

## 火災現場で発生する有害物質の危険性に関する検証（第3報）

笠見 優一\*，戸田 博章\*，松田 侑也\*，佐々木 航\*，湯浅 弘章\*\*

### 概要

国際標準化機構（International Organization for Standardization、以下「ISO」という。）が改訂されたことに伴い、今後、国内のガイドラインに消防隊員用個人用防護装備（以下、「PPE：Personal Protective Equipment」という。）のメンテナンス方法が反映される予定である。

火災現場では、可燃物の燃焼反応等によって発がん性物質が発生することが分かっているが、実際の火災現場で使用された防火衣に付着している発がん性物質の状況や、発がん性物質が付着した防火衣の効果的な除染方法に関して、十分に報告されていないのが現状である。

本研究では、消防隊員の長期的な健康被害を防止することを目的として、火災現場において使用された防火衣に付着した発がん性物質の状況を調査するとともに、消防隊員に安全で綺麗な防火衣を提供するための選択肢の一つとして、防火衣の洗浄方法に着目し、防火衣に付着した発がん性物質の効果的な洗浄方法を検討した。

その結果、火災現場で使用された防火衣には、煤やアントラセン等の発がん性物質が付着していることが確認された。また、発がん性物質に汚染させた防火衣生地片を防火衣に縫い付けて、防火衣用洗濯機、家庭用洗濯機及び手洗い（ブラシ）による除染効果を比較した結果、手洗いより、防火衣用洗濯機及び家庭用洗濯機による洗浄効果が高くなった。また、同種洗浄方法であれば、高い水温または少ない枚数で洗浄した方が、洗浄効果が高くなると考えられる。

### 1 はじめに

近年、火災現場で発生する発がん性物質が消防隊員における長期的な健康被害のリスクを高めることが問題視されている。米国における報告書では、火災現場で発生する発がん性物質や消防隊員の発がんリスクについて言及しており、消防隊員の発がんリスクを低減するために実施すべき行動指針が示されている<sup>1)</sup>。火災現場で発生する発がん性物質に対して、既に対策を講じている海外の消防本部では、火災現場から持ち帰った防火衣をクリーニング業者や防火衣用洗濯機を活用して洗浄を実施することで、消防隊員における健康被害リスクの低減に努めている。また、有害物質に汚染されたPPEによる消防隊員の健康被害に対する懸念を受けて、2022年には国際標準化機構におけるPPEのクリーニング、検査及び修理に関する項目が改訂され、健康被害のリスクを効率的に最小化する基準を示した<sup>2)</sup>。

このように、火災現場で発生する有害物質、特に長期的な健康被害のリスクを高める発がん性物質について、国際的に取り組むべき課題とされており、日本国内においても、消防隊員における健康被害のリスクを低減するための具体的な方策を検討する必要がある。

東京消防庁では、令和2年度より、火災現場で発生する有害物質について継続して調査を行い、火災環境において発生する揮発性有機化合物の発生状況や除染の必要性<sup>3)</sup>、多環芳香族炭化水素（以下、「PAH：Polycyclic Aromatic Hydrocarbons」という。）の付着状況や有効な除染方法を示した<sup>4)</sup>。

しかし、これらの研究は、国際がん研究機関（以下、「International Agency for Research on Cancer：IARC」という。）の発がん性分類<sup>5)</sup>において「グループ1（人に対する発がん性があると考えられる）」に分類されている、ベンゾ(a)ピレン（以下「BaP：Benzo-a-Pyrene」という。）や煤について、火災環境を模擬的に再現した状況において調査したものであり、実火災現場における調査を実施していない。また、除染方法についても、防火衣生地片を用いたものであり、実物の防火衣を用いた除染方法を検討していない。

実火災現場で発生した発がん性物質は、防火衣等の個人装備品を通じて消防隊員が暴露すると考えられ、実火災現場で使用された防火衣等に付着した発がん性物質の有無等を調査する必要がある。

また、洗濯機器による防火衣の洗浄効果（除染効果）

\*安全技術課 \*\*多摩消防署

を検討する際には、洗濯機器内における被洗物の挙動によって、被洗物に加わる機械作用が異なる可能性があることや、その機械作用は洗浄効果に影響を及ぼす要因とされていることから<sup>6)</sup>、実物の防火衣を用いて洗浄を実施し、洗浄効果を明らかにする必要がある。

現在当庁では火災現場で使用した防火衣を、ブラシを用いた手洗いによって洗浄しているが、防火衣を洗濯する手段としては、市場に流通している防火衣用洗濯機も挙げられる。しかし、防火衣用洗濯機は、高価かつ大きく、設置場所も限定的となる。一方、家庭用洗濯機は、安価かつ現在消防署に既に設置されているため、防火衣洗濯の選択肢の一つとして、検討するに値すると考えられる。

以上のことから、本研究は、①実火災現場において使用された防火衣に付着する発がん性物質の状況調査及び②防火衣用洗濯機、家庭用洗濯機及び手洗い洗浄方法における洗浄効果を比較し、火災現場で発生する発がん性物質の効果的な洗浄方法を明らかにすることとした。

## 2 着目した発がん性物質

世界保健機関（WHO：World Health Organization）の一機関であり、発がん原因の特定や発がん性物質のメカニズムについて調査を担う IARC において、特定の物質が人に対する発がん性を有するかどうかについて、研究や調査に基づいた「証拠の強さ」によって4段階に分類している<sup>5)</sup>。IARCによる発がん性分類を表1に示す。なお、煤やBaP及びベンゼンは、グループ1に分類されている。燃焼環境において生成される煤はPAHによって構成されている<sup>7)</sup>。

表1 IARCによる発がん性分類

グループ	発がん性	証拠
グループ1 (ヒトに対して発がん性がある。)	ヒトにおいて十分な発がん性の十分な証拠がある。	
グループ2A (ヒトに対しておそらく発がん性がある。)	<ul style="list-style-type: none"> <li>ヒトにおいて発がん性の限定的な証拠がある。</li> <li>実験動物において発がん性の十分な証拠がある。</li> <li>作用因子が発がん性物質の主要な特性を示す有力な証拠がある。</li> </ul>	
グループ2B (ヒトに対して発がん性がある可能性がある。)	<ul style="list-style-type: none"> <li>ヒトにおいて発がん性の限定的な証拠がある。</li> <li>実験動物において発がん性の十分な証拠がある。</li> <li>作用因子が発がん性物質の重要な特性を示す有力な証拠がある。</li> </ul>	
グループ3 (ヒトに対する発がん性について分類できない。)	<ul style="list-style-type: none"> <li>他のグループに分類できない作用因子</li> <li>発がん性がないことを示すものではない</li> <li>作用因子が未知である可能性</li> <li>研究の著しい不足</li> </ul>	

## 3 方法

### (1) 防火衣に付着する発がん性物質の状況調査

実火災現場で使用された防火衣に付着する煤やPAHに

関する状況を把握するため、ア及びイの調査を行った。

### ア 火災現場における防火衣の回収

#### (ア) 回収方法

東京消防庁管内で発生した部分焼以上の建物火災に出場したポンプ隊員のうち、内部進入し、明らかに煤汚れが認められる防火衣を回収した。回収に該当した防火衣における焼損程度や用途の内訳を表2に示す。また、ウェットティッシュを用いて、火災現場における焼損物の煤汚れやポンプ隊員の肌の拭き取り調査を実施した。

なお、拭き取り調査に関しては、東京消防庁技術改良検証倫理審査専門部会の承認のもと、当該ポンプ隊員に対して、検証の目的、方法を説明するとともに、検証への参加の同意を書面にて得た。

表2 回収した防火衣における焼損程度及び用途

	住宅	ホテル	工場	計(着)
全焼			1	1
半焼	1			1
部分焼		1		1
計(着)	1	1	1	3

#### (イ) 測定方法

回収した防火衣において、目視で最も煤が付着している部分を切り取った後、ジエチルエーテル 50ml に浸して超音波抽出を2分間行い、ガスクロマトグラフ質量分析計（以下「GC-MS:Gas Chromatography Mass Spectrometry」という。）を用いて分析した。使用した分析機器及び測定条件を表3に示す。

表3 分析機器及び分析条件

装置構成	
ガスクロマトグラフ	7890B GC System (アジレント・テクノロジー社)
質量分析装置	5977B MSD (アジレント・テクノロジー社)
GC-MS 条件	
カラム	HP-1、長さ 30m、内径 0.25 mm、膜厚 0.25 μm
オーブン温度範囲	40°C (1分) ~ 300°C (5分)
昇温速度	5°C/分
スプリット比	スプリットレス及び 20 : 1
検出器温度 (イオン源)	230°C
検出温度 (四重極)	150°C
測定方法	SCAN (全イオン検出) 及び SIM
キャリアガス	He

### イ 防火衣生地片の配布及び回収

#### (ア) サンプル (防火衣生地片) の作成方法

当庁で使用している防火衣と同じ表地、透湿防水層及び断熱層の生地を 100×130mm に裁断、縫製し、生地片を作成した。生地片及び構造について、表4及び表5に示す。また、作成した生地片にマジックテープを取り付け、呼吸器の胸バンドに巻き付けられる構造とした(写真1)。

表4 防火衣生地片の構造

生地層	材質
1層目：表地（最外層）	メタ系アラミド、パラ系アラミド
2層目：透湿防水層（中間層）	アラミド生地、透湿防水層
3層目：断熱層（最内層）	アラミドを主体とした難燃生地

表5 防火衣生地片の縫製前及び縫製後

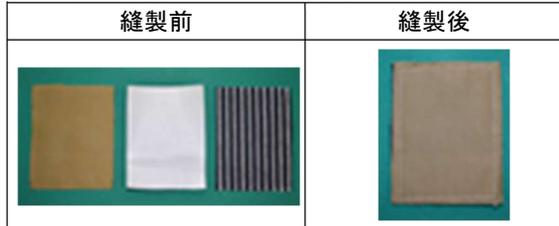


写真1 生地片サンプルの取付け状況

(イ) サンプルの配布及び回収方法

サンプルを東京消防庁の救助隊 28 隊に配布し呼吸器の胸バンドに取り付けた。サンプルを取り付ける期間は令和4年6月から9月までとし、サンプルを取り付けた状態で部分焼以上の火災に出場した場合、当該生地片を速やかに回収した。期間内に部分焼以上の火災に出場しなかった場合は、取付け期間終了後に回収した。回収に該当したサンプルにおける焼損程度や用途の内訳を表6に示す。サンプル回収後は、目視で明らかに煤汚れが認められるサンプルを用いて、前ア(イ)と同様の方法で GC-MS により測定を行った。なお、マジックテープの粘着成分がジエチルエーテルに溶解しないよう、マジックテープ貼付部分の生地片を除いた状態で、抽出作業を行った。

表6 回収したサンプルにおける焼損程度及び用途

	住宅	共同住宅	ホテル	工場	複合	長屋	計(枚)
全焼	15						15
半焼	6						6
部分焼	9	12	3	3	9	3	39
ぼや				3			3
計(枚)	30	12	3	6	9	3	63

(2) 洗浄効果の比較実験

各種洗浄方法による発がん性物質の除染効果を評価するため、擬似的に発がん性物質で汚染させた防火衣生地片（以下「サンプル」という。）の発がん性物質量を洗浄前後で分析、比較した。

ア サンプルの作成方法

表4と同様の構造で作成した100×130mmの生地片を、発がん性物質を溶解させたジエチルエーテルで汚染させた。発がん性物質は、既報の研究において火災現場で存在が確認されている物質で、かつ物質の危険性等を考慮し、BaP（富士フィルム和光純薬株式会社）及びアントラセン（東京化成工業株式会社）を選択した。

上記2種の物質が100mg/Lとなるようジエチルエーテルで調製した溶液を防火衣生地片に10mL滴下した後、30分間静置し、ジエチルエーテルを揮発させた。その後、安全ピンを用いて、防火衣上衣の袖、裾及び下衣の裾の3か所に取り付けた（表7及び表8）。

イ 洗浄方法

サンプルを防火衣上位の袖、裾及び下衣の裾の3か所（表7及び表8）に安全ピンを用いて取付け、以下の(ア)～(エ)の方法で洗浄した。

(ア) 防火衣用洗濯機（水温40℃）

防火衣用洗濯機（回転ドラム型、防火衣上衣下衣を最大6セット洗濯可能）を用いて、つけおき、予洗い1回、本洗い1回、すすぎ3回、最終すすぎ及び脱水を行った。本洗い時の水温を40℃に設定し、防火衣用洗剤及び防火衣用撥水剤を用いた。防火衣用洗剤は弱アルカリ性で、洗剤の量は防火衣用洗濯機において定められている推奨比率とした。洗浄後は防火衣用乾燥機を用いて、150分間乾燥させた。洗浄時及び乾燥時における防火衣の着数は3着及び6着とした。使用した防火衣用洗濯機及び防火衣用乾燥機を写真2に示す。なお、水温については、NFPA1851<sup>8)</sup>で推奨されている防火衣の洗濯時の温度40.5℃を参考とした。



写真2 防火衣用洗濯機及び防火衣用乾燥機

表7 サンプルの取付け状況（上衣）

		
防火衣上衣		
		
右 袖	右 肘	右 裾

表8 サンプルの取付け状況（下衣）

	
	右 膝
	
防火衣下衣	右 裾

(イ) 防火衣用洗濯機（水温 60℃）

前イと同様の工程で、本洗い時の水温を 60℃で洗浄を実施した後に、防火衣用乾燥機を用いて、150 分間乾燥させた。洗浄時及び乾燥時における防火衣の着数は 1 着及び 6 着とした。

なお、水温については、ISO<sup>2)</sup> で定められている防火衣の高度な洗濯時の水温上限温度 60℃を参考とした。

(ウ) 家庭用洗濯機

全自動家庭用洗濯機（渦巻き型、防火衣上衣下衣を最大 2 セット洗濯可能）を用いて、洗いを 5 分、すすぎを 2 回行った。洗剤は防火衣用洗剤を用いて、水と洗剤の比率は洗剤推奨比率とした。洗浄で使用した家庭用洗濯機を写真 3 に示す。洗浄時の水温は上水温度で 9.5℃だった。安全面（脱水時に洗濯機の転倒及び損傷のリスク）を考慮して、脱水は行わず、洗浄後は家庭用乾燥機で 180 分乾燥させた。洗浄時及び乾燥時における防火衣の着数は 1 着とした。



写真 3 家庭用洗濯機（渦巻き型）

(エ) ブラシによる洗浄

化学繊維を用いた固い毛のデッキブラシを用いて洗浄することで、防火衣表面生地が損傷する可能性を考慮し、毛先の柔らかい馬毛のブラシを用いて洗浄を実施した。洗浄で使用したブラシを写真 4 に示す。なお、ブラシ線材の形状は直線、密度は約 170 本/cm<sup>2</sup>、長さは 4.5cm、太さは直径約 0.3 mm であった。

サンプルの表面を 10 秒間水道水ですすぎ、イで使用した防火衣用洗剤 1 ml を生地片に滴下し、60 秒間、馬毛ブラシでこすった後に 30 秒間水道水ですすいだ。乾燥方法は日の当たらない屋内で自然乾燥とした。



写真 4 ブラシ（馬毛）

ウ 測定方法

洗浄前後のサンプルを GC-MS による定量分析を行い、各洗浄方法における発がん性物質の除去率を評価した。分析機器及び分析条件は表 3 と同様とし、測定方法は SIM 法を用いた。

洗浄前のサンプル 1 枚をジエチルエーテル 100mL に浸して超音波抽出を 2 分間行った後、GC-MS により分析を行い、得られた BaP 及びアントラセンのピーク面積を基準値とし、洗濯後のサンプルから同方法で得られた 3 枚分のピーク面積の総和と比較することで、各洗浄方法における発がん性物質の除去率を算出し、相対的に各洗浄方法による発がん性物質の洗浄効果の評価を行った。

4 結果

(1) 火災現場における汚染状況の調査

火災現場より回収した生地片において、IARC による発がん性分類でグループ 1 に該当する煤の付着が確認された。また、火災現場から回収した防火衣及び拭き取り調査で使用したウェットティッシュにおいて確認された発がん性物質を表 9 及び表 10 に示す。火災現場より回収した防火衣及び拭き取り調査で使用したウェットティッシュより、IARC による発がん性分類のグループ 1 に該当する煤及びグループ 3 に該当する物質の付着が認められた。

表 9 火災現場から回収した防火衣の分析結果

検出された物質	IARC による発がん性分類
煤	グループ 1 ヒトに対して発がん性がある
アセナフチレン、フルオレン アントラセン、フルオランテン	グループ 3 ヒトに対する発がん性について 分類できない

表 10 火災現場における拭き取り調査の分析結果

検出された物質	IARC による発がん性分類
煤	グループ 1 ヒトに対して発がん性がある
アントラセン、フェナントレン フルオランテン、ピレン メチルフェナントレン	グループ 3 ヒトに対する発がん性について 分類できない

(2) 洗浄効果の比較実験

防火衣用洗濯機、家庭用洗濯機及びブラシによる洗浄効果を比較した結果を図 1 に示す。洗浄前の基準値としたアントラセン及び BaP それぞれの値に対して、洗浄後に減少した値（洗浄前の基準値 - 洗浄後の測定値）との割合を除去率とし、(1)式のとおり算出した。

$$\frac{\text{洗浄前の基準値} - \text{洗浄後の測定値}}{\text{洗浄前の基準値}} (\%) \dots(1)$$

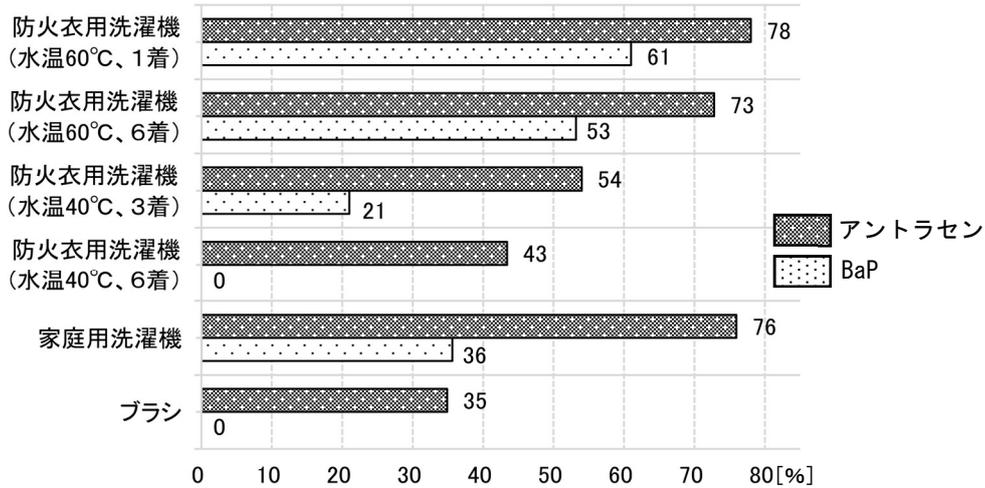


図1 アントラセン及びBaPの除去率

防火衣用洗濯機を用いて、水温 60°Cで防火衣 1 着を洗浄した場合において最も除染率が高かった。また、防火衣用洗濯機を用いて水温 60°Cで防火衣 6 着及び水温 40°Cで防火衣 3 着を洗浄した場合や、家庭用洗濯機で洗浄した場合において、アントラセン及びBaPの除染効果が認められた。一方、防火衣用洗濯機（水温 40°C、6 着）及びブラシによる洗浄では、アントラセンの除染効果は認められたが、BaPの除染効果は認められなかった。

## 5 考察

### (1) 防火衣に付着する発がん性物質の状況調査

防火衣に付着する発がん性物質の状況を調査したところ、火災現場で使用された防火衣から IARC による発がん性分類におけるグループ 1 及び 3 に該当する複数の物質が検出された。また、焼損物の拭き取り調査を実施した結果、グループ 1 に該当する煤及びグループ 3 に該当する複数の物質の付着が認められた。

煤は、不完全燃焼により生成されるが、その生成過程において、煤の前駆体として、PAH が形成される<sup>7)</sup>。PAH の多くは発がん性物質であるため、煤が発がん性物質であるのはそのためと考えられている。今回の調査では、防火衣生地片から煤の付着が確認されたことから、防火衣には発がん性物質が付着していることが確認できた。

なお、今回の調査で煤以外のBaP等の固有の発がん性物質を検出できなかったのは、防火衣生地片等に付着するPAHが少量であったためGC-MSで検出できなかった、もしくは煤に含有しているPAH等の発がん性物質がジエチルエーテルでは分離抽出できなかった可能性が考えられる。

今までの調査及び今回の調査によって、①火災現場では発がん性物質が発生すること<sup>3,4)</sup>、②火災現場で使用された防火衣には発がん性物質が付着していること、以上の2点を考慮すると、火災現場で活動中及び活動後の消

防隊員が発がん性物質に暴露されているのは間違いない。そのため、PPEの効果的な洗浄、煤等が付着した肌露出部の拭き取りや帰署後の二次汚染防止を実施し、消防隊員における長期的な健康被害のリスクを低減することが必要である。

### (2) 洗浄効果の比較実験

#### ア 防火衣用洗濯機

##### ア) 水温について

水温 60°C及び水温 40°Cでそれぞれ防火衣 6 着を洗浄した結果、水温 40°Cで洗浄した場合の除染率と比較して、水温 60°Cで洗浄した場合の除染率が高かった。洗浄温度を高めることにより、汚れの除去力が高まるとされていることから<sup>5)</sup>、より高い水温で洗浄したことにより除染率が高くなったと考えられる。ISOにおいて、防火衣洗濯時の水温上限温度が 60°Cとされていることも考慮すると、防火衣を選択する際の最適な水温は 60°Cと考えられる。

##### イ) 同時に洗濯する防火衣の数について

水温 60°C及び水温 40°Cにおいて、防火衣 6 着を洗浄した場合と比較して、水温 60 度の場合は防火衣 1 着、水温 40°Cの場合は防火衣 3 着の除染率が高かった。つまり、同種条件であれば同時に選択する防火衣の数が少ない方が洗浄効果が高くなった。その理由として、洗濯時の機械作用が考えられる。

本実験で用いた防火衣用洗濯機は、回転ドラム型の洗濯機であり、ドラム内の羽根を用いて被洗物を垂直方向に落下させる「たたき洗い」をすることで、被洗物に機械作用を加えて洗浄する特徴がある。そのため、同時に洗濯する被洗物の量によって、洗浄時における機械作用に違いが生まれる可能性がある。

今回、水温 60°C及び水温 40°Cそれぞれにおいて、防火衣 1 着及び防火衣 3 着を洗浄した場合と比較して、防火衣 6 着の除染率が低い値となった要因として、機械作用

の低下が考えられる。ドラム内に6着入れたことで、1着及び3着の時と比較してドラム回転時の防火衣の動きが制限され、垂直方向に落下するだけのスペースがなかったため、機械力が低下し、洗浄効果が低下したと考えられる。

また、今回の調査において防火衣用洗濯機において水温40℃で防火衣6着を洗浄した場合、BaPの除染効果が確認できなかった。洗浄効果には、洗濯時の水温が影響するのは今回の調査から明らかとなったが、水道より高い40℃の水温で洗浄した場合であっても、十分な機械作用が加わらなければ、高い水温で洗浄しても、洗浄効果が低下する可能性も十分に考えられる。

ISOにおいて、同時に洗濯する防火衣の量は、洗濯容量の50%から60%が推奨とされている。今回の調査でも、同時に洗濯する防火衣の数が少なければ、洗浄効果が高いことが明らかとなった。つまり、防火衣を洗濯する際には、洗浄効果を得られるよう、同時に洗濯する防火衣の数を考慮する必要があると考えられる。

#### イ 家庭用洗濯機

家庭用洗濯機を用いて常温の水温で防火衣1着を洗浄した結果、アントラセン及びBaPの除染効果が認められた。その理由として、防火衣に有効に機械作用を与えられたことが理由と考えられる。

本実験で用いた家庭用洗濯機は渦巻き型洗濯機であり、渦巻き状の水流を発生させて衣類同士をこすり合わせることで洗浄する。衣類同士をこすり合わせるため、回転ドラム型洗濯機のたたき洗いと比較して、洗浄時により強い機械力が被洗物に加えることができたと考えられる。さらに、今回の家庭用洗濯機は、防火衣上下を最大で2セット洗濯できる仕様であるが、実験時は上下1セットを洗浄したことで、少ない枚数でより機械作用を与えることができたと考えられる。

また、防火衣用洗濯機において40℃で防火衣6着を洗浄した場合の除去率と比較して、今回の家庭用洗濯機(常温、1着)の洗浄効果が高かったことは、洗浄効果には水温だけでなく機械作用も影響を与える可能性が高いとも捉えることができる。

以上より、家庭用洗濯機(渦巻き型洗濯機)は、上水温で洗浄を実施した場合においても、十分な機械作用により洗浄効果を発揮すると考えられる。

#### ウ ブラシ

ブラシによる洗浄を実施した結果、アントラセンの除染効果が確認されたが、BaPの除染効果は確認されなかった。本実験では、防火衣表面生地への損傷を防止するため、馬毛を用いた毛先の柔らかいブラシで洗浄を実施した。防火衣用洗濯機や家庭用洗濯機と比較して、ブラシによる洗浄は汚染部分に対して的確に機械作用を加えることができるため、効果的に除染できると考えられるが、本検証では、防火衣用及び家庭用の洗濯機と比較してブラシによる洗浄の除染率が低かった。防火衣用及び家庭

用の洗濯機による洗浄と比較して、毛先が柔らかい馬毛ブラシを用いた洗浄は、機械力が小さいほか、洗浄工程におけるすすぎの回数や水量が少なかったことから、これらの要因が影響し、除染率が低下した可能性が考えられる。

また、ISOにおいて、発がん性物質等を洗浄する場合、「適した専用のプログラムの洗濯機」で実施するとされている。ブラシによる洗浄は、危険を伴わない軽度の汚れの場合のみ認められ、発がん性物質を洗浄する選択肢としては認められていない。

洗浄効果が低いこと、及びISOにおいて発がん性物質を洗浄する選択肢として認められていないことを考慮すると、ブラシによる防火衣の洗浄は現実的でないと考えられる。

## 6 まとめ

- (1) 火災現場で使用された防火衣には、IARCによる発がん性分類において、グループ1「(人に対する発がん性があると考えられる)」に該当する煤及びアントラセン等のグループ3「(ヒトに対する発がん性について分類できない)」に該当する複数のPAHの付着が確認された。
- (2) 発がん性物質に汚染させた防火衣生地片を防火衣に縫い付けて、防火衣用洗濯機、家庭用洗濯機及び手洗い(ブラシ)による除染効果を比較した結果、手洗いより、防火衣用洗濯機及び家庭用洗濯機による洗浄効果が高くなった。また、同種洗浄方法であれば、高い水温または少ない枚数で洗浄した方が、洗浄効果が高くなると考えられる。

## 7 現在の状況と今後の課題

### (1) 対策案の選択肢

消防隊員の健康被害を防止するための対策として、今回は防火衣の洗浄方法に着目し研究を行ったが、他の対策案として、発がん性物質の付着防止加工や、現場での放水やエアによる除染等が考えられるため、今後も継続して調査研究を実施していく予定である。

### (2) 家庭用洗濯機の可能性について

今回の調査では、家庭用洗濯機でも防火衣に付着した発がん性物質を落とすことができることが判明した。家庭用洗濯機は、安価であり設置場所等に制約が少ないため、防火衣を洗濯する選択肢の一つとして費用対効果が高いと考えられるが、課題も存在する。

まず、一般的な家庭用洗濯機は、防水性の衣類(防火衣)を洗浄した場合、脱水時に洗濯機が異常振動することで、洗濯機が転倒もしくは使用者が受傷するおそれがあるため、防水性の衣類を洗濯することを禁止している場合が多い<sup>9)</sup>。そして、家庭用洗濯機は、防火衣を洗濯する目的で作られていないため、機械作用による防火衣への損傷度合いが不明である。当該課題について、今後も調査研究を実施して行く予定である。

(3) 煤の評価方法について

煤自体は発がん性物質であり、IARCでもグループ1に分類されている。煤には発がん性物質が強力に付着している可能性があり、今回の調査では現場の防火衣等を分析するも発がん性物質の検出ができなかった（溶媒により煤から分離できなかったと考えられる）。今後、煤自体を定量評価する方法で研究し、発がん性物質の洗浄効果を調査する予定である。

## 8 謝辞

本研究の実施にあたり、横浜国立大学の矢野教授には、お忙しい中多くの貴重な知見を賜り、深く感謝いたします。そして、本研究の趣旨に賛同し、調査にご協力いただいた消防署の皆様は心より御礼申し上げます。

### [参考文献]

- 1) International Association of Fire Chief's Volunteer and Combination Officers Sectionら:Lavender Ribbon Report、2021
- 2) International Organization for Standardization : ISO 23616 Cleaning, inspection and repair of firefighters' personal protective equipment、2022
- 3) 灰野健二、高松宜史、清水崇一：火災現場で発生する有害物質の危険性に関する検証（第1報）、東京消防庁消防技術安全所報、58号、pp.55-62、2021
- 4) 松田侑也、高松宜史、清水宗一：火災現場で発生する有害物質の危険性に関する検証（第2報）、消防科学セーフティレポート、59号、pp.57-66、2022
- 5) International Agency for Research on Cancer : IARC Monographs on the Identification of Carcinogenic Hazards to Humans、2019
- 6) 大矢勝:図解入門よくわかる最新洗浄・洗剤の基本と仕組み、株式会社秀和システム、2011
- 7) 戸野倉賢一:燃焼場における多環芳香族炭化水素とスス粒子の生成過程、エアロゾル研究、vol.29 (1)、pp.5-9、2014
- 8) NFPA:NFPA1851 Standard on Selection, care, and Maintenance of Protective Ensembles for Structural Fire Fighting and Proximately Fire Fighting
- 9) 一般社団法人 日本電機工業会：“防水性の衣料・繊維製品の洗濯機でのお洗濯・脱水は大変危険です”、2001、<https://jema-net.or.jp/Japanese/ha/sentakuki/bousui.pdf>、  
(参照 2023-03-17)

## Verification of the Risks of the Hazardous Substances at Fire Scenes (Report 3)

KASAMI Yuichi\*, TODA Hiroaki\*, MATSUDA Yuuya\*, SASAKI Wataru\*, YUASA Hiroaki\*\*

### Abstract

The International Organization for Standardization (ISO) has revised its guidelines for maintenance methods used for firefighters' personal protective equipment (PPE). Japanese PPE maintenance method guidelines are to reflect these revisions.

Although it is known that carcinogenic substances are generated at fire scenes due to combusive reactions of combustible materials and other sources, there are still not enough reports regarding the adhesion of carcinogenic substances to PPE clothing used at actual fire scenes, or enough reports regarding effective decontamination methods for carcinogenic substances adhering to PPE.

With the aim of preventing long-term health damage to firefighters, this study investigated the adhesion of carcinogenic substances to PPE used at fire scenes. We also investigated effective cleaning methods for carcinogenic substances as an option for providing firefighters with safe, clean PPE.

As a result of this study, we confirmed that carcinogenic substances such as soot and anthracene adhering to PPE used at fire scenes. In addition, we sewed PPE fabric samples contaminated with carcinogens onto PPE, and compared the decontamination effects of PPE washing machines, household washing machines, and hand washing (with brushes). Cleaning PPE washing machines and household washing machines proved to be more effective than hand washing. It is also likely that for the same washing method, a higher water temperature and/or a smaller number of items being washed would result in more thorough cleaning.