

# 耐熱防火服地の接炎および放射加熱実験

藤 井 善 雄\*  
伊 藤 金 夫\*  
一 倉 伊 作\*\*

## は し が き

広く防火被服と呼ばれるものには、一般火災用の防火被服と、油火災など特殊な火災に使用する特殊防火被服とがある。一般火災用の防火被服は、古く江戸時代より刺子という名で呼ばれた木綿地のものが多く使用されてきたが、消防装備の近代化にともない、幾多の改良研究が加えられ、新しい防火被服が開発されようとしている。特殊防火被服(耐熱防火服)は、石綿などの無機物に金属の真空蒸着による金属被膜をかぶせ、放射熱を反射するとともに断熱性材料をライニングして耐熱、接炎の効果を図ろうとしたものであるが、一般防火服に較べ歴史も新しく、使用経験も少ないため、これが性能について熟知していないと、先般福岡で起きた例の如く思わぬ事故を惹起しかねない。このため現用のものについて接炎、また放射加熱実験を行い、使用並びに将来の改良への示唆を得ることとしたのである。なお、ここにとりあげた試験方法は現在規格化されたものではなく、今後検討の余地があると思われる、実験結果の考察も本実験条件の範囲内のものであることを付記しておく。

## 1. 耐熱防火服地の炎による接炎加熱実験

### 1. 実験の目的

この実験の目的は、耐熱服に対する接炎加熱試験を行い被服内部の温度分布を調べることにある。耐熱服は放射熱を防ぐためのものとして作られたものであり、放射熱による加熱実験については、自治省消防研究所で行ったものがあるが、しかし炎が直接被服にあたった場合については、板橋消防署その他で行った若干の人体実験があるのみで、服地内部がどのような温度分布になるかについては、実験データがない状況にあるので炎を直接あてる加熱実験を行って各部温度を測定し、その耐熱性を調べ耐熱服着用時に際しての基礎資料とするものである。

### 2. 実験期日

昭和36年6月2日(実験1)

昭和36年6月5日(実験2)

### 3. 実験場所

東京消防庁、消防科学研究所、電気実験室

### 4. 実験器具

指示熱電温度計(切換付)……………2  
サイクルカウンタ……………1  
ミリボルト計……………1  
クロメル、アルメル熱電対(0.1耗)……………4  
接炎加熱装置……………一式

### 5. 実験試料

耐熱防火服生地(小林刺子店製)

この試料は当庁で採用しているものと同一種類のものを使用した。なお、現用のものは、アルミ被覆は真空蒸着法によるものではなく、アルミ箔を接着剤ではりつけたのである。

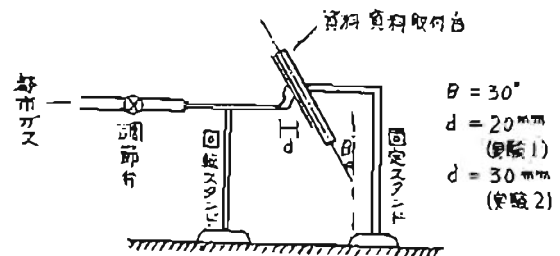
### 6. 実験方法

実験方法としては、つぎの方法が考えられる。

- (1) 炎を連続的に接触させる。すなわち揺らぎのない炎で直接加熱させる。
- (2) 炎を継続的に接触させる。すなわち揺らぎのある炎で加熱する。また一定時間毎に炎の接触をとり返す。
- (3) (1)(2)の場合、炎の大きさ、時間などを各種変えて行う。

今回の実験は、(3)の条件を入れ(1)の方法によって実施した。装置としては第1図のようなものを組立て真ちゅうパイプより都市ガスを噴出させ、その炎を試料

第1図 実験装置

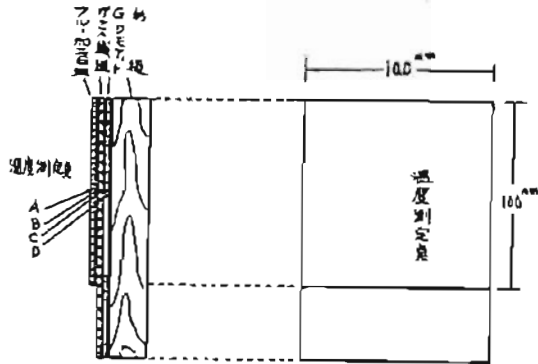


に接触させた。試料は実際の着用時とその状態を一致させるため、アルミ加工石綿、ガラス繊維の布、GPミケットを重ね、杉板の上に取りつけた。試料の大きさ

\*第三研究室 \*\*第一研究室

は、10種四方とした。ガラス繊維の布、GPモケットは杉板と同一の大きさとし、10種×10種である。試料の取付角度は鉛直が望ましいが炎が横にならないため30度傾けた。温度測定には、0.1耗のクロメルアルメル熱電対を使用し、熱電温度計、およびミリボルト計でその指示を読んだ。冷接点は室温を採用し実験時は25度Cであった。温度測定点は第2図のように設定し、

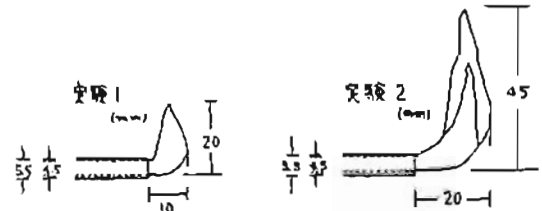
第2図 温度測定点



A点はアルミ加工石綿の表面・(炎が直接あたる  
ところ) B点は石綿とガラス繊維の間、C点はガラス繊維

の布とGPモケットの間、D点はGPモケットと杉板の間の温度である。炎は空気を全然混入しない都市ガスを燃焼させ、流量は手持ちの器具で測定できないので炎の大きさをもって基準とした。炎の大きさは、第3図のように炎が揺れない状態を保つようにして実験1の場合は、高さ20耗、巾10耗、実験の場合は高さ45耗、巾20耗とした。更にサイクル、カウンターを用い

第3図 炎の大きさ



て短時間の実験にたいし、接炎時間の誤差を少なくするよう努めた。炎の接触させる時間は2. 4. 6. 8. 10. 12. 14. 16秒の8種類とした。

7. 実験結果

実験した結果は、第1表および第2表のとおりである。

〔第1表〕 実験1の温度測定結果

分 類	測 定 点	測定時間および温度上昇(°C:室温25°C)								備 考
		離炎時	15 秒	30 秒	45 秒	1 分	1分30秒	2 分		
1-1 (2秒 加熱)	A	250	30(10)	-	-	-	-	-	-	-
	B	10	20(10)	-	-	-	-	-	-	-
	C	5	7(10)	-	-	-	-	-	-	-
	D	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1-2 (4秒 加熱)	A	280	120(5)	-	40	-	-	-	-	-
	B	25	30	-	-	-	13	-	-	-
	C	5	-	16(17)	-	-	12	-	-	-
	D	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1-3 (6秒 加熱)	A	450	270(10)	90	40	-	10	-	-	-
	B	40	-	32	25	-	18	-	-	-
	C	15	-	20	20	21	15	-	-	-
	D	-	-	10	-	-	10	-	-	-
1-4 (8秒 加熱)	A	420	100	-	60	40	30	-	-	-
	B	42	39	-	33	28	24	-	-	-
	C	17	-	25(17)	24	22	22	-	-	-
	D	-	-	-	-	15	18	-	-	-
15 (10秒 加熱)	A	400	150	150	80	50	40	-	-	-
	B	40	39	-	35	32	27	-	-	-
	C	25	-	30(20)	30	30	29	-	-	-
	D	-	-	-	-	18	20	-	-	-
16 (12秒 加熱)	A	480	200	-	90	50	40	20	-	-
	B	40	42	45(20)	45	40	32	25	19	-
	C	35	-	-	42	41	35	27	21	-
	D	-	-	-	20	25	25	23	-	-
17 (14秒 加熱)	A	330	-	-	100	60	50	30	20	-
	B	42	43	-	52	45	39	28	23	-
	C	30	-	-	25	47(33)	41	31	25	-
	D	-	-	-	-	28	28	25	25	-
18 (16秒 加熱)	A	270	-	-	120	80	50	30	20	-
	B	45	-	-	74	55	48	33	25	-
	C	30	-	-	-	56(34)	50	40	30	-
	D	-	-	-	-	30	35	35	30	-

( )内は時間(秒)を示す。

○印は最大値を示す。

[第2表] 実験2の温度測定結果

分類	測定点	測定時間および温度上昇(°C:室温25°C)												備考
		2秒	5 "	10 "	15 "	20 "	25 "	30 "	35 "	40 "	45 "	1分	分秒 1 30	
2-1 (2秒加熱)	A	°470	200	90	60	40	30	25	25	20	18	10	5	3
	B	20	°38	32	28	25	22	21	20	17	17	16	11	10
	C	18	20	24	°24	23	22	21	20	20	19	18	14	10
	D	0	-	-	-	-	5	-	10	-	-	-	-	5
2-2 (4秒加熱)	A	-	°120	90	80	60	40	35	30	25	20	20	10	5
	B	-	°39	35	30	28	27	25	25	23	22	20	15	11
	C	-	°30	29	28	26	26	26	25	25	24	20	16	13
	D	-	0	-	-	-	10	13	15	15	15	15	10	8
2-3 (6秒加熱)	A	-	-	°150	90	70	60	50	-	40	35	30	20	-
	B	-	42	°42	42	41	40	37	35	34	31	25	20	15
	C	-	21	30	30	30	32	32	32	31	31	28	21	17
	D	-	0	-	13	-	18	-	-	-	°21	20	15	13
2-4 (8秒加熱)	A	-	°330	200	140	110	90	80	70	60	60	40	25	15
	B	-	40	41	56	°61	60	56	52	50	45	37	25	20
	C	-	20	35	36	47	50	°50	50	49	48	41	30	23
	D	-	0	-	15	20	25	25	28	°28	28	25	23	18
2-5 (10秒加熱)	A	-	330	°390	200	150	130	110	-	90	80	60	40	30
	B	-	41	50	78	°85	83	78	72	68	63	50	36	26
	C	-	28	35	60	65	70	°70	70	69	65	60	45	32
	D	-	0	-	15	30	-	40	-	°45	43	40	35	30
2-6 (12秒加熱)	A	-	470	510	-	250	160	140	100	90	80	60	40	30
	B	-	42	55	-	79	-	°100	90	80	74	67	-	30
	C	-	15	24	55	90	91	°91	90	82	78	66	-	40
	D	-	0	-	-	18	40	45	48	51	°54	51	40	35
2-7 (14秒加熱)	A	-	340	°360	-	220	180	160	120	-	90	70	50	35
	B	-	41	60	110	°122	117	105	93	85	77	60	40	30
	C	-	15	25	50	80	88	°88	86	84	81	70	50	39
	D	-	0	-	-	38	43	-	-	-	°45	45	40	33
2-8 (16秒加熱)	A	-	550	°570	-	250	190	160	120	100	90	70	40	30
	B	-	42	51	95	°125	120	100	98	83	75	60	40	30
	C	-	30	60	130	°166	155	140	125	115	100	80	55	40
	D	-	0	-	-	40	43	45	45	-	°48	48	43	38

8. 実験の考察

各実験結果を総合してわかったことを列挙すると、つぎのとおりである。

(1) 実験1について

実験1の炎の大きさ、高さが20耗、巾10耗であったが、この実験により発炎したものはなかった。また、アルミ被服に異状は認められないが、10秒以上加熱したものは裏面側に若干の変色が認められた。さらに各部の温度は、接炎時間の大きなる程高くなり当然の結果と思われる。一例として14秒加熱した場

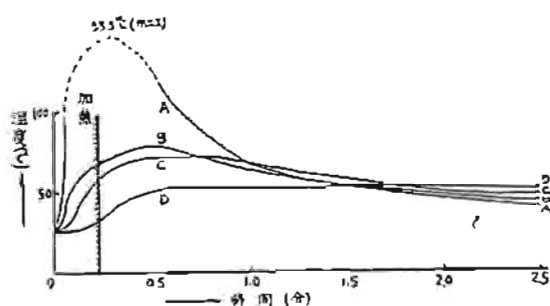
合は、第4図のような温度曲線となり、B、C、D点とも炎を取り去ってからも温度上昇を続け、B点は30秒(78°C)、C点は40秒(70°C)、D点は60秒(52°C)でほぼ最高値を示している。このように1分以内では炎をあてた面から内部に行くにしたがって温度は低くなっているが、2分以後は逆の傾向を示し、内部の方が高くなることがわかった。しかし、外部と内部の温度差は10度C程度である。このような結果になるのは被服材料の熱容量、熱伝導、熱放散などが関係しているからである。

(2) 実験2について

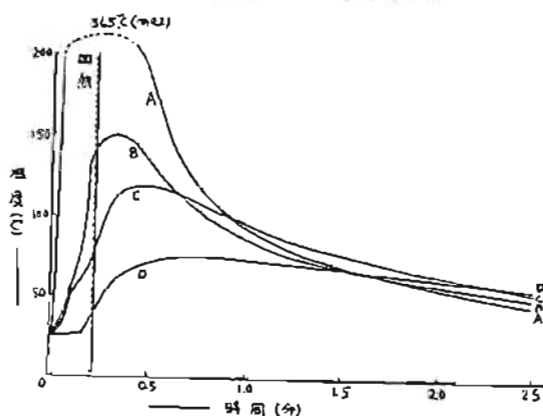
実験の炎の大きさは高さ45耗、巾20耗であり、この実験では12秒以上加熱した場合は、いずれも発炎しており裏側布地（GPモケット）までその影響がおよんでいる。さらに各部の温度上昇は、実験1と同様接炎時間の長い程高くなり当然の結果と思われる。

また、12秒以上加熱した場合にはいずれも発炎し、この炎の状況を見てもアルミ箔と石綿を張りつけている接着剤から出る可燃性ガスが燃えているように推定される。一例として実験1と同様14秒加熱した場合の各部の温度は第5図のようであり、炎を取り去っても各部の温度上昇を続け、B点は20秒（150°C）C点は30秒（120°C）D点は40秒（75°C）でそれぞれ最高の温度を示している。このように実験1と同様30秒までは炎をあてた面が温度が高く内部に行くにしたがって温度は低くなっているが、1分30秒以後は逆の傾向となり、内部の方が高くなり2分30秒後の内部温度（D点）はこの曲線からも約55度Cになるものと推定される。

第4図 実験1の14秒加熱曲線



第5図 実験2の14秒加熱曲線



9. むすび

2回の簡単な実験のみで、すべての結論を求めるとはできないが、一応この実験から得られた事項について述べてみる。

(1) 屋外における油火災類の場合

この実験が示すように都市ガスの小さな炎でさえ

も15秒位で簡単にアルミ箔の接着剤が燃え出してしまふから、この耐熱服で炎の中に入ることは危険である。実験に使用した空気を入れない都市ガスの炎の温度は1,000度Cと思われる。0.1耗の熱電対で測定した結果では、約950度Cであった。この炎をアルミ被服にあてると赤い部分はうすくなって600度C程度に下ってしまう。したがって実際に接していた炎の温度もこの程度と思われる。

(2) 建物火災の場合

火災家屋の内部温度は、最盛期においてはおおむね800~1,000度程度を示し放射熱は火災の大きさに応じ可成りの相違があり、また受熱面積および継続時間が大なる程危険率が高いことがわかる。通常建物火災の場合には、屋外の油火災と違い燃焼室内の温度が高温に熱せられているので防火被服が一様に熱せられ温度上昇しているから短時間の火災先端の接触によっても瞬間的に着火するものと考えられる。したがって過日、福岡消防局で行った実験の場合には、このような理由もあってきわめて短時間のうちにアルミ被服が燃え出してしまったものと思われるので潜火は危険である。

(3) 接着剤について

耐熱服に使用している接着剤については、発火点の測定その他を第二研究室において調査したところつぎのような結果が得られた。接着剤は、塩化ビニール系の樹脂を酷酸エステルとベンゼン類を混合した溶剤で溶かしたものである。発火点待時間8秒の場合580度C、待時間5秒の場合590度Cであった。また発火点以下の温度ではつぎのような現象を呈する。

- a) 320度Cでは、白煙がわずかにでる。
- b) 400度Cでは、5秒位で白煙が出て赤くなり無炎燃焼する。
- c) 450度Cでは、2~3秒で白煙がでて赤くなり無炎燃焼する。
- d) 480度Cでは、すぐ白煙が発生し無炎燃焼してしまう。

以上の各結果を総合するとつぎのようになる。接着剤の引火点は溶剤は引火点となるからこの接着剤の引火点は零度C以下と考えてよい。しかし乾いたものについては、溶剤がとんでいるので特に考える必要はない。発火点は580度C~590度Cである。接着剤の燃焼の経過は接着剤に使用されている樹脂から可燃性ガスが発生して、うすいアルミ箔を破り炎により引火すると考えられる。

(4) 耐熱服の遮熱効果及び人体に及ぼす影響について

接炎した場合の遮熱効果は、あまり期待できな

い、この実験のように連続して接炎した場合、15秒程度で接着剤が燃え出してしまい、一旦接着剤が燃え出した後は実験2の12、14、16秒加熱の場合から明らかなように、GPモケット内側（体に接するところ）の温度は、すぐ60度C以上になり再び60度C以下になるまでの時間は2分以上も必要である。したがって、この耐熱服を着て活動中熱さを感じてから退避したのでは、その後も内部温度は更に上昇を続けるから服を脱ぐまでの時間、異常な熱さにさらされ火傷はまぬがれないものと思われる。結局この耐熱服を着た場合、熱さを感じてから退避したのでは遅いといえよう。以上のことは実験による温度曲線より推定したものであるが、過去板橋消防署で行った人体実験の場合にも着用した者の感覚から同様のことがうかがわれ、これらの事項も本実験から得られた結果と一致している。

(5) その他について

本実験についてはくり返し接炎は実施できなかったのであるが、以上のような考察からしても今後更に実験研究を積み重ねる必要がある。

## 2. 耐熱防火服地の放射熱実験

### 1. 実験の目的

前回の実験（耐熱防火服地の炎による加熱実験）に引続いて耐熱防火服及び各種合成樹脂に対して、シュバンク・バーナーによる放射加熱実験を行い、断熱、耐熱の性能を調べ今後における防火服作成上の資料および防火服に関する試験規格の資料とするものである。

### 2. 実験期日

昭和36年10月20日より  
昭和36年11月10日まで

### 3. 実験場所

東京消防庁、消防科学研究所、消防装備実験室

### 4. 実験器具

シュバンク・バーナー……………1  
ミリボルト計……………1  
放射計……………1  
温度計……………2  
クロメル、アルメル熱電対(0.3耗) ……1  
ストップ・ウォッチ……………1  
その他、配線、スタンド等

### 5. 実験試料

耐熱防火服地（小林刺子店製（現用のもの）  
3M社製（73型、75型、82型）  
アクリル樹脂板（厚さ、2耗、3耗、4耗、6耗）  
ポリカーボネート板（厚さ、1耗、1.5耗、2耗、3耗）

ゼロン（厚さ、3耗）  
ソーダガラス（厚さ、4耗）  
スノッチ・シールド（熱反射フィルム）

## 6. 実験方法

第一の実験方法としては、各試料に放射熱をあてて、その裏面の温度上昇およびその時間を測定し、裏面が25°C温度上昇する時間をもって判定の基準とした。放射熱の強さは耐熱防火服については、0.1cal/cm<sup>2</sup>.sec, 0.2cal/cm<sup>2</sup>.sec, 0.3cal/cm<sup>2</sup>.sec, 0.38cal/cm<sup>2</sup>.secの4種、各合成樹脂については、0.1cal/cm<sup>2</sup>.sec, 0.2cal/cm<sup>2</sup>.sec, 0.3cal/cm<sup>2</sup>.secの3種とした。第二の実験方法としては、各試料に放射熱をあてて、その表面および裏面の温度上昇、およびその時間を測定比較して判定の基準とした。この場合の放射熱の強さは、耐熱服については0.2cal/cm<sup>2</sup>.sec, 0.3cal/cm<sup>2</sup>.secの2種、各種合成樹脂については試料の関係で0.2cal/cm<sup>2</sup>.secの1種とした。熱源はシュバンク、バーナーを垂直に立て熱ふく射射が水平に放射されるよう設置し、ガスバーナーの熱板面を零とし前面に距離を目盛り標準とした。測定方法は実験に必要な放射熱を放射計により測定し距離を求め、その位置に実験試料を置き遮熱板をとり去る時よりの時間と温度上昇を記録した。温度測定には0.3耗のクロメル、アルメル熱電対を使用し、各試料の裏面にシロテープで張りつけた。冷接点は、専用魔法瓶を用い水を入れ、アルコール温度計で水温を測定した。したがって測定した温度は水温からの温度上昇である。（第A図参照）温度はミリボルト計の読みより換算して求めた。計器の内部抵抗、熱電対、リード線の抵抗を加味したところ、ミリボルト計の読みと温度との関係はあまり相違がないので卑金属熱電対第一種（クロメルアルメル）の規準熱起電力表に基いて換算した。

## 7. 実験結果

実験した結果は各図表のとおりである。

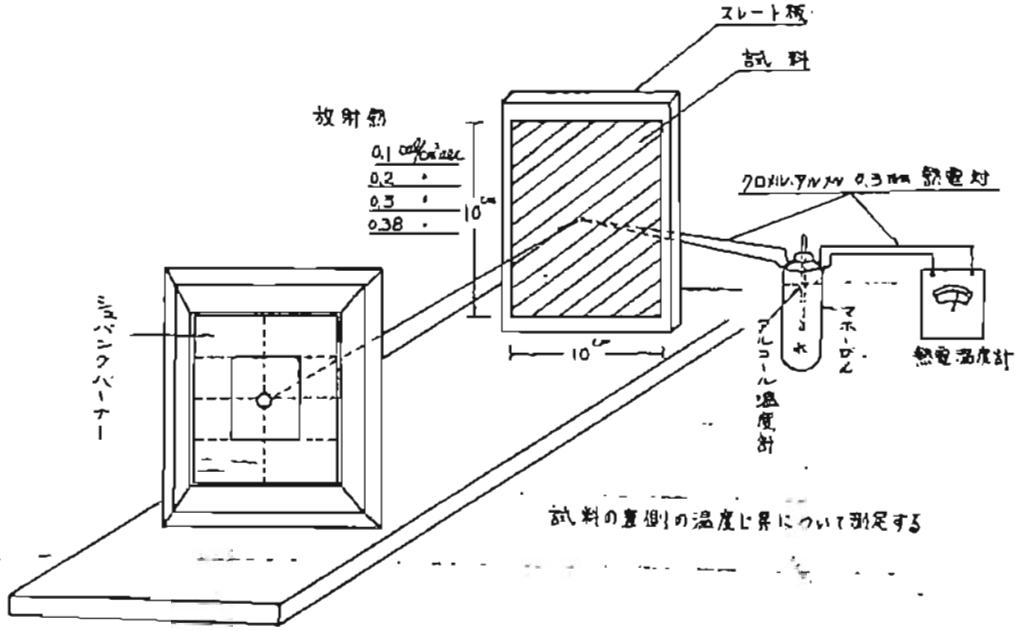
## 8. 実験の考察

各実験を総合してわかったことを列挙してみると次のとおりである。

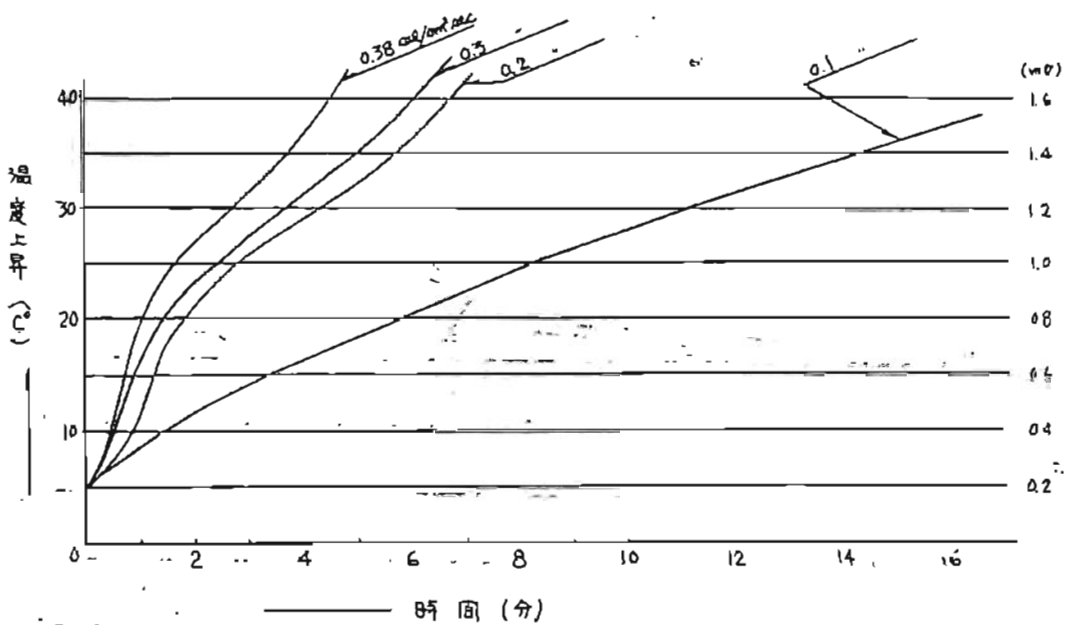
### (1) 耐熱防火服と一般防火服との比較について、

アルミ加工施した耐熱服が放射熱に対しての性能は、第A—1図と第A—2図とを比較してもわかるように一般防火服に比し効果が大であることは明らかである。また、顔面部に使用するアクリル板と耐熱服を比較すると第B—1図に見られるごとく格段の相違があり、現場でよく聞かれる“顔が熱い”ということは当然である。一例として現在使用している三又刺子と耐熱防火服については、0.1cal/cm<sup>2</sup>.secの場合の裏面温度25°C上昇する時間を比較

第A図 試 験 方 法



第A-1図 耐熱防火服小林刺子製総合曲線

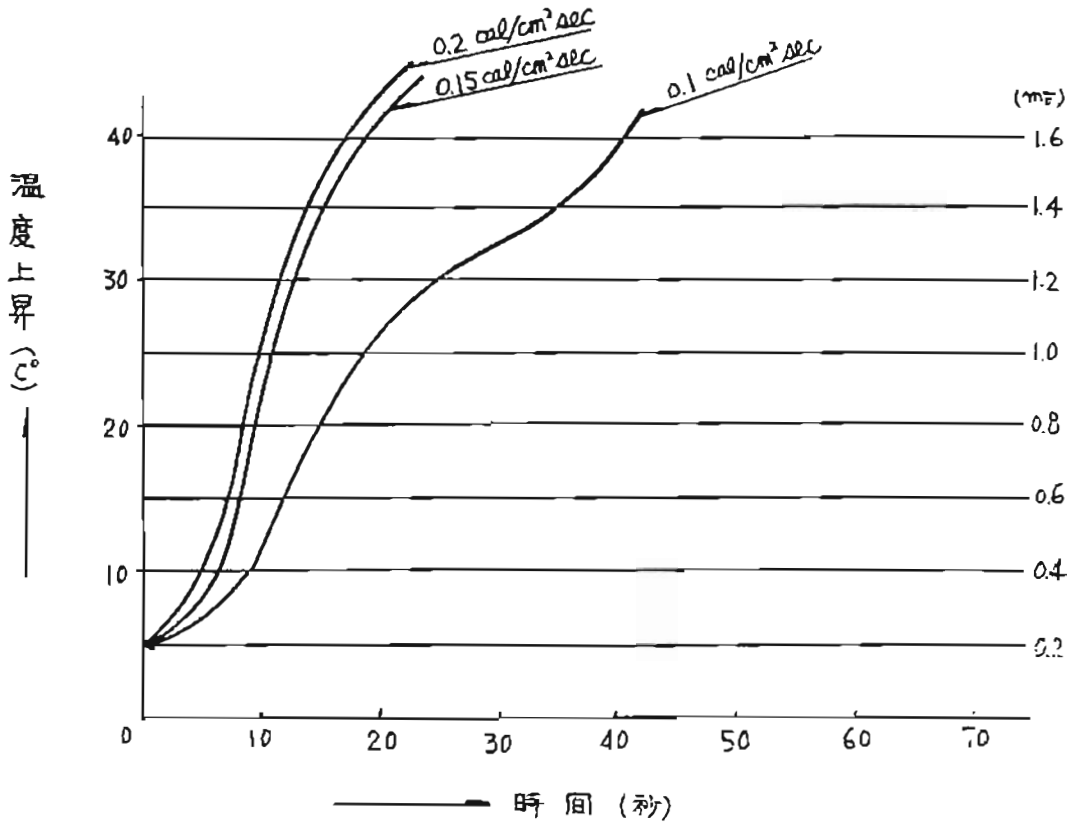


してみると、三又刺子の場合は25秒であり、耐熱服の場合は約11分20秒である。しかし、顔面部分の亚克力板（現在使用しているのは4耗厚である）は約1分30秒で裏面温度が25度C上昇するので、火災現場において一番先に顔面が熱くなるのは当然である。

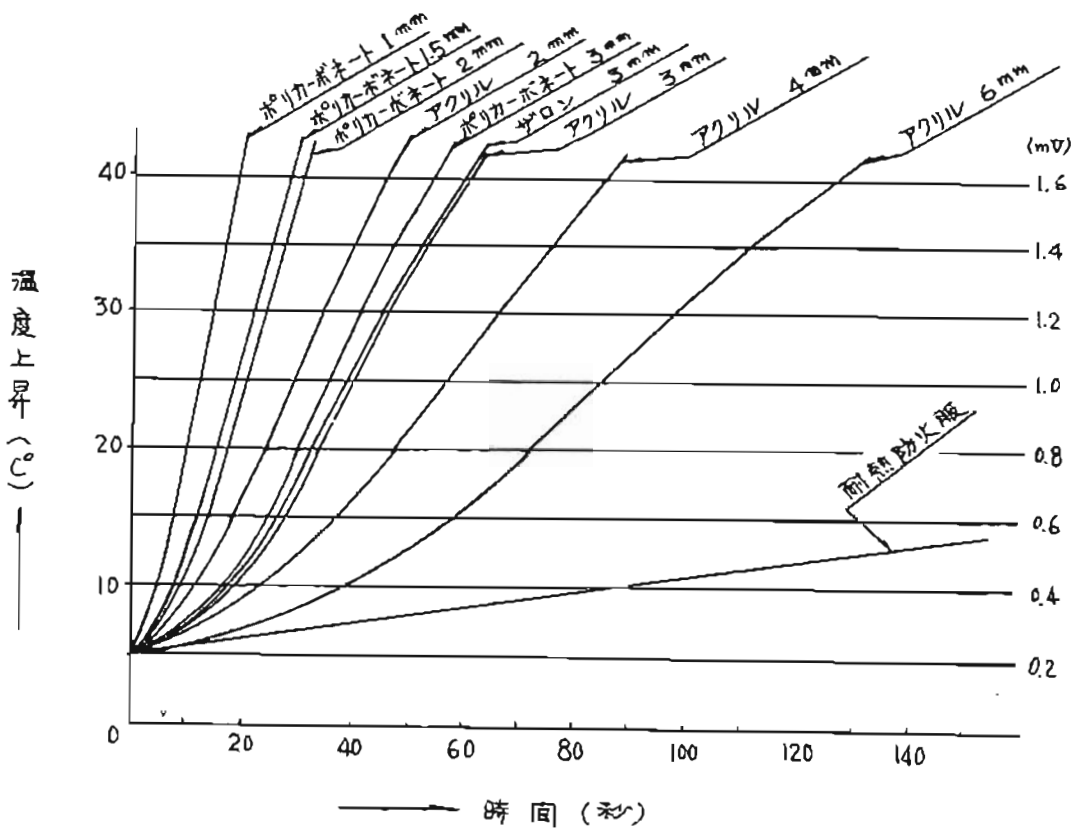
- (2) 耐熱防火服と顔面保護用合成樹脂の比較について  
 顔面部に使用する透明材としては、亚克力、他にポリカーボネート（軟化点が高く燃えにくいもの）およびゼロン等を試験したが第B-1図、第B

2図に示すごとく裏面温度、放射熱の吸収、発泡時間等のすべての点について亚克力の方がよい結果が認められる。放射熱 0.1cal/cm<sup>2</sup>·sec および0.2 cal/cm<sup>2</sup>·sec を各種合成樹脂に当てて裏面温度 25度Cまでの温度上昇に際しては、各種合成樹脂共に発泡等の現象を呈せず、これが放射熱 0.3cal/cm<sup>2</sup>·sec の場合になると、亚克力は28秒～31.5秒で前面が発泡してくる。また、ポリカーボネートは0.3cal/cm<sup>2</sup>·sec で19秒前後、ゼロンは11秒前後で前面が発泡してくることが認められる。ただし、亚克力に

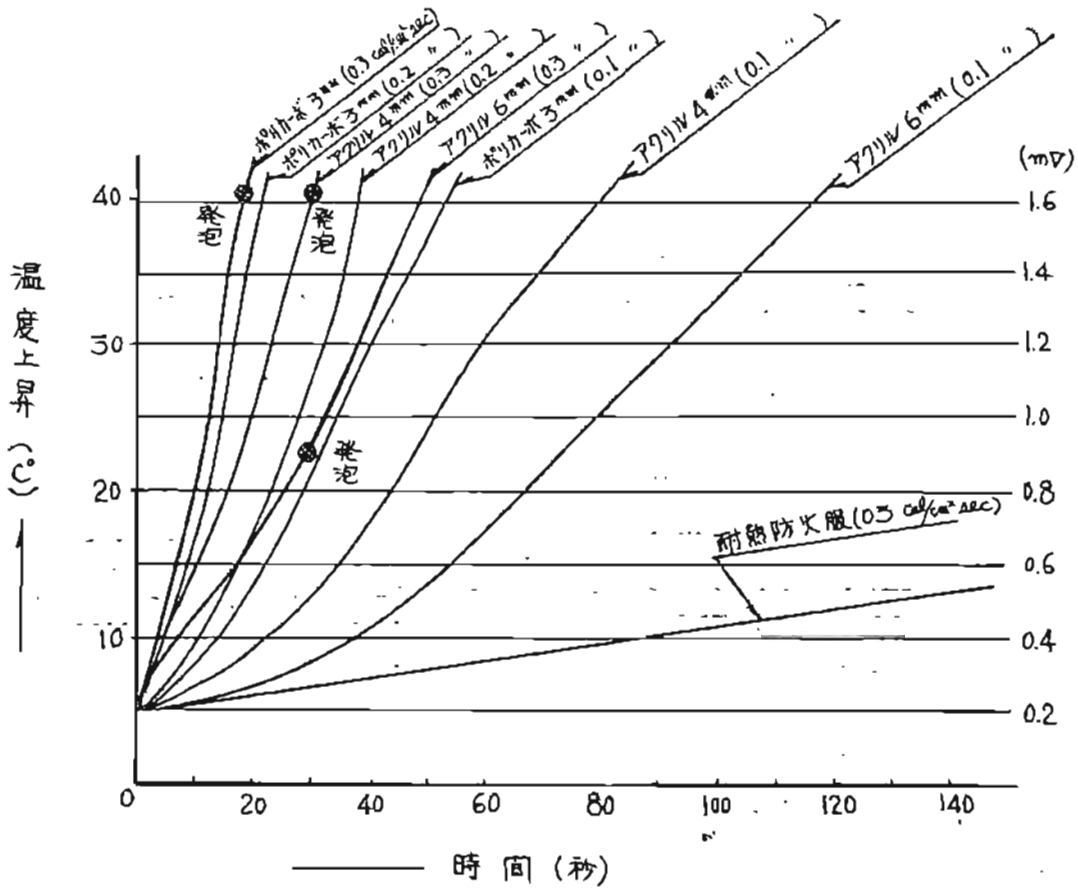
第A-2図 三又刺子放射加熱総合曲線



第B-1図 0.1cal/cm².sec 合成樹脂総合曲線



第B-2図 各種放射加熱試験による合成樹脂総合曲線



については、 $0.2 \text{ cal/cm}^2 \cdot \text{sec}$  の放射加熱において1分40秒前後で発泡する。

(3) 顔面保護用合成樹脂の再検討について。

現在、使用している耐熱防火服の顔面部にはアクリル板の前後にソーダガラスおよびスコッチシールド等を二重にはりつけることによつて発泡防止、あるいは熱遮断に対する性能がよくなることが認められる(第C-1図参照)ので今後なお一層の使用材料および製作構造上の研究検討が必要である。

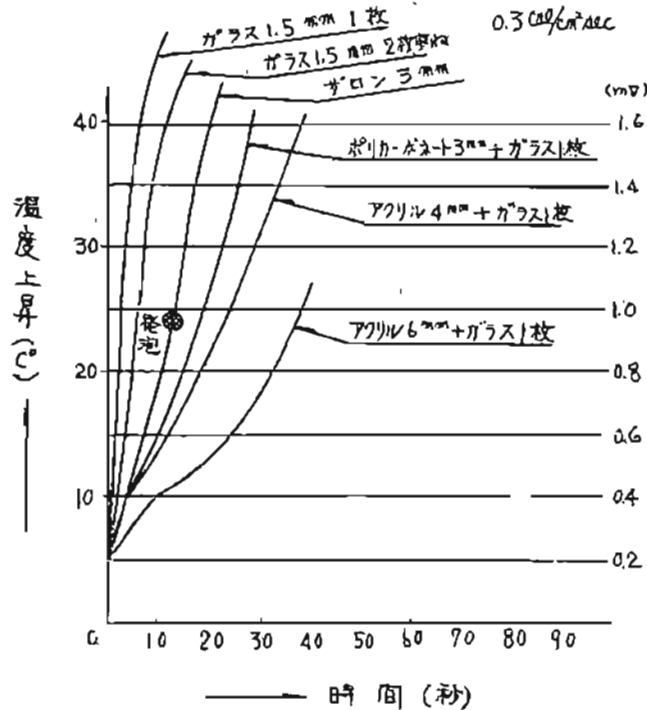
リル(厚さ4mm)を使用しているが、耐熱防火服に比し熱遮断効果は悪く格段の相違があるので、アクリル板の前後にソーダガラスおよびスコッチシールド等を二重にはりつけることによつて発泡防止、あるいは熱遮断に対する性能がよくなることが認められる(第C-1図参照)ので今後なお一層の使用材料および製作構造上の研究検討が必要である。

現在までの結果では、

- a) ソーダガラスをアクリルの表面のに貼りつけて二重にすると、アクリルの発泡が防げる。
- b) しかしソーダガラスの高熱されたものを水で急冷すると割れる。
- c) スコッチシールドタイプの66フィルムをアクリル表面に貼りつけた場合、発泡せず。しかし、このフィルムの金メッチが指でこするとはがれるということがわかった。

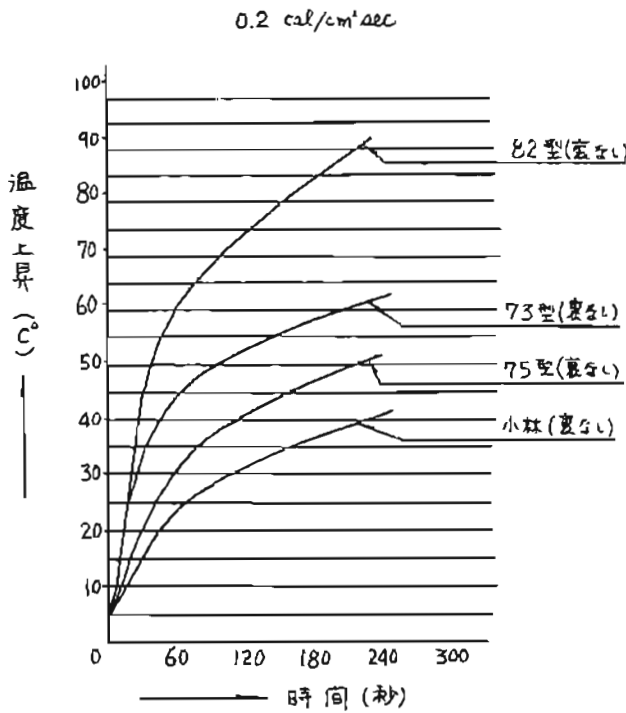
(4) 各種耐熱服の比較について。

耐熱防火服の生地については、外国製(アメリカの3M社)のものが入手できたので和製のものと比較してみたところ  $0.2 \text{ cal/cm}^2 \cdot \text{sec}$  の場合、小林刺子店製(日本アルミクロス)が一番よく、次に3M社の75型、73型、82型、型の順である。これをさらに  $0.3 \text{ cal/cm}^2 \cdot \text{sec}$  の場合の放射熱になると3M社

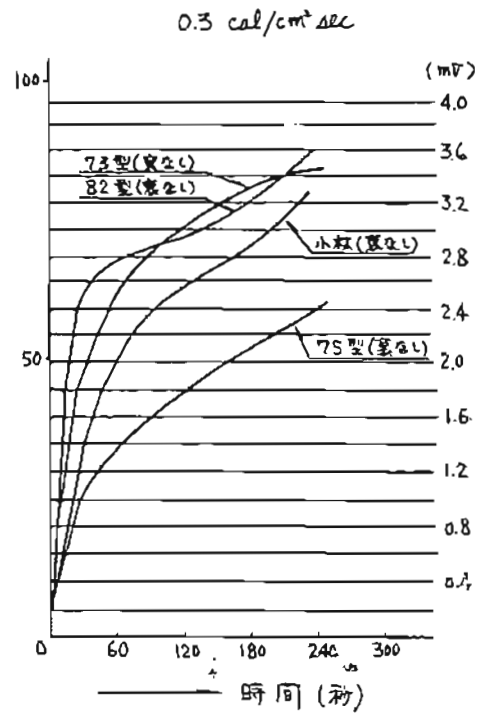




第D-1図 耐熱服裏面温度上昇総合曲線



耐熱服裏面温度上昇総合曲線



の75型が一番よく、次に小林刺子店製（日本アルミタロス）がつぎさらに3M社の82型、72型の順である。（第D-1参照）

以上のようなことから、この程度の放射加熱では外国製品、和製品とでは、それ程の差はないように思われる。ただし、テスト試料が充分でなかったのでさらに今後の研究が必要である。

以上が耐熱防火服についての実験研究結果と考察であるが、この実験に際し試料の裏面温度 25°C 温度上昇を基準としたのも別にこれといった理由もないのであるが、イギリスの防火服に関する試験規格等をみると、25度温度上昇をもって判定の基準としてあるので今回はこれは採用した。なお、イギリスでは加熱割合を 0.5 cal/cm<sup>2</sup>sec としているが装置の関係で前記のような値とした。

また、文中に何 cal/cm<sup>2</sup>sec という言葉を用いて放射熱の強さを表現してきたものであるが、これをさらにわかり易くいうならば 0.1 cal/cm<sup>2</sup>sec の熱の強さというものは、消防隊員が火災現場で防火着装して1~2分間耐えられる熱さである。これがさらに 0.2 cal/cm<sup>2</sup>sec の強さになると30秒~40秒しか耐えられない熱さである。

さらにまた、イギリスの文献 (Fire Research. Special Report No. 3) をのぞいてみると 0.1 cal/cm<sup>2</sup>sec の熱さというのは露出した皮膚で20秒前後 0.2 cal/cm<sup>2</sup>sec で8~10秒しか耐えられない熱さであると記されている。これらについても新任の消防士と先輩の消防士、さらには防火着装方法によっては20秒前後の差異があるものと思われる。