

令和6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

関西大学環境都市工学部建築学科

建築環境工学第 研究室

学籍番号 建 21-0013

氏名 井上みのり

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 研究目的	1
第2章 予備実験	2
2.1 実験方法	2
2.2 結果	3
2.3 考察	6
第3章 実験	7
3.1 研究対象	7
3.2 使用した機材・ソフト	8
3.3 収録方法	10
第4章 分析方法	11
4.1 スペクトログラム	11
4.2 音の立ち上がりと余韻	12
4.3 アンケート	13
第5章 結果	14

5.1 アンケート結果とスペクトログラム、グラフの対応	14
5.2 考察	47
第6章 結論	49
参考文献	50

第1章 序論

1.1 研究背景

音の三要素である大きさ・高さ・音色のうち、大きさは音圧、高さは周波数によって数値的に表すことができるのに対して、音色は数値的に表すことができない。特に、打楽器のひとつであるシンバルの音は音階のある管楽器に比べると、不規則な周波数の音で複雑に構成されており、その音の“明るさ”については聴く人によって認識が異なるため、評価の根拠が不明確である。これにより、例えばシンバルを購入する際に、生産者と消費者で認識が異なり、生産者の意図と異なった商品が消費者が選択してしまうことがあると考えられる。そこで、“明るさ”などに対応するシンバルの音色の特徴を明確化し、その物理的な指標を考案することで上記のような問題を解決したいと考え、本研究に取り組むこととした。

1.2 既往研究

渡辺[1]はオーボエ、クラリネット、トロンボーンの音を収録し、物理評価のスペクトログラムと心理評価のアンケートとを比較することで音色を評価した。その結果、心理的な音の明るさには音の高さと倍音の鋭さが関係していると結論付けた。しかし、本研究で扱うシンバルは当該研究で扱われた管楽器とは違い、規則的な周波数の音が鳴るわけではないため倍音を判断するのが難しい。また、当該研究では楽器によって大きく異なる結果が得られたことから、シンバル音についても、その特徴を十分に把握した上で、それらを考慮した指標の提案が必要である。

1.3 研究目的

本研究の目的は、周波数特性などの物理指標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、視覚的、または、数値的にその音色を評価することである。

第 2 章 予備実験

2.1 実験方法

実際にシンバルを用いて実験を行う前に、予備実験として、音響シミュレーションソフトウェア COMSOL を用いてシンバルモデルを作成し、シンバルの厚み、固さ、重さでの違いが音にどのように影響するか比較した（図 1）。計算時間短縮のため、2000 Hz 以下で以下のシミュレーションを行った。

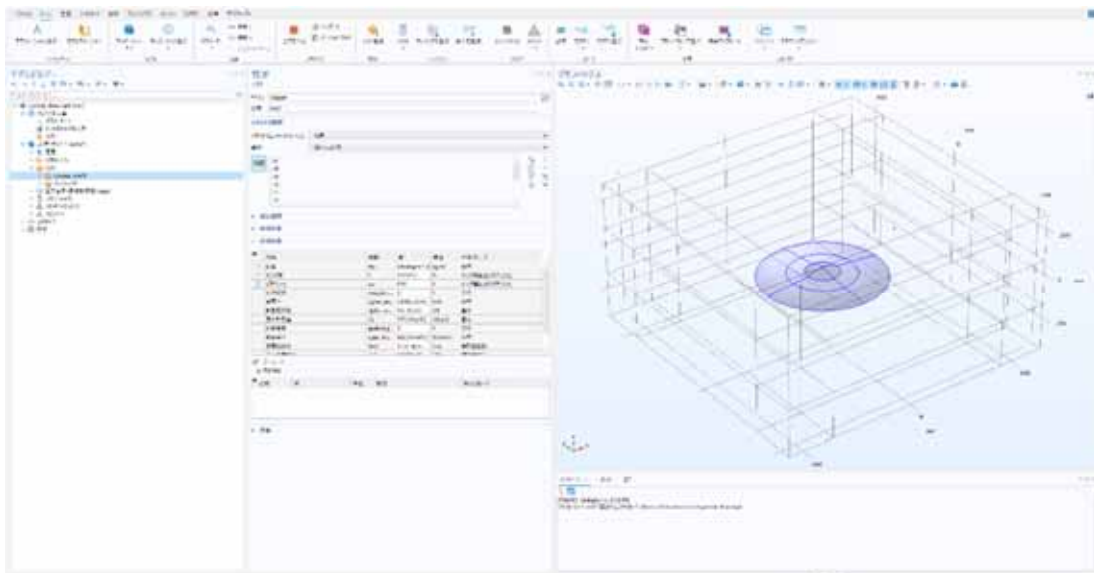


図 1 COMSOL で作成したシンバルモデル

厚みは 1.0 [mm] を基準とし、0.5 [mm] と 2.0 [mm] のものとを比較した。固さは 110 [GPa]（銅相当）を基準とし、基準の 0.7 倍と 1.3 倍のものとの比較した。密度は 8960 [kg/m³]（銅相当）を基準とし、基準の 0.7 倍と 1.3 倍のものとの比較した。

2.2 結果

以下に各音源の周波数特性を示す。

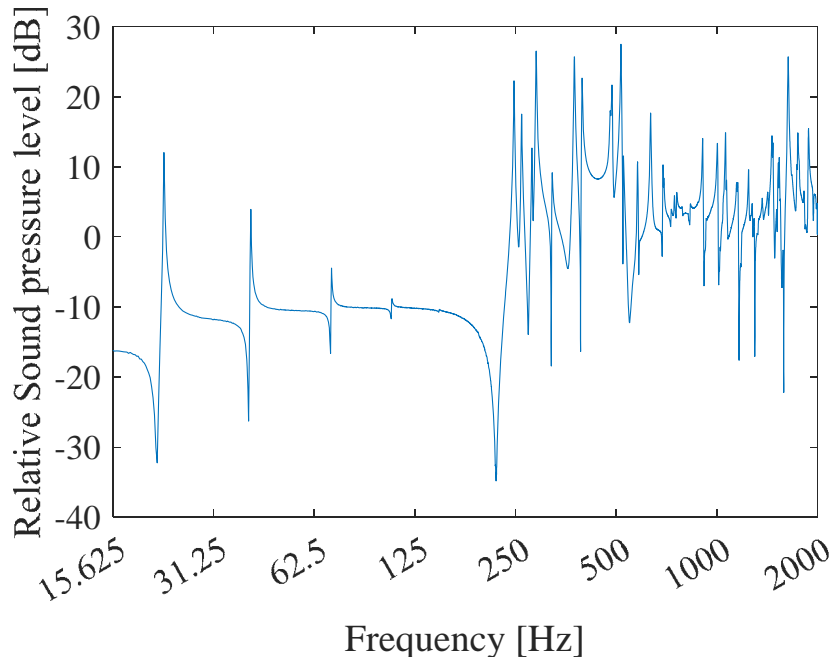


図2 基準音（厚さ 1.0mm）の周波数特性

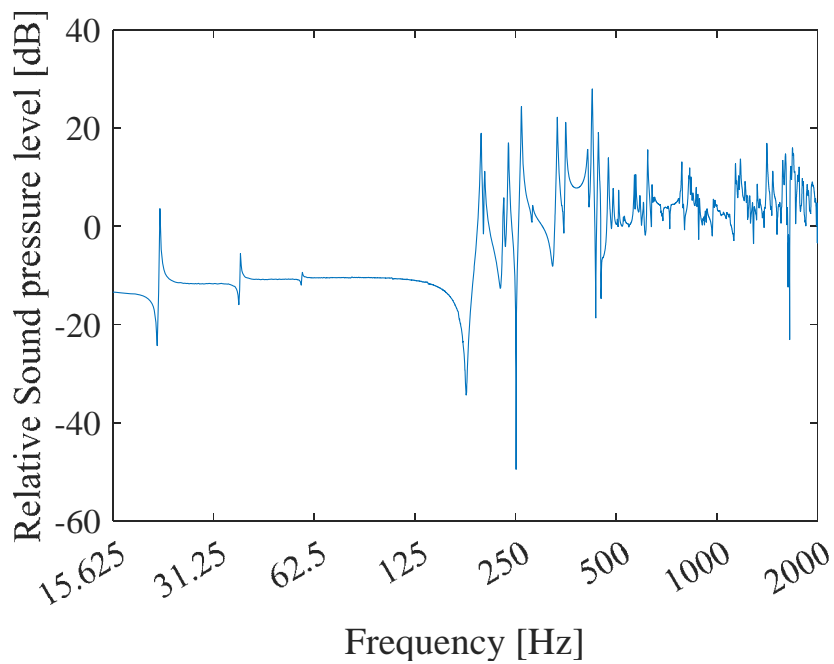


図3 厚さを 0.5mm にした音の周波数特性

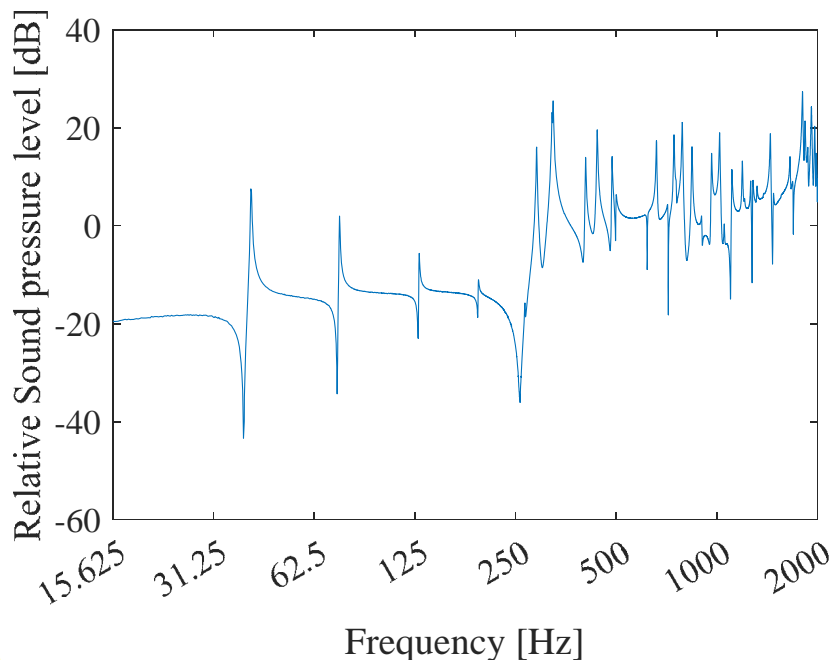


図4 厚さを 2.0mm にした音の周波数特性

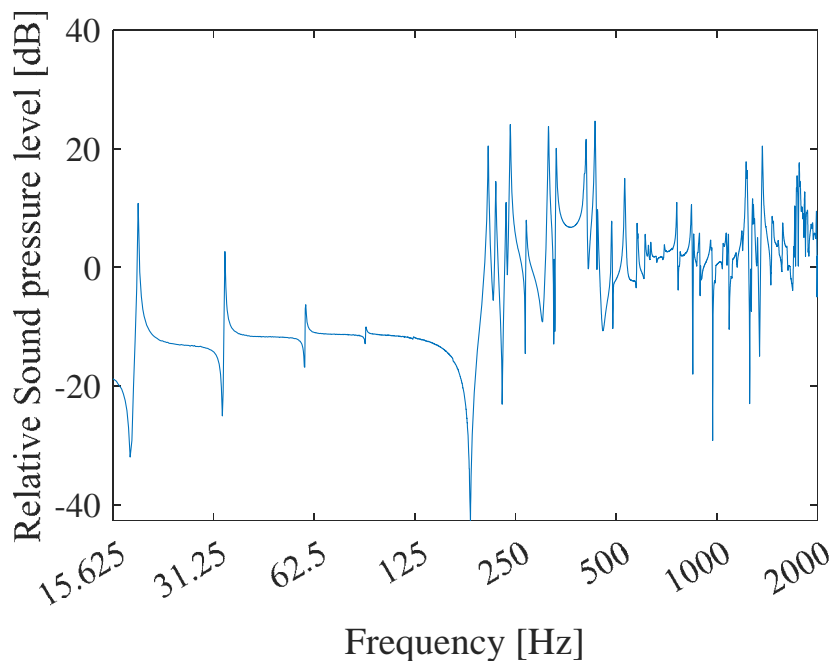


図5 固さを基準の 0.7 倍にした音の周波数特性

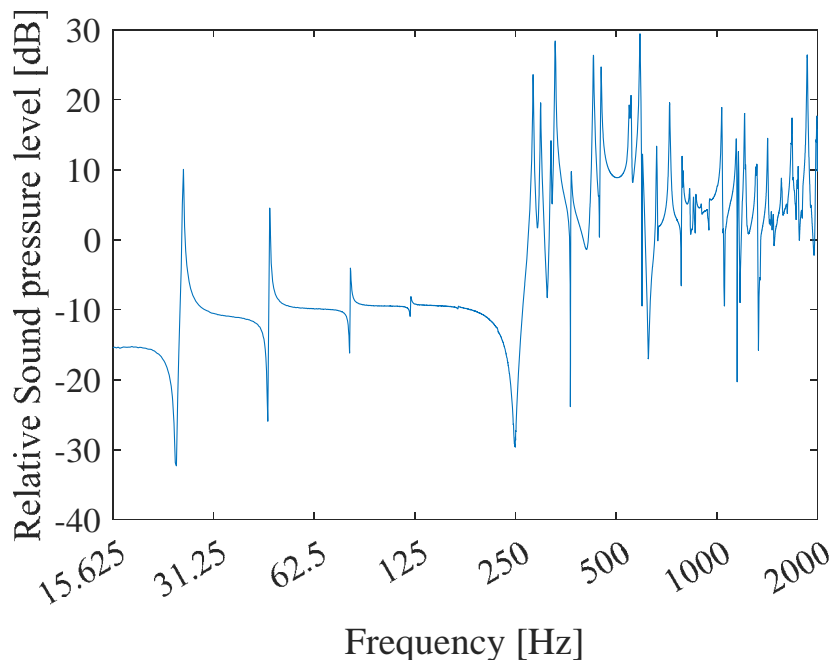


図6 固さを基準の1.3倍にした音の周波数特性

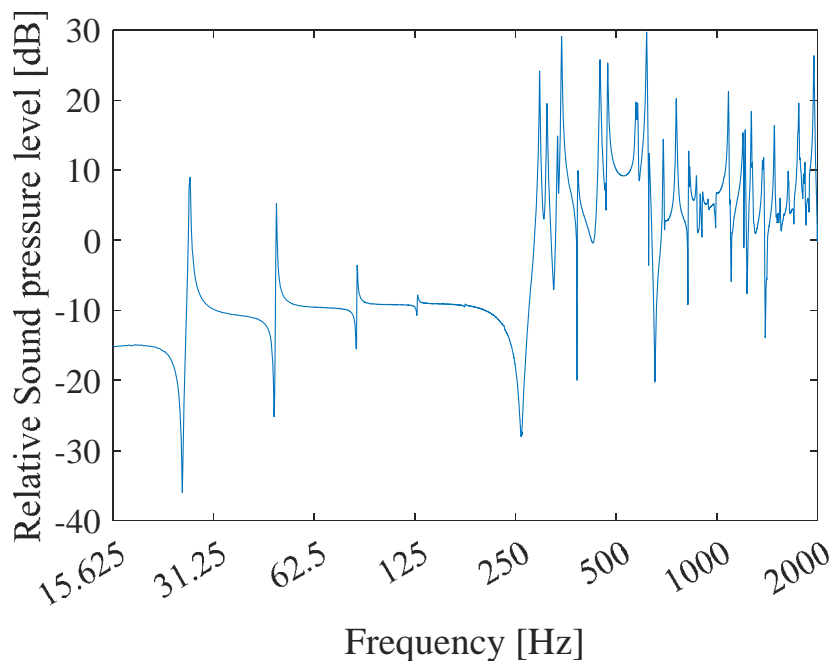


図7 密度を基準の0.7倍にした音の周波数特性

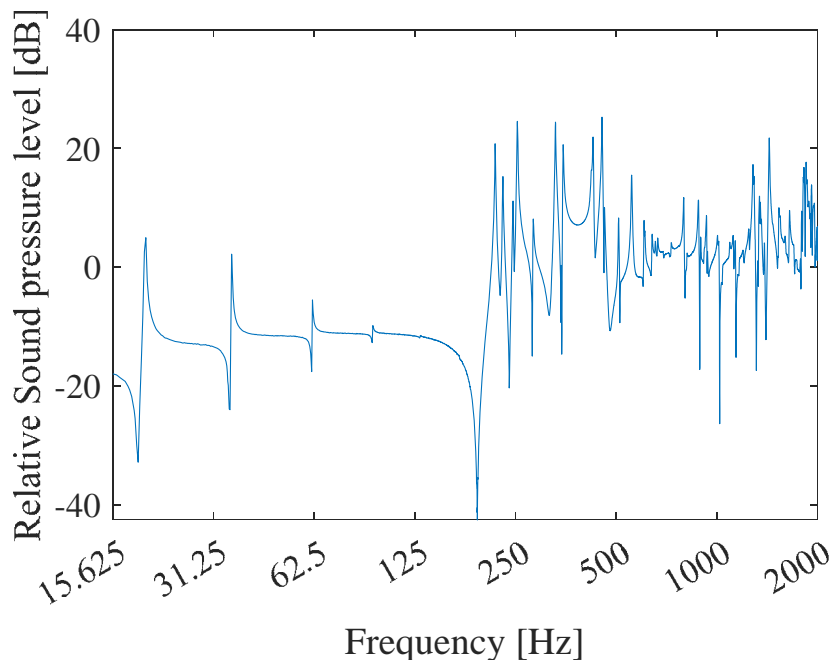


図8 密度を基準の1.3倍にした音の周波数特性

2.3 考察

基本的な傾向として、シンバルは厚いほど、固いほど、軽いほど高い音が鳴るということが分かった。また、シンバルのきらびやかな成分は2000 Hz以上の高い周波数が担っているのではないかと考えられる。

第3章 実験

3.1 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。シンバルの種類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、使い方で様々なものがある[2]。本研究ではクラッシュシンバルを3枚とライドシンバルを3枚、計6枚のシンバルを比較対象とする(図9)。



図9 本研究で使したシンバル

なお、本論文では図9に対応して、次のように表記する。

シンバルA：左奥のライドシンバル

シンバルB：真ん中奥のライドシンバル

シンバルC：右奥のライドシンバル

シンバルD：左手前のクラッシュシンバル

シンバルE：真ん中手前のクラッシュシンバル

シンバルF：右手前のクラッシュシンバル

3.2 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 9)
シンバル音の収録に使用した。



図 10 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 : SIGNATURE SERIES-DAVE WECKL (図 10)
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 11 ドラムスティック

引用 : https://pearl-music.co.jp/vic-firth/product/drumstick/d_series/d_s_signature/1498/

・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
インタプリ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>

3.3 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 12)。

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 4 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
- 4 演奏音...同じフレーズを繰り返し 8 小節間叩く

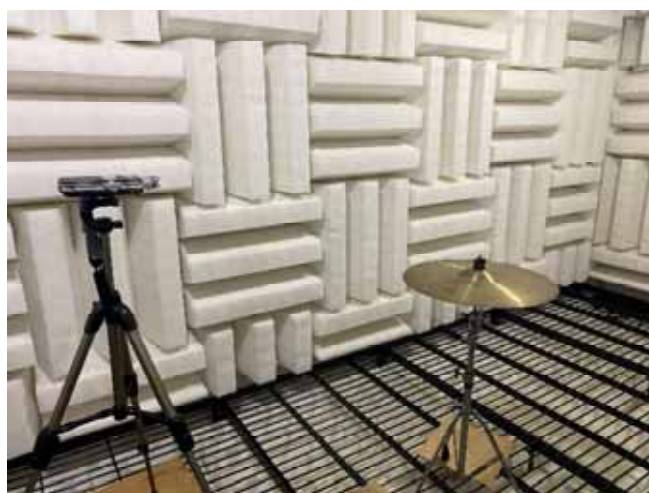


図 12 実験の様子

第4章 分析方法

4.1 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13）。

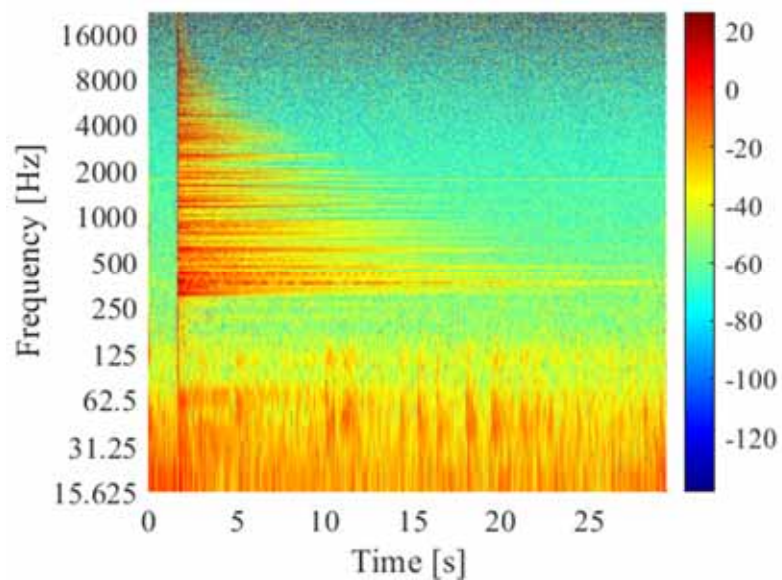


図13 スペクトログラム

4.2 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14)。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。

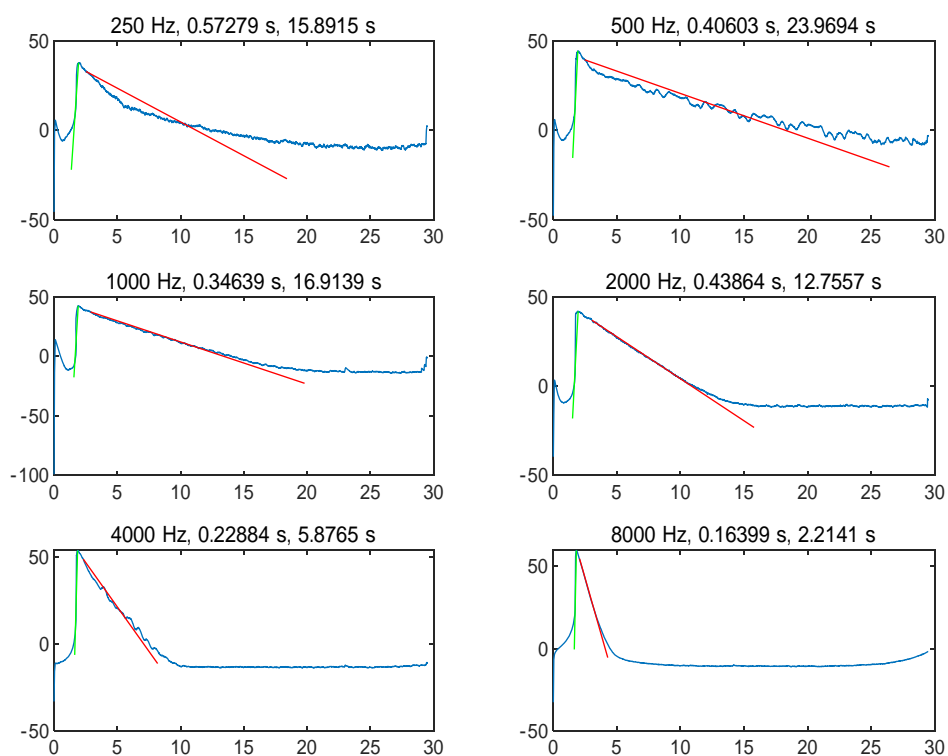


図14 立ち上がりと余韻のグラフ

4.3 アンケート

被験者 21 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。事前に予備実験として 6 人の楽器演奏経験者に対してシンバル音の聴感実験を行った。その際、人によって音の高さと明るさの感じ方に違いが見られたこと、シンバルの音の特徴を表す際に乾いた音という表現をすることが分かった。そのため、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]の 4 つの評価項目を用意した (図 15)。これらの評価項目について被験者に 5 段階で評価を行わせて平均をとり、その結果を心理的評価として扱う。

カップの音について

以下 6 個のシンバルの音を聴き、直感で回答をお願いします。

シンバル1 *

	1	2	3	4	5
暗い(1) - 明るい(5)	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
低い(1) - 高い(5)	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
乾いた(1) - 濡れた(5)	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
濁った(1) - 澄んだ(5)	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

図 15 アンケート

第5章 結果

5.1 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

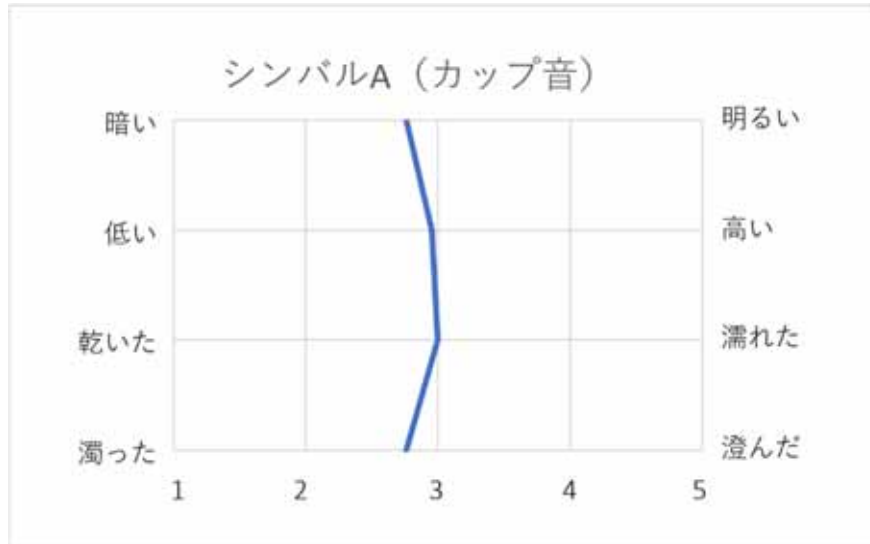


図 16 シンバルA (カップ音) のアンケート結果

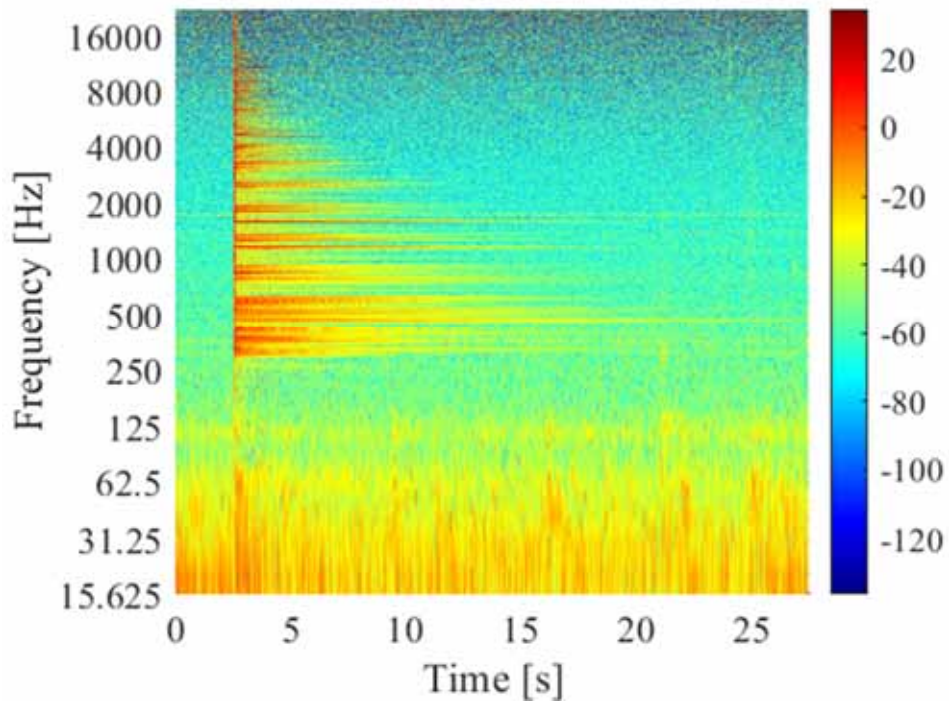


図 17 シンバルA (カップ音) のスペクトログラム

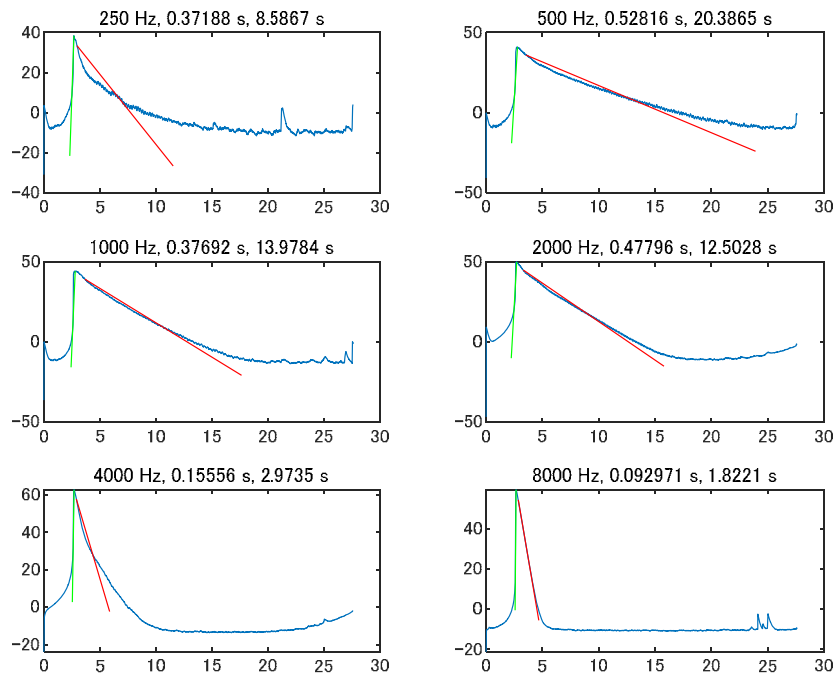


図 18 シンバル A (カップ音) の立ち上がりと余韻のグラフ

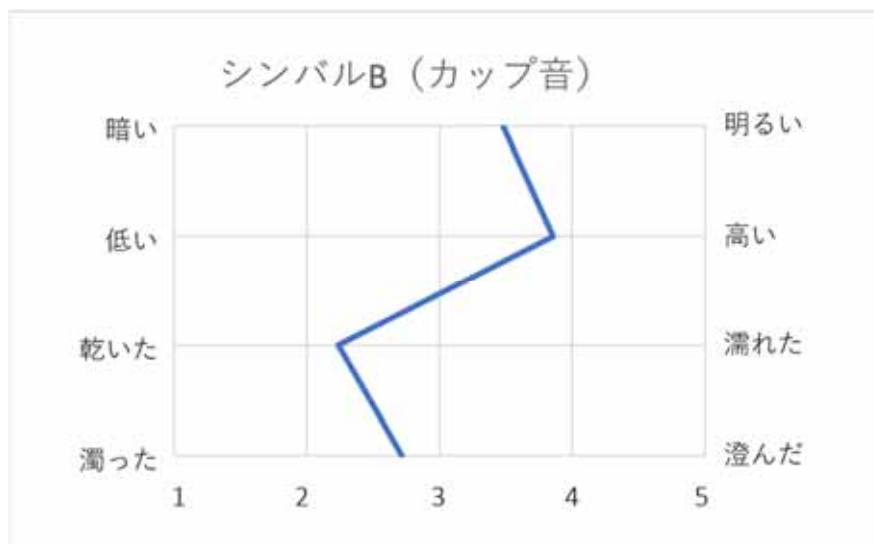


図 19 シンバル B (カップ音) のアンケート結果

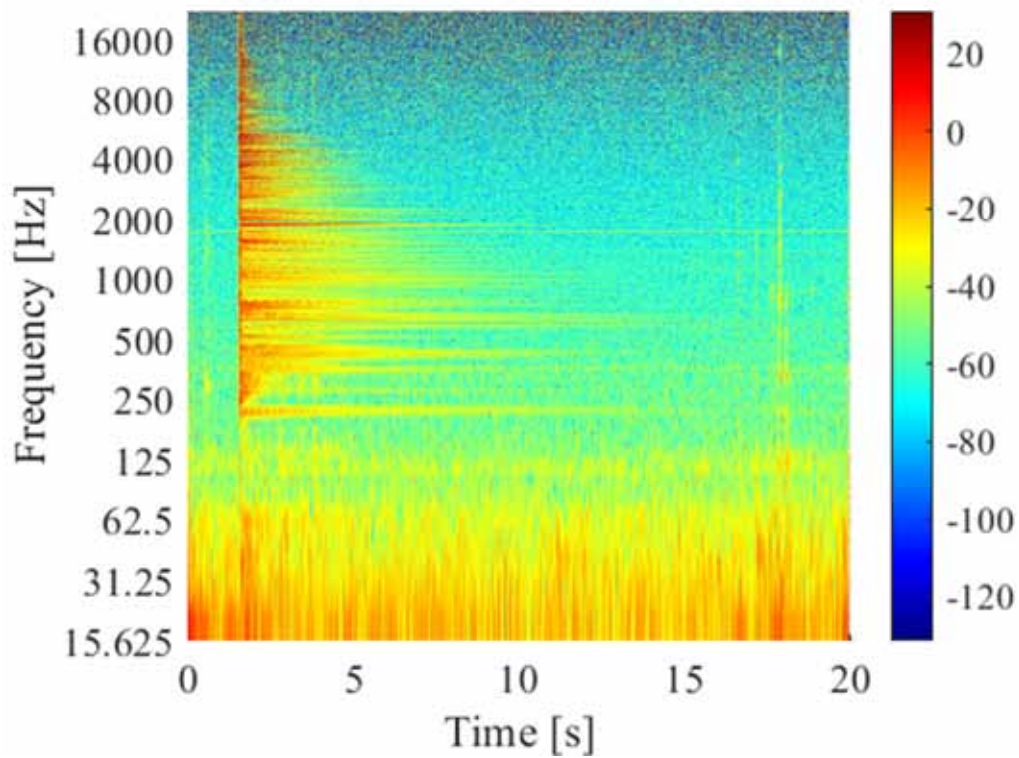


図 20 シンバル B (カップ音) のスペクトログラム

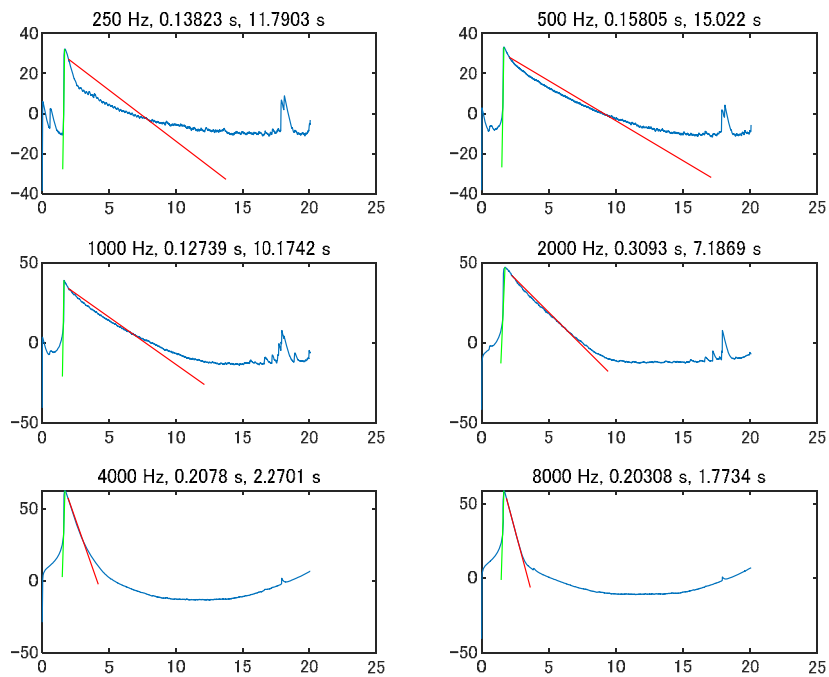


図 21 シンバル B (カップ音) の立ち上がりと余韻のグラフ

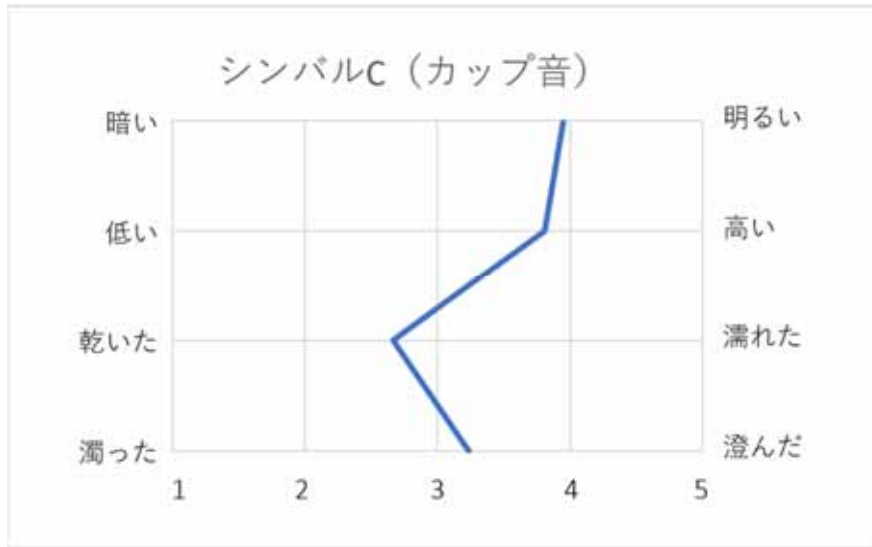


図 22 シンバルC (カップ音) のアンケート結果

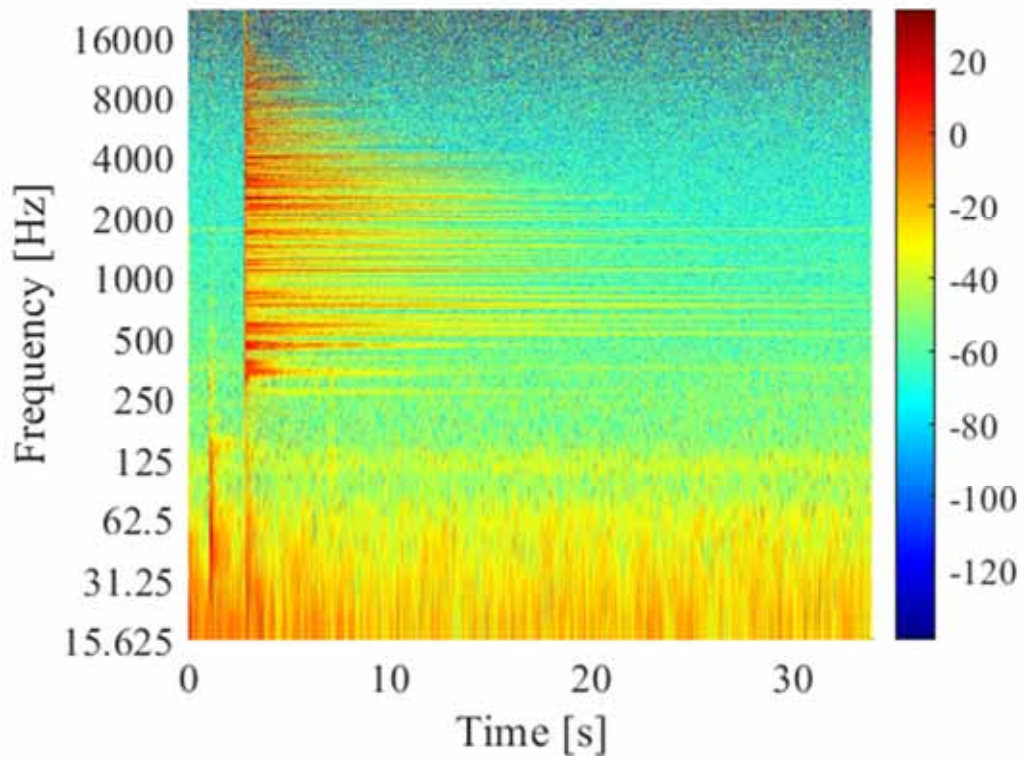


図 23 シンバルC (カップ音) のスペクトログラム

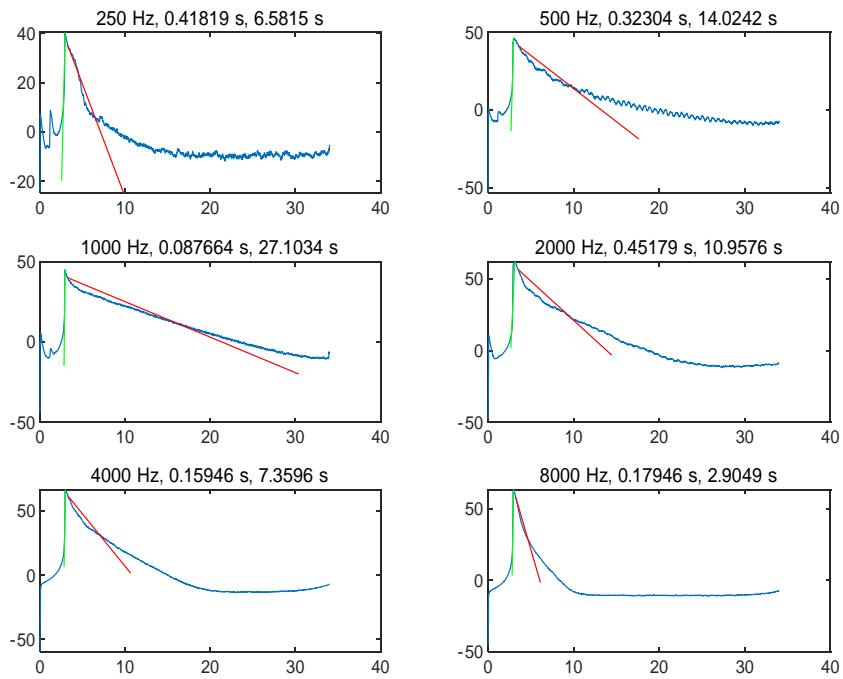


図 24 シンバル C (カップ音) の立ち上がりと余韻のグラフ

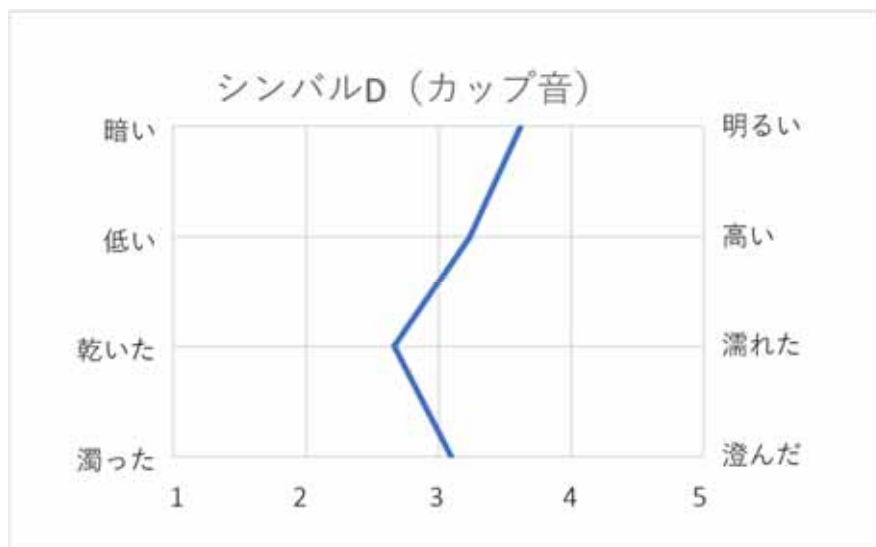


図 25 シンバル D (カップ音) のアンケート結果

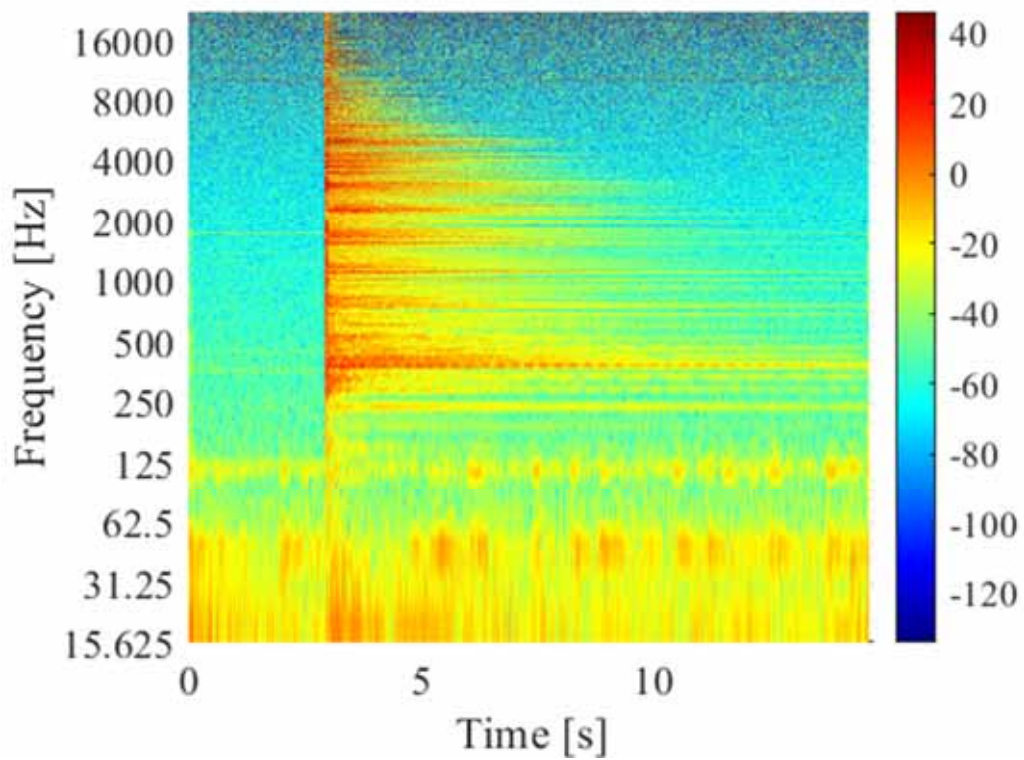


図 26 シンバル D (カップ音) のスペクトログラム

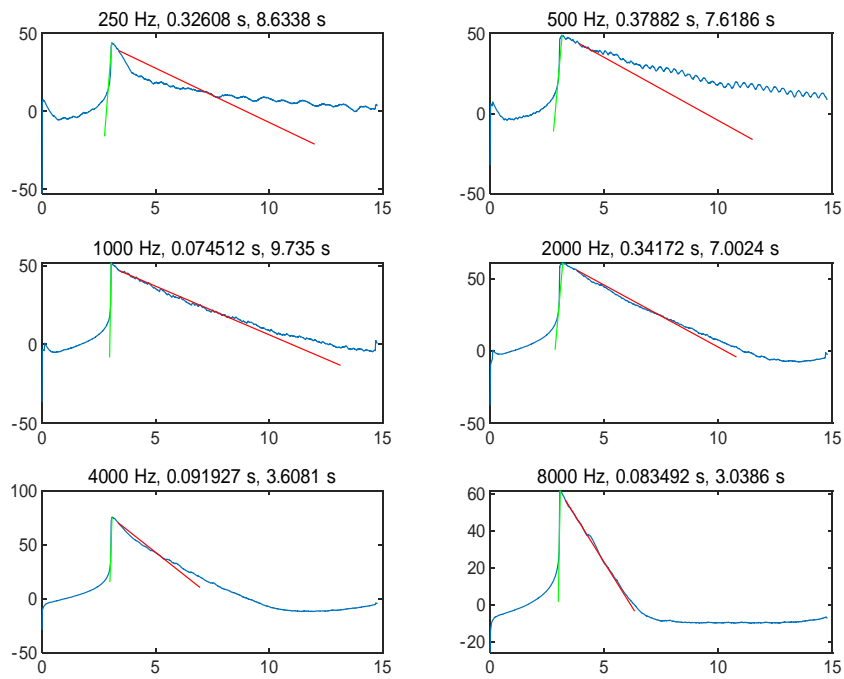


図 27 シンバル D (カップ音) の立ち上がりと余韻のグラフ

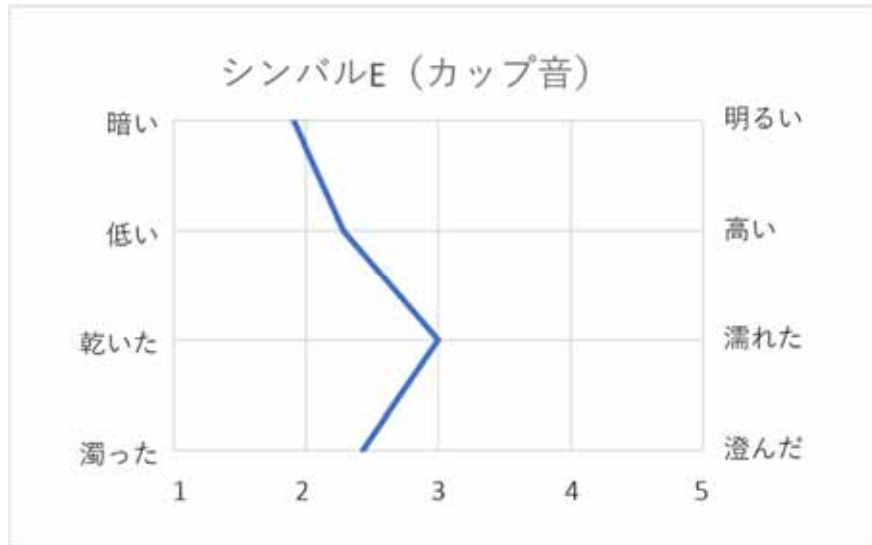


図 28 シンバルE (カップ音) のアンケート結果

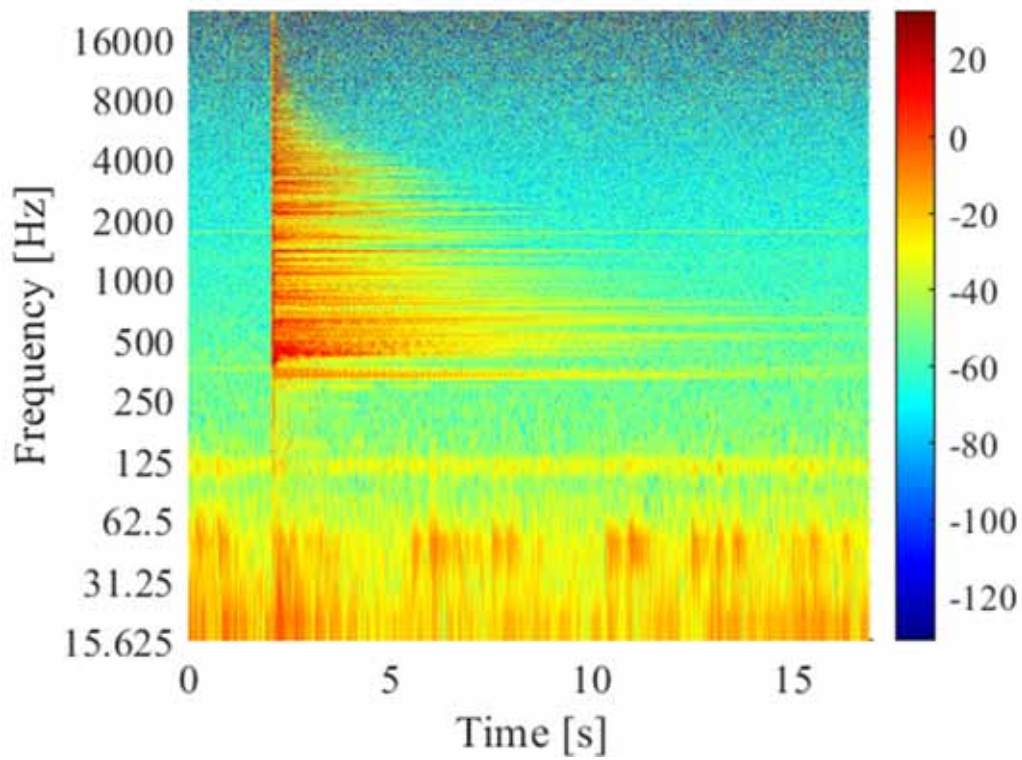


図 29 シンバルE (カップ音) のスペクトログラム

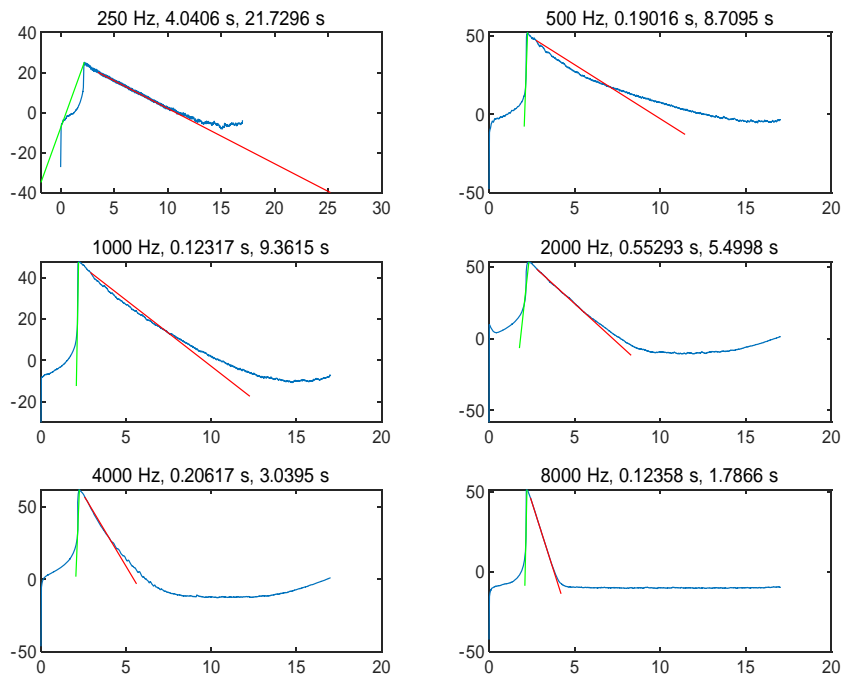


図 30 シンバルE (カップ音) の立ち上がりと余韻のグラフ

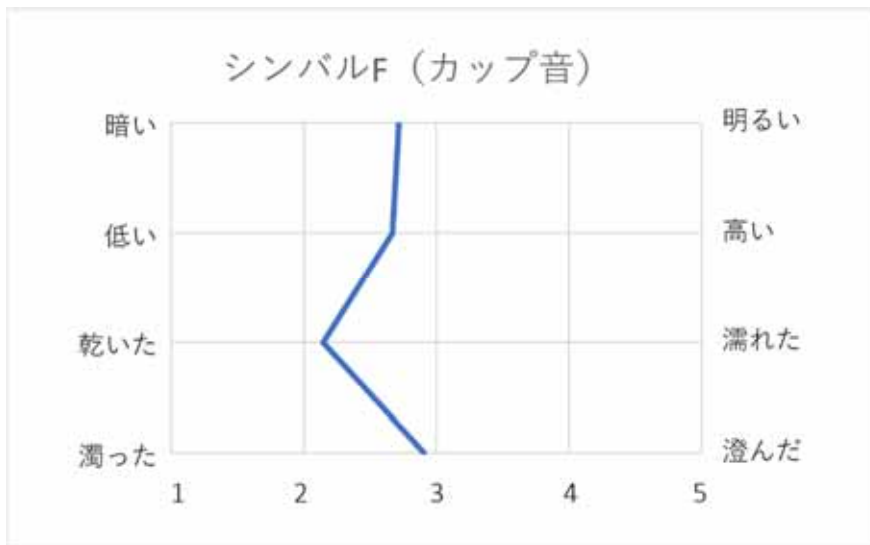


図 31 シンバルF (カップ音) のアンケート結果

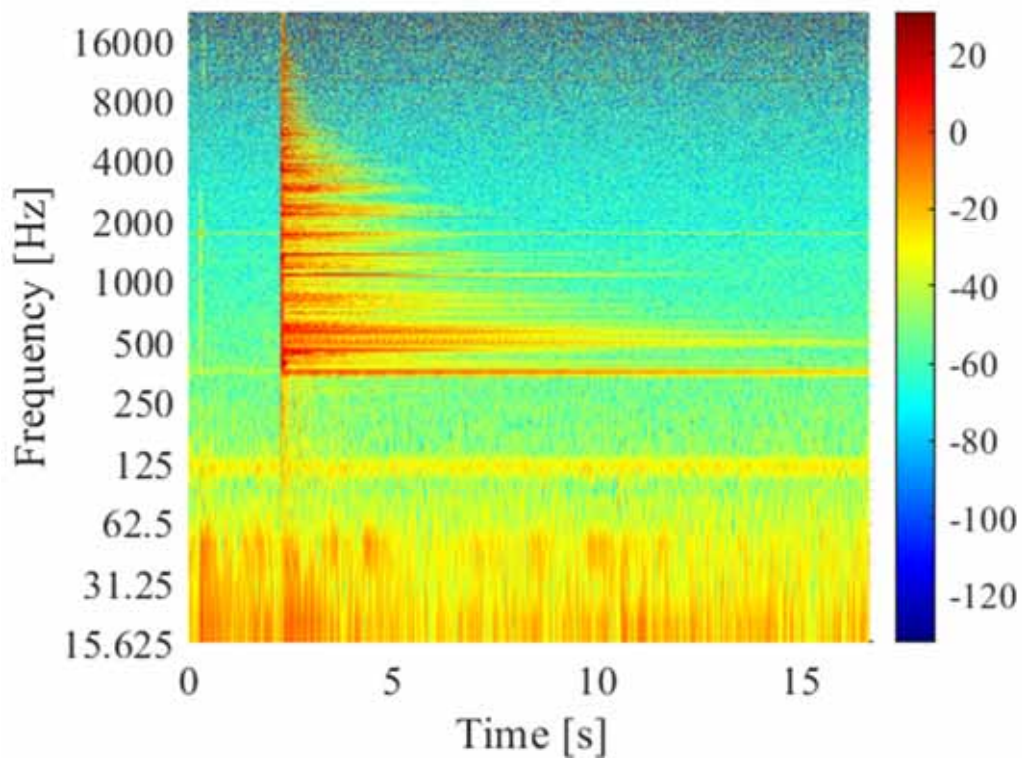


図 32 シンバルF (カップ音) のスペクトログラム

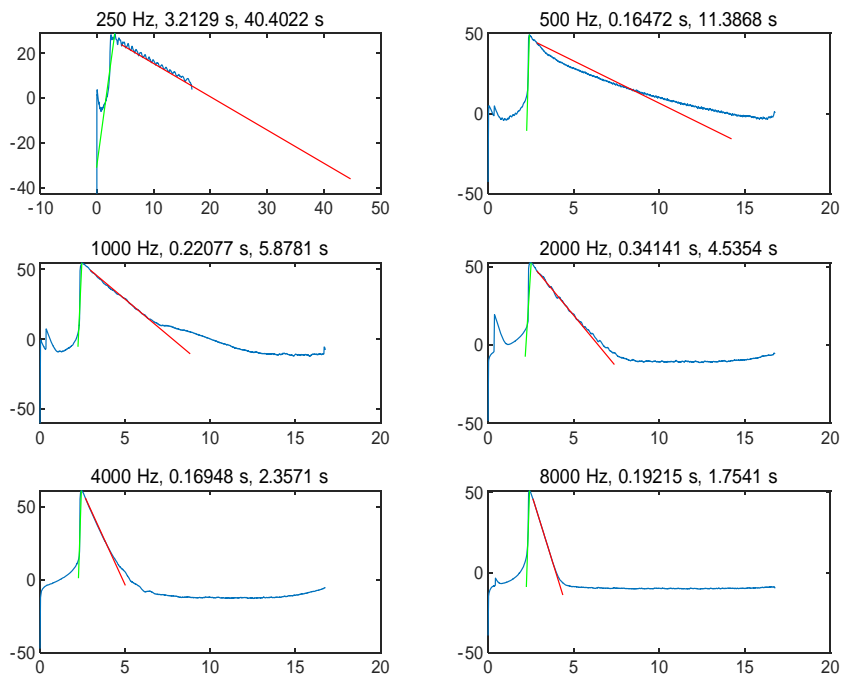


図 33 シンバルF (カップ音) の立ち上がりと余韻のグラフ

・ボウ音

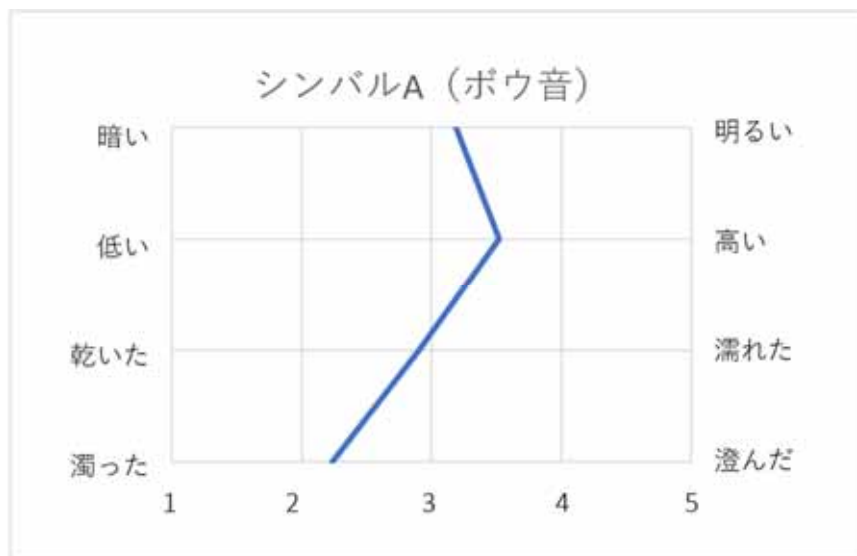


図 34 シンバル A (ボウ音) のアンケート結果

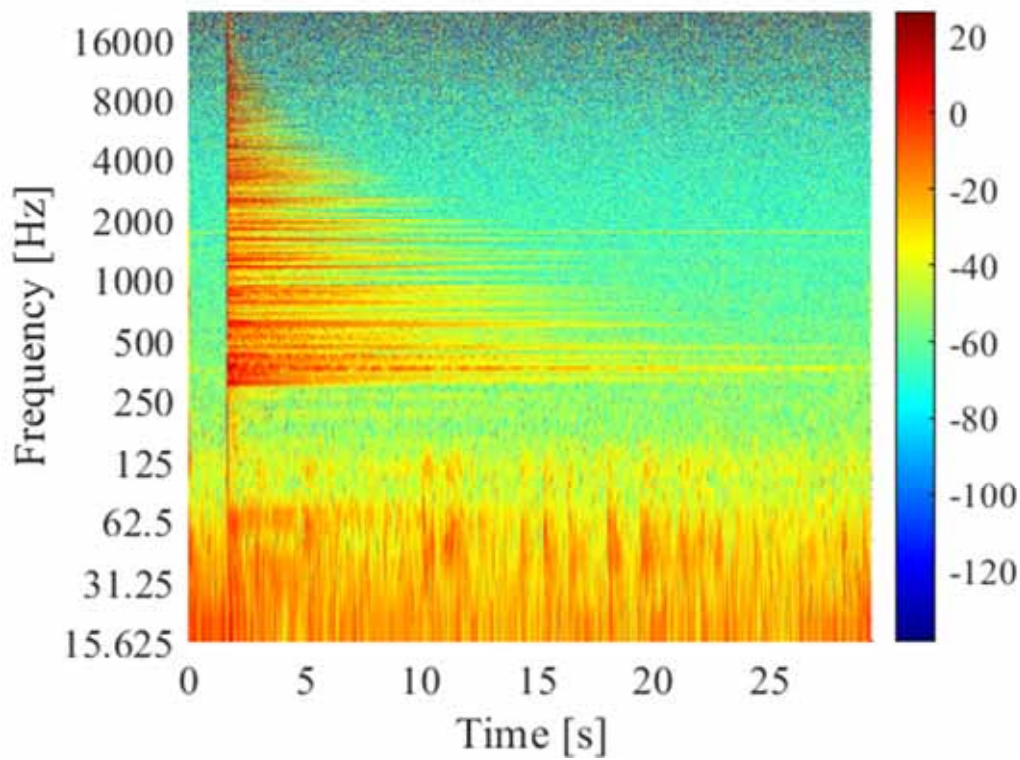


図 35 シンバル A (ボウ音) のスペクトログラム

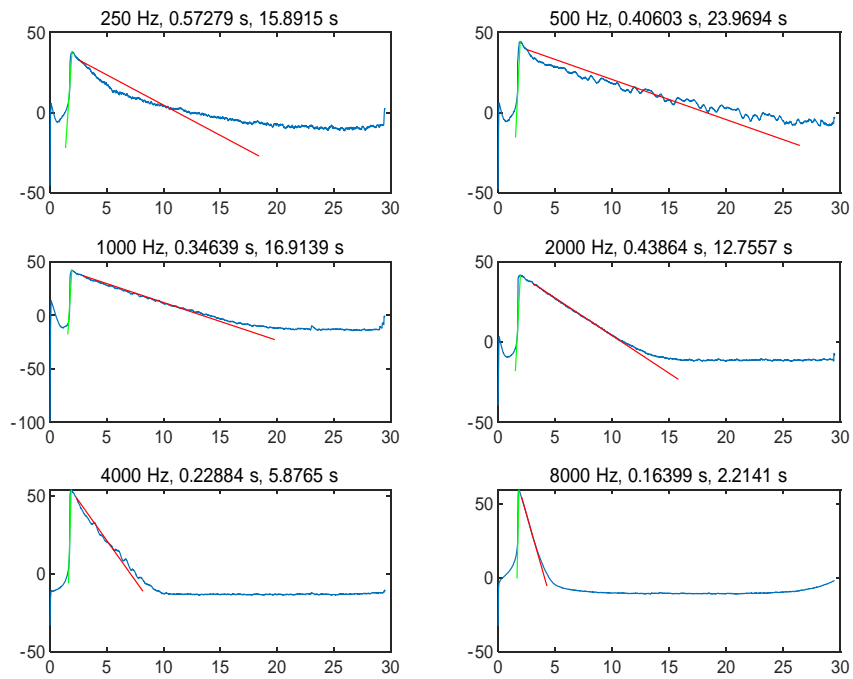


図 36 シンバル A (ボウ音) の立ち上がりと余韻のグラフ

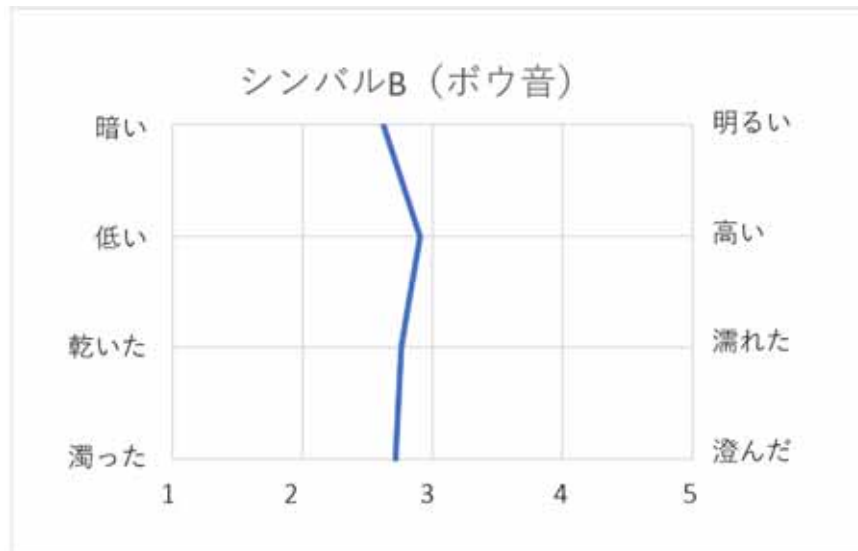


図 37 シンバル B (ボウ音) のアンケート結果

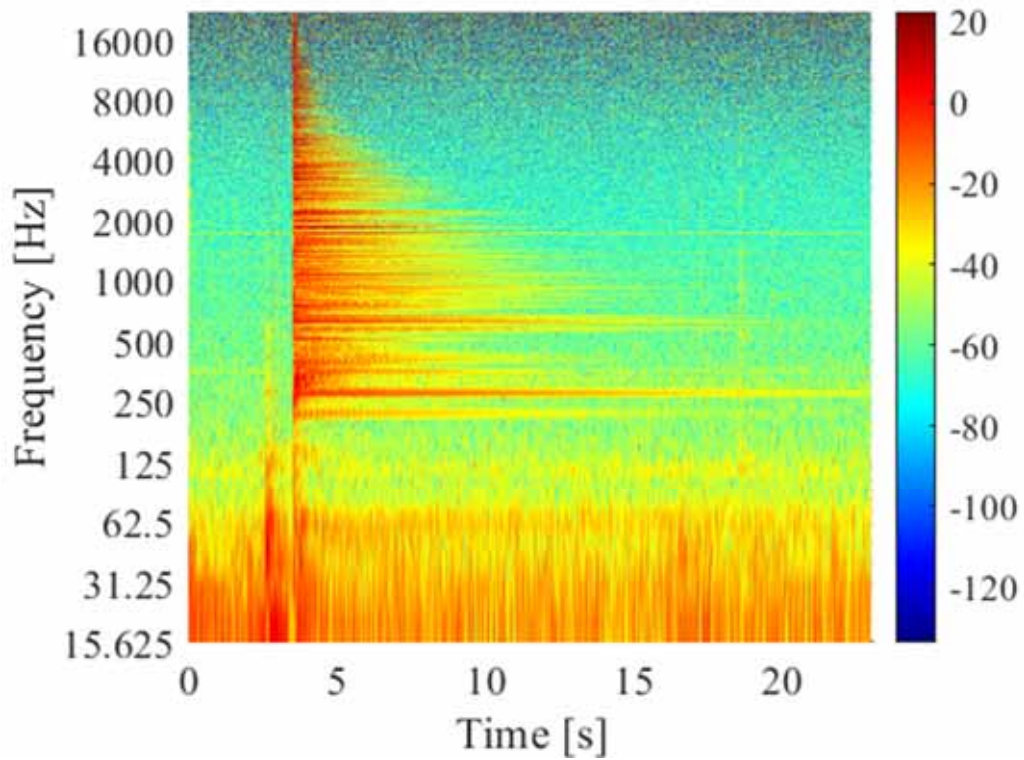


図 38 シンバル B (ボウ音) のスペクトログラム

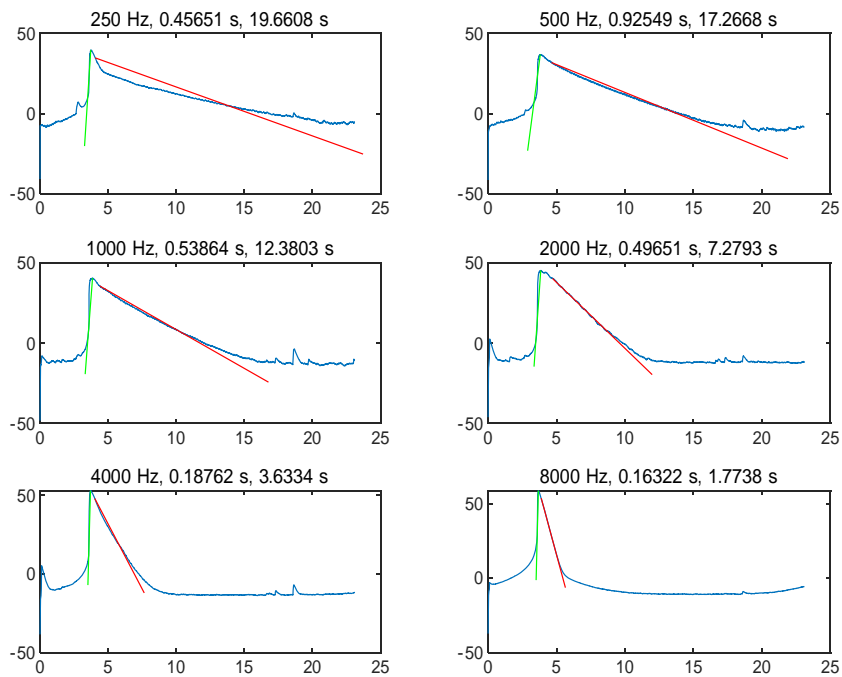


図 39 シンバル B (ボウ音) の立ち上がりと余韻のグラフ

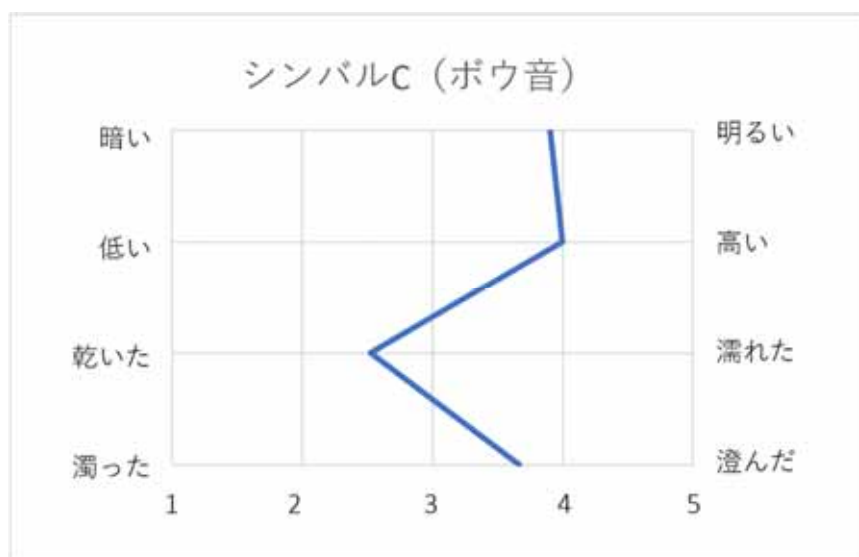


図 40 シンバルC (ボウ音) のアンケート結果

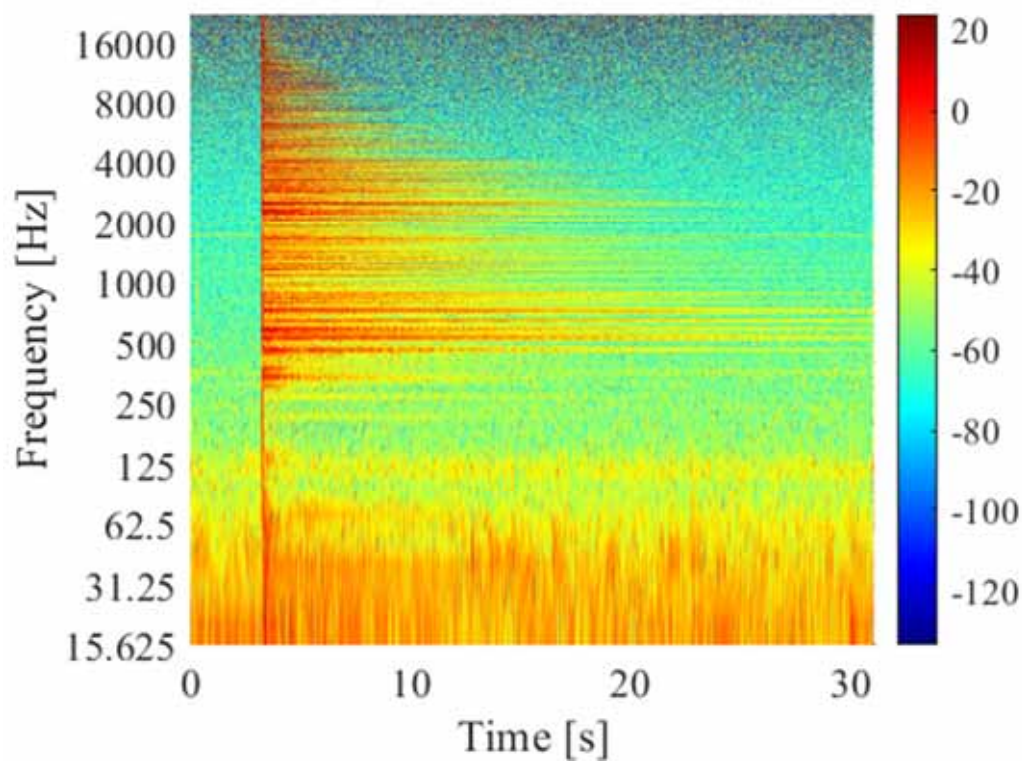


図 41 シンバルC (ボウ音) のスペクトログラム

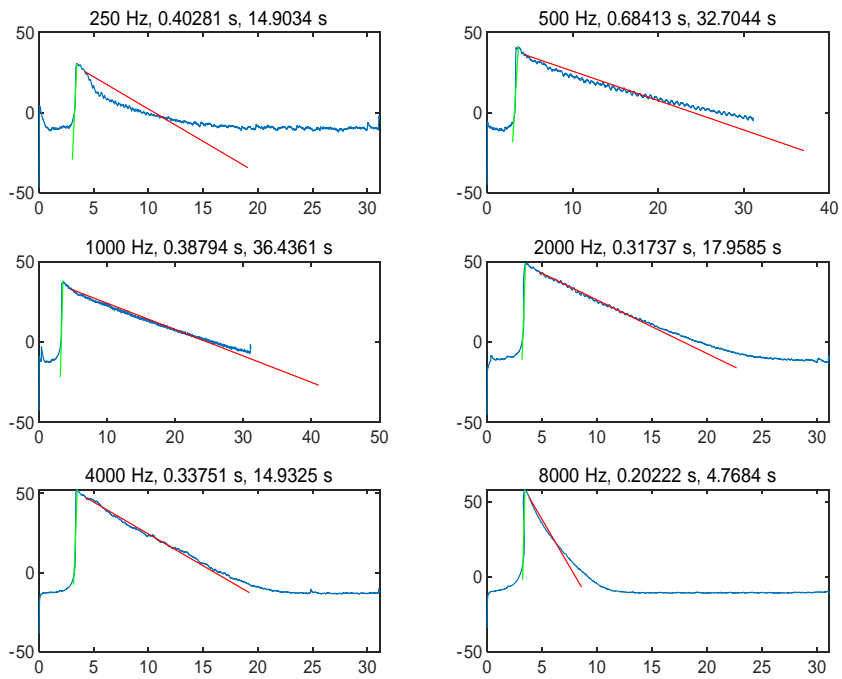


図 42 シンバル C (ボウ音) の立ち上がりと余韻のグラフ

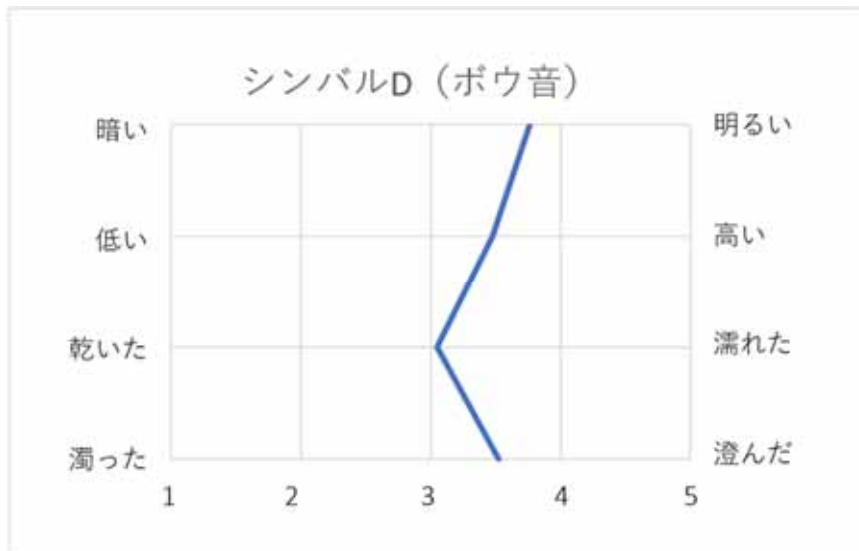


図 43 シンバル D (ボウ音) のアンケート結果

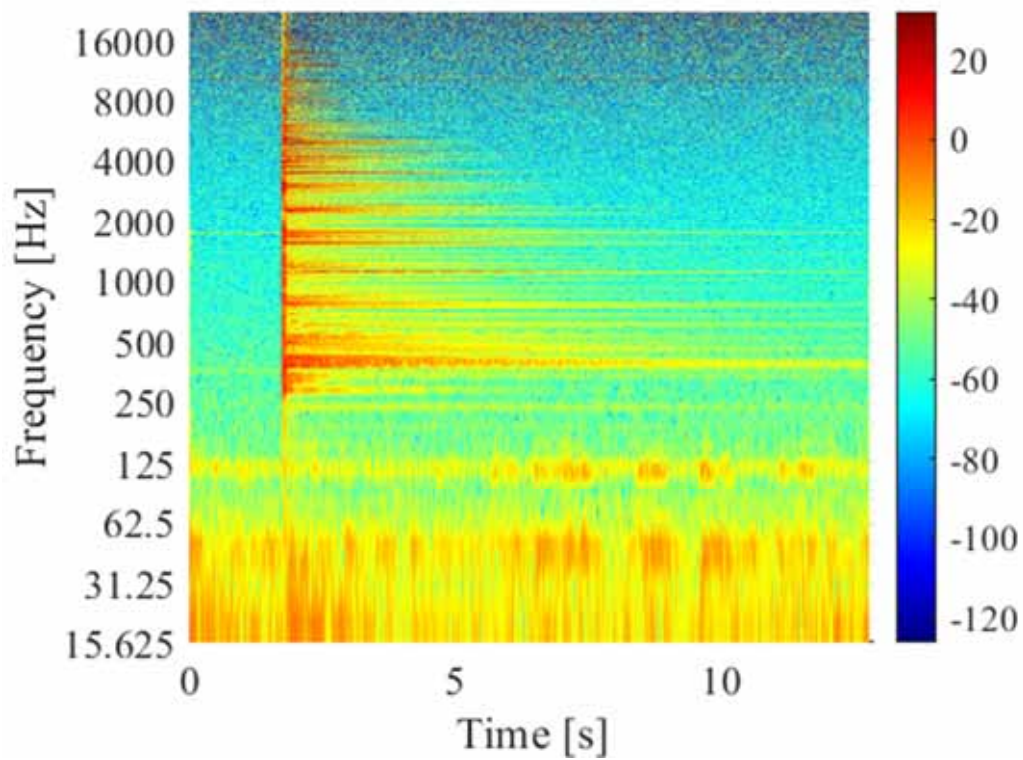


図 44 シンバル D (ボウ音) のスペクトログラム

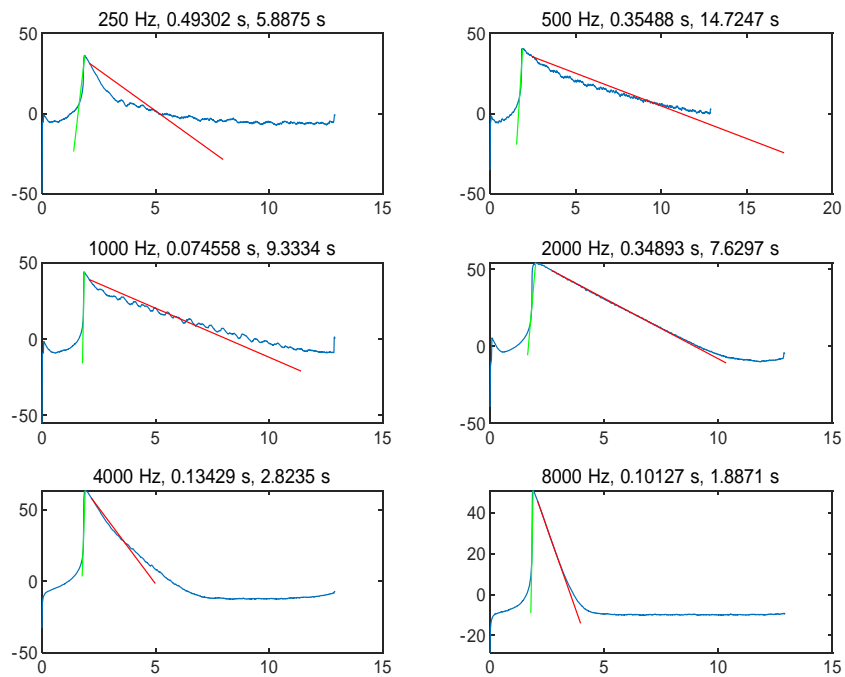


図 45 シンバル D (ボウ音) の立ち上がりと余韻のグラフ

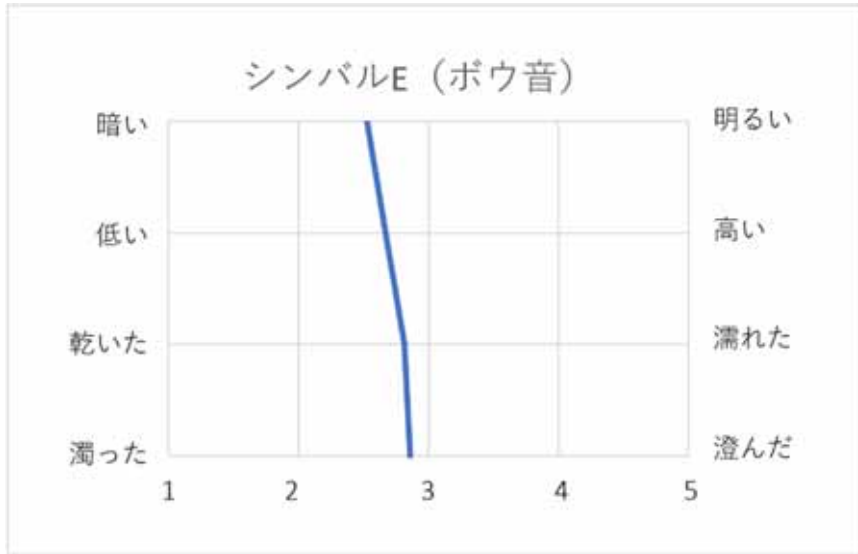


図 46 シンバルE (ボウ音) のアンケート結果

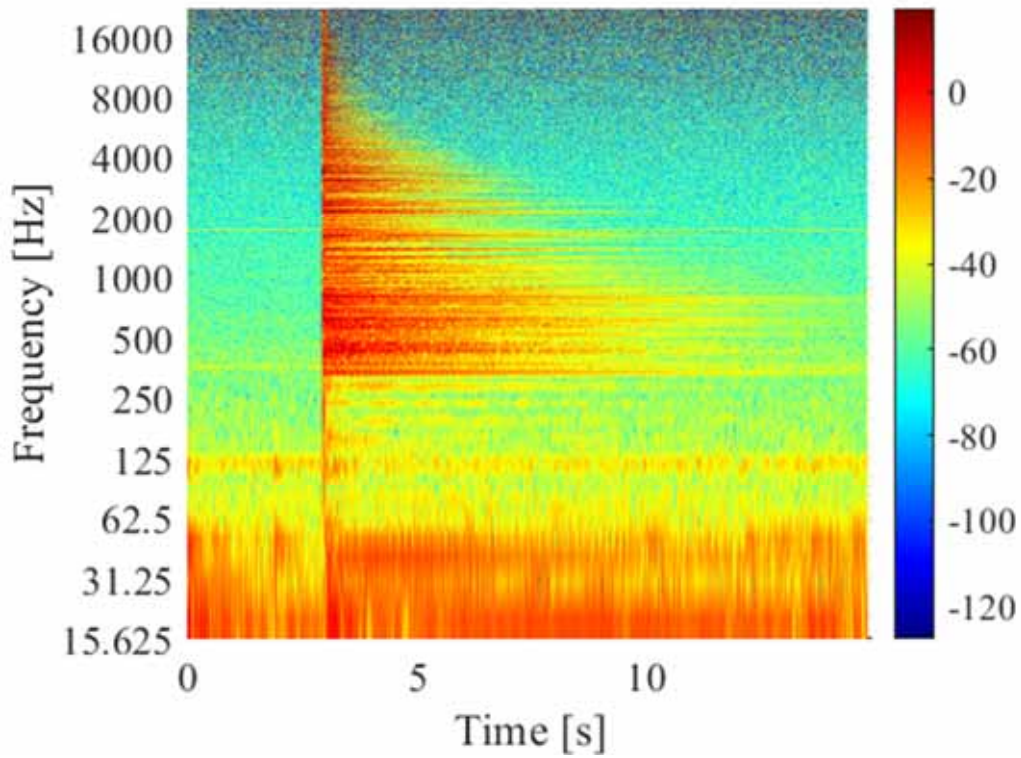


図 47 シンバルE (ボウ音) のスペクトログラム

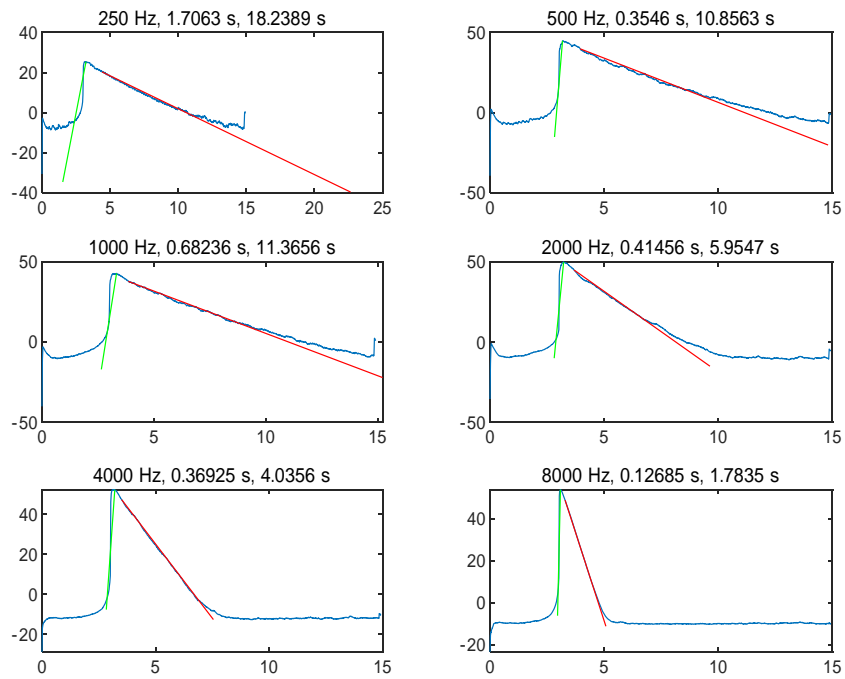


図 48 シンバル E (ボウ音) の立ち上がりと余韻のグラフ

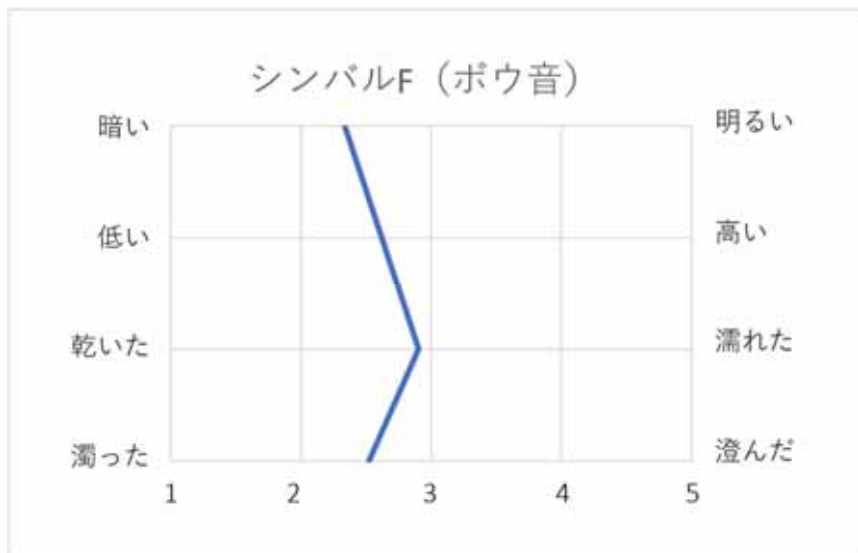


図 49 シンバル F (ボウ音) のアンケート結果

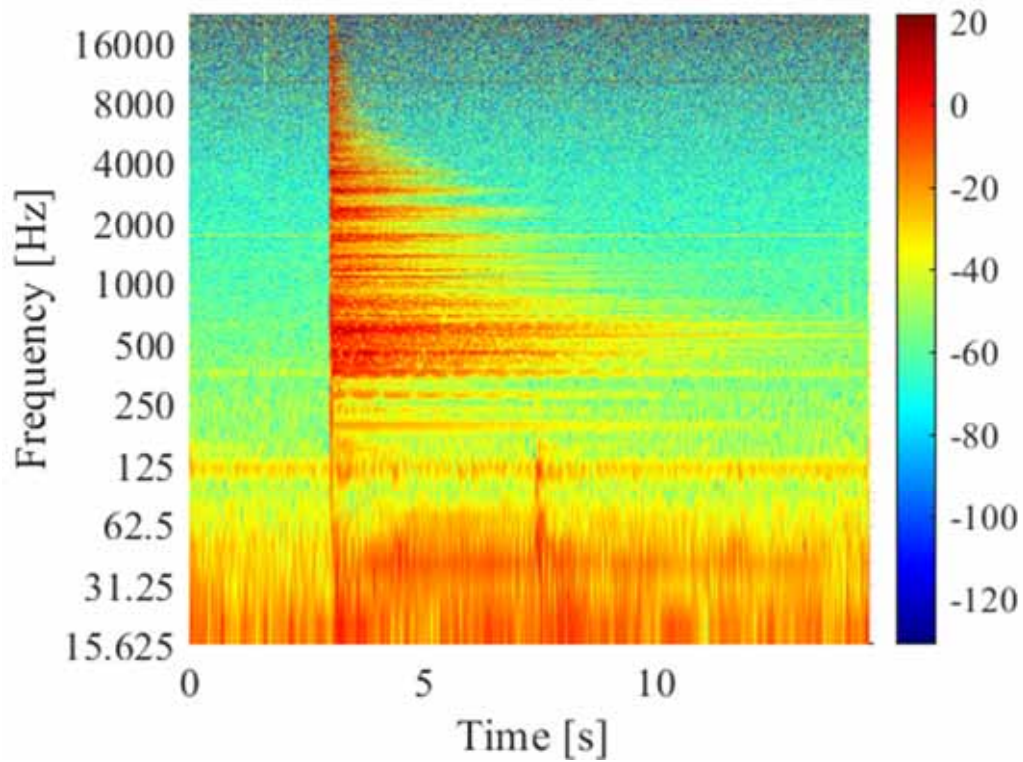


図 50 シンバルF (ボウ音) のスペクトログラム

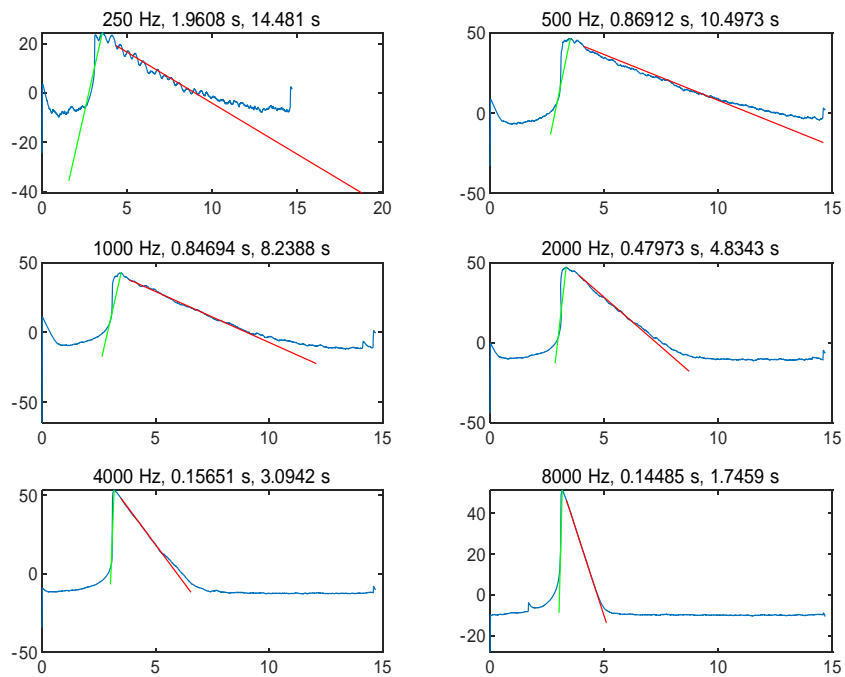


図 51 シンバルF (ボウ音) の立ち上がりと余韻のグラフ

・エッジ音

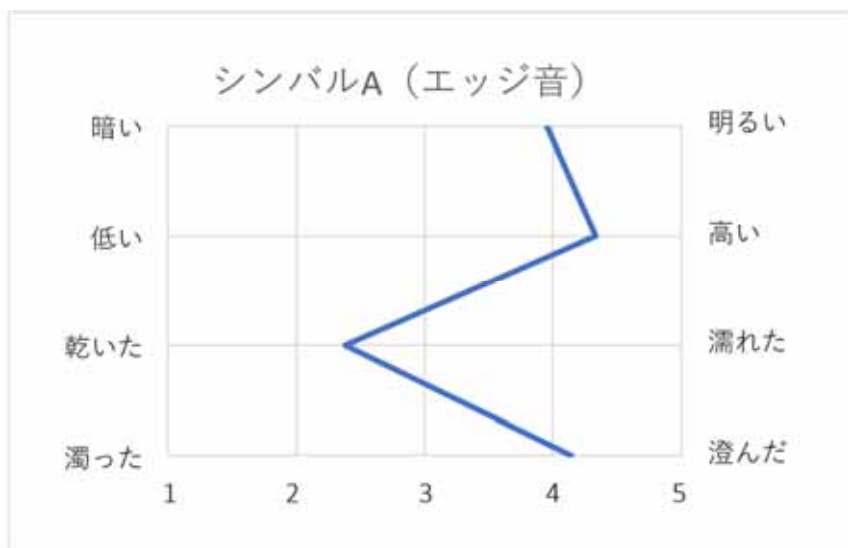


図 52 シンバル A (エッジ音) のアンケート結果

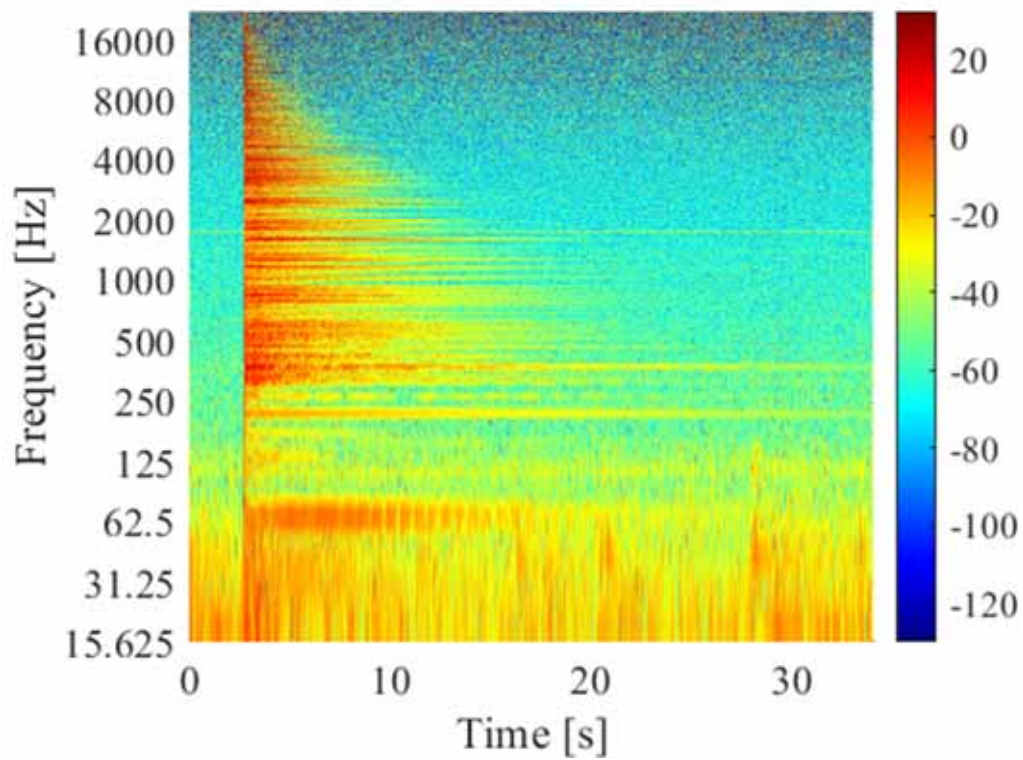


図 53 シンバル A (エッジ音) のスペクトログラム

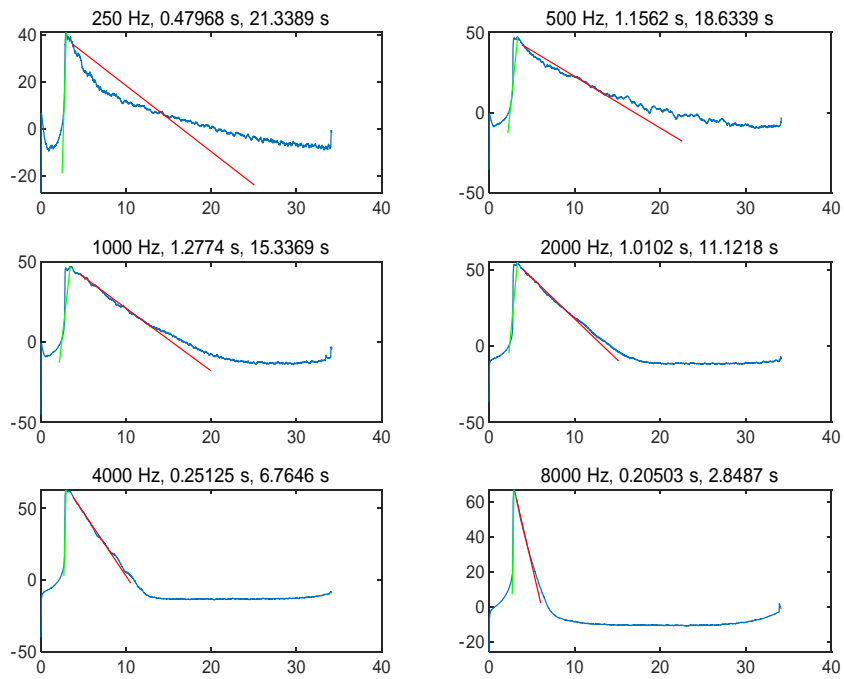


図 54 シンバル A (エッジ音) の立ち上がりと余韻のグラフ

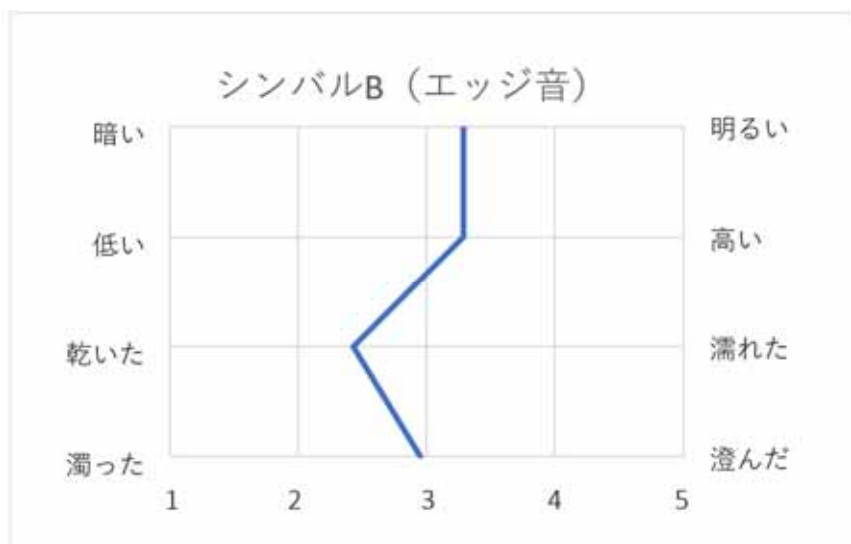


図 55 シンバル B (エッジ音) のアンケート結果

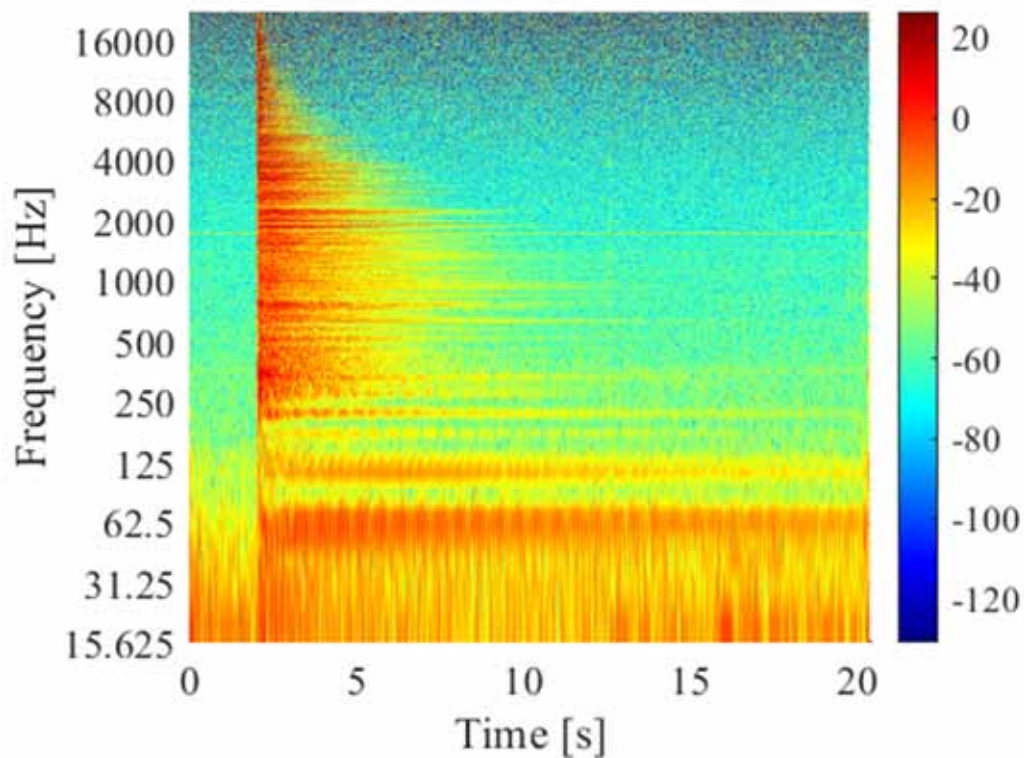


図 56 シンバル B (エッジ音) のスペクトログラム

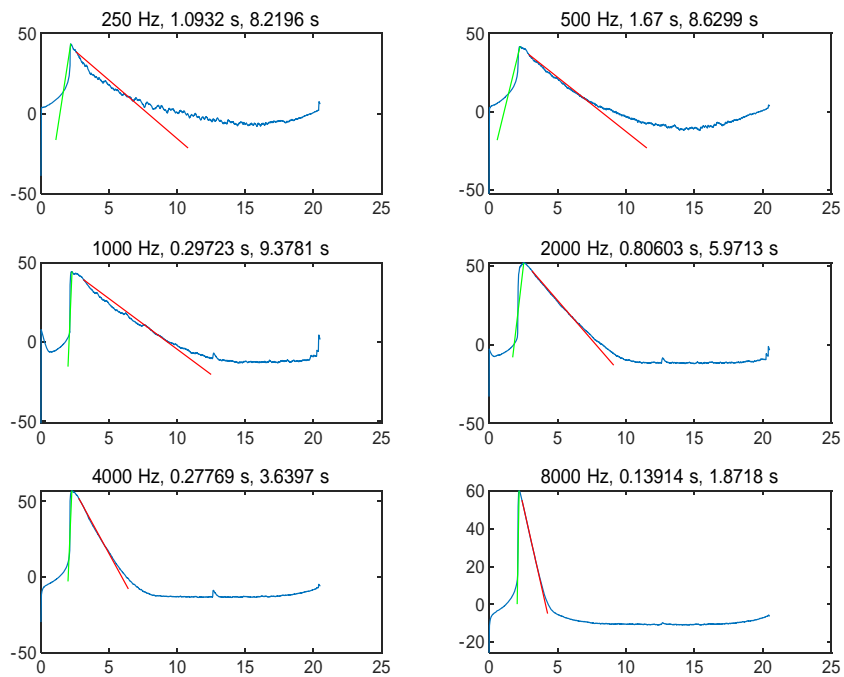


図 57 シンバル B (エッジ音) の立ち上がりと余韻のグラフ

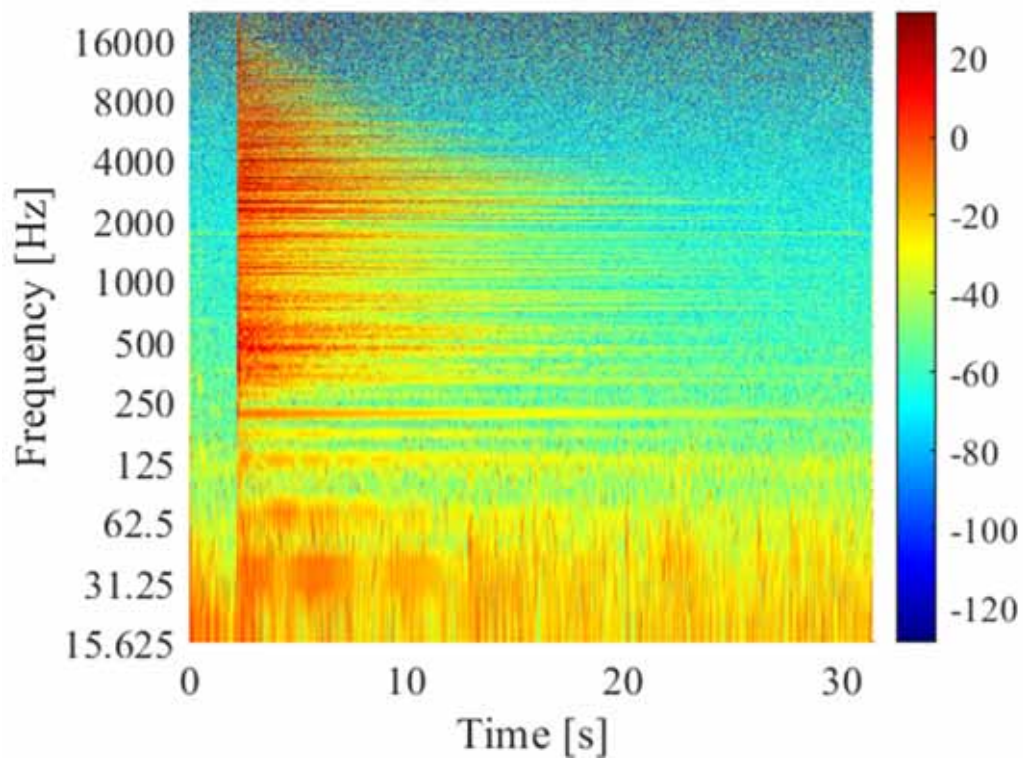


図 58 シンバルC (エッジ音) のスペクトログラム

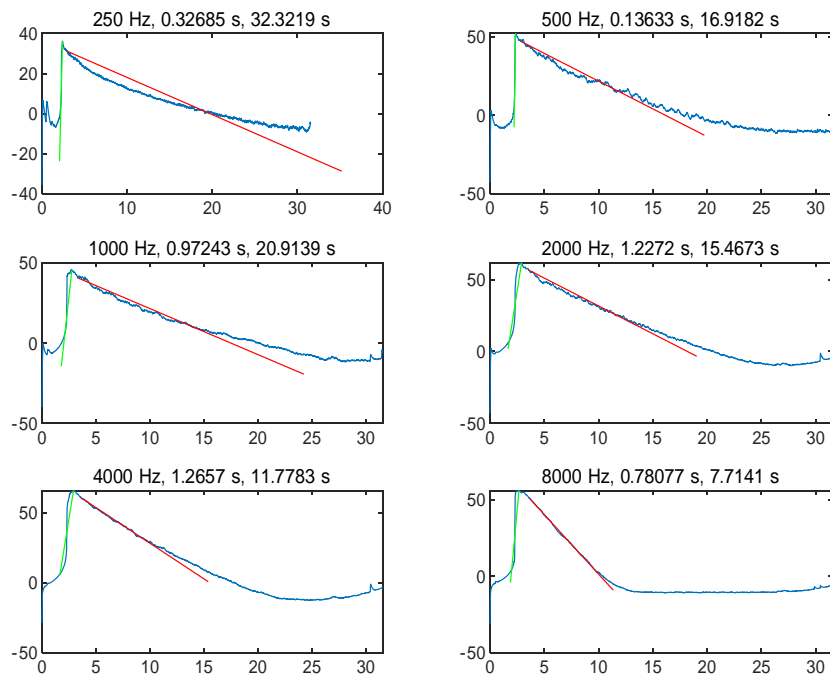


図 59 シンバルC (エッジ音) の立ち上がりと余韻のグラフ

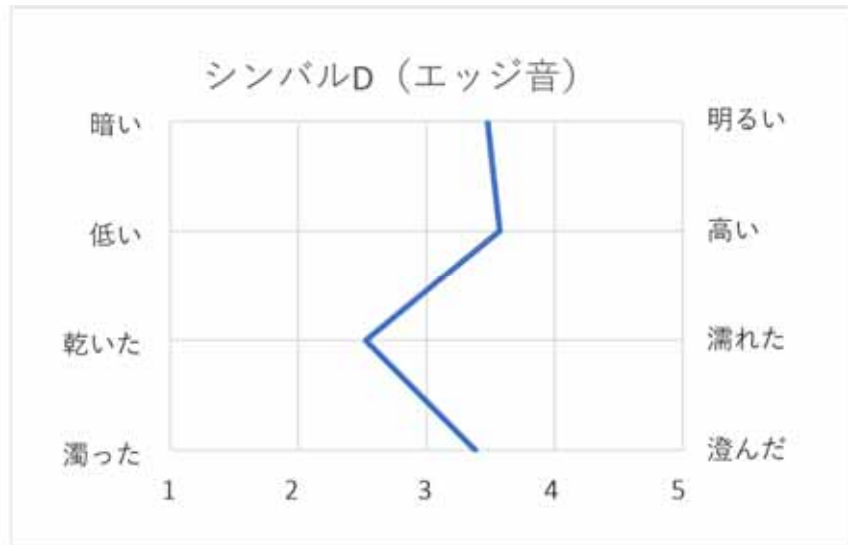


図 60 シンバル D (エッジ音) のアンケート結果

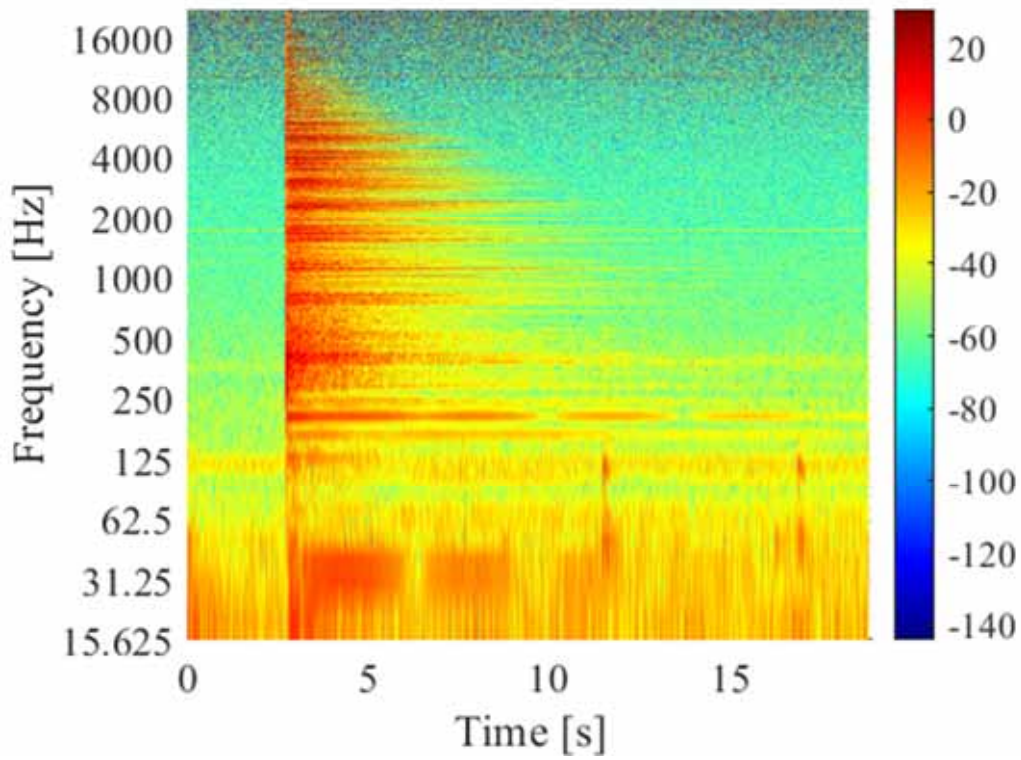


図 61 シンバル D (エッジ音) のスペクトログラム

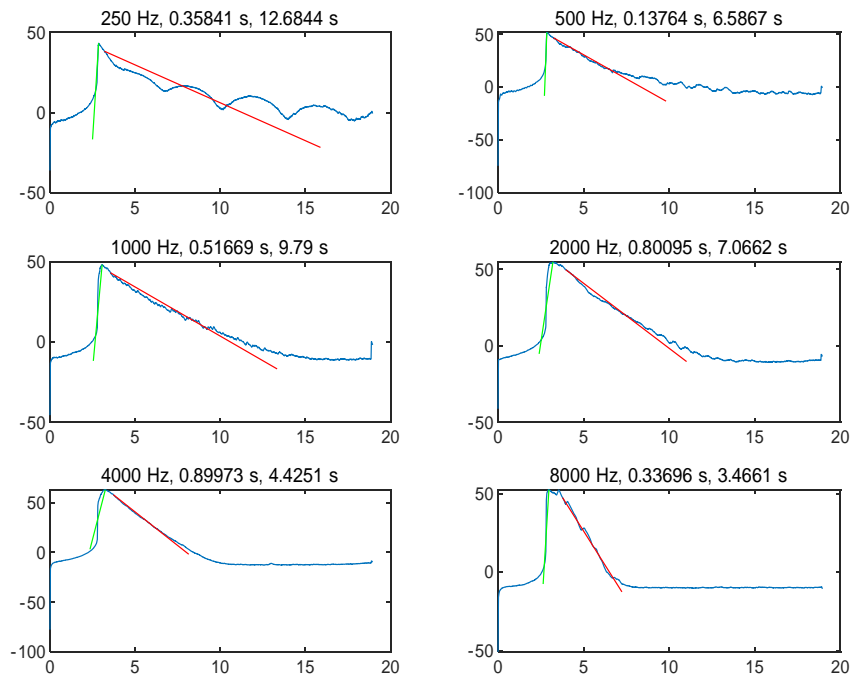


図 62 シンバル D (エッジ音) の立ち上がりと余韻のグラフ

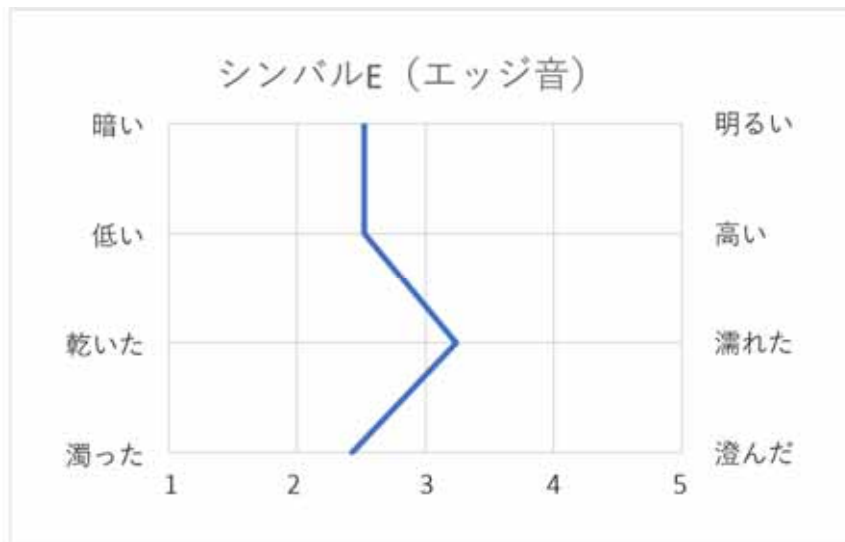


図 63 シンバル E (エッジ音) のアンケート結果

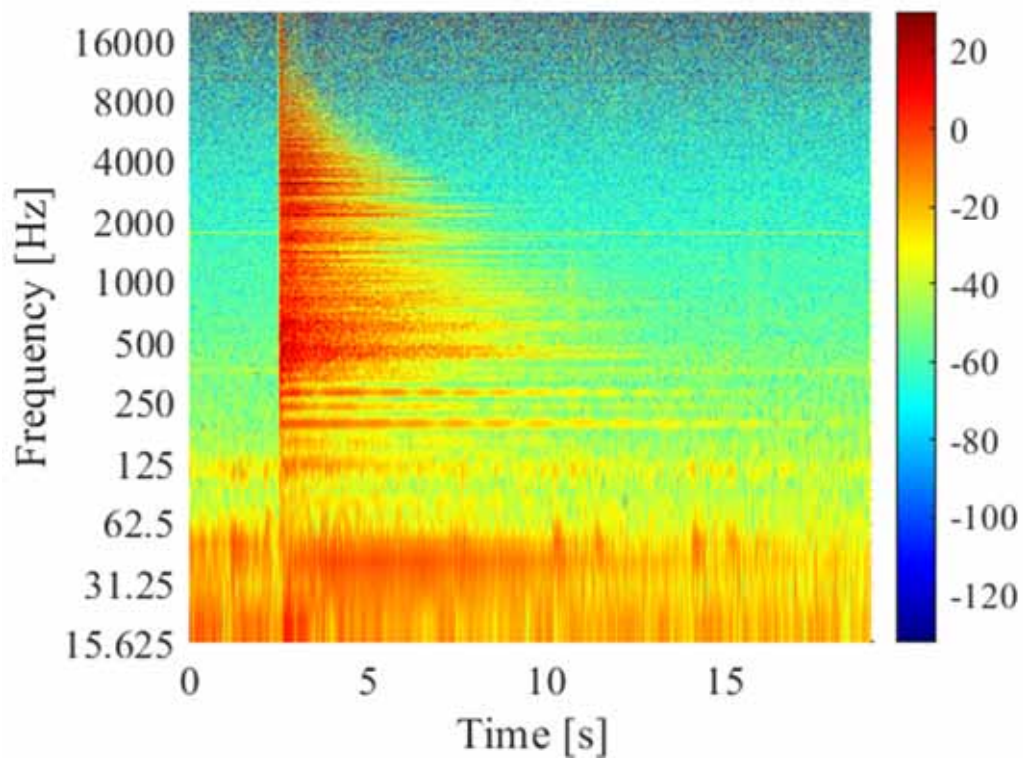


図 64 シンバルE (エッジ音) のスペクトログラム

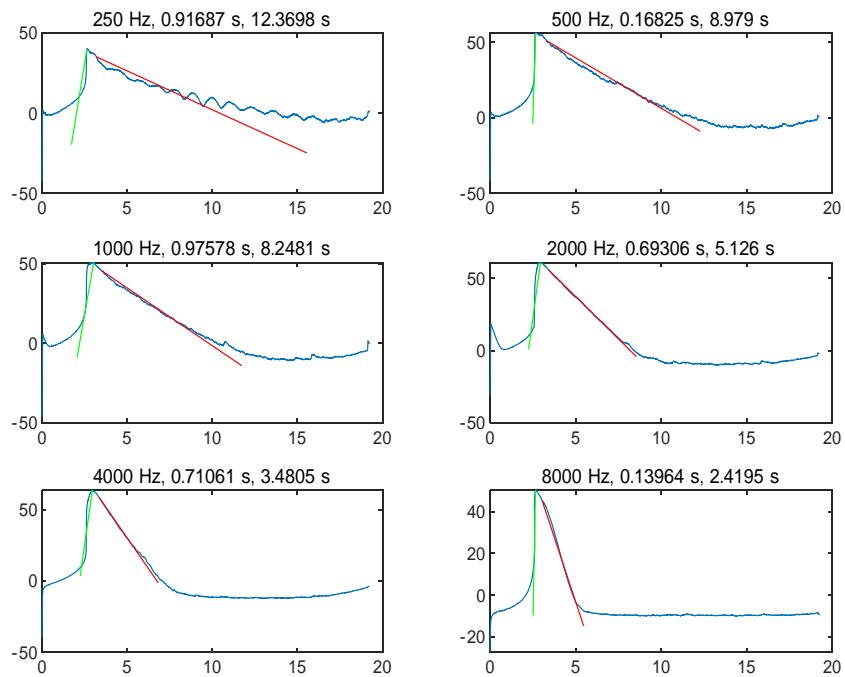


図 65 シンバルD (エッジ音) の立ち上がりと余韻のグラフ

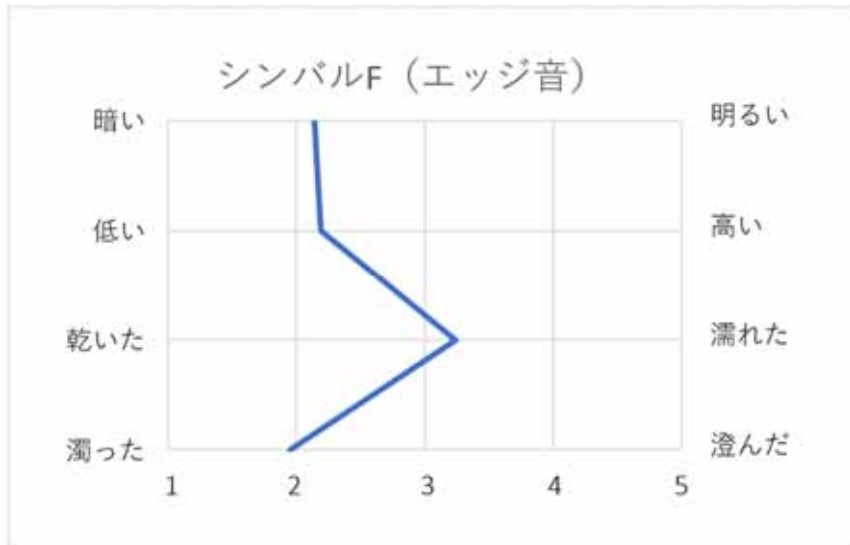


図 66 シンバルF (エッジ音) のアンケート結果

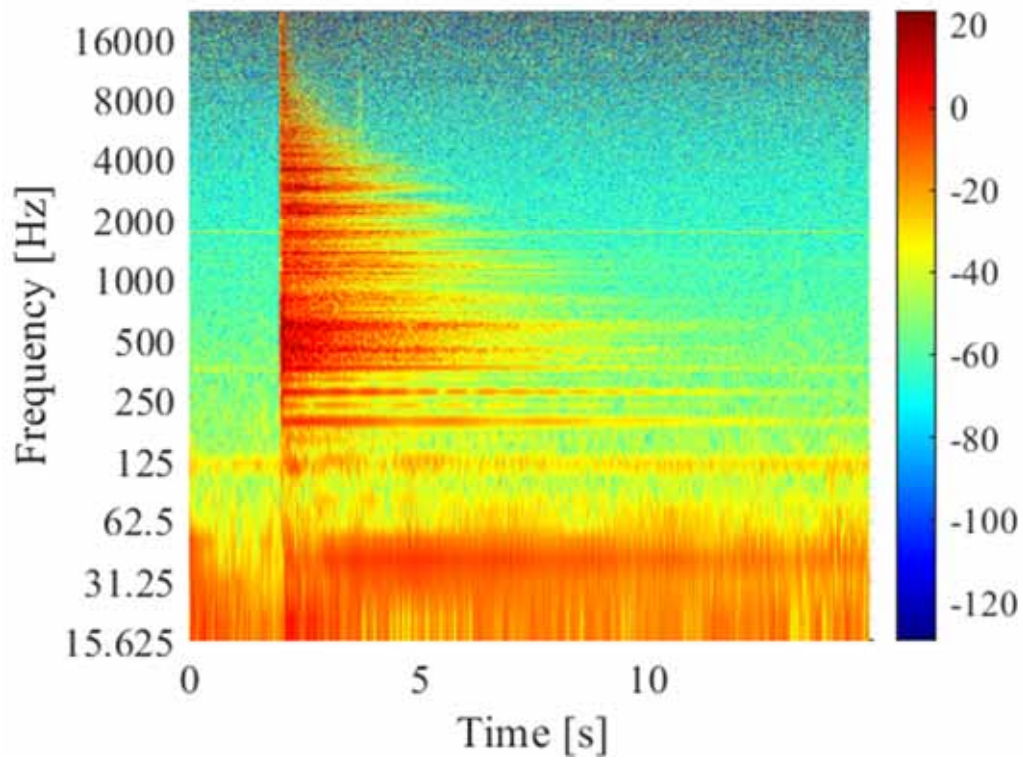


図 67 シンバルF (エッジ音) のスペクトログラム

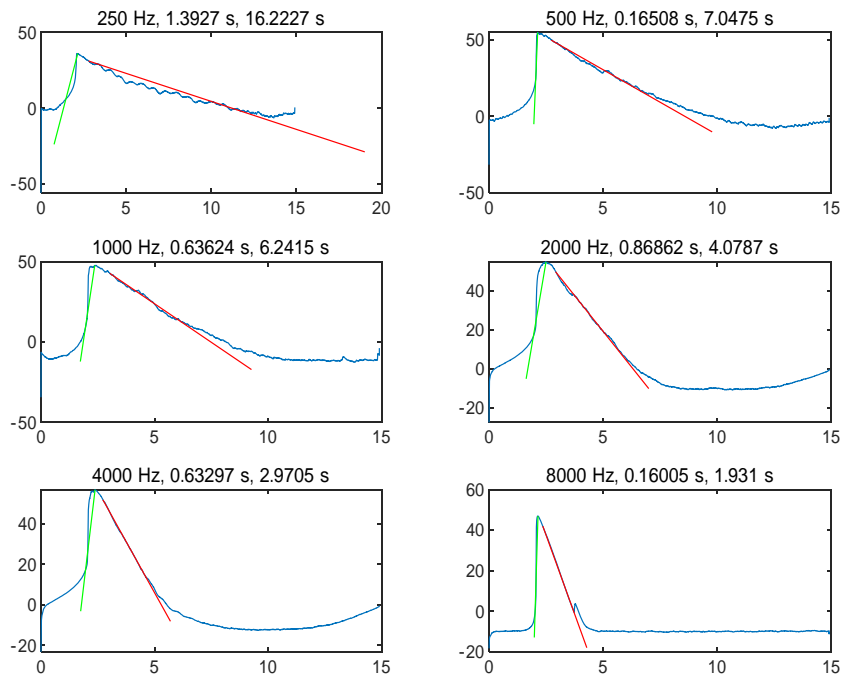


図 68 シンバル F (エッジ音) の立ち上がりと余韻のグラフ

・演奏音

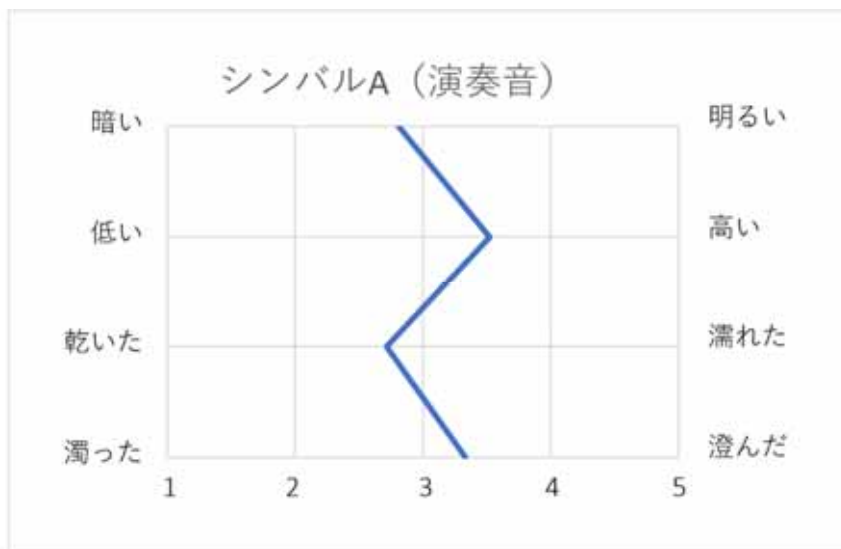


図 69 シンバル A (演奏音) のアンケート結果

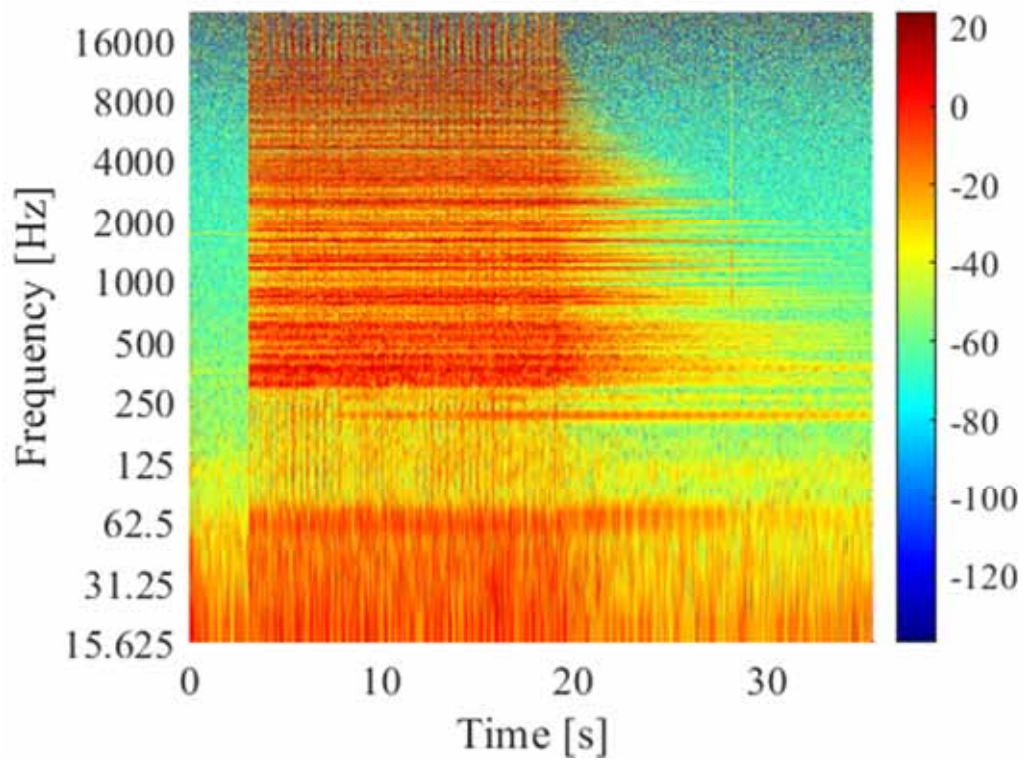


図 70 シンバルA (演奏音) のスペクトログラム

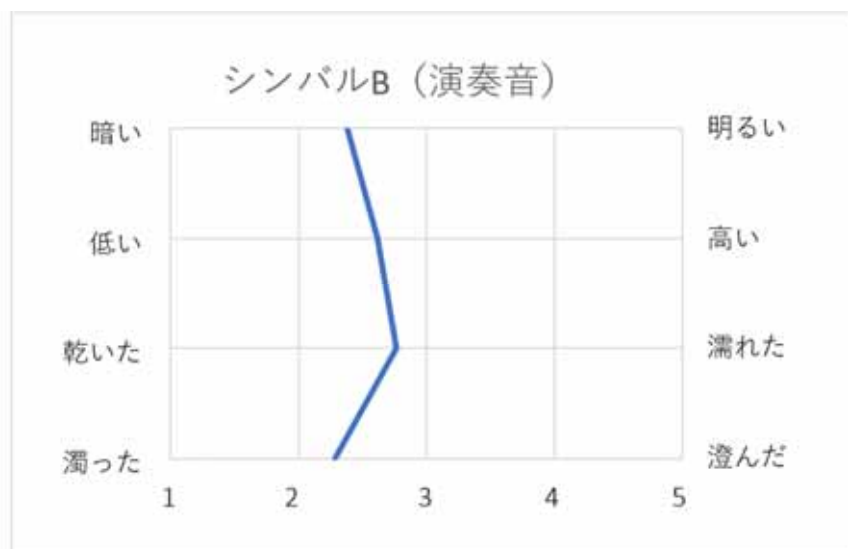


図 71 シンバルB (演奏音) のアンケート結果

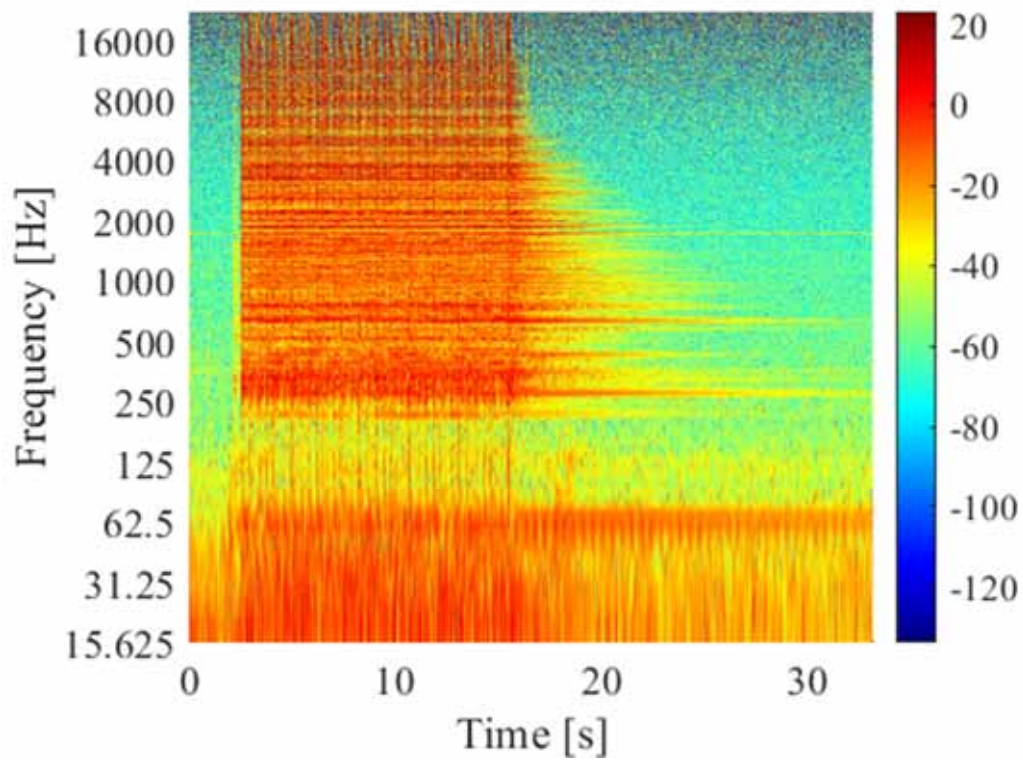


図 72 シンバルB (演奏音) のスペクトログラム

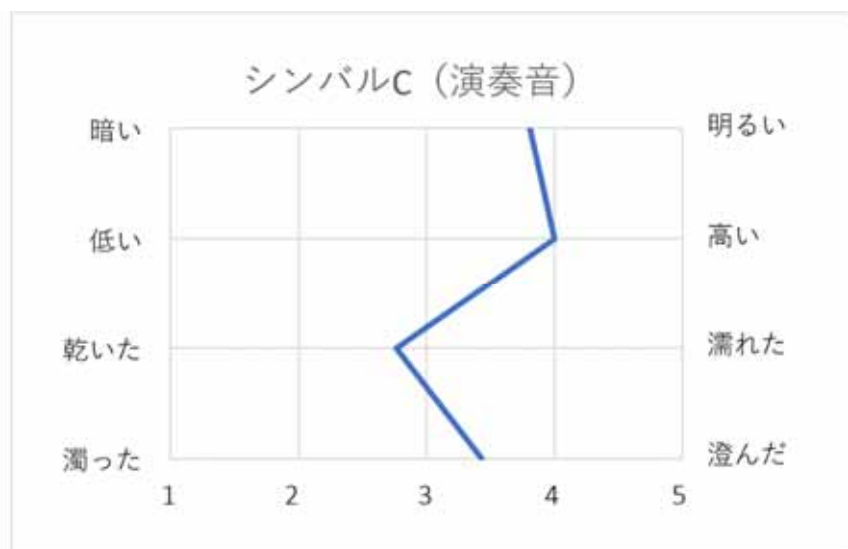


図 73 シンバルC (演奏音) のアンケート結果

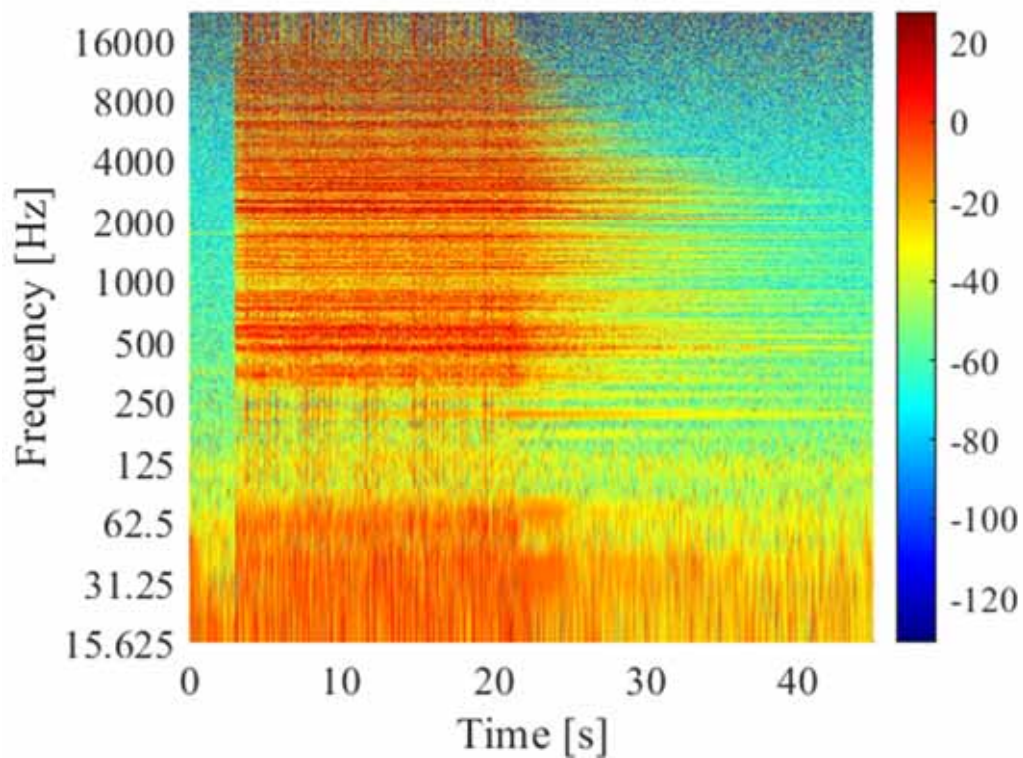


図 74 シンバルC (演奏音) のスペクトログラム

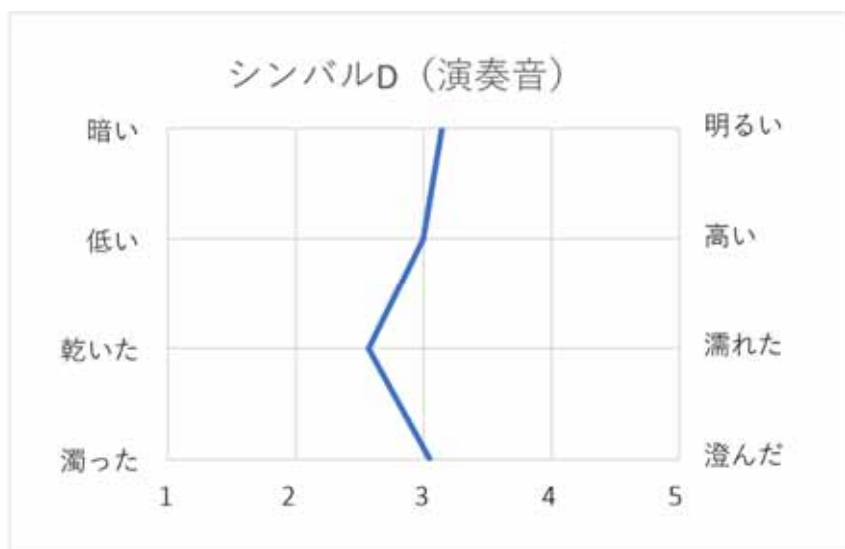


図 75 シンバルD (演奏音) のアンケート結果

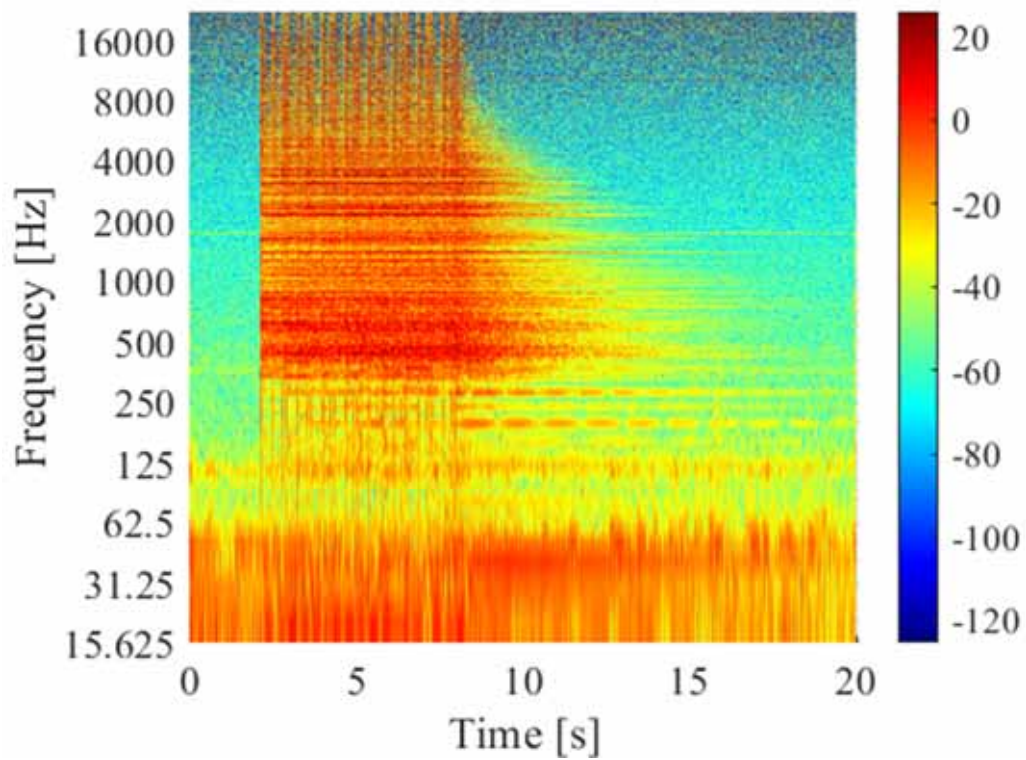


図 76 シンバルD (演奏音) のスペクトログラム

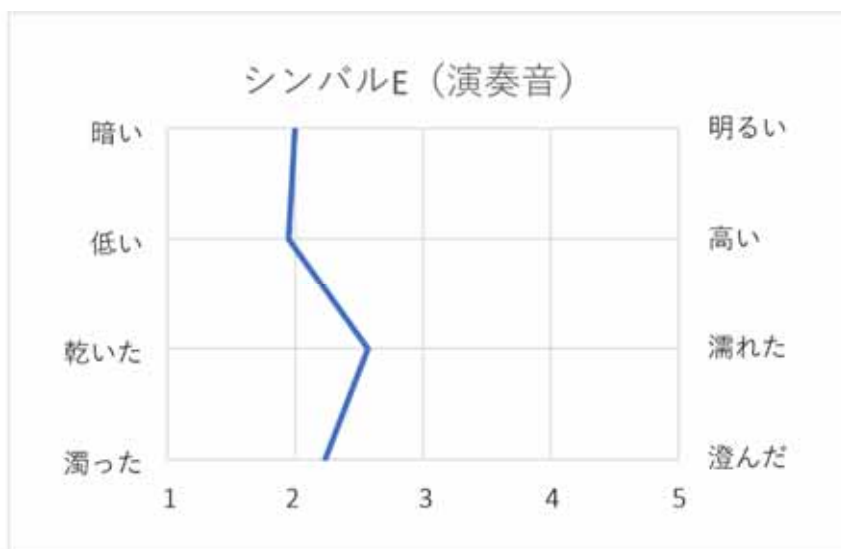


図 77 シンバルE (演奏音) のアンケート結果

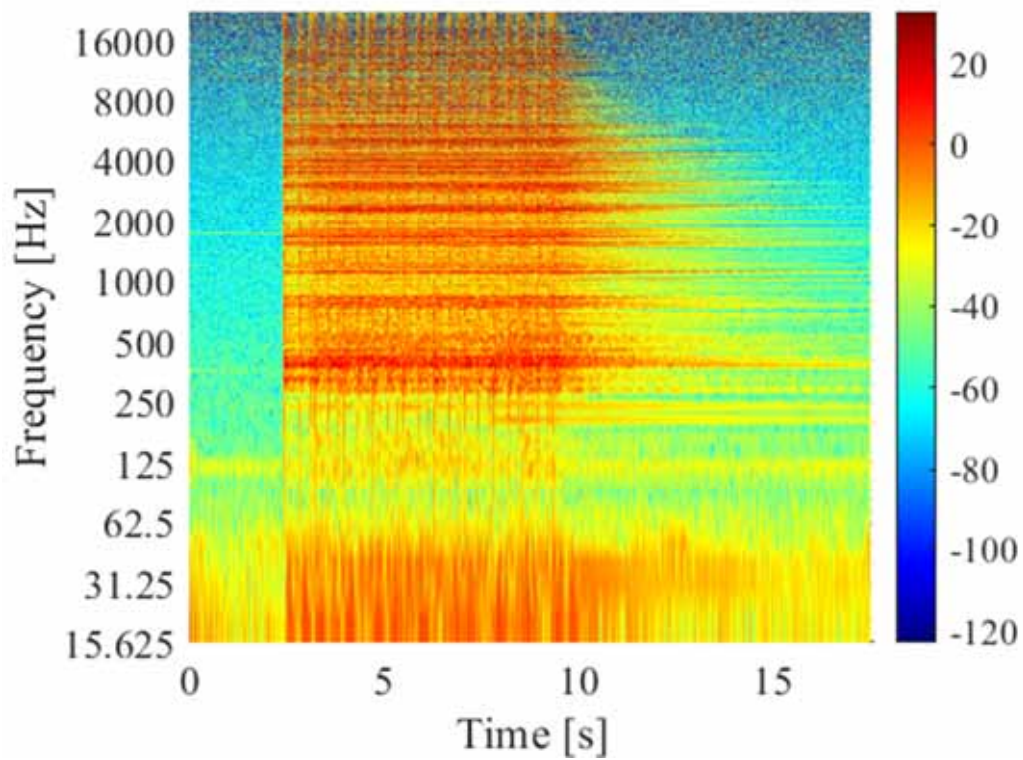


図 78 シンバルE (演奏音) のスペクトログラム

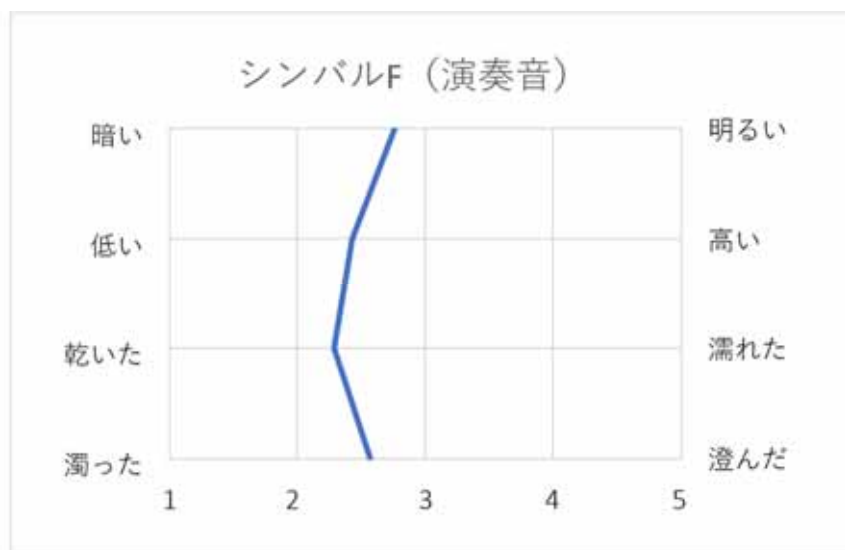


図 79 シンバルF (演奏音) のアンケート結果

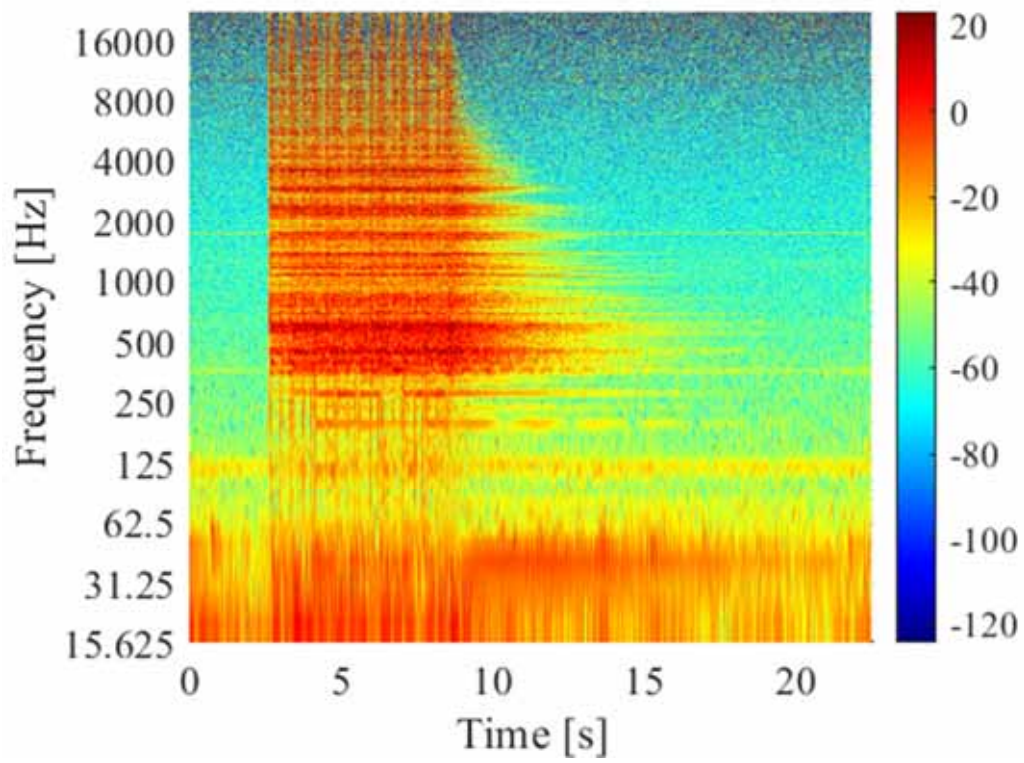


図 80 シンバルF (演奏音) のスペクトログラム

5.2 考察

5.1 のアンケート、スペクトログラム、音の立ち上がり、音の伸びの結果を踏まえて叩く位置ごとに考察を述べる。

・カップ音について

[明るい - 暗い]の項目について、一番明るいと評価されたのはシンバル C であった。続いて、シンバル D、シンバル B の順で明るいと評価されており、暗いと評価されたのはシンバル E、シンバル F であった。また、[低い - 高い]の項目について、シンバル B とシンバル C が高いと評価され、シンバル E が一番低いと評価された。これは、スペクトログラムでシンバル C は他シンバルに比べて 2000 Hz から 4000 Hz の成分が多く含まれており、シンバル E は 500 Hz 付近の成分が多く含まれているためだと考えられる。特にシンバル D、シンバル B については、他のシンバルに比べて、色が薄くなっている周波数が存在している。これは周波数特性のピークが鋭いことを表しており、そのため透明感が高く、音が明るく感じられたと考えられる。逆に、シンバル E、シンバル F は周波数特性がノイズであり、また、250 Hz の音がほかの周波数より長く伸びており、他のシンバルに比べて 1000 Hz 以上の音の減衰が早いため暗いと評価されたと考えられる。

[乾いた - 濡れた]と[濁った - 澄んだ]の項目については各シンバルのアンケートの結果にはあまり差が出なかった。

・ボウ音について

[暗い - 明るい]の項目について、一番明るいと評価されたのはシンバル C で一番暗いと評価されたのはシンバル F であった。その差は 1.5 ポイントであった。また、[低い - 高い]の項目についても、一番高いと評価されたのはシンバル C で一番低いと評価されたのはシンバル F であった。スペクトログラムを見ると、シンバル C は他シンバルに比べて 2500 Hz 付近、8000 Hz 付近の成分が多く含まれており、シンバル F は 500 Hz 付近の成分が多く含まれていたため、上記のような評価になったものと考えられる。

また、[濁った - 澄んだ]の項目について、「澄んだ」と評価されたものはシンバル C、シンバル D であった。スペクトログラムを見ると、シンバル C、シンバル D は他のシンバルに比べて、音の立ち上がりから減衰まで色が薄くなっている周波数が存在していることが分かる。既往研究では管楽器では倍音の周波数の鋭さが音の透明感に関係していることが示されている。そのため、シンバルでは、鳴っている音の種類が少なく単純な音が澄んだ音だと評価されたのではないかと考えられる。[濡れた - 乾いた]の項目について

は、各シンバルのアンケートの結果にはあまり差が出なかった。

・エッジ音について

[暗い - 明るい]の項目について、シンバル A、シンバル C が明るいと評価され、シンバル F が一番暗いと評価された。シンバル F は他のシンバルに比べて、高音域の周波数の成分について、音の減衰が早いという結果になったと考えられる。また、シンバル C とシンバル A は 2000 Hz, 4000 Hz において他のシンバルに比べて音が伸びているため明るいと評価されたと考えられる。

[乾いた - 濡れた]の項目について、シンバル E、シンバル F が濡れていると評価されている。シンバル E、シンバル F のスペクトログラムを見ると、シンバル音を鳴らした瞬間に中音域である 500 Hz から 2000 Hz で他のシンバルよりも色が濃くでているためだと考えられる。

[濁った - 澄んだ]の項目について一番澄んでいると評価されたのはシンバル A で一番濁っていると評価されたのはシンバル F である。スペクトログラムを見ると、シンバル A は 2000 Hz 付近や 1000 Hz 付近で色が薄い部分があるのに対し、シンバル F はどの周波数も色が濃く出ている。より複雑な音が鳴っているため濁って聴こえるのではないかと考えられる。

・演奏音について

[暗い - 明るい]の項目について、シンバル C が一番明るいと評価され、シンバル E が一番暗いと評価された。また、[低い - 高い]の項目について、シンバル C が一番高いと評価され、シンバル E が一番低いと評価され、その差は 2.04 ポイントであった。スペクトログラムをみると、余韻の部分で、シンバル C は 2000 Hz から 4000 Hz で音が長く残っているのに対し、シンバル E は 500 Hz 付近で音が長く残っていたことが分かる。このことより、余韻で残る周波数のバランスで、音の高さ、明るさの印象が決まるのではないかと考えられる。

[乾いた - 濡れた]の項目について、アンケートの結果にはあまり差が出なかった。

[濁った - 澄んだ]の項目について、シンバル C、シンバル A、シンバル D の順に澄んでいると評価され、シンバル B が一番濁っていると評価された。スペクトログラムを見ると、シンバル C、シンバル A、シンバル D では色が薄くなっている周波数が存在するのに対し、シンバル B は比較的全ての周波数が均等な濃さになっている。

第6章 結論

本研究の目的は、周波数特性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、視覚的、または、数値的に音色の特徴を得ることである。シンバルの音源をもとに、周波数分析とアンケートを行った結果、シンバル音の明るさには、音の高さ、濁り具合が密接にかかわっていることが分かった。また、明るいシンバルのスペクトログラムは、高音域が強く出て、音が伸びていること、色が濃くなっていない周波数が存在するという特徴があることが分かった。

本研究では被験者が少なく、シンバルの種類も限られていた。また、「明るさ」、「濁り具合」、「高さ」、「乾き具合」の評価のみであったため、心理評価と物理評価の適切な関係の結果を得るにはさらなる評価実験を実施する必要があると考えられる。

参考文献

- [1] 渡辺彩菜「音色に関する物理的評価と心理的評価の対応について」令和 5 年度関西大学環境都市工学部建築学科卒業論文
- [2] 小川渉、鞍谷文保、吉田達哉、小出俊雄、水田泰次「シンバルの音響特性に及ぼすベルサイズの影響」日本機械学会論文集（2019 年 12 月）