

着衣の燃焼性に関する研究

小室 修*, 荻野 恭久*, 井上 民子*

概要

一般住宅における火災の中で近年増加傾向にあるものとして、衣服に何らかの火源から着火するものが挙げられる。衣服は燃えやすいものであり、火傷につながることが多い。そこで、衣服の形状、素材がどのような影響を及ぼすかについて、熱電対を取り付けたマネキンに10種類の衣服を着せ、袖口に着火して観測と解析を行った。炎の大きさや燃焼継続時間、体表面の温度は着衣の状態が複雑に影響していることが分かった。

1 はじめに

着衣着火は、何らかの火源により身に着けている衣類に着火した火災のことをいい、調理中にガスコンロの火が衣服の袖口に着火したり、灯明の火が和服の袂に着火するなどの火災が該当する。着衣着火は近年増加の傾向にあり、被災者のほとんどが火傷しており、時には死亡する場合もある。

このことから本研究では、マネキンに着用させた衣類の燃焼性とその温度変化について確認したので報告する。

2 着衣着火火災

(1) 着衣着火火災件数

東京消防庁管内の着衣着火火災は、統計を開始した平成7年に比べ、平成11年中では火災件数で約1.8倍に、死傷者は約2倍に増加している。(表1及び図1参照)

表1 着衣着火火災件数
(東京消防庁管内)

	H7	H8	H9	H10	H11
発生件数	47	52	64	88	84
死者(人)	4	9	9	12	5
負傷者(人)	46	49	63	87	94

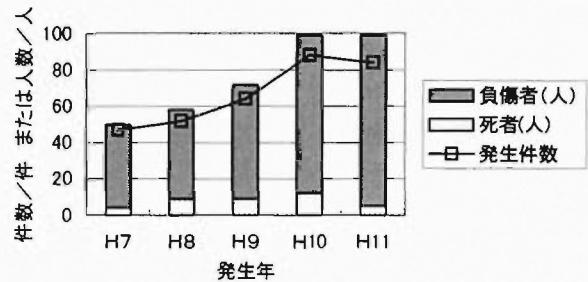


図1 着衣着火火災件数

(2) 着火衣類と発火源の状況

ア 着火した衣類の種別は、パジャマ28件(33%)、ブラウス11件(13%)、半纏・作業着8件(10%)などの順となっている。(図2参照)

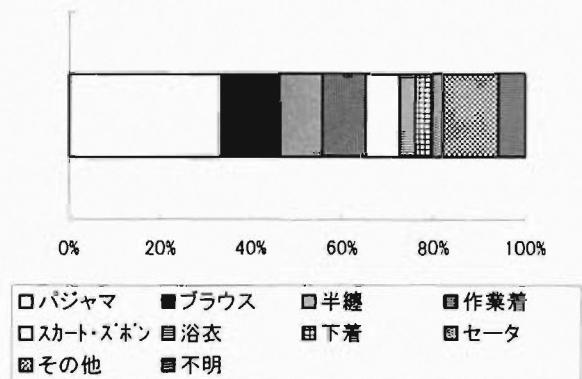


図2 着火した衣類の種別(平成11年中)

* 第二研究室

イ 発火源は、ガステーブル 36 件 (43%) 灯明、ろうそく 11 件 (13%) ライター、マッチ 7 件 (8%) の順となっている。(図 3 参照)

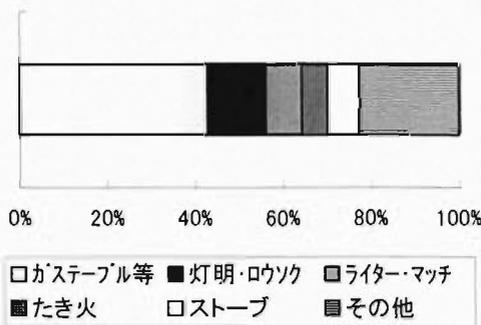


図 3 着衣着火火災における発火源 (平成 11 年中)

ウ 着火した部位は、袖部へのものが全体の半数を占め、続いて、胸部、脚部と続いている。(図 4 参照)

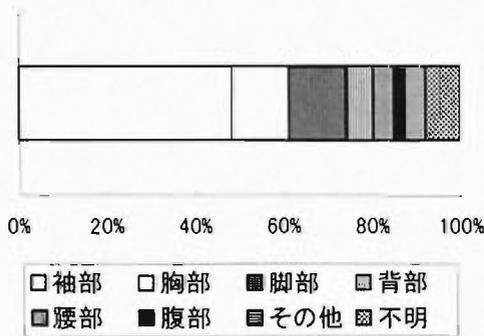


図 4 着火部位 (平成 11 年中)

3 試験体選定等

種別、組成、表面状態等を考慮し、10 種類の衣類を試験体として選定した。

また、防災性能を持つ割烹着やアームカバーの有効性を確認するため、試験体番号 5 のパジャマの上に着用した状態での実験を試みた。

4 試験方法等

(1) 試験体の確認

選定した試験体は、マイクロスコープ (倍率 30 倍) を用いて、生地表面及び断面の観察を行った。また、マネキンに着用させた状態での、身体との間に出来る空間やしわについて観察した。

(2) 試験体の養生

各試験体は、1 回水洗いをした後、燃焼実験までデシケーターに保存した。

(3) 実験装置

本研究に用いたサーマルマネキンは、市販のマネキン

(女性、身長 175 cm) の表面にモルタル (モルタル接着増強剤使用) を 5 から 10mm の厚さで塗り固めた。(図 5 参照) マネキン表面と着衣の間 (以下「体表面」という) の温度測定を行うために、熱電対を上半身に 41ヶ所、図 6 に示す位置に設置した。熱電対は、マネキンの体内を通り、臀部から外に出してデータロガーに接続し、燃焼時の温度をパソコンで記録させるようにした。

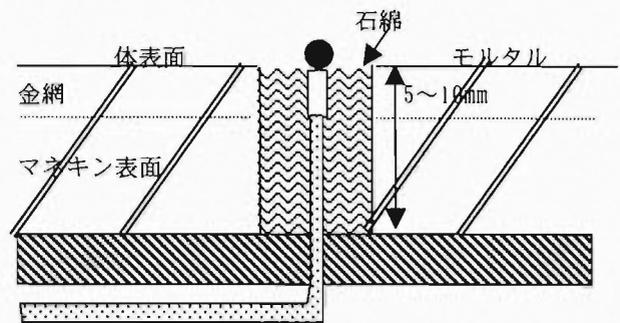


図 5 熱電対の設置状況

(4) 試験方法

ア 実験中は、実験室内の扉等を閉め無風状態で行った。
イ 着火位置は、火災の統計 (図 4) で着火部位の 48% を占める袖部の下側とし (図 6 中の 1 付近)、市販のガスライターを用いて 10 秒間接炎した。(なお、防災製品を着用の場合は、20 秒間とした。)

ウ 燃焼状況は、ビデオカメラとカメラにより記録した。熱電対による温度測定は、3 秒間隔とした。

エ 温度測定時間は、接炎開始から燃焼終了まで、あるいは 10 分間とした。



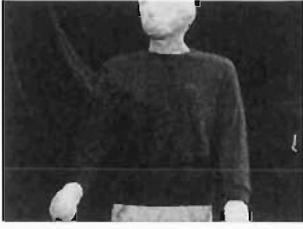
図 6 マネキンに取り付けた熱電対の位置

5 結果

(1) 着用状態など

衣服をマネキンに着用させた状態、並びに生地 of 構造についての観察結果は表 3 の通り。

表3 着用状態など

試験体 番号	着用状態	種別・組成など	特徴
1		トレーナー フリース地 ポリエステル100%	袖口はパイピング処理している。手首との間に空間がある。 袖は腕との間に十分ゆとりがあり、しわが多く生じている。 身頃は適度なゆとりがあり、前開きで裾は開いている。
2		カットソー 表面起毛地 綿100% ※表面フラッシュの注意表示あり	袖口はゴム編みで、手首に密着している。 袖は、腕との間に多少ゆとりがあり、しわが多少生じている。 身頃はゆるくもきつくもなく、首周りとはゴム編みで締まっている。
3		カットソー 表面起毛地 綿100%	袖口は折返してあり、手首との間に空間が開いている。 袖は、腕との間に多少ゆとりがあり、しわが多少生じている。 身頃は適度なゆとりがあり、ハイネックで裾は開いている。更に、中央に合皮のテープが縫ってある。
4		カットソー 表面やや起毛 アクリル70% レーヨン30%	袖口は開いていて、手首との間に狭い空間がある。 袖と腕との間のゆとりは少なめで、ひじ近くにしわが生じている。 身頃はゆるめで、ハイネックであり裾は開いている。
5		パジャマ ネル地 綿100%	袖口は開いていて、手首周りに十分ゆとりあり。 袖は、腕との間に十分ゆとりがありしわがあまり生じていない。 身頃は十分ゆとりがあり、前開きの開襟で裾は開いている。
6		パジャマ 綾織 綿100%	袖口は、開いていて、手首周りに十分ゆとりあり。 袖は、腕との間に十分ゆとりがあり、しわがあまり生じていない。 身頃は、十分ゆとりがあり、前開きで開襟であり、裾は開いている。

7		バスローブ パイル地 綿 98% ポリエステル 2%	袖口は、大きく開いていて、手首から肩口まで見える程度の状態。 袖は、腕との間に大きなゆとりがあり、同じ太さの腕がもう1本入る程度で、あまりしわは生じていない。 身頃は十分なゆとりがあり、前を合わせて、腰で紐を結んでいる。
8		トレーナー ジャージ 綿 30% ポリエステル 70%	袖口は、ゴム編みで手首に密着している。 袖は、腕との間にあまりゆとりはなく、ひじの周りなどにしわが生じている。 身頃はあまりゆとりはなく、襟ぐりはゴム編みで裾は開いている。
9		ブラウス 綾織 ポリエステル 100%	袖口はカフスで、手首に密着している。 袖は、腕との間にあまりゆとりはなく、ひじの周りなどにしわが生じている。 身頃にあまりゆとりはなく、シャツカラーの前開きで、裾は開いている。
10		トレーナー ジャージ 綿 100%	袖口はゴム編みで、手首に密着している。 袖は、腕との間に余裕が殆どなく、しわが多数生じている。 身頃はかなりきつめで、襟ぐりはゴム編み、裾は開いている。

(2) 燃焼の様子

炎が右袖口から右肩に達すると、衣服の形状等に関わらず大きな炎の立ち上がりが観察された。その後、胴体の前と背に分かれて燃焼を継続し、背中を広がる炎が身体を左肩から包み込むように燃焼が前に拡大していく様子が観察された。(写真1参照)

試験体ごとの着火からの時間と部位別の焼損面積を、記録映像等をもとに着衣を8つの部分(①右腕、②前部右、③前部中央、④前部左、⑤背部右、⑥背部中央、⑦背部左、⑧左腕)に分けて検証を行った。衣服の種類に関わらず、燃焼は①⇒②・⑤⇒⑥⇒③・⑦⇒④・⑧と拡大していった。各試験体について、結果を人体モデルで表したものが図7である。

今回燃焼実験を行った衣服の中で、着火から燃焼終了までの時間が最も短かったのは試験体番号7(以下No7とする。他の試験体についても同様)のバスローブで、3分程度で全体が燃え尽きた。

逆に最も時間がかかったのは、No4のトレーナーで、衣服全体に燃焼が拡大するまでに10分以上かった。また、No1のトレーナーとNo9のブラウスは着火位置付近で燃焼が終了した。



10秒経過



40秒経過



2分30秒経過



3分経過

写真1 No.5の燃焼状況

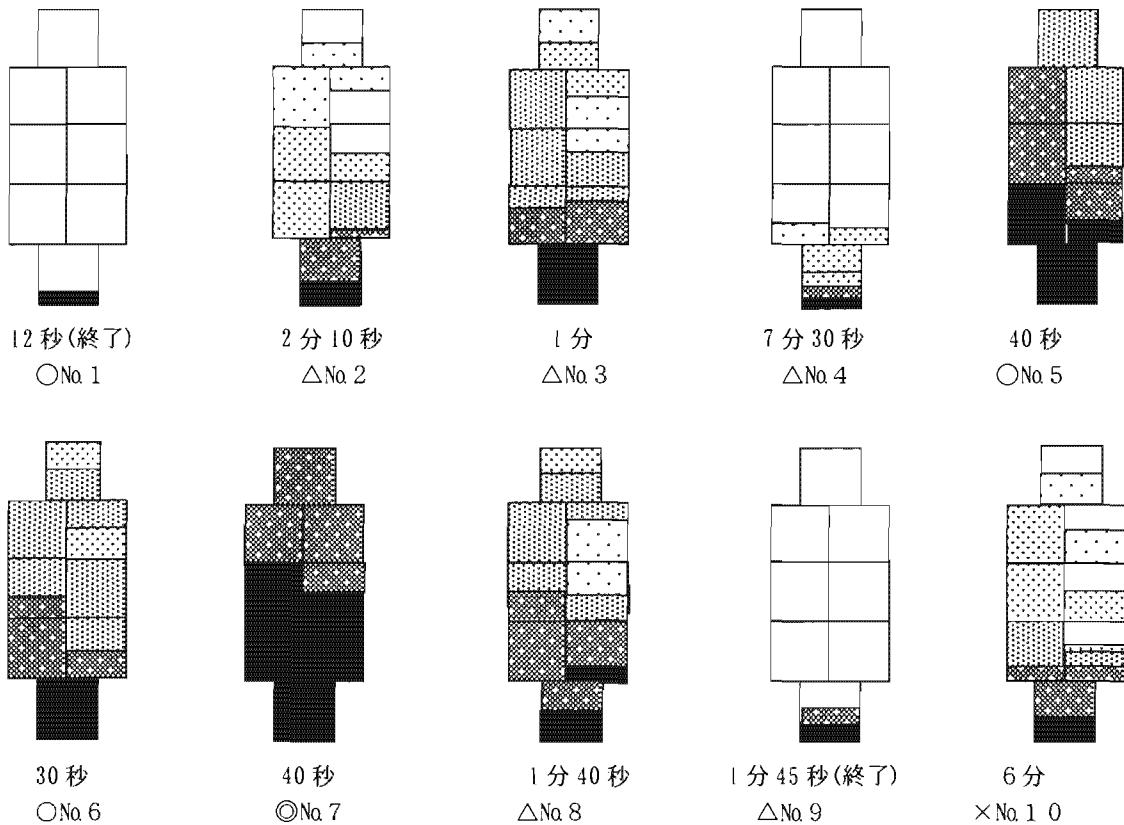
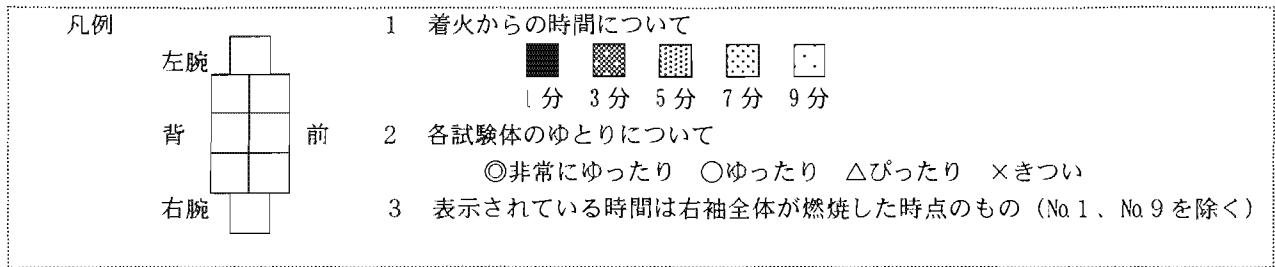


図7 人体モデルによる着火からの時間と燃焼割合

(3) 炎の挙動

燃焼の際、大きく炎を立ち上げたのは、次のような場合であった。

- ① 衣服にゆとりがある場合 (写真2 上段: No.7)
- ② 脇の下や腰の周りなどの衣服と体の間に空間がある場所 (写真2 中段: No.8)
- ③ ひじなど衣服を着た時にしわができる場所 (写真2 下段: No.4)

これらに共通するのは、空気層が炎の大きさに影響を及ぼすことである。最も燃焼が激しかったNo.7のバスローブは、生地そのものが空気を多く含んでいる。このことから、空気層が炎の大きさに関係しているといえる。

(4) 表面形状と燃焼特性

次の2つの条件が揃った衣服では、表面フラッシュ

現象が観察された。(表面フラッシュ現象とは、生地の表面に細かい繊維が毛羽立っていると、わずかな炎が接触しただけで毛羽部分に火が着き一瞬のうちに表面に火が走る現象のことをいう。2))

- ① 綿100%あるいは98%
- ② 表面が毛羽立った生地

No.2、No.3、No.5、No.7 が該当する。これに対して、綿100%であっても毛羽立っていない生地 (No.6、No.10)、または、毛羽立っていても綿が混紡されていない生地の衣服 (No.1) では、表面フラッシュ現象が観察されなかった。

この現象は、着火直後に右袖に観察されただけではなく、燃焼継続中も背部や前部に観察された。この現象は、生地の毛羽部分に炎が浮かぶよう広がっていき、長時間の継続性は観察されなかった。また、衣服全体の燃焼の激しさとの関係は分らなかった。



写真 2 特異的な燃焼挙動

(5) 体表面の温度変化

燃焼中に炎が大きく立ちあがる場合は最高でおよそ 700℃まで上昇した。一方、大きな炎を立ち上げずに燃焼する場合の最高温度はおよそ 300℃であった。

図 9 の上段は、最も燃焼が激しかった試験体であるが、8 個の部位のいずれも到達温度が 400℃を超えていた。これに対して、下段は全体としては燃焼が穏やかだった試験体である。8 個の部位は到達温度がほぼ 300℃未満であるが、燃焼が激しくなった場合は、いくつかの観測点が 400℃を超えた。

燃焼挙動の項 (5(2)) で行った人体の分け方を用いると、衣服に関わらず、温度のピークは①⇒②・⑤⇒⑥⇒③・⑦⇒④・⑧の順番で移動していった。燃焼の拡大は前部よりも背部が速く、炎が左肩を包み込んで前側に移動していったが、温度の伝播も同様の傾向が観測された。

(6) 防災加工された割烹着及びアームカバーを着用した場合

ライターの火が接触している間は、割烹着やアームカバーが黒い煙を上げて焦げたが、ライターが離れると燃焼は継続しなかった。接炎箇所付近の温度のみが 150℃付近まで達した。また、下に着用したネルのパジャマは変色した。なお、割烹着やアームカバーを着用しない場合の接炎箇所付近の温度は 300℃程度である。

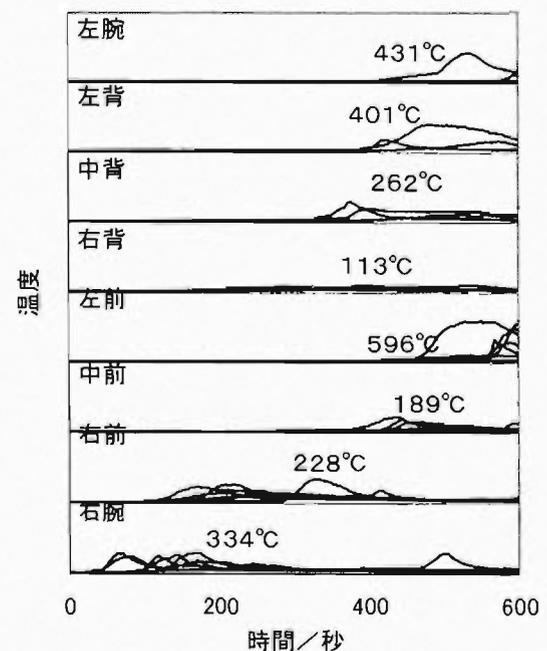
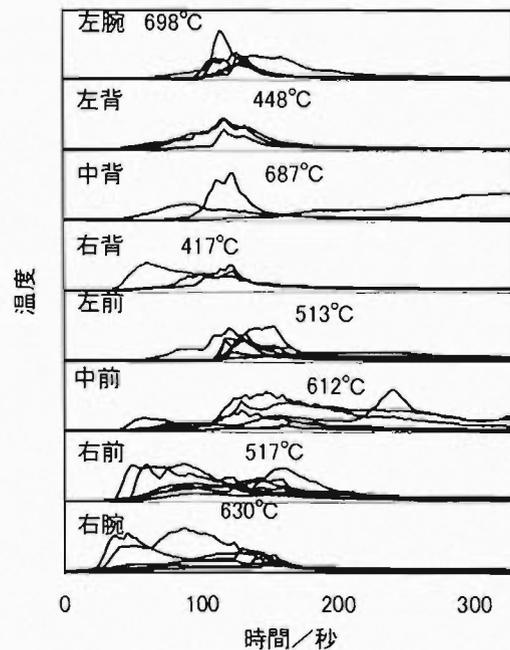


図 9 着火してからの時間とマネキン表面の温度変化 (上段: No.7、下段: No.2)

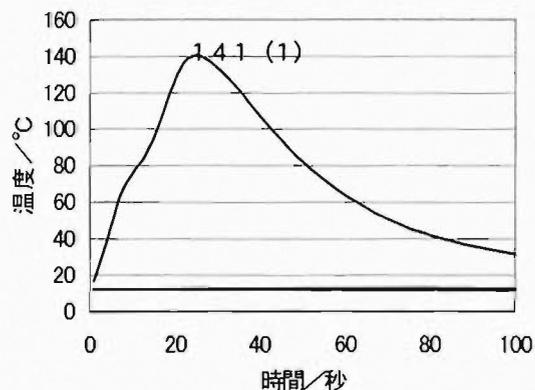
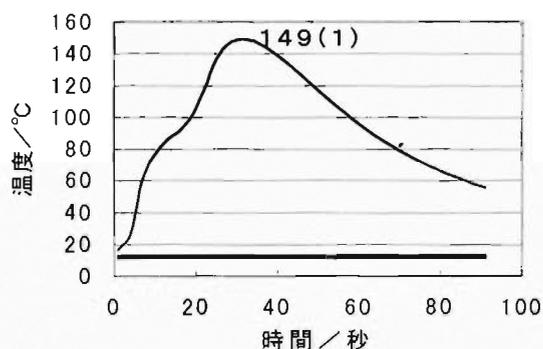
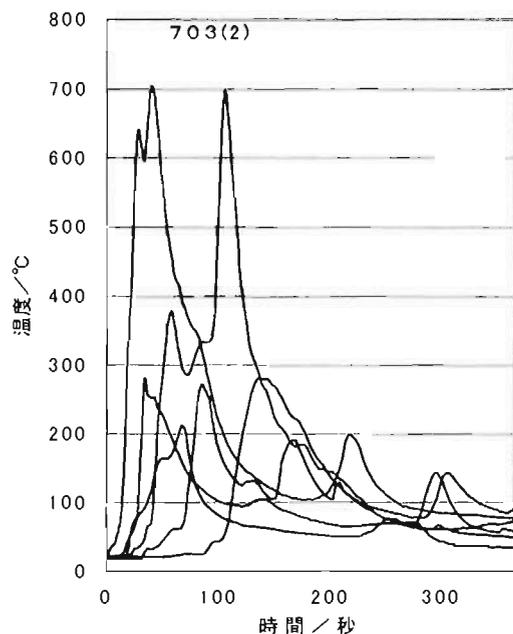


図8 右腕の温度上昇の比較

上段：パジャマのみを着たもの
 中段：割烹着を着たもの
 下段：アームカバーを着けたもの
 ()内の数字は測定点

6 考察

(1) 着衣の燃焼について

着衣の燃焼は、身体との間に出来る空間と生地そのものの組成に影響されることが分かった。綿製品の着衣で、身体との間にゆとりがあったものは5分未満で燃え尽きたのに対し、身体との間にゆとりが少なかったものは、5分以上燃焼が継続した。着衣にゆとりがあると、生地と身体との間に空気の層ができて、空気の量が着衣の燃焼速度を左右していると考えられる。

組成に関しては、ポリエステル100%のものは着衣全体に燃焼が拡大することはなかった。

(2) 体表面の温度変化について

着火位置からの炎の広がり方と温度ピークの移動は相関性があった。また、炎が立ち上がる場合は、炎が立ち上がらない場合に比べて温度の最大値が高くなることが観測された。また、燃焼が激しい場合は、各熱電対の温度変化がほぼ同時に観測されるのに対し、緩慢な場合には、測定点ごとに重ならない温度変化が観測された。

また、背中(特に腰周りに関して)には着衣との間に大きな空気層が出来るため、背中に炎が到達すると、大きな炎をあげて燃焼を継続するが、最高温度は、特に腰の周りについては、背中のほかの測定点より低い傾向が観測された。これは、大きく湾曲しているため、炎と身体との間の距離があることに加え、炎が上方へと拡大していくためであると考えられる。

(3) 生地表面形状について

表面フラッシュ現象は、着衣の表面形状と組成の双方の条件が揃ったときに発生すると考えられる。また、この現象に伴う各熱電対の温度変化は観測されなかったことから、表面フラッシュが直接熱傷を起こすことは考え難いが、髪の毛に燃え移ったり、炎の速度が大きいことから慌てることで危険が大きくなることは十分考えられる。

(4) 防災製品について

今回の燃焼実験では、接炎時間を防災加工していない衣服の場合の2倍としたが、燃焼の拡大が抑えられることが確認された。また、体表面の温度上昇も局所的であり、温度変化もピークで150°C付近であり防災製品を着用しない時の半分程度であった。このことから、防災製品を着用することによって熱傷の範囲や燃え広がりを抑えることが可能であるといえる。

7 まとめ

(1) 着衣に接炎してから全体が燃焼するまでの時間は、綿素材で身体との間にゆとりがあるものが短かった。

(2) 生地自体が空気を含んでいたり、しわが出来ていたり、衣服と身体の上に空間がある場合、激しい燃焼になった。

(3) 体表面の温度変化は、着衣の燃焼挙動を反映していた。燃焼の拡大は、前部より背部が速かった。

(4) 防災製品の使用は、衣服の燃焼の被害を軽減できることが確認された。

(5) 表面フラッシュ現象が発生する着衣は、表面形状と素材の両方の条件が揃ったものであった。

8 おわりに

今回の研究から得られた結果をより充実させたものにするために、①素材別の比較、②着用状態の違いによる比較、③着衣の燃焼による温度上昇が皮膚に与える影響、④発火源であるガスこんろの温度環境、⑤火災事例との比較検討、が必要になると考えられる。

まず、今回は綿素材の衣類を主体として実験を行ったが、最近では様々な素材の衣服が市販されており、着衣に火がついた場合の燃焼特性を検討するには、今回取り上げなかった種類の化学繊維や混紡素材で出来ている衣服についても燃焼実験を行う必要がある。

また、重ね着による燃焼挙動の変化や体表面温度の変化について実験を行い、今回の結果との比較を行う必要がある。

更に、熱傷は身体が外部から熱を受けることによって起こるが、各観測点の温度変化が皮膚に与える影響についての検討を加え、着衣の燃焼と熱傷度についての関連性を確認していく必要がある。そして、着衣着火による熱傷程度を解明していく予定である。

加えて、最も多い発火源であるガスこんろについて、着衣着火火災の発生する要因や危険性について検討するために、周囲の温度環境の計測およびこんろ火災の状況を把握する必要がある。

今回の実験結果は、マネキンの一定位置に着火して得られたものである。しかし、実際の火災事例では、着火の部位や着火の経緯、被災者が消火活動を行うなどの実験だけでは分からない状況がある。そこで、着衣着火火災の実態を調査し、どのような服を着ていたか、どのような行動中だったのか、こんろ周囲の環境や使っていた器具、衣服の燃焼割合と熱傷の範囲や程度について、マネキン実験から得られたデータと比較し、検討を重ねる必要がある。

[参考文献]

- 1) 東京消防庁調査課「平成 12 年版 火災の実態」pp110 - 112
- 2) 国民生活センター「たしかな目」1999 年 11 月号 pp6

Studies of Clothes Burning

Osamu Komuro*, Yasuhisa Ogino*, Tamiko Inoue*

Abstract

Recently the clothes burning by some as fire cause in houses is increasing. Clothes are easy to burn and that often results burn injury to anyone in them. So we study how the shapes and materials of clothes effect on the injury by put ten suits of clothes on the manikin with 41 thermocouples as heat sensor and took the fire on right sleeve. We found that the clothes conditions are affect complexly on the flame length, the burning time and manikin surface temperature.

* Second Laboratory