感性の多様性を考慮した感性品質の定量化手法* (製品音の設計における感性品質の定量化への適用)

柳 澤 秀 吉^{*1}, 村 上 存^{*1}
大 富 浩 一^{*2}, 穂 坂 倫 佳^{*3}

Quantification Method of Product Emotional Quality Considering Its Diversity

(Application to Quantification of Emotional Quality in Product Sound Design)

Hideyoshi YANAGISAWA^{*4}, Tamotsu MURAKAMI,
Koichi OHTOMI and Rika HOSAKA

^{*4} Department of Engineering Synthesis, The University of Tokyo,
7-3-1 Hongo, Bunkyo-ku, Tokyo, 113-8656 Japan

This paper describes a new quantification method of a product's emotional quality, which we call kansei quality, with attention paid to its diversity to support the affective design. The customer's sensitivity towards such a quality differs from person to person due to perception gaps and ambiguity. The proposed method helps the designer to grasp such diverse sensitivities of customers. In contrast to the conventional approach that aims to generalize human sensitivity using average results of sensory tests, the proposed method divides an emotional quality based on differences among the customers' sensitivity. We apply the proposed method for designing a machine sound in which the designer deals with the sound quality as a kansei quality. We carry out an impression evaluation experiment on human subjects using existing product sounds. To demonstrate the effectiveness of the method, we compare the proposed method with the conventional approach using experimental results. The comparison results show the advantages of the method, such as the avoidance of meaningless average data caused by canceling out multiple different sensitivities. Based on the proposed method, we developed a prototype system that enables the designer to evaluate the kansei qualities of created sound without conducting a sensory test.

Key Words: Design, Design Engineering, Emotion and Kansei, Sound and Acoustic, Diversity, Cluster Analysis, Machine Sound, Sound Quality Metrics

1. はじめに

成熟化が進む製品においては、性能や機能性に加えて、質感、審美性や快適性などの、人間の感性に評価を依存する品質（以下、感性品質）に対する要求が高まっている。感性品質の良さは、顧客の感性によって決まる。そして、顧客の感性は個人によって異なり多様である場合がある。この場合、設計者は顧客の感性の多様性を推測によって把握する必要がある。しかし、多様な感性の全てを網羅的に推測することは困難である。また、設計者が感覚的に顧客の感性を推測する場合、その推測が正しいかどうかについての論理的な説明が難しい。このような背景から、顧客の多様な感性を網羅的かつ定量的に把握するための支援手法が望まれている。

これまでに、感性工学などの分野で、顧客の感性の評価尺度を定式化する試みがなされてきた。種々の官能評価法を用いて被験者の刺激（製品サンプルなど）に対する反応を評価させ、官能評価の結果と設計属性との関係を、統計手法などを用いて定式化する方法が一般的である⁽¹⁾⁽²⁾。統計処理では、多数の被験者から得られる官能評価の結果を平均化し、感性の代表値とする場合が多い。しかし、設計目的の感性品質に対する評価尺度が顧客間で異なる場合、その相違を考慮した分析を行う必要がある。

ここで、感性の相違には二つの意味が含まれる。一方はバラツキ（Variation）であり、他方は多様性（Diversification）である⁽³⁾。バラツキは、同一尺度で複数の対象を計測した場合の差異、ブレの度合いのことである。これまでも、感性のバラツキに対応する方法は、例えば、分散やファジィ理論等を用いて議論されてきた⁽⁴⁾。一方、多様性とは、尺度自体が異なる性質を意味する。たとえば、「美しい」という形容詞で表される感性の評価尺度が、個人によって異なる場合は、感性に多様性があると言える。感性を形容する

* 原稿受付 2008 年 1 月 28 日。

^{*1} 正員、東京大学大学院工学系研究科(〒113-8656 東京都文京区本郷 7-3-1)。

^{*2} 正員、フェロー、(株)東芝研究開発センター。

^{*3} (株)東芝研究開発センター。

E-mail: hide@mech.t.u-tokyo.ac.jp

言葉は多義的であり、個人によってその評価尺度が異なる場合がある。たとえば、長さや重さなど、異なる尺度間では、分散等の統計処理を適用できない。したがって、統計処理を行う前に、感性品質を表す言葉の背後に潜在する多様な評価尺度を抽出し、分類する必要がある。ところが、これまでの感性工学的アプローチにおいては、感性の多様性を考慮した事例は見あたらない。

そこで、本論文では、多様な感性尺度を抽出し、抽出した評価尺度を定量化する手法を提案する。提案する手法は、感性設計において、設計者が推測のみに頼ることなく顧客の多様な感性の評価尺度を網羅的かつ定量的に把握可能とする支援を目的とする。導出される多様な評価尺度を定量化することで、設計者が設計する代替案について、官能評価を行うことなく多様な観点の感性から、定量評価することが可能となる。

本手法の有効性を検証するために、クリーナの音質設計における感性評価尺度の構築へ適用する。従来の感性を平均化するアプローチとの比較を行い、従来手法の問題点と本手法の有効性を考察する。

2. 感性の多様性と階層モデル

感性の多様性を定量的に把握するためには、形容詞などでラベリングされた評価項目について、心理的な評価尺度が個人間でどれだけ異なるかの類似度を定量化する必要がある。

一般に、同一の評価対象を同一の尺度で計測した場合、その計測値は同じ値となる。一方、同一の評価対象を異なる尺度で計測した場合、その結果は異なる。尺度間の独立性をあらわす定量指標として、統計学では相関係数が用いられる。すなわち、二つの尺度が完全に同一であれば相関係数は1となり、独立であれば0となる(図1)。

そこで、本提案手法では、被験者に同一の評価対象を同一の評価項目で評価させ、評価結果の相関係数を評価項目における被験者間の尺度の類似度とする。求めた類似度、すなわち被験者間の尺度の相関係数が統計的に有意である範囲で被験者を分類することで、評価項目に対する多様な尺度をパターン化する。分類されたパターンの数は評価尺度の数を意味するため、多様性の指標となりうる。

一方、感性には階層性が存在することが指摘されている⁽⁴⁾。すなわち、外界からの刺激を知覚、認知し、認知された情報と個人の記憶や経験との関係から印象やイメージを想起し、それらを統合して好みなどの最

終的な判断を行うとされている。SD法などの感性評価においては、知覚から好みに至るまでの各階層を形容する言葉を評価項目として含めることが一般的である。音に対する感性を例に挙げると、知覚・認知レベルでは音の大きさ、甲高さなどであり、印象・イメージレベルでは「重厚な」、「明るい」などであり、総合評価レベルでは「美しい」、「好き」などである。一般に、知覚・認知レベルの下位の感性では、感性の多様性は小さく、印象・イメージ、そして総合評価へと上位に昇るほど、感性の多様性は大きいと考えられている(図2)。したがって、階層性と多様性の間には、相関関係が見込まれる。

次章では、上記の考え方にもとづいた提案手法の詳細について述べる。

Fig. 1 Similarity of Emotional scales between subjects

Fig. 2 Hierarchy and diversity of emotional response

3. 感性の多様性を考慮した感性品質の定量化手法

3・1 提案手法の概要 本手法は、感性品質における顧客の多様な評価尺度から少数のパターンを抽出し、特徴量との定量的な関係からそれぞれの評価尺度

を定式化する。本手法を用いることで、設計者が多様な顧客の感性を定量的に把握可能とする。そして、感性品質の設計における設計目標を定量的に設定可能とする。これにより、設計者自身の推測のみに依存しない感性品質の設計を支援する。また、設計者に顧客の多様な感性を定量的に認識させることで、設計における新たな観点の獲得を支援する。

図3に、本手法の流れを示す。まず、顧客の代表者を被験者とした感性評価実験を行う。評価対象は、既存製品、あるいは製品プロトタイプとし、評価したい感性品質に対して隔たらない様に選択する。評価方法は、Semantic Differential 法 (SD 法)⁶⁾を用いる。SD 法では、対になる反意語の形容詞を複数用意し、その間の5から7の評価尺度 (以下、SD 尺度と呼ぶ) を設定して、対象の印象を評点させる。

次に、それぞれの SD 尺度について、被験者間での評価尺度の類似度を定量化する。類似度の指標としては、前章で述べたように SD 尺度の評点を用いた相関係数を利用する。SD 尺度ごとに算出した被験者間の類似度を用いたクラスタ分析⁷⁾を実施し、類似する評価尺度を有する被験者同士に分類する。これにより、SD 尺度ごとの、多様な評価尺度のパターンを抽出する。ここで、SD 尺度ごとに、分類された被験者の集合を、以下 SD クラスタとよぶ (図4(a))。また、各 SD クラスタを代表する評価尺度を分割 SD 尺度とよぶ (図4(b))。

各分割 SD 尺度を定式化するために、評価対象から、物理的に計測可能な特徴量を抽出する。また、SD クラスタごとの SD 尺度の評点の重心値を分割 SD 尺度の評点とする (図4(c))。そして、抽出した特徴量と、分割 SD 尺度の評点との因果関係を、重回帰分析によって定式化する。このとき、統計的に有意な重回帰式が得られた分割 SD 尺度を、物理的に説明可能な感性尺度とし、以下 PEK (Physically explicable kansei scale) と呼ぶ。

少ない割合の被験者が含まれる SD クラスタの PEK は、少数の被験者の感性を反映した評価尺度である。つまり、設計者を含む多くの人が、評価項目のラベル (形容詞) から連想しにくい評価尺度であるといえる。このため、一般に意味の解釈が困難である。そこで、SD クラスタに含まれる被験者数の割合を共通度と定義し、共通度の低い PEK を、共通度の高い PEK との相関から説明することにより、共通度の低い PEK の意味解釈を支援する。

以下、本手法の詳細について説明する。

Fig. 3 Flow of a quantification method of diverse emotional quality

Fig. 4 How to derive SD clusters, divided SD scales and PEK

3・2 感性の多様性にもとづく SD 尺度の分割
SD 尺度の評点から SD クラスタを抽出する方法について説明する。感性評価の対象として、 N_p 個の評価サンプル $S_i(i=1,2,\dots,N_p)$ を選ぶ。 N_s 人の被験者 $T_j(j=1,$

2, ..., N_s)に, SD 尺度 I_k ($k=1, 2, \dots, N_m$)を用いて製品 S_j の感性品質を評価させる.

$E_{jk} = \langle e_{ijk} \rangle$ を, j 番目の被験者から得られた SD 尺度 I_k の評点ベクトルとする. p 番目の被験者が q 番目の被験者と SD 尺度 I_k について類似している場合, E_{pk} と E_{qk} の間の相関係数 $r(E_{pk}, E_{qk})$ は 1 に近い. 逆に, p 番目と q 番目の被験者が I_k について逆の評価尺度を有していれば, 相関係数 r は -1 に近づく. そこで, p 番目と q 番目の被験者の間の SD 尺度 I_k における距離 d_{kpq} を以下のように定義する.

$$d_{kpq} = 1 - r(E_{pk}, E_{qk}) \quad (p \neq q) \dots\dots\dots (1)$$

式(1)の距離を用いて, SD 尺度ごとにクラスタ分析⁹⁾を実施し, 被験者を感性の近い者同士で分類する. 各分類(クラスタ)は, SD 尺度における潜在尺度を意味しており, クラスタの数が多いほど, その SD 尺度は多様であるといえる.

クラスタ分析におけるカットオフ値(クラスタに分割する距離のしきい値)は, 相関係数 $r(E_{pk}, E_{qk})$ が, 統計的に有意な値となる距離とし, 以下の式により求める.

$$\theta_i = 1 - \frac{t(N-1, \alpha)}{\sqrt{t(N-1, \alpha)^2 + N-2}} \dots\dots\dots (2)$$

ただし, θ_i はカットオフ値, $t(N-1, \alpha)$ は, 危険率 α , 自由度 $N-1$ の T 検定統計量である. このようにカットオフ値を設定することにより, クラスタ内の被験者の尺度間には, 危険率 α で統計的に有意な相関が保証される. しきい値 θ_i の距離で分割されたクラスタの内, クラスタに含まれる被験者が一定数以上の SD クラスタの数を, SD 尺度の分割数と呼ぶ.

k 番目の評価対象に対する i 番目の SD 尺度の SD クラスタ C における代表値 y_{ik} を, 分割 SD 尺度の値として以下の式により求める.

$$y_{ik} = \frac{\sum_{j \in C} e_{ijk}}{\#Tc} \dots\dots\dots (3)$$

ただし, $\#Tc$ は, SD クラスタ C に含まれる被験者の数である.

3.3 特徴量と分割 SD 尺度間の定式化 感性評価実験で用いる評価サンプル S_j から, 設計目的の感性品質に関係する N_f 個の特徴量 $F = \langle f_1, f_2, \dots, f_{N_f} \rangle$ を抽出する. そして, 特徴量 F を説明変量, 分割 SD 尺度の評点を目的変量とした, 重回帰分析により分割

SD 尺度をそれぞれ定式化する. すなわち, SD 尺度 I_k の c 番目の分割 SD 尺度を e_{kc} とすると, 式(4)により定式化する.

$$e_{kc} = W'F + \varepsilon_{kc} \dots\dots\dots (4)$$

ただし, W は偏回帰係数ベクトルであり, 各特徴量が分割 SD 尺度に寄与する重み係数を意味する. また, ε_{kc} 予測誤差である. 重回帰式が統計的に有意な SD 尺度を PEK とする. 重回帰式の全ての偏回帰係数が 0 でない帰無仮説 H_0 を立て F 検定を行う. そして, 一定の有意水準 α で H_0 が棄却される重回帰式を持つ分割 SD 尺度を PEK とする.

PEK を得ることにより, 官能評価を実施せずに, 設計者は自身が作成した音の感性評価の値を推定することができる. また, 偏回帰係数ベクトル W は, 各特徴量が分割 SD 尺度に寄与する度合いをあらわしている. したがって, これを参考にして, 目的の感性品質を高めるために, どの特徴量を増減させた代替案を設計すればよいかの指針を得ることができる.

3.4 分割 SD 尺度の共通性と解釈 SD クラスタに含まれる被験者の数の割合が大きい場合, その分割 SD 尺度の解釈は被験者間で共通性があるといえる. 逆に, SD クラスタに含まれる被験者の数の割合が小さい場合は, その分割 SD 尺度は共通性が低いといえる.

そこで, 分割 SD 尺度の共通性を表す度合いを, 共通度 com とし, 以下により求める.

$$com = \frac{\#Tc}{\#T} \times 100 \quad (Tc \in C) \dots\dots\dots (5)$$

ただし, $\#T$ は被験者の総数, $\#Tc$ は SD クラスタ C に含まれる被験者の総数をあらわす. 共通度が 1.0 の場合, 対象の SD 尺度に多様性がなく, 全ての被験者が同質な評価尺度を有している. 共通度が低い場合, 少数の被験者がとり得る評価尺度となる.

共通度が低い分割 SD 尺度は, 設計者が想定する感性の評価尺度と異なる可能性が高い. 言い換えれば, 形容詞で表現される SD 尺度の意味を誤解して解釈する可能性が高いといえる. 一方, 共通度が高い分割 SD 尺度は, 多くの被験者が共有する尺度であり, 設計者が想定する感性の評価尺度の範囲内である可能性が高い. そこで, 共通度が高い分割 SD 尺度で共通度の低い分割 SD 尺度を説明することにより, 想定外の可能性の高い共通度の低い分割 SD 尺度の意味解釈を支援する.

今, i 番目の分割 SD 尺度の値を要素とするベクトル Y_i . その共通度を com_i とする. 相関係数 $r(Y_i, Y_j)$,

($i \neq j$)が有意水準 α の t 検定で有意な場合、 i 番目と j 番目の分割 SD 尺度に関係があると見なす。共通度のしきい値を η とし、 $com_i > \eta$ 、かつ $com_j < \eta$ であるとき、 j 番目の分割 SD 尺度は i 番目の分割 SD 尺度の意味解釈のための文脈として採用する。

4. 適用事例：クリーナ動作音の感性品質の尺度化と設計支援

4.1 製品の動作音の音質設計 提案する多様性を考慮した感性定量化手法を、クリーナの動作音における定常音の感性設計へ適用し、手法の有効性を検証する。一般にクリーナなどの家電製品は動作音を発生する。動作音は騒音として捉えられる場合が多く、これまでに静穏化対策が検討されてきている。一方、動作音は、製品の正常動作を意識的、無意識的にユーザへ知らせる役割を担う。また、自動車やモータバイクのエンジン音の様に、動作音が製品の魅力を高める要素となる場合もある⁹⁾。

動作音を騒音として捉えた場合の設計目標は音圧の低減であり、評価尺度が定量的である。一方、感性品質、たとえば「高級感のある音」は、客観的な評価尺度が存在しないため設計目標自体が不明瞭となる。設計目標を明確にするためには、音の感性品質の評価を尺度化する必要がある。そこで、本研究で提案する手法を適用し、クリーナ動作音の感性品質の尺度化を試みる。

なお、一般に機械の動作音は、定常音と非定常音に分けられるが、本研究では、クリーナの定常音を対象とする。

4.2 音質の特徴量：Sound Quality Metrics クリーナの動作音の感性品質を提案手法で尺度化するためには、音源から直接計測可能な特徴量が必要である。これまでに、自動車やハードディスクなど種々の製品で動作音の音質評価が行われており、定常音の音質評価においては、Sound Quality Metrics (以下、SQM と略す)⁹⁾が、よく用いられており実績がある。そこで、本研究では、SQM を製品音の特徴量として用いる。SQM は、音の大きさ感など、音に対する基本的な知覚を定量化した評価指標である。SQM には種々の指標が含まれるが、本研究では最も一般的かつ ISO で標準化されている以下の指標を用いる。

ラウドネス (Loudness) 人が知覚する音の大きさ感を表す指標である。音の大きさ感は、音圧だけでなく周波数によっても変化する。たとえば、20Hz のトーン音は、1kHz における同じ音圧の音よりも静かに聞こえる。音圧と周波数が音の大きさにどの様に寄与しているかを、

図5に示すような等ラウドネス曲線として実験値が求められており¹⁰⁾、ラウドネスはこれを参照している。

また、人が知覚できる Loudness の周波数分解能は、1/3 オクターブである。この帯域幅を Critical band width と呼び、この単位を Bark で表す。1/3 オクターブごとに求めたラウドネス (スペシフィック・ラウドネス) を積分して、音全体のラウドネスを計算する。ラウドネスの単位は、"sone" であり、1kHz のトーンで 40db の時、1 sone となる。

Fig.5 Equal loudness contours

シャープネス (Sharpness) 人が知覚する音の甲高さを表す定量指標である。シャープネスは、スペシフィック・ラウドネスの高周波成分に重みをかけて積分した値である。式 (6) に、Zwicker らの定義を示す。

$$S = 0.11 \frac{\int_{24 \text{ Bark}} N' g(z) \cdot z \cdot dz}{N} \dots\dots\dots (6)$$

$$g(z) = \begin{cases} 1 & (z \leq 16) \\ 0.066e^{0.175z} & (z > 16) \end{cases}$$

ただし、 N' は 1/3 オクターブの帯域 Z におけるスペシフィック・ラウドネスである。 $g(z)$ は重みの関数であり、高周波になるほど値が高い。単位は "acum" である。

ラフネス (Roughness) 人が知覚する音の荒さを表す定量指標である。人は、図6(a)に示すような 70Hz 付近の比較的早い振幅変調を音が荒いと知覚するため、振幅変調が 70Hz にどれだけ近いかを音の荒さの指標としている。

変動感 (Fluctuation strength) 人が知覚する音の変動感を表す定量指標である。図6(b)に示すような 4Hz の振幅変調で最も変動感が高い。

Fig. 6 Roughness and fluctuation strength

4・3 製品動作音の感性評価実験 SQM は、比較的単純な知覚レベルの感性における定量指標を提供する。しかし、複雑な心理過程を経る感性品質については、一般的な指標が得られていない。そこで、製品の動作音を被験者に提示し、音の感性品質を感性評価実験によって評価する。そして、本研究で提案する手法を用いて感性品質の定量指標化を試みる。従来の手法である感性評価の結果を平均化するアプローチの結果と比較し、本手法の有効性を検証する。

本実験では、SD 法を用いて現行のクリーナ 10 製品の動作音を被験者に評価させる。対象とする動作音は定常音である。動作音の録音は、JIS9108 に準じて、無響室にてクリーナ本体から高さ方向に 1 m の位置にマイクロフォンを設置して行う。

評価に用いる形容詞対は、表 1 から表 3 までに示す 22 対を選択した。SD 尺度の選定においては、2 章で述べた感性の階層性を考慮し、知覚・認知、印象・イメージ、および総合評価に関する項目から選んだ。印象・イメージについては、「値段が高そう—安そう (Expensive - cheap)」などの、音がもたらす製品全体の印象 (表 1) と、「澄んだ—濁った (opaque - limpid)」などの音自体に対する印象 (表 2) の二種類を選定した。前者を選定した理由は、本事例の狙いが、製品音によって製品の魅力を向上させることにあるからである。

製品の魅力を向上させるための感性品質は、たとえば「値段が高そう—安そう (Expensive - cheap)」などの印象・イメージや総合評価における高次の感性を現す評価尺度である。2 章で述べたように、高次の感性には多様性が予想される。そこで、表 3 に示す多様性が小さいと予想される知覚・認知レベルの評価項目を

用意することで、多様な高次の感性に関する尺度の意味を説明する。

以上の条件で、23 名の被験者に対して感性評価実験を実施した。

Table 1 SD scales of total product impression

No.	Pair of SD words
1	cheap - expensive
2	effective - not effective (How good a job the machine is doing)
3	untypical - typical (sounds like a cleaner)
4	western - Japanese
5	unentertaining - entertaining
6	unpleasant - pleasant

Table 2 SD scales of product sound's impression and preference

No.	Pair of SD words
1	dislike - like
2	elegant - inelegant
3	cheerful - gloomy
4	poor - rich
5	ugly - beautiful
6	discomposed - composed
7	square - round
8	opaque - limpid
9	dull - clear

Table 3 SD scales of product sound's cognition and perception

No.	Pair of SD words
1	weak - strong
2	hard - soft
3	agreeable - annoying
4	static - dynamic
5	high - low
6	small - big
7	silent - noisy

5. 適用結果と考察

5・1 SD 尺度の多様性によるクラスタ分割 SD 法によるクリーナ動作音の感性評価実験の結果を用いて、式 (1) にもとづき、各 SD 尺度における被験者間の評価尺度の距離を計算した。距離情報から次元を再構成する多次元尺度構成法 (MDS: Multi dimensional scaling) を用いて、被験者の分布を可視化した例を図 7 に示す。以下、MDS によって構成した空間を MDS 空間とよぶ。図 7 (a) は、SD 尺度「大きい—小さい (Big - small)」, すなわち、音の大きさ感における MDS 空間を表す。図中の点は被験者を意

味する。また、点の間の距離は、被験者間での音の大きさ感の近さを意味する。点を囲う線は、式(1)の距離を用いてクラスタ分析を実行した際のSDクラスタを意味する。音の大きさ感の例においては、例外の二点を除く被験者が、同じSDクラスタに含まれる事が分かる。

図7(b)に、音の豊かさ感を表す感性スケール「豊かなー貧弱な(Rich-poor)」におけるMDSによる結果を示す。音の豊かさ感については、7個のSDクラスタに分割されていることが分かる。なお、図7(b)において、SDクラスタの枠が重なっている部分があるが、表示上の問題であり各SDクラスタは一意に決まる。

(a) MDS space of "small - big"

(b) MDS space of "poor - rich"

Fig. 7 Examples of SD scales divided by correlation-based distance and cluster analysis. Each point represents a subject. The 2D space is composed by MDS

この結果から、音の豊かさ感においては被験者間で異なる評価尺度を有していることが分かる。図7における+印は、全被験者のSD尺度の値の平均値である。音の大きさ感では、平均値の値がSDクラスタの平均

値と同位置である。一方、音の豊かさ感では、どのSDクラスタも平均値を含んでいない。つまり、音の豊かさ感などの多様性を含む感性品質においては、感性評価の平均値は、どの被験者の感性も反映していないことを意味する。

図8に全てのSD尺度についてクラスタ分析を実施した結果を示す。横軸は、各SDクラスタに含まれる被験者の割合である共通度を表している。ただし、SDクラスタに含まれる被験者の数が1名の場合は表示していない。縦軸のSD尺度は、共通度の大きさとSDクラスタの数を基準に並び替えている。この様に表示することで、多様性のある感性(上側)から共通性のある感性(下側)を階層的に整理することができる。

Fig. 8 Proportions of subjects included in each SD cluster for all SD scale

「大きいー小さい (small - big)」、 「静かなー騒々しい (silent - noisy)」、 「高いー低い (high - low)」などの音の知覚に関する単純な感性は、図中の下側に位置し、多くの被験者が同じような評価尺度を有していることが分かる。一方、「値段が高そうー値段が安そう (expensive-cheap)」、 「楽しいー楽しくない

(entertaining-unentertaining)」、「豊かなー貧弱な(rich-poor)」などの全体的な印象やイメージを表す複雑な感性は、図中の上側に位置し、被験者によって多様な尺度が存在していることが分かる。

このように、分割数と共通度を用いることで、低次から高次までの感性を階層化できる。ただし、例外として、高次の感性であると予想された「好きー嫌い(like-dislike)」では、多様性が見られなかった。このことは、評価対象によっては、感性の多様性が異なる場合があることを示している。従来の感性工学的な研究で、感性の階層構造を恣意的に決定してから、各階層の因果関係を定式化する試みが行われている。しかし、この方法では、上記のような例外を見落とす可能性がある。したがって、本手法を用いて定量的に多様性を把握することは、有用であると考えられる。

5.2 SQMによる分割SD尺度の定式化 4.1で得られた分割SD尺度を目的変数として、3.2で述べたSQMを説明変数とした重回帰分析を実施した。その際、比較のため全被験者における評点の平均値によるSD尺度を目的変数とした重回帰分析も実施した。

得られた重回帰式をF検定したところ、分割SD尺度では、26の重回帰式が有意であった。どの分割SD尺度も有意でなかったSD尺度は、「濁ったー澄んだ(opaque-limpid)」と「クリーナらしいークリーナらしくない(typical-untypical)」であった。一方、平均値によるSD尺度は、16の重回帰式が確認された。有意でなかったSD尺度は、「濁ったー澄んだ(opaque-limpid)」、「クリーナらしいークリーナらしくない(typical-untypical)」に加え、「貧弱なー豊かな(poor-rich)」、「値段が安そうー値段が高そう(cheap-expensive)」、「西洋的ー日本的(western-Japanese)」および「吸いそうー吸わなそう(effective-not effective)」であった。このことから、本手法においては、従来の平均値を用いたSD尺度に比べて、より多くの感性を定量化可能であることが示された。

図9に、SD尺度「楽しいー楽しくない(pleasant-unpleasant)」における、共通度の最も大きいPEK(共通度 66.7%)と評点の平均値にもとづく偏回帰係数の結果を示す。偏回帰係数は、各特徴量がSD尺度に寄与する度合いをあらわしている。これを比較すると、偏回帰係数の符号は一致とその割合は、両者とも類似しており、従来法であるSD尺度の評点の平均値にもとづく定式化の方法でも問題ないことが分かる。

Fig. 9 Comparison of partial regression coefficients of average based result and 1st PEK in terms of "pleasant-unpleasant"

図10に、SD尺度「値段が安そうー値段が高そう(cheap-expensive)」における、偏回帰係数の結果の比較を示す。評点の平均値による結果と、統計的に重回帰式が有意であった三つのPEKの結果を比較している。なお、有意でなかった2nd PEKについては示していない。

平均値による偏回帰係数の符号と一致するPEKが存在しないことが分かる。最も共通性の高い共通度が38.1%のPEKにおいても、ラウドネスの係数が正負逆転している。

Fig. 10 Comparison of partial regression coefficients of average value and PEK (cheap-expensive)

このことから、平均値によって定式化されたSD尺度は、どの被験者の感性も反映していないことがわかる。三つのPEKを比較すると、係数の符号パターンはそれぞれ異なる。したがって、本来多様である感性の平均化によって、これらの感性の多様性が相殺された無意味な定式化結果を得てしまっていることが分かる。このような場合、本手法を用いて多様性を定量的

に把握することで、多様性を考慮すべきか否かの判断を客観的に判断できる。

5.3 感性の意味解釈 共通度が低い PEK は、少数の被験者がとりえる感性による評価尺度である。したがって、共通度が低い PEK の意味は多くの人にとって誤解される可能性が高い。そこで、この意味解釈を容易にするために、共通度の低い PEK を共通度の高い PEK との相関によって説明する。

図 11 に、SD 尺度「値段が安そう—値段が高そう (cheap – expensive)」において得られた、二つの PEK の意味の違いを、共通度の高い PEK との相関から説明した結果を示す。各 PEK の右側には、当該の PEK よりも共通度が高く、当該の PEK と相関係数が有意な PEK を示しており、矢印はその相関関係を表している。PEK の下部には SQM が示され、矢印の太さによって偏回帰係数の大きさを現している。また、実線の矢印は正の関係、点線の矢印は負の関係を現している。

Fig. 11 Semantic differences among multiple viewpoints of "cheap – expensive" scale explained by correlations with other words whose commonality is higher

共通度が 38.1% の PEK は、「楽しい—楽しくない (pleasant-unpleasant)」および「整った—整っていない (composed-discomposed)」との相関が高い。つまり、38.1% の被験者は、落ち着いた心地よさの観点から、音の高級感を捉えていることが分かる。実際、SQM

との関係を見ると、ラウドネスとシャープネスに負の関係（負の偏回帰係数）が存在する。

一方、共通度が 9.5% の PEK では、高級感のある音をダイナミックさと力強さの観点から捉えていることが分かる。ラウドネスとシャープネスとの正の関係も確認できる。このように、同じ「高級感」という感性においても、多様な意味や感覚が存在することがわかる。これらの多様な感性を平均化すれば、相互に意味が相殺される危険性がある。また、もし、設計者の想定と顧客の間で感性の相違があれば、同一の言葉によって表現される設計のコンセプトが異なる意味で捉えられ、その結果、要求の理解の不適合が生じる可能性がある。したがって、感性品質の設計においては、感性の多様性とその意味の定量的な把握が、必要不可欠であるといえる。

6. 合成音の評価実験

6.1 実験目的と方法 5章では、定式化された PEK の推定式が正しいことを前提に、平均値による従来手法との比較から、本手法の有効性を議論した。また、多様な PEK の意味解釈を行った。本章では、この前提の信頼性を確認するため、PEK の推定式が新規の音の感性評価に有効であることを実験によって検証する。

その方法として、作成する合成音の官能評価実験の結果と、定式化された PEK の推定値との一致性を検討する。まず、既存製品の音を基準音として、特徴量を操作した二つ合成音を作成する。合成音は、基準音のラフネスと変動感 (F. S.) を操作した合成音 1 と、シャープネスを操作した合成音 2 である。表 4 に、それぞれの音の SQM の値を示す。次に、作成した合成音、および基準音を評価対象として、一対比較法による感性評価実験を実施する。一対比較法は、SD 法に比べて評価できるサンプル数が少ないが、評価結果の精度が高い評価法である⁽¹²⁾。一対比較法の評価基準は、4・2 で分割 SD 尺度が有意であった SD 尺度とした。また、被験者は、3・3 の実験の被験者とは別の 9 名とした。

Table 4 Sound quality values of original and created sounds

Sound	Loudness	Sharpness	Roughness	F.S.
Original	20.2	2.13	1.38	0.84
1 st created	14.5	2.13	1.4	0.89
2 nd created	20.3	2.37	1.37	0.84

6.2 評価実験の結果 一対比較評価実験で得られた評価得点に、AHP 法で用いられる重み計算法⁽¹³⁾を適用し、各音の PEK における得点を求め、実験値と

した。次に、4・2 で求めた重回帰式を用いて、それぞれの音の SQM から推定した PEK の値を求めた。実験値と推定値それぞれについて、基準音から合成音への変化量を求めた。そして、求めた変化量間の一致性について相関係数による検定を行った。その結果、合成音 1 と基準音との変化量では相関係数 0.91 ($p = 0.01$)、合成音 2 と基準音との変化量については相関係数 0.78 ($p = 0.016$) の有意な相関が確認された。すなわち、本手法で構築した感性の評価尺度は、新しく作成した音の評価に適用可能であることがわかった。

このことから、設計者が新規に作成した製品音を、多様な感性の評価尺度を現す PEK の推定式によって、定量評価が可能となることが示された。

7. 提案手法を用いた感性設計支援の可能性

感性設計の支援における本提案手法の利用と、期待できる効果を以下に述べる。

- (1) 形容詞でラベリングされる感性品質に対して、顧客の評価尺度の多様性を網羅的に把握可能とする。これにより、設計の最上流プロセスである顧客要求の把握において、設計者の想定を超える顧客の感性にもとづく要求の理解を支援する。
- (2) 目標とする感性を向上させるために、当該の PEK の偏回帰係数を参照することにより、どの特徴量を増減させた代替案を設計すればよいかの指針を得ることができる。
- (3) PEK を用いることで、官能評価を実施することなく、設計者が設計した製品音を、多様な感性の評価尺度から定量評価することができるようになる。これにより、設計上流段階において、代替案の作成と評価のサイクルを早めることが可能となる。
- (4) 他社製品との差別化を図るために、多様な感性の評価尺度である PEK を用いて、従来製品にない新規設計すべき音の位置づけを多角的かつ定量的に議論することが可能となる。

8. おわりに

本研究では、製品設計における感性の多様性に着目した感性品質の定量化手法を開発した。本手法を製品音の音質設計における感性品質の尺度化に適用し、以下の実験結果から有効性を示した。

- ・ 本手法における、SD 尺度の分割数と共通度を用いることで、感性品質に対する評価尺度の多様性の度合いを定量的に把握できることを確認した。
- ・ 感性の多様性の度合いが、感性の階層における SD 尺度の位置関係と相似することを確認した。しかし、例外として、嗜好などの多様であると予想される感性において、予想と反して共通性が高い尺度であることが観察された。
- ・ 重回帰分析を用いて SQM を説明変数として感性品質を定量化した結果、平均値を用いた従来手法に比べて、有意な推定式をより多く得ることができた。
- ・ 形容詞で説明される感性は個人によって多様な意味を有する尺度であることを、SQM と共通性の高い感性との関係から明らかにした。そして、平均値による感性では、それらが相殺されるおそれがあることを指摘した。
- ・ 本研究で定式化した感性の評価尺度を、新規合成音に対する音質評価に適用し、実験値と推定値間の高い相関を確認した。

文 献

- (1) Yagawa, M., et al. *Kansei and Design* (in Japanese), (1999), Baifukan.
- (2) Mori, N., *Engineering of Design* (in Japanese), (1991), Asakusyoten.
- (3) Yanagisawa, H., *Kansei and Design, Science of Machine*, Vol.59, No.1(2007), pp. 191-197, Yoken-do.
- (4) Mori, M., *Kansei Engineering for Designing* (in Japanese), *Journal of Japan Society for Fuzzy Theory and Intelligent Informatics*, Vol.11, No.1, (1999), pp.57-58.
- (5) Y Nakamori, Y., Ryoike, M., Modeling of Fuzziness in Multivariate Analysis, *Proceedings of IEEE SMC conference 2004*, vol.1(2004), pp. 294-298.
- (6) Osgood, C.G. Suci G.J. and Tannenbaum, P., *The Measurement of Meaning*, (1957), University of Illinois Press.
- (7) Kaufman, L., Rousseeuw, P. J., *Finding Groups in Data - An Introduction to Cluster Analysis*, *Wiley Series in Probability and Mathematical Statistics: Applied Probability and Statistics*, (1990), Wiley.
- (8) Lyon, R.H., Product Sound Quality from Perception to Design, *Sound and vibration*, Vol.37, No.33(2003), pp. 18-23.
- (9) Zwicker, E. and Fastl, H., *Psychoacoustics: Facts and Models third edition*, (2006), Springer.
- (10) ISO 226, Acoustics - Normal Equal Loudness Level Contours (2003).
- (11) Schiffman, S. S., Reynolds, M. L. and Young, F. W., *Introduction to Multidimensional Scaling*, (1981), Academic Press, New York.
- (12) Saaty, T.L., A Scaling Method for Priorities in Hierarchical Structures, *Journal of Mathematical Psychology*, Vol.15 (1977), pp.234-281.
- (13) Thurstone, L.L., *The Measurement of Values*, (1959), The University of Chicago Press.