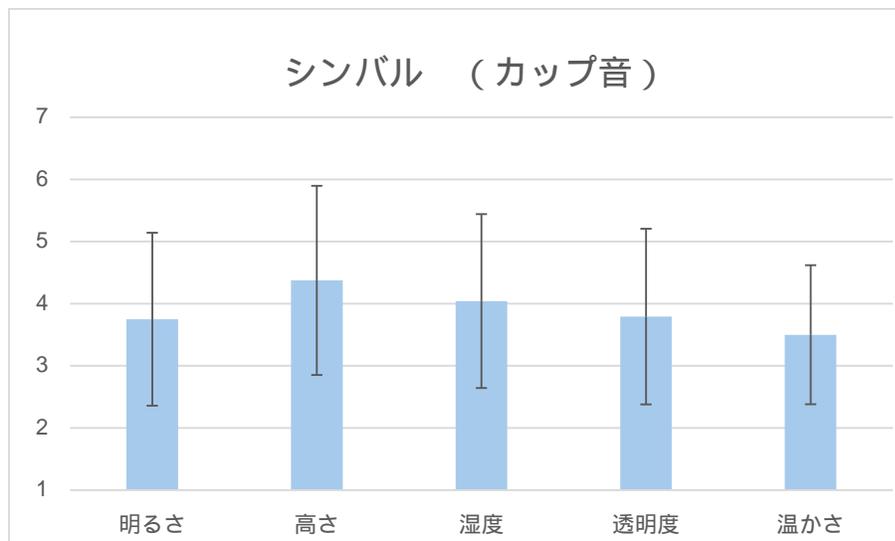


図 20 シンバル (カップ音) のアンケート結果

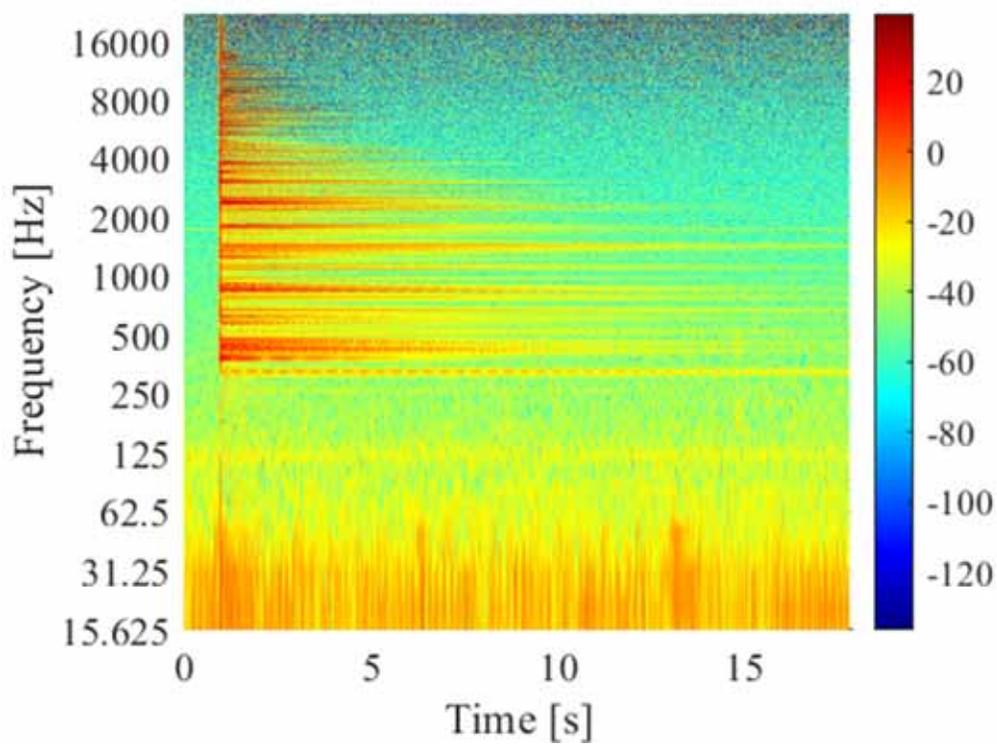


図 21 シンバル (カップ音) のスペクトログラム

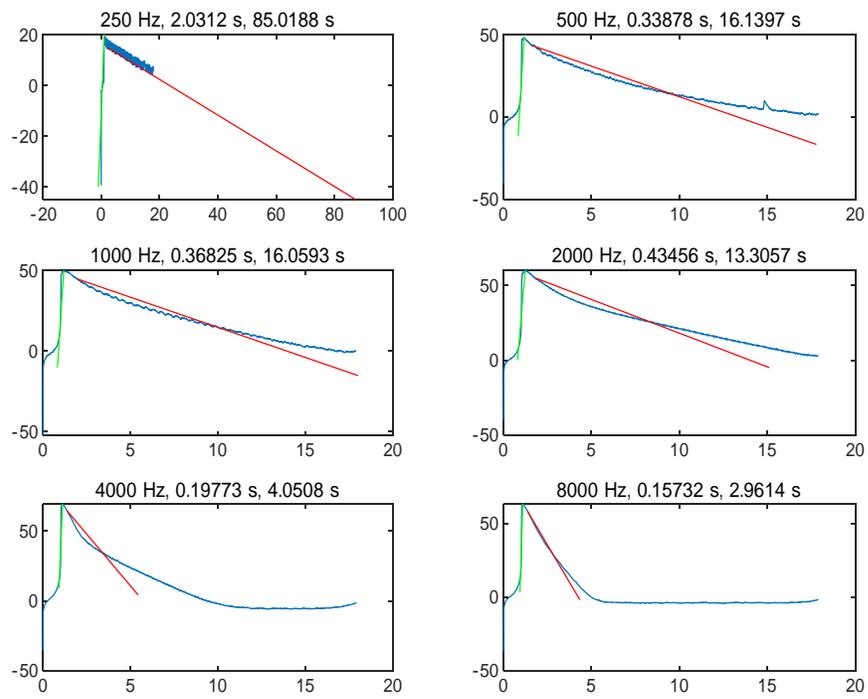


図 22 シンバル（カップ音）の音の立ち上がりと余韻のグラフ

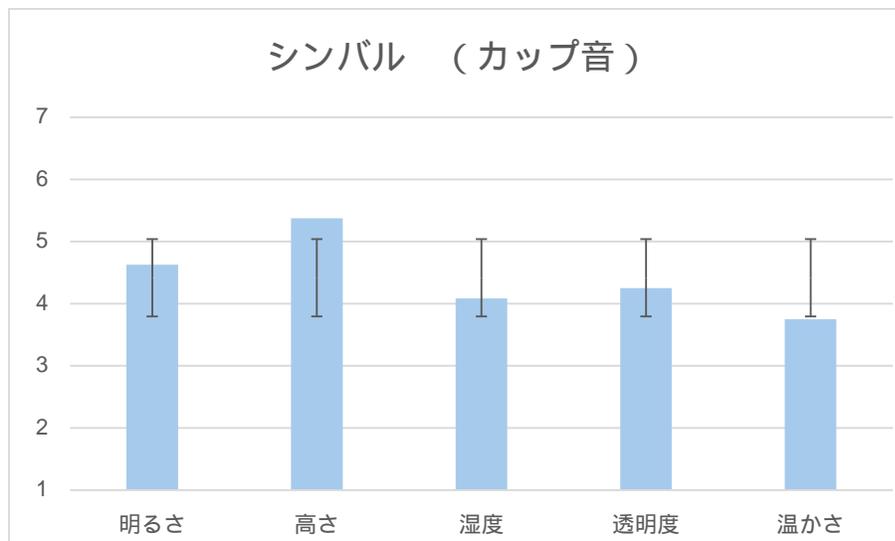


図 23 シンバル (カップ音) のアンケート結果

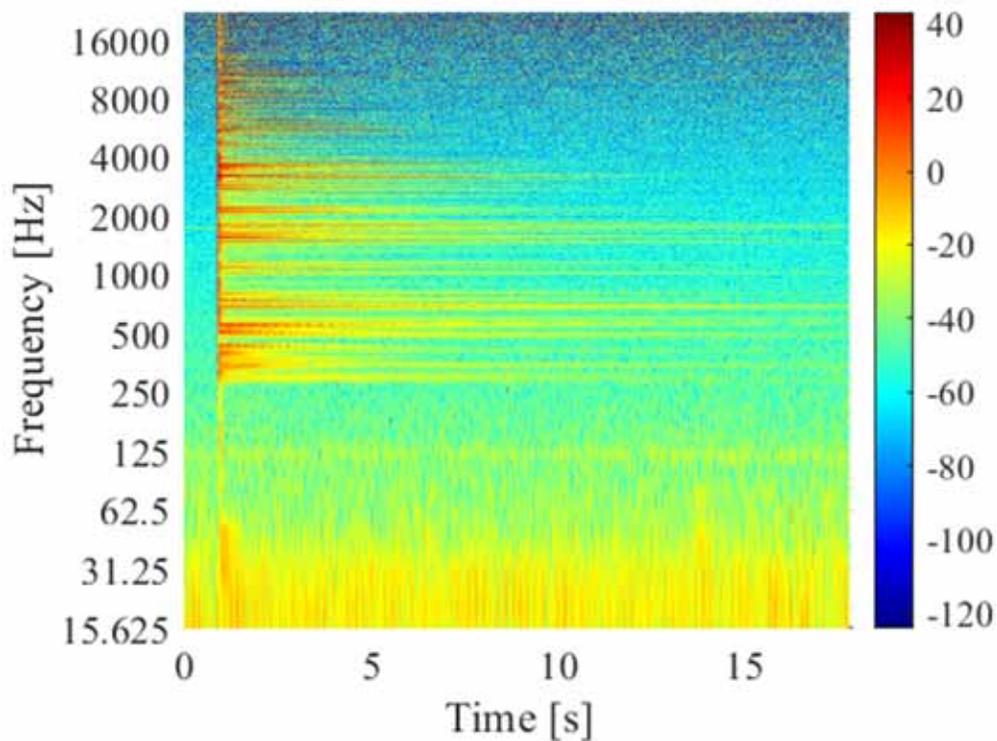


図 24 シンバル (カップ音) のスペクトログラム

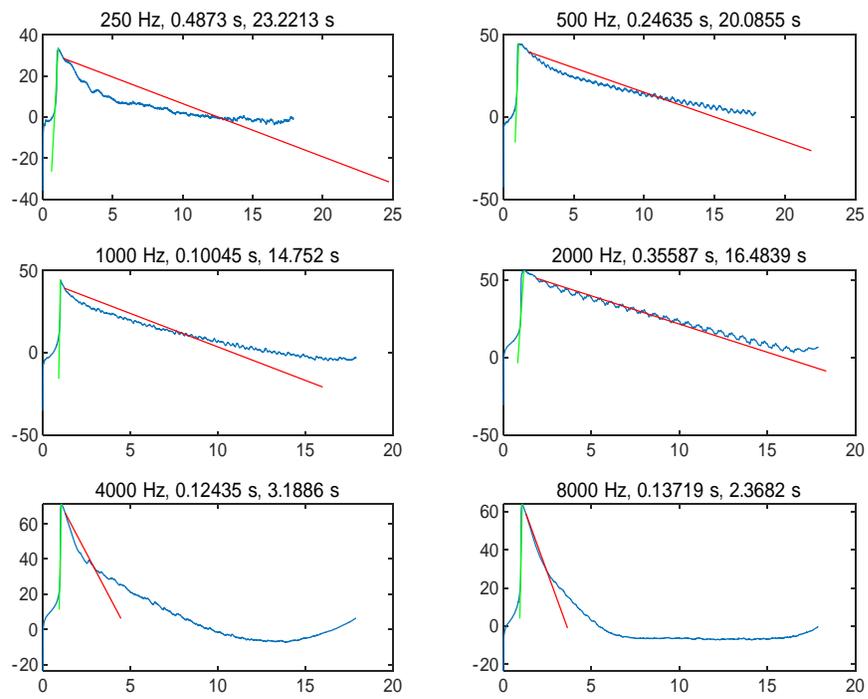


図 25 シンバル (カップ音) のスペクトログラム

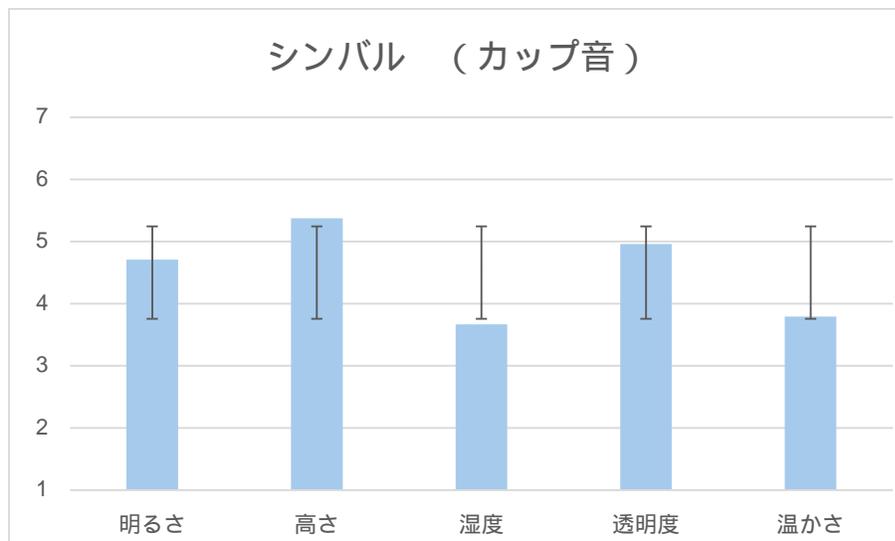


図 26 シンバル (カップ音) のアンケート結果

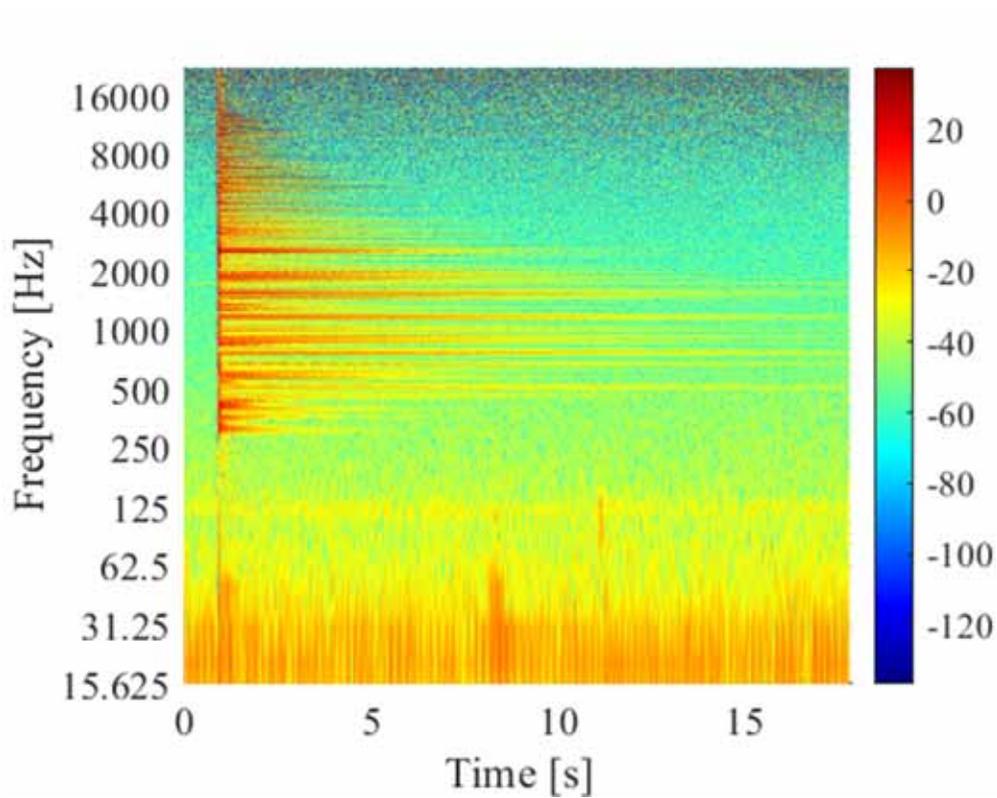


図 27 シンバル (カップ音) のスペクトログラム

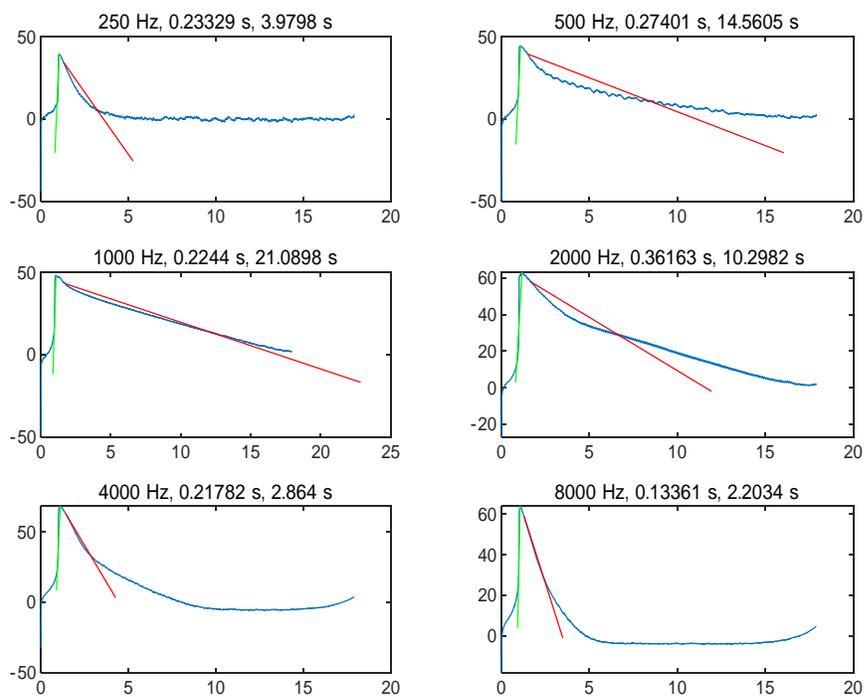


図 28 シンバル（カップ音）の音の立ち上がりと余韻のグラフ

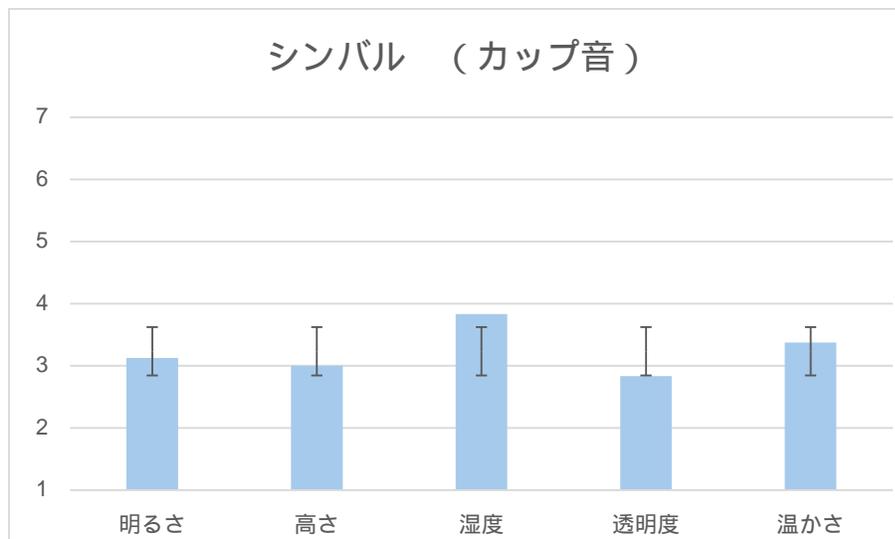


図 29 シンバル (カップ音) のアンケート結果

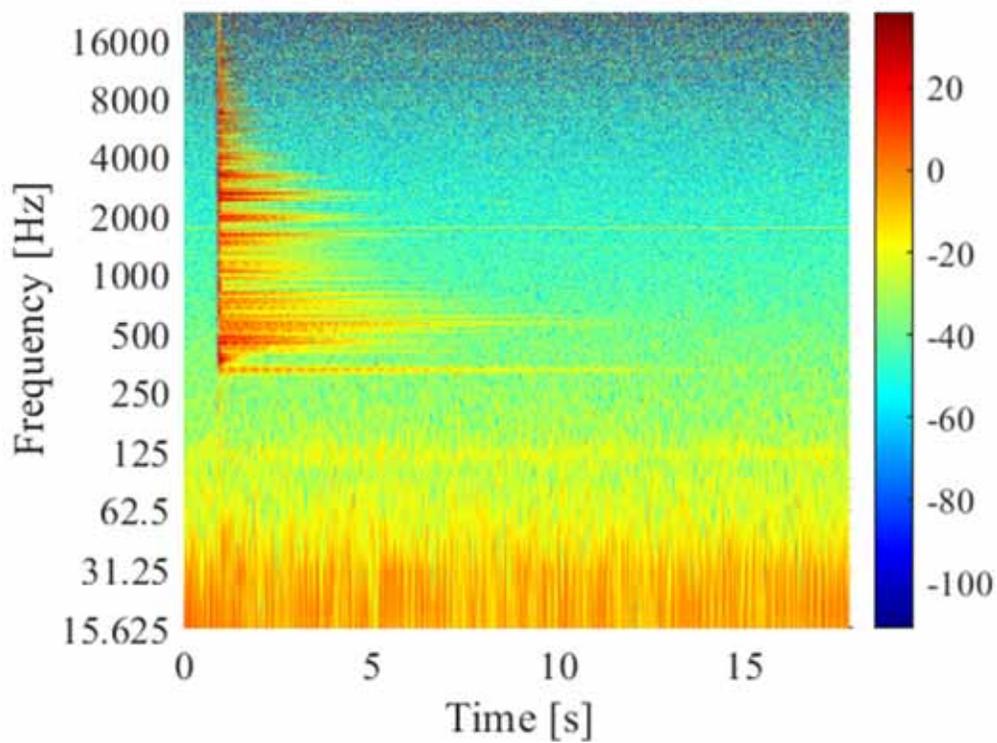


図 30 シンバル (カップ音) のスペクトログラム

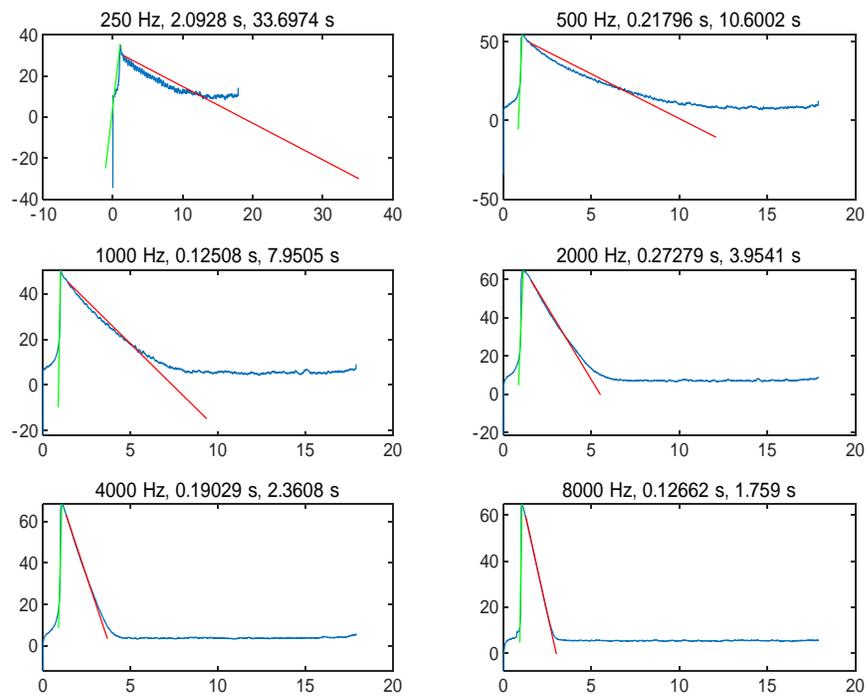


図 31 シンバル（カップ音）の音の立ち上がりと余韻のグラフ

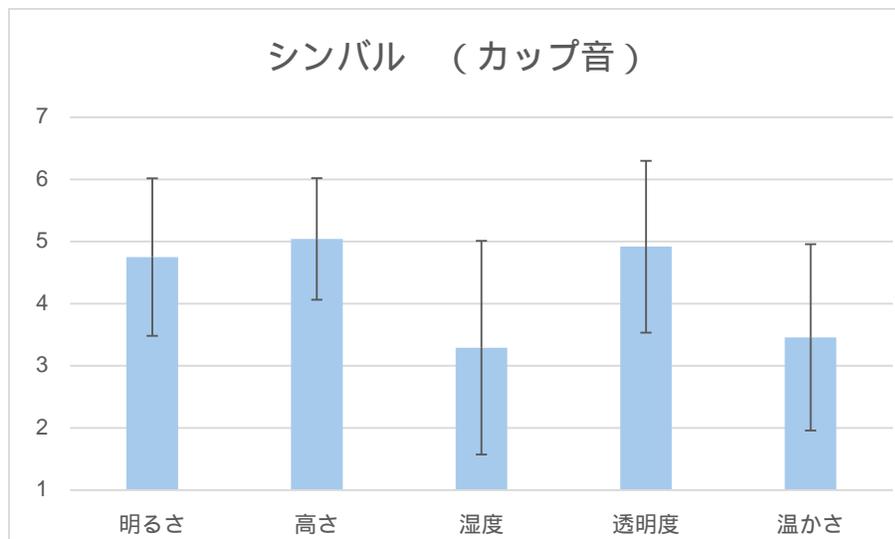


図 32 シンバル (カップ音) のアンケート結果

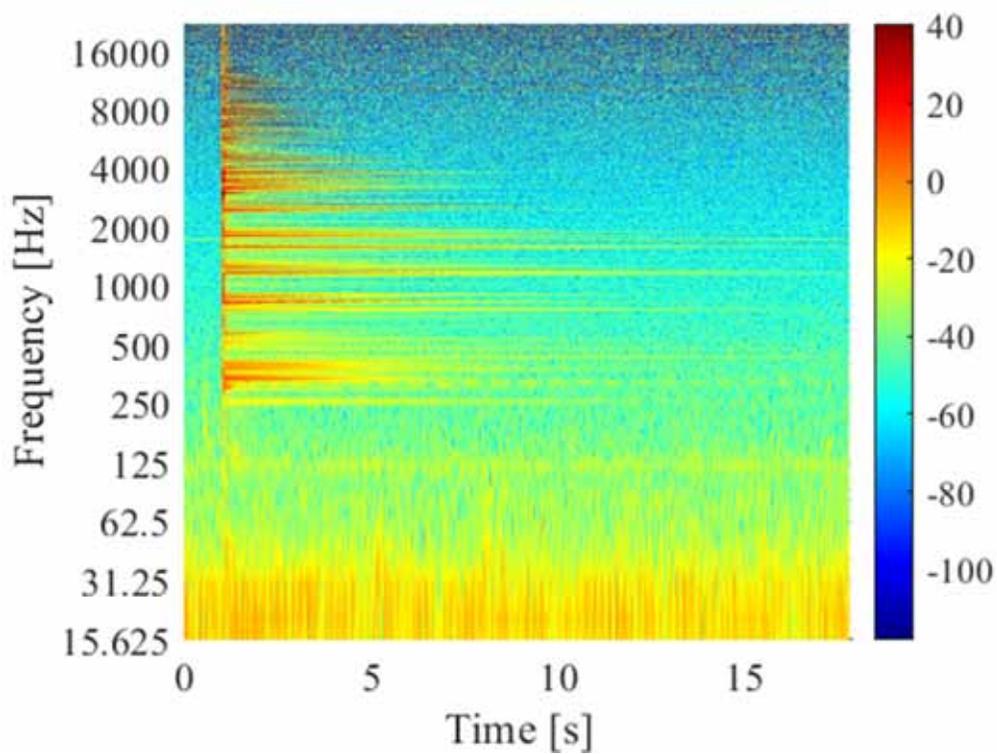


図 33 シンバル (カップ音) のスペクトログラム

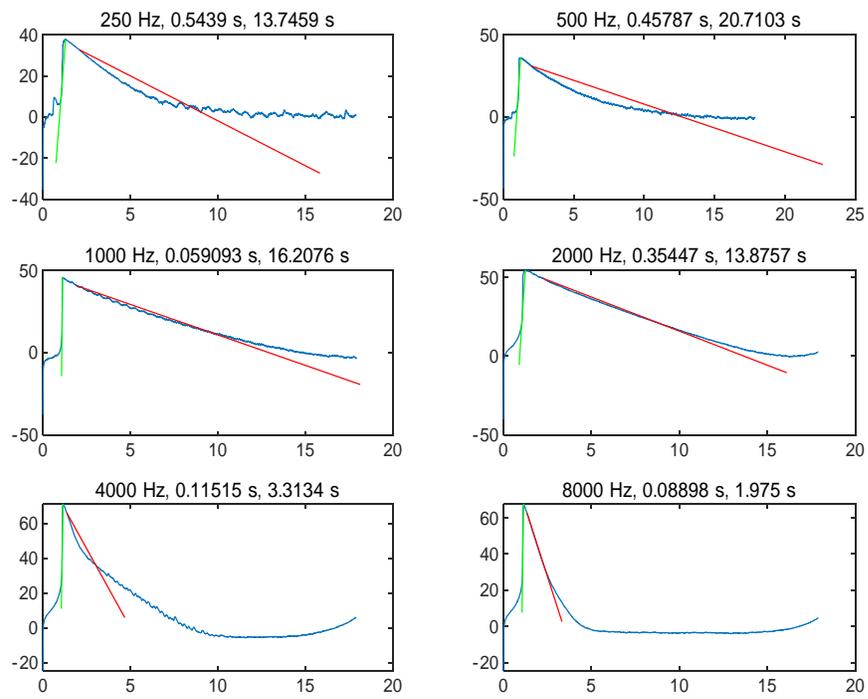


図 34 シンバル（カップ音）の音の立ち上がりと余韻のグラフ

・ボウ音

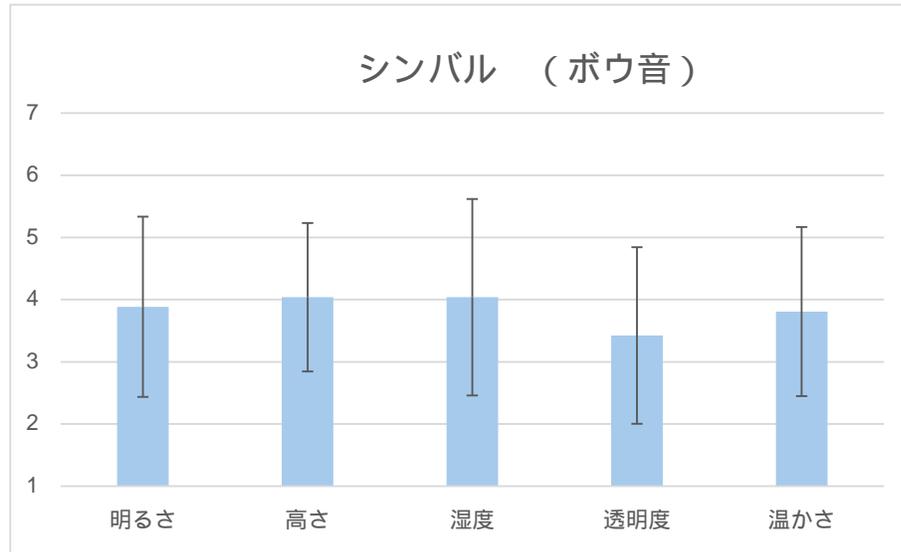


図 35 シンバル (ボウ音) のアンケート結果

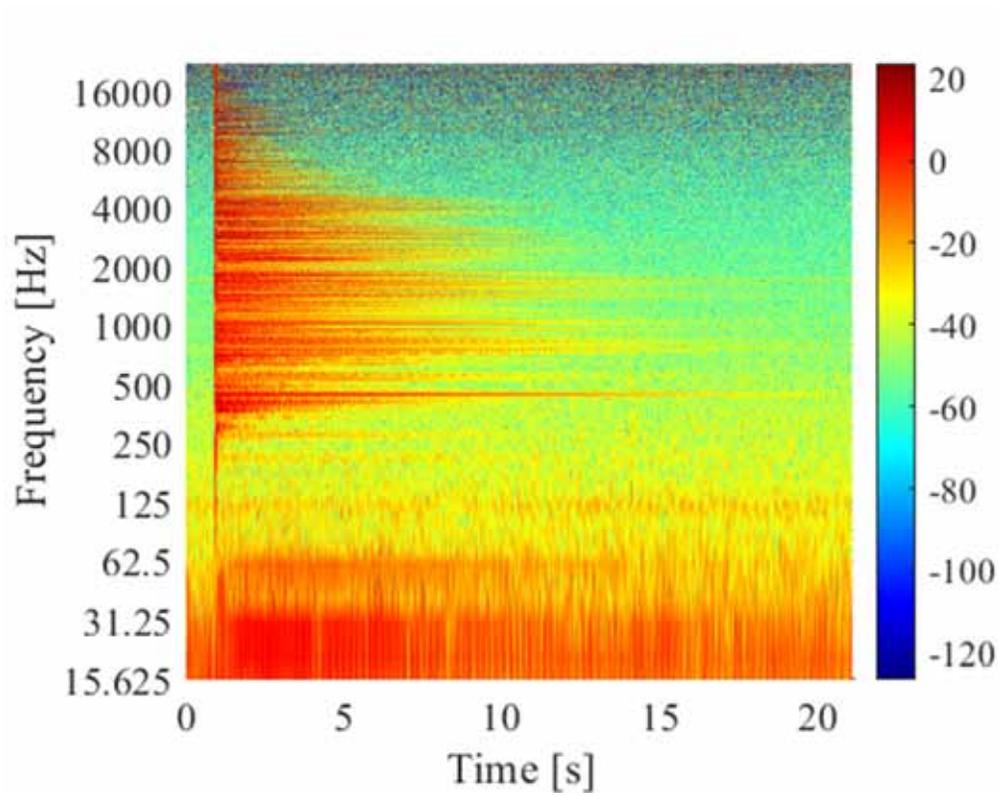


図 36 シンバル (ボウ音) のスペクトログラム

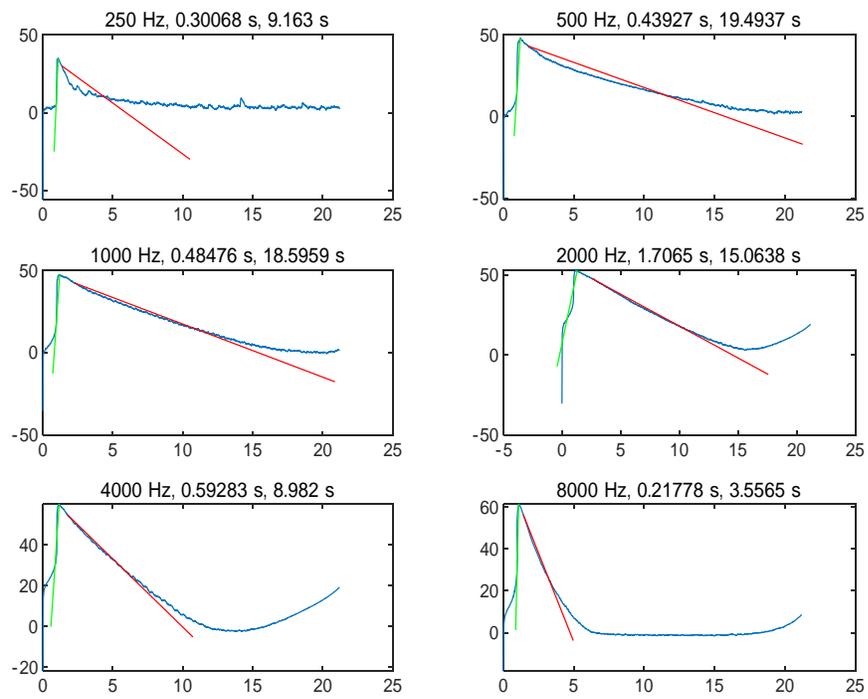


図 37 シンバル（ボウ音）の音の立ち上がりと余韻のグラフ

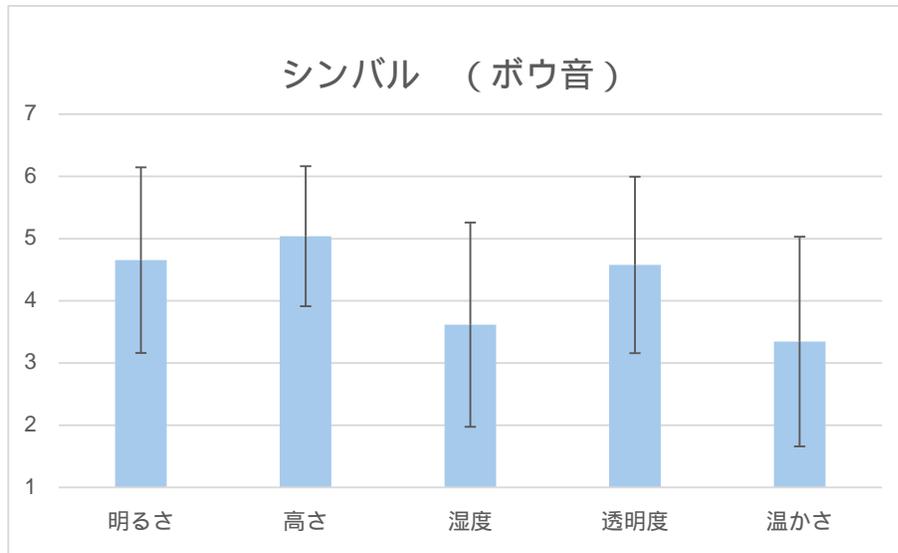


図 38 シンバル (ボウ音) のアンケート結果

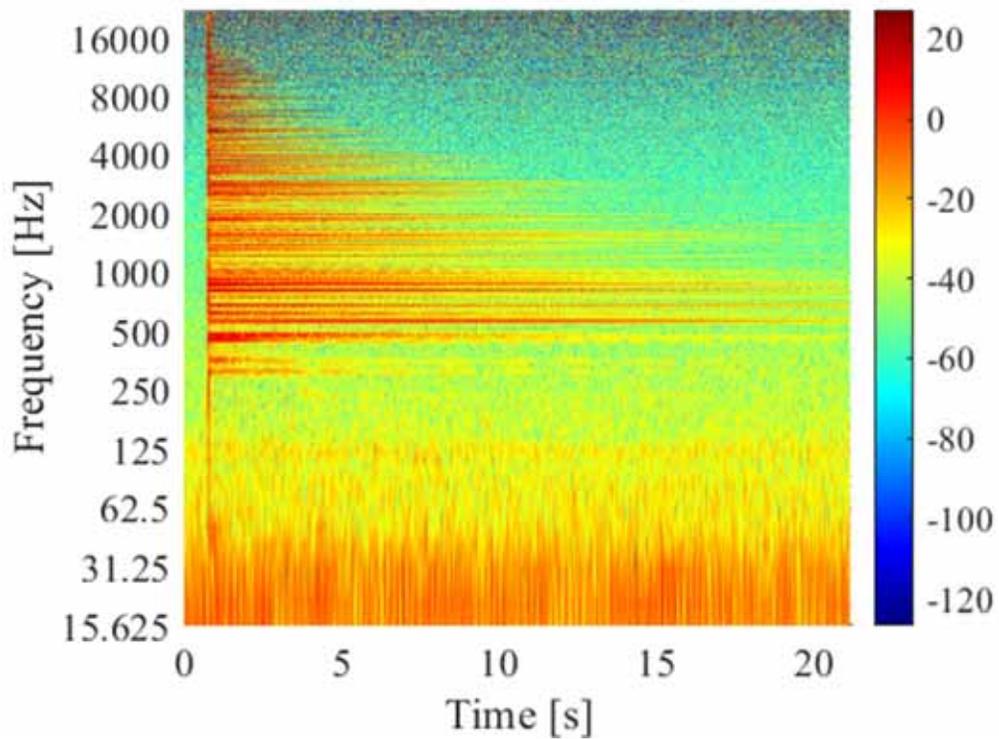


図 39 シンバル (ボウ音) のスペクトログラム

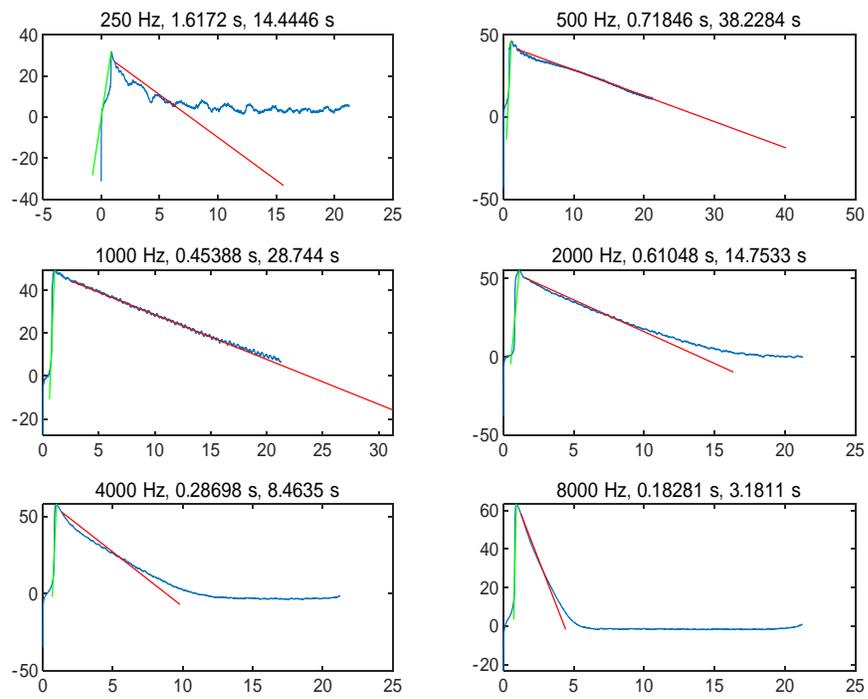


図 40 シンバル（ボウ音）の音の立ち上がりと余韻のグラフ

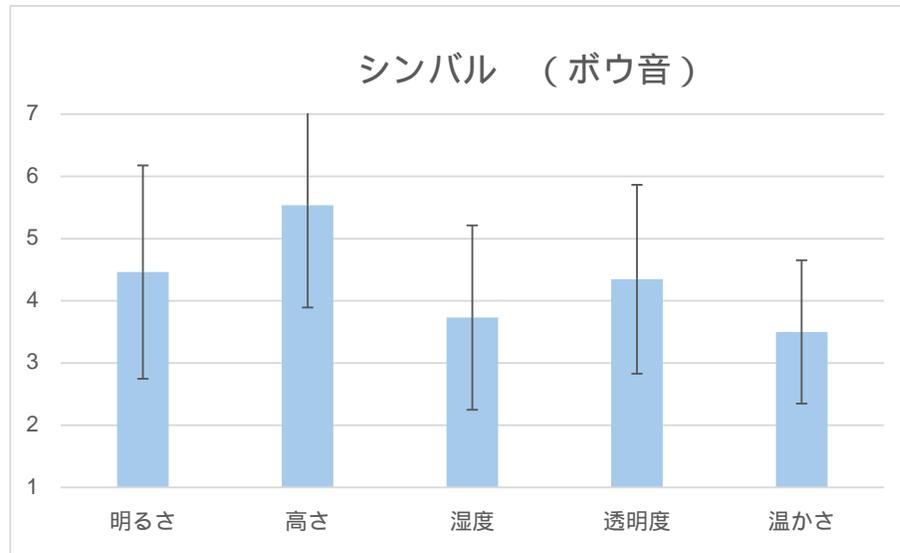


図 41 シンバル (ボウ音) のアンケート結果

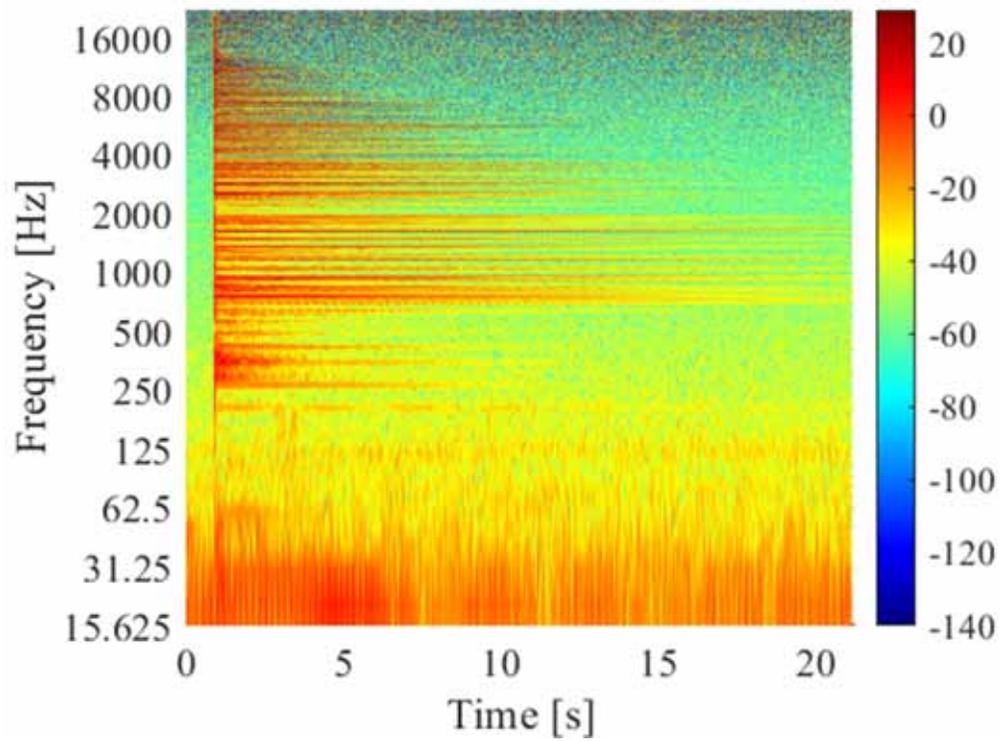


図 42 シンバル (ボウ音) のスペクトログラム

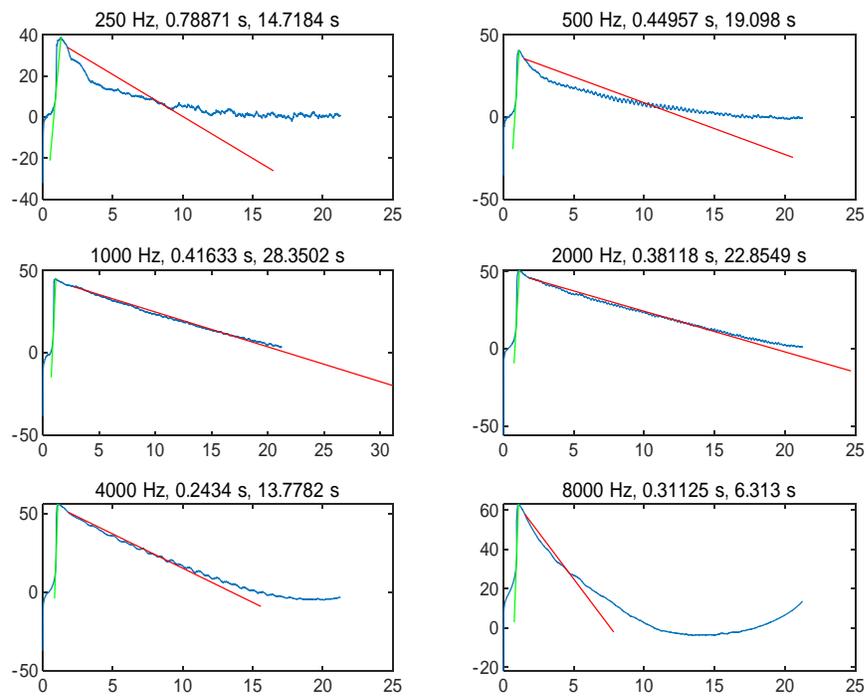


図 43 シンバル（ボウ音）の音の立ち上がりと余韻のグラフ

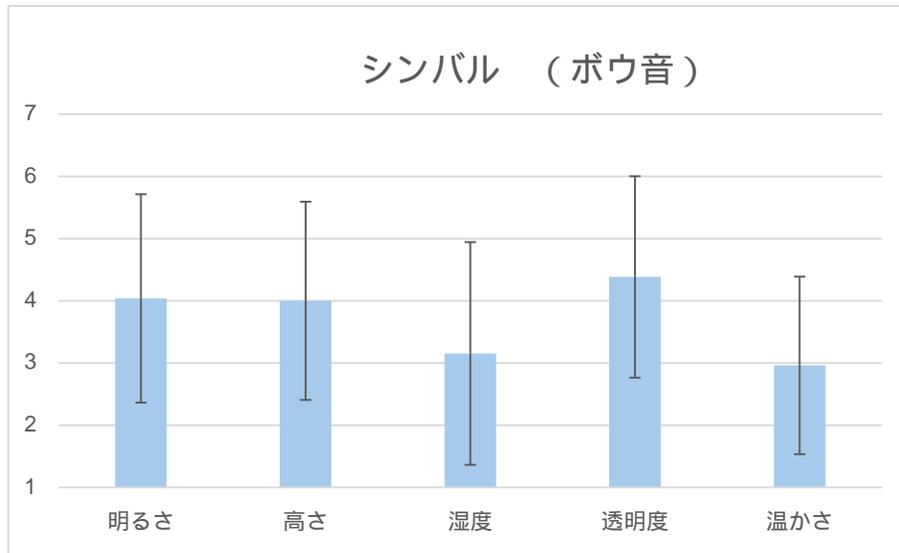


図 44 シンバル (ボウ音) のアンケート結果

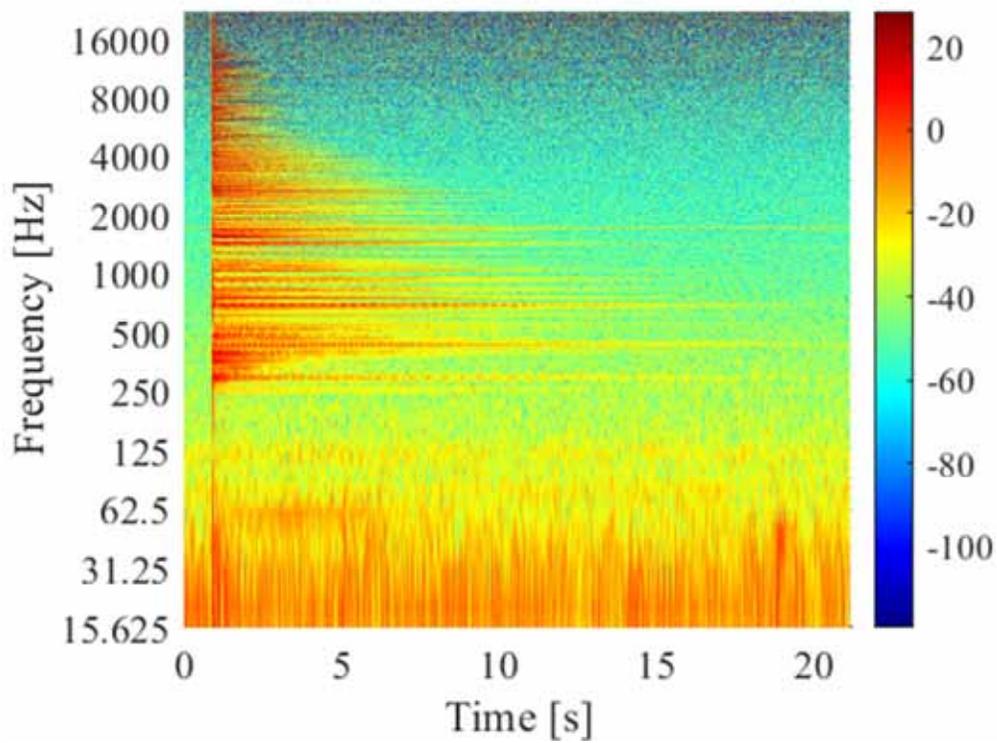


図 45 シンバル (ボウ音) のスペクトログラム

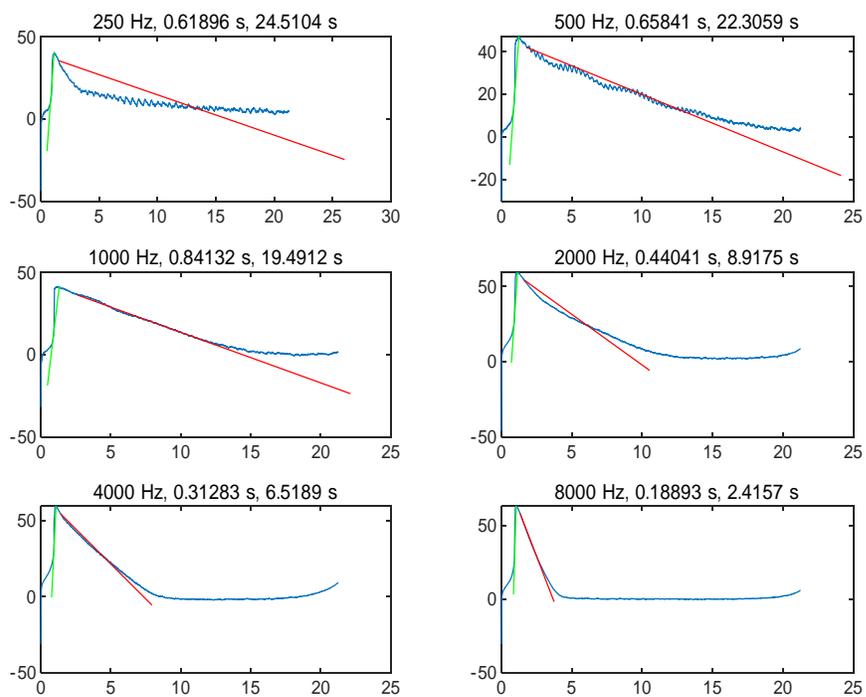


図 46 シンバル（ボウ音）の音の立ち上がりと余韻のグラフ

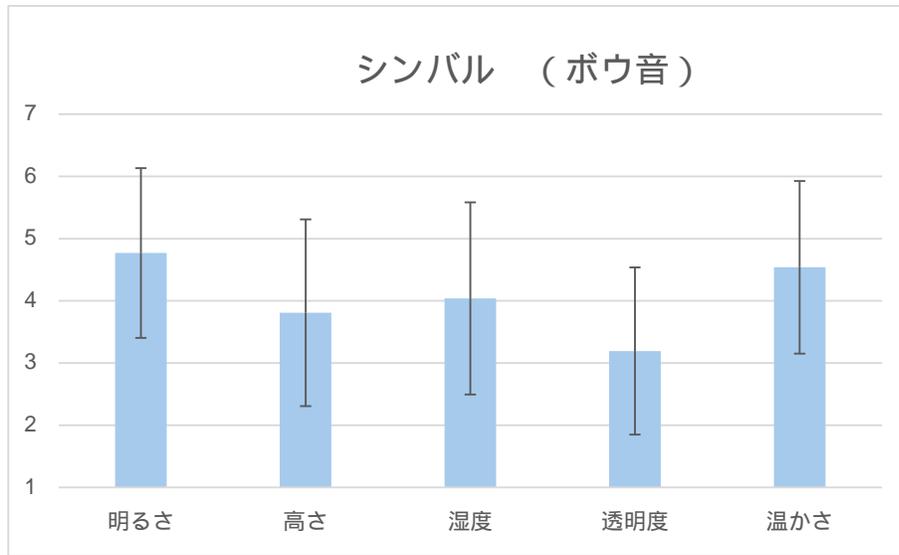


図 47 シンバル (ボウ音) のアンケート結果

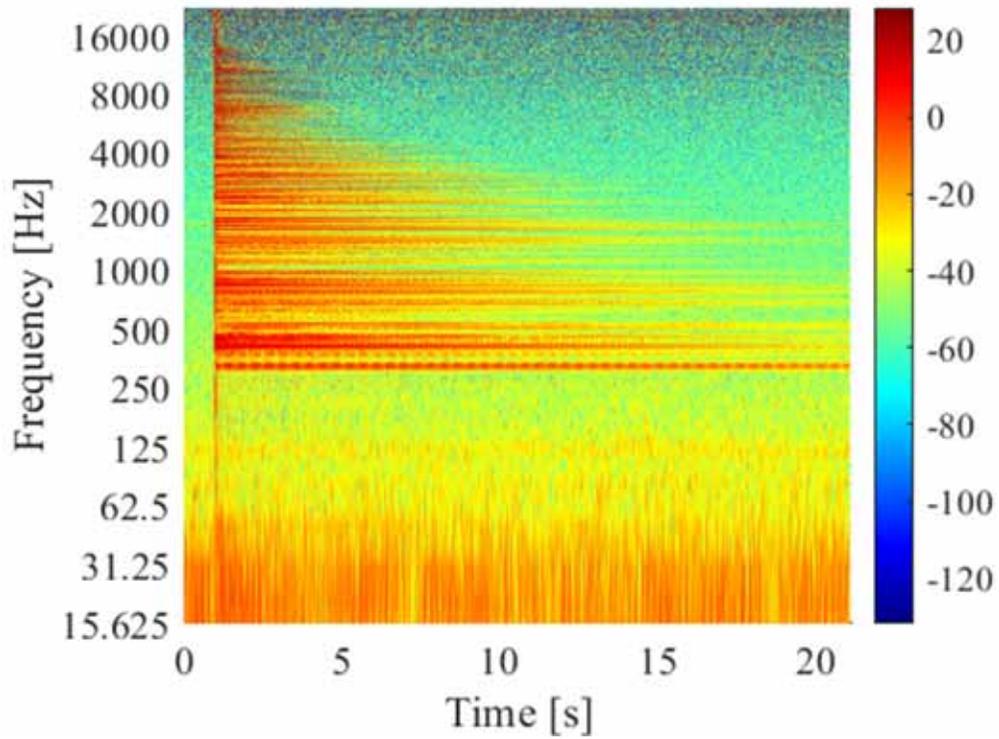


図 48 シンバル (ボウ音) のスペクトログラム

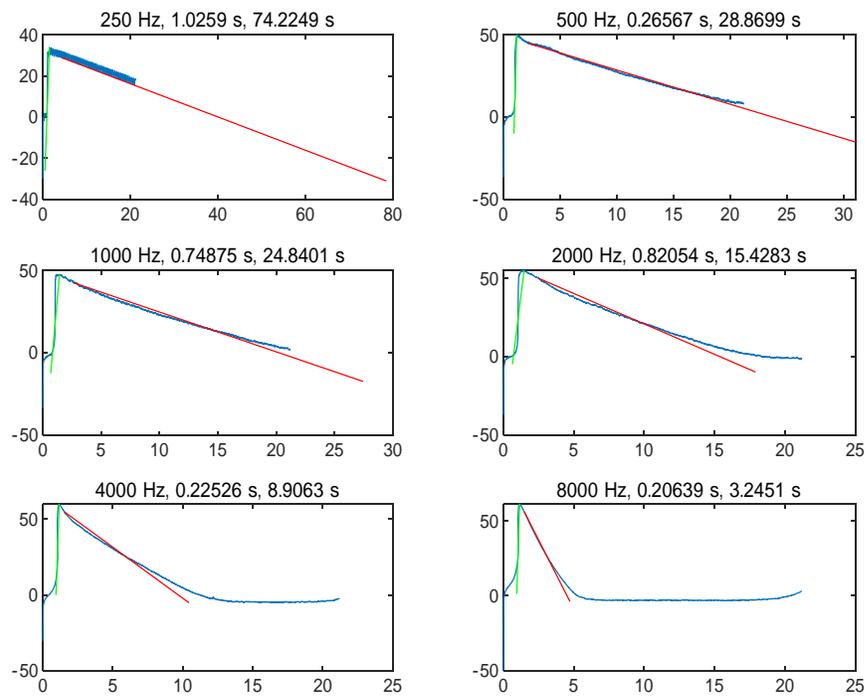


図 49 シンバル（ボウ音）の音の立ち上がりと余韻のグラフ

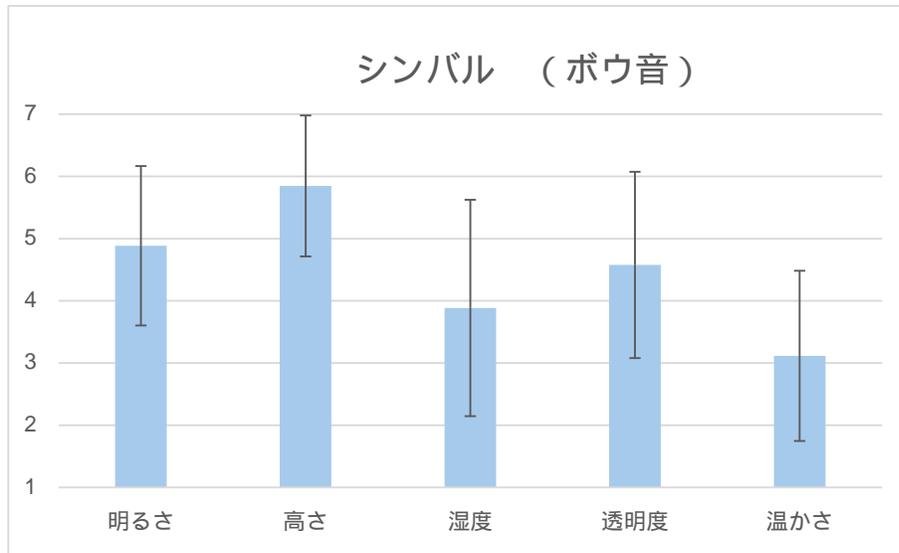


図 50 シンバル (ボウ音) のアンケート結果

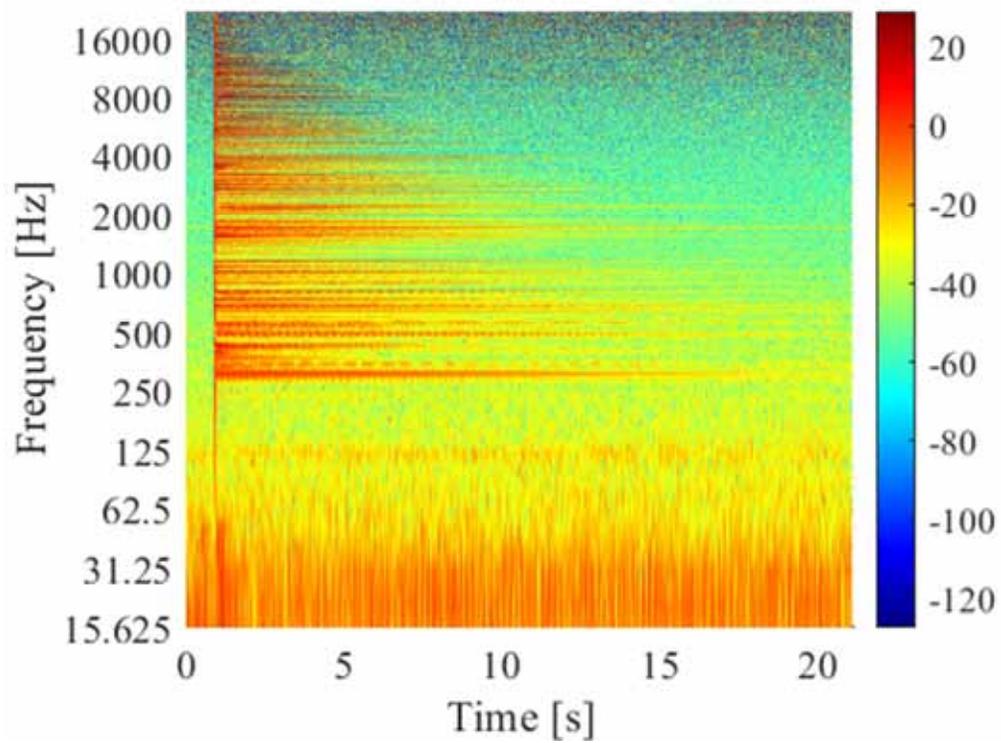


図 51 シンバル (ボウ音) のスペクトログラム

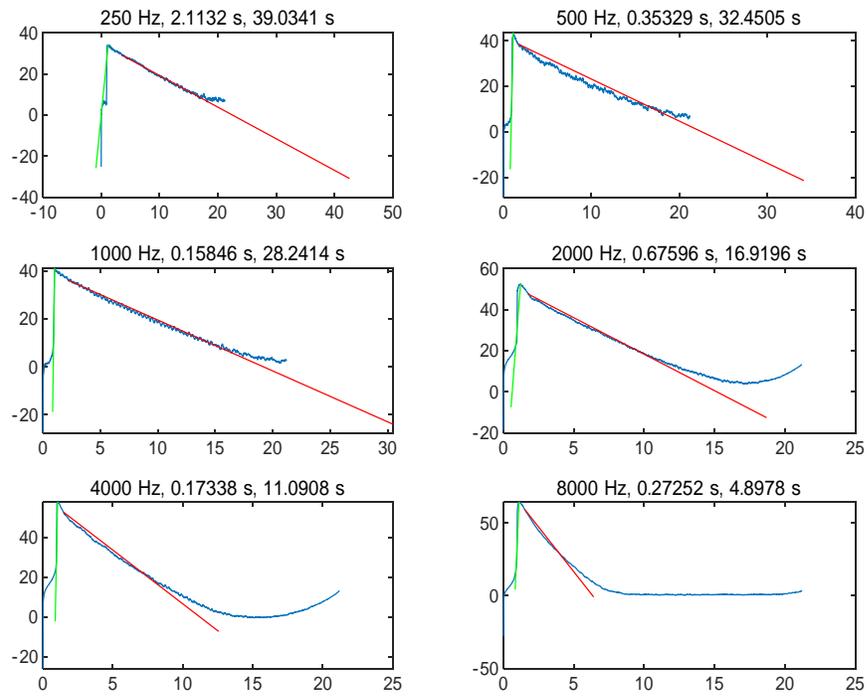


図 52 シンバル（ボウ音）の音の立ち上がりと余韻のグラフ

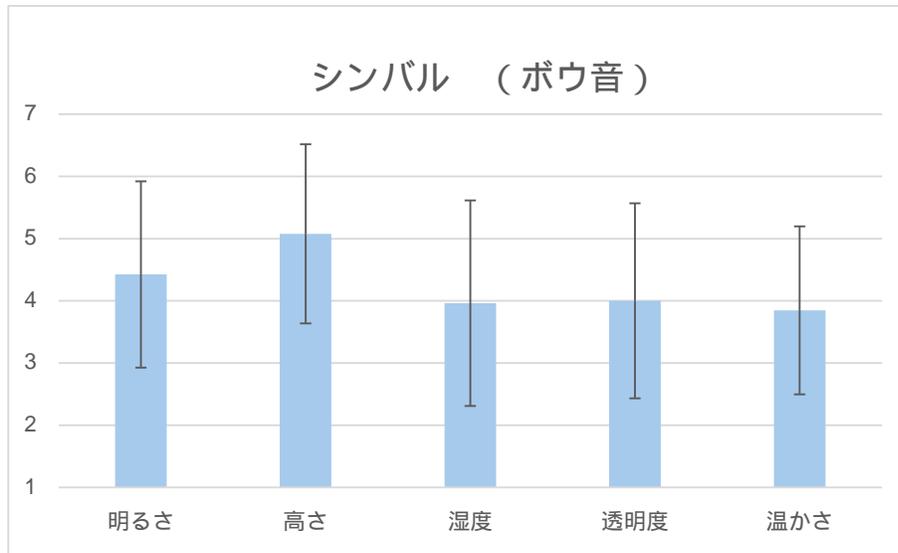


図 53 シンバル (ボウ音) のアンケート結果

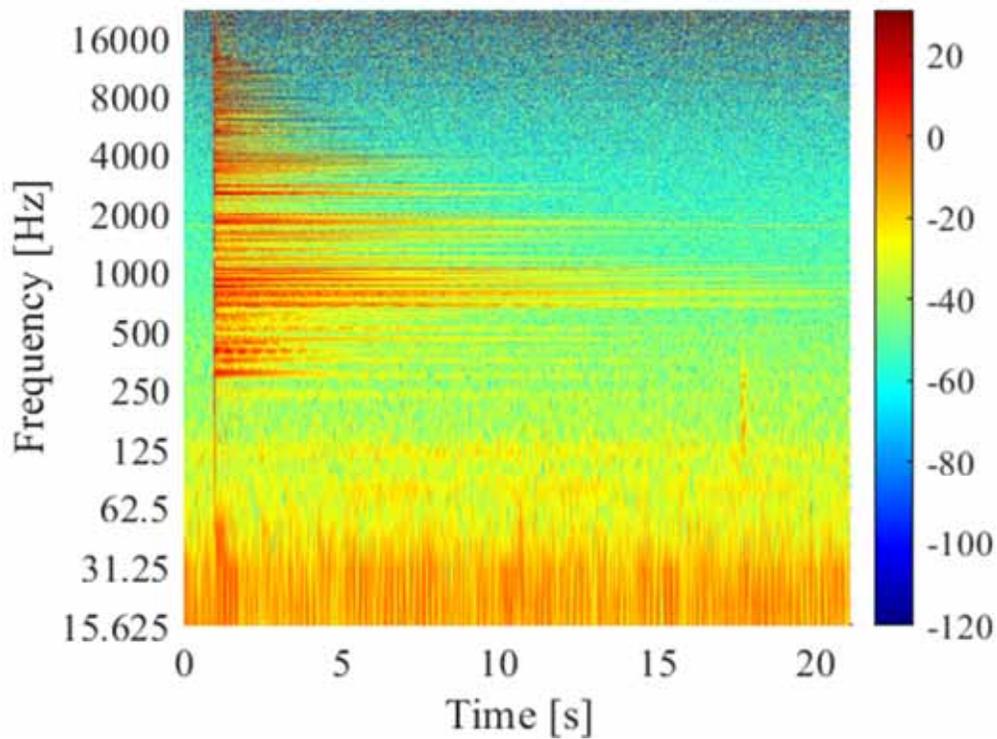


図 54 シンバル (ボウ音) のスペクトログラム

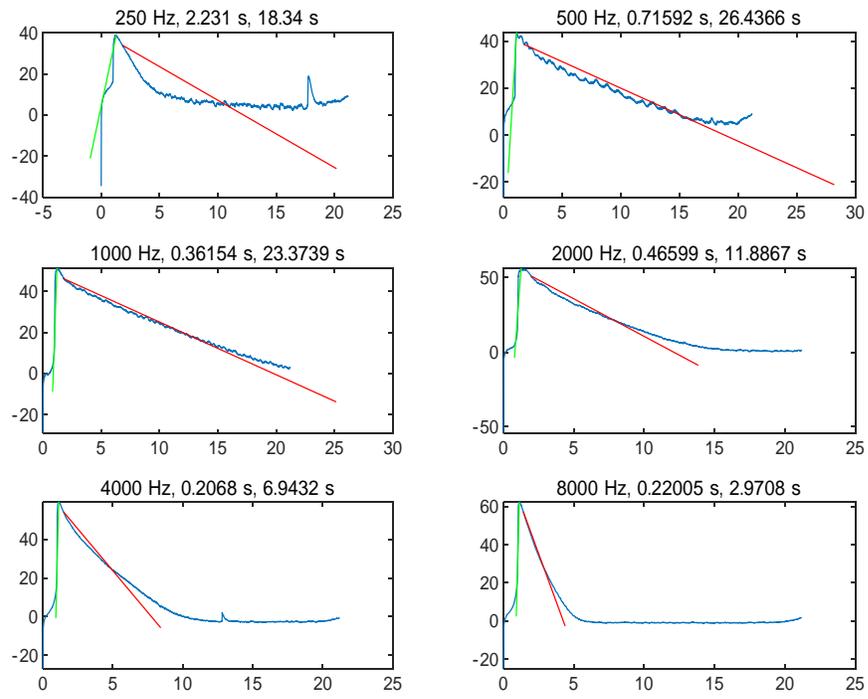


図 55 シンバル（ボウ音）の音の立ち上がりと余韻のグラフ

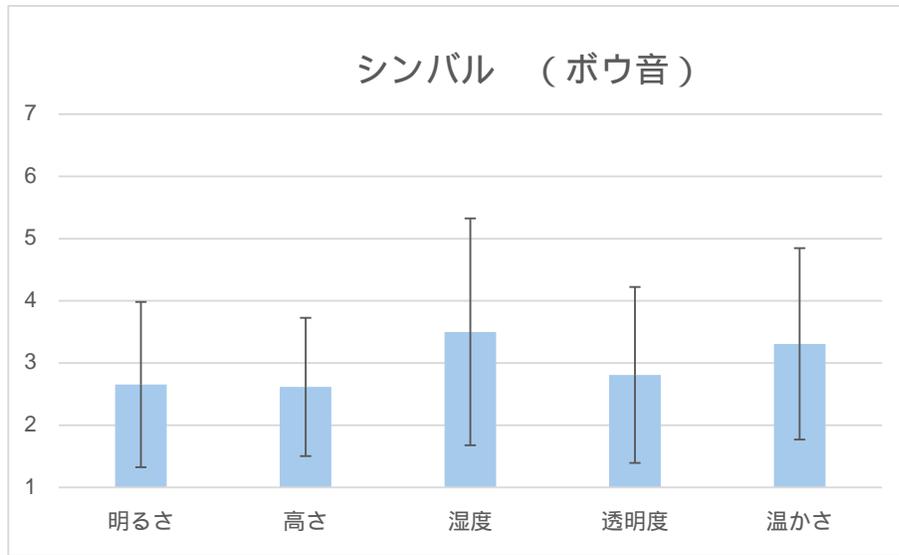


図 56 シンバル (ボウ音) のアンケート結果

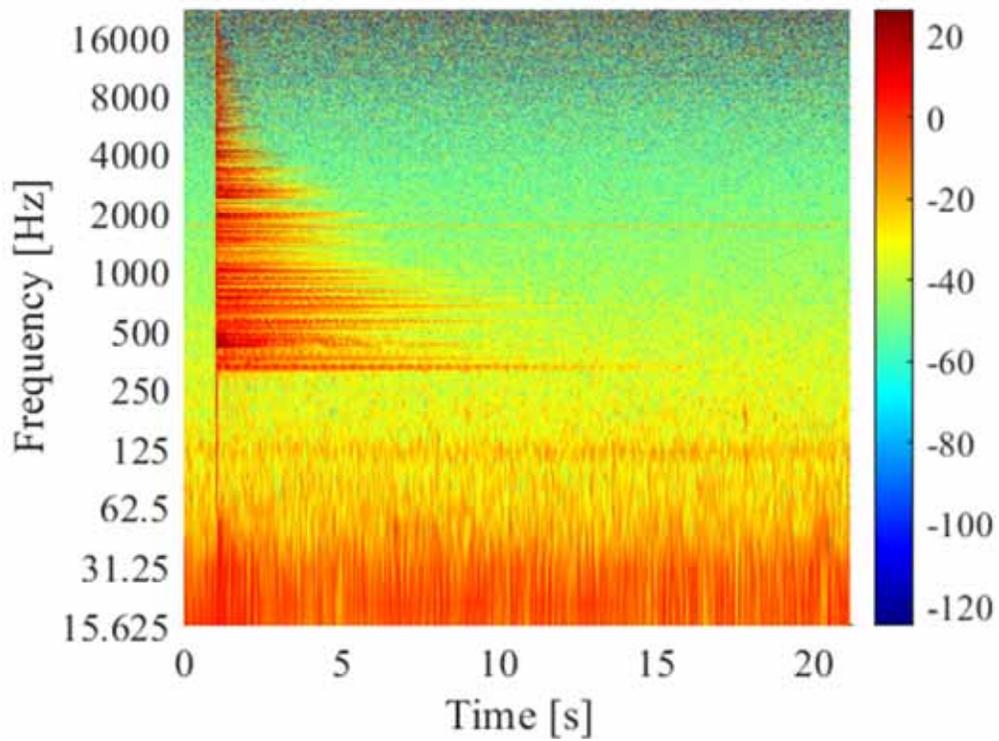


図 57 シンバル (ボウ音) のスペクトログラム

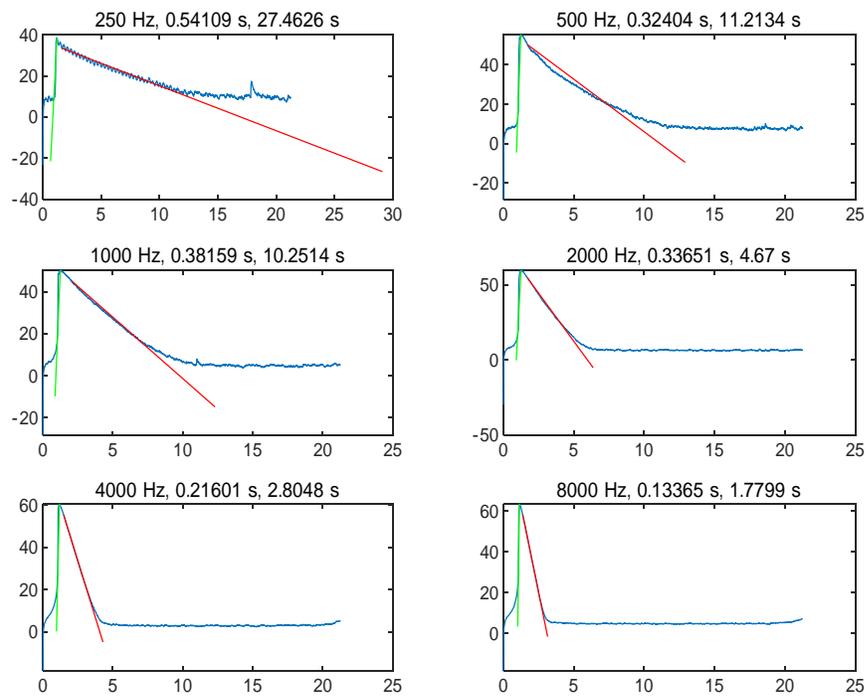


図 58 シンバル（ボウ音）の音の立ち上がりと余韻のグラフ

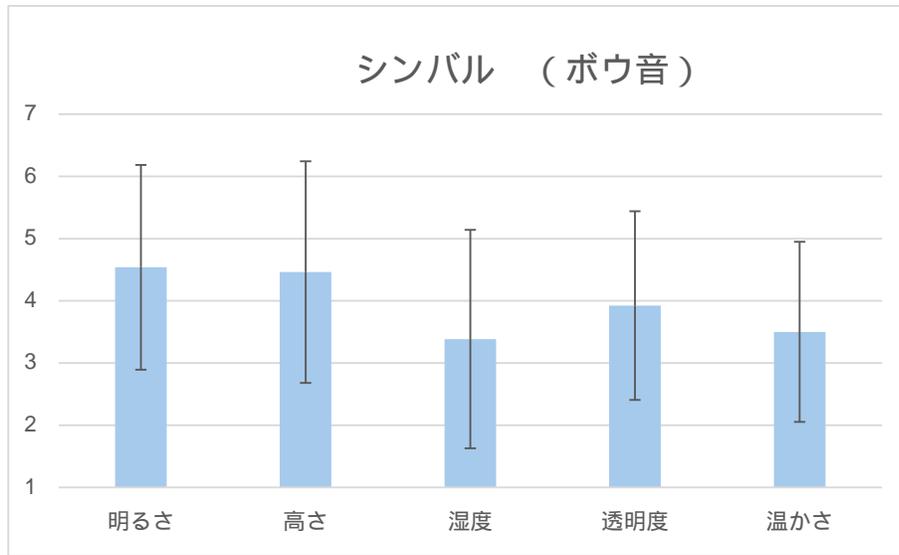


図 59 シンバル (ボウ音) のアンケート結果

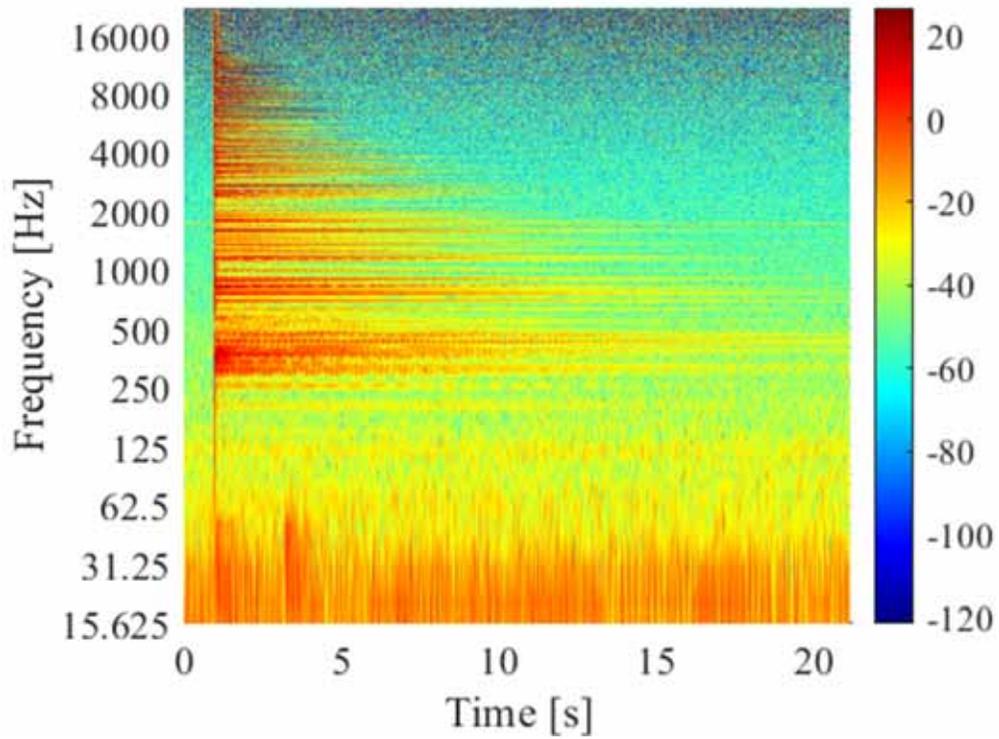


図 60 シンバル (ボウ音) のスペクトログラム

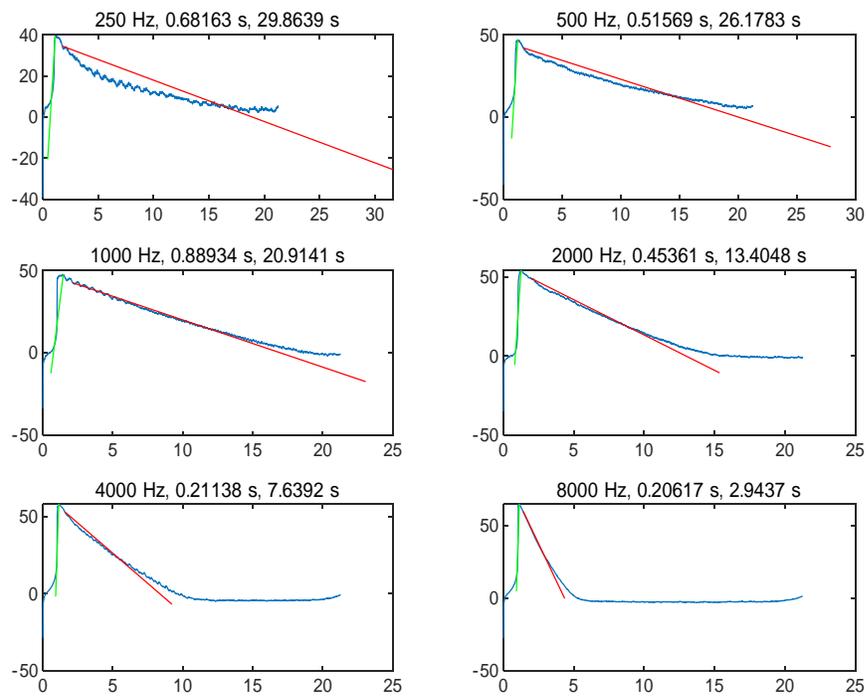


図 61 シンバル（ボウ音）の音の立ち上がりと余韻のグラフ

・エッジ音

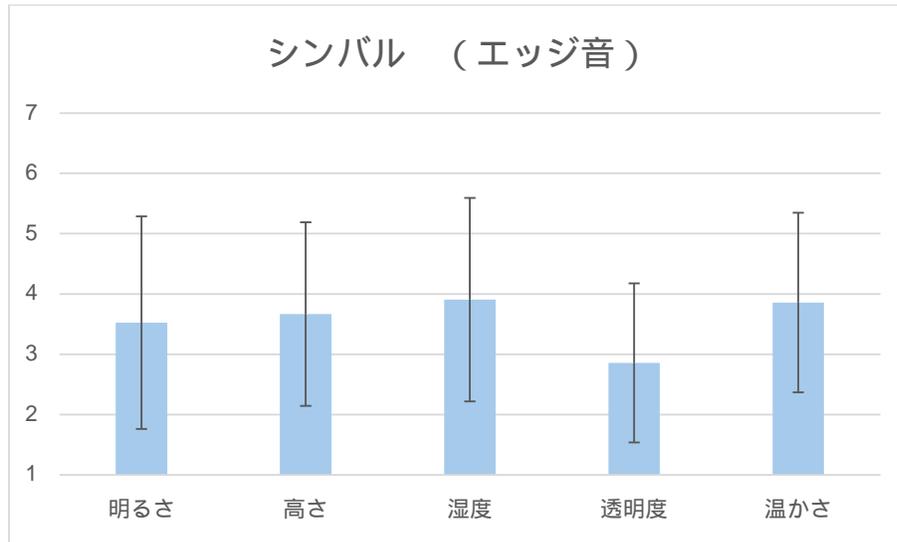


図 62 シンバル (エッジ音) のアンケート結果

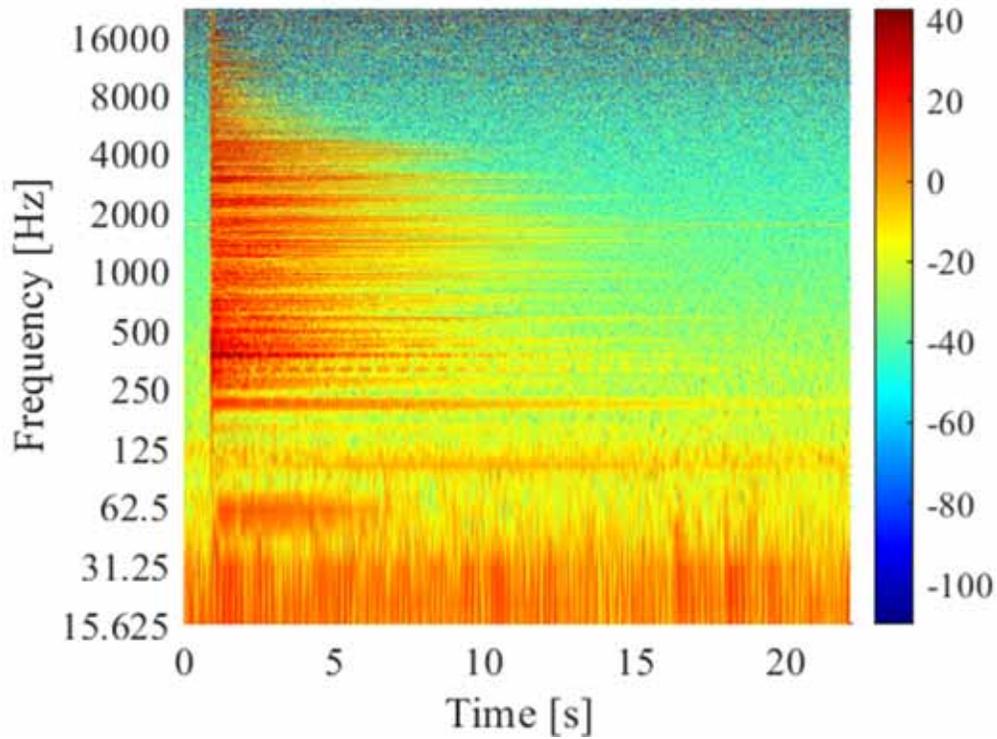


図 63 シンバル (エッジ音) のスペクトログラム

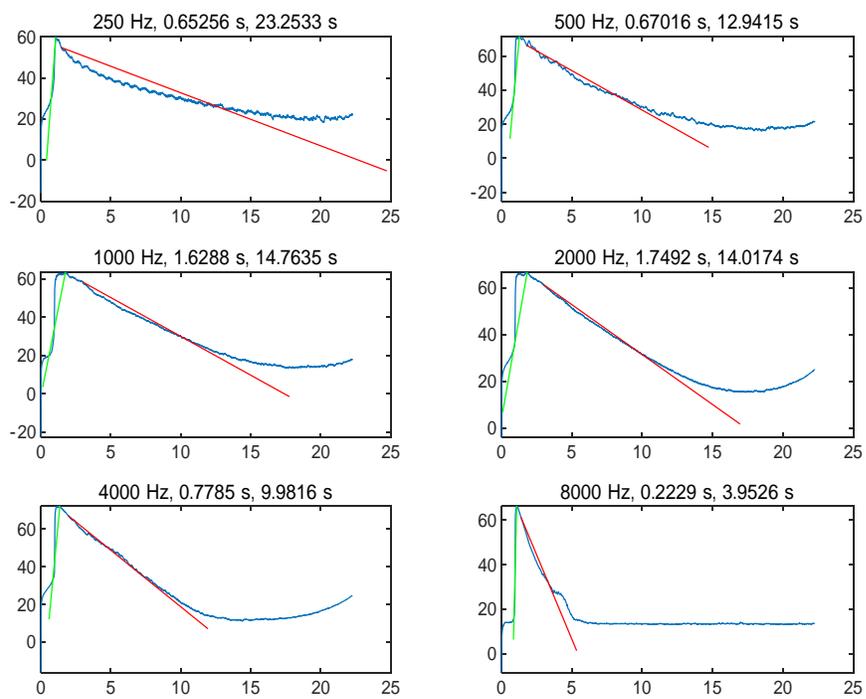


図 64 シンバル（エッジ音）の音の立ち上がりと余韻のグラフ

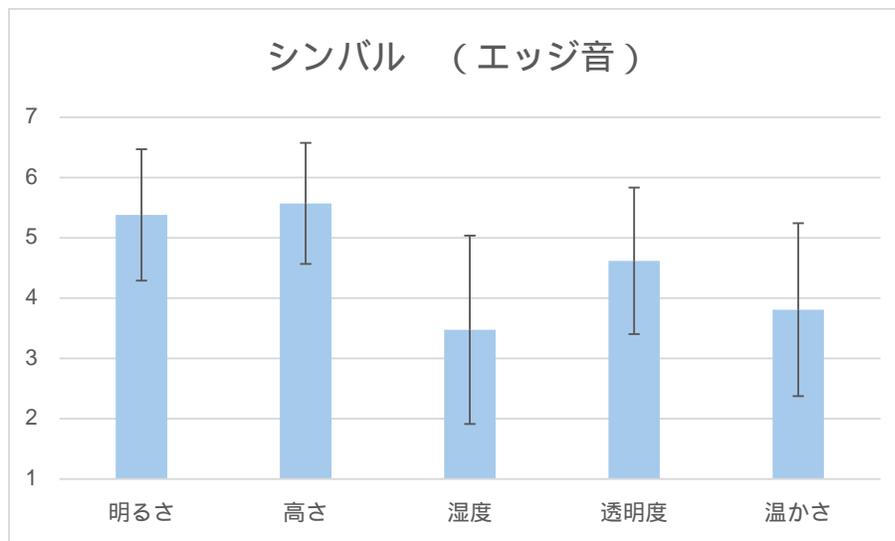


図 65 シンバル (エッジ音) のアンケート結果

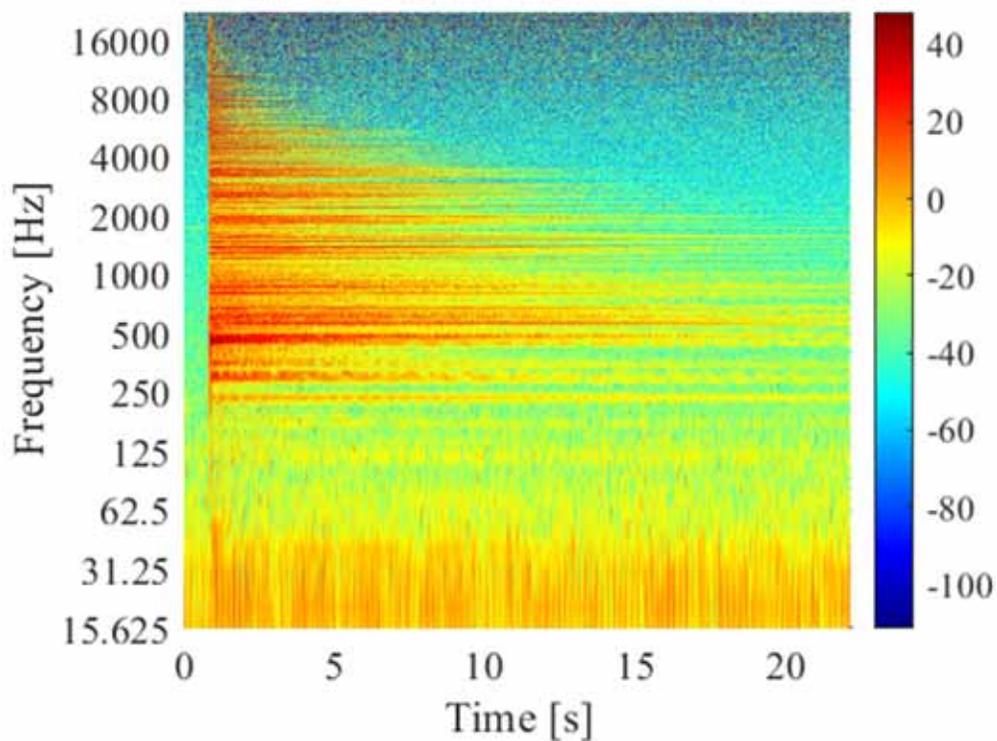


図 66 シンバル (エッジ音) のスペクトログラム

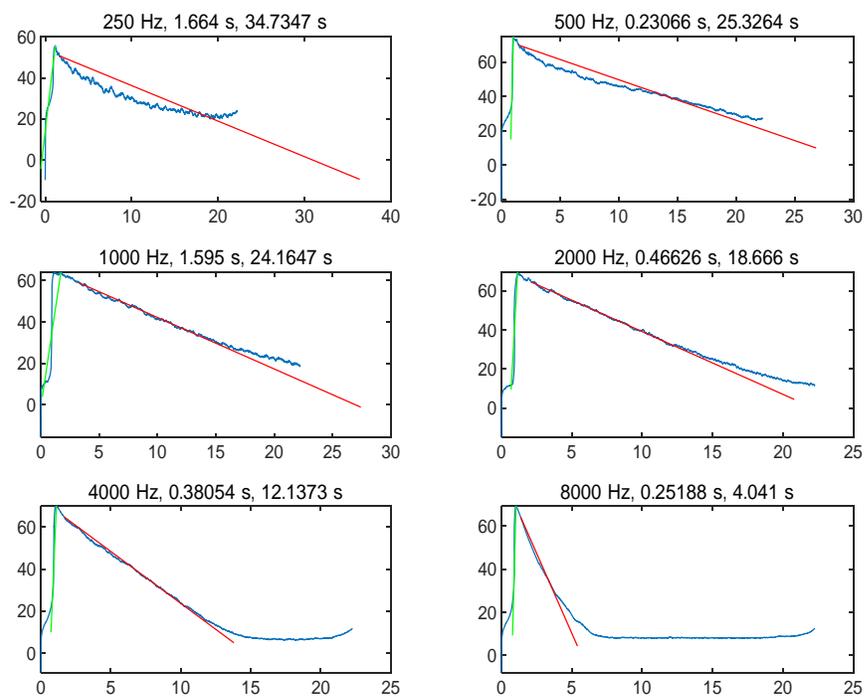


図 67 シンバル（エッジ音）の音の立ち上がりと余韻のグラフ

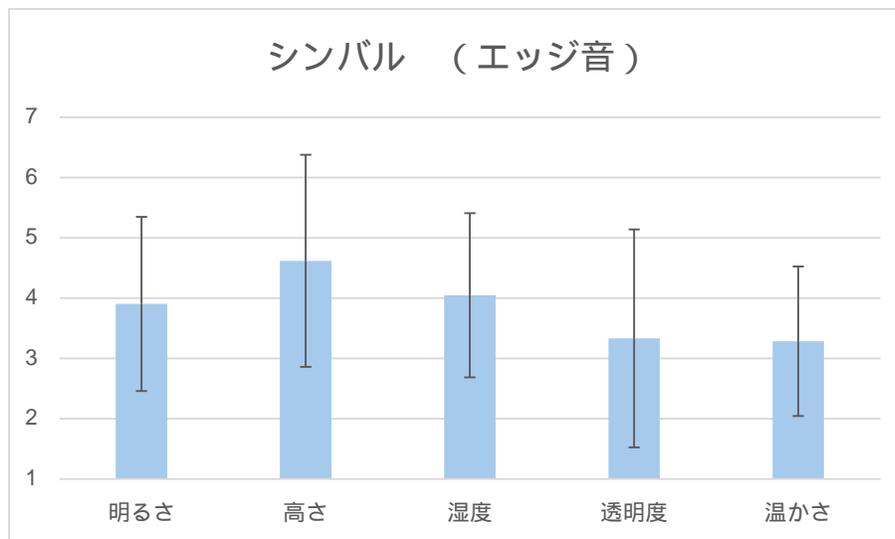


図 68 シンバル (エッジ音) のアンケート結果

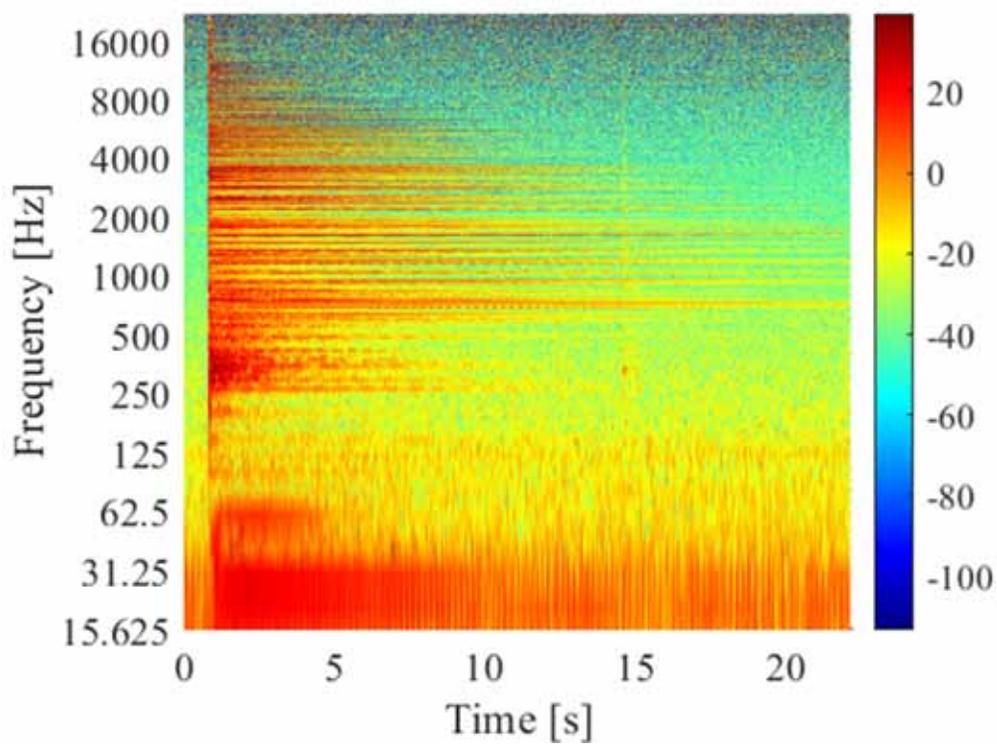


図 69 シンバル (エッジ音) のスペクトログラム

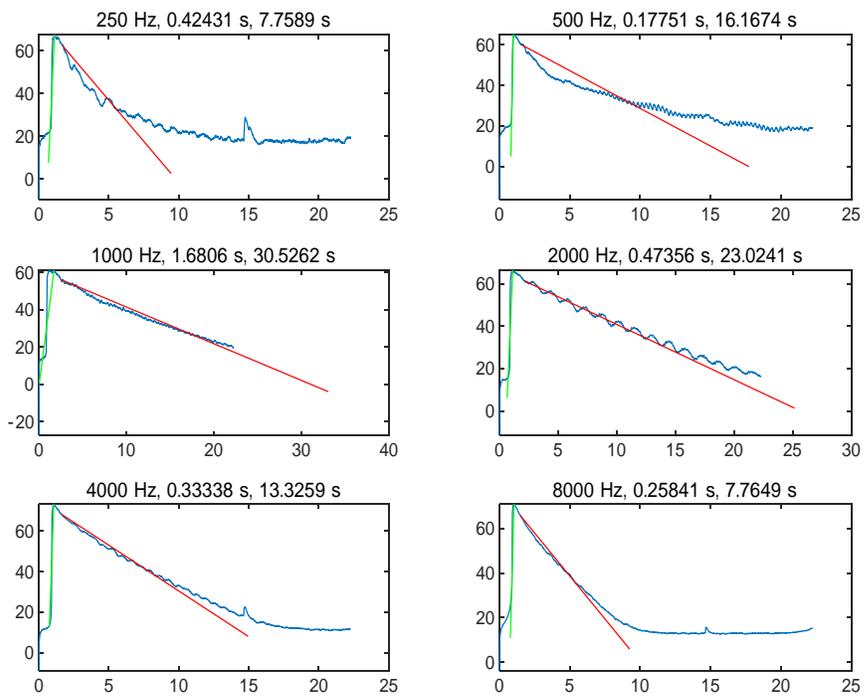


図 70 シンバル（エッジ音）の音の立ち上がりと余韻のグラフ

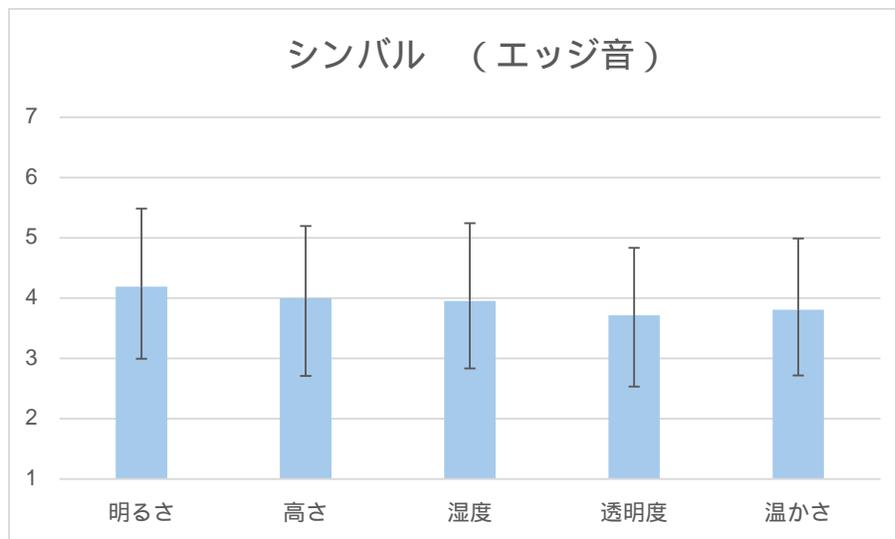


図 71 シンバル (エッジ音) のアンケート結果

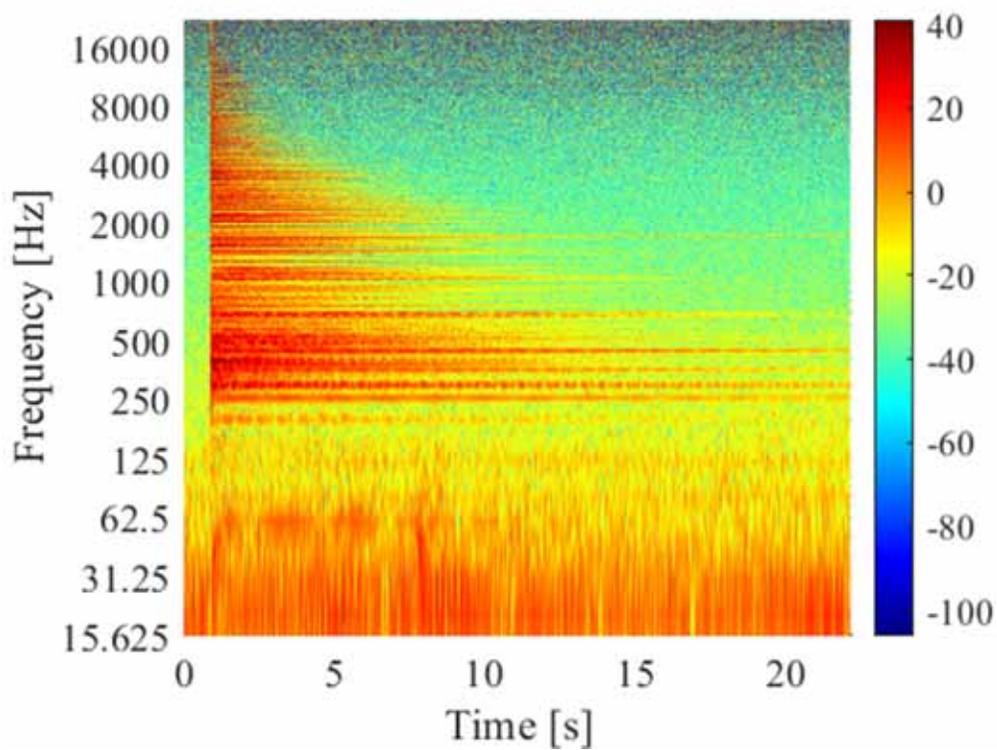


図 72 シンバル (エッジ音) のスペクトログラム

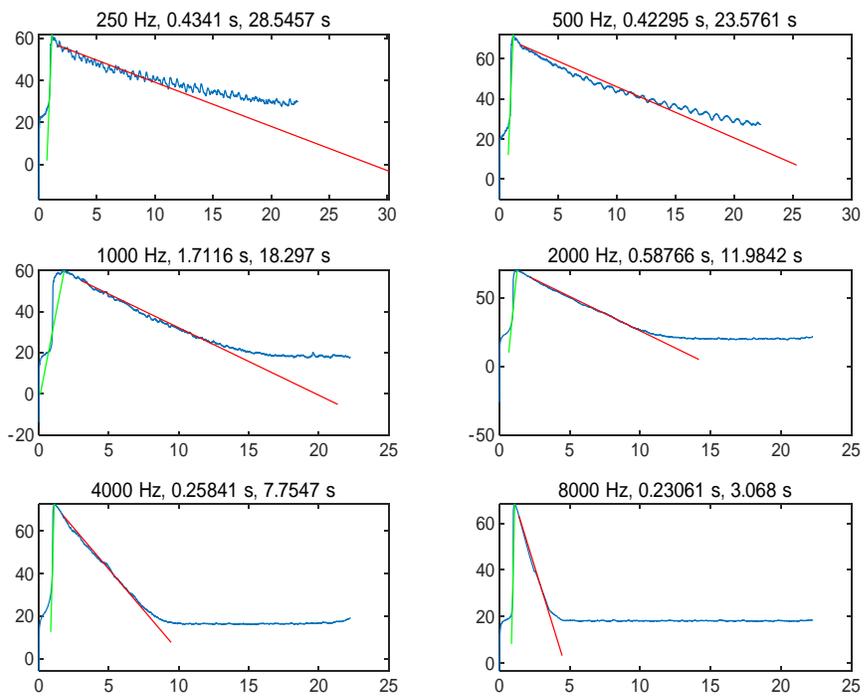


図 73 シンバル（エッジ音）の音の立ち上がりと余韻のグラフ

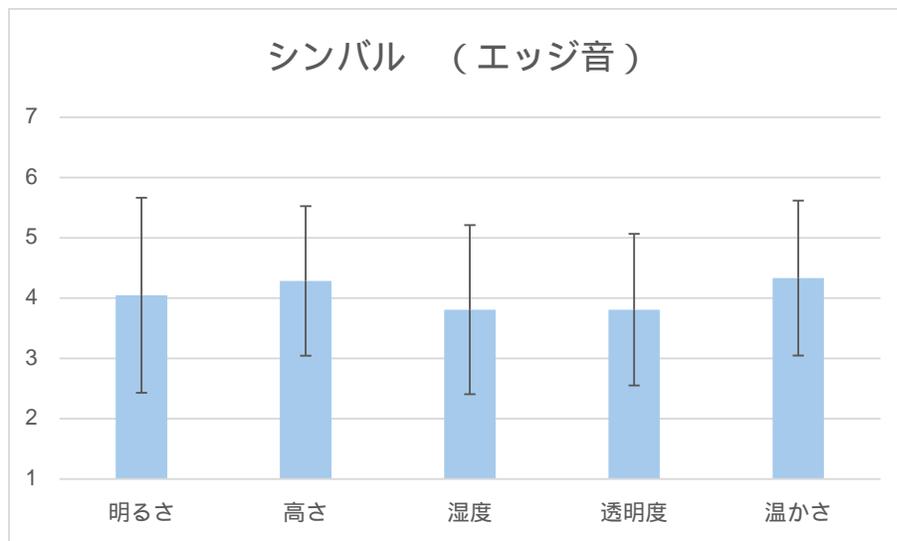


図 74 シンバル (エッジ音) のアンケート結果

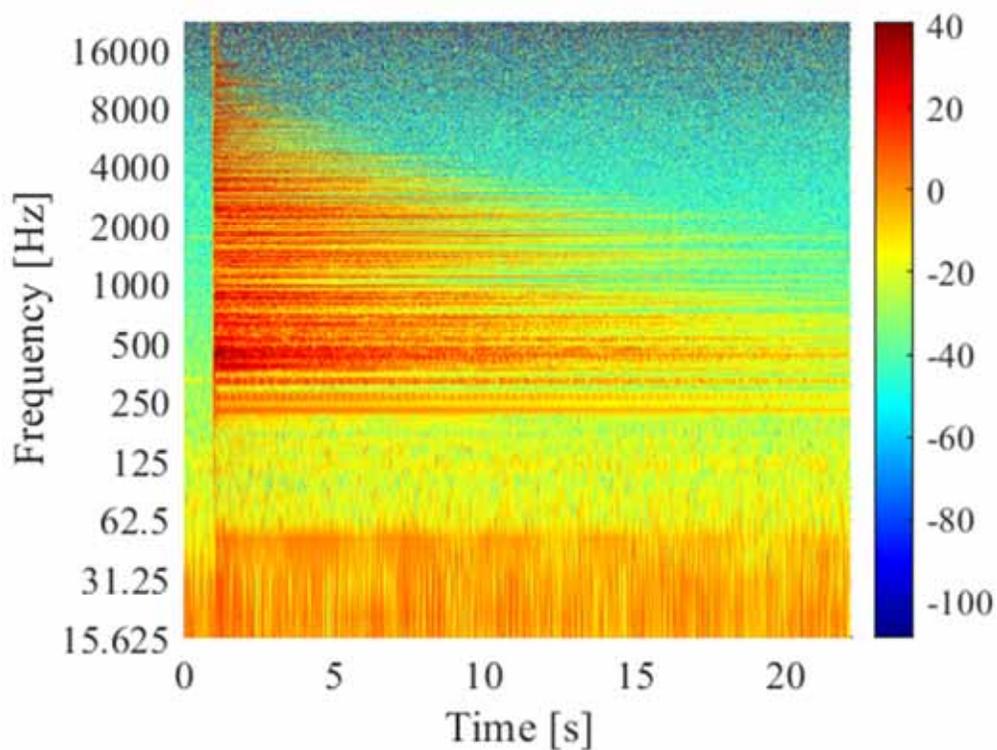


図 75 シンバル (エッジ音) のスペクトログラム

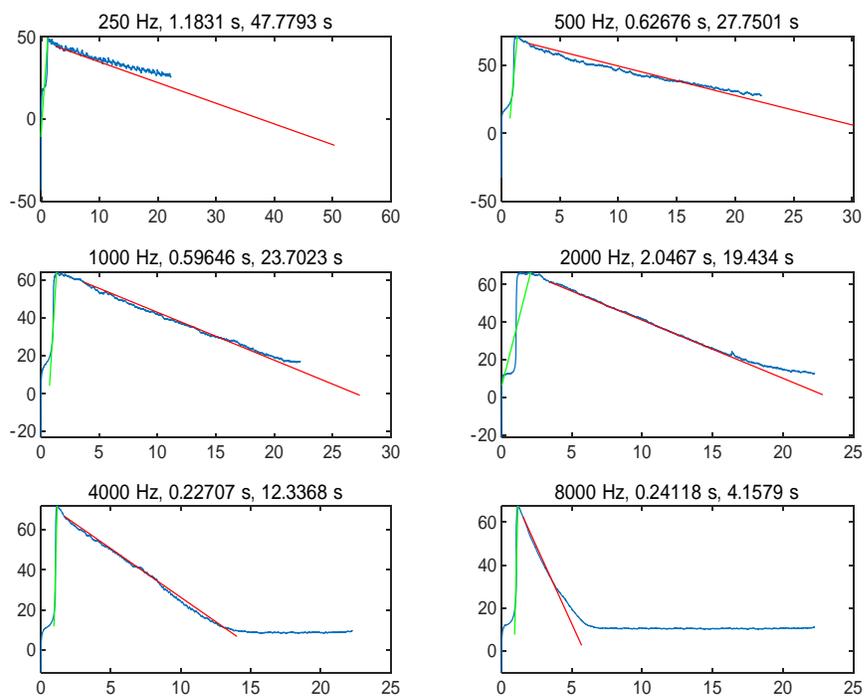


図 76 シンバル（エッジ音）の音の立ち上がりと余韻のグラフ

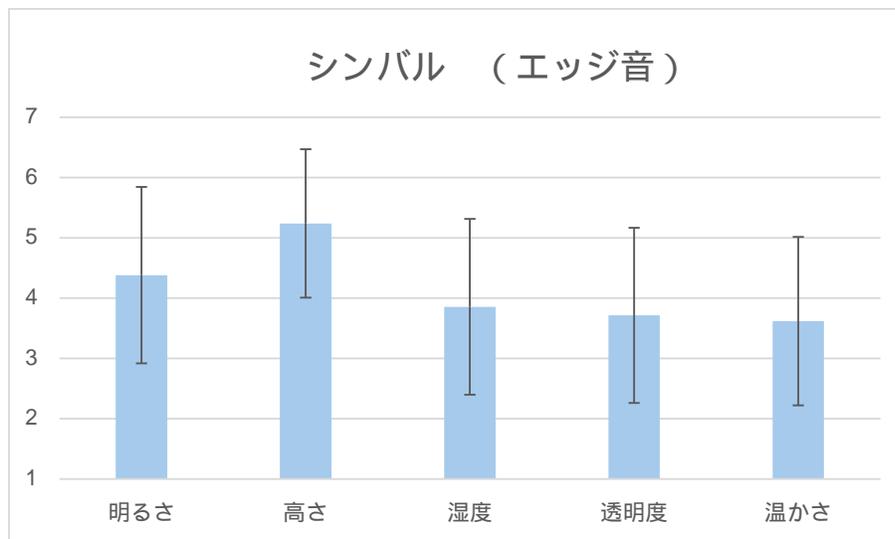


図 77 シンバル (エッジ音) のアンケート結果

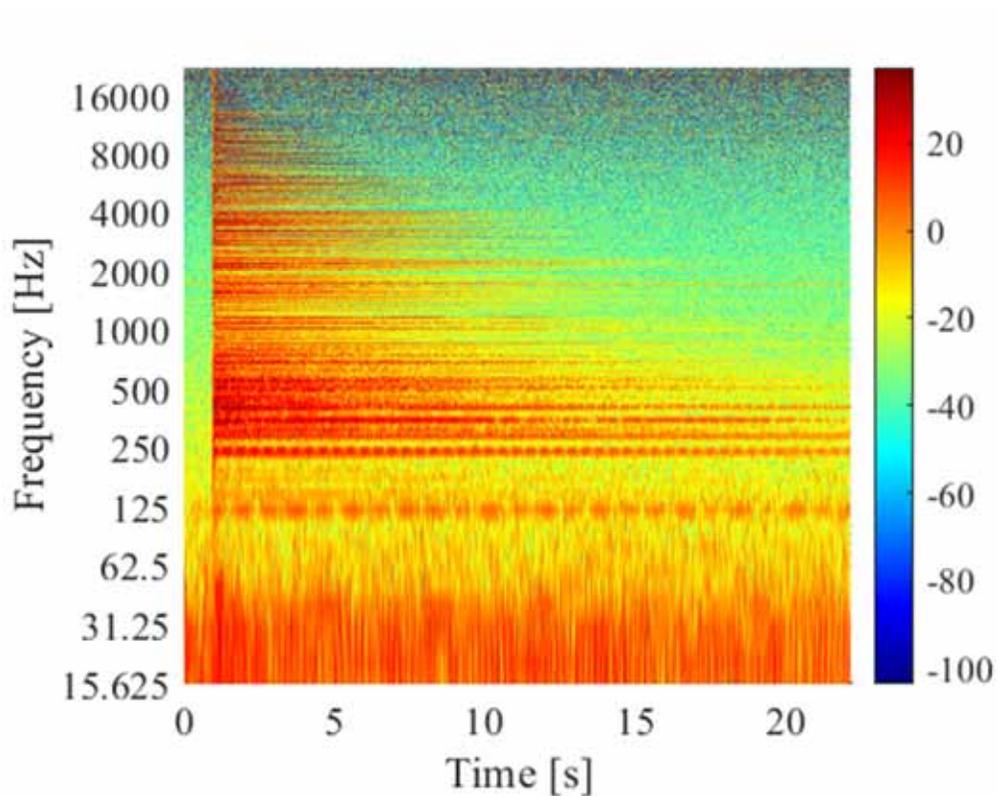


図 78 シンバル (エッジ音) のスペクトログラム

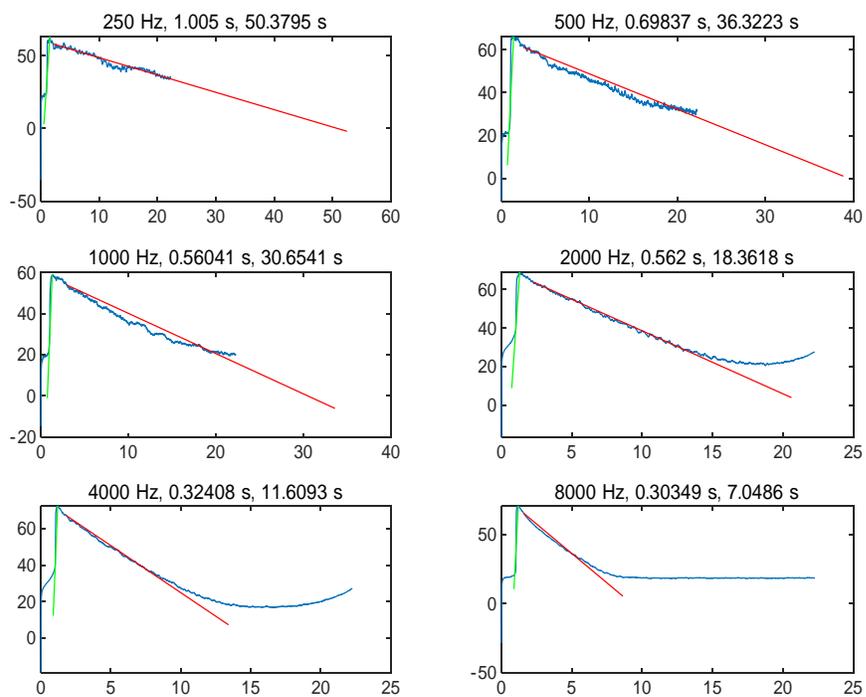


図 79 シンバル（エッジ音）の音の立ち上がりと余韻のグラフ

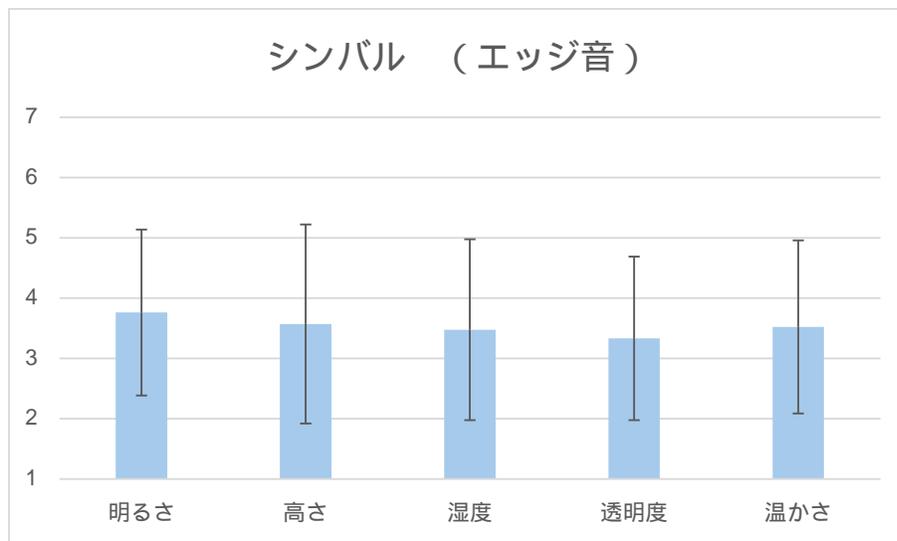


図 80 シンバル (エッジ音) のアンケート結果

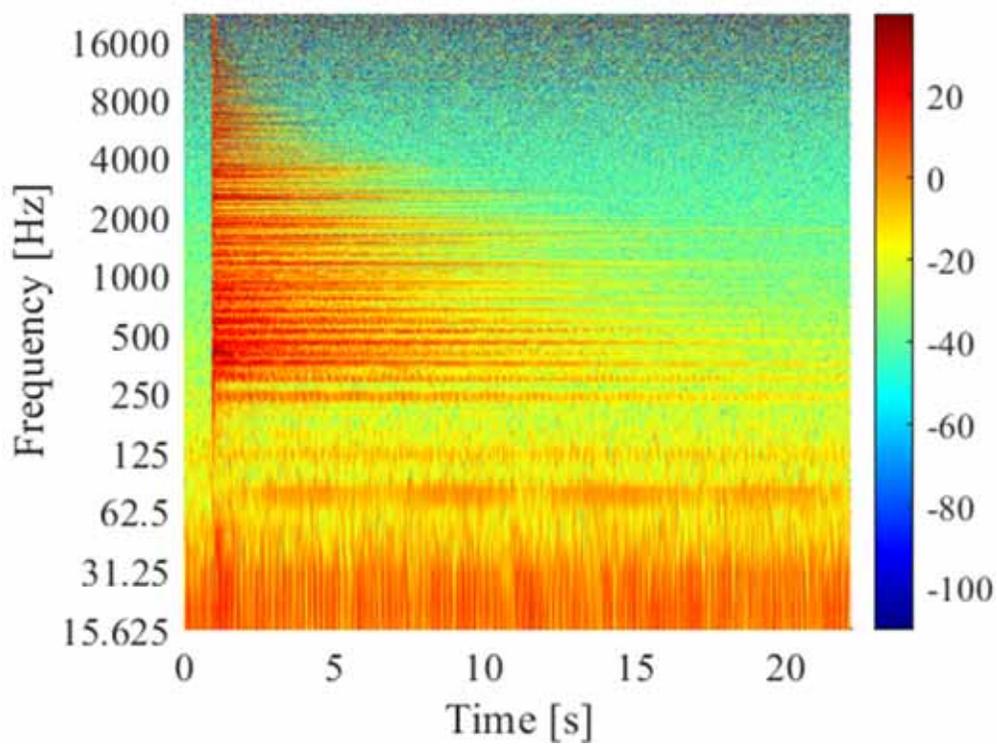


図 81 シンバル (エッジ音) のスペクトログラム

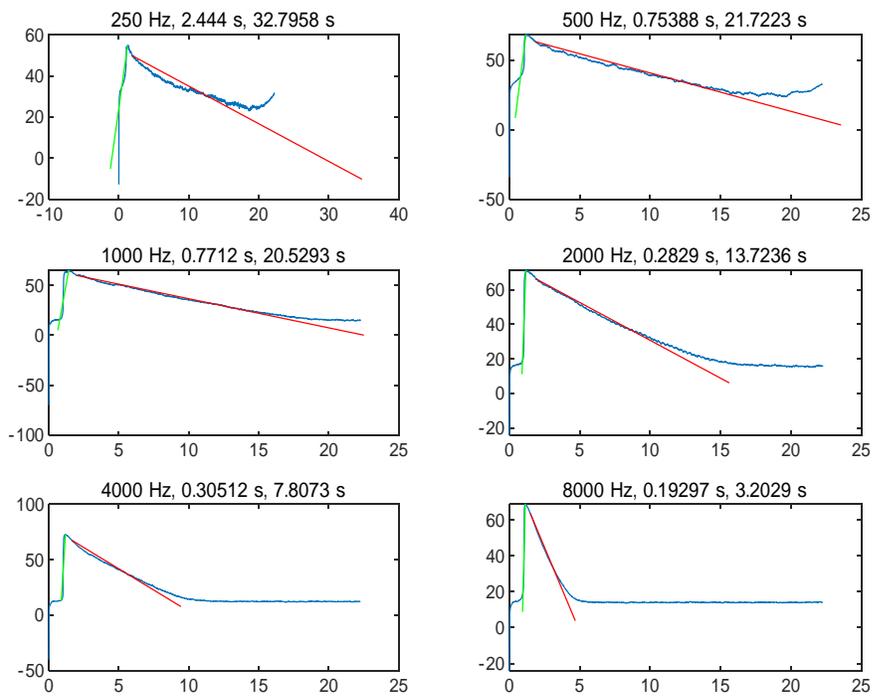


図 82 シンバル（エッジ音）の音の立ち上がりと余韻のグラフ

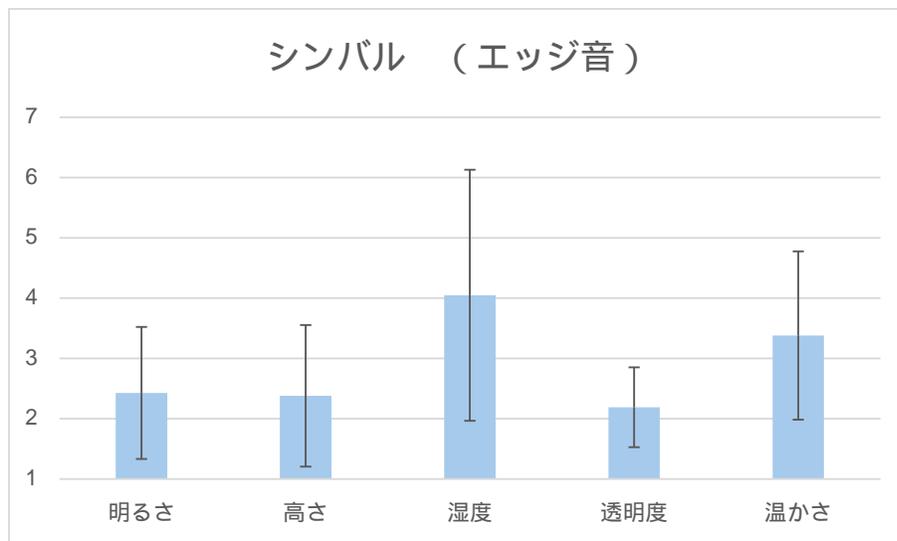


図 83 シンバル (エッジ音) のアンケート結果

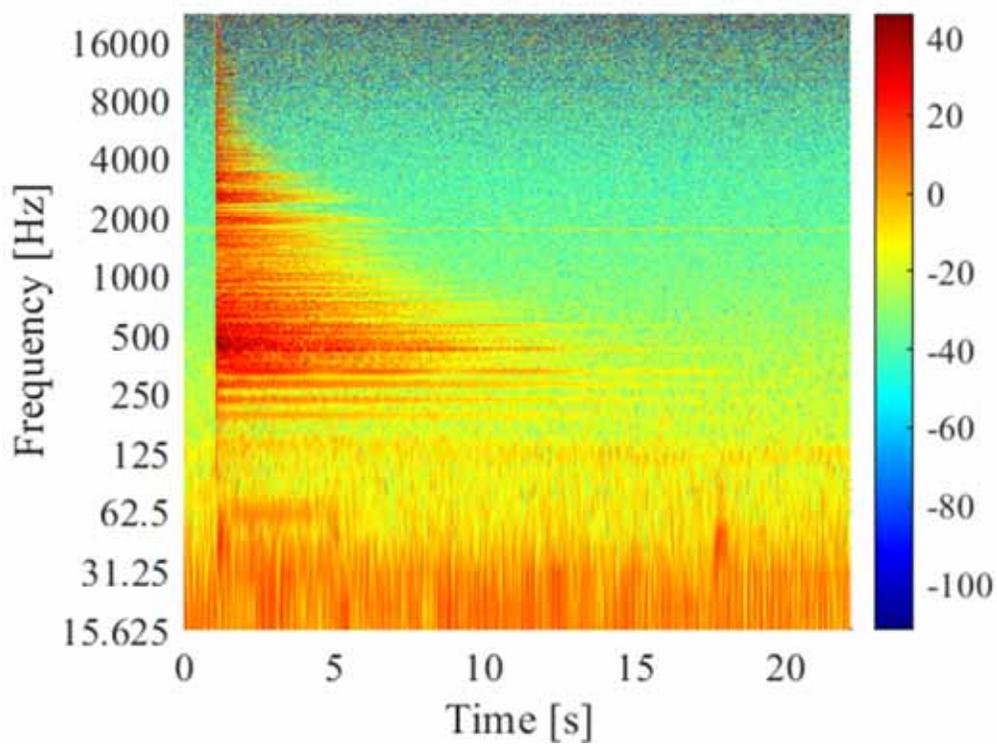


図 84 シンバル (エッジ音) のスペクトログラム

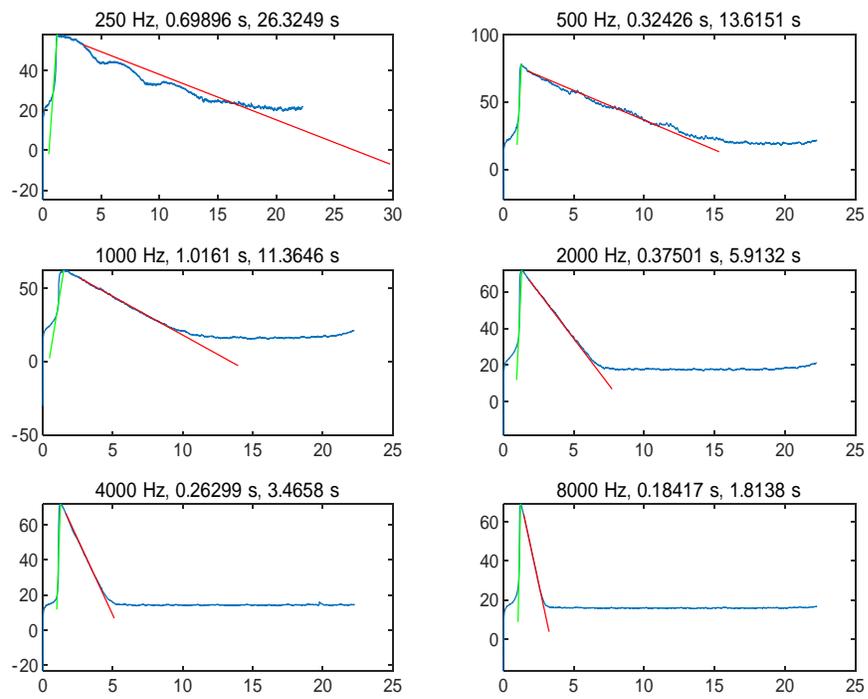


図 85 シンバル（エッジ音）の音の立ち上がりと余韻のグラフ

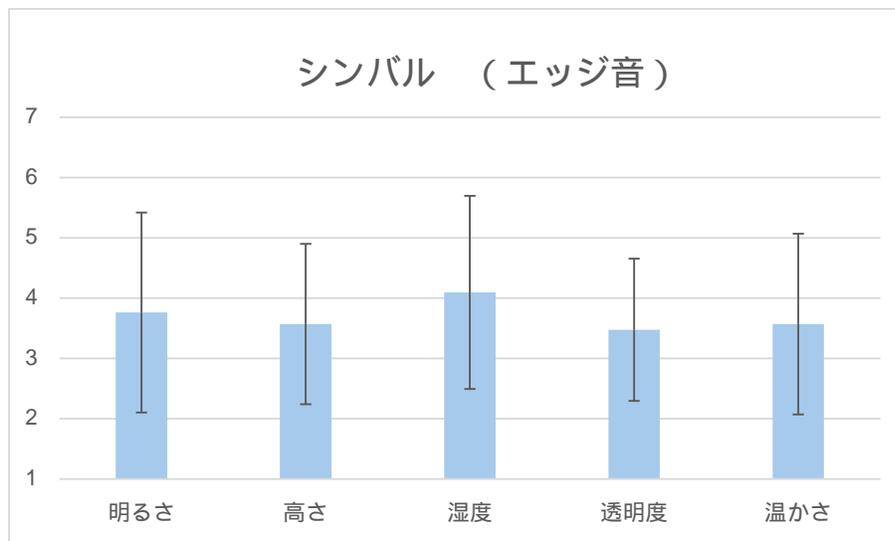


図 86 シンバル (エッジ音) のアンケート結果

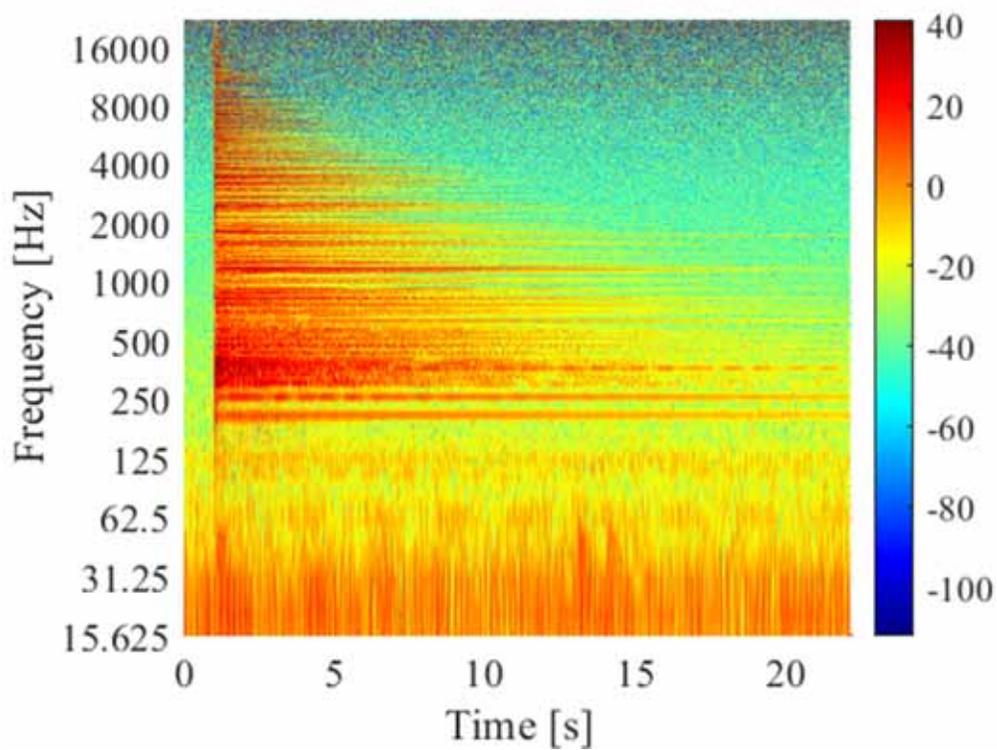


図 87 シンバル (エッジ音) のスペクトログラム

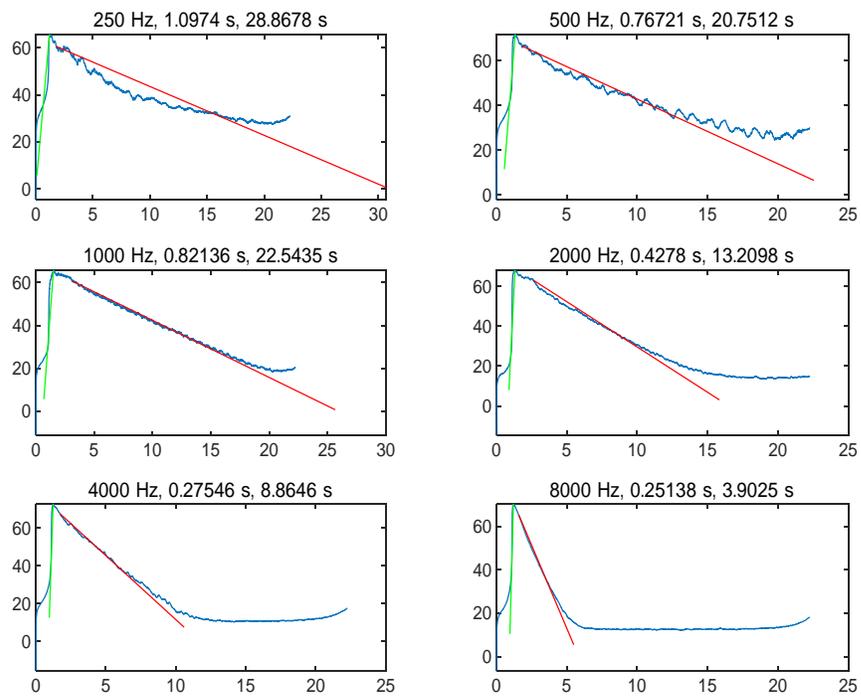


図 88 シンバル（エッジ音）の音の立ち上がりと余韻のグラフ

4.2 考察

・カップ音について

「暗いー明るい」の項目について、一番暗いと評価されたのはシンバル であった。一番明るい
と評価されたのはシンバル で続いてシンバル であった。「低いー高い」の項目については一番
低いと評価されたのはシンバル で、一番高いと評価されたのはシンバル であった。続いてシ
ンバル とシンバル であった。「濁ったー澄んだ」の項目については一番濁ったと評価されたの
はシンバル であった。一番澄んでいると評価されたのはシンバル であった。次にシンバル 、
シンバル であった。「乾いたー濡れた」の項目では、一番乾いたと評価されたのはシンバル で、
一番濡れたと評価されたのはシンバル 、その次にシンバル であった。「冷たいー温かい」の項
目では一番冷たいと評価されたのはシンバル でその次がシンバル であった。

スペクトログラムを見ると、シンバル では、250 Hz、500 Hz に成分が多く含まれていること
がわかる。シンバル では、2000 Hz はとびぬけているものの、各成分が均等に出ていることか
ら、澄んだ音、明るい音につながっているのではないかと考える。シンバル は乾いた、冷たいと
評価に至ったのはスペクトログラムより、低域が早く減衰し、余韻が短めであることが関係して
いると考えられる。

・ボウ音について

「暗いー明るい」の項目について、一番暗いと評価されたのはシンバル であった。続いてシ
ンバル が暗かった。一番明るいと評価されたのは、シンバル であった。シンバル とシンバ
ルの差は約 2 ポイントであった。また「低いー高い」の項目についても、一番低いと評価され
たのはシンバル であった。一番高いと評価されたのはシンバル であった。その差は約 3 ポイ
ントであった。「濁ったー澄んだ」の項目についても一番濁っていたのはシンバル 、一番澄んで
いると評価されたのはシンバル とシンバル であった。

スペクトログラムを見るとシンバル は他のシンバルと比べて、250～500 Hz 付近の成分が多
く含まれており、音がなっている時間が短いことがわかる。音の響きが少なく、暗い要因になっ
ていると考えられる。

立ち上がりと余韻のグラフを見ると、実効値の波形（青線）がシンバル は高周波数帯の音圧
レベルが全体的に低く、時間経過とともに安定して減衰している。これによりきらびやかさが抑
えられ、「濁った」という評価につながっていると考えられる。シンバル は特に 4000 Hz、8000
Hz の高周波数帯において、余韻の減衰が早く、高音成分が早い段階で失われていることがわかる。
一方シンバル は高周波数帯でも余韻が比較的長く持続しており、倍音成分が残りやすいものと
考えられる。

・エッジ音について

「暗いー明るい」の項目について、一番暗いと評価されたのは、シンバル であった。一番明
ると評価されたのは、シンバル であった。その次にシンバル であった。また、「低いー高い」
の項目でも一番低いのはシンバル であった。一番高いのは、シンバル で、次にシンバル で

あった。「濁ったー澄んだ」の項目もおなじであった。「乾いたー濡れた」の項目では少しの差ではあるが、一番乾いたと評価されたのがシンバル とシンバル であった。「冷たいー温かい」の項目では、一番冷たいと評価されたのはシンバル 、一番温かいと評価されたのは、シンバル であった。エッジ音において「暗い - 明るい」「低い - 高い」「濁った - 澄んだ」の項目で最も暗く、低く、濁っていると評価されたのはシンバル であった。一方で、明るいと評価されたのはシンバル および であった。

スペクトログラムを見ると、シンバル は他のシンバルと比較して、250～500 Hz 付近の低～中周波数帯の成分が相対的に強く、4000 Hz 以上の高周波数帯の成分が少ないことが確認できる。また、音が持続している時間も短く、高音成分が早い段階で消失していることが分かる。これにより、倍音構成が低周波数帯に偏り、きらびやかさの少ない音となっていると考えられる。

さらに、音の立ち上がりと余韻のグラフに注目すると、シンバル は高周波数帯（4000 Hz、8000 Hz）において実効値が全体的に低く、減衰も比較的早い傾向が見られた。これは高次倍音が十分に持続せず、振動エネルギーが短時間で散逸していることを示している。一方、明るいと評価されたシンバル および では、高周波数帯においても余韻が比較的長く、倍音成分が持続している様子が確認できる。

これらの結果から、エッジ音における「暗さ」の評価は、高周波数帯成分の量およびその持続時間と強く関係していると考えられる。すなわち、シンバル では材料特性やハンマリング加工の影響により、高次倍音が発生しにくく、また減衰が早いいため、低～中周波数成分が相対的に支配的となり、「暗い」「低い」「濁った」という心理的印象につながったと考えられる。

第5章 結論

本研究では、9枚のライドシンバルを対象に、叩く部位（カップ音・ボウ音・エッジ音）の違いによる音の特徴について、物理的指標（スペクトログラム、音の立ち上がりおよび余韻）と心理的評価（アンケート）を比較した。その結果、いずれの部位を叩いた場合においても、シンバルが最も「暗い」と評価される傾向が一貫して確認された。

物理的分析の結果、シンバルは他のシンバルと比較して、音に含まれる低い周波数成分が多く、高い周波数成分が少ないという特徴を示した。また、高い周波数成分の減衰が早く、倍音成分の持続時間が短いことも確認された。これにより、音の中身が低周波数帯に偏り、きらびやかさの少ない音色となっていることが示された。このような物理的特徴は、心理評価における「暗い」「低い」「濁った」という印象と対応している。

これらの結果は、シンバルそのものの構造的特徴とも関係していると考えられる。シンバルの材料比率、すなわち銅とスズからなる合金の性質は、振動特性や倍音の出方に大きく影響する。シンバルは他のシンバルと比べて振動しにくい材料特性を有している可能性があり、高い周波数成分が発生しにくい構造であると考えられる。また、ハンマリング加工が深く不規則である場合、金属内部に不均一な応力が生じ、振動エネルギーが分散しやすくなる。その結果、高い周波数成分が早く減衰し、低い周波数成分が相対的に残りやすくなる。

さらに、板厚や重量が比較的大きい場合、シンバル全体の振動が起りにくくなり、低次の振動が支配的となる。このことも、高い周波数成分が抑えられ、「暗い」音色が形成される要因の一つであると考えられる。また、表面の加工方法によって振動エネルギーが失われやすくなる場合、余韻が短くなり、音の広がりが小さくなる傾向が生じる。

以上より、シンバルがすべての部位において暗いと評価された要因は、低い周波数成分が多く、高い周波数成分が少ないこと、さらにそれらが早く減衰するという物理的特徴にあると結論づけられる。これらの物理的特徴は、材料比率、ハンマリング加工、板厚および表面加工方法といったシンバルそのものの構造的特徴によって形成されていると考えられ、シンバルは構造的に高い周波数成分が発生・持続しにくいシンバルであることが分かった。

参考文献

- [1] 井上みのり, 「シンバルの音色の物理指標と心理指標の関係について」, 関西大学卒業論文, 2025.