

機関番号：14401

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2012～2013

課題番号：24700207

研究課題名(和文) 材料中の水の挙動に着目した触感重視型材料の微構造設計

研究課題名(英文) Microscopic design of tactile sense-oriented materials based on the state of water

研究代表者

秋山 庸子 (Yoko, Akiyama)

大阪大学・工学(系)研究科(研究院)・講師

研究者番号：50452470

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,000,000円、(間接経費) 900,000円

研究成果の概要(和文)：本研究では「触感重視型材料」の設計の手法を確立することを目的とし、触感と材料の微構造の関係について検討した。皮膚に塗布して用いる製剤においては、皮膚の製剤によるぬれ性が触感に大きな影響を及ぼしていることが明らかになった。製剤の皮膚表面におけるレオロジー特性も、皮膚に対するぬれ性により変化することが分かり、皮膚の界面化学的性質が触感に及ぼす影響が明らかになった。また「しっとり感」と「べたつき」のように、統計学的には類似した性質を持にもかかわらず、前者は快、後者は不快をそれぞれ示すような官能評価項目について、物理的な現象の違いを検討し、それぞれの官能値と高い相関を持つパラメータを明らかにした。

研究成果の概要(英文)：The objective of this study is to establish the method for microscopic design the tactile sense-oriented materials, and we examined the relation between tactile sensation and microscopic physical behavior of the object materials. In the skin care formulations, the wettability, which was quantitatively measured by the contact angle, of the human skin highly effects on the tactile sense. The rheological property of the sample is also affected by the wettability of the human skin by the samples. In addition, we investigated the difference between two tactile senses that has statistically similar inner structure but induce much different sensations, comfort and discomfort, such as tactile feelings of "moistness" and "sticky". The sensory score of "moistness" strongly related to the contact angle of the sample, where as that of "sticky" related to the adherability, showing the two sensations are induced by different interfacial physical interactions.

研究分野：情報学

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：感性材料製品 触感 接触角 付着力 しっとり感 べたつき 界面相互作用

1. 研究開始当初の背景

生活の省エネルギー化が求められる中で、日常生活に関わる材料の使用感の向上によって、電力消費を抑えながらも、居住空間および、生活環境の快適性向上を図ることが求められている。また一方で、バーチャルリアリティの分野でも、高齢者や障がい者支援を視野に入れ、視覚・聴覚刺激が中心である情報通信技術に触覚情報を取り入れようとする動きがあり、微妙な触感を正確に再現する触覚ディスプレイの開発が求められている。これらの技術の実現のためには、マイクロ・ナノスケールでの材料の触感設計を行い、材料への特微的な触感の付与によって、使う人の価値観や嗜好に合った触感を持つ材料を開発することが重要になると考えられる。

材料の触感に関する研究は特に日本において進んでいる。その中でも繊維製品において最も研究が進んでおり、布の「風合い」に関連して、曲げ、引張、摩擦特性と官能特性との相関¹⁾は広く検討されているが、材料の微構造と触感の関係の解明には未だ至っていない。

化粧品分野でもより定量的なデータに基づく触感設計が求められており、化粧品を適用した毛髪や皮膚の触感の定量化のための触感センサーの開発が行われている。このことにより様々な触感を引き起こす表面形状などの物理的因子が明らかにされつつあるが、組成や構造などの微視的因子の抽出には至っておらず、材料の微構造にまで踏み込んだ触感因子の解明が求められる。

これまで、材料の触感や巨視的物性を、材料の微視的構造と理論的に関係づけた研究はほとんどなく、また、材料が変形していく過程や応力負荷条件下など、力学的外部刺激が負荷された状態での材料の微構造の変化についてはほとんど研究例がない。そのため、静的な材料の構造と触感に関係づけることにとどまらず、触動作を想定した材料の変形、触による微視的な物質や熱の移動に着目して、触感を決定づける因子を明らかにすることが求められている。

2. 研究の目的

省エネルギー社会での生活の快適性向上と、高精度な触覚ディスプレイの実現のためには、要求された触感を正確に再現する材料、すなわち「触感重視型材料」の設計が求められている。

本研究ではこの「触感重視型材料」のマイクロ・ナノスケールでの設計手法を確立する。対象としては、「しっとり感」、「なめらかさ」、「清涼感」、「しなやかさ」など日常生活で人が触れる機会の多い素材に求められる触感に着目する。これらの項目は、特に材料中の水の挙動と密接に関わっていると考えられるため、水の束縛状態およびそれに関連した微構造に着目して、特定の触感を引き起こす微構造の特徴を解明し、目的とする触感を正

確に再現する材料の設計を行う。

申請者のこれまでの研究(科学研究費補助金(若手研究(B))21700239「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」、平成21-22年度)において、物理量のみを用いて、評価者による官能値を再現することを試みた。その結果、統計学的手法を用いて触感を決定づけるいくつかの因子を抽出し、次に各因子に物理量を対応させることによって、触感の官能値を物理量から計算によって推定することに成功した。さらに、主因子に対応する物理量を材料の微構造と関係づけることで、材料の触感を設計する手法を開発した。

しかし、因子分析を用いた手法では、目的とする触感の設計が難しい場合がある。例えば「しっとり感」と「べたつき」は、類似した感覚でありながら快と不快を示す官能評価項目であるが、これらの感覚を構成する主因子や因子負荷量が類似しているため、材料設計によって連動して変化する。そのため、理想的には「しっとり感」の官能値が高く、しかも「べたつき」の少ない製品が求められるが、因子分析を用いた触感設計の手法ではこれらの感覚が区別できず、独立した設計が困難である。

そこで本研究では、「しっとり感」と「べたつき」を示す独立した物理モデルを構築し、「しっとり感」の官能値が高く、しかも「べたつき」の少ない材料設計の手法を検討した。

3. 研究の方法

(1) 化粧水の官能評価

まず、市販のしっとりタイプの化粧水3種とさっぱりタイプの化粧水3種の計6種の化粧水サンプルの塗布時の触感について、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」、「ぱさつき」、「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。評価は20代から30代の男女被験者5名により行った。被験者に対しては、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。

なお本実験は、大阪大学倫理委員会の承認を得て行った。

(2) 物理測定

次に、接触角測定と付着力測定を用いて「しっとり感」と「べたつき」の物理現象について検証を行った。化粧水の接触角測定は、前腕内側皮膚、およびテフロン板に対して各

サンプルを滴下し、そのときの接触角を図 1 に示す $\theta/2$ 法を用いて測定した。この手法は、液滴の幅と高さを求めることで、接触角 θ を求める手法である。

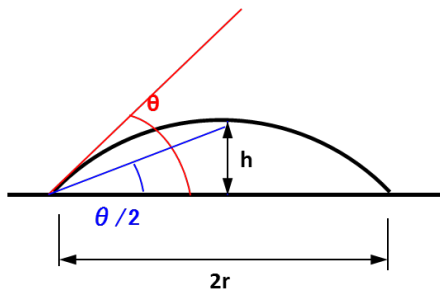


図 1 $\theta/2$ 法による接触角の測定

また化粧水の付着性測定については、卓上万能試験機 (EZ-TEST, 島津製作所) を用い、直径 40mm の円盤 (圧子) および基板に人工皮革 (クラレ クラリーノ アマレット銀付) を貼付し、基板に 200 μL のサンプルを滴下して化粧水塗布時の触圧の実測値と同等の圧力 (約 $0.5\text{N}/\text{cm}^2$) 下で、 $1\text{mm}/\text{sec}$ の速度で円盤を引き上げた時の反力を測定し、距離に対する付着力の積分値を求めた。

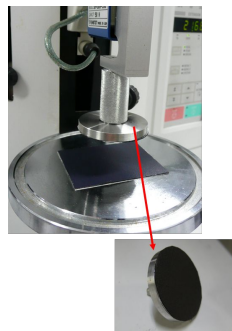


図 2 付着性測定実験

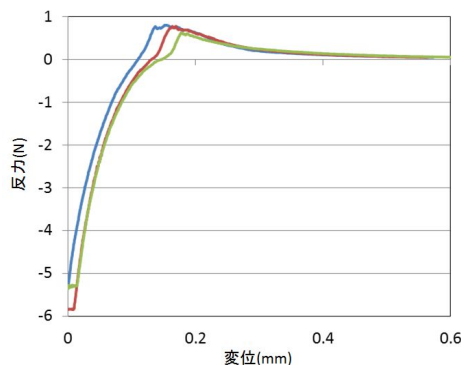


図 3 付着性測定結果の一例

4. 研究成果

(1) 「しっとり感」と「べたつき」の関係の検討

まず、官能評価の結果を用いて主因子分析を行い、塗布時の「しっとり感」と「べたつ

き」の関係を検討した。その結果を表 1 に示す。触感の官能評価結果の因子分析の結果、主に 3 つの因子が抽出され、第一因子は「粘性感」、第二因子は「成分蒸散感」、第三因子は「摩擦感」と解釈された。これらの因子に対する、「しっとり感」と「べたつき」の標準化偏回帰係数を調べたところ、類似した値を示していることが分かる。この結果から、これらの 2 つの触感の内部構造 (各因子の寄与) は類似していることがわかる。

表 1 「しっとり感」と「べたつき」の関係

官能評価項目	主因子	偏回帰係数	標準化偏回帰係数	p値
しっとり感	第一因子 粘性感	0.66	1.83	0.05
	第二因子 成分蒸散感	-0.12	-2.03	0.17
	第三因子 摩擦感	-0.06	-0.22	0.79
	定数項	2.12		0.01
さっぱり感	第一因子 粘性感	-0.36	-1.21	0.24
	第二因子 成分蒸散感	0.06	1.19	0.25
	定数項	2.73		0.003
べたつき	第一因子 粘性感	0.96	1.54	$1.10\text{E}-04$
	第二因子 成分蒸散感	-0.19	-1.97	0.002
	第三因子 摩擦感	-0.28	-0.66	0.16
	定数項	2.17		$1.70\text{E}-08$

また相関行列により、化粧水の「しっとり感」と「べたつき」の相関は高いことが分かった。しかし、図 4 に示すように、横軸と縦軸にそれぞれの触感を取ったプロットを行ったところ、このグラフから見られる特徴として、グラフの直線状のみならず、左上の部分にプロットが存在することが挙げられる。

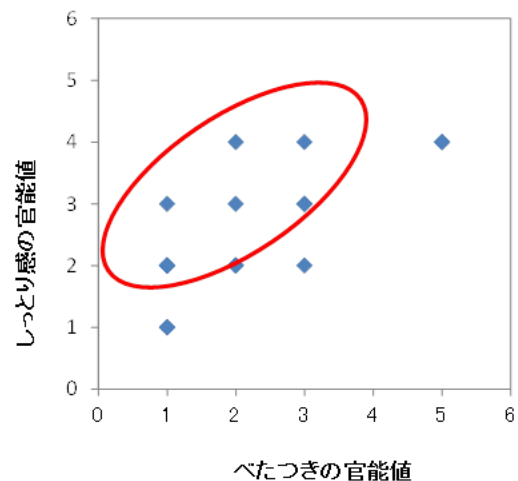


図 4 しっとり感とべたつきの官能値の関係

これは、「べたつき」は低い「しっとり感」の高いサンプルが存在することを示す。全ての化粧水を網羅できていないわけではないが、今回取り上げたサンプルに関しては、右下にはプロットが無いことから、逆に「しっとり感」が低い「べたつき」だけのあるサンプ

ルは存在しないという解釈ができる。したがって、化粧水において、「しっとり感」と「べたつき」は単純に相間しているのではなく、「べたつき」は「しっとり感」の部分集合であるといえる。

(2)「しっとり感」と「べたつき」の物理的解釈の仮説

官能評価項目の多くは快あるいは不快のいずれかを示す項目に分かれる。ここでは、一般に「しっとり感」は快、「べたつき」は不快を示す因子であるため、「しっとり感」があり「べたつき」がないサンプルが好まれる。しかし、上記の因子分析を利用した方法ではこれらの相関が比較的高いため内部構造が類似したものになり、「しっとり感」と「べたつき」の差別化ができなくなるという問題点があった。

そこで、「しっとり感」と「べたつき」を区別できる物理モデルを明らかにすることで、「しっとり感」はあるが「べたつき」のない化粧水を設計できるのではないかと考え、塗布時の触感に着目して、「しっとり感」と「べたつき」の物理現象の差別化について検討を行った。

まず、「しっとり感」と「べたつき」のそれぞれの現象を物理的な言葉で表現することを試みた。「しっとり感」を感じる時の人の指の動きを観察すると、指を塗布対象に対して平行に動かしている傾向にある。このような動きによって、ヒトは皮膚に対する化粧水の親和性を触知していると考えられる。この親和性を物理学的な用語を用いて言い換えると、皮膚上の化粧水に対するぬれ性ということができると考えられる。実際に、しっとり感の高い化粧水は、皮膚上に塗布して実体顕微鏡で観察すると、図5に示すように、皮丘と皮溝の双方に化粧水が拡散しており、皮膚の表面を均一に覆っているのに対し、しっとり感の低い化粧水は、皮溝のみに分布しており、皮丘は化粧水を弾いたようになり、化粧水にぬれていないことが分かった。基板の液体に対するぬれ性は、接触角で評価できるため、「しっとり感」を表す物理的因子として皮膚上での接触角を検討した。

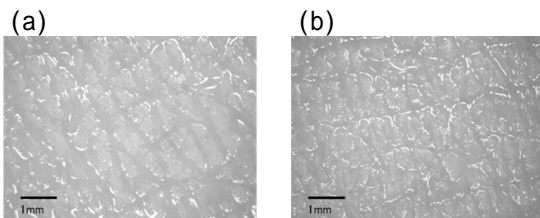


図5 しっとり感の官能値の低いサンプル(a)と高いサンプル(b)の塗布直後の皮膚の状態

一方、「べたつき」を感じる時には、人は指を塗布対象に対して垂直に押し付け、離すときの付着力を触知していると考えられ

るため、万能試験機で測定可能な、皮膚を模擬した人工皮革に化粧水を塗布した場合の付着力の測定を行った。これらは官能評価を行う時の被験者の観察や、日常的な経験による仮説であるため、この仮説が正しいかどうか、官能値と物理特性の相関を調べることによって検証した。

(3)「しっとり感」の物理現象の検証

次に、先ほど立てた仮説の検討を行った。まず、「しっとり感」を表す物理的因子として皮膚上での接触角を検討した。皮膚上で接触角を測定することも可能であるが、予備実験により、部位による違いや被験者による違いが大きいことが分かった。そこで、皮膚表面のぬれ性を再現するモデル基板を用いることにした。皮膚に表面特性が近いサンプルとして、PTFE(Polytetrafluoroethylene)板、および人工皮革(クラレ クラリーノ アマレット銀付)を検討した。

測定時の写真を図6に、水に対する皮膚、PTFE、人工皮革の接触角を図7に示す。

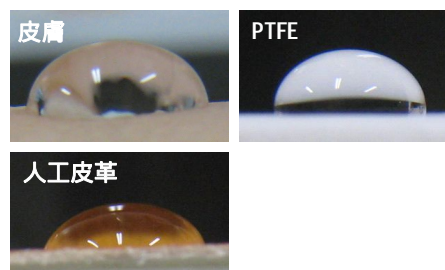


図6 接触角測定時の液滴の様子

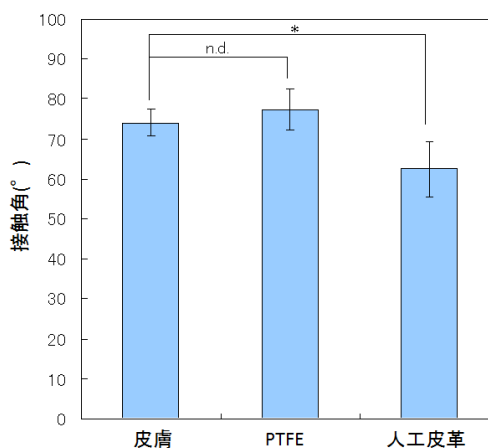


図7 皮膚、PTFE、人工皮革の接触角

この結果から、PTFE板状での水に対する接触角が皮膚と同等であることが分かった。そこで、水に対する接触角が皮膚と同等であった、PTFE板上での化粧水の接触角を測定した。

その結果と化粧水塗布時のしっとり感との関係のグラフを図8に、塗布時のべたつきとの関係のグラフを図9に示す。

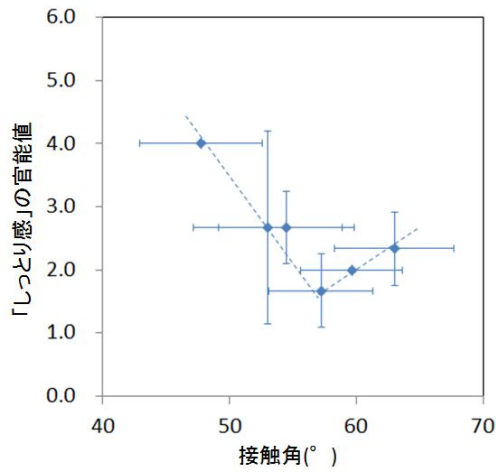


図 8 「しっとり感」と接触角との関係

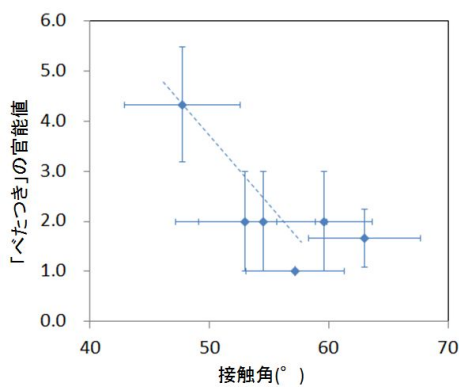


図 9 「べたつき」と接触角との関係

接触角としっとり感の官能値の関係では、接触角がおよそ 57° までは接触角の増加とともにしっとり感は減少したが、それ以上では増加する傾向を示した。この現象を解釈するため、図 10 に、基板に対する流体のぬれ性と流体の降伏応力の関係を図示する。接触角 57° までは、接触角が小さいほど基板のサンプルによるぬれ性が大きく、図 10(b) に示すように、小さい力で広がるためにしっとり感を引き起こすと考えられる。反対に、接触角が 57° に近づくと、基板のサンプルによるぬれ性が小さくなり、図 10(a) に示すように、サンプルを押し広げるために大きな力が必要になると考えられる。接触角 57° 以上では、予想に反して再び「しっとり感」が増加するという現象が見られたが、これは、表面間で液体が基板をぬらすことなく上滑りを生じるために、疑似的に親和性が高いと感じるためではないかと考えられる。

一方、接触角と「べたつき」の官能値の関係では、接触角の増加とともに「べたつき」は減少する傾向を示したが、その相関は「しっとり感」ほど明確ではなかった。

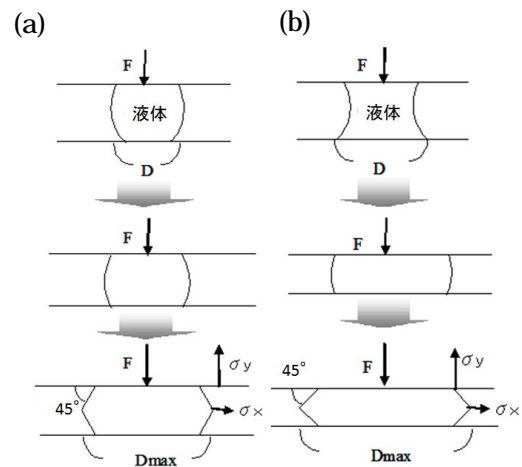


図 10 基板のスキンケア製品に対するぬれ性が(a)小さい場合、(b)大きい場合 の降伏応力が

(4) 「べたつき」の物理現象の検証

次に「べたつき」の物理現象について、皮膚を模擬した人工皮革に化粧水を塗布した場合の付着力を測定した。付着力と化粧水塗布時のべたつきとの関係のグラフを図 11 に、塗布時のしっとり感との関係のグラフを図 12 に示す。

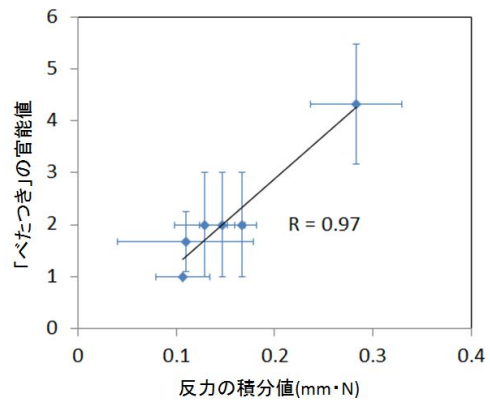


図 11 「べたつき」と接着力との関係

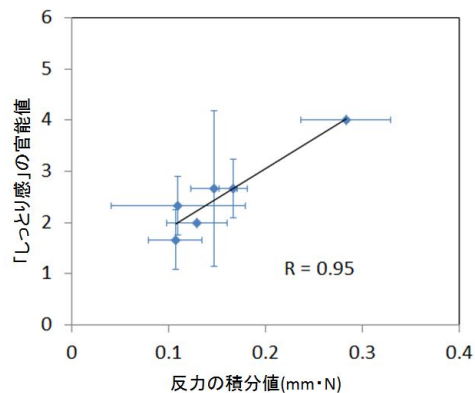


図 12 「しっとり感」と接着力との関係

図 11 から、付着力積分値の増加に従って「べたつき」の官能値が明らかに増加していることが見て取れる。また図 12 から、付着力積分値の増加に従ってしっとり感は増加の傾向を示したものの、その依存性は比較的小さいことが見て取れる。

以上より、しっとり感は基板に対する接触角、べたつきは付着力によって説明することが可能であり、異なる物理現象として解釈できる可能性が示された。

(5) 物理量を用いた化粧水の特性の検討

これらの結果から、「しっとり感」が高く「べたつき」の少ない理想的な触感を持つ化粧水的设计指針について議論する。図 13 に、付着力積分値を横軸に、接触角を縦軸に取り、今回用いたサンプルをプロットしたものを示す。この図と官能値のプロットを示す図 4 とを比較すると、類似したプロットになっていることが分かる。そのため、より理想的な触感を持つ化粧水の構成成分的设计のためには、図 13 において左上にくるようにすること、すなわち、皮膚を模擬した基板に対する接触角が小さく、付着性の小さいものが理想的であると考えられる。

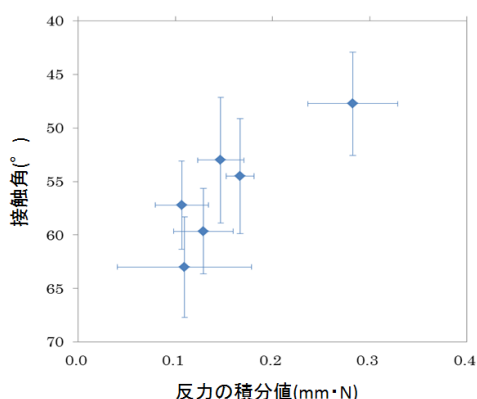


図 13 接触角と付着力の関係

(6) 研究成果のまとめ

本研究では、特定の触感を引き起こす微構造の特徴を解明し、目的とする触感を正確に再現する材料的设计を行うことを試みた。具体的には、統計学的に類似した内部構造を持つ触感にもかかわらず快と不快を示す、「しっとり感」と「べたつき」のそれぞれの物理的な現象を検討した。その結果、しっとり感は基板に対する接触角、べたつきは付着力によって説明することが可能であることが示された。このように、触動作をもとに触感を物理量に関係づけ、物理量が目標値の範囲内になるように微構造を制御することで、目的とする触感を持つ材料を設計できる可能性が示された。

今後は、類似した感覚で快と不快を示す触感について、さらに汎用的な解釈や材料設計を行うための検討を行っていく予定である。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕(計 2 件)

Y. Akiyama, F. Mishima, S. Nishijima, Fundamental Study on Formulation Design of Skin Care Products by Modeling of Tactile Sensation, Engineering in Medicine and Biology Society (EMBC), 2013 35th Annual International Conference of the IEEE, 2013, pp.4577-4580. (査読有)

DOI: 10.1109/EMBC.2013.6610566

秋山庸子, 触感を引き起こす巨視的・微視的メカニズムの検討, C&I Commun コロイドおよび界面化学部会ニュースレター, Vol.38, No.2, 2013, pp.28-31. (査読有)

DOI: 1024855

〔学会発表〕(計 9 件)

Y. Akiyama, F. Mishima, S. Nishijima, Fundamental Study on Formulation Design of Skin Care Products by Modeling of Tactile Sensation, 35th Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society 2013, 2013 年 7 月 3 日 ~ 7 日, Osaka, Japan.

T. Mori, Y. Akiyama, S. Nishijima, Fundamental Study on Tactile Sensation of the Towel During Wiping, 35th Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society 2013, 2013 年 7 月 3 日 ~ 7 日, Osaka, Japan.

秋山庸子, 松江由香子, 森達也, 西嶋茂宏, コアセルベートによる毛髪すべり性向上の微視的機構の検討, 第 64 回コロイドおよび界面化学討論会 第 4 回日豪シンポジウム, 2013 年 9 月 18 日 ~ 20 日, 名古屋工業大学.

秋山庸子, 触感の物理モデル構築とそれに基づく材料設計, 日本油化学会 第 60 回界面化学部会秋季セミナー, 2013 年 10 月 31 日 ~ 11 月 1 日, ホテル箱根アカデミー (招待講演).

〔図書〕(計 1 件)

秋山庸子, 西嶋茂宏, 化粧品、医薬品、健康食品、美容、生活用品における皮膚の測定・評価法バイブル 第 2 部 各種製品の評価編, 第 5 章 pp.535-541, 株式会社技術情報協会, 2013 年 5 月

6. 研究組織

(1) 研究代表者

秋山 庸子 (AKIYAMA, Yoko)

大阪大学・大学院工学研究科・講師

研究者番号: 50452470