

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 28 年 6 月 8 日現在

機関番号：13601

研究種目：基盤研究(B) (一般)

研究期間：2013～2015

課題番号：25280099

研究課題名(和文)感性計測による着衣快適感のメカニズム解明と評価に関する研究

研究課題名(英文)Studies on analysis and evaluation method of clothing comfort using by Kansei measurement

研究代表者

上條 正義(KAMIJO, Masayoshi)

信州大学・学術研究院繊維学系・教授

研究者番号：70224665

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 13,400,000円

研究成果の概要(和文)：着心地に影響を与える3つの要因：被覆圧迫、衣服内気候、肌触り接触特性に伴う刺激を人に呈示する繊維試料を用意し、刺激量と心理・生理指標の計測から健康学的に快適および不快影響を定量的に表現する方法の検討が本研究の目的である。この目的のために、4つの研究を実施した。(1)各種素材を混紡した糸による肌着の着衣快適感の研究、(2)相変化材料による寝具を用いた温熱刺激に伴う生理反応、(3)ウエストベルトによる被覆圧迫刺激に伴う生理反応、(4)3軸加速度センサによる弾力感評価方法の検討を行った。各刺激に対する心理生理反応のデータが得られ、着心地評価方法について基礎データが得られた。

研究成果の概要(英文)：The purpose of this study is to investigate a measuring method of relationship between comfortable feeling and stimulus based on clothing pressure, micro-climate and touch properties according to clothing comfort. To do this, we have carried out four researches. (1) Study on the effect of blending in material property for knitted fabrics with some materials fiber, (2) Measurement of psychophysiological responses with respect to thermal stimulus in bedding that utilized phase change material, (3) Measurement of psychophysiological responses by clothing pressure to abdomen by using waist-belt, (4) Investigation on fundamental elements of evaluation system of fluffy sensation by using 3 axis accelerometer. The data of the psychophysiological responses to each stimulation was obtained, and we derived some elements to evaluate clothing comfort.

研究分野：感性工学

キーワード：感性計測 着心地 心理生理反応 快適感 接触感 圧迫感

1. 研究開始当初の背景

従来、着心地の評価は、KES や JIS に規定された方法によって布地の持つ表面特性、曲げ特性、引張り特性、せん断特性、圧縮特性等の布地が持つ物理特性を測定して推定されることが多かった。さらに、人間を主体とした評価としては、官能検査によって評価する方法が多く用いられてきた。これに対して近年、着心地評価において生理反応を測定することによって評価する生理的評価方法が注目されている。生理反応の計測による評価の利点は、無意識下において、呈示刺激が健康学的に見て快適/不快な影響を人体に与えているかを快適と不快を区別して評価できることにある。本研究は、物理的な刺激に対する人の生理反応を測定して、刺激と測定することができる多くの生理反応との対応関係を求め、着心地を評価するために複数の生理指標を計測することによって着衣による健康学的に良い影響や悪い影響を評価できる点が特徴である。

物質的な性能からの視点による快適性評価方法ではなく、モノの特性や性能と人の関係性を心理生理反応計測から明らかにし、人間に対するポジティブな影響である快適状態を計測評価する方法を作成する感性工学に基づいた研究が期待されていた。

2. 研究の目的

着心地に影響を与える3つの要因：衣服圧、衣服内気候、肌触り接触特性がある。これらの要因における刺激の物理量と心理・生理指標との関係から健康学的に快適な影響もしくは、不快な影響を与えるかどうかを明らかにすることが、着心地評価の課題である。本研究では、着心地の3要因に対応した快適感が得られると考えられるサンプルを作製し、そのサンプルの仕様に基づく物理刺激および人に接触した際の心理生理反応および行動の計測から評価する方法を構築するための要件を明らかにすることを目的としている。作製されたサンプルを着衣もしくは人体に接触させたとき、心拍変動、発汗、末梢血流、脈波、血圧、呼吸変動、アミラーゼ活性、脳活動などの生理反応のうち、どの生理指標がどんな刺激に対応して変化するか確認し、刺激の種類と生理指標および生理指標間の関係性を明らかにする。さらに、着衣による快適/不快の影響の発生要因であるサンプルの特性を3次元力覚センサによって得られる信号から推定する着衣快適感の評価を目的とした接触感計測評価システムを試作するための要件を明らかにすることを目指す。

3. 研究の方法

(1) サンプルの作成

着心地は3つの要因：被覆圧、衣服内気候、表面特性(肌触り)によって構成されるため、これらの刺激が人に呈示

できるためのサンプル作りおよび収集を行う。さらにその材料特性を測定する。

① 実験サンプルの設計・作製

着心地3要因を総合的な刺激呈示サンプルとして肌着、温熱刺激として寝具、体幹部圧迫刺激としてウエストベルト、肌触り刺激としてパイル布地を設定した。

【総合刺激：肌着】素材として、衣服用に用いられる人工繊維と天然繊維を混紡した糸を作製し、布地および衣服布を作製する。混紡糸の素材としては、ポリプロピレン(PPy と称す)、吸水性能の向上を目的とし異形断面加工されたポリエステル(CPETy と称す)、カチオン染料により常圧染色が可能なポリエステル(CDPETy と称す)、レーヨン(Ry と称す)、綿(Cy と称す)、ナイロン(Ny と称す)、アクリル(Acy と称す)、ウール(Wy と称す)を混紡した糸を作り、20 デニールのポリウレタン(Pu と称す)と交編した平編の生地を8種類作製する。さらに、これらの布地から長袖Tシャツを着衣実験用のサンプルとして作製する。

【温熱刺激：寝具】

暑熱および寒冷環境において温度を一定温(32±1℃)に調節する機能をもつといわれる相変化材料のマイクロカプセルが混入された繊維素材(以後、PCM と称する)PCMによって寝床内気候が制御できれば、温熱刺激が良い睡眠を促進することになる。そこでPCMを含んだベッドパッド、上掛けおよび枕パッド(以後PCM寝具と称す)とPCMを含まないベッドパッド、上掛けおよび枕パッド(以後ノーマル寝具と称す)を作製した。これらの寝具で実際に終夜睡眠実験を行うことにより、寝具の温熱特性の違いが代謝が抑制された人の心理生理反応に与える影響が評価できる。

【圧迫刺激：ウエストベルト】幅5cmの非伸縮性のウエストベルトを用意する。

【肌触り刺激：滑らかな布地】繊維素材が異なるパイル製品から肌触りの良い生地と悪い生地を用意する。

② 材料特性評価

布地の材料特性(表面、圧縮、引張、せん断、温熱、通気、透湿、吸水乾燥など)をKESやJISに基づく測定方法で測定する。

(2) 心理・生理反応計測方法の検討

心理的な印象は、官能検査で測定する。生理反応(脳活動、心電図、筋電図、発汗、皮膚表面温度、呼吸、末梢血流、アミラーゼ活性)を測定し、これらのデータから評価指標となる可能性がある値を算出した。

- ① 肌着および寝具による温熱刺激による心理生理反応計測
- ② 体幹部圧迫による心理生理反応計測
- ③ 繊維製品による肌触り刺激による心理生理反応計測

(3) 着衣評価のための接触快適感計測評価システムの試作研究

繊維製品と接触した際の心理生理反応の計測結果を参考に、人が感じている接触感を評価できる新たな物理指標を特定するために、刺激物理量と心理反応、生理反応からの評価される快適/不快状態との対応関係を調べることによって、現在人間しか評価できない被服材料特性が測定できる接触快適感計測評価システムを構築するための検討を行う。3軸力覚センサを3軸直交マニピレータに装置し、人間の動作を規範した動作をさせることによって、ふかふか感、弾力感などのポジティブ影響に関連する物理特性が測定できる装置を検討する。本研究では、タオルのふかふか、ふわふわ感の評価を題材に、3軸力覚センサからの出力波形の解析からふかふか、ふわふわ感の評価できる指標の特定を行う。

4. 研究成果

(1) 実験サンプルの設計・作製

【総合刺激サンプル：肌着】

8種類の編布:PP/Pu, CDPET(混用率:91/9%)、PP/MCPET/Pu, PP/R/Pu, PP/N/Pu, PP/C/Pu, PP/Ac/Pu, PP/W/Pu(混用率:46/45/9%)をダイワボウノイ株式会社の協力を得て作製した。

力学特性として、伸長、せん断、曲げ、圧縮、表面の各特性をカトーテック社製 KES-FB システムを用いて測定した。伸長特性として引張り直線性(LT)、引張りレジリエンス(RT)、引張り仕事量(WT)、引張り歪み(EMT)を測定した。せん断特性として標準測定条件によりせん断剛性(G)、せん断角0.5°でのヒステリシス幅(2HG)を測定した。曲げ特性として標準測定条件にて曲げ剛性(B)、曲げヒステリシス幅(2HB)を測定した。圧縮特性として高感度測定条件にて圧縮直線性(LC)、圧縮レジリエンス(RC)、圧縮仕事量(WC)を測定した。表面特性として標準測定条件にて平均摩擦係数(MIU)、摩擦係数の変動(MMD)、表面粗さ(SMD)を測定した。厚み(Th)は荷重0.5gf/cm²下で測定し。重さ(We)は単位面積あたりの重量である。測定した結果を図1に示す。

肌着サンプルの材料特性として、以下の結果が得られた。基本力学特性においては、糸を構成する繊維本数(糸織度)の効果と比重の差によって変形回復性に影響が出ることが分かった。異形断面ポリエステルやナイロンやアクリルを混紡した場合は比較的PPの特性は損なわれないことが明らかになった。

【温熱刺激サンプル：寝具】

PCMと組み合わせる繊維としてポリエステルを選択した。試料を統一させるためノーマル寝具においてもポリエステル繊維を使用

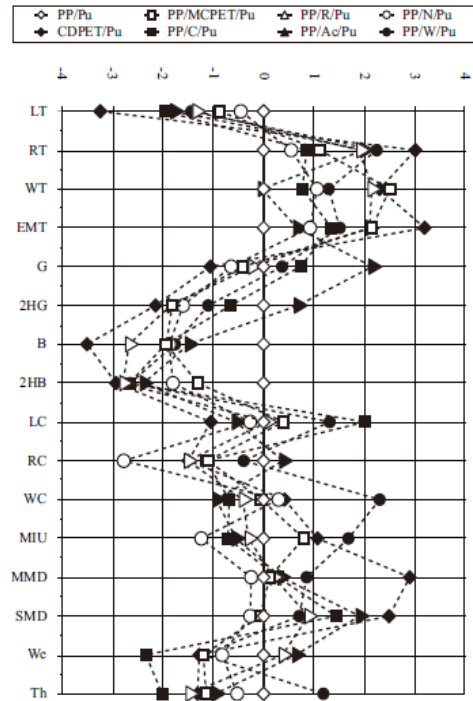


図1 材料特性の結果

している。PCM入ベッドパッドはPCMが混入したポリエステル繊維の不織布とポリエステルの中綿を綿の布で覆っている構造を持つ。枕パッドはベッドパッドと同様の組成である。PCM入上掛けパッドはPCMが混入したポリエステル繊維とポリエステルだけの繊維による中綿を綿の布で覆った構造を持つサンプルを用意した。PCM無上掛けは、ポリエステル繊維のみの中綿で構成されている。

PCM寝具がどのような温熱特性を持っているのか明らかにする実験を行った。温熱特性実験は標準状態(温度20℃、湿度65%)に設定した恒温恒湿室で行った。精密迅速熱物性測定装置(KES-F7:カトーテック製)を利用し、発泡スチロールを試験台としてその上に試料を置き、35℃の熱板(有効測定面積:50cm²)を試料の上に乗せた。熱板を35℃に保つために使用する電力量の推移の違いから両試料の温熱特性を評価した結果、接触後から180秒間の変化において試料間に危険率1%で有意差が認められた。PCMは熱源からの吸熱を行い熱平衡になることから、人が接触した際は冷やとした感触与える特性を持つ可能性を得た。

(2) 心理・生理反応計測方法の検討

① 肌着および寝具による温熱刺激による心理生理反応計測

【肌着】

ポリプロピレン(PP)とポリエステル(CDPET)、綿、毛、ポリウレタン(Pu)をそれぞれ混紡したPP混紡編布による肌着を3種類:PP/CDPET/Pu, PP/C/Pu, PP/W/Pu(混用率:46/45/9)を作製し、着衣状態で生理反応(心電図・呼吸・末梢血流量・皮膚平均温度・

平均衣服内温湿度)と心理反応を計測して温熱快適感を評価した。

着衣状態で、生理反応と心理反応を計測した。生理反応計測では心電図、呼吸、末梢血流量、皮膚表面平均温度、平均衣服内温湿度を計測した。心理反応はSD法と順位法により計測した。実験プロトコルとして快適な環境から肌寒い環境に移った後に身体が冷えていく過程と運動後に身体を冷えていく過程の2つとした。実験は20°C、65%RHの人工気象室で実施した。実験プロトコルを図2に示す。入室20分後から30分後まで、被験者はエルゴメーターによる運動を心拍数が安静時に比べ20%から30%増加する範囲として実施した。心電図・呼吸・末梢血流量のデータの測定時間は2分間とした。順位法による官能検査は、全サンプルについて実験が終了後、被験者が脱衣し、着替え終わった後に実施した。被験者は健康な20代の男子大学生5名であった。

有効被験者4名について着衣時の自律神経活動指標(LF/HF)を求めた結果、運動終了から18分後において、分散分析の結果サンプル間に有意差がみられた。多重比較(Tukey法)の結果、運動終了から18分後において、PP/CDPET/PuとPP/W/Puの間に危険率1%の有意差が認められた。PP/W/PuはPP/CDPET/Puに比べ交感神経が亢進しており、運動終了から18分後においてPP/W/PuはPP/CDPET/Puより不快であったと推定される。この原因は水分移動特性が劣り肌触りが悪いことが考察された。

安静時には、熱抵抗が大きいほど皮膚平均温度が高い傾向がみられた。運動後は、水分移動特性が優れるほど皮膚平均温度が下がりにくかった。肌触りが良く、水分移動特性が大きく、熱抵抗が大きいほど主観評価が良かった。PP/CDPET/Puは汗冷えを防ぐ効果が高く、肌触りが良いため、肌寒く発汗をともなう場合の着用特に適し、肌寒い環境では安静時においても快適であることが推測された。

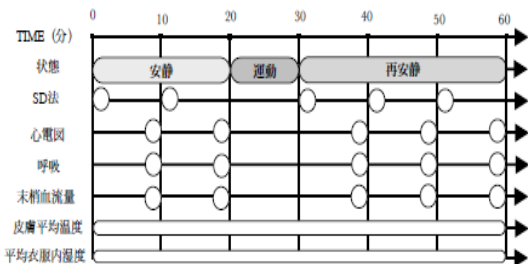


図2 プロトコル

【寝具】

終夜睡眠実験を行った。被験者は健常で、睡眠障害のない男子大学生・大学院生5名であった。生理反応として脳波、眼球電図、頤筋筋電図を導出して睡眠深度を解析ソフトウェア(スリープサイン:キッセイコムテッ

ク)で計算した。実験は恒温恒湿室にて暑熱環境と寒冷環境の2種類の環境下で行った。暑熱環境は終夜一貫して28°C、50%RHとした。寒冷環境においては都心部の冬の寝室の気温変化を参考に0:00~5:00で初期値15°Cから1時間ごとに1°Cずつ気温が下がり、5:00~8:00の間で15°Cまで上昇するプログラムを組んで実験を行った。

結果として、図3に示したように点線までの時間における睡眠深度の平均を求めた結果、ノーマル(PCM無サンプル)に比べ、PCMで入眠が早く、暑熱および寒冷のどちらの環境においても1%水準で有意差が確認された。接触冷温特性が高く、保温性のある刺激に対して、副交感神経を亢進させることが考察された。

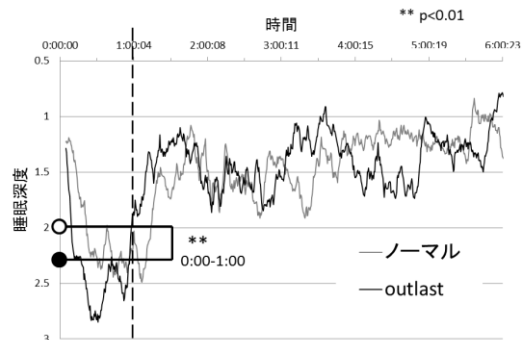
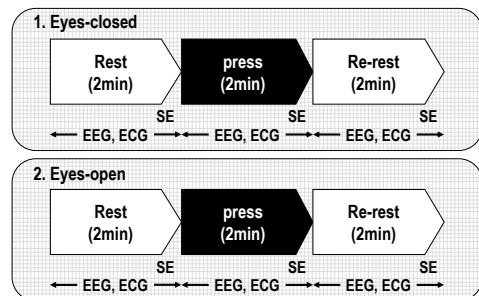


図3 睡眠深度の時間推移の比較(暑熱環境, N=5)

② 体幹部圧迫による心理生理反応計測

ウエストベルトを締めることによる腹部への被服圧に対する生理心理反応について実験的に検証し、心身反応計測から被服圧迫ストレスを評価した。被服圧刺激は、幅4cmの非伸縮性のウエストベルトを用いて腹部を圧迫した。被験者の胴囲に対してベルト長を10%短くした。開眼状態と閉眼状態の二つの視覚条件時における腹部圧迫に対する生理心理反応の違いを検証した。

計測の項目は脳波、心電図、官能検査の3項目とし、被験者は健常な成人9名(男性5名、女性4名)であった。基本環境の恒温恒湿室において測定計測した。被験者はリクライニングシートに着座し、電極貼付後15分間の安静時間を取り、脳波波形および心拍数の安定を確認した後に測定計測を開始した。



SE: Sensory Evaluation EEG: Electroencephalogram ECG: Electrocardiogram

図4 圧迫刺激実験プロトコル

実験は図4に示すように安静2分間、圧迫2分間、再安静2分間の計6分間を1セットとして行った。これを被験者ごとに閉眼状態、開眼状態の2セット行った。脳波は、国際標準10-20電極配置法によるC3, C4, P3, P4の4箇所電極を貼付し、耳朶をアースとした単極導出法で導出した。心電図はサンプリング周波数200Hzで四肢誘導によって導出された。官能検査は、快適感(快適-不快)、圧迫感(圧迫感がある-圧迫感がない)、覚醒感(眠くない-眠い)について、「どちらともいえない」を中心に「やや・とても・非常に」の7段階評定で実施した。

結果として、閉眼状態では腹部圧迫刺激によって交感神経活動が亢進したが、開眼状態では副交感神経活動が亢進することが明らかになった。さらに、開眼状態での評価において心電図から算出された交感神経活動割合(LF/HF)が低くなり、この原因が腹部圧迫による血圧の上昇に反応した圧受容器反射による副交感神経活動の亢進であることを明らかにした。これらの結果から、着心地評価において閉眼状態と開眼状態での評価はそれぞれ分けて考えるべきであること、恒常性維持機能(ホメオスタシス)観点から着衣ストレス評価を行うべきであることを提言できた。

視覚呈示する輝度を変化させた視覚刺激と被服圧による圧覚刺激を組み合わせる単一感覚と複合感覚におけるそれぞれの生理反応の違いを検証し、輝度が高い場合には、脳波が速波化し、圧覚刺激を入力した場合の反応が顕著に見られた。輝度が低い場合には、脳波が徐波化し、圧覚刺激に対する反応が表出しにくかった。これらの結果から視覚刺激の大きさが被服圧に対する生理反応へ影響を与えていることを明らかにした。

圧迫されているという視覚情報の種類の違いによって圧迫による心身への影響変化を検証するために、①ウエストベルトを締めた自身の姿を鏡で見る、②ウエストベルトを締めた他者を見るという被服圧に関する意味を持つ情報を視覚から入力した際の生理反応について実験した。被服圧が呈示された他者を見る状況での自律神経活動が、被験者に実際に被服圧が呈示されている状態やその姿を鏡で見ている際と同様であった。

被服圧が中枢神経系に与える影響を脳活動から評価するための脳活動部位を特定するために、57チャンネルの近赤外分光法(NIRS)によって脳血流動態の計測を全頭で行い、腹部への被服圧によって賦活される脳部位を特定した。

③ 繊維製品による肌触り刺激による心理生理反応計測

滑らかな生地として綿、モダール、キュプラを素材とした編布を用いた。肌触りに関する接触ストレスを生理反応から評価する方法として、心電図から得られるRTI(RとT

波の間隔)が、これまで一般的に用いられるRRI(R波とR波との間隔)よりもバラツキが小さいことから、脈波の波形から得られる特徴量が快適感(滑らかさに伴う接触快適感)を表現できる指標となる可能性を得た。

(3) 着衣評価のための接触快適感計測評価システムの試作研究

厚みのある綿タオルを試料として、手で押し込んだときのふかふか感と言われる接触快適感を評価するために3軸力覚センサを用いる方法について検討した。ふかふか感は試料に物体を衝突させた際の衝撃吸収性と対応関係があると仮定し、力覚センサをタオル試料に落下させた際のセンサに加わる力からふかふか感を推定する装置(図5参照)を試作し検証実験を行った。落下による衝撃値の大きさ(第1ピーク値-第2ピーク値)がふかふか感と相関が高く(図6参照)、評価指標となる可能性を得た。

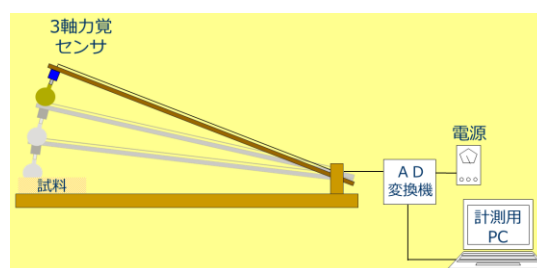


図5 ふかふか測定装置(試作機)

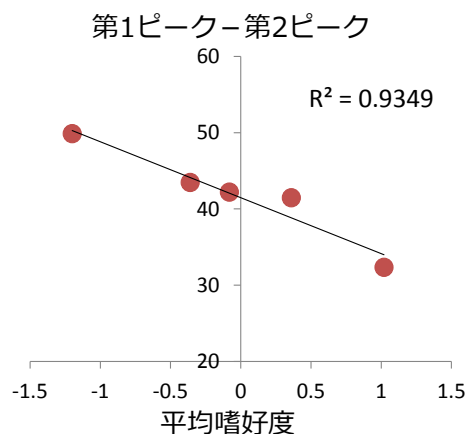


図6 ふかふか感とセンサ出力指標との対応関係

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕(計10件)

- ① 水橋秀章、上條正義、吉田宏昭、久保昌彦、ポリプロピレン混紡糸を用いた編布の物性に及ぼす混紡素材の影響、Journal of Fiber Science and Technology, 査読有, Vol. 72, No. 5, 2016, 104-111, DOI: 10.2115/fiberst.2016-0016
- ② Mayumi UEMAE, Tomohiro UEMAE, Masayoshi KAMIJO, Differences of Psychological and Physiological

Responses between Mono-and Multi-sensory Information on Clothing Pressure Sensation, International Journal of Affective Engineering, 査読有, Vol. 14, No. 1, 2015, 51-56, DOI: 10.5057/ijae.14.51

- ③ 上前真弓, 上前知洋, 上條正義, 井上正雄, 近赤外分光法を用いたウエストベルトによる被服圧下における脳活動計測, 日本感性工学会論文誌, 査読有, Vol. 14, No. 3, 2015, 361-367, DOI: 10.5057/jjske.TJSKE-D-15-00007
- ④ 橋本一馬, 青井政貴, 吉田宏昭, 上條正義, 相変化材料を用いた温熱調節寝具における寝心地評価, 日本感性工学会論文誌, 査読有, Vol. 14, No. 3, 2015, 381-389, DOI: 10.5057/jjske.TJSKE-D-14-00085
- ⑤ 上前真弓, 上前知洋, 上條正義, 輝度変化による視覚刺激が腹部への被服圧に伴う生理反応に与える影響, 日本感性工学会論文誌, 査読有, Vol. 13, No. 4, 2014, 479-484, DOI: 10.5057/jjske.13.479
- ⑥ Yaning LI, Tomomi TSUGAMA, Masayoshi KAMIJO, Hiroaki YOSHIDA, Study on Cardiovascular and Respiratory Responses Relevant to Tactile Softness Evaluation ; Based on ECG and PPG Analysis-, International Journal of Affective Engineering, 査読有, Vol. 13, No. 4, 2014, 269-277, DOI: 10.5057/ijae.13.269
- ⑦ 上前真弓, 上前知洋, 上條正義, 腹部への被服圧が心身に与える影響とその閉眼・開眼における比較, 日本感性工学会論文誌, 査読有, Vol. 13, No. 2, 2014, 403-409, DOI: 10.5057/jjske.13.403

[学会発表] (計 19 件)

- ① 風間泰規, 上前真弓, 吉田宏昭, 上條正義, ふかふか感の計測システムに関する基礎的検討, 計測自動制御学会中部支部シンポジウム 2015, 2015 年 09 月 24 日, 信州大学繊維学部 (長野県上田市)
- ② 上條正義, 上前真弓, 渡邊敬一, ガードルの伸張と衣服圧がきつき感に与える影響, 日本繊維製品消費科学会 2015 年度年次大会, 2015 年 06 月 27 日~2015 年 06 月 28 日, 信州大学繊維学部 (長野県上田市)
- ③ Hideaki MIZUHASHI, Masayoshi KAMIJO, Hiroaki YOSHIDA, Masahiko KUBO, Evaluation of tactile sensation by skin of the knitted fabric with polypropylene blended yarn, International Symposium on Fiber Science and Technology 2014, 2014 年 09 月 28 日~2014 年 10 月 01 日, ビッグサイト東京ファッションタウン (TFT) ホール, (東京)

- ④ Mayumi UEMAE, Tomohiro UEMAE, Masayoshi KAMIJO, Influence of Visual and Pressure Information on Clothing Pressure Sensation - From Evaluation of Autonomic Nerve Activity to Sensory Testing, Kensei Engineering and emotional Research 2014, 2014 年 06 月 11 日~2014 年 06 月 13 日, Linkoping University, (Sweden)
- ⑤ Ya-Ning LI, Tomomi TSUGAMA, Masayoshi KAMIJO, Hiroaki YOSHIDA, Preliminary Study on Physiological Responses Related to Dynamic Contact with Towels -Based on ECG Analysis, Textile Bioengineering and Informatics Symposium 2014, 2014 年 08 月 06 日~2014 年 08 月 09 日, Hongkong polytech University, (China)
- ⑥ Hideaki MIZUHASHI, Masayoshi KAMIJO, Hiroaki YOSHIDA, Masahiko KUBO, Investigation of comfort of underwear made of mixed polypropylene fabric when warming up, 2013 International Conference on Biometrics and Kansei Engineering, 2013 年 07 月 05 日~2013 年 07 月 07 日, 首都大学東京, (東京)

[図書] (計 1 件)

- ① 上條正義, 細谷聡, 吉田宏昭, 堀場洋輔, 高機能性繊維の最前線~医療、介護、ヘルスケアへの応用~, 全 241 頁、第 8 章 (9 頁)、シーエムシー出版, 2014 年 10 月 31 日

[その他]

ホームページ:

<http://soar-rd.shinshu-u.ac.jp/profile/ja.HFfajekV.html>

6. 研究組織

(1) 研究代表者

上條 正義 (KAMIJO, Masayoshi)
信州大学・学術研究院繊維学系・教授
研究者番号: 70224665

(2) 研究分担者

吉田 宏昭 (YOSHIDA, Hiroaki)
信州大学・学術研究院繊維学系・准教授
研究者番号: 40456497

(3) 研究分担者

堀場 洋輔 (HORIBA, Yosuke)
信州大学・学術研究院繊維学系・准教授
研究者番号: 00345761

(4) 研究協力者

上前 真弓 (UEMAE, Mayumi)
信州大学・繊維学部・研究支援推進員
研究者番号: なし