

平成 24 年度
プロジェクト研究報告書

SD 法を用いたノイズの印象評価

1130303 岩田 貴江

指導教員 福本 昌弘

2013 年 2 月 26 日

高知工科大学 情報学群

要 旨

SD 法を用いたノイズの印象評価

岩田 貴江

ノイズ除去フィルタはフィルタをかける前の音やフィルタをかけた結果を S/N 比等の数値的な工学の面から評価を行っているものは多いが、人間が実際に聴いた時どのように感じるかを感性工学の面から考えたものは少ない。しかし数値的な面からいくらノイズが除去できていても、実際に聞いた際に音自体は小さくてもノイズが不快でと感じられるケースがあることは想定できる、実際に感性工学の面から聴覚特性を踏まえた上で調査が行えるならば、より高水準での評価ができる。

本研究では、SD 法を用いたアンケートを行うことで元信号にノイズが乗った際にどのように感じられるかを調査し、その調査結果が人間の聴覚特性を考慮できているかを調査し、どの音域のノイズがどれだけの影響を元信号に及ぼすのかを調べ、その影響力を表す度合いを、ノイズがどれだけ不快であるか、もしくはどれだけ原音の再現を阻害しているかの感性を数値化することで、実際に元信号に乗ったノイズについてノイズ除去の優先順位を調査し、その結果が人間の聴覚特性の観点から見た予測に沿ってあるならば、人間の聴覚特性を考慮できたとし、SD 法を用いた評価が人間の聴覚特性を考慮できることを確認した。

キーワード 人の聴覚特性 SD 法 等ラウドネス曲線 ノイズ 印象評価

目次

第 1 章	序論	1
1.1	本研究の背景と目的	1
1.2	本論文の構成	2
第 2 章	聴覚特性と SD 法	3
2.1	人間の可聴領域	3
2.2	等ラウドネスレベル曲線	3
2.3	SD 法	5
第 3 章	実験と結果	6
3.1	実験環境	6
3.2	使用した音	7
3.2.1	使用したノイズ	7
3.2.2	使用した元信号	11
3.3	使用したソフトとその機能	15
3.4	SD 法を用いたアンケート実験	15
3.4.1	アンケートの内容	15
3.4.2	アンケートの目的	16
3.4.3	アンケートの実験手順	16
3.4.4	アンケート結果	17
3.5	結果集計図	18
3.6	補足実験	27
3.6.1	補足実験の内容	27
3.6.2	補足実験の結果	27

目次

3.6.3	補足実験の考察	29
第 4 章	結論	31
4.1	まとめ	31
4.2	今後の課題と展望	32
	謝辞	34
	参考文献	35
付録 A	SD 法のアンケート結果 1	36
付録 B	SD 法のアンケート結果 2	37
付録 C	SD 法のアンケート結果 3	38
付録 D	SD 法のアンケート結果 4	39
付録 E	SD 法のアンケート結果 5	40

第 1 章

序論

1.1 本研究の背景と目的

生活環境が発展するにつれ，環境音や機械音といったノイズが私達の日常に多く含まれ，社会的な要求としてノイズが無い環境が求められている．その要求に対しアクティブノイズキャンセラを用いた環境雑音の低減といった様なノイズの除去技術が用いられるようになった．しかし，これらの除去技術はスパース性等の環境を想定した上でノイズが不快であることを前提に作成されており，それらのノイズや環境は S/N 比やスペクトラムといった数値的な評価でしか調査されておらず，実際に人間特性の観点から見て不快であるかどうかは考えられていない．その為，対象とするべきノイズを人が聴いた際にどのように感じるかといった感性工学の面からノイズの除去技術を適用するべきノイズを判断する必要がある．しかし，全てのノイズに対して何度も感性工学の面から判断をすることは，時間的にも，現実的にも不可能である，その為ノイズ全体がどのような性質を持つ時，どのような影響を及ぼすかの傾向を調査する必要がある．

本研究では，ノイズの性質を周波数に限定し SD 法で評価することで，ノイズの周波数の変化によってノイズが元信号にどれだけ影響を与えるか，ノイズと元信号が合わさった音を調査し，人にどのように聴こえるかで調査する．またノイズの影響を表す尺度を，ノイズがどれだけ不快であるか，もしくはどれだけ原音の再現を阻害しているかについて設定し，SD 法を用いた評価を行うことで人間の聴覚特性を踏まえた調査をする．本研究の目的は，ノイズの周波数毎での不快感や原音の阻害具合を比較することで，ノイズの周波数を変化さ

1.2 本論文の構成

せた際の元信号への影響を SD 法を用いて調査し、感性工学の面からどのノイズが信号にどのような影響を与えるかの傾向を調査することが目的である。

1.2 本論文の構成

本論文は全 4 章で構成されており、本章では例を挙げてノイズが元信号に影響を与えていることを述べ、本研究の目的が何かを述べた。

以下、2 章では本研究に関連する人間の聴覚特性とアンケートしに使用した SD 法について述べた。3 章では、本研究の実験環境と使用した音、ソフト、アンケートの詳細を述べ、実験の結果として得られた成果とその考察を述べ、補足として行った実験とその結果、考察を述べた。4 章では、3 章から得られた結果を元に本研究のまとめと今後の課題と展望について述べる。

第 2 章

聴覚特性と SD 法

2.1 人間の可聴領域

今回、可聴領域を 20Hz から 15,000Hz の範囲に設定し、その中からノイズの周波数を選んだ、この項ではその可聴領域について説明する。

人間が鼓膜の振動を音として感じる範囲は人により個人差が存在するが、20Hz から 15,000Hz の範囲、20Hz から 20,000Hz の範囲とされており、この周波数帯域が可聴領域とされている。この可聴領域は、人間が年齢を重ねるにつれ範囲が縮小する、まず高周波数帯の聴力から先に縮小し始め、20 代を過ぎるとどの周波数の音に対しても徐々に聴力が縮小し、最終的に老人性難聴、いわゆる耳が遠くなる現象が起きる。しかし、老人性難聴となった場合においても、低周波数帯の音に対する聴力は比較的保たれている。

人間の可聴領域を考慮すると、ほとんどの人は高周波数帯になればなるほど聴こえづらく高周波数帯に比べ低周波数帯は聴こえ易い傾向にある。

2.2 等ラウドネスレベル曲線

今回、実験を行った結果を補足するための実験において、等ラウドネスレベル曲線の考え方をうい、ノイズの音圧レベルを調整した、この項では等ラウドネスレベル曲線がどのようなものを述べる。

人間の聴覚特性を表す指標の 1 つとして等ラウドネスレベル曲線がある。等ラウドネスレベル曲線は聴感上の音の大きさ（ラウドネス）の度合いを横軸を周波数 [Hz] で、縦軸を

2.2 等ラウドネスレベル曲線

音圧量 [dB] で表したものを指し、音の周波数を変化させる中で人間が聴こえる音の大きさが等しい音圧量を測定し、それらを等高線として結ぶことにより作成された指標であり、ISO226：2003 で国際標準化されたものである。

等ラウドネスレベル曲線を図 2 に示す。

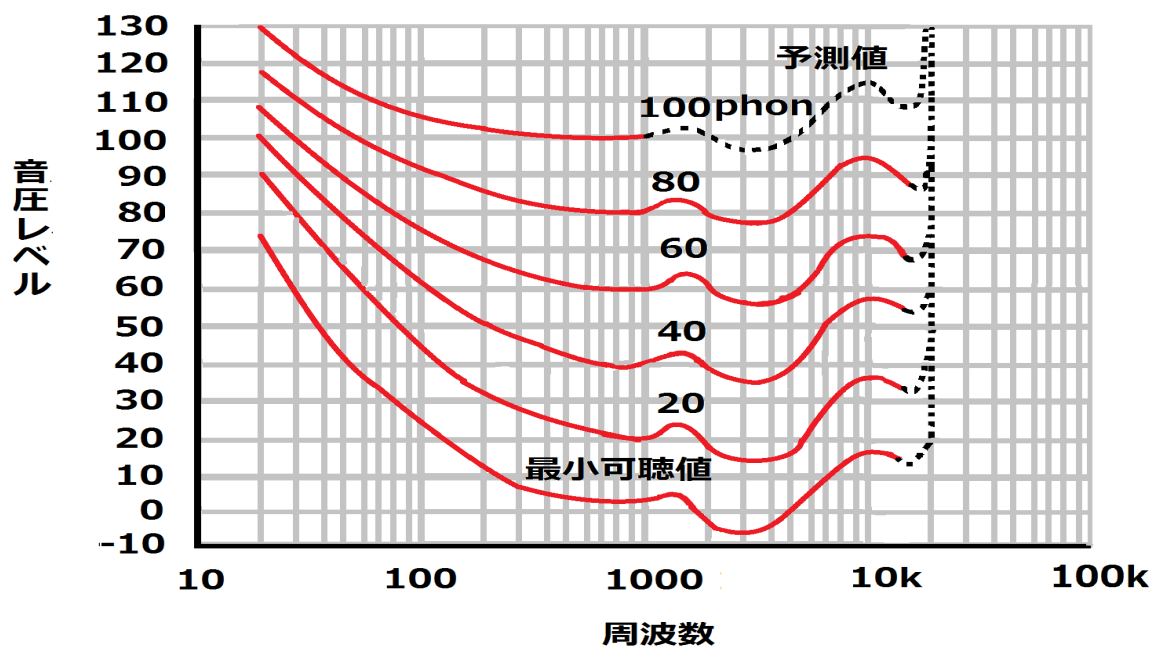


図 2 等ラウドネスレベル曲線

等ラウドネス曲線から人間の耳が音の音圧量によらず周波数が低すぎても、高すぎても聴こえづらく、3,000Hz から 5,000Hz の範囲の周波数帯が聴こえやすいといった特徴を持つことがわかる。この特徴が分かる現象として、実際は同じ音圧である音が、周波数によって音の大きさが変化して聞こえる現象が挙げられる。これは、音圧が等しい状況下において聴こえやすい 3,000Hz から 5,000Hz の周波数帯と、聴こえにくい高すぎるもしくは低すぎる周波数帯を聴くことで音の大きさが変化しているように聞こえる現象である。

2.3 SD 法

2.3 SD 法

SD 法とは意味差判別法ともいい，早い - 遅い，明るい - 暗い，重い - 軽い，等の対立する形容詞の対に対して，対象の印象を 5 段階あるいは 7 段階で評価する方法を指し，この印象の尺度の度合いから対象とした事項の意味構造を明らかにできる評価手法である．今回の研究ではノイズの傾向と，度合いを測定する．

第 3 章

実験と結果

3.1 実験環境

実験で使用したものは、スピーカー 2 つと PC(windows7) とアンケート用紙、筆記用具、元信号を 5 種類、元信号とノイズを合わせたものを 25 種類使用した。使用したものを図 8 に示す。

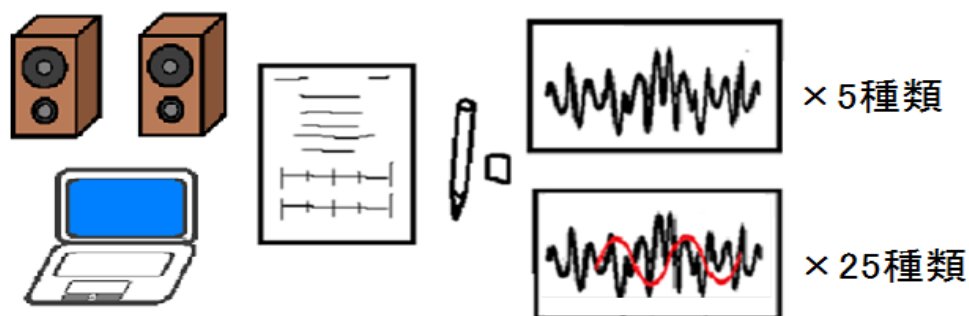


図 8 使用したもの

人がスピーカーから音楽を聴く距離を想定し、スピーカーから 60cm 離れた場所に被験者を座らせ実験を行った。その図を以下の図 9 に示す。

3.2 使用した音

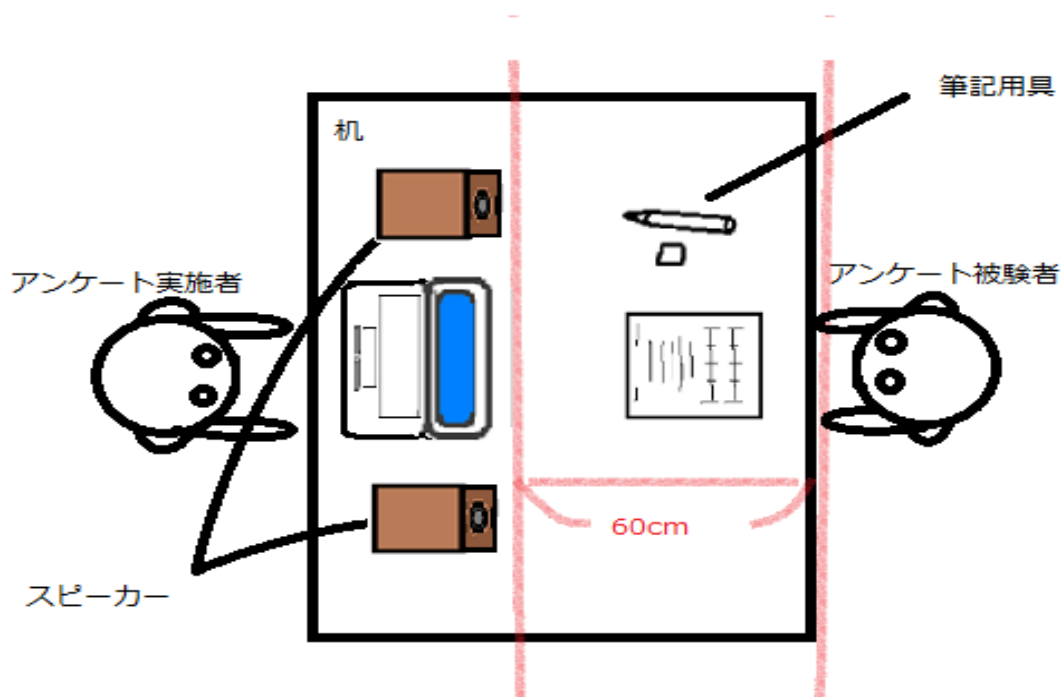


図9 実験の様子（真上からの視点）

3.2 使用した音

3.2.1 使用したノイズ

今回の実験においてノイズの性質は周波数を変化させることで評価するために、音楽や環境音といった人の感性や聴きなれているかどうかの差がノイズ自体に含まれていないこと、また録音によるノイズの作成は録音機器や録音時の環境によってノイズに他の性質が含まれる可能性を除去するためノイズの生成を PC 上であること、生成した音が人の感性等に影響を受けないような単調なものであるように設定した。

2 章で述べた聴覚特性を踏まえ、本研究に使用するノイズの周波数帯を次のように設定した。

人間の可聴領域である 20Hz から 15,000Hz の周波数帯の中に含まれること。聴こえやすい周波数帯（3,000Hz から 5,000Hz）だけでなく、高すぎるもしくは低すぎる周波数帯を

3.2 使用した音

含む周波数帯に設定することで、全体的に聴こえやすい 3,000Hz から 5,000Hz 以外の聴こえづらさが変化する範囲で人が許容できる音とそうでない音の境目を調査できるノイズであること。この 2 つを考慮しノイズを選択することで人間の聴覚特性を踏まえた選択を行った。

その結果人の可聴領域から聴覚特性上、聴こえづらく許容され易いと考察した高周波数帯よりのノイズではなく、聴こえ易く許容されにくいと考察した低周波数帯よりの範囲にノイズを選び、なおかつ全体的に聴こえ易い 3,000Hz から 5,000Hz 以外の周波数をとることで人が許容できる音とそうでない音の境目を調査できるノイズを選んだ。

その結果、周波数 440Hz の信号とその信号を上下 2 オクターブ (周波数が 4 倍, 1/4 倍) ずつ周波数をずらした 5 種類の音 27.5Hz, 110Hz, 440Hz, 1760Hz, 7040Hz をノイズとして選んだ。また今回周波数のみを変化させた際の影響を調査するので、調査結果に音圧の大きさが影響しないようにそれぞれの周波数の音圧を一定にした。

この聴覚特性を考慮した音の 5 種類を 3 章で実験でノイズとして元信号に乗せて使用する。それぞれのノイズを横軸が周波数、縦軸に周波数成分の大きさを表したスペクトラムを 27.5Hz, 110Hz, 440Hz, 1760Hz, 7040Hz の順で図 2～図 6 に示す。

3.2 使用した音

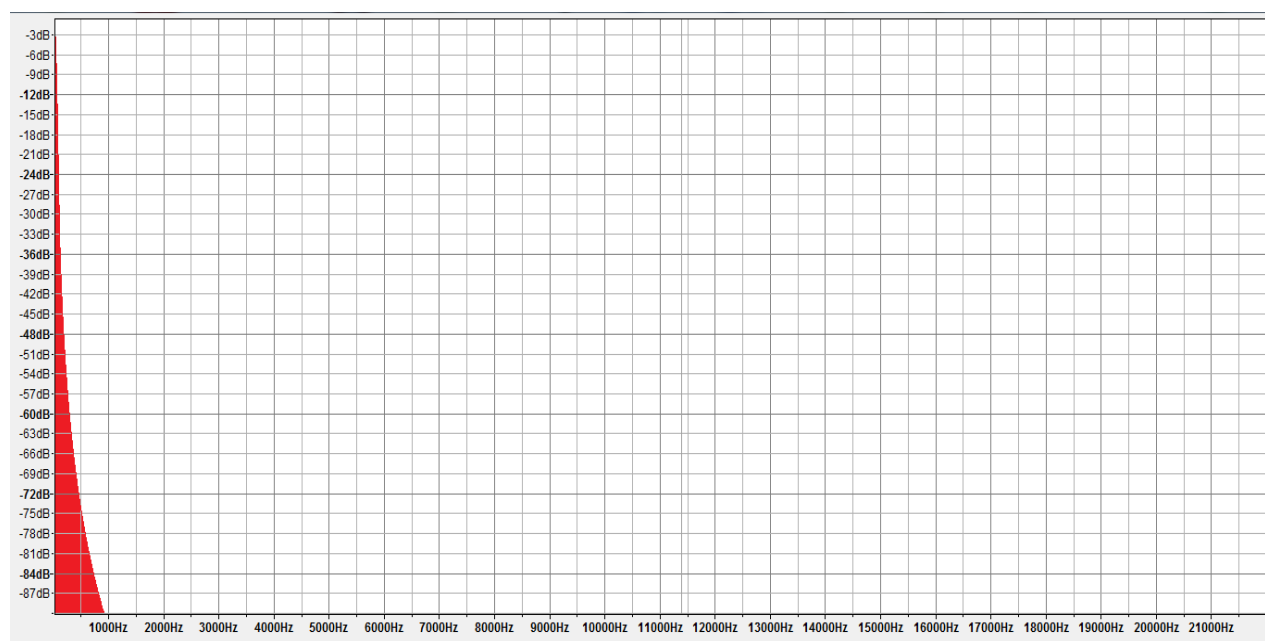


図3 27.5Hz のノイズのスペクトラム

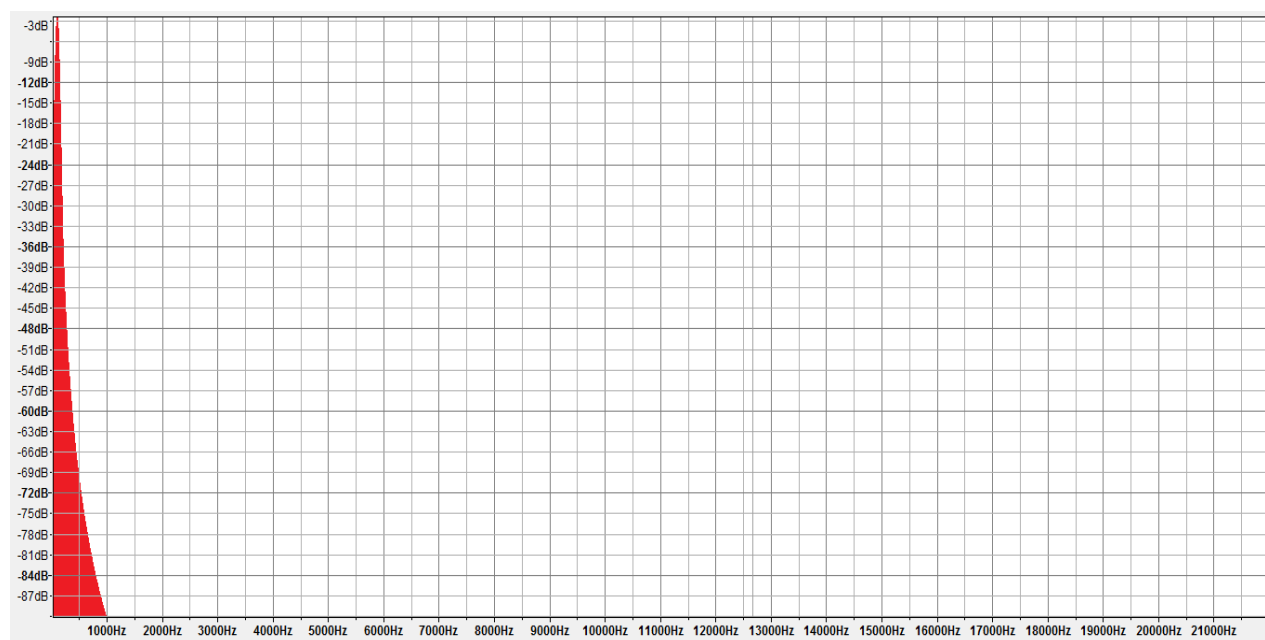


図4 110Hz のノイズのスペクトラム

3.2 使用した音

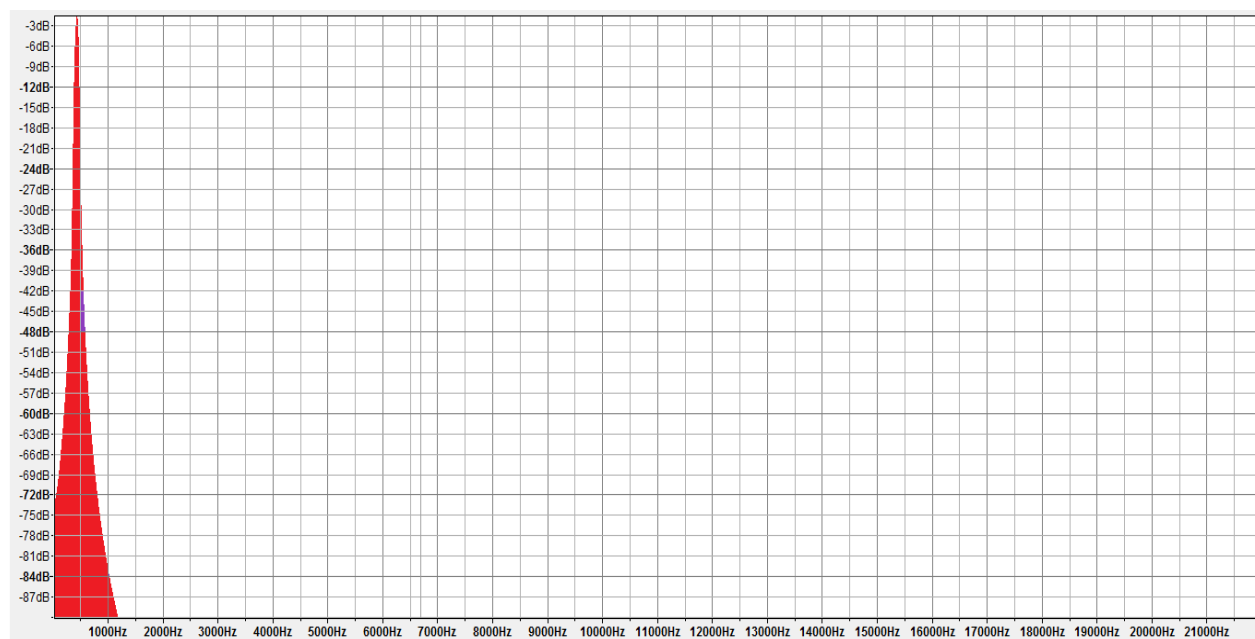


図5 440Hz のノイズのスペクトラム

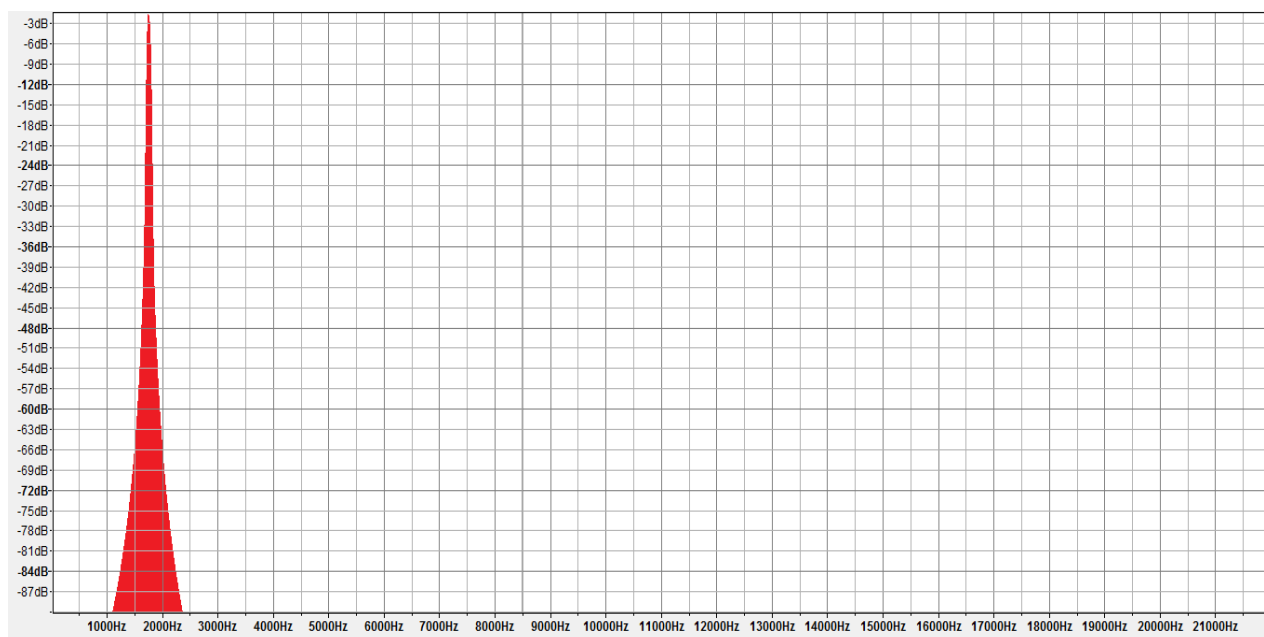


図6 1760Hz のノイズのスペクトラム

3.2 使用した音

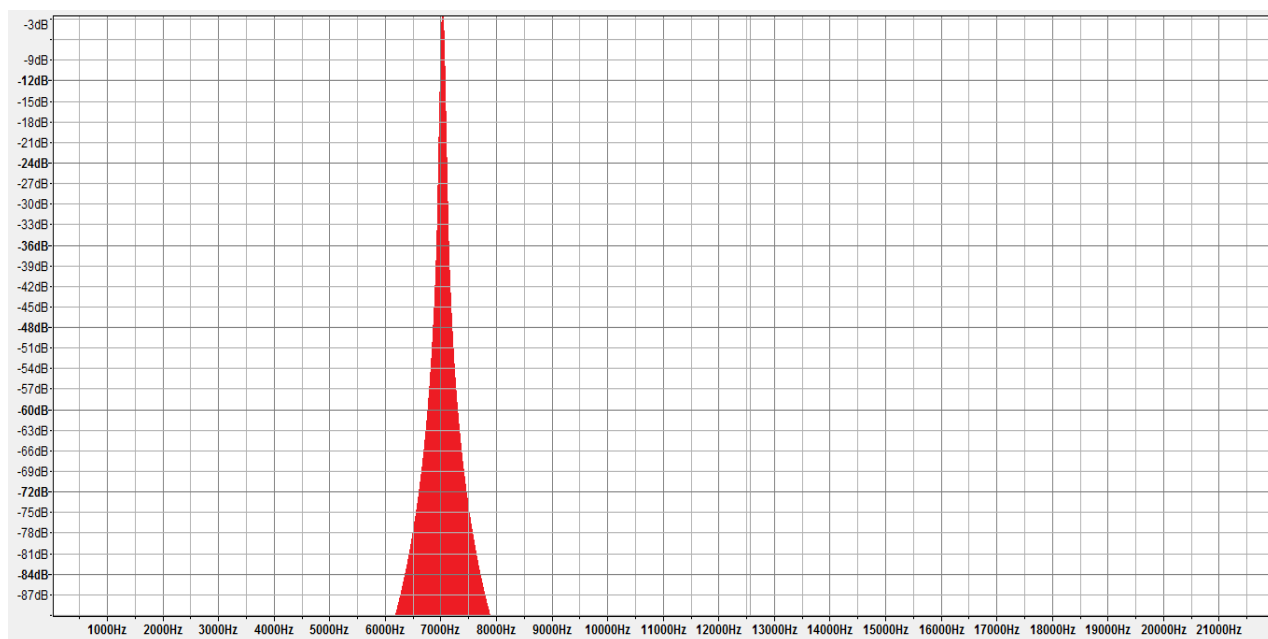


図7 7040Hz のノイズのスペクトラム

3.2.2 使用した元信号

今回元信号となる音は PC に取り込む際に mp3 等の圧縮した音の形式でなく、wav 等の非圧縮の形式でパソコンに取り込んだ。

楽器や人の声の単体を元信号に使用することで被験者がアンケート時にノイズ音と元信号の違いが分からず、感性評価を行う上で支障が起きないように音を選ぶため楽器や声が単独で演奏しているもの、歌っているものを設定した。また楽器毎に音を比較することで楽器の種類がノイズの結果に影響するかどうかを調査した。

実験では、ピアノ、ギター、アカペラ、ドラム、ウクレレの 5 種類の音を元信号として使用した。使用した曲の詳細の表を表 1 に示し、元信号をピアノ、ギター、アカペラ、ドラム、ウクレレの順でスペクトラムを図 10～図 14 に示す。

表1 使用した曲の詳細の表

3.2 使用した音

アルバム名	曲名	演奏者
Mozart Album	ピアノ・ソナタ 第11番 イ長調 K.331「トルコ行進曲付き」 第3楽章	辻井 伸行
	アッラ・トゥルカ：アレグレット	
つじベスト	たんぽぽ	つじあやの
Hurray!	Sky High	ゴスペラーズ
BEGINNING OF THE ROAD ～collection of early songs～	Sky!Sky!Sky!	DEPAPEPE
Quit or Quiet	There Changed Me Special	WHITE ASH

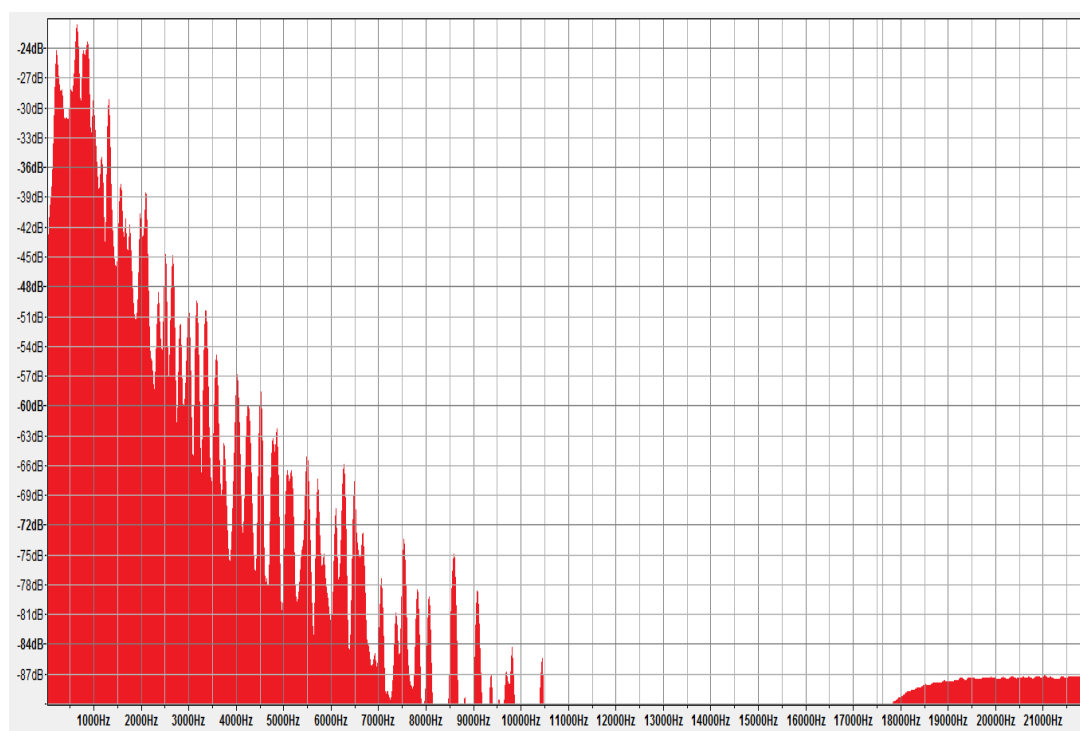


図 10 ピアノのスペクトラム

3.2 使用した音

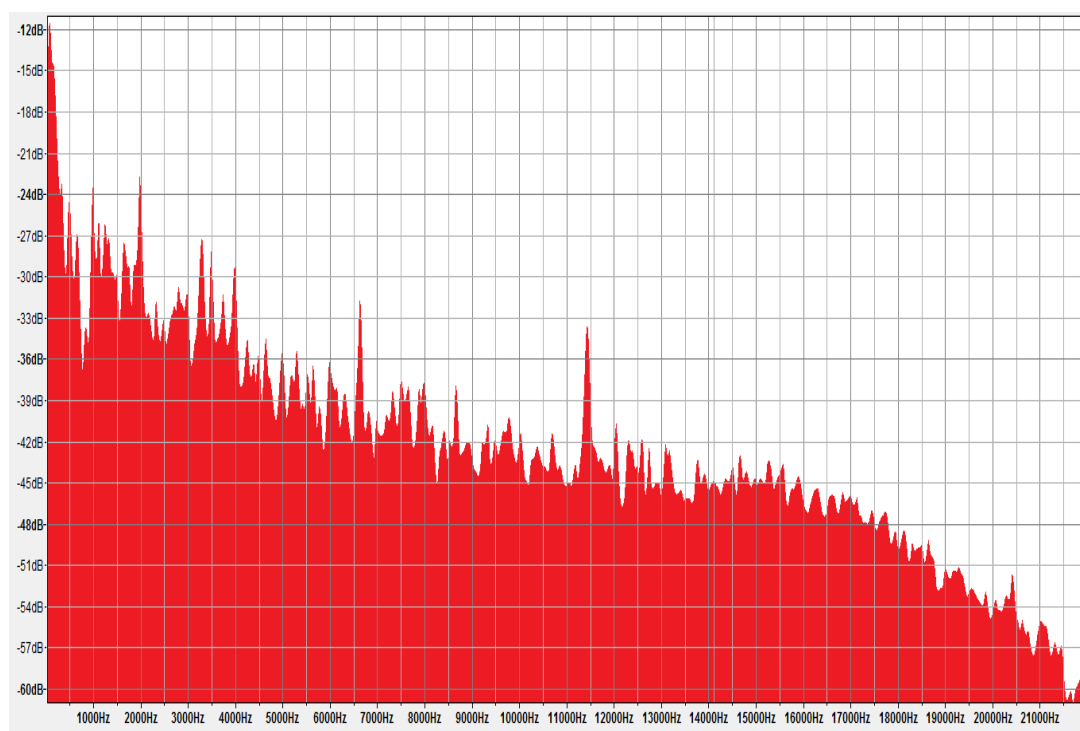


図 11 ギターのスペクトラム

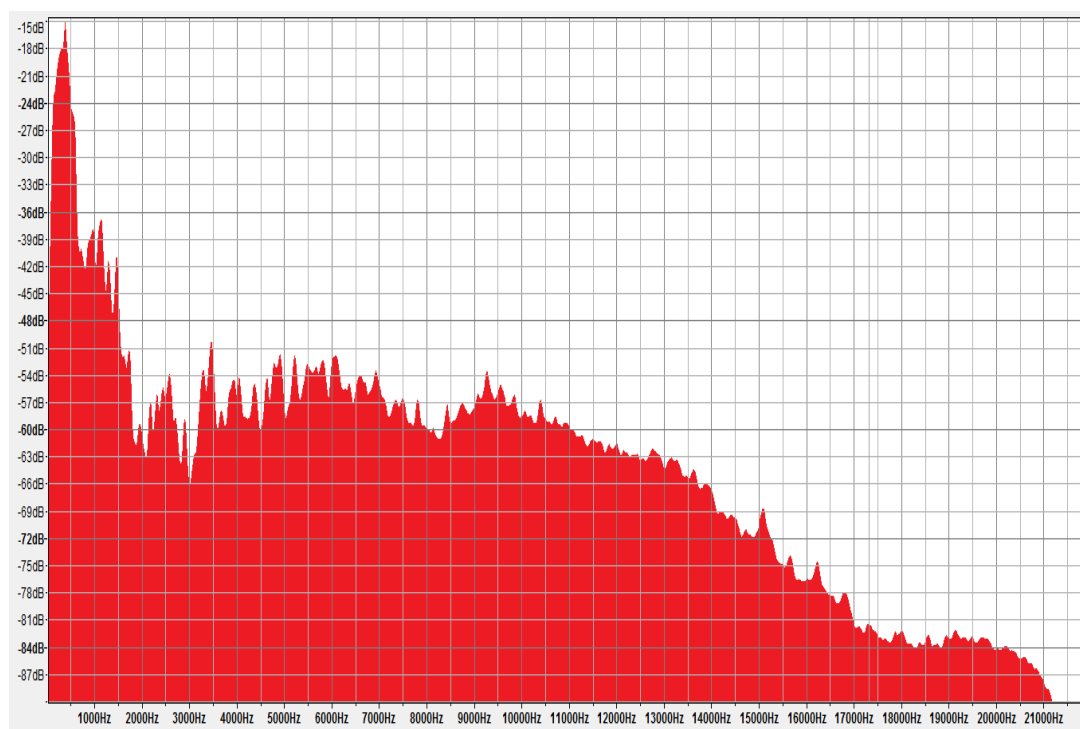


図 12 アカペラのスペクトラム

3.2 使用した音

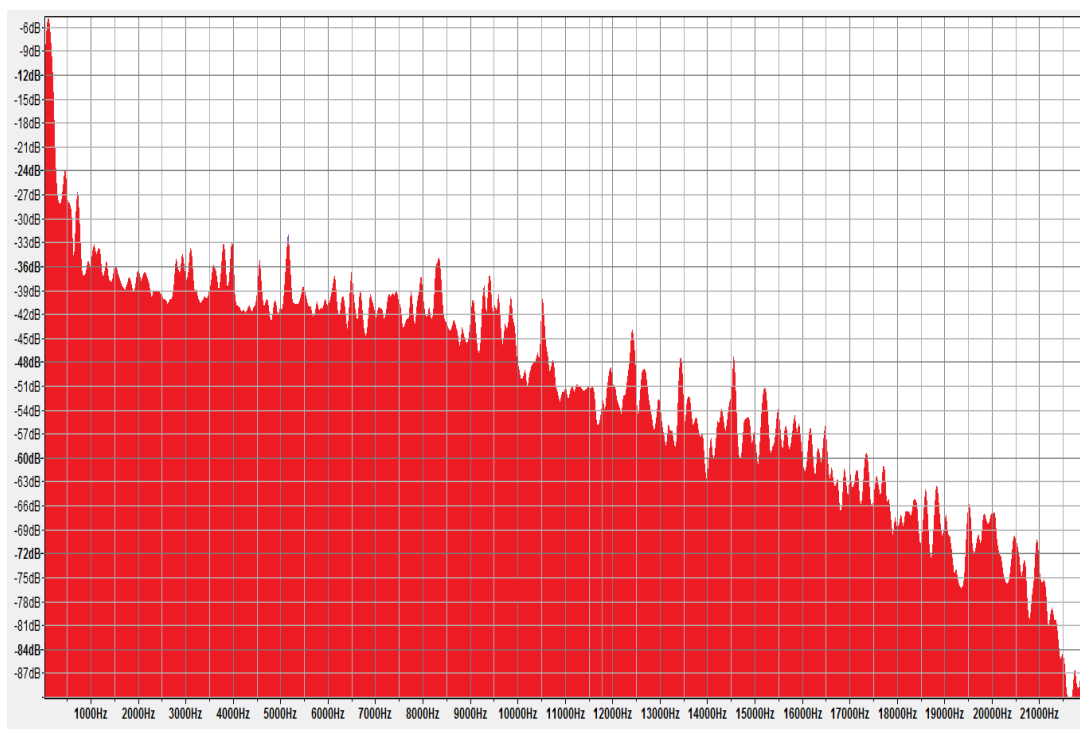


図 13 ドラムのスペクトラム

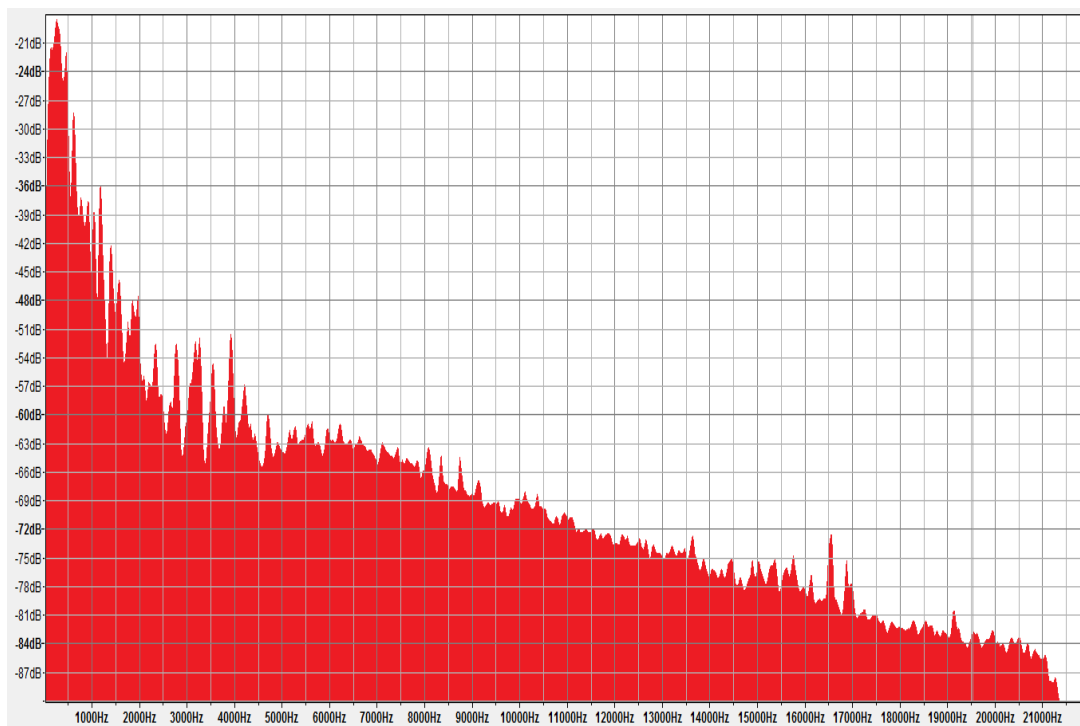


図 14 ウクレレのスペクトラム

3.3 使用したソフトとその機能

3.3 使用したソフトとその機能

今回の実験で使用するソフトには使用する音の長さの調節や評価に適した音の切り取りを行えること，またノイズの音と元信号が同時に再生することが可能であり，それぞれの音がどのような周波数を含んでいるかが分かるようにそれぞれの音のスペクトラム表示をすることができる様なソフトを選んだ．

今回 Audacity というフリーソフトのノイズの生成，元信号となる音の取り込みと切り取り，ノイズと元信号の同時再生，それぞれの音のスペクトラム表示といった機能を使用した．

実験で使用したフリーソフト (Audacity) について述べる．

Audacity はボランティアによって開発され GNU General Public License (GPL) の元で配布されているフリーソフトウェアで，Windows，Mac OS X，GNU/Linux，その他のオペレーティングシステム上で動作し，生音の録音，テープやレコードの音をデジタルレコーディング又は CD の音に変換，Ogg Vorbis，MP3，WAV サウンドファイルの編集，切り取り，コピー，分割，そしてミキキング，録音した音のスピードやピッチの変化などが可能なソフトである．

3.4 SD 法を用いたアンケート実験

3.4.1 アンケートの内容

本研究での SD 法を用いたアンケートの項目は元信号が十分に聞こえるか，元信号が音割れを起こしているか，元信号が途切れていないか，ノイズのせいで耳が痛いかどうか，ノイズのせいでイライラするかどうか，ノイズのせいで気が散るかどうか，の 6 項目であり，前項目の 3 つが元信号の再現率に関して調査する項目で，後ろ項目 3 つがノイズの不快指数に関して調査する項目である．

またこれらの項目を数値化するために，

3.4 SD 法を用いたアンケート実験

1 非常に, 2 やや, 3 どちらでもない, 4 やや, 5 非常に, といた 5 段階で評価した.

実際に実験で使用した SD 法を用いたアンケートの例を図 15 に示す.

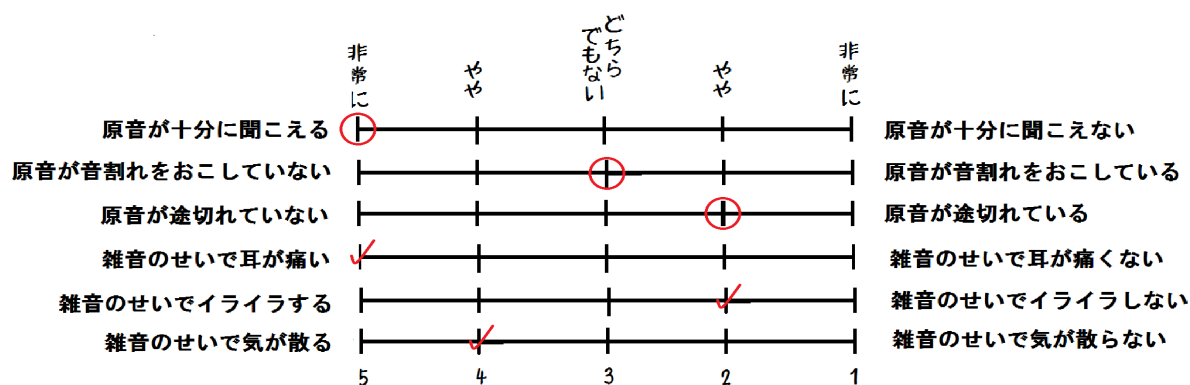


図 15 SD 法のアンケート例

3.4.2 アンケートの目的

今回 SD 法のアンケートを元信号+ノイズの評価に用いることで, ノイズの音域毎におけるノイズの不快感や原音の阻害率を感性的に調査し, その結果を数値化し除去すべきノイズ音域の優先順位をつけることを目的とする.

3.4.3 アンケートの実験手順

今回の実験の手順としては被験者にスピーカーの前に座ってもらい, アンケート用紙と筆記用具を渡す, その後, 元信号 (30 秒) → 元信号+ (ノイズ (20 秒) × 5 種類) の順で流し, この流れを元信号の種類数 (5 回) 行い, 元信号+ノイズの音を流している間に, 元信号のみの音を除いた音全てに対しアンケートの記入をしてもらった.

なお, 時間内にアンケートが書けなかった場合と, 音を流す準備や説明時間を想定して元信号+ノイズを流す度に時間をとった.

$((\text{元信号}) + (\text{元信号} + \text{ノイズ} \times 5 \text{ 種類}) + (\text{間の時間} \times 4 \text{ 回})) \times 5 \text{ 種類} =$

3.4 SD 法を用いたアンケート実験

(20 秒 + 100 秒 + 200 秒) × 5 = 1800 秒 = 30 分

3.4.4 アンケート結果

この項では、SD 法のアンケートの結果を元に、前半の 3 項目：原音の再現率 (原音) と、後半の 3 項目ノイズの不快指数 (ノイズ) をそれぞれ平均値でまとめ数値を出した、またそれぞれを原音の種類で並び替えたもの (左)、ノイズの種類で並び替えたもの (右) を表した表 2 を示す。

表 2 アンケート結果をまとめた表

音	周波数	原音	雑音	周波数	音	原音	雑音
ピアノ	440Hz	3.03	3.90	440Hz	ピアノ	3.03	3.90
ピアノ	1760Hz	3.93	3.83	440Hz	ギター	3.27	3.83
ピアノ	110Hz	3.90	1.80	440Hz	アカベラ	3.37	4.03
ピアノ	7040Hz	3.33	4.13	440Hz	ドラム	3.67	4.20
ピアノ	27.5Hz	4.43	1.83	440Hz	ウクレレ	2.97	3.87
ギター	440Hz	3.27	3.83	1760Hz	ピアノ	3.93	3.83
ギター	1760Hz	3.73	3.43	1760Hz	ギター	3.73	3.43
ギター	110Hz	3.97	1.97	1760Hz	アカベラ	3.63	3.97
ギター	7040Hz	3.53	4.43	1760Hz	ドラム	3.47	3.67
ギター	27.5Hz	4.93	1.03	1760Hz	ウクレレ	3.80	4.07
アカベラ	440Hz	3.37	4.03	110Hz	ピアノ	3.90	1.80
アカベラ	1760Hz	3.63	3.97	110Hz	ギター	3.97	1.97
アカベラ	110Hz	4.37	2.00	110Hz	アカベラ	4.37	2.00
アカベラ	7040Hz	3.60	4.67	110Hz	ドラム	4.73	1.33
アカベラ	27.5Hz	4.93	1.13	110Hz	ウクレレ	4.27	2.20
ドラム	440Hz	3.67	4.20	7040Hz	ピアノ	3.33	4.13
ドラム	1760Hz	3.47	3.67	7040Hz	ギター	3.53	4.43
ドラム	110Hz	4.73	1.33	7040Hz	アカベラ	3.60	4.67
ドラム	7040Hz	3.80	4.10	7040Hz	ドラム	3.80	4.10
ドラム	27.5Hz	4.80	1.00	7040Hz	ウクレレ	3.53	4.73
ウクレレ	440Hz	2.97	3.87	27.5Hz	ピアノ	4.43	1.83
ウクレレ	1760Hz	3.80	4.07	27.5Hz	ギター	4.93	1.03
ウクレレ	110Hz	4.27	2.20	27.5Hz	アカベラ	4.93	1.13
ウクレレ	7040Hz	3.53	4.73	27.5Hz	ドラム	4.80	1.00
ウクレレ	27.5Hz	4.80	1.07	27.5Hz	ウクレレ	4.80	1.07

3.5 結果集計図

3.5 結果集計図

本研究において前章でまとめたアンケート結果を、周波数毎または元信号毎に横軸を不快指数、縦軸が原音再現率としてまとめ、表した図を結果集計図とする。

この結果集計図と除去すべきノイズ音域の優先順位について説明する。

結果集計図においてノイズの不快指数を減らすことを優先に考えると

除去するノイズの優先順位は第4象限>第1象限>第3象限>第2象限となり

結果集計図において原音の再現率を優先に考えると

除去するノイズの優先順位は第4象限>第3象限>第1象限>第2象限となる。

結果集計図を簡略化したものの例を図16に示す。

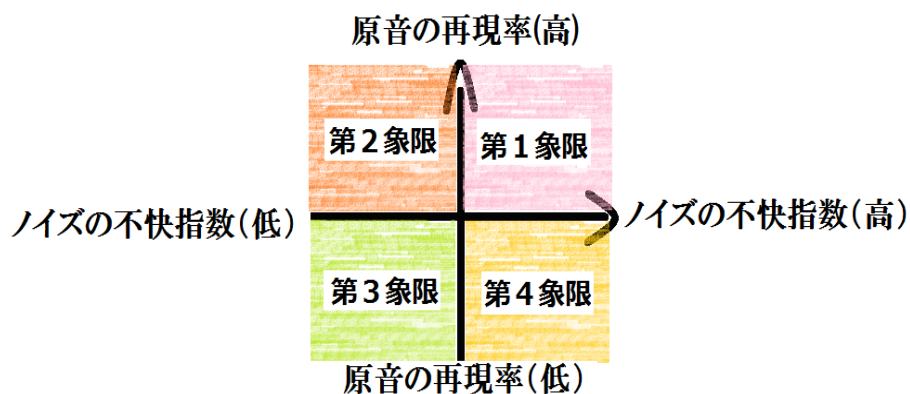


図16 結果集計図の例

表2のアンケート結果を実際に結果集計図に反映したものを示し、その図の考察を述べる。

まず、図17に表2の右側(ノイズの周波数で並びなおしたもの)を先程のように小数点第1位を四捨五入し結果集計図として示す。

3.5 結果集計図

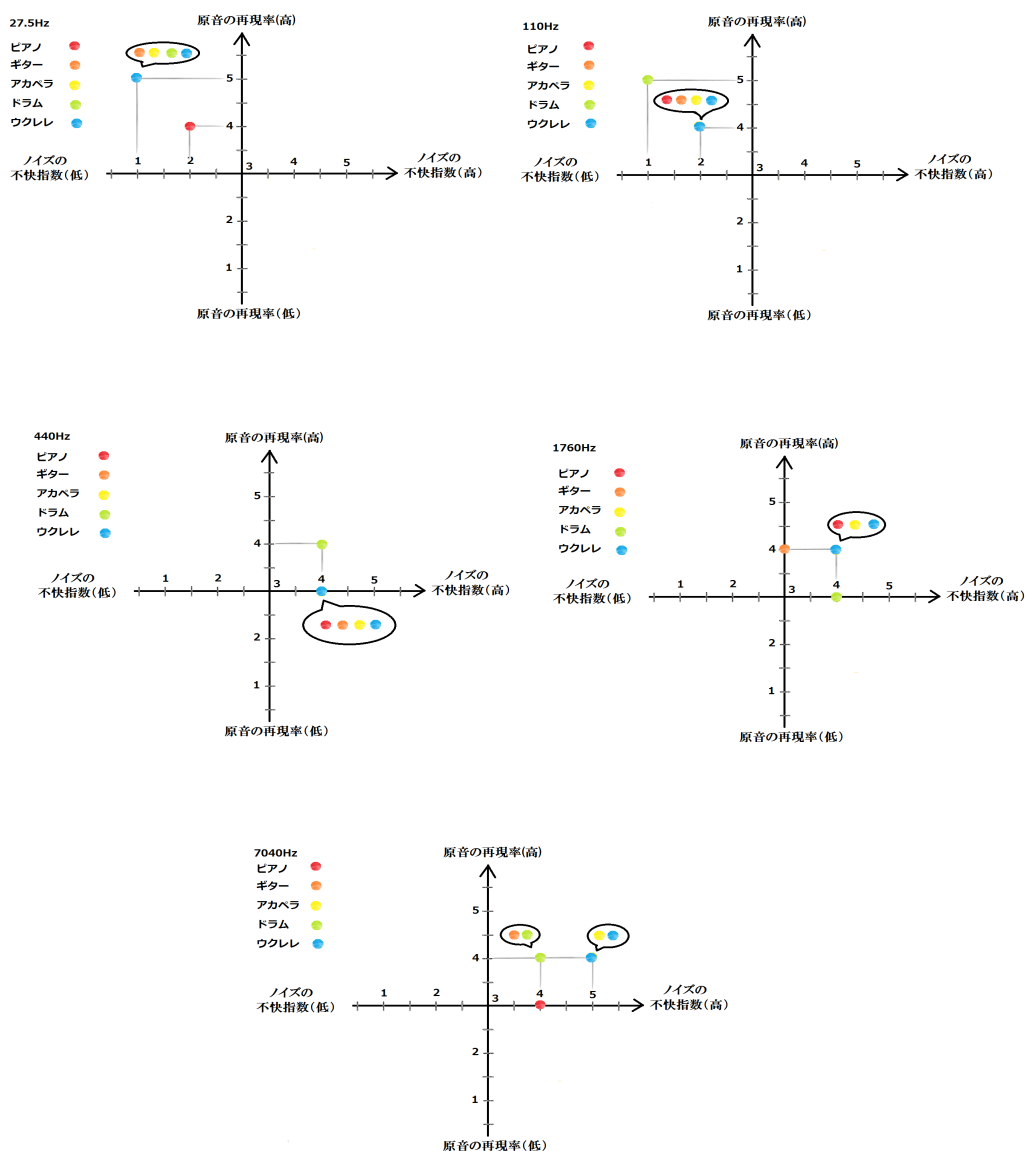


図 17 周波数毎で比較した結果集計図

ノイズの種類毎で比較した結果集計図から考察したことを述べる。

数値的にグラフを見ると原音の再現率の値は 3 のどちらでもないの値を切ることはなく、全ての結果が第一象限か第二象限に属していることがわかった、このことからノイズの周波数の変化が原音の再現率の阻害にほとんど関わっていないことがわかる。

また今回の結果において結果集計図のグラフの形状をそれぞれ 4 タイプに分けることができた。

3.5 結果集計図

図 18 に元信号毎におけるグラフの形状パターンをタイプ分けして示す。

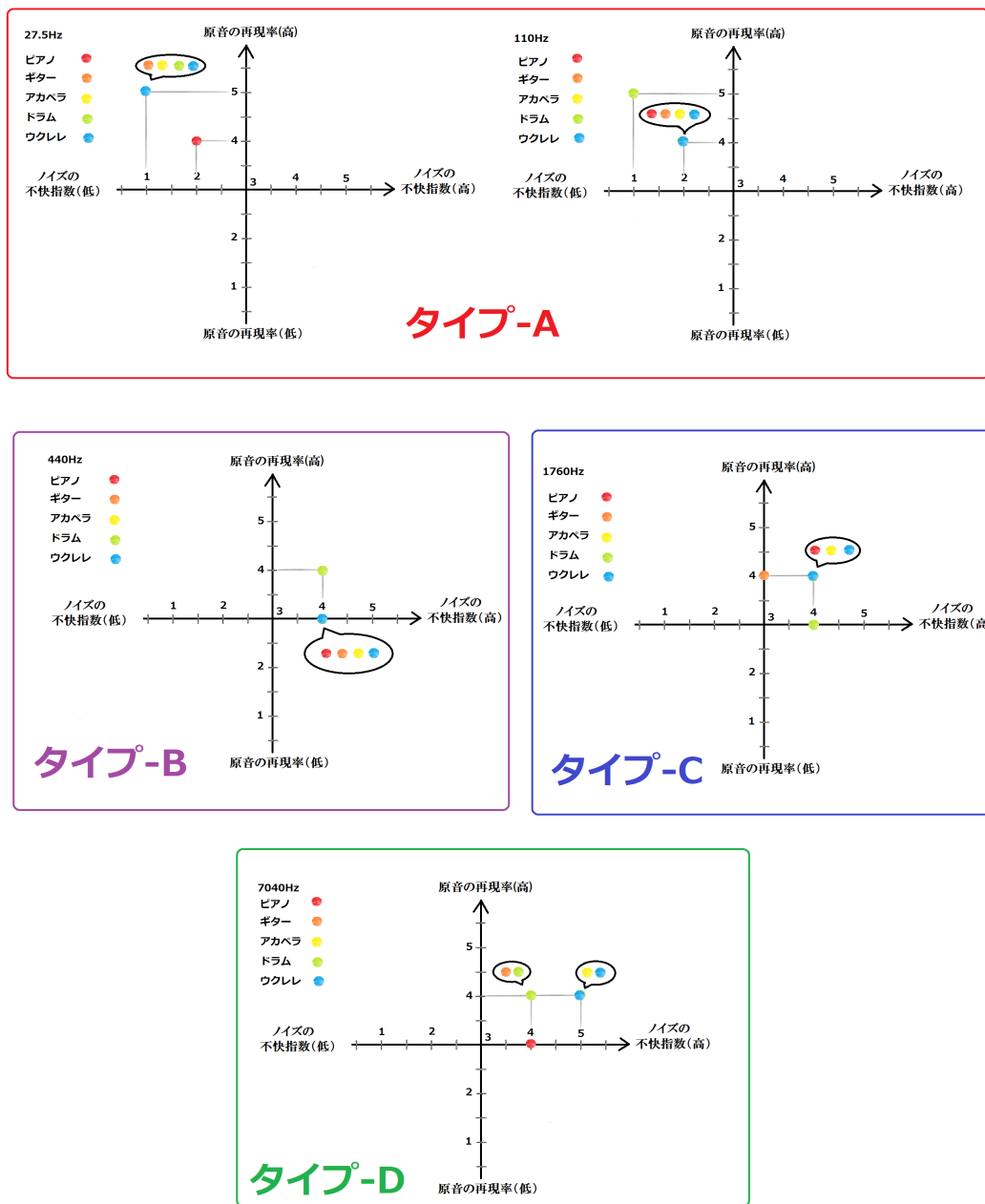


図 18 周波数毎で比較した結果集計図 (パターン分け)

タイプ分けの結果として、27.5Hz と 110Hz をタイプ-A、440Hz をタイプ-B、1760Hz をタイプ-C、7040Hz をタイプ-D に分けることができた。

タイプ-A はノイズの不快指数が低く原音の再現率が高い第 2 象限に属することから、除去すべきノイズとしての優先順位は低いことがわかる。

3.5 結果集計図

またその中で 27.5Hz は 110Hz 見かけ上同じ形状ではあるが、27.5Hz は不快指数が低く再現率が高い点に属する楽器が多ため、タイプ-A でのノイズ除去の優先順位は

$$27.5\text{Hz} < 110\text{Hz} \text{ である.}$$

タイプ-B, タイプ-C, タイプ-D は原音の再現率が高く、ノイズの不快指数が高い第 1 象限に属し、除去すべき優先順位が高いことがわかる.

またノイズの不快指数において数値が 3(どちらでもない) の点に音が集中するタイプ-B, ノイズの不快指数を表す数値が 5(高い) の項目に点が存在するタイプ-D があり、タイプ-C は B と D の中間にあたると考えられる.

これらをタイプ-A を含めて順位付けすると、本実験における周波数毎の除去すべきノイズの優先順位はタイプで表すと

$$\text{タイプ-D} > \text{タイプ-C} > \text{タイプ-B} > \text{タイプ-A} \text{ となる.}$$

またタイプを周波数に直すと

$$7040\text{Hz} > 440\text{Hz} > 1760\text{Hz} > 110\text{Hz} > 27.5\text{Hz} \text{ となる.}$$

次に、図 19 では表 2 の左側 (元信号で並びなおしたもの) を先程のように小数点第 1 位を四捨五入し結果集計図として示す.

3.5 結果集計図

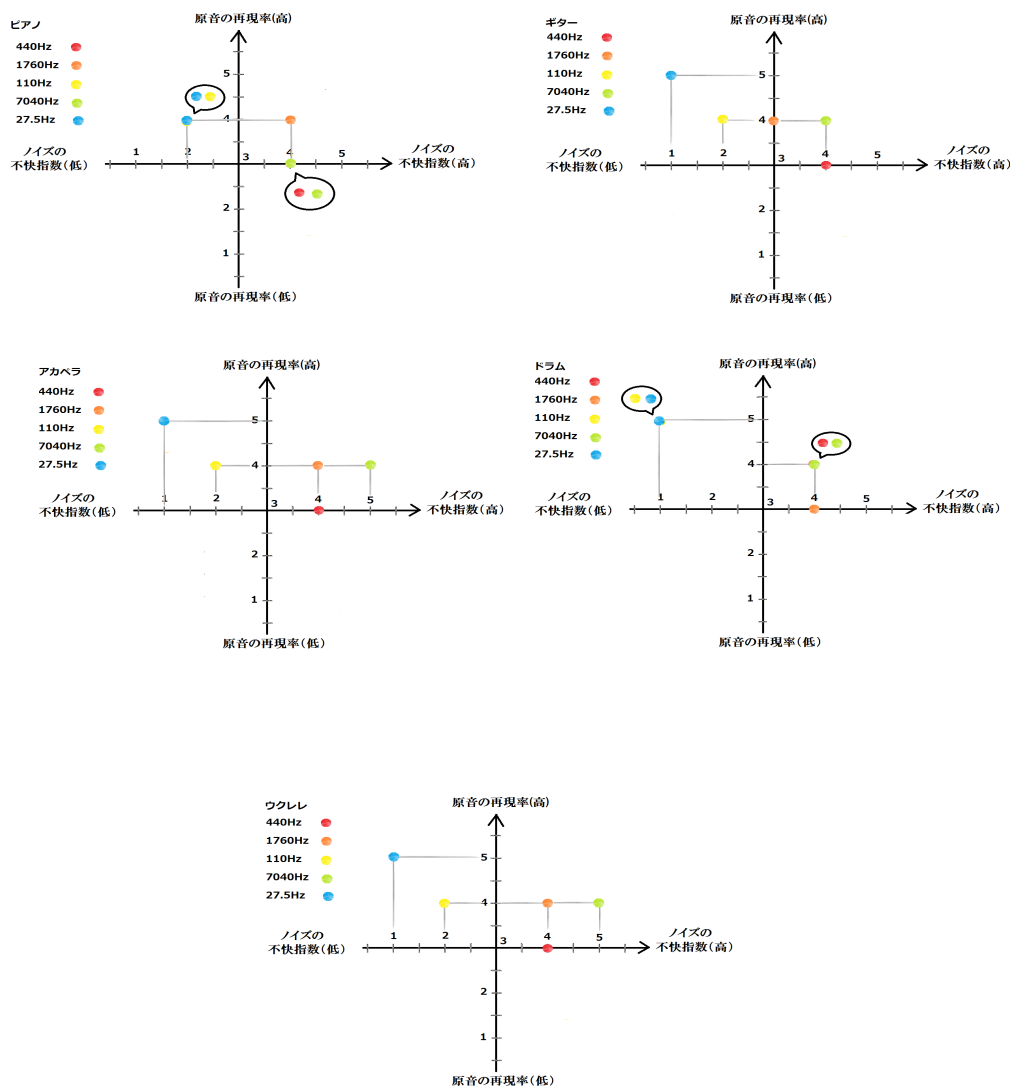


図 19 元信号毎で比較した結果集計図

元信号の種類毎で比較した結果集計図から考察したことを述べる。

原音の再現率の値は最終的な結果として、最終的な値が 3 (どちらでもない) を切ることはなく、全ての結果が第一象限か第二象限に属していることがわかり、このことから元信号の変化が原音の再現率の阻害に関わっていないことがわかる。

また今回の結果において結果集計図のグラフの形状をそれぞれ 4 タイプに分けることができた。

3.5 結果集計図

図 20 に雑音毎におけるグラフの形状パターンをタイプ分けして示す。

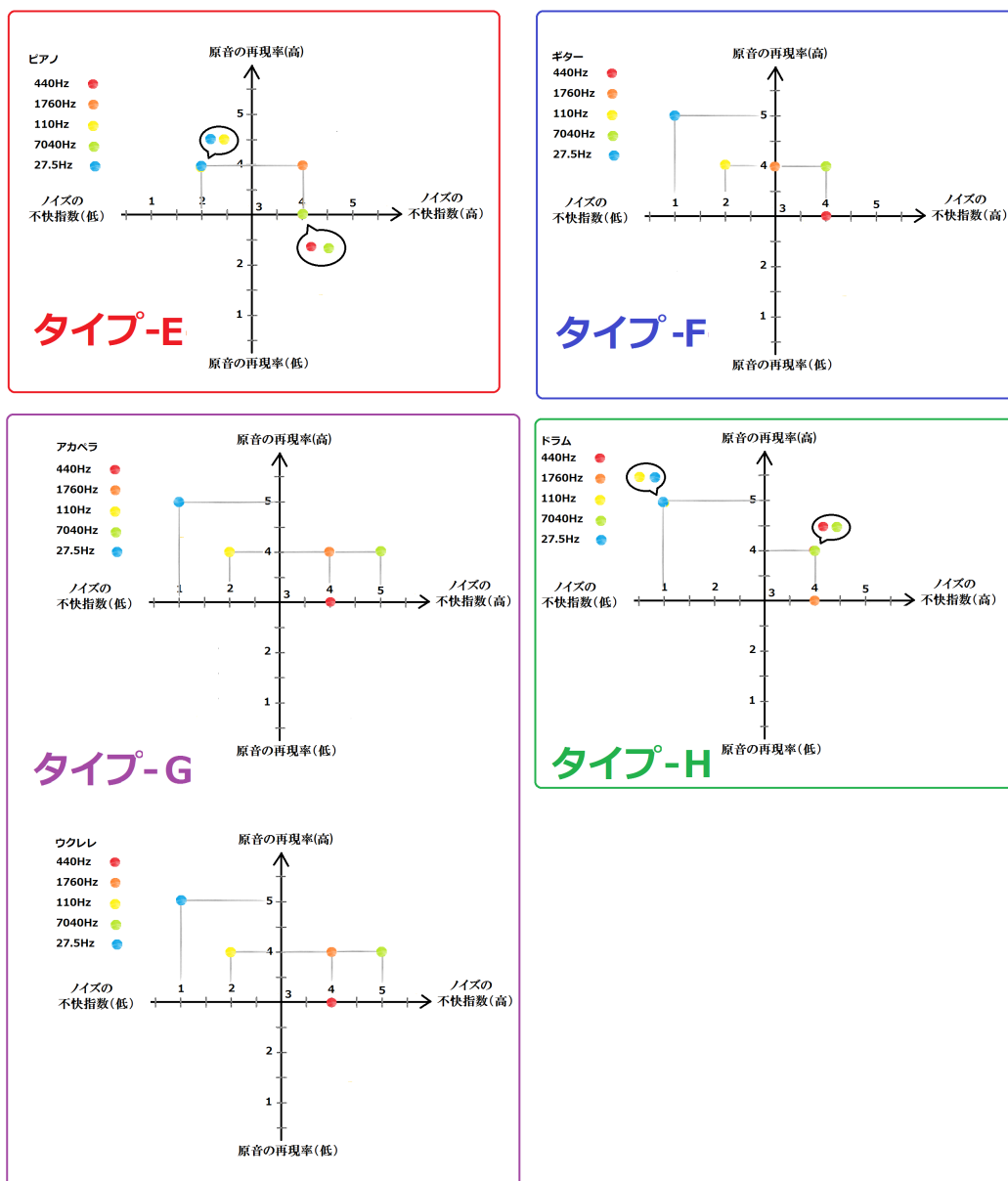


図 20 元信号毎で比較した結果集計図 (パターン分け)

タイプ分けの結果として、全部でタイプ-E、タイプ-F、タイプ-G、タイプ-H の 4 種類のタイプに分けることができた。

タイプ-E では 440Hz と 7040Hz の赤と緑が同じ点に集まり、110Hz と 27.5Hz の青と黄が同じ点に集まった、この傾向はタイプ-H にも見られ、タイプ-F やタイプ-G においても

3.5 結果集計図

青と黄の組み合わせ、赤と緑の組み合わせは似たような傾向が見てとれる。

このことからどの楽器においても 110Hz と 27.5Hz の結果と 440Hz と 7040Hz の結果はそれぞれ近い傾向を持つことが分かる。

また、タイプ-G に含まれるアカペラとウクレレの 2 種類はどの周波数がどのように評価されたの結果がまったく同じとなった。

アンケート結果を周波数毎で原音の阻害率についてまとめた棒グラフを以下の図 21 に示す。

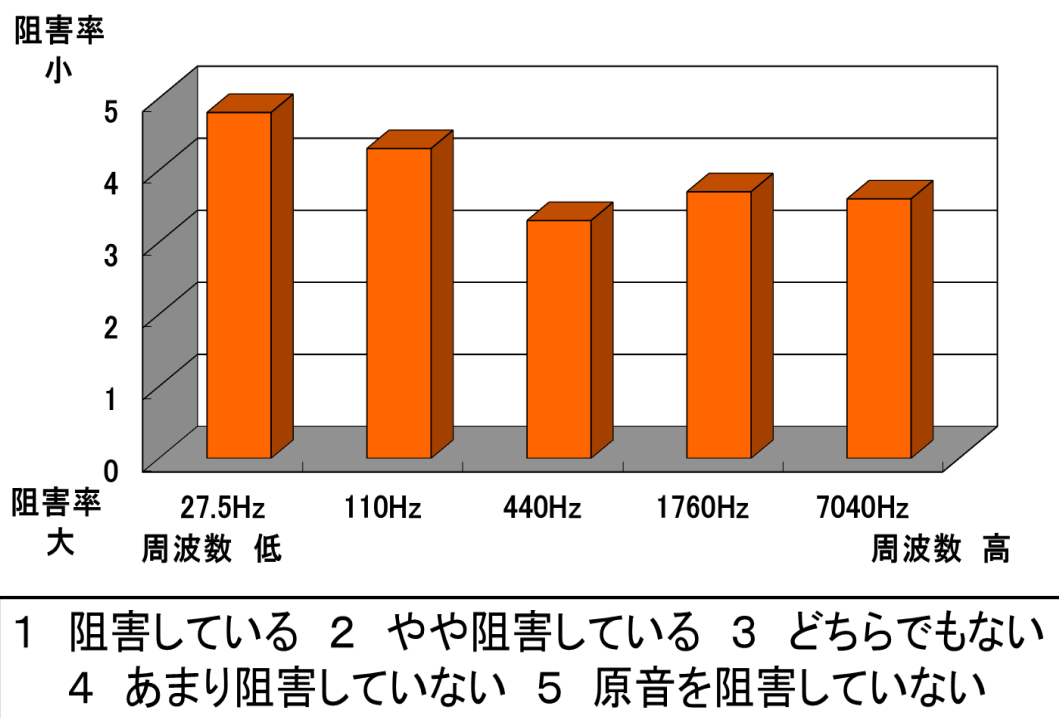


図 21 原音の阻害率

この図はアンケート結果を周波数毎の原音の再現率を表したもので、数値が小さくなる程原音の阻害率は少なく、数値が大きくなる程ノイズが原音を阻害していることを示すグラフである。

このグラフを見ると、どの周波数も原音を阻害している、またはやや阻害しているといっ

3.5 結果集計図

た結果を出した周波数が無い，このことから周波数が変化することにより，ノイズにより原音が阻害されていると感じる人がいなかったことがわかる．

またこのグラフを元に周波数毎のノイズ除去の優先順位をつけると

440Hz > 7040Hz > 1760Hz > 110Hz > 27.5Hz となる．

次に，アンケート結果全体を周波数毎にノイズの不快指数についてまとめた棒グラフを以下の図 22 に示す．

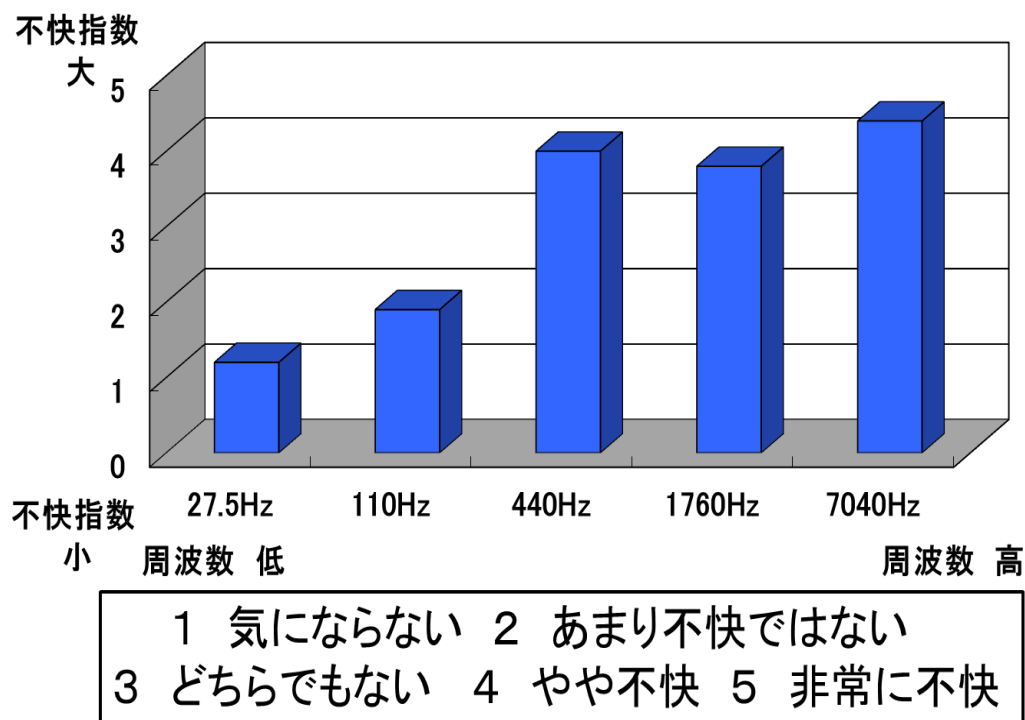


図 22 雑音の不快指数

この図はアンケート結果を周波数毎の雑音の不快指数を表したもので，数値が大きくなる程雑音の不快指数は高く，数値が小さくなる程雑音の不快指数が低いことを示すグラフである．

このグラフを見ると，どの周波数も原音を阻害している，またはやや阻害していると

3.5 結果集計図

いった結果を出した周波数が無い，このことから原音が阻害されていると強く感じる人がいなかったことがわかる．

またこのグラフを元に周波数毎のノイズ除去の優先順位をつけると
7040Hz > 440Hz > 1760Hz > 110Hz > 27.5Hz となる．

二つの棒グラフから得られた結果と周波数の高低を比較した図として図 23 を示す。

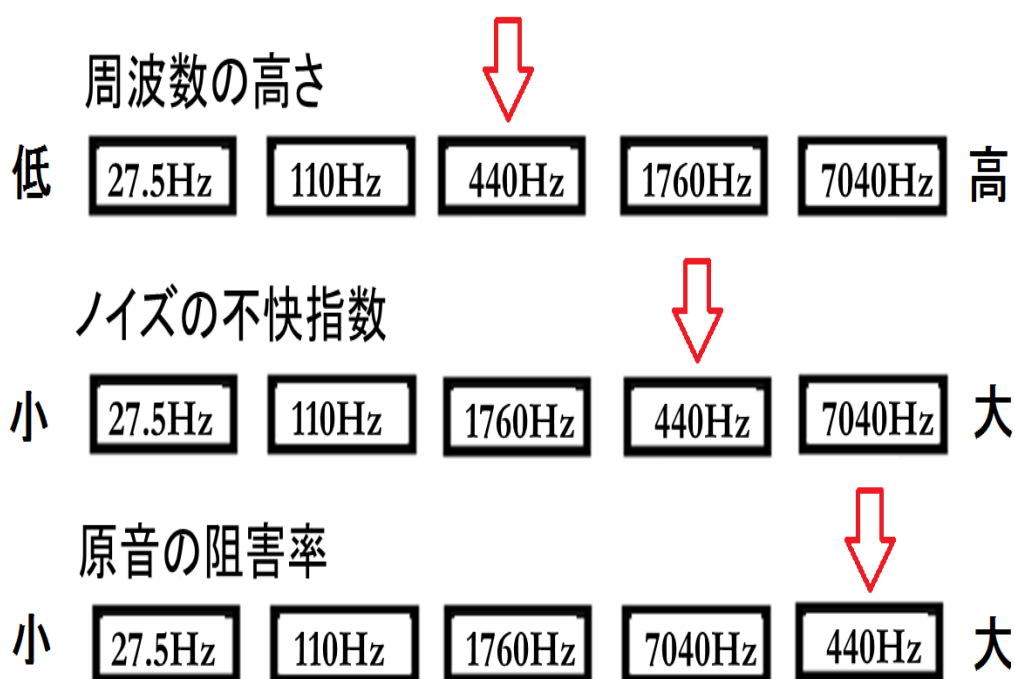


図 23 図 21 と図 22 の結果比較

ノイズの周波数の高さとはノイズの不快指数では周波数 440Hz と 1760Hz の順序が異なった．
ノイズの周波数の高さとは原音の阻害率では周波数 440Hz と 1760Hz と 7040Hz の順序が異なった．

位置関係を考察すると 440Hz の周波数帯が異なる順序の原因となっており，他の周波数帯の位置関係は変わっていなかった．

440Hz は不快指数と阻害率で比較すると阻害率のほうが高くなっている．

3.6 補足実験

今回原音の阻害率でのノイズ除去の優先順位において、最も影響を与えたのは 440Hz で許容できる周波数は 27.5Hz である。

また、ノイズの不快指数でのノイズ除去の優先順位において、最も影響を与えたのは 7040Hz で許容できる周波数は 27.5Hz である。

全体として高周波数となる程ノイズの不快指数と原音の阻害率が高くなり、図 23 の矢印に着目すると 440Hz のみが例外となっていることがわかる。

3.6 補足実験

実験を行った結果 440Hz のみが例外となった為、予想していた周波数が高い程ノイズ除去の優先順位が高くなるといった結果にはならなかった。その為、補足実験では等ラウドネスレベル曲線を踏まえて 5 種類のノイズが同じ音の大きさに聴こえるように音圧レベルを設定して同様の実験を行った。

3.6.1 補足実験の内容

等ラウドネスレベル曲線の同じ大きさに聴こえるが実際は異なる音圧レベルであるといった曲線に沿って、今回ノイズとして使用し、27.5Hz, 110Hz, 440Hz, 1760Hz, 7040Hz の音圧レベルを変更させ、同じ大きさに聴こえる異なった音圧レベルの音を作成した。この音を元に本実験の内容に沿って実験を行った。

3.6.2 補足実験の結果

補足実験の結果として、原音の阻害率をまとめた図 23 と雑音の不快指数でまとめた図 24 を示す。

3.6 補足実験

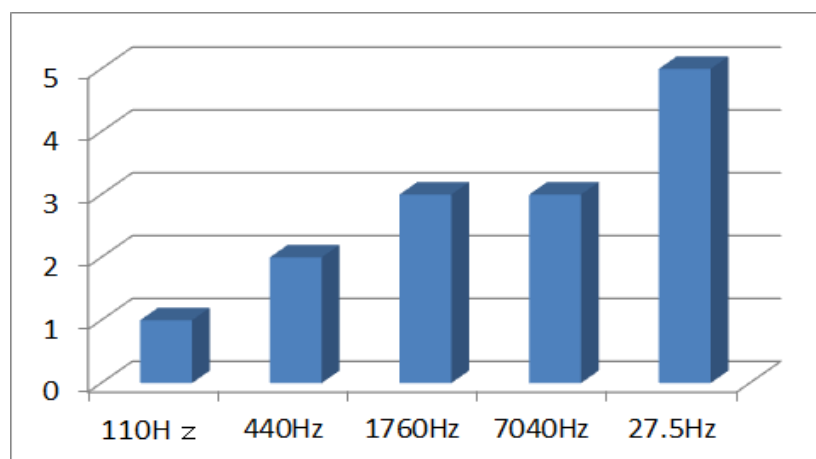


図 24 原音の阻害率

図 24 は数値が小さくなる程原音の阻害率は少なく，数値が大きくなる程ノイズが原音を阻害していることを示すグラフである。

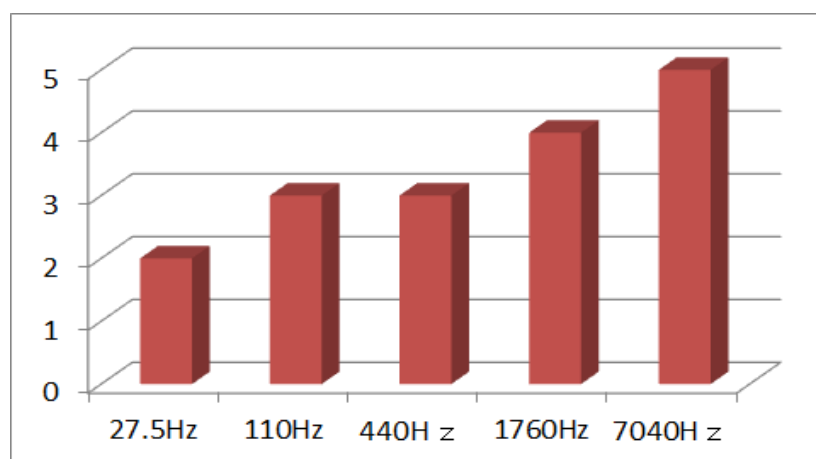


図 25 雑音の不快指数

図 25 は数値が大きくなる程雑音の不快指数は高く，数値が小さくなる程ノイズが不快ではないことを示すグラフである。



図 26 図 24 と図 25 の結果比較

結果として等ラウドネスレベル曲線に沿った周波数の音圧であった場合、雑音の不快指数では低周波数から高周波数になる程不快指数が高くなっており、ノイズ除去の優先順位は周波数が高くなればなる程大きくなっていくことが分かった。

また、原音の阻害率は周波数が高すぎる 7040Hz や、低すぎる 27.5Hz が最も原音を阻害していることが分かった。

3.6.3 補足実験の考察

本実験の内容の結果と補足実験は異なる結果が出た、また結果として雑音の不快指数では低周波数から高周波数になる程不快指数が高くなっており、ノイズ除去の優先順位は周波数が高くなればなる程大きくなっていくこと、原音の阻害率は周波数が高すぎる 7040Hz や、低すぎる 27.5Hz が最も原音を阻害していることが分かった。

3.6 補足実験

これにより，等ラウドネスレベル曲線ではノイズの不快指数が予想していた周波数が高くなる程不快であるという予想通りの結果になると確認できた。

第 4 章

結論

4.1 まとめ

本研究のまとめとしてわかったことを以下に述べる.

対象となるノイズが等ラウドネスレベル曲線に沿ってない場合

1. 総合的に高周波数のノイズとなる程原音の影響が大きい傾向にあったが, 例外として 440Hz が 1760Hz や 7040Hz よりも影響を持っており, 周波数が高くなる程ノイズ除去の優先度は高くなるが, 440Hz は高周波数でなくともノイズ除去を優先する必要があった.

2. 今回使用した周波数において, 原音の阻害率を元にノイズ除去の優先順位をつけると
440Hz > 7040Hz > 1760Hz > 110Hz > 27.5Hz

またノイズの不快指数を元にノイズ除去の優先順位をつけると

7040Hz > 440Hz > 1760Hz > 110Hz > 27.5Hz となった.

3, 元信号を変えることによって, 同じ周波数のノイズであってもある程度聞こえ方は変化し, 元信号の曲調によっては類似するものが存在することを確認した, しかし全体の傾向としては 1 のような結果になった.

対象となるノイズが等ラウドネスレベル曲線に沿っている場合

4.2 今後の課題と展望

1. 原音の阻害率は周波数が高すぎたり，低すぎたりする場合は最も原音を阻害しているといった結果になった．

2. 雑音の不快指数は低周波数から高周波数になる程不快指数が高くなり，ノイズ除去の優先順位は周波数が高くなればなる程大きくなった．

440Hz の結果が等ラウドネスレベル曲線に沿っている，沿っていないによって変化したのは，440Hz といった周波数帯が楽器の調律に用いられていることから考察するに，人の耳になじみやすい，聴こえ易い音であるといったことが影響するのではないかと考える．

まとめとして，ノイズの周波数毎の優先順位を付けるには，等ラウドネスレベル曲線を考慮に入れることが重要となり，その際周波数が高ければ高いほどノイズの不快指数は大きくなることが分かった。

4.2 今後の課題と展望

今後の課題としては，実験する周波数の範囲を変化させ，より多くの周波数に対しても今回と同様の結果，もしくは別の結果が出るかを調査すること．調べる余地があると考えているのは，等ラウドネスレベル曲線において最も聴こえやすい 3,000Hz から 5,000Hz の間の周波数帯，もしくは 7,040Hz から上の周波数帯について調査することを課題としたい．また，440Hz の周波数が何故今回のような結果となったかを調べることも課題としたい．

今後の展望として周波数の範囲を 1 オクターブずつにすることで，3000Hz から 5000Hz の範囲におけるより詳しい実験を行うことで，よりノイズの性質を細かく判断することができると考えている．またノイズがどの元信号に合わせた際に不快と感じるかどうかは，人によって誤差が出ることが見て取れた，またその個人差の開き具合により楽器を図

4.2 今後の課題と展望

18 や図 20 のようにパターン分けすることで，どのような種類の元信号にどのノイズの周波数特性の傾向が利用できるかを考察できるのではと考えている． 音の種類のパターン分けにより，人の声や環境音といったノイズもしくは元信号についても傾向がつかめるのではと考えている．

謝辞

本研究を行うにあたり，ご迷惑をかけ続けた私を見捨てることなくご指導して頂いた福本昌弘教授には心から感謝致します。また，本研究の副査をして頂きました篠森敬三教授に心から感謝致します。連絡や提出，報告が遅れ色々にご迷惑をお掛けしました。最後まで私にご指導を続けて下さったこと，卒業まで導いて下さったこと真にありがとうございました。佐伯幸朗助教，福富英次研究生にもお礼を申し上げます。研究室のパソコンの設定等が私の無知のせいでわからなかった時に，解決して頂きありがとうございました。また，実験で夜遅くに突然アンケートに長い時間参加して下さった 10 名の皆様，私の耳が痛くなるような実験に参加して下さいありがとうございました。最後に私の大学生活を支え，卒業まで導いて下さった両親や友人，先生方に感謝致します。

参考文献

- [1] 木屋亮, ”SD 法を用いたロボットの感性評価実験と人間に親しみやすい動作の提案”
2009
- [2] 鶴見真也, 吉野博, 長友宗重, 佐藤洋, ”両耳受聴を考慮した室内騒音評価に関する研究-SD 法を用いたオフィスノイズの聴覚印象評価-”, 日本建築学会東北支部, 1995.
- [3] 勘久保広一, 小林聖, ”Research on Psychology Evolution of Timbre”, 日本建築学会東北支部, 2006
- [4] 独立行政法人産業技術総合研究所 ”実環境下における児童の高周波可聴閾値の測定”,
2012.

付録 A

SD 法のアンケート結果 1

No.	信号	雑音	原音・聞こえる	原音・音割れ	原音・途切れる	雑音・耳痛い	雑音・イライラ	雑音・気が散る
1	ピアノ	440Hz	2	4	3	4	3	3
2	ピアノ	1760Hz	4	3	4	5	3	3
3	ピアノ	110Hz	5	4	4	1	1	2
4	ピアノ	7040Hz	2	4	5	5	5	5
5	ピアノ	27.5Hz	4	5	5	1	1	3
6	ギター	440Hz	2	5	4	4	4	4
7	ギター	1760Hz	4	5	2	3	3	3
8	ギター	110Hz	5	5	5	2	1	2
9	ギター	7040Hz	2	5	2	5	5	3
10	ギター	27.5Hz	5	5	5	1	1	1
11	アカベラ	440Hz	2	5	3	4	4	5
12	アカベラ	1760Hz	3	5	5	3	5	3
13	アカベラ	110Hz	4	5	4	2	2	3
14	アカベラ	7040Hz	3	5	5	5	5	5
15	アカベラ	27.5Hz	5	5	5	1	1	2
16	ドラム	440Hz	3	4	4	4	4	3
17	ドラム	1760Hz	4	1	4	2	2	2
18	ドラム	110Hz	5	5	5	1	1	1
19	ドラム	7040Hz	4	3	5	3	4	3
20	ドラム	27.5Hz	5	4	4	1	1	1
21	ウクレレ	440Hz	2	5	3	3	4	4
22	ウクレレ	1760Hz	3	5	4	3	3	3
23	ウクレレ	110Hz	4	5	4	3	2	4
24	ウクレレ	7040Hz	4	5	4	5	5	5
25	ウクレレ	27.5Hz	5	5	5	1	1	2
26	ピアノ	440Hz	1	5	1	5	5	5
27	ピアノ	1760Hz	5	4	5	3	2	5
28	ピアノ	110Hz	5	4	5	2	3	2
29	ピアノ	7040Hz	5	4	4	3	4	4
30	ピアノ	27.5Hz	5	3	5	2	1	1
31	ギター	440Hz	2	4	4	5	3	4
32	ギター	1760Hz	5	2	5	3	3	4
33	ギター	110Hz	5	2	5	2	1	1
34	ギター	7040Hz	4	3	5	4	3	4
35	ギター	27.5Hz	5	5	5	1	1	1
36	アカベラ	440Hz	3	5	5	5	4	5
37	アカベラ	1760Hz	5	5	5	3	3	4
38	アカベラ	110Hz	5	5	5	2	2	1
39	アカベラ	7040Hz	4	5	5	5	3	5
40	アカベラ	27.5Hz	5	5	5	1	1	2
41	ドラム	440Hz	4	5	5	5	3	5
42	ドラム	1760Hz	2	2	5	5	3	5
43	ドラム	110Hz	5	4	5	2	2	3
44	ドラム	7040Hz	5	4	5	4	2	5
45	ドラム	27.5Hz	5	5	5	1	1	1
46	ウクレレ	440Hz	4	4	4	3	2	5
47	ウクレレ	1760Hz	5	3	5	4	3	5
48	ウクレレ	110Hz	5	5	5	2	1	2
49	ウクレレ	7040Hz	5	4	5	5	2	4
50	ウクレレ	27.5Hz	5	5	5	1	1	1

付録 B

SD 法のアンケート結果 2

51	ピアノ	440Hz	2	3	4	2	4	4
52	ピアノ	1760Hz	4	3	4	4	4	4
53	ピアノ	110Hz	4	3	4	2	2	4
54	ピアノ	7040Hz	2	3	3	4	5	4
55	ピアノ	27.5Hz	5	3	4	1	2	1
56	ギター	440Hz	2	3	2	4	4	4
57	ギター	1760Hz	4	3	4	4	4	4
58	ギター	110Hz	3	3	4	2	4	2
59	ギター	7040Hz	2	3	2	4	5	5
60	ギター	27.5Hz	5	3	5	1	1	2
61	アカベラ	440Hz	2	3	2	4	5	5
62	アカベラ	1760Hz	1	3	4	4	4	5
63	アカベラ	110Hz	4	3	4	2	4	4
64	アカベラ	7040Hz	4	3	4	5	4	4
65	アカベラ	27.5Hz	5	3	5	1	1	1
66	ドラム	440Hz	1	3	4	2	5	5
67	ドラム	1760Hz	2	3	4	5	5	5
68	ドラム	110Hz	4	3	4	2	2	2
69	ドラム	7040Hz	4	3	4	4	3	3
70	ドラム	27.5Hz	4	3	4	1	1	1
71	ウクレレ	440Hz	1	3	2	1	5	5
72	ウクレレ	1760Hz	2	3	4	4	4	5
73	ウクレレ	110Hz	4	3	4	2	4	2
74	ウクレレ	7040Hz	4	3	4	5	5	4
75	ウクレレ	27.5Hz	5	3	5	1	1	1
76	ピアノ	440Hz	4	4	2	3	3	2
77	ピアノ	1760Hz	4	4	4	2	2	2
78	ピアノ	110Hz	5	5	5	1	1	1
79	ピアノ	7040Hz	5	5	5	4	4	4
80	ピアノ	27.5Hz	5	5	5	1	1	1
81	ギター	440Hz	4	4	4	4	4	5
82	ギター	1760Hz	4	4	4	2	4	5
83	ギター	110Hz	4	4	4	1	1	1
84	ギター	7040Hz	4	3	4	5	5	5
85	ギター	27.5Hz	5	5	5	1	1	1
86	アカベラ	440Hz	4	4	4	2	5	5
87	アカベラ	1760Hz	5	4	4	2	2	2
88	アカベラ	110Hz	5	5	5	1	1	1
89	アカベラ	7040Hz	4	4	4	4	5	5
90	アカベラ	27.5Hz	5	5	5	1	1	1
91	ドラム	440Hz	4	4	4	5	5	5
92	ドラム	1760Hz	4	4	4	2	2	2
93	ドラム	110Hz	5	5	5	1	1	1
94	ドラム	7040Hz	4	4	4	4	5	5
95	ドラム	27.5Hz	5	5	5	1	1	1
96	ウクレレ	440Hz	2	2	2	5	5	5
97	ウクレレ	1760Hz	4	4	4	4	4	4
98	ウクレレ	110Hz	5	5	5	2	2	2
99	ウクレレ	7040Hz	4	4	4	5	5	5
100	ウクレレ	27.5Hz	5	5	5	1	1	1

付録 C

SD 法のアンケート結果 3

101	ピアノ	440Hz	2	3	4	1	3	4
102	ピアノ	1760Hz	4	3	4	2	2	3
103	ピアノ	110Hz	4	4	4	1	2	2
104	ピアノ	7040Hz	2	3	3	4	4	4
105	ピアノ	27.5Hz	5	5	5	1	1	1
106	ギター	440Hz	4	4	4	3	3	3
107	ギター	1760Hz	5	5	5	3	4	4
108	ギター	110Hz	5	5	5	1	1	2
109	ギター	7040Hz	5	5	5	4	4	3
110	ギター	27.5Hz	5	5	5	1	1	1
111	アカペラ	440Hz	4	4	5	1	3	3
112	アカペラ	1760Hz	4	4	4	4	5	5
113	アカペラ	110Hz	5	5	5	1	1	1
114	アカペラ	7040Hz	4	3	4	4	4	4
115	アカペラ	27.5Hz	5	5	5	1	1	1
116	ドラム	440Hz	3	4	4	3	4	4
117	ドラム	1760Hz	5	5	4	3	4	4
118	ドラム	110Hz	5	5	5	1	1	1
119	ドラム	7040Hz	4	4	4	4	5	5
120	ドラム	27.5Hz	5	5	5	1	1	1
121	ウクレレ	440Hz	3	4	4	4	3	3
122	ウクレレ	1760Hz	4	4	4	3	3	3
123	ウクレレ	110Hz	5	5	5	1	1	1
124	ウクレレ	7040Hz	4	4	4	4	4	4
125	ウクレレ	27.5Hz	5	5	5	1	1	1
126	ピアノ	440Hz	1	3	3	5	5	5
127	ピアノ	1760Hz	1	3	3	4	5	4
128	ピアノ	110Hz	1	2	2	1	1	1
129	ピアノ	7040Hz	3	3	2	2	2	1
130	ピアノ	27.5Hz	1	2	2	5	5	5
131	ギター	440Hz	4	3	3	4	4	4
132	ギター	1760Hz	4	3	3	2	2	1
133	ギター	110Hz	2	2	2	4	4	4
134	ギター	7040Hz	3	4	4	5	5	5
135	ギター	27.5Hz	5	5	5	1	1	1
136	アカペラ	440Hz	2	2	2	5	5	5
137	アカペラ	1760Hz	2	2	3	5	5	5
138	アカペラ	110Hz	5	2	3	1	1	1
139	アカペラ	7040Hz	2	2	1	5	5	5
140	アカペラ	27.5Hz	5	5	5	1	1	1
141	ドラム	440Hz	2	4	3	4	4	5
142	ドラム	1760Hz	4	4	4	4	4	4
143	ドラム	110Hz	5	5	5	1	1	1
144	ドラム	7040Hz	2	2	2	5	5	5
145	ドラム	27.5Hz	5	5	5	1	1	1
146	ウクレレ	440Hz	2	2	2	5	5	5
147	ウクレレ	1760Hz	3	3	3	4	4	4
148	ウクレレ	110Hz	5	4	4	2	2	2
149	ウクレレ	7040Hz	4	4	4	5	5	5
150	ウクレレ	27.5Hz	5	5	5	1	1	1

付録 D

SD 法のアンケート結果 4

151	ピアノ	440Hz	2	3	2	4	4	4
152	ピアノ	1760Hz	4	4	5	5	5	5
153	ピアノ	110Hz	2	3	1	2	2	1
154	ピアノ	7040Hz	1	2	2	5	5	5
155	ピアノ	27.5Hz	5	5	5	4	1	2
156	ギター	440Hz	2	2	2	4	4	4
157	ギター	1760Hz	3	4	3	4	5	4
158	ギター	110Hz	5	4	5	1	1	1
159	ギター	7040Hz	3	2	2	5	5	5
160	ギター	27.5Hz	5	5	5	1	1	1
161	アカペラ	440Hz	4	3	5	3	1	1
162	アカペラ	1760Hz	2	5	4	4	5	4
163	アカペラ	110Hz	5	4	2	1	2	3
164	アカペラ	7040Hz	4	4	2	5	5	5
165	アカペラ	27.5Hz	5	5	5	1	2	2
166	ドラム	440Hz	5	5	5	5	5	5
167	ドラム	1760Hz	2	2	1	5	5	5
168	ドラム	110Hz	5	5	5	1	1	1
169	ドラム	7040Hz	2	2	2	5	5	4
170	ドラム	27.5Hz	5	5	5	1	1	1
171	ウクレレ	440Hz	4	4	4	2	2	2
172	ウクレレ	1760Hz	5	5	5	5	5	5
173	ウクレレ	110Hz	2	2	2	3	4	4
174	ウクレレ	7040Hz	2	1	3	5	5	5
175	ウクレレ	27.5Hz	4	4	5	1	1	2
176	ピアノ	440Hz	4	2	4	5	4	4
177	ピアノ	1760Hz	5	5	5	5	5	5
178	ピアノ	110Hz	5	5	5	1	1	1
179	ピアノ	7040Hz	4	4	4	2	5	4
180	ピアノ	27.5Hz	5	5	5	1	1	1
181	ギター	440Hz	2	4	2	4	2	4
182	ギター	1760Hz	2	4	2	4	2	4
183	ギター	110Hz	5	5	5	1	1	1
184	ギター	7040Hz	4	4	2	4	1	4
185	ギター	27.5Hz	5	5	5	1	1	1
186	アカペラ	440Hz	1	4	4	5	5	5
187	アカペラ	1760Hz	4	4	2	4	5	5
188	アカペラ	110Hz	5	5	5	2	2	4
189	アカペラ	7040Hz	4	4	2	5	5	5
190	アカペラ	27.5Hz	5	5	5	1	1	1
191	ドラム	440Hz	2	4	4	2	4	4
192	ドラム	1760Hz	4	4	4	4	2	5
193	ドラム	110Hz	5	5	5	1	1	1
194	ドラム	7040Hz	5	5	2	4	4	5
195	ドラム	27.5Hz	5	5	5	1	1	1
196	ウクレレ	440Hz	1	4	4	2	5	5
197	ウクレレ	1760Hz	4	4	4	5	5	5
198	ウクレレ	110Hz	5	5	5	1	1	1
199	ウクレレ	7040Hz	2	4	4	5	5	5
200	ウクレレ	27.5Hz	5	5	5	1	1	1

付録 E

SD 法のアンケート結果 5

201	ピアノ	440Hz	3	4	2	5	4	5
202	ピアノ	1760Hz	4	4	4	5	3	5
203	ピアノ	110Hz	5	2	4	2	1	4
204	ピアノ	7040Hz	4	1	3	5	5	5
205	ピアノ	27.5Hz	4	5	5	1	4	3
206	ギター	440Hz	5	3	1	4	2	5
207	ギター	1760Hz	2	4	4	4	3	3
208	ギター	110Hz	1	2	2	1	3	4
209	ギター	7040Hz	4	3	5	5	5	5
210	ギター	27.5Hz	5	5	5	1	1	1
211	アカベラ	440Hz	1	2	2	5	5	4
212	アカベラ	1760Hz	2	1	3	5	4	2
213	アカベラ	110Hz	4	3	4	2	1	1
214	アカベラ	7040Hz	4	1	3	4	5	4
215	アカベラ	27.5Hz	5	5	5	1	1	1
216	ドラム	440Hz	2	1	3	4	5	5
217	ドラム	1760Hz	4	1	3	3	4	2
218	ドラム	110Hz	4	4	4	2	2	2
219	ドラム	7040Hz	5	5	4	2	3	5
220	ドラム	27.5Hz	5	5	5	1	1	1
221	ウクレレ	440Hz	1	2	1	4	5	5
222	ウクレレ	1760Hz	2	2	3	5	4	4
223	ウクレレ	110Hz	4	3	3	3	2	4
224	ウクレレ	7040Hz	1	1	2	5	5	5
225	ウクレレ	27.5Hz	5	4	4	1	1	1
226	ピアノ	440Hz	4	5	5	4	4	4
227	ピアノ	1760Hz	2	5	5	5	4	4
228	ピアノ	110Hz	5	5	5	4	2	3
229	ピアノ	7040Hz	2	5	5	5	5	5
230	ピアノ	27.5Hz	5	5	5	1	1	1
231	ギター	440Hz	3	5	5	4	4	4
232	ギター	1760Hz	3	5	5	4	4	4
233	ギター	110Hz	5	5	5	3	3	3
234	ギター	7040Hz	2	5	5	5	5	5
235	ギター	27.5Hz	5	5	5	1	1	1
236	アカベラ	440Hz	4	5	5	4	4	4
237	アカベラ	1760Hz	4	5	5	4	4	4
238	アカベラ	110Hz	5	5	5	4	3	4
239	アカベラ	7040Hz	4	5	5	5	5	5
240	アカベラ	27.5Hz	5	5	5	1	1	1
241	ドラム	440Hz	4	5	5	4	4	4
242	ドラム	1760Hz	4	5	5	4	4	4
243	ドラム	110Hz	5	5	5	1	1	1
244	ドラム	7040Hz	5	5	5	4	4	4
245	ドラム	27.5Hz	5	5	5	1	1	1
246	ウクレレ	440Hz	3	5	5	4	4	4
247	ウクレレ	1760Hz	3	5	5	4	4	4
248	ウクレレ	110Hz	5	5	5	2	2	2
249	ウクレレ	7040Hz	2	5	5	5	5	5
250	ウクレレ	27.5Hz	5	5	5	1	1	1