

被験者実験による冷却ベストの快適性評価

Thermal Comfort Evaluation for Cooling Vest by Subjective Experiments

山本 ゆう子 田辺 新一  
Yuko YAMAMOTO and Shin-ichi TANABE  
(お茶の水女子大学ライフサイエンス)

1. はじめに

通信機械室など、通常は無人で主に機械のみが作動している室内では、その冷房設定温度を高くし、空調運転効率を向上させることで、省エネルギーを図ることが出来る。しかし、室内が高温となるため、機械保守作業者の労働環境としては好ましくない。そこで高温環境下における快適かつ能率的な作業を可能にするための冷却ベストを開発してきた。平成10年度には改良を行った冷却ベストおよび新たに開発した冷却帽子の着用による生理的・心理的効果を被験者実験により調査した。本報では、被験者実験方法とその快適性評価結果について報告する。

2. 被験者実験方法

高温環境下での冷却ベストおよび冷却帽子の生理・心理的効果を測定するために被験者実験を行った。実験は平成10年7月8日～同年7月31日に、お茶の水女子大学感覚工学測定室にて、健康な大学生年齢の男性6名を被験者として行った。表1に被験者体躯を、図1に被験者実験風景を示す。

実験条件を表2に示す。人工気候室は、高温作業環境を想定し作用温度33℃、相対湿度40%、静穏気流に制御し、冷却ベストおよび冷却帽子の有無による比較を行った。また、作用温度28℃において作業着のみを着用する条件を加え、比較対象とした。冷却ベストは作業着の上から着用した。サーマルマネキンを用い、作業着の基礎着衣熱抵抗値を測定したところ、0.88cloであった。

図2に実験手順を示す。被験者は90分間の曝露期間中、機械保守作業を想定した1.4metの踏み台昇降運動を行った<sup>1)</sup>。生理的項目として、皮膚温8点(額、上腕、手、胸、背、大腿、下腿、足)、衣内温湿度(胸、背)、体重等の測定を行った。平均皮膚温は、気候馴化の式<sup>2)</sup>に従い算出した。次式に平均皮膚温算出式を示す。

$$\bar{T}_s = 0.07T_{forehead} + 0.15T_{upper arm} + 0.05T_{hand} + 0.18T_{chest} + 0.17T_{back} + 0.18T_{thigh} + 0.13T_{leg} + 0.07T_{foot}^{8)}$$

心理的測定項目としては、温冷感、快不快感、熱的受容度、発汗感覚、冷却したい部位等についての申告を10分ごとに行った。図3に申告用紙を示す。

表1 被験者の体躯

Num-ber	Sex	Age [year]	Height [cm]	Weight [kg]	Body Surface Area* [m <sup>2</sup> ]	Rohrer Index** [-]
6	Male	22.5 (1.05)	170.0 (4.00)	60.3 (9.29)	1.71 (0.12)	122.6 (18.76)

\*Calculated by Takahira's Equation :  $A=72.46W^{0.425} \times H^{0.725}$

\*\*Rohrer Index =  $W / L^3 \times 10^7$

( ) standard deviation



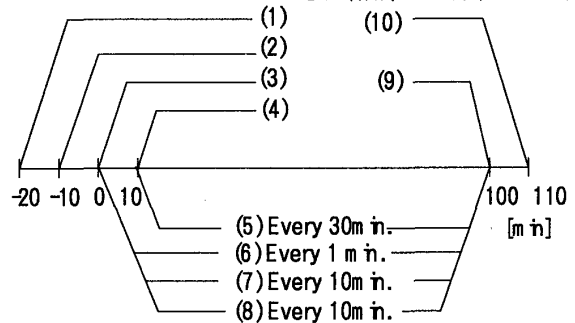
図1 被験者実験風景

(左:立位、右:踏み台昇降運動時)

表2 実験条件

実験条件	環境条件		着衣条件		
	作用温度(℃)	相対湿度(%)	作業服	冷却ベスト	冷却帽子
Control	33	40	○	×	×
V	33	40	○	○	×
V+C	33	40	○	○	○
C	33	40	○	×	○
To=28℃	28	40	○	×	×

○は着用、×は非着用を示す。



- (1) Coming-in, Change Clothes, Weight (7) Vote
- (2) Armpit temperature, Questionnaire (8) Activity; 1.4met
- (3) Start of the Experiment (9) End of Experiment
- (4) Enter the Climate Chamber (10) Change Clothes, Weight
- (5) Weight, Cooling vest's feeling
- (6) Physiological and Environmental Measurements

図2 実験手順

1. あなたはこの室内の熱環境をどう感じますか。

-3 -2 -1 0 +1 +2 +3  
 寒い 涼しい やや涼しい どちらでもない やや暖かい 暖かい 暑い

2. あなたはこの室内の熱環境を快適だと思いますか。不快だと思いますか。

0 -1 -2 -3  
 快適 やや不快 不快 非常に不快

3. あなたはこの室内の熱環境を受け入れられますか。受け入れられませんか。

-1 0 +1  
 受け入れられない どちらでもない 受け入れられる

4. 次に挙げる体の各部位の温冷感および快不快感についてお答えください。

4-1 背中

・温冷感 -3 -2 -1 0 +1 +2 +3  
 寒い 涼しい やや涼しい どちらでもない やや暖かい 暖かい 暑い

・快不快感 0 -1 -2 -3  
 快適 やや不快 不快 非常に不快

4-2 胸

・温冷感 -3 -2 -1 0 +1 +2 +3  
 寒い 涼しい やや涼しい どちらでもない やや暖かい 暖かい 暑い

・快不快感 0 -1 -2 -3  
 快適 やや不快 不快 非常に不快

4-3 顔

・温冷感 -3 -2 -1 0 +1 +2 +3  
 寒い 涼しい やや涼しい どちらでもない やや暖かい 暖かい 暑い

・快不快感 0 -1 -2 -3  
 快適 やや不快 不快 非常に不快

5. 冷やしたいと思う体の部位がございましたら、いくつでも○をつけてください。  
 顔 頸 胸 腹 背中 腕 手 大腿 下腿 足 その他 ( )

6. 汗のかきかたの状態についてお答えください。

0 1 2 3  
 発汗なし やや汗ばむ 汗ばむ 非常に汗ばむ

図3 申告用紙

2. 被験者実験申告結果・考察

図4に全身温冷感の申告結果を示す。20分から90分の申告の平均値は、冷却ベスト着用条件では[V]0.70、[V+C]0.61となり、ベスト非着用の[Control]1.75、[C]1.37に比べ熱的中立に近い値が得られた。[to=28°C]では0.21となり熱的中立に最も近い値となった。[Control]と各条件間の申告値の差をPMV<sup>9)</sup>(0.88clo、1.4met条件)を用いて作用温度換算すると、[V]、[V+C]では約5~6°C、[C]では約3°C、[to=28°C]では約8°Cの差となった。また、[Control]と[to=28°C]の温度差が5°Cであることから、各条件を線型関係にあると仮定し換算すると[V]、[V+C]では約3~4°C、[C]では約1°C分の冷却効果となった。

図5に全身快不快感の申告結果を示す。20分から90分の申告の平均値は[Control]-1.53、[C]-1.15、[V]-0.76、[V+C]-0.58、[to=28°C]-0.14となった。[Control]と各条件間の申告値の差をDISC<sup>9)</sup>(0.88clo、1.4met条件)を用いて作用温度換算し、求めた値を温冷感と同様に[Control]と[to=28°C]の差5°Cから線型を仮定し、換算すると[V]、[V+C]では約3°C、[C]では約1°C分の不快感抑制効果があることがわかった。

図6、7に冷却したい部位の申告結果を示す。20分目から100分目までの冷却したい部位の申告数の合計は、[Control]172、[V]103、[V+C]87、[C]131、[to=28°C]16となり、冷却ベストや冷却帽子を着用することで[Control]よりも申告数は減少した。冷却ベスト着用時は、非着用時と比較して頸と体幹部(胸、背中、腹)の申告数が減少したが、四肢の申告数は同程度もしくは増加する傾向が見られた。冷却帽子着用時は、非着用時と比較して顔の申告数が減少した。「他」として挙げられたポイントの殆どは、顔・肩であった。

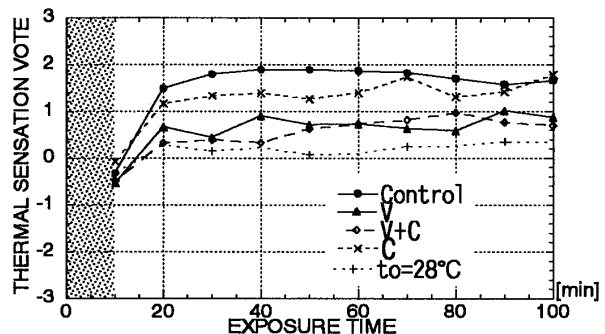


図4 全身温冷感申告値

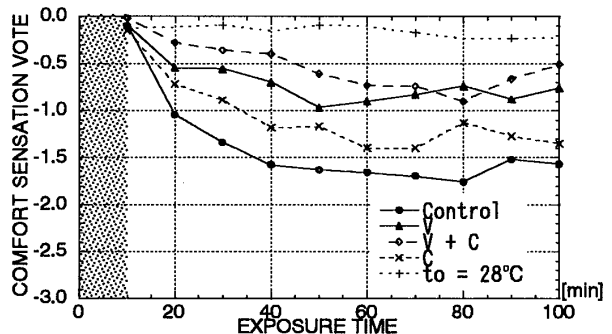


図5 全身快不快感申告値

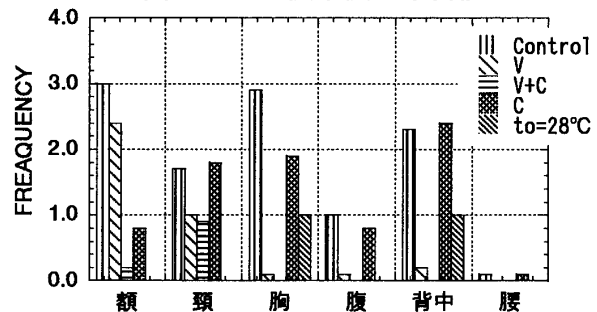


図6 冷却したい部位(頭頸部・体幹部)

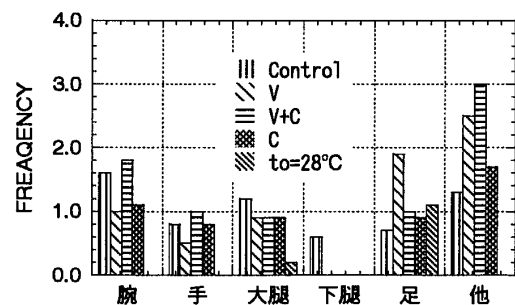


図7 冷却したい部位(四肢・その他)

表3に冷却ベストおよび冷却帽子の着用感に関する自由記述の結果の一部を示す。冷却ベストに関しては、快適であるという意見とやや不満を持つ意見が共に得られた。冷却帽子に関しては、不快を訴える意見が多く得られた。

図8、9に胸・頭部の温冷感と全身快不快感の相関図を示す。実験値とともに温冷感を0.5刻み(-0.5>, 0.0>, 0.5>, 1.0>, 1.5>, 2.0>)のカテゴリーに分け、カテゴリー平均値及び回帰式を示した。胸または頭部の温冷感が熱的中立に近づくにつれて、全身快不快感の値が減少し快適に近い値となった。また、胸の温冷感が0以下では、全身快不快感にばらつきが見られた。

表3 冷却ベストおよび冷却帽子についての着用感

冷却ベスト	冷却帽子
<ul style="list-style-type: none"> <li>・とても気持ちいい。</li> <li>・着心地、重さ、作業のしやすさともにいい感じだった。</li> <li>・身体が冷やされていて涼しいというより冷たい感じがする。</li> <li>・背中より冷たい方が気持ちいいが、胸はあまり冷たくない方がよい。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・着けはじめは冷たくて心地よい。</li> <li>・前頭部が重く、少し違和感がある。</li> <li>・頭に何かを着けるといのは不快である。</li> <li>・ベストに比べるとはつきりした効果が感じられない気がする。</li> </ul>

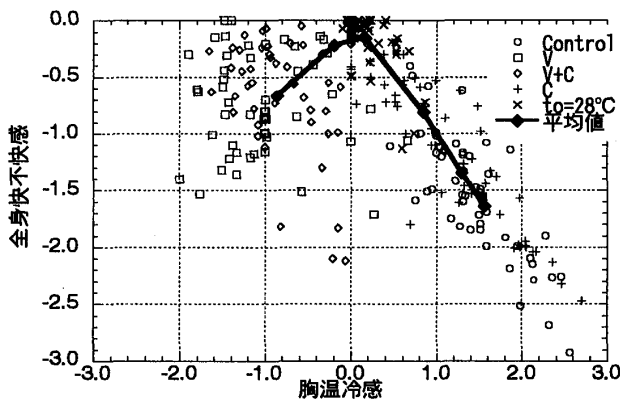


図8 胸温冷感と全身快不快感

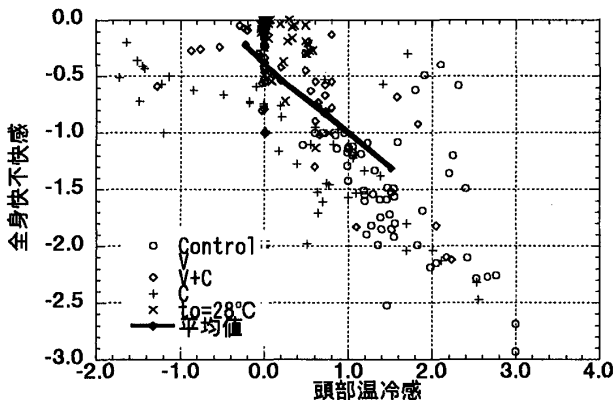


図9 頭部温冷感と全身快不快感

### 3. 被験者実験生理的結果・考察

図10に被験者の平均皮膚温を示す。冷却ベスト着用条件の[V]、[V+C]は、冷却ベスト非着用の2条件[Control]、[C]より約1°C低い皮膚温となった。また、[V]、[V+C]は[ $t_o=28^{\circ}\text{C}$ ]よりも低い皮膚温となった。この原因の一つとして、皮膚温の測定点に胸および背中中の冷却部位を含むことが考えられる。

図11に体の各部位ごとの皮膚温(21~100分目の平均値)を示す。冷却ベストの着用により、胸および背中中の皮膚温は約3°C低下した。冷却帽子の着用により、額の皮膚温は約1°C低下した。

図12に冷却ベスト着用時の胸の皮膚温を示す。胸の皮膚温は[V]よりも[V+C]の方が低い値となった。これは頭部冷却との相乗効果によって皮膚温が低下した可能性が考えられるが、この点に関しては今後さらに検討が必要である。

図13に皮膚温と衣内湿度から求めた胸の局所皮膚ぬれ率を示す。胸の局所皮膚ぬれ率は、冷却ベスト着用後約30分間は0.5以下に抑えられたが時間経過にともない、約0.7まで上昇した。

図14に体重減少量より求めた、各被験者の個人別皮膚ぬれ率を示す。皮膚ぬれ率には個人差が大きく、[Control]と比較して[V]、[V+C]の値が増加もしくは減少する人の2組に分かれたのに対し、[C]では一様に増加する傾向が見られた。

図15に実験直後の[Control]と[V+C]の全身サーモグラフの測定結果の例を示す。冷却ベストおよび冷却帽子の着用によって、冷却バックのある部分が冷却されていることがわかる。

図16に胸の皮膚ぬれ率と全身快不快感の相関図を示す。胸の皮膚ぬれ率が増加するにつれて全身快不快感の値が減少した。快不快感の勾配に関しては、Gaggeらの実験結果<sup>9)</sup>に近いものとなった。Gaggeらの結果よりも快不快感の値が小さくなった原因として、Gaggeらが全身の皮膚ぬれ率を用いているのに対し、胸のみの皮膚ぬれ率を用いたことが考えられる。

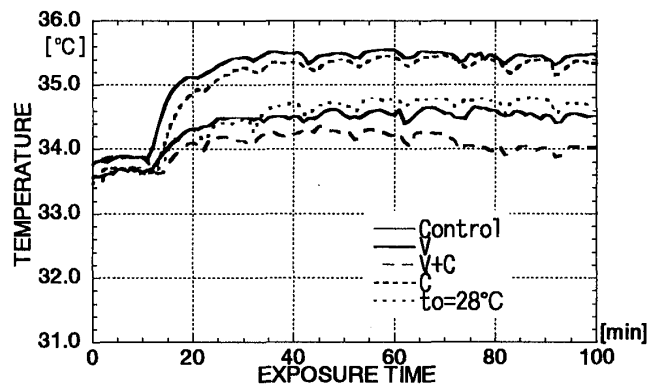


図10 平均皮膚温

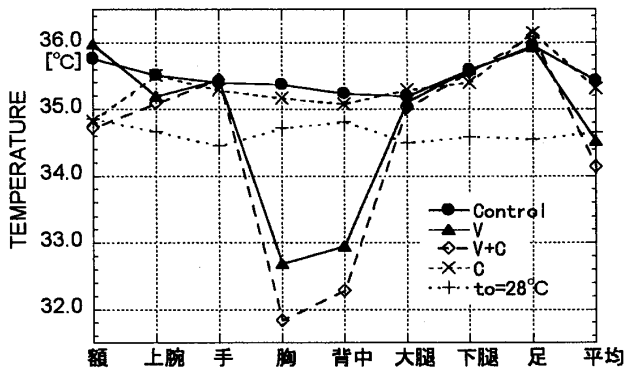


図 11 体の各部位の皮膚温

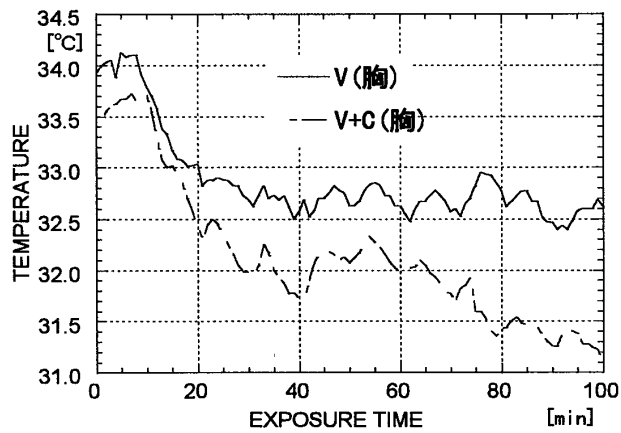


図 12 皮膚温 (胸)

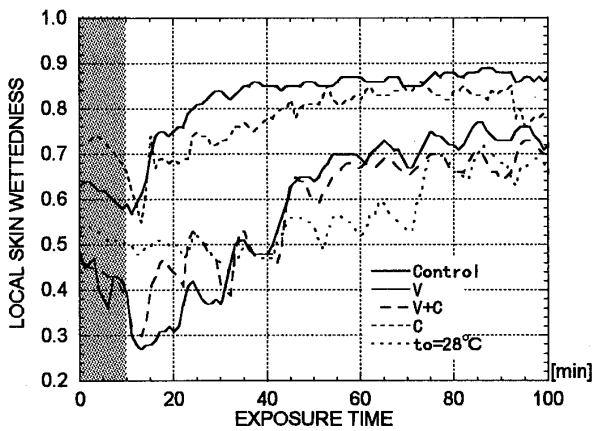


図 13 胸の局所皮膚ぬれ率

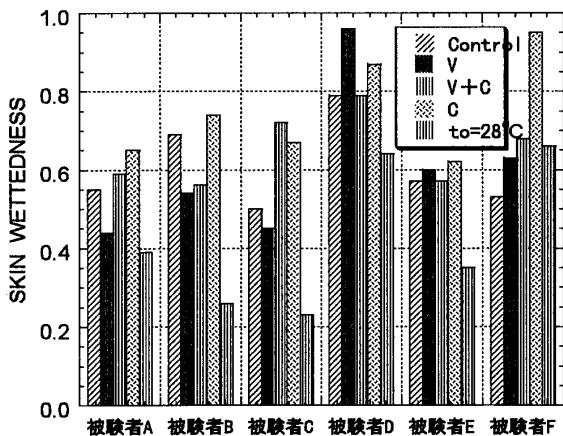
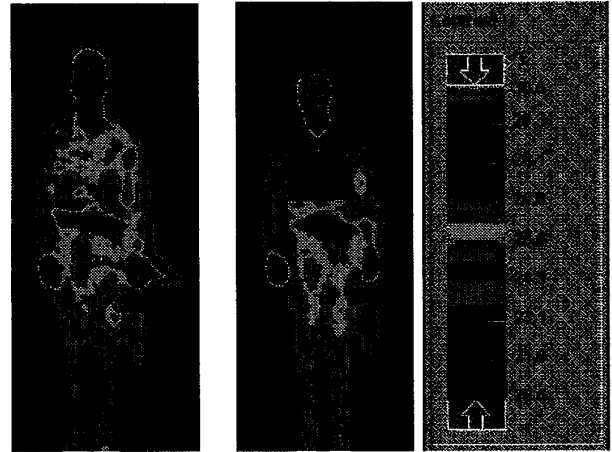


図 14 体重減少量より算出した皮膚ぬれ率



Control (実験直後) V+C (実験直後) scale

図 15 サーモグラフ

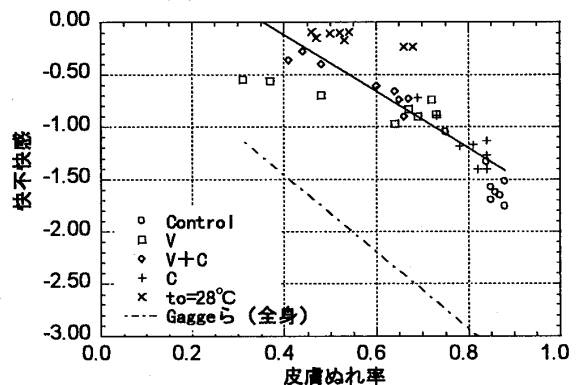


図 16 胸の皮膚ぬれ率と全身快不快感

4. まとめ

被験者実験の申告結果から全身温冷感および全身快不快感に関しては、[V]、[V+C]で約3~4°C、[C]で約1°C分の心理的効果がみられた。また、胸および頭部の局所温冷感と全身快不快感に関しては、局所温冷感が熱的中立に近づくにつれて、全身快不快感の値が減少し快適に近い値となった。

生理的結果では、冷却ベスト着用時の平均皮膚温は非着用時と比べて約1°C低下した。また、体の部位別皮膚温では冷却ベストの着用により、胸および背中 of 皮膚温は約3°C、冷却帽子の着用により、額の皮膚温は約1°C低下した。[V+C]では[V]と比べて胸の皮膚温が低くなり、頭部冷却との相乗効果の可能性も考えられる。

【参考文献】

- 1) 田辺, 今村, 蔭, 鈴木; オフィスにおける湿度が熱的快適性に与える影響, 空気調和・衛生工学会学術講演会講演論文集, 1995, pp.685-688
- 2) 中山昭雄編, 温熱生理学, 理工学社, 1981
- 3) ISO-7730 ; Moderate thermal environments - Determination of the PMV and PPD indices and specification of the conditions for thermal comfort, 1993
- 4) ASHRAE Handbook 1997 FUNDAMENTALS
- 5) A. P. Gagge, Y. Nishi and R. R. Gonzalez "Standard Effective Temperature - A Single Temperature Index of Temperature sensation and Thermal Discomfort" Thermal comfort and moderate heat stress ; 236 - 240, 1972