

防護服（具）：防火服の大きさ，材質，下着の違いによる顕熱抵抗測定

上野 哲*1

1 目的

防護服着用時の暑熱ストレスの増加は，労働衛生上の大きな問題となっている．中でも消防士は，消防服を着用することにより，暑熱ストレスが特に高くなる．熱防護性の高い防火服着用により体熱発散が減少するからである．そのため，消防士の暑熱ストレスを軽減するために，各種の防火服の熱特性を正確に測定し，熱の発散が高い消防服の仕様を探し出す必要がある．

本稿では，消防士の暑熱ストレスを軽減する条件を見つけるため，サイズ，防火服の材質の違いによる顕熱抵抗と，立位静止状態と歩行状態による顕熱抵抗を測定した．

2 方法

Measurement Technology Northwest 社のサーマルマネキン(NEWTON)を用いて，各種防火服の顕熱抵抗を測定した．マネキンのサイズは，アジア人男性の平均の体格で，全高169cm，ウエスト75cm，股下72cmである．両手と両足に棒をつけ，その棒をモーターで動かすことで歩行に似た動きが可能になる．本研究では，立位静止状態と毎分45歩の歩行状態で測定した．測定に用いた防火服は，財団法人日本防災協会から提供された．サイズが異なる基本防火服の3種類(M, L, LL)，材質が異なるMサイズの防火服2種類(Ye：パラアラミド，Br：ザイロン)の熱伝達性を表すパラメータである顕熱抵抗を測定した．防火服のサイズは，Mがマネキンにぴったり合うサイズである．その他に，活動服を2種類(AB：基本，AS：ストレッチ型)測定した(表1)(実験1)．用いた全ての防火服には表面疎水加工が施してある．消防士が消火活動で着用する服装についても測定した．具体的には，ABの基本活動服に防火服を着せ，軍手と長靴をマネキンに装着した(MT, LT, LLT, YeT, BrT)(表2)(実験2)．最後に，防火服の内側に一般的に着用する基本活動服(AB)の長ズボンを半ズボンにしたときの顕熱抵抗をゆとり型の防火服(R)とLサイズの現行防火服(L)に関して測定した(表3)(実験3)．

マネキンの表面温度を34.0度に設定し供給熱量が定常状態に達するまで数時間測定を続けた．測定最後の30分間の供給熱量，表面温度，室内気温の平均値を用いて，顕熱抵抗を求めた．全顕熱抵抗は，パラレルモデルを用いて，26ゾーンからなるマネキンの各ゾーンの供給熱量，表面温度，表面積から求めた．壁の温度は長時間人工気

実験1 各防火服のサイズと材質

服	サイズ		材質等
	上着	ズボン (ウエスト・股下)(cm)	
防火服			
M	Mサイズ	83-70	メタアラミド90
L	Lサイズ	90-70	メタアラミド90
LL	LLサイズ	98-70	メタアラミド90
R	Lサイズ	98-70	メタアラミド90，肩，股のまちを大きくした服
Ye	Mサイズ	83-70	パラアラミド
Br	Mサイズ	83-70	PBO(ザイロン)
活動服			
AB	Lサイズ (長ズボン) (半ズボン)	83-70 83-20	上着(綿50%+ポリエステル50%)，ズボン(メタアラミド75%他) 長ズボンと同じ素材．
AS	同上	83-70	ズボンのみストレッチ型

実験2 防火服と基本活動服等

服の組み合わせ	
MT	M + 長靴 + 軍手 + AB
LT	L + 長靴 + 軍手 + AB
LLT	LL + 長靴 + 軍手 + AB
YeT	Ye + 長靴 + 軍手 + AB
BrT	Br + 長靴 + 軍手 + AB

実験3 防火服と長さの違うズボン

服の組み合わせ	
TS	Tシャツ + 半ズボン(防火服無し)
TL	Tシャツ + 長ズボン(防火服無し)
RTS	R + Tシャツ + 半ズボン
RTL	R + Tシャツ + 長ズボン
LTS	L + Tシャツ + 半ズボン
LTL	L + Tシャツ + 長ズボン

象室を運転していたため，ほぼ室内の温度に等しいと考えられる．顕熱抵抗の算出式を以下に示す．

$$R_t = \frac{(T_t - T_a) \times A}{H} \quad (1)$$

$$I_t = \frac{R_t}{0.155} \quad (2)$$

ここで，

$$T_t = \sum_{i=1}^{26} \frac{T_i \times A_i}{A}, \quad H = \sum_{i=1}^{26} H_i, \quad A = \sum_{i=1}^{26} A_i \quad (3)$$

R_t ：全顕熱抵抗 ($\text{m}^2 \cdot \text{C}/\text{W}$)

I_t ：全顕熱抵抗 (clo)

*1 (独)労働安全衛生総合研究所 国際情報・研究振興センター．

連絡先：〒214-8585 神奈川県川崎市多摩区長尾6-21-1

(独)労働安全衛生総合研究所 国際情報・研究振興センター

上野 哲 E-mail: uenos@h.jniosh.go.jp

T_t : マネキンの平均表面温度(°C)

T_a : 環境温度(°C)

A : マネキン全体の表面積(m²)

H : マネキン全体への供給熱(W)

服だけの有効顕熱抵抗(I_{cl})は、

$$I_{cl} = I_t - \frac{I_a}{f_{cl}} \quad (4)$$

ここで、 I_a は空気層の全顕熱抵抗で、マネキンに何も着せないと測った全顕熱抵抗値である。 f_{cl} は、衣服補正因子で、着衣により大きくなった表面積の比である。

3 結果

1) 防火服サイズ・材質の相違による顕熱抵抗(実験 1)

立位静止状態と歩行状態(45 歩/分)の有効顕熱抵抗を示す(図 1)。各衣服の測定は 3 回ずつ行った。立位静止状態は歩行状態よりいずれのタイプの服においても顕熱抵抗は大きかった。立位静止状態で比較すると、サイズや材質の違いによる顕熱抵抗の相違は無かった。歩行状態では、LL が L や M と比較して有意に小さかった。Ye や Br と M を比較すると、Br が Ye や M より有意に低い顕熱抵抗値となった。活動服の AB, AS は防火服の半分以下の顕熱抵抗値であった。部位ごとでは、臀部、腹、背部等の衣服内空気層が厚い部分の顕熱抵抗が大きかった。顔や頭、手や足はマネキン表面が外気に直接触れるため、顕熱抵抗値がゼロになった。歩行状態では、全部において顕熱抵抗の低下が見られた。

2) 消防士が着用する防火服一式の顕熱抵抗(実験 2)

衣服の有効顕熱抵抗(図 2)では立位静止状態が歩行状態より大きかった。活動服の上に LL サイズの防火服を着用した場合(LLT)，立位静止状態では L サイズや M サイズよりも全顕熱抵抗が大きかった。歩行状態では、Ye が M サイズよりも有意に顕熱抵抗は小さかった。空気層が厚い臀部では、LL サイズを装着したものが他のサイズの防火服よりも、大きな値を示した。歩行状態は、立位静止状態よりも手と足以外では顕熱抵抗が低くなった。

3) 防火服の内側に着用する作業ズボンの長さの相違による顕熱抵抗の違い。(実験 3)

表 3 の衣服の組み合わせで、衣服の有効顕熱抵抗を測定した(図 3)。活動服のみの場合は、立位静止状態と歩行状態の両方で、長ズボンの方が半ズボンよりも全顕熱抵抗は大きかった。ゆとり型の防火服を、その上から着用したときは長ズボンと半ズボンの間で顕熱抵抗の差は殆ど無かった。L サイズの防火服を着用したときは、長ズボンを着用した方が半ズボンよりも大きめであった。

4 結論

防火服着用による暑熱ストレスを軽減するために、防火服のサイズ、材質、防火服の内に着用する作業着のズボンの長さに関する顕熱抵抗をサーマルマネキンで測定した。立位静止状態では大きな服でも顕熱抵抗に差はなかったが、歩行時では LL サイズの服の顕熱抵抗が最も低く、静止時の 60%に減少し放熱量が増加すると考えら

れる。防火服の内側に着用する作業ズボンを短くしても、全顕熱抵抗はほとんど変わらなかったため、外からの熱による火傷等を考えると長ズボンが適している。

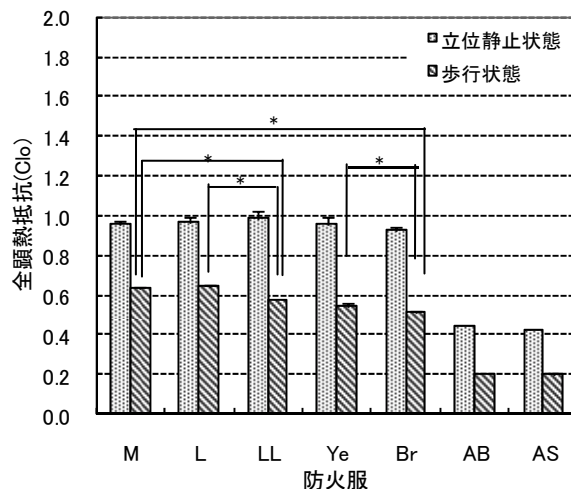


図 1 防火服と活動服のみの全顕熱抵抗 (* = p < .05)

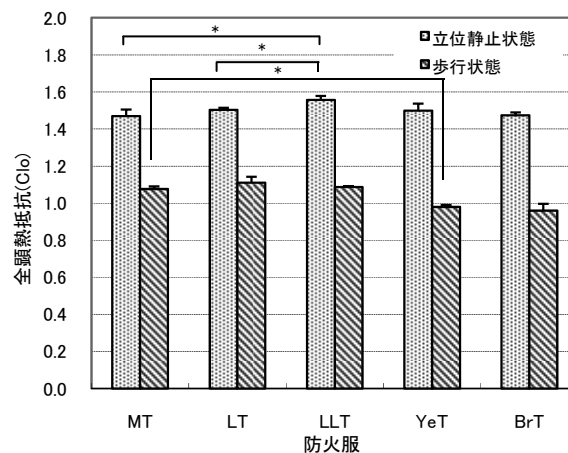


図 2 防火服と活動服を重ね着したときの全顕熱抵抗 (* = p < .05)

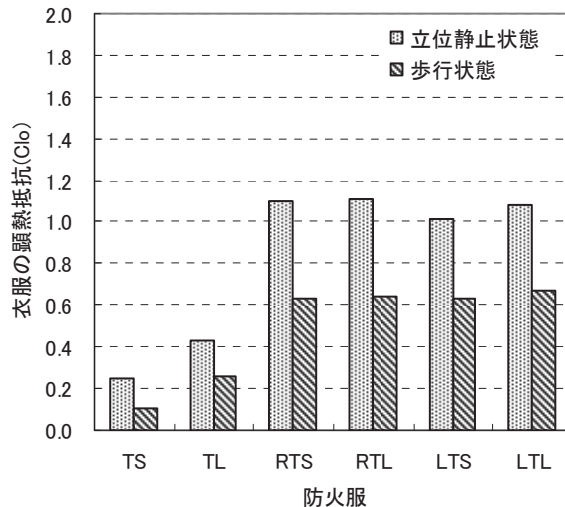


図 3 活動服の上から防火服を着用したときの顕熱抵抗
*本報告は労働安全衛生研究(原著論文)に掲載された。: 上野哲, 澤田晋一 (2008) サーマルマネキンを使った防火服の顕熱抵抗測定. 労働安全衛生研究 1(3), p189-196