

## 冷却衣服着用時の熱的快適性

### *Thermal Comfort Conditions by Wearing a Cooling Vest in a Moderately Hot Environment*

西原 直枝

*Naoe NISHIHARA*

(早稲田大学理工学総合研究センター)

#### 1. はじめに

本研究では、作用温度 $30^{\circ}\text{C}$ ~ $33^{\circ}\text{C}$ の中程度の高温環境を対象とした冷却衣服を試作し、着用時の熱的快適性および作業効率について検討することを目的とした。

中程度の高温作業環境で有効な冷却衣服を試作するには、熱負荷を取り除くだけでなく、熱的快適性および作業効率の向上が重要であると考えられる。冷却衣服の熱的快適性に関する有効性および着用時の局所不快感を評価するために被験者実験を行った。また、人体各部位に冷刺激が与えられた場合の皮膚温や温冷感等について、冷刺激が与えられた部位における局所の変化や、局所の冷刺激が全身に与える影響を、分割衣服を用いた冷氣曝露法により調べた。さらに冷却衣服の使用環境である、中程度の高温環境が作業効率に与える影響を評価する手法を検討した。

この研究成果を博士論文としてまとめ、平成14年3月に学位を取得したので、その内容を以下に紹介する。

#### 2. 冷却衣服の有効性

##### 2-1 研究目的

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、機械保守のために作業者が入室する際には室内が中程度の高温環境となる場合があるため、労働環境としては好ましくない。

通信機械室内では、安全性の確保と粉塵を防ぐために、長袖の作業服を着用する必要があるため、室内が高温となっても着衣量を減少させることによる調節が難しい。人間に最も近い外部環境である衣服に冷却機能を持たせることにより個別に高温作業環境対策を行うことができ

ば、通信機械室内全体の空調に費やすエネルギーを抑制することが可能であり、省エネルギー的な効果も期待できる。

通信機械室の保守作業者が着用するには、1) 構造が簡単で利用しやすいこと、2) 作業を妨げないこと、3) 通信機械は水を嫌うため結露水を出さないこと、4) 万が一の破損の際に、さびを生じさせるような成分を含まないこと、5) 高温とはいえ室内の環境であるため、熱ストレスが屋外作業時よりは低いことが考えられる。

本研究では、通信機械室内での使用を対象とした冷却衣服を試作し、中程度の熱ストレス下における熱的快適性評価を行うことを目的とした。

##### 2-2 実験方法

中程度の熱ストレス下での快適な作業を可能にするための、氷冷式で体幹部を冷却する冷却ベストを試作した。図1に冷却ベストを示す。木綿製(Cotton)とメッシュ地(Mesh)の2種類を作成した。ベスト型の衣服と冷却パックからなり、着衣本体内側の胸部および背部に冷却パックを挿入し使用する。本冷却パックはポケット型の容器に断熱シートおよび潜熱蓄冷材(融点温度 $-1^{\circ}\text{C}$ 、融解潜熱 $335\text{kJ/kg}$ ( $80\text{kcal/kg}$ ): $50\text{g/個}$ 、 $110\text{mm}\times 80\text{mm}$ )を入れたものである。潜熱蓄冷材は、胸部に3個、背部に10個配置した。通信機械室内で使用することを考慮し、冷却パックの結露水対策を行った。

冷却ベストを着用し、中程度の高温環境下での機械保守作業を想定した被験者実験を、人工気候室にて行った。前室は冷房室を想定し、作用温度 $25^{\circ}\text{C}$ 、相対湿度50%に設定した。通信機械室を想定した実験室は、作用温度 $30^{\circ}\text{C}$ 、相対湿度40%、静穏気流に設定し、ベスト着用による効果およびベストの種類による比較を行った。また、実験室内を作用温度 $27^{\circ}\text{C}$ 、相対湿度40%に設定し、冷却ベストを着用しない場合を実験条件に加え、比

較の対象とした。実験室入室後の曝露時間は 90 分間とした。現場でのヒアリング調査に基づき、機械室での保守作業に相当する代謝量を 1.4met に設定し、田辺ら<sup>1)</sup>の方法を用いて、踏み台昇降運動により代謝量の調整を行った。冷却ベストは作業着の上に着用した。サーマルマネキン<sup>2)</sup>を用いた測定による作業着の基礎着衣熱抵抗値は 0.87clo だった。被験者は健康な男子学生 4 名、30-40 歳代男性 4 名、計 8 名で、各被験者は全ての実験条件に参加した。表 1 に実験条件を示す。

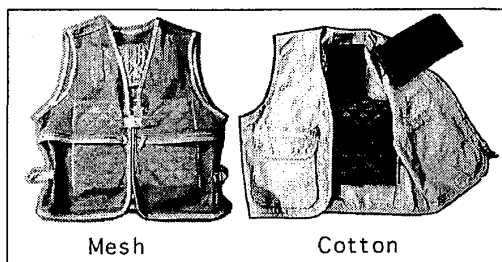


図1 冷却ベスト

表1 実験条件

実験条件	着衣条件	作用温度 (°C)	相対湿度 (%)	基礎着衣熱抵抗値 (clo)	代謝量 (met)
[Control]	作業着のみ	30.2	39	0.87	1.4
[Cotton]	作業着+木綿ベスト	30.2	39	-	1.4
[Mesh]	作業着+メッシュベスト	30.2	39	-	1.4
[to=27°C]	作業着のみ	27.1	39	0.87	1.4

前室(25°C, 50%rh)に 10 分間安静の後、実験室入室

### 2-3 実験結果

30-40 歳代男性の被験者群における、実験室入室後 10 分から 40 分の平均温冷感申告値を図 2 に示す。[Cotton]では 0.74, [Mesh]では 0.91 であり、[Control]の 1.48 よりも有意に低い値を示した ( $p < 0.01$ )。冷却ベストの冷却効果を評価するために、本研究では PMV 指標<sup>3)</sup>を用いた。PMV 指標は快適域に近い範囲での使用が推奨されており、労働暑熱下での評価には必ずしも適さない。しかし、本研究では、冷却衣服の着用により温冷感が熱的中立域に近づくこと、PMV では温冷感を +3 ~ -3 までの数値として表現できるため、被験者の主観的申告値との比較が容易であることから、PMV を評価に用いることとした。全身温冷感申

告値の差を PMV (0.87clo, 1.4met 条件) を用いて作用温度換算すると、[Control]に比べて、[Cotton]では 3.7°C, [Mesh]では 2.7°C, [to=27°C]では 4.9°C の差があった。また、実際の、[Control]と [to=27°C]との間の、環境の作用温度の差 3.1°C を用い、各条件を線形関係にあると仮定し換算すると、[Cotton]では作用温度 2.3°C, [Mesh]では作用温度 1.7°C に相当する冷却効果があることがわかった。しかし、時間経過にともない全身温冷感 は上昇し、入室後 50 分から 80 分の後半群では、[Control]との有意な差が認められなかった。

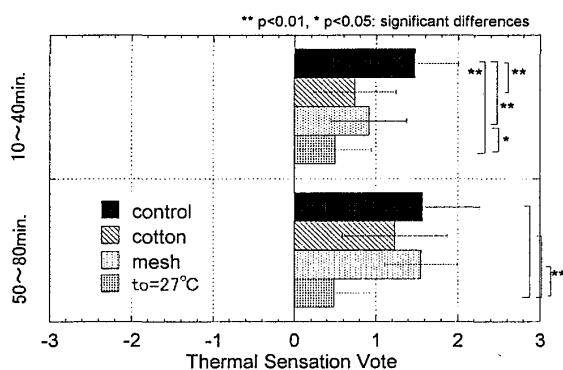


図2 入室後 10-40 分および 50-80 分の温冷感(middle age)

同様に快不快感に関し、DISC<sup>4)</sup>を用いて評価したところ、作用温度 1.5°C の冷却効果があった。また、発汗感覚を抑制し、皮膚ぬれ率を低く抑える効果があった。冷却衣服の着用により、体重減少量は約 35g/(m<sup>2</sup>・h) 抑えられ、皮膚面における潜熱損失量は約 15W/m<sup>2</sup> 低下した。時間経過にともない、温冷感、発汗感覚および衣内湿度が上昇し、冷却ベストの効果は、40 分程度だった。

### 3. 冷却衣服の局所不快感

#### 3-1 研究目的

従来の冷却衣服における研究では、主に暑熱環境下での使用、または熱抵抗が大きく通気性の小さい防護服とともに使用することを背景としているため、まずは、生理的な熱的負荷や全身の不快感を除去するのに有効であるかどうかが主な研究目的となっていた(諸頭ら<sup>5)</sup>, Bishop ら<sup>6)</sup>, Duncan ら<sup>7)</sup>, Pimental ら<sup>8)</sup>, Hayashi と Tokura<sup>9)</sup>)。一方、中程度の高温作業環境下における冷却衣服では、単に熱負荷を取り除き全身性の快適感を得るだけでなく、冷却衣服を着用する時の局所冷却

による不快感を生じさせないような快適性の高い衣服が望まれる。しかし、局所的に冷却を行うことによる不快感について扱った冷却衣服の研究は少ない。

本研究では、試作した冷却衣服を改良し、冷却衣服を着用した時の局所不快感について検討することを目的とした。

### 3-2 二種類の冷却衣服を用いた着用比較実験

1) 実験目的 二種類の異なる冷却衣服を用い、被験者を用いた着用試験を行った。熱的快適性評価を行うとともに、冷却衣服に特有な不快感を把握することを目的とした。

2) 実験方法 冷却衣服としては、1997年度に改良を行った冷却ベスト「Comfort Vest I」と米国で市販されている冷却ベスト「Type I」を用いた。図3、図4に「Comfort Vest I」と「Type I」を示す。「Type I」は冷却パックに断熱がなく冷却パックの表面温度は16.8℃であり、18.8℃の「Comfort Vest I」に比べて低かった。着用試験は、二種類の冷却ベストの比較に加えて、冷却ベストを着用しない条件との比較を行った。人工気候室は作用温度30.2℃、相対湿度37%rh、静穏気流に制御し、被験者実験を行った。

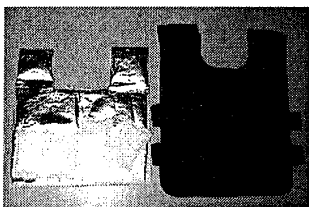


図3 Comfort Vest

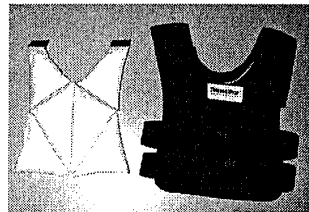


図4 Type I

3) 実験結果 冷却ベストの着用により、「Comfort Vest」および「Type I」ともに、全身温冷感は熱的中立状態に近づいた。冷却効果は冷却衣服の種類による有意な差は認められず、作用温度換算で5.7℃だった。また、冷却ベストの着用により、非着用時に比べて快適感は高くなり、高温環境下でも熱的受容度が高くなった。発汗感覚は冷却衣服の着用により、非着用時と比べて有意に低く、発汗感覚が上昇するのを抑制する効果があった。

胸部の皮膚温は、[Control] 条件では33.7℃まで上昇した。20-90分の[Comfort Vest I] 条件における平均値は32.6℃であり、作用温度25℃、相

対湿度50%、静穏気流に設定した前室に冷却ベストを着用せずに椅座位安静時と同じ水準を保った。一方、Type Iを着用した場合は、約31.1℃まで皮膚温が低下した。

胸部の局所温冷感を図5に示す。20-90分における[Control] 条件の平均値は1.10であった。冷却衣服を着用することにより、その値は有意に[Control] 条件よりも低くなった。20-90分における局所温冷感の平均値は、[Type I] で-1.55, [Comfort Vest I] で-1.26だった。また、[Type I] と[Comfort Vest I] との、冷却ベストの種類による比較では、局所温冷感[Type I]の方が[Comfort Vest I]よりも低い値となる傾向があった( $p < 0.1$ )。

図6に胸部における局所不快感申告値を示す。20-90分における[Control] 条件の平均値は-1.01であった。冷却衣服を着用することにより、その値は[Control] よりも有意に快適側の申告となった。20-90分における局所不快感の平均値は、[Type I] で-0.52, [Comfort Vest I] で-0.33だった。また、[Type I] と[Comfort Vest I] との、冷却ベストの種類による比較では、局所快不快感は[Type I]の方が[Comfort Vest I]よりも不快側の申告値となる傾向が認められた( $p < 0.1$ )。

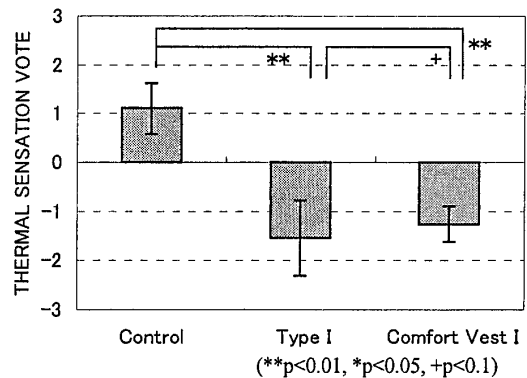


図5 胸部局所温冷感

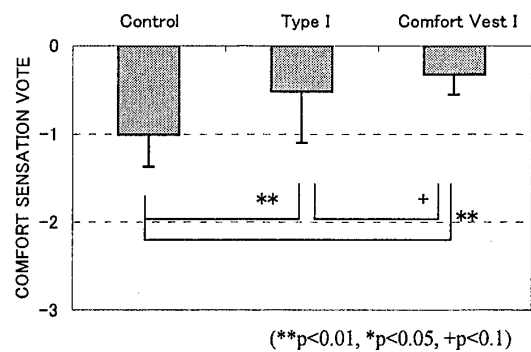


図6 胸部局所快不快感

冷却衣服を着用することにより、冷却部位である胸部の局所温冷感のデータは負の側、すなわち「涼しい」側に多く分布した。局所温冷感申告値が熱的中立状態よりも離れると、被験者はより不快感を強く感じていた。特に、[Type I] の着用は、[Comfort Vest I] の着用時に比べ、局所温冷感を低下させ、より不快感が高かった。過度な冷却は、局所的な熱的不快感を引きおこす可能性があることが示唆された。

### 3-3改良版冷却衣服を用いた局所冷却による不快感の評価

1) 実験目的 冷却ベストを改良し、改良した冷却ベストを用いた熱的快適性評価を行うとともに、局所冷却による不快感や着用時の生理的反応を明らかにすることを目的とし、被験者実験を行った。

2) 実験方法 図7に改良を行った冷却ベスト(Comfort Vest II)を示す。本研究で改良を行った"Comfort Vest II"は、氷冷式で体幹部を冷却する構造であり、冷却部位の皮膚温を約33℃に冷却した。潜熱蓄冷材そのものに生じる結露水よりも、冷却パックと人体との間で生じる結露水の方が多いことが明らかとなった為、"Comfort Vest II"の冷却パックの作成にあたっては、人体との接触部にて水分を吸収しやすい素材を使用することにより、結露水を効果的に吸収する構造に改良した。

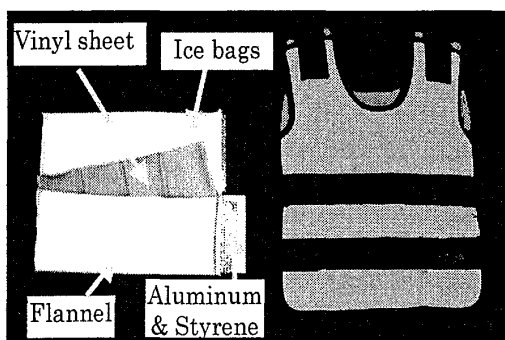


図7 Comfort Vest II

冷却衣服では、衣服内にアイスバックを挿入し熱を奪うため、通常の衣服のように、顕熱抵抗値のみでは評価を行うことができない。そこで、サーマルマネキンを用い、冷却衣服着用時の体の各部位における皮膚温および熱損失量を測定し、その冷却能力を評価した。まず、冷却衣服を着衣していない作業着のみの全着衣熱抵抗値を用い

て、冷却衣服着用時の皮膚温における熱損失量を推定した。次に、推定した熱損失量と冷却衣服着用時の実際の熱損失量との差を、冷却衣服の冷却量(単位;  $W/m^2$ )として算出した。図8に算出した冷却衣服の冷却量を示す。測定環境の作用温度が24℃から30℃の時、BackおよびChestの冷却量は約33 $W/m^2$ であった。また、冷却部位に隣接しているPelvisでは約11 $W/m^2$ であった。

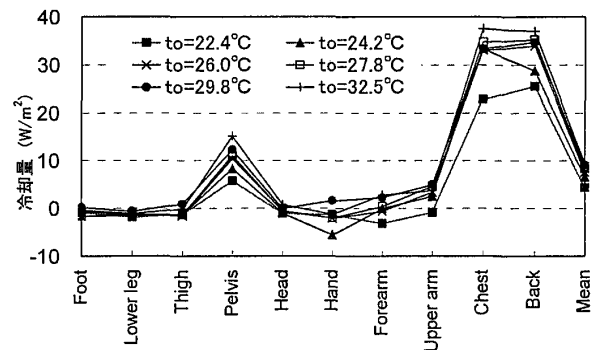


図8 冷却衣服の冷却量

高温環境下における冷却衣服の効果および、人体を局所的に冷却することによる不快感の評価を行うことを目的とし、被験者実験を行った。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、冷却ベストの有無による比較を行った。以後、冷却ベストを着用しない条件を[Control]、着用する条件を[Cooling vest]と記す。また、作用温度28.5℃において作業着のみを着用する条件[to=28℃]を加え、比較対象とした。冷却衣服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。

3) 実験結果 冷却ベストの着用により、温冷感および快不快感は非着用時に比べて有意に熱的中立状態に近づき、その冷却効果は作用温度換算で約3℃であった。全身発汗量、皮膚面における潜熱損失量および皮膚ぬれ率については、冷却ベストの有無による有意な差が認められなかった。発汗感覚は冷却ベストの着用により有意に低下した。図9に全身温冷感の申告値を示す。

冷却ベスト着用時の全身快不快感は、非着用時における代謝量1.4met、着衣量0.88cloの条件におけるPMVおよびDISCを用いた予測値と一致し、全身温冷感による影響が大きかった。図10に胸部の局所温冷感と局所快不快感の関係を示す。

冷却部位の局所温冷感が-1 (やや涼しい) より低くなると、局所快不快感は予測値よりもより不快側に分布した。全身温冷感を効率よく低下させるとともに、過度な冷却を行わないようにすることが重要であることが明らかとなった。

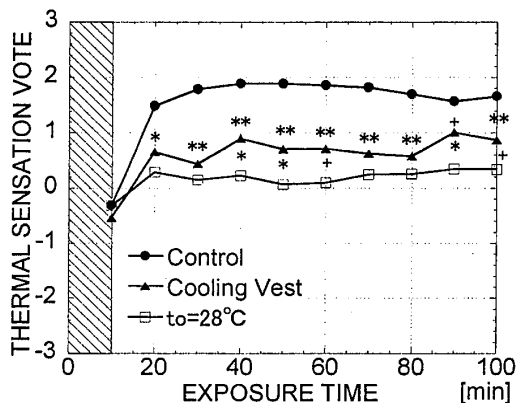


図9 全身温冷感

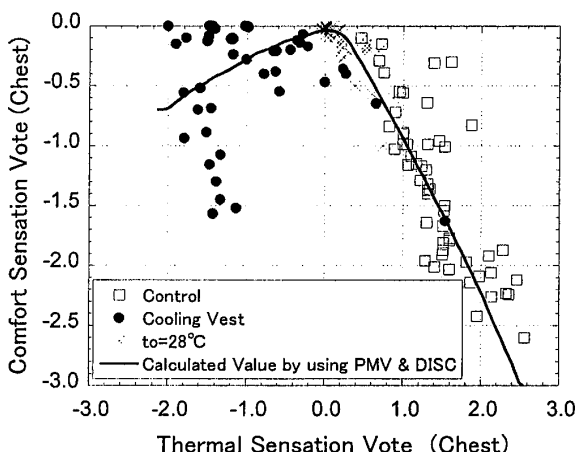


図10 胸部の局所温冷感と局所快不快感

#### 4. 熱的中立時における局所冷刺激に対する人体反応

##### 4-1 研究目的

本研究の目的は、人体各部位に冷刺激が与えられた場合の皮膚温、温冷感、熱流束について、冷刺激が与えられた部位の局所変化や、局所冷刺激による全身への影響を明らかにすることである。

##### 4-2 実験方法

被験者実験を行い、分割衣服を用いた冷氣曝露法により、頸、胸、背中、上腕、前腕、大腿、下腿の7部位を各400cm<sup>2</sup>ずつ、放射温度18°C、相対湿度50%、静穏気流の環境に40分間冷氣曝露した。被験者は実験開始1時間前に実験室に入室し、実験服に着替えた。下着は各自のショーツのみと

した。実験服着用後、皮膚温・熱流束のセンサを被験者の身体各部位に貼付し、30分後に実験を開始した。実験中、被験者は椅座位安静を保った。全身被覆状態で30分経過後、曝露部位である7部位のうち、1部位の実験服を取り外すことにより、放射温度18°C、50%RH、静穏気流の環境に40分間の局所冷氣曝露を行った。70分目に曝露部位を被覆し、100分目で実験を終了した。

##### 4-3 実験結果

冷氣曝露部位における局所皮膚温および局所温冷感は、頸曝露時の方が、他部位曝露時よりも高かった。また、冷氣曝露部位における局所皮膚温の低下量は、頸においては2.8°C、他6部位では約4°Cであり、頸の皮膚温低下量は他6部位よりも有意に小さかった。

曝露されていない部位の皮膚温や局所温冷感に与える影響が最も大きかったのは、頸曝露時であり、体幹部の皮膚温や局所温冷感も有意に低下した。表2に冷氣曝露後40分における曝露部位以外の皮膚温変化を示す。

表2 冷氣曝露後40分における曝露部位以外の皮膚温変化

皮膚温 変化量(°C)	曝露部位						
	頸	胸	背中	上腕	前腕	大腿	下腿
額	-0.15**	-0.11*				-0.13**	-0.10*
頸							
胸	-0.25*					-0.05*	
腹	-0.12*						
背中	-0.23*	-0.22**		-0.13*	-0.15**		-0.16**
上腕	-0.51**	-0.53**	-0.38*		-0.43**	-0.50**	-0.35*
前腕	-0.48**	-0.50**	-0.50**	-0.60**		-0.53**	-0.47**
手背	-0.77**	-0.76**	-0.56*	-0.71**	-0.87**	-0.83*	-0.52**
指先	-1.30*	-1.23*	-1.19*	-0.68**	-1.30**		-0.65*
大腿	-0.44**	-0.47**	-0.38**	-0.47**	-0.42**		-0.48**
下腿	-0.67**	-0.63**	-0.61**	-0.60**	-0.69**		-0.74**
足背	-1.16**	-1.28**	-1.10**	-1.31**	-1.31**	-1.25**	-1.10**
趾	-2.86**	-2.75**	-2.65**	-2.48**	-2.55**	-2.27**	-2.04*

□曝露部位 (\*\*: p<0.01, \*: p<0.05)

#### 5. 中程度の高温環境が作業効率に与える影響

##### 5-1 研究目的

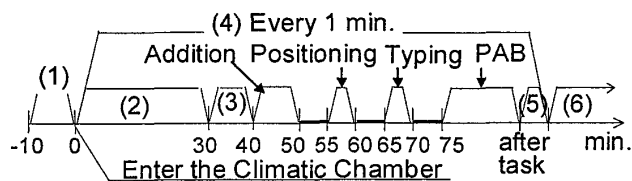
中程度の高温作業環境で有効な冷却衣服を試作するには、熱負荷を取り除き、快適性を得るだけでなく、作業効率が向上するかどうかことが重要であると考えられる。中程度の高温環境が作業効率に与える影響を評価する手法の検討を行った本研究では、作業成績の評価を行うとともに、新たに、精神作業時の疲労感の測定や中枢神経活動の指標とされている近赤外線分光による脳内酸

素代謝状態のモニタを行い、作業効率を測定する為の指標となるかを検討した。

5-2 実験方法

コンピュータを用いた複数の作業を被験者に課し、実験結果より中程度の高温環境が作業効率に与える影響について評価した。実験条件は、熱的中立状態として人工気候室の作用温度を25℃に設定した条件及び、より高温の環境として作用温度を28℃、33℃に設定した2条件を加えて計3条件とした。上記の3条件以外に作業の学習効果を除くため、実験の第一回目に作用温度25℃で練習条件を設けた。用いた評価手法は、作業成績、心理量測定、生理量測定および疲労感測定とした。

図11に実験手順を示す。被験者は実験服に着替えた後、人工気候室に入室し、約90分間の曝露実験を開始した。入室して30分間椅座安静にした後、第1回目の申告を行い、10分間の加算テスト、5分間のポジショニング作業、テキストタイピング作業、約15分のWalter Reed Performance Assessment Battery (PAB)<sup>10)</sup>の作業課題を順に実施した。被験者は各々の作業終了後、申告を行った。申告を行う時間も含め、作業と作業の間に5分間の休憩を取った。ただし、自覚症状調べ(日本産業衛生協会産業疲労研究会撰)は実験前後のみ申告を行った。また、被験者は実験前後に下着のみの状態で体重測定を行った。



(1) Change Clothes, Weight (2) Staying Sedentary, Questionnaire, Oral Temperature (3) Flicker Test, Evaluation of Subjective Symptom of Fatigue, Vote (4) Physiological and Environmental Measurements (5) Vote, Evaluation of Subjective Symptom of Fatigue, Flicker Test (6) Change Clothes, Weight - Vote, Intermission

図11 実験手順

表3に疲労感測定として用いた自覚症状しらべ<sup>11)</sup>の症状項目を示す。自覚症状調べは、全3群合計30項目で構成されている。各群の内容は、I群の10項目として「眠気とだるさ」を中心とする疲労一般の訴え、II群の10項目として「注意集中の困難さ」を示す作業意欲減退を中心とする

心的症状についての訴え、III群の10項目として「局在した身体の違和感」で体の特定部位に現れる心身症的訴え、である。被験者は、各症状のうち該当する項目に○を、該当しない項目に×を記入する。

表3 自覚症状調べの症状項目

I群	II群	III群
頭が重い	考えがまとまらない	頭がいたい
全身がだるい	話をするのがやむを得ない	肩がこる
足がだるい	いらいらする	腰がいたい
あくびがでる	気がちる	いき苦しい
頭がぼんやりする	物事に熱心になれない	口が乾く
ねむい	ちょっとしたことが悪い世でない	声が効く
目がつかれる	することに興味が多くなる	めまいがする
動作がこたない	物事に気がかかる	まぶたや筋肉がピクピクする
足もとが冷たない	きちんとしてられない	手足がふるえる
横ごなりたい	根気がなくなる	気分がわるい

本研究では、熱的中立状態より高温の温熱環境が疲労感に与える影響について調べるために、自覚症状調べを用い、上記3つの症状群がどのような出現をするかを分析した。症状の訴え率は吉竹らの方法<sup>11)</sup>に準拠し、次式に基づき算出した。

$$\text{症状訴え率 (\%)} = \frac{\text{対象集団の総訴え数 (「○」印の総数)}}{\text{項目の数} \times \text{対象集団の人数}} \times 100$$

図12に生理量測定の一つとして用いた近赤外線酸素モニタ(浜松ホトニクス NIRO-300)を示す。測定プローブは、半導体レーザーを光源とした近赤外線照射プローブおよび光検出プローブからなる。生体組織を通った光の吸収変化を測定し、Modified Beer-Lambert 則に基づき、脳内酸素化ヘモグロビン濃度変化量 ( $\Delta O_2HB$ ) および脱酸素化ヘモグロビン濃度変化量 ( $\Delta HHb$ ) を測定することができる。また、総ヘモグロビン濃度変化 ( $\Delta \text{total Hb} = \Delta O_2HB + \Delta HHb$ ) を算出することができる<sup>12)</sup>。

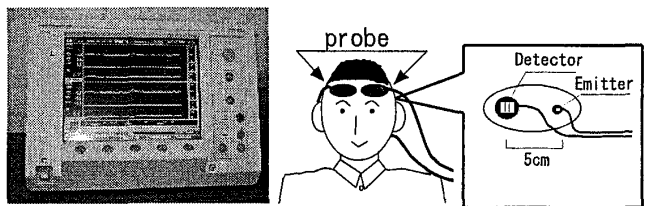


図12 近赤外線酸素モニタ

5-3 実験結果

作業成績による評価では、多くの作業に対し、

温熱環境による有意差が認められなかった。また、男性において環境条件による有意差が認められた作業に関しては、最も作業効率が低下した環境条件は、テキストタイピング作業では25°C条件、Four choice 作業では33°C条件であり、統一した見解は得られなかった。図13、図14にテキストタイピングおよびFour choice 作業の結果を示す。

知覚空気質の申告結果では、男女ともに、作業環境の作用温度が上昇すると、空気の新鮮度が有意に「むっとする」側の申告となった。

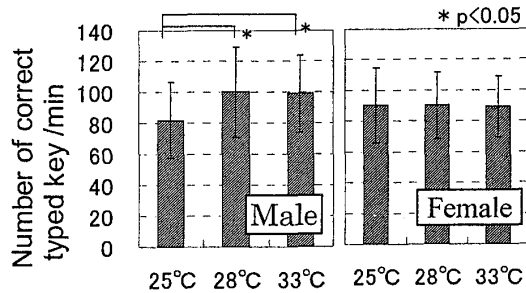


図13 テキストタイピング作業成績

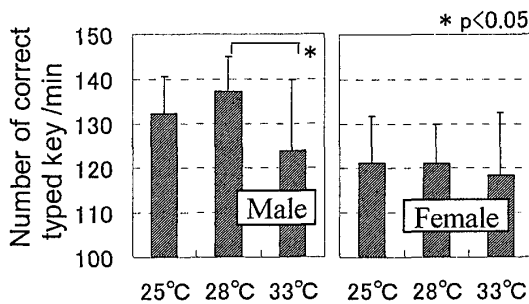


図14 Four Choice 作業成績

表4、表5に作業前後の訴え率を環境条件別に示す。作業前および作業後の総合自覚症状の訴え率は、男女ともに、33°Cが最も高く、次いで28°C、25°Cの順だった。作業環境の作用温度が熱的中立状態より高温になることにより、自覚症状の総合訴え率が高くなることが示唆された。

症状群別の訴え率の順序関係を調べた。作業前は、25°C条件、28°C条件は、男女ともにI>III>IIの順であり、疲労の一般型であったが、33°C条件では、男女ともにI>II>IIIの順となり、精神作業・夜勤型の疲労感を生じていた。II群の疲労訴え率は、作業環境が高温になるほど高かった。作業後は、男性では、全ての条件においてI>II>IIIの順となり、精神作業・夜勤型となった。女性では、25°C、28°C条件ではI>III>IIの順であり、疲労の一般型であったが、33°C条件ではI>II>IIIの

順となり、精神作業・夜勤型の疲労感となった。

表4 作業前後の訴え率の条件別比較(男性)

	条件	I群	II群	III群	総合
作業前	25°C	15.5	> 3.5	< 5.5	8.2
	28°C	23.0	> 5.0	< 7.0	11.7
	33°C	24.0	> 12.0	> 11.5	15.8
作業後	25°C	21.5	> 14.0	> 13.5	16.3
	28°C	28.0	> 15.5	> 13.5	19.0
	33°C	24.5	> 21.5	> 14.5	20.2

表5 作業前後の訴え率の条件別比較(女性)

	条件	I群	II群	III群	総合
作業前	25°C	16.5	> 1.5	< 5.5	7.8
	28°C	26.5	> 8.0	< 11.0	15.2
	33°C	32.0	> 14.0	> 12.0	19.3
作業後	25°C	31.5	> 12.5	< 14.0	19.3
	28°C	31.5	> 15.0	< 18.5	21.7
	33°C	34.0	> 19.0	> 16.5	23.2

図15に酸素化ヘモグロビン濃度変化量、図16に脱酸素化ヘモグロビン濃度変化量、図17に総ヘモグロビン濃度変化量を示す。

酸素化ヘモグロビン濃度の増加量は、作用温度33°C条件の方が25°C条件よりも有意に大きかった ( $p<0.01$ )。作用温度33°C条件下では、酸素化ヘモグロビン濃度変化の平均は、左脳側で+2.65  $\mu\text{M}$ 、右脳側で+2.47  $\mu\text{M}$ であり、増加側の値となった。一方、作用温度25°C条件下では、左脳側で-3.91、右脳側で-1.26であり、減少側の値となった。

脱酸素化ヘモグロビンについては、作用温度33°C条件の方が25°C条件よりも有意に濃度の減少量が小さかった(左脳側  $p<0.01$ 、右脳側  $p<0.05$ )。脱酸素化ヘモグロビン濃度変化の平均は、作用温度33°Cおよび25°C条件ともに減少側の値だった。

総ヘモグロビン濃度変化の平均値は、作用温度33°C条件の方が25°C条件よりも有意に大きかった ( $p<0.01$ )。作用温度33°C条件下では、酸素化ヘモグロビン濃度変化量の平均は、左脳側で+1.71  $\mu\text{M}$ 、右脳側で+1.68  $\mu\text{M}$ であり、増加側の値となった。一方、作用温度25°C条件下では、左脳側で-5.25  $\mu\text{M}$ 、右脳側で-2.52  $\mu\text{M}$ であり、減少側の値となった。

既往の研究より、暗算作業や鏡映描写作業などの精神作業負荷時に、酸素化ヘモグロビンの増加、脱酸素化ヘモグロビンの減少、および総ヘモグロビンの増加が、典型的に認められると報告されている<sup>13), 14)</sup>。作用温度33°C条件では25°C条件に比べ、有意な酸素化ヘモグロビン濃度の増加および総ヘモグロビン濃度の増加が認められた。また、



脱酸素化ヘモグロビンについては、作用温度 33°C 条件の方が 25°C 条件よりも減少量が小さいものの、濃度の減少が見られた。これらの結果は、精神作業時に典型的に生じると報告されている脳内酸素代謝の状態と一致している。

作用温度が 33°C の条件では、精神作業・夜勤型の疲労感が生じ、脳内酸素代謝も精神作業時に典型的な状態となった。作業効率を向上させるような冷却ベストの設計には、単に作業成績のみから評価するのではなく、疲労感や心理量・生理量の測定により評価する必要があることがわかった。

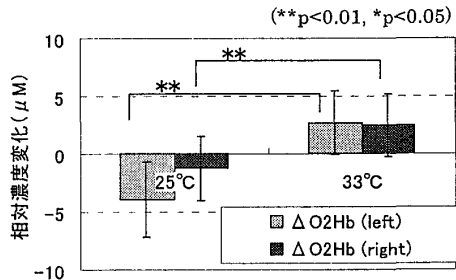


図15 酸素化ヘモグロビン濃度変化

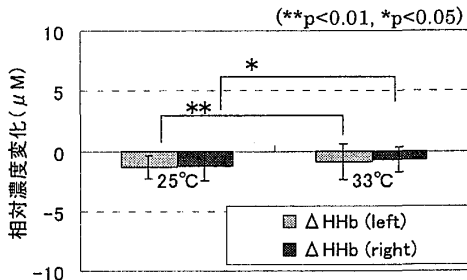


図16 脱酸素化ヘモグロビン濃度変化

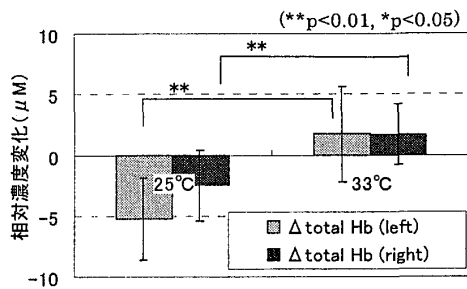


図17 総ヘモグロビン濃度変化

6. まとめ

本論文では、作用温度 30°C~33°C 程度の中程度の高温環境を対象とした冷却衣服の試作を行うとともに、冷却衣服着用時の熱的快適性評価を行い、その効果を定量化する手法を提示した。局所冷却による不快感が生じることを明らかとし、快適な冷却衣服の設計に応用可能な基礎データ

を示した。さらに、分割衣服を用いた冷気曝露法により、局所的に人体を冷却する場合の人体反応特性を検討し、頸部の冷却は他部位冷却時に比べ、冷気曝露されていない部位の局所皮膚温や局所温冷感の低下に大きな影響を与えることを示した。また、中程度の高温環境が作業効率に与える影響を評価する手法として、作業成績、生理量、心理量および疲労感の測定による評価手法の有効性を示した。

【参考文献】

- 1) 田辺新一, 今村寿子, 蔣秋文, 鈴木考佳: オフィスにおける湿度が熱的快適性に与える影響 (その3. 実験方法および衣服素材が異なる場合の被験者実験結果), 空調和衛生工学会学術講演会講演論文集, pp.685-688, 1995
- 2) 田辺新一, 長谷部ヤエ: 皮膚温度可変型サーマルマネキンによる室内環境評価法に関する研究, 日本建築学会計画系論文報告集, 448, pp.1-8, 1993
- 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, 1997
- 5) 諸頭昌和, 菊本誠, 大隅正人, 酒井貴史, 萩原素雄, 木村哲彦, 高山忠雄, 多屋秀人: 体温自動調節器に関する研究, 第12回人間-熱環境系シンポジウム報告集, pp.131-133, 1988
- 6) Bishop, P. A., S. A. Nunneley, J. R. Garza, S. H. Constable: Comparisons of air vs. liquid microenvironmental cooling for persons performing work while wearing protective, Trends in ergonomics/human factors V, (Elsevier Science Publishers, Amsterdam), pp.433-440, 1988
- 7) Duncan, J. R., S. A. Konz: Industrial and laboratory evaluations of personal dry-ice cooling, AIIE transactions, 10(2), pp.131-138, 1978
- 8) Pimental, N. A., H. M. Cosimini, M. N. Sawka, C. B. Wenger: Effectiveness of an air cooled vest using selected air temperature and humidity combinations, Aviation, Space, and Environmental Medicine, 58, pp.19-24, 1987
- 9) Hayashi, C., and H. Tokura: Improvement of thermophysiological stress in participants wearing protective clothing for spraying pesticide, and its application in the field, Int Arch Occup Environ Health, 73, pp. 187-194, 2000
- 10) Thome, D. R., S. G. Genser, H. C. Sing and F. W. Hegge: The Walter Reed Performance Assessment Battery. Ankh International Inc. Printed in the U.S.A., Neurobehavioral Toxicology and Teratology, Vol.7, 415-418, 1985
- 11) 吉竹博, 改訂産業疲労-自覚症状からのアプローチ, 労働科学研究所出版部, 1993
- 12) Delpy D. T., Cope M., van der Zee P, Arrige S, Wray S, Wyatt J.: Estimation of optical pathlength through tissue from direct time of flight measurement, Phys Med Biol, Vol.33, pp.1433-1442, 1988
- 13) 木戸眞美: 近赤外線吸収で測る精神作用, 医用電子と生体工学, Vol. 33, 特別号, pp. 357, 1995
- 14) A. Villringer, J. Planck, C. Hock, L. Schliekner and U. Dirnagl: Near infrared spectroscopy (NIRS): a new tool to study hemodynamic changes during activation of brain function in human adults, Neuroscience Letters, Vol. 154, pp.101-104, 1993