

わたの燃焼挙動に関する研究 (第2報)

防災加工わた中におけるタバコ火からの熱の伝播挙動

中西 茂子, 大河内 文子

(日本女子大学家政学部)

平成2年3月2日受理

Studies on Combusting Behavior of Fiber Assemblies (Part 2) Heat Propagating Behavior in Flame Retardant Finished Fiber Assemblies from Burning Cigarette

Shigeko NAKANISHI and Fumiko OHKOUCHI

Faculty of Home Economics, Japan Women's University, Bunkyo-ku, Tokyo 112

This paper deals with burning and smoldering behaviors of flame retardant finished fiber assemblies. The results obtained are summarized as follows:

On the combustible behavior in fiber assemblies finished with various kinds of flame retardants, both maximum temperatures and heat accumulation are remarkably depressed compared with those of unfinished fiber assemblies, especially in the horizontal direction. The depressed effects of inorganic flame retardants are larger than those of organic ones, especially, combinations of boric acid and borax give the largest effect.

As to the effect of the flame retardant finishing on cotton/PET blended fiber assemblies, depressed effect of heat transmission slightly decreases with increase in ratios of PET because of ineffectiveness of flame retardant finishing on PET.

In the case of bedding, flame retardant finishes for both ticking and fiber assemblies are required to attain sufficient flame retardancy. It has been also confirmed that even inorganic non-durable flame retardants hold sufficient effect against a short time immersion in water and dry cleaning.

(Received March 2, 1990)

Keywords: flame retardancy 防災性能, flame retardant finish 防災加工, bedding 寝具, ticking 側布, non-durable flame retardant 一時性防災加工剤, durable flame retardant 耐洗濯性防災加工剤.

1. 緒 言

われわれは火災の一大要因であるタバコ火の繊維集合体中における熱の伝播挙動に関する一連の研究を行っている。第1報¹⁾では、未加工わたを用いてタバコ火の熱の伝播挙動が種々の条件によってどのように影響されるかを、タバコの部位および上・下・横方向で代表される各伝播方向において観察した結果を報告した。

われわれが研究の対象としたタバコ火によるわたのくん焼すなわちスモルダリングは、熱分解ガスの発生に伴って残留した不燃性成分と炭化物が、表面に存在する酸

素と反応して、熱分解を伴いながら発熱反応によって燃える現象と考えられている²⁾。それは炎を発生しないが火災の初期(前駆)現象となって火災の件数を増加しており、しかも火災の成長期や火盛期においてもおこっている。くん焼現象の特徴は、多量の有毒ガスや煙を発生して中毒あるいは窒息が焼死の直接の原因となる³⁾。そして、可燃性気体と空気との混合気の温度、および濃度が火災を形成する条件を満たすと、瞬時に炎を形成し、有炎燃焼に移行して火災が誘発される^{3)~5)}。このように、くん焼が引き金になる火災が多いが、早期に発見するこ

とが困難なため、消火活動が遅延して大火に移行する危険性が大きい。とくに限られた狭い空間でのくん焼は致命的となる。NASA の援助で、スペースシャトルにくん焼の実験装置を積んで無重力下での実験が計画されており、日本からも参加することになっている。

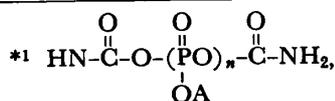
以上のことから、危険度の高いタバコ火によるわたのくん焼を予防する手段としてわたの防災加工がきわめて重要である。そこで筆者らは、種々の防災加工わたを調製してそれらの燃焼挙動を観察し、未加工わたの場合と比較しながら検討を行った。さらに小型ふとんを作製して、側布と中わたの両者について防災加工有無の影響を検討した。それらの結果、防災加工の著しい効果がみられ、防災加工の必要性が明白になったので報告する。

2. 実験

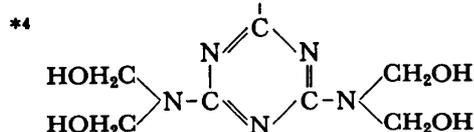
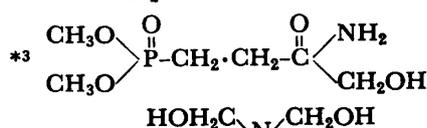
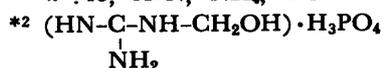
(1) 実験試料および試薬

綿 100%わた、ポリエステル (PET) 100%わたおよび両者混合わたは第 1 報¹⁾ 記載のものを用いた。また綿 100%洗濯堅ろう度用添付白布をふとん側布として用いた。熱源としては両切ピースおよびマッチとライターを使用した。

マーセル化用試薬として水酸化ナトリウムを用いた。防災加工剤として、ホウ酸 (H_3BO_3)、ホウ砂 ($\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7$)、リン酸水素二アンモニウム ($(\text{NH}_4)_2\text{HPO}_4$)、スルファミン酸アンモニウム ($\text{NH}_4\text{SO}_3\text{NH}_2$)、塩化アンモニウム (NH_4Cl)、硫酸アンモニウム ($(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$)、ポリリン酸カルバメート*1、リン酸グアニルメチロール化合物*2、ピロパテックス CP[®]*3、ヘキサメチロールメラミン*4、リン酸 (H_3PO_4)、スルファミン酸 (HSO_3NH_2)、尿素を用いた。



$n \approx 15$, $A = \text{N}, \text{NH}_4, \text{CONH}$ の混合物



(2) 実験方法

1) わたのマーセル化

綿 100%わたに防災加工をほどこす場合、そのままの状態では十分に加工剤が浸透しないことがわかったため、加工に先立って次の方法でマーセル化を試みた。すなわち、水酸化ナトリウム 10%溶液にわたを 30 分間浸漬した後ガーゼにくるんで十分水洗、遠心脱水して乾燥機中で 105~110°C において乾燥した。

2) 防災加工

a) 一時性防災加工：単独加工剤として $(\text{NH}_4)_2\text{HPO}_4$ 、 $\text{NH}_4\text{SO}_3\text{NH}_2$ のそれぞれ 10%、20%溶液を調製した。

2 種以上の混合加工剤として次のものを次の重量比に混合して 10%と 20%の溶液を調製した。

① $\text{H}_3\text{BO}_3 : \text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$ を 3 : 7, ② $(\text{NH}_4)_2\text{HPO}_4 : \text{NH}_4\text{SO}_3\text{NH}_2$ を 1 : 1, ③ ポリリン酸カルバメートとリン酸グアニルメチロール化合物を 1 : 1, ④ $\text{NH}_4\text{Cl} : (\text{NH}_4)_2\text{SO}_4 : (\text{NH}_4)_2\text{HPO}_4$ を 1 : 1 : 1.

これらの溶液に上記綿 100%マーセル化わたおよび綿 100%添付白布を 2~3 分間浸漬した。わたはガーゼにくるんで遠心脱水、綿布はマンダラで絞り率 90%に絞る操作を 2 回繰り返した。わたは 105~110°C の乾燥機中で乾燥、布は室内で自然乾燥した。この場合、 $\text{H}_3\text{BO}_3 \cdot \text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7$ 加工液は綿/PET 混合わたに対しても用いて上記の方法で加工した。

b) 耐洗濯性防災加工：耐洗濯性防災加工として最も汎用されているピロパテックス CP を基盤とし、それに種々の添加剤を加えて次のような加工液を調製した (混合液中の各成分の濃度は終濃度であるがこれらは別報⁶⁾ 記載の検討結果を適用した。① 対照試料としてピロパテックス CP 単独で 32% (重量%) 溶液, ② ピロパテックス CP 32%, ヘキサメチロールメラミン 8% の混合液, ③ ピロパテックス CP 32%と H_3PO_4 2% の混合液, ④ ピロパテックス CP 32%, H_3PO_4 2%, ヘキサメチロールメラミン 8% 混合液, ⑤ ピロパテックス CP 32%, HSO_3NH_2 0.5%, ヘキサメチロールメラミン 8% 混合液, ⑥ ピロパテックス CP 32%, H_3PO_4 1.5%, HSO_3NH_2 0.5%, ヘキサメチロールメラミン 8% 混合液, ⑦ ピロパテックス CP 32%, ヘキサメチロールメラミン 8%, 尿素 1%, NH_4Cl 0.5% の混合液。

上記各混合加工液に綿 100%マーセル化わたを室温で 40 分間浸漬後、マンダラで軽く絞り、さらにもう一度 10 分間浸漬した後、絞り率 90%に絞った。100°C で 3~4 分間予備乾燥した後、160°C で 4 分 30 秒間熱キュアを行った。ソーピングは次の方法で行った。すなわ

わたの燃焼挙動に関する研究 (第2報)

ち、浴比 30:1, 温度 90°C において 0.2% 炭酸ナトリウム溶液に上記加工わたを 30 秒~1 分浸漬して洗浄し、遠心脱水 1 分後 50~60°C の温水で 3 回すすいだ (間に遠心脱水 1 分間)。最後のすすぎでは 2 分間脱水後、a) の場合と同じ方法で乾燥した。乾燥後、恒温恒湿室において 20°C, 65% RH で 72 時間調湿した後実験に供した。

3) 一時性防炎加工わたの耐水性試験に対する水処理
JIS Z-2150 B 法に準じ、浴比約 40:1 の水中に上記一時性防炎加工わたを 10 秒浸漬し、ガーゼにくるんで絞った後、105~110°C で乾燥した。

4) 耐ドライクリーニング性試験のための溶剤処理
JIS L 0860-1974 に準拠して、パークロロエチレン単独およびパークロロエチレン 1 l にアニオン、ノニオン界面活性剤各 5 g ずつと水 1 ml をチャージして 40°C で 30 秒、浴比 20:1 でラウンドオメータ中で処理した (上記一時性防炎加工わたおよび防炎加工布のみを対象として行った)。

5) 第 1 報記載の方法¹⁾で、調製した防炎加工わたを用いたタバコ火による熱の伝播挙動の検討を行った。

6) タバコが完全に燃焼し、わたが消火した時点においてわたの未燃焼部分を秤量し、残留率、燃焼消失率を算出し、未加工わたの場合と比較した。

7) マッチ火およびライター火テスト
繊維集合体の防炎性の簡便な試験法として、日本科学防火協会防火規格 (J.F.P.A. 規格) わた 001-1967 に準じ次のようなマッチ火およびライター火テストを行った。

未加工わた、各種防炎加工わたおよび上記 3) および 4) に述べた方法で水または溶剤で処理したわた 2 g を直径 4 cm の球にまるめ、針金でつるしてマッチ火を 1 秒接炎し、1 分後までの状態を観察、燃焼終了後残留量を測定した。

全焼しない試料については未燃焼部分を再び同様の球にして吊るし、次はライターで 30 秒間接炎した。消火後残留量を秤量して残留率を算出し、水処理または溶剤処理前後の残留率により耐水性、耐ドライクリーニング性を比較した。

8) 綿 100% 添付白布をわたと同様加工した加工布の防炎性能を JIS K 7201-1976 に準拠して酸素指数法により測定し、LOI 値で評価した。さらにそれらの加工布のドライクリーニング溶剤処理後の LOI 値も測定した。そして一時性防炎加工布の耐ドライクリーニング性と一時性防炎加工わたの溶剤処理後の燃焼試験の結果と対応させた。

9) 小型ふとんの作製

側布は綿 100% の洗濯堅ろう度試験用添付白布の未加工布および $\text{H}_3\text{BO}_3 \cdot \text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7$ 20% 加工液で上記 (2) の方法で加工した防炎加工布を用いた。中わたは綿 100%、綿 80% と PET 20% 混合わたおよび綿 50% と PET 50% 混合わたの未加工および防炎加工わたを使用した。これら 3 種類のわたについて、側布、中わたとも未加工のもの、防炎加工布と未加工わた、未加工布と防炎加工わた、防炎加工布と防炎加工わたとそれぞれ 4 種類の組合せで合計 12 種の小型ふとんを作製した。寸法とわたの重量は JIS L 4403-1974 において、敷ふとんは一般用 M を、掛ふとんは一般用 M₁ に準じ、敷ふとんは幅と長さを実物の 1/10、掛ふとんは長さ 1/10、幅は 1/5 (敷ふとんを十分カバーするためには幅を 2 倍にする必要があった) とした。わたの重量は敷ふとんは 1/100、掛ふとんは 1/50 とした (厚さは実物のものと同じになる)。これら敷ふとん、掛ふとんの中央にタバコ火をさし第 1 報記載の方法で燃焼挙動を観察した。

3. 結果および考察

(1) 最高温度および蓄熱量にみられる各種防炎加工わたの効果

上記の方法で調製した各種防炎加工わたを用いて、代表的な充てん密度として 0.06 g/cm³ の場合について、各伝播方向における最高温度を Fig. 1、蓄熱量の尺度となる面積を Fig. 2 に示す。まず温度と熱量を伝播方向間で比較すると、未加工わたの場合充てん密度 0.06 g/cm³ では横方向の温度が最高で 400°C、上方向がそれに次ぎ、下方向が最低であるが 300°C に達する。それに対して防炎加工わたでは上方向が最高温度を示し、横方向が最低となる。一方、熱量の方は未加工、防炎加工わた両者とも上方向が最大で横方向が最小面積を示す。すなわち全体的に温度と熱量に対する加工の効果を見ると、防炎加工わたにおいてはいずれも大幅に低下、減少し、とくに横方向における熱の伝播が大きく抑制されることが認められた。加工剤別に比較すると、まず一時性のものと耐洗濯性のものとを比較した場合、無機性の前者の方が有機性の後者より全体的に抑制力が優れている。最大抑制効果を示したのは $\text{H}_3\text{BO}_3 + \text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7$ で最高温度では上下方向で 1/3~1/4 (100~150°C)、横方向は 1/5~1/6 (70~100°C) にとどまる。熱量では上下方向が 1/4~1/5、横方向は 1/6~1/9 に達する。一時性加工剤のうちでも、有機性のものは耐洗濯性のものと同程度の抑制効果しか与えない。これらは、有機性加工剤の場合、セル

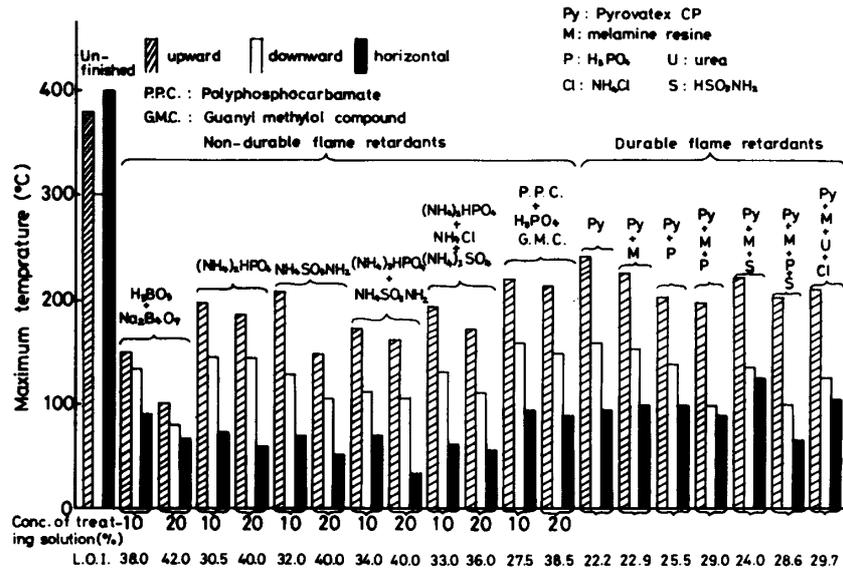


Fig. 1. Comparison of maximum temperatures of cotton fiber assemblies observed between unfinished and finished with various kinds of flame retardants

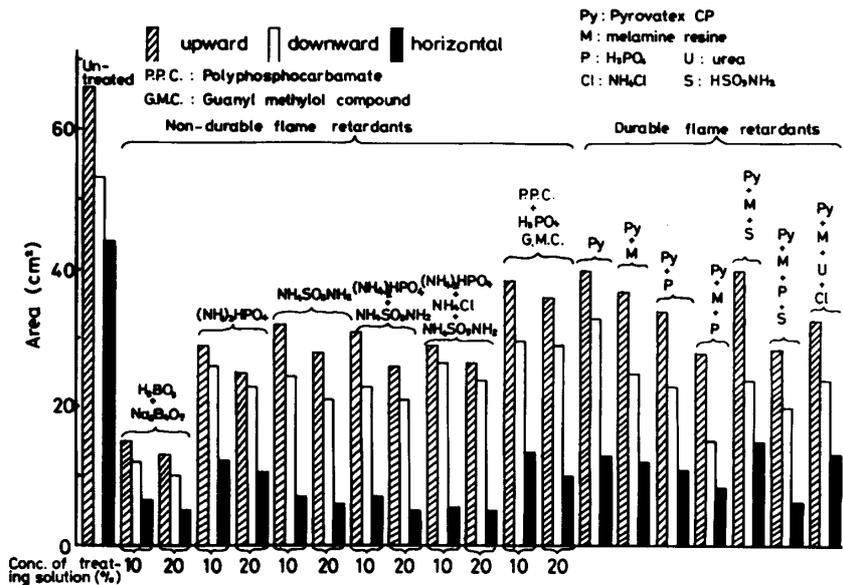


Fig. 2. Comparison of accumulated heat of cotton fiber assemblies observed between unfinished and finished with various kinds of flame retardants

コース繊維の燃焼自体は抑制して自己消火に導くが、加工剤自体も有機性で燃焼性があるため若干発熱する。それに対し、無機性加工剤の場合は H_3BO_3 や $Na_2B_4O_7$ およびアンモニウム塩含有化合物のため、熔融時やアンモニアガス発生時の吸熱により発熱量が大きく抑制されるための結果であると考えられる*5。しかしながら、有

機性加工剤ピロバテックス CP においても添加剤により抑制効果が助成され、最高温度は上下方向が1/2程度で200°C 前後まで低下し、横方向では1/4~1/6で100°C以下にとどまっている。熱量は上下方向が1/2~1/3、横方向では1/6に及び、これらは無機性のアンモニウム塩処理のものにも匹敵する効果を示す。

*5 別の研究で行った熱分析 (DSC) の結果、耐洗濯性防炎加工試料は発熱反応、無機性防炎加工試料は吸熱反応を示すことが明らかに確認された⁷⁾。

以上のような加工による伝播抑制効果を LOI 値と対応させてみると、全体的に LOI 値と抑制効果とは良好な対応を示している。一連のピロバテックス CP 加工試

わたの燃焼挙動に関する研究 (第2報)

料においては、ピロパテックス CP 単独試料とそれに樹脂を加えたものは、未加工試料に比べると抑制効果を示してはいるが十分ではない。LOI 値も低く十分な防炎性能は付与されていない。しかしこれらにさらに添加剤を加えると LOI 値はさらに上昇し、 H_3PO_4 および尿素、 NH_4Cl の添加によるリンとチッ素の増加でとくに上昇が大きい。これらの挙動がわたの燃焼の抑制効果にもよく反映している。しかし硫黄の添加はリンの添加ほどの効果はないことが示された。

以上のように、加工により熱の伝播が大きく抑制されることが判明した。そこで、今回の実験で最も効果を示した $H_3BO_3+Na_2B_4O_7$ 20% 溶液で処理した加工わたを用いて充てん密度の影響をみた。同時に混合わたも同様に処理して混合わたにおける加工効果も併せて検討した。

(2) 充てん密度を変化させた場合の防炎加工の効果

綿 100% わたの充てん密度による熱の伝播挙動に対する防炎加工の影響をみると、Fig. 3-A にみられるように顕著な効果を示された。すなわち、未加工わたでは充てん密度の増加と共に温度も熱量もかなり急激に上昇する。

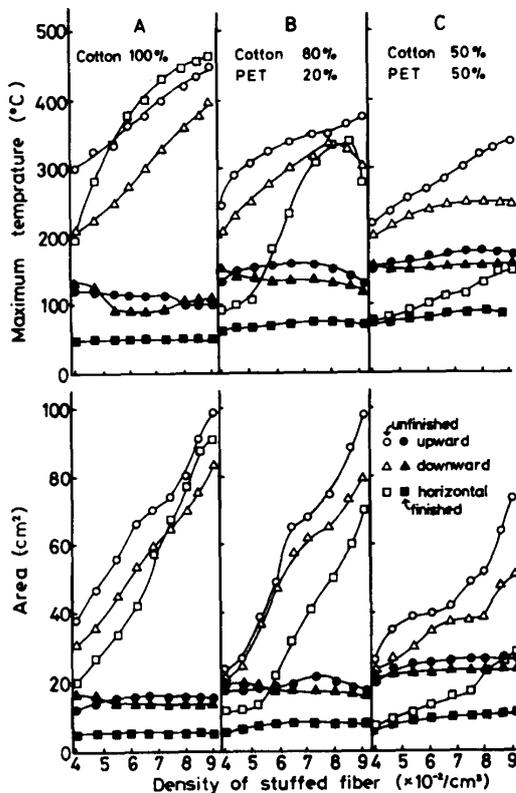


Fig. 3. Comparison of maximum temperatures and accumulated heat of cotton/PET blended fiber assemblies observed between unfinished and finished with flame retardants

それに対して防炎加工わたは充てん密度の依存性を全く示さずきわめて低いレベルを維持している。

(3) 綿/PET 混合わたにみられる加工の影響

次に、第1報で用いた綿 80% と PET 20%、綿 50% と PET 50% 各混合わたを同じ方法で防炎加工した加工わたを用い、充てん密度に伴う熱伝播挙動の変化を検討した。その結果を未加工わたの場合と比較し、綿 100% と共に Fig. 3-B, C に示す。図で明らかのように、綿 100% と同じ傾向を示し、未加工わたが充てん密度の増加とともに最高温度も蓄熱量もかなり上昇しているのに対し、防炎加工わたのほうは充てん密度の依存性がほとんどみられず全体的に低いレベルを維持している。すなわち、最高温度が上下方向で 90~150°C、横方向では 50~90°C にとどまっている。また、未加工わた自体は PET の混合比の増加に伴って温度も蓄熱量も減少しているのに対して、加工わたの場合は、綿 100% に比べ 80%、50% と綿の混合比が減少して PET のそれが増加するにつれて温度も蓄熱量も若干上昇する傾向が示されている。これは PET の混合比の増加に伴って加工効果が減少することを意味する。すなわち、セルロース繊維に対して有効な加工は PET のような合成繊維にはあまり適切でないことを証明している。そのため、混合わたにおいて十分な効果を得るためには、両者を別々に適切な加工法で加工した後混合するほうがよい。

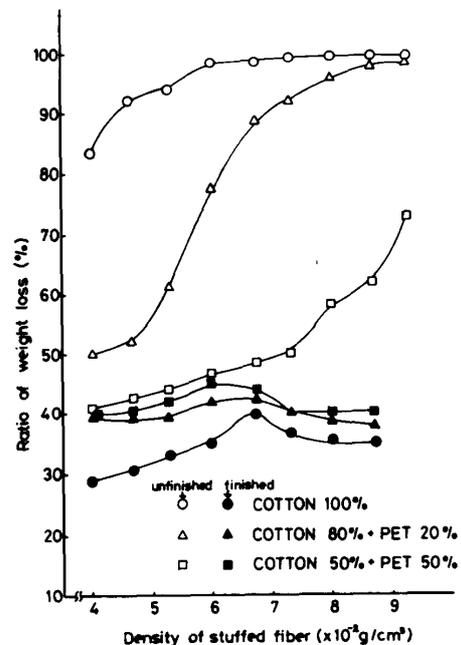


Fig. 4. Comparison of ratios of weight losses observed between unfinished and finished cotton and cotton/PET blended fiber assemblies

(4) 燃焼消失率からみた加工効果

上記の実験において、未燃焼部分の重量から燃焼消失率を算出して比較すると Fig. 4 に示すように、加工によってかなり異なった挙動を示す結果が得られた。すなわち、まず未加工わたの場合、綿 100%では充てん密度が 0.06 g/cm^3 を越えるとほとんど 100%燃えつきるが、PET 混合比の増加に伴い燃焼率がかなり低下して燃えにくくなり、3種類の間燃焼率の大きな差がみられる。しかし加工わたでは、全体的に 30~45%の間の低いレベルの横ばい状態となり、3種の間未加工わたにみられるほどの差が認められなくなる。しかし加工わたでは、未加工わたの場合と反対に、綿 100%のものの燃焼率が最も低く、混合比増加に伴って燃焼率が高くなる傾向を示す。この現象は、先に示した最高温度と蓄熱量にみられた傾向とよく対応しており、上記(3)の場合と同じ原因によるものである。

(5) 小型ふとんにおける側布と中わたに対する加工の影響

実際のふとんの場合はわたのみでなく側布の影響も考慮する必要がある。そこで小型ふとんを作製し、布とわた両者に対する加工の影響の相互関係を検討した。その結果の視覚的観察とふとん全体の減量率を Table 1 に

示すが、それにより次のことが明らかである。

1) 両者が未加工の場合、わたのみでは Fig. 4 に示すように PET 混合わたの燃焼率はかなり低下している。しかしふとんの場合はほとんど全焼に近いが、これは側布の燃焼の影響によるものである。

2) 側布が加工してあってもわたが未加工の場合はほとんど効果がない。

3) わたのみが加工してあっても側布が未加工の場合は布を伝わって燃えるため、加工わたのみの場合より減量が大きく、減量率も綿 100%のものが最高である。

4) 両者が加工してあるものみに大きな効果がみられる。しかし PET 50%混合のものに対する効果が最も小さい傾向がみられた。

5) PET 混合わたの残さには白色粉末の分解生成物が多量存在するのがみられた。

(6) 一時性防災加工わたの耐水性、耐ドライクリーニング性の判定

一時性防災加工は加工が簡便でしかも有機性の耐洗濯性のものより高い効果と発生ガスや煙量が少ない⁶⁾ というメリットがある。そこで湿式洗濯には耐えられないまでも、水浸漬およびドライクリーニングに対してどの程度耐性を有するかを検討することは興味あることと考え

Table 1. Comparison of combusting behaviors of Futons made of combinations of unfinished and flame retardand finished fabrics and fiber assemblies

わた	布	未加工布	加工布
未加工わた	綿 100%	ほとんど全焼	布は炭化して固くなったものが残る。わたは全焼して中が空洞になる。
	減量率	99.9%	92.4%
	綿 80% PET 20%	ほとんど全焼	綿 100%のわたと同様に中は全焼してしまう。
	減量率	97.0%	90.0%
加工わた	綿 50% PET 50%	わずかに残存するがほとんど全焼	燃え残るが表面にポリエステルが熱で分解してできた粉末状のものが出ている。
	減量率	92.1%	65.0%
	綿 100%	火は布を伝わって燃えてしまう。上部の方のみ少し残る。	燃え残る。タバコ周辺が炭化したのみ。
	減量率	73.2%	ほとんど0%
加工わた	綿 80% PET 20%	綿 100%の場合と似ているが若干粉末状のものが残留する。	燃え残る。タバコ周辺が炭化したのみ。
	減量率	68.3%	0.2%
	綿 50% PET 50%	炭化したものが残るが上部に粉末状のものが存在する。	粉末状のものがふき出ている防災効果は綿 100%や 80%混紡のようにあまり見られない。
	減量率	59.4%	40.0%

わたの燃焼挙動に関する研究 (第2報)

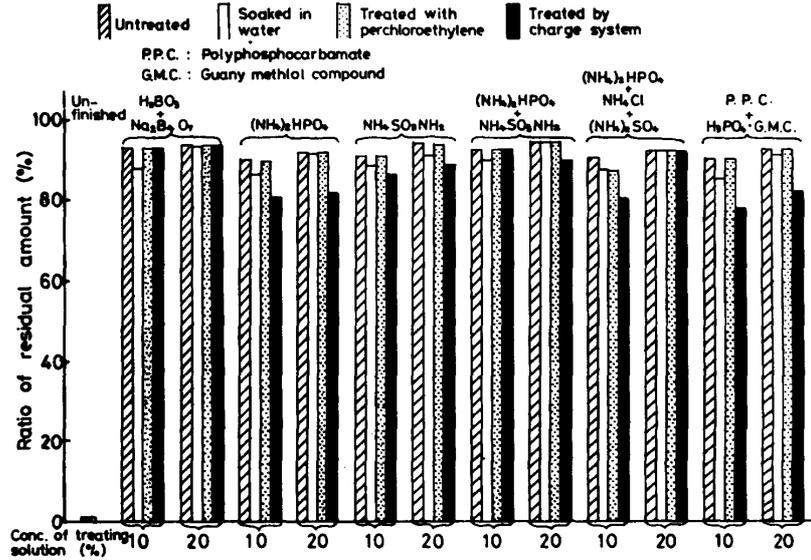


Fig. 5. Comparison of ratios of residual amounts after combustion of cotton fiber assemblies unfinished and finished with non-durable flame retardants observed before and after treating with water, perchloroethylene and charged perchloroethylene

られた。その簡便な判定方法として、前述のマッチ火およびライター火テストを行い、処理前後のわたの燃焼後の残存率を比較した。その結果を Fig. 5 に示す。これらによると全体的にみて、水浸漬やドライクリーニングではあまり防災性能は失われないことが示されている。水浸漬の場合、とくに 20% 溶液で加工したものはほとんど防災性能を失わないことが認められた。これは 20% 溶液処理試料は付着量が多いため、浸漬によって加工剤はある程度溶出してもなお防災性能を十分維持し得る量が残留するためと考えられる。ドライクリーニングの場合は、これらの加工剤が溶解しないため影響はほとんど受けないが、チャージ法では少量の水の影響で試料によっては若干防災性能低下の傾向が示された。これは、チャージ法では水浸漬のみの場合と異なり、ある程度の時間と機械力が負荷されるためと考えられる。これらドライクリーニングの影響を、さらに布を用いての LOI 値の変化 (Fig. 6 参照) と対応させてみると極めて良好な一致が示された。

以上の結果から、水溶性の一時性防災加工試料でも水浸漬程度では防災性能を失うことはなく、ドライクリーニングに対してもかなりの耐性を有することが認められた。

4. 総 括

第 1 報における未加工わたの燃焼挙動に引続き、本報

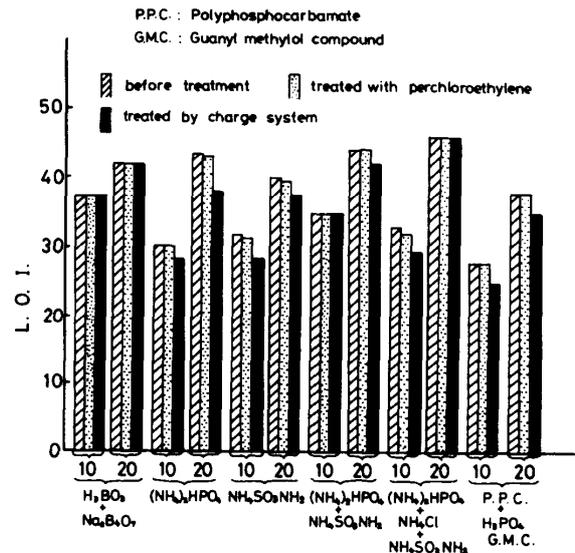


Fig. 6. Comparison of flame retardancies of non-durable flame retardant finished cotton fabrics observed before and after treating with perchloroethylene or charged perchloroethylene

では種々の加工剤を用いて調製した防災加工わたにおける燃焼挙動を検討し、未加工わたの挙動と比較した。その結果を要約すると次のようになる。

- (1) 防災加工わた中の熱の伝播挙動は、最高温度、蓄熱量ともに上方向が最も高く、横方向が最低であるが、未加工わたに比べいずれも大幅に抑制され、とくに横方向の低下が大きい。

(2) 有機性より無機性加工剤のほうが抑制効果が大きく、とくに $\text{H}_3\text{BO}_3 + \text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7$ の効果が大きい。これはこれらの化合物の熔融物皮膜による熱の伝播阻止効果と熔融時の吸熱の相乗効果によるものと考えられる。

(3) 防災加工わたでは充てん密度の依存性がなくなり、全体的に低いレベルを保つようになる。

(4) 綿、PET 混合わたに対する加工効果としては、未加工わたの場合と反対に、PET の混合比の増加とともに抑制効果が減少し、綿 100%わたに適切な加工が PET には有効でないことが示された。

(5) ふとんのタバコ火による燃焼において、側布、中わたの一方のみの加工では十分な効果が得られず、両者共防災加工した場合にのみ十分な防災効果が示された。

(6) 一時性防災加工も、ある程度の水浸漬には耐性を示し、かなりすぐれた耐ドライクリーニング性も有する。

引用文献

- 1) 中西茂子, 大河内文子: 家政誌, 41, 1179 (1990)
- 2) 佐藤研二, 平野敏右: 日本火災学誌, 火災, 39, 1 (1989)
- 3) 瀬賀節子, 佐藤研二: 日本火災学会論文集, 35, 9 (1985)
- 4) Sato, K. and Segal, S.: *J. Fire Sci.*, 3, 26 (1985)
- 5) 鈴木鐸士: 日本火災学誌, 火災, 39, 21 (1989)
- 6) 中西茂子, 青木千賀子: 家政誌, 42, 67 (1991)
- 7) 山角美恵子, 尾田 静, 中西茂子: 平成 2 年度繊維学会年次大会発表要旨集, S-221 (1990)
- 8) 中西茂子: 家政誌, 33, 76 (1982)