

## ファン付き作業服を用いた暑熱ストレス低減化に関する研究

## (第11報) 部位皮膚温と平均皮膚温の関係

## Study on reduction of heat stroke stress by Ventilated Working Wear -Part XI

非会員 ○山田 稜 (北海道大学)

非会員 笹森 暁 (北海道大学)

正会員 山崎 慶太 (竹中工務店)

非会員 井野 隼人 (竹中工務店)

非会員 染谷 俊介 (竹中工務店)

正会員 栗原 浩平 (釧路工業高等専門学校)

正会員 傳法谷 郁乃 (神奈川大学)

技術フェロー 濱田 靖弘 (北海道大学)

非会員 小林 宏一郎 (岩手大学)

非会員 高橋 泰斗 (竹中工務店)

Ryo YAMADA\*1 Satoru SASAMORI\*1 Keita YAMAZAKI\*2 Hayato INOI\*2

Shunsuke SOMEYA\*2 Kouhei KUWABARA\*3 Ayano DEMPOYA\*5

Yasuhiro HAMADA\*1 Koichiro KOBAYASHI\*4 Taito TAKAHASHI\*2

\*1 Hokkaido University \*2 Takenaka Corporation \*3 National Institute of Technology, Kushiro College

\*4 Iwate University \*5 Kanagawa University

To evaluate the effects of Ventilated working jacket (VWJ) and trousers (VWT) on physiological and psychological responses of construction workers, we measured skin temperature, weight loss, etc. of eight form workers at constructing site in summer. The average WBGT during the experiment was about 31°C. Wearing VWT caused reduction in lower leg and thigh skin temperature and increasing back skin temperature. No significant difference in mean skin temperature between workers wearing VWJ and VWJ&VWT was observed. The forearm and mean skin temperatures showed a high correlation under any environment and clothing conditions.

## はじめに

近年ヒートアイランド現象等に伴い熱中症患者数が増加しており、業種別で死傷者数をみると建設業が最も多い。そこで近年の建設作業現場では、熱中症対策としてファン付き作業服の利用が拡大している。筆者らはこれまでに、ファン付き作業上着(Ventilated Working Jacket:VWJ)を着用することで作業時の水分損失を減らすこと等の効果があることを報告している<sup>1)</sup>。しかし、ファンの風が当たる胸部皮膚温は低下するものの、大腿や下腿皮膚温はVWJを着用している方がむしろ高くなり、全身の平均皮膚温に有意な差がない結果も見られた。また、被験者からはバッテリーやファンの位置に関する意見もあったことや、下半身のみを冷却すれば上半身の皮膚温も低下する報告<sup>2)</sup>もあり、四肢部をファンで冷却した方が、熱中症対策には有効ではないかと考えた。

そこで本研究では、ファン付き作業ズボン(Ventilated Working Trousers:VWT)が、建設作業員の生理心理反応に及ぼす影響を検証することを目的とする。本報では、WBGT等の環境条件と皮膚温の関係、平均皮膚温と心理反応の関係にVWTが及ぼす影響について検討する。さらに、将来的に少ない点数で平均皮膚温を推定するために、平均皮膚温と各部位の皮膚温との関係を示すことで

平均皮膚温の予測が可能か検討することを目的とする。

## 1. 実験概要

## 1.1 現場実験

被験者には実際に建設現場で作業を行っている建設作業員を採用した。被験者属性を表1に示す。被験者は健康な男性8名であり職業は型枠大工である。本実験は2019年の8月上旬に5日間行われた(表2)。被験者は全日VWJを着用し、各日4名ずつVWTを着用させた。VWJとVWTの両方を着用している状態をVWWと呼ぶことにする。作業は主に直射日光の当たる屋外で行われていた。最大酸素摂取量( $VO_{2max}$ )は、自転車エルゴメーターを用いて休憩時間中や作業終了後に漸増負荷法により測定した。本実験は、岩手大学の人を対象とする医学系研究実施規則第7条第1項の規定に基づき、承認(第201901号、平成31年4月21日)を得て実施した。

測定項目・機器を表3に示す。被験者には、朝作業開始前に、心電計(胸バンド)、ボタン型温度ロガー(5箇所:下腿前面、大腿前面、前腕、胸、背中)、リストバンド型ライフレコーダー(左手首)、心拍計(右手首)を装着した。平均皮膚温はRamanathanの4点法に基づき、背を追加した(胸皮膚温) $\times 0.15$ +(背皮膚温) $\times 0.15$ +(前腕皮膚温) $\times$

表1 被験者属性

被験者	年齢	身長[m]	体重 [kg]	VO <sub>2</sub> max [mL/kg/min]
A	30	1.75	68	33
B	40	1.78	96	22
C	25	1.64	72	31
D	37	1.62	67	21
E	58	1.72	63	41
F	25	1.67	67	37
G	62	1.68	67	35
H	37	1.70	80	36

表2 実験概要

日時	2019年8月2, 3, 5, 6, 7日
場所	神奈川県横浜市内建設現場 鉄骨造一部RC造23階建

表3 測定項目・機器

測定項目	測定機器
心拍数	ウェアラブル心拍センサ WHS-1 (ユニオンツール株式会社) Polar A360(POLAR ELECTRO)
皮膚温	サーモクロン SL (KN ラボラトリーズ)
代謝量	リストバンド型ライフレコーダー (株式会社エー・アンド・デイ)
深部温度	ベアーハガー(3M)
体重・飲水量	電子天びん GP-100K(T&D)
気温, 湿度	近藤式精密通風気温計 PKET-100 (PREDE) おんどとり TR-72 (T&D)
風速	kanomax 風速計 6533 風配型小型風速計 200-WS01B
グローブ温度	グローブ温度計(黒, 白)
日射量	全天日射計 MS-602 (英弘精機株式会社)

0.3+(大腿皮膚温)×0.2+(下腿皮膚温)×0.2で算出した。現場作業は原則8~17時で行われ、10:00~10:30, 12:00~13:00, 15:00~15:30は休憩時間であり、休憩によって作業は4回に分けられている。以降、各作業をAM1, AM2, PM1, PM2と表記する。着衣時体重測定、飲水量測定、主観申告記入を各作業時間前後に計8回行った。前額部での深部温度計測はAM1, PM1の作業開始前、AM2, PM2の作業終了後の計4回計測を行った。作業中の飲水はスポーツドリンクを用意し、その減少量を記録した。作業時間内における排尿量は、作業場内の仮設トイレに設置した紙コップで被験者に量を計測させた。一方、温熱環境測定は現場内の2か所で行われ、いずれも1Fで日の当たる場所であっ

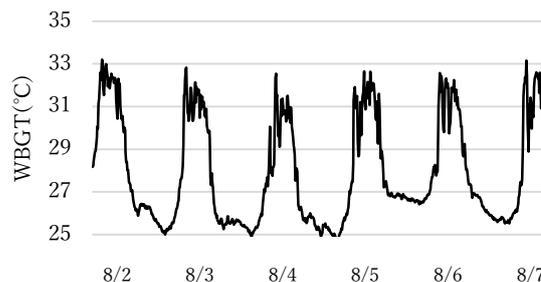


図1 WBGTの日変動

た。測定内容は、気温、湿度、風速、グローブ温度、日射量である。

## 1.2 人工気候室実験

平均皮膚温の予測を検討する際に、人工気候室で測定したデータも用いた。人工気候室実験の概要については第10報<sup>1)</sup>に示してある。

## 1.3 解析方法

平均皮膚温と部位別皮膚温の関係には5日と6日のデータを代表値として用いた。分析では、温熱環境と生理・心理反応の関係について、回帰直線の差の検定を行った。傾きの平行性の検定を行い、平行であれば切片の同等性の検定を行った。結果のp値は切片の有意差を表す。VWWの回帰直線を実線、VWJの回帰直線を点線で表す。回帰直線に差が見られない場合は一つの実線で表す。

## 2. 結果と考察

### 2.1 温熱環境の実測結果 (WBGT)

熱中症評価指標として用いられるWBGT(湿球黒球温度)の日変動を図-1に示す。休日を挟んだ実験期間中、WBGTの日変化はどちらの測定点においても各日概ね同様の推移を示した。日中(AM10:00~PM3:00)の平均温度は約31°Cで最高温度は約34°Cに達した。実験期間中強い風は吹いておらず、最大風速でも約3m/s程度であった。

### 2.2 WBGTと皮膚温

WBGTと平均皮膚温の関係を図-2(a)に、WBGTと部位別皮膚温の関係を図-2(b)~(f)に示す。平均皮膚温は、回帰直線の差は見られなかった。

部位別にみると、VWTのファンの影響のある下腿部ではVWTありの方が有意に0.81°C低いことが示された(p<0.01)。同じくファンの影響がある大腿部でもVWTありの方が有意に0.75°C低いことが示された(p<0.01)。このことから、VWTありの時にはファンによる冷却の効果で下半身の皮膚温が下がっていることが確認された。一方背部ではVWTありの方が有意に0.7°C高いことが示された(p<0.05)。本実験とは条件が異なるが、今田<sup>2)</sup>により下肢冷却時に胸部の皮膚血流量が増加し、胸部皮膚温が上昇することが報告されている。VWTの冷却により背部において同様の反応が起きた可能性が示唆

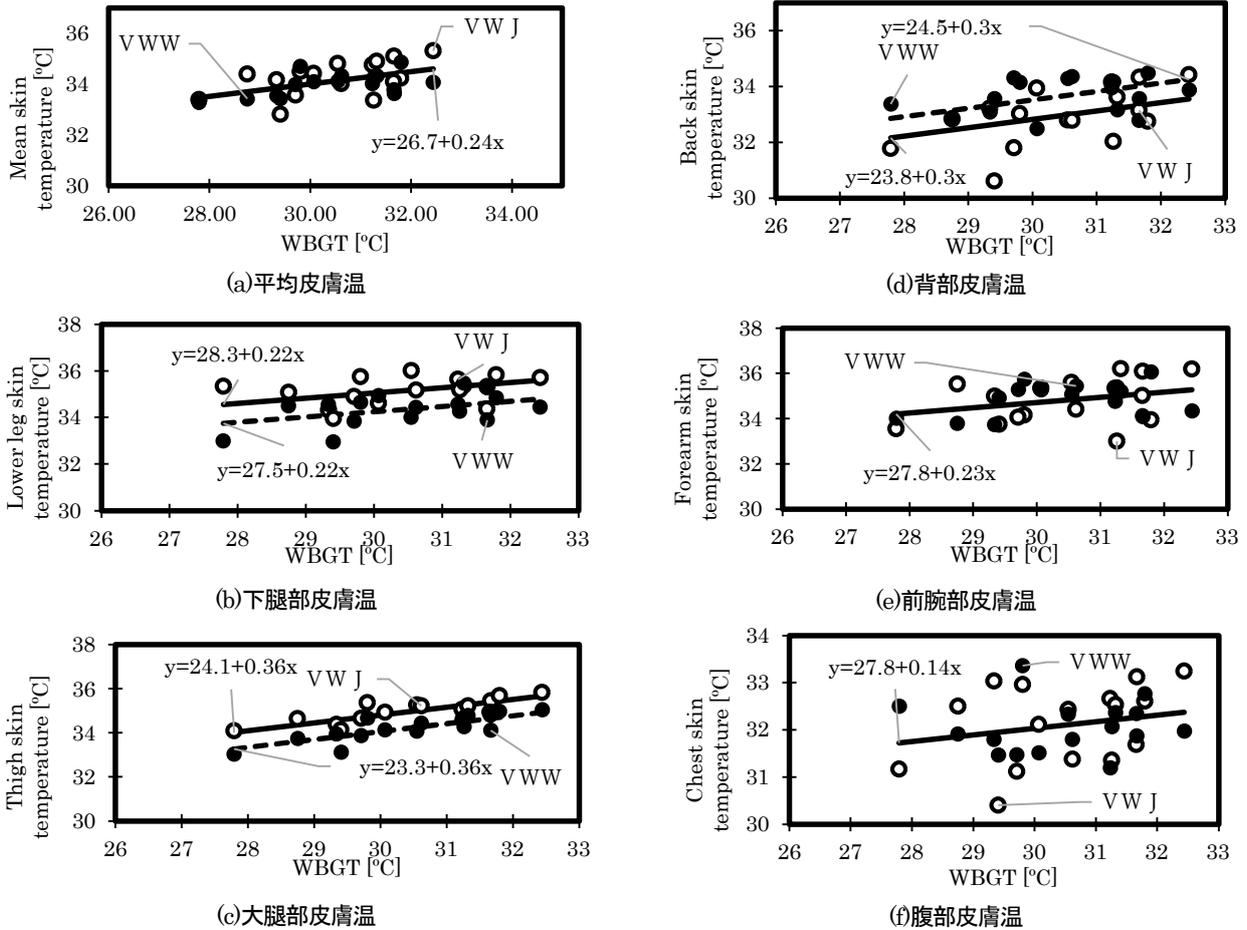


図-2 皮膚温と WBGT の関係

される。前腕部と腹部においては回帰直線の差は見られなかった。

2.3 平均皮膚温と心理反応の関係

図-3(a)に平均皮膚温と作業終了時の温冷感の関係を示す。VWTの有無で回帰直線の差の検定を行ったが、有意な差は見られなかった。

図-3(b)に、作業終了時の暑さ感と快適感の関係を示している。暑く感じるほど不快に感じる傾向が見える。VWTの有無で回帰直線の差の検定を行ったが、有意な差は見られず、同一直線で表せることが明らかとなった。VWJ着用による温冷感、快適感の有効性は今までに確認されているため、VWTによるさらなる心理反応の有効性は確認されなかった。

2.4 疲労感と心拍数

疲労感を示す指標として RPE(Rating of Perceived Exertion)を用いる。PREは自覚的判断に基づく運動強度であり、持久的運動の場合には10倍した値が心拍数に近い値になるように工夫されている。図-4に作業終了時のRPEと心拍数の関係を示す。VWTの有無で回帰直線の差の検定を行ったが、有意な差は見られなかった。心拍数は100~110bpmであるのに対し、RPEは概ねややきつ

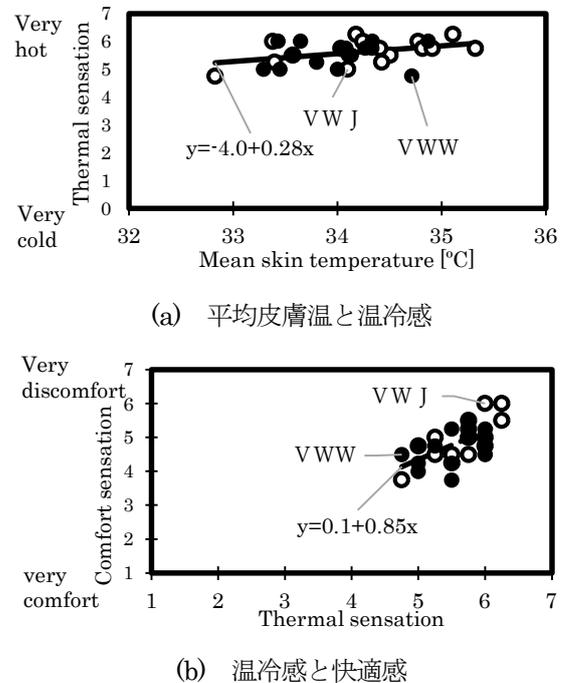


図-3 心理反応と生理反応の関係

い~きつい(12~16)の間で申告されている。

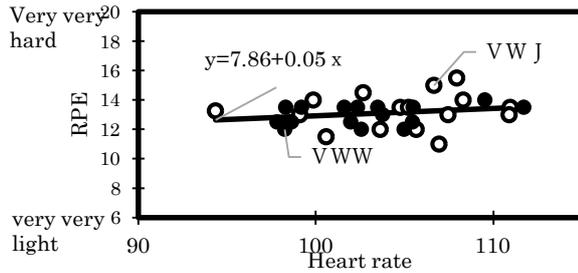


図-4 疲労感と心拍数の関係

2.5 平均皮膚温と部位別皮膚温の関係

現場実測と人工気候室実験で測定した平均皮膚温と部位別皮膚温の関係を示す。部位別皮膚温は Teichner, Lund & Gisolfi の一点法で用いられている大腿部と腕部の値を使う。現場実測の平均皮膚温は上記の Ramanathan の4点法, 人工気候室の平均皮膚温は Hardy&DuBois の7点法に基づき求めた。7点法での部位の重み付け係数は、大腿部は0.19, 前腕部は0.14である。図-5(a), (c)に平均皮膚温と大腿皮膚温との関係を示す。人工気候室ではVWTの時に強い相関を示した。一方、現場実験では両者とも相関は弱かった。図-5(b), (d)に平均皮膚温と前腕皮膚温との関係を示す。人工気候室ではVWTの時に特に強い相関を示した。現場実測でも両者とも相関は強かった。大腿部では条件による相関の差が大きく、特に屋外条件でのばらつきが多く見られた。前腕部では着衣条件や環境条件による大きな変化が見られず、安定した相関がみられた。持田ら<sup>2)</sup>による平均皮膚温算出法の比較では、人工気候室実験とほぼ同等の暑熱環境の実験で、どちらの一点測定法も他の算出方法と近い値を示していた。このことから、大腿部から平均皮膚温を予測するには日射などといった外部条件の影響が大きい。前腕部では比較的影響が小さい可能性が示唆される。

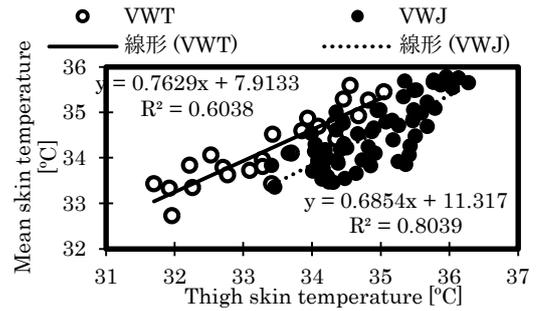
まとめ

- 1) VWTにより下肢部の冷却が確認されたが、背部温が上昇することで平均皮膚温に差は見られなかった。
- 2) 部位別皮膚温と平均皮膚温を比較した結果、暑熱環境において前腕部ほどの環境・着衣条件においても安定して高い相関を見ることができた。

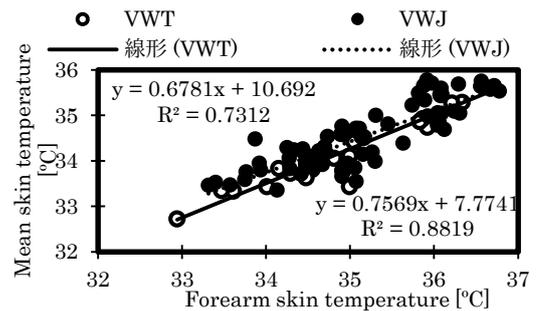
謝辞 本研究に協力して頂いた被験者の皆様に深くお礼申し上げます。本研究の一部はJSPS 科研費 JP19K04744 の助成を受けたものです。

参考文献

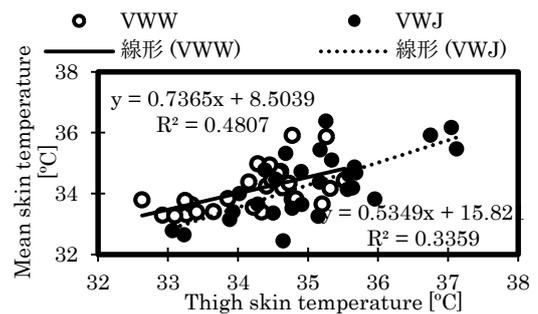
- 1) 山崎, 山田, 金内ほか, 2018, ファン付き作業服が建設作業員の生理・心理反応に及ぼす影響に関する研究 (第7~9報), 第42回人間-生活環境系学会シンポジウム, 15/26.
- 2) 今田, 平田, 2003, 水灌流スーツによる体幹部および四肢部冷却に対する体温調節反応の部位差, 繊維消費, 44(8), 470/479.



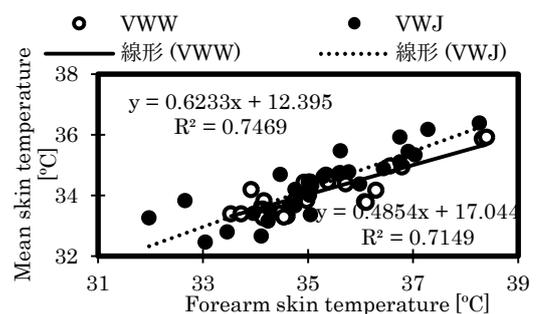
(a) 大腿部皮膚温と平均皮膚温 (人工気候室)



(b) 前腕部皮膚温と平均皮膚温 (人工気候室)



(c) 大腿部皮膚温と平均皮膚温 (現場実験)



(d) 前腕部皮膚温と平均皮膚温 (現場実験)

図-5 部位別皮膚温と平均皮膚温

- 3) 今田, 平田, 2006, 下肢冷却時の胸部皮膚血流量に及ぼす血圧変化の影響, 日生氣誌, 43(1), 35-42
- 4) 笹森ほか, 2020, ファン付き作業服を用いた暑熱ストレス低減化に関する研究 (第10報), 空衛学会支部第54回講演会
- 5) 持田, 嶋倉ら, 1994, 各種平均皮膚温算出式の特性比較, The Annals of physiological anthropology, 13(6), 357/373