

機関番号：14401

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2009～2010

課題番号：21700239

研究課題名(和文) 皮膚—材料間相互作用の評価による触感の定量化と触感設計

研究課題名(英文) Design of tactile sensation based on quantification of tactile Sensation by evaluation of interaction between skin and material

研究代表者

秋山 庸子 (AKIYAMA YOKO)

大阪大学・工学研究科・講師

研究者番号：50452470

研究成果の概要(和文)：

本研究では、材料の触感設計を最終目的として、触感の定量化を試みた。モデル系として、「しっとり」、「さっぱり」などの触感設計が経験的に行われている化粧水塗布時の触感について、物理パラメータによる評価を試みた。まず触感の主因子を明らかにするため、市販の3社の化粧水サンプルを用いた触感の官能評価を行い、その結果について因子分析を行うことにより、触感の主因子を抽出した。次に、主因子のそれぞれに対応する物理量を明らかにするため、各サンプルについて熱分析、せん断流動試験、摩擦係数の測定などを行った。これらの結果から、物理量を用いた触感官能値の算出を行い、実際の「しっとり感」「さっぱり感」の官能値との整合性を検証した。

研究成果の概要(英文)：

The objective of this study is to quantify the tactile sensation by physical indexes for material design of cosmetics or fabrics. In this study, we tried to indicate the sensory scores of tactile sensation as a combination of physical indexes. In order to extract the principal factors of tactile sensation, factor analysis was applied to the sensory evaluation data of skin lotions, whose tactile sensation is designed experimentally. Extracted factors were related to physical indexes by multiple regression analysis, and the sensory score was estimated by using the physical indexes such as viscosity, contact angle, friction coefficient and weight loss by temperature increase.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2009年度	2,500,000	750,000	3,250,000
2010年度	900,000	270,000	1,170,000
年度			
年度			
年度			
総計	3,400,000	1,020,000	4,420,000

研究分野：感性工学, サイコロロジー

科研費の分科・細目：感性情報学・ソフトコンピューティング

キーワード：感性計測評価, 触感, 摩擦係数, 粘性率, 接触角

1. 研究開始当初の背景

経済産業省が2010年までを「感性価値創造年」と位置づけたことにも象徴されるとおり、社会のニーズが物質的欲求から機能へ

の欲求に向かっており、「使いやすさ」、「心地よさ」といった快適性をいかに評価し、生活環境に反映させていくかがますます今後の焦点となっていくと考えられる。従来は官

能評価に頼っていた快適性評価であるが、最近では、皮膚上塗布物の触感や毛髪の櫛通りなどを人に代わって機器で測定しようとする試みや生体計測による快適性評価も行われるようになってきた。しかし、ヒトの能動的な触動作の特徴抽出と、それによる皮膚-材料との界面相互作用に着目した研究は少なく、したがって現在開発されている触感測定機器においても、実際に人が物体と接触し、触感を感じる時の状態と同じ状態を再現しているとは言えず、物体とプローブの接触状態や触動作速度が実際のヒトの触動作と大きく異なる場合も少なくない。化粧品や繊維製品、自動車の内装の皮革の触感など、触感は日常的に人体と直接接するさまざまな製品の使用感を決定する重要な因子であり、また視覚障がい者にとっては、触覚は聴覚とともに重要な情報取得手段である。さらに、筋電義手の安全性において、力覚を中心とした触感のフィードバックの重要性も指摘されており、この観点からも高度な触感センシング技術の開発は必須である。したがって、触感の知覚機構を明らかにし、定量評価手法を構築することは、繊維製品や化粧品の製品開発のみならず、福祉工学分野における視覚・身体障がい者支援の観点からも重要である。

2. 研究の目的

特定の触感を惹起する材料の設計は、現在触感が重要視されている化粧品、繊維製品、皮革製品、木材等にとどまらず幅広い材料に要求されるようになってくることが予想される。しかし、触感の評価に広く用いられている官能評価は主観的な手法であるため、触感の背後にある物理的現象を捉えることができない。またその一方で、材料の微細構造を直接触感に結びつけることも困難である。したがって、材料の触感設計に繋がる客観的な触感の評価手法の確立、さらにはそれぞれの触感を定義づける物理モデルの構築が必要である。

そこで本研究では、材料の触感設計を最終目的として、触感の定量化を試みた。モデル系として、「しっとり」、「さっぱり」などの触感設計が経験的に行われている化粧水塗布時の触感について、物理パラメータによる評価を試みた。まず触感の主因子を明らかにするため、市販の3社の化粧水サンプルを用いた触感の官能評価を行い、その結果について因子分析を行うことにより、触感の主因子を抽出した。次に、主因子のそれぞれに対応する物理量を明らかにするため、各サンプルについて熱分析、せん断流動試験、摩擦係数の測定などを行った。これらの結果から、物理量を用いた触感の算出を行い、実際の「しっとり感」「さっぱり感」の官能値との整合

性を検討した。

3. 研究の方法

(1) 官能評価

市販3社のしっとりタイプ（以降 Type F (Fresh)）、さっぱりタイプ（以降 Type M (Moist)）（計6種）の化粧水サンプルの塗布時および塗布後の触感について、SD

(Semantic Differential 法)を用いて5段階で官能評価を行った。官能評価項目は、「伸びのよさ」、「なめらかさ」、「あぶらっぽさ」、「みずみずしさ」、「膜厚感」、「しっとり感」、「乾き」、「ばさつき」、「伸びの重さ」、「なじみのよさ」、「さっぱり感」、「こってり感」、「うるおい」、「清涼感」、「まるやかさ」、「べたつき」、「ぬるつき」の計17項目である。官能評価は20代から30代の女性被験者3名により行った。被験者実験に関しては、実験前に本実験の目的、内容、倫理的配慮について十分な説明を行い、刺激などを感じた場合にはいつでも実験を停止できる旨を伝え、書面による承諾を得た。官能評価は触感以外の影響を排除するため、商品名やタイプを伏せたブラインドテストとし、0.1mlの各サンプルを前腕内側に塗布することによって評価を行った。その結果を因子分析することによって、主因子を抽出した。

(2) 物性評価

上記の因子分析によって抽出された因子に対応すると考えられる物理量として、熱重量分析、せん断流動試験、接触角測定を行った。熱重量分析は、熱重量分析計DTA8020(株式会社リガク)を用い、室温から200℃まで10℃/minで昇温した。せん断流動試験は、レオメータAR-1000(TA Instruments)を用い、直径40mm、コーン角1°のコーンプレートをを用い、測定温度37℃、ギャップ厚10μmで測定した。基板としてテフロン板を用いた実験も行った。接触角測定は、皮膚、ガラス、テフロン板に対して各サンプルを100μl滴下し、そのときの接触角をθ/2法を用いて測定した。

(3) 皮膚特性評価

塗布時、塗布後の皮膚とサンプルの相互作用を調べるため、皮膚特性(皮膚表面温度、角層水分量、経皮水分蒸散量、摩擦係数)の測定を行った。角層水分量、経皮水分蒸散量(TEWL)の測定は、それぞれ水分計Corneometer CM825と水分蒸散量計Tewameter TM300(いずれもC+K electronics)を用いて測定した。皮膚表面温度は熱電対(株式会社タカラサーミスター)を用いて測定した。摩擦係数は摩擦感テスターKES-SE(カトーテック株式会社)を用い、荷重50g、プローブ速度1mm/secで測定した。対象部位はいずれも前腕内側とし、皮膚を洗浄して30分以上経過した後に、温度

22±1℃, 湿度 50±5%の室内にて測定を行った。

4. 研究成果

(1) 触感の因子分析

塗布時, 塗布後, 塗布 30 分後の各サンプルの触感に関する官能評価を行った。製品設計の際に特に意識されている「しっとり感」と「さっぱり感」を含む 17 項目についての評価を行い, その結果について因子分析を行った。因子分析は各因子の解釈を容易にするためにバリマックス回転を行い, 固有値と累積寄与率から, 因子数は塗布時, 塗布直後, 塗布 30 分後についてそれぞれ 4 つとした。抽出された因子は第 1 因子から第 3 因子までは塗布時, 塗布直後, 塗布 30 分後でほぼ共通しており, 第 1 因子は「しっとり感」, 「こってり感」, 「べたつき」, 「ぬるつき」などの項目が高い因子負荷量を示したため, 「粘性感」と解釈した。第 2 因子は「みずみずしさ」, 「清涼感」, 「さっぱり感」などの項目が高い因子負荷量を示したため, 「成分蒸散感」と解釈した。第 3 因子は「ぱさつき」, 「乾き」などの項目が正の高い因子負荷量, 「伸びのよさ」, 「しっとり感」が負の高い因子負荷量(ただし, 塗布 30 分後については正負が逆であった)を示したため, 「摩擦感」と解釈した。また塗布時の第 4 因子は「リッチ感」, 塗布直後の第 4 因子は「皮膚浸透感」, 塗布 30 分後の 4 因子は「乾燥感」と解釈した。4 因子の累積寄与率は塗布時, 塗布直後, 塗布 30 分後についてそれぞれ 68.4%, 73.5%, 78.2%であり, サンプル塗布時の触感のほとんどはこれらの因子で説明できるといえる。例として塗布時の第 1 因子(粘性感)の因子得点を Fig. 1 に示す。Type F と M の間で因子得点に明確な差があることが確認できる。抽出されたこれらの因子のうち, 塗布の 3 段階に共通して見られる「粘性感」, 「摩擦感」, 「成分蒸散感」については, 物理量により定量化できる可能性があると考え, それぞれの因子と関連すると考えられる物理量の測定を行った。

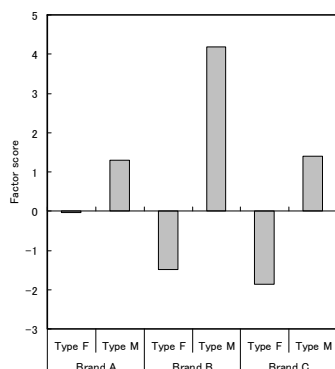


Fig. 1. Factor scores of samples during application.

(2) 第 1 因子: 「粘性感」に対応する物理量の検討

粘性感に対応する物理量として, まずレオメータを用いて通常の条件でせん断流動試験を行った。化粧品の塗布動作を解析したこれまでの研究により, 塗布速度は指の往復動作によって周期的増減を繰り返す, そのときの往復塗布最大速度はおよそ 150 mm/s であることが分かっている。最大速度をせん断速度に換算すると 15000 (1/s) に対応し, 塗布時の皮膚表面での粘性率せん断速度 0 から 15000 (1/s) に塗布速度が増加する段階における粘性率を反映すると推定される。15000 (1/s) は今回用いた装置の測定限界を超えているため, ばらつきがなく計測可能な範囲として 10~5600 (1/s) のせん断速度での測定を行った。

各社の各サンプルについて, Type F と Type M の間の違いを調べたところ, C 社のサンプルについては明らかに粘性率の違いがみられたものの, A 社, B 社のサンプルについては, 特に高せん断速度においては, 大きな差が見られなかった。その一方で, 官能評価においては, (1) で抽出された第 1 因子である「粘性感」について, 塗布時, 塗布直後, 塗布 30 分後とも, Fig. 1 に示すように各社について Type F と Type M の間で明確な違いが見られた。このことは, サンプルそのものの粘性率のみによって実際の塗布における「粘性感」が決定付けられているのではないということを示す。

そこで, レオメータによる粘性率測定の際の基板の性質を疎水性の大きい皮膚に近づけるため, 水に対する接触角が皮膚に近いテフロン板を基板として用い, 同様の測定を行った。その結果を Fig. 2 に示す。A 社と C 社のサンプルは全てのせん断速度において Type M のほうが高い粘性率を示し, 特に C 社のサンプルに関しては, 明らかな違いが見られ, 速度の増加によりその差は増加した。

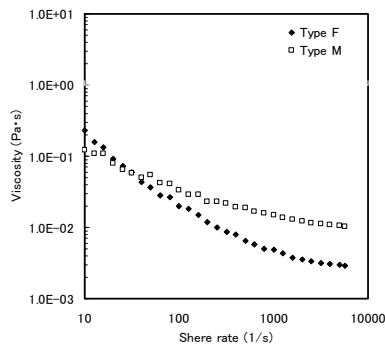


Fig. 2. Viscosity of lotion sample of brand C (PTFE substrate).

一方で B 社のサンプルでは Type F のほうが高い粘性率を示す傾向が見られた。これは、官能評価の結果において、B 社のサンプルのみ、塗布後の「さっぱり感」の逆転がみられたことにも関わっていると考えられる。このような基板による流動特性の違いは、ギャップ厚が $20\mu\text{m}$ 以上になるとほとんど観察されなくなった。これは、基板とサンプルとの相互作用の強さを反映したのであると考えられるため、相互作用を調べる手法の一つとして、接触角測定を行った。その結果を Fig. 3 に示す。

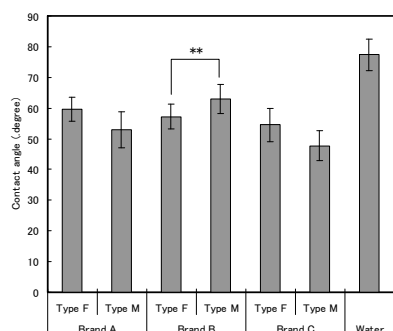


Fig. 3. Contact angles of samples for PTFE substrate. (** $p < 0.01$)

A 社と C 社のサンプルでは、Type M のほうが Type F に対して大きい接触角を示した。したがって、Type M のほうが皮膚上でのぬれ性が大きい、すなわち Type M のほうが基板との相互作用が強いと考えられる。一方で B 社については Type F のほうが大きい接触角を示し、皮膚に対するぬれ性が A 社、C 社に対して逆転していることが分かる。

この結果と Fig. 2 の結果を照らし合わせると、基板に対するぬれ性すなわち相互作用が大きいほうが粘性率は高い傾向を示した。またこの結果は、官能評価による「さっぱり感」の結果とも一致していた。このように、基板の影響を考慮することにより、皮膚に塗布された状態における粘性率を再現できることが示された。

以上の結果から、せん断流動試験に用いる基板として皮膚に近い疎水性を持つテフロン板を用いることによって、第 1 成分について説明できる可能性が示された。しかし、本結果を第 1 成分の因子得点と照合したところ、因子得点が正の値を示す場合はテフロン板を用いた場合の粘性率との相関が見られた一方で、負の値を示す場合は粘性率との相関が見られなかったため、第 1 因子は粘性率を含む複数のパラメータにより表されるものと考えられる。

(3) 第 2 因子: 「成分蒸散感」に対応する物理量の検討

成分蒸散感とは、皮膚表面での成分の蒸散の

しやすさによるものであると考えられる。「成分蒸散感」は特に塗布直後に Type F のほうが Type M と比較して因子得点が高い傾向を示した。そこで、昇温に伴う成分の蒸散について調べるため、各サンプルについて熱重量分析を行った。昇温速度は $5\text{ }^\circ\text{C}/\text{min}$ 、 $200\text{ }^\circ\text{C}$ まで昇温し、そのときの重量減少率を調べた。例として Brand A の測定結果を Fig. 4 に示す。

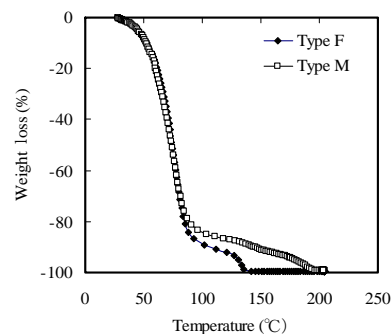


Fig. 4. Weight loss of lotion sample (brand A) as a function of temperature.

3 社の製品は、いずれも Type F のほうが Type M に比較して低温で成分が蒸散することが分かった。「成分蒸散感」は、成分蒸散による皮膚表面温度の低下によって惹起されている可能性も考えられるため、塗布後の TEWL (経皮水分蒸散量)、皮膚表面温度を測定した。その結果、Type F のほうが、成分蒸散が顕著であり、その気化熱によって皮膚表面温度が低下していることが示された。

(4) 第 3 因子: 「摩擦感」に対応する物理量の検討

摩擦感に対応する物理量として、摩擦係数 (MIU) やその変動 (MMD) が挙げられる。そこで、実際の皮膚におけるサンプル塗布時の摩擦係数とその変動を調べた。前腕内側に 0.1 ml のサンプルを塗布し、塗布直後および塗布 30 分後の摩擦係数の測定を行った。その結果を Fig. 5 に示す。摩擦係数は塗布直後は Type F と M の間に有意な差が見られなかったが、塗布 30 分後は Type M のほうが高い傾向を示した。これは皮膚表面への不揮発性成分の残留によるものであると考えられる。一方で、Fig. 6 に MMD の値を示す。Type F サンプルの中で、Stick-Slip 現象に起因した周期的な摩擦係数の変動により MMD が大きな値を示すサンプルがあり、このことが指のすべりの悪さを引き起こし、触感の官能値に影響していると考えられる。以上のように、MIU と MMD の双方が触感に影響している可能性が示された。

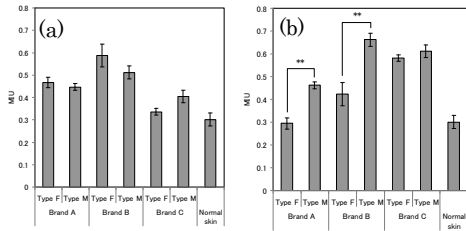


Fig. 5. Friction coefficient of human skin after application of the samples (MIU); (a) immediately after application, (b) after 30 min. (* $p < 0.05$, ** $p < 0.01$).

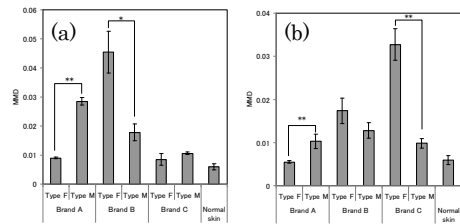


Fig. 6. Mean deviation of friction coefficient (MMD) of human skin after application of the samples; (a) immediately after application, (b) after 30 min. (* $p < 0.05$, ** $p < 0.01$).

(5) 物理量による因子得点の推定

以上のように、抽出された各因子と対応すると考えられる物理量の測定を行ったが、これらの物理量が単一でそれぞれの因子と高い相関を持つ場合、単回帰により物理量を用いて因子得点を算出できる。しかし、(2)で述べたように、例えば第1因子については、因子得点が正の値である場合は物理量との相関がみられるものの、負の値である場合は相関が見られない場合もあった。そこで、まず、各物理量と抽出された因子の相関を調べ、単一の物理量で説明できない因子については重回帰分析を行った。まず各物理パラメータと各因子の相関を調べたところ、どの因子も物理量とは相関係数 0.7~0.8 程度弱い相関を持つのみであり、無相関の検定において、 p 値が 0.05 を下回るものはなかった。したがって、各因子は単一のパラメータでは説明できないと考え、各因子を目的変数とし、物理量を説明変数とした重回帰分析を行った。その結果、粘性感、摩擦感には、基板としてテフロン板を用いた粘性率(1000 (1/s)のときの粘性率とした)や接触角が寄与していることが分かる。摩擦感にはそれに加え摩擦係数 MIU やその変動 MMD が関与している。また成分蒸散感には熱重量分析(TG)の計測値(元のサンプル重量の 98%が蒸散した温度とした)が関与していることが特徴として表れ、これらの結果はおおよそ妥当であると考えられる。

(6) 物理量による「さっぱり感」「しっとり感」の推定

抽出された触感の因子について、複数の物理量の線形結合で表されると仮定した場合、

(5)に示した結果より、3つの因子のそれぞれを、1~4個の物理量を用いて表すことができた。この結果を用いて、塗布時、塗布直後、塗布 30 分後のそれぞれのサンプルの官能値を物理量のみを用いて推定することを試みた。実際のそれぞれの項目の官能値を目的変数とし、説明変数として因子 1-4 の因子得点を用いて重回帰分析を行ったところ、第 4 成分の寄与は小さかったため、第 1-3 成分を用いた回帰式を求めた。その結果を Table 1 に示す。またこの結果を用いて、未知のサンプルを対象に、物理量の計測結果のみを用いて算出した官能値実測値と理論値を比較した結果の例として、「さっぱり感」「しっとり感」の塗布時の結果を Fig. 7 に示す。塗布時、塗布直後に関しては、理論値と実測値は類似した傾向を示した。ただし塗布 30 分後になると理論値と実測値に相違が見られ、これは皮膚そのものの特性など他のパラメータも関与している可能性を示している。

(7) まとめ

本研究では、官能評価のデータをもとに触感の因子を抽出し、個々の因子に対応すると考えられる物理量を測定することで、物理量から触感の官能値を推定することができた。その過程で、触感の各因子は単純に一つの物理量に対応することは少なく、いくつかの物理量を用いた式で表されること、また単なるサンプル単独での物理量よりも、ぬれ性などの皮膚との相互作用を考慮した計測法を工夫することで、さらに高精度な推定が可能であることが示された。本手法で構築した計算法が他の未知のサンプルに対しても適用可能かどうかを検証していく予定である。

Table 1. Multiple regression analysis for “fresh” and “moist” feeling.

官能評価項目	変数名	偏回帰係数	標準偏回帰係数	p 値	判定	
塗布時	しっとり	因子No. 1	0.66	1.83	0.049	*
		因子No. 2	-0.12	-2.03	0.166	
		因子No. 3	-0.06	-0.22	0.794	
	さっぱり	定数項	2.12		0.008	**
		因子No. 1	-0.36	-1.21	0.243	
		因子No. 2	0.06	1.19	0.248	
塗布直後	しっとり	定数項	2.73		0.003	**
		因子No. 1	0.55	1.04	0.070	
		因子No. 3	-0.44	-0.37	0.400	
	さっぱり	定数項	2.20		0.008	**
		因子No. 1	-0.69	-1.78	0.072	
		因子No. 2	-0.22	-0.85	0.178	
30分後	しっとり	因子No. 3	0.71	0.82	0.142	
		定数項	3.34		0.009	**
		因子No. 1	0.78	0.90	0.014	*
	さっぱり	因子No. 2	0.39	0.26	0.234	
		定数項	2.26		0.002	**
		因子No. 1	-1.01	-1.26	0.046	*
30分後	さっぱり	因子No. 3	-0.62	-0.67	0.179	
		定数項	2.43		0.002	**

また紙面の都合で割愛したが、シャンプー剤の洗髪時の触感に関しては処方設計へのフィードバックを行う段階まで進展し、触感設計が実現可能な段階に来ているといえる。今後は、物理量の測定手法の改良による再現性の向上によって、さらに高精度な触感の推定を行う予定である。また化粧品の触感に限らず汎用的に触感を物理量によって推定する手法を構築し、繊維製品や皮革製品の触感にも本手法を取り入れ、製品設計に応用したいと考えている。

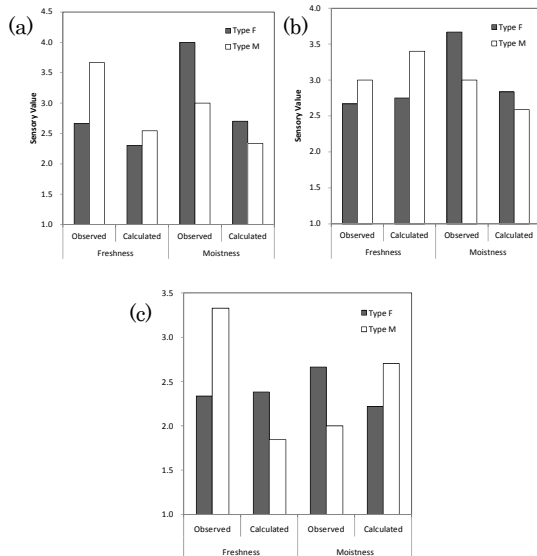


Fig. 7. Calculated and observed sensory values of “Freshness” and “Moistness”; (a) during application, (b) immediately after application and (c) 30 min after application

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕(計3件)

1. 秋山庸子, 三島史人, 西嶋茂宏, 触感の定量評価に関する基礎的研究, 電気学会研究会資料, MBE-10-121~128, (2010). (査読無)
2. 秋山庸子, 松江由香子, 土井佑介, 泉佳伸, 西嶋茂宏, 触動作の特徴抽出による化粧品の使用感評価—毛髪ブラッシング動作の解析—, Nihon Reorogi Gakkaishi, Vol. 37, No. 3, pp. 129-134 (2009). (査読有)
3. 秋山庸子, 泉佳伸, 西嶋茂宏, 触動作の特徴抽出による化粧品の使用感評価—スキンケア製品の塗布動作—, J. Soc. Cosmet. Chem Jpn, Vol. 43, no. 32, pp. 95-100 (2009). (査読有)
4. 秋山庸子, 西嶋茂宏, スキンケア化粧品における官能評価と物性評価のリンクの仕方, Cosmetic Stage, 12月号, pp. 23-29, (2010). (査読無, 依頼執筆)

5. 秋山庸子, 機器測定による触感評価の最新知見, COMETIC STAGE, Vol. 4, no. 3, pp. 37-41 (2010). (査読無, 依頼執筆)
6. 秋山庸子, 材料の触感設計のための手法と課題—いかにして触感を測るか?—, MATERIAL STAGE, Vol. 9No. 11, pp. 12-14 (2010). (査読無, 依頼執筆)

〔学会発表〕(計8件)

1. Yoko Akiyama, Yukako Matsue, Shigehiro Nishijima, Effect of Oxidation Stress on the Mechanical Property of Human Hair, The Eighth IASTED International Conference on Biomedical Engineering, 2011年2月17日, Congress Innsbruck, Innsbruck, Austria.
2. Yoko Akiyama, Yukako Matsue, Shigehiro Nishijima, Development of Evaluation Method of Tactile Sensation of Human Hair, World Automation Congress 2010, 2010年9月19日, Kobe International Conference Centre, Kobe, Japan.
3. 秋山庸子, 三島史人, 西嶋茂宏, 触感の定量評価に関する基礎的研究, 生体医工学シンポジウム2010, 2010年9月11日, 北海道大学, 札幌市.
4. 秋山庸子, 三島史人, 西嶋茂宏, 触感の定量評価に関する基礎的研究, 電気学会医用・生体工学研究会, 2010年9月10日, 北海道大学, 札幌市.
5. 秋山庸子, 三島史人, 西嶋茂宏, Study on Material Design Based on Modeling of Tactile Sensation, 第49回日本生体医工学学会大会, 2010年6月25日, 大阪国際交流センター, 大阪市.
6. 秋山庸子, 松江由香子, 西嶋茂宏, 毛髪すべり性評価方法の開発, 第33回人間—生活環境系シンポジウム, 2009年11月29日, 福岡女子大学, 福岡県福岡市.
7. 秋山庸子, 三島史人, 西嶋茂宏, 生体計測と力学計測による触感の定量化, 第7回生活支援工学系学会連合大会, 2009年9月25日, 高知工科大学, 高知県香美市.
8. 秋山庸子, 西嶋茂宏, 触における力覚と動作の関係に関する研究—毛髪ブラッシング動作における検討—, 生体医工学, 2009年4月23日, タワ-ホテル舟橋, 東京江東区.

6. 研究組織

(1) 研究代表者

秋山 庸子 (AKIYAMA YOKO)
 大阪大学・工学研究科・講師
 研究者番号: 50452470