

## 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6月3日現在

機関番号：12604

研究種目：基盤研究（C）

研究期間：2010～2012

課題番号：22500709

研究課題名（和文） 密閉型衣服の温熱快適性を改善する冷却装置

研究課題名（英文） Cooling system for improving thermal comfort of enclosed type clothing

研究代表者

生野 晴美（IKUNO HARUMI）

東京学芸大学・教育学部・教授

研究者番号：80110732

研究成果の概要（和文）：密閉型衣服の着用者が暑熱環境で安全に活動するためには温熱ストレス対処のための冷却が不可欠である。体温調節や行動判断を担う頭部周辺の冷却に焦点を絞り、軽量で簡易な水冷被服を作成し、その冷却性能を材料実験と着用試験により評価した。頸部・頭部を水冷することにより、過度に冷却することなく、温熱快適性が改善された。ストレス指標の減少から温熱ストレスの軽減も確認され、実装型の水冷被服を提示するための基礎データが得られた。

研究成果の概要（英文）：Cooling of human body is indispensable to ensure the safety work of wearer with enclosed type clothing. Lightweight and compact clothes with water cooled system were designed for protecting human head that takes charge of temperature regulation and action judgment. Cooling capability of prototype model of water cooled clothes of neck-cloth type and head-covered type was evaluated by thermal insulation test and test subjects. Thermal and humid sensations were significantly improved by cooling neck and head. The decrease in stress indicator suggested a lowering of thermal stress by wearing water cooled clothes. Fundamental data were assembled for practical application of portable type water cooled clothes.

交付決定額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
2010年度	500,000	150,000	650,000
2011年度	1,300,000	390,000	1,690,000
2012年度	600,000	180,000	780,000
年度			
年度			
総計	2,400,000	720,000	3,120,000

研究分野：被服学

科研費の分科・細目：生活科学・生活科学一般

キーワード：衣服、熱ストレス、冷却

## 1. 研究開始当初の背景

(1) 防火服等の防護服、キャラクターショーの着ぐるみ等はその衣服構造から密閉性が高く、暑熱環境と作業条件から身体の代謝熱が蓄積して熱中症を引き起こすことが問題になっている。例えば、防火服は火災と高熱に対する安全性能を高めた代償として温熱

ストレスが高まることになり、その快適性能の評価方法と基準値が2005年に消防研究所から提案されたが、温熱ストレス対策は検討されなかった。2009年に発行された国際規格ISO/TR 20818『消防員装具の選択、使用、手入れの手引き』でも「温熱ストレスの対策を施すこと」という記述のみで、具体的な対

策は示されていない。密閉型衣服の温熱快適性の改善が強く求められながら、有効な対処方法が提示されていない状況であった。

(2) 密閉型衣服の暑熱環境における快適性の研究は 2001 年に着手し、消防用装具を対象とした調査・実験を進めてきた。その結果、①消防員装具の素材・構成と温熱負荷、②消防士への聞き取り・アンケート調査による夏期の温熱ストレス実態の把握、③火災シナリオに基づく作業強度・時間と環境温湿度の熱解析による熱中症発生の予測、④現場で使用されている体幹部冷却の弊害、⑤温熱ストレス改善に有効な衣服内換気について知見を重ねてきた。

(3) 一連の研究から、密閉型衣服が引き起こす温熱ストレスの改善には、頭部周辺の快適性の維持が必須であることが確認された。そこで、部分冷却に焦点を絞り、軽量で簡易な冷却装置を提案するための研究を開始することとした。

## 2. 研究の目的

密閉型衣服の着用者が安全に作業するためには、人体に加わる温熱ストレスを軽減することが最重要課題である。体温調節や行動判断を担う頭部周辺の冷却に焦点を絞ることにより、実現性のある冷却装置を提案することを目標とする。

本研究では、頸部・頭部を冷却する水循環式被服を設計・作成し、①モデル冷却装置の基本的な冷却性能を材料実験から把握し、②試作冷却被服の冷却性能および温熱ストレス緩和効果を着用試験から評価することにより、軽量で簡易な水冷被服の開発指針を得ることを目的とする。

地球温暖化にともない、日常生活でも夏季に熱中症が増加している近年の状況を考えると、密閉型衣服はもとより、日常生活においても水冷被服の有用性が期待されている。

## 3. 研究の方法

### (1) モデル冷却装置の作成と性能評価

#### ①冷却方式の調査と決定

文献および市場調査をもとに、着用者の判断中枢である頭部を保護する観点から、頸部と頭部を冷却する簡易な方法として水冷式を採用した。

#### ②モデル冷却装置の作成

モデル冷却装置は水冷シートと水循環装置から構成した。水冷シートは重松製作所的水冷服を参考に、ニットスムーズ（ポリエステル 100%）とチュール（ナイロン 100%）の間にシリコンチューブ（内径 2 mm）を縫いつけて作成した。水循環装置は、氷水による冷却を想定して水温を 5℃に調整し、恒温水槽からチューブに循環させた。水の循環には PC 水冷ポンプを使用した。実装型的水冷被服

では携帯性を確保するために電池を使用することを踏まえ、水冷ポンプは電圧 12V で駆動し、流量を設定した。

#### ③モデル冷却装置の性能評価

作成した水循環シートの水冷却性能は、熱物性測定装置サーモラボ II（カトーテック KES-F7）を用いて、サーモラボ熱板を平均皮膚温である 33℃に保持するための消費電力を測定し評価した。また、水循環シートの流入部、流出部の水温および流量から、水循環シートの吸熱量を算出した。

水循環シートの水冷却性能に及ぼすチューブの配置密度、流水経路（並列、直列）、流量の影響を検討し、効果的な冷却力を得るための水循環シートの構成と流量を決定した。

### (2) 水冷被服の試作と性能評価

#### ①水冷被服の作成

モデル冷却装置で得られた水循環シートの水冷却性能の基礎データをもとにして、頸部・頭部を冷却する簡易な水冷被服を設計・作成した。素材は水循環シートと同一である。試作した水冷被服は、頸部が首巻き型、頭部が帽子型で独立しており、コネクタで両方の流水経路を接続し、冷水は頸部から頭部に循環させた。

水冷被服を皮膚に密着させる装着方式に合わせて、水温は頸部水冷被服の流入部で 18℃とし、頸部水冷被服の流出部、頭部水冷被服の流出部で、流路内の水温を測定した。水冷ポンプは電圧 12V で駆動し、流量を計測した。水温変化と流量から水冷被服の吸熱量を算出した。

#### ②水冷被服の着用試験による評価

暑熱環境（30℃、50%R.H.）の人工気候室内で、被験者に試作水冷被服を装着してもらい、椅子座 5 分、エルゴメータ運動 20 分、椅子座 15 分間の生態情報（外耳道温、皮膚温 8 部位、脈拍数）と上腹部における衣服最内層の温湿度を収集した。外耳道温の測定には鼓膜センサー（マリクロット社）、皮膚温の測定には熱電対 Type T、衣服最内層の温湿度測定には温湿度ロガー TR-72S（T&D 社）を使用した。温冷感は 6 段階、湿潤感は 5 段階で主観申告を記録した。ストレス指標として、唾液に含まれるアミラーゼを酵素分析装置で測定し、顔面の皮膚温はサーモグラフィで可視化して捉えた。

## 4. 研究成果

### (1) モデル冷却装置の冷却性能

水循環シートの水冷却力は、チューブの配置密度に正比例し、流量の増加にもなって増大することが確認された。流水経路の影響は、並列配置の水冷却力が直列配置を上回った。並列配置は流水抵抗が小さく、流量が多いためである。また、水循環シートを皮膚に密着させた場合、肌着の上に装着した場合等、

水冷シートの装着方法が冷却効果に及ぼす影響も明らかにした。

上半身の頭部、頸部、上腕部等の冷却に要する熱量の試算から、冷却力が限定されているモデル冷却装置では、頭部と頸部の冷却が効率的であることが示された。

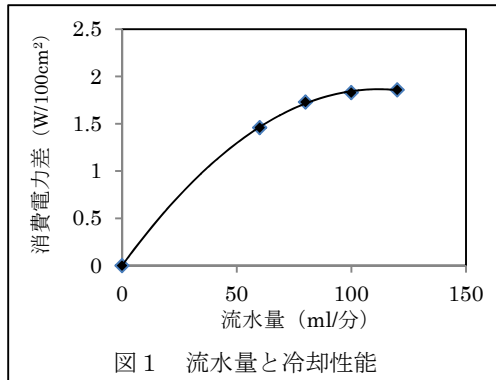


図1 流量と冷却性能

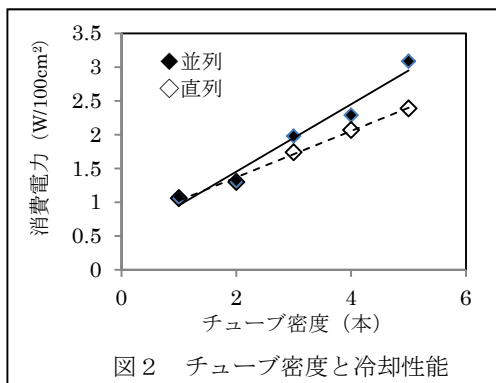


図2 チューブ密度と冷却性能

## (2) 水冷被服の冷却性能

暑熱環境 (30°C、50%R.H.) における着用試験の結果、20 分間の運動終了時に、水冷被服の装着により、外耳道温は 0.5°C、後頸部の皮膚温は 1.7°C、それぞれ温度上昇が抑制された。頭頂部の温度は若干、上昇した。ISO9886 の平均皮膚温は 0.2°C 温度上昇が抑制され、頸部と頭部の冷却が全身の皮膚温に影響することが確認された。水冷被服は、水温変化と流量から求めた推計値と同等の冷却力を有することが明らかになった。

温冷感は運動 10 分までは、冷却により改善され、湿潤感は実験を通して冷却により有意に軽減された。水冷被服が密着する頸部は適度なひんやり感があり、冷え過ぎは申告されなかった。唾液アミラーゼは水冷被服の装着により有意に低下し、頸部・頭部の冷却は暑熱時の温熱ストレスの緩和に有効であることが示された。また、簡易脳波計を用いて脳アルファ波の変化を検討したが、十分な解析には至らなかった。

実装型水冷被服を作成する上での課題として、①頭部水冷被服は、通気性の大きい素材に替え、頭部からの汗蒸散を妨げない構造

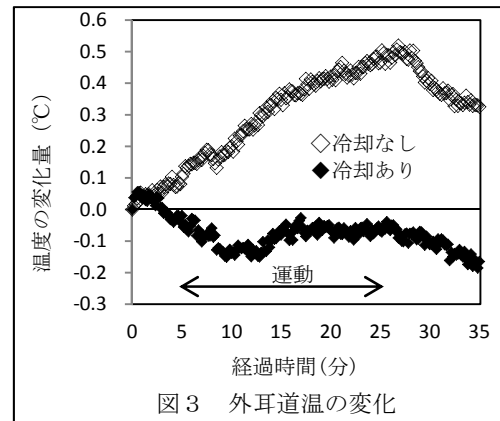


図3 外耳道温の変化

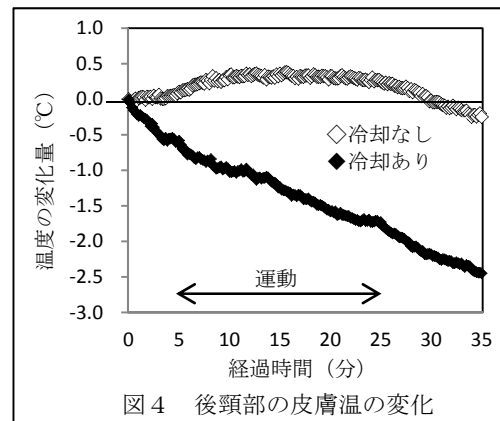


図4 後頸部の皮膚温の変化

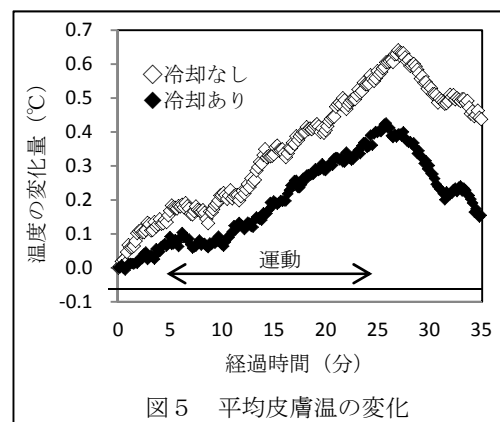


図5 平均皮膚温の変化

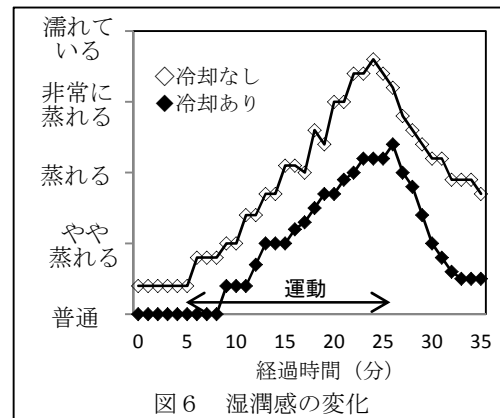


図6 湿潤感の変化

に改善する、②水冷システムは小型の携帯方式を実現する、ことが得られた。

#### 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 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－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－、東京学芸大学紀要総合教育科学系Ⅱ、No.63、pp.187-195、2012、査読無
- ② 物部 博文、村山 雅己、生野 晴美、運動に伴う人体の蓄熱管理に関する研究－消防服着用時の体温上昇の予測と水冷による体温制御の可能性、横浜国立大学教育人間科学部紀要Ⅳ (自然科学)、No.14、pp.1-8、2012、査読無

[学会発表] (計2件)

- ① 生野 晴美、宗村 歩未、頸部・頭部を水冷する試作被服の冷却性能、日本衣服学会第64回大会、2012年11月10日、京都華頂大学(京都府)
- ② 宗村 歩未、生野 晴美、水冷服を想定した水循環シーートの冷却効果、日本衣服学会第63回大会、2011年11月12日、金城学院大学(愛知県)

[図書] (計1件)

- ① 山口 庸子、生野 晴美、他5名、「新版衣生活論－持続可能な消費に向けて－」、アイ・ケイコーポレーション、pp.24-52、2012

#### 6. 研究組織

##### (1) 研究代表者

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

##### (2) 研究分担者

なし

##### (3) 連携研究者

物部 博文 (MONOBE HIROHUMI)  
横浜国立大学・人間教育科学部・准教授  
研究者番号：30345467

##### (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