

活動量, 深部体温, 部位別発汗量, 衣服内温湿度である。皮膚温は, Hardy-DuBois の7部位8点 (前額, 前腕, 腹部, 背部, 手背, 大腿前面, 下腿前面, 足背) (LT-8A, Gram), さらに胸部, 背部, 前腕, 腕関節部 (サーモクロン SL, KN ラボラトリー) を測定した。全身の平均皮膚温は Hardy-DuBois の7部位に背部を加えて計算した。被験者の服装条件を表-1 に示す。それ以外のトランクス, 靴下, ヘルメットは統制している。腰袋や, 安全靴については各々用意したものを使用した。部位発汗量は穴をあけたケースにシリカゲルを入れて皮膚に貼り付け, 実験前後の重さを測定した⁴⁾。VWJ 内の背部と前腕部, VWT あるいは作業ズボン内的大腿には温湿度センサー (RTR-503, TandD) を設置した。

1.2 測定手順

被験者は20-60歳代の男性型枠大工6名である。実験スケジュールを表-2, 被験者属性を表-3 に示す。表-1 に示した4つの服装条件のうち1つの条件を1日通して着用した。人工気候室内を34℃, 相対湿度50%で設定し, 二人一組で一組あたり4日間実験を行った。

実験開始前, 被験者には500mLのスポーツドリンクを摂取させた。実験に使用する衣類の重量の測定を行い, 被験者に測定器具を取り付け, 裸体体重測定を行った。そして裸体体重測定後, 実験で用いる衣類を着用させて着衣体重測定を行い, 前室で深部体温を測定した。その後, 人工気候室内での模擬作業を開始した。作業は午前, 午後共に40分間で組み立て, 20分間の休憩, 40分間の解体の同一の内容で構成されている。40分作業の0, 20, 40分目に着衣体重, 心拍数, 舌下温, 主観申告の測定を行い, 20分間の休憩時には裸体体重と着衣重量の測定を行った。午後作業時は, 午前と同じ条件の衣服を新たに用意し着用させている。被験者が作業中に自由に飲水できるようにスポーツドリンクを用意したが, 被験者全員飲水しなかった。

午前の作業終了後, 被験者には1時間の昼休憩をとらせ, その後午前と同様の流れで午後の実験の準備, 作業を行った。昼食は弁当とお茶のペットボトルを支給したが, 飲水量は記録しなかった。午後の作業開始前にも500mLのスポーツドリンクを摂取させた。

2. 結果と考察

2.1 皮膚温

図-2 に作業を継続して安定した部分の皮膚温を評価するために作業終了直前の5分平均の被験者平均の部位別皮膚温を示す。午前午後ともに下肢部の足背, 下腿, 大腿ではVWTが他の服装よりも低下する傾向が見られた。これはVWTによる下半身への通風が汗の蒸発を促進して, 皮膚温低下をもたらしたと考えられる。改良型VWJにおいては通常VWJから前腕部分のゆとり量を増

やしたことから汗の蒸発による皮膚温の低下を期待したが, 通常VWJよりも高いか, ほとんど変わらなかった。また, 背部においては通風していないVWTではVWJを着ている条件よりも高くなると予想したが, 午前においては通常VWJとほとんど変わらない値となった。午後においてはVWTの方がVWJを着ている条件よりも高くなっているが標準偏差を見るとばらつきがあるため, 必ずしもVWTの方が高くなるとは言えない結果となった。全身平均皮膚温では, 服装条件によって大きな差は見られなかった。VWJとVWTのどちらか一方の冷却服を着ていたため, 部位別では差が見られるものの全体としては同等の冷却効果が得られていることが確認できる。

2.2 発汗量

図-3 に裸体発汗密度, 蒸発発汗密度を示す。VWTを着ている条件では, ほかの服装と比べて裸体発汗密度が高くなった。図-4の部位別発汗量を見ると, VWJを着ている条件では背部の値が低くなっており, VWT着用

表-2 実験スケジュール

実験時間(分)	AM					PM				
	AM1	休憩	AM2	休憩	AM2	PM1	休憩	PM2	休憩	PM2
裸体体重・深部体温	●		●		●	●		●		●
部位別発汗量					●					●
着衣体重・心拍数	●		●		●	●		●		●
舌下温・主観申告	●		●		●	●		●		●
皮膚温・心拍・活動量	●		●		●	●		●		●

表-3 被験者属性

被験者	年齢 (歳)	身長 [m]	体重 [kg]	職歴 (年)	VO _{2max} [mL/kg/min]
A	66	1.75	58	36	46
B	20	1.61	63	3	33
C	53	1.69	72	34	37
D	31	1.76	92	13	25
E	22	1.61	69	3	25
F	54	1.65	68	35	23

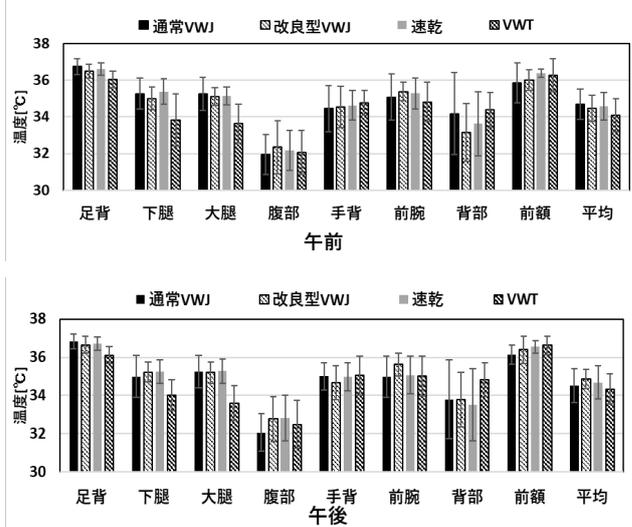


図-2 午前午後作業終了直前5分平均の部位別皮膚温

時には大腿の値が低くなっていた。このことから通風している部分では発汗量が少ないと推察され、通常は上半身の方が発汗量が多いことから、VWTの方が裸体発汗密度は高くなったと考えられる。また、蒸発発汗密度については服装条件による差は見られず、上半身の方が汗は多いもののVWJの有無によって差は見られなかった。

図-4の部位別発汗量を見ると、VWJを着ている条件では背部の値が低くなっており、VWT着用時には大腿の値が低くなっていた。このことから通風している部分では発汗量が少ないと推察され、通常は上半身の方が発汗量が多いことから、VWTの方が裸体発汗密度は高くなったと考えられる。また、蒸発発汗密度については服装条件による差は見られず、上半身の方が汗は多いもののVWJの有無によって差は見られなかった。

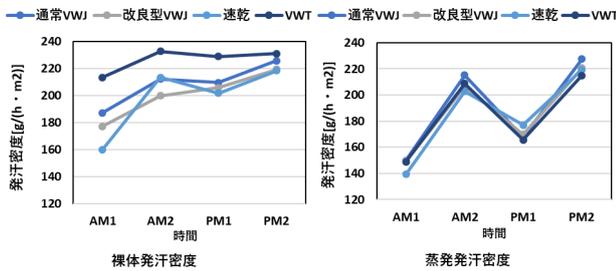


図-3 裸体発汗密度、蒸発発汗密度

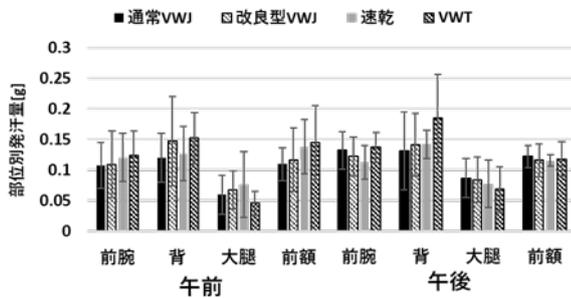


図-4 午前午後別部位別発汗量

2.3 衣服内温湿度

図-5に作業後半における部位別絶対湿度を示す。VWTに関しては上半身では長袖シャツのみ着用し上着を着用しなかったため、大腿部のみ結果を示す。大腿部においては午前よりも午後の方がやや高い値を示した。比較対象として人工気候室における絶対湿度も示してある。絶対湿度は、大腿部、前腕部、背部の順に高いが、大腿部以外では着用条件による差はみられなかった。図-6に衣服内温度を示す。全体として有意な差はみられなかった。

図-5, 6で示したPM60~100分平均値を空気線図上に示した(図-7)。34.5°C付近にあるデータが人工気候室の空気状態を表している。各条件の衣服内温湿度とその時の室内温湿度を線で結んでいる。

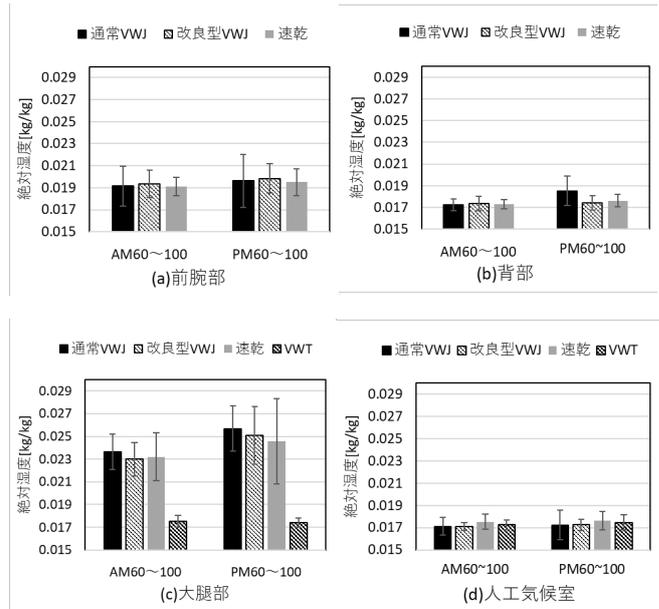


図-5 部位別絶対湿度

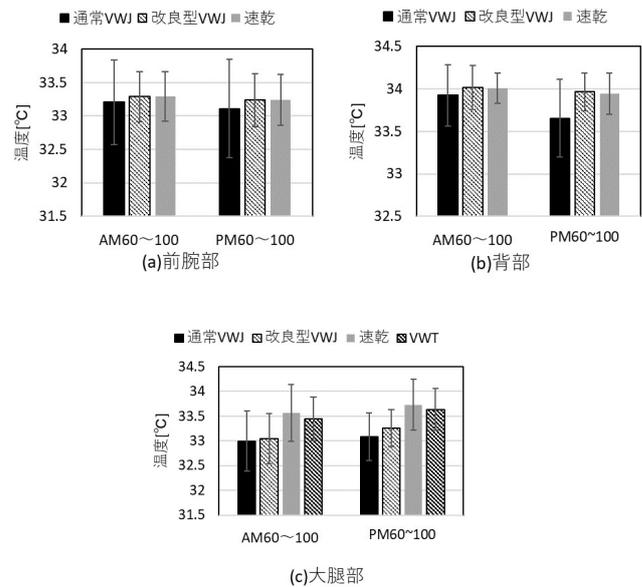


図-6 部位別衣服内温度

ファンで換気されていない大腿部の3条件に関しては、湿球温度が3.5°C程度上昇している。図-4に示したように大腿部は背部や前腕部よりも発汗量が少ないが、換気をしなければかなり加湿された状態になることがわかる。

一方、VWTを着用すると室内条件とほぼ同じ湿球温度であるため換気の効果が見て取れる。VWJで換気されている前腕部と背部は、ほぼ同様の変化を示しているが、背部よりも前腕部の方が絶対湿度はやや高いことが見て取れる。背部はVWTと同じように室内条件とほぼ同じ湿球温度を示していることから、ファンの付いている部位については湿球温度が変わらないことが推察される。前腕部は背部とほぼ同じ発汗量であるにもかかわらず、湿球温度は1°C程度上昇していることから、背部ほど換

気量が十分ではないか、前腕部への導入空気が胴部を経由しているため、湿度がやや高いことが影響している可能性も考えられる。また、改良型 VWJ や速乾シャツは通常 VWJ 条件とほぼ変化が同じであることから、皮膚温低下だけでなく衣服内環境の改善への影響はほぼ無かったことが明らかとなった。

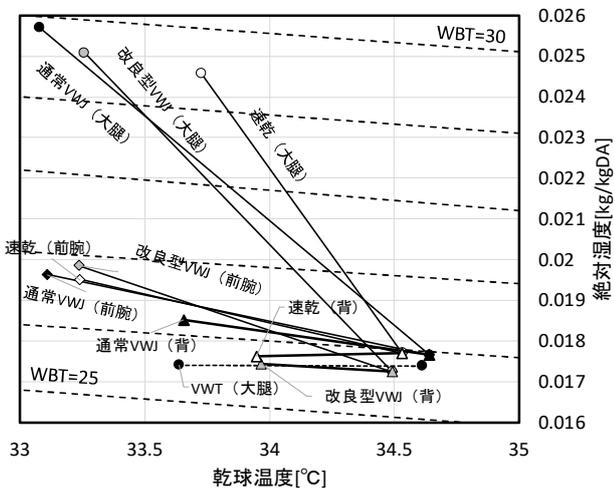


図-7 室内温湿度と衣服内湿度の関係

2.4 着衣残留汗量

図-8 に被験者平均の T シャツ残留汗量の比較と背部発汗量との関係を示す。通常・改良 VWJ では綿 T シャツを着用しているが、速乾 T シャツ着用時は残留汗量が少ないことが見て取れる。

図-4の背部発汗量と T シャツ残留汗量の関係を図-8 右に示す。回帰直線の差の検定を行った結果、通常 VWJ と改良型 VWJ との間では有意な差はみられなかったため、1本の回帰直線で示している（即ち綿 T シャツ着用時の回帰直線）。綿 T シャツと速乾 T シャツ着用時の間では有意な差が見られ、残留汗量としては背部発汗量に関係なく約 12g の差が見られる結果となった。

2.5 主観申告

図-9 に主観申告を示す。VWT は上半身の汗が T シャツに残り続けたことから着衣のぬれ感を感じた部分が多く、快適感も低くなっている。VWJ を着用している条件では、通風である程度は着衣のぬれ感を抑えることができている。快適感に関しても大きな差は見られなかった。VWJ のインナーを速乾素材に変えると着衣ぬれ感や快適感が向上することが期待されたが、綿素材を着用したときと着衣のぬれ感、快適感には大きな差は見られなかった。

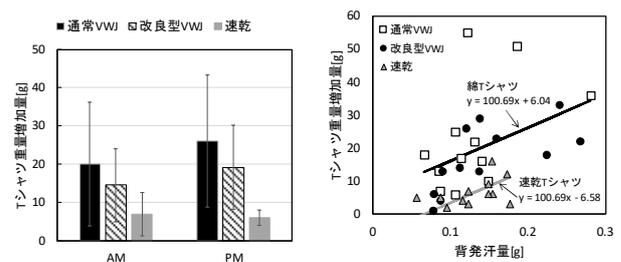


図-8 長袖 T シャツ残留汗量と背部発汗量の関係

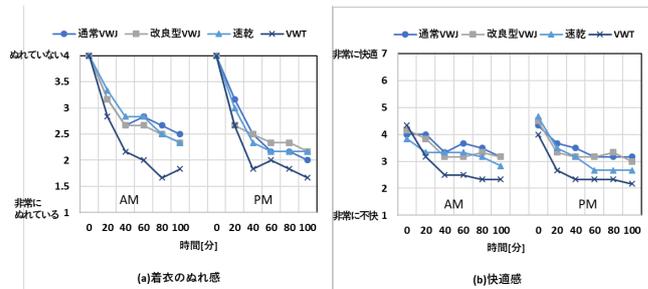


図-9 主観申告

まとめ

VWT を着用した条件では他の服装条件と比べて下肢部の皮膚温が低下する傾向が見られたものの、全身平均皮膚温は条件間に有意な差はみられなかった。通常 VWJ では上半身の皮膚温が他の服装条件よりも低い部分が多いことから、VWJ と VWT 両方着用した方がより冷却効果が得られると考えられる。改良型 VWJ に関してはゆとり量を増やしたものの通常 VWJ と比べて前腕部分での冷却効果は得られなかった。速乾 T シャツ着用時は、綿 T シャツ着用時よりも残留汗量が小さくなるものの、着衣のぬれ感や快適感には影響を及ぼさなかった。今後、VWJ の更なる改良と VWJ に適したインナー素材及び着用方法の検討が求められる。

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, 繊維製品消費科学, 44(8), 470/479.
- 3) 谷地, 栗原ほか, 2012, 熱中症の予防等暑熱環境評価のための体温予測モデル (13 報) 素材が着衣のぬれと人体に及ぼす影響, 空気調和・衛生工学会大会, 917/920
- 4) 梶井ほか, 通風温度測定装置と狭小部位の熱収支測定—通風装置と水分移動測定装置の制作—, 第 42 回人間-生活環境系学会シンポジウム, 67/70.