

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 29 年 4 月 8 日現在

機関番号：14401

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2014～2016

課題番号：26330309

研究課題名(和文) 高次な触感設計を目指した快・不快の物理モデルの構築

研究課題名(英文) Construction of physical model of pleasure-unpleasure toward higher tactile design

研究代表者

秋山 庸子 (Akiyama, Yoko)

大阪大学・工学研究科 准教授

研究者番号：50452470

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,600,000円

研究成果の概要(和文)：本研究は、触感の快・不快情動に対応する物理的条件を明らかにすることで、「心地よさ」をもたらす材料を設計することを目的とした。統計学的手法をもとに快・不快を決定づける物理的特徴を俯瞰し、さまざまな触対象に適用できる快・不快の定量的解釈を行った。その結果、流体の触感の快適性は不快因子が取り除かれることに対応しており、一方で固体の触感の快適性に関しては不快因子の寄与が小さく、快因子が大きく寄与していることが分かった。また物理的条件としては、流体の不快因子は特定の物理量と比例関係にあるのに対し、固体の快因子に関しては、単純な比例関係ではなく極大値を持つ特性を持つことが示唆された。

研究成果の概要(英文)：The objective of this study is to clarify the physical condition of pleasure-unpleasure emotion and to design the material that induces "comfort". In this study, to understand the physical feature of pleasure-unpleasure emotion by statistical analysis of the values of sensory evaluation and physical measurement. As a result, pleasure-unpleasure of tactile sensation of fluid strongly depends on discomfort components whereas that of solid largely depends on comfort components, not on discomfort components. In addition, uncomfortable tactile sensation of fluid is in proportion to some particular physical values, whereas comfortable tactile sensation of solid do not have proportional relation with any physical values but have the relation with maximal value.

研究分野：感性工学，コロイド界面化学

キーワード：触感 快・不快 官能評価 物理量

1. 研究開始当初の背景

快・不快は、感覚受容器への刺激を総合的に判断して引き起こされる高次な情動である。体性感覚である触感の快・不快は、年齢、性別、人種による触刺激に対する感度の違い、季節や気候の影響は見られるものの、個人差は少ないという特徴がある(表1)。例えば一般に、繊維製品の触感では、「ふんわり」「さらさら」なものが好まれ、「ごわごわ」「ばさばさ」したものは好まれない。また化粧品や軟膏のような、塗布して用いるものの触感では「しっとり」「なめらか」なものが好まれ、「べたべた」「ぬるぬる」したものは好まれない。このように、触感を表す形容詞やオノマトペの多くが快あるいは不快のいずれかに明確に分類することができるにも関わらず、それらがどのような基準により決定づけられているのかは未だ解明されていない。

表1 体性感覚、特殊感覚の快・不快の個人差の特徴

	触覚 (体性感覚) の快・不快	視覚・聴覚・ 嗅覚・味覚 (特殊感覚) の快・不快
年齢、性別、 人種による差	大きい	大きい
個人の嗜好による差	小さい	大きい

一方で、特殊感覚、すなわち視覚、聴覚、味覚、嗅覚においては、同じ年齢、性別、人種でも個人の嗜好により快・不快と感じる刺激はかなり異なる傾向がある。それにも関わらず、快・不快に関する定量的検討は特殊感覚のほうが進んでいると言える。例えば嗅覚においては快・不快を引き起こす成分やその濃度、視覚においては色温度と人の心理との関係が広く研究されている。聴覚についても、不快を引き起こす音圧や周波数帯域が明らかになっている。

本研究で対象とする触感の快・不快については、心理学・言語学的な評価は行われているものの、快・不快の物理的因子の解明や生理学的反応に関する検討は進んでいない。この理由として、まず物理的因子については、快・不快を示す触対象や官能評価項目が多様多様であり、それぞれの材料や官能評価項目に特化した個別の解釈にとどまっているためと考えられる。また生理学的反応については、触感が刺激の小さい反応である上に能動的な動きにより引き起こされる感覚であるため、生体信号の変化として捉え難いためであると考えられる。本研究では上記の課題を

克服し、多くの人が共通認識を持つ触感の快・不快の物理的条件を見出すことで、快・不快情動を惹起する高次な触感設計を行う。

当初の仮説では、図1に示すように、快・不快の度合いは、特定の物理量または複数の物理量を組み合わせた関数に対し、(a)比例する、(b)閾値を持つ、(d)飽和値を持つ、(c)極大値を持つという場合があると考えられる。この仮説の検証を行う。複数の物理的条件の組合せにより快・不快が惹起される場合は、その条件の定式化、あるいはマッピングによる視覚化を行う。また異なる材料カテゴリにおける快・不快の共通性と特異性についても検討した。

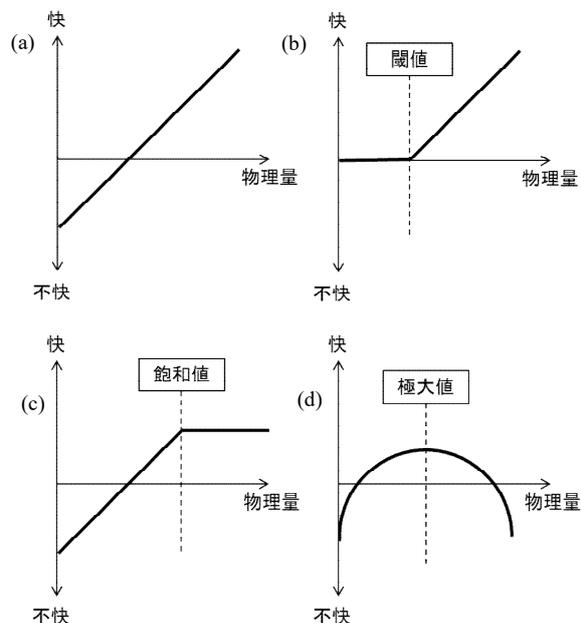


図1 快・不快と物理量の関係についての仮説 (軸の反転やグラフの上下平行移動も想定される)

2. 研究の目的

本研究では、どのような物理現象が快・不快をそれぞれ引き起こすのかを明らかにする。例えば、触感の一般的な因子として粗滑、硬軟、乾湿、温冷などが報告されており、申請者の研究により、触対象が流体の場合は水分蒸散、粘性、摩擦などの因子も抽出されている。これらの因子に対応すると考えられる表面粗さ、弾性率、粘性率、水分量、比熱などの物理量がどのような条件の場合に快・不快が引き起こされるかを定式化するための、物理量の閾値、あるいは複数の物理量に依存する関係式を見出す。さらに、どのような物理的刺激が快または不快を惹起するのかを、触動作、皮膚や触対象の変形、皮膚と材料との摩擦等の相互作用に着目して明らかにする。このことにより、機能性が飽和に達しつつある現代のものづくりにおいて、製品に高次の付加価値を与えるための汎用的な手法

が構築されると考えられる。

本研究は以下の3つの段階から成る。

- ①触対象材料と官能評価項目の系統化
- ②快・不快の物理モデルの構築
- ③官能評価・生体計測による物理モデルの妥当性評価

本研究は、幅広い触対象と官能評価項目を俯瞰した快・不快の物理的要因を明らかにすることが特徴である。

3. 研究の方法

(1) 触感に関わる内的・外的因子の系統化

まず、触感に関わる官能評価項目、触対象、触り方、内的・外的因子を整理し、その系統化を行った。論文等より抽出した固体・液体の触感に関する官能評価項目（形容詞等45項目、オノマトペ49項目）について、アンケート調査により“快”・“不快”・“どちらでもない”の3つに分類した。さらに、日常生活でヒトが触る様々な触対象を、その物理的性質によって系統的に分類した。触感においては材料の変形が重要であるため、分類の際には材料力学分野における分類方法を参考にした。

(2) 官能評価

上記の系統化を行ったうえで、触対象としての不定形体（流体）の一例として、日常的に触るものとして化粧水を取り上げた。また成形体（粘弾性体）の一例として、皮膚を取り上げた。今回は流体と固体の触感を一連の実験によりほぼ同一条件で評価するため、化粧水を皮膚に塗布したときの、塗布時、塗布直後、塗布30分後の官能評価を行い、皮膚表面の流体が蒸発乾燥してゆき、流体の触感から徐々に粘弾性体の触感に変化していく過程を経時的に検討できるようにした。

市販3社のさっぱりタイプ（以降 Type F (Fresh)）、しっとりタイプ（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」、「こったり感」、「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。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。

(3) 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。

(4) 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。

(5) 官能評価と物理的特性の統計学的手法による解析

上記(1)～(3)の実験によって得られた官能評価、物性、皮膚特性に関して、統計解析ソフト（エクセル統計、㈱社会情報サービス）を用い、多変量解析（相関行列、因子分析、主成分分析、重回帰分析）を行い、各項目どうしの相関、主因子や主成分の検討を行った。これらの結果から快・不快にかかわる因子や、高い相関を持つ項目、および、快・不快を表す式の検討を行った。

4. 研究成果

(1) 触感に関わる内的・外的因子の系統化

触感に関わる官能評価項目の整理の結果を示す。ここでは触対象を指定せず、広く触感を表す言葉を関連論文等から抽出した。これらの触感を快・不快・どちらでもない、の3つのカテゴリのどれに分類されるかをアンケート調査により分類した。その結果を表2に示す。快・不快に関しては、すべての被験者に共通して快あるいは不快と判断された項目を挙げ、被験者により見解の異なった項目については“どちらでもない”に分類している。

この結果から、形容詞、オノマトペのどちらにおいても、明確に快・不快のいずれかに分類された言葉は、主として物理学的に湿り、

粗さ、粘性に関連していたのに対し、“どちらでもない”に分類された言葉は、主として冷たさ、硬さ、粘弾性に関連している傾向が見られた。

ここで、快と分類された言葉を物理学的な言葉で説明すると、湿り気が多く、摩擦が少なく、適度な粘弾性があることと解釈することができる。一方で不快と分類された言葉は、粘性が高く、表面が粗く、乾燥していて、刺激のある状態であると解釈することができる。快における“適度な”という解釈については、図2(d)の仮説で示した極大値に対応すると予想されたため、後述する物理特性との関連において再度検討する。

表2 触感官能評価項目の快・不快の分類

形容詞等		
快	どちらでもない	不快
あたたかい	かたい	あぶらっぽい
うるおい	乾いた	違和感
高級感のある	均一な	うわすべりする
コシがある	クリーミーな	きしむ
しっとりした	こくがある	ばさつき
しなやかな	こってり感	べたつき
すべりのよい	さっぱりした	べとつき
清涼感	ざらついた	ムラのある
ソフトな	シャキッとした	安っぽい
つるんとした	シャリ感	
なじみのよい	とろみのある	
なめらかな	ぬるつきのある	
ハリがある	ねばっこい	
ふんわりした	のびがよい	
みずみずしい	ひんやりした	
リッチな	膜厚な	
	マットな	
	まろやかな	
	密着感	
	やわらかい	

オノマトペ

快	どちらでもない	不快
さらさら	かさかさ	がさがさ
すべすべ	くにかくにや	からから
つるつる	ぐにかくにや	ぎざぎざ
ふかふか	くによくよ	ぎとぎと
ふさふさ	こちこち	けばけば
ぶちぶち	ごつごつ	ごわごわ
ぷるぷる	こりこり	じよじよ
もちもち	ごりごり	しわしわ
	ざらざら	ちくちく
	しゃりしゃり	とげとげ
	じやりじやり	ぬるぬる
	すーすー	ねちゃねちゃ
	するする	ねちょねちょ
	とろとろ	ねとねと
	にゆるにゆる	ばさばさ
	ぬめぬめ	ぶつぶつ
	ねばねば	べたべた
	ひやひや	べとべと
	ふにやふにや	
	ぶにゆぶにゆ	
	べとべと	
	へなへな	
	ほかほか	

ここまでの検討では、触感を示す言葉に関しては触対象を指定せずに議論したが、次の段階として触対象の系統化を行った。前述の快・不快・どちらでもない、の分類については実際には固体・液体・どちらでもない、の3項目との二次元系で被験者に言葉のマッピングを行ってもらったが、触対象に関しては被験者によりかなりばらつきがあったため、表2では触対象による分類は行わなかった。これは、触対象を固体・液体よりもさらに細かく分類する必要性を示している。そこで表3の通り触対象の分類を行った。能動的触知による物質の変形の観点から、変形の有無、変形の可逆性、不定形体に関してはその性状により分類することで、触対象と手の物理的相互作用をより明確にする観点から分類したものである。

表3 触対象の系統化

種類	性質	具体的な材料の例		
		木材	陶器	石
剛体	変形しない	サンドペーパー	プラスチック	金属
		ゴム	スポンジ	パネ
弾性体	変形するが元の形状に戻る	紙	布	皮革
塑性体	変形すると元の形状に戻らない	アルミホイル	ビニール袋	紙粘土
粘性体	粘性の高い液体やゲル	水糊	洗顔ジェル	軟膏
流体	粘性の低い液体	水	化粧水	エタノール
粉体	固体の微粒子	片栗粉	砂	ファンデーション

また表3に示した様々な触対象を触る際のあらゆる状況を想定し、触感に影響する因子を抽出した結果を図2に示す。

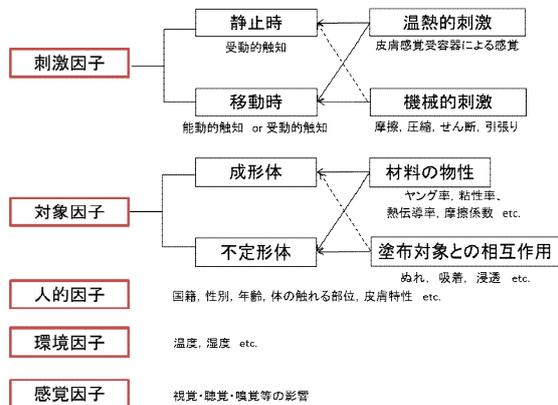


図2 触感に影響する因子

表2において、快・不快の“どちらでもない”と分類された言葉が、形容詞、オノマトペのいずれにおいても約45%と半数近くみられたが、これは、図2に示すような触対象、環境の温湿度、被験者の性別、触り方などを特定することにより、さらに明確に快・不快に分類される項目が増加すると考えられる。これらの因子、すなわち触の条件を統一することにより、快・不快の物理的因子をさらに詳細に定義づけることができる可能性が示された。この結果をもとに、後述の物理的な解釈の実験においては、触対象と触る条件をで

きる限り明確にして実験を行った。

(2) 触対象による快・不快の官能評価の特徴

触対象として、日常的に触るものであり、また触る目的が明確なものとして市販の化粧水を取り上げた。化粧水を使用するのは主に女性であるため、被験者は20代から40代の女性とした。化粧水の触感に関連する官能評価項目をアンケート調査により抽出し、形容詞32項目、オノマトペ10項目および“快適性”“嗜好”を加えた全44項目についての官能評価を5段階のSD法にて行った。N数は18である。流体と弾性体の双方の評価を行うため、塗布時、塗布直後、塗布30分後（ほぼ皮膚表面の化粧水が乾燥後）の3回の官能評価を行った。

得られた結果に対し、相関行列を算出し、無相関の検定を行った。有意な相関が得られた官能評価項目について表4に示す。なお快適性と嗜好は、3つの段階のいずれにおいても相関係数0.95以上の高い相関を示した。

明確な特徴として、(a)の塗布時、すなわち流体に触っている状態において、快適性あるいは嗜好と有意な相関を示した官能評価項目は、すべて負の相関を示し、また表2に示した「べたつき」、「違和感」、「ぎとぎと」、「ねとねと」、「ぬるぬる」など、不快を表す項目と多くが一致した。

表4 快適性・嗜好と高い相関を持つ官能評価項目

(a) 塗布時 (*p<0.05, **p<0.01)

	快適性	嗜好
膜厚感	-0.55*	-0.58*
べとつき	-0.45	-0.49*
カバー力	-0.72**	-0.74**
うわすべり	-0.68**	-0.68**
違和感	-0.68**	-0.71**
にじみ	-0.51*	-0.53*
べたつき	-0.50*	-0.54*
ぬるつき	-0.52*	-0.56*
ぎとぎと	-0.64**	-0.67**
ぬめぬめ	-0.46	-0.51*
べたべた	-0.45	-0.49*
ねとねと	-0.62**	-0.67**
ぬるぬる	-0.49*	-0.51*

(b) 塗布直後 (*p<0.05, **p<0.01)

	快適性	嗜好
なじみのよさ	0.57*	0.65**

(c) 塗布30分後 (*p<0.05, **p<0.01)

	快適性	嗜好
なめらかさ	0.58*	0.53*
はり	0.47*	0.33
マット感	0.63**	0.59**
なじみのよさ	0.52*	0.43

一方で、表4の(b),(c)に示した、塗布直後および塗布30分後の相関をみると、快適性あるいは嗜好と有意な相関を示した官能評価項目は、すべて正の相関を持っていることが分かる。塗布後時間が経過するにつれて、触対象は流体である化粧水から粘弾性体である皮膚に移行する。このような粘弾性体を対象にした同様の実験では、「なめらかさ」、「はり」、「なじみのよさ」、「マット感」など、表2において明らかに快であることを示した官能評価項目と正の相関を持っている特徴が見られた。

この特徴から、触対象が流体などの不定形体であるか、固体状の成形体であるかによって快・不快の感じ方が大きく異なることが示された。具体的には、塗布された流体の触感の快適性は、不快因子が取り除かれることに対応しており、一方で弾性体の触感の快適性に関しては不快因子の寄与が小さく、快因子が大きく寄与していることが分かった。

(3) 触対象による快・不快の物理的特徴

前述の結果から、快・不快の物理的条件を検討する際には、少なくとも触対象が流体であるか、固体であるかの分類ごとに物理モデルを構築するべきであることが示された。

そこで次の段階として、快・不快を惹起する物理的条件を明らかにするため、塗布時、塗布直後、塗布30分後のそれぞれについて、化粧水の物理特性の計測および、皮膚特性の計測を行った結果との相関行列を算出した。その結果を表5に示す。ここでは、3(3)、(4)に示した物理量および皮膚の生体計測結果のうち、高い相関を示した項目のみを示す。

表5 快適性・嗜好と高い相関を持つ物理特性 (*p<0.05, **p<0.01)

		接触角	粘性率	PS傾き (塗布直後MIU)
塗布時	快適性	0.86*	-0.90*	-0.74
	嗜好	0.93**	-0.83*	-0.84*
塗布直後	快適性	0.53	-0.65	-0.30
	嗜好	0.62	-0.68	-0.47
塗布30分後	快適性	0.62	-0.68	-0.47
	嗜好	0.75	-0.66	-0.58

塗布時、すなわち流体を基板に塗布する際の触感の快適性には接触角、粘性率および摩擦係数変動の周波数解析結果のパワースペクトルの傾きが有意な相関を持つことが分かった。一方で塗布直後、塗布 30 分後の皮膚の触感の粘弾性体の快適性に関しては、有意な相関を持つ物理的特性が見られなかった。このことから、固体（粘弾性体）の触感の快・不快は、特定の物理量と単純な比例関係を取るのではなく、物理量がある一定の値で快適性が極大値を持つ特性を持つことが推測された。

ここで、表 2 の結果の解釈に戻ると、固体（粘弾性体）の快適性については、適度な水分、適度な摩擦、適度な粘弾性があることが必要条件であると考えられることができる。一方で、流体に対する快適性は不快因子の除去により惹起され、かつ不快因子は特定の物理量と比例関係にあるため、最適値があるのではなく、不快因子と対応する物理量を 0 にすれば快適性が惹起されると考えられる。

(4) 結論

本研究により、流体の触感の快適性は不快因子が取り除かれることに対応しており、一方で固体の触感の快適性に関しては不快因子の寄与が小さく、快因子が大きく寄与していることが分かった。また物理的条件としては、流体の不快因子は特定の物理量と比例関係にあるのに対し、固体の快因子に関しては、単純な比例関係ではなく極大値を持つ特性を持つことが示唆された。このことから、流体の触感快適性設計のためには不快因子と比例関係を持つ物理量を低下させる方向の材料設計、固体の場合は快適性因子と極大値を持つ関係にある物理量を極大値に近づける方向の材料設計が有効である可能性が示された。

5. 主な発表論文等

[学会発表] (計 5 件)

- ① 秋山庸子, 森達也, 西嶋茂宏, 皮膚表面における塗布剤のレオロジーと触感, 第 37 回日本バイオレオロジー学会年会, 2014 年 06 月 05 日～2014 年 06 月 06 日, 大宮ソニックシティ
- ② Y. Akiyama, Y. Matsue, T. Mori, S. Nishijima, Study on the Mechanism of Change in Frictional Property of Human Hair by Shampoo, International Symposium on Rheology (国際学会), 2015 年 09 月 23 日～2015 年 09 月 25 日, Kobe, JAPAN
- ③ 秋山庸子, 松江由香子, 森達也, 西嶋茂宏, シャンプー剤中の塩が毛髪すべりに与える影響, 第 67 回 コロイドおよび界面化学討論会, 2016 年 09 月 22 日, 北海道教育大学旭川校
- ④ 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?～,

技術情報協会セミナー 触り心地の測定・評価・解析技術 (招待講演), 2016 年 07 月 27 日, 日幸五反田ビル・技術情報協会セミナールーム

- ⑤ 秋山庸子, 材料の触感設計のための手法と課題, 触り心地の定量評価と製品開発への応用 ～触感と物理量の関係性～ (招待講演), 2017 年 03 月 21 日, 日幸五反田ビル・技術情報協会セミナールーム

[図書] (計 6 件)

- ① 秋山庸子, 「官能評価活用ノウハウ・感覚の定量化・数値化手法」, 分担共著, 第 6 章 官能評価でよく起こる問題, トラブル第 1 節 機器測定と官能評価のデータ相関, pp. 153-155, 株式会社技術情報協会, 2014 年 6 月
- ② 秋山庸子, 「化粧品に求められる使用感の共有と感性価値の数量化・定量化」 分担共著, 第 3 章 触感・肌触りの発現メカニズムと数値化・定量化～使用感を科学する～, 第 1 節 使用感に影響を与えるさまざまな物理的因子と人の感性との相関, pp. 27-37, サイエンス&テクノロジー, 2014 年 10 月
- ③ 秋山庸子, 「エマルションの特性評価と新製品開発, 品質管理への活用」, 分担共著, 第 5 章 化粧品分野におけるエマルションの分析, 製品評価, 第 3 節 スキンケアエマルジョンのレオロジー測定と使用感評価, pp. 289-292, ㈱技術情報協会, 2014 年 10 月
- ④ 秋山庸子, 「表面・界面技術ハンドブック～材料創製・分析・評価の最新技術から先端産業への適用, 環境配慮まで～」, 分担共著, 第 3 編 表面・界面技術から見た日本の先端技術, 第 9 章 スキンケア, 第 2 節 皮膚の触感とトライボロジー, ㈱エヌ・ティー・エス, 2016 年 4 月
- ⑤ 秋山庸子, 「衛生製品とその材料開発 事例集-紙オムツ, 生理用品, マスク-」 第 6 章 繊維製品の肌触り, 快適性評価・2 節 触感の定量評価とその繊維製品開発への応用, pp. 210-214, ㈱技術情報協会, 2016 年 12 月
- ⑥ 秋山庸子, 専門著書, 触り心地の制御, 評価技術と 新材料・新製品開発への応用, ㈱技術情報協会, 2017 年 02 月

[その他]

ホームページ等

<http://www.see.eng.osaka-u.ac.jp/seeqb/seeqb/>

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・准教授
研究者番号：50452470