

聴覚・触覚・視覚情報を考慮した タッチ操作系 GUI における適切な操作感の創出

Creation of Suitable Operation Feeling in Touch Operation System GUI in Consideration of Auditory, Tactile and Visual Information

精密工学専攻 33 号 豊田 健太
Kenta Toyoda

1. はじめに

近年、輸送用機器、特に自動車においてカーナビゲーションシステム(以下、カーナビ)は人々にとって欠かせないデバイスとなっている。カーナビは従来からのデバイスに加え、近年ではスマートフォンのアプリケーションを使用するなど多岐に渡る。中でも、オーディオ一体型を応用させたデバイスとして、アームレスト付近に設置したタッチパッドを操作することで、前方に映し出される画面を操作できるデバイスも登場している。このデバイスでは視覚情報だけでなく、触覚や音のフィードバックを付加することによる、操作者に操作感を与えているが、これらの知覚情報のバランスに関しては十分な検討がなされていない。

そこで本研究では、タッチ操作系 GUI (Graphic User Interface) における聴覚・触覚・視覚情報の評価に与える影響について、ドライビングシミュレータを用い、模擬走行環境を再現した環境で調査するとともに、適切な操作感を提案する。また、走行タスクの計測を行うことで、パフォーマンス評価も実施し、複数のパラメータからアプローチを行う。

なお、本研究では音質評価⁽¹⁾において、被験者のインフォームドコンセントを得ている。

2. 各知覚情報の選別および評価へ与える影響の調査

本章では、模擬走行環境下で各知覚情報を組み合わせた際の評価で実施する各知覚情報を選別する。また、それに先立ち知覚情報が評価へ与える影響についても調査する。

2.1 聴覚情報および触覚情報

本節では、聴覚情報の選定を主観評価に基づき選定を行う。

2.1.1 一対比較法による主観評価における平均嗜好度の高い音源の選別

本研究で扱う聴覚情報は、感覚的に操作者へ操作感を伝えるために、物理的な音に着目し、音源の選定を行う⁽²⁾。物理的な音としてキーボードの Enter キーを押し込んだ際の音、マウスの左ボタンをクリックした際の音、ペンのノックカバーを押し込んだ際の音を、それぞれ数種類を録音する。録音は完全無響室で行う。

これらの音源は、A 特性ピーク音圧レベル 70 dB とし、被験者は 20 代 12 名であり、評価項目を「好ましさ」、「決定感がある」とし、シェッフェの一対比較法(浦の変法)を用いて主観評価を行うことで K1_E, M2_E, P1_E を選別した。

2.1.2 タッチパッド操作時における聴覚情報付与の適切なタイミングの調査

本項では、2.1.1 項で選別し音源を触覚情報と組み合わせ、評価実験を行うことで、聴覚情報付与の適切なタイミングと主観的に優れている聴覚情報の傾向を掴む。使用音源は選別した音源より K1_E とする。また、タッチパッドが押し込まれてから再生されるまでの時間(以下、立ち上がり時間)を 0.00 s, 0.05 s, 0.10 s, 0.15 s の 4 種類用意する。評価方

法はシェッフェの一対比較法(浦の変法)を用いる。また、評価項目は「好ましさ」、「決定感がある」である。被験者はステアリングシートに着座した状態で、手元に設置したタッチパッドを押し込むことにより再生された音について評価を行う。なお、音源の音圧は A 特性ピーク音圧レベル 70 dB とする。被験者は 20 代 8 名である。

Fig. 1 に「好ましさ」における主観評価、Fig. 2 に「決定感がある」における主観評価を示す。これより、0.00 s の場合が「好ましさ」、「決定感がある」のどちらの項目においても優れていることが分かる。以上より、立ち上がり時間が短ければ短いほど、「好ましさ」、「決定感がある」の評価が良くなるため、以降の実験においては立ち上がり時間を 0.00 s とした音を複合刺激下において使用する。

2.1.3 聴覚情報および触覚情報に対する主観評価

本項では、2.1.1 項および 2.1.2 項で得られた結果を使用し、聴覚情報および触覚情報を組み合わせた際の音の良条件を把握する。本実験においては 2.1.1 項で選別した音源に加えてボトルの蓋を閉じる際に発生する音を加えた 4 音源で評価実験を実施する。これらは 2.1.2 項で示された立ち上がり時間を考慮して、立ち上がり時間を 0.00 s とする。また、評価で使用する音の名称を Table 1 に示す。ここで、B_E を除く他の音源は 1 音源でピークは 2 か所存在する。これらの 2 つのピーク音圧の差について Table 2 に示す。評価方法はシェッフェの一対比較法(浦の変法)を用いる。また、評価項目は「好ましさ」、「決定感がある」である。被験者はステアリングシートに着座した状態で、手元に設置されたタッチパッドを押し込むことにより再生された音について評価を行う。なお、音源の音圧はピーク音圧レベル 70 dB とする。被

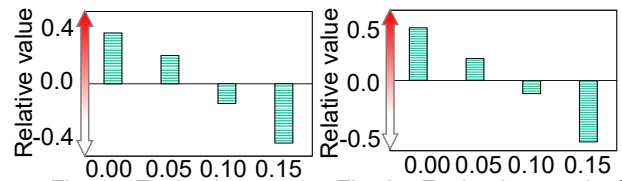


Fig. 1 Evaluation results for preference Fig. 2 Evaluation results for feeling of entering

Table 1 Sound name of this experiment

Name	Parameter	
	Object	Part
K1_E	Keyboard(K1)	Enter key
P1_E	Pen(P1)	Knock cover
M2_E	Mouse(M2)	Left button
B_E	Bottle	Cover

Table 2 Difference of the peak

Name	The former – the latter dB
K1_E	-2
P1_E	-5
M2_E	-1
B_E	Only one peak

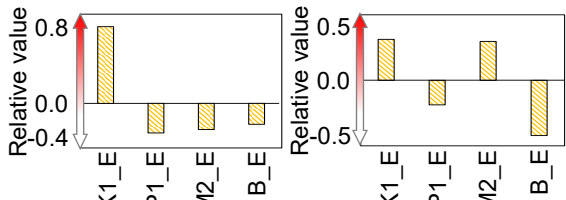


Fig. 3 Evaluation results for preference

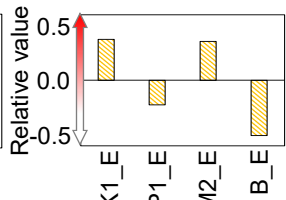


Fig. 4 Evaluation results for feeling of entering

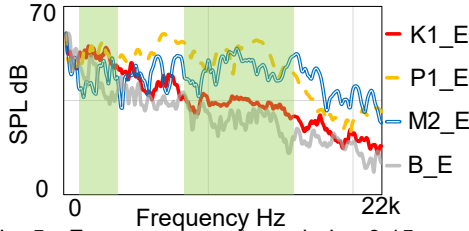


Fig. 5 Frequency spectrum during 0.15s

Table 3 Sound name of this experiment

Name	Processing band	Up/down of SPL
K1_E	-	-
K1_E_A	1000~3000 Hz	6 dB up
K1_E_B	8000~15000 Hz	6 dB down
K1_E_AB	1000~3000 Hz 8000~15000 Hz	6 dB up 6 dB down

験者は 20 代 8 名である

Fig. 3 に「好ましさ」、Fig. 4 に「決定感がある」における評価結果を示す。評価結果より、K1_E と M2_E において「決定感がある」の平均嗜好度が高く、B_E においては「決定感がある」の平均嗜好度が低いことが分かる。ここで、K1_E と M2_E においては、1 音源でピークが 2 か所存在するが、一方で B_E においてはピークが 1 か所のみである。これより、K1_E、M2_E と B_E を比較することで、1 音源内において、2 か所ピークが存在することが決定感を生む前提条件になるのではないかと推察される。

また、2 か所ピークが存在する音源において、K1_E、M2_E は「決定感がある」の平均嗜好度が高いが、一方で P1_E に関しては「決定感がある」の平均嗜好度が高いとは言えない。ここで、K1_E、M2_E のピーク音圧の差は 2 dB 以内であるが、P1_E に関しては 5 dB であり、K1_E、M2_E に対して差が大きいことが分かる。これより、K1_E、M2_E と P1_E を比較することで、1 音源内における、ピーク音圧の差が小さいと決定感が生まれるのではないかと推察される。評価結果より「好ましさ」においては、K1_E が最も好ましいことが分かり、K1_E は「好ましさ」、「決定感がある」のどちらの項目においても平均嗜好度が高いことが分かる。一方で、M2_E は「決定感がある」の平均嗜好度は高いが、「好ましさ」における平均嗜好度は低い。ここで Fig. 5 に示す周波数スペクトラムの、1000 Hz 付近における音圧に対する、10000 Hz 付近の高周波の音圧に着目する。K1_E と M2_E における比較を行うと、K1_E は両者の音圧差が大きいことに対し、M2_E の音圧差は小さい。これより、1000 Hz 付近の音圧に対し、10000 Hz 付近の高周波の音圧を低減することで「好ましさ」の平均嗜好度が高くなるのではないかと推察される。

以上より、タッチパッドを押し込む際の音としては、2 か所のピークが存在することが決定感を生む前提条件となり、その中でもピーク音圧差が小さいと決定感が生まれ、さらに 1000 Hz 付近の音圧に対し、10000 Hz 付近の高周波の音圧を低減することで好ましい音になるのではないかと推察された。

2.1.4 聴覚情報および触覚情報に対する主観評価における評価得点の改善

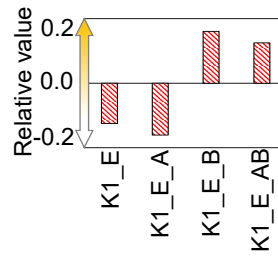


Fig. 6 Evaluation results for preference

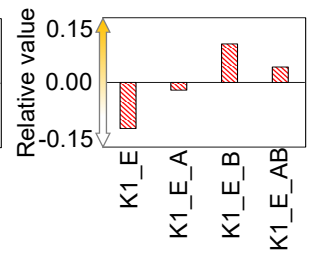


Fig. 7 Evaluation results for feeling of entering

本項では、2.1.3 項で示された 1000 Hz 付近の音圧に対し、10000 Hz 付近の高周波の音圧を低減することで好ましい音となるのではないかと推察を基に、音源加工を施し、音のみの評価実験を行う。使用音源は K1_E を基準に、Adobe 社製の Adobe Audition を使用して音源の加工を行う。使用音源は Table 3 に示す。K1_E の 1000~3000 Hz を一様に 6 dB 増加させた音源を K1_E_A、K1_E の 8000~15000 Hz を一様に 6 dB 減少させた音源を K1_E_B、K1_E の 1000~3000 Hz を一様に 6 dB 増加させ、かつ 8000~15000 Hz を一様に 6 dB 減少させた音源を K1_E_AB とする。評価方法はシェッフェの対比較法(浦の変法)を用いる。音の入れ替えは、被験者が納得するまで聞き入れ替えることとする。評価項目は「好ましさ」、「決定感がある」である。なお、音源の音圧は基準音、つまりは加工を施していない音源のピーク音圧レベルを 70 dB とする。被験者は 20 代 7 名である。

Fig. 6 に「好ましさ」の評価結果、Fig. 7 に「決定感がある」の評価結果を示す。これより、どちらの評価項目においても K1_E_B が最も平均嗜好度が高いことが分かり、8000~15000 Hz を一様に 6 dB 減少させた音源は、オリジナルの音源に対して評価結果が向上することが推察される。

また、本実験は M2_E においても実施した。M2_E においても 8000~15000 Hz を一様に 6 dB 減少させた音源の評価結果が改善されることが確認された。よって、タッチパッドを押し込んだ際の音源として、8000~15000 Hz を一様に 6 dB 減少させることで、「好ましさ」、「決定感がある」における評価結果が向上することが示された。以降の聴覚情報は、この音源加工方法を使用した K1_E_B を使用する。

2.2 視覚情報

本節では視覚情報の選定を行う。本節で対象とするのは視覚情報の色であり、選別された視覚情報を 3 章で使用する。

2.2.1 実験条件

視覚情報は、市販車で使用頻度が高いと思われる⁽³⁾紫色・灰色・青色をそれぞれ基調としたイメージを準備する。

Table 4 に本研究における視覚情報の名前を示す。Fig. 8、Fig. 9 に Blue における、タッチパッドを押し込む前の視覚情報、および押し込んだ後の視覚情報を示す。本実験における評価は、DS で低速走行を行いながら、タッチ操作系 GUI における視覚情報の評価である。実験風景を Fig. 10 に示す。

Table 4 Visual name of this experiment

Name	Colour		
	Base colour	Text and icon colour	Push
Purple	Purple	White	Pink
Grey	Grey	White	Blue
Blue	Purple	White	Yellow

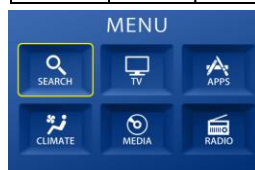


Fig. 8 Visual design of Blue (not pushing)

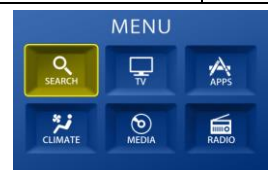


Fig. 9 Visual design of Blue (pushing)



Fig. 10 Test scene

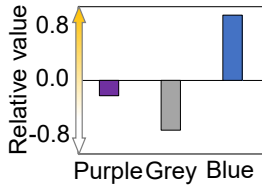


Fig. 11 Evaluation results for preference

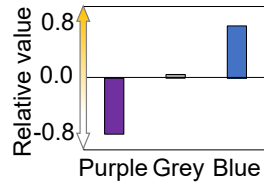


Fig. 12 Evaluation results for feeling of entering

評価方法は各視覚情報の優劣を明確にするためにシェッフェの対比較法(浦の変法), SD法を使用する. 対比較法における評価項目は「好ましさ」, 「決定感がある」であり, SD法は10項目の対を用いた7段階の絶対評価を行う. 被験者はタッチパッドをランダムに押し込まれた際の視覚情報を納得するまで知覚した上で評価シートに印象得点を記入する. 被験者は20代8名である.

2.2.2 実験結果と考察

Fig. 11「好ましさ」, Fig. 12に「決定感がある」における評価結果について示す. これより, どちらの項目においても Blue が最も平均嗜好度が高いことが示される.

また, 因子分析より Table 5 に示すように, 快適因子, 重厚因子, 鋭利因子の3因子を抽出する. Fig. 13(a)に横軸を快適因子, 縦軸を重厚因子とした得点, Fig. 13(b)に横軸を快適因子, 縦軸を鋭利因子とした因子得点を示す. これより Blue は快適因子の得点が高く, Purple は重厚因子の得点が高いことが示された.

以上より, 快適感を重視した視覚情報を作成したい場合は Blue を使用し, 重厚感を重視した視覚情報を作成したい場合は Purple を使用することで状況に応じた視覚情報を提示できると考えられる. また, 以降の視覚情報は, 対比較法での「好ましさ」および「決定感がある」の平均嗜好度が高い Blue を使用する.

3. 模擬走行環境再現時における複合刺激下での評価

本章では, DS を用い模擬走行環境を再現し, 聴覚・情報・視覚情報の3情報を組み合わせた際の主観評価, およびパフォーマンス評価⁽⁴⁾を行う.

3.1 各知覚情報の水準の設定

本節では, 各知覚情報の詳細を記載する.

3.1.1 聴覚情報

聴覚情報は2章より, K1_E_B とする. また, 本章における聴覚情報に対する水準は音圧とする. タッチパッドを押し込んだ際の音として考えられる音圧を考慮し, 本章における音圧は Table 6 に示し A 特性ピーク音圧レベル 60 dBA, 70 dBA, 80 dBA の3水準とする.

3.1.2 触覚情報

触覚情報に対する水準は触覚フィードバック値とし, 一般に使用されているスマートフォンや自動車に使用されているタッチ操作系 GUI の触覚フィードバック値を参考する. 本章では, この値を3つに大別する. これより, 本章における

Table 5 Factor analysis

(+ Variable name (-))	Factor name		
	Comfortable	Deep	Sharp
Clear – Unclear	0.88	-0.19	-0.10
Feeling of entering – No feeling of entering	0.87	-0.12	-0.18
Comfortable – Uncomfortable	0.73	0.39	0.11
Preferable – Unpreferable	0.71	0.54	0.06
Deep – Slight	-0.08	0.90	-0.34
Weightily – Not weightily	-0.03	0.79	-0.34
Sharp – Unsharp	0.27	-0.34	0.82
Wet – Dry	0.36	0.11	-0.63
Calm – Uncalm	0.15	0.44	-0.65
Luxury – Not luxury	0.38	0.50	-0.26
Contribution ratio %	29.37	24.87	18.50
Cumulative cont. ratio %	29.37	54.23	72.73

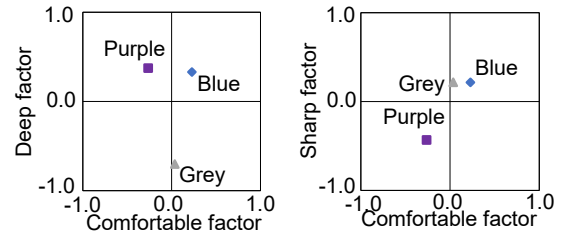


Fig. 13 Evaluation results for preference

Table 6 Details of perception

(a) Auditory

Name	SPL [dBA]
A60	60dBA
A70	70dBA
A80	80dBA

(b) Tactile

Name	Acceleration [G]
T2	0.52
T6	3.05
T10	4.91

(c) Visual

Name	Area value after pushing [-]
V1	1.00
V3	0.82
V5	0.61

触覚フィードバック値は 0.52 G, 3.05 G, 4.91 G の3水準とする.

3.1.3 視覚情報

視覚情報は2章より, Blue が選別されたため, 本章での視覚情報は Blue を使用する. また, 本章における視覚情報に対する水準は, タッチパッドを押し込む前に対する押し込んだ後のアイコンの面積比(以下, R)とする. R の値が大きいかほど, タッチパッドを押し込む前に対する押し込んだ後のアイコンの視覚的变化が小さくなり, R の値が小さいほど, 同様の視覚的变化が大きくなる. 本章における R は, 1.00, 0.82, 0.61 の3水準とする.

3.2 模擬走行環境時における評価

本節では模擬走行環境において3.1節で示した各知覚情報を使用し評価実験を行う. DS の路面は, 被験者がアクセルワークを行わない限り必ず速度が変化するように, 平らな道ではなく, 勾配がランダムに連なる道を作成する. なお, 被験者に過度の負荷を与えないために, 道路は1車線とする.

3.2.1 実験条件

被験者はステアリングシートに座り, 前方に映し出された DS の画面を見ながら, アクセルワークをこなす走行タスク, 被験者右側前方に映し出されるタッチパッドの操作の指令を, 被験者の左側前方に設置されたモニターの知覚, および手元付近に設置されたタッチパッドを操作する操作指令タスクとする.

走行タスクは日本の一般道を想定し, 前方画面下部に表示されたデジタルのスピードメータを見ながら0秒から180

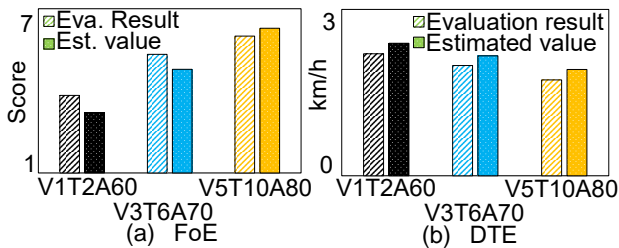


Fig. 14 Evaluation results for preference

秒まで 40 km/h を維持する。また、操作指令タスクは、指定されたアイコンの位置までカーソルを移動させ、タッチパッドを押し込む。操作指令は 20 秒間で 5 つの指令があり、60 秒から 180 秒までの 120 秒間で計 30 回タッチパッドを押し込む。実際の車の運転において、走行安全性を優先するため、被験者には走行タスクを優先するように予め伝える。また、主観評価の評価項目は「決定感がある(以下、FoE)」である。

評価は主観評価として SD 法、操作パフォーマンスの評価として Driving Task Error(以下、DTE)を使用する。本研究で DTE とは、走行タスクをいかに順守しているかを示したものである。例えば、V=40 で DTE=3 の場合は平均して 3 km/h が、40km/h からずれていたことを示している。

また、DS での Log 計測の分解能は 0.01 秒であり、計測時間は 120 秒間である。なお、被験者は 20 代 6 名である。

3.2.2 実験結果

FoE および DTE の結果を用いて 3.3 節でモデル式の構築、および整合性の検証、寄与度の推定を行う。

3.3 モデル式の構築および寄与度の推定

本節では 3.2.1 項で得られた評価結果より、モデル式の構築および寄与度の推定を行う。

3.3.1 モデル式の構築および寄与度の推定

3.2.1 項で得られた評価結果より、重回帰分析を用いることで主観評価の FoE、および DTE のモデル式の構築および寄与度の推定を行う。重回帰分析をおこなうことで、下記式(1)、(2)を得る。

$$FoE = 0.096 \times Auditory + 0.179 \times Tactile - 0.998 \times Visual - 1.661 \quad (1)$$

$$DTE = -0.011 \times Auditory + 0.005 \times Tactile + 0.589 \times Visual + 2.435 \quad (2)$$

また、標準偏回帰係数より寄与度を推定する。FoE における標準偏回帰係数は聴覚:触覚:視覚=0.62:0.25:-0.12 より寄与度は聴覚:触覚:視覚=5:2:1 となり、聴覚情報に大きく依存していることが分かる。また、DTE における標準偏回帰係数は聴覚:触覚:視覚=-0.11:0.01:0.11 より寄与度は聴覚:触覚:視覚=10:1:10 となる。

3.3.2 モデル式の整合性の検証

得られたモデル式の整合性を確認する。モデル式より考えられる各知覚情報のうち、最小値、最大値、および中間値を抜粋し評価結果と照らし合わせる。

FoE においてはモデル式(1)で表される。式(1)より推定される最大の FoE は、Auditory が最大値、Tactile が最大値、Visual が最小値を取る場合である。よって、最大値を取る条件は V5T10A80 である。同様に式(1)より推定される最小の FoE は、Auditory が最小値、Tactile が最小値、Visual が最大値を取る場合である。よって、最小値を取る条件は V1T2A60 である。これらより、最大値と最小値の中間値を V3T6A70 とする。これらの値について、実際の評価結果と照らし合わせる。Fig. 14(a)に評価結果とモデル式(1)より推定される値

をグラフに示す。これより、モデル式(1)の整合性を示すことができた。

また、DTE においてはモデル式(2)で表される。モデル式(2)より推定される DTE の最大値を取る条件は V1T2A60 である。同様に(2)より推定される DTE の最小値を取る条件は V5T2A80 である。これらより、最大値と最小値の中間値を V3T6A70 とする。これらの値について、実際の評価結果と照らし合わせる。Fig. 14(b)に評価結果とモデル式(2)より推定される値をグラフに示す。これより、モデル式(2)の整合性を示すことができた。なお、DTE においては値が小さくなるほど走行タスクを忠実にこなしていたことを示すため、DTE が小さくなるのが好ましい。

今後デバイスを改良し、各知覚情報の取りうる値の幅を大きくすることで、よりよい評価結果を得ることが期待される。

3.3.3 模擬走行環境時における適切な知覚情報の提案

モデル式の構築、および標準偏回帰係数より、各知覚情報が評価に与える寄与度を分析した。これより、FoE の評価において、聴覚情報、触覚情報、視覚情報の順で決定感に寄与していることが示された。運転中のタッチパッドの操作は走行パフォーマンスに影響を与えるが、聴覚情報に着目することで、決定感を高めることが示された。また、聴覚情報が DTE の評価に大きく寄与していることが示された。

これら 2 つの評価において、聴覚情報が大きく寄与していることを考慮すると、聴覚情報に特化してタッチ操作系 GUI を設計することで、操作の決定感を高めるだけでなく、走行パフォーマンスの低下を防止できることも期待される。

4. 研究成果

- (1) 聴覚情報をタッチパッド操作時に組み込んだ際の立ち上がり時間の評価では、タッチパッドを押し込んでから聴覚情報が与えられる時間が、短ければ短いほど「好ましさ」、「決定感がある」の評価得点が高くなることがわかった。
- (2) タッチパッドを押し込む際の音としては、1 音源内に 2 か所のピークが存在することが決定感を生む前提条件となり、その中でもピーク音圧差が小さいと決定感が生まれることがわかった。
- (3) 8000~15000 Hz を一様に減少させた音源加工を行うことで、「好ましさ」、「決定感がある」の評価得点が向上することがわかった。
- (4) 本研究で用いた各知覚情報における決定感および走行タスク誤差の定式化を行った。
- (5) 聴覚情報に特化してタッチ操作系 GUI を設計することで、操作の決定感を高めるだけでなく、走行パフォーマンスの低下を防止できることがわかった。

参考文献

- (1) 渡辺大貴, 有光哲彦, 戸井武司, スポーツ用具の打球時における音および振動の印象変化, 日本音響学会講演論文集(春), (2015) pp.1449-1450.
- (2) 豊田健太, 神谷直城, 大西剛史, 戸井武司, タッチ操作系 GUI に適した操作感の創出, 日本音響学会講演論文集(春), (2017) pp.1193-1194.
- (3) Daniel Menzel, Norman Haufe and Hugo Fastel, Colour-influences on loudness judgements, 20th International Congress on Acoustics, (2010) pp.1-5.
- (4) 豊田健太, 濱透, 大西剛史, 神谷直城, 戸井武司, 複合刺激下でのタッチ操作系 GUI における適切な操作感の提案, 日本音響学会講演論文集(春), (2019) 1-2-6.