

# 操作感触と操作音の適合感を考慮した スイッチ感性階層モデルの構築

## Construction of Sensory Hierarchy Model of Switch in Consideration of Conformity between Tactile and Sound

精密工学専攻 68号 渡瀬 由人  
Yuto Watase

### 1. はじめに

スイッチはリモコンやキーボードなど様々な製品に搭載されており、近年では耐久性などの機械部品としての性能に加えて、高級感などに代表される感性的な価値が求められている。このような感性価値は触覚、聴覚、視覚の複数のモダリティを統合した複合感覚の中で形成される。スイッチの複合感覚を考慮した操作感についての研究はいくつか行われているが<sup>(1)~(3)</sup>、操作感触と操作音の物理的な特性と感性価値を直接結びつけるもので、知覚、認知、感情に基づくプロセスが不透明になっている。

そこで本研究では、プッシュスイッチを研究対象として、知覚、認知、感情に基づくスイッチ感性階層モデルを仮定し、階層ごとに分析することで、操作感触と操作音の個々の物理的な特性から複合感覚での統合的な感性価値が生じるまでの本質的な理解を目的とする。

なお、本研究におけるすべての評価実験は、中央大学「人を対象とする研究」倫理審査委員会の承認を得た上で、実験参加者に十分なインフォームドコンセントを得て実施している。

### 2. 定性的なスイッチ感性階層の把握

#### 2.1 スイッチ感性階層の仮説

感性的な価値構造を明らかにするため、先行研究では対象と物の物理的な特性と、人の心理学的特性の関係性に基づく階層性を仮定したモデルの検討が行われている<sup>(4)(5)</sup>。本研究ではこのような階層モデルを複合感覚に拡張し、Fig. 1のようなスイッチ感性階層モデルを仮定する。

聴覚と触覚の単感覚の領域では単感覚物理特性と単感覚印象の2層があり、単感覚物理特性から単感覚印象が生じる。触覚における印象を触覚印象、聴覚における印象を聴覚印象とする。複合感覚の領域では統合印象と統合感性価値の2層があり、触覚印象と聴覚印象によって統合印象が生じ、統合印象によって最終的に求められる統合感性価値が生じる。それぞれの階層での要素について、触覚印象、聴覚印象で、統合印象の要素は複数の形容詞を用いた因子分析により抽出された因子とする。その中で、複合感覚では単感覚印象に加えて、操作感触と操作音の組み合わせの良さという新たな印象が加わると考えられ、これを適合感とする。統合感性価値の要素は次節で行う実験により選定する。

#### 2.2 定性的な感性階層の把握

##### 2.2.1 実験条件

本実験では、スイッチの操作感についてインタビュー調査を行い、定性的なスイッチ感性階層を把握する。また、感性価値において重要な項目を選定する。評価刺激は構造の異なるスイッチ 15 種類で、操作感触、操作音は実際のスイッチから生じる刺激を対象とする。感性評価は評価グリッド法<sup>(6)(7)</sup>を用いて行う。はじめに判断基準を「良い-悪い」として、スイッチを5つの「グループ」に分類させる。このとき、スイッチ同士を比較しやすくするため、押し順番は指定せず、か

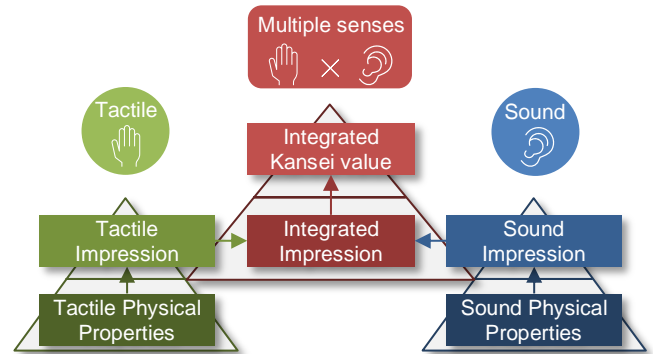


Fig. 1 Conceptual diagram of emotional hierarchy

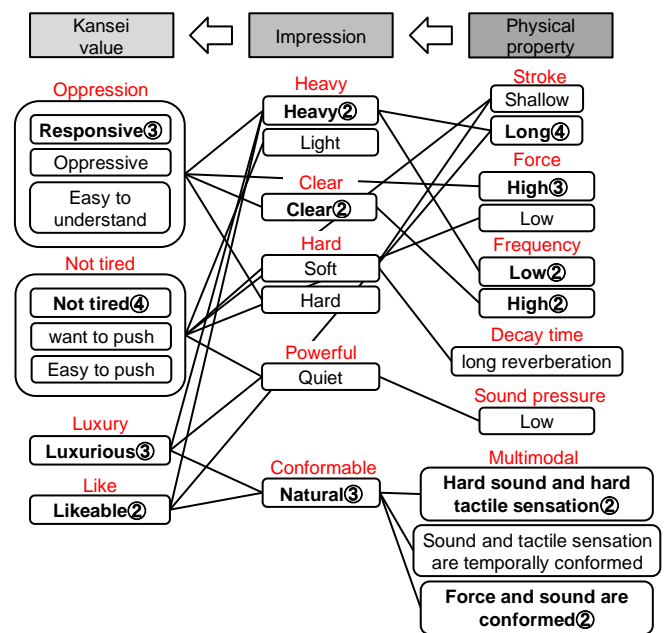


Fig. 2 Result of Evaluation Grid Method

つ何度押ししてもよいものとする。次に2つのグループを比較させ、分類した理由を1つ以上回答させる。これをすべての組み合わせで行う。最後に分類した理由について「ラダーリング」と呼ばれる深堀りを行い、はじめに回答した理由に対して上位概念となる理由と下位概念となる理由を回答させる。実験参加者は20代7名で、実験は無響室で行う。

##### 2.2.2 実験結果および考察

Fig. 2に全実験参加者のデータをまとめた結果を示す。線で繋いでいる項目間は因果関係があることを表している。また、言葉の右側の数字はその言葉を回答した人数を表しており、二人以上の場合は太字としている。この結果より、実験参加者全体での定性的なスイッチ感性階層を明らかにした。

具体的に評価項目を見ていくと、最上位の評価項目である感性価値は大きく分けて「好きであること」、「高級に感じる」、「決定感のあること」、「疲れないこと」の4項目で構成されていることがわかった。また、感性価値を生み出す印象は、「重く感じる」や「はっきりしている」という単感覚で存在する性質的な印象のほかに、「組み合わせが合っている」という複合感覚によって生じる印象が重要になるということを示した。

以上の結果をふまえて、4章で使用する感性価値の評価項目を「好き」、「高級な」、「疲れない」、「決定感のある」の4種類に選定した。

### 3. 単感覚における評価階層の構築

#### 3.1 操作感触の物理特性が印象に与える影響把握

##### 3.1.1 実験条件

本実験では、操作感触において単感覚における感性評価を行い、スイッチの操作感において重要な印象を抽出する。また、触覚物理特性と触覚印象の関係を明確にする。評価対象は2.2節と同様のスイッチ15種類の操作感触とする。物理特性はスイッチの操作感を決定する指標である、反力(Force)と移動量(Stroke)を示したF-Sカーブから定義する。本研究では、作動力、クリック力、クリック距離、作動傾斜、クリック傾斜の5種類とする。スイッチ本体から生じる音は、ホワイトノイズの再生によりマスキングする。評価方法は7段階の評定尺度を使用したSD法を用いる。使用する形容詞対はスイッチの印象を表し、触覚でも聴覚でも使用できるTable 1の7種類を選定した。実験参加者は20-60代20名で、実験は無響室で行う。

##### 3.1.2 印象の抽出

それぞれの刺激について、形容詞対ごとに20名分の評定結果の平均点を算出した。得られた平均データに対して、最尤法とバリマックス回転による因子分析を行った。因子数は固有値が1.0以上の因子の数とした。Table 1に各評価語の因子負荷量を示す。操作感触では3因子が抽出され、因子負荷量の高い形容詞対から、第一因子を重厚感、第二因子を明瞭感、第三因子を奥行感と命名した。評価グリッド法の結果では重厚感と奥行感は因果関係のある形となっていたが、奥行感と重厚感は別の印象であることがわかった。

##### 3.1.3 触覚物理特性-触覚印象間の定量化

触覚印象に影響を与える触覚物理特性を明確にする。目的変数を各印象の因子得点、説明変数を各物理特性の値とし、重回帰分析を行った。変数は総当たり法にて、VIFが5以下かつ、モデルのあてはまり度を表す指標であるAICが最小となるように選択した。

Table 2に結果を示す。今回の評価では物理特性ごとの影響度の比較をするため、標準偏回帰係数を用いる。いずれも自由度調整済み決定係数が十分に高く、各印象は指定した物理特性で表現できると判断した。

それぞれの印象について、重厚感とは作動力が大きく影響していることから、メタルコンタクトが反転する際に必要な力が大きくすることでより重厚に感じる事がわかった。明瞭感とはクリック力やクリック傾斜が大きく影響していることから、スイッチ内のメタルコンタクトが反転した後の動作によって明瞭に感じる事がわかった。奥行感とはクリック距離や作動傾斜が大きく影響していることから、ストロークの長さに関わる要素が大きいほど奥行を感じていることがわかった。

#### 3.2 操作音の物理特性が印象に与える影響把握

##### 3.2.1 実験条件

Table 1 Evaluation term in tactile impression

	Heavy	Clear	Deep
Heavy	0.97	0.11	0.06
Hard	0.83	0.23	-0.50
Smooth	-0.94	-0.12	0.24
Obvious	0.17	0.96	0.22
Sharp	0.06	0.93	-0.26
Powerful	0.59	0.67	0.40
Deep	-0.20	0.06	0.97
Contribution Ratio	53.8%	28.1%	16.2%
Cumulative Contribution Ratio	53.8%	81.9%	98.1%

Table 2 Multiple regression analysis in tactile impression  
\*: p<0.05

Object variable	Explanatory variable					Adjusted R <sup>2</sup>
	Actuating force N	Click force N	Click stroke mm	Actuating slope N/mm	Click slope N/mm	
Heavy	0.74*	—	0.34	—	0.43	0.81*
Clear	—	0.84*	-0.43	—	-0.72*	0.70*
Deep	0.13	0.15*	0.82*	-0.35*	—	0.96*

Table 3 Evaluation term in sound impression

	Heavy	Clear
Heavy	0.96	-0.14
Deep	0.92	-0.23
Powerful	0.91	0.39
Smooth	-0.69	-0.18
Obvious	0.06	0.99
Sharp	-0.47	0.81
Hard	0.42	0.73
Contribution Ratio	50.2%	34.9%
Cumulative Contribution Ratio	50.2%	85.2%

Table 4 Multiple regression analysis in sound impression  
\*: p<0.05

Object variable	Explanatory variable				Adjusted R <sup>2</sup>
	Center Frequency mel	Sound pressure level dBA	Rise time ms	Decay time ms	
Heavy	-0.58*	0.76*	0.23*	0.16*	0.96*
Clear	0.58*	0.58*	-0.45*	—	0.81*

本実験では、操作音において単感覚における感性評価を行い、スイッチの操作感において重要な印象を抽出する。また、聴覚物理特性と聴覚印象の関係を明確にする。評価対象は2.2節と同様のスイッチ15種類の操作感触とする評価刺激は実際のスイッチの操作音を想定して作成した電子音とする。電子音の作成方法は、はじめにピンクノイズを幅2オクターブのバンドパスフィルタで加工することで周波数特性を変更させ、次にエンベロープツールを用いて実際のスイッチ音のような過渡的な特性を作成した。電子音は物理特性を変更させた9種類で、「カチッ」と鳴る2つのピーク間隔

を 0.2 s で統一している。変更した物理特性は中心周波数、ピーク時の A 特性音圧レベル、立ち上がり時間、減衰時間の 4 種類ある。ただし、中心周波数はバンドパスフィルタの周波数、立ち上がり時間はピークから 30 dBA 低い音圧レベルからピークまでの時間、減衰時間はピークから 30 dBA 低い音圧レベルまでの時間とする。中心周波数は 500, 2000, 8000 Hz、立ち上がり時間は 1, 3, 5 ms、減衰時間は 3, 8, 13 ms の 3 段階で変化させた。操作音はヘッドホンから提示する。使用する形容詞対は 3.1.1 項と同様の 7 種類で、音源の提示は順序効果を考慮しランダムとする。実験参加者は 20-60 代 20 名で、実験は無響室で行う。

### 3.2.2 印象の抽出

3.1.2 節と同様の条件で因子分析を行った。Table 3 に各評価語の因子負荷量を示す。操作音では 2 因子が抽出され、第一因子を重厚感、第二因子を明瞭感と命名した。それぞれを比較すると、重厚感と明瞭感について、因子負荷量の最も高い形容詞が同じことから、操作感触でも操作音でも刺激に対し同様の印象空間を抱いていると考えられる。奥行感について、操作音では抽出されなかったが、重厚感に高い因子負荷量で属していることから、重厚感に内包されていると考えられる。

### 3.2.3 聴覚物理特性—聴覚印象 間の定量化

聴覚印象に影響を与える聴覚物理特性を明確にする。3.1.3 節と同様の条件で重回帰分析を行った。Table 4 に結果を示す。いずれも自由度調整済み決定係数が十分に高く、各印象は指定した物理特性で表現できると判断した。

それぞれの印象に影響を与えている物理特性を確認すると、重厚感においても明瞭感においても、中心周波数と A 特性音圧レベルの影響が大きく、次点において立ち上がり時間の影響が大きい。その中で、中心周波数が低く、A 特性音圧レベルが高く、立ち上がり時間、減衰時間が長いほど重厚に感じ、中心周波数が高く、A 特性音圧レベルが高く、立ち上がり時間が短いほど明瞭に感じる事がわかった。

## 4. 複合感覚における評価階層の構築

### 4.1 単感覚印象が統合印象に与える影響把握

#### 4.1.1 実験条件

本実験では、複合感覚において感性評価を行い、統合印象と単感覚印象で差異があるかを把握する。また、統合印象と単感覚印象の関係を明確にする。評価刺激は 3 章で使用した操作感触および操作音において因子得点が高い刺激や低い刺激を幅広く組み合わせた計 24 種類である。評価方法は 7 段階の評定尺度を使用した SD 法を用いる。使用する形容詞対は 3 章で使用した統合印象を表す形容詞対と、適合感を表す「組み合わせが合っている—違和感がある」を追加した計 8 種類である。実験参加者は 20 代 9 名で、スイッチ本体から生じる音はノイズキャンセリングイヤホンとイヤーマフを使用して低減した。

#### 4.1.2 印象の抽出

統合印象を表す形容詞対について、3 章と同じ方法で因子分析を行った。因子の数は、単感覚で現れた印象 3 種類に、適合感という新しい印象が加わると仮定し、4 とした。Table 5 に各評価語の因子負荷行列を示す。第一因子を重厚感、第二因子を明瞭感、第三因子を奥行感、第四因子を適合感と命名した。重厚感、明瞭感、奥行感について、因子負荷量の最も高い形容詞が単感覚印象と同じことから、複合感覚においても単感覚での印象が同様に生じると考えられる。それと同時に、複合感覚になることで適合感という新しい印象が生じることを明確にした。

#### 4.1.3 単感覚印象—統合印象間の定量化

Table 5 Evaluation term in integrated impression

	Clear	Heavy	Deep	Conformity
Obvious	0.95	0.12	-0.19	0.18
Sharp	0.91	-0.01	-0.20	-0.14
Heavy	-0.45	0.81	0.36	-0.09
Hard	0.19	0.75	-0.23	-0.24
Powerful	0.46	0.57	0.19	0.14
Deep	-0.21	0.05	0.97	-0.01
Smooth	-0.09	-0.12	0.21	0.73
Match	0.18	-0.03	-0.35	0.73
Contribution Ratio	35.5%	24.8%	17.6%	11.7%
Cumulative Contribution Ratio	35.5%	60.3%	77.9%	89.6%

Table 6 Multiple regression analysis in integrated impression  
\*: p<0.05

Object variable	Explanatory variable		Adjusted R <sup>2</sup>
	Tactile impression	Sound impression	
Heavy	0.84*	0.11	0.70*
Clear	0.07	0.92*	0.83*
Deep	0.94*	0.12	0.86*

Table 7 Multiple regression analysis in conformity  
\*: p<0.05

Object variable	Explanatory variable			Adjusted R <sup>2</sup>
	Heavy gap	Clear gap	Deep gap	
Conformity	-0.53*	-0.18	-0.38*	0.41*

Table 8 Multiple regression analysis in integrated kansei value  
\*: p<0.05

Object variable	Explanatory variable				Adjusted R <sup>2</sup>
	Heavy	Clear	Deep	Conformity	
Like	—	0.25*	—	0.84*	0.76*
Luxury	0.29	—	—	0.65*	0.46*
Not tired	0.78*	—	-0.45	0.59	0.89*
Oppression	—	0.56*	—	0.27	0.34*

統合印象に影響を与える単感覚印象を明確にする。統合印象における重厚感、明瞭感、奥行感は触覚印象と聴覚印象における重厚感、明瞭感、奥行感によって生じると考えられる。そこで、目的変数を複合印象における因子得点、説明変数を単感覚印象における因子得点とし、重回帰分析を行った。Table 6 に重回帰分析の結果を示す。いずれも自由度調整済み決定係数が十分に高いことから、各統合印象を単感覚印象によって表現できていると判断した。

次に、標準偏回帰係数を比較すると、重厚感、奥行感は触覚印象が優位に影響し、明瞭感については聴覚印象が優位に影響していることがわかった。一方で、適合感についても目的変数を因子得点、触覚印象と聴覚印象の因子得点とし、すべての組み合わせで重回帰分析を行ったが、AIC が最小の組み合わせでも自由度調整済み決定係数は-0.02 と低い値となった。よって、適合感は複合感覚特有の印象であると考えられる。

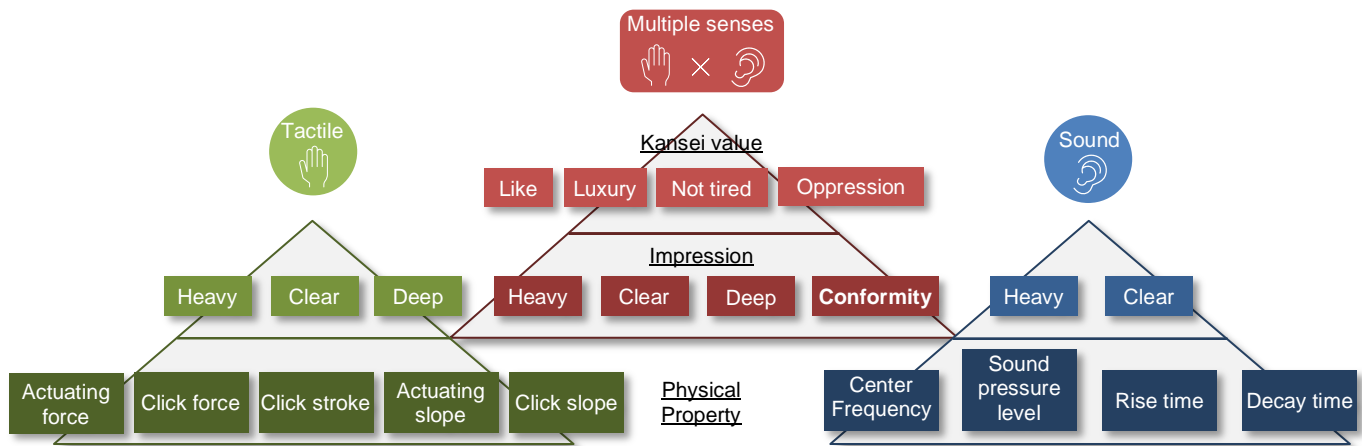


Fig. 3 Diagram of emotional hierarchy

そこで、適合感に影響を与える要素を明確にする。仮定として、操作感触と操作音の印象が近いほど適合感は向上すると考えた。そこで、目的変数を適合感を表す「組み合わせが合っている一違和感がある」の平均評価点，説明変数を聴覚および触覚における「重いー軽い」，「はっきりしたーぼやけた」，「深いー浅い」の平均評価点の差とし，重回帰分析を行った。因子得点を用いなかった理由は，因子得点は標準化された値であり，尺度が変わっているためである。

Table 7 に重回帰分析の結果を示す。自由度調整済み決定係数は 0.41 とある程度の値であり，分散分析の  $p$  値が 0.05 を下回ったことから，統計的に有意であると判断した。すべての印象で値が負になっていることから，仮説通りそれぞれの印象が近いほど適合感が向上する傾向を確認した。その中で明瞭感の差の影響については比較的小さくなっていることが分かる。原因として，明瞭感は時間経過とともに慣れる性質があると考えられ，押しているうちに差を感じづらくなったためだと考えられる。

#### 4.2 統合印象が統合感性価値に与える影響把握

##### 4.2.1 実験条件

本実験では，統合印象と統合感性価値の関係を明確にする。評価対象および評価方法は 4.1.1 項と同様である。使用する形容詞対は 2 章において選出した，統合感性価値を表す「好きー嫌い」，「高級なー安っぽい」，「疲れないー疲れる」，「決定感のあるー決定感のない」の 4 種類とする。実験参加者は 20 代 9 名である。

##### 4.2.2 統合印象ー統合感性価値間の定量化

統合感性価値に影響を与える統合印象を明確にする。目的変数を各形容詞の複合感覚における平均評価点，説明変数を聴覚および触覚における平均評価点とし，重回帰分析を行った。Table 8 に重回帰分析の結果を示す。「決定感のある」については決定係数が 0.34 とある程度の数値であり，すべての重回帰式において分散分析の  $p$  値が 0.05 を下回ったことから，統計的に有意であると判断した。標準偏回帰係数を比較すると，「好き」は明瞭感，適合感が影響し，「高級な」は重厚感，適合感が影響し，「疲れない」は重厚感，奥行感，適合感が影響し，「決定感のある」は明瞭感，適合感が影響している傾向が確認できた。適合感を基準に考えると，すべての統合感性価値で影響していることから，適合感は統合感性価値を考えるうえで重要な印象であることがわかった。

##### 4.3 スイッチ操作感性モデルの構築

これまでの結果をすべてまとめることで，スイッチ感性評価階層モデルを構築できる。Fig. 3 にその全体像を示す。このように感性モデルを階層で表現することで，知覚，認知，感情に基づく理解が可能となった。

## 5. 研究成果

- (1) 評価グリッド法を用いたインタビュー調査を行い，スイッチの感性価値は「好き」，「高級な」，「疲れない」，「決定感のある」の 4 項目で構成されていることがわかった。
- (2) 単感覚における感性評価を行い，因子分析を行うことで操作感触と操作音で形容表現の意味空間が近いことがわかった。また，操作感触と操作音それぞれにおいて物理特性と印象の関係性を明確にした。
- (3) 複合感覚における感性評価を行い，因子分析を行うことで単感覚での印象に加え，適合感という複合感覚特有の印象が生じることを明らかにした。
- (4) 単感覚印象と統合印象の関係性を明確にし，統合印象における重厚感と奥行感触覚が優位に，明瞭感聴覚が優位に影響することを明確にした。適合感は操作感色と操作音の 3 つの印象が近くなるほど向上する傾向を確認した。
- (5) 統合印象と統合感性価値の関係性を明確にした。特に，「好き」，「高級な」の感性価値については適合感が大きく影響することわかった。

## 参考文献

- (1) 渡瀬由人，大友貴史，下村尚登，坂本秀樹，戸井武司，スイッチ動作における聴覚および触覚による感覚統合，日本音響学会春季講演論文集，(2024)
- (2) 宮入徹，坂下丈，追川千夏，白坂剛，下村尚登，戸井武司，感触と操作音の連続複合刺激によるスイッチ操作感覚モデルの構築，自動車技術会論文集，51-4(2020) pp. 695-700.
- (3) 平尾章成，五十嵐智貴，中島洋幸，自動車スイッチ操作感の感性評価と物理特性の関係，自動車技術会論文集，52-4(2021) pp. 794-799.
- (4) 濱田大佐，杉本匡史，山崎陽一，長田典子，高原秀起，竹厚流，加藤早紀，スマートフォン用保護フィルムの感性評価モデルの構築-価値構造の個人差に基づく類型化，日本感性工学会論文誌，22-2(2023) pp. 207-216.
- (5) 片平建史，武藤和仁，橋本翔，飛谷謙介，長田典子，SD 法を用いた感性の測定における評価の階層性，日本感性工学会論文誌，17-4(2018) pp. 453-463.
- (6) 辻村壮平，階層的に構造化された評価を引き出すための評価グリッド法，日本音響学会誌，73-12(2017) pp. 783-789.