

感性評価に基づくふきとり化粧水の処方設計

浅井健史 山崎陽一 谿雄祐 飛谷謙介 長田典子

1. はじめに

近年、日本のモノづくり産業のキーワードとして「感性価値」という言葉が認知されている。「感性価値」は、2007年に経済産業省が「生活者の感性に働きかけ、感動や共感を得ることによって顕在化する価値」と定義している¹⁾。実際に、「感性価値」をモノづくりの尺度として応用した例が数多く報告されている²⁾³⁾。化粧品分野での例を挙げると、井上らは感性指標化技術と真珠の光学現象のシミュレーション技術⁴⁾を組み合わせることで真珠肌を具現化するベースメイク料の開発を行った⁵⁾。また、谿らは素肌とメイク肌における透明感の指標化を行い、その違いを定量的に明らかにした⁶⁾。これらの研究は、感覚・感性を指標化し、指標に基づくプロダクトデザインによって新たな感性価値を創出する研究を、工学、AI、心理学、脳科学、芸術学等多様な分野の学際的融合により実現したものである。

本稿では、感性指標化技術の化粧品開発への応用例として、コットンに含ませ、皮膚表面を物理的にふきとって使用することで不要な角層を取り除く「ふきとり化粧水」⁷⁾を対象とした、感性に基づいた処方設計手法について紹介する。具体的には、当該化粧品の連用テストを行い、印象評価データを取得した。得られたデータを解析することで、ふきとり化粧水に対する価値判断に至る複数の印象の因果関係を可視化した。そして、寄与の大きい印象を物理計測値から予測するため、ふきとり動作時の摩擦力に関する物理量に着目し、予測モデルを構築した。この予測モデルからふきとり化粧水の処方設計を試みた。

2. 実験1：印象構造の可視化

2-1. 評価語の収集・選定

連用テストの事前準備として、ふきとり化粧水を評価するのに妥当な評価語を選抜した。まず、消費者がふきとり化粧水を評価するシーンを想定し、S1) ふきとり化粧水の使用感触、S2) 次に使うスキンケアアイテムの使用感触、S3) 継続使用による肌変化、S4) ふきとり化粧水の感性価値、の4シーンを設定した。日常的にふきとり化粧水を使用している健常女性17名(23~57歳)を対象とし、自由記述アンケートにより各評価シーンにおける印象語あるいは価値語を収集した。これを統計的手法により、計53語の評価語を代表として選抜した。

2-2. 連用テスト

本人の自由意思に基づき同意を得た健常女性43名(30~49歳)の実験参加者を、年代及び肌タイプが均等になるよう4群に分けた。各群に対して使用感触の異なるふきとり化粧水を割り当て、日常のスキンケアに追加して約1カ月間使用させた。使用后、質問用紙にて各評価語を7段階(1. 非常に当てはまらない、2. 当てはまらない、3. やや当てはまらない、4. どちらでもない、5. やや当てはまる、6. 当てはまる、7. 非常に当てはまる)で評価させた。

2-3. 結果と考察

連用テストにより得られた印象評価データに対し因子分析を行い、各シーンの因子構造を解析した。固有値が1.0以上で、S1)は3因子、S2)は2因子、S3)は1因子、S4)は3因子を抽出し、因子構造から解釈した因子名をつけた。このことから、ユーザーのふきとり化粧水使用における価値判断に関して9個の因子の関与が想定された。

因子負荷量を表1に示す。

次にふきとり化粧水を使用した際のユーザーの心理構造を各因子の因子得点を観測変数とした共分散構造分析により解析し、モデル化した(図1)。図1に示すようにモデル適合度指標(GFI=0.952, RMSEA=0.000)の良好なモデルを得た。例えばS1)の「肌摩擦感」はS4)の「肌の心地よさ」と「ふきとり意欲」に直接影響を及ぼし、かつS2)の「保湿感」と「なめらか感」を通じて間接的にもS4)の3因子に影響することがわかる。このモデルから、ふきとり化粧水使用における価値判断に関し

て、ユーザーはふきとり動作時の触感に関する2つの因子「肌摩擦感」、「ふきとれた実感」を潜在的に重要と捉えていることが示唆された。

3. 実験2：物理特性と触感の関係性の定式化

3-1. 印象評価実験

実験1とは別の、本人の自由意思に基づき同意を得た健康女性(24~56歳)30名を実験参加者として、ふきとり化粧水の使用感触の印象評価を行った。実験参加者は、使用感触の異なる12種

表1 因子分析結果

S1)

因子名	評価語	因子		
		1	2	3
肌摩擦感	ふきとりやすい	.985	-.289	-.012
	コットンのすべりが良い	.845	-.007	-.052
	肌あたりが良い	.812	.109	-.011
	肌あたりがなめらかである	.768	.047	.081
	コットンの抵抗感がない	.644	.149	.043
	肌に優しい	.587	.305	-.136
使用後感	しっとりしている	-.129	.890	-.059
	潤う	.272	.799	-.159
	肌にすいつく	-.049	.750	.126
	すつきりしている	.286	-.498	.386
	肌の感触が良い	.114	.487	.364
	もちもちする	.228	.478	.164
ふきとれた実感	老化角質がとれる	-.184	-.116	.863
	トーンが変わる	-.008	-.044	.744
	ふきとり感がある	.114	.044	.649
	清涼感が続く	-.003	-.048	.419

S2)

因子名	評価語	因子	
		1	2
保湿感	しっとり感が増す	.991	-.125
	しっとりしている	.975	-.205
	潤う	.773	.018
	ふっくらする	.541	.154
	なじみが良い	.509	.309
なめらか感	なめらかである	.052	.887
	みずみずしい	.013	.633
	すべすべする	-.274	.628
	浸透感がある	.205	.585
	さわり心地の良い	.276	.498
	ハリ感がでる	.256	.401

S3)

因子名	評価語	因子
		1
肌変化	透明感がある	.876
	肌が明るくなる	.786
	くすみがない	.740
	肌の調子が良い	.715
	なめらかである	.714
	みずみずしい	.621
	浸透感がある	.608
	すべすべする	.603
	化粧のりがよい	.520

S4)

因子名	評価語	因子		
		1	2	3
肌の心地よさ	心地良い	.901	.051	-.064
	肌の感触がよい	.887	-.254	.121
	やわらかな肌になる	.884	-.269	.207
	使用感触がよい	.666	.454	-.192
	お肌に優しい	.665	.150	.021
	気持ちいい	.489	.418	-.069
	使用後の状態が良い	.482	.218	.205
	肌に負担がない	.465	.407	-.120
	ふきとり意欲	ふきとる感触が心地よい	-.220	1.077
汚れがとれた感じがする		-.179	.563	.221
ずっと使いたい		.280	.552	.111
効果の実感	使い続ける意欲がわく	.213	.509	.326
	有効成分が入っている	.048	.001	.811
	肌の変化を感じた	.061	.140	.686

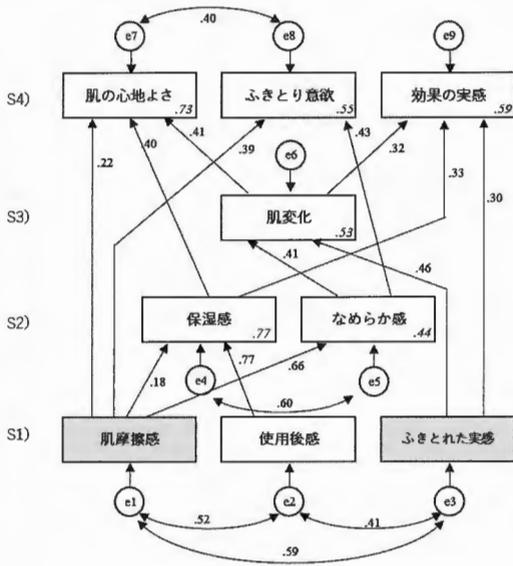


図1 共分散構造モデル

($\chi^2=10.457$, $p=0.916$, $GFI=0.952$, $AGFI=0.880$, $AIC=64.457$, $RMSEA=0.000$)

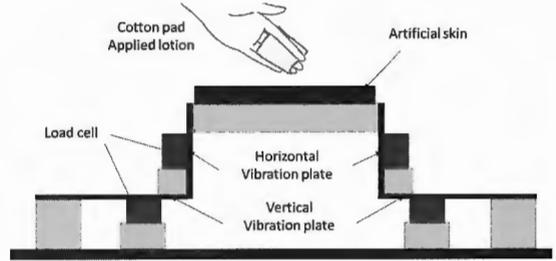


図2 触覚計測装置

質感は、指先と対象物表面の間に生じる相互作用力の時間プロファイルを、触覚受容器を介して取得することで形成される。この相互作用力の時間プロファイルを計測するため、我々は図2に示す専用装置を試作した⁸⁾。本装置は、人工皮膚表面をコットンでふきとる際に、ふきとり面において生じる相互作用力を測定できる。本研究では人工皮膚表面に対して水平方向の相互作用力である摩擦力を解析対象とした。

印象評価実験の参加者の中から10名(24~47歳)を選出した。実験参加者はふきとり化粧水1.5 mLを含ませたコットンを利き手にとり、人工皮膚を手前に向かって約100 gfの押込み力で、約50 mm/secの速度で10回ふきとり、12種類のふきとり化粧水をふきとった際の摩擦力時間プロファイルを測定した。

3-3. 動摩擦係数との関係性

測定した動摩擦係数と、「肌摩擦感」、「ふきとれた実感」の因子得点の相関分析を行った。図3にそれぞれの散布図を示した。また、動摩擦係数に対して「肌摩擦感」は負の相関($r=-0.820$)、「ふきとれた実感」は正の相関($r=0.744$)を示すことを確認した。この結果から、動摩擦係数の情報のみでは「肌摩擦感」と「ふきとれた実感」を独立した要素として評価できないことを確認した。

3-4. 振動特徴量との関係性

計測した摩擦力の時間プロファイルに対して、Welch法(窓幅0.5 s, 重複率0.5)による周波数解析を行い、パワースペクトル密度を算出した。その際、触覚受容器の感度特性を考慮し0~252 Hzまでを解析領域とし、4 Hz刻みに離散化し解析した。このパワースペクトル密度は、実験参加者毎に全試料について計算し、10回計測したデー

類のふきとり化粧水を1日2回ずつ順次使用し、S1) 評価語について同様に7段階で評価した。

得られた評価結果に対し、実験1と同様の条件で因子分析を行った。その結果、実験1とほぼ同様の構造をもつ3因子を抽出した。これら因子の類似性を実験1と比較するため、一致係数を算出した。その結果、「肌摩擦感」、「ふきとれた実感」、「使用后感」はそれぞれ0.889, 0.861, 0.879であり、類似していた。よって、本実験で得られた「肌摩擦感」、「ふきとれた実感」は、実験1の共分散構造モデルを踏襲できると判断した。

3-2. 物理特性の計測

ふきとり化粧水の動摩擦係数は、表面性測定機TYPE-14〔新東科学(株)〕を用いて測定した。指の曲率を模したホルダーにコットンをセットし、ふきとり化粧水1.5 mLを滴下した。このホルダーをアームにセットし、垂直荷重として100 gf分銅を置いた。移動台には3Dプリンターで作製した、皮膚の肌理紋様を再現した人工皮膚をセットした。移動距離50 mm, 移動速度50 mm/secにて往路測定を10回実施し、12種類のふきとり化粧水の平均動摩擦係数を測定した。

一方、対象物表面を撫でた際に得られる触覚的

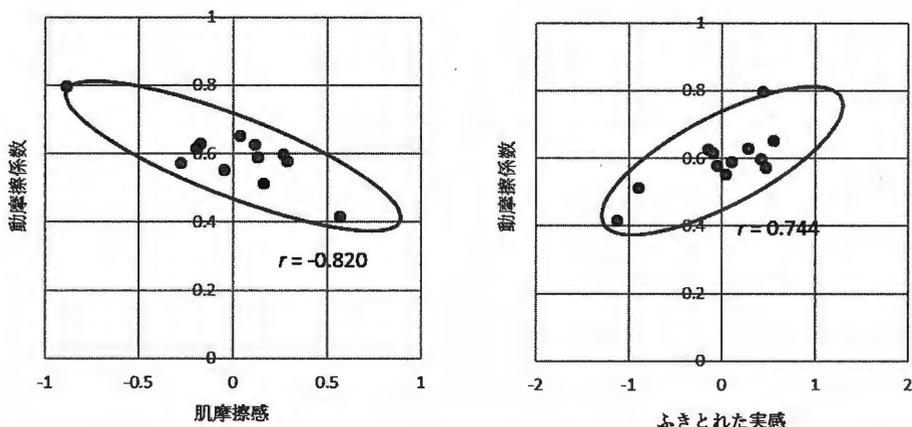


図3 動摩擦係数との相関

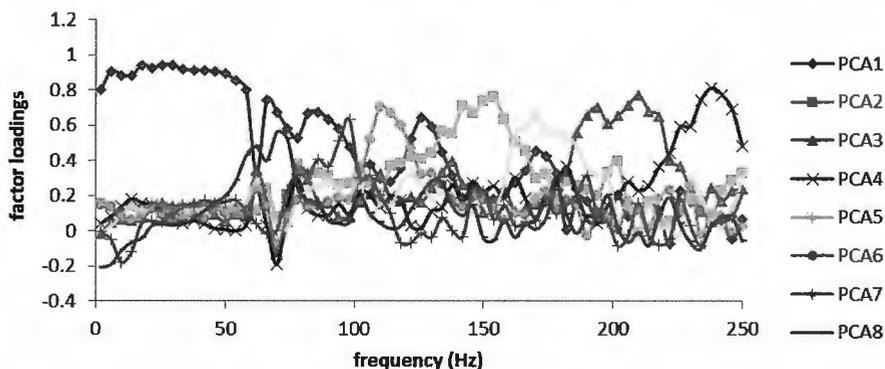


図4 振動特性の基底関数

タの平均を用いた。

120 (10人×12試料) のパワースペクトル密度に対して、主成分分析を適用し振動成分に関する特徴抽出を行った。固有値が1.0以上である8因子を抽出し、その累積寄与率は76.62%であった。抽出した因子の基底関数を図4に示す。その結果、各因子はそれぞれ異なる周波数領域を代表する特徴を示すことを確認した。そのため、各因子の主成分得点を振動特徴量として定義し、以降の処理に使用する。

次に「肌摩擦感」、「ふきとれた実感」の因子得点を目的変数、振動特徴量を説明変数とした重回帰分析を実施した。結果を表2に示す。振動特徴量から「肌摩擦感」、「ふきとれた実感」それぞれの因子得点を高い精度($R^2=0.672, 0.722$)で推定できることがわかった。両者を見比べるとPCA1は、「肌摩擦感」が負の値(-0.569)を示し、「ふ

表2 重回帰分析結果

説明変数	対応する周波数領域	標準化偏回帰係数	
		肌摩擦感	ふきとれた実感
PCA1	0~104 Hz	-0.569 *	0.421 *
PCA2	132~160 Hz	—	—
PCA3	184~220 Hz	0.631 *	—
PCA4	220~252 Hz	—	0.621 **
PCA5	160~184 Hz	0.530	—
PCA6	104~120 Hz	—	—
PCA7	96~100 Hz	—	—
PCA8	60~64 Hz	—	—
決定係数		0.672	0.722
調整済み決定係数		0.549	0.661
モデル適合度		$p=0.024$	$p=0.003$

** : $p < 0.01$, * : $p < 0.05$

きとれた実感」が正の値 (0.421) と逆の傾向を示している。これは、動摩擦係数との相関に類似した結果である。0~104 Hz の低周波数領域を主成分とする PCA1 が動摩擦係数と類似した挙動を示すことは、本実験で算出した振動特徴量の妥当性を示す結果といえる。一方、高周波数領域では、「肌摩擦感」が PCA3 及び PCA5 (160~220 Hz)、「ふきとれた実感」が PCA4 (220~252 Hz) と、それぞれ異なる振動特徴量と対応していることから、各因子は物理的に独立していることがわかった。すなわち本結果から、摩擦力を制御することで「肌摩擦感」、「ふきとれた実感」の両方を同時に高めることが可能であるとわかった。次節では本結果に基づき、両因子の向上に寄与する振動特徴を高めたふきとり化粧水の処方設計を行う。

4. 実験3：ふきとり触感の優れた化粧水の開発

4-1. 方法

3種類の高分子成分を、同等の粘度になるようそれぞれ配合したふきとり化粧水を調製した (処方 A, B, C)。これらに加え、実験2の印象評価実験で「肌摩擦感」、「ふきとれた実感」の因子得点が共に優れていたふきとり化粧水を基準品とし、実験参加者1名が実験2と同様の方法で時間プロフィールを測定した。

4-2. 結果と考察

測定した時間プロフィールからパワースペクトル密度の推定は実験2と同様の方法で行った。次に、基準品のパワースペクトル密度を基準として、偏差を求めた。この偏差について、実験2の分析結果に基づき、160~220 Hz が「肌摩擦感」、220~252 Hz が「ふきとれた実感」に対応する周波数領域として、それぞれパワースペクトル密度の積算値を算出した。各因子の積算値をそれぞれ x 軸、y 軸とし、各試料をプロットした散布図を図5に示す。図5より、処方Aは基準品とした従来のふきとり化粧水〔原点 (0, 0)〕と比較し、「肌摩擦感」、「ふきとれた実感」の両方が優れていることがわかった。処方BやCに配合した従来の高分子成分は、「肌摩擦感」は向上するものの、「ふきとれた実感」は低下してしまう。しかしながら、

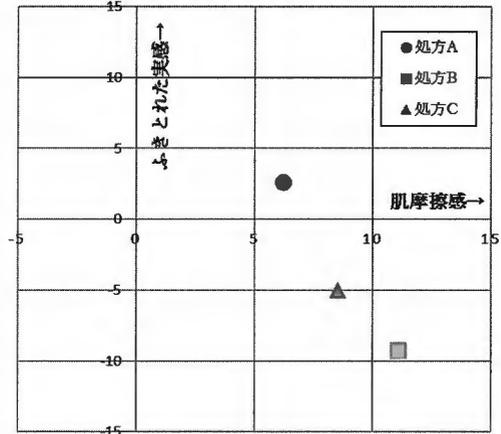


図5 予測モデルでの各試料プロット図

処方Aの配合に使用した高分子成分は、独特な増粘挙動が報告されており、このことが「肌摩擦感」を維持しつつも「ふきとれた実感」を向上させることに寄与したと考えられる。

以上より、パワースペクトル密度からふきとり化粧水の感性価値につながる2つの因子を独立して予測でき、それを目指すべき触感の予測指標として用いることで、従来は成し得なかった、ふきとり時の触感が優れたふきとり化粧水の設計が可能となった。

5. おわりに

本稿では、感性指標化技術を化粧品開発に応用した研究事例として、「ふきとり化粧水」を対象とした感性に基づいた処方設計手法について紹介した。これら感性研究の発展は、新しいモノづくりの枠組みを提供するだけでなく、人間の認知機序の解明の一助になる可能性を秘めている。そのためには指標化技術、AI / 機械学習 / データマイニング技術、神経科学的検証など、多方面の研究領域による協働が必要である。

参考文献

- 1) 経済産業省, https://www.meti.go.jp/policy/mono_info_service/mono/creative/kansei.html (2007)
- 2) 飛谷謙介 他, 電気学会論文誌D, **133** (2), 240~245 (2013)
- 3) 片平建史 他, 人間工学, **50** (1), 29~34 (2014)
- 4) N. Nagata et al., *IEEE Trans. Visualization and*

- Computer Graphics*, **3** (4), 307~315 (1997)
- 5) A. Inoue et al., *Proc. the International Federation of Societies of Cosmetic Chemists 28th CONGRESS (IFSCC2014)*, 201~213 (2014)
- 6) 谿 雄祐 他, 日本顔学会論文誌, **18** (2), 37 ~ 45 (2018)
- 7) 堀辻麻衣, 森田美穂, 井上明典, 北谷典文, 日本化粧品技術者会誌, **53** (3), 181~187 (2019)
- 8) Y. Yamazaki, *Proc. the Seventh Asia International Symposium on Mechatronics*, 981~986 (2019)

Formulation design of exfoliating lotion based on sensibility evaluation

Abstract : We aim to provide cosmetics that appeal to users' "sensibility" and have accordingly developed cosmetics based on a sensibility evaluation. As the research subject, we chose exfoliating lotions. Our method correlates the visualized psychological structure with measured physical quantities. First, as a consequence of modeling the psychological structure of a user, it was suggested that the two factors derived from the texture of an exfoliating lotion, particularly the tactile impression during the wiping motions, were potentially important. Next, we examined the relationship of the frictional force during the wiping motion with respect to the tactile impression. Using the dynamic friction coefficient, the two factors could not be individually evaluated; however, we found that they could be independently predicted using vibrational feature quantities calculated from the friction force. Using this as a predictive index of the tactile impression, it was possible to design an exfoliating lotion that had a superior texture at the time of wiping; this could not be achieved in the past.

Key words : sensibility evaluation, tactile impression, factor analysis, structural equation modeling, exfoliating lotion



Takeshi Asai *¹ Yoichi Yamazaki *² Yusuke Tani *³ Kensuke Tobitani *⁴ Noriko Nagata *⁵

*¹ Research and Development Department, Naris Cosmetics Co., LTD.

株式会社ナリス化粧品 研究開発部

〒 553-0001 大阪府大阪市福島区海老江 1-11-17

*²⁻⁵ School of Science and Technology / Kwansei Gakuin Institute of Kansei Value Creation, Kwansei Gakuin University

関西学院大学 理工学部/感性価値創造インスティテュート

〒 669-1333 兵庫県三田市学園 2-1

*¹ 2002年立命館大学大学院 理工学研究科環境社会工学専攻修了,
同年(株)ナリス化粧品 入社。

現在, 研究開発部 開発課 処方開発グループ リーダー。

*² 2012年愛知県立大学大学院 情報科学研究科において博士(情報科学)を取得,
2011年公益財団法人科学技術交流財団知の拠点重点研究プロジェクト統括部研究員,
2016年関西学院大学 感性価値創造研究センター特任助教。

*³ 2011年東京大学大学院 博士課程 修了,
2015年関西学院大学 理工学部/感性価値創造研究センター 研究特別任期制講師。博士(心理学)。

*⁴ 2002年早稲田大学 理工学部応用物理学科 卒業,
2004年岐阜県立情報科学芸術大学院大学 (IAMAS) 修士課程修了,
JST 地域結集型共同研究事業特別研究員を経て,
2010年岐阜大学大学院 工学研究科博士後期課程修了, 同年岐阜大学 産官学融合本部 研究員,
2014年関西学院大学 理工学部/感性価値創造研究センター特任講師。博士(工学)。

*⁵ 1983年京都大学 理学部数理学系卒業, 同年三菱電機(株)入社, 産業システム研究所等において色彩情報処理, 感性情報処理の計測システムへの応用に関する研究に従事。
1996年大阪大学大学院 基礎工学研究科博士後期課程修了,
2003年関西学院大学 理工学部情報科学科助教授, 2007年教授。
2009年米国バドュー大学 客員研究員,
2020年感性価値創造インスティテュート 所長。博士(工学)。