

ストップ、ドロップ アンド ロールに関する検証

金子 公平*, 佐藤 良行**, 徳永 敦司**, 飯田 明彦**

町井 雄一郎**, 田沼 宏志***

概要

本検証は、着衣着火時における消火方法であるストップ、ドロップ アンド ロールの具体的なかつ効果的な実施方法等の提言を目的とした。

着衣着火の実態調査及び小児に対する指導を主眼とした消火実験を行った。その結果、着衣に着火した場合、その場で着火部位を人体と床面で挟み込むように倒れ、接触面積の大きい「腕を足部方向に伸ばした姿勢」をとると効果的な消火が期待できることがわかった。また、着火部位が広範囲である場合や着火部位を確認し難い場合は、回転速度に関係なく、体をなるべく床面と接触させるようにして転がるのが有効であることがわかった。

1 はじめに

ストップ、ドロップ アンド ロール (Stop Drop and Roll (以下「SDR」という。)) は、1980年代から現在に至るまでに、米国における火災予防に関する公衆教育のプログラムの一部として考案されたもので、米国の消防士が小児を含む市民に対して着衣着火時の自己防衛策として指導したのが始まりといわれている。その方法は非常に簡単で、三つの行動をとるように指導されている。一つ目は、着衣着火時にパニックになって走り回ると、かえって延焼するので止まる(以下「ストップ」という。)行動である。二つ目は、立っていると火災が頭部側に延焼し、頭部や気道を熱傷する恐れがあるので地面に倒れる(以下「ドロップ」という。)行動である。三つ目は、左右に転がり火災を窒息消火させるための転がる(以下「ロール」という。)行動である。

当庁では総合防災教育¹⁾の中で着衣着火時の消火方法として、SDRを紹介しているが、本検証では、より具体的なかつ効果的な実施方法等の提言を目的として、着衣着火の実態調査及び小児に対する指導を主眼とした消火実験等を行った。

2 着衣着火事例の分析

当庁管内において、平成20年から平成23年に発生した火災(自損を除く)のうち、着衣着火(何らかの火源により人の意に反して、身につけている衣類に着火した火災)事例は227件あり、この事例について各種分析を行った。

(1) 発生状況

着衣着火の発生場所は154件(68%)が自宅で発生している。また、発生場所の詳細では112件(49%)が調理場において発生している。さらに、着衣着火の発生源は調理器具が117件(52%)を占める。

このことから、自宅の調理場において、調理器具による火気の使用が着衣着火の主な原因であると考えられる。

(2) 受傷部位

着衣着火の受傷部位を、全身、上半身、下半身、その他(気道熱傷)に分類し、それぞれの割合を示したものを図1に示す。また、受傷部位を頭部から頸部、体幹部等(胸部、腹部、背部、腰部、臀部)、上肢、下肢の4種類に分類し、それぞれの割合を図2に示す。

着衣着火時の受傷箇所は74%が上半身を占めており、着衣の着火箇所が上半身に集中していることがわかる

(図1)。また、着衣着火の受傷部位は体幹部等が49%を占め、次いで上肢が29%を占めている

(図2)。このことから、体幹部等を対象にした消火方法を確立することで、多くの死傷者の受傷程度を抑制できると考えられる。

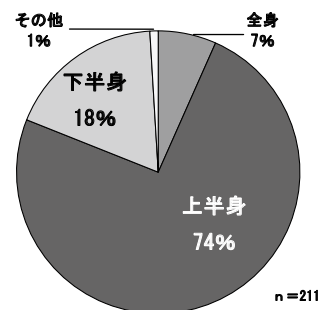


図1 受傷者の受傷部位
(死者16名を除く)

*深川消防署 **装備安全課 ***国分寺消防署

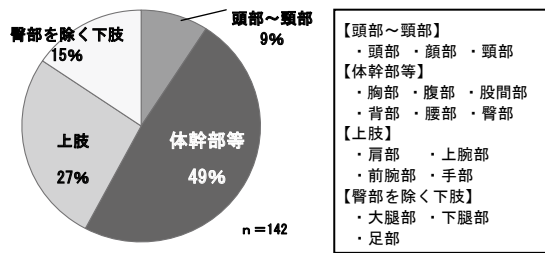


図2 受傷者の受傷部位細分
(死者及び広範囲の受傷の計85名を除く)

3 検証方法

(1) 行動遷移の有効性

SDRのストップ及びドロップの効果について、「走行状態」、「直立状態」、「伏臥状態」の3つの状態を想定した燃焼実験を行い、着衣着火時のそれぞれの行動における燃焼拡散状況を比較し、行動遷移の有効性を確認した。

ア 模型の作製

7歳児の体型²⁾に合わせた模型を作製し、その上に着衣として綿100%の生地を張り付けた(図3)。

イ 実験方法

(7) 模型の中央に着火剤0.5gを塗布し、ライターで着火剤に点火した。

(1) 着火から一定時間が経過した後、燃焼部分に注水消火を行い、残存した生地から燃焼面積を測定した。

ウ 各状態における実験詳細

走行状態は、着火から5秒経過した後に送風器で模型の正面から水平角45°の方向から送風した。送風器の風速はあらかじめ模型に約4.7m/s(7歳児の50m走平均速度³⁾)で送風されるように調整した。

直立状態は、着火した時の状態で実験を行った。

伏臥状態は、着火から5秒経過後に、着火面が下になるように模型を床と水平に倒した。なお、この時床と模型は接しないようにした。

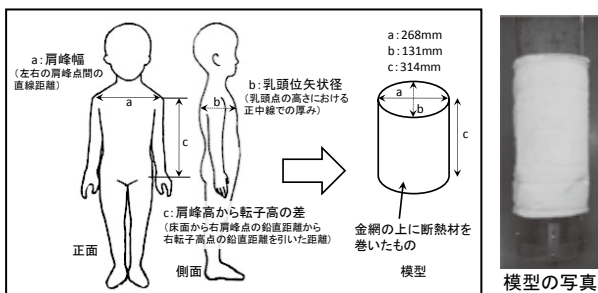


図3 実験に使用した7歳児の体型に合わせた模型

(2) 回転と空隙の影響

着衣着火部分と床面との接触時間を変化させた時の燃焼状況を観察するとともに、体の凹凸により床面と身体との間に生じる空隙が燃焼状況に与える影響を考察し、効果的なロールの方法について検討した。

ア 模型の作製

実験は、前(1)、アで作製した模型を使用した。空隙がある場合の模型は、人体が床上で仰臥位になった際に腰部にできる空隙を想定し、床面と接触した際に幅40mm、深さ25mmの帯状の空隙ができるように加工した。また、模型には着衣を模した綿100%の生地を張り付けた。

イ 実験方法

(7) 模型を図4の実験装置の耐熱ガラスの上に設置し、模型の中央に着火剤0.5gを塗布し着火した。

(1) 着火面を上向きにして燃焼させ、着火から1分後に決められた速度で模型を回転させて消火の有無を確認した。

(7) 模型を回転させる速度は、25rpmと50rpmの2種類で行った。また、着火面が耐熱ガラスと正対した状態で回転を止め、そのまま実験を継続したものを回転速度0rpmの場合とした。

(5) 回転と空隙の影響の評価は、耐熱ガラス越しにビデオカメラで模型の燃焼部分と接触部分を撮影した映像と、生地燃焼面積の測定結果により行った。

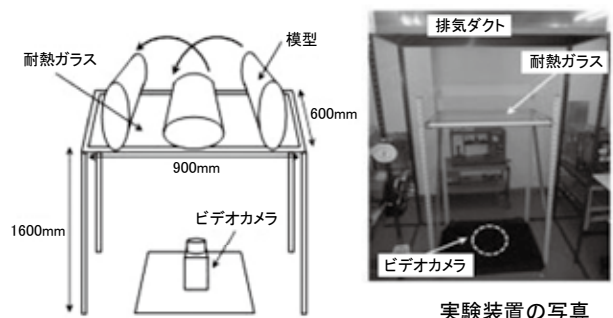


図4 回転と空隙の影響を検討するための実験装置

(3) 効果的なドロップ姿勢の検討

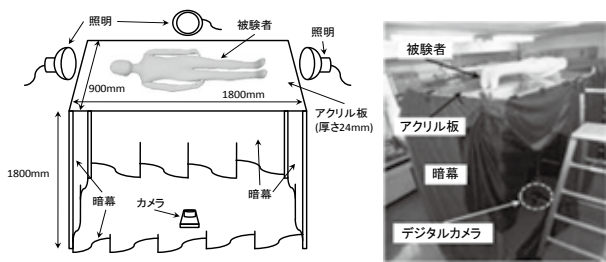
被験者と床面の接触部位及び面積を測定することにより、SDRのドロップとロールについて、上肢の位置を変えた5種類の姿勢を検討し、接触面積が大きく、着衣着火時に最も効果的な消火が期待できる姿勢を検討した。

ア 実験装置の作製

周囲を暗幕で覆った骨組みの上にアクリル板を乗せ、アクリル板の周囲から中央に向けて照明を照らす実験装置⁴⁾を作製した(図5)。

イ 実験方法

アクリル板の上で身体にフィットする白の衣類を着用した被験者に図6に記された姿勢をとってもらった。このとき、被験者に対しては図6に記された説明以外、具体的な姿勢については説明していない。一つの姿勢につき伏臥状態及び仰臥状態をそれぞれ行ってもらい、アクリル板との接触部位を撮影した後、画像を解析して上半身の体幹部分の接触面積を算出した。



実験装置の写真

図5 効果的なドロップ姿勢の実験で使用した実験装置

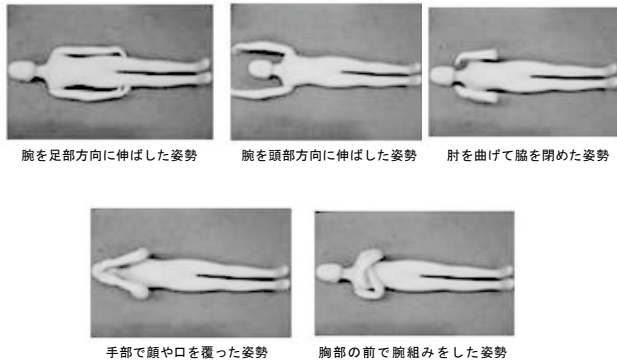


図6 被験者の姿勢

表1 被験者の身体データ

被験者	性別	年齢	BMI
A	男性	38歳	24.0
B	男性	32歳	22.4
C	男性	33歳	23.9
D	男性	32歳	21.8
E	男性	42歳	22.8

(4) 人体模型を使用した実大消火実験

前(3)の結果(4、(3)に後述)から、耐火被覆をしたマネキン(図7)を、「腕を足部方向に伸ばした姿勢」に成形し、各条件において、SDRにより着衣着火が消火できるか確認した。

ア 実験方法

マネキンに塗布した着火剤0.5gにライターで着火した後、30秒間マネキンを直立の状態にしたまま着衣を燃焼させ、その後、SDRのドロップ及びロールを実施した。ロールは25rpmで30秒間継続し、着衣着火部位の消火の成否を目視で確認した。



図7 実験で使用したマネキン(左)と実験の様子(右)

イ 実験条件

(7) 着衣の材質の違いによる消火効果の確認

表2に示す材質または構造の異なる衣類をマネキンに着せ、SDRにより消火できるか確認した。なお、着火部位は、マネキンの垂直正中線上の腹部にあたる位置(床から650mm)とした。

表2 実験に使用した衣類の材質及び構造

使用した衣類	材質	構造
甚平	綿 100%	
浴衣	綿 100% (帯: 綿 20% ポリエステル 80%)	
部屋着A	綿 100%	
部屋着B	綿 100%	
部屋着C	綿 35% ポリエステル 65%	
部屋着D	ポリエステル 100%	

(1) 床面の材質の違いによる消火効果の確認

表3に示す床面の材質の場合、SDRにより消火できるか確認した。なお、着火部位は前(7)と同様とした。

表3 床面の想定と材質

想定	使用した衣類	床面の材質
屋外でがん具煙火の使用中に着衣に着火	甚平 浴衣	土
灯明から着衣に着火	部屋着C	畳
調理火が着衣に着火		絨毯 (ポリエステル 100%)

(7) 着火部位の違いによる消火効果の確認

体幹部等の着火部位のうち、胸部、背部、臀部の3か所及び脇腹の計4か所にそれぞれ着衣着火した際において、SDRにより消火できるか確認した。なお、使用した衣類は部屋着Cとした。

(7) 浴衣の袖に着火した場合の消火効果の確認

表2の浴衣をマネキンに着せ、浴衣の袖のたもと下端部に着火剤0.5gを塗布してライターで着火し燃焼させ、

20 秒後に SDR を実施し、消火できるか確認した。

4 検証結果と考察

(1) 行動遷移の有効性

走行状態、直立状態、伏臥状態の単位時間あたりの燃焼面積を図 8 に示す。また、それぞれの状態における単位時間あたりの燃焼拡散状況を図 9 から図 11 に示す。なお、図 9 から図 11 は、模型の燃焼状況を動画で撮影し、静止画を取り出した後に画像解析したものでそれぞれの縮尺は異なることから、各状態ごとの大きさの比較はできないものであることに注意されたい。

走行状態は、単位時間あたりの模型の燃焼面積が最も大きくなった。そのため、着衣着火時には走行状態を継続することが最も危険であることがわかった。また、燃焼方向は風下方向に扇状に急速に広がった(図 8、図 9)。

直立状態は、最も単位時間あたりの模型の燃焼面積が小さかった。しかし、この状態は燃焼方向に頭部があり、この状態を継続すると鼻口から吸引した熱気による気道熱傷の恐れがあり、燃焼面積は小さくても、重症に至ることが予想される(図 8、図 10)。

伏臥状態は、模型を水平にした直後の 5 秒後から 10 秒後にかけては一時的に模型の燃焼拡散幅が小さくなったが、その後同心楕円状に急速に燃焼が広がった。このことから、伏臥状態で床面との接触がない場合は、即時に有効な窒息消火の手段を図る必要がある(図 8、図 11)。

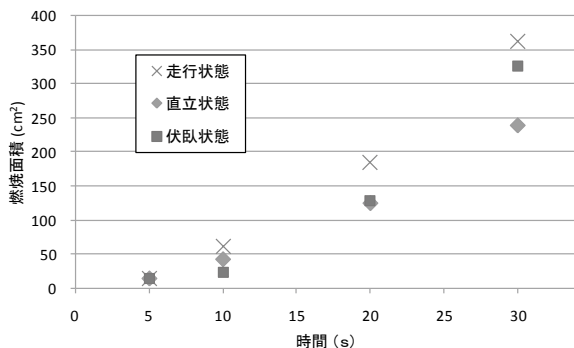


図 8 各状態の単位時間における燃焼面積

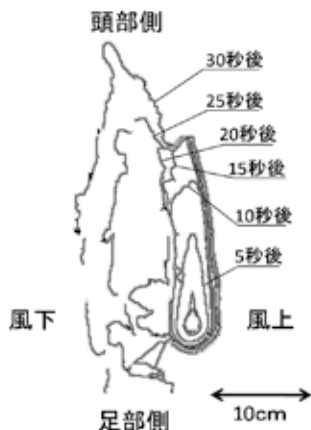


図 9 走行状態の模型の燃焼拡散状況

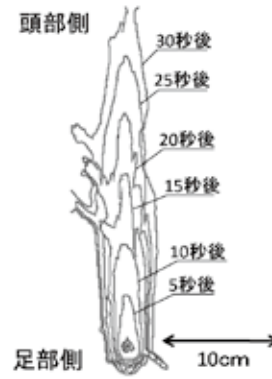


図 10 直立状態の模型の燃焼拡散状況

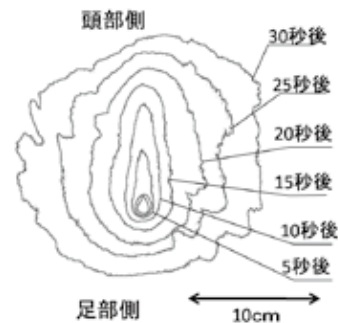


図 11 伏臥状態の模型の燃焼拡散状況

(2) 回転と空隙の影響

実験後の燃焼面積を測定した結果を図 12 に示す。

空隙がない条件では回転を始めてから模型の燃焼部分が耐熱ガラスと接触すると同時に消滅したため、燃焼面積が小さくなった。また、消炎後の燃焼面積は、回転速度を上げると多少抑えられるが、明確な差があるとはいえない。

空隙がある条件では、回転速度 0 rpm の場合、空隙部分の燃焼が抑えられたため回転速度 25rpm と 50rpm の場合と比較して燃焼面積は小さくなった。一方、回転速度 25rpm と 50rpm の場合では、空隙部分が全て燃焼したため、空隙の分だけ燃焼面積は大きくなった。

これらのことから、着衣に着火した際に床面をロールして消火するには、回転速度の遅速を意識するよりも、燃焼部分を床面と人体で挟み込むようにし、空隙を小さくしなければならないといえる。

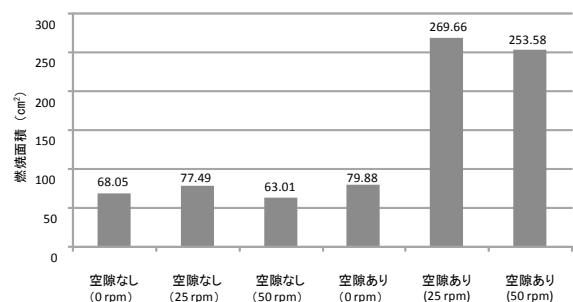


図 12 空隙の有無及び回転速度の変化による燃焼面積

(3) 効果的なドロップ姿勢の検討

被験者Aの各姿勢での接触状況を図13に示す。また、被験者AからEの体幹部等の接触部分の面積を測定した結果のうち、伏臥状態を図14、仰臥状態を図15に示す。

図13から図15の結果、「腕を足部方向に伸ばした姿勢」が伏臥状態と仰臥状態の両方で接触面積が最大となった。次に接触面積が大きかったのは、「肘を曲げて脇をしめた姿勢」であった。その他の姿勢については、伏臥状態では、「腕を頭部方向に伸ばした姿勢」、「手部で顔や口を覆った姿勢」、「胸部の前で腕組みをした姿勢」の順に接触面積が大きかったが、仰臥状態では被験者ごとに接触面

積が異なる結果となった。

「腕を足部方向に伸ばした姿勢」の側臥状態を撮影し、接触部分のみを取り出した画像を図16に示す。左図はやや下向き、右図はやや上向きの時である。やや上向きの際は胸部、腹部が、下向きの際は背部、脇腹、腰部、臀部が床面と接触し、側臥状態でも十分に床面と接触することが確認できた。

これらのことから、着火部位の約半数を占める体幹部等に対して、最も床面と接触面積が大きく、効果的な消火が期待できる姿勢は、「腕を足部方向に伸ばした姿勢」であることがわかった。

姿勢		腕を足部方向に伸ばした姿勢	腕を頭部方向に伸ばした姿勢	肘を曲げて脇をしめた姿勢	手部で顔や口を覆った姿勢	胸部の前で腕組みをした姿勢
伏臥状態	実写					
	解析					
仰臥状態	実写					
	解析					

図13 各姿勢での接触状況（被験者A）

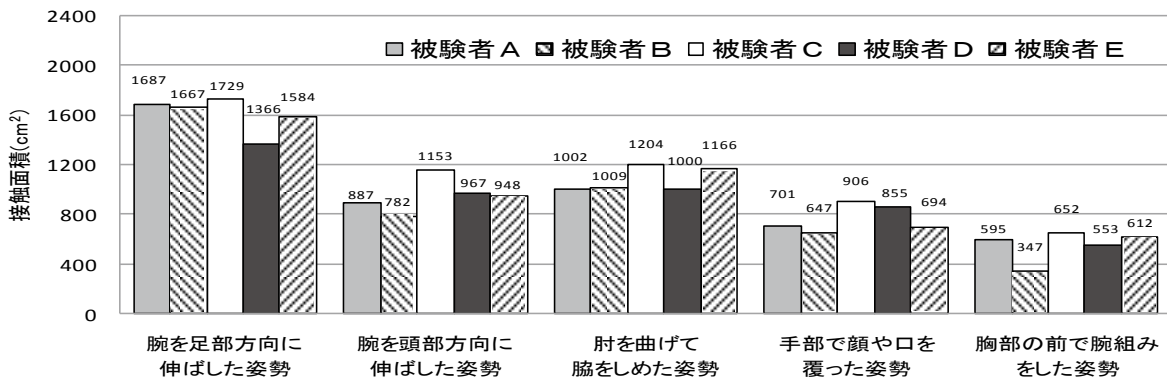


図14 伏臥状態におけるアクリル板と体幹部等の接触面積の測定結果

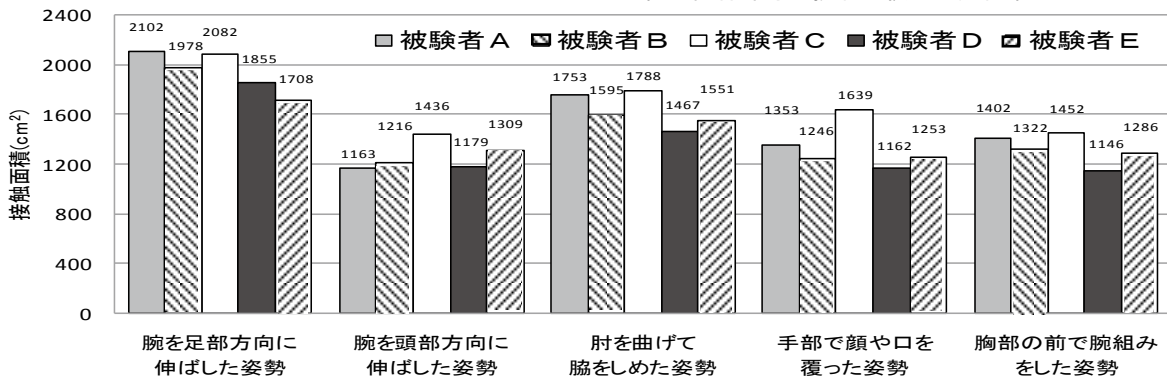


図15 仰臥状態におけるアクリル板と体幹部等の接触面積の測定結果

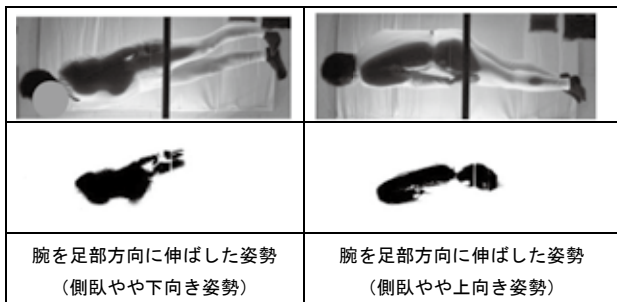


図 16 腕を足部方向に伸ばした姿勢
(上：実写、下：体幹部等の接触部分)

(4) 人体模型を使用した実大消火実験

ア 着衣の材質の違いによる消火効果の確認

実験結果を表 4 に、実験後の状況を図 17 にそれぞれ示す。

部屋着 C 以外の衣類は SDR により消火に至った。薄く織り目が大きい生地で作られた甚平や部屋着 A などの衣類は、着火後の延焼は速かったが、ドロップ及びロールを実行すると消火した。

部屋着 C は、着火後にポリエステルが熔融し、上方に燃え広がる他に、他の材質に比べて下方に延焼が広がる燃え下がりが見られた。これにより、着衣の股下に延焼したため、ドロップ及びロールを実行しても股下の部分は床面との接触がないので臀部に延焼拡大し、股下から臀部にかけて燃焼が継続した。

表 4 着衣の材質の違いによる消火効果の確認結果

使用した衣類	消火成否
甚平	消火
浴衣	消火
部屋着 A	消火
部屋着 B	消火
部屋着 C	燃焼継続
部屋着 D	消火

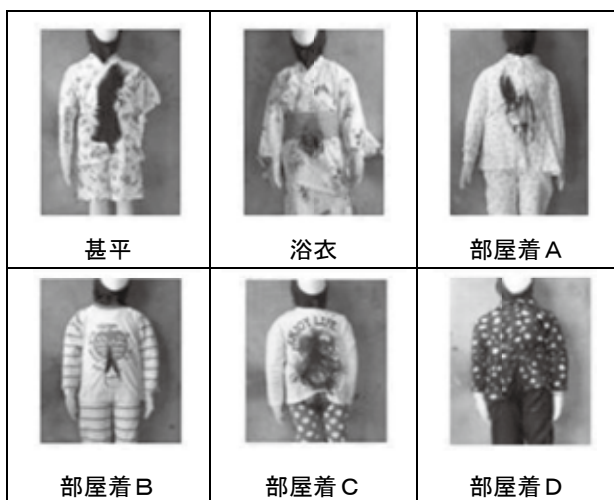


図 17 実験後の状況 (着火部位：腹部)

イ 床材の違いによる消火効果の確認

実験結果を表 5 に、実験後の状態を図 18 にそれぞれ示す。

床材の違いにかかわらず、すべての条件で SDR により消火に至った。調理火が部屋着 C に着火したため絨毯の上で SDR を実行した想定では、ドロップ及びロールを実行後すぐに消火した。絨毯は着衣の炎が接触した箇所は熔融したが、着火には至らなかった。

表 5 床面の材質の違いによる消火効果の確認結果

想定	使用した衣類	床面の材質	消火成否
屋外でがん具煙火の使用中に着衣に着火	甚平	土	消火
	浴衣	土	
灯明から着衣に着火	部屋着 C	畳	
		絨毯	
調理火が着衣に着火			

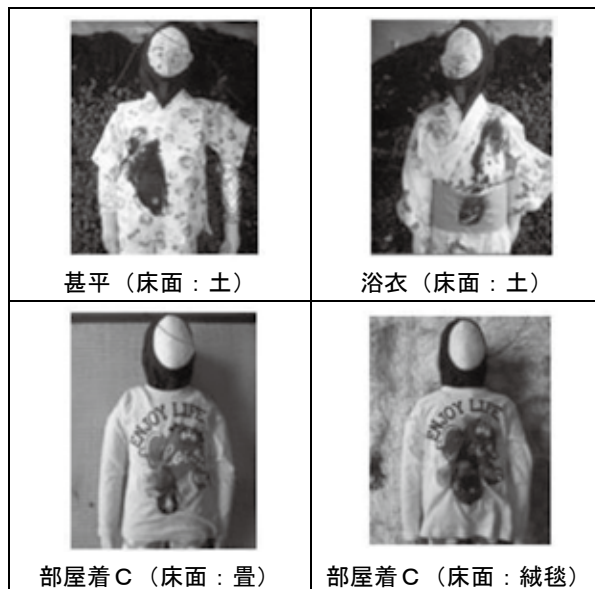


図 18 実験後の状況 (着火部位：腹部)

ウ 着火部位の違いによる消火効果の確認

実験結果を表 6 に、各着火部位の状態を図 19 にそれぞれ示す。

着火部位の違いにかかわらず、すべての条件で SDR により消火に至った。

表 6 着火部位の違いによる消火効果の確認結果

使用した衣類	着火部位	消火成否
部屋着 C	胸部	消火
	背部	
	臀部	
	脇腹	



図 19 実験後の状況
(使用した衣類：部屋着 C)

エ 浴衣の袖に着火した場合の消火効果の確認

実験結果を表 7 に示す。着火してから 20 秒後にはマネキンの肩部付近まで延焼した。その後、SDR を実施しても、袖を人体と床面とで挟み込むことが困難であり、また、上肢と体幹部等の間に空隙ができるため、消火には至らなかった。

表 7 浴衣の袖に着火した場合の消火効果の確認結果

床面の材質	消火成否	実験後の状況
土	燃焼継続	

5 おわりに

本検証結果を踏まえた効果的な SDR の方法は以下のとおりである。

- (1) 着衣着火した場合、すぐに着火部位を人体と床面で挟み込むようにドロップする。その際、「腕を足部方向に伸ばした姿勢」をとると、床面との接触面積が最大となる。
- (2) 着火部位が広範囲である場合、または背部、腰部、臀部など目視で着火部位を確認し難い場合はロールする。その際、回転速度を気にする必要はないが、体をできるだけ床面と接触させる。
- (3) 以下の場合には消火が困難になることが考えられるので注意が必要である。
 - ア 着衣の肩峰部や股など、着火部位を人体と床面と

で挟み込むことが困難な部位に着火した場合。

イ 浴衣や着物の袖やスカートなど、人体との間にゆとりがあり、着火部位を人体と床面とで挟み込むことが困難な着衣に着火した場合。

[参考文献]

- 1) 東京消防庁生活安全課（現、防災安全課）：児童等に対する総合防災教育マニュアル、平成 21 年 3 月
- 2) 社団法人日本機械工業連合会及び社団法人人間生活工学研究センター：平成 19 年度機械製品の安全向上のための子どもの身体特性データベースの構築及び身体特性データベースを用いた人体損傷可視化手法の開発に関する調査報告書、平成 20 年
- 3) 東京都立大学体力標準値研究会：新・日本人の体力標準値 2000、平成 12 年 7 月
- 4) 川又大祐ほか：快適性を考慮した異なる暖房方式のエネルギー評価手法に関する研究（その 4）人体の床面接触面積の測定、日本建築学会大会学術講演概要集、平成 19 年 8 月