

がん具用煙火の燃焼及び消火に関する検証（その2）

（保管状態における燃焼実験）

東 優太*, 飯田 明彦*, 大滝 英一*, 鈴木 健司**

概 要

本検証は、東京都火災予防条例第26条で規制されているがん具用煙火について、安全性の高い保管方法の提言を目的として実施したものである。

実験は、スチールロッカー、不燃性シート及び防災シートの各保管方法について、内部を空とした状態及びがん具用煙火を実際に保管した状態で外部からの火炎等により加熱し、内部の温度及び熱流束等を測定した。

その結果、今回実施した中で最も安全性の高い保管方法はスチールロッカーであると考えられるが、強い火源に暴露した場合、受熱面が燃え抜けなくても、熱伝導により収納されたがん具用煙火に着火する可能性が確認できた。また、外部からの火炎等により保管状態のがん具用煙火に着火する要因も把握できた。

1 はじめに

防火対象物等において、がん具用煙火（以下「煙火」という。）を消費、貯蔵又は取り扱う場合、東京都火災予防条例第26条により規制されている。特に、原料をなす火薬又は爆薬の総量が5kg以上25kg以下の煙火（クラッカーボールを除く）又は原料をなす爆薬の総量が1kg以上5kg以下のクラッカーボールを消費、貯蔵又は取り扱う場合は、ふたのある不燃性の容器に入れ、又は防災処理を施した覆いをしなければならない。当該条例に基づいて、各防火対象物では様々な方法で煙火が保管されているが、保管方法別の安全性に関する検証等はこれまで行われていない。

そこで本検証では、外部からの火炎等による保管状態の煙火への着火を想定し、各保管方法において内部を空にした状態及び煙火を保管した状態の燃焼実験を行い、安全性の高い保管方法等を提言することを目的とした。

2 保管方法

本検証で実施した保管方法は、表1に示す4種類とした。スチールロッカーは図1に示すとおり、前面扉を閉鎖した状態で使用した。不燃性シート、防災シート（メッシュ生地）及び防災シート（非メッシュ生地）（以下「シート類」という。）は、スチールロッカーと同様の実験条件とするため、図2に示すとおり模擬保管棚（W900mm×D450mm×H1500mm）の周囲4面（前面、背面、側面）に貼り付けた状態で使用した。

表1 保管方法

No.	種別	内容
1	スチールロッカー	<ul style="list-style-type: none"> ・ 寸法：W900mm×D450mm×H1831mm ・ 材質：スチール ・ 板厚：1.2mm ・ 前面扉はスチール引違い式
2	不燃性シート	<ul style="list-style-type: none"> ・ 厚み：0.27mm ・ 材質：基布はグラスファイバー100%、樹脂はポリ塩化ビニル ・ 不燃材料認定品
3	防災シート （メッシュ生地）	<ul style="list-style-type: none"> ・ 厚み：0.52mm ・ 材質：ポリプロピレン ・ 防災認定品
4	防災シート （非メッシュ生地）	<ul style="list-style-type: none"> ・ 厚み：0.3mm ・ 材質：ポリ塩化ビニル ・ 防災認定品



図1 スチールロッカー
外観



図2 シート類外観例
（不燃性シート）

3 空の状態における燃焼実験

(1) 概要

保管状態の煙火が着火する要因及び保管方法別の煙火への着火危険性を検討するため、スチールロッカー及びシート類を貼り付けた模擬保管棚（以下「ロッカー等」という。）の内部を空にした状態において、外部からロッカー等の側面に向けて火源を暴露させ、受熱面の状態を確認するとともに、内部の温度変化及び放射熱流束の測定を行った。

(2) 実験方法

ア 火源

本検証で使用した火源は、火炎の接炎及び放射熱の影響を確認するために、図3に示すLPG可燃性ガスを燃料としたガストーチとハロゲンヒーターの2種類とした。

ガストーチは、火炎噴出口とロッカー等の受熱面との離隔距離 50mm の位置に設定し、最大の出力（火炎噴出口における温度が仕様上 2100℃）となる状態で使用した。一方ハロゲンヒーターは、照射面とロッカー等の受熱面との離隔距離 15mm の位置に設定し、受熱面における放射熱流束が 20kW/m² になるようにボルトスライダーで調整した。



図3 火源

イ 配置

図4及び図5に示す実験設定図のとおり、ロッカー等の側面上段の外側からガストーチによる火炎、又はハロゲンヒーターを照射した。

ウ 測定項目及び実験パターン

測定項目は表2、実験パターンは表3に示すとおりである。

エ 測定時間

実験の終了は点火から 1200 秒とした。ただし、受熱面が燃え抜けた場合は、内部の温度が安定した時点で実験を終了した。

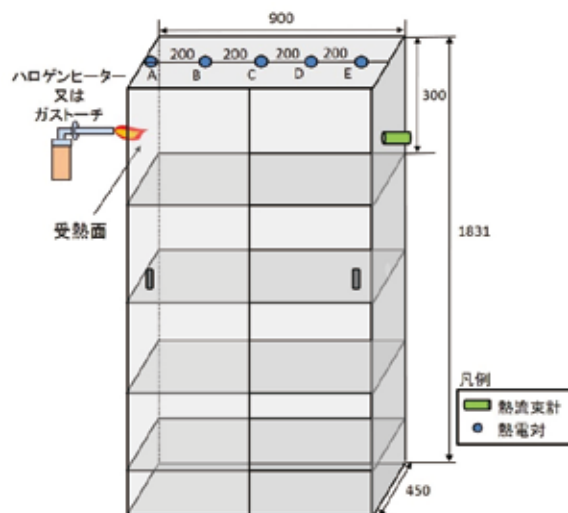


図4 スチールロッカー実験設定図 (mm)

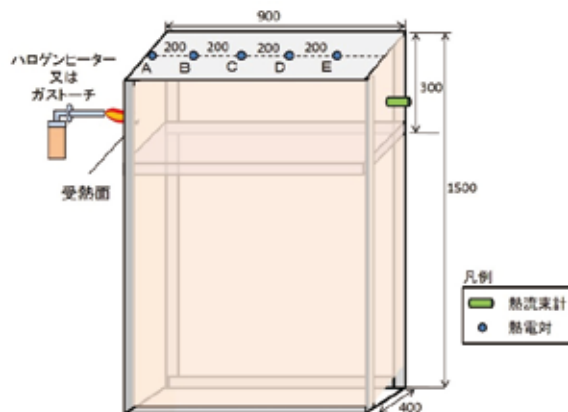


図5 シート類実験設定図 (mm)

表2 測定内容

測定項目	内容
ロッカー等内部の温度	K型熱電対（素線径：0.64mm） 受熱面裏側上面から 200mm 間隔に 5 点
ロッカー等内部の放射熱流束	熱流束計（MEDTHERM 社製） ファイアウインドウ水冷式 64P-5-24 受熱面の反対側に 1 点
ロッカー等外部の状況	ビデオカメラ ロッカー等から離隔距離 2.00m 位置に 1 箇所

表3 実験パターン

保管方法	火源
スチールロッカー	ガストーチ
	ハロゲンヒーター
不燃性シート	ガストーチ
	ハロゲンヒーター
防災シート (メッシュ生地)	ガストーチ
	ハロゲンヒーター
防災シート (非メッシュ生地)	ガストーチ
	ハロゲンヒーター

(3) 実験結果

実験開始から終了までの時間は表4に示すとおり、保管方法がシート類で火源をガストーチとした実験では、点火直後から数秒の間に受熱面が燃え抜け、その後内部の温度が安定したことから、点火から50秒で終了した。また、各防災シートで火源がハロゲンヒーターの実験では、メッシュ生地の場合は点火から61秒後に、非メッシュ生地の場合は25秒後に受熱面が燃え抜け、その後内部の温度が安定したことから、点火から600秒で実験を終了した。その他の実験は点火から1200秒まで実験を継続した。

ア 受熱面の状態

実験後の受熱面の状態を火源別に図6及び図7にそれぞれ示す。

スチールロッカーの実験では、火源がガストーチの場合は受熱面が炭化していたのに対し、ハロゲンヒーターの場合は、実験前後で受熱面に変化はみられなかった。

不燃性シートの実験では、火源がガストーチの場合、受熱面がガストーチの火炎噴出口とほぼ同じ面積で燃え抜けた。一方で、火源をハロゲンヒーターとした場合は、時間経過とともに受熱面が黒く炭化したが、燃え抜けはみられなかった。

各防災シートの実験では、メッシュ生地、非メッシュ生地ともに火源の違いに関わらず受熱面が熔融し、燃え抜けた。

表4 受熱面の状態

保管方法	火源	実験終了時間	受熱面の状態
スチールロッカー	ガストーチ	1200秒	炭化
	ハロゲンヒーター	1200秒	変化なし
不燃性シート	ガストーチ	50秒	燃え抜け
	ハロゲンヒーター	1200秒	炭化
防災シート (メッシュ生地)	ガストーチ	50秒	燃え抜け
	ハロゲンヒーター	600秒	燃え抜け
防災シート (非メッシュ生地)	ガストーチ	50秒	燃え抜け
	ハロゲンヒーター	600秒	燃え抜け



図6 実験後の受熱面の状態 (火源：ガストーチ)



図7 実験後の受熱面の状態 (火源：ハロゲンヒーター)

イ ロッカー等内部の温度変化及び放射熱流束

火源をガストーチとした実験のロッカー等内部の温度変化は図8に示すとおりである。受熱面が燃え抜けなかったスチールロッカーの場合、全測定位置の温度が100℃以下で安定したが、その他の保管方法では、受熱面が燃え抜けた時点から急激に温度上昇し、C及びDの位置の温度が高い値を示した。なお、各保管方法で、最高温度に差がみられるのは、ガストーチの出力差による影響であると考えられる。

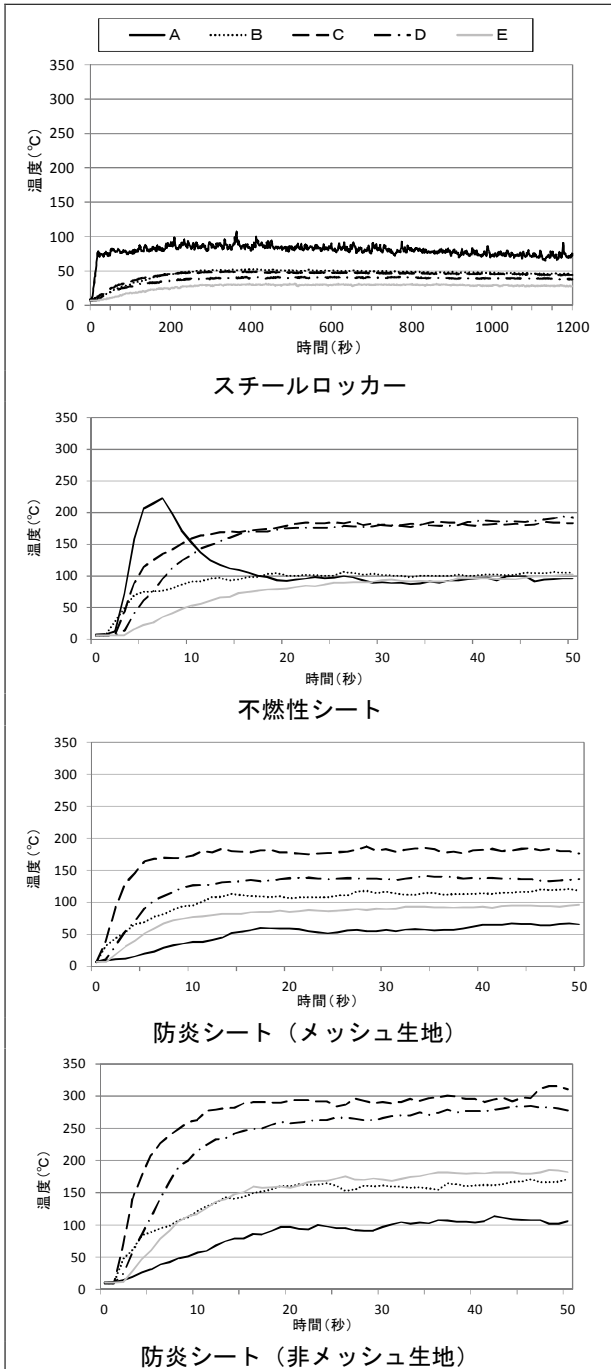


図8 ロッカー等内部の温度変化 (火源：ガストーチ)

火源をハロゲンヒーターとした実験のロッカー等内部の温度変化を図9に示す。全ての保管方法で緩慢に温度上昇したが、実験終了時の温度は全測定位置で100℃以下となった。

放射熱流束は、受熱面が燃え抜けなかった実験では測定されなかった。受熱面が燃え抜けた実験では、火源の違いに関わらず、受熱面が燃え抜けた直後より0.1 kW/m²から0.2 kW/m²の値を示した。

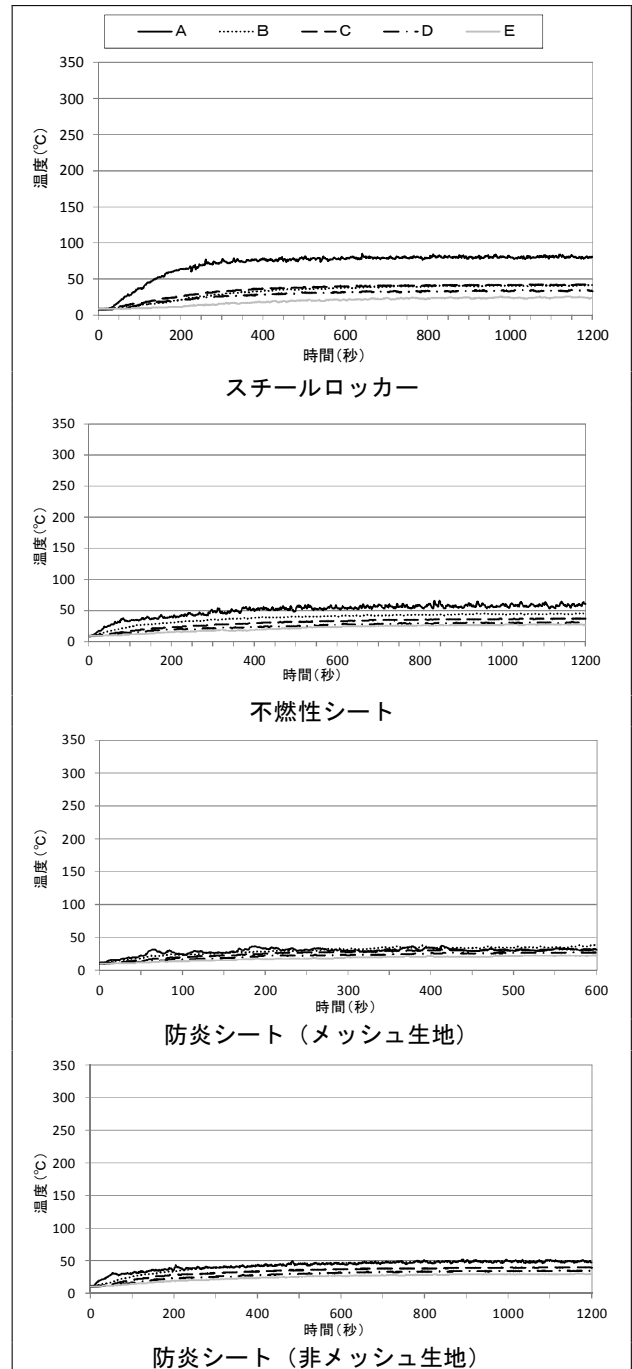


図9 ロッカー等内部の温度変化 (火源：ハロゲンヒーター)

(4) 考察

本実験結果より、以下の項目について考察した。

ア 外部からの火災等により保管状態の煙火が着火する要因

受熱面が燃え抜けなかったスチールロッカーでは、内部の温度は低いまま保たれ、放射熱流束は測定されなかった。一方で、受熱面が燃え抜けたシート類の内部の温度は、受熱面が燃え抜けた直後から急激に上昇し、放射熱流束についても上昇していた。

したがって、受熱面が燃え抜けた場合、内部に収納した煙火若しくは煙火に付属する包装紙等の可燃物は、外部からの火災と直接接触する、あるいは直接放射熱を受けることになり、着火する危険性が高くなると考えられる。

これらのことから、東京都火災予防条例第 26 条で規制される保管方法において、外部からの火災等により保管状態の煙火が着火する主たる要因は、受熱面の燃え抜けであると推定される。

イ 保管方法別の煙火への着火危険性

スチールロッカーの場合、受熱面が燃え抜けず、内部の温度及び放射熱流束が低い値であったことから、保管状態の煙火等は、外部からの火災と直接接触せず、あるいは放射熱を直接受け取らないため、他の保管方法と比べて安全性が高いと考えられる。

不燃性シートの場合、ハロゲンヒーターによる強い放射熱を受けても受熱面は炭化するのみで燃え抜けないことから、放射熱による煙火への着火を、ある程度抑制できると考えられるが、ガストーチのように高温の火災が暴露した場合は、受熱面が燃え抜けることから、保管した煙火等に着火する可能性が高いと考えられる。

防炎シートの場合、メッシュの有無に関わらず、その性能上火災の接触あるいは放射熱により受熱面が容易に熔融し燃え抜けることから、他の保管方法と比較して早い段階で煙火に着火する可能性が高いと考えられる。

4 煙火を収納した状態における燃焼実験

(1) 概要

空の状態における燃焼実験結果より、ロッカー等の外部から火源を暴露した場合の煙火への主たる着火要因が受熱面の燃え抜けと推定された。また、保管方法別に保管状態の煙火への着火危険性について確認した。

そこで本実験では、ロッカー等の内部に煙火を実際に収納した状態で燃焼実験を行い、煙火への着火の有無及び着火するまでの温度変化等について確認し、安全性の高い保管方法について検討した。

(2) 実験方法

ア 火源

本実験では、空の状態における燃焼実験と同様に、ガストーチとハロゲンヒーターの 2 種類の火源を使用し、段ボール片又は煙火に着火した時点で燃焼を終了した。

イ 配置

ロッカー等の配置状況は空の状態における燃焼実験と同様とし、使用した煙火は表 5 に示す「手持花火のセット物」とした。煙火の収納状況は図 10 に示すとおり、煙火が梱包された状態を想定して、受熱面裏側に段ボール片を貼り付けた。そして、総火薬量約 0.96kg (計 16 袋) の煙火を火花の噴出を火源方向として水平に積み重ね、段ボール片に接触させた状態で収納した。

ウ 測定項目及び実験パターン

測定項目は、K型熱電対の設定位置を段ボール片の中央部分の 1 点のみとした以外は表 2 と同様とし、実験パターンは表 3 と同様とした。

エ 測定時間

実験終了は点火から 1200 秒としたが、煙火全体が燃焼を始めた場合、その時点で終了とした。なお、熱流束計は機器に影響が生じると判断した時点で測定を終了した。

表 5 実験で使用した煙火

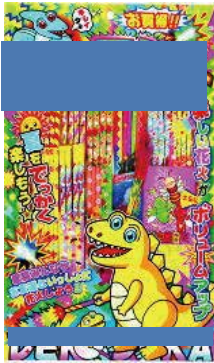
	
寸法	縦 470mm × 横 300mm
総火薬量	約 60g
本数	46 本入 (全て手持花火)



図 10 煙火収納状況例
(保管方法：スチールロッカー)

(3) 実験結果

ア 煙火への着火の有無

実験結果を表 6 に示すとおり、保管方法がスチールロッカーで、火源がハロゲンヒーターによる実験以外は収納した煙火に着火した。なお、段ボール片に着火した時間はビデオカメラにより計測したものである。

表 6 実験結果

保管方法	火源	実験終了時間	煙火着火の有無	受熱面の状態	段ボール片着火時間
スチールロッカー	ガストーチ	300 秒	有	炭化	135 秒
	ハロゲンヒーター	1200 秒	無	変化なし	
不燃性シート	ガストーチ	50 秒	有	燃え抜け	7 秒
	ハロゲンヒーター	360 秒	有	炭化	205 秒
防災シート (メッシュ生地)	ガストーチ	35 秒	有	燃え抜け	点火直後
	ハロゲンヒーター	250 秒	有	燃え抜け	91 秒
防災シート (非メッシュ生地)	ガストーチ	80 秒	有	燃え抜け	点火直後
	ハロゲンヒーター	280 秒	有	燃え抜け	188 秒

イ 段ボール片の温度及び放射熱流束

火源別の段ボール片の温度変化及び放射熱流束を、火源別に図 11 から図 12 にそれぞれ示す。なお、一部温度が急激に低下しているが、これは段ボール片が燃焼したことで、設定したK型熱電対が外れたためであると考えられる。

(7) 火源がガストーチの場合

スチールロッカーの実験では、点火直後から急激に温度上昇し、40 秒後には 400℃を超えていた。その後も温度上昇が継続し、段ボール片に着火した 135 秒の時点では 700℃に達した。放射熱流束は段ボール片が着火した直後に上昇をはじめ、220 秒以降から急激に上昇した。

シート類の実験もスチールロッカーの実験と同様に点火直後から急激に温度上昇した。また、放射熱流束は各防災シート場合が点火から 10 秒後、不燃性シートの場

合が点火から 15 秒後に上昇を始めた。

(4) 火源がハロゲンヒーターの場合

スチールロッカーの実験では、点火直後から緩やかに温度上昇し実験終了時では 166.7℃であった。また、放射熱流束値は測定されなかった。

シート類による実験では各防災シートの場合、点火から 90 秒付近から温度が上昇しており、その上昇率に差がみられた。不燃性シートの場合、点火から 280 秒で急激な温度上昇がみられた。放射熱流束が上昇を始めた時間は、防災シート（メッシュ生地）の場合は点火から 152 秒後、防災シート（非メッシュ生地）の場合は点火から 219 秒後、不燃性シートの場合は点火から 300 秒後であり、全て温度が上昇を始めた時間と比較して遅かった。

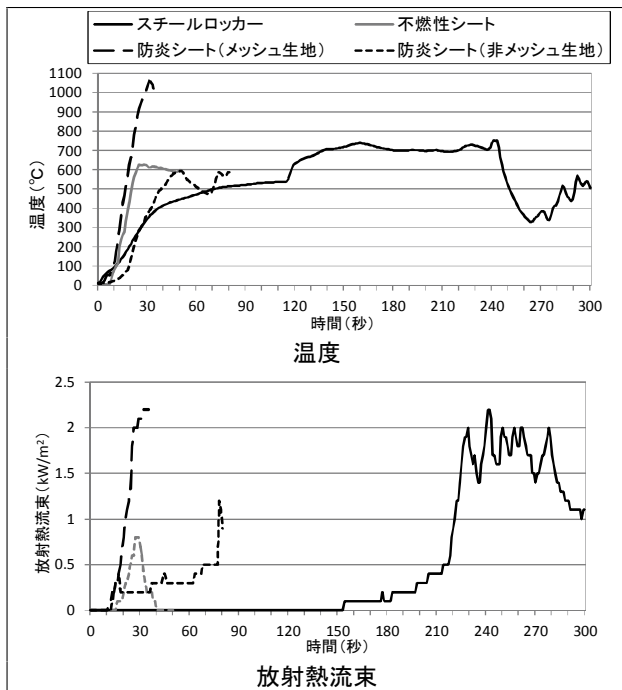


図 11 各実験における温度及び放射熱流束変化 (火源：ガストーチ)

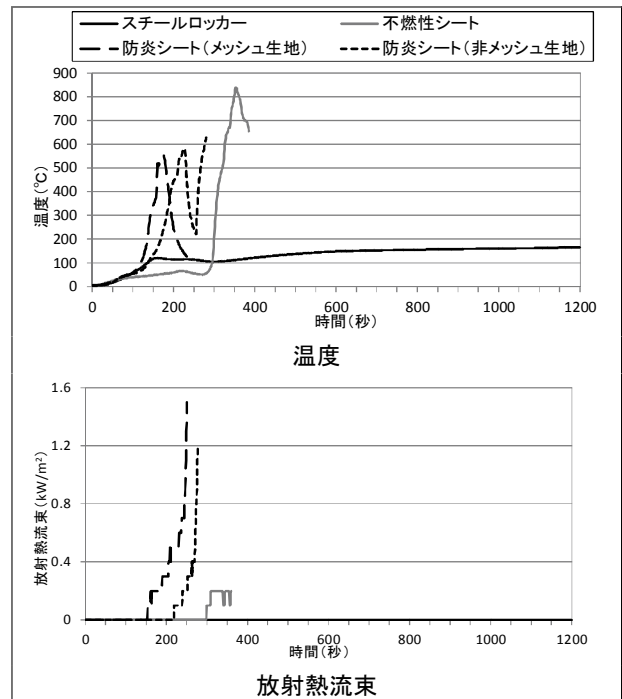


図 12 各実験における温度及び放射熱流束変化 (火源：ハロゲンヒーター)

(4) 考察

本実験結果より以下の項目について考察した。

ア 安全な保管方法について

表7より、段ボール片への着火時間を比較すると、火源がガストーチの場合、スチールロッカーが最も遅く、次いで不燃性シート、そして各防災シートの順となった。図11及び図12より、放射熱流束が上昇を始めた時間を比較した場合でも同様の傾向がみられた。また、火源がハロゲンヒーターの場合、煙火に着火しなかったスチールロッカーを除き、火源がガストーチの場合と概ね同様の傾向がみられた。

以上のことから、本検証で実施した保管方法の中で、最も安全性の高い保管方法はスチールロッカーであると考えられる。不燃性シートは防災シートと比較すると安全性が高いと考えられるが、強い火源が外部から暴露した場合、受熱面が燃え抜けて煙火に着火する可能性がある。防災シートはメッシュの有無に関わらず、受熱面が早い段階で溶融し燃え抜けるため、外部からの火源により保管状態の煙火に着火する恐れが高いと考えられる。

イ 安全な保管状態について

本実験では、受熱面が燃え抜けたシート類と違い、燃え抜けなかったスチールロッカーで火源がガストーチの場合でも内部の煙火が着火した。その理由として、段ボール片が受熱面と接触していたことが考えられる。段ボール片の温度変化をみると、図11のとおり点火から50秒で450℃に達している。新聞紙の着火温度が430℃であり¹⁾、単純に比較することはできないが、この段階で段ボール片が発火していた可能性が考えられる。また、今回の実験条件の中で、唯一煙火に着火しなかったスチールロッカーで火源がハロゲンヒーターの場合について、実験後に段ボール片の状態を確認したところ、図13のとおり、受熱面側が黒く炭化していた。また、温度については図12に示すとおり、緩やかではあるが上昇を継続していた。これらのことから、実験を継続していた場合、煙火に着火していた可能性があると考えられる。

以上のことから、受熱面の裏側に煙火等が接触している場合、熱が伝達され易くなるため、煙火等を保管する場合はロッカー等内部の内側と接触しないようにすることで安全性が高まるものと考えられる。



図13 実験後の段ボール片の状況

(保管方法：スチールロッカー、火源：ハロゲンヒーター)

5 おわりに

本検証結果より、以下のとおりまとめることができる。

(1) 煙火に着火する要因

東京都火災予防条例第26条で規制される保管方法において、外部からの火源により保管状態の煙火が着火する主たる要因は、「受熱面の燃え抜け」であると推定される。

(2) 安全性の高い保管方法等について

ア スチールロッカーは火源の種類によらず受熱面が燃え抜けなかったことから、今回実施した保管方法の中で、最も安全性が高いと考えられる。ただし、受熱面の裏面に煙火や可燃物が接触している場合、熱伝導により着火し易くなる恐れがある。このことから、煙火等を保管する際はロッカー等内部の内側と接触しないようにすることで安全性が高まると考えられる。

イ 不燃性シートは防災シートと比較すると安全性が高いと考えられる。ただし、強い火源が暴露した場合は、受熱面が燃え抜けて保管状態の煙火に着火する可能性がある。

ウ 防災シートは性能上、外部からの火源により溶融し燃え抜けてしまうことから、他の保管方法と比較すると、保管状態の煙火に着火する可能性が高いと考えられる。

[参考文献]

- 1) 社団法人日本火災学会監修：火災と消火の理論と応用、東京法令出版株式会社、2005

Study on the Fire Behavior and the Suppression of Fireworks Fire (Part 2) (Fire Tests in the Backyard Storage)

Yuuta HIGASHI*, Akihiko IIDA*, Hidekazu OTAKI*, Kenji SUZUKI**

Abstract

The aim of this study was propose for safe storage methods of fireworks, regulated in article 26 of the Tokyo Fire Prevention Ordinance.

It is examined storage methods including steel locker and incombustible sheet and flame retardant sheet by externally applying fire to heat them in an empty state and the “filled” state with fireworks kept inside.

Although it was resulted that steel locker was the safest, it was possible that when steel locker was exposed to intensive fire source - even if the heated surface was burn away- the heat conduction might ignite the fireworks store inside. Additionally, factors such as external flames that can cause the fireworks in a store to ignite were also clarified.

*Equipment Safety Section **Planning Section