

令和 3 年 6 月 15 日現在

機関番号：14302

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2018～2020

課題番号：18K02238

研究課題名(和文) 熱中症リスクの低減を目指した衣服の圧迫による熱失神予防

研究課題名(英文) Physiological responses during compression on under bust to seek possibility of reducing the risk of heat fainting by clothing pressure

研究代表者

深沢 太香子 (Takako, Fukazawa)

京都教育大学・教育学部・准教授

研究者番号：90423574

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,400,000円

研究成果の概要(和文)：熱失神リスクの低減に、衣服による圧迫が活用しうるか検討するために、本研究では、下部胸囲を圧迫し、人体加温時の生理反応を調査した。下部胸囲を圧迫すると、前腕と背の発汗量は低下する一方、それを補完するために、前額と胸の発汗量は増加した。しかしながら、圧迫が付与されても全身の蒸散量と発汗量は変動しなかったため、体温上昇に圧迫の影響は認められなかった。下部胸囲を圧迫すると、若年者の場合には前額に冷却効果が得られやすく、高齢者の場合には前額皮膚温が高い値を示したことから、頭部における皮膚血流量が増加していたと推察された。このことから、下部胸囲の圧迫は、熱失神予防に活用できる可能性が示唆された。

研究成果の学術的意義や社会的意義

下部胸囲圧迫は体温上昇や全身の発汗量や蒸散量へ影響しないものの、発汗抑制が前腕と背に発現し、その補完のための発汗促進が前額と胸に発現することが明らかとなった。この圧迫による発汗抑制とその修飾反応部位に、若年者と高齢者による違いはない一方、前額温の反応には加齢の影響がみられた。圧迫付与時の方が付与しない場合よりも、若年者の前額は蒸散の冷却効果が得られて低い皮膚温を、高齢者の前額は高い皮膚温を示したことから、頭部への血流量が多かったことが示唆された。これらより、衣服による圧迫が社会的課題である熱中症、特に、熱失神予防のツールとして活用できることが示された。

研究成果の概要(英文)：Physiological responses have been investigated with participants of young and elderly females whether clothing compression can contribute to reduce the risk of heat fainting. Under bust has been selected as the target location for compressing. Decreases in the sweat rate for both the young and elderly were seen in the forearm and scapula by the compression. On the other hand, increases in the one were seen in the forehead and chest. Effect of the compression on the core temperature was, however, found to not be significant, because the evaporation and sweat rates of the whole body with the compression were equal to those without compression. For the young, forehead temperature was lower with the compression because of cooling effect by evaporation due to larger skin blood flow in the head. For the elderly, forehead temperature was higher with the compression due to larger skin blood flow. These results suggest clothing compression might be useful to reduce the risk of heat fainting.

研究分野：環境人間工学

キーワード：発汗 体温調節 衣服 圧迫 熱中症 熱失神 加齢

## 1. 研究開始当初の背景

本研究の開始当初である平成 28 年度における夏期（5 月から 9 月）の熱中症による救急搬送人数は 50,412 名であった [1]。この搬送者数の内、18 歳から 65 歳未満の者は 36% を占めたのに対して、高齢者は 50% を占めた。高齢者が熱中症を罹患しやすい原因は、高齢者は体温調節機能が低下しているだけでなく [2]、温度感受性も低下しているために、熱中症予防行動が遅れがちになるためである [3]。このように、高齢者は熱中症を罹患しやすいが、近年、温度感受性が鋭敏である若年層でさえも、熱中症に陥る確率が高くなっているのが現状である。したがって、熱中症予防は、高齢者の健康と安全に限られた課題ではなく、社会における現代的課題である。

熱中症が生じるような状態にある時、人体内部では、熱放散のために皮膚血流量が多くなっているため、その分、脳血流が低下している。ところが、人体を圧迫して皮膚血流を減少させると、脳血流を確保しやすくなることが実験的に示された [4]。このことは、熱中症の一つである熱失神を予防するツールとして、人体を加圧する衣服を活用し得る可能性を示唆するものである。他方、人体は、圧迫されると発汗量が低下する圧反射反応を示す [5, 6]。さらに、ヒトの発汗能は加齢に伴って低下するので [7]、熱失神予防ツールとして衣服を効果的に利用するには、圧迫による発汗抑制の加齢による変化を明らかにしなければならない。

## 2. 研究の目的

そこで、本研究では、圧迫による発汗反応とその加齢の影響を加味しながら、圧迫を熱失神予防ツールとして活用する可能性を検証する。具体的に、熱中症が生じるような高体温時に人体を圧迫すると、皮膚血流量が減少して脳血流を確保しやすくなる。他方、人体への圧迫は、発汗の抑制作用も併せ持つため、身体冷却に有効な発汗を妨げて、体温をさらに上昇させる恐れもある。そこで、本研究では、発汗を確保しつつ、熱中症リスクを軽減する圧迫部位とその圧力を検討するとともに、圧迫による発汗反応の加齢による変化を明らかにして、熱中症による熱失神を低減し得る衣服設計の基礎生理データを得る。

## 3. 研究の方法

## (1) 被験者

健康な日本人若年女性（若年群、図表中は Young）と高齢女性（高齢群、図表中は Elderly）を対象とした。若年女性は 5 名（安定した性周期であり、卵胞期に参加）で、高齢女性も 5 名（閉経後）であった。彼らの身体的特徴を表 1 に示す。被験者は、事前に実験目的および内容等の説明を受けて、任意で実験へ参加した。

## (2) 身体圧迫部位と圧迫力の設定

身体中、上半身を圧迫した場合、特に側胸部を圧迫した際に発汗反応が発現しやすい [8, 9] ことが報告されている。本研究では、衣服による圧迫の可能性を探ることから、側胸部が圧迫されやすいように、下部胸囲を圧迫の対象部位とすることとした。

下部胸囲に含まれる胸部は、他部位と比較して、圧感受性が鋭敏な部位である [10]。さらに、胸部は、同一の圧迫力でも圧迫幅の影響を受けやすく、圧迫幅が広がると、圧迫感をより強く感じやすい特徴があるので、圧迫幅が 3-6cm 程度の範囲内であれば、圧迫幅が圧迫感へ影響しないことが実験的に検証されている [10]。そこで、本研究では、下部胸囲への圧迫幅には、2.5 cm を採用することとした。

若年女性を対象として、下部胸囲に対して原周径、99%周径、95%周径、90%周径となる圧迫を付与し、その圧迫感を調査した。その結果、下部胸囲が原周径、99%周径、95%周径となる圧迫力による圧迫感は、ちょうど良いからきついであった。しかしながら、下部胸囲が 90%周径となる圧迫力は、強い痛みを伴う圧迫であった。そこで、本研究では、下部胸囲に対して原周径、99%周径、95%周径となる圧迫を付与することとした。

表 1 被験者の身体特性

Group	Age (year-old)	Height (cm)	Weight (kg)	Fat (%)	Under bust (cm)
Young	21.7 ± 0.9	156.7 ± 4.4	50.9 ± 6.2	26.9 ± 5.5	72.5 ± 4.1
Elderly	66.0 ± 4.2	151.8 ± 6.1	54.5 ± 5.8	30.9 ± 6.3	79.1 ± 7.5
Significance	p<0.001	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.

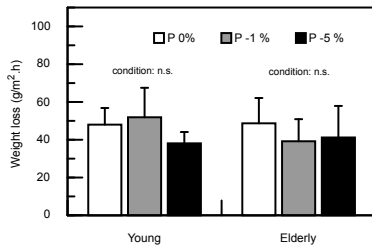


図 1 実験前後の体重減少量

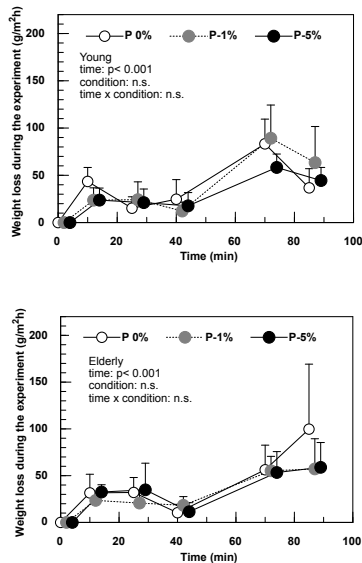


図 2 測定中における体重減少量 (上：若年群，下：高齢群)

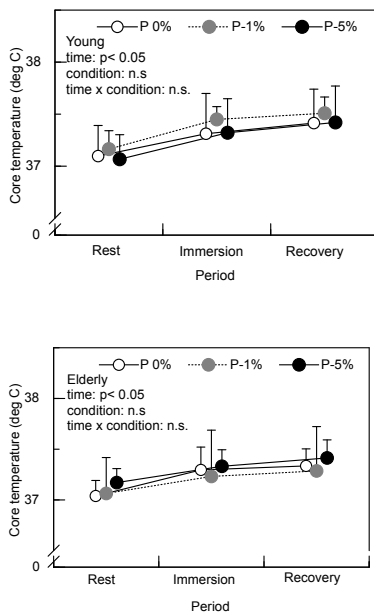


図 3 実験各期における直腸温 (上：若年群，下：高齢群)

### (3) 実験条件

本研究では、下部胸囲へ圧迫を付与する対象部位とした。その圧迫条件は、下部胸囲の原周径である無圧迫（無圧迫，図表中，P0%），下部胸囲の99%周径となる圧迫（-1%圧迫，図表中，P-1%），下部胸囲の95%周径となる圧迫（-5%圧迫，図表中，P-5%）の、計3条件とした。下部胸囲の圧迫には、2.5 cm 幅の無伸縮性インサイドベルトを用いた。

実験中は、トップスとショートスパッツを被験者に着用させた。この着衣条件にて温熱的に中立となるように、温熱環境条件が28°C，50%RH，気流0.2 m/sに統制された風洞内にて測定を実施した。

### (4) 実験の手順

設定した温熱環境条件に制御された風洞内に、被験者を90分以上滞在させた。実験中は、椅座位安静を維持させた。測定開始10分間をベースラインとして、その後、下部胸囲へ30分間圧迫を付与した（安静，図表中はRest）。そして、圧迫を付与した状態で、膝下からの両下腿と両足を、42°Cの水槽に30分間浸漬させた（足浴，図表中はImmersion）。両下腿と両足の浸漬を終えた後、圧迫を付与した状態で、椅座位安静15分間維持させた（回復期，図表中はRecovery）。

実験中は、直腸温，皮膚温8部位（前額，胸，背，上腕，前腕，手背，大腿，下腿），皮膚表面相対湿度5部位（前額，胸，背，前腕，大腿）における蒸散量と発汗量を定期的に測定した。また，測定前後の体重減少量と，測定中の体重減少量も定期的に測定した。

## 4. 研究成果

### (1) 圧迫による体温上昇への影響

測定前後の体重減少量を図1に示す。若年群と高齢群，それぞれの群における-5%圧迫条件時の体重減少量は，無圧迫条件時のそれよりも低値であった。しかしながら，各群における体重減少量には，圧迫条件による明確な違いは認められなかった。

測定中の体重減少量の経時変化を図2に示す。若年群と高齢群の体重減少量は，安静時に20-30 g/m²hを示し，下肢温浴終了直前には，若年群で安静時の約4倍，高齢群で約2倍にも増加した。回復期の体重減少量は，若年群は低下するのに対して，高齢群はほとんど低下しなかった。測定中の体重減少量は，下腿と足の温浴による加温の影響で，時間によって異なるものの，圧迫条件による差異は認められなかった。

測定中の安静時，足浴時，回復期における体温を図3に示す。測定中の体温は，下腿と足の温浴による加温の影響で，時間によって異なるものの（ $p < 0.05$ ），圧迫条件による差異は認められなかった。これらのことから，本研究で採用した圧迫条件は，若年群と高齢群に対して全身からの発汗を抑制することがないこと，また，圧迫による体温上昇を引き起こさないことが確認された。

### (2) 圧迫による前額皮膚温への影響

実験中の安静時，温浴時，回復期の各期における前額皮膚温を図4に示す。測定中の頭部皮膚温は，下腿と足の温浴による影響で，時間によって有意に異なる値を示し（ $p < 0.001$ ），圧迫条件による有意差が認められ

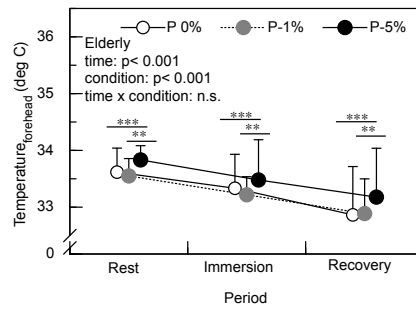
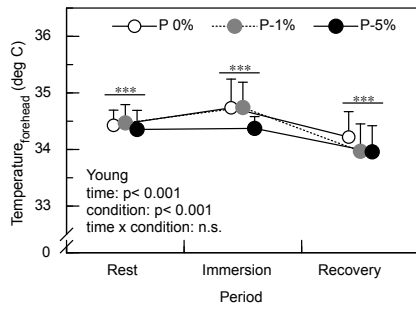


図4 前額における皮膚表面温度 (左: 若年群, 右: 高齢群)

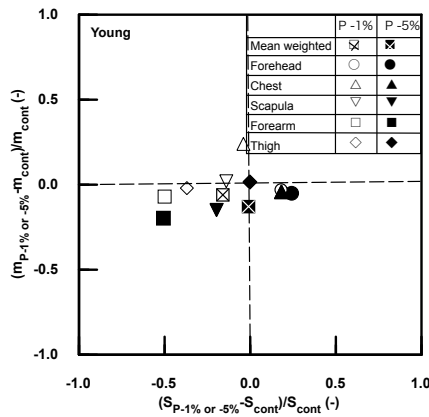


図5 若年群における無圧迫条件時の発汗量と蒸散量を基準とした, 圧迫条件時の発汗量と蒸散量の比

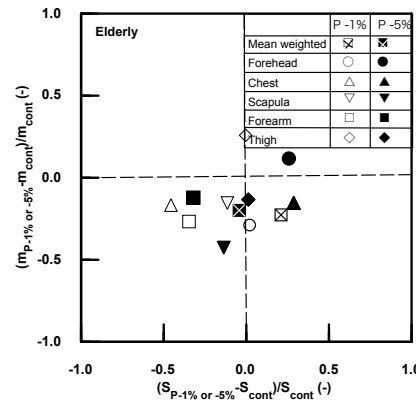


図6 高齢群における無圧迫条件時の発汗量と蒸散量を基準とした, 圧迫条件時の発汗量と蒸散量の比

た ( $p < 0.001$ ). 若年群の前額皮膚温は, 各期において, 95%周径となる-5%圧迫条件で有意に低い値であった. これは, 後述の前額における発汗量は, -5%圧迫条件で多く, また, その蒸散量も多いことによる冷却が生じたためであると考えられる. 冷却効果が得られたのは, おそらく, 前額における皮膚血流量が多かったためであろう. 一方, 高齢群の前額皮膚温は, 各期において, 95%周径となる-5%圧迫条件で有意に高い値であった. このことから, 高齢群の場合, -5%圧迫条件での前額における皮膚血流量が多かったことが推察された. 前額における皮膚血流量は, -5%圧迫条件で多かったものの, 同部位からの蒸散量は若年群の半分程度と少なかったため, 蒸発による冷却効果が得られず高い皮膚温を示したものと考えられる.

若年群と高齢群における前額皮膚温から, -5%圧迫条件では, 頭部における皮膚血流量が多かったことが考えられ, 下部胸囲圧迫による熱失神予防の可能性が示唆された.

### (3) 発汗と蒸散に及ぼす皮膚圧迫の影響

発汗量と蒸散量は, 個人差が非常に大きく, 圧迫による発汗と蒸散の変動を捉えにくい. そこで, 温浴時における発汗と蒸散に対する圧迫の影響について, 無圧迫条件時の発汗量と蒸散量を基準として, -1%圧迫条件と-5%圧迫条件のそれらを比で評価することとした.

若年群における発汗量の比に対する蒸散量の比を, 図5に示す. 下部胸囲へ-1%圧迫と-5%圧迫付与時の蒸散量は, 無圧迫条件と比較して, 前腕においては20%程, 前額, 胸, 背, 大腿においては, 数パーセント程度の減少であった. このことから, -1%圧迫条件と-5%圧迫条件における体表面からの蒸発は, 無圧迫条件と同程度確保されていたことがわかった. それゆえ, 体温の上昇には, 圧迫による影響が認められなかったと考えられる.

下部胸囲へ-1%圧迫と-5%圧迫を付与した際の発汗量は, 無圧迫の発汗量と比較して, 部位によって異なる増減を示した. 下部胸囲への圧迫によって, 著しい発汗量の減少がみられた部位は, 前腕と背であり, 極わずかな減少がみられた部位は, 大腿であった. 一方, 下部胸囲への圧迫によって, 顕著な発汗量の増加がみられたのは, 前額と胸であった.

皮膚圧迫による発汗抑制の効果は, 経時的に低下するものであり [11], また, 長時間の圧迫による発汗抑制の効果は, 体温が上昇しやすいような状況下では減衰しやすい [12]. しかしながら, 本研究より, 圧迫による発汗抑制が前腕と背に発現することが, そして, その補完のための

発汗促進が前額と胸に発現することが明らかとなった。両側の側胸部への圧迫は上半身の発汗を抑制し [8, 9], 両脇の圧迫は上腕の発汗を抑制する [12] が, 下部胸囲へ周径方向の圧迫が付与された場合には, 発汗抑制の発現する部位が異なることがわかった。

高齢群における発汗量の比に対する蒸散量の比を, 図 6 に示す。下部胸囲へ-1%圧迫付与時の蒸散量は, 無圧迫条件と比較して, 前額, 胸, 背, 前腕の 4 部位では 10%程度の低い値を示したが, 大腿では 10%程度の高い値を示した。そして, 下部胸囲へ-5%圧迫付与時の場合の蒸散量も, 部位によって異なる増減を示した。下部胸囲へ-5%圧迫付与時の胸, 前腕, 大腿の蒸散量は, 5%から 10%程度の低い値を示し, 背の蒸散量は 40%程度の低い値を示した。これらとは逆に, 前額の蒸散量は, 5%程度の高い値を示した。高齢群におけるこれら 5 部位の蒸散量の比は, 下部胸囲への圧迫の大きさによって異なる程度を示した。しかしながら, 蒸散量には圧迫による違いが認められなかったため, 結果として, 体温上昇への圧迫による影響は認められなかった。

下部胸囲への圧迫時の発汗量は, 無圧迫条件と比較して, 増減を示す部位が異なった。下部胸囲へ-1%圧迫付与時, 著しい発汗量の減少がみられた部位は, 胸と前腕であった。背における発汗量にも数パーセント程の減少がみられた。また, 大腿においても, 極わずかな減少がみられた。一方, 無圧迫条件と比較して, 発汗量の増加がみられた部位は, 前額であり, その増加は僅かであった。下部胸囲へ-5%圧迫付与時には, -1%圧迫付与時よりも, 発汗の減少と増加がより明確に観察された。具体的には, 下部胸囲への-5%圧迫条件時に, 明確な発汗量の減少がみられた部位は, 背と前腕であり, 僅かな発汗量の減少がみられた部位は大腿であった。一方, 発汗量に顕著な増加がみられたのは, 前額と胸であった。これらのことから, 高齢群において, 下部胸囲へ強い圧迫が付与された場合には, 発汗抑制が前腕と背に発現し, その低下を補うために, 発汗促進が前額と胸に発現することが明らかとなった。また, 高齢者の場合, 弱い圧迫が付与された際の発汗抑制とその修飾反応は発現しにくいようであるが, これは, ヒトの発汗機能は, 人体の下肢, 体幹後面, 体幹前面, 上肢, 頭の順に, 加齢によって低下することと [7], 加齢による発汗機能の低下は個人差が非常に大きいためであると考えられる [7]。

#### <引用文献>

1. 総務庁消防庁 (2016) : 報道資料 平成 28 年度の熱中症による救急搬送状況。
2. 彼末 一之 (2010) : 「からだと温度の事典」, 朝倉書店, 2010 年 4 月 10 日。
3. 深沢 太香子, 谷 明日香 (2017) : 温度弁別能と温度感受性の身体部位差と加齢による変化, 繊維製品消費科学, 58, pp.108-114.
4. 芝崎 学 (2014) : 環境変化と起立耐性, 第 47 回快適性を考えるシンポジウム, pp. 32-40.
5. 鄭 明姫, 田村 照子 (1998) : ヒトの蒸散量の部位差およびその姿勢による修飾, 人間と生活環境, 5, pp. 123/131.
6. 高木 健太郎. 1954. 皮膚圧・自律神経反射. 最新医学. 9 : 639/654.
7. 井上 芳光, 近藤 徳彦 (2010) : 「体温 II 体温調節システムとその適応」, ナップ社, 2010 年 11 月 25 日。
8. 宮側 敏明, 小川 徳雄, 朝山 正巳. 1984. 皮膚圧迫による発汗抑制効果に対する高度温熱負荷の影響. 日生氣誌, 21:21/28.
9. Takagi, Kentaro (1960): Influence of skin pressure on temperature regulation, , Edit. Yoshimura, H., Ogata, K., Itoh, S., "Essential Problems in Climatic Physiology", Nankodo, pp. 212-249.
10. 石丸 園子, 中村 美穂, 野々村 千里, 横山 敦士 (2010) : 人体への加圧部位の違いが心理・生理特性に及ぼす影響, 人間工学, 46, pp. 325-335.
11. Ogawa, T., Asayama, M., Ito, M., Yoshida, K. 1979. Significance of skin pressure in body heat balance. Jpn. J. Physiol. 29: 805/816.
12. 小川 徳雄. 2002. 皮膚圧迫と発汗反応. 繊維消誌, 43: 506/511.

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計0件

〔学会発表〕 計16件（うち招待講演 4件 / うち国際学会 1件）

1. 発表者名 深沢 太香子, 倉橋 萌菜
2. 発表標題 日本人壮年期女性における下腿と足の温度感受性
3. 学会等名 人間生活環境系学会 第44回人間-生活環境系シンポジウム
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 深沢 太香子
2. 発表標題 アパレル製品の衛生機能的着心地の評価
3. 学会等名 日本繊維機械学会テキスタイルカレッジ「アパレル製品の衛生機能的着心地の評価」（招待講演）
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 谷 明日香, 深沢 太香子
2. 発表標題 加齢に伴う身体各部位の温冷覚感受性の変化
3. 学会等名 日本繊維製品消費科学会2020年度年次大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 深沢 太香子
2. 発表標題 身体活動量が温熱的快適性評価へ及ぼす影響
3. 学会等名 日本繊維製品消費科学会2020年度年次大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 深沢 太香子
2. 発表標題 日本人女性の下腿と足における冷感受性
3. 学会等名 日本家政学会第72回大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 深沢 太香子, 谷 明日香
2. 発表標題 日本人女性における加齢に伴う温冷覚感受性の変化
3. 学会等名 日本家政学会 第 71 回大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 深沢 太香子, 谷 明日香
2. 発表標題 日本人女性における温冷感覚
3. 学会等名 日本繊維製品消費科学 2019年度年次大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Takako Fukazawa
2. 発表標題 Relation between thermal comfort limit and metabolism in Japanese young female and male
3. 学会等名 60th anniversary commemorative project by the Japanese Research Association for Textile End-Uses, Comfort and Smart Textile International Symposium 2019 (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 芝崎 学, 小林 史乃, 深沢 太香子, 久保 博子
2. 発表標題 機能性ウェアへの水分散布による蒸発性熱放散促進に伴う温熱的快適性向上
3. 学会等名 第 58 回日本生気象学会大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 深沢 太香子
2. 発表標題 アパレル製品の衛生機能的着心地の評価
3. 学会等名 日本繊維機械学会テキスタイルカレッジ「繊維製品の感覚性能 アパレル製品を中心として」(招待講演)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 深沢 太香子, 倉橋 萌菜
2. 発表標題 日本人若年女性における下腿と足の温度感受性
3. 学会等名 第43回人間 - 生活環境系シンポジウム
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 深沢 太香子, 三野 たまき
2. 発表標題 下部胸囲圧迫時における体表面からの水分蒸散と発汗
3. 学会等名 繊維製品消費科学会2018年度年次大会
4. 発表年 2018年



1. 発表者名 深沢 太香子
2. 発表標題 アパレル製品の衛生機能的着心地の評価
3. 学会等名 日本繊維機械学会テキスタイルカレッジ「繊維製品の感覚性能 アパレル製品を中心として」(招待講演)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 深沢 太香子, 谷 明日香
2. 発表標題 日本人女性の温冷覚感受性
3. 学会等名 日本衣服学会第70回(平成30年度)年次大会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 深沢 太香子, 谷 明日香
2. 発表標題 日本人女性における温冷覚感受性の加齢による変化
3. 学会等名 人間生活環境系学会 第42回人間-生活環境系シンポジウム
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 深沢 太香子
2. 発表標題 年齢によって異なる温かさ・冷たさの感じ方
3. 学会等名 日本家政学会被服衛生学部会平成30年度公開講座「衣服と健康の科学、最前線 - シニアの健康・快適な衣生活支援における被服衛生的アプローチ -」(招待講演)
4. 発表年 2019年

〔図書〕 計2件

1. 著者名 永島 計 編著, 深沢 太香子 全15名	4. 発行年 2021年
2. 出版社 杏林書院	5. 総ページ数 179
3. 書名 『体温の「なぜ?」がわかる生理学 ~からだで感じる・考える・理解する~』 第1章・第42節 衣服と体温の関係学	

1. 著者名 情報技術協会編, 深沢 太香子 (全90名)	4. 発行年 2018年
2. 出版社 技術情報協会	5. 総ページ数 768
3. 書名 : 『ヒトの感性に訴える製品開発とその評価技術』 第9章・第1節 衣服・着衣の熱・水分移動機構と温熱的快適性 (分担執筆 679-695頁)	

〔産業財産権〕

〔その他〕

6. 研究組織

氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
---------------------------	-----------------------	----

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関
---------	---------