

火災現場で発生する有害物質の危険性に関する検証（第4報）

榎本佑太朗*、戸田博章*、笠見優一*、岩瀬弘樹**、佐々木航*、持田春人*

概要

一般的な建物火災では、家屋の構造体及び収容物等の燃焼により、発がん性を有する揮発性有機化合物（以下「VOC」という。）及び多環芳香族炭化水素（以下「PAH」という。）が発生し、また、火災現場で使用した防火衣には、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これまでの研究^{1)~3)}で明らかとなっている。

第3報では、火災現場から引揚げた後の、防火衣に付着した発がん性物質の洗浄方法について検討しており、防火衣用洗濯機（以下「洗濯機」という。）を使用すると、付着した煤等の発がん性物質の量を軽減できることが明らかとなっている。

現在、当庁では、火災現場から引揚げる前に防火衣の除染等は行っておらず、効果的な除染方法に関して検討はしていない。

本研究では、消防隊員の長期的な健康被害を軽減させることを目的として、煤に組成が近いカーボンブラック（以下「CB」という。）により、擬似的に防火衣生地を汚染させ、現場で実施できる可能性のある複数の除染方法（以下「簡易除染」という。）の効果を評価した。また、撥水剤を使用した場合のCBの付着防止効果について確認した。

煤による現場での防火衣の汚れ方を複数再現し、除染方法の効果を評価した結果、いずれの汚れ方に対しても、水的除染（噴霧放水）による効果が最も高いことが分かった。また、撥水剤を使用した場合の煤の付着防止効果は見込めないことが分かった。

1 はじめに

火災の燃焼物から発生するVOC及びPAH等の有害物質を消防隊員が直接吸入、経皮曝露もしくは防火衣等の消防装備に付着・残留した有害物質に後から曝されることで、将来的に健康を害するリスクがあるとされている。米国の消防長協会の消防団／混成消防団消防委員会の報告書では、火災で発生する有害物質に曝される消防隊員は、がんを発生するリスクがあるとされ、リスクの低減方針として、有害物質に曝された身体及び装備品の除染などの行動方針が示され

ている⁴⁾。また、国際標準化機構（以下「ISO」という。）に示されている防火衣の基準⁵⁾が改定されたことに伴い、有害物質に汚染された消防隊員用個人用防護装備(Personal Protective Equipment)（以下「PPE」という。）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ISO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定され、健康被害のリスクを効率的に最小化する基準が示された。すで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

や洗濯機を活用して洗浄を実施することで健康被害の低減に努めている。

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針を検討する必要があることから、当庁でも2021年度より、火災の燃焼物から発生するVOC及びPAHの発生状況並びに有効な除染方法に関する研究、洗濯機による効果的な洗浄方法に関する研究等、引揚げ前に行う有害物質の人体へのリスク軽減に着目して研究を行ってきた。

本研究では、火災現場から引揚げの前に行う有害物質の人体へのリスク軽減のため、簡易除染の効果を評価した。また、撥水剤を使用した防火衣への煤による付着防止効果について確認した。

2 擬似汚染に使用する実験材料及び試薬

(1) 生地片の作成

洗浄効果を確認するため、洗浄前後のPAH等の付着量を比較する必要がある。表1に示す防火衣と同じ生地を準備し、裁縫バサミで10cm×13cmに裁断後、ミシンで四辺を縫合した。縫合は、1周するまで縫合糸の切断は行わず、末端は返し縫いを行っている。生地片が洗濯中に受ける力によって、生地が分離することを防ぐため、縫合は2周して強度を高めた。図1に生地層と縫製後の生地片を示す。

表1 防火衣生地片の構成及び材質

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

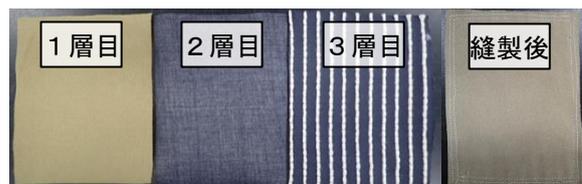


図1 生地層と縫製後の生地片

作成した生地片は、次の(2)で示す試薬の一部又は全部を付着して、擬似的に汚染させ、洗浄効果を確認するためのサンプルとした。

(2) 使用試薬

これまでの調査研究より防火衣への付着が明らかであり、表2に示す国際がん研究機関により人体に対する発がん性リスクが認められるアントラセン（以下「ANTH」という。）、ベンゾ aピレン（以下「BaP」という。）及び煤を選択した。

表2 人体に対する発がん性リスク

物質名	国際がん研究機関による発がん性分類
煤、BaP	グループ1：ヒトに対して発がん性がある
ANTH	グループ2B： ヒトに対する発がん性がある可能性がある

煤は、グラファイトの破片が凝集し、PAHを混合した物質⁶⁷⁾であり、煤そのものを入手及び付着させることは難しい。そのため、煤煙の試験で使用されるJIS試験用粉体のCBを選択した。CBは、粒子の表面に様々な官能基存在⁸⁾⁹⁾し、複数のCB粒子が集まり最小単位の一次凝集体を形成している。一次凝集体同士が結合又は絡み合っできた二次凝集体（以下「粒体」という。）が集合して粉体を構成している。⁹⁾

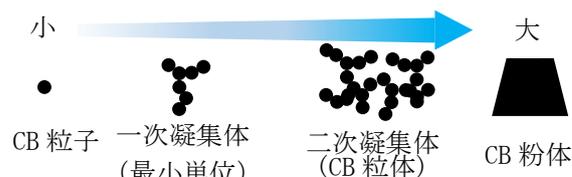


図2 CBの凝集構造

本調査研究では、ANTH は東京化成工業株式会社製、BaP 及び次に説明するジエチルエーテルは富士フィルム和光純薬株式会社製、CB は一般社団法人日本粉体工業技術協会製を使用した。

3 測定原理と本研究での扱い

本実験では、BaP 及び ANTH の除去効果を質量濃度、CB の除去効果を次の(2)で説明する色差を用いて確認した。

(1) 質量濃度の測定

サンプルを 30mL のジエチルエーテルに浸漬させ、40kHz で超音波抽出を 120 秒間行った。抽出溶液をガスクロマトグラフ質量分析計（以下「GCMS」という。）で分析し、SIM 法によりサンプルに付着する BaP 及び ANTH の質量濃度を求めた。表 3 に使用した分析機器及び測定条件を示す。

表 3 分析機器及び分析条件

分析機器	
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)
測定条件	
カラム	HP-1、長さ 30m、 内径 0.25 mm、膜厚 0.25 μm
オープン温度範囲	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

(2) 色差の測定

CB は、2(2)で記載した通りの複合物であるために ANTH や BaP のように GCMS を使用した定量分析は適さない。汚染前と洗浄後のサンプルの色を測定し、色差を求め、洗浄後のサンプルに残留する CB の量を比較するために使用した。

測定した色は、図 3 のように色を三次元空間

で表現した CIELAB 色空間と呼ばれる空間内の座標 (L^* , a^* , b^*) として表され、色差 ΔE は、下式のとおり汚染前 (L_1^* , a_1^* , b_1^*) と洗浄後 (L_2^* , a_2^* , b_2^*) の色空間内の距離に該当する¹⁰⁾。サンプルに CB が付着している部分は生地片の元の色から大きく離れるため色差 ΔE は大きくなる。洗浄により CB が減少すると、生地片の元の色に近づくため色差 ΔE は小さくなる。

$$\Delta E = \sqrt{(L_2^* - L_1^*)^2 + (a_2^* - a_1^*)^2 + (b_2^* - b_1^*)^2}$$

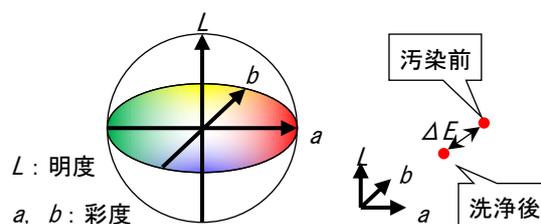


図 3 CIELAB 空間(左)と色差(右)

表 4 測定機器等

色差計	TES-3250 (株式会社佐藤商事)
照明・受光条件	45°・0°
計測範囲	φ14mm、 L^* : 5~100
計測条件	CIE 2° 標準視野
光源	白色 LED

4 汚染方法

BaP 及び ANTH と CB では、汚染の状態が異なるため、各試薬を生地片に付着させる方法を説明する。

(1) BaP 及び ANTH 付着させて汚染する方法

BaP 及び ANTH をジエチルエーテルに溶解させ、10mg/L、100mg/L 又は 1000mg/L の溶液を調製した。生地片にホールピペットで 10mL 滴下した後、ドラフト内で 30 分静置してジエチルエーテルを揮発させた。

(2) CB を付着させて汚染する方法

火災現場で防火衣に煤が付着する原因はいくつか考えられる。付着の様態が異なる汚れ方を CB を用いて次のア〜ウにより再現した。

ア 煤煙による汚染

煤煙の充満する空間での活動により、煤が防火衣に付着した状態を再現するため、圧力などを加えることなくCBを生地片に付着させてサンプルを作成した。サンプルの作成は、作業者等の違いによる影響を排除するため、危険物判定試験で使用しているロータップ式篩振とう機（株式会社シー・エム・ティ、Model D-A）を使用した。装置及び取り付け容器は図4のとおりである。上段にカーボンブラック、中段にサンプル、下段に生地片に付着しなかったカーボンブラックを回収するための受けを篩掛け機装置に固定している。

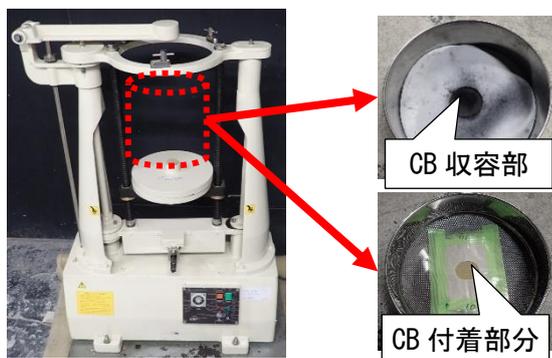


図4 篩掛け機(左)並びにCB及びサンプル取り付け用の篩(右)

上段の篩は、収容したCBがサンプルに付着するように中央部分にφ50mmの穴をあけた厚さ2mmシートを組付けて、拡散範囲を制限した。サンプルのCB付着部分が明確になるように、サンプルの中央φ26mm除く部分をマスキングした。各種条件を表5に示す。

表5 生地片1枚汚染に係る条件

CB量	0.5mg
篩掛け時間	30秒
篩(上段) 目開き面	φ50mm
目開き	0.105mm
篩(中段) 目開き面	φ200mm
目開き	0.2mm

イ 擦れによる汚染

煤煙が防火衣に付着した状態で接触や擦れで汚染部に力が加わった状態をCBで再現した。4(2)アと同様の操作で汚染した後、サンプル(汚染部分)の上部に17kgの重量を加えた状態で荷重と垂直の方向に引いた。加えた荷重は体重70kgの隊員が防火衣及び呼吸器など火災現場で活動する際に通常身に付けている装備品を装着した状態で接触や擦れの可能性が高い膝部分に加わる重量を測ったものである。サンプル作成の状況を図5に示す。



図5 擦れによる汚染の作成の様子

ウ 活動等で使用した水(消火水)による汚染

消火や残火処理に使用した水(以下「消火水」という。)は、燃焼物体や煤が付着した壁面等を経由するため、煤を含んでいる可能性があり、活動や残火処理中に防火衣を汚染させる。消火水は、水に0.5mgのCBを混合し、40kHzの超音波を120秒間加えて、CBを水中に分散させることで再現した。また、新品の生地で作成した生地片は撥水効果によって、消火水が付着しなかったために、消火水による汚染のみ、実際の火災現場で使用していた防火衣から生地片を作成した。

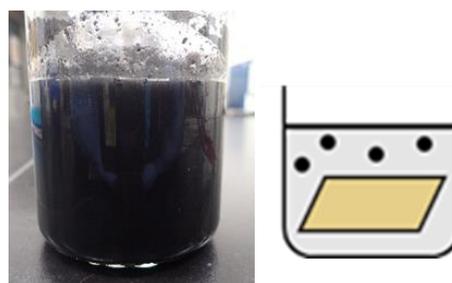


図6 CBを分散させた水と汚染の様子

5 洗浄方法

洗濯機(GIRBAU, S. A 製、RMS623、洗濯容量 23kg)を使用した洗浄方法と簡易除染の方法を次の(1)及び(2)に示す。

(1) 防火衣用洗濯機による洗浄

サンプルの防火衣への取り付け部分は、図7に示すように右袖反射帯、右ポケットフラップ、右足首反射帯に安全ピンを使用して取り付けた。サンプルを取り付けた防火衣上下3組を洗濯機に投入し、水温 40℃で洗濯を行った。図8に使用した洗濯機及び乾燥機を示す。



図7 生地片取付け部分



図8 防火衣用洗濯機(左)と乾燥機(右)

(2) 簡易除染の方法

火災現場から引き揚げる前に行うことを考慮し、簡易除染の方法を検討し、以下のア～エの除染方法について効果を確認した。

ア 放水を利用した除染

過去に行った水的除染に関する検証¹¹⁾を参考に、ガンタイプノズルをサンプルの表面から1.8mの位置に設置し、放水圧 1MPa の噴霧注水を10秒間実施した。図9に除染時の様子を示す。

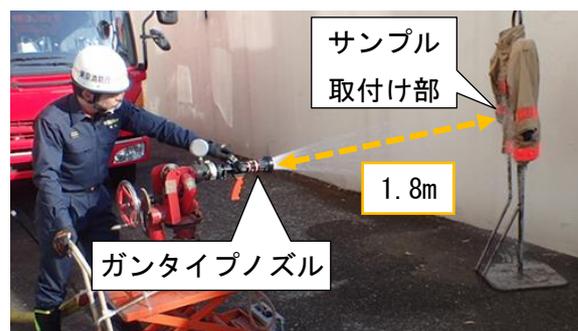


図9 放水による除染

イ 空気圧を利用した除染

エアークンプレッサー (PUMA, SR-201, SR-L30LCF) を使用し、サンプルから 20cm 離れた位置から圧縮空気をゲージ圧力 0.8MPa で 10 秒間噴射した。図10に除染の様子を示す。



図10 空気圧による除染

ウ 転写を利用した除染

養生テープをCB付着部分を覆うことのできるサイズに10枚切り出した。サンプルの汚染部分に貼付け剥がしを1枚/回、計10回実施した。図11に除染の様子を示す。



図11 粘着性物質への転写

エ ブラシを利用した除染

生地へのダメージの少ない馬毛のブラシを使用し、手首の方向に10回掃き出しを行った。図12に除染の様子を示す。



図12 ブラシによる除染

6 実験

(1) 付着量の違いによる洗浄効果の確認

汚染前の生地片の色（以下「基準色」という。）を測定し、4(1)の方法で生地片に質量濃度10mg/L、100mg/L又は1000mg/Lの溶液を滴下した後、4(2)アの方法でCBを付着させてサンプルを作成した。その後、5(1)のとおりサンプルを取付け、洗濯及び乾燥を行い防火衣からサンプルを取り外す。洗濯後の色を測定した後、質量濃度を測定することで、BaP及びANTHの除去率を確認した。

(2) 簡易除染の効果の確認

基準色を測定した後、4(2)に示した汚染方法でサンプルを作成した。各汚染方法に対し、5(2)で示した簡易除染を実施し、簡易除染後の色を測定した。測定した結果から各汚染に対する有効な簡易除染方法を確認し、最も効果の高い簡易除染の方法を次の(3)に示す実験に採用した。

(3) 撥水剤が簡易除染に与える影響

撥水剤は洗濯時に加工され、乾燥させることで生地に定着する。サンプル作成の前に生地片を防火衣に取り付け洗濯を実施し、撥水剤を付着させた。洗濯の機械力によって生地が受ける影響を同じにするため、撥水剤を使用しない生

地片も、洗濯機で洗浄のみ行った。サンプル作成後の操作は6(2)の操作と同様である。簡易除染は、最も効果の高い簡易除染の方法を選択した。

7 結果

(1) 付着量の違いによる洗浄効果の確認

ANTH及びBaP付着量の異なるサンプルの洗濯機による洗浄効果を比較した結果を図13に示す。洗浄前の基準値としたANTH及びBaPそれぞれの値に対して、洗浄後に減少した値との割合を除去率とし、次式のとおり算出した。

$$\frac{(\text{汚染前の基準}) - (\text{洗浄後の測定値})}{(\text{汚染前の基準})} \times 100$$

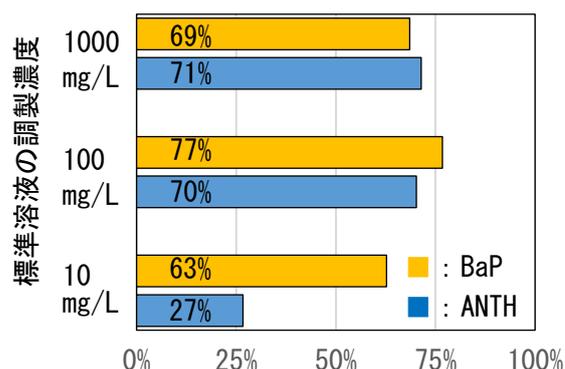


図13 ANTH及びBaPの除去率

質量濃度100mg/L及び1000mg/Lを滴下したサンプルの除去率は69%以上であることが分かった。10mg/Lを滴下したサンプルでは、BaP除去率に差は確認できないが、ANTH除去率は27%であり、他の濃度と比較して除去率が低いことが確認できた。煤汚れに対する洗濯機の除去効果を確認するため、サンプル洗濯前後の色をCB付着前の生地からの色差を図14に示す。

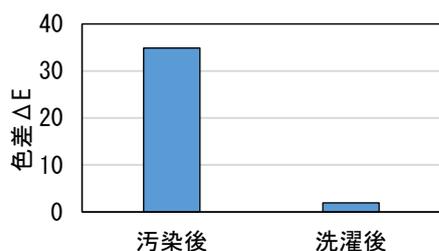


図14 汚染後と洗濯後の色差

CB が付着したことにより大きくなった色差 ΔE の値が洗濯により、減少し、汚染前の色に近づいたことが確認できた。 $\Delta E_{ave.} = 1.9$ であった。なお、 $\Delta E \leq 4$ の場合は、目視での判別は難しいといわれている¹⁰⁾。図15にCB付着前後及び洗濯後のサンプルの状態を示す。



図15 洗濯前後のサンプル汚染部

(2) 簡易除染の効果の確認

簡易除染実施後のサンプル表面の色を測定し、基準色との色差 ΔE を求めた。

各汚染に対して実施した除染方法ごとの色差 ΔE を比較したものを図16に示す。

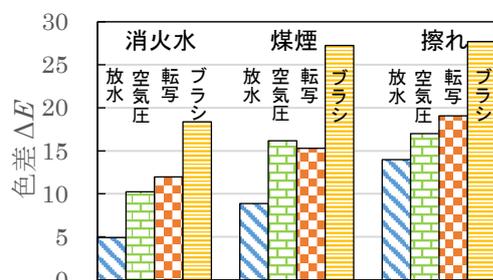


図16 簡易除染の結果

全ての擬似汚染で放水を利用した除染で低い色差 ΔE を示し、ブラシを利用した除染で高い色

差 ΔE を示すことが確認できた。空気圧を利用した除染及び転写を利用した除染は同程度の色差 ΔE を示す結果となった。煤煙による汚染に対して各除染を行った後のサンプル表面を図17に示す。



図17 除染後のサンプル表面

放水を利用した除染は、CB が残留する部分とCB が排除された部分が明確であり、残留しているCBは集合している。ブラシを利用した除染は、除染前にCBが付着していなかった部分に付着し、サンプル全体にCBが拡大したことが確認できる。空気圧を利用した除染はCBが明確に付着している部分以外にもCBが薄く付着して残る部分が確認できる。転写を利用した除染も同様である。

(3) 撥水剤が簡易除染に及ぼす影響

撥水剤の有無による簡易除染への影響を比較した結果を図18に示す。簡易除染は、6(2)で最も高い効果を示した放水を利用した除染を選択した。



図18 撥水剤による放水を利用した除染への影響比較(撥水剤無 : 、有 :)

撥水剤の有無にかかわらず、消火水による汚染に対する放水による除染では、色差 ΔE は低い値を示すことが確認でき、また、撥水剤を使用していないサンプルの方が煤煙及び擦れによる汚染について ΔE が低い値を示すことが確認できた。

8 考察

(1) 付着量の違いによる洗浄効果の確認

ANTHの10mg/L以外を除き、同程度の除去率であったため、防火に付着したANTH及びBaPの除去に寄与する要因は、水温や洗剤、洗濯負荷率等の洗濯条件であり、1000mg/L以下であれば付着量に依存しないと考える。

ANTHの10mg/Lのみ小さい値を示した原因は次のように考える。サンプル作成直後のANTH及びBaPは第1層に集中しているが、抽出作業で超音波を使用したことにより、繊維内部まで到達し、溶媒側に溶出する量が減少した。また、ANTHは、BaPと比較しても分子サイズが小さく、溶けこんでいる物質が多いため、超音波による影響を大きく受けANTHの10mg/Lが他よりも低い除去率となった。

(2) 簡易除染の効果の確認

サンプル表面に付着するCBの状態は、図19に示すようなサンプル表面に付着しているCB粒体（以下「界面粒体」という。）と界面粒体以外のCB粉体部分（以下「粉体層」という。）に分けられ、除染方法毎の効果に差が生じる原因は、除染操作によって界面粒体及び粉体層の状態が変わるためであると考えられる。また、粉体粒子に働く主な相互作用は、ファンデルワールス力、静電気力及び液架橋力とされる¹²⁾ことから、界面粒体と粉体層内の粒子間に働く相互作用に注目し、各汚染について考察する。

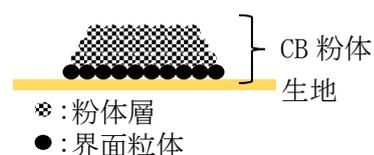


図19 サンプル表面に堆積したCB

ア 煤煙による汚染について

CB粉体は図2に示したように、複数の粒子が集合した長さの異なる粒体が凝集したものである。篩から沈降した粒体は、生地表面にランダムに付着し、堆積するため、粉体層内に空隙が存在し、粒体間のファンデルワールス相互作用の影響が小さく、粒子が分散しやすい状態にあると考える。

イ 擦れによる汚染

サンプルを加圧状態で水平方向に引いているため、粉体層の空隙が減少し、粒体間の距離が小さくなることでファンデルワールス相互作用の影響が大きくなり、粒子間の結びつきが強くなる。これにより、粒体は大きい凝集体となるため、煤煙よりも拡散の影響が小さくなると思われる。しかし、加圧により界面粒体の近傍に存在していた粒子が生地繊維に到達することにより界面粒体の数が増加する。また、界面粒体が生地内部に押し込まれることにより簡易除染では物理的に除去の困難な粒体の数が増加するため、除去率が低下すると考える。

ウ 消火水による汚染

サンプル作成で生地片の汚染に使用した消火水は、超音波を使用してCBを水に分散させて作成したため、周波数に応じた大きさに粒体が凝集する。凝集の過程で、疎水性効果により、凝集体の界面に親水性の官能基が集まるため、サンプル表面に付着しているCBは、粉体時（煤煙や擦れ）よりも親水性を示し、放水を利用した除染は相性が良く、効果的であると考えられる。

エ 放水を利用した除染

除染の機構は、水が粉体に衝突し弾き出す作

用と汚染部分の上部から流れ落ちた水により洗い流す作用により、CB を除去すると考える。最も効果が高い結果を示した理由は、放水された水の衝突によって、サンプル面に向かって圧力が加わるため、粉体層の空隙が減少し、粒子間の距離が短くなり粒子間の結合が強くなる。加えて、水が付着することで粒子間に液架橋力が働き、粉体がより凝集することで拡散及び再付着影響が小さくなったためであると考えられる。

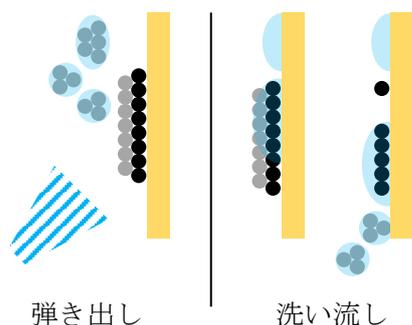


図 20 除染のイメージ

オ 空気圧を利用した除染

空気圧がCB粉体を吹き飛ばすことで除去している。放水を利用した除染では、サンプルに衝突した水は、流れ落ちるが、空気圧ではサンプル表面に衝突した噴流は渦を発生させるため、吹き飛ばされたCB粉体の一部が渦により生地に再付着することが考えられる。また、サンプル表面に存在する凝集体は、空気圧によって繊維の内部まで入り込むため、空気圧では除去できずに一定のCBがサンプルに残留する。

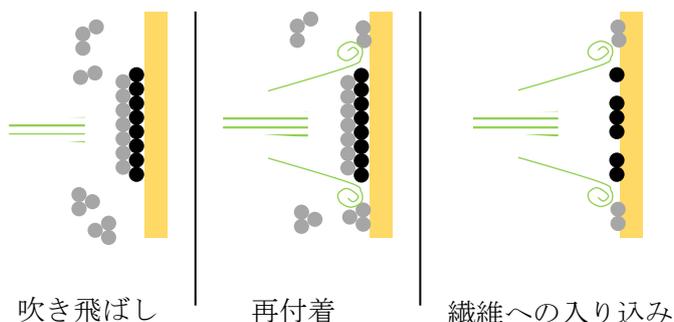


図 21 除染と再付着のイメージ

本実験では、今回は、サンプル面に 45° の角度で空気圧を噴射したが、サンプルと平行に近い角度で噴射することで、再付着や繊維へ入り混みを軽減できると考える。

カ 粘着性物質への転写を利用した除染

粘着面にCB粉体の付着させることで除去しているが、一回の転写で除去できるCBの量はCB付着部分の垂直投影面積であるため、転写回数が少ないと除去量が不足し、サンプルにCBが残る。転写操作は、テープを汚染面に押し付けるため、サンプル表面に存在するCB粒体を繊維内部に押し込み、付着力が強くなる。

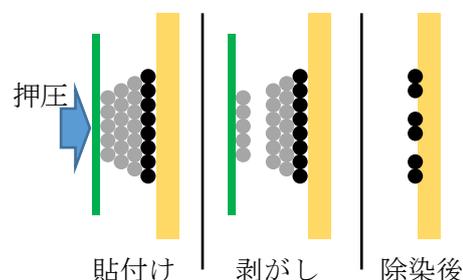


図 22 除染のイメージ

また、サンプル表面近傍に存在していた凝集体が、貼付けによる押圧で繊維に付着し、入り込むため、除去できずに一定のCBがサンプルに残留する。

キ ブラシを利用した除染

ブラシの毛がCB粉体を吐き出すことで除染している。サンプル表面に存在する粒子は、ブラシの毛によって生地内部に入り込む作用と、粒子と繊維の距離短くなり、ファンデルワールス相互作用の影響が強くなること、静電気による影響が現れる¹³⁾ことにより、繊維に強く付着するため、一定のCBが除去できずにサンプルに残留する。また、吐き出されたCB粉体は、サンプル表面上を移動するため、粉体層の粒子が繊維と接触し、付着することで汚染が拡大する。加えて、ブラシの毛により繊維内部まで押し込まれるため、サンプルの深さ方向にも汚染を拡大す

る。消火水による汚染では、ブラシが凝集体を崩し、煤煙と同様に汚染を拡大することが考えられる。

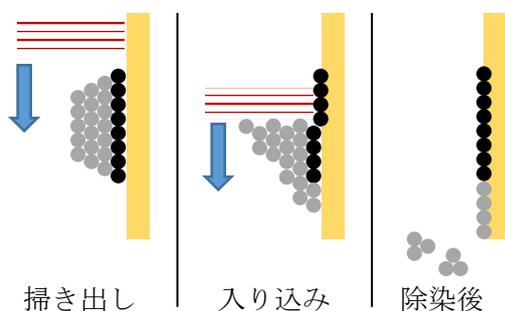


図 23 除染の汚染拡大のイメージ

(3) 撥水剤の影響について

8(2)ウで述べたようにサンプル表面に存在するCBは、親水性の高い官能基が界面に集まって凝集しているため、サンプルに衝突した水に混ざりやすく、水と共に流れ落ちる。撥水剤により生地への再付着を防ぐため、サンプルに残留せずに洗い流されたと考える。撥水剤を使用したサンプルの色差が高い値を理由として、撥水剤の成分は、炭化水素の水素をフッ素に置き換えた分子であり、表面エネルギーが小さいため、撥水及び撥油の性質を持つ。このことから、化学的作用による影響は小さいと考える。撥水剤が生地に付着すると、繊維間の間隙やサンプル表面の凹凸が減少することで接触面積が増大し、付着力が増加したことが原因であると考えられる。

9 まとめ

洗濯機を使用した洗浄は、煤煙による汚染に対しても効果があり、防火衣に付着したPAHが130 cm²あたりに1000mg以下であれば除去できる。放水を利用した除染が、現場引き上げ前に実施する簡易的な除染として、今回確認した除染方法の中では最も有効である。撥水剤を使用することで、CBとサンプルの接触面積が増加し、CBが生地に残りやすくなる。

10 謝辞

本研究の実施にあたり、横浜国立大学の犬矢勝名誉教授には、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。

参考文献

- 1) 灰野健二ら：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所報、58号、pp.55-62、2021
- 2) 松田侑也ら：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
- 3) 笠見優一ら：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）、消防科学セーフティレポート、60号、pp.24-31、2023
- 4) International Association of Fire Chief's Volunteer and Combination Officers Section : Lavender Ribbon Report、2021
- 5) International Organization for Standardization : ISO 23616 Cleaning, inspection and repair of firefighters' personal protective equipment、2022
- 6) 三好明：化学と教育 57 巻 7 号、公益社団法人日本化学会、p.330-331、2009
- 7) 戸野倉賢一：エアロゾル研究 29 巻 1 号、日本エアロゾル学会、p.5-9、2014
- 8) 栗林愿：日本ゴム協会誌 31 巻 9 号、日本ゴム協会、p.700-706、1958
- 9) 新井啓哲：炭素 223 号、炭素材料学会、p.232-243、2006
- 10) 嶋野法之：色彩工学の基礎と応用、株式会社コロナ社、2020
- 11) 富田拓也、望月真、清水崇一：防護衣の汚染物質に対する水的除染の効果に対する検証、東京消防庁消防技術安全所所報、55号、pp.39-46、2017
- 12) 神保元二：化学工学 28 巻 8 号、p.704-708、1964
- 13) 松山達：エアロゾル研究 28 巻 4 号、日本エアロゾル学会、p.5-10、2013

Verification of the Risks of the Hazardous Substances at Fire Scenes (Report 4)

ENOMOTO Yuutarou*, TODA Hiroaki*, KASAMI Yuuichi*, IWASE Hiroki**, SASAKI
Wataru*, MOCHIDA Haruto*

In a typical building fire, the combustion of the structure and contents of a building forms carcinogenic substances such as volatile organic compounds (VOCs) and polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs). In addition, Reports 1 through 3 of this study have shown that the personal protective equipment (PPE) used at the scene of a fire was contaminated with carcinogens such as soot and anthracene.

In Report 3, we examined the method of cleaning the carcinogenic substances adhering to the PPE used at the scene of a fire. It was determined that the amount of the soot and other carcinogens adhering to PPE can be reduced by using a PPE washing machine (hereinafter referred to as “washing machine”).

Currently, the Tokyo Fire Department does not decontaminate PPE before leaving the scene of a fire, and does not have an effective decontamination method.

In this study, with a goal of reducing the lasting health damage to firefighters, we evaluated the effectiveness of several viable decontamination methods (hereafter referred to as “simple decontamination”). PPE fabric was first contaminated with carbon black (hereafter referred to as “CB”), which has a composition similar to soot. We also evaluated the effectiveness of preventing CB adhesion when using a water repellent on PPE.

By replicating a set of soot-soiled PPE and evaluating the effectiveness of decontamination methods, it was found out that decontamination using water (spraying water) was the most effective for all types of soot contamination. It was also found out that the use of water repellent does not protect PPE from soot.