東京学芸大学リポジトリ
Tokyo Gakugei University Repository

消防活動におけるヒートストレス対処に関する研究：衣服内温度モニターによるヒートストレス予測と警報指標値の設定

メタデータ	言語: Japanese
	出版者:
	公開日: 2012-06-01
	キーワード (Ja):
	キーワード (En):
	作成者: 村山,雅己, 物部,博文, 生野,晴美
	メールアドレス:
	所属:
URL	http://hdl.handle.net/2309/127943

東京学芸大学紀要　総合教育科学系Ⅱ　**63**: 187－195，2012.

消防活動におけるヒートストレス対処に関する研究

―― 衣服内温度モニターによるヒートストレス予測と警報指標値の設定 ――

村山　雅己*・物部　博文**・生野　晴美***

生活科学分野

（2011年9月28日受理）

1．はじめに

消防活動における危険性のひとつとしてヒートストレスがある。火炎や熱輻射を遮る消防員装具は必然的に衣服熱抵抗の高い密閉型の衣服であり，代謝による人体蓄熱を適宜放熱できなければ熱中症に陥ることになる。ビル火災等における屋内消火活動では消防員装具をフル装備（防火服，ヘルメット，手袋，長靴，自給式呼吸器など）して消火活動を行うことになるが，環境気温が30℃を超える場合には作業による代謝熱量は殆ど人体に蓄熱されると想定され，体重65kgの消防士が20分間，中程度の作業（代謝量145W/m^2）[1]に従事しただけで体温は1℃以上上昇する。著者らの同条件の実験においても直腸温の上昇が確認されている[5,6,7,8,9]。このような状態では，適宜放熱を行わなければ，熱中症となるのは明らかである。

消防員装具等の密閉型衣服におけるヒートストレスの対処については種々の研究がなされており，透湿性生地の使用，冷却剤の取り付け[2]などのほか，衣服内強制換気[3]，水冷服[4]の使用などが検討されている。しかしながら，消防員装具は自給式呼吸器を装着するなど重装備であり，作業性が阻害される可能性のあるさらなる装備は敬遠される傾向にある。従って，強制換気，水冷などは，そのヒートストレス抑制効果が確認されていても普及していない。

本研究においては，「消防士が自身のヒートストレス状況を逐次把握すること」が可能であれば熱中症による意識障害等を事前に回避できるという視点に立ち，衣服内温度のモニターによるヒートストレス予測とヒートストレス警報指標の設定について検討した。

2．消防活動の種類とヒートストレス対処

特殊な火災をのぞき，一般的な消防活動のパターンを大きく分類すると木造家屋火災，山林火災，ビル火災の3通りに分けられる。

木造家屋火災の場合，一般的な消防活動時間は約1時間程度と想定され，消防員装具をフル装備しての活動は，自給式呼吸器1回分の使用時間20-30分内と思われる。そのため，ヒートストレスの対処は，作業時間の管理と運用で対処可能な場合がほとんどである。

山火事などにおいては，基本として消防員装具を着用していない。火炎の中に入っての活動は想定されておらず，ヒートストレスの対処は必要ない。

その一方で，ビル火災においては，屋外からの消防活動のみならず，屋内での火災対処が多く，消防員装具＋自給式呼吸器のフル装備による活動が最も多いことからヒートストレス警報装置の必要性が大きいと考える。

本報においては，環境気温が30℃を超え，消防員装具＋ヘルメット＋自給式呼吸器のフル装備で消火活動を行わなければならないビル火災のような状況を想定した。

3．ヒートストレスの予測と警報装置

3．1　衣服内温度によるヒートストレス予測

ヒートストレスをモニターするための人体温度とし

＊　社団法人　日本船舶品質管理協会　製品安全評価センター
＊＊　横浜国立大学　教育人間科学部　保健体育講座
＊＊＊　東京学芸大学　教育学部　生活科学講座

ては，脳温を反映するであろう外耳道温または人体核温度を反映するであろう直腸温が望ましい。次点としては腋窩，口内又は額温度などがある。しかしながら，本研究では簡易・容易性を最重要とし，衣服内気候の温度（以下，衣服内温度という）によるヒートストレス予測を試みた。

著者らによる実験[5,6,7,8,9]において，密閉型衣服による衣服内温度（特に上昇値）は平均皮膚温に近似することが把握されており，密閉型衣服においては，ヒートストレスが高くなるほど，平均皮膚温は人体核温度を反映する直腸温に近似すると予測した。

（独）消防研究所の「消防用防火服の快適性能，機能性能の評価に関する研究報告書」[10]には，栃原研究室における室温30℃，相対湿度50％環境下での10分運動と10分休息を３回繰り返した場合の直腸温と平均皮膚温の差が示されている。それは成人男子被験者８名の平均値であり，第１回目の運動終了後には直腸温と平均皮膚温の差は１℃以内となっており，第２回目の運動終了後には0.5℃以内となる結果である。

以上のことから，防火服など密閉型衣服を着用して作業する場合，衣服内温度上昇値は平均皮膚温上昇値に近似しており，ヒートストレスが大きくなった場合，衣服内温度は直腸温度値に近似することから，衣服内温度を測定することによりヒートストレスの予測を判定し警報をすることが可能と判断した。

ヒートストレス警報装置は上記要件を満たす消防員装具内の皮膚に近いポケットに入れて衣服内温度を測定し，音声又は警告音により警告又は警報ができる装置とする。

本報においては詳細を述べないが，警報装置の試作品は衣服内温度以外に心拍計および加速度計を搭載し，無線LAN（Wi-Fi）等の無線技術により屋外に待機する現場基地局，消防署などと逐次データ通信，音声通信をする機能も構築した。

３．２　ヒートストレス警報装置の基本仕様

ヒートストレス警報装置の基本は，温度計と警報（又は音声）出力装置の組合せである。機器仕様の想定は次の通りである。

（1）寸法・質量

軽量で衣服内ポケットに入れる程度で使用できることを考慮し，試作品は寸法60×24×120 mm（約150 g）におさめたが，今後はより小さく収めることを想定する。温度センサーは本体から20cm程度のケーブル先端とする。

（2）警報出力

警報は，音声又は警報音とし，プログラムの設定により，自身のスピーカー又は無線等を介してヘルメット内スピーカーに出力する。

（3）ヒートストレス警報装置の取り付け位置

ヒートストレス警報装置の温度測定において，皮膚に貼り付けを要するセンサーは実用的でない。そして，できるだけ平均皮膚温に近似する衣服内温度の位置を検討した場合，装具内の衣服ポケットにセンサーを装着する手法が妥当であろうと想定した。

それは，以下のような理由による。

まず，消火活動時には呼吸器や安全ベルトを装着するので，これらの装備の装着や活動を妨げない位置にセンサーおよびユニットを収納しなければならない。同時に，消防士が本装置を付けた時に転倒や打撲，火炎によって傷害を負わないことも重要である。消防現場では，事故および傷害がもっとも忌避されるからである。その上で，外乱要因が少ない（例えば額温度は，呼吸器の影響を受けたり，環境温の影響を受けたりする）測定点を過去の我々の研究結果から，衣服内なおかつ間隙がある部分として，胸部又は腹部域にあるポケットをヒートストレス警報装置の取り付け位置とした。

４．ヒートストレス予測の被験者実験

ヒートストレス警報装置の重要なポイントは，警報の基となる体温上昇値をどのように測定するかにある。前述の通り，密閉型衣服の場合は皮膚に近い衣服のポケット内であれば，およそ人体の表面温度と相違がなく，定常状態からの温度上昇値であれば，さらにその差は小さいと考えられる。これらを実証するために，健康な男子３名により被験者実験を行った。

４．１　実験方法

衣服内温度が体温代表値と成り得るかを確認するため，環境気候室を使用し，夏日想定の30℃，相対湿度60％の環境下において実験を行った。ビル火災を想定して，消防員装具に自給式呼吸器を装着し，実際の空気ボンベを使用して実験を実施した。被験者の身体特性をTable 1 に示す。

Table 1　Characteristics of the subjects

	Height (m)	Weight (kg)	Age (year)
Subject　A	1.687	65.0	37
Subject　B	1.685	59.4	22
Subject　C	1.720	82.0	38

実験は，被験者の暑熱順応を考慮し予備実験を含め夏季（7月，8月）に実施した。また，補足的なデータについては，秋季（11月）にもデータを収集した。

（1）測定項目

1）人体温度測定として，直腸温1点，外耳道温1点，皮膚表面温度8点，衣服内温度1点。平均皮膚温の測定位置及び計算はISO 9886:2004による8点法[11]を使用した。

2）環境測定として，環境温湿度，輻射温度，室内気流

3）その他，参考として，被験者の脈拍，温冷感

（2）被験者の装備

被験者の装備は，綿下着・靴下，ジャージそして東京消防庁用防火服一式（防火服上下，手袋，ヘルメット，防火靴，小林防火服製KB-BT）及び自給式呼吸器と空気ボンベ（重松製作所製ライフゼムZ30，530CⅡZ）とした。

（3）実験手順

自給式呼吸器を使用する場合の消火活動は1本のボンベで可能な約20分と想定した。実験の状況をFig.1に示す。

1）被験者は実験開始2時間前に30℃の恒温室に入室

2）被験者にセンサー等を装着後，消防員装具をフル装備して5分間安静

3）自給式呼吸器を着装し，エルゴメータにより20分間の作業（145W/m^{2}相当）

4）作業終了後，装具類着装のまま5分間休止（呼吸器の使用停止）

5）呼吸器，ヘルメットを外し，上着も開放，扇風機（風速1m/s）による強制冷却を実施，直腸温が上昇から下降に転じた時点で実験終了。

Fig. 1　Circumstance of the experiment

4．2　実験結果

本実験における代表的な結果として被験者Aによる試験開始前後85分間の平均皮膚温，直腸温，外耳道温，そして衣服内温度と環境気温の変化をFig.2に示す。

試験開始30分後（作業終了5分後）において，平均皮膚温1.7℃，外耳道温0.9℃，直腸温0.7℃上昇した。そして，衣服内温度上昇は平均皮膚温とほぼ同様の1.7℃であった。

直腸温は，作業終了5分後において，ヘルメット及び呼吸器を外し，上着の前を開放して扇風機（風速1m/s）による送風を行った状態でも上昇し，下降に転じたのは試験開始およそ45分後，作業終了後15分前後である。

外耳道温は作業終了数分後で上昇が止まり，ヘルメットを外した時点で確実に下降した。

実験における被験者3人の温度データ平均値をTable2に示す。

環境条件は温度30±0.5℃，相対湿度60±3%，輻射温度30±0.5℃，気流0.2m/secであった。

5．ヒートストレス指標の設定

5．1　ヒートストレス指標温度（熱中症と深部体温）

作業（代謝）により筋肉などが発熱すると外部への放熱を促すために皮膚の血管が拡張され，皮膚温が上昇する。この反応は極めて迅速であり，Fig.2に示す通り，実験においても作業開始と同時に皮膚温が上昇していることがわかる。作業と同時に平均皮膚温が上昇することは我々の実験のみならず多くの報告がある。

密閉型衣服である消防員装具を着用した場合の衣服内温度は，実験の結果から，密閉型衣服内のポケット

Table 2　Results of experiments（Average of 3 subjects）

Time (min)	Mean skin temperature (℃)		Tympanic temperature(℃)		Rectal temperature(℃)		Microclimate temperature within clothing(℃)	
	data	rising	data	rising	data	rising	data	rising
0	35.4	0.0	37.1	0.0	37.4	0.0	33.9	0.0
5	35.4	0.1	37.1	0.0	37.4	0.0	34.3	0.4
25	37.0	1.6	37.9	0.8	37.9	0.5	35.5	1.6
Max.	37.1	1.7	38.1	1.0	38.1	0.8	35.6	1.7

であれば，平常時又は定常状態における温度を基準とした温度上昇値でみれば，平均皮膚温の上昇値と同様の値であることを確認した。

直腸温は，外部放熱のために代謝に素早く反応する皮膚温に比べ，反応が遅く温度変化も小さい。代謝による産熱が皮膚表面からの放熱等で処理できずに質量のある人体内部に蓄熱する結果として直腸温が上昇する。そのため，実験では作業終了後，直腸温が降下するまで測定を継続した。その結果，直腸温が降下に転じるまでおよそ10分から20分の遅れがあった。

人体の深部体温を代表する値として直腸温を主としたが、実験においては脳温を反映すると考えられる外耳道温も測定した。

熱中症は，脳温の上昇を伴う中枢神経障害が原因とされており，ヒートストレス指標の温度として外耳道温を使用できれば高い精度で警報を出すことが可能と考えられる。脳は熱に弱く40.5℃を超えると不可逆的なダメージが生じるとされており[12]，脳温が直腸温と同様に上がると極めて危険である。そのため，高体温になると顔面・頭皮の静脈血が眼角－眼静脈経由で頭蓋内に流れるようになり，額の発汗作用で冷やされた血液が頸静脈等へ行き，並行して走る頸動脈と熱交換をする選択的脳冷却[13,14]の機能が作用する。

実験結果より，ヘルメット及び呼吸器を外し，上着前面を開放して扇風機（風速1m/s）による送風を行った状態で直腸温は上昇しているが，外耳道温は数分で下降に転じていることからも選択的脳冷却の効果を説明できる。

将来において，脳温を代表する外耳道温が消防活動などにおいても容易に測定可能となればヒートストレスの直接的な指標として使用できると考える。

ヒートストレスの指標として深部体温（直腸温）を検討した場合，直腸温は42℃程度まで耐えることができるなどの報告[15]がある。そして，臨床における高体温とは38.5℃であり，熱中症としては深部体温39℃以上（腋窩38℃以上）がⅢ度（重度）[16]の分類である。また，ISO 7933：2004[1] Annex B.6においては，毎日行う重作業では，人体核温が38℃を超えることは勧められないとしており，ISO 9886：2004[11] Annex Cにおいては，核温が38.0℃又は1時間以上で約1℃の上昇が限界であるとしている。但し，1時間以内に約1℃上昇するような蓄熱の早い場合において，心拍数等が継続的にモニターされているならば1.4℃の上昇又は38.5℃が限界であるとしている他，人体核温が39℃を超えるどのような上昇も勧められないとしている。

以上の基準は一般人を想定しており，常に訓練を行い，暑熱下における訓練を常に行っている消防士については若干大きい許容値が想定される。

５．２　作業による深部体温変化のシミュレーション

作業時間と深部体温の関係を検討するために次式による熱平衡方程式を応用し，人体蓄熱量から深部体温に相当する人体温度を計算した[1,17,18,19,20]。

$$S = M - W - C_{res} - E_{res} - K - C - R - E_{sk}$$

S：体内蓄熱量（body heat storage）（W/m^2）
M：代謝量（metabolic rate）（W/m^2）
W：外へなす仕事（effective mechanical power）（W/m^2）
C_{res}: 呼吸による対流熱伝達（respiratory convective heat flow）（W/m^2）
E_{res}: 呼吸による蒸発潜熱（respiratory evaporative heat flow）（W/m^2）
K：伝導熱流（conductive heat flow）（W/m^2）
C：対流熱流（convective heat flow）（W/m^2）
R：輻射熱流（radiative heat flow）（W/m^2）
E_{sk}：皮膚表面からの蒸発潜熱（evaporative heat flow）（W/m^2）

Fig. 2に示す被験者Ａによる実験データを使用し，被験者の身長，体重，体表面積そして環境の温湿度，風速の他，代謝量，衣服熱抵抗，平均皮膚温などの実測値を代入し計算したシミュレーションプログラムの結果をFig. 3に示す。ここで，人体比熱を3.47［J/(g･K)］[21]，作業時代謝量を145［W/m^2］，衣服熱抵抗を1.86［clo］[3]とした。

Fig. 3において，作業による代謝熱量が時間の遅れなく蓄熱する場合と蓄熱が人体核温に影響するまでに約10分の遅れが想定されることから，人体核温の上昇値計算において約10分前の体内蓄熱量（S）を使用してシミュレーションした場合の２通りの結果を記載した。10分の遅れを組み入れた場合に，実験の測定結果とよい一致がみられた。

５．３　繰り返し作業による深部体温変化のシミュレーション

実際の消防活動を想定し，Fig. 3と同様の条件下において自給式呼吸器ボンベ１本による活動可能時間を20分，休憩を含む交換のための時間を10分として，続けて３回の消防活動を行った場合のシミュレーション結果をFig. 4に示す。ここで，10分間の休憩において，５分間は衣服を開放し1m/sの風に当たって人体

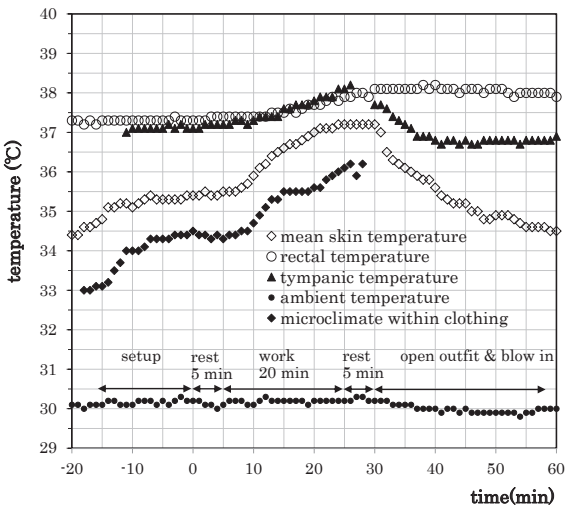

Fig. 2　Typical temperature curves of the experiment (subject A)

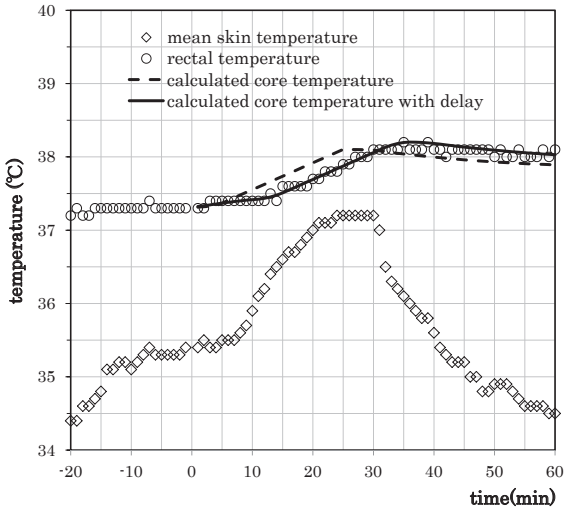

Fig. 3　Rectal temperature and mean skin temperature of subject A and calculated core temperature

を冷却していると想定した。そして，2回目作業以降の皮膚温は文献[10]における実験結果をもとに推定した。また，環境気温のみを30℃から25℃又は20℃に変更し，その他は同じ条件で計算した結果も示す。

Fig. 4における30℃環境下でのシミュレーション結果から，途中に10分間の冷却のための休憩が入っても続けて作業に入ると人体核温は上昇し続ける結果となっている。そして，皮膚温は作業を行う毎に上昇し，人体核温との差が小さくなる傾向が認められた。

Fig. 4の30℃環境下シミュレーション結果から，ヒートストレスの指標を想定すると，皮膚温が39℃を超えるような場合，人体核温は既に40℃に近づいており極めて危険な状態である。皮膚温が38℃付近において人体核温は39℃近傍となっており，この時点で作業を中止しても人体核温は39℃を超えることが想定される。

参考として計算した環境気温を25℃および20℃としたシミュレーションにおいて，継続して作業を行う場合には，人体核温の上昇値は少なくなるものの上昇し続ける結果となっており，環境気温が低くてもヒートストレスが発症する可能性が示唆されている。

次に，衣服を開放し1m/sの風に当たっている休息を長くした場合の深部体温変化を検討した。

Fig. 5は，Fig. 4における30℃環境下シミュレーションと同一条件において，休息期間を10分から40分まで変化させて計算した結果である。この結果から，自給式呼吸器を使用し3回続けて20分間の作業を行うときは，少なくとも40分間程度の冷却休息を設けなければ人体核温が39℃を超える可能性があると想定された。このシミュレーション結果は，環境温度

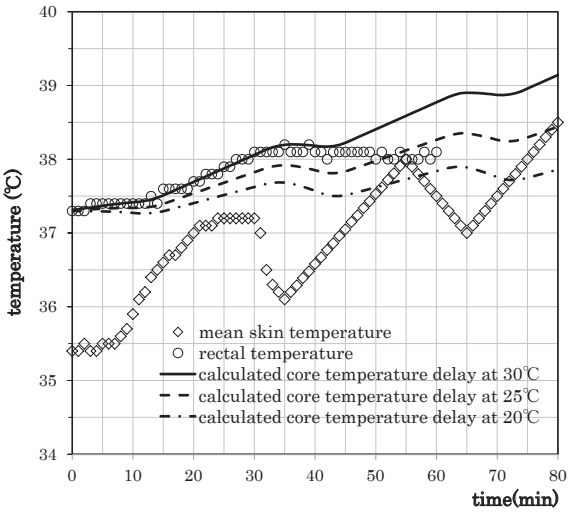

Fig. 4　Calculated core temperature in 3 times activity for 90 minutes at ambient temperature 20℃, 25℃, 35℃

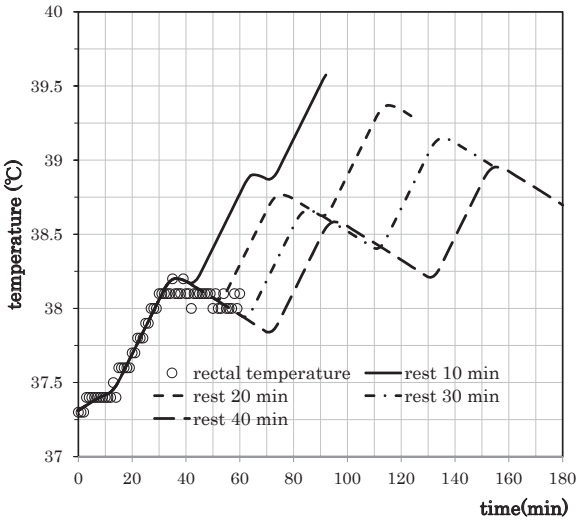

Fig. 5　Calculated core temperature in 3 times activity for different rest time

30℃以上の環境における消防活動の場合，休息を入れるにしても３回繰り返しての消防活動は危険であることを示唆している。

６．ヒートストレス指標の警報値設定

ヒートストレス警報の設定値の不確かさとしては，人体体温の個人差，訓練による差，季節による順応差などいろいろな要因が想定される。本研究におけるヒートストレス警報装置の警報温度設定は勧告値であり，実際の使用においては各個人が自身のデータを収集し最適な設定を行うことを前提としている。適切に警報温度の設定が行えるように，絶対温度による設定のみではなく，基準値（平常状態での温度）からの温度上昇値および自給式呼吸器の使用時間内（20 ～ 30分）を想定した時間あたりの温度上昇値など，複合判定による警報設定を検討した。

最初に，ヒートストレス警報装置の警報として，直ちに撤退しなければならないと想定される状況の設定値を次の通りとした。

絶対温度における判定としては，5.1における検討から，衣服内温度が38.5℃を超えた場合とした。そして基準値からの上昇温度は，Fig. 2により，直腸温と平均皮膚温の温度差がおよそ3.5℃から１℃になること，栃原らの実験によれば[10]，直腸温は開始時から３回の運動終了までに１℃以上上昇していることから＋4.5℃を超えた場合と想定した。これらの数値に，Fig. 4のシミュレーション結果から単位時間当たりの温度上昇値を勘案し，撤退警報条件は次の３条件の論理和とした。

1）衣服内温度が38.5℃（又は基準値＋4.5℃）を超えた場合，又は，

2）38.0℃（又は基準値＋4.0℃）以上が５分以上継続している場合，又は，

3）15分間で１℃上昇し38.0℃（又は基準値＋4.0℃）を超えた場合には，最終の撤退警報とした。

危険な状態になる前に注意を喚起して対処することを想定し，上記の撤退警報設定をベースとして中段階および初期警報を以下のように設定した。

中段階の警報値としては，続けて作業した場合には最終警報条件になることを想定し，

1）衣服内温度が37.5℃（又は基準値＋3.5℃）を超えた場合，又は，

2）37.0℃（又は基準値＋3.0℃）以上が５分以上継続している場合，又は，

3）15分間で１℃上昇し37.0℃（又は基準値＋3.0℃）を超えた場合と想定した。

初期警報としては，ヒートストレス状態に入りつつあることを示す条件をとして，

1）衣服内温度が36.5℃（又は基準値＋2.5℃）を超えた場合，又は，

2）36.0℃（又は基準値＋2.0℃）以上が５分以上継続している場合，又は，

3）15分間で１℃上昇し36.0℃（又は基準値＋2.0℃）を超えた場合と想定した。

７．まとめ

本研究においては，消防員装具という耐熱要件を持たなければならない密閉型衣服において，代謝熱によるヒートストレス対処の一手法として，消防士自身による身体状況のモニターおよび無線等による消防士の身体状況監視システムにより注意喚起をするための基礎データを提案した。

今後はフィールド実験において警報装置の実用性を確認し，設定値を検討・調整する予定である。

謝辞

本研究を実施するに当たり，密閉型衣服の共同研究プロジェクトのメンバーとしてご協力いただいた中橋美智子先生および小林防火服株式会社の皆様，自給式呼吸器のお手配および実験に協力していただきました株式会社重松製作所の皆様に御礼を申し上げます。

参考文献

1）ISO7933, Ergonomics of the thermal environment-Analytical determination and interpretation of heat stress using calculation of the predicted heat strain, 2004

2）町田広重，伊藤昌夫，正樹豊，山田羊一，小原郎敬：消防活動における熱中症予防対策の研究，消防科学研究所報，37，110-120，2000

3）M. Murayama, H. Monobe, M. Nakahashi and H. Ikuno: Countermeasure to heat stress of fire-fighter’s outfits, *Proceedings of Fourth International Symposium on Protective Clothing for Firefighting Activities*, 101-108, 2005

4）総務省消防庁消防大学校消防研究センター：消防側の防火服などの必要性能のニーズに関する調査報告書，2008．2

5）生野晴美，塚田恭子，中橋美智子，物部博文，村山雅己：着用実験による消防員装具のヒートストレス評価，日本衣服学会誌，46（1），11-17，2002

6）物部博文，村山雅己，中橋美智子，生野晴美：頭部冷却による消防員装具のヒートストレス改善，日本生理人類学会誌，7（3），123-127，2002
7）物部博文，村山雅己，中橋美智子，生野晴美：消防員のヒートストレス改善に関する研究～冷却剤による体幹部冷却が人体に及ぼす影響についての検討～，日本生理人類学会誌，7（1），43-47，2002
8）中橋美智子，村山雅己，物部博文，生野晴美：火災シナリオによる消防員装具の着用時間と運動量，日本生理人類学会誌，8（2），83-89, 2003
9）物部博文，村山雅己，生野晴美，中橋美智子：消防服のヒート・ストレスに対する予防策，横浜国立大学教育人間科学部紀要Ⅳ，9，57-65，2007
10）（独）消防研究所：消防用防火服の快適性能，機能性能の評価に関する研究報告書，消防研究資料64号，102-149，2004
11）ISO 9886, Ergonomics-Evaluation of thermal strain by physiological measurements, 2004
12）M. Caputa: Selective brain cooling: an important component of thermal physiology, *Contributions to Thermal Physiology*, Szeleny and Szekely（eds）, 183-192, 1980
13）T. Nagasaka, M. Hirashita, M. Tanabe, S. Sakurada and H. Brinnel: Role of the veins of the face in brain cooling during body warming in human subjects, Jpn. J. Biometeor. 27（3）, 113-120, 1990
14）勝浦哲夫他：生理機能に及ぼす頭部冷却部位の影響，第16回人間－熱環境系シンポジウム講演集，63-65，1992
15）M. B. Maron, L. A. Wagner and S. M. Horvath: Thermoregulatory responses during competitive marathon running, *J. Appl. Physiol.*, 42, 900-914, 1977
16）安岡正蔵，赤居正美，有賀徹他：熱中症（暑熱障害）Ⅰ～Ⅲ度分類の提案;熱中症新分類の臨床的意義．救急医学，23，1119-1123，1999
17）村山雅己，福地信義，中橋美智子：海洋暴露環境における人体の温熱制御に関する基礎的研究（第３報），日本造船学会論文集，第178号，617-627，1995
18）村山雅己，福地信義，中橋美智子：暑熱環境下の海洋作業における熱的限界と温熱対策に関する研究―（その１）熱収支モデルと温熱指数―，日本造船学会論文集，第179号，239-251，1996
19）村山雅己，福地信義，中橋美智子：暑熱環境下の海洋作業における熱的限界と温熱対策に関する研究―（その２）温熱対策区分―，日本造船学会論文集，第182号，507-519，1997
20）村山雅己，福地信義，中橋美智子：海洋暴露作業における人体への熱的影響と温熱対策の評価，日本造船学会論文集，第183号，499-508，1998
21）中山昭雄編：温熱生理学，理工学社，1981

消防活動におけるヒートストレス対処に関する研究

―― 衣服内温度モニターによるヒートストレス予測と警報指標値の設定 ――

A Study of Heat stress on Firefighting with Fire-fighter's outfits

― Heat stress prediction by microclimate temperature and alarm indicator setting ―

村山　雅己*・物部　博文**・生野　晴美***

Masaki MURAYAMA, Hirofumi MONOBE and Harumi IKUNO

生活科学分野

Abstract

Fire-fighters bear up under the large amount of heat-induced stresses especially in a hot environment over 30 ℃ due to their enclosed type, heat and flame proof outfits. In fully equipped situation with a respiratory protective device, the microclimate temperature within a fire-fighter's outfits rose in parallel with the mean skin temperature. Mean skin temperature reached almost the same level as body core temperature unless metabolic heat of the human body was released. In order to reduce the risk of physiological strain and to prevent the serious accidents, a fire-fighter should continuously assess one's own thermal stress condition.

We have proposed here an effective method of predicting heat stress by monitoring microclimate temperature. Specification of the heat stress alarm by the microclimate temperature in enclosed type outfits are as follows :

(1) Attention alarm ;

① Over 36.5℃ or 2.5℃ rise from initial steady state

② Holding 36.0℃ or 2.0℃ rise (from initial steady state) for more than 5 minutes

③ Beyond 36.0℃ or 2.0℃ rise (from initial steady state) after an increase of 1.0℃ in 15 minutes

(2) Danger alarm ;

① Over 37.5℃ or 3.5℃ rise from initial steady state

② Holding 37.0℃ or 3.0℃ rise (from initial steady state) for more than 5 minutes

③ Beyond 37.0℃ or 3.0℃ rise (from initial steady state) after an increase of 1.0℃ in 15 minutes

(3) Retreat alarm ;

① Over 38.5℃ or 4.5℃ rise from initial steady state

② Holding 38.0℃ or 4.0℃ rise (from initial steady state) for more than 5 minutes

③ Beyond 38.0℃ or 4.0℃ rise (from initial steady state) after an increase of 1.0℃ in 15 minutes

Key words: fire-fighting operation, heatstroke, countermeasure to heat stress, microclimate temperature, alarm index

* Research Institute of Marine Engineering

** Faculty of Education and Human Sciences, Yokohama National University

*** Faculty of Education, Tokyo Gakugei University

Department of Home Economics Education, Tokyo Gakugei University, 4-1-1 Nukuikita-machi, Koganei-shi, Tokyo 184-8501, Japan

要旨: 消防員の装具は衣服熱抵抗の高い密閉型の衣服であるため，環境気温が30℃を超える場合には作業による代謝熱量は殆ど人体に蓄熱される。完全装備で消防活動を行った場合，消防員装具内の衣服内温度は平均皮膚温と並行するように上昇し，ヒートストレス状態に近づくと，人体深部温度と同レベルに到達することを確認した。

ヒートストレスのリスクを軽減するためには，消防員が自身の熱負荷状態を把握できることが必要であることから，衣服内温度をモニターしてヒートストレスを予測し，消防員に警報を提供して事故を回避するための警報システムを検討した。試作した警報装置は衣服内ポケットに入るサイズで、衣服内温度センサー，心拍センサー，動作確認用３軸加速度センサーを搭載する。音声合成によって本人に熱負荷状態を警告するとともに，無線LANによってこれらの情報を外部司令部に送信する。

ヒートストレス警報の設定値は、人体体温の個人差、訓練による差、季節による順応差など複数の要因が想定されることから，各個人が自身のデータを収集し最適な設定を行うことが必要である。そのため，絶対温度による設定のみではなく，基準値（平常状態での温度）からの温度上昇値，自給式呼吸器の規定使用時間あたりの温度上昇値により複合判定することとし、３条件の論理和によって設定した。警報指標値は被験者実験，熱平衡方程式によるシミュレーション，熱中症の臨床分類をもとに，ヒートストレス状態に入りつつある第１段階，危険な状態になる前の注意喚起の第２段階，撤退警報の第３段階について，具体的に提案した。

キーワード: 消防活動，熱中症，ヒートストレス対処，衣服内温度，警報指標