

Smart Clothes : 開閉型機構を用いた衣服内気候調整服

松崎広夢[†] 石川清阜[†] 佐々木仁大[†] 鳥居拓馬[†] 謝 浩然[†]

概要 : 近年, 動的なインタラクションやセンシングの機能を持つ衣服の研究が進んでいる. 本研究では, 植物の気孔に規範し, 変形が可能な服の設計と開発を目指す. これは, 従来の衣服にみられる人の手を介した着脱ではなく, 衣服自らの変形により着用者の状況に応じた体温調節を図るものである. 本稿では, 一般的なパーカを着用した場合と気孔部を取り付けたパーカを着用した場合の2条件において被験者実験を行い, 衣服内温湿度環境及び主観申告の観点から評価を行った. 結果, 主観報告の観点から本提案のSmart Clothesは一般的なパーカに比べ衣服内調節機能を有する可能性が示唆された. 本提案を利用することで快適な衣類内気候の維持が期待できる.

1. 研究背景と目的

熱中症による健康被害は年々増加傾向にあり, 社会的に深刻な問題となっている[1]. 熱中症の原因は多岐にわたり, 極度の脱水状態をはじめ, そもそも体調異常の自覚ができないことや発汗等の体温調整機能が不全であることも一因とされる. 体調異常の無自覚や体温調整の不全は自律神経の機能が弱い幼児や高齢者に多くみられ, 「熱中症弱者」とされる[2]. 体温調整に関するこれらの問題は健康な人でも起こりうるため, これは人間という生物種が生得的に対処可能なある種の限界を示すものといえる.

生物としての人間の限界を超えるべく, 人間の身体能力や感覚を拡張する人間拡張の研究が近年盛んに行われている. 人間が生まれつき持っていない能力を科学技術によって手に入れることで, 生活の質の向上が可能となる.

以上のような社会的背景と近年の技術動向を踏まえ, 本研究では古来より服が持つ体温調節機能を拡張し, 人の手を介さずに服自身が着用者の状況に応じて変形する服の研究開発を目的とする.

動的な体温調節機能を実現するにあたり, 我々は植物の気孔に着目した. 他の生物の能力に着想をえて, その能力を科学技術で再現し人間を拡張するアプローチは生物規範と呼ばれる (e.g.[3]). 植物の気孔は外部環境に応じて孔の大きさを調整して蒸散を行い, 植物体内のバランスを保っている. これに倣い, 本提案ではセンシングで得られた衣服内の湿度に応じて服に設けた穴(気孔部と呼ぶ)の大きさを調整し, 快適な温湿度環境の維持を目指す(図1). 本提案の応用として, 幼児や高齢者に効果的な熱中症予防の服や, 一般の方でも使える快適服としての利用が考えられる.

著者らの研究[4]では, 服に取り付ける気孔部の開閉機構とシステムの概要について報告し, 気孔部を設けたパーカの試作を行った. 本稿では, 一般的なパーカを着用した場合と気孔部を取り付けたパーカを着用した場合の2条件に

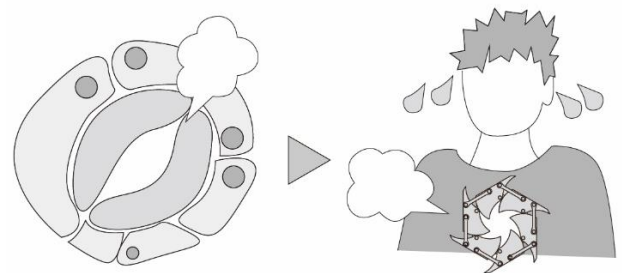


図1: 植物の気孔を模した衣服内気候調整服

において被験者実験を行い, 衣服内温湿度環境及び主観申告においてどのような効果が見られたのかについて報告する.

2. 関連研究

動的なインタラクションや温度・湿度をセンシングする機能を持つ衣服の研究はこれまでも行われてきた. 例えば, 形状記憶合金(SMA)と折り紙機構を用いた変形により服の着脱を支援する研究[5]や, 熱により可逆収縮する糸アクチュエータを応用した可変服の提案[6]がある. また, 衣服内温湿度等をセンシングし, 温熱的な負荷状況をスマートフォンに転送するセンサ付きウェアの研究[7]も行われている.

さらに, 本研究と同様にセンシングと服の変形を組み合わせた衣服の研究も進められている. Yaoの提案[8]では着用者の汗や体温に反応する納豆菌が服の変形に利用されている. また, ANREALAGEの作品[9]では外部からの熱により元の形状に回復する形状記憶合金が服の変形に利用されている. これらの研究はいずれも服に用いられている素材がセンシングと変形の役割を果たしている.

一方, 本提案のSmart Clothesでは服の変形をデバイスによりプログラマブルに制御しているため, 一度服を製作した後でも服が変形する際の条件や変形量を後から変更することが可能である.

[†] 北陸先端科学技術大学院大学

3. 提案手法

本提案である，センサと組み合わせて動的に穴の開閉が可能な服の概要について説明する。

3.1 気孔部のデザイン

気孔部の開閉機構にはRetractable Ring Structureの一種であるSwivel Diaphragm[10]を利用した。一定の条件下でプレート間及び気孔間のプレートを相互に繋ぐことで、1つのプレートの動きに全体（プレート6枚）が連動する仕組みとなっており、1個のモータを順回転・逆回転させることで糸を巻き取り、穴の開閉を制御する。気孔部は厚さ1mmの亚克力板とナイロンプッシュリベットで構成し、パーカとの接地面にはNRスポンジを取り付けた(図2)。

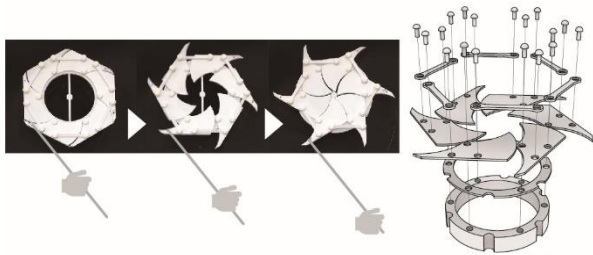


図2：気孔部の構成

3.2 気孔部の駆動

Smart Clothesは気孔部と衣服内の温熱環境を測定する温湿度センサ，個々のパーツの位置を固定する土台と動力であるサーボモータ，開閉の制御を行うマイコン，バッテリーから構成される。気孔部とサーボモータの間は直径0.2mmの形状記憶合金で繋いだ。

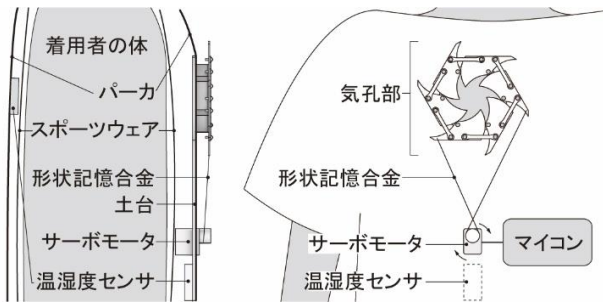


図3：Smart Clothesのシステム構成

3.3 衣服内気候と快適感

気孔部の開閉を引き起こす湿度閾値は自由に設定できる。今回は、既往の研究にある衣服内気候と快適感の関係[11]を参考に、気孔部を開閉する条件を設定した。衣服内背部の湿度が70%を超えた際は不快に感じるとし穴を開け、湿度が60%以下になった時は不快感が解消したと考え、穴を閉じる。

4. 評価実験

Smart Clothes が一般のパーカ（気孔なし）と比べて衣服内気候の調整にどの程度貢献しているのか定量的な評価を

行うため、衣服内温湿度及び主観申告の観点から評価実験を行った。

4.1 着衣条件

実験では各被験者はスポーツ用シャツを着用し、一般のパーカであるパーカAとセンサにより開閉する穴を設けたパーカB(Smart Clothes)の2条件で行った(図5)。パーカBのモータにはマイクロサーボ MG90S，マイコンはArduino UNO R3，温湿度センサにはHiLetgo DHT11を用いた。



パーカA：一般的なパーカ パーカB：Smart Clothes

図4：実験用パーカ（着衣状態）

4.2 被験者

被験者は成人男性5名で年齢 23.0 ± 0 [歳]，身長 172.9 ± 4.9 [kg]，体重 60.9 ± 10 [kg]，BMI 20.3 ± 2.6 [kg]である。身長、体重とも日本人の平均を大きく外れておらず、BMIについてはやや痩せ型の被験者1名を除く全員が標準体型であった。被験者には研究主旨を十分に説明し、承諾を得た。

4.3 実験手順と内容

被験者にはトレーニングジム入室後、胸と背中中央に温湿度センサを1つずつ貼付したパーカをスポーツウェアの上から着用させた。最初に5分間の座位安静をとり温湿度を安定させ、次にトレッドミルにより15分間の走行(8km/h)



図5：実験の様子

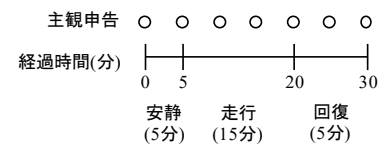


図6：評価実験の流れ

表1：主観申告表

温冷感	快適感	湿潤感	べたつき感	蒸れ感
とても暑い 3	とても快適 3	とても湿っている 5	とてもべたつく 5	とても蒸れている 5
厚い 2	快適 2	湿っている 4	べたつく 4	蒸れている 4
やや厚い 1	やや快適 1	やや湿っている 3	ややべたつく 3	やや蒸れている 3
どちらでもない 0	どちらでもない 0	ほとんど湿っていない 2	ほとんどべたつかない 2	ほとんど蒸れていない 2
やや寒い -1	やや不快 -1	全く湿っていない 1	全くべたつかない 1	全く蒸れていない 1
寒い -2	不快 -2			
とても寒い -3	とても不快 -3			

を行った。最後に回復期として5分間の座位安静をとった(図6)。その間、衣服内温湿度を2点(胸・背中)と室内温湿度1点の計3点を1秒毎に測定した。主観申告は実験開始から終了までの30分間で5分毎に行い、1回の実験につき7回の聞き取りを行った。項目は先行研究[12]を参考に温冷感、湿潤感、快適感、べとつき感、蒸れ感の5項目とした。主観申告表を表1に示す。

5. 結果と考察

5.1 気孔部の有無が衣服内湿度に与える影響

背部における衣服内湿度の一例を図7に示す。パーカBのSmart Clothesは湿度70%を超えたあたりから湿度の上昇が緩やかになる様子が伺える。これは、気孔部が湿度70%を超えた際に開いたことによる効果ではないかと推察される。これを定量的に評価するため、衣服内背部の湿度が70%を超えて気孔が機能した後から湿度が95%に達するまでの湿度の変化率を単回帰直線の傾きから求めた。結果を図8に示す。被験者5人の平均値だけを確認するとパーカBの方がパーカAに比べ湿度の上昇が緩やかであるように見えるが検定($p < 0.05$)の結果、有意な差は確認できなかった。

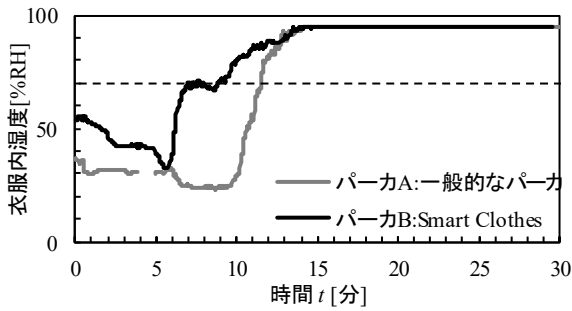


図7：気孔部の有無が衣服内湿度に与える影響

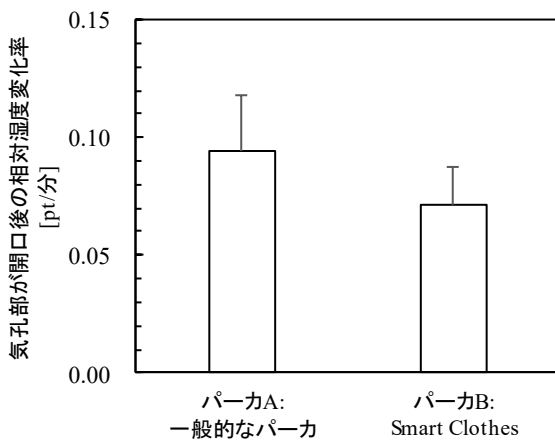


図8：気孔部の有無が衣服内湿度上昇率に与える影響
(n.s.:not significant, $N = 5$)

5.2 気孔部の有無が被験者の主観申告に与える影響

主観申告としての温冷感及び快適感の結果を図9、図10に示す。どちらも運動開始から10分経過した $t = 15$ [分]で有意傾向にある差がみられた。このとき、温冷感ではパーカBのSmart ClothesはパーカAに比べ暑さを感じないことが暗示された。また、快適感ではパーカBの方がパーカAに比べ快適であることが示唆された。

このことからSmart Clothesは一定の衣服内気候調節機能を有するものの、有意な効果を主観にもたらすには更なるデザインの改良が必要と考えられる。

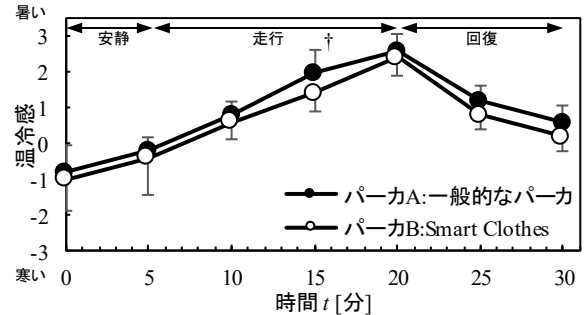


図9：気孔部の有無が温冷感に与える影響
($\dagger: p < 0.1, N = 5$)

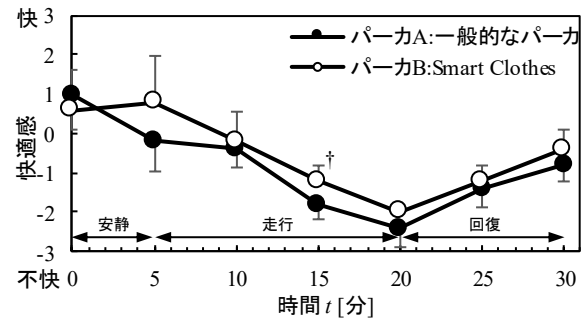


図10：気孔部の有無が快適感に与える影響
($\dagger: p < 0.1, N = 5$)

6. まとめと今後の展望

本研究では古来より服が持つ体温調節機能の拡張を目的とした開閉型可変服の研究開発を行った。本稿では、一般的なパーカを着用した場合と気孔部を取り付けたパーカを着用した場合の2条件において被験者実験を行い、衣服内温湿度環境及び主観申告の観点から評価を行った。結果、主観報告の観点からSmart Clothesは一般的なパーカに比べ衣服内調節機能を有する可能性が示唆された。

本稿では熱中症などの社会問題を念頭に、気孔部が開いたことによる評価を行った。今後は反対に、気孔部が閉じたことによる評価もしていきたい。例えば夏季では、オフィスの冷房が効きすぎたために体調を崩す人も多い。気孔

部を閉じることで体温の低下を止めることが可能かについても確認する必要がある。

また、被験者からは「背部の蒸れは退く一方、胸部の蒸れは残った」という感想が多く寄せられた。空気の循環を考えた際、胸部にも気孔部を設けることは効果的だと考えられる。また、もう1つ気孔部を設けるのであれば候補として下背部へ設けることも考えられる。これら2案に対する評価も今後の研究課題としたい(図11)。

本稿では体温調節機能に重きをおいて評価を行った一方、Smart Clothesは着用者にかかる温熱環境の負荷を服の変形により周囲の人々に知らせることも可能である。過酷な暑熱環境に置かれていることに気づきにくい高齢者や、自身の体調をうまく言葉に表せない幼児、周囲に温熱負荷の状況を伝えにくい着ぐるみ着用者に対し有効に機能すると考えられる。Smart Clothesが周囲の人への気づき支援の役割を果たすのかについても合わせて調査したい。



図11：気孔部を2つ設けたSmart Clothesの試作

参考文献

- [1] “熱中症情報”. 総務省消防庁. <https://www.fdma.go.jp/disaster/heatstroke/post3.html>, (参照 2019-12-21).
- [2] 井上芳光 (2004) : 子どもと高齢者の熱中症予防策. 日生氣誌, 41: 61-66.
- [3] 三橋 研人, 郭 琳, 櫻井豊, 下野純治, 鈴木玄貴, 樋本喬, 鳥居拓馬, 謝浩然, RESTAIL : 人の身体能力と感情表現を拡張する尻尾型デバイス, インタラクシオン2019, インタラクティブ発表, 2019.
- [4] 松崎広夢, 石川清臈, 佐々木仁大, 鳥居拓馬, 謝浩然, 植物の気孔を模した開閉型可変服の設計, 電子情報通信学会HCGシンポジウム2019, インタラクティブ発表, 2019.
- [5] Jason Lin, Jasmine Zhou, and Helen Koo. 2015. Enfold: clothing for people with cerebral palsy. In Adjunct Proceedings of the 2015 ACM International Joint Conference on Pervasive and Ubiquitous Computing and Proceedings of the 2015 ACM International Symposium on Wearable Computers (UbiComp/ISWC'15 Adjunct). ACM, New York, NY, USA, 563-566.
- [6] Jack Forman, Taylor Tabb, Youngwook Do, Meng-Han Yeh, Adrian Galvin, and Lining Yao. 2019. ModiFiber: Two-Way Morphing Soft Thread Actuators for Tangible Interaction. In Proceedings of the 2019 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems (CHI '19). ACM, New York, NY, USA, Paper 660, 11 pages.
- [7] “センサー付きウェアで暑さ対策、アシックスとNTTが共同実験”. <https://www.ntt.co.jp/news2018/1808/180823a.html>, (参照 2019-12-22).
- [8] Lining Yao, et al., 2015. bioLogic: Natto Cells as Nanoactuators for Shape Changing Interfaces. In Proceedings of the 33rd Annual ACM Conference on Human Factors in Computing Systems (CHI '15). ACM, New York, NY, USA, 1-10.
- [9] “2014 A/W COLLECTION 'SEASON'”. <http://www.anrealage.com/collecion/100001>, (参照 2019-12-22)
- [10] Rodriguez, Carolina. (2011). Morphological Principles of Current Kinetic Architectural Structures. In Adaptive Architecture. pp.1-12
- [11] 原田隆司, 土田和義, 丸山淳子, 衣服内気候と衣服材料, 繊維機械学会誌, 1982, 35 巻, 8 号, pp.350-357
- [12] 薩本弥生; 池田文美; 櫻井大樹. スポーツ用パーカの換気効率化. In: 人間-生活環境系シンポジウム報告集= Proceedings of Symposium on Human-Environment System. 人間-生活環境系シンポジウム実行委員会, 2018. pp.123-126.