

耐熱服の防熱性について

武 居 貢*

1. はじめに

耐熱服は、一般防火服では耐えられない高熱環境のもとで着用する特殊防火服であり、最近では火災様相の変化から、その使用が次第に増えている。

耐熱服は、アスベスト・アルミナイズド布の登場によって実用化したもので、幾多の改良を経て現在に至った。しかしすでに耐熱服でも対応困難な火災も多く、安全の確保のための確な使用はつねにおろそかにしてはならない問題である。

そこでこのたび使用上の参考資料を得るため実験を行ない、現用耐熱服の防熱効果の実態をみたので、その結果を報告する。

2. 耐熱服の材質・構成

耐熱服は、フード、上衣、ズボン、手袋および長靴を組み合わせたものであり、服体の主構成は、表地、中間地および裏地の3種を重ねて縫製したものである。

- 表 地……アスベスト基布の表面に、アルミニウムを圧着したもの、(アルミナイズド布、厚さ：約0.93mm)
- 中間地……ガラス基布の表面に、ネオプレンゴムを接着したもの、(ガラスネオシート、厚さ：約0.33mm)
- 裏 地……モケットで防災処理を施したもの、(パイルの厚さ：地底から約2.5mm)

3. 耐熱服の使用対象

耐熱服の使命は、熱から身体を防護することであるが、現用耐熱服について、材質や形状等から考察すると、そこにはおのずから限界があり使用の対象も必然的に制約されるわけである。

まず材質面からみると、服地のアスベスト繊維の有効使用温度は一般に650～850℃、この表面に圧着したアルミニウムの溶融温度は660℃程度といわれている。なお縫製用等の綿糸や合成繊維は、当然にこれ以下の低い温度で破壊される。さらに面体用のアクリル

樹脂やポリエステル樹脂は、150℃程度が使用限界温度である。これらの基材は、この温度以上に加熱されると軟化、変形、発泡、溶融、燃焼等に至り得る。

また形状面からみると、各部をコンビネーションとしたもので完全密閉型でないことから、各部の合せ目、接目、織目等から火炎や熱気等が透過し侵入することがあり、呼吸器や皮膚への影響が考えられる。

以上のように、基材自体の耐熱性能や、服体の形状等から、耐熱服といえども火炎に接した使用や、高熱気流(雰囲気)内での使用は、効果が期待できず危険をとめないやすい。結局、耐熱服使用上の対象は、放射加熱の条件に限られるわけである。この放射熱線の防護作用は、表面のアルミ輝面による反射の他、一部透過した熱は各服地とその間隙に存在する空気層で吸収させる。しかし放射加熱に対する耐熱服の防熱の主要作用は、服地表面の熱線反射によるわけであり、反射特性の劣化は熱の通過を容易にし、防熱効果を低下させることになる。よって、表面のアルミ輝面の保持は最も重要なことである。

4. 実験1 放射加熱に対する耐熱服の防熱性について

着用した耐熱服に一定の放射加熱をし、そのときの服体裏面の温度を測定し、防熱性をみる。なお一般防火服についても同様の測定をして比較する。

(1) 実験方法

耐熱服一組を完全着装する、着用耐熱服は上衣とズボンがセパレートの最新型のもの。熱源は、乾燥設備用赤外線電球を用いて、一方から全身を放射し、放射受熱量 $0.05\text{cal}/\text{cm}^2\cdot\text{sec}$ ($1,800\text{kcal}/\text{m}^2\cdot\text{h}$)を服体表面の胸部で受ける位置で起立正対する。このときの服体各部の裏面温度をC・C熱電対で測定する。

○ 被験者——J・O(消防司令補)

年令：28才、身長：161cm、体重：55kg

○ 測定部位

- A 前頭部(フード)
- B 胸部(上衣)
- C 前膝部(ズボン)
- D 背部(上衣)

* 第一研究室

なお一般防火服（ネオプレン）についても同様の条件のもとで、胸部だけについて測定する。このとき顔面は耐熱服フードで保護する。

(2) 測定成績および考察

耐熱服裏面温度の上昇状況は第1表、ネオプレン防火服裏面温度の上昇状況は第2表のとおりである。

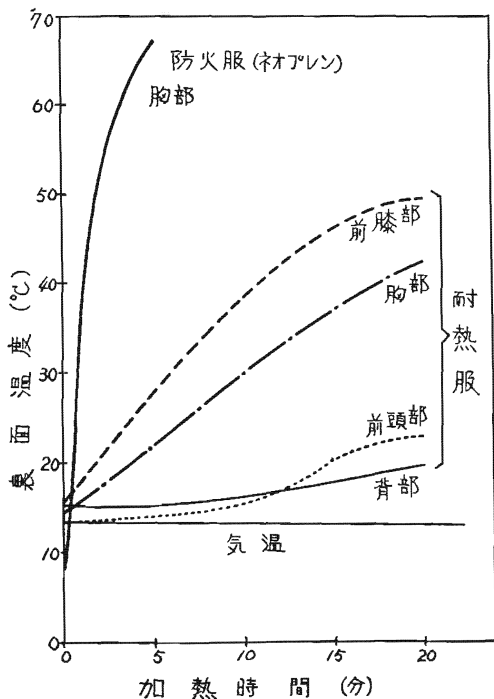
前膝部は、最初15.5℃のものが20分後には49.8℃と

第1表 耐熱服裏面温度の上昇状況（上段：見掛け、下段：正味）（単位：℃）

測定部位	時間				
	放射加熱前	5分	10分	15分	20分
前頭部	13.3	14.1	16.4	20.5	23.0
		0.8	3.1	7.2	9.7
胸部	14.5	22.5	30.0	36.6	42.6
		8.0	15.5	22.1	28.1
前膝部	15.5	28.0	38.5	45.3	49.8
		12.5	23.0	29.8	34.3
背部	14.9	14.9	16.0	17.8	19.5
		0	1.1	2.9	4.6

* 気温：13.2℃，湿度：65%

第1図 裏面温度の上昇状況（見掛け）

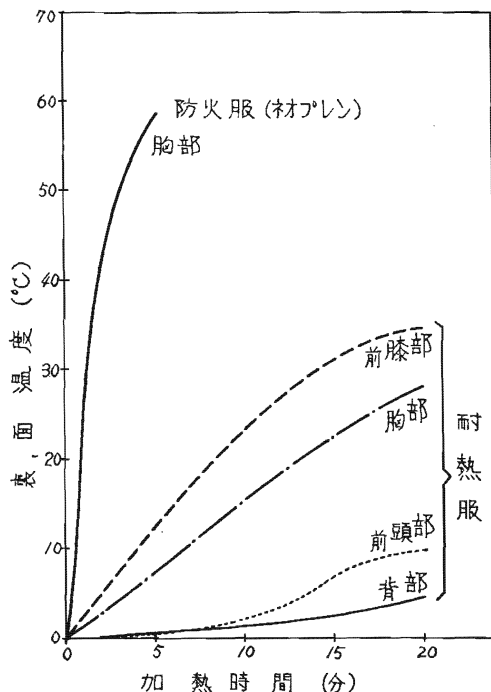


第2表 防火服（ネオプレン）裏面温度の上昇状況（上段：見掛け，下段：正味）（単位：℃）

測定部位	時間					
	放射加熱前	1分	2分	3分	4分	5分
胸部	8.0	35.2	50.9	60.1	64.0	67.3
		27.2	42.9	52.1	56.0	59.3

* 気温：13.2℃，湿度：65%

第2図 裏面温度の上昇状況（正味）



なり、34.3℃の温度上昇を示した。胸部は、14.5℃が42.6℃となり28.1℃の上昇で、前者と大差はない。しかし前頭部は、13.3℃が23.0℃となり9.7℃の上昇で、前二者の1/3程度の上昇にとどまっている。フードは熱の透過が比較的大きい面体があって、内部温度の上昇は本来大きいはずであるが、測定部位（前頭部）は、面体より上部に位置し、そこがこのような防熱効果を示したことは、内部にそう入されたバルカナイズドファイバー（厚さ1.5mm）の影響によるものと考えられる。一方背部は、14.9℃が19.5℃となりわずかに4.6℃の上昇にすぎず、耐熱服の裏面温度の上昇度は、放射加熱をうける前面が大きく、放射加熱の直接の影響の少ない背面は小さくなっている。

また防火服の胸部では、最初8.0℃のものがわずか5分後に67.3℃となり、59.3℃の大きな上昇で、耐熱服とは防熱性に格段の差がある。

なお耐熱服では、暑さで苦痛を感じるほどでもなかったが、15分後頃から呼吸の不快感が徐々に増して、20分後には相当の負担を感じた。これは、熱の影響よりも通気の阻害に因るものと思われこの面の改良に一考を要する。また防火服では、4分後頃から膝部の無防護箇所（直接ズボンを加熱された所）が暑く、5分が限度であった。

ところで放射熱の強さについてみると

- 夏の太陽光……概ね、828kcal/m²・h
(0.023cal/cm²・sec)

- 皮膚が加熱され痛……概ね、900kcal/m²・h
みを感じない限界 (0.025cal/cm²・sec)
- 人の放射加熱に対……3,440kcal/m²・h (約
しての安全限界 0.096cal/cm²・sec)
2～4秒
1,720kcal/m²・h (約0.048
cal/cm²・sec) 49～207秒

といわれている。

また火災実験による放射受熱量を示すと第3表のと

第3表 放射受熱量測定値

放射受熱量	条 件			
	燃 料	油 槽	測 定 位 置	風 速
3 分 後 0.022cal/cm ² ・sec	灯 油 6,522 l	360m ² (約19m×19m)	油槽の端から30m (風横)	3 m
3 分 後 0.010cal/cm ² ・sec	A重油 7,200 l	"	"	3.5m

広水面上における油火災実験 (S38. 8. 2) より

おりである。

本実験の受熱量0.05cal/cm²・secはそれほど大きなものとはいえず、実際の火災現場では当然これより大きな放射を受けることがあり得るはずである。

一方皮膚が熱により痛みを感じはじめる温度は、一概にはいえないが、45℃程度とされている。実験では15分程度でこの温度に達した。実際には下着の着用や、発汗等の影響によるものか痛みは感じなかった。

このような条件のもとでは、耐熱服の防熱性はこの程度とみられる。

5. 実験2 放射加熱に対しての耐熱服着用時の生体への影響について

一般防火服や耐熱服着用時に、労働負荷をあたえた場合の生体への影響については、すでに実験結果を得ているので、ここでは温熱負荷（放射加熱）に対しての生体への影響をみる。（東京医科歯科大学、前田博士による実験）

(1) 実験方法

着用耐熱服は、上衣とズボンが続きとなっている旧型のもの（服地材質や構成面は、新型のものと大差ない）で、熱源は1m×1mのオイルパンに灯油40lを入れ燃焼させる。火源より6mおよび3mの距離でやや風横の地点に起立正対する。このときの放射受熱量と生体の各機能の変化を測定し、生体への影響から防熱性をみる。

- 被験者——J・O（消防司令補）

年齢：28才，身長：161cm，体重：55kg

(2) 実験成績および考察

ア 放射受熱量

屋外で灯油を燃焼させ、（実験時、風速2.3mで、風の息や風向の変化等から燃焼が一様でない）燃焼の安定状態をみて測定した放射受熱量は次のとおりである。

火源からの距離	放射受熱量 cal/cm ² ・sec (kcal/m ² ・h)
6 m	0.013(468), 0.030(1,080), 0.017(612)
3 m	0.027(1,032), 0.090(3,200), 0.050(1,800)

イ 脈拍数

安静時62回/分であるものが、15分後に6mで84回/分、3mで183回/分に増加した。この場合、立っただけで特別な労働負荷はあたえていないので、脈拍の増加は単に温熱条件に支配されていると考えられる。

ウ 血 圧

安静時において、最高114mmHg、最低72mmHgであるものが、15分後においては6mで最高110mmHg、最低74mmHgで大きな変化は認められないが、3mでは最高130mmHg、最低50mmHgで最高血圧は上昇、最低血圧は下降していると考えられる。

エ 呼吸数

安静時18回/分であるものが、15分後には6mで26

回/分、3 mでは37回/分となり3 mの方が増加していることが認められる。

オ 呼吸量

安静時 400~500cc/分であるのに対し、15分後では6 mで800cc/分、3 mでは600cc/分とやや増加を示している。6 mと3 mとでは3 mの方が増加率が低い、これは最初に6 mの実験を行なって、後で3 mの実験を行なったので最初は適応ができず、後に徐々に適応したためと考えられる。

カ エネルギー代謝率

6 mでは3.9で、3 mでは2.2となつて、エネルギー

代謝率でも前記のような適応による反応の差が現われているが、特別な労働負荷をあたえていないので、この程度のものであろうと考えられる。

キ 皮膚温

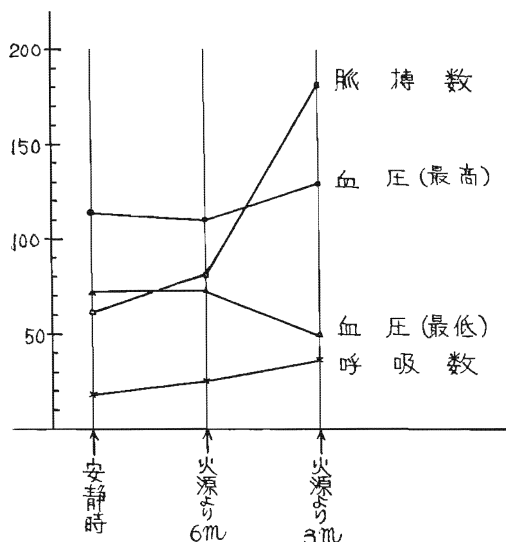
胸骨前部では、最初6 mで34.6°Cが15分後に38.7°Cとなり、4.1°Cの上昇、3 mでは33.5°Cが37.0°Cで3.5°Cの上昇が認められた。背部中央では、6 mで36.0°Cが15分後に37.5°Cで1.5°Cの上昇、3 mでは36.0°Cが15分後に36.4°Cとなり0.4°Cの上昇で、火に向っている前面の皮膚温の上昇度が大きく、背面の方は小さくなっている。ここでも3 mの方が上昇度が小さくなっている。

第4表 各機能の測定成績 (火源より6 mに直立正対)

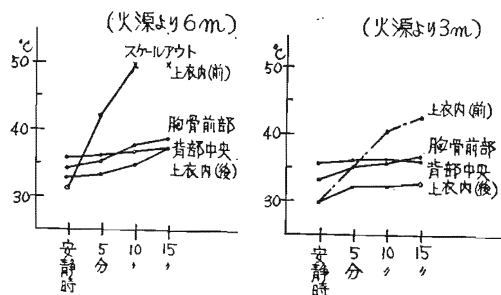
被験者 J・O 年令28才, 身長161cm, 体重55kg, 体表1.58m²

測定内容		安静時	放射加熱時		
			5分	10分	15分
循環機能	脈拍数	62			84
	血圧	114~72			110~74
呼吸機能	分時換気量 (l/min B.T.P.S)	8.10			20.12
	呼吸数	18			26
	1回換気量 (liter B.T.P.S)	0.5			0.8
	分時O ₂ 消費量 (cc/min S.T.P.P)	174.1			740.0
	分時CO ₂ 発生量	146.2			592.0
	R. Q	0.84			0.80
皮膚温 (°C)	胸骨前部	34.6	35.5	38.0	38.7
	背部中央	36.0	36.3	37.0	37.5

第3図 生体機能の変化



第4図 各部位の温度



第5表 各機能の測定成績（火源より3mに直立正対）

被験者 前と同じ

測定	内容	安静時	放射加熱時		
			5分	10分	15分
循環機能	脈拍数	(62)			183
	血圧	(114~72)			130~50
呼吸機能	分時換気量 $\left(\frac{l}{min} \text{ B. T. P. S}\right)$	8.88			20.72
	呼吸数	18			37
	1回換気量 $\left(\frac{\text{liter}}{\text{B. T. P. S}}\right)$	0.4			0.6
	分時O ₂ 消費量 $\left(\frac{\text{cc}}{\text{min}} \text{ S. T. P. P}\right)$	313.40			632.6
	分時CO ₂ 発生量	288.3			493.4
	R・Q	0.92			0.78
皮膚温 (°C)	胸骨前部	33.5	35.5	36.1	37.0
	背部中央	36.0	36.2	36.1	36.4

るがこれも前記のような理由によるものと考えられる。

(3) 小括

以上のことから、6mで15分位ならば生体に大きな負担をあたえているようには思えないが、3mになると脈博数の増加、血圧等も正常の変化の範囲から外れる。また同じ被験者による実験から、その条件への適応性を考慮してもその他の機能の変化が大きく、労働負荷がかからなくても、単に放射加熱によって相当の負担になると結論してさしつかえない。

6. むすび

本実験は、熱源に向かい起立静止の状態で行なったもので、労働負荷がないこと、受熱面が限定されていること等、特定、単純な条件のもとによるものであって、この結果が直ちに実用上の成績として断定できないが、使用上の目安として参考にされればさいわいである。

終りに、実験に際し多大のご指導を賜った東京医科歯科大学の先生方に深甚の謝意を表します。