

# 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)

灰野 健二\*, 高松 宜史\*\*, 清水 崇一\*\*

## 概 要

海外において、火災で発生する有害物質に曝される消防隊員は、将来的に健康を害するリスクを有しているとされており、それを低減するための対策が既に講じられている。

当庁では、火災現場で発生する有害物質の中毒性を中心に検証し、必要な対策を提言した実績があるものの、発がん性の観点から検証した実績は乏しい。

本検証では主として、発がん性を有する揮発性有機化合物 (以下「VOC」という。)であるベンゼン (以下「BZ」という。)発生時の火災環境と BZ 濃度の関係等を検証した。また、その実験結果の裏付けをとるため、実際の火災現場における検証も実施した。その結果、火災現場では VOC が発生し、火点室内や可燃物が高温になるほど BZ の発生量が多いことが明らかとなった。その一方で、効果的な除染を行わなければ、防火衣生地内部には有害物質が長時間残存することがわかった。将来的な健康被害のリスクを低減させるためには、火点室の早期の積極的な排煙や防火衣等の各種装備品に対し、有効な除染が必要であると推定される。

## 1 はじめに

近年、米国の国際消防長協会 (IAFC) の消防団/混成消防隊監督者セクション (VCOS) 及び米国消防団消防委員会 (NVFC) が、消防職員のがん予防プログラムに関する報告書を作成した。その報告書の中で、火災で発生する有害物質に曝される消防隊員は、その副作用により、がんを発症するリスクがあるとされ、そのリスクを低減するための対策が提唱されている<sup>1)</sup>。

燃焼物より生じる VOC 等の多種の有害物質を消防隊員が直接吸入、経皮暴露もしくは装備品に付着・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。そのリスク低減方策としては、有害物質に曝された身体及び装備品の除染が挙げられ、米国の消防局では既に対応がとられている<sup>1), 2)</sup>。他方、豪州の消防局でも、既に対策が講じられており、消防活動が終わって引き揚げる際は、火災現場で防火衣を離脱して袋に収納して持ち帰り、クリーニング業者に出し、帰署後はすぐにシャワーを浴びる等して身体及び装備品の除染に努めている。

一方、当庁では過去に「火災現場における燃焼生成ガスの採取・分析について」(平成元年)、「残火処理活動現場等に存在する粉塵等の検証と防護方策」(平成 21 年)等の検証にて、火災現場で発生する有害物質の中毒性を中心に検証し、必要な対策を提言した実績があるものの、発がん性の観点から検証した実績は乏しい。また、日本国内の研究においても、過去に火災時に発生するダイオキ

シン類に着目した研究が行われているが、発がん性を有する有害物質に着目した研究は活発になされていないのが現状である。

このような背景から、今後、消防隊員のより一層の安全対策を図るには、現場の発がん性物質を実際に測定し、評価する必要がある。

## 2 検証目的

火災現場で発生する発がん性を有する物質等に着目し、基礎的な実験を通じて、火災環境と有害物質の発生状況の関係を検証する。さらに、実際の火災現場で有害物質を採取、分析することで、実験結果の裏付けをとるとともに、その危険性の評価を試みる。また、有害物質の除染方法についての検討も試みる。以上のことから、火災現場における消防隊員の安全対策の向上を図ることを目的とする。

## 3 本検証にて着目した発がん性物質について

海外の既往研究において、火災により VOC が発生し、経口から吸入暴露し得ることが示唆されている<sup>3)</sup>。

VOC の中でも発がん性を有することが特に知られている物質が、BZ である。BZ は、世界保健機関 (WHO) の外部組織である国際がん研究機関 (IARC) が定める発がん性評価分類の「グループ 1 (ヒトに対して発がん性がある)」に分類されている<sup>4)</sup>ほか、日本産業衛生学会が定める発がん性分類の「第 1 群 (ヒトに対して発がん性がある)」に分類されている。

\* 千住消防署 \*\* 危険物質検証課

ると判断できる)」にも分類されており、がんとの因果関係が十分に立証された化学物質である<sup>5)</sup>。ヒトでは、BZの吸入暴露により急性骨髄性白血病が発症することがいくつかの疫学調査で確認されている<sup>4)</sup>。

これらのことを踏まえると、消防隊員が最も発がん性物質に曝される時期としては、装備品を離脱し、吸入暴露し得る可能性が高い鎮圧(残火処理)以降であると推定される。

以上の理由により、発がん性を有する BZ を主として着目し、BZ を含む VOC の分析が可能な方法及び機器を用いて、本検証を実施することとした。

#### 4 検証項目等

前述した目的を達成するために、以下の3つの項目にわけ、検証を行った。それらの目的、方法等とあわせて以下に示す。

##### (1) VOC 発生状況の確認(基礎実験)

火災により発生する VOC の基礎的な知見や傾向を得るための基礎実験を実施した。

##### ア 熱分解生成ガス分析実験

家屋や収容物が燃焼した際に、VOC が発生しやすい環境を明らかにすることを目的とした検証を行った。

建築材料や日用品等に用いられる代表的な材料について、汎用性が高く多種の用途で使用される4種類の材料(杉、ポリエチレン(PE)、ポリスチレン(PS)及びポリ塩化ビニル(PVC))を選出して試料とした。検証で使用した試料の概要を表1に示す。

各試料について、熱分解ガスクロマトグラフ質量分析装置(以下「Py-GC-MS」という。)を使用して、温度及び雰囲気(酸素量)が異なる条件下で熱分解させたときに生成されるガスを分析し、火災環境と BZ 発生量の関係を検証した。なお、熱分解温度の条件は、358℃、590℃及び 1,040℃の3つとして、温度領域を幅広くとった。使用した分析機器及び条件を表2に示す。

表1 検証で使用した試料の概要



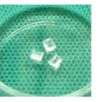

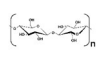
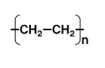
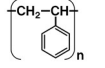
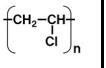
試料名	杉	PE	PS	PVC
外観写真				
主成分	セルロース	ポリエチレン	ポリスチレン	ポリ塩化ビニル
化学式	(C <sub>6</sub> H <sub>10</sub> O <sub>5</sub> ) <sub>n</sub>	(C <sub>2</sub> H <sub>4</sub> ) <sub>n</sub>	(C <sub>8</sub> H <sub>8</sub> ) <sub>n</sub>	(C <sub>2</sub> H <sub>3</sub> Cl) <sub>n</sub>
構造式				
高分子分類	天然高分子	合成高分子		
使用される日用品等の例	構造材 床材 割り箸 等	ポリ袋 ポリバケツ ポリタンク 等	食品用トレイ カップ 麺容器 CD ケース 等	水道管 電源コード 玩具 等

表2 使用した分析機器及び条件(Py-GC-MS)

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	5977A MSD (アジレント・テクノロジー社)
熱分解装置	Curie Point Injector JCI-55 (日本分析工業㈱)
ガスクロマトグラフ質量分析装置(GC-MS)条件	
カラム	HP-5MS 長さ 30m、内径 0.25 mm、膜厚 0.25 μm
オープン温度範囲	40℃(1分)~100℃(1分)~300℃
昇温速度	3℃/分(40℃~100℃) 5℃/分(100℃~300℃)
注入口温度	250℃
スプリット比	100 : 1
検出器温度(イオン源)	230℃
検出温度(四重極)	150℃
測定方法	SCAN(全イオン検出)
キャリアガス	ヘリウム(He)
熱分解条件	
熱分解温度(バリエーション)	358℃、590℃、1040℃
熱分解時間	15秒(加熱誘導型)
熱分解雰囲気	空気、He
サンプル量	0.1 mg

##### イ 模擬家屋燃焼実験

一般家屋の一室が燃焼した場合に、VOC はどのように発生し、家屋内に残存するのかを確認するための検証を行った。

大規模火災実験棟屋内にて、多くの日用品等を収容した模擬家屋(8畳程度)を燃焼させ、燃焼中もしくは残火処理以降の燃焼生成ガス等を採用し、以下の項目に示す測定等を実施した。実験中の模擬家屋の外観や屋内収容物の状況を表3に示す。なお、表中にある「燃焼後」とは、「放水による消火実施後の残火処理活動中」を指す。

表3 模擬家屋の外観や屋内収容物の状況

火災の推移	模擬家屋外観	屋内収容物
燃焼前		
燃焼中		N/D
燃焼後		

(ア) 環境測定

燃焼中に開口部より噴出した黒煙をフレックスポンプ (近江オドエアーサービス㈱製、DC1-NA) にて吸引し、アルミコーティングされたサンプリングバッグ内に採取した。その後、サンプリングバッグに北川式ガス検知管 (光明理化学㈱製、118SE、測定範囲: 0.2~80ppm) 及びガス採取器 (光明理化学㈱製、AP-20) を接続し、黒煙に含まれる燃焼生成ガスの BZ 濃度の簡易測定を実施した。また、鎮圧以降の家屋内にて、床面から高さ約 1 m の位置及び低所位置 (堆積物直上) の 2 カ所でも検知管による測定を実施した。

(イ) ガス成分分析 (捕集管)

VOC 採取にあつては、固体捕集方法を用いた。空気を捕集管 (固体捕集層) に通じ、ガス状物質を固体粒子に捕集する方法であり、労働安全衛生法に定める作業環境測定法のサンプリングにも用いられる<sup>6)</sup>。

前述したサンプリングバッグに、捕集管及び簡易吸引ポンプを接続し、捕集管にガスを採取した。また、燃焼後の家屋内に、捕集管を接続した簡易吸引ポンプを固定した三脚を配置 (高さ約 0.3m) し、空間内に存在するガスを捕集管に採取し持ち帰り、加熱脱着装置付ガスクロマトグラフ質量分析装置 (以下「TD-GC-MS」という。) で詳細な成分分析を行った。使用したガス採取機器及び条件を表 4 に、使用した分析機器及び条件を表 5 に示す。

(2) 現地調査

前述した実験結果の裏付けをとるため、火災現場での調査を実施した。実際の火災現場にて発生する燃焼生成ガスについて知見を得て、傾向等を把握することを目的とし、火災現場で発生した VOC の分析を行った。

なお、吸入暴露し得る可能性が高い時期は、活動隊員が空気呼吸器を離脱し始める鎮圧 (残火処理) 以降であると推定されるため、鎮圧以降に調査を開始することとした。また、調査場所にあつては、最も濃度が高いと推定される火点室又はその周辺 (以下「火点室等」という。) とした。

ア 環境測定

北川式ガス検知管を用いて BZ 濃度の簡易測定を実施した (図 1)。

イ ガス成分分析 (捕集管)

火点室等の床面から高さ約 0.3m の位置に簡易吸引ポンプを配置し、空間内に存在するガスを捕集管に採取した (図 1)。その後持ち帰り、TD-GC-MS にて詳細な成分分析を行った。使用した機器及び条件は表 4 及び表 5 のとおりである。

表 4 使用したガス採取機器及び条件

捕集管	Tenax TA ガラスチューブ (ケステル社)
簡易吸引ポンプ	ミニポンプ MP-Σ30N II (柴田科学㈱)
吸引量 (流量)	1 L (0.1 L/分)

表 5 使用した分析機器及び条件 (TD-GC-MS)

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	5977A MSD (アジレント・テクノロジー社)
加熱脱着装置	TDU2/CIS4 (ケステル社)
GC-MS 条件	
カラム	HP-5MS 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 (40°C~100°C) 10°C/分 (100°C~300°C)
スプリット比	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 (全付検出)
キャリアガス	He
加熱脱着部 (TDU2) 条件	
サンプリングモード	Retain Tube - Standby Cooling
脱着モード	スプリット
温度範囲	40°C~280°C (3分)
昇温速度	720°C/分
トランスファー温度	320°C
クワイオガス部 (CIS4) 条件	
加熱モード	Standard
温度範囲	-50°C~300°C
昇温速度	12°C/秒



図 1 現地調査の状況

(3) 除染実験

装備品に付着・残留した VOC の有効な除染方法に関する知見を得るための基礎実験を試みた。模擬的に作成した装備品のサンプルを BZ で汚染させた後、様々な方法の除染を実施した。なお、本検証に使用する装備品には、消防隊員の身体により密接する装備品である防火衣を選定した。

ア サンプル作成

三枚で構成されている一般隊員用の防火衣を 10cm 四方に切断した後に半分に折り、外周部をステープラーにより金属の針で綴じて、防火衣の模擬サンプル (以下「防火衣サンプル」という。) を作成した (図 2)。

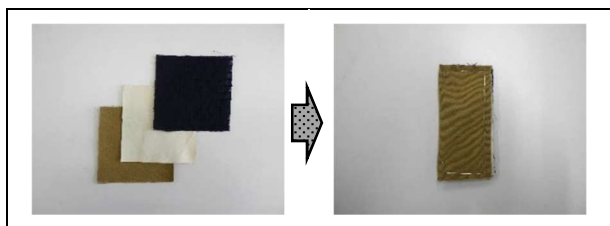


図2 作成した防火衣サンプル

### イ 汚染

デシケータ (内容量約 14L) 内に防火衣サンプルを、BZ とともに 24 時間封入し、過剰濃度の BZ 蒸気に暴露させることで汚染させた。BZ はデシケータ内の底部に配置した磁性皿内に 200mL 設定した (図 3)。

なお、BZ 蒸気の発生量については、上部のコックを開放してガス検知管による測定を行ったところ、封入開始から 1 時間後の段階で 80ppm (測定上限値) 超であることが確認されたことから、防火衣サンプルを汚染させるには十分な濃度であったといえる。

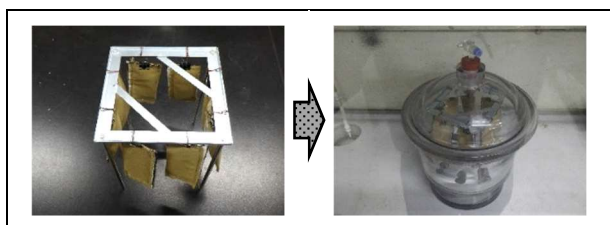


図3 汚染実験の様子

### ウ 除染

デシケータから防火衣サンプルを取り出した後、以下に示す方法で除染等を実施した。各除染方法についてまとめたものを表 6 に示す。

#### (ア) 容器内密閉

密閉容器 (内容量約 2.3L) の中に 30 分間封入した。

#### (イ) 屋外日影静置 (30 分間)

屋外日影の通気性の良い場所に 30 分間静置した。実施環境は、気温 15°C、湿度 60%、風速 2m/s であった。

#### (ウ) 屋外日影静置 (24 時間)

屋外日影の通気性の良い場所に 24 時間静置した。

#### (エ) 屋外日光静置 (30 分間)

屋外にて日光の当たる通気性の良い場所に 30 分間静置した。実施環境は、気温 15°C、湿度 60%、風速 2m/s であった。

#### (オ) シャワー

散水ノズルを用いて、表・裏面に各 3 秒ずつ水的除染を実施した。その後、屋外日影の通気性の良い場所に 24 時間静置し自然乾燥させた。

#### (カ) 模擬洗濯機

市販の洗濯用中性合成洗剤 (100μL) 及び水 (300mL) の入ったビーカー内で、攪拌子の回転により、洗浄を实

施した。次に、水中にて、同じく回転させ、すすぎ作業を行った。そして、簡易手動脱水機を用いて脱水後、屋外日影の通気性の良い場所に 24 時間静置し自然乾燥させた。

表 6 各除染方法

サンプル番号	除染方法	
1	なし (ブランク値)	
2	容器内密閉	
3	屋外日影静置 (30 分間)	
4	屋外日影静置 (24 時間)	
5	屋外日光静置 (30 分間)	
6	シャワー	水洗い (散水用シャワー 3 秒間 × 2) → 屋外乾燥 (24 時間)
7	模擬洗濯機	液体洗剤洗い (回転 90rpm、30 分間) → すすぎ (回転 90rpm、10 分間) → 脱水 (回転 900rpm) → 屋外乾燥 24 時間

### エ 測定

各除染方法を実施後の防火衣サンプル表層の直上 1cm の位置に検知管を配置し、測定を実施して除染の効果を確認した。

### オ 追加実験

各除染後の防火衣サンプルをアルミパックに封入し、さらに 24 時間後にアルミパック内の空気環境を検知管で測定した (図 4)。なお、アルミパック内の空気の体積管理が困難であり、サンプルすべてで統一することができなかったため、数値による比較は行わず、あくまで定性を主とした。



図4 追加実験の様子

## 5 検証結果及び考察

### (1) VOC 発生状況の確認

#### ア 熱分解生成ガス分析実験

各試料の Py-GC-MS 分析結果について、BZ のピーク強度を示したものを表 7 に、それを雰囲気毎にグラフ化したものを図 5 及び図 6 に示す。なお、発生した BZ 量の比較について、分析結果における各ピークの半値幅に大きな差が見られなかったことから、本検証では簡易的にピーク強度を用いて相対的に検出量を比較した。

杉は、He 雰囲気下 590°C 及び 1,040°C の熱分解におい



て、BZ が検出された。PE は、358℃及び 590℃の熱分解において BZ が検出されなかったが、1,040℃では BZ が検出された。PS は、358℃の熱分解において BZ が検出されなかったが、590℃及び 1,040℃では BZ が検出された。なお、1,040℃にあっては他の試料と比較して BZ の発生が多く、空気雰囲気下では顕著であった。PVC は、358℃から 1,040℃までの温度帯の熱分解において、BZ が検出された。

以上の結果より、全体的に、より高温で熱分解された場合に、BZ の発生量が多くなる傾向が見られた。また、雰囲気（酸素量）の違いによる全体的な傾向は確認されなかった。したがって、熱分解生成物は温度の影響により依存すると示唆され、試料や環境によって BZ が発生する機構が異なると考えられる。主な BZ の発生機構として、高温場での反応による芳香族形成が考えられる。炭化水素は高温場の熱分解において、炭素数が 1 もしくは 2 つの化学種にまで分解され、これらの化学種が反応して生成するプロパギルラジカル (C<sub>3</sub>H<sub>3</sub>) の二量化反応等により、BZ が形成されていくことが提案されている<sup>7)</sup>。PVC にあっては、低温で塩素が脱離し、ポリエン構造を経て、さらに熱分解して環化して BZ が生成されることが報告されている<sup>8)、9)</sup> (図 7)。

このことから、火災の環境や可燃物が高温であるほど、BZ の発生量が多いことを確認した。火災成長期から火災最盛期の高い温度領域で、木材及び樹脂の熱分解で BZ が発生しやすいことが推定される。ただし、可燃物によっては、火災初期の比較的低温の熱分解でも BZ が発生する場合がある。

イ 模擬家屋燃焼実験

ガス検知管による測定結果及び TD-GC-MS による測定で検出された成分について一部抜粋してまとめたものを表 8 に示す。また、火災の推移に伴う各時期の家屋内に存在した BZ のピーク強度を表 9 に示し、その変化をグラフ化したものを図 8 に示す。なお、こちらの結果についても、発生した BZ 量の比較について、分析結果における各ピークの半値幅に大きな差が見られなかったことから、本検証では簡易的にピーク強度を用いて相対的に検出量を比較した。

ガス検知管の測定結果より、呈色反応がなく、BZ 濃度はいずれの時期においても検知管の測定下限値である 0.2ppm 未満であったものの、TD-GC-MS の分析結果より、BZ を含む多種の VOC 等が検出された。このことから、ガス検知管の測定下限値未満の濃度で BZ 等の VOC が存在しているといえる。

また、BZ は燃焼中に発生しており、鎮圧以降は火災の推移（時間経過）に伴って BZ ピーク強度（BZ 量）は減少していた。これは火災現場での排煙活動や火災により生じた開口部から BZ が拡散したためであると推測される。鎮圧から時間が経過していない場合ほど、空間内の BZ 濃度は高いと考えられる。

表 7 Py-GC-MS の測定結果 (BZ のピーク強度 [-])

試料	熱分解温度及び雰囲気					
	358℃		590℃		1040℃	
	空気	He	空気	He	空気	He
杉	—	—	—	3.2 × 10 <sup>5</sup>	3.8 × 10 <sup>6</sup>	3.6 × 10 <sup>6</sup>
PE	—	—	—	—	1.5 × 10 <sup>6</sup>	3.7 × 10 <sup>6</sup>
PS	—	—	8.0 × 10 <sup>5</sup>	1.9 × 10 <sup>6</sup>	3.7 × 10 <sup>7</sup>	1.3 × 10 <sup>7</sup>
PVC	1.9 × 10 <sup>6</sup>	2.2 × 10 <sup>6</sup>	2.1 × 10 <sup>6</sup>	2.1 × 10 <sup>6</sup>	4.1 × 10 <sup>6</sup>	7.2 × 10 <sup>6</sup>

※ 表中の数値はピーク強度、記号「—」は検出なし（もしくは検出限界以下）を示す。

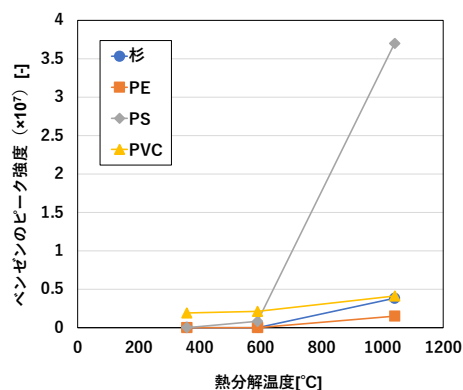


図 5 熱分解温度の違いによる BZ ピーク強度の推移 (空気雰囲気下)

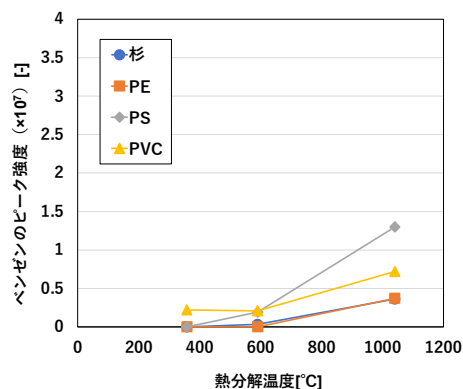


図 6 熱分解温度の違いによる BZ ピーク強度の推移 (He 雰囲気下)

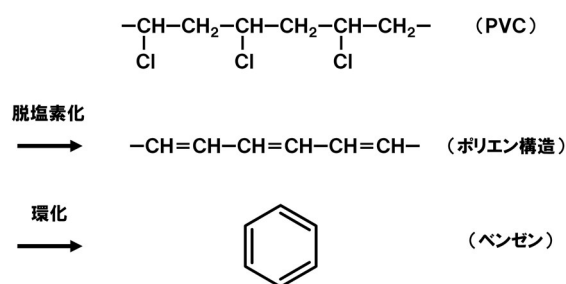


図 7 PVC の熱分解による BZ 発生機構<sup>8)、9)</sup>

なお、燃焼前の模擬家屋外（大規模火災実験棟屋内）において、トルエンや直鎖系炭化水素等が僅かに検出されている。これは、日頃実施している燃焼実験にて使用している助燃剤（灯油）等の成分が空間内に微量に残存していたためと考える。

表 8 ガス検知管及びの TD-GC-MS の測定結果

火災の推移	採取場所	BZ 検知管	検出成分※ (TD-GC-MS 分析結果)
燃焼前	模擬家屋外 (大規模火災 実験棟屋内)	呈色なし (0.2ppm 未満)	トルエン、キシレン、 直鎖系炭化水素 (C7~C13) 等
燃焼中	模擬家屋 開口部	呈色なし (0.2ppm 未満)	BZ、トルエン、 フルフラール、スチレン、フェノール、 インデン、ナフタレン等
燃焼後 (鎮圧)	模擬 家屋 屋内	床上 1m	呈色なし (0.2ppm 未満)
		低所	呈色なし (0.2ppm 未満)
			BZ、トルエン、 フルフラール、スチレン、 インデン、ナフタレン等

※ 成分分析の結果、検出された多種の成分のうち、VOC 等の一部を抜粋して記載したもの。

表 9 火災推移に伴う家屋内に存在した BZ ピーク強度

採取時期	BZ ピーク強度 [-]
燃焼中	$3.3 \times 10^7$
鎮圧後	$7.4 \times 10^5$
鎮火後	$2.2 \times 10^5$

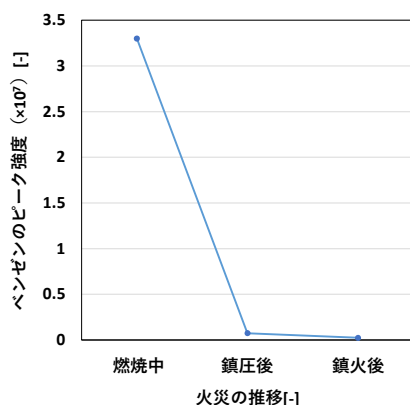


図 8 火災推移に伴う BZ ピーク強度の変化

(2) 現地調査

合計 4 件の火災現場にて、実施した環境測定及び TD-GC-MS によるガス成分分析の結果を表 10 に示す。

いずれの現場においても BZ 検知管には呈色反応がなく、BZ 濃度は検知管の測定下限値 (0.2ppm) 未満と低かった。しかし、TD-GC-MS の分析結果より、BZ を含む多種

の VOC 等が検出された。

このことから、基礎実験の結果と同じく、火災により BZ 等の VOC が生成されてはいるものの、鎮圧以降にあつては、開口部からの排煙等により拡散され、火点室内の VOC 濃度が低くなったと考える。

また、日本産業衛生学会は、BZ の過剰発がん生涯リスクレベル (以下「RL」という。) 評価値を表 11 のように示している<sup>5)</sup>。検知管法を使用した現地調査の結果、すべての火災現場で鎮圧以降の BZ 濃度は 0.2ppm 未満であったことから、単に数値だけを比較すると、発がん性リスクは高いとまではいえないと考えられる。しかしながら、煙が立ち上がる残火処理活動中の火災現場では、生成した物質が安定的に存在するとは限らない点を考慮すると、より正確なリスク評価を行うためには、さらに一定数の現地調査を行うか、検知管法以外の方法も検討する必要があると考えられる。

表 10 現地調査の結果

事例	構造・用途	火元	BZ 検知管	検出成分※ (TD-GC-MS 分析結果)
1	耐火造 解体中家屋	屋上 機械室	呈色なし (0.2ppm 未満)	BZ、トルエン、スチレン等
2	耐火造 共同住宅	住居内	呈色なし (0.2ppm 未満)	BZ、トルエン、スチレン、 ベンゾニトリル、ナフタレン、 アントラセン等
3	防火造 共同住宅	住居内	呈色なし (0.2ppm 未満)	BZ、トルエン、スチレン、 ナフタレン等
4	準耐火造 一般住宅	住居内	呈色なし (0.2ppm 未満)	BZ、トルエン、スチレン、 ナフタレン、アントラセン等

※ 成分分析の結果、検出された多種の成分のうち、VOC 等の一部を抜粋して記載したもの。

表 11 BZ の過剰発がん生涯 RL 評価値<sup>5)</sup>

過剰発がん生涯 RL	評価値
$10^{-3}$	1ppm
$10^{-4}$	0.1ppm

(3) 除染実験

各除染方法を実施した後に、検知管測定にて得られた結果を表 12 に示す。除染なしの場合は測定上限値の 80ppm 超を示し、容器内密閉の場合は 20ppm を示した。それ以外については、検知管は呈色を示さなかったことから、0.2ppm (測定下限値) 未満であった。このことから、防火衣サンプルを換気された空間に 30 分間以上静置すれば表層の BZ 濃度は 0.2ppm 未満まで低減することがわかった。また、容器内密閉は、屋外静置と比較して、BZ は拡散していかず、防火衣サンプル表層に残存していたことから、汚染範囲の拡大 (二次汚染) 防止という点では有効であると考えられる。

しかしながら、追加実験のサンプルすべてで、検知管の明確な呈色が見られた。この結果は、今回の除染は有効ではなく、除染実施後も BZ が継続的に防火衣サンプルから放出されていたことを示唆する。したがって、より効果的な除染を行わなければ、防火衣生地の内側には BZ が残存し、さらには汚染範囲を拡大し得ることが考えられる。

表 12 除染方法実施後の検知管測定の結果

サンプル番号	除染方法	BZ 濃度 (測定範囲 : 0.2~80ppm)	
		除染直後	7ℓミバツク内 24 時間後
1	なし (ブランク値)	80ppm 超 (測定上限超)	50ppm※
2	容器内密閉	20ppm	50ppm※
3	屋外日影静置 (30 分間)	呈色なし (0.2ppm 未満)	30ppm※
4	屋外日影静置 (24 時間)	呈色なし (0.2ppm 未満)	5ppm※
5	屋外日光静置 (30 分間)	呈色なし (0.2ppm 未満)	60ppm※
6	シャワー	呈色なし (0.2ppm 未満)	5ppm※
7	模擬洗濯機	呈色なし (0.2ppm 未満)	1ppm※

※ 7ℓミバツク内の空気の体積管理が困難であり、統一できなかったため、参考値とする。

## 6 まとめ

- (1) 火災現場では VOC が発生し、火点室や可燃物が高温になるほど、BZ の発生量が多いことが明らかとなった。このことから、火災成長期から火災最盛期の高い温度領域にて、木材及び樹脂の熱分解で BZ が発生しやすいことが推定された。
- (2) 開口部の発生や排煙活動等により、鎮圧時点における火点室の VOC の濃度は大きく低下する。高濃度の有害物質に曝される時間をより短くするため、早期の積極的な排煙等が望ましいと考えられる。
- (3) 効果的な除染をしなければ、防火衣生地の内側には VOC が残存することがわかった。将来的な健康被害を低減させるため、防火衣等の各種装備品に対し有効な除染が必要であると推定される。

## 7 おわりに

本検証では、火災環境における BZ 等の VOC の発生状況等を明らかにした。ただし、今回の実験及び調査の結果と十分な比較・検証を行うため、今後も実験及び現地調査を継続する必要がある。また、各種装備品の活動環境における

汚染実態や効果的な除染方法についても検証の余地があるほか、火災現場で発生する発がん性物質についても網羅したわけではない。吸入のほか、経皮による暴露経路によって、がんを発症する有害物質もあるため、BZ 以外の物質についても、検証を実施していく必要がある。今後、さらに有害物質に関するデータの蓄積を行い、取りまとめ次第、第 2 報として報告する予定である。

本検証で得られた知見が、消防隊員に対する安全対策の向上に資することを切に願う。

## 8 謝辞

本検証の実施にあたり、横浜国立大学大学院教授の大谷英雄先生より多くの貴重な知見を賜りました。また、模擬家屋燃焼実験では、総務省消防庁消防大学校より、実験施設の御提供及び御協力をいただきました。ここに感謝の意を表します。

### [参考文献]

- 1) International Association of Fire Chief's Volunteer and Combination Officers Section: Lavender Ribbon Report, 2018
- 2) 奥村和礼: Firefighter Brotherhood~海外消防研修日誌~ (9)5 日目・午後、月間消防、東京法令出版、2021 年 2 月号、pp.40-41、2021
- 3) Volatile Organic Compounds Off-gassing from Firefighters' Personal Protective Equipment Ensembles after Use: Journal of Occupational and Environmental Hygiene, Vol.12(6)、pp.404-414、2015
- 4) 中西準子ほか 3 名: 詳細リスク評価書シリーズ 18 ベンゼン、丸善株式会社、2008
- 5) 日本産業衛生学会: 許容濃度等の勧告 (2020 年度)、産業衛生学雑誌、Vol.62、No.5、pp.198-230、2020
- 6) 公益社団法人日本作業環境測定協会: 作業環境測定ガイドブック 0—総論編一、公益社団法人日本作業環境測定協会、2012
- 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) 柘植新ほか 2 名: 含塩素合成高分子の熱分解ガスクロマトグラフィ、工業化学雑誌、72 巻、6 号、pp.1274-1278、1969
- 9) 大谷肇ほか 1 名: 高分子の熱分解特性、高分子、46 巻、6 月号、pp.394-397、1997

## Study on the Dangers of the Hazardous Substances Generated at the Fire Scene (First Report)

HAINO Kenji\*, TAKAMATSU Nobufumi\*\*, SHIMIZU Takaichi\*\*

### Abstract

Overseas, firefighters exposed to the harmful substances caused by fires are thought to be at the risk of deteriorated health in the future, and measures are already in place to reduce these risks.

We have a record of verifying the toxicity of the hazardous substances generated at fire scenes and proposing necessary measures, but little has been done to verify their efficacy from a carcinogenic viewpoint.

This study mainly used Benzene (BZ), a carcinogenic volatile organic compound (VOC). We investigated the relationship between the fire environment and BZ concentration at the time of the outbreak of BZ. In addition, an investigation was conducted at the scene of a fire to support the experimental results. They found that VOCs occurred at the site of a fire, and more BZ was generated as the temperature of the burning room and combustible items increased. However, harmful substances were found to remain inside fire retardant fabrics for extended periods if effective decontamination was not performed. To reduce the risk of poor health in the future, effective decontamination is necessary for various equipment such as protective clothing soon after handling a fire.

---

\*Senjyu Fire Station \*\*Hazardous Materials Identification Section