

異なる形状のファン付作業服が作業成績と皮膚温度へ与える影響

小崎 智照¹⁾・廣田 有香^{1),2)}

¹⁾ 福岡女子大学国際文理学部環境科学科

²⁾ 九州大学大学院芸術工学府

Effects of different shaped working cloth with cooling fan on performance and skin temperature.

Tomoaki KOZAKI¹⁾ and Arika HIROTA^{1),2)}

¹⁾ International College of Arts and Sciences, Fukuoka Women's University

1-1-1 Kasumigaoka, Higashi-ku, Fukuoka 813-8529, Japan

²⁾ Graduate School of Design, Kyushu University

4-9-1 Shiobaru, Minami-ku, Fukuoka 815-8540, Japan

(平成30年11月6日受理)

1. 背景

近年、夏季の外気温の上昇に伴い熱中症の発生数が増加しており、特に屋外環境で多発していると報告されている¹⁾。例えば、福島原発事故時に防護服を着用した作業員の熱中症が頻発したこと²⁾や、野球のような全身を衣服で覆うスポーツ種目で熱中症による死亡事故数が多いことが指摘されている³⁾。人間が深部体温の過度な上昇を防ぐためには、筋など身体内部で生じる熱を皮膚から身体外へ放散しなければならない。皮膚からの熱放散には、伝導、対流、放射、蒸散の4つの経路がある。伝導、対流、放射による熱放散を非蒸散性熱放散(乾性熱放散)という。これは水分の蒸発によらない熱放散であり皮膚温度と環境温度の差に大きく依存する。そのため、非蒸散性熱放散時には皮膚血管を拡張し、皮膚血流量を増加させ、皮膚温度を高くする必要がある。しかし、非蒸散性熱放散では皮膚温度と環境温度の差が小さくなれば熱放散量も小さくなる。そのため暑熱環境下では蒸散による蒸散性熱放散(湿性熱放散)も重要となる。皮膚面から汗が1g蒸散すると0.58kcalの熱が放散される。そのため、蒸散性熱放散は皮膚温度と環境温度の差が小さい場合でも熱放散が可能であり、効果的に体温上昇を抑制できる。しかし、発汗量が多く、蒸発量を超える場合には、蒸散には貢献しない無効発汗となる。多量の無効発汗が持続すると最悪の場合、体内の水分が不足する脱水症状に陥る危険性がある。つまり、暑熱環境下で熱中症を予防するには効率的な蒸散性熱放散が必要である。

先述した夏季の屋外環境にて熱中症が多発している原因は、暑熱環境下において防護服など全身が衣服で覆われることが考えられる。全身を衣服が覆うことで衣服内換気機能が低下し、効率的な熱放散が妨げられる。薩本らは⁴⁾、温熱的に快適な衣服内環境を形成するためには、衣服の素材と衣服の開口条件が重要であると指摘している。上田は⁵⁾、衣服に通気性の高い素材を用いるより、衣服に開口部を設ける方が衣服内換気に効果的であることをレインウェアの研究から推察している。さらに、レインウェアの背部に開口部を設けたとき、上腕部や前腕部と比較して、胸部や背部で衣服換気量が有意に増加すると報告している。このように衣服の換気機能が熱中症予防には重要であると考えられる。

近年、衣服の換気機能を高めるものとしてファン付作業服が流通している。このファン付き作業服は、作業服に取り付けられた電動式ファンによって空気を外部から作業服内へ強制的に送風し、皮膚からの熱放散を促すことで、暑熱負担を軽減する効果があるとされている。実際に、鈴木らは⁶⁾夏季暑熱環境下(WBGT $27.2 \pm 1.2^{\circ}\text{C}$)で被験者に60分間の農作業を行わせた実験において、ファン付き作業服のファンを稼働させた場合は稼働させない場合に比べ、作業服内温度、平均心拍数、鼓膜温の上昇量、総発汗量、口渇感を抑制したことを報告している。また、時澤は⁷⁾室温 34°C 、相対湿度50%の人工気候室で被験者に60分間の歩行を行わせた実験において、ファン付き作業服のファンを稼働させた場合は、稼働させない場合に比べ、実験終了時の深部体温や皮膚温度の

上昇を抑制したことを報告している。これらのことから衣服の換気を強制的に行うファン付作業服は熱放散を促し、熱中症予防の有効な手段であるといえる。以上のようにファン付き作業服が熱放散を促す検証をした研究はあるが、半袖や長袖など形態の違いによる性能を検証した研究はまだ少ない。ファン付作業服は強制的に衣服内へ送風するため衣服の膨張を引き起こし、袖などが作業道具や操作機器に引っかかるなど、事故や作業効率の低下を招く可能性がある。そこで本研究は、異なる形態のファン付き作業服が作業成績と皮膚温度、温熱的快適感に与える影響を検討した。

2. 実験方法

2.1 被験者

被験者は本学の健康な女子大学生 8 名 (21.4±0.8歳) であった。なお、被験者の体重は50.7±5.9kgであった。

2.2 温熱条件

本実験の温度条件は、夏季の屋内環境を想定した実験前室の温度を28°C、屋外環境を想定した実験本室を温度35°Cとし、それぞれ相対湿度を60%に設定した。

2.3 衣服条件

衣服条件はファン付き作業服を着ない条件 (以下、作業服無) と長袖のファン付き作業服を着用する条件 (長袖作業服)、半袖のファン付き作業服を着る条件 (半袖作業服) とした。なお、3条件すべてに共通して、タンクトップ、短パン、半袖ポロシャツ、スウェット長ズボンを着用してもらった。各被験者の実験順序は無作為に行った。図1長袖作業服と半袖作業服を示す。



図1 長袖作業服 (上) と半袖作業服 (下)

2.4 実験手順

実験は2017年10月下旬～11月下旬にかけて、福岡女子大学の人工気候室にて行った。実験は体温の日内変動の影響が予想されることから、被験者ごとに同じ時間帯に行った。実験手順として、被験者はタンクトップ、短パンのみを着た状態で体重を測定後、皮膚温センサーを装着した。被験者にタンクトップ、短パンの上から半袖ポロシャツ、スウェット長ズボンを着用してもらい、温度28度に設定した実験前室に入室後、実験を開始し、椅座位安静状態で30分間滞在してもらった。その後、被験者は実験用衣服を着用し、実験本室へ入り、30分間の椅座位安静の後に1分間のドミノ並べ課題を3回行ってもらった。実験本室での実験は約45分間であった。皮膚温と衣服内温度は実験開始25分後から実験終了まで測定した。図2に実験プロトコルを示す。本実験は福岡女子大学疫学等研究倫理審査委員会の承諾を得て行った。

2.5 測定項目

2.5.1 皮膚温、衣服内温度

皮膚温度の測定部位はHardy-DuBois⁸⁾による、前額、腹胸、前腕、手背、大腿前、下腿後、足背の計7部位とした。サージカルテープを用いてサーミスタセンサーを測定箇所固定し、10秒間隔でデータロガー (LT8A) に記録した。衣服内温度は左肩背部のタンクトップとポロシャツの間にサーミスタセンサーを装着し、記録した。皮膚温、衣服内温度は、実験前室において25分間滞在後から実験終了まで連続的に測定した。

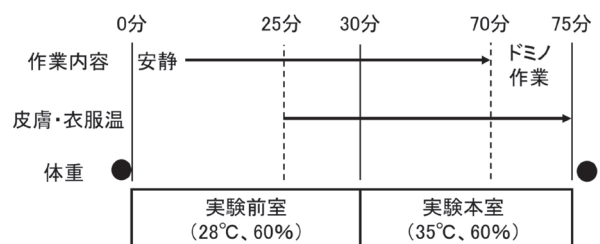


図2 実験プロトコル

2.5.2 体重測定

精密体重計 (メトラ製・KCC150) を用いて実験前、実験後の計2回測定した。体重測定時は短パンとタンクトップのみ着用した。なお、実験中に着用した衣服が汗を吸収しているため、実験後の体重測定前に短パンとタンクトップを着替えてもらい、体重を測定した。

2.5.3 作業成績

1分間×3回のドミノ並べを行ってもらった。慣れによる影響を少なくするため、事前に1分間×2回の練習を行ってもらった。ドミノを画用紙上に書いた5cm間隔の印の上に順に並べてもらい、並べた本数を記録した。

ドミノを並べるのは右手のみを使用させた。なお、倒れたドミノは並べた本数には加算しなかった。

2.6 統計解析

皮膚温度、衣服内温度、心拍数、体重変化量には Microsoft Excel 2016 for Windows を用い、条件間に反復測定 t 検定で比較し、ボンフェローニ補正を行った。統計的有意差は、危険率が 5%未満を有意、10%未満を有意傾向と判断した。

3. 結果

ドミノ並べの平均本数を図 3 に示す。半袖作業服条件は、長袖作業服条件に比べ、並べたドミノ数が多い傾向が得られた。

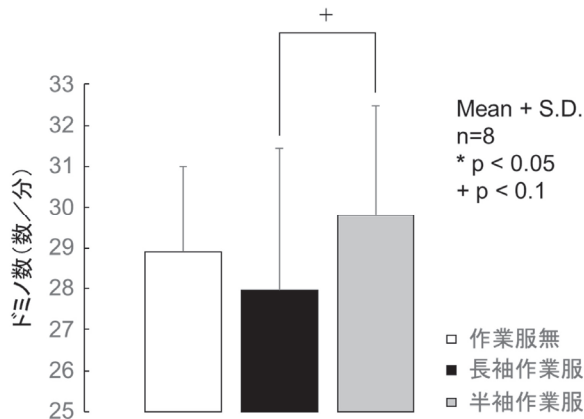


図 3 並べたドミノの平均数

実験前後の体重減少量を図 4 に示す。全ての衣服条件において実験後は実験前に比べ体重が減少していた。しかし、実験前後の体重減少量に衣服条件間の差は認められなかった。

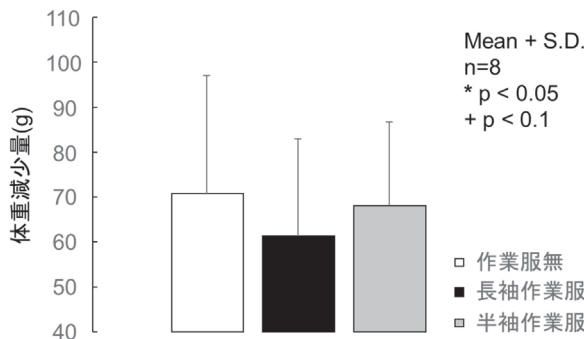


図 4 実験前後の体重減少量

中立温度環境と暑熱環境での平均衣服内温度を図 5 に

示す。中立温度環境 (図 5 左) は実験前室入室 25 分後から 5 分間の平均値を示し、暑熱環境 (図 5 右) は実験本室入室 40 分後から 5 分間の平均値を示す。全ての衣服条件において平均衣服内温度は暑熱環境が中立温度環境よりも高い値を示した。

暑熱環境において作業服無条件は長袖作業服条件よりも有意に高い衣服内温度を示した。

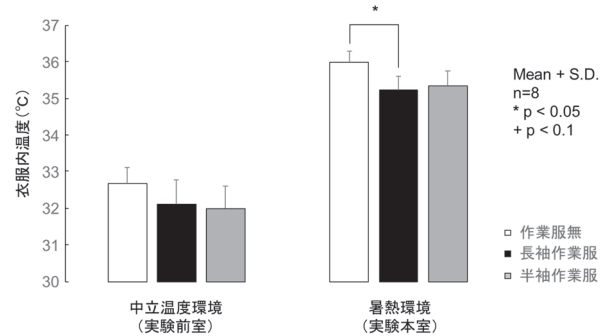


図 5 平均衣服内温度

腹胸部位の平均皮膚温度について (図 6), 中立温度環境 (図 6 左) は実験前室入室 25 分後から 5 分間の平均値を示し、暑熱環境 (図 6 右) は実験本室入室 40 分後から 5 分間の平均値を示す。全ての衣服条件において暑熱環境の平均皮膚温度は中立温度環境よりも高かった。また、暑熱環境では作業服無条件が長袖作業服条件と半袖作業服条件に対して高い平均腹胸部皮膚温度を示した。他の部位での平均皮膚温度においては、暑熱環境での皮膚温度の上昇が認められたものの、衣服条件間に差は認められなかった。

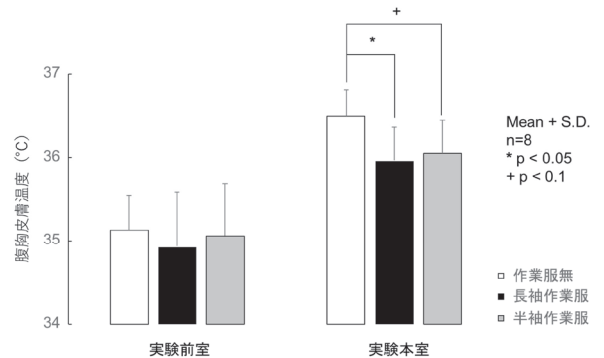


図 6 腹胸部位の平均皮膚温度

4. 考察

作業成績 (ドミノ並べ) について (図 3), 統計的有意ではなかったものの半袖作業服条件で並べたドミノ数は

長袖作業服条件よりも多い傾向が得られた。長袖のファン付作業服はファンによる衣服内への強制換気のため袖の部分が膨張していた。この袖の膨張は、作業中の手元の視野を妨げたことや膨張した袖が並べたドミノに触れて倒すなどで作業成績に影響したものと考えられる。しかし、半袖作業服条件と作業服無条件では作業成績に差が認められなかった。これは半袖作業服条件と作業服無条件がどちらも前腕を衣服で覆っていなかったためであると考えられる。しかし、統計的有意差ではなかったものの、半袖作業服条件の作業成績の平均値が高かったことを考えると、ファン付き作業服を着用することで温熱的に快適となり、作業成績が多少向上したのではないかと考えられる。

腹胸部位の平均皮膚温度（図6）について、作業服無条件は長袖作業服条件に比べ暑熱環境下で有意に高い皮膚温度を示した。また、平均衣服内温度（図5）から、作業服無条件は長袖作業服条件よりも衣服内温度が高かった。本研究の作業服無条件はタンクトップにポロシャツを着用した条件であり、長袖ならびに半袖作業服条件はそれらの上に作業服を着用した条件である。つまり、衣服量は両作業服条件が作業服無条件よりも多い。通常、衣服量が多くなると衣服による断熱効果が高まり、熱が逃げにくくなる。よって、衣服内温度は高く保たれる。また、衣服内温度が高く保たれることから、皮膚からの熱放散量を多くするため皮膚温度がさらに高くなる。しかし、本研究結果では長袖作業服条件と半袖作業服条件が作業服無条件より低い衣服内温度と腹胸部皮膚温度を示した。皮膚からの熱放散には皮膚温度と環境温度の差と、汗が蒸発しやすいような皮膚表面の気流が重要である。つまり、本研究の結果から、ファン付作業服によって衣服内の換気が強制的に行われたことで、皮膚から放散された熱が衣服内に留まらず衣服内温度を低く維持したと考えられる。また、ファン付作業服による強制的な換気による気流が皮膚上の汗の蒸発ならびに熱放散を促すことで腹胸部皮膚温度の上昇を抑制したと考えられる。実際に、統計的差は認められなかったものの、実験前後の体重減少量（図4）は、作業条件無条件が長袖作業服条件よりも高かった。この結果からも、ファン付作業服による強制換気が皮膚上の汗の蒸発を促し、皮膚温度を低く維持したことで、過度な発汗を抑制したと考えられる。そして、このような皮膚温度の衣服条件間の違いはファン付作業服にて強制的に換気が行われている服胸部以外の部位では認められなかった。よって、これらの結果は先行研究^{6,7)}と同様にファン付作業服が熱放散を促し、熱中症対策に効果的であることを示した。

以上より、ファン付作業服は暑熱環境において皮膚からの熱放散を促し、熱中症に効果的であることが示唆さ

れた。また、長袖のファン付作業服は袖を含めた衣服全体が膨張するため作業を妨げる可能性があり、半袖にするなど衣服形状を改善する必要性も示唆された。しかし、本研究では深部体温や温熱的快適感、さらにはドミノ並べ以外の作業成績を評価していない。ファン付作業服を着用するような屋外作業は全身運動を伴う場合が多い。そのような作業では身体からの熱産生が増加し、深部体温も上昇しやすく、より効果的に皮膚からの熱放散を促す長袖のファン付作業服が適していることが考えられる。よって、今度は、異なる作業条件やその際の深部体温の変化についても検討し、作業を妨げにくいファン付作業服の検討が求められる。

5. 要 約

今回異なる形態のファン付作業服が作業成績と皮膚温度に与える影響について検討した。ファン付作業服を着用しない場合と比べ、ファン付作業服を着用することで衣服内温度と腹胸部温度の上昇を抑制し、熱中症対策に有効であることが示された。また、ファン付作業服を半袖にすることで、作業成績の低下を抑制する可能性も示された。しかし、本研究では深部体温を測定しておらず、椅座位による手作業成績のみを評価した。今後は、身体内部の熱産生が多くなるような全身性作業やその際の深部体温の変化などについても評価し、作業を妨げないファン付作業服のデザイン提案につながるとよい。

6. 参考文献

- 1) 芳田哲也, 新矢博美, 中井誠一. 着衣条件を考慮した熱中症予防指針の実験的根拠. *体力科学*56巻1号, pp.41 (2007).
- 2) 辻雅善, 各務竹康, 早川岳人, 熊谷智広, 日高友郎, 神田秀幸, 福島哲人. 福島第一原子力発電所における事故収束作業員の熱中症発生に関する特徴. *産業衛生学雑誌*55巻2号, pp.53-58 (2013).
- 3) 田中英登, 斎藤恭世, 原川早織. 暑熱環境下における野球アンダーシャツに関する研究(熱中症予防の観点から). *体力科学*53巻6号, pp.793 (2004).
- 4) 薩本弥生, 王海華, 長谷部ヤエ, 石川欣造. Bellows action (ふいご作用) の着衣の放熱性能への影響 第1報 衣服下間隙寸法と通気性の効果. *繊維学会誌*56巻11号, pp.524-536 (2000).
- 5) 上田博之. レインウェアの背部ベンチレーションが部位別衣服換気量に及ぼす影響. *大阪信愛女学院短期大学紀要*38巻, pp.43-49 (2004).
- 6) 鈴木英悟, 櫻村修生, 高橋弘彦, 南和広, 中井誠一. 衣服内空気循環が夏季暑熱環境下作業時の体温調節反応に及ぼす影響. *日生気象誌*49巻2号, pp.83-92 (2012).

- 7) 時澤健, 熱中症対策の新技術—実用思考と未来志向—. 労働安全衛生研究10巻1号, pp.63-67 (2017).
- 8) Hardy JD., Dubois EF. The Technique of Radiation and Convection. *J. Nutrition* Vol.15, pp.461-465 (1938).