

科学研究費助成事業（科学研究費補助金）研究成果報告書

平成 25 年 5 月 28 日現在

機関番号：12701

研究種目：基盤研究（C）

研究期間：2010～2012

課題番号：22510173

研究課題名（和文） 消防士の熱中症防止のための装具開発

研究課題名（英文） Equipment development for the prevention of heat stroke fire-fighter

研究代表者

物部 博文（MONOBE Hirofumi）

横浜国立大学・教育人間科学部・准教授

研究者番号：30345467

研究成果の概要（和文）：

消防士の熱中症を予防するためのヒートストレスアラームを開発・実証データを収集し、実際の火災現場での実用可能性を検討するために東京消防庁にヒアリングをした。その結果、さまざまな課題が提示される一方でその有用性も示唆された。

一方で、換気型消防服の場合、粉塵や火炎による影響を防ぐための手立てを講じたが、粉塵や火炎による熱傷の可能性の完全な除去が難しかった。したがって、水冷服による体温調整システムを検証し、密閉系における体温調整の可能性について再検討した。

研究成果の概要（英文）：

We developed heat stress alarm for preventing heat stroke firefighters.

Through the hearing for the Tokyo Fire Department, we examined the feasibility for fire. As a result, it was suggested that the usefulness and various issues of the heat stress alarm.

On the other hand, We tried to prevent the influence of dust or fire with the ventilation-type fire-fighting clothing, but it is difficult to complete removal of the possibility of fire or burn from dust. Therefore, We re-examined to the temperature adjustment system by water-cooling clothes.

交付決定額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
2010 年度	3,100,000	930,000	4,030,000
2011 年度	500,000	150,000	650,000
2012 年度	100,000	30,000	130,000
年度			
年度			
総計	3,700,000	1,110,000	4,810,000

研究分野：複合新領域

科研費の分科・細目：社会・安全システム科学，社会システム工学・安全システム

キーワード：火災・事故

1. 研究開始当初の背景

火災熱気流や火炎からの輻射熱に対応す

る消防員の装具は、必然的に衣服熱抵抗の高い密閉型の衣服となる。そのために、各

自治体が使用する消防員装具は、ISO 規格に準じて、瞬間的な 1000℃以上の高熱曝露、すなわちフラッシュオーバーやバックドラフト条件下でも高い安全性と機能性が保証される耐火性能の高い消防員装具へと切り替わりつつある。しかし、高い耐熱性能の結果として気密性が高くなるので、代償として衣服内気候の換気が損なわれ、発汗による潜熱放散が著しく抑制される。

それ故に消防活動における「水利の確保」、「階段の昇降」、「放水作業」等の消火活動に伴う人体の代謝量増加から計算すると、積極的な放熱がない場合には短時間に人体蓄熱が増大し、消防士にとって大きなヒートストレスを生じると予測される。事実、夏季の気温 35℃の環境条件下で出動した消防隊員が熱中症を訴える事例も報告される等、このヒートストレスへの対応が消防員装具の開発や運用、消防士の健康管理における大きな課題となる。

しかし、このヒートストレスへの対策についてみると、ISO では「消防服にヒートストレス対策を施すこと。」という一文が存在するのみである。また、消防の現場では、両脇下部および後背部の衣服内ポケット、あるいは冷却ベスト内へ冷却剤を収納する方法によってヒートストレスを緩和しようという試みが存在する。しかし、これらの方法の効果について検討した報告は少なく、十分な影響評価がなされているとは言い難かった。そこで、我々は、被験者実験を実施し、体幹部の局所冷却による体温抑制効果は小さいこと、さらに冷却部位である腋下および後背部と異なる部位「頭部」の温度上昇が認められること、その状況が被験者に不快感を与えること等を明らかにした。これに関連して、現場で働く消防士に対する聞き取り調査でも「何もないよりはいいのだが、消防車搭乗時に冷却剤を着用すると、現場到着までの消防車内でおなか冷えずぎてしまう」との回答が得られている。「冷やす」ためには単純かつ簡易な手法ではあるが、効果が期待できず、さらに温度コントロールが難しい。

この様にヒートストレスについて有効な低減方法が存在しないので、消防活動時間のコントロール、つまり運用方法による対策が考えられている。しかし、消火活動では、消防士が必死に活動するあまり自身の状態に気づかず、過度なヒートストレスを生じる場合がある。その結果として、消防士の誤判断や心臓停止に至る可能性があり、ヒートストレスを緩和する実践的な対処方法の開発および装具の実用化が必要となる。

これらの諸問題に対して申請者は、平成 12 年度より東京学芸大学中橋美智子、生野

晴美、船舶艙装品研究所村山雅己とともに「密閉衣服プロジェクト」を立ち上げ、消防員装具のヒートストレス改善のための実験および消防士に対する調査を実施してきた。

まず、サーモラボⅡ、サーマルマネキン、人体実験による消防員装具のヒートストレス評価方法について開発すると共に、国内外消防員装具のヒートストレスの程度について検討した。次いで、消火活動中の消防士にどの程度のヒートストレス負荷がかかるのかをシナリオ解析によって検討した。人体熱平衡方程式を動的に利用することで、熱解析を実施しヒートストレスの発生予測を試みた。

続いて腋下および後背部に冷却剤を装着し、運動負荷を与えてその効果を検討したところ、結果は先述の通り冷却効果どころか部分的な蓄熱が認められる結果となった。その一方で、効果的な冷却方法とはどのような手法かについて検討し、2つの手法にたどりついた。ひとつめは、選択的脳冷却を利用した頭部冷却システムである。これは、体温調節中枢である頭部の保護とともに、頭部導出静脈の特性を活用し頭部を冷却剤あるいは送風により効果的に冷却することで、ある一定の体温上昇抑制効果が認められた。しかし、いかに頭部の冷却効率が高く、なおかつ機能的に重要であるとしても、身体の全体表面積に占める頭部の割合を鑑みると、より広い部位の冷却が必要である。そこで、表面積が大きく、なおかつ運動の制約を受けにくい体幹部の熱放散を効果的に促進できれば、頭部冷却との相乗効果で、ヒートストレスの抑制を促すことができると考えた。体幹部の熱放散を妨げる要因は、発汗による衣服内気候の飽和水蒸気圧；つまり、皮膚からの潜熱放散の抑制に他ならない。そこで、飽和水蒸気を衣服外に放散し、低飽和水蒸気の外気を導入すればこの問題は解決できると考え、飽和水蒸気を外部に排出する換気装置を開発し、被験者実験したところ、一定の効果が認められるとともに、頭部冷却とあわせると体温レベルで 1℃以上の冷却効果があった。これは、発汗による体温抑制を促進する手法であるので、弊害が少ない方法であると確認された。一方、ヒートストレスを予防する手法として、体温や心拍数などの生態情報をモニタリングし、ヒートストレスの予兆を消防士にフィードバックするシステム「ヒートストレスアラーム」の開発はヒートストレスによる事故の防止に有効であると予測されたので、特許申請している。

以上の様な研究の流れを踏まえ、より実用化に向けた段階での各種データの収集が必要な段階に至っている。

2. 研究の目的

本研究の目的は、「消防活動の作業性能と安全性を第一とし、衣服内気候の制御をする様なヒートストレス緩和策を取り入れた消防員装具を開発するとともに、着用者の皮膚温および体温、心拍数等をモニタリングし、リスクを回避する様なヒートストレスアラームを開発することによって消火活動中の消防士への負荷の低減を確認すること」である。

すなわち、頭部冷却システム、体幹部換気システム、ヒートアラームを有する消防員装具を現場クオリティーで開発し、その実験室およびフィールド実験で効果を検証し、問題点を洗い出す。

3. 研究の方法

頭部冷却・換気システムおよびヒートアラームを搭載した消防服を開発・検証する。これに関して、消防員装具では、動作性の確保を含む配管および配線のとり回しに関する実験、冷却帽では、騒音の解決のための諸実験、ヒートアラームの開発ではモニタリング指標の確定とクライテリアの設定を課題として含んでいる。ついで、現場レベルでの実証実験を実施し、実用性を検証する。さらに、これらの実験結果を学術論文として報告する。これに関して、実際に現場に応用できる研究や開発された装置は、未だ存在しない。

すなわち、装置が大掛かりで消防現場では実用的でなかったり、その効果に疑問が持たれたりしている。本研究では今までと異なる視点からのアプローチに特色があり、独創的な点であるとともに、それが実際の現場での応用に力点を置いている点に意義があると考えられる。さらに、簡易でロー・テクノロジー、軽量かつコストパフォーマンスの高い点、人体の持つ発汗能力を最大限引き出すというコンセプトが独創的な点である。

4. 研究成果

研究1 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-

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付くと、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。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、自給式呼吸具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、体熱平衡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。

研究2 ヒートストレスアラーム開発の実際

(1) 目的

出動した消防士の衣服内温度、心拍数、加速度をリアルタイムで本人と現場指揮所に転送することによって、ヒートストレスをはじめとする傷害の予防と消火活動の効率化を図る。

(2) 装置のコンセプトと仕様

消防隊員の生命活動およびヒートストレスをはじめとする生体情報を把握するために、加速度計、温度計、心拍計を設置する。

加速度計および心拍数より消防士の疲弊状況および遭難時の生存状況等を確認する。また、温度計および心拍計によりヒートストレスをはじめとするストレス状況を把握する。

本体50mm×100mmの本体の中に心拍モジュール、温度計測モジュール、加速度計モジュールを挿入し、音声モジュールに、スピーカーを通して本人に情報送信をすると

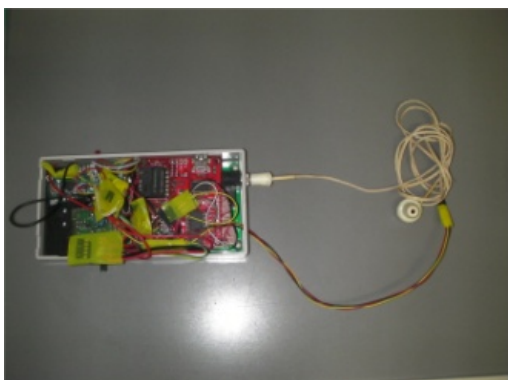
ともに、無線により現場指揮所のパーソナルコンピュータの画面に情報を表示する。

(3) 装置の装着と実験

心拍センサーを着用後、ヒートストレスアラームをポケット内に格納し、30℃ Rh60%の環境条件下にて120Wの運動負荷を20分間加えた。

写真下のように衣服内温度、心拍、加速度を被験者本人に音声送信するとともに、外部PCに情報表示した(写真下)。

発信装置にもよるが、今回の情報送信範囲は100m以上であった。



研究3 火災現場におけるヒートストレスアラームの可能性の検討

日時 2011年9月28日

場所 東京消防庁消防研究所(三鷹)

(1) 現在の消防研での取り組み

春先から消防隊員を夏のからだに馴化させるようにしており、具体的には、30℃・60rh、フル装備で40分間踏み台昇降運動をさせる。これに関しては、効果があるものの負担も大きく、その日は仕事にならない状況もある。従って、負担が少なく馴化できる方法を検討している。例えば、冷却ベスト、水分補給、馴化と一連の実験をしてきたので、一応対処については完成である。

(2) ヒートストレスアラームについて

例えば体温が40℃に達して限界に達したとしても現在の消防活動のマニュアル上引き返せない状況がある。配線はないほうが良いし、既存の装備品への組み込みでないと活用できない。警報装置は、手袋への組み込みなどが考えられる。コストも重要であり、数千円程度で有用であれば導入できるだろう。

電波法の関係上、地下街、高層ビルなど無線でも届かない場所があるので、そこを検討しておく必要がある。身近な隊員が体調などを把握できる警報装置のほうがよいのではないだろうか。例えば、航空機のボイスレコーダーの様に倒れていた隊員の生体情報を分析できるチップのほうが有用なのではないだろうか。心拍数を見ると、一過性には上がるが、常に全力で運動をしているわけではないので、心拍だけでは指標にならない。引き上げ時に鼓膜温を測ったりした方がよいのでは。本部は30人以上を指揮するので、1モニターに30人は現実的ではない。小隊中隊指揮官(5-6人を指揮)が把握するのが妥当だろうがモニターは見られない。モニター要員としてさく人材はいないのが実情である。東京消防庁は、30ごとに小隊入れ替えをするので、地方消防のほうがニーズはあるのかもしれないし、他業種の方がニーズがあるのではないかと思う。

(3) まとめ

以上の様な結果からヒートストレスアラームの導入までには至らないが形式を変えることによって、貴重なデータをもたらす情報源となる可能性が示唆された。

研究4 運動に伴う人体の蓄熱管理に関する研究 一消防服着用時における体温上昇の予測と水冷による体温制御の可能性一

消防員装具は、炎や輻射熱に対応するので密閉衣服である。従って、人体の代謝熱を放出することが重要となる。

本研究において、我々は消防員装具着用時の体温上昇を予測するとともに、水冷却システムで体温を制御しようと試みた。その結果、高温条件下(30℃)、消防員装具着用時における自転車エルゴ・メーター運動の実験では、運動時の代謝量から被験者の体温度上昇が推定可能であった。水冷による体温コントロールでは、熱損失の関係から十分な冷却能力を確保する必要性を認識した。

過去の研究結果から、冷媒を制御できない場合には、対象者の快適性を損なうと推定されたので、皮膚温度センサーからのフィードバックやコンピュータによる体温制御が重要と考えた。

※研究4に関しては、被験者を追加してデータを収集している。現在、研究論文を作成中である。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計2件)

①物部博文, 村山雅己, 生野晴美: 運動に伴う人体の蓄熱に関する研究, 横浜国立大学教育人間科学部紀要IV, 14, pp. 1-85, 2012. (査読なし)

②村山雅己, 物部博文, 生野晴美: 消防活動におけるヒートストレス対処に関する研究, 東京学芸大学紀要総合教育科学系 I, 63, pp. 187-195, 2012. (査読なし)

[学会発表] (計0件)

[図書] (計0件)

[産業財産権]

○出願状況 (計0件)

名称:
発明者:
権利者:
種類:
番号:
出願年月日:
国内外の別:

○取得状況 (計0件)

名称:
発明者:
権利者:

種類:
番号:
取得年月日:
国内外の別:

[その他]
ホームページ等

6. 研究組織

(1) 研究代表者

物部 博文 (MONOBE Hirofumi)
横浜国立大学・教育人間科学部・准教授

研究者番号: 30345467

(2) 研究分担者

()

研究者番号:

(3) 連携研究者

生野 晴美 (IKUNO Harumi)
東京学芸大学・教育学部・教授
研究者番号: 80110732

(4) 研究協力者

村山 雅己 (MURAYAMA Masaki)
(社) 日本船舶品質管理協会製品安全
評価センター・次長