

# ユーザが望む触感実現のための感性価値評価 —多次元触感物性計測法の開発と階層モデリングによる触感予測—

技術開発センター 東 秀幸・山本 悠

ヒトの感性に寄り添った製品開発が注目されている。当社は、2020年4月に、ユーザの感性的な観点から望まれるモノやコトを導き出す感性価値評価サービスを開始した。感性価値評価は製品の開発方針決定、高付加価値化に貢献する技術である。本稿では、感性価値評価の中でも製品開発において大きなウェイトを占める触感評価について、多次元触感物性計測法の開発および柔らかさ感の要因解析と、階層モデリングによる触感予測として持ち心地を含めた触感の構造化について述べる。

## 1 はじめに

近年、製品評価はハード重視からソフト重視へシフトし、“感性価値”が注目されている。製品開発には、従来からの性能面、機能面の向上に加え、ユーザの感性に寄り添った設計が重要となっている。この“感性価値”の評価には、製品に対する漠然としたヒトの気持ちや感じ方（感性）を感性工学・心理学・統計学などの「科学」に基づいて評価する『感性価値評価技術』を用いる。

図1に感性価値の階層構造モデルを示す。感情層、印象層（高次と低次に分かれる）、物理要因層からなり、上位の感情および高次印象層が感性価値と呼ばれている<sup>1)</sup>。この階層構造は、モノの持つ諸性質（物理要因）がヒトの印象を喚起し、その印象によって価値判断（感情）が生じるとする因果関係を示している。例えば、ヒトが製品に対して抱く感情「好き」は、印象「美しい」から喚起され、印象「美しい」は物理要因「光沢度」からもたらされる、と関係づけられる。この印象層を介することが、ヒトの感情とモノの物性の対応関係の把握を容易にし、製品へのフィードバック（設計情報への反映）が可能になるとされている<sup>2)</sup>。

感性価値評価では、上記モデルに従い、ヒト側の評価（心理評価）では客観的な評価尺度（アンケートにおける質問項目に相当）を作成した上で感性を数値化・可視化する。モノ側の評価（物理要因の評価）では感性表現に十分な、複数の物理要因を選択し数値化・可視化する。さらに、それら感性価値と物理要因との関係を定量化した予測モデルを構築することで、感性価値を実現する物理要因の制御を提案する。本技術により、製品に感性的な価値を付与することができ、一般化やユーザに合わせたカスタマイズも可能となる。

ヒトの感性は視覚、聴覚、触覚、味覚、嗅覚といった各種の感覚器官から生み出されている。その中でも特に触覚が関係

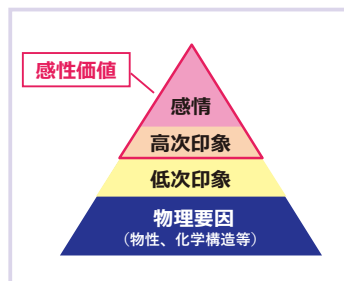


図1 感性価値の階層構造モデル

する触感の評価は、ヒトが多くのモノに触れて生活している現代の製品開発においては必須である。触知覚（図1の低次印象層に相当）は、マクロ粗さ、マイクロ粗さ、硬軟、摩擦、温冷等の多次元空間で構成されると言われている<sup>3) 4)</sup>が、触れ方によって経時変化する物理要因がどの次元の情報としてどのように統合されて知覚されるか、さらに、高次印象層、感情に至るか、未だ解明されていない部分も多い。従って、触感を解釈し製品開発に活かすには、製品の種類やその使用場面を理解し、感性表現を網羅する複数の物理要因を取得し、ヒトの心理との関係式を作り、的確に触感空間を構造化する必要がある。本稿では、ユーザが望む触感実現の一助として、前半では多次元触感物性計測法の開発および柔らかさ感の要因解析を、後半で階層モデリングによる触感予測として持ち心地を含めた触感の構造化について述べる。

## 2 多次元触感物性計測法の開発 —スポンジの柔らかさ感の要因解析—

触感物性計測においては、実使用環境の動作を再現することが重要である。例えば、「モノを触る行動」について、開始してから終了するまでの圧力、スピード、方向等の力学的エビデンスに基づいた計測を実施すると、ヒトの心理データと整合性がとりやすい。また、触感は、複数の物理要因で総合的に解釈する

表1 サンプルの特徴

試料名	使用用途 特徴	写真	
		全体像	表面拡大
A	断熱/吸音/バックイン 表面コーティング加工		
B	吸音用フォーム 細かいメッシュ		
C	フィルター材 粗いメッシュ		

必要がある。例えばヒトが感じる柔らかさ、すなわち「柔らかさ感」では、モノの弾性率だけでなく、接触面積、接触面内の圧力分布に伴う指の変形、それらの経時変化、さらには、摩擦や温冷が関係すると言われている<sup>5)~7)</sup>。

これらの要求に応えるべく多次元触感性計測法を開発した。本手法は、測定方向・速度変化が可能な静・動摩擦測定機に多次元の指型センサーを組み合わせた触感試験機を用いるものである。指型センサーは人の指を模したサイズ、形状、弾力を有し、実使用環境の動作を再現しやすい。さらに、この試験機では、指先の摩擦、圧力、振動、熱流束、温度変化を同時検出することが可能である。

開発した多次元触感性計測法により、スポンジの柔らかさを評価した事例を示す。評価試料は、表1に示すとおり、用途と特徴が異なる3種のウレタン製スポンジである。これらは、心理評価において、ヒトが柔らかさの差異を感じながらも単に「柔らかい」という評価尺度だけでは有意な差が見られなかった試料である。これらの試料について、触感試験機を使用し、押し込み往復動作における各種データを同時測定した。測定はサンプル毎に繰り返し3回実施した。図2に押し込み時の圧力、振動、熱流束

の測定結果を示す（縦軸は信号値で無次元とする）。また、有意水準5%未満で一元配置分散分析・多重比較を行い、図中に有意差が確認された箇所を示した（\*： $p < 0.05$ ，\*\*： $p < 0.01$ ）。圧力は  $A < B < C$  となり、圧力だけ見るとAが柔らかい、Cが硬いと推測される。一方、主に表面形状に伴う摩擦由来と推察される振動は  $A < B < C$ ，熱流束は  $A < B < C$  となり、圧力以外に振動や熱流束が柔らかさ感に影響を与えている可能性も示唆された。

さらに、柔らかさ感の性質を明らかにするため、圧力センサーにより、指型センサーがスポンジに接触した時の圧力分布および接触率の経時変化を確認した。押し込み時の接触面の圧力分布（指型センサーによるスポンジの押し込みを上側から見て表示したもの）を図3に示す。この分布では、黄色に近いほどスポンジの反発が強く指型センサーが押し込まれて凹んでおり、青色に近いほど指型センサーが押し込まれた箇所の影響で膨らんでいることを示している。また、圧力分布から算出した接触率の変化を図4に示す。接触率は、指型センサー内蔵の圧力センサー総数に対する、設定した閾値以上の圧力を示した接触点の割合を示す。

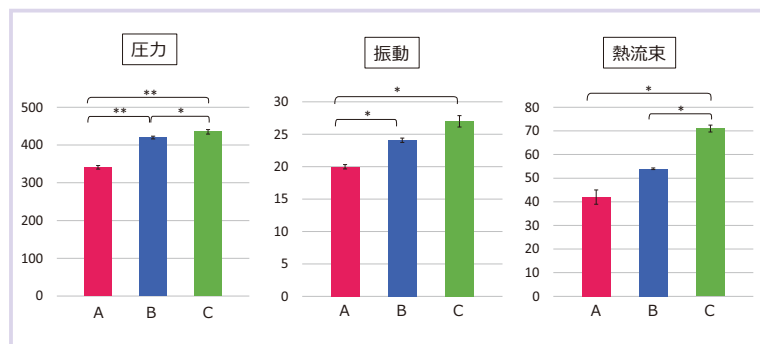


図2 触感試験機による測定結果 (\*:  $p < 0.05$ , \*\*:  $p < 0.01$ )

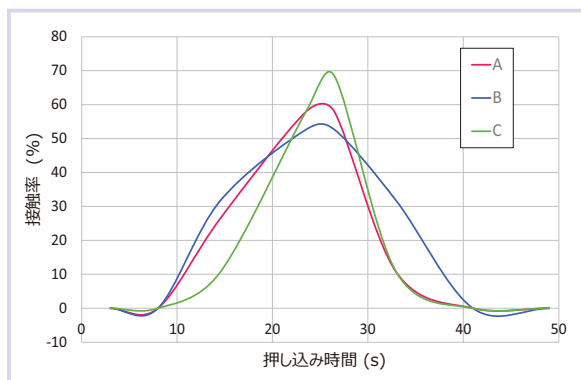


図4 押し込み時の接触率の変化

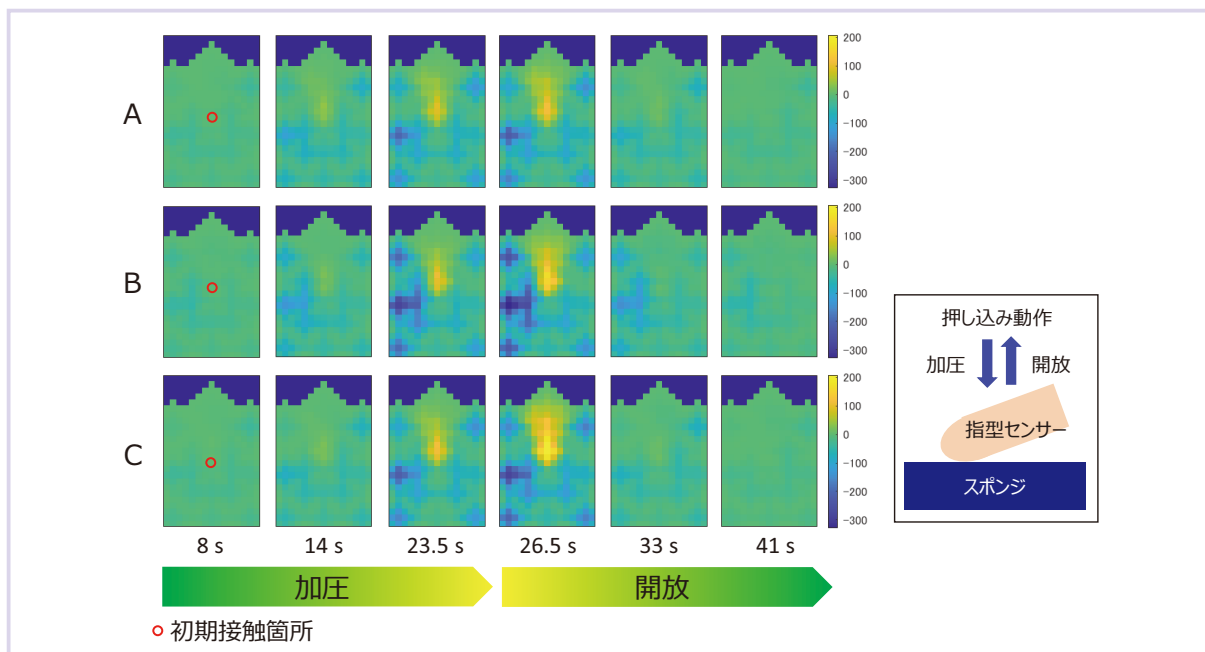


図3 接触面における圧力分布の経時変化

圧力分布・接触率の経時変化を比較すると、A、B、Cにおいて、圧力分散のしやすさ、押し込みに対する形状の追随しやすさ、元の形状への戻りやすさが顕著に異なっていた。

Aは、圧力分布において黄色（指型センサーに対するスポンジの反発・押し込み）および、青色（スポンジの反発・押し込みによる指型センサーの膨らみ）の領域が狭く、接触率の上昇が速い。Aは、押し込み圧力に従い、指型センサーの形に沿ってスポンジが包み込むように変形し、接触面積が大きくなることで圧力が均等に分散したと推察される。すなわち、変形しやすく柔軟であることがわかる。

一方、B、Cは、Aと比べて、圧力分布において青色、黄色の領域が広く確認されたが、接触率の経時変化を見ると全く異なる挙動であった。

Bは、圧力分布において黄色や青色の領域が広く、接触率の上昇が速かった。これは、押し込み時に、スポンジに反発力があり圧力分散されにくいものの、柔軟性もあり指型センサーに沿ってスポンジが変形したと推察される。また、A、Cと比較し押し込み圧力の開放時、接触率がゆっくり低下していることから、形状が復元されにくい性質があることがわかる。

Cは、3試料の中で圧力分布における黄色の領域が一番広く、接触率の上昇は遅かった。すなわち、Cは、指型センサーを包み込まず、スポンジ表面が指型センサーの形に沿わず変形したため、圧力分散がされにくかったと推察される。Cは、A、Bと比べてやや硬く変形しにくい性質であることがわかる。

以上、開発した多次元触感物性計測法により複数の物理要因を同時に取得することで、柔らかさ感の解明と制御に繋がれると考えられる。柔らかさ感、ふわふわ、もちもち、プルプル等の様々な種類があり、低反発、高反発のマットレスの触感を想像するとわかるように、触れた時の経時変化も影響する。心理評価において、ヒトが柔らかさに違いを感じたものの「柔らかい」の評価尺度だけでは試料の差を明確に判別できなかったのは、柔らかさ感に評価軸が多数あることに起因していると推察される。本手法は、このような複雑な触感の多角的な評価に貢献できる。

### 3 階層モデリングによる触感予測 —スマートフォンケースを持った触感の構造化—

触感の前章で述べたような素材に対する手触り・肌触りを基本とするが、さらに握り心地・持ち心地など、使用感・機能性に近い触感もある。握り心地・持ち心地を含めた触感研究は人間工学の観点の研究が多いが、ヒトの嗜好や満足、快適性を含めた感性価値評価も製品設計においては重要である。図1に示した階層構造モデルのもとで感性—物理モデルを構築すれば、その製品の使用場面でどのような感性価値が必要か、どの物理要因を変化させれば所望の感性価値を高められるのかが明確になり、直接製品設計に反映できる。ここでは、特定の使用場面におけるスマートフォンケースの触感について、素材の触り心地だけでなく持ち心地も含めた触感を構造化した事例を紹介する。

#### 3.1 心理評価（ヒト側の評価）

ヒト側の心理を評価する、すなわち感情・印象を数値化する手順は、評価語の収集と代表語の選定による評価尺度の作成、次にその評価尺度を用いた主観評価実験、そして因子分析による

潜在因子の抽出となる。

まず、スマートフォンケースの触感を表現するのに適した感情評価語・印象評価語を網羅的に収集するため、対象の認知から感情の喚起に至る因果関係を視覚化する評価グリッド法に基づくインタビュー<sup>8)</sup>を行った。インタビューは男女2名ずつの計4名を対象とし、試料はのちの主観評価実験で使用されるスマートフォンケースのうち特徴的な触感をもつ4種をスマートフォンのモックアップに

装着して提示した。実験参加者には視覚の影響を遮断するため、暗室内に置かれたケースを触ってもらった。教示は「スマートフォンでニュースを検索して読むことを想定し、片手で保持、普段スマートフォンを使用する時と同じように自由に触り、触り心地について、思ったこと、感じたことを自由に述べてください。」とし、4種を比較しながら回答してもらった。得られた言葉の表記ゆれを統一し、意味の重複した言葉や評価語として適切でないと思われる言葉を除外した結果、111語が収集された。収集された評価語を、評価グリッド法による評価語間の因果関係図を参考に階層分けし、さらに性質分類を行ったのち、最終的に各性質カテゴリーの代表語として表2に示す評価語を選定した。

主観評価実験には図5に示す11種類のケースを用いた。これらは素材の違いに着目した評価とするために網羅的に収集したもので、手帳型や多機能型のケースは排除し、スマートフォンの背面・側面のみを覆うシンプルなものに限定した。また、基本的には背面と側面で同一素材のものを用いることとし、サンプル#5のみ、素材の違いを実験参加者が認識できるかどうかをみるために背面・側面異素材のものとした。実験参加者は10名（男性

表2 選定された代表語

分類	代表語
感情語 (3語)	持っていて手が疲れる 触り心地が良い 好きな
高次印象語 (6語)	持ちやすい 手にフィットする 安っぽい 装着感がない 保護性がある スリムな
低次印象語 (11語)	厚みがある ごっごつ 冷たい しっとり 硬い 弾力がある さらさら べたべた つつる 摩擦感がある 滑らか



※ PC:ポリカーボネート, TPU:熱可塑性ポリウレタン  
※ #5のみ背面/側面で異素材

図5 主観評価実験に使用したスマートフォンケース

表3 因子負荷量 (高次印象)

	因子 1	因子 2
手にフィットする	<b>0.97</b>	-0.37
持ちやすい	<b>0.84</b>	0.04
装着感がない	<b>0.76</b>	0.16
スリムな	<b>0.64</b>	<b>0.69</b>
保護性がある	0.28	<b>-0.52</b>
安っぽい	0.05	0.24
因子寄与	2.7	1.0
累積寄与率 (%)	45.4	61.8

因子相関行列

	因子 1	因子 2
因子 1	1	
因子 2	-0.05	1

因子 1: 手になじんで持ちやすい  
因子 2: 薄くて保護性がない

表4 因子負荷量 (低次印象)

	因子 1	因子 2	因子 3
滑らか	<b>0.98</b>	0.18	-0.05
つるつる	<b>0.93</b>	-0.25	0.02
ごつごつ	<b>-0.88</b>	-0.30	0.01
摩擦感がある	<b>-0.74</b>	0.28	0.44
冷たい	<b>0.60</b>	<b>-0.54</b>	0.14
硬い	0.03	<b>-1.04</b>	0.31
弾力がある	0.11	<b>1.01</b>	-0.05
しっとり	0.51	<b>0.52</b>	0.41
さらさら	0.29	0.23	<b>-0.95</b>
べたべた	0.34	-0.24	<b>0.92</b>
厚みがある	-0.03	0.43	0.48
因子寄与	4.0	3.1	2.3
累積寄与率 (%)	36.1	64.3	85.5

因子相関行列

	因子 1	因子 2	因子 3
因子 1	1		
因子 2	-0.02	1	
因子 3	-0.13	-0.15	1

因子 1: 平滑性, 因子 2: クッション性, 因子 3: 粘着性

5名, 女性5名)とし, 暗室内でランダムに提示された各ケースを, 表2に示した各評価語について5段階(5点: 当てはまる~1点: 当てはまらない)で評価してもらった。その際, 感情語・高次印象語についてはサンプルごと, 低次印象語についてはサンプルの背面・側面ごとにそれぞれ評価してもらった。

続いて, 高次印象語6語の参加者間平均評定値データ・低次印象語11語の同評定値データをそれぞれ因子分析することで, 高次印象評価・低次印象評価の判断基準となった心理要素(共通因子)の抽出を試みた。因子分析の条件として, 因子抽出法に最尤法, 因子回転にpromax回転, 因子得点推定法にAnderson-Rubin法をそれぞれ採用した。因子数については, 平行分析結果と因子の解釈可能性を考慮し, 高次印象層2因子(表3), 低次印象層3因子(表4)とした。

高次印象語について, 因子1は「手にフィットする」「持ちやすい」などの手やスマートフォンへのフィット感や使用感に関する評価項目への関連度合い(負荷量)が大きいため, 「手になじんで持ちやすい」因子と名付けた。因子2は「スリムな」「保護性がある(斜体字は負荷量が負であることを表すこととし, この場合は「保護性がない」と解釈できる)」などのスマートフォンの保護性に関する評価項目の負荷量が大きいため, 「薄くて保護性がない」因子と名付けた。評価項目「スリムな」はどちらの因子とも強い正の関係を持っており, スマートフォンケースの持ち心地評価においては支配的な要因だったことが示唆された。逆に「安っぽい」はどちらの因子でも負荷量が小さく, 視覚印象を排除した触感のみの評価ではヒトの違いを感じ取れなかったことが分かる。因子相関行列を見ると, 2因子間の相関係数は-0.05と低く, 互いにほぼ独立な因子が得られた。触感の高次印象因子としては一般に評価性・力量性・活動性が見出されることが多い<sup>9)</sup>が, 今回は持ち心地を含めた触感に着目したため, 使用感・機能性に寄った因子が抽出されたと考えられる。

低次印象語について, 因子1は「滑らか」「つるつる」などの平滑性に関する評価項目の負荷量が大きいため, 「平滑性」因子

と名付けた。因子2は「硬い」「弾力がある」などの硬軟性に関する負荷量が大きいため, 「クッション性」因子と名付けた。因子3は「さらさら」「べたべた」などの手触りに関する負荷量が大きいため, 「粘着性」因子と名付けた。相関係数はどの因子間でも小さく, 互いに独立に近い因子が得られた。

### 3.2 物理要因の評価 (モノ側の評価)

上記の心理評価結果を踏まえ, スマートフォンケースの触感に影響する可能性のある物理要因として, 前章の多次元触感物性計測法で得られる摩擦, 振動, マクロ粗さ(高さ方向の変位), タック性, 圧力, 熱流束, 温度変化および, ケースの重さや厚さ, 段差を測定した。どの物理要因を変数として階層モデルに含めるかの判断には, F値を基準としたステップワイズ法を用いた。さらに, 強い相関がみられた物理要因(「押し込み圧力」「熱流束」「温度変化」など)はのちの共分散構造分析

において近似的な多重共線が生じないように, 一つの物理要因を代表として使用した。その結果, 「静止摩擦係数」「押し込み圧力」「タック性」「マクロ粗さ」「重さ」「段差」が選出された。「静止摩擦係数」「押し込み圧力」「タック性」「マクロ粗さ」はケースの背面・側面それぞれで測定した。「段差」は背面・側面間に段差があるサンプル(#1, #5)についてはその幅を, その他のシームレスなサンプルはゼロで表した。

### 3.3 共分散構造分析による階層モデル構築

階層モデル構築に用いる統計解析法には, 物理要因が印象を介して(間接的に)感情に働くという因果連鎖を考慮するため, 共分散構造分析を採用した。モデリングに用いるデータは感情語「持っていて手が疲れる」「触り心地が良い」の平均評定値, 高次印象語の共通因子「手になじんで持ちやすい」「薄くて保護性がない」の因子得点, 低次印象語の共通因子「平滑性」「クッション性」「粘着性」の因子得点, および3.2節で選定した6つの物理要因の計測値である。これらのデータを標準化した上, 共分散構造分析に供した結果を図6に示す。要因間の因果関係は矢印(パス)で表され, 数値(パス係数)はその因果関係の強さ, 符号は正の因果関係か負の因果関係かをそれぞれ表している。矢印のない要因間の因果関係は統計的に有意でない。各要因に付記した $R^2$ は決定係数であり, その要因が因果関係のある下層の要因でどれだけ説明されているかの割合を表している。モデルの適合度指標のひとつである Goodness of Fit Index (GFI, モデル全体の決定係数に相当)は0.78であった。

まず感情語「持っていて手が疲れる」につながるパス構造からは, 高次印象「手になじんで持ちやすい」が強い負の影響をもち, 「手になじまず持ちづらい」印象が「手が疲れそう」という感情を喚起していることが分かった。低次印象からは「平滑性」「粘着性」が, 物理要因からは「段差」がそれぞれ弱い正の影響をもち, 「滑らかでべたべた」した印象と「背面・側面間の段差」の存在が「やや手が疲れそう」という感情を喚起すると

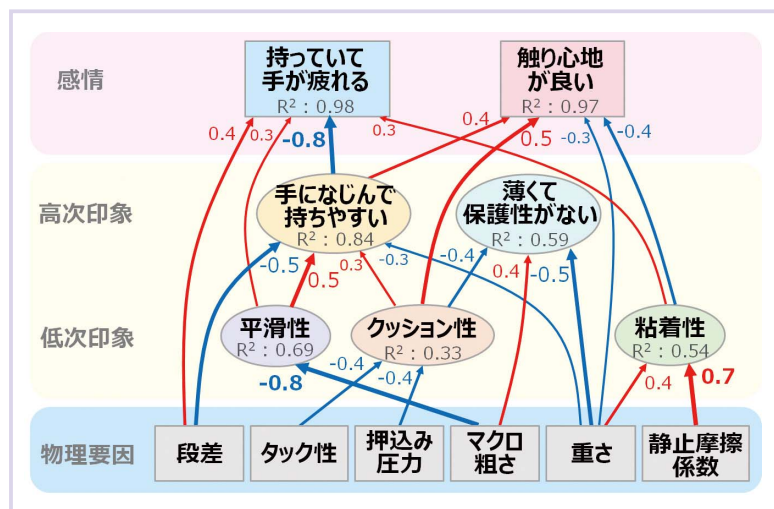


図6 スマートフォンケースの触感評価の階層モデル

解釈できる。「平滑性」は「手になじんで持ちやすい」を経由した影響も及ぼしており、「手になじんで持ちやす」くはあるが、滑らかさ故にホールド性がなく、持っているとき疲れそう、という微妙な心理を表している可能性が考えられる。また、持ちやすさに貢献しそうな「粘着性」が弱い正の影響を持っていることは持ち心地という概念がそれほど単純でないことを示唆しており、スマートフォンケースの使用感・機能性にも着目したからこそ見出された価値構造と言える。物理要因については、すべての要因が直接的・間接的に影響を及ぼしていることが分かるが、要因ごとに直接効果・間接効果の和をとると、「段差」や「マクロ粗さ」、「重さ」が比較的強い影響を持つことが分かった。このことから、「持っていて手が疲れる」感情を軽減するためには、「平滑性」を経由してプラスにもマイナスにも影響する「マクロ粗さ」を除くと、「背面・側面間の段差」をなくし、「重さ」を軽くすることが重要であると結論付けられた。

次に感情語「触り心地が良い」につながるパス構造では、「手になじんで持ちやす」く、「クッション性」はあるが「粘着性」はなく、「重」くない(軽い)ほど「触り心地が良い」感情が喚起されることが分かった。この感情語にもすべての物理要因が直接的・間接的に関係しているが、影響の大きい要因としては「重さ」「静止摩擦係数」などが挙げられる。すなわち、「触り心地が良い」感情を喚起させるためには「重さ」を軽減し、「静止摩擦係数」を低下させることが重要だという結果が得られる。「重さ」と「触り心地」のパスの解釈は難しいが、今回の場合は、軽くて触り心地の良いサンプル(＃7,8など)の評価が反映された結果と考えられる。

これら感情語の決定係数はいずれも1に近く、印象層・物理層でほぼ完全に説明できており、スマートフォンケース使用時の感情を高い精度でモデル化できたことがわかる。一方、印象因子のいくつかは決定係数が低く、中でも「クッション性」の決定係数は0.33と、今回選出した物理要因だけでは十分に説明できていないことがうかがえる。柔らかさは先述のとおり複雑な知覚過程と考えられているため、階層モデルの高精度化には、印象層と適切に結び付く物理要因のさらなる収集が必要と考えられる。

以上、スマートフォンケースの持ち心地を含めた触感について、ヒトが抱く印象を明らかにし、感性価値構造の定量的な階層モデルを構築することができた。これにより、感性価値を高めるにはどの物理要因をどれだけ変更すればよいかの具体的な指針を提案できると考えている。

#### 4 おわりに

製品の触感表現のための感性価値評価として、複雑で多義性のある触感を解釈するための、多次元触感物性評価法と階層モデリングによる触感予測を示した。本稿では、評価事例としてスポンジやスマートフォンケースの触感を示したが、本技術は、樹脂、フィルム、塗料、繊維、製紙、自動車、化粧品、日用品、医療機器、医薬品などヒトが触れる様々な材料や製品の触感、それを拡張した使用感の評価に活用できる。また、本稿では触感に限定して紹介したが、あらゆるモノからコトまでの様々な感覚モダリティの感性価値評価にも応用できる。感性価値評価を通じて、ヒトの感性に寄り添った製品・サービス開発に貢献したい。

#### 5 謝辞

3章は、関西学院大学感性価値創造インスティテュート(所長:長田典子工学部教授 URL:<https://ist.ksc.kwansei.ac.jp/nagata/kvc/about/index.html>)の技術指導によるものです。ここに謝意を表します。

#### 文献

- 1) 山田篤拓, 橋本翔, 長田典子: 日本感性工学会論文誌, **17**, (5), 567 (2018).
- 2) 長田典子: 電子情報通信学会誌, **102**, (9), 873 (2019).
- 3) 永野光, 岡本正吾, 山田陽滋: 日本バーチャルリアリティ学会論文誌, **16**, (3), 343 (2011).
- 4) 倉光慶太郎, 會田悠城, 野々村 美宗: *J. Soc. Cosmet. Chem. Jpn.*, **49**, (4), 319 (2015).
- 5) 岡本正吾: システム/制御/情報, **64**, (4), 121 (2020).
- 6) 白土寛和, 前野隆司: 日本バーチャルリアリティ学会論文誌, **9**, (3), 235 (2004).
- 7) K. Horiuchi, A. Kashimoto, R. Tsuchiya, M. Yokoyama, K. Nakano: *Tribology Letters*, **36**, (2), 113 (2009).
- 8) 讃井純一郎: 品質, **33**, (3), 13 (2003).
- 9) 日本基礎心理学会: “基礎心理学実験法ハンドブック”, p.166 (2018), (朝倉書店), など



東 秀幸  
(あづま ひでゆき)  
技術開発センター



山本 悠  
(やまもと ゆう)  
技術開発センター