

発泡樹脂の火災事例と危険性

危険物等事故防止技術センター

1 はじめに

発泡樹脂は、魚箱や食品トレー等の容器、椅子やソファ等家具、マットレスや枕等の寝具そして建築物の断熱材等に幅広く使用され、我々の日常生活に欠かせないものとなっている。

一方、樹脂自身の高い燃焼性に加え、発泡剤に可燃性ガスが使用されるケースもあるため、発泡樹脂製品は高い火災危険性を有しており、燃焼時に発生する有毒ガスにより死者を出した例もある。

本稿では、発泡樹脂の火災事例を分析し、発泡樹脂の危険性と事故防止について考察した。

2 発泡樹脂

2.1 種類と用途¹⁾

発泡樹脂とは、合成樹脂を炭化水素ガス等の微細な泡で発泡、硬化させた素材である。大部分の樹脂は、その条件を選択することにより発泡体とすることができるが、その物性、コスト、需要量等から現在、工業的に製造されているものは次の通りとなっている。熱可塑性樹脂フォームでは、ポリスチレンフォーム、ポリエチレンフォーム、ポリプロピレンフォーム、塩化ビニルフォーム等、また、熱硬化性樹脂フォームでは、ウレタンフォーム、フェノールフォーム等である。

発泡樹脂はクッション性、耐衝撃性、断熱性に優れているため、各種包装、梱包材、建築

用・工業用断熱材、家具、生活用品そして建設資材等に幅広く用いられている。

2.2 酸素指数と燃焼性

合成樹脂類のうち、不燃性又は難燃性でない固体は消防法の指定可燃物となっている。不燃性及び難燃性を有するものとは、日本工業規格 K7201に定める酸素指数法に基づく酸素指数26以上のものである。ここで、発泡樹脂に用いられる一般的な合成樹脂のポリスチレンとポリウレタンは、酸素指数26未満である。但し、難燃化を行い、酸素指数が26以上となる場合がある。例えば、建材用途の発泡樹脂には、通常、難燃剤を含有した原料が使用されており、火源があれば燃え続けるが、単独では燃焼を継続しない性質を有しており、消防法の指定可燃物から除外されることがある²⁾。

3 火災事例の分析

平成15年中の全火災の着火物別出火件数に占める合成樹脂・成型品（発泡させないものを含む）の割合は、5.0%（第4位）であった³⁾。樹脂は燃えやすいものであるが、中でも発泡させた樹脂は気泡を含み、発泡剤に可燃性ガスが使用されることもあるため非常に燃えやすい。1990年から2004年の15年間に発生した発泡樹脂の火災事例を表1に示した。表1は、この期間に発生した全ての発泡樹脂の火災事例を網羅している訳ではないが、この表に挙げた32件の事例を対象として分析を行った。

表1 発泡樹脂の火災事例

No.	発生年月	場 所	死者数	事 故 概 要
1	2004年 9 月	茨城県	0名	発泡スチロール加工工場から出火、工場を全焼し、従業員の男性三人が軽いやけどなどを負った。
2	2003年 2 月	神奈川県	0名	解体工事現場における火災。冷凍倉庫に使用されていた断熱材のウレタンが、重機から発生した熱により発火した可能性高い。
3	2002年10月	三重県	0名	ウレタンフォーム加工工場において、断裁機の刃を研磨していたグラインダーの火花が、付近にあったウレタンフォームに着火。
4	2002年 1 月	和歌山県	0名	年始で休業中の発泡スチロール加工工場内の原反置付近より出火し、全焼した。原因不明。
5	2001年11月	岡山県	0名	ウレタンフォーム製造工場、カッター等の動力配線が短絡して電線管を溶かし、火花が散ってウレタンフォームに着火。
6	2001年 5 月	広島県	0名	発泡ポリスチレン容器製造工場、発泡スチロールの原反を取り付ける際、原反の中芯空洞部分に蒸散滞留していたブタンガスが、静電気により着火。
7	2001年 6 月	山形県	0名	ダンボール箱加工工場、発泡スチロール断裁機のニクロム線の断線末端と直下の他線との接触により異常発熱し、発泡スチロールに着火したものと推定される。
8	2001年 2 月	三重県	0名	発泡スチロール成型工場、発泡スチロールの不良品を溶解処理する機器に大量の不良品を投入したため、断片が加熱脱臭用ヒーター内に入り着火。
9	2000年11月	青森県	0名	発泡スチロール製造工場、製品乾燥用ファンの取り外し作業中、ガスバーナーの火が発泡スチロール製断熱材に引火。
10	2000年 8 月	茨城県	0名	発泡ポリエチレン加工工場において、焼却炉で燃やしていたダンボール片が飛び火し、発泡ポリエチレンの屑に引火。工場を全焼。
11	1999年 6 月	広島県	0名	畜舎の換気扇を取り替え作業中、ガスバーナーの火が断熱材のウレタンに引火。
12	1998年10月	青森県	0名	発泡スチロール箱製造工場、従業員が私用で電気溶接機を使用した際、周囲にあった発泡スチロール箱に火花が飛んで着火。
13	1998年 5 月	北海道	0名	発泡スチロール箱製造工場、製品倉庫から出火し、全焼。原因不明。
14	1998年 2 月	東京都	0名	貯氷室のリフトを移設するためガスバーナーを使用して溶断中、溶断火花が壁の保冷用発泡ウレタンに引火。
15	1997年 9 月	北海道	2名	家屋新築工事現場でウレタンフォーム吹き付け作業中、作業者が酸素欠乏症により倒れ、生成され続けて大きな塊となったウレタンフォームから出火。
16	1997年 6 月	静岡県	1名	プラスチック再処理工場、密閉型発泡スチロール減容機の運転中、閉塞によりブタンガスが滞留、静電気により着火、爆発。
17	1997年 6 月	広島県	0名	発泡スチロール加工工場、発泡スチロール切断機のニクロム線の電圧が通常よりも上げられていたため、発泡スチロールが発火。
18	1997年 2 月	愛媛県	0名	倉庫の増改築工事で溶断作業中、火花が下部にあった養生シートで覆ったポリエチレンフォームを飛び越え、付近に積んであったポリエチレンフォームに着火。
19	1996年 8 月	滋賀県	0名	発泡スチロール成型工場、製品検査場のローラーコンベアをサンダーで研磨していたところ、火花が近くににあった発泡スチロールに着火。
20	1996年 7 月	北海道	0名	ビル解体工事現場において、鉄筋をガスバーナーで切断作業中、火がウレタン製の断熱材に引火。
21	1996年 4 月	ドイツ	17名	空港の到着ロビー上部で溶接作業中、火花により天井の断熱材に着火。天井の断熱材に不適格な硬質発泡ポリスチロールを使用。
22	1995年12月	栃木県	4名	多目的ホール建築工事現場において、ガスバーナーでボルトを溶断中、火花がウレタンフォーム製断熱材に引火。
23	1995年11月	滋賀県	0名	発泡スチロール容器製造工場において、発泡機で生成したビーズを送粒ブローアで熟成バッグに送る際、滞留していた発泡剤の可燃性ガスが静電気により着火。
24	1995年 5 月	大阪府	0名	スチロール樹脂加工機械の定期点検後、溜まった樹脂を除去しようとしたところ、静電気により発泡剤ガスに引火。
25	1995年 3 月	千葉県	0名	発泡スチロール溶解設備で溶解中、温度上昇により発泡スチロールが噴出し、着火。
26	1995年 3 月	群馬県	0名	ウレタンフォーム加工工場において、カッターの刃をグラインダーで研磨した際、飛び散った火花により周囲の床面に散乱していたポリウレタン屑に着火。
27	1994年11月	福岡県	1名	解体作業現場において、倉庫内の鉄骨をアセチレンガスで溶断中、火粉がコンクリート壁に吹き付けられたウレタンフォーム製断熱材に引火。
28	1994年 3 月	北海道	2名	増築部分の9階床下ビットで、ウレタンフォーム吹き付け作業中に爆発。
29	1992年 9 月	大阪府	0名	鉄道・道路建設工事現場で、ガスバーナーの火が防水用発泡ウレタンに引火。
30	1991年11月	東京都	0名	治水工事現場の縦坑内で溶接作業中、火花が発泡スチロールブロックに引火。
31	1991年 3 月	東京都	0名	公園造成工事現場で、盛土材料として地中に埋設された発泡スチロールブロックの残留ブタンガスが滞留し、着火。
32	1990年 6 月	北海道	1名	工事現場において、ボルトを鉄筋に溶接取付中、硬質ウレタンフォーム製断熱材に引火。

3.1 火災の発生場所による分類

火災発生場所を、「発泡樹脂工場」、「ビル・家屋」、「倉庫」、「道路・河川等」の4つに分類した結果を図1に示す。発泡樹脂を製造、加工する工場における火災が過半数を占めている。また、発泡樹脂工場以外の14件は、建築、設備、土木、解体工事の現場となっている。「その他・不明」の3件は、畜舎、冷凍事業所の貯氷室そして場所不明の建設現場である。

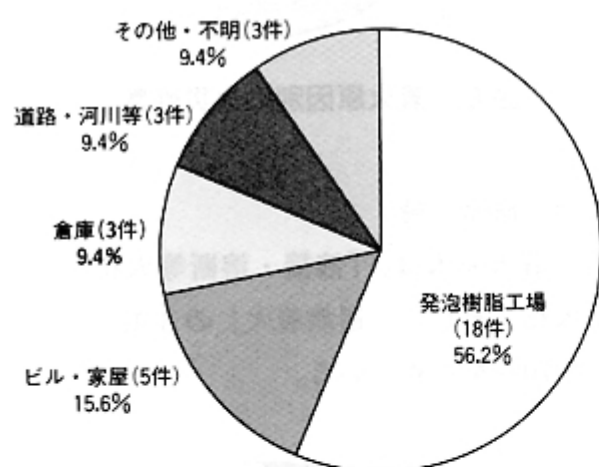


図1 発生場所別の火災件数

3.2 作業状況による分類

出火場所において行われていた作業状況を、「工事中」、「操業中」、「点検・整備中」、「貯蔵保管中」の4つに分類した結果を図2に示す。「工事中」が半数近くを占めている。図1にお

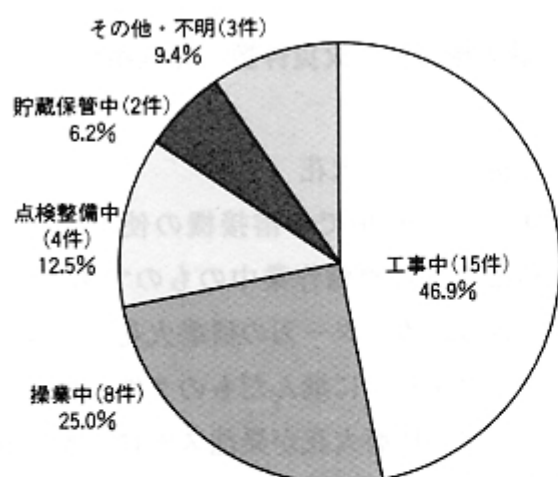


図2 作業状況別による分類

いて、「発泡樹脂工場」以外の14件は工事現場であると述べたが、「発泡樹脂工場」における18件中1件が工事中のものであり、これら工事に関するものの合計が、図2の「工事中」15件ということである。よって、「工事中」以外の作業は、発泡樹脂工場で行われていた作業の分類に相当する。「その他・不明」3件の内訳は、ダンボール焼却中、私用で溶接機を使用中そして状況不明である。

3.3 着火物による分類

着火物を樹脂の種類別に見ると、図3に示すような結果となった。ウレタンフォームと発泡スチロールの2つで、全体の80%近くを占めている。また、可燃性ガスは、全て発泡スチロールより放出されたものであることから、ここでも取り上げた発泡樹脂火災の90%以上に、ウレタンフォーム又は発泡スチロールが関係している。

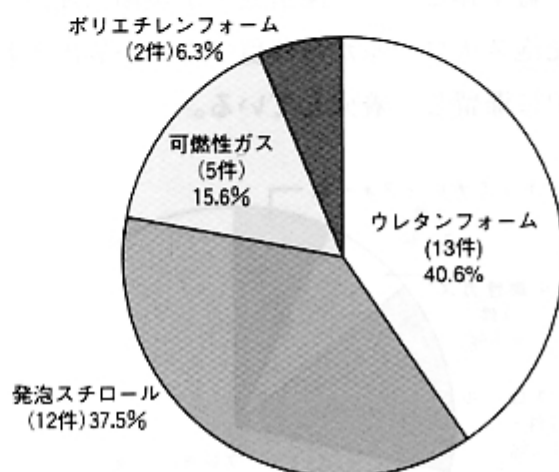


図3 着火物別の火災件数

次に、発生場所別に着火物を分析した。結果を図4、図5に示す。

(1) 発泡樹脂工場

発泡スチロールが半数以上を占めている。可燃性ガスも発泡スチロールから放出されたものであることから、緩衝材や容器等の製造、加工工場における発泡樹脂火災の80%近くは、発

泡スチロールが関与したものである。

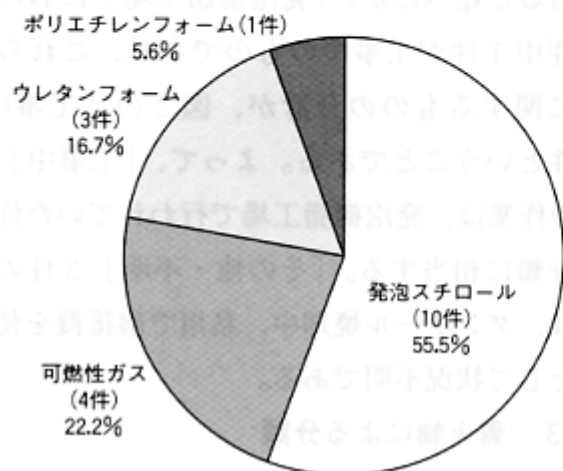


図4 着火物別の火災件数（発泡樹脂工場）

(2) 発泡樹脂工場以外

断熱材のウレタンフォームが70%以上を占めている。また、発泡スチロールも、乾燥機や建築物の断熱材である。また、ここでも可燃性ガスは発泡スチロールから放出されたものであった。盛土体として公園造成工事現場に埋設された発泡スチロールから残留ブタンが放出されて地中に滞留し、着火している。

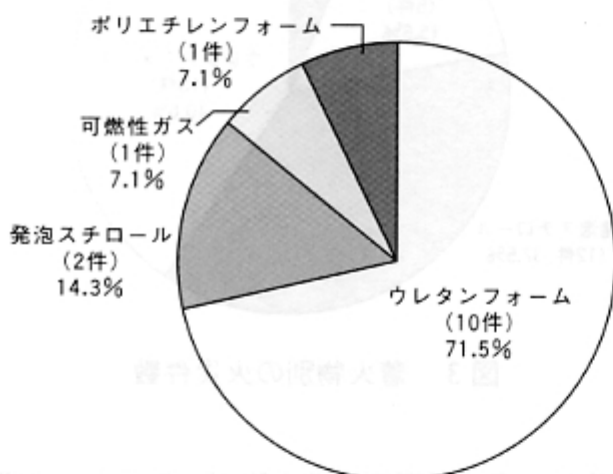


図5 着火物別の火災件数（発泡樹脂工場以外）

3.4 着火原因による分類

着火原因別の火災件数を図6に示す。溶断・溶接等火花が半数近くを占めている。また、発生場所別に着火原因を分析した結果を図7、図

8に示す。

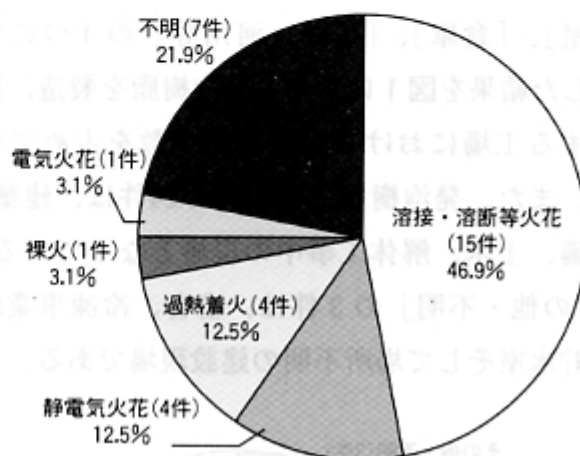


図6 着火原因別の火災件数

(1) 発泡樹脂工場

主な着火原因は、「溶接・溶断等火花」、「静電気火花」そして「過熱着火」の3項目で、全体の約70%を占めている。

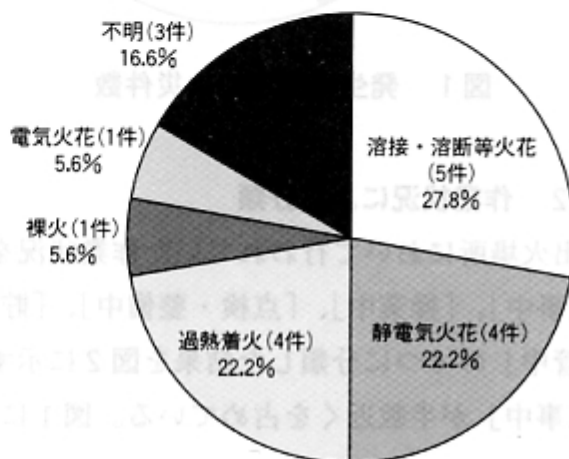


図7 着火原因別の火災件数（発泡樹脂工場）

ア 溶接・溶断等火花

工事中及び私用での溶接機の使用を除くと、残る3件は整備作業中のものであった。具体的には、カッター刃の研磨火花が周辺のウレタンフォームに飛んだもの2件とローラーコンベアの研磨火花が発泡スチロールに飛んだものである。

イ 静電気火花

点検整備中の1件と、作業中の3件である。いずれも発泡スチロールから放出された可燃性ガスが滞留し、静電気火花が引火したものである。

ウ 過熱着火

4件全てが作業中に発生したものであり、この内の2件は断熱機の熱線によるものである。

また、残りの2件は、溶解設備において発生している。

エ その他

裸火は、工場敷地内の焼却炉の火の粉が飛んで、工場建家のそばに置いてあった発泡ポリエチレン屑に着火したものである。また、電気火花は、機器の振動により動力配線の電線被覆が破損、短絡して火花が散ったものである。

(2) 発泡樹脂工場以外

着火原因が判明しているものは全て「溶接・溶断等火花」で、全体の約70%を占めている。また、この10件中9件までが断熱材に使用された発泡樹脂に溶接、溶断による火花等が飛んで出火している。残る1件は、倉庫に置かれていた発泡樹脂に溶断火花が落下したものである。

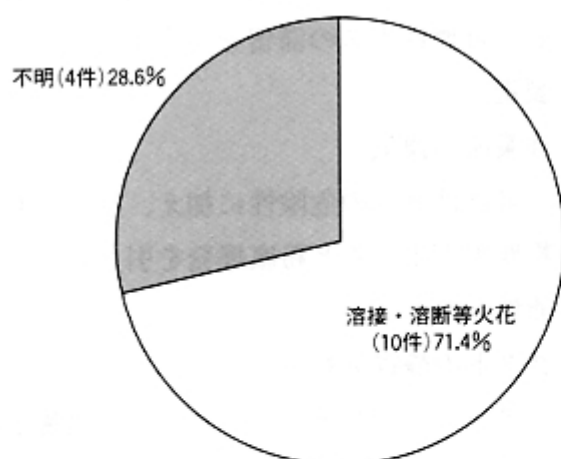


図8 着火原因別の火災件数（発泡樹脂工場以外）

4 危険性と事故防止

ここでは、発泡樹脂火災の危険性と火災予防の観点から、製造、貯蔵、製品取扱の注意点について考える。

4.1 燃焼性

本来、ウレタンフォームは大変燃焼しやすく、一気に燃え広がる爆燃現象をおこす。このため、建築用断熱材のウレタンフォームには難燃性を付与した建築基準法の認定品があり、一般品と比べると燃え難く、発煙量が低減されている。しかし、難燃性の評価は、一定の条件下での材料の燃焼性の比較を目的とした試験（JIS A9511等）によるものであり、火気に接すると燃焼する⁴⁾。工事現場において、ウレタンフォームや発泡スチロールに火花が飛散し、火災となった事例があり、油断は禁物である。

また、英国では住宅火災の件数とウレタンフォームを充填した家具による死者数の増加を受けて、1988年に屋内で使用する家具の難燃化が義務付けられた⁵⁾。英国通産省の報告書⁶⁾によると、この規制により家具の着火が遅くなったことで避難に使える時間が増加し、1988年から1997年の10年間に1,860人の生命が救われ、少なくとも5,770人が怪我をせずに済んだとのことである。

4.2 燃焼により生成するガスと煙

樹脂が燃焼する際、不完全燃焼を起こすと一酸化炭素や煤を発生させる。1996年にドイツで起きた空港火災では、有毒ガスの発生により多数の死傷者を出している。火災発生時には、発泡樹脂やその他の建築資材等から生じる燃焼ガスにより、一酸化炭素中毒や酸素欠乏症を起こす危険性が高い。さらに、ウレタンフォームのように窒素を含むものは、燃焼条件によってはシアンガスを発生するが、その量は多いものではないとのことである⁷⁾。

4.3 可燃性発泡ガスの放出

発泡樹脂製品には、樹脂の種類、製品の用途等によって、代替フロン、水、炭酸ガスの他、可燃性ガスのブタン、プロパン、ペンタン、ジメチルエーテル等が発泡剤として使い分けられている。ビーズや原反から放出された可燃性のブタンガスが滞留し、静電気により着火した事例がある。また、表1（No.31）の公園造成工事現場における残留ブタンの放出事例では、業界の取扱基準で製造後3日間放置すれば空気と置換し、安全となるとされている発泡スチロールブロックを、4日以上工場で放置していたにもかかわらず火災となっている。ここで使用された発泡スチロールは、難燃剤が添加された自己消火性を有するものであった。しかし、燃焼実験の結果から、発泡スチロールブロックを大量に集積した現場では、隙間に漏出した微量のブタンガスが爆発下限界を超えた状態で滞留し、着火すると、保温相乗効果で高温となって難燃剤の効果が失われ、自己消火性がなくなり、独立燃焼するとのことである⁸⁾。

某社の発泡スチロールには、発泡剤として可燃性のペンタンを重量比3～8%含有しており、製造工程及び成型製品からガスを発生する。各工程間における典型的なペンタンの放出割合は以下の通りである（某社資料より）。

- ・70%以上 製造工程
- ・5～10% 初期貯蔵（2～3日）

大量の製品を受注すると、可燃性ガスの除去が不十分なまま出荷されてしまう可能性がある。さらに、残存する可燃性ガスは、長期間に渡ってゆっくりと拡散し、大気中に放出されるので、大量の発泡スチロール使用、貯蔵そして輸送時には火災予防上の注意が必要である。

また、可燃性ガス以外でも、ウレタンフォーム吹き付けによる断熱工事において、発泡剤として使用したフロンガスが空気と置換したことによる酸欠事故が発生している。

4.4 製造、貯蔵、製品取扱上の注意点

本稿で紹介した火災事例と危険性より、発泡樹脂の取り扱いにあたっては下記の点に注意が必要である。

(1) 共通

製造、貯蔵、製品取扱の全般に共通する注意点を以下に述べる。

- ・火気禁止区域における作業者の喫煙禁止や溶接・溶断・研削作業禁止の徹底
- ・裸火や電気火花を有する設備（ボイラー、温水器、ストーブ等）からの隔離
- ・電気設備の保守、点検
- ・静電気対策
- ・機器類にはアースやボンディングを行い、作業者の服や靴を静電気防止品にする等。
- ・換気とガス検知の実施
- ・監視と消火器の設置

樹脂製品は一気に燃え広がる危険性があるため、早期発見と初期消火が重要。初期消火には、二酸化炭素消火器やABC粉末消火器が適当である。

(2) 輸送・貯蔵

- ・車両、貯蔵施設の換気
- ・車両からの荷下ろし、熟成サイロやバッグからの払い出し等の後には、換気を十分に行う。また、貯蔵施設には換気扇を設置し、可燃性ガスの滞留を防止する。

(3) 製造

- ・作業所の換気
- ・可燃性ガスの危険性に加え、加工工程で粉塵雲が生じると粉塵爆発を引き起こす可能性がある。
- ・ダクトの静電気対策

アースやボンディングといった設備上の対策に加え、摩擦による静電気の発生を抑えるため、発泡ビーズの風送は極力低速で行う。

- ・発泡樹脂の切断に使用する熱線の過熱防止
適切な温度設定、熱線部の通風換気、電気故障に対応したインターロック等。
- ・加工機械周辺等の可燃物や粉塵の整理、清掃。

(4) 工事現場等での使用

- ・他の可燃物からの隔離
- ・使用箇所の確認、養生等の徹底

建築、改修、解体工事現場等においては、ウレタンフォーム等が使用されていないかを確認し、火気使用部位周辺のウレタンフォーム等可燃物の除去、防災シートによる養生、散水等の火災防止対策を徹底する。

- ・保護具の着用

硬質ウレタンフォームの現場施工を行う際は、発泡剤ガスによる酸素欠乏症を防止するため、必要に応じて送気マスク等を着用する。作業者が酸欠で倒れた後、ウレタンフォームが着火、火災となった事例がある。

5 おわりに

発泡樹脂を取り扱うにあたっては、樹脂の種類や難燃化処理を行っているかといった燃焼性と可燃性ガスを発泡剤として使用していないか、また、熟成過程で可燃性ガスを十分に空気と置換しているか等の確認を行い、その上で火

気の管理と換気等を徹底することが大変重要である。

参考文献

- 1) 14705の化学商品；化学工業日報社（2005）
- 2) 用語集
http://www.epskenzai.gr.jp/jiten/index_3.html
- 3) 平成16年版 消防白書；消防庁
- 4) Urethanes Q & A
<http://www.urethane-jp.org/qa/main.htm>
- 5) Statutory Instrument 1988 No.1324： The Furniture and Furnishings (Fire) (Safety) Regulations 1988
http://www.hmso.gov.uk/si/si1988/Uksi_19881324_en_1.htm#end
- 6) Effectiveness of the Furniture&Furnishings (Fire) (Safety) Regulations 1988
http://www.dti.gov.uk/homesafetynetwork/bs_rfffr.htm
- 7) ウレタンフォームQ&A
<http://www.bskaseihin-osaka.co.jp/gijyutu/q&a.htm#no5>
- 8) 新火災調査教本 第4巻－車両・化学火災編－；東京防災指導協会