

防災製品の有効性に関する検証

金子 公平*, 町井 雄一郎**, 飯田 明彦*, 田沼 宏志*

概要

消防機関は、寝たばこ等に起因する寝具類の延焼拡大の防止策として、防災製品の普及に努めてきたが、非防災製品に比べ値段が高い等の理由から普及は進んでいないのが現状である。そこで本検証では、寝具類を着火物とし、着火源をたばことした燃焼実験を行った。実験は、着火物が全て非防災品の場合とシーツやカバーのみを防災製品にした場合の二通りについて、布団表面及び内部の温度を比較した。その結果、布団の表面に防災製品を使用するだけでも無炎燃焼のリスクは低くなり、火災発生の防止が期待できることがわかった。

1 はじめに

当庁管内において、平成 21 年における住宅火災（住宅〔複合用途建物の住宅部分を含む〕、共同住宅〔寄宿舎・下宿を含む〕から出火した火災をいう。以下同じ）は、2,099 件発生しており、そのうち、357 件がたばこに起因するものであり（図 1）、住宅火災による死者は 87 名発生しているが、そのうちの 35.6%にあたる 31 名が、たばこが出火原因である火災によるものである（図 2）。また、住宅火災における着火物の第 1 位は布団等寝具類であることから（図 3）、それらを防災製品にすることにより、火災発生の防止が図られれば、死傷者の減少が大いに期待できるものとして、消防行政機関は以前から普及に努めてきた。

しかし、防災製品には、布団そのものからシーツ・枕カバーの小物まで様々あり、これらすべてを防災製品にした場合、多くの費用がかかってしまうことは否定できない。また、通常のシーツ等綿製品に比べて値段が高いという欠点³⁾も相まって、普及がなかなか進まないのが現状である。

そこで、本検証では布団・シーツ・カバー等寝具類を試料とし、着火源をたばことした燃焼実験において、試料が全て非防災品の場合とシーツやカバーのみを防災製品にした場合の布団表面及び内部の温度を測定し比較した。また、併せて防災製品の素材や洗濯回数による燃焼性状の比較を行った。

これらの結果から、寝具類のうち、シーツやカバーのような全体の一部分を防災製品にすること（以下、「部分防災」という）によって、たばこを着火源とした火災を防止できるか否かを検討し、部分防災の有効性を確認して、防災製品普及のための資料とすることを目的とした。

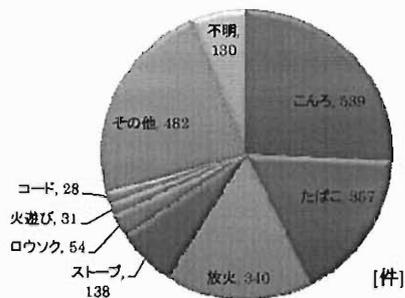


図 1 住宅火災における出火原因割合¹⁾

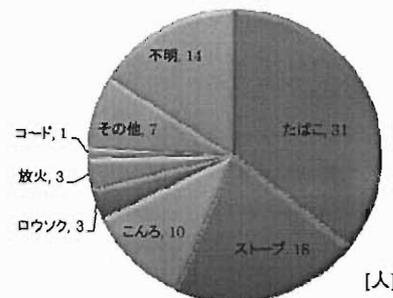


図 2 住宅火災における出火原因別死者数²⁾

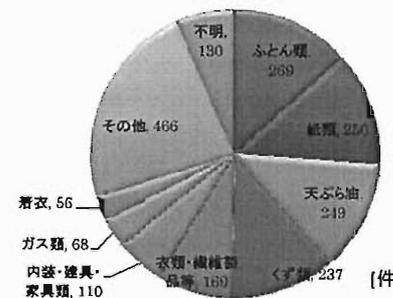


図 3 住宅火災における着火物割合¹⁾

* 装備安全課 ** 石神井消防署

2 検証方法

(1) モデル布団片を用いた小スケールの基礎検証

重さや大きさを揃えた布団片（以下、「モデル布団片」という）を作成し、以下の検証を行った。

ア たばこをモデル布団片の上に水平に置いた場合

(7) 試料調製等

a 布団の中綿（綿 100%）を、80℃に設定した恒温槽に 24 時間入れて乾燥し、その後、デシケータ内で室温まで冷却した。

b 中綿を 9g 量りとり、20cm×20cm×1 cm の大きさに成型した。

c 側地（綿 100%）、非防災品のシート（綿 100%）及び各種防災生地（表 1 参照）を 30cm×30cm の大きさに切断し、a と同じ条件で乾燥冷却した。

表 1 使用した防災生地

| 試料名 | 材質 | 備考 |
|--------------|-------------------------------|-----------------|
| 防 炎 生 地 ① | 綿 70%/ 難燃性アクリル系繊維 30% | 防災シート・ カバー素材 |
| 防 炎 生 地 ② | 綿 67%/ 難燃性アクリル系繊維 33% | 防災シート・ カバー素材 |
| 防 炎 生 地 ③ | 綿 100%（防災加工） | 防災布団 側地素材 |
| 防 炎 生 地 ④ | ポリエステル 70%/ 難燃性アクリル系繊維 30% | |
| 防 炎 生 地 ⑤ | 難燃性アクリル系繊維 100% | カーテン 生地素材 |

d 着火源となるたばこは、a と同じ条件で乾燥冷却したマイルドセブソオリジナル（日本たばこ産業株式会社製）を使用した。

(i) 測定

a 無機質断熱板上に、(7) b で成型した中綿を 2 枚重ね、その中心に図 4、5 のように、側地裏面、裏面から 1cm 及び 2 cm 内部の位置にアルメルクロメル K 熱電対（以下、「熱電対」という）を設定した。

b a の中綿に側地、非防災品のシートを重ねてモデル布団片とした。

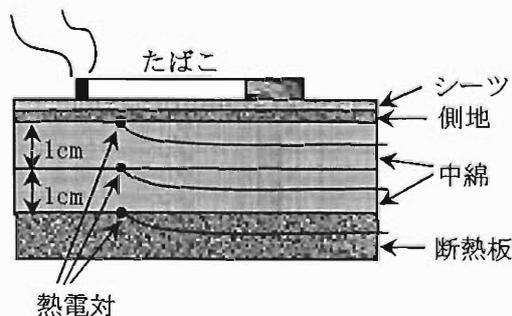


図 4 熱電対の位置

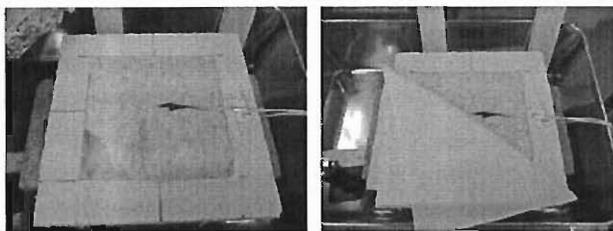


図 5 熱電対の設置状況



図 6 着火源となるたばこを置いた状況

c b のモデル布団片上に着火したタバコを水平に置き、燃焼させた（図 6）。このときの側地裏面及び中綿内部の温度変化から、それぞれの部位の最高温度を測定した。測定回数は 4 回とし、その平均値を測定値とした。

d 非防災品のシートを各種防災生地に変更して重ね、同様の測定を行った。

イ たばこをモデル布団片で挟んだ場合

(7) 試料調製

前ア(7)のとおり、中綿、各シート、たばこを調製した。

(i) 測定

a (7) で調製した中綿とシートを用いて、前ア(i) a, b と同様の熱電対を設置したモデル布団片を 2 組作成し、シートの面を合わせて重ねて設定した（図 7）。

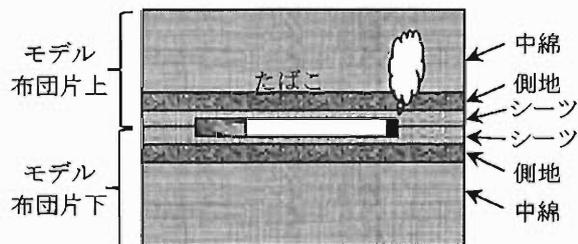


図 7 実験イメージ

b 着火したたばこを、その布団片のシート間に挟み込み燃焼させ、両布団の側地裏面及び中綿内部の温度変化から、それぞれの部位の最高温度を測定した。測定回数は 4 回とし、その平均値を測定値とした。

ウ 洗濯回数による布団内部温度の比較

(7) 試料調製

前ア、イで使用した防災生地を、以下の表 2 に示す洗濯機等を用いて、洗濯・乾燥を所定回数（5 回および 10 回）繰り返し、試料とした。

表2 防災生地洗濯方法等

| | |
|-------|-------------------------------------|
| 使用洗濯機 | 全自動洗濯機 NA-F42S11 (松下電器産業株式会社製) |
| 使用洗剤 | 洗濯用合成洗剤「アタックオールイン」 (花王株式会社製) |
| 洗濯方法 | 洗濯水 30ℓに対し洗剤を 25g 加えて洗濯し、2回すすぎを行った。 |
| 乾燥方法 | 洗濯機による脱水後、自然乾燥とした。 |

(1) 測定

前イと同様の方法で行った。

(2) マネキンを用いた実大スケール検証

ア 表3に示す非防災品の布団一式を可燃物とした。

表3 使用した非防災品の布団一式一覧

| 名称 | 材質 |
|------|--------------------------|
| 掛け布団 | 側地：綿 100%，中綿：綿 100% |
| 敷き布団 | 側地：綿 100%，中綿：綿 100% |
| シーツ | 綿 100% |
| 枕 | 側地：ポリエステル 100%，中綿：綿 100% |
| 枕カバー | 綿 100% |

イ 熱電対を設置したマネキンを布団内に横たわせ、着火したタバコを枕元付近の敷き布団と掛け布団の間におき、寝たばこ火災を想定したモデル火災を発生させた(図8、9、10)。このときのマネキン各部の温度変化を測定した。



図8 マネキンの状況



図9 布団に寝かせた状況

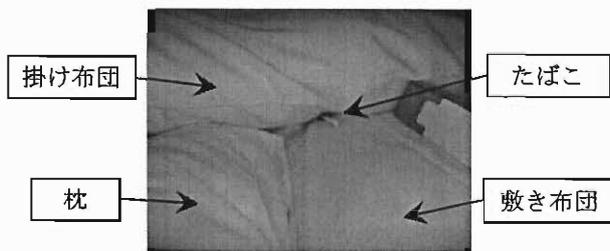


図10 タバコの設定状況

ウ 前アの一式のうち、掛け布団に防災製品の布団カバー、敷き布団に防災製品のシーツ、枕に防災製品の枕カバーをそれぞれかぶせ、前イと同様に測定し比較した。

表4 使用した防災製品一覧

| 名称 | 材質 |
|---------|----------------------|
| 防災布団カバー | 難燃性アクリル系繊維 30%/綿 70% |
| 防災シーツ | 難燃性アクリル系繊維 30%/綿 70% |
| 防災枕カバー | 難燃性アクリル系繊維 30%/綿 70% |

3 検証結果と考察

(1) モデル布団片を用いた小スケールの基礎検証

ア タバコをモデル布団片の上に水平に置いた場合

各種シーツ等に対する熱電対の測定結果を図11に示す。また、検証状況を、図12に示す。

図11にあるとおり、側地裏面の最高温度の平均値は、非防災品のシーツが 235℃であるのに対し、各防災生地は 180.4℃から 224.6℃と、概ね近い値をとる結果となった。図12の各検証状況においても、シーツ等の表面や側地表面、側地裏面の燃焼状況に外観上に大きな差が見られなかった。このことから、着火源であるタバコを

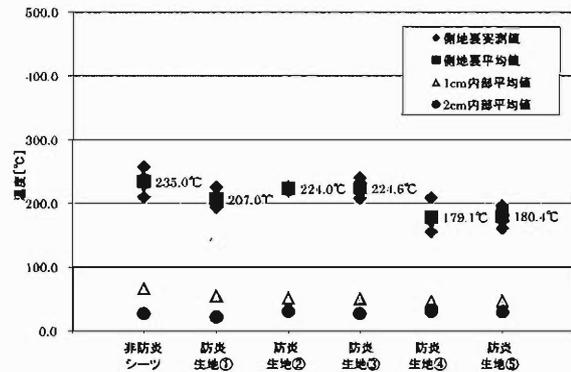


図11 タバコをモデル布団片上に水平に置いた場合の温度測定結果(添字：平均値温度)

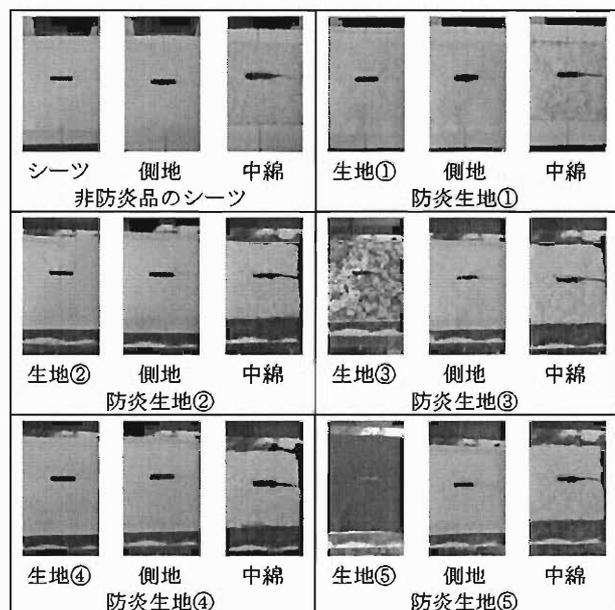


図12 タバコをモデル布団片の上に水平に置いた場合

可燃物上に水平に置いた場合、非防災品の布団と防災製品のシート等を被せた布団では、その燃焼性に大きな差がないことがわかった。

イ たばこをモデル布団片で挟んだ場合

各種シート等に対する熱電対の測定結果を図 13 及び図 14 に示す。また、検証状況を図 15 に示す。

本検証では、モデル布団片下側と上側でそれぞれデータを測定したが、モデル布団片の上側が大気開放下のためたばこの熱が拡散し、これによって温度差が生じたため、上側と下側が異なる値を示す結果となった。図 13 と図 14 を比較すると、異なる値ではあるもののその傾向は等しいことから、より高い温度を示しているモデル布団片下側の結果で、本考察を行うこととする。

各試料の側地裏面の温度に着目してみると、非防災品のシートが、モデル布団片下側では 432.8℃であった。また、図 15 にある検証状況では、たばこの設置位置よりも炭化面積が広がっていることから、明らかに無炎燃焼が起こっていたと推測される。

これに対し、ほぼ同じ割合の綿と難燃性アクリル系繊維で構成されている防災生地①及び防災生地②が、それぞれ 339.9℃、269.4℃と約 100℃前後低い値を示した。また、図 15 の検証状況のとおり、炭化面積はたばこの設置位置周囲に限られていることから、中綿等の無炎燃焼は発生しなかった（あるいは発生しても継続できなかった）ものと推測される。

また、布団内部 1cm の位置（以下、「1cm 内部」という）の平均温度に着目すると、非防災品のシートでは 327.7℃であるのに対し、それぞれ 195.0℃、137.3℃と 130℃から 190℃近く低い値を示した。この温度差も、非防災品のシートの場合は無炎燃焼が発生し、その発生熱が布団内部に伝わったのに対し、防災生地①及び防災生地②の場合、周囲の可燃物への燃焼が防止されたことによるものと考えられる。

これは、綿+難燃性アクリル系繊維の混紡生地の場合、難燃性アクリル系繊維に含まれる塩素 (Cl) と、難燃剤として添加されている三酸化アンチモン (Sb₂O₃) 注1 の

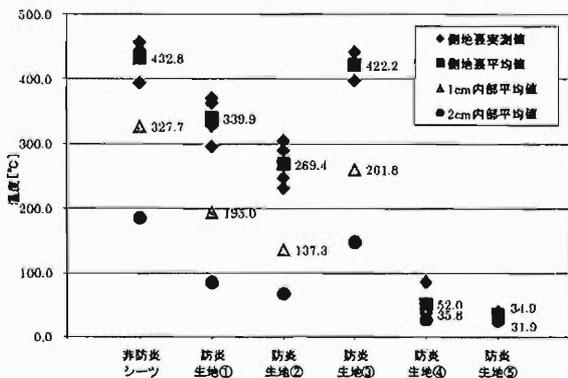


図 13 たばこをモデル布団片で挟んだ場合の温度測定結果 (モデル布団片下)

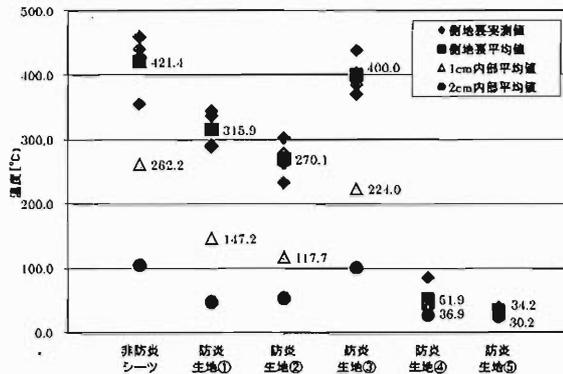


図 14 たばこをモデル布団片で挟んだ場合の温度測定結果 (モデル布団片上)

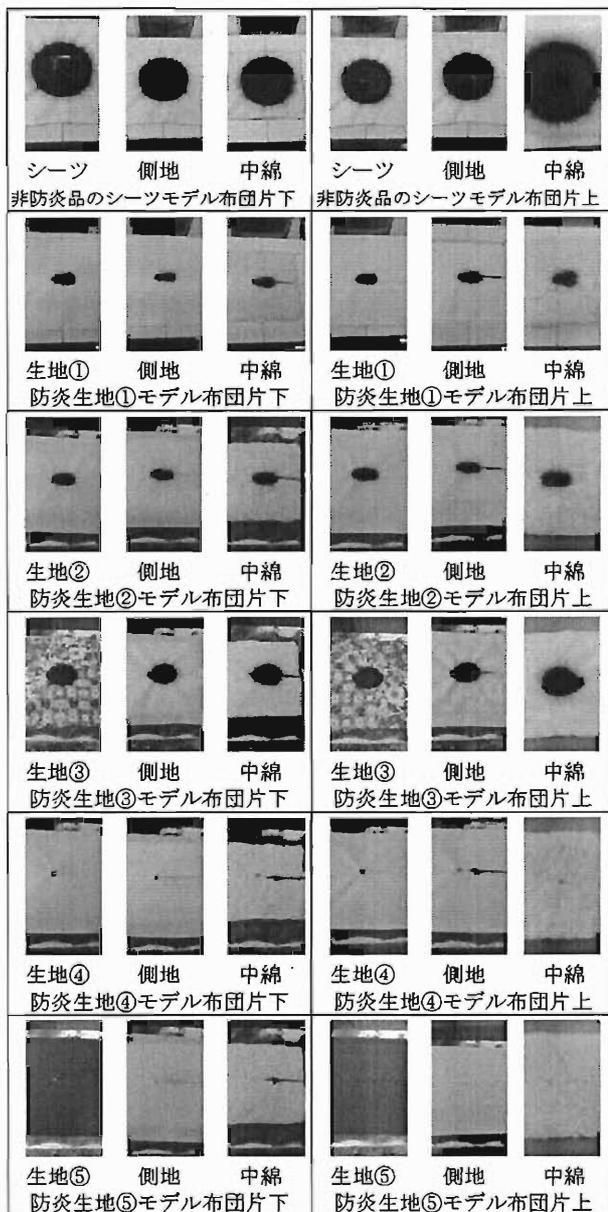


図 15 たばこをモデル布団片で挟んだ場合のモデル布団片の状況

反応による難燃効果であり、その機構は①気相での熱分解連鎖反応停止作用、②気相での塩化アンチモンガス (SbCl₃)^{注2} (反応生成物) による酸素遮断作用、③固相での炭化物生成の促進 (断熱) と考えられる。

これらのことから、防災生地①及び防災生地②をモデル布団片のシートとして用いた場合、非防災品のシートと比較してたばこによる無炎燃焼が発生しにくくなると考えられる。

防災生地③においては、側地裏面の平均温度が422.2℃となっており、非防災品のシートの結果である432.8℃に対してほとんど差がない結果となった。また、1cm内部の温度は261.8℃であり、非防災品のシートの結果との差は65.9℃であった。図15の検証状況を見ても、非防災品のシート程ではないものの、たばこの設置位置より広い面積で炭化しており、無炎燃焼が発生していたものと推測される。よって、シートが燃焼抑制されても、その周囲にある可燃物は燃焼してしまい、無炎燃焼が発生する可能性が高いと考えられる。

防災生地④及び防災生地⑤は、側地と内部の両測定値が著しく低い値となった。これは、図15中にあるとおり、熱電対の設置位置までたばこの燃焼が継続せず消火してしまったためである。よって、防災生地④及び防災

生地⑤は本検証において、たばこの燃焼を抑制する効果があることがわかった。

ウ 洗濯回数による布団内部温度の比較

各種シートに対する熱電対の測定結果を図16から図19に示す。また、検証状況を図20及び図21に示す。なお、本検証でも、前イ同様にモデル布団片の上側では、大気開放によりたばこの熱が拡散し、温度差が生じたため、検証状況はモデル布団片の下側のみ掲載する。よって、本検証においても、前イと同様にモデル布団片下側の結果で考察を行う。

図16と図18の洗濯回数ごとの結果を見ると、グラフの外形はほぼ等しく、防災生地の種別による側地裏面温度の傾向は変化しないものと考えられる。図13の結果を洗濯回数0回として、図16、図18と併せて、洗濯回数と側地裏面の測定値の関係をプロットしたものを、図22に示す。

このグラフより、全ての防災生地において、洗濯回数に比例して緩やかに側地裏面温度が上昇を示しているのがわかる。このことから、本検証で用いた防災生地は、洗濯回数が増えるに従って、周囲の可燃物の燃焼抑制が低下する可能性があると考えられる。

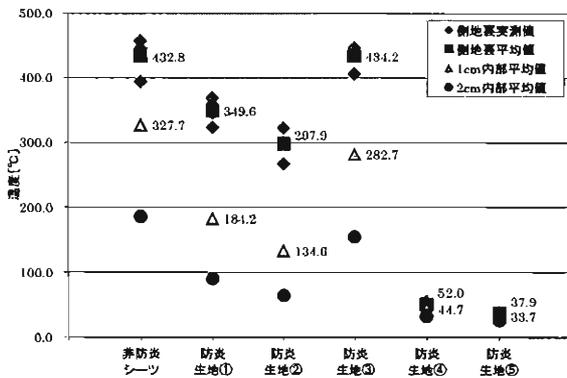


図16 洗濯回数による布団内部温度の比較測定結果 (洗濯回数5回:モデル布団片下)

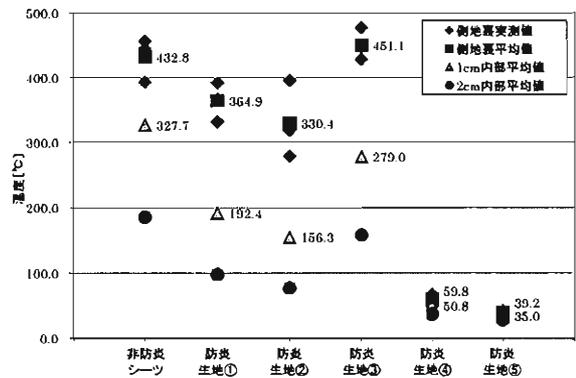


図18 洗濯回数による布団内部温度の比較測定結果 (洗濯回数10回:モデル布団片下)

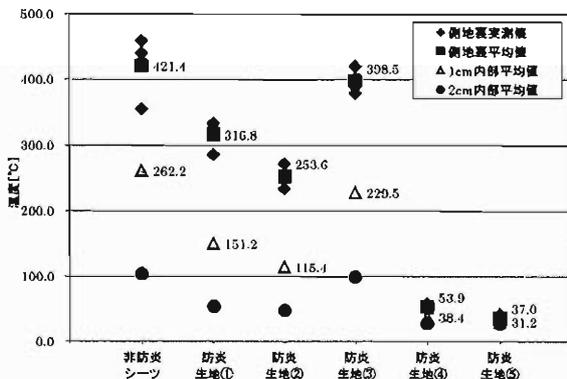


図17 洗濯回数による布団内部温度の比較測定結果 (洗濯回数5回:モデル布団片上)

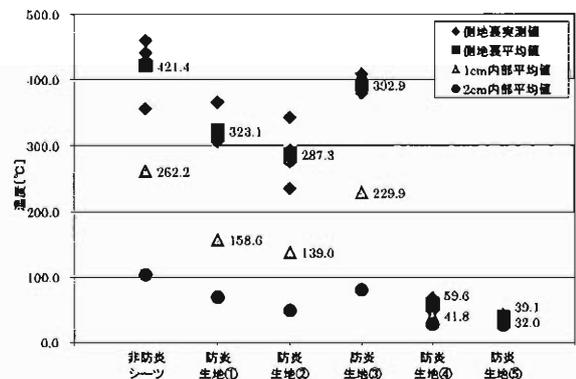


図19 洗濯回数による布団内部温度の比較測定結果 (洗濯回数10回:モデル布団片上)

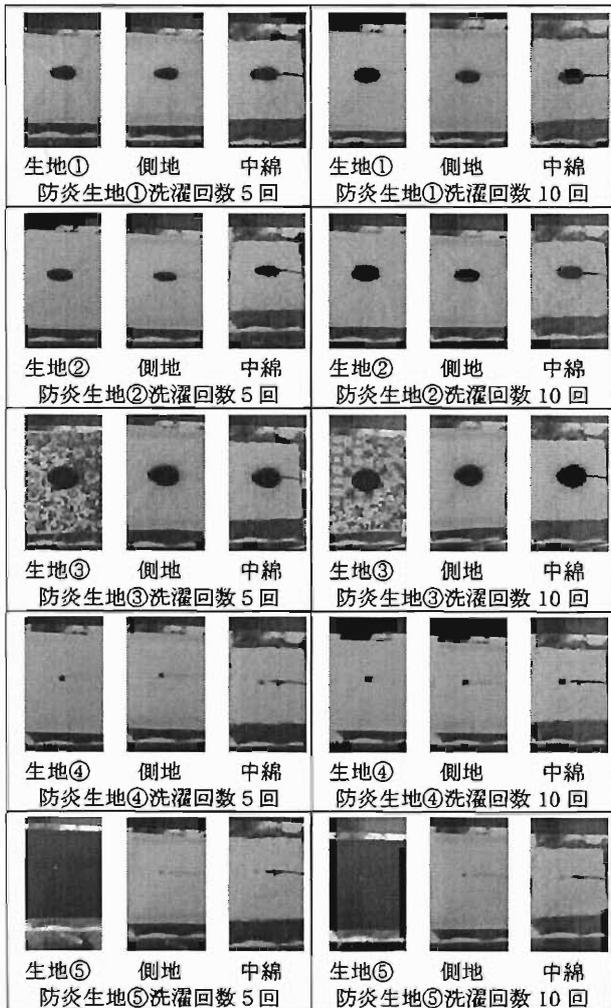


図 20 洗濯回数の違いによるモデル布団片下の状況

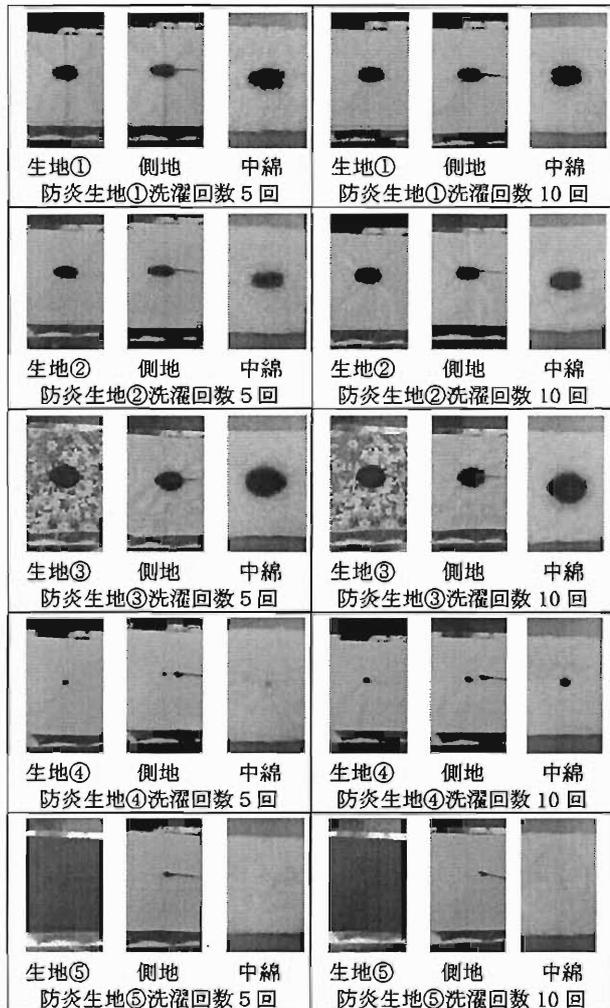


図 21 洗濯回数の違いによるモデル布団片上の状況

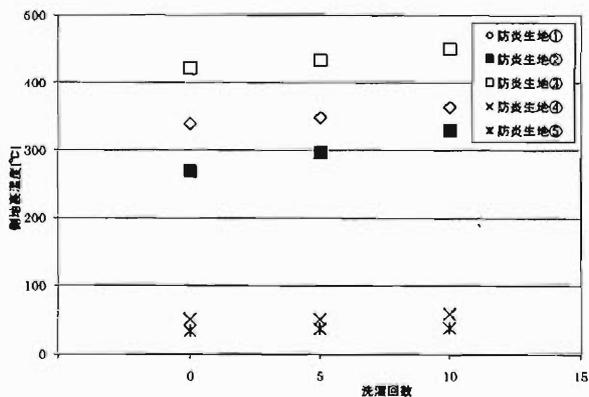


図 22 洗濯回数と各防火生地を使用したモデル布団片側地裏平均温度

(2) マネキンを用いた実大スケール検証

検証結果を以下の図 23 及び図 24 に示す。

図 23 にあるとおり、全て非防火品で検証を行った場合、開始 30 分前後から掛け布団表面から目視できるほど無炎燃焼が成長し、さらに本検証では、約 55 分で有炎燃焼に遷移した。このとき、たばこの設定位置近傍のマネキンの表面温度は最高 240℃に達していた。

一方、図 24 の結果にあるとおり、シーツや布団カバーを防火製品にした場合、非防火品と同じ位置にたばこを設定しても、シーツや側地の表面は炭化しているものの中綿内部までには熱が伝わらず、無炎燃焼を起こさない結果となった。このときのマネキンの表面温度はほとんど変化しなかった。

よって、非防火品の寝具類に対して、シーツやカバー等表面を防火製品にした場合、たばこによる燃焼では、無炎燃焼が起こり難くなると考えられる。

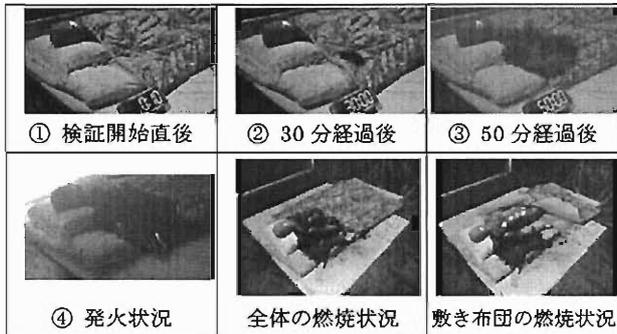


図 23 非防火品の場合の実大スケール検証状況

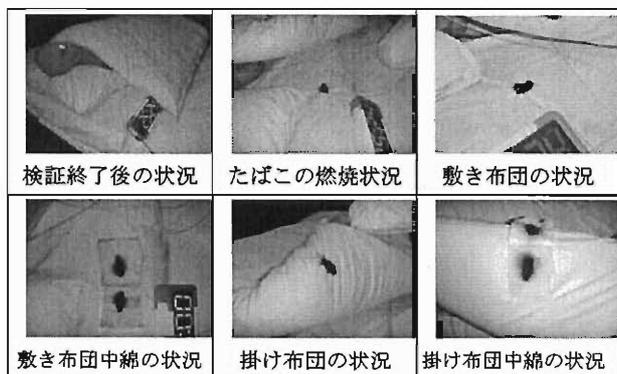


図 24 部分防火の場合の実大スケール検証状況

4 おわりに

(1) モデル布団片を用いた小スケールの基礎検証において、たばこを布団上に水平に設定して燃焼させた場合、非防火品のシーツ及び各防火生地を用いたことによる燃焼性状の差はほとんどなかった。

(2) 同様に、たばこを布団片に挟んで燃焼させた場合、以下のことがわかった。

ア 非防火品のシーツでは無炎燃焼が起こっていた。

イ 綿系＋難燃性アクリル系繊維の防火生地①及び防火生地②では、測定値およびたばこ周辺の燃焼状況から、無炎燃焼が発生しにくくなっている。これは、難燃性アクリル系繊維に含まれる塩素と、難燃剤として添加されている三酸化アンチモンの反応による難燃効果であると考えられる。

ウ 綿を薬剤で防火処理した防火生地③では、測定値およびたばこ周辺の燃焼状況から、無炎燃焼が発生する可能性がある。

エ 難燃性アクリル系繊維＋ポリエステル系の防火生地④および難燃性アクリル系繊維の防火生地⑤では、たばこの燃焼そのものを抑制する効果がある。

(3) 実際の布団を用いた実大スケール検証では、非防火品のみで検証した場合、無炎燃焼が発生し、有炎燃焼へ遷移した。しかし、シーツ・カバー類のみを防火製品にした場合、無炎燃焼は発生しなかった。

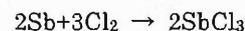
以上のことから、本検証の条件において、布団を可燃物としたたばこ火災に対して、周囲の可燃物を燃えにくくする働きがある薬剤が添加されている難燃性アクリル系の繊維を用いた防火製品のシーツや布団カバーを使用することにより、無炎燃焼の発生リスクが低くなることがわかった。このような防火製品を用いて、布団の表面を部分防火とするだけでも、最終的には火災発生の防止が期待できるものと考えられる。

謝辞

本検証にあたり、財団法人日本防火協会から多大なご支援、ご協力をいただいたことを感謝いたします。

注 1 三酸化アンチモン (Sb_2O_3) : アンチモンの酸化物の一種で、同種の化合物の中では最も重要な化学物質である。主に、難燃剤や顔料として、繊維、樹脂類、ゴム等に添加されて使用される。常温で白色固体。

注 2 塩化アンチモン ($SbCl_3$) : アンチモンの三塩化物で三塩化アンチモンともいう。金属アンチモンに乾燥塩素ガスを作用させると生成する。



常温常圧で無色固体、強い刺激臭がある。

[参考文献]

- 1) 東京消防庁予防部調査課：火災の実態、平成 22 年
- 2) 東京消防庁 HP 東京消防庁電子図書館
(<http://www.tfd.metro.tokyo.jp>)
- 3) 東京消防庁指導広報部広報課：消防に関する世論調査、平成 17 年 11 月

Study on the effectiveness of flameproof products

Kouhei KANEKO*, Yuuichirou MACHII**, Akihiko IIDA*, Hiroshi TANUMA*

Abstract

Fire departments have been promoting flameproof products as a measure to prevent fire spread onto bedding in fires caused by smoking in bed. However, these products have not become popular due to reasons such as higher cost compared to non-flameproof products. Therefore in this study, a combustion experiment was done with a cigarette as the ignition source and bedding as the item that caught fire. The experiment compared two cases—the first case using non-flameproof products for all ignited items, and the other having sheets and covers only as flameproof products—and measured temperatures on the surface and inside the bed. As a result, even the use of flameproof products on the bed surface only lowered the risk of flameless combustion, which is expected to help prevent fires.