

Fire Properties of

PVC

# 塩ビの防火性と 火災時の安全性

火災から身を守る「塩ビ」



株式会社カネカテクノロジー

塩ビ工業・環境協会

塩化ビニル環境対策協議会

## はじめに

火災は一瞬のうちに家屋、家財を焼失してしまうばかりか、尊い人命や想い出までもなくしてしまう可能性があります。日本においては、年間約6万件の火災が発生し、また、毎年2千人余りの方が尊い生命をおとされています。このような火災を防ぐためには、「火の用心」は勿論、「燃えにくい家造り」も重要なテーマです。

さて、家屋、建材にはさまざまな材料が使われていますが、塩ビもその一つです。塩ビは、機械的物性、意匠性や機能性、耐久性や省エネ性などに優れているのみならず、難燃性、つまり「燃えにくい」という大きな特徴があるため、建材として広く利用されています。

一方、塩ビは、燃やすと塩化水素が、燃焼条件が悪ければダイオキシンも発生しますが、それらは「人の命を守る」という火災時の安全性の面では全く問題とならないことも分かっています。

本冊子では、国内外のさまざまな文献をとおして、防火上あるいは燃焼時における塩ビの振る舞い、安全性について、他の素材と比較しつつ説明してあります。本冊子をご覧いただければ、塩ビは建築材料として安心して使用できることを、ご理解いただけるものと確信致しております。

尚、当社は2000年に「塩ビの火災時の安全性について」と題する簡易な小冊子を発行しましたが、本冊子はその全面改訂版です。この改訂にあたっては1997年～2006年8月までの文献を追加しています。

株式会社カネカテクノロジー

## 目次

要旨	03
<b>1</b> 塩ビの難燃性	
1 着火性	05
2 燃焼の持続性	07
3 燃焼の拡大性	08
<b>2</b> 塩ビ及び各種材料の火災時の安全性	
1 発煙性	13
2 燃焼に伴う質量損失	15
3 燃焼ガスの成分	17
4 燃焼ガス単体成分の毒性	21
5 各種材料の燃焼ガスの毒性	23
<b>3</b> 実規模での火災実験結果と 実際の火災における焼死者の実態	
1 実規模での火災実験結果	29
2 実際の火災における焼死者の実態	32
<b>参考</b> 火災におけるダイオキシンの発生量	34
参考文献	38

平成17年の火災による死亡原因は、一酸化炭素中毒・窒息43.2%、火傷43.0%、その他・不明13.8%となっています(平成18年版消防白書)。

この結果から、当然のことですが、火災を防止するためには

- 1 火を出さない
- 2 燃えにくい建材を選ぶ
- 3 燃えても一酸化炭素が出にくい建材を選ぶことが重要です。

### 1 塩ビの燃焼に関して

- 1) 難燃性、自己消火性というプラスチックの中では特異な特徴を持ちます。
- 2) 燃焼しても発熱が少なく、その分、他所に延焼し難いなどの効果を生みます。
- 3) 燃焼しても、出る煙は非常に少ない部類です。

### 2 塩ビの燃焼ガスの発生について

- 1) 塩ビは、その化学組成を反映して、燃焼により塩化水素を発生します。一方、二酸化炭素、一酸化炭素の発生は他の汎用プラスチックに比べて少なく、木材と比べても少ない発生量です。
- 2) シアン化水素、アルデヒド類は発生しません。
- 3) 建物や家具など身近なものが燃焼して発生するガスの中で、濃度が高く臭いもなく最も危険なものは一酸化炭素、次いで毒性の強いシアン化水素やアクロレイン(アルデヒドの一種)です。塩化水素も有毒ですが、濃度は低く、また、刺激臭があるため、危険を察知させ回避行動を促すプラスの効果もあります。

### 3 塩ビの燃焼ガスの毒性について

- 1) 小動物の死亡試験に関して種々のデータがありますが、塩ビ燃焼ガスの毒性は、木材などの各種材料と比べて同レベルと言えます。
- 2) これは火災での死亡原因として一酸化炭素が支配的であることと関係しています。
- 3) 実際の火災によって発生する一酸化炭素が致死量を超えているのに対し、塩化水素は致死濃度の10分の1以下のレベルです。
- 4) 実規模の室内火災のシミュレーションも行われており、「塩ビの分解生成物により死亡することはない」と報告されています。

以上のように、塩ビは防火上、また火災時の安全において有用な材料であり、建材として多くの用途で使われ、現在の実績を作り上げています。

# 1 塩ビの難燃性

- 1 着火性
- 2 燃焼の持続性
- 3 燃焼の拡大性



要旨

# 1 着火性

世の中に存在する多くの「材料」は火が近づくると着火し、この着火温度が低ければ低いほど、火災の危険性は大きくなります。そもそも材料が着火しなければ火災は発生しないので、燃焼の持続・拡大を抑制することよりも重要と言えます。

着火は、炎が存在して着火する場合と、炎が存在しない状態で加熱により自然に着火する場合があります。炎が存在して着火する温度は、引火温度、フラッシュ着火温度、または単に着火温度と呼ばれています。炎が存在しない状態で加熱により自然に着火する温度は、発火温度、自然発火温度、自己着火温度などと呼ばれています。揮発性液体の場合は、それぞれ、引火点、発火点と呼ばれることが多いようです。

この冊子では、炎が存在して着火する場合を

「引火温度」、加熱により燃焼が開始される場合を「発火温度」としています。

図1-1に、各種材料の引火温度と発火温度（いずれも\*ASTM D1929の標準法で測定）を示します。この中で塩ビは、引火温度、発火温度とも高い部類にあります。

**塩ビは、紙や木はもちろん、他のプラスチックと比べても、容易には着火しない、燃えにくい材料であることがわかります。**

尚、他の文献による主な材料の引火温度と発火温度を、表1-1に示しておきます。

塩ビが着火しにくい材料であることの判断には変わりありません。

\*ASTM:米国材料試験協会 (American Society for Testing and Materials) の略称。  
米国における工業材料及びその試験法の標準機関であり、工業規格のASTM規格を設定・発行している。

図1-1 各種材料の引火温度と発火温度<sup>1)</sup>

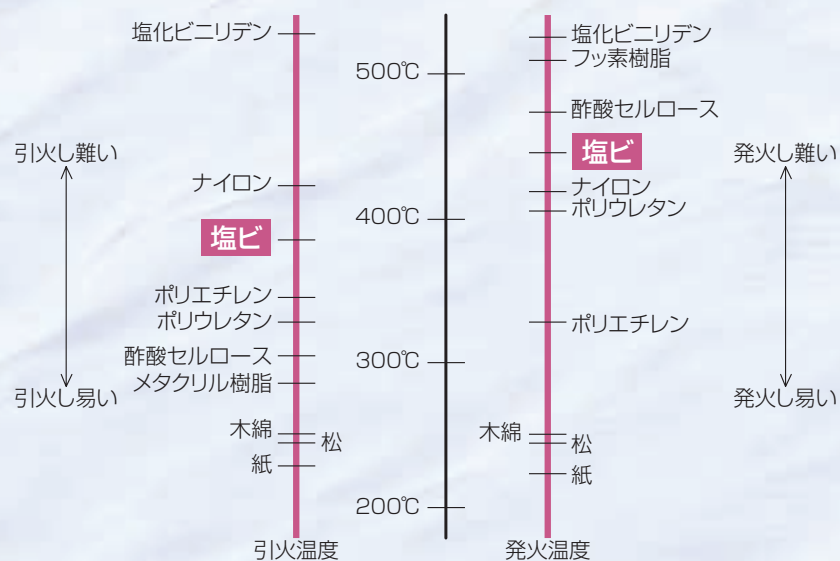


表1-1 主な材料の引火温度と発火温度(°C)<sup>2)3)</sup>

材 料	引火温度(°C)		発火温度(°C)	
	文献2)	文献3)	文献2)	文献3)
<b>塩 ビ</b>	<b>391</b>	<b>&gt;530</b>	<b>454</b>	<b>&gt;530</b>
ポリスチレン	345-360	370	488-496	495
ポリエチレン	341	340	349	350
ポリウレタン	310	310	416	415
木 材	260-300	240-272	400-450	416-460

着火性を評価する方法として、材料が発火するのに必要な熱量と時間を測定する方法もあります (ASTM E1354:コーンカロリメーター)。

(注)コーンカロリメーターは、円錐型(コーン)の電熱ヒーターによって試料を加熱し、スパークにより着火させ、燃焼状況、試料の発熱量、発煙量、重量および燃焼ガスの経時変化を測定する、総合的な燃焼特性測定装置。

建築材料やプラスチック材料の燃焼性状を評価するのに、このコーンカロリメーターを用いた燃焼特性の測定は世界的に一般化しつつあります。

表1-2に、10分以内で発火するのに必要な熱流束(単位時間当たり、単位断面の面を横切って移動する熱量)を示します。図1-2は、こ

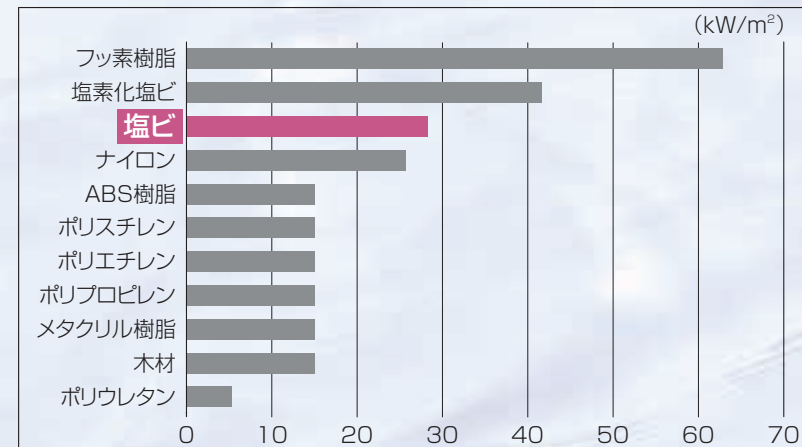
れを図にしたものです。**塩ビは、発火に必要な熱流束が大きく、着火しにくい材料であることがわかります。**

**このように塩ビは、引火温度・発火温度とも高く、また、発火に必要な熱流束が大きく、着火しにくい材料であることがわかります。つまり、塩ビは火災の危険性の少ない材料と言えます。**

表1-2 各種材料の最小着火熱流束(kW/m<sup>2</sup>)<sup>4)</sup>

材 料	10分以内発火に必要な熱流束(kW/m <sup>2</sup> )
フッ素樹脂	63
塩素化塩ビ	42
<b>塩 ビ</b>	<b>29</b>
ナイロン	26
ABS樹脂	15
ポリスチレン	15
ポリエチレン	15
ポリプロピレン	15
メタクリル樹脂	15
木材	15
ポリウレタン	5

図1-2 各種材料の最小着火熱流束(kW/m<sup>2</sup>)<sup>4)</sup>



## 2 燃焼の持続性

材料がいったん着火してしまえば燃焼が始まりますが、その燃焼が持続しやすいと火災へと発展する危険性があります。この燃焼の持続性を評価する方法として、比較的精度が高く、再現性がよいものとして「酸素指数」試験 (ASTM D2863) があります。

酸素指数とは、酸素、窒素の混合気体中にある試験片が燃焼を持続するために必要な最低

酸素濃度です。この数値が大きいほど難燃性は高く、空気中の酸素は21%ですから、酸素指数が22以上の材料は自己消火性材料と言えます。

表1-3に、各種材料の酸素指数を示します。

**これらの結果から、塩ビの酸素指数は大きく、着火しても燃焼が持続しにくい材料であることがわかります。**

表1-3 各種材料の酸素指数<sup>2)4)5)</sup>

材 料	文献2)	文献4)	文献5)
ポリテトラフルオロエチレン	95	94	95
塩化ビニリデン	60	60	60
<b>塩ビ</b>	<b>45</b>	<b>47</b>	<b>45~49</b>
ポリイミド		36	36.5
シリコーンゴム	30~33		
ポリフェニレンオキサイド	28~39		
ポリカーボネート		26	26~28
ナイロン66	24.3	25	24~29
羊毛		25	25.2
フェノール/紙積層	21.7		
PET	20.6	20	20
エポキシ樹脂	19.8		
セルローズ		19	19
ABS樹脂		18	18.3~18.8
スチレン・アクリロニトリル共重合体		18	18
ポリスチレン	18.1	18	17.6~18.3
ポリプロピレン	17.4~18.0	17	17.4
ポリエチレン	17.4	17	17.4
ポリメタクリル酸メチル	17.3	18	17.4
ポリオキシメチレン	14.9~16.1	16	15.7
木綿		16	16~17

## 3 燃焼の拡大性

ある材料が燃焼しているとき、それが燃え広がり、大きな火災につながる危険性があります。燃え広がり易さは、表面燃焼性 (ASTM E162)によって評価されます。

表1-4に、各種材料の表面燃焼性を示します。

**塩ビは、最も表面燃焼性の少ない材料に属しており、燃焼が拡大しにくいことがわかります。**

(注) 表の表面燃焼性 (延焼指数) は、炎の拡散性または炎の伝播性とも言い、ASTM E162によって測定されます。具体的には試験パネルの上端に11.9 cm離れて670℃の熱源をおき、着火した炎の移動距離とそのときの放熱量から計算されます。炎の移動距離が大きいことは、延焼速度が大きいことを意味し、塩ビのように延焼指数が小さい材料は延焼しにくいことを意味しています。また、最近の報告によると、火災毒性危険性の

制御には毒性よりも燃焼速度の低下が重要であることが米国で指摘されています<sup>9)</sup>。

各種材料の燃焼速度に関しては、燃焼発熱速度から求められた火災延焼率指標値が報告されており、表1-5に示します。

**塩ビの火災延焼率指標値は、各種プラスチックや木材よりも低く、この値からも、燃焼が拡大しにくいことがわかります。**

(注) 火災延焼率指標値は、燃焼試験において30秒間の発生熱量の最大値を燃焼試験開始からの経過時間で除した値で、単位は熱量/時間 (W/秒) で表されます。従って、この値が小さいほど火災延焼率が小さいと判定されます。

表1-4 各種材料の表面燃焼性<sup>5)</sup>

材 料	厚さ (mm)	表面燃焼性 (延焼指数)
塩素化塩ビ	3	4
ポリエーテルスルホン	3	5
<b>塩ビ</b>	<b>4</b>	<b>10</b>
ポリエステル	3	30~56
難燃ポリスチレン	3	59
難燃ポリカーボネート	6	73
ポリカーボネート	3	88
木材 (赤樫)	19	99
フェノール樹脂	2	114
合板 (縦)	6	143
ハードボード	6	185
ガラス繊維強化ポリエステル	2	239
難燃アクリル樹脂	3	316
ポリスチレン	2	355
アクリル樹脂	6	416
軟質発泡ポリウレタン		1,490
硬質発泡ポリウレタン		2,220

表1-5 各種材料の火災延焼率指標値<sup>7)</sup>

材 料	火災延焼率指標値 (W/秒)
<b>塩ビ</b>	<b>104</b>
通常のパーティクルボード	412
通常の合板	418
マツ科の木材	436
低密度繊維板	907
難燃ポリカーボネートパネル	1,189
アルミホイル表面のポリウレタン発泡体	2,029
難燃ポリスチレンボード	2,604

燃焼の拡大性に関連する測定値として、燃焼による各種材料の放熱量と放熱速度 (ASTM E906) について、図1-3および図1-4に示します。塩ビは、最も放熱が少ない材料の部類に属しています。材料が燃焼しているとき、その放熱が大きいと近隣の材料がその熱によ

て着火し、燃焼が拡大することになりますが、**塩ビは放熱量が小さく燃焼拡大性が最も少ない材料の一つと言えます。**

図1-3 各種高分子材料の最大放熱量 (kW/m<sup>2</sup>)<sup>1)</sup>

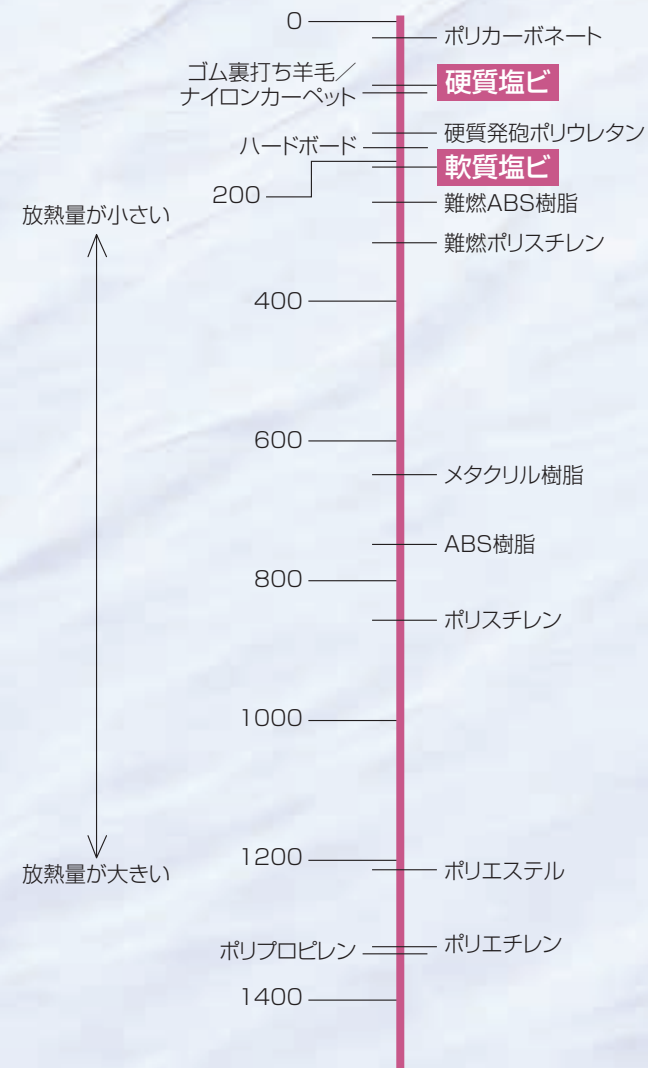


図1-4 各種材料の放熱量と放熱速度<sup>5)</sup>



(注) 図1-3と出典が異なります。BTUは英国の熱量単位です。

## 第1章のまとめ

世の中に存在する多くの「材料」は火が近づくと着火し、この着火温度が低ければ低いほど、火災発生の危険が高くなります。また、材料がいったん着火すると燃焼が始まりますが、大きな火災に発展させないためには、燃焼の持続・拡大を抑制することも重要です。

塩ビは、着火しにくい材料であり、着火しても燃焼が持続しにくく、また、燃焼の伝播・拡大性が低い、防火上有用な材料と言えます。

# 2 塩ビ及び各種材料の火災時の安全性

- 1 発煙性
- 2 燃焼に伴う質量損失
- 3 燃焼ガスの成分
- 4 燃焼ガス単体成分の毒性
- 5 各種材料の燃焼ガスの毒性

# 1 発煙性

プラスチック建材は、一般に煙が発生しやすく、見通しを悪くし、また呼吸困難に陥るなど、被災者の安全な避難を困難にします。この事を正しく評価するため、発煙性の測定が行われています。煙の量は煙パラメータによって評価されます。このパラメータは、発生した煙(すす)による光遮蔽性と最大放熱速度を掛けたもので、発生した煙の量に比例します。

図2-1に、各種材料の煙パラメータ測定値(ASTM E5-Proposal P-190)を示します。**塩ビの煙パラメータは、他の汎用プラスチックの1/10程度と非常に小さい値となっています。つまり、塩ビの燃焼時の発煙による危険度は小さいことがわかります。**

図2-1 各種高分子材料の煙パラメータ(kW・kg×10<sup>-5</sup>)<sup>1)</sup>

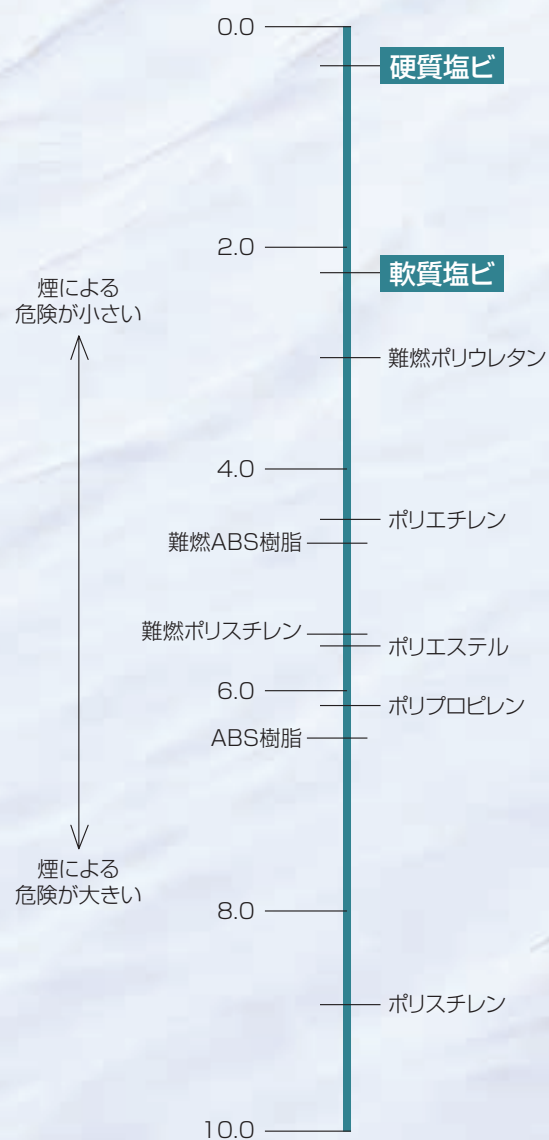


表2-1に、塩ビおよび各種材料パネルで内張りした木造家屋の燃焼実験結果を示します。塩ビは、何も内張りしていない木造家屋自身と比較して、放熱量もドア温度もほとんど変わりません。尚、塩ビの燃焼で発生する煙は家屋だけの場合に比べると発煙遮光をやや多く引き起こしますが、木材パネルや他の材料パネルが燃焼する時よりもずっと少ない遮光度です。

**これらの結果から、塩ビは、燃焼時の発煙や熱による危険度が小さいことがわかります。**

表2-1 家屋燃焼火災実験の結果<sup>4)8)</sup>

内張りパネル材	ドア最高温度(°C)	放熱量(初期13分間)(MJ)	ドアでの最大発煙量(OD*/m)
なし(木造家屋のみ)	162-171	28-33	1.6- 1.7
塩素化塩ビ	169	30	1.4- 1.5
低発煙硬質塩ビ	178	26	4.6-6.2
硬質塩ビ	159-188	30-32	8.3-8.5
難燃アクリル	322	37	7.7-22.1
難燃ABS	748	70	44.9
ポリカーボネート	382-418	134	33.0
木材(樫パネル)	558	90	9.6-35.0

\* optical density(光学密度)

(注) 表の最大発煙量の単位はOD(optical density)/m、すなわち、煙による見通しの悪さを1メートル当たりの数値として示したものです。したがって、この値が大きいほど見通しが悪くなることを意味します。逆に言えばこの値が塩ビのように小さければ発煙量が少ないことを意味します。



## 2 燃焼に伴う質量損失

火災の危害性は、熱と煙の発生のほか、有害な燃焼生成物の雰囲気中への放散、すなわち、材料の質量損失にも大きく左右されます<sup>1)</sup>。

表2-2および図2-2に、各種高分子材料の燃焼による質量損失速度（ASTM E5-

Proposal P-190）を示します。塩ビは、他の汎用プラスチックに比べて質量損失速度が小さいことがわかります。尚、表2-2には、燃焼による最大放熱量、煙パラメータの値も合わせて記載しています。

表2-2 各種高分子材料の質量損失速度<sup>1)</sup>

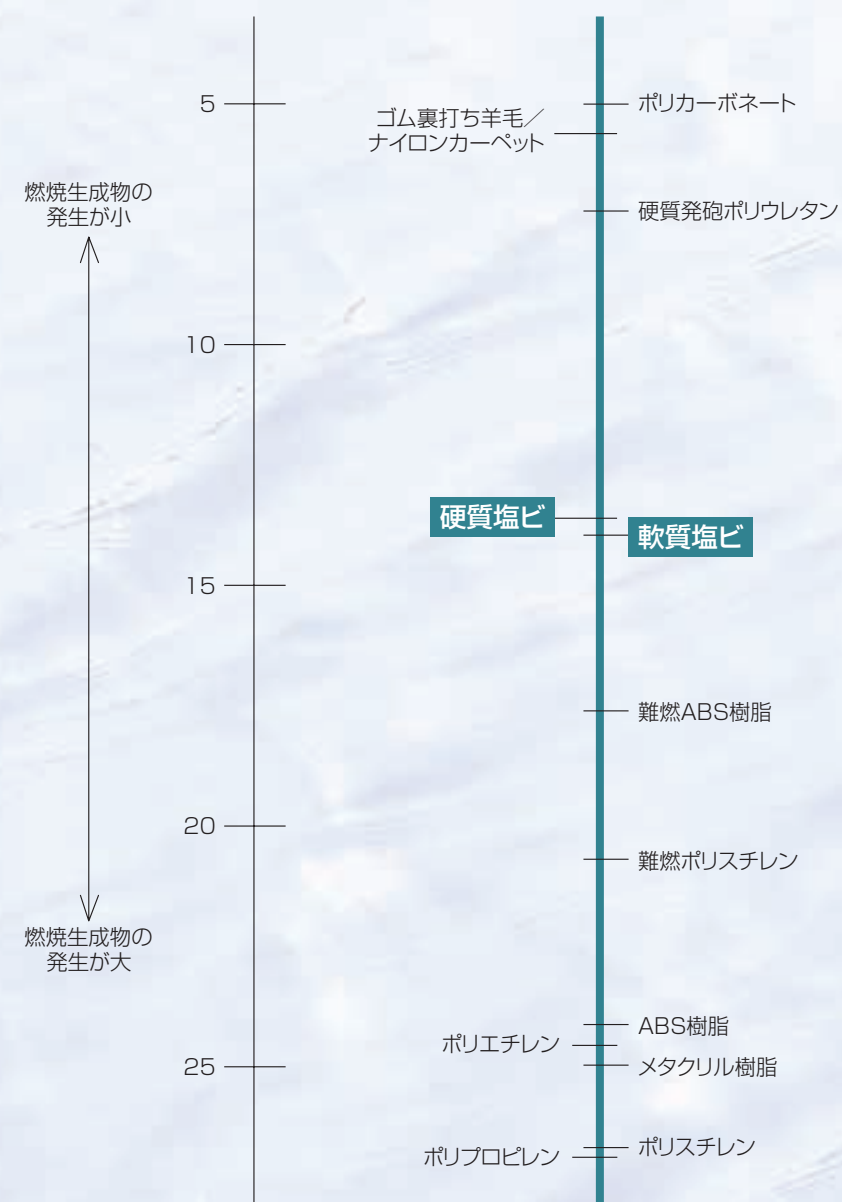
材 料	質量損失速度(g/秒・m <sup>2</sup> )	最大放熱量(kW/m <sup>2</sup> )	煙パラメータ(kW・kg×10 <sup>-5</sup> )
ポリカーボネート	5.0	22	-
ゴム裏打ちの羊毛／ナイロンカーペット	5.5	100	-
硬質発泡ポリウレタン	7.3	160	-
<b>低発煙性硬質塩ビ</b>	<b>8.0</b>	<b>89</b>	<b>0.04</b>
PPO／PS(ガラス繊維入り)	9.1	184	1.66
PPO／PS	11.3	263	4.10
難燃ポリウレタン	12.6	509	3.08
<b>塩ビ(押出)</b>	<b>12.7</b>	<b>115</b>	<b>0.38</b>
<b>塩ビ</b>	<b>13.7</b>	<b>91</b>	<b>0.35</b>
<b>塩ビ(電線コンパウンド)</b>	<b>14.0</b>	<b>204</b>	<b>2.23</b>
<b>低発煙性塩ビ(電線コンパウンド)</b>	<b>19.3</b>	<b>92</b>	<b>0.15</b>
難燃ABS樹脂	17.7	250	4.68
難燃ポリスチレン	21.5	315	5.50
ABS樹脂	24.2	746	6.44
ポリエチレン*	24.7	1,325	4.46
メタクリル樹脂	25.0	650	-
ポリスチレン	26.5	859	8.82
ポリプロピレン	26.7	1,335	6.15
軟質発泡ポリウレタン	28.5	650	-
ポリエステル	59.4	1,216	5.59

PPO:ポリフェニレンオキサイド PS:ポリスチレン

\*水酸化マグネシウムなどの金属水和物を比較的大量に配合したポリエチレンは、難燃性と低発煙性に優れた素材となります。この素材で被覆された電線を「EM電線」と言っています。

このように塩ビは、他の汎用プラスチックに比べて質量損失速度が小さく、このことは材料が蒸発または分解して生じる燃焼生成物の発生速度が小さいことを意味しますから、それだけ安全な材料であると言えます。

図2-2 各種高分子材料の質量損失速度(g/秒・m<sup>2</sup>)<sup>1)</sup>



### 3 燃焼ガスの成分

火災時発生には多種類のガス状物質および微細粒子が含まれますが、その組成は燃焼する材料、温度、酸素の供給状態などにより大きく変化します。

燃焼ガス中に存在する有害成分を大別すると、  
 ①窒息または中枢抑制作用により意識の消失を引き起こすもの(一酸化炭素、シアン化水素など)、  
 ②感覚器および呼吸器に刺激作用を有するもの(塩化水素、二酸化窒素、二酸化イオウ、アル

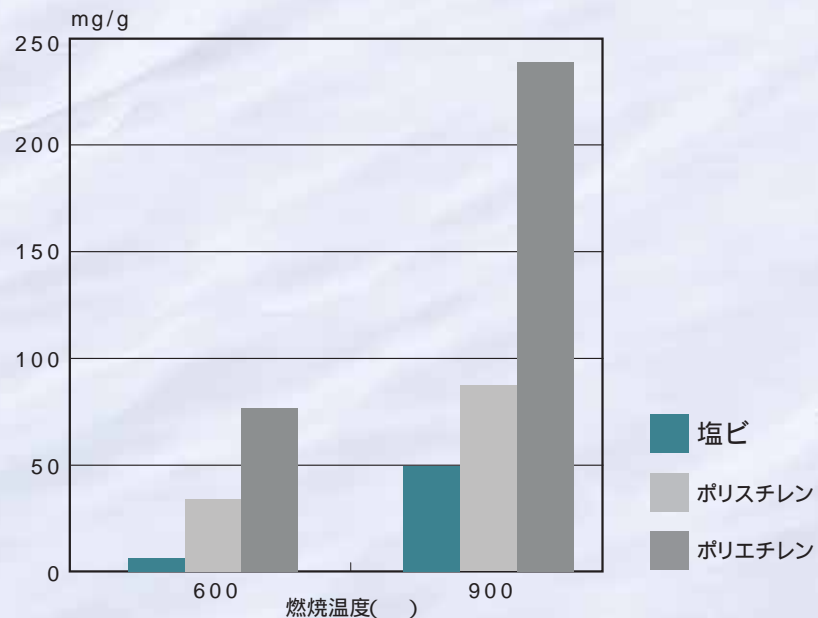
デヒド類など)、③その他の作用を有するもの(二酸化炭素、芳香族炭化水素など)となります。

表2-3に、各種材料が1g燃焼した時の発生ガスの生成量を示します。塩ビは燃焼により二酸化炭素、一酸化炭素、塩化水素を発生しますが、シアン化水素、アルデヒド類は発生しません。二酸化炭素と一酸化炭素はどのような材料でも発生しますので、塩ビに特徴的な発生ガスの成分は塩化水素ということになります。

表2-3 各種材料の燃焼ガス発生量(g/g)<sup>9)</sup>

材 料	二酸化炭素	一酸化炭素	シアン化水素	塩化水素	アルデヒド類	アンモニア
塩ビ	0.433	0.229	-	0.496	-	-
ポリスチレン	2.192	0.174	-	-	-	-
エチルセルロース	2.294	0.440	-	-	-	-
ポリ塩化ビニリデン	1.047	0.022	-	0.621	-	-
ナイロン	1.226	0.304	0.0076	-	0.0064	0.032
レーヨン	1.836	0.116	-	-	-	-
羊毛	1.451	0.446	0.007	trace	-	-
生糸	1.352	0.634	0.036	-	0.0024	0.053
木材	1.626	0.270	-	-	trace	-
紙	1.202	0.135	-	-	-	-

図2-3 プラスチックの燃焼による一酸化炭素の生成量(mg/g)<sup>10)</sup>



また、最近の文献によると、塩ビの燃焼による一酸化炭素の生成量はポリエチレンやポリスチレンに比べて少ないことが報告されています(図2-3参照)。

塩ビの場合、火災による死亡原因で最も重要な要因とされている一酸化炭素の濃度は、他の材料に比べて低いレベルにあります。

(注)表2-3(1973年の文献)と、図2-3(2004年の文献)における一酸化炭素の数値の違いは、燃焼条件の違いによるものと考えられます。

尚、図2-4及び図2-5に、燃焼物中の有機塩素濃度と燃焼ガス中の一酸化炭素濃度との相関を調査した例を示しておきます。塩ビの存在によって燃焼ガス中の一酸化炭素濃度が上昇することは全くありません。一般的に相関係数が0.3以下では相関がないと判断されますが、図2-4および図2-5の相関係数は、それぞれ0.01、-0.15です。

図2-4 有機塩素濃度と燃焼ガス中の一酸化炭素濃度との関係(燃焼状態が良好な場合)<sup>11)</sup>

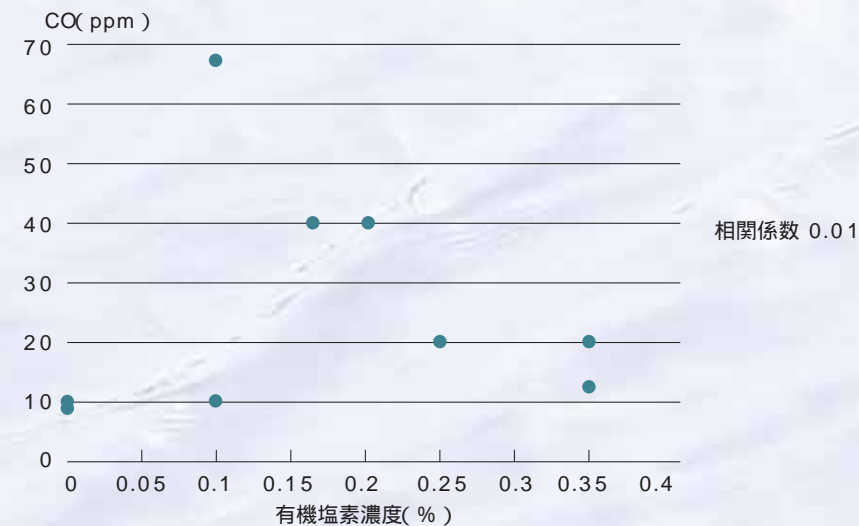


図2-5 有機塩素濃度と燃焼ガス中の一酸化炭素濃度との関係(燃焼状態が不良の場合)<sup>11)</sup>

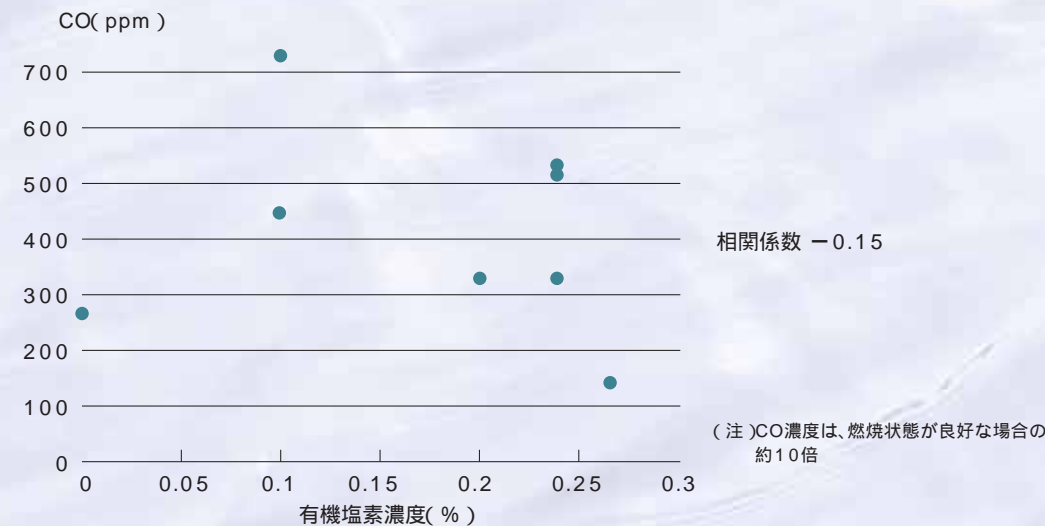


表2-3に記載したガス成分の他にも、燃焼による有害ガスが発生します。まず、ベンゼンやPAH(多環芳香族炭化水素)などの芳香族炭化水素系について説明します。これらの化合物の燃焼ガス中の濃度は高くはありませんが、有害であることには変わりなく、環境への排出は決して望ましいものではありません。WHOによればベンゼンの発ガン性はIARC(国際がん研究機関)によるとランク1(ヒトに対する発ガン性が認められる物質)と評価されていますし、

PAHの一種であるベンゾ(a)ピレンはランク2A(ヒトに対する発ガン性がおそらくある物質)とされています。

各種材料の燃焼によるベンゼン、ベンゾ(a)ピレンなどPAHの生成量の測定例を、表2-4および図2-6に示します。塩ビの場合、他の汎用プラスチックや新聞紙の燃焼に比較して極めて低い生成量であることがわかります。

表2-4 各種材料の燃焼によるベンゼンやPAHの生成量(μg/g)<sup>12)13)</sup>

材 料	ベンゼン	PAH(16種)	ベンゾ(a)ピレン
<b>塩ビ</b>	<b>定量限界以下</b>	<b>6.7</b>	<b>定量限界以下</b>
ABS樹脂	2,300	9.4	0.022
ポリプロピレン	730	7,500	170
新聞紙	2,800	2,000	38
ナイロン	12,000	6,700	160
PET樹脂	定量限界以下	8.7	定量限界以下
ポリエチレン	26,000	5,000	140

(注) 定量限界:ベンゼン 3μg/g、ベンゾ(a)ピレン 0.01μg/g

図2-6 各種材料の燃焼によるベンゼンやPAHの生成量<sup>12)13)</sup>

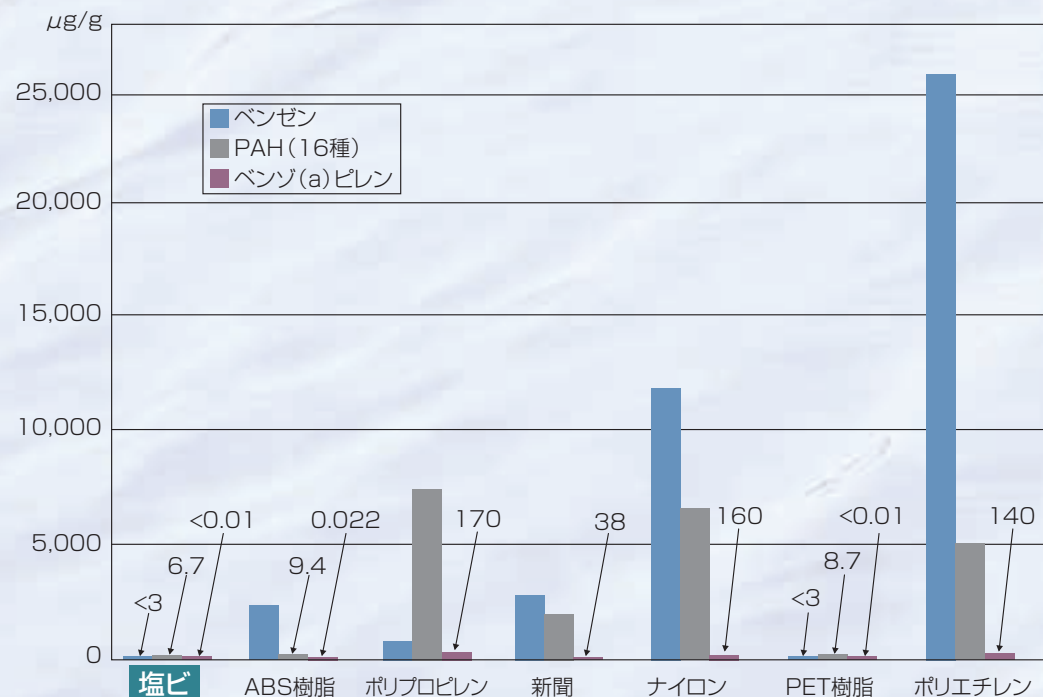


図2-7 プラスチックの燃焼によるPAH(16種)の生成量(mg/g)<sup>10)</sup>

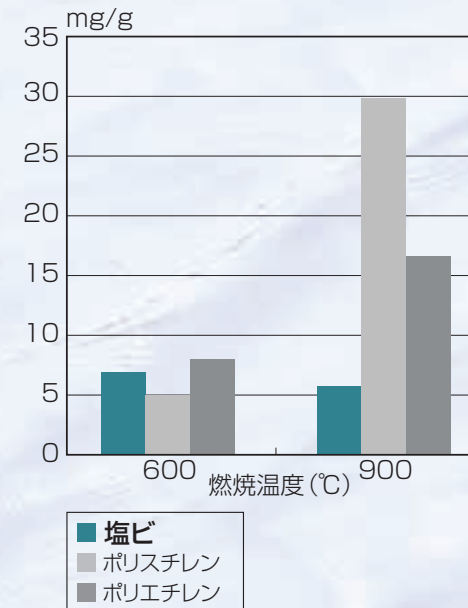


表2-5 プラスチック燃焼時のベンゾ(a)ピレン濃度(μg/Nm<sup>3</sup>)<sup>14)</sup>

塩ビ	ポリプロピレン	ポリスチレン
742	819	4,546

表2-6 プラスチック燃焼時のベンゾ(a)ピレン生成量(μg/10g)<sup>14)</sup>

塩ビ	ポリプロピレン	ポリスチレン
244	319	1,227

固体微粒子の生成量についても報告されており、図2-9に示します。塩ビでは固体微粒子の生成量も少なくなっています。

以上の如く、塩ビの二酸化炭素発生量は他の材料に比べて少なく、火災時に最も問題となる一酸化炭素の生成量も他の材料に比べて低いレベルにあります。また、ベンゾ(a)ピレンなどのPAH(多環芳香族炭化水素)や固体微粒子の生成量も他の汎用プラスチックに比べて少なくなっています。

図2-8 プラスチックの燃焼によるベンゾ(a)ピレンの生成量(μg/g)<sup>10)</sup>

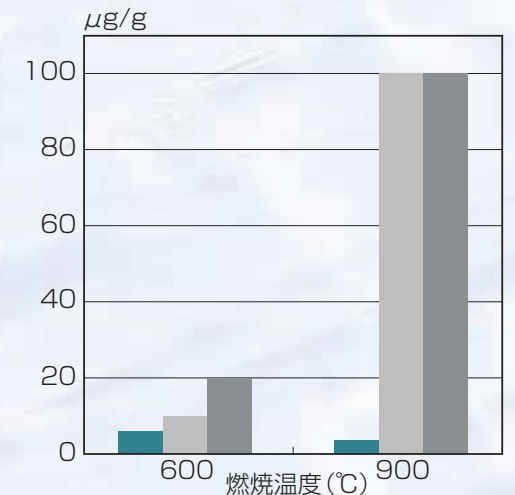
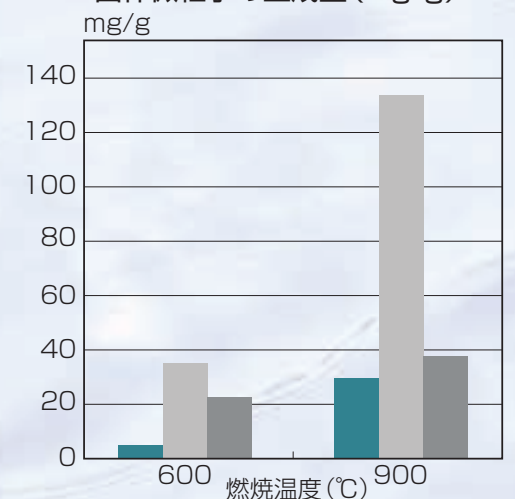


図2-9 プラスチックの燃焼による固体微粒子の生成量(mg/g)<sup>10)</sup>



## 4 燃焼ガス単体成分の毒性

### a) 単体ガスの毒性

塩ビの燃焼ガスで特徴的な成分は、前述のように塩化水素です。塩化水素の毒性を他の燃焼ガス成分の毒性と比較して考察します。表2-7に、各種燃焼ガス成分による致死濃度を示します。また、表2-8には、燃焼ガス成分による致死曝露濃度・時間積を示しました。いずれも、値が小さいほど毒性が強いことを表わします。

**これらから、塩化水素の毒性が一酸化炭素とほぼ同レベルであり、シアン化水素より大幅に弱いことがわかります。**

これらのデータは、塩化水素と他のガスとの毒性を相対的に比較したもので、数値に幅があります。燃焼ガス成分の毒性は、実験動物の種類や曝露時間によって異なりますので注意が必要です。表2-9に、吸入毒性として一般的に

取り上げられているLC<sub>50</sub>（半数致死濃度、すなわち、吸入した場合に総数の50%が死に至る濃度）を示します。いずれも、値が小さいほど毒性が強いことを表わします。塩化水素の毒性は、シアン化水素やアクロレインより大幅に低いことがここでもわかります。

さらに、これは実質的に非常に重要なことですが、塩化水素はわずか1ppm未満で臭いを感知でき、火災危害から回避できるという特徴をもっています（塩化水素の臭気検知濃度は0.77ppm<sup>1)4)</sup>。

つまり、塩化水素の致死濃度を1,000ppmとすると、その1/1,000の発生量で臭いが感知できることになります。これに対して、一酸化炭素は無臭であり、且つ麻酔性があります。従って、塩化水素は火災雰囲気中の人に脱出信号を送るのに対し、一酸化炭素は麻痺させます<sup>1)4)</sup>。

**このように、塩化水素はわずか約0.8ppmで臭いを感知でき火災雰囲気からの脱出信号の役目を果たしますが、一酸化炭素は無臭で麻酔性があるため、実際の火災では一酸化炭素が最も危険なガスとなります。**

### b) 火災時の発生ガス量

単体ガスそのものの毒性は一酸化炭素と塩化水素でほぼ同程度ですが、実際の火災現場での被害は、それぞれのガスの発生量によって変化することになります。火災時の一酸化炭素や塩化水素のピーク濃度については既に報告があり<sup>1)4)</sup>、表2-10のような数値が示されています。表には、ピーク濃度をラットの半数致死濃度<sup>1)6)</sup>で除した値も示していますが、これによると一酸化炭素では1.49、塩化水素では0.07となり、一酸化炭素は致死濃度を越えて

いるのに対して、塩化水素は致死濃度の10分の1以下というレベルになっていることがわかります。

さらに別の文献<sup>1)7)</sup>では、実際の火災現場で採取されたガス中の有毒物質の濃度に関する報告があります。これは東京消防庁が13ヶ所の火災現場で実際に測定したもので、具体的な数値は表2-11のようになっています。

一酸化炭素の発生濃度に比し塩化水素濃度が1/1,000と極めて低いことがわかります。

**以上の如く、塩ビに特徴的な燃焼時発生ガスは塩化水素ですが、その毒性は一酸化炭素と同程度で、シアン化水素より大幅に低いレベルです。また、実際の火災時の一酸化炭素が致死量を越えているのに対して、塩化水素は致死濃度の10分の1以下のレベルです。**

表2-7 燃焼ガス成分の致死濃度 (ppm)<sup>1)5)</sup>

塩化水素	一酸化炭素	シアン化水素	アンモニア
1,000-2,000	1,500-2,000	100-240	2,500-4,500

(動物実験による:30~60分で死に至る濃度)

表2-8 ガスによる致死曝露濃度・時間積 (ppm・min)<sup>4)</sup>

ガス	致死曝露濃度・時間積 (ppm・min)	動物	備考
塩化水素	150,000	ヒヒ	5-15分曝露、死亡なし
	112,000-169,000	ラット	30-60分曝露、曝露後に死亡
一酸化炭素	192,000	ラット	30分曝露、曝露中に死亡
シアン化水素	4,800-6,000	ラット	30分曝露、曝露中〜後に死亡
アクロレイン	2,500-5,000	ヒヒ	5分曝露、曝露後に死亡

表2-9 燃焼ガス成分の毒性 (LC<sub>50</sub>;ppm)<sup>1)6)</sup>

塩化水素	一酸化炭素	シアン化水素
3,800	5,000	120

(ラット、30分曝露)

表2-10 火災時の一酸化炭素と塩化水素のピーク濃度<sup>1)4)1)6)</sup>

	火災時ピーク濃度 (ppm) <sup>1)4)</sup> (A)	ラットの半数致死濃度 (ppm) <sup>1)6)</sup> (B)	(A) / (B)
一酸化炭素	7,450	5,000	1.49
塩化水素	280	3,800	0.07

表2-11 火災現場のガス分析例 (最高値ppm)<sup>1)7)</sup>

CO	50,000
HCN	350
HCl	50
SO <sub>x</sub>	117
NO <sub>x</sub>	50
CO <sub>2</sub>	80,000

## 5 各種材料の燃焼ガスの毒性

実際の火災の場合には、燃焼ガス成分そのものに曝露されるのではなく、各種成分が混合したガスに曝露されることとなりますので、より实际的に、燃焼ガスの毒性のレベルを次にみていきます。燃焼ガスの毒性を示す測定値としてLC<sub>50</sub>（半数致死濃度）があります。その他にも、燃焼ガス曝露濃度と動物が行動を停止するに至る時間との積を尺度とする例、各種材料の熱分解ガスに曝露した場合の動物が死に至る時間を尺度とする例があります。これらの測定方法による各種材料の燃焼ガス、熱分解ガスの毒性評価例を以下に示します。

### a) LC<sub>50</sub>について

LC<sub>50</sub>（半数致死濃度）についてはいくつかの測定法がありますが、ヒルシュラー<sup>18)</sup>は、より信頼性の高い測定法として、NIST放射試験

法と呼ばれる試験方法を開発しています。この方法による塩ビ製品11種類と非塩ビ製品14種類の燃焼ガスのLC<sub>50</sub>の測定結果を、図2-10に示します。塩ビ製品のLC<sub>50</sub>の方が大きい値（したがって、より低毒性）となっています。尚、LC<sub>50</sub>の平均値はどちらも15mg/Lを超えており、通常の火災によって発生する一酸化炭素に基づくLC<sub>50</sub>が8mg/Lであることを考え合わせると、これらの燃焼ガスの毒性が大きいとは言えないとしています。

同様の測定例を表2-12に示しますが、塩化水素により塩ビ燃焼ガスの毒性が高くなっているとは認められません。

**すなわち、塩ビの燃焼ガスのLC<sub>50</sub>は、他の樹脂やゴム、木材（米マツ）のLC<sub>50</sub>の値とほぼ同レベルにあります。**

図2-10 燃焼ガスの毒性(LC<sub>50</sub>;mg/L)<sup>19)</sup>

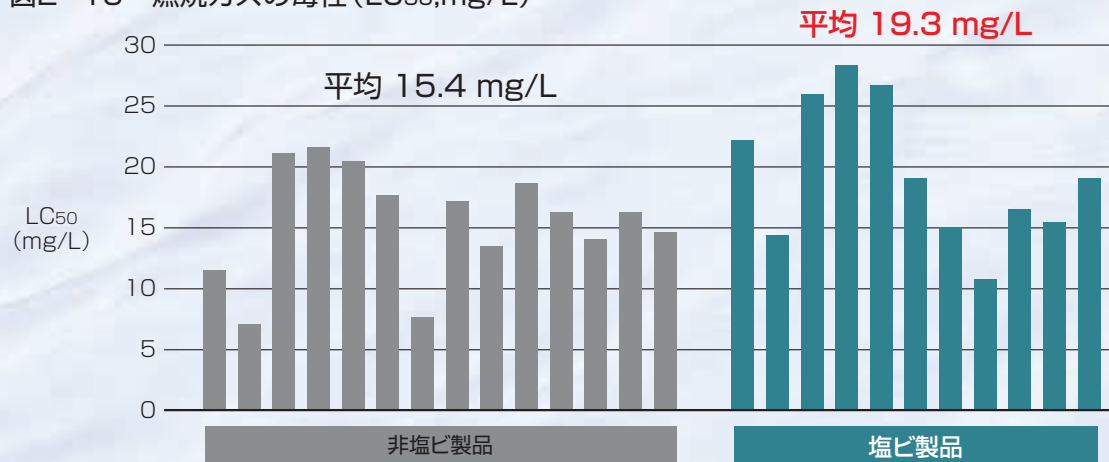


表2-12 燃焼ガスのLC<sub>50</sub> (mg/L)<sup>4)</sup>

材 料	LC <sub>50</sub> (mg/L)
硬質塩ビ(枠材)	13-17
軟質塩ビ(電線絶縁材)(A)	15
軟質塩ビ(電線絶縁材)(B)	23
ABS	12
ナイロン	17
硬質ウレタンフォーム	14-19
軟質ウレタンフォーム	18
熱可塑性ゴム(A)	11
熱可塑性ゴム(B)	15
熱可塑性ゴム(C)	17
木材(米マツ)	21-23

### b) 燃焼ガス曝露とマウスの行動停止に至るまでの時間との関係

次に、国土交通省(当時 建設省)が米国、カナダの協力のもとに行った各種材料の燃焼ガスの毒性評価結果をみていきます。この場合の毒性パラメータは、マウスの燃焼ガス曝露濃度とマウスが行動を停止するに至る時間との

積(ECT:effective concentration time)を採用しています。その結果を、図2-11及び表2-13に示します。図の縦軸はECTの逆数をとっています(ECT逆数値が高いほど毒性が高い)。図2-11の結果により、**塩ビの燃焼ガスの毒性がラワン材やパーティクルボード(木質建築用下地材)とほぼ同等であることがわかります。**

図2-11 各種材料の燃焼ガスの毒性<sup>19)</sup>

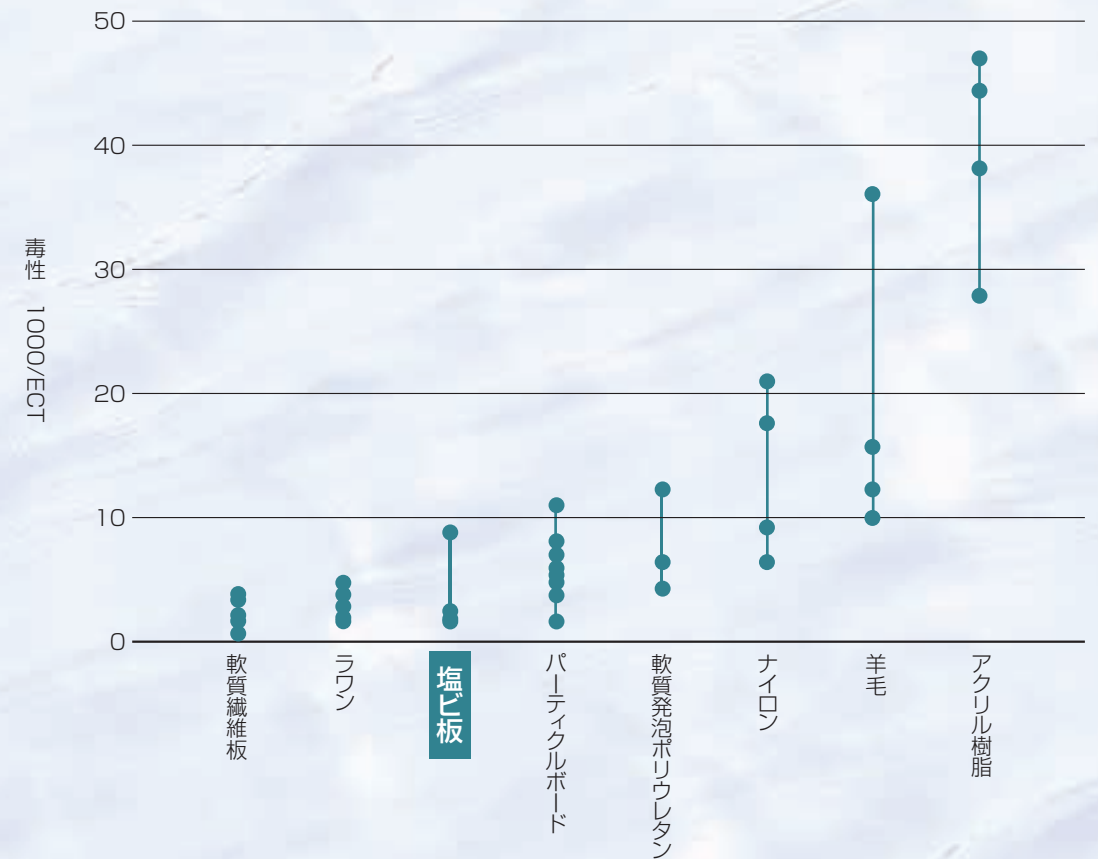


表2-13 各種材料の燃焼ガスの毒性<sup>19)</sup>

燃焼物	燃焼ガス組成			行動不能に至る時間(min)	ECT (mg/L・min)
	一酸化炭素(%)	塩化水素(%)	シアン化水素(ppm)		
塩ビ板	0.31	0.58		10.66	115.3
	0.35	0.97		5.95	505.8
	0.33	1.22		5.24	373.1
	0.16	0.58		15.22	547.9
ラワン	0.72			4.64	379.4
	1.24			2.03	292.8
	0.68			4.82	351.7
	0.45			9.06	509.5
	1.26			1.94	224.6
	0.64			4.43	278.2
	0.47			12.50	572.7
軟質繊維板	0.72			4.38	286.3
	1.00			3.99	344.1
	0.65			5.50	301.4
	0.42			12.61	580.1
	0.45			6.61	707.0
	0.34			15.83	1,376.5
	0.85			2.98	294.2
	0.96			3.17	324.1
1.01			2.97	331.5	
パーティクルボード	1.24			1.18	124.8
	1.01			1.03	91.4
	0.54			2.95	123.7
	0.36			7.09	141.2
	0.25			10.88	171.5
	0.22		41	19.70	665.1
	0.75		195	2.44	158.6
	0.43		110	5.79	233.9
	0.53		103	4.36	191.1
メラミン樹脂含浸板	0.91		159	2.13	106.9
	0.34		46	11.22	701.3
	0.56		135	4.15	182.2
アクリル樹脂	0.06		231	3.41	35.5
	0.09		342	1.45	21.2
	0.09		351	1.52	25.8
	0.08		244	1.85	22.6
ナイロン	0.28		343	2.34	105.3
	0.19		184	3.78	105.1
	0.18		244	1.99	57.3
	0.16		238	2.03	48.3
	0.13		133	6.73	157.5
羊毛	0.09		312	2.29	83.8
	0.04		185	5.00	66.0
	0.07		304	2.05	27.7
	0.11		306	1.68	98.6
軟質発泡ポリウレタン	0.20		61	14.68	202.0
	0.41		110	5.97	155.2
	0.60		174	2.34	84.1
モダアクリル繊維	0.03		117	3.62	60.5
	0.03		397	1.24	18.7
	0.03		382	1.21	19.4
	0.02		526	1.22	24.4

c) 熱分解ガスの曝露とラットの死亡に至るまでの時間との関係

表2-14に、各種材料の熱分解ガスをラットに曝露したときのラットの死亡に至る時間を測定した例を示します。熱分解ガスの場合は燃焼ガスと違って一酸化炭素の影響をあまり受けないので大差のないデータとなっていますが、**塩ビは木材等の天然素材に比較して低い毒性レベルにあります。**

以上(a)(b)(c)で述べましたように、**塩ビの燃焼ガス及び熱分解ガスの毒性は木材とほぼ同等もしくは低いレベルにあり、どのような材料でも燃焼により発生する一酸化炭素の毒性が支配的であることが分かります。**

(注) 燃焼ガスと熱分解ガスの死亡に至るまでの時間の違い  
燃焼では炭素が燃え炭酸ガスや一酸化炭素が発生するのに  
対し、熱分解では空気が少なく炭素が燃えにくいので炭酸ガス  
や一酸化炭素が発生しにくい。したがって、熱分解の方が  
死亡に至る時間が長くなる、と推定されます。

表2-14 主な材料の熱分解ガスの毒性試験結果<sup>20)</sup>

材 料	死亡に至る時間 (min)
木 材	14.03
ナイロン	14.36
硬質発泡ポリウレタン	15.49
メタクリル樹脂	15.58
セルロース(板紙)	16.57
<b>塩 ビ</b>	<b>16.60</b>
ABS樹脂	17.13
ポリエチレン	17.31
合成ゴム(NBR)	19.13
ポリカーボネート	20.40
天然ゴム	22.13
ポリスチレン	23.10

(200℃から800℃まで40℃/minで上昇させた場合)

## 第2章のまとめ

塩ビは熱および煙の発生が少なく、燃焼時の発煙による危険度が小さいこと、また、燃焼に伴う質量損失が小さいため、火災時において、それだけ安全な材料であると言えます。

塩ビに特徴的な燃焼時発生ガスは塩化水素ですが、その毒性はシアン化水素より大幅に低いレベルです。二酸化炭素と一酸化炭素はどのような材料でも発生しますが、塩ビの二酸化炭素発生量は他の材料に比べて少なく、また、火災時にその毒性が最も支配的となる一酸化炭素の生成量も他の材料に比べて低いレベルにあります。ベンゾ(a)ピレンなどのPAH(多環芳香族炭化水素)や固体微粒子の生成量も他の汎用プラスチックに比べて少なくなっています。

また、これは非常に重要なことですが、塩化水素はわずか0.8 ppmで臭いを感知でき火災雰囲気からの脱出信号の役目を果たしますが、一酸化炭素は無臭で麻酔性があるため、実際の火災では一酸化炭素が最も危険なガスとなります。

実際の火災時の発生ガスの報告例では、一酸化炭素が致死量を越えているのに対して、塩化水素は致死濃度の10分の1以下のレベルです。このことは、塩ビの火災時の安全性を示していると言えますでしょう。

# 3 実規模での火災実験結果と 実際の火災における 焼死者の実態

## 1 実規模での火災実験結果

## 2 実際の火災における焼死者の実態

# 1 実規模での火災実験結果

これまで述べてきた燃焼ガスに係るデータ以外に、ここでは、実規模の火災実験によって得られたデータについて説明します。

実規模実験1によれば、一酸化炭素濃度は点火後2~4分で最大約8%に達し(図3-1)、この文献<sup>21)</sup>の著者らは、**毒性ガスの中で、一酸化炭素による毒性寄与が最も大きいと結論付けています。**

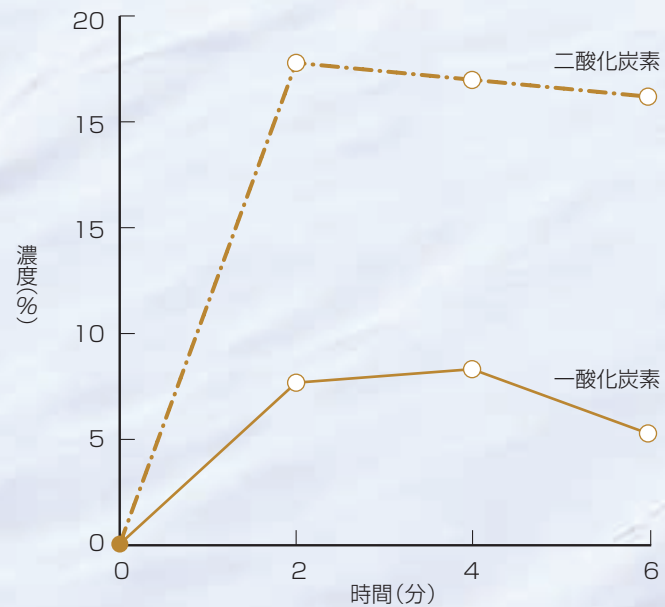
尚、この実験でのシアン化水素濃度及び塩化水素濃度は、点火後5分間の平均値で各々372ppm(5分間平均値)、354ppm(5分間平均値)となっています。

実規模実験2でも、一酸化炭素の最高濃度は約10%で、5~10分間曝露の致死濃度0.5%の約20倍に達しており(図3-2)、この文献<sup>22)</sup>でも著者らは**一酸化炭素が主たる毒性成分である、と述べています。**

## (実規模実験1)<sup>21)</sup>

火災対象:幅9m×奥行4.5mのトタンぶき屋根の木造平屋  
 燃焼物:木材、ソファ、ベッド、タンス、カーテン、マットレスなど  
 ガスサンプリング場所:室内  
 雰囲気ガスの測定結果:図3-1

図3-1 火災発生後のガス組成<sup>21)</sup>



ここでは塩化水素とシアン化水素も測定されています。

その結果(図3-3)によれば、塩化水素の最高濃度は約300ppm(0.03%)で、一酸化炭素毒性等価線に対してはるかに下方に分布しており、塩化水素は一酸化炭素と比べ問題ないことを示していますが、シアン水素の最高濃度は約4,500ppm(0.45%)と非常に高くなっています。

(ここでの致死濃度は塩化水素500ppm、シアン化水素350ppmを用いています。表2-7では塩化水素1,000-2,000ppm、シアン化水素100-240ppm。)

図3-3から、**シアン化水素が致死濃度350ppmを超えて発生しているのに対し、塩化水素は一酸化炭素に比べて毒性を考慮した発生量は非常に低い濃度レベルで、致死濃度500ppmを超える発生が無いことがわかります。**

## (実規模実験2)<sup>22)</sup>

火災対象:2m角(8m<sup>3</sup>)の鋼鉄製チャンバー  
 燃焼物:木材、合板、プラスチック材など  
 (燃焼物127kg中、塩ビ壁紙2.2kgを含む)  
 ガスサンプリング場所:排気用煙突  
 雰囲気ガスの測定結果(1):図3-2  
 雰囲気ガスの測定結果(2):図3-3

図3-2 火災開始後の一酸化炭素濃度の時間変化<sup>22)</sup>

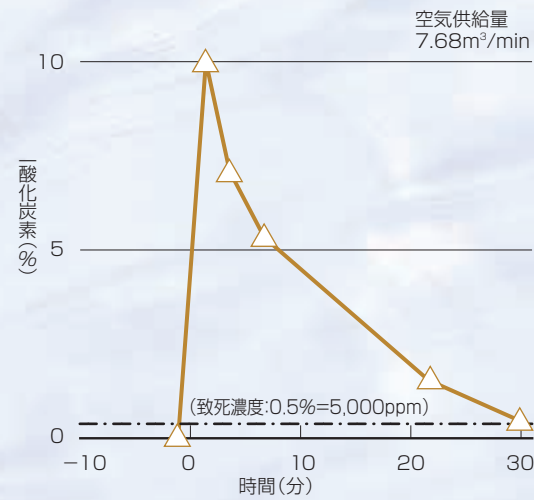
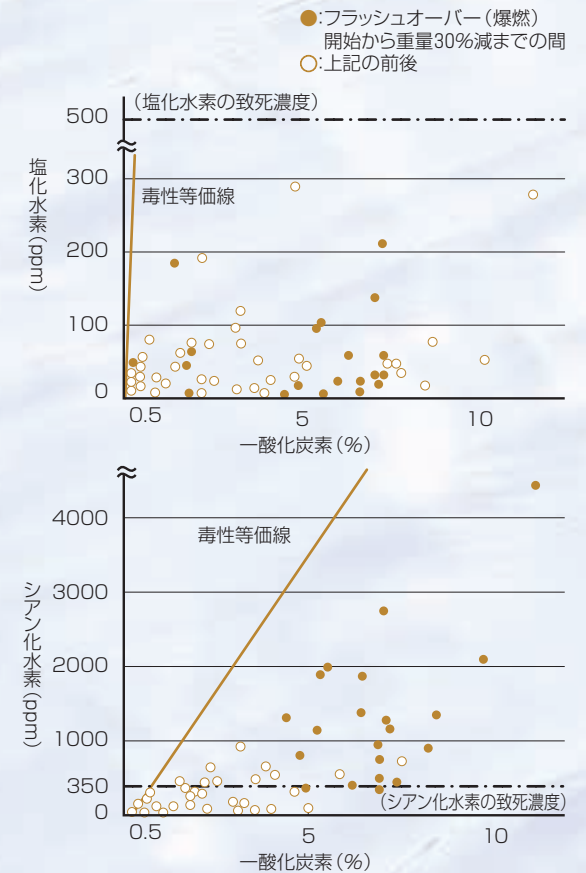


図3-3 塩化水素及びシアン化水素の一酸化炭素濃度との対比プロット<sup>22)</sup>



(注) 毒性等価線:  
 図の縦軸で塩化水素の500ppmとシアン化水素の350ppmは横軸の一酸化炭素の0.5%(5,000ppm)に相当し、それぞれの濃度での毒性は等価である、という線。従って、線の下方に分布していることは、一酸化炭素に比べて毒性を考慮した発生量が小さいことを示す。



実規模実験3では、点火4分後の一酸化炭素の濃度は約2.5% (25,000ppm) に達するのに対し、塩化水素の濃度は数百ppm程度です。

**ここでも、一酸化炭素濃度は2分足らずで致死濃度5,000ppm (0.5%) を超えています。**

以上3例の実規模火災実験からはっきりわかることは、**一酸化炭素濃度が数%～約10%に達して致死濃度0.15～0.5%<sup>15) 22) 23)</sup>をはるかに上回っており、一酸化炭素が最大の毒性寄与成分であると言えます。**

以上は火災を想定した実験についての例ですが、実際の火災現場から採取したガスの組成についての報告<sup>24)</sup>では、数分間の曝露で死に至る濃度のガスが検出されたのは一酸化炭素が51例中11例、シアン化水素では51例中5例あったと報告されています(このことは実規模実験例や2章の表2-11に対応しています)。尚、この文献<sup>24)</sup>では、致死濃度は一酸化炭素0.5% (5,000ppm)、シアン化水素0.018% (180ppm) を用いています。

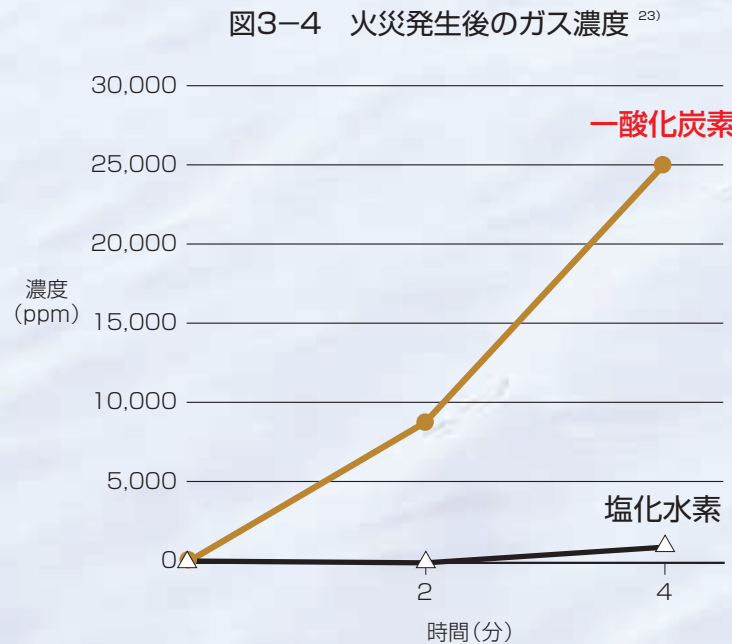
さらに、実際の火災における塩化水素の挙動に関するヒルシュラーらの報告<sup>25) 26)</sup>では、火

災による塩化水素の発生について注意すべきことは、塩化水素が建築物のほとんどの表面と急速に反応して消費されるため、雰囲気中の塩化水素濃度は急速に低下することが知られていることです<sup>25)</sup>。従って、実際の濃度は計算値より大幅に低くなり、例えば塩ビ被覆電線の火災における雰囲気中の塩化水素濃度は計算値の10%程度にすぎないと報告されています<sup>25) 26)</sup>。このことから、塩化水素と反応しないような材質を用いたチャンバー内での火災実験における雰囲気中の塩化水素や雰囲気ガスの毒性に関する実験データは、実際の火災と異なることに留意する必要があります。

実際の火災における雰囲気中の塩化水素濃度の測定では、最大値で280ppm程度である、とヒルシュラーは指摘しています<sup>26)</sup>。また、彼は、塩ビ電線を天井裏に配線した実規模の室内火災のシミュレーションを行った結果、塩ビの分解以前に室内の煙とフラッシュオーバー(爆発的燃焼)により在室不能となり、死に至ることを立証しており、**塩ビの分解生成物により死に至ることはないことを指摘しています。**

**【実規模実験3】<sup>23)</sup>**

火災対象:3階建鉄筋コンクリートビルの1階和風宿直室 (5.45m×4.55m×2.4m高さ)  
 燃烧物:一般家庭で用いられる家具、調度品、衣類、書物など  
 ガスサンプリング場所:西側壁、南側窓、天井下  
 雰囲気ガスの測定結果:図3-4

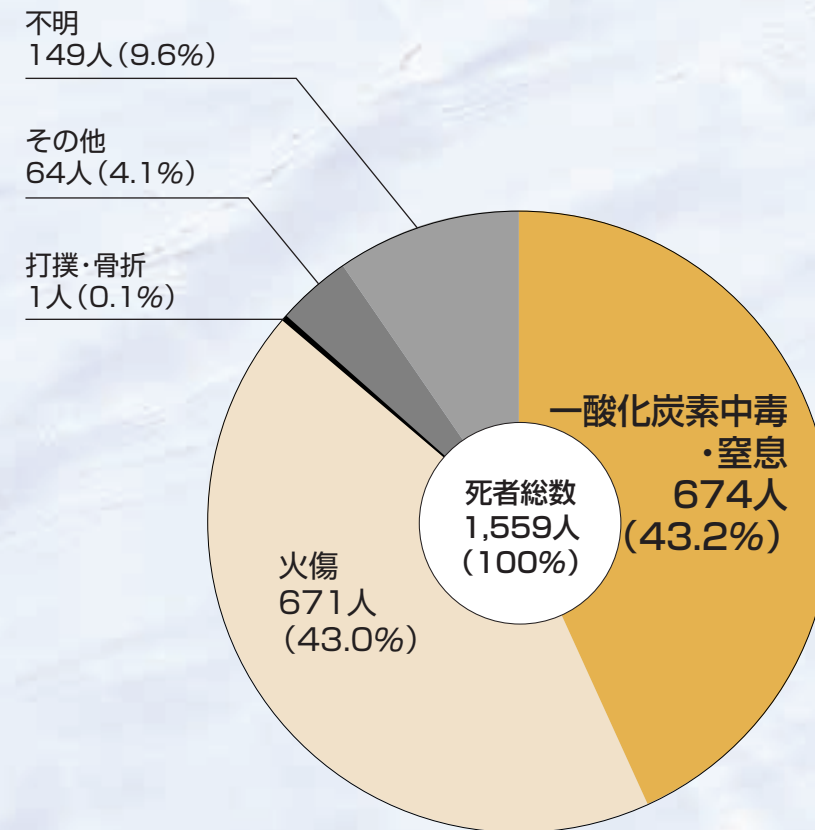


## 2 実際の火災における焼死者の実態

全国の平成17年中の火災による死者の状況を詳細に分析した白書によれば、放火自殺者を除いた火災による死因は、前述の実験例の結果と対応し、**一酸化炭素中毒・窒息によるものが43.2%、次いで火傷によるものが43.0%**

となっています(図3-5参照)。このことから、燃えにくい建材を選ぶ、燃えても一酸化炭素が出にくい建材を選ぶことが重要です。

図3-5 火災による焼死者の死因(平成17年)<sup>27)</sup>



### 第3章のまとめ

火災の場合は、燃焼物の種類、火災の規模、火災発生からの時間、火災の場所等により雰囲気ガスの組成が大きく異なることを考慮する必要があります。

これらのことに留意した実規模火災実験の結果、一酸化炭素が最大の毒性寄与成分であることが示されています。火災発生後約2分で一酸化炭素は致死濃度を超えてしまいます。

全国の平成17年中の火災による死者の状況を詳細に分析した白書によれば、放火自殺者を除いた火災による死因は、一酸化炭素中毒・窒息によるものが43.2%と最も多く、次いで火傷によるものが43.0%となっています。このことから、燃えにくい建材を選ぶ、燃えても一酸化炭素が出にくい建材を選ぶことが重要です。

## 参考 火災における ダイオキシンの発生量

1996年、「ダイオキシンは人類史上最強の毒物」「塩ビだけがダイオキシン発生の原因だ」という間違った話がまことしやかに報道され、消費者の不信を買い、それを受け、市場の材料選択に大きく影響を与えました。

ここでは、塩ビの焼却によってダイオキシンがどのくらい発生するか、その毒性はどの程度かを考察します。

キャロル<sup>28)</sup>は、塩ビの燃焼による煤の発生量と煤中のダイオキシン類濃度の測定結果から、塩ビの燃焼によるダイオキシン類の発生量( $\mu\text{g-TEQ/t PVC}$ )を算出しています(表1)。

キャロル<sup>28)</sup>は、塩ビによるダイオキシン類の発生量は、煤の場合、表1の値などから、30~3,500 $\mu\text{g-TEQ/t}$ の範囲にあるとし、この値と

米国における火災による塩ビの燃焼量の計算値(2,470t/年)とから、火災により塩ビから生成するダイオキシン類の量は、煤中で年間0.074~8.6g-TEQ/年と算出しています。

一方、灰中のダイオキシン類濃度を基準にすると、ダイオキシン類の発生量は160~5,660 $\mu\text{g-TEQ/t}$ の範囲にあり、年間の放出量は0.4~14.2g-TEQ/年となります。煤経由のダイオキシン類との合計値は0.47~22.8g-TEQ/年となります。この値は、火災によりすべての塩ビが燃焼したと仮定した時の値ですが、実際火災においては塩ビの使用量の多いサイディング材(外壁;アメリカでは塩ビが普及)や浴室(バスの蓋)にまで及ばない場合が多く、この点を勘案すると実際には灰で

1g-TEQ/年、煤で0.3g-TEQ/年程度と考える方が合理的であるとキャロルは述べています<sup>28)</sup>。また、上記のダイオキシン類発生量について、各発生量データの中央値を使用すると、灰では1~5ng/g、煤で190ng/gとなり、これらの値から火災によるダイオキシン類の生成量は約5g/年程度(毒性等量に換算すると約0.06g-TEQ/年)となります。

火災によって塩ビから発生するダイオキシンは多く見積もっても20g-TEQ/年程度であり、この値は、米国で大気中に放出されているダイオキシンの年間排出量である約5,000g-TEQ/年(米国環境保護庁(EPA)1998年推定値)の0.4%にすぎません。火災による塩ビ起因のダイオキシン発生量は極めて少ないこと

がわかります。

以上は、塩ビに起因する発生ダイオキシンの環境への排出量についての報告ですが、念のために火災雰囲気ガス中のダイオキシンの吸入による急性毒性の程度を次に検討しておきます。

通常の火災の場合の雰囲気ガス中のダイオキシン濃度は0.05~0.43ng-TEQ/ $\text{m}^3$ の測定値が報告されていますが<sup>29)</sup>、密閉室内で木材400kgと塩ビ40kg(塩ビ含有量が極めて多いケース)を燃焼させた際の室内空気中の浮遊粒子に含まれるダイオキシン濃度の分析結果は約5ng-TEQ/ $\text{m}^3$ であることが報告されています<sup>30)</sup>。(5ng-TEQ/ $\text{m}^3$ は、日本の廃棄物焼却炉(能力2t/h未満)の規制値に相当。)

表1 塩ビの燃焼によるダイオキシン発生量<sup>28)</sup>

火災種類	実験							実火災			
	A	B	C	D	E	F	G	A	B	C	D
煤中ダイオキシン濃度 (ng-TEQ/g)	450	110	35	539		91	270	190			45
塩ビの燃焼による ダイオキシン発生量 (煤中)( $\mu\text{g-TEQ/t PVC}$ )	2,920	720	230	3,500	2,250	600	1,760	1,240			300
灰中ダイオキシン濃度 (ng-TEQ/g)						4.7			0.8	28.3	

TEQ (Toxic Equivalent Quantity; 毒性等量): ダイオキシン類は各同族体により毒性の強さが異なり、同族体ごとの毒性を換算したダイオキシン類の濃度(毒性の強さ)の単位です。

これらのデータをもとにして、火災現場におけるダイオキシンの急性毒性を計算してみます。

ダイオキシンの致死量はサルの場合50～70 $\mu\text{g-TEQ/kg}$ 、ラットの場合22～45 $\mu\text{g-TEQ/kg}$ 、モルモットで1 $\mu\text{g-TEQ/kg}$ と報告されています(表2)。

ダイオキシンの特異的に感受性が高いモルモットの場合の1 $\mu\text{g-TEQ/kg}$ を用いると、体重50kgの人間がダイオキシンを含むガスを吸入して1時間以内に死に至るガス中のダイオキシン濃度は、1時間の呼吸量を0.625 $\text{m}^3$ (15 $\text{m}^3$ /日)として、下記計算となります。

$$1 \times 50 / 0.625 = 80 \mu\text{g-TEQ/m}^3 = 80,000\text{ng-TEQ/m}^3$$

この計算値は、80,000 $\text{ng-TEQ/m}^3$ のダイオキシンを含むガスを1時間にわたり吸入したときに、死に至ることを意味しています。つまり、前述のダイオキシン濃度5 $\text{ng-TEQ/m}^3$ をとっても約2万分の1の量であり、人間に重要な影響を与えることは考えられません。

**以上により、火災により発生するダイオキシンによる環境汚染の寄与率や人間への影響は極めて低いことがわかります。**

表2 2,3,7,8-TCDD<sup>注)</sup>の急性毒性(経口)<sup>31)</sup>

動物種	LD <sub>50</sub> ( $\mu\text{g/kg}$ )
モルモット	1
ラット(♂)	22
ラット(♀)	45
サル	50-70
ウサギ	115
マウス	284
イヌ	>500
ハムスター	5000

注) 2,3,7,8-TCDD:ダイオキシン類の中で最も毒性の強い同族体。

## 参考文献

- 1) 塩ビとポリマー, Vol.29, No.9, 6-11; No.10, 10-16 (1989)  
(The Technical Committee of the Vinyl Institute: Technical Information - Fire Properties of Polyvinyl Chloride (1988))
- 2) 須藤真, プラスチックス, Vol.44, No.9, 18-28 (1993)
- 3) 石原茂久, 高分子加工, Vol.34, No.6, 42-48 (1985)
- 4) The Vinyl Institute, Technical Information: Fire and Polyvinyl Chloride (1996)
- 5) M.M.Hirschler, Makromol. Chem. Macromol. Symp, Vol.29, 133-153 (1989)
- 6) V.Babrauskas, Fire Mater., Vol.24, 113-119 (2000)
- 7) T.Hakkarainen, J.Fire Sci., Vol.19, No.4, 284-305 (2001)
- 8) G.F.Smith, E.D.Dickens, Jr., The 8th International Conference on Fire Safety, 227-242 (1983)
- 9) 織田武, 高分子, Vol.22, No.253, 201-205 (1973)  
(A.P.Hobbs et al, UL Bulletin of Research, No.53, 21-22 (1963))
- 10) Z.Wang et al, Ind. Eng. Chem. Res., Vol.43, No.12, 2873-2886 (2004)
- 11) E.Wikström, S.Marklund, Chemosphere, Vol.43, No.2, 227-234 (2001)
- 12) 牧野哲哉ら, 環境化学討論会予稿集, Vol.12th, 650-651 (2003)
- 13) 牧野哲哉, ポリ塩化ビニル討論会, Vol.54, 22-27 (2003)
- 14) C-H Wu, S-T Chang, Am. Soc. Agri. Eng., ASAE-03-4147, 13 (2003)
- 15) E.H.Coleman, Plastics, Vol.24, No.264, 416 (1959)
- 16) C.R.Miller, AGARD. Conf Proc, No.587, 31.1-31.6 (1997)
- 17) 仲谷一郎, 建築省建築研究所調査試験研究報告, Vol.1998, 159-160 (1999)
- 18) M.M.Hirschler, Progress in Rubber and Plastics Tech., Vol.10, No.2, 154-169 (1994)
- 19) 遊佐秀逸, 五頭辰紀, 米国・カナダとの協力による火災時の燃焼ガスの毒性評価と建材等の安全性向上に関する研究成果報告書, 183-212 (1987)
- 20) C.J.Hilado et al, Fire Technology, Vol.14, No.2, 136-146 (1978)
- 21) 箭内英治, 守川時生, 消防研究所報告, No.56, 19-26 (1983)
- 22) 守川時生, 箭内英治, 消防研究所報告, No.62, 1-8 (1986)
- 23) 守川時生, 箭内英治, 消防研究所報告, No.59, 67-75 (1985)
- 24) 村上利章ら, 日本火災学会研究発表会概要集, 1-4 (1990)
- 25) R.K.Hinderer, M.M.Hirschler, J. of Vinyl Tech., Vol.11, No.2, 50-58 (1989)
- 26) M.M.Hirschler, J. of Fire Sciences, Vol.6, 100-120 (1988)
- 27) 消防庁編, H18年版消防白書 (2006)
- 28) W.F.Carroll, Jr, Fire and Materials, Vol.20, 161-166 (1996)
- 29) 中川祐一, 火災, Vol.47, No.6, 15-21 (1997)
- 30) M.Merk et al, Organohalogen Compounds, Vol.23, 491-494 (1995)
- 31) 和田攻, 学士会会報, No.830, 2001-1月号, 9-19 (2001)



# 塩ビの防火性と 火災時の安全性

火災から身を守る「塩ビ」

■編集：株式会社カネカテクノロジー

■発行： 塩ビ工業・環境協会 URL:<http://www.vec.gr.jp>



塩化ビニル環境対策協議会 URL:<http://www.pvc.or.jp>

〒104-0033 東京都中央区新川1-4-1  
TEL.03 (3297) 5601 FAX.03 (3297) 5783