

操作感を考慮した快適な自動車スイッチ操作音の研究

Investigation of Comfortable Automotive Switch Sound in Consideration of Tactile Feeling

精密工学専攻 15号 木内 賢二
Kenji Kiuchi

1. はじめに

近年、工業製品の基本性能は十分満たされ、新たな付加価値として「使いやすさ」や「快適性」といった官能性が重要になってきている。特に、自動車に関しては、吸排気系をはじめとした様々な箇所に改良が加えられ、車室内音環境の静粛性が増しているが、同時に暗騒音レベルも下がっており、いままで大きな音にマスキングされて気にならなかったカーナビゲーション操作音⁽¹⁾やウインカー操作音、スイッチ操作音が気になると指摘されている。その中で、スイッチは操作音だけでなく、操作を伴うため、その操作感をも考慮に入れなければならない⁽²⁾。

従来から、操作音や報知音、警告音などの音質に関する感性評価は行われてきている。また、凹凸を有するフローリングの感触やマウス、キーボードの操作感などについても同様に感性評価が行われている⁽³⁾。

さらに視覚、聴覚、触覚といった感覚の相互関係を調査した複合刺激の研究も幅広く行われてきている⁽⁴⁾。

このように、操作音と操作感の複合刺激の相互関係を探ることは操作を伴う製品の設計において重要である。しかし、現状では実機よりも AudioHaptics システムによるシミュレータを使用して操作音と操作感の関係を探る研究が盛んに行われており、実機を用いて操作音と操作感の相互関係を探った研究はまだ数少ない。

そこで、本研究では自動車のウインカーやワイパー操作に用いられているストークスイッチ⁽⁵⁻⁶⁾に着目し、操作音と操作感が快適なスイッチの設計手法を確立することを目的とする⁽⁷⁾。

2. 自動駆動装置によるスイッチ特性の把握

2.1 ストークスイッチの機構調査

Fig.1 にストークスイッチの機構概略図を示す。ストークスイッチは主にレバーとケースで構成されており、レバーにはバネを介してアクチュエータが取り付け、ケースにはカムとストッパーが取り付けられている。初期位置の中間位置から下操作を行うと、アクチュエータがカム山を移動し、最終的にバネを介してレバーと結合しているアクチュエータとカム、

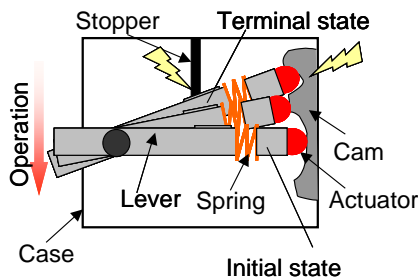


Fig. 1 Stalk switch mechanism

およびレバーとストッパーが衝突して操作が終了する仕組みになっている。なお、本研究では左ストークスイッチの中間位置から下操作のみを研究対象とする。

2.2 自動駆動装置の特徴とその意図

スイッチ特性は人の操作による影響があるため、測定することが難しい。そこで、自動駆動装置を用いてスイッチそのものの特性を把握する。本装置は PC からモータの回転指令を出し、操作棒でコラム中心部に固定されたストークスイッチを操作する仕組みとなっている。また、非接触の磁気歯車を用いているため、駆動音は暗騒音レベルである。

2.3 スwitchの操作音特性把握

スイッチケース中心部から 50 mm 離れた箇所にマイクロフォンを置いて、自動駆動装置による操作音を測定する。

Fig. 2 に操作音のスペクトルを示す。横軸が周波数、縦軸が SPL (Sound Pressure Level) である。これより、操作音は 1700 Hz 付近にピークを持つスペクトルであることがわかる。

2.4 スwitch操作音発生箇所の同定

スイッチケース正面から 70 mm 離れた箇所に 125 × 150 mm 四方の観測面を設け、格子状に 24 点音圧を測定する。ピークとなっている 1716 Hz の音圧分布を Fig. 3 に示す。これより、ケース部付近の SPL が大きいことがわかるので、ケースの振動モード測定を行う。ストッパー衝突部をインパクトハンマで加振し、加速度ピックアップで各点の加速度を測定する。

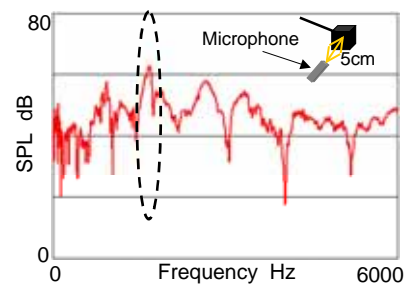


Fig. 2 SPL of switch

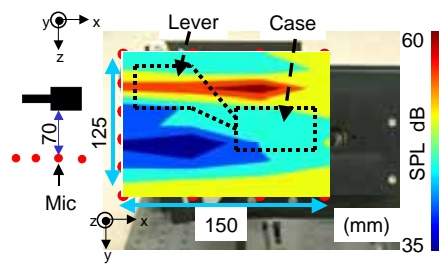


Fig. 3 Switch sound at 1716 Hz

Fig. 4 に FRF(Frequency Response Function)を示す . Synthesis した結果の Correlation は 94.1% , Error は 6.3% となった . これより , 操作音のピーク周波数に近い 1739 Hz に固有振動数が見られたので , Fig. 5 にその周波数における振動モード形状を示す . これは音圧分布結果と同様な傾向であり , スイッチケースが操作音の音源となっていることがわかる .

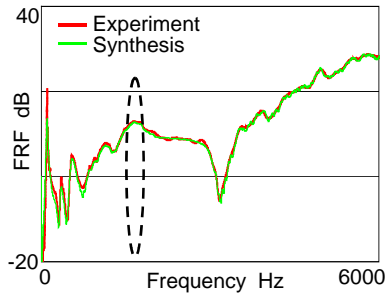


Fig. 4 FRF of switch case

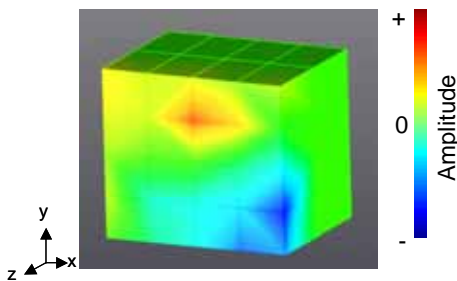


Fig. 5 Vibration mode at 1739 Hz

3. 各種スイッチの操作音と操作感の位置づけ把握

A~G までの各種スイッチを評価し , 操作音と操作感の位置づけを把握する . また , 操作力と操作音も測定し , 物理パラメータと評価結果との関係を探る . そして , 目標とするスイッチ特性を定める .

3.1 各種スイッチについて

評価に用いた各スイッチは , 国内外車に使用されている A~G である . 評価対象は左ストックスイッチの中間位置から下操作のみに限定する .

3.2 操作音と操作感の評価と測定について

各種スイッチの操作音と操作感の心理的および物理的位置づけを把握することを目的として評価および測定を行う . 評価方法は A を基準スイッチとする相対評価の SD 法を用い , 評価対象はスイッチ操作音と操作感 , 総合的評価の三つとする . 有効被験者数は 15 名である . 相対評価を行うにあたり ,

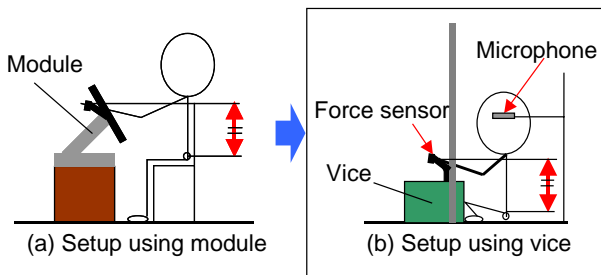


Fig. 6 Measurement and evaluation setup

複数のスイッチの操作音と操作感を短時間で比較する必要がある . そこで Fig. 6(b) に示すような簡便な評価セットアップを用いる . このセットアップは , Fig. 6(a) に示すようなステアリングモジュールを用いた実車に近いセットアップと腰から手の距離がほぼ同じ関係にあり , 支持棒に手を添えることでステアリングの代わりとしているため操作感 Fig. 6(a) のセットアップとほぼ同等である . また各種スイッチの操作部の操作力を力センサで , 左耳位置の操作音をマイクロフォンで測定する .

3.3 操作音と操作感の因子分析結果について

Table 1 が操作音の因子分析結果である . 各因子に対して寄与が高い形容詞対名から , 第一因子から「鋭さ」, 「快適」, 「確実性」, 「硬さ」の四つに分けることができる . 累積寄与率は 63.0% である . Table 2 が操作感の因子分析結果である . 各因子に対して寄与が高い形容詞対名から , 第一因子から「快適」, 「硬さ」, 「鋭さ」, 「確実性」の四つに分けることができる . 累積寄与率 62.4% である .

3.4 操作音と操作感の因子得点の関係について

操作音と操作感の因子得点を散布図にプロットし , その関係を探る . Fig. 7 に各「快適」因子得点の散布図を示す . これより , 操作音が快適に感じるほど , 操作感も快適に感じる事がわかる . ここで , 以降目標とするスイッチを操作音と操作感ともに快適であるスイッチ B とする .

3.5 操作力パラメータと因子得点の関係について

操作力データから Fig. 8 に示す特徴的なパラメータを抽

Table 1 Factor analyses of switch sound

	Sharp	Comfort	Certainty	Hard
重い-軽い	0.84	0.12	-0.03	0.01
クリック感がある-クリック感がない	-0.54	0.23	0.64	0.07
ねっとりしている-ねっとりしていない	0.60	0.04	-0.30	0.02
鈍い-鋭い	0.62	-0.19	-0.47	-0.04
深い-浅い	0.62	-0.16	0.13	-0.24
高い-低い	-0.76	0.12	0.35	0.18
悪い-良い	0.15	-0.53	-0.45	0.18
高級感のある-高級感のない	0.29	0.88	0.05	0.03
失敗した-成功した	0.22	-0.73	-0.26	0.07
快適な-不快な	-0.13	0.80	0.22	-0.14
確実な-不確実な	-0.37	0.32	0.66	0.23
しっかりしていない-しっかりしている	0.15	-0.41	-0.64	-0.18
柔らかい-硬い	0.27	0.05	-0.21	-0.61
粗い-滑らか	-0.07	-0.21	-0.01	0.72
底付き感がない-底付き感がある	-0.20	-0.15	-0.46	-0.45
寄与率	21.0%	17.9%	15.2%	8.80%
累積寄与率	21.0%	39.0%	54.1%	63.0%

Table 2 Factor analyses of switch tactile feeling

	Comfort	Hard	Sharp	Certainty
悪い-良い	0.88	0.15	0.14	-0.11
安定な-不安定な	-0.64	0.26	-0.54	0.15
高級感のある-高級感のない	-0.78	0.03	0.19	0.1
失敗した-成功した	0.82	-0.02	0.15	-0.12
快適な-不快な	-0.85	-0.15	-0.18	-0.03
タイミングの悪い-タイミングの良い	0.69	0.19	0.46	-0.25
底付き感がない-底付き感がある	0.09	-0.53	0.17	-0.33
動き始めがスムーズ-動き始めがスムーズでない	-0.37	-0.60	-0.30	0.19
柔らかい-硬い	-0.08	-0.76	0.09	-0.19
粗い-滑らか	0.49	0.52	0.12	-0.08
重い-軽い	0.17	0.82	0.26	0.12
しっかりしていない-しっかりしている	0.35	-0.64	0.14	-0.44
一時的な-継続的な	-0.19	0.09	-0.67	0.15
鈍い-鋭い	0.23	0.06	0.76	-0.20
深い-浅い	0.01	0.06	0.56	0.08
ねっとりしている-ねっとりしていない	0.01	0.40	0.68	0.10
丸みがかかった-角張った	0.02	-0.39	0.54	-0.28
確実な-不確実な	-0.41	0.18	-0.10	0.66
大きい-小さい	0.03	0.09	0.02	0.65
クリック感がある-クリック感がない	-0.27	0.36	-0.39	0.58
寄与率	22.3%	15.8%	15.2%	9.10%
累積寄与率	22.3%	38.1%	53.3%	62.4%

出する。本研究では、ピーク力、初期値からピークまでの面積(以下ピーク面積)、ピーク時間の三つをパラメータとする。ピーク面積はシンプソン法による数値積分で算出している。ここで、各パラメータは正規化した値を用いる。

Fig. 9 に操作感の「鋭さ」因子得点とピーク力の関係を示す。これより、操作感が鋭く感じるほど、ピーク力は大きいことがわかる。鋭い操作感のスイッチを作るには、ピーク力が大きくなるように構造変更を行えばよいことがわかる。

3.6 操作音パラメータと因子得点の関係について

操作音データから特徴的なパラメータを抽出する。第2章の結果より、着目する操作音のピーク周波数は1700 Hz付近であるので、本研究ではそのピークを含む1600 Hz $\frac{1}{3}$ オクターブバンドレベル(以下1600 Hzバンド)をパラメータに取る。Fig. 10 に操作音の「快適」因子得点と1600 Hzバンドの関係を示す。これより、操作音が快適に感じるほど、操作音の1600 Hzバンドは小さいことがわかる。つまり、快適な操作音を作るには1600 Hzバンドを下げればよいことがわかる。

4. 操作音に及ぼす操作の影響調査

4.1 バネ定数を変更時の操作音に及ぼす操作の影響調査

操作が操作音の印象にどのような影響を与えるのかを調査することを目的とし、各バネ定数(P>A>Q)のスイッチを操作した際の各被験者の耳位置における操作音を測定する。用いたバネ定数をTable 3に示す。そして、同一被験者にヘッドフォンからの操作音のみと、操作時の操作音についてSD

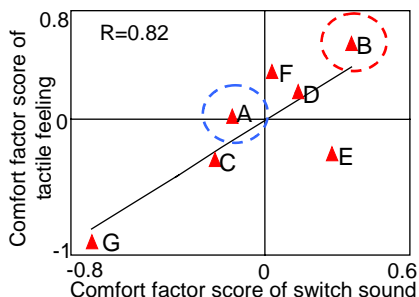


Fig. 7 Comfort factor scores

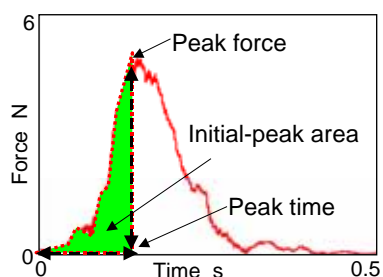


Fig. 8 Parameters

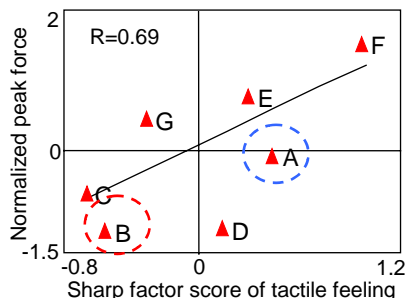


Fig. 9 Sharp factor score vs. peak force

法を行う。有効被験者は9名である。

Fig. 11 に各バネを用いた場合の「硬さ」因子得点を示す。これより、操作を伴わない場合では、バネ定数に対する「硬さ」因子得点はほぼ変わらないのに対して、操作を伴う場合では、バネ定数に対する「硬さ」因子得点はバネ定数が大きくなるほど硬く感じていることがわかる。このように、操作を伴うと、操作を伴わない場合よりもバネ定数に対する「硬さ」因子得点の感度が高いことがわかる。

4.2 各種スイッチにおける操作音に及ぼす操作の影響調査

操作が操作音の印象にどのように影響しているのかを調査するためA~Gまでの各種スイッチの被験者の左耳位置での操作音を採取し、それをヘッドフォンにより同一被験者に呈示しAスイッチ操作音を基準とするSD法相対評価を行う。

Fig. 12 に操作有無での操作音因子得点と1600 Hzバンドの関係の抜粋を示す。ここでは操作有無で得点差が大きいB, E, Fを代表して載せている。三角形が操作を伴う場合、菱形が操作音のみである。これより、目標とするスイッチBの評価結果は操作有無で快適性が大きく異なることがわか

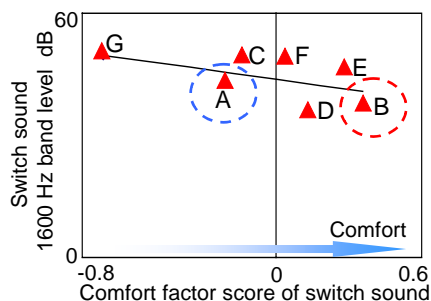


Fig. 10 Comfort factor score vs. 1600Hz band level

Type	Spring constant N/mm
P	4.00
A	2.76
Q	1.76

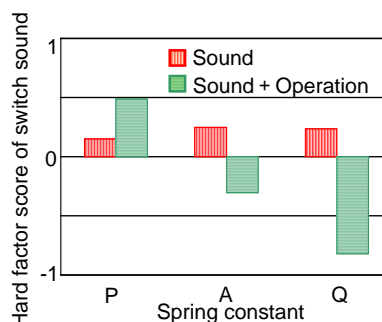


Fig. 11 Hard factor score of switch sound

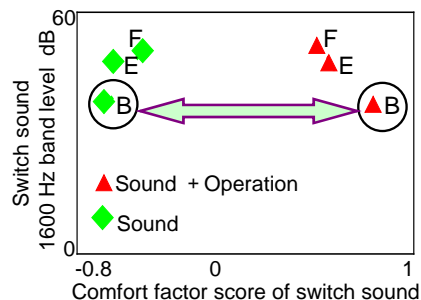


Fig. 12 Comfort factor score vs. 1600Hz band level

る．よって，操作感を考慮した操作音評価は重要といえる．

5. 操作感を考慮した快適なスイッチ操作音設計手法の提案

カム形状などを変化させてしまうと，操作感のみならず操作音も変わってしまう．スイッチケースは形状を変化させると操作音のみを変化させることができ，また先ほどの振動モードから音源となっていることがわかっている．そこで，着目しているケースの1732 Hz 振動モードに対して振幅感度解析を行う．

5.1 感度解析について

感度解析とは構造物の動特性への設計パラメータの影響感度を表す感度係数を求める手法である．一般に感度解析には固有振動数の感度解析と振幅の感度解析がある．

5.2 振幅感度解析の結果

ケースのFRFをもとに質量付加に対する振幅感度解析を行う．

感度解析結果をFig. 13 に示す．これを見ると，振幅を上げるにはPoint が $3.1 \times 10^3 \text{ ms}^{-2}/\text{N/kg}$ で最も感度のよいことがわかる．また，振幅を下げるにはPoint が $-2.7 \times 10^3 \text{ ms}^{-2}/\text{N/kg}$ で最も感度がよいことがわかる．そこで，これらの二点に0.06 kgの鉛を用いて質量付加を行う．

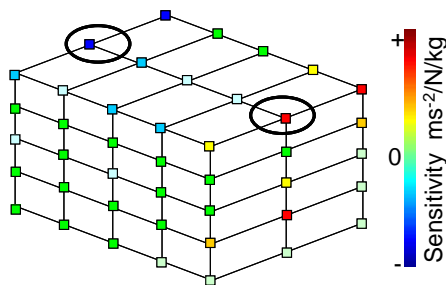


Fig. 13 Amplitude sensitivity

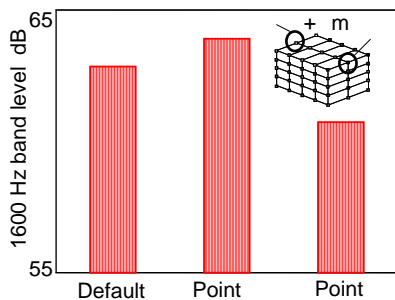


Fig. 14 Comparison of switch sound at 1600 Hz band

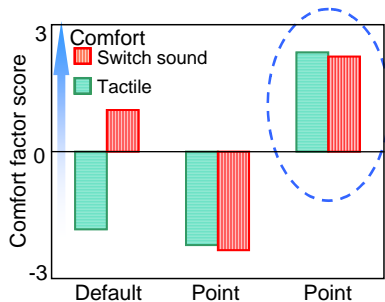


Fig. 15 Comparison of comfort score using different cases

構造変更したスイッチの操作音を自動駆動装置に取り付けて測定する．マイクロフォンはケース中心部から50 mm離れた位置に設置している．

Fig. 14 に構造変更前後の1600 Hzバンドを示す．これより，着目している1716 Hzの振幅を見ると，Point に付加した場合はDefaultに対して振幅が大きくなっており，また，Point に付加した場合はDefaultに対して振幅が下がっている．よって，着目するピークを含む1600 Hzバンドレベルにおいても振幅感度解析と同様の傾向を得ることができた．

5.3 構造変更による確認評価

構造変更前後の快適性確認評価を行う．目的は構造変更により操作音のみを変化させた場合の操作音と操作感の快適性の変化を確認することである．ここで，操作感を実際に変化していないことを被験者には教示していない．評価方法は相対評価のSD法を用い，評価対象は操作音と操作感，有効被験者数は11名である．評価セットアップは基準スイッチを中央に置き，とに質量付加したスイッチを左右に置いている．

Fig. 15 が評価結果である．縦模様が操作音，横模様が操作感の評価である．これより，操作音については1600 Hzバンドが上がるPoint に構造変更を施したスイッチは基準よりも不快になり，同バンドが下がるPoint に構造変更を施したスイッチは基準より快適になり，傾向が予測と一致している．

また，操作感についても操作音と同様の傾向を得られ，操作音のみを変化させることで，操作感も快適にすることができた．

6. 研究成果

1. 自動駆動装置を用いた音圧分布および振動モード測定実験より，スイッチ操作音の音源を特定できた．
2. 操作を伴わない場合よりも操作を伴う場合のほうがバネ定数に対する「硬さ」因子得点の感度が高いことがわかった．
3. 振幅感度解析に基づく質量付加を行い，快適性に影響の大きい1600 Hzバンドの操作音を下げることができ，操作感を考慮した操作音設計手法の有効性を確認した．

参考文献

- (1) 木内賢二他，車室内走行騒音下における明瞭なカーナビゲーション操作音の研究，日本音響学会聴覚研究会資料，Vol.36，No.8，pp.683-687，(2006-11)．
- (2) 崔鍾大他，自動車内の各種サイン音にとって望ましい音響特性，日本音響学会騒音・振動研究会資料，N-2003-62，pp.1-6，(2003)．
- (3) 小坂洋明他，キーボードスイッチ作動力の感性評価，計測自動制御学会論文集，VOL31，No.11，pp.1880-1888，(1995)．
- (4) Norimichi Kitagawa, Charles Spence, Audiotactile multisensory interactions in human information processing, Japanese Psychological Research, Vol. 48, pp.158-173, (2006)．
- (5) 木内賢二他，感触を考慮した快適なスイッチ操作音の研究，第17回環境工学総合シンポジウム講演論文集，No.07-12，99-102，(2007-7)．
- (6) 木内賢二他，スイッチの操作音と操作感の相関に関する研究 - スwitchのバネ定数変更について - ，日本音響学会講演論文集，pp.507-510，(2007-9)．
- (7) 木内賢二他，操作感を考慮した快適な自動車スイッチ操作音の研究 - 構造変更による快適性の向上 - ，日本音響学会講演論文集，1-3-7，(2008-3)．