

平成 26 年 6 月 24 日現在

機関番号：13601

研究種目：挑戦的萌芽研究

研究期間：2012～2013

課題番号：24656335

研究課題名(和文) 発汗パーソナル冷却服の開発と実証

研究課題名(英文) Development of cooling clothing and its validation

研究代表者

佐古井 智紀 (SAKOI, Tomonori)

信州大学・繊維学部・講師

研究者番号：70371044

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,100,000 円、(間接経費) 930,000 円

研究成果の概要(和文)：身体を蒸発によって冷やす冷却衣服を開発した。30℃・RH50%、または25℃・RH50%の人工気候室で被験者実験を行い、送風冷却システムと比較した場合の冷却衣服の特性を調べた。冷却衣服を送風冷却システムと併用することで高温環境を受容しやすくなることを確認した。サーマルマネキン実験を29℃・RH50%の人工気候室で行い、胸、背、首において42.3 W/m²の冷却効果が得られることを確認した。

研究成果の概要(英文)：We developed a cooling clothing system that gives cooling effect by water evaporation to the human body. We performed human subject experiments in climate chambers maintained at 30 C and RH 50% or 25 C and RH 50% to clarify the characteristics of our cooling clothing system compared with those of some isothermal personal convective cooling systems. We confirmed that the simultaneous use of the cooling clothing with some convective cooling systems made subjects easier to adapt to the high temperature environment than the single use of a convective cooling system. Thermal manikin experiments were conducted in a climate chamber maintained at 29 C and RH 50% to evaluate the cooling effect of our cooling clothing systems. The cooling clothing accelerated heat diffusion on the chest and back neck by 42.3 W/m² while no cooling effect was observed for the other body parts.

研究分野：工学

科研費の分科・細目：建築学・建築環境・設備

キーワード：パーソナル空調 熱的快適性 冷却衣服 オフィス

1. 研究開始当初の背景

冷房の設定温度を 28 °C に設定することが推奨されているが、その就労環境では 6 割以上の人が不満を抱えている。衣服は個々人の周囲に限定し、個人の好みに応じた微気候を形成する上で有効である。人体は発熱体で、衣服は人体・環境間の断熱材である。従って、衣服により衣服内空間を環境温より高温に保つことは容易である。他方、一般の衣服には冷却機構がなく、衣服内空間を環境より低温に保つことは難しい。空調服が市販され、衣服内の対流を促進するが、発汗が少ない場合には十分な冷却効果が得られない。水の蒸発潜熱は 2417J/g@35)と大きく、体を蒸発によって冷やす量の水であれば上水道により容易に得られる。

2. 研究の目的

この研究では、外部から水を供給し、その水の蒸発により身体を冷やし、かつ、その冷却力を個々人が好みに応じて調節できる冷却衣服を開発する。

3. 研究の方法

作成した冷却衣服システムを図-1 に示す。小さなボトルから肌着外表面に設置した中空系へ水を供給する。中空系に供給された水は中空系側面から滲出、肌着外表面を濡らす。その水の蒸発により身体を冷却する。水の運搬には直流電源で駆動するモーターポンプを用いる。デスクファンなどの送風設備を併用することで、高温環境下でも蒸発冷却を期待できる。

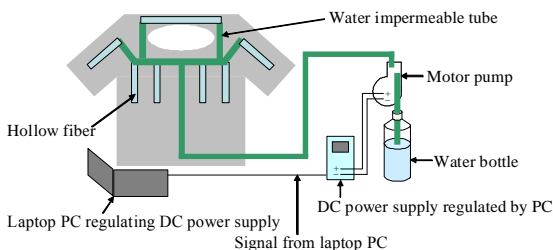


図 1 冷却衣服の構造

モーターポンプを駆動する直流電源を PC によって ON/OFF 制御した。ON 時のみ 6V を出力させた。出力時間の違いにより “強(+3) ”、“中(+2) ”、“弱(+1) ”、“切(0) ” の 4 段階の出力を設けた。ここでの “強(+3) ” での供給水分は、19.4W とした。

3.1 被験者実験

20 名の男性被験者を用い、冷却衣服やその他の送風式パーソナル空調を比較する実験を行った。その他の冷却機器は、USB ファン (以後、USBF : 消費電力 2.5W)、小型デスクファン (以後、SDF : 同 25W)、大型デスクファン (以後、LDF : 同 40W)、等温パーソナルデスク空調 (以後、PV : 消費電力は不明) の 4 機器である。

2 つの人工気候室各室に 2 名の被験者を滞在させた。中立条件としての 25 、50%の環

境、および冷却機器が必要となる高温環境を想定し、気温 30 °C、RH50%の環境で実験を行った。全身および頭、胸、背、腕、手、大腿、下腿における温冷感と受容度を得た。温冷感は暑い(+3)から寒い(-3)までの計 7 段階、受容度は、明らかに受容できる(+2)から明らかに受容できない(-2)までの計 4 段階のスケールを用いた。

冷却衣服、および USBF、SDF、LDF、PV の出力を、被験者自身に自由に操作させた。被験者の着衣量は、半袖 T シャツ、夏ズボン、下着、靴下の約 0.43clo であった。この内、半袖 T シャツは著者ら用意したものであり、その他の、夏ズボン、下着、靴下、靴は被験者自身のものである。

図 2 に全身の温冷感を、図 3 に全身の受容度を、図 4 に各システムによる冷却の実感速度を、図 5 に全冷却機器の制御性を示す。

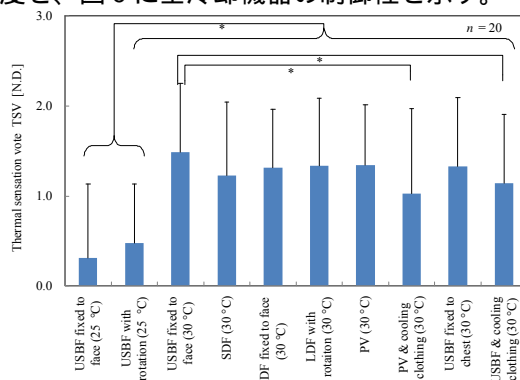


図 2 全身温冷感

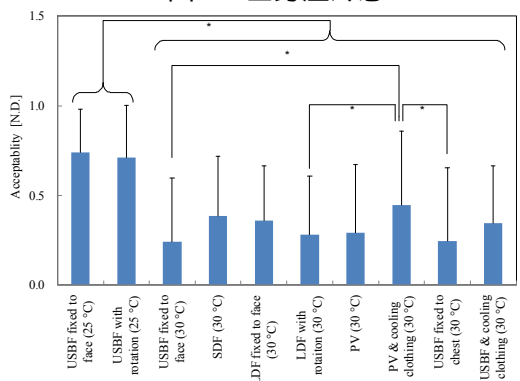


図 3 全身受容度

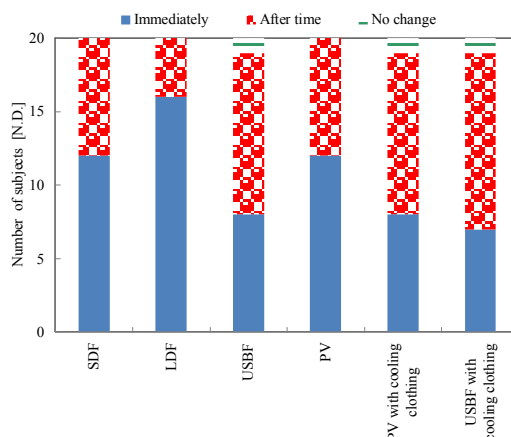


図 4 冷却の実感速度

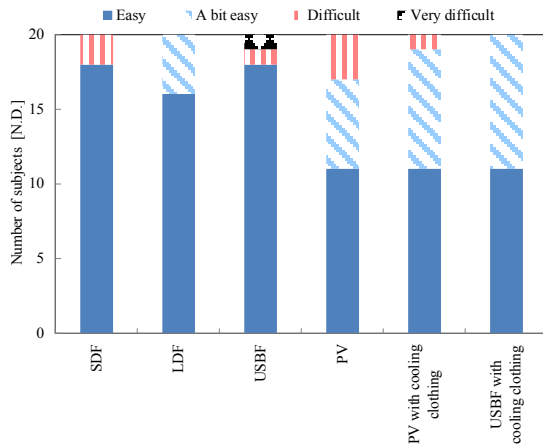


図5 各冷却機器の制御性

図2に見られるように、30 環境において冷却衣服を PV と併用した場合、または、USBF と併用した場合であっても、25 条件と比べて温冷感としては暑かった。有意な差ではないものの、PV または UBF を単独で使用する場合と比べ冷却衣服を併用することで温冷感が中立に近づく傾向があった。

図3に見られるように、30 環境において冷却衣服を PV と併用した場合、または、USBF と併用した場合であっても、25 条件と比べて受容度は低くなった。ただし、30 環境においては、PV を冷却衣服と併用した条件の受容度が最も高くなり、冷却衣服を送風システムと併用することで環境への受容度が改善する傾向が見られた。

図4に見られるように、冷却衣服を併用した条件での冷却効果の実感は、送風システム単独の場合より遅い。これは、衣服外表面へ水の滲出と、その水の蒸発に時間差があることによる。

図5に見られるように、普段使い慣れない PV、PV と冷却衣服の併用、USBF と冷却衣服の併用条件での制御性は、普段使い慣れている送風式のシステムと比べて劣った。冷却衣服を送風システムの送風量と連動制御させ、この点を改善して言うことが望まれる。

3.2 サーマルマネキン実験

人工気候室内で擬似的に作成した執務環境にサーマルマネキンを配置し、椅子に着座させた(図6)。サーマルマネキンには一般的な夏服を想定した半袖Tシャツ、ズボン、下着、靴下、靴を着させた。立位のサーマルマネキンで測定した着衣の有効熱抵抗は 0.55 clo である。人工気候室の設定環境は 29 °C・50%RH とした。実験条件は5条件、比較用のいずれの冷却機器を作動させない条件、および USBF、半袖空調服、USBF+冷却衣服、空調服+冷却衣服のいずれかを使用した条件である。USBF+冷却衣服条件での冷却部位は、胸、上腕前、襟後である。空調服+冷却衣服条件での冷却部位は、胸、上腕前、襟後に加えて背中、上腕後である。

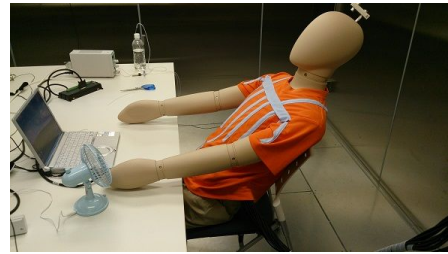


図6 サーマルマネキン実験

左右の別がある部位については、左右の平均値を示す。図7にどの冷却機器も作動させなかった場合に比べての USBF を使用時の放熱の増加量を載せる。頭部や胸襟元、胸部前、上腕部、前腕部で放熱量の増加が見られた。その増加量は皮膚温が高くなるにつれ上昇した。

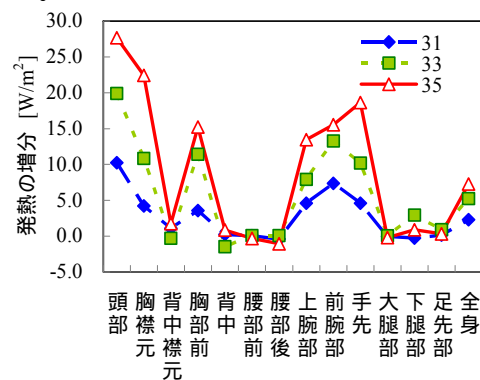


図7 USBF 使用時の冷却機器不使用時に対する放熱の増分

図8に USBF+冷却衣服使用時の USBF 使用時に対する放熱の増分を示す。冷却部位に設定した背中襟元、胸部前では放熱量が大きく増加したが、その他の部位では放熱量の増加が見られなかった。皮膚温が異なっても放熱量の増加量は一定となった。蒸発量が供給水分量に支配された結果と言える。胸部前および背中襟元では、大幅な放熱量の増加が見られるが、全身では 4 W/m² 程度とわずかである。冷却面積が小さいため、局所的に放熱量が増加しても全身で見るとわずかな効果であった。

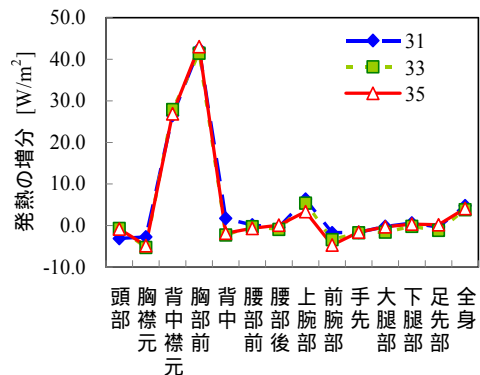


図8 USBF+冷却衣服使用時の USBF 使用時に対する放熱の増分

図9に空調服使用時の冷却機器不使用時に対する放熱の増分を示す。下肢を除く多くの部位での放熱量の増加し、特に背中での放熱量が大きい。空調服で覆われていない頭や前腕、手においても、空調服の開口から流れ出る空気の影響を受けている。

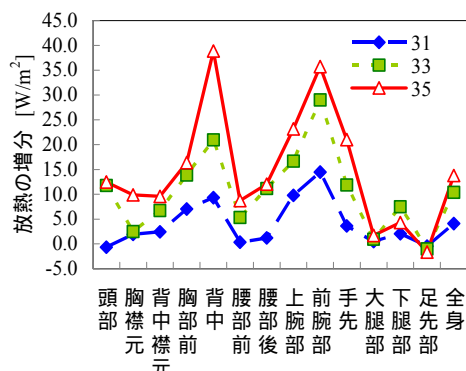


図9 空調服使用時の冷却機器不使用時に対する放熱の増分

図10に空調服+冷却衣服使用時の空調服使用時に対する放熱の増分を示す。胸部前、背中襟元に加え、腰部や背中での放熱量も大きく増加した。他方、前腕、手において放熱は減少した。冷却衣服の24時間連続使用中で、水の滴りが生じ、冷却部位には設定していなかった腰部が濡れた。その影響から腰部の放熱量が大きくなった。

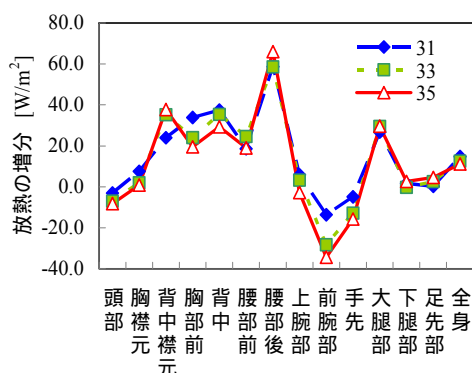


図10 空調服+冷却衣服使用時の空調服使用時に対する放熱の増分

図7~10から、それぞれの冷却機構と冷却部位に応じた放熱の変化が見て取れ、機器の冷却力を、放熱の増分として評価できた。今回の実験条件においては、水の蒸発を利用する冷却については、皮膚と環境の温度差によらず、供給水分量により冷却力が決まった。ただし、対流による冷却機器については、計測設定条件である皮膚と環境の温度差により、冷却力が異なる結果となった。

4. 研究成果

水の蒸発を利用した冷却衣服を作成した。衣服を用いることで、個人ごとに調節できる上、冷却対象の空間を限定できるため熱負荷も軽減できる。本研究では水の蒸発を促すた

め、小型のデスクファンを併用した。冷却衣服の冷却部位を胸および上腕の前側、首周りの後側に設定した。水を供給するモーターポンプを駆動する直流電源をコンピュータによって外部制御し、使用者が冷却力調節できる様、”強”、”中”、”弱”の冷却レベルを設けた。この冷却衣服の有効性を30°C・50%RH、25°C・50%RHの環境条件で被験者実験を行い確認した。冷却衣服の冷却力を定量的に評価するため、29°C・50%RHに設定した人工気候室でサーマルマネキンを用いた実験を行った。水分を供給した胸、背中襟元では高い冷却力を確認したが、全身で見るとわずかな冷却力であった。また、冷却部位を背や上腕の後側へも拡大し、空調服と併用させた条件では、胸部前や背中襟元に加え、背や腰でも高い冷却効果が確認された。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文](計7件)

- 1) T. Sakoi, N. Tominaga, A. Melikov, S. Kolencikova: Cooling clothing utilizing water evaporation, Proceedings of Indoor Air 2014, 査読有, accepted
- 2) T. Sakoi, A. Melikov, S. Kolencikova, N. Tominaga: Improvement of thermal comfort by cooling clothing in warm climate, Proceedings of Indoor Air 2014, 査読有, accepted
- 3) 富永直斗, 佐古井智紀, メリコフアーセン, コレンシコバソナ: 送風式パーソナル空調への冷却衣服併用効果, 第37回人間-生活環境系シンポジウム報告集, 査読無, 2013, 97-100
- 4) 富永直斗, 佐古井智紀, メリコフアーセン, コレンシコバソナ: 送風式パーソナル空調への冷却衣服併用効果, 空気調和・衛生工学会大会学術講演論文集第3巻, 査読無, 2013, 165-168
- 5) 富永直斗, 佐古井智紀: 水の蒸発を利用した冷却衣服, 第36回人間-生活環境系シンポジウム報告集, 査読無, 2012, 149-152
- 6) 富永直斗, 佐古井智紀: 水の蒸発を利用した冷却衣服の試作と実証, 日本生気象学会雑誌, 査読無, 2012, S45
- 7) N. Tominaga, T. Sakoi: Regulated cooling clothing apparatus using water evaporation and the comfort equation, Proceedings of 9I3M, 査読有, 2012, ref_45.pdf

[学会発表](計7件)

- 1) T. Sakoi, N. Tominaga, A. Melikov, S. Kolencikova: Cooling clothing utilizing water evaporation, Indoor Air 2014, 2014.7.8, Hong Kong University (発表決定)
- 2) T. Sakoi, A. Melikov, S. Kolencikova, N. Tominaga: Improvement of thermal comfort

by cooling clothing in warm climate, Indoor Air 2014, 2014.7.8, Hong Kong University (発表決定)

- 3) 富永直斗, 佐古井智紀, メリコフアーセン, コレンシコバソナ: 送風式パーソナル空調への冷却衣服併用効果、第37回人間・生活環境系シンポジウム、2013.11.30、神戸大学
- 4) 富永直斗, 佐古井智紀, メリコフアーセン, コレンシコバソナ: 送風式パーソナル空調への冷却衣服併用効果、2013年度空気調和・衛生工学会大会学術講演会、2013.9.27、信州大学
- 5) 富永直斗, 佐古井智紀: 水の蒸発を利用した冷却衣服、第36回人間・生活環境系シンポジウム、2012.12.2、大同大学
- 6) 富永直斗, 佐古井智紀: 水の蒸発を利用した冷却衣服の試作と実証、第51回日本生気象学会大会、2012.11.9、松本キッセイ文化ホール
- 7) N. Tominaga, T. Sakoi: Regulated cooling clothing apparatus using water evaporation and the comfort equation, 9I3M、2012.8.22、Waseda University

6. 研究組織

(1) 研究代表者

佐古井 智紀 (SAKOI, Tomonori)
信州大学・繊維学部・講師
研究者番号: 70371044

(2) 研究分担者

なし

(3) 連携研究者

森川 英明 (MORIKAWA, Hideaki)
信州大学・繊維学部・教授
研究者番号: 10230103

水谷 千代美 (MIZUTANI, Chiyomi)
大妻女子大学・家政学部・准教授
研究者番号: 00261058

(4) 研究協力者

富永 直斗 (TOMINAGA, Naoto)
信州大学・大学院工学研究科・修士生

メリコフ アーセン (MELIKOV, Arsen)
デンマーク工科大学・教授

コレンシコバ ソナ (KOLENKOVA, Sona)
デンマーク工科大学・修士生