

PVC  
FIRE PROTECTION



# 塩ビの火災安全

## 火災から身を守る



## はじめに INTRODUCTION

塩化ビニル樹脂（塩ビ）及びその製品は、長寿命、耐久性、防火性、省エネ性、意匠性、リサイクル性能など優れた特長を持っていることから、身近な暮らしのなかで広く利用されている汎用プラスチックです。特に難燃性という特徴があるため、住宅建材・土木分野に広く利用されています。その用途として上下水道用パイプ、継手、雨樋、樹脂窓枠、電線被覆材、床材、壁紙など多岐にわたっています。

最近の日本においては、年間約4万件の火災が発生し、そのうち建物火災が約2万件ですが、火災で毎年2千人弱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」はもとより、「燃えにくい建物づくり」も重要なテーマです。

本冊子は、建築材料や塩ビ製品の製造・設計・施工業者並びに防火管理などに携わる方を対象者として、塩ビに関する燃焼特性や火災安全性について理解を深めていただくと共に、ガイドブックとしてお役に立てることを目的として、防火事例も組み入れて編集し小冊子として発行することとしました。

なお、当協会は2007年に「塩ビの防火性と火災時の安全性」と題した小冊子を発行しましたが、本冊子はそれを全面的に改訂しました。この改訂にあたっては、塩ビの燃焼特性に関しては、ISO/TR 20118 “Plastics — Guidance on fire characteristics and fire performance of PVC materials and products used in building applications”〔(仮訳) プラスチック—建築用途で使用されるPVC材料及び製品の燃焼特性及び燃焼性能の手引〕も一部参考にし、解説してあります。ただし、ISO/TR20118の全体像及び詳細を理解していただくためには原本を購入し一読していただく必要がありますので申し添えておきます。

本冊子の内容は以下のとおりです。

1. 塩ビの燃焼特性
2. 各用途分野での防火事例

本冊子が皆様のお役に立てば、至幸に存じます。

2020年4月  
塩ビ工業・環境協会



# 目次 CONTENTS

## 1 塩ビの燃焼特性

- 1.1 一般
- 1.2 燃焼熱
- 1.3 燃焼生成物
- 1.4 着火性
- 1.5 酸素指数
- 1.6 燃焼発熱量
- 1.7 火炎伝播
- 1.8 煙の発生
- 1.9 煙による被害
- 1.10 煙の腐食性
- 1.11 塩化水素濃度
- 1.12 炭化物形成と熱膨張

## 2 各用途分野での防火事例

- 2.1 船舶での事例
- 2.2 建築での事例
- 2.3 生活製品での事例
- 2.4 塩ビ電線・ケーブル



# 1. 塩ビの燃焼特性

## 1.1 一般

塩化ビニル樹脂（塩ビ又は PVC という）は、熱可塑性樹脂であるが、安定剤、可塑剤、充填剤、難燃剤、顔料などの添加剤を配合して混合物（コンパウンド）にし、それを成形加工して軟質から硬質まで幅広い塩ビ製品をつくることができる。

可塑剤を任意に含む軟質塩ビを PVC-P、可塑剤を含まない硬質塩ビを PVC-U、PVC を後塩素化した塩ビ樹脂を PVC-C と各々呼ぶ。

1 では、燃焼熱、燃焼生成物、着火性、燃焼発熱量、火災伝播、煙の発生、煙の影響など塩ビの燃焼特性について解説する。

## 1.2 燃焼熱

一般的に可燃性材料は炭素と水素の化合物でできており、完全に燃焼すると炭素は二酸化炭素（CO<sub>2</sub>）、水素は水（H<sub>2</sub>O）になる。これらの燃焼熱は高く、水素が 141.8kJ/g、炭素が 32.8kJ/g である。よって、炭素と水素からなる炭化水素化合物は、一般的に燃焼熱が高い。代表的な炭化水素化合物の燃焼熱を表 1 に示す。

物質	燃焼熱 (kJ/g)
メタン (CH <sub>4</sub> )	55.5
エタン (C <sub>2</sub> H <sub>6</sub> )	51.9
プロパン (C <sub>3</sub> H <sub>8</sub> )	50.4
ブタン (C <sub>4</sub> H <sub>10</sub> )	49.5
ポリエチレン	47.7
ガソリン	約 47
ケロセン	約 46
パラフィンワックス	約 46
ポリプロピレン	45.8
ポリスチレン	43.7

物質中にヘテロ原子が存在すると、炭素と水素の比率が減少するため、通常は燃焼熱が減少する。ヘテロ原子を有する代表的な物質の燃焼熱を表 2 に示す。

表 2. ヘテロ原子を有する代表的な物質の燃焼熱

物質	燃焼熱 (kJ/g)
ポリフェニレンオキサイド	34.2
ポリアクリロニトリル	32.0
ポリアミド (ナイロン 6、ナイロン 66)	30 ~ 32
ポリカーボネート	31.3
ポリウレタン	24 ~ 32
ポリメチルメタクリレート	26.8
ポリエチレンテレフタレート	24.1
木	19 ~ 22
紙	16 ~ 20
PVC (樹脂)	18.0
セルロース	17.5
PVC-P (コンパウンド)	11 ~ 27
PVC-U (コンパウンド)	10 ~ 15
PVC-C (コンパウンド)	6 ~ 8
ポリテトラフルオロエチレン	6.7

塩ビ単独の燃焼熱は 18.0kJ/g で、添加剤の種類及び配合比率によって変化する。

## 1.3 燃焼生成物

塩ビの主な燃焼生成物を表 3 に示す。実際の火災における生成物は、一般的に塩化水素、炭素、水、二酸化炭素、一酸化炭素の 5 種である。有機材料が不完全燃焼する場合、燃焼の状態によって不安定な中間体が生成することがある。

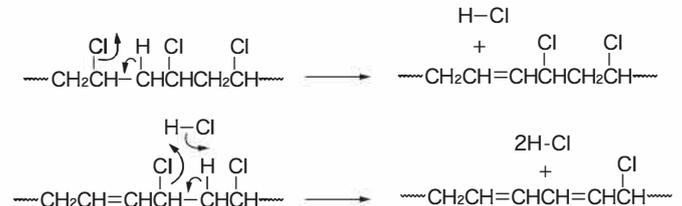
表 3. 塩ビの主な燃焼生成物

物質	構造式
塩化水素	HCl
炭素	C
水	H <sub>2</sub> O
二酸化炭素	CO <sub>2</sub>
一酸化炭素	CO
ベンゼン	C <sub>6</sub> H <sub>6</sub>
メタン	CH <sub>4</sub>
エチレン	C <sub>2</sub> H <sub>4</sub>
メタノール	CH <sub>3</sub> OH
アセトアルデヒド	CH <sub>3</sub> CHO
アクロレイン	CH <sub>2</sub> =CHCHO
ホルムアルデヒド	HCHO
ギ酸	HCOOH

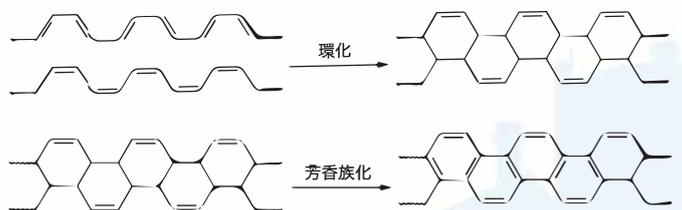
これらの燃焼生成物の相対的な量は、火災シナリオと、塩ビ製品に含まれる組成成分によって異なる。塩化水素が放出される（脱塩化水素）温度は、燃焼が起こる前で、約 200°C である。その他の塩素化されていない物質は、火災時には通常、それより高い温度で放出される。これには添加剤とその燃焼生成物も含まれる。塩素を含む燃焼生成物も、燃焼条件により放出されることがある。

塩ビの分解プロセスの概略を以下に示す。

第 1 段階：HCl が脱離し、自己触媒による脱塩化水素化が起こる。



第 2 段階：環化及び芳香族化が起こり、炭化物と非塩素化合物が生成する



第 3 段階：炭化物が酸化し、主に CO と CO<sub>2</sub> が生成する

加熱酸化条件において、低濃度で観測された生成物（表 3 に記載した生成物以外で塩化水素を除く）を表 4 に示す。

表 4. 炭素、水素、塩素を含む塩ビの燃焼生成物

物質	構造式
クロロベンゼン	C <sub>6</sub> H <sub>5</sub> Cl
1,2-ジクロロエチレン	C <sub>2</sub> H <sub>2</sub> Cl <sub>2</sub>
ジクロロベンゼン	C <sub>6</sub> H <sub>4</sub> Cl <sub>2</sub>
トリクロロエチレン	C <sub>2</sub> HCl <sub>3</sub>
1,3-ジクロロプロペン	C <sub>3</sub> H <sub>3</sub> Cl <sub>2</sub>

## 1.4 着火性

塩ビは、比較的高い温度に達しないと着火しない物質であるが、耐火性は材料（可塑剤、充填剤、難燃剤など添加剤）の組成に依存する。顔料は一般的に着火温度にほとんど影響を与えない。代表的な建築材料の着火温度の測定例を表5に示す<sup>(1,2)</sup>。電気製品の着火性に関するガイドラインは、IEC 60695-1-20 及び IEC 60695-1-21 に記載されている。

表5. 代表的な建築材料の着火温度の測定例(°C)  
(ASTM D1929 による)<sup>(1,2)</sup>

材料	着火温度(°C)	自然着火温度(°C)
PTFE	~ 540	530
ポリカーボネート	467	580
ポリアミド (PA6)	421	424
PVC-P (FR)	400	>400
PVC-U	391	454
ポリエステル、ガラス繊維積層	372	485
ポリスチレン	352	492
ABS	349	466
発泡ポリスチレン(畳ボード)	346	491
ポリエチレン	343	349
PVC-P	330	>330
ポリプロピレン	320	350
ポリウレタン(硬質発泡体)	310	416
PMMA	290	456
木(赤樫)	260	416

着火性を評価する方法として、材料が着火するのに必要な熱流束と時間を測定する方法があり、コーンカロリメータ (ISO 5660) によって評価されている。この方法で得られた情報から、発熱性に関する実際の火災性能を合理的に説明することができる。

コーンカロリメータによる着火時間の測定例を表6に、着火に必要な入射熱流束の測定例を表7に示す<sup>(3)</sup>。

表6. コーンカロリメータによる着火時間 (s) の測定例<sup>(3)</sup>

材料		入射熱流束		
		20kW/m <sup>2</sup>	40kW/m <sup>2</sup>	70kW/m <sup>2</sup>
PTTF	3mm シート	非着火	非着火	252
PVC-P (FR)	ケーブル被覆材	非着火	1,253	424
PVC-C	シートコンパウンド	非着火	621	372
PC	ポリカーボネートシート	6,400	144	45
PVC-U	押出グレード	3,591	85	48
PA66	ナイロン 66	1,923	65	31
PET	ボトルグレード	718	116	42
PS	ポリスチレン	417	97	50
PE	高密度ポリエチレン	403	159	47
木	ダグラスボード	254	34	12
ABS	ABS 共重合体	236	69	48
PP	ポリプロピレン	218	86	41
PMMA	薄シート (全厚 25mm のボードに積層)	176	36	11
PVC-P	非難燃軟質ケーブル	117	27	11
PU	非難燃発泡ポリウレタン	12	1	1

表7. コーンカロリメータによる着火に必要な最小入射熱流束の測定例 (kW/m<sup>2</sup>)<sup>(3)</sup>

材料		熱流束 (kW/m <sup>2</sup> )	
		600s*	100s*
PTTF	3mm シート	63	83
PVC-P (FR)	ケーブル被覆材	60	110
PVC-C	シートコンパウンド	42	90
PC	ポリカーボネートシート	32	42
PVC-U	押出グレード	30	39
PA66	ナイロン 66	27	37
PET	ボトルグレード	22	42
PS	ポリスチレン	15	40
PE	高密度ポリエチレン	≤15	50
木	ダグラスボード	≤15	37
ABS	ABS 共重合体	≤15	34
PP	ポリプロピレン	≤15	29
PMMA	薄シート (全厚 25mm のボードに積層)	≤15	27
PVC-P	非難燃軟質ケーブル	≤15	22
PU	非難燃発泡ポリウレタン	≤15	≤15

\*: 着火時間

## 1.5 酸素指数

酸素指数は、規定の試験条件下で燃焼継続に必要な酸素/窒素混合気中の酸素の最小濃度の指数で、特定の実験条件下での自己消火の容易さを表す (試験法: ISO 4589-2、JIS K 7201-2)。酸素指数が高いほど、材料の燃焼の持続性が低下する。例えば、酸素指数が 30 を超えるような材料は、火災と熱源が存在するときに限って燃焼することもある。通常の大気では酸素濃度が約 21% であるが、一般的に火災が起きて延焼する場所では酸素濃度が低下する。酸素指数は小火源に対する燃焼持続性に基いているので、結果を外挿して燃焼性を推定すべきではない。酸素指数試験に関するガイドランスは ISO 4589-1 に規定されている。材料が空気中 (すなわち、20.95% 酸素) で燃焼を持続する最低温度を表す可燃温度を決定する方法が ISO 4589-3 に規定されている。この評価は、400°C の温度まで使用できるが、通常は 40°C から 150°C の温度範囲で導かれる。

酸素指数測定は、研究開発目的や品質管理には有益であるが、その値を使用して火災の危険性を予測するべきではない。塩ビ材料の酸素指数は、その他の一般的な高分子材料よりも高く、熱源が取り除かれた場合に燃焼継続性が低いという補足的な指標として用いる。建築や建設に使用される各種高分子材料の酸素指数の測定例を表8に示す。

表8. 各種高分子材料の酸素指数 (OI) の測定例

物質	OI	物質	OI
PTFE	95.0	木	21 ~ 22
PVC-U	47.0	PMMA	17.9
PVC-P (FR)	25 ~ 40	ポリスチレン	17.7
ポリカーボネート	26.2	ABS	17.6
ポリアミド(ナイロン66)	25.1	ポリエチレン	17.0
ポリエステル・ガラス繊維積層	21 ~ 43	ポリプロピレン	17.1
PVC-P	21 ~ 36	硬質発泡ポリウレタン	16.5

## 1.6 燃焼発熱量

燃焼発熱量と燃焼発熱速度は、火災安全において重要な特性である。火災の強さに関して最も重要な質問は、「火災の大きさはどの程度か？」である。その回答の一つは、燃焼特性で表される最大燃焼発熱速度 (kW/m<sup>2</sup>) である。実際に製品が火災になった時、燃焼している製品が他の製品に着火させるのに十分な熱が放出されると、近くの別の製品が延焼する。さらに考慮すべき点は、最初に燃焼した製品から放出される熱が十分速く放出されない限り火を伝播しない。故に、燃焼発熱速度は火災の危険性を支配しており、火災中の建物・船舶等内にいる人の救出又は救助に必要な時間を制御する場合は、燃焼発熱速度が着火のし易さ、煙の毒性、又は炎の伝播よりも非常に重要であると言われている。時間に対する燃焼発熱速度の曲線を積分した結果が燃焼発熱量 (MJ) である。

燃焼発熱速度データからフラッシュオーバー特性を評価するために、複数の数式モデルが開発されている。単純な(経験則)計算は、着火データとコーンカロリメータ (ISO 5660) から得られた燃焼発熱データとの比率に基づくフルスケール試験 (ISO 9705-1) でフラッシュオーバーの傾向(耐火性能指数)を示すことができる。計算は次のとおりである。

$$FPI = TTI / PHRR$$

FPI: 耐火性能指数

TTI: 着火時間 (s)

PHRR: 最大燃焼発熱速度 (kW/m<sup>2</sup>)

燃焼発熱速度は有効燃焼発熱量(完全燃焼を想定した発熱量)と関連している。有効燃焼発熱量は、特定の火災試験条件にさらされたときに材料、製品又はアセンブリが燃焼時に発生する重量減少あたりの発熱量であり、通常は燃焼発熱試験法で評価される。したがって、試験全体の平均有効燃焼発熱量は、有益な燃焼性能指標である。燃焼発熱の概略的な評価は、重量減少の測定に基づいて(ある一定の有効燃焼発熱量が存在する仮定の下で)行うことができる。燃焼による重量減少は ISO 5660-1 に加えて ISO 13927 又は ISO 17554 によっても測定できる。燃焼発熱量に関するガイダンスは、ISO / TS 5660-3 及び IEC 60695-8-1 に、電気製品に関する火災の広がり試験方法の一般指針は、IEC 60695-8-2 に示されている。

オハイオ州立大学熱量計 (OSU) を使用して入射熱流束 20 kW/m<sup>2</sup> を用いて測定された各種材料の最大燃焼発熱速度 (PHRR) の測定例を表 9 に示す。なお、OSU は、ASTM 規格 (ASTM E906) 及びアメリカ連邦航空局 (FAA) の規制ツールとして採用されている。

最大燃焼発熱速度が低くなると火災性能は改善される。塩ビ材料はいずれも低い PHRR 値を示す。

表 9. OSU 試験による各種材料の最大燃焼発熱速度 (PHRR) の測定例

材料	PHRR (kW/m <sup>2</sup> )
ポリメチルメタクリレート (PMMA)	586.8
ポリエチレン (PE)	476.9
ポリプロピレン (PP)	451.2
ハードボード	227.1
ポリカーボネート (PC)	192.5
木製合板	113.6
オーク (25mm)	79.5
ビニルタイル	75.7
ABS (FR)	70.7
FL PVC <sup>①</sup>	56.8
石膏ボード	47.3
PVC CIM <sup>②</sup>	43
PVC EXT <sup>③</sup>	40
LS PVC <sup>④</sup>	39.3
PVC PL4 <sup>⑤</sup>	17.5

①FL PVC: 試験用標準軟質塩ビコンパウンド (非市販品、ケーブルコンパウンドの類似品、配合: 塩ビ樹脂 100 部、ジイソデシルフタレート 65 部、三塩基性硫酸鉛 5 部、炭酸カルシウム 40 部、ステアリン酸 0.25 部)

②PVC CIM: 耐衝撃性改良剤添加塩ビ射出成形用コンパウンド

③PVC EXT: 耐候性改良剤添加塩ビ押出成形用コンパウンド

④LS PVC: 発煙抑制剤添加硬質塩ビシート押出成形用コンパウンド

⑤PVC PL4: PVC と PVC-C を含む半硬質塩ビ熱可塑性エラストマーアロイケーブルジャケットプレナムコンパウンド

1980 年代初頭に、燃焼発熱速度を測定するために小規模試験法のコーンカロリメータ (ISO 5660、ASTM E 1354) が開発された。これは着火性を評価するために使用することができるが、その主な機能は燃焼発熱と共に煙の放出、重量減少が測定できることである。

コーンカロリメータの試験結果は、装飾家具、マットレス、電気ケーブル、壁ライニング、航空機パネルなど、多くの製品の実物大の火災試験結果を予測するために利用されている。

コーンカロリメータによる熱流束 40 kW/m<sup>2</sup> における各種材料の最大燃焼発熱速度 (PHRR) と耐火性能指数 (FPI) の測定例を表 10 に示す。

表 10. コーンカロリメータによる熱流束 40 kW/m<sup>2</sup> における各種材料の最大燃焼発熱速度 (PHRR) 及び耐火性能指数 (FPI) の測定例

材料	PHRR (kW/m <sup>2</sup> )	FPI (s·m <sup>2</sup> /kW)
ポリプロピレン (PP)	1,509	0.06
ポリエチレン (PE)	1,408	0.06
ポリメチルメタクリレート (PMMA)	665	0.05
ポリエチレンテレフタレート (PET)	534	0.22
ポリカーボネート (PC)	429	0.43
ダグラス fir	221	0.15
PVC EXT	183	0.46
PVC CIM	175	0.42
LS PVC	111	1.65
PVC PL4	87	1.15
PVC-C	84	7.55

PHRR 値の場合、低い値で耐火性が高くなるが、FPI 値の場合、値が高いと耐火性が高くなる。塩ビ材料は、両方で機能している。

2007 年に発行された ASTM D7309 は、マイクロスケール燃焼熱量計を用いてプラスチック及びその他の固体材料の燃焼特性を測定するための試験である。この試験方法はもともとアメリカ連邦航空局によって開発された。試験は、様々なパラメーターの中でも材料の燃焼発熱性能を測定するもので、これは、燃焼発熱速度とよく相関している基本的な特性である。マイクロカロリーメータ試験による各種材料の燃焼発熱性能 (HRC) を表 11 に示す。塩ビは優れた特性を示している。

表 11. マイクロカロリーメータ試験による各種材料の燃焼発熱性能 (HRC)

材料	HRC (J/g·K)
ポリエチレン (PE)	1,450
ポリプロピレン (PP)	1,106
ポリスチレン (PS)	1,088
ポリカーボネート (PC)	578
ポリメチルメタクリレート (PMMA)	480
ポリエチレンテレフタレート (PET)	366
塩ビ (PVC-U)	157

上述のマイクロカロリーメータ試験は、材料の小さいサンプルで行う。これらの試験結果が実際の火災挙動に関して有意義であることを検証するために、大規模な材料（又は製品）を評価することがしばしば必要である。多くの最新の実物規模の火災試験方法が開発されており、それらは主に燃焼発熱速度測定によるものである。それらは、壁ライニング製品 (ISO 9705-1、NFPA 265、NFPA 286 などのルームコーナー試験による)、装飾家具、マットレス、積み重ね収納可能な椅子 (スタッキングチェア)、電気ケーブル、ディスプレイスタンド、その他の装飾製品に対応している。

ルームコーナー試験とコーンカロリーメータによる 7 種の壁材の試験データを表 12、13、14 に示す。

ルームコーナー試験において測定された平均燃焼発熱速度 (HRR) 及び燃焼発熱量 (THR) の測定例を表 12 に示す。着火源として桁状に組んだ 6.3 kg の木材を使用した。

表 12. 各種材料のルームコーナー試験による各種材料の平均燃焼発熱速度 (HRR) 及び燃焼発熱量 (THR) の測定例

材料	平均 HRR (kW)	THR (MJ)
ポリカーボネート (PC)	135.6	133.9
ウッドパネル	73.2	85.2
FR ABS	54	70.2
FR アクリルパネル	10.9	36.6
PVC-C	3	30.2
PVC-U	2.6	29.9
低発煙 PVC	0	25.6

平均 HRR 及び THR 共に、塩ビ材料が最も低い。これらのデータによれば、塩ビ材料はいずれもフラッシュオーバーを起こさないと判断できる。

4 つの異なる入射熱流束 (IHF) におけるコーンカロリーメータによる各種材料の最大燃焼発熱速度 (PHRR) の測定例を表 13 に、耐火性能指数 (FPI) の測定例を表 14 に示す。

表 13. コーンカロリーメータによる各種材料の最大燃焼発熱速度 (PHRR) の測定例

材料	PHRR (kW/m <sup>2</sup> )			
	IHF=20kW/m <sup>2</sup>	IHF=25kW/m <sup>2</sup>	IHF=40kW/m <sup>2</sup>	IHF=70kW/m <sup>2</sup>
ポリカーボネート (PC)	363	351	233	297
ウッドパネル	385	367	435	661
FR ABS	158	165	264	341
FR アクリルパネル	62	124	109	183
PVC-C	17	42	54	94
PVC-U	109	105	224	270
低発煙 PVC	62	54	91	95

表 14. コーンカロリーメータによる各種材料の耐火性能指数 (FPI) の測定例

材料	FPI (s·m <sup>2</sup> /kW)			
	IHF=20kW/m <sup>2</sup>	IHF=25kW/m <sup>2</sup>	IHF=40kW/m <sup>2</sup>	IHF=70kW/m <sup>2</sup>
ポリカーボネート (PC)	5.97	2.83	0.34	0.09
ウッドパネル	0.72	0.37	0.09	0.03
FR ABS	4.37	0.47	0.14	0.04
FR アクリルパネル	15.90	0.67	0.21	0.05
PVC-C	588.24	8.19	3.15	0.64
PVC-U	4.14	1.45	0.21	0.07
低発煙 PVC	60.03	18.87	0.54	0.13

## 1.7 火炎伝播

火炎源から炎を伝播する材料の特性は、潜在的な火災の危険性と火災シナリオに関して考慮に入れるべき重要なパラメーターである。

材料は初期の燃焼火炎源を越えて炎を伝播することがある。炎の伝播は水平方向に発生する可能性があり、その場合は「横方向火炎伝播」と呼ばれることがよくある。火炎伝播は垂直方向にも発生する可能性があり、それがより深刻な火災シナリオになる特性がある。無可塑化塩ビは、外部燃焼源が提供されない限り自己消火性があるので本質的に耐火炎伝播性がある。電線・ケーブルの耐火試験の多くは垂直方向の炎の伝播を評価する。

材料が燃焼する際、溶融しながら燃焼するものがあり、初期の燃焼源から離れて他の可燃性材料に着火し、燃焼が伝播することがある。このため、溶融しながら燃焼する際の火炎を通常の火炎伝播とは区別して扱うことが重要である。塩ビ材料は炭化する傾向があるので、溶融しながら燃焼する火炎の発生は非常に稀である。火炎伝播に関するガイダンスは ISO/TS 5658-1 に示されている。電気製品の火炎伝播に関するガイダンスは IEC 60659-9-1 に、また電気製品の火炎伝播試験に関する一般指針は IEC 60695-9-2 に示されている。

ASTM E84 (建材の表面燃焼試験) は、建築用途で使用される製品及び材料用に北米で広く使用されている大規模トンネル試験である。分類は火炎伝播指数 (FSI) と発煙指数に基づいている。火炎伝播指数は無次元数であり、不燃ボードを 0 として、またレッドオーク材を 100 とする相対的な尺度で表す。各種材料の火炎伝播指数 (FSI) の測定例を表 15 に示す。塩ビ材料は全て低い FSI を有する。

表 15. ASTM E84 試験による各種材料の火炎伝播指数 (FSI) の測定例<sup>(3)</sup>

材料	FSI
ABS	200 ~ 275
Douglas fir/Cedar 合板	190 ~ 230
アクリル プラスチック	220
Douglas fir	70 ~ 100
難燃 ABS	70 ~ 100
難燃 PC	10 ~ 65
PVC 壁紙(石膏ボード上)	10 ~ 25
PVC-U プロファイル	15 ~ 20
PVC シート (3mm)	5 ~ 10

火炎伝播を評価するためによく使用されるその他の試験装置は、IMO (国際海事機関) の火災試験方法コードのパート 5 (ISO 5658-2 及び ASTM E1317 に相当)、ASTM E162 (放射パネル) 及び ASTM E1321 (水平着火及び火炎伝播試験又は LIFT) がある。

船舶用の多くの塩ビベースの表装製品 (塩ビ床材・タイル及び塩ビベースの壁紙・ラミネートなど) について、IMO 火災試験方法 (FTP) コード・パート 5 による試験結果に基づく火炎伝播の合格/不合格基準を表 16 に示す。

表 16. 火炎伝播の合格基準 (IMO 火災試験方法 (FTP) コード・パート 5)

	壁材・天井材の表面	床材シート
消火時の熱流束の基準 (kW/m <sup>2</sup> )	≥ 20.0	≥ 7.0
燃焼継続のための熱量 (MJ/m <sup>2</sup> )	≥ 1.5	≥ 0.25

ASTM E162 (放射パネル火炎伝播装置) は、ガス燃焼型放射熱パネルを使用することによって建築材料等の表面着火性を測定する。試験結果は、火炎伝播及び熱発生パラメーターから決定される放射パネル指数 (RPI) である。この指標は、特に北米の公共交通機関 (バスや電車) の様々な規格で要求されている。各種材料の放射パネル指数 (RPI) の測定例を表 17 に示す。塩ビ材料は全て低い RPI を示す。

表 17. ASTM E162 試験による各種材料の放射パネル指数 (RPI) の測定例

材料	RPI
硬質発泡 PU	2,220
軟質発泡 PU	1,490
FR アクリルプラスチック	316
Plywood (Fir)	143
ABS	131
PC	88
FR PC	73
PVC-U	10
PVC-C	4

電気ケーブルに指定されている最も厳しい耐火性能は、プレナム (電気配線空間シャフト) での使用を目的とした北米で使用されているケーブルである。塩ビ被覆材を使用する複数の配合物、及び塩ビ被覆材と塩ビ断熱材の両方を使用する配合物も存在する。アメリカでは、それらのすべてがアメリカの National Electrical Code に指定されている耐火性能による NFPA 262 (電線・ケーブルの火炎伝播・発煙性試験) 又はカナダの CSA FT6 (電線・ケーブルの火炎伝播・発煙性試験) に適合する必要がある。National Electrical Code (NEC、NFPA 70) は、アメリカの電気材料 (特にケーブル) の耐火性能仕様を規定している。

溶融火炎による火炎伝播は、製品が水平上向き (床) に設置される場合以外で起こる可能性がある。

ISO 9773 (小火炎に接触するプラスチックの可とう性フィルム) の垂直燃焼性試験方法は、低エネルギーレベルの火炎着火源に曝された際の垂直に設置された薄くて比較的柔軟なプラスチック試験片の相対燃焼挙動を比較するための小規模実験室スクリーニング手法を規定している。塩ビ材料は、可塑剤が多い配合でも難燃剤が添加されていれば、通常は溶融火炎を発生することはないだろう。それは、UL 94 試験 (高分子材料燃焼性試験) の垂直方式に類似している。UL 94 試験では、V-0 グレード、V-1 グレード、V-2 グレード、及び B グレード (燃焼) までのグレードに分類されている。V-0 グレードと V-1 グレードの分類は溶融火炎を示さない。塩ビ材料は、表 18 に示されるように、通常測定される最も薄い厚さ (1 mm) で得られる UL 94 V-0 グレードに該当する。

表 18. 電線・ケーブル材料の UL 94 V グレード試験結果の例<sup>(3)</sup>

材料	V-0@1mm	V-0@2mm	V-0@3mm
PVC ケーブル FR1	V-0	V-0	V-0
PVC ケーブル FR2	V-0	V-0	V-0
PVC ケーブル FR3	V-0	V-0	V-0
PVC ケーブル FR4	V-0	V-0	V-0
PVC ケーブル無 FR	V-1	V-2	V-0
クロロスルホン酸化 PE	V-1	V-0	V-0
PTFE	V-0	V-0	V-0
LDPE ケーブル無 FR	B	B	B
EVA ケーブル FR1	B	—	—
EPR ケーブル FR2	B	—	—
EVA ケーブル FR3	V-0	V-0	V-0
EVA ケーブル FR4	B	B	B
EVA ケーブル FR5	V-0	V-0	V-0
ポリフェニレンオキサイド	B	B	B
EVA ケーブル FR6	B	B	V-0
PVC PL2	V-0	V-0	V-0

## 1.8 煙の発生

見透しが低下すると建物や船舶などからの避難と救助隊による救助が妨げられるため、煙の発生とその広がりや火災において重要な問題である。見透しの低下は、いくつかの要因の組み合わせの結果で、実際の火災における可燃物の燃焼量、燃えた材料の単位量当たりの煙の発生量、及び換気の状態による。燃焼発熱量が時間に対する燃焼発熱速度の曲線の積分であるのと同様に、発煙量は時間に対する発煙速度の曲線の積分である。

塩ビは、脱塩化水素反応（塩化水素の放出）によって熱分解し、残っている材料が分子構造の二重結合の形成及び芳香族炭化水素の形成を伴う。さらに化学反応を起こして、ススが形成される。塩素は気相中で燃焼反応の抑制剤として作用し、これは二酸化炭素の代わりに一酸化炭素だけでなく炭素も含む不完全燃焼生成物を増加させる傾向がある。これらの理由から、塩ビ材料は本質的に濃い煙を放出する可能性があるとして一般に考えられている。

ただし、実際の火災シナリオにおいて見透しの低下は、燃焼した材料単位量あたりの材料の燃焼量、及び発煙量の2つの要因によるものである。それは火災の強さや酸素の供給量などその他のシナリオ特性の関数でもある。

以下のうちの1つ又は複数により、火災安全性における煙の影響を軽減することができる。

- ・材料：化学的性質
- ・添加剤：難燃剤や発煙抑制剤など
- ・検知：警告 / 警報システム、光 / 熱検知器
- ・抑制：スプリンクラーシステム
- ・建物の設計：区画と効果的な避難経路
- ・換気：煙排出システムの自動開放又は強制換気

煙の色と見透しの低下は、必ずしも関連しているわけではない。白い煙の方が黒い煙よりも見透しの低下が大きくなる可能性がある。煙の見透し低下性試験に関するガイドラインが IEC 60695-6-1 に示されている。IEC 60695-6-2 に電気製品の煙の見透し低下性試験に関する一般指針が示されている。

その他の火災要因と同様に、発煙は大規模試験で最も評価されている。しかしながら、実用的な理由と研究開発目的のために、多くの小規模試験が開発されてきた。

コーンカロリメータ (ISO 5660) は動的な小規模火災試験であり、煙の見透しの評価にも利用できる。コーンカロリメータによる入射熱流束 (IHF) 40 kW/m<sup>2</sup> における各種材料の最大燃焼発熱速度 (PHRR)、発煙量 (TSR)、発煙ファクター (SF) の測定例を表 19 に示す。

- ・発煙量 (TSR)：暴露試験体の単位面積当たりの全発煙量。試験材料が燃焼時に生成する潜在的な発煙量を測定したものである。
- ・発煙ファクター (SF)：最大燃焼発熱速度 (PHRR) と発煙量 (TSR) の積から求められる。これは、試験材料の潜在的な発煙量とその材料の耐燃焼性 (最大燃焼発熱速度) を用いて算出するファクターである。また、材料の発煙による影響を表すのによい指標である。

表 19. コーンカロリメータによる各種材料の最大燃焼発熱速度 (PHRR)、発煙量 (TSR)、発煙ファクター (SF) の測定例 (IHF=40kW/m<sup>2</sup>)<sup>(3)</sup>

材料	PHRR (kW/m <sup>2</sup> )	TSR	SF (MW/m <sup>2</sup> )
ポリプロピレン (PP)	1,509	2,503	3,777
ポリエチレン (PE)	1,408	1,870	2,633
ポリメチルメタクリレート (PMMA)	665	3,646	2,424
ポリエチレンテレフタレート (PET)	534	2,837	1,515
ポリカーボネート (PC)	429	3,620	1,553
Douglas fir	221	287	63
PVC EXT	183	7,027	1,286
PVC CIM	175	6,653	1,164
LS PVC	111	1,937	215
PVC PL4	87	370	58
PVC-C	84	200	17

これらの発煙データから、塩ビ材料は一般的に使用されている他の多くの材料よりも著しい煙有害性を示さないことが示される。

実物大のルームコーナー試験 (ISO 9705) の研究 (実際の部屋の材料ライニング壁材を使用) は、塩ビ材料のような低火災伝播又は低燃焼発熱である材料の大部分は全体的な発煙量が低いことを示している。

## 1.9 煙による被害

火災発生源が小規模のまま延焼が遅い場合、火災毒性の影響を回避又は軽減することができる。

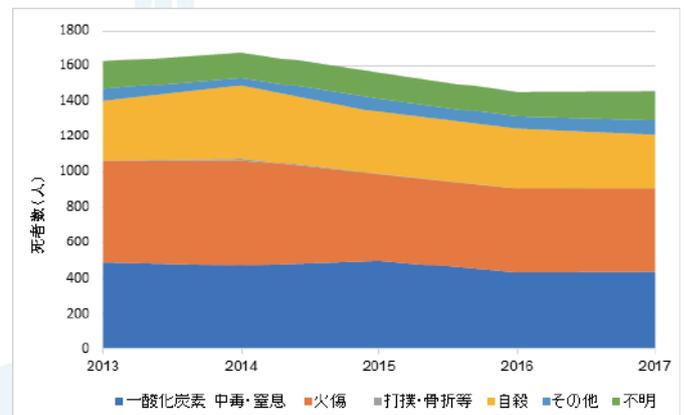


図 1. 火災による被害者 (日本国内、消防白書参照)<sup>(4)</sup>

一酸化炭素 (CO) は火災で生成される最も毒性のある物質であることが知られている。CO は無臭無刺激である。非常に高い濃度で放出される可能性があるという事実にもかかわらず、人間の器官では検出できない (特定の検出器が必要である)。実際、フラッシュオーバー火災 (酸素欠乏した雰囲気状態) は一般的に一酸化炭素として燃焼した質量の約 20% を含んでいる。火災で放出されるその他のガス状生成物は、臭いによって検出可能で、塩化水素 (HCl) やアクロレインなどの刺激性の化学物質が含まれる。塩素含有物質から放出される HCl は、その LOC (懸念レベル、数百 µl/l) をはるかに下回る非常に低いレベル (約 3 µl/l) で検出される。

火災が発生すると燃焼の状態に応じて常に火災で発がん性の高いベンゾ [a] ピレンを含む多環芳香族炭化水素 (PAH) が生成される。これらの化学物質は通常ハロゲンを含まず、発がん性があるものがある。それらは煙の中に放出され、ススに吸着して吸入することがある。それらが、消火水によって運ばれると、火災の現場と環境を汚染する可能性がある。

塩ビのような塩素化炭化水素及び塩素含有材料の燃焼の場合には、塩化水素及び塩化芳香族類が生成し、その量及び化学組成は火災の状態に依存する。しかしながら、経験上、塩素 (Cl<sub>2</sub>) もホスゲン (Cl<sub>2</sub>CO) も火災煙中に有意な濃度で発見されたことはない<sup>(5)</sup>。ダイオキシン・フラン類が発生する可能性はあるが、一般的に非常に低濃度で、その値は PAH 濃度を下回っており、自然の森林火災や山火事で見られる濃度を超えることはない。

ダイオキシン・フラン類は塩ビコンパウンドから生成されるが、それらは一般的に塩ビ材料が焼却炉のような特定の条件下で熱分解又は燃焼するとき、特に比較的低温で処理される場合に生成する。しかし、住宅火災の中で塩ビや他の塩素含有物質から発生するダイオキシン類の量は、PAH などの他の毒物と比較して、人の健康や環境にとって大きな毒性の懸念はないことが研究されている。

2 つの主な理由から、燃焼放出物の毒性の定量化は明確でない。

- ・火災は時々刻々と状況が変化するため、火災空間の換気 (酸素濃度) によって排出される物質の組成 (発生する物質と濃度) が時間とともに変化する。
- ・評価手法の選択は多くの変数、特に想定される火災シナリオと火災安全目的に依存する。

ISO 13571:2012 (火災における生命の危険に関わる要素—火災データを使用した可能な避難時間の評価指針) は、火災の生命危険に到達するまでの時間を推定する方法を示し、火災が生命を脅かす要素に対処するためのガイドラインを含んでいる。これは、窒息性や刺激性のある有害ガスの影響に加えて、熱傷及び見逃し低下の影響にも対応している。電気製品のための火災による有害危険性のガイドラインは、IEC 60695-7-1 (火災による有害危険性を最小にするための指針)、IEC 60695-7-2 (火災による有害危険性に関わる試験方法)、及び IEC 60695-7-3 (火災による有害危険性に関わる試験の評価指針) に示されている。

詳細な情報がない場合、FED (有効暴露量率) 及び FEC (有効濃度率) の閾値として中央値 1 を使用した対数正規分布によって個々の許容限度の分布を近似することができる。

刺激性ガスの F 値を表 20 に示す。それは居住者の許容濃度を著しく損なうと予想される体積分率であり、ISO 13571:2012 の刺激ガスモデルで使用されている。F 値が低いほど、ガスの刺激性が高い。

表 20. ISO 13571:2012 による刺激性ガスの F 値

刺激性ガス	F (μl/l)
HCl	1,000
HBr	1,000
HF	500
ホルムアルデヒド	250
NO <sub>2</sub>	250
SO <sub>2</sub>	150
アクロレイン	30

ISO/TR 13571-2 の附属書 B には、フランスにおける研究に基づき、一人用寝室の実火災試験のデータを用いて FED を計算した事例が示されている<sup>(6)</sup>。その火災シナリオは、大量の塩ビ製品を配置しているため、たいへん興味深い。

実験室は 9m<sup>2</sup> の小部屋で、内装が施された日常生活を再現するように家具が置かれている。塩ビ製品の可燃物全体の質量比率は 34% で、これは平均より幾分高い。木質製品は 54% を占め、紙、PU フォームなどの他の製品は可燃物全体の 12% を占める。着火源、燃焼源、及びドア開口部など換気に関する様々なシナリオで実施されている。許容限度データの計算ができるように、部屋には多数のセンサが取り付けられている。

火災シナリオに応じて、危険にさらされる許容限度は、通常、窒息性ガス (一酸化炭素及びシアン化水素) の作用又は熱的効果によるものである。塩化水素を含む刺激性ガスは小さな要因とされた。シナリオでは、刺激性ガスの作用により危険にさらされる許容限度は 100 人中 1 人未満である。

### 1.10 煙の腐食性

火災から発生する煙・ガスの腐食性はよく問題になる。それは、煙の固体微粒子と腐食性ガスの露出した金属表面への複合効果に関係する。機械や電気機器の性能という意味では、腐食性は人への脅威よりも資産保護の問題である。ススの沈着は化学的腐食よりも速く、その影響はより早く生ずる。一方、高温多湿の雰囲気中で反応性化学物質 (酸、塩基又はイオン) が存在するような環境条件が整えば、腐食は急速に進行する。

金属の腐食は 2 つの異なる要因で発生する。

- 表面上の水分に溶解した腐食性ガスによる化学反応
- 溶解した腐食性ガスを含む吸湿した粒子の沈着

金属構造物の酸性腐食は一般的に火災シナリオでは考慮されない。その理由は、金属構造物に熱の影響が直ちに及び可能性がある一方、腐食の影響は緩やかに火災後に生ずるためである。

電気回路へのススの沈着は、回路を短絡させるため電気機器に影響を与える可能性がある。これは腐食と同時に発生する可能性があるが、2つの現象の間に直接的な関係はない。

鉱酸（例えば、塩化水素、フッ化水素、臭化水素）又は有機酸（例えば、酢酸、ギ酸）が燃焼生成物に存在する場合、火災から出る煙は酸性になり得る。酸性ガスの腐食性は、ターゲット金属の重量変化を測定するか又はターゲットのプリント電気基盤の電気抵抗を測定する直接法と、煙から抽出された水の pH 及び導電率を測定する間接法により評価する。しかし、銅の重量変化と煙を含む水の酸性度の関係を調べた結果では、図2に示すように相関関係は見られない。

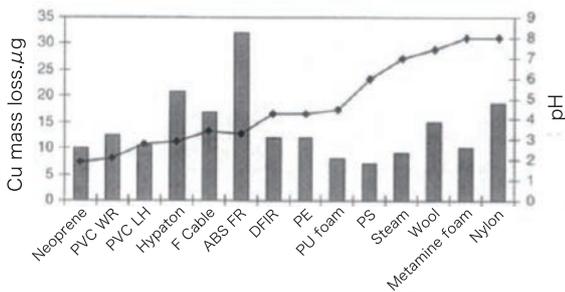


図2. 腐食性（銅の重量変化）と各種材料から得られた煙を含む水の酸性度（抽出液の pH）の測定値

塩ビを含む燃焼において、多少とも HCl ガスが存在すると酸性の煙が発生する。それは水分に取り込まれて露出した金属表面に付着し、腐食を始める。腐食速度は金属組成によっても異なる。

建築材料を考えると、腐食性ガスを発生する可能性がある物質が存在する閉鎖的環境では、塩ビを含む物品の燃焼から発生する煙中の HCl を処理する必要がある。また、酸性物質は、つや消し塗料、コンクリート又は石膏ボードなどの表面の化学反応により中和されることがある。電気機器に対する燃焼生成物の腐食性に関するガイダンスは、IEC 60695-5-1 及び IEC 60695-5-2 に示されている。

### 1.11 塩化水素濃度

1980年代に、火災の雰囲気中で HCl ガスの残留率を調査するために、23件の研究が行われた<sup>(7)</sup>。これらの研究では、HCl ガスが最も一般的な建築材料（例えばセメントブロック、天井タイル、石膏ボード）と迅速に反応して中和されるので、火災で発生する燃焼生成ガス中に含まれる最大 HCl ガス濃度は、塩ビの塩素含有量から予測されるよりはるかに低いことが示されている。さらに、この HCl ガス濃度はすぐに減少し、HCl は火災雰囲気からはほぼ完全に消える。

PMMA 製の箱の中にガスの吸着性を有する代表的な建築材料を設置し、塩ビケーブル（HCl 8,700 µl/l に相当する塩素量含有）を電氣的に熱分解する実験を行った際の HCl ガス濃度 - 時間の関係を図3に示す。ある実験では、検出された最大 HCl 濃度は理論値（化学量論値）の10%に過ぎなかった。この HCl ガス濃度が減少する結果から、毒性試験において典型的な（非吸着性）ガラス又はプラスチック製暴露チャンバを用いて行くと、HCl ガスが建築材料の表面ほど速やかに減少しないため、HCl ガスがより長くチャンバ内に存在することで、実際の火災よりも塩ビの煙の毒性を過大評価していることを示す。

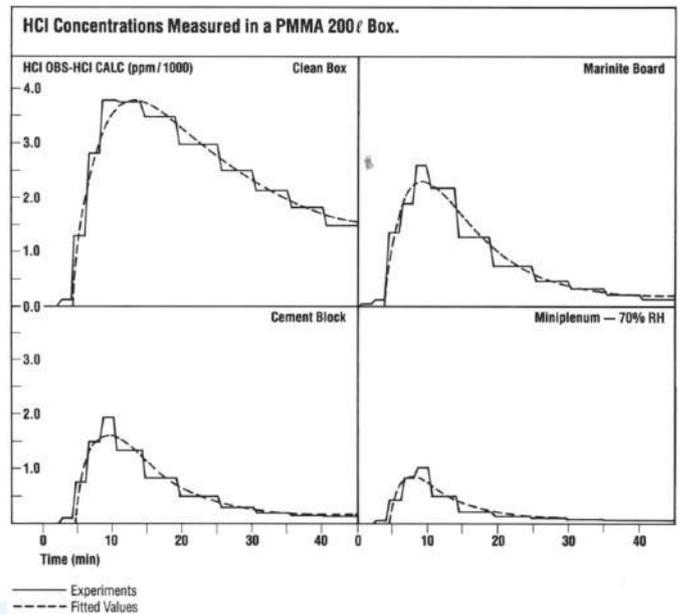


図3. PMMA 製ボックスで塩ビケーブルの熱分解から生成する HCl ガス濃度の測定値<sup>(8)</sup>

塩ビ床材の大規模な燃焼試験では、発生した HCl ガスの約 50% が部屋の壁に吸着することが明らかになった。吸着した HCl ガス濃度は壁材により異なる（図4）<sup>(9)</sup>。多孔質な壁材はより多くの HCl ガスを吸着する傾向がある。

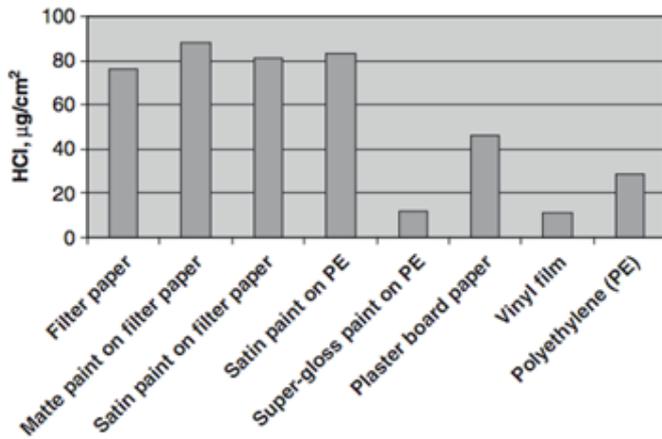


図4. 壁材に吸着した HCl ガス濃度の測定値<sup>(9)</sup>

様々な状況で、塩ビの燃焼から発生した HCl ガスにより火災が発生した部屋の外にいる人に影響を与える可能性はほとんどない（つまり、フラッシュオーバー後の期間に被害者に影響を与えることはない）。そのような状況の例は、とりわけ本物の空間（プレナム）及び長い廊下で行われたアメリカにおける実物大の実験により明らかになっている。大空間における火災試験は、大量の塩ビが部屋上方で熱分解したとしても、空調システムが作動しない限り、CO ガスが部屋上方に蓄積する間、HCl ガスは部屋下方に検出可能な量まで移動することはないことを示している。空調システムが作動した場合でも、測定された HCl ガス濃度は毒性学上懸念がないことを示している。

### 1.12 炭化物形成と熱膨張

塩ビは、元の炭素含有量の多くを炭化残渣物として残す物質の一つであり（他の多くの熱可塑性材料とは対照的に）、残渣物が気相で燃焼する可能性は少ないことを意味する。塩ビ中の塩素の存在は、2つの方法でその影響を及ぼす。

- ①水素化処理で炭化物形成の増加を引き起こすこと（より少ない可燃性分解生成物が気相で形成されることを意味する）
- ②気相で可燃性物質と反応して気相捕捉剤として作用する HCl の生成



生成した炭化物は低密度物質で、火災安全性に関して2つの良好な効果がある。

- ・熱源と影響を受けない高分子材料との間のバリアとなり、その熱分解速度の低下を導く。
- ・可燃性ガスの放出を抑制する。

炭化物層の内部又は下層で膨張を引き起こす熱膨張性物質を塩ビに添加すると、その防火性を高めることができる。例えば、2つの区画の延焼を防ぐために、この対策が役に立つ。塩ビの炭化特性と膨張特性を利用した添加剤を用い

て、塩ビ管や発泡塩ビ封止材として利用することができる。材料の膨張試験に関する ISO 規格はない。参考としてコンカロリメータで熱暴露した際に、材料の膨張に基づいて管・継手の膨張特性を評価したフランスの品質マークがある（NF 513）<sup>(10)</sup>。

## 2 各用途分野での防火事例

### 2.1 船舶での事例

#### 2.1.1 船舶内装材料としての塩ビの利用

船舶の内装では、壁面材として塩ビ・ラミネート鋼板（塩ビ化粧鋼板）が、床表面材として塩ビフロアタイル、塩ビフロアシートなどが使用されている。塩ビ・ラミネート鋼板（塩ビ化粧鋼板）はさらに、これを表面材としてミネラルウールをコア材とした 30 分耐火パネル（B 級防火仕切り）も、船舶の居住区の仕切り材として使用されている。



図 5. 船舶内装の例

#### 2.1.2 国際海事機関（IMO）火災試験方法コード（FTP コード）

国際航海に従事する船舶（すべての国際航行旅客船及び総トン数 500 トン以上の国際航行貨物船）は、海上人命安全条約（SOLAS 条約）に合致することが求められている。SOLAS 条約の第 II-2 章は船舶の火災安全に関する規則を定めており、その規則は船舶の内装材料が火災試験方法コード（FTP Code: International Code for Application of Fire Test Procedures）に合格することを求めている。

IMO は 1992 年から FTP コードの開発を進め、1996 年の第 67 回海上安全委員会（MSC67）は、決議 MSC.61(67) として FTP コードを採択した。IMO の第 88 回海上安全委員会は、FTP コードの全面改正（2010 FTP コード）を決議 MSC.307(88) として採択した。2010 FTP コードは以下の試験方法を含んでいる。

- パート 1：不燃性試験
- パート 2：発煙性及び燃焼毒性試験
- パート 3：防火構造の耐火性試験
- パート 4：防火扉制御装置の耐火性試験
- パート 5：燃焼の広がり試験
- パート 6：（欠番）
- パート 7：カーテン類の燃焼性試験
- パート 8：布張家具の燃焼性試験
- パート 9：寝具類の燃焼性試験
- パート 10：高速船の耐燃焼材料試験
- パート 11：高速船の耐火構造の耐火試験

塩ビ材料は、船舶内装材（壁面材、床材、など）として多用されており、その用途に応じて、FTP コードのパート 2 及びパート 5 が適用される。

FTP コードとは別に、SOLAS 条約第 II-2 章には、船舶内装材料の単位面積当たりの燃焼発熱ポテンシャルの制限があり、塩ビの内装材には、この発熱ポテンシャルの制限（ISO 1716 の燃焼発熱ポテンシャル試験で測定して  $45\text{MJ/m}^2$  以下）も適用される。

#### 2.1.2.1 船舶内装材の発煙性及び燃焼毒性試験（FTP コード パート 2）

ISO 5659-2 のシングル・チャンバ発煙性試験（図 6）に従って、 $75\text{mm} \times 75\text{mm}$  の平面試験片を、 $0.5\text{m}^3$  のチャンバに上向きに設置し、その試験片の上に設置した電熱ヒータによって  $25\text{ kW/m}^2$  及び  $50\text{ kW/m}^2$  の熱放射で加熱し、発生する煙をチャンバ内の光透過度によって測定して煙の光学密度に換算するとともに、チャンバ内のガスをサンプリングして、フーリエ変換式赤外ガス分光計（FTIR）で分析する。ISO 5659-2 の試験時に FTIR によってガス分析する方法は、ISO 19021 として 2018 年に発行している。

以下表 21 の基準が適用される。

表 21. FTP コード パート 2 判定基準

	壁面材	床表面材
煙の光学密度	200 以下	500 以下
CO 濃度	1,450 ppm 以下	1,450 ppm 以下
HCl 濃度	600 ppm 以下	600 ppm 以下
HF 濃度	600 ppm 以下	600 ppm 以下
HBr 濃度	600 ppm 以下	600 ppm 以下
HCN 濃度	140 ppm 以下	140 ppm 以下
NO <sub>x</sub> 濃度	350 ppm 以下	350 ppm 以下
SO <sub>2</sub> 濃度	120 ppm 以下	200 ppm 以下

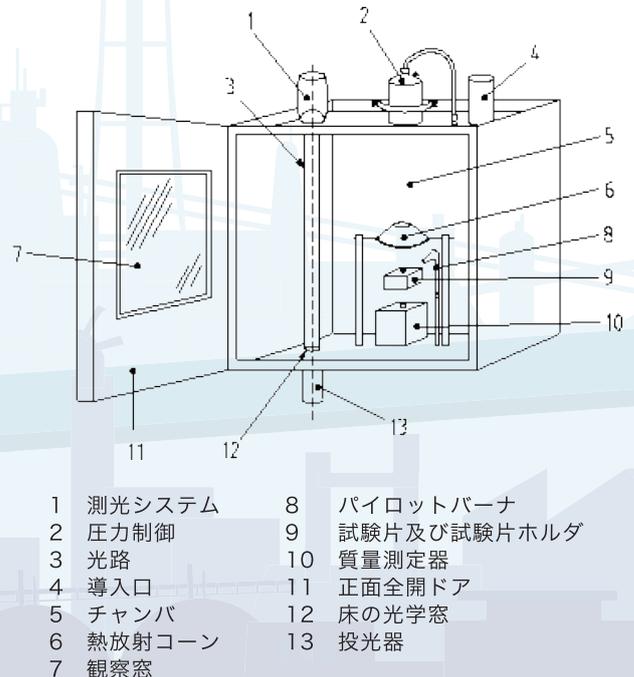


図 6. ISO 5659-2 発煙性試験の試験装置

### 2.1.2.2 船舶内装材の燃焼の広がり試験

ISO 5658-2 火炎伝播性試験方法の試験装置（図 7）に加え、試験片の上に燃焼で発生する煙ガスを集めて通すダクトを設け、その出口に熱電対を設置する試験装置を使用する。試験片に入射する熱放射  $q$  の分布を、予め測定し、これが規定値（表 22）に合致するように出力を調整する。

長さ 800mm、幅 155mm の平面試験片を熱放射パネルの前に置き、その熱ふく射パネルに近い端部にプロパンガスの点火炎を接触させ、試験片の横方向の火炎伝播を観察し、50mm ごとの火炎伝播時間を測定する。

試験片に沿って火炎が伝播し、消炎した場所の入射熱放射 CFE を求める。50mm ごとの火炎伝播時間とその場所への入射熱放射の積により、燃焼継続に必要な熱入射  $Q_s$  ( $\text{MJ}/\text{m}^2$ ) を求め、その平均値  $Q_{sb}$  ( $\text{MJ}/\text{m}^2$ ) を得る。

煙ガスダクト排気出口の熱電対出力から、燃焼発熱速度 ( $\text{kW}/\text{m}^2$ ) を換算し、これを時間で積分して総発熱量 (MJ) を求める。

表 22. ISO 5658-2 火炎伝播試験補法における加熱条件

試験片上で その高温端からの距離 (mm)	熱放射 $\text{kW}/\text{m}^2$	熱放射の許容範囲 $\text{kW}/\text{m}^2$
0	49.5	a
50	50.5	$\pm 0.5$
100	49.5	a
150	47.1	$\pm 2.4$
200	43.1	a
250	37.8	$\pm 1.9$
300	30.9	a
350	23.9	$\pm 0.2$
400	18.2	a
450	13.2	$\pm 0.7$
500	9.2	a
550	6.2	$\pm 0.6$
600	4.3	a
650	3.1	$\pm 0.3$
700	2.2	a
750	1.5	$\pm 0.3$

a: これらの場所での熱放射は、許容範囲がある場所での熱放射をスムーズに結んだカーブから求めた値であり、試験装置の検定には使用しない。

表 23 の基準値を満たすことが求められる。

表 23. 装表面材・炎の燃え広がり判定基準

	壁面、天井	床面
消炎場所の入射熱放射 CFE ( $\text{kW}/\text{m}^2$ )	20 以上	7.0 以上
燃焼継続に必要な熱入射 $Q_{sb}$ ( $\text{MJ}/\text{m}^2$ )	1.5 以上	0.25 以上
総発熱量 $Q_t$ (MJ)	0.7 以下	2.0 以下
最高発熱速度 $Q_p$ (kW)	4.0 以下	10.0 以下

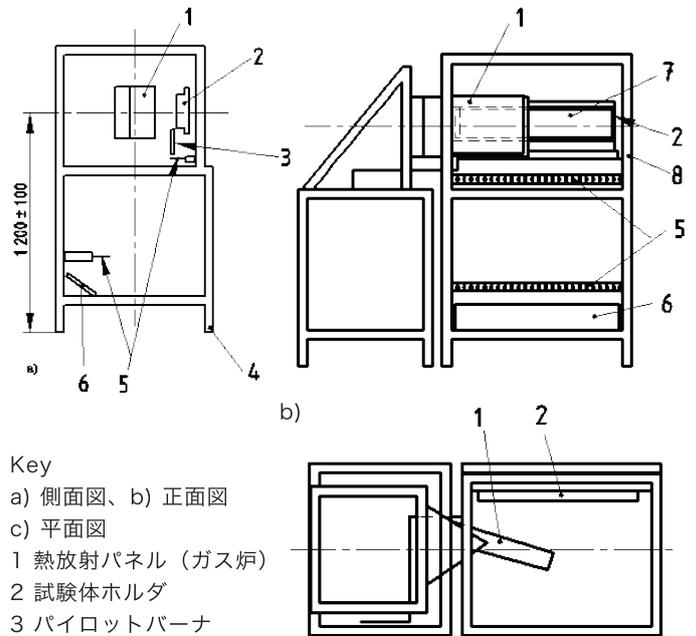


図 7. FTP コード パート 5 試験装置

### 2.1.2.3 船舶内装材の燃焼発熱ポテンシャル試験

試験は ISO 1716 による。

耐圧燃焼容器（図 8 の中の 7）の中の試験片皿に約 1g (mg まで秤量する) の試験片を置き、その周りに点火用電熱線を巻き付け、容器を約 30 気圧の酸素で満たす。

点火用電熱線に通電して試験片を燃焼させ、測定容器（図 8 の濃度 5）内の水の温度上昇を精密温度計（図 8 の濃度 4）で測定する。この温度上昇と測定容器内の水の質量から、試験片の燃焼発熱量を求める。

この試験では、試験片は高圧の酸素内で完全燃焼する。すなわち、測定値は完全燃焼時の発熱量であり、これを燃焼発熱ポテンシャルと称している。この燃焼状況は、通常の大気中の燃焼状況とは異なることに留意する必要がある。燃焼発熱ポテンシャル判定基準：45MJ/m<sup>2</sup> 以下

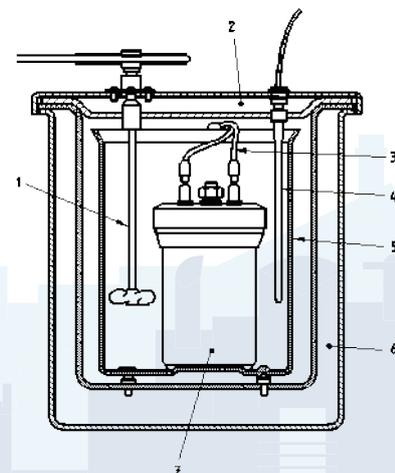


図 8. ISO/EN 1716 酸素ボンブ燃焼熱測定装置

## 2.2 建築での事例

### 2.2.1 概要

塩ビは、耐久性、防火性、省エネ性、加工性に優れた面を有していることから、建築用途において、屋外では、水道管、下水管・配水管、雨樋・雨水マス、電線、外皮等に使用され、また、屋内では、ブラインド、窓枠、壁紙、床材等に使用されている。

建築物は火災時の安全性を確保するため建築基準法により、材料としての防火性能や構造体としての防耐火性能が要求されており、塩ビのもつ特性からこれらの要求性能を満たすものも多くある。

火災の初期には延焼拡大を抑制して避難安全性を確保するため、居室や避難経路の内装材料には、防火材料で仕上げることが要求される。防火材料には、火災による加熱を受けた際に、発熱、発煙・有害なガスの発生、変形等をしていないことが要求され、使用

される部位により要求される水準に応じてそれぞれの材料を用いる。これらの要求水準は一律で、要求される時間に応じて、不燃材料、準不燃材料、難燃材料に分類される。壁紙などの化粧材料は、下地と共に性能が評価される。塩ビは、壁紙、化粧フィルム、鋼板等の表面皮膜等の主素材として用いられているものもあり、不燃材料、準不燃材料、難燃材料として国土交通大臣の認定を取得している。

また、火災は拡大して、出火した室全体、隣室、やがて建物全体に及ぶ。規模の大きな建物では、建物内の避難に時間を要することから、建物には火災の拡大を防止するための防火区画が要求されるが、水道管や給排水管がこれらを通る部分にも、延焼を防止するための性能が要求される。水道管や給排水管として一般的に用いられる塩ビ管がこれらを通る場合、その難燃性から要求される性能を満たす仕様（内径や外径等）が建設省告示に規定されている。また、塩ビをセメントにより覆った耐火二層管は、防火区画等を通る排水管として国土交通大臣の認定を取得しており、耐火性能以外にも遮音性能等にも優れる特徴



図9. 壁紙の例



図10. ビニル床シートの例



図11. 耐火二層管の例

を持つ。さらに、近年、出火の際に熱によるパイプの中間層が膨張し、貫通部からの熱気の侵入を遮断し、火災の際の延焼を防止する耐火性塩ビパイプが国土交通大臣の認定を取得しており、集合住宅やホテルなどの排水、通気、雨水管路等で使用されている。



図12. 耐火性塩ビパイプ

建築基準法では、デパート・マーケット・ホテルなどの特殊建築物で規模が大きなものに、排煙設備を設け、排煙効率を上げるため天井面から50cm以上下方に突出した垂れ壁（不燃材料）を設けることを求めている。ガラス繊維を塩ビシートで挟んで貼り合わせた塩ビ製防煙垂れ壁は、不燃材料として認定されており、軽量で落下しにくく、たとえ落下しても割れる危険性が少ないため、避難安全性にも寄与することから、従来のガラス製のものから置き換えが進んでいる。

そして、隣棟火災による延焼を防止するために、延焼の危険のある外壁およびその開口部には、防耐火性能が要求される。塩ビは、開口部に設ける防火設備（窓）の枠材に用いられ



たり、防火設備（戸）等の表面に張られるシートにも使用されたりしている。塩ビは、外皮としては耐久性、耐候性等に富み、サッシに用いられるアルミニウム材に比べて約1000倍熱を伝えにくい性質をもつ等省エネルギーの観点でもすぐれた性質を持つ。

さらに、市街地火災を防止する目的で火の粉による火災拡大を抑制するために、市街地にたつ建物の屋根には、火の粉による延焼拡大抑制性能が要求される。塩ビは、塩ビシート防水工法に用いられ、この性能を有する構造として国土交通大臣の告示に例示されたり、大臣の認定を取得したりしている。また、膜構造建築物の屋根に用いられる膜材には、ガラス繊維の基布に塩ビをコーティングしたターポリン、硬質塩化ビニル板が、不燃性物品を保管する倉庫、自動車車庫等の簡易な構造の建築物の屋根に用いられている。

上記は、主に塩ビが持つ難燃性を生かした利用のかたちであるが、建築基準法による要求がない部分についても、塩ビが持つ他の特性を生かして、床に用いられるビニル床シート・タイルカーペット、雨樋・雨水マス等にも用いられている。



図14. 塩ビシート防水の例

## 2.2.2 防火材料・防耐火構造の国土交通大臣認定のための性能評価方法

建築基準法で要求される性能について、それぞれの性能を評価する手法について概要を示す。

### 2.2.2.1 防火材料

防火材料には、

- ・発熱しないこと
- ・防火上有害な変形、溶融、き裂その他の損傷を生じないこと
- ・避難上有害な煙またはガスを発生しないこと

が要求される。発熱しないことの確認に関しては、コーンカロリメータ (ISO 5660 シリーズ) が日本国内では最も多く用いられており、総発熱量が  $8\text{MJ}/\text{m}^2$  以下であることにより判断される。なお、材料によっては、不燃性試験 (ISO 1182)、日本が考案した模型箱試験 (ISO/TS 17431) によっても評価できる。防火上有害な変形、溶融、き裂その他の損傷を生じないことについては、コーンカロリメータによる加熱終了後に試験体裏面に到達するような亀裂や穴が生じないことにより評価される。また、避難上有害な発煙・有害なガスの発生については、日本独自の試験法であるガス有害性試験により評価されるが、屋外に用いられる材料に関しては、ガスが周囲に拡散すれば問題ないため要求されない。

これらの要求を満たす材料について、加熱開始後 5 分間性能を有するものを難燃材料、10 分間性能を有するものを準不燃材料、20 分間性能を有するものを不燃材料と定義している。

### 2.2.2.2 防耐火構造

防耐火構造には、

- ・荷重を支える部材には構造耐力上支障のある変形等の損傷を生じないこと (非損傷性能)
- ・非加熱側の面が一定以上の温度に上昇しないこと (遮熱性能)
- ・非加熱側に火炎を出す亀裂等の損傷を生じないこと (遮炎性能)

が要求される。試験は、耐火炉を用いて標準加熱曲線 (JIS A 1304) に従って加熱され、これらの性能を要求時間に失わないことを確認することで判断される。なお、耐火構造については、規定の時間で加熱を停止した後も引き続き性能を失わないことを確認する。

塩ビ管や耐火二層管が防火区画を構成するこれらの壁や床を貫通する部分には遮炎性能が求められ、試験において性能が確認される。

防火設備 (防火戸・窓) についても同様に、遮炎性能が求められ、試験において性能が確認される。

### 2.2.2.3 屋根 (葺き材) の飛び火性能

防火地域や準防火地域など市街地延焼を防止することが要求される地域内に建てられる建物の屋根 (葺き材) には、火の粉によって、

- ・発炎をしないこと
- ・屋内に達する防火上有害な溶融、亀裂その他の損傷を生じないこと

が要求される。試験は、飛び火性能試験 (ISO 12468-1) によって行われ、屋根葺き材を施工した試験体を勾配を持たせて設置し、外気風を与えながら木材片を火種として設置した際の燃え広がりや貫通孔を測定する。燃え広がり試験体端部まで火炎が到達しないこと、試験体の裏面で火炎が出ないことで評価され、貫通孔については 1cm 四方を超える貫通孔がないことで評価される。

## 2.3 生活製品での事例

塩ビ製品が用いられるものとして「防災品」がある。防災品には「防災物品」と「防災製品」の 2 種類があり、この分類は使用される場所における消防法の使用義務の有無の違いより生じるものである。防災は「燃えにくい」性質を一般的に示し、不燃材料としての「燃えない」意味とは異なる。具体的には、一時的に小火源によって着火したとしても、塩ビなどが有する「自己消火性」により延焼の拡大が防げる役割を果たすものである。防災の意味は「燃えにくい」であるが、究極の防災の目的は建物内にいる在館者の避難時間を延焼防止により長く確保することである。

防災防火対象物 (つまり、防災物品を使用しなければならないところは、消防法により規定されている。表 24 に示すように、高層建築物、地下街又は劇場、病院等の建築物 (防災防火対象物) におけるカーテン等は、消防法 (昭和 23 年法律第 186 号) で施設等を利用する不特定多数の人々等を火災から守るため防災性能を有するものを使用するよう義務付けている。このように法律で使用が義務付けられている防災性能を有するものが防災物品で、カーテン、布製ブラインド、暗幕、じゅうたん等、展示用合板、どん帳その他舞台において使用する幕、舞台において使用する大道具用の合板、工事用シートが挙げられる。塩ビ製品が最も多く使用されている場所は建築現場における「工事用シート」と考える。

防災物品には、①燃えにくい繊維を使ったものと、②燃えやすい繊維を使っているが繊維製品にしてから防災加工をして燃えにくくしたものとがあるが、一般に防災工事用シートは、産業用ポリエステル基布に、塩ビをコーティングすることで防災性能を確保している。

表 24. 防災防火対象物の分類及びその例

項別	防火対象物の用途
(1)	イ) 劇場、映画館、演芸場又は観覧場 ロ) 公会堂又は集会場
(2)	イ) キャバレー、カフェー、ナイトクラブその他これらに類するもの ロ) 遊技場又はダンスホール ハ) 風俗営業等の規制及び業務の適正化等に関する法律第 2 条第 5 項に規定する性風俗関連特殊営業を営む店舗（二並びに (1) 項イ、(4) 項、(5) 項イ及び (9) 項イに掲げる防火対象物の用途に供されているものを除く。）その他これに類するものとして総務省令で定めるもの ニ) カラオケボックスその他遊興のための設備又は物品を個室（これに類する施設を含む。）において客に利用させる役務を提供する業務を営む店舗で総務省令で定めるもの
(3)	イ) 待合、料理店その他これらに類するもの ロ) 飲食店
(4)	百貨店、マーケットその他の物品販売業を営む店舗又は展示場
(5)	イ) 旅館、ホテル、宿泊所その他これらに類するもの
(6)	イ) 病院、診療所又は助産所 ロ) 次に掲げる防火対象物 (1) 老人短期入所施設、養護老人ホーム、特別養護老人ホーム、軽費老人ホーム（介護保険法（平成 9 年法律第 123 号）第 7 条第 1 項に規定する要介護状態区分が避難が困難な状態を示すものとして総務省令で定める区分に該当する者（以下「避難が困難な要介護者」という。）を主として入居させるものに限る。）、有料老人ホーム（避難が困難な要介護者を主として入居させるものに限る。）、介護老人保健施設、老人福祉法（昭和 38 年法律第 133 号）第 5 条の 2 第 4 項に規定する老人短期入所事業を行う施設、同条第 5 項に規定する小規模多機能型居宅介護事業を行う施設（避難が困難な要介護者を主として宿泊させるものに限る。）、同条第 6 項に規定する認知症対応型老人共同生活援助事業を行う施設その他これらに類するものとして総務省令で定めるもの (2) 救護施設 (3) 乳児院 (4) 障害児入所施設 (5) 障害者支援施設（障害者の日常生活及び社会生活を総合的に支援するための法律（平成 17 年法律第 123 号）第 4 条第 1 項に規定する障害者又は同条第 2 項に規定する障害児であつて、同条第 4 項に規定する障害支援区分が避難が困難な状態を示すものとして総務省令で定める区分に該当する者（以下「避難が困難な障害者等」という。）を主として入所させるものに限る。）又は同法第 5 条第 8 項に規定する短期入所若しくは同条第 15 項に規定する共同生活援助を行う施設（避難が困難な障害者等を主として入所させるものに限る。ハ（5）において「短期入所等施設」という。） ハ 次に掲げる防火対象物 (1) 老人デイサービスセンター、軽費老人ホーム（ロ（1）に掲げるものを除く。）、老人福祉センター、老人介護支援センター、有料老人ホーム（ロ（1）に掲げるものを除く。）、老人福祉法第 5 条の 2 第 3 項に規定する老人デイサービス事業を行う施設、同条第 5 項に規定する小規模多機能型居宅介護事業を行う施設（ロ（1）に掲げるものを除く。）その他これらに類するものとして総務省令で定めるもの (2) 更生施設 (3) 助産施設、保育所、幼保連携型認定こども園、児童養護施設、児童自立支援施設、児童家庭支援センター、児童福祉法（昭和 22 年法律第 164 号）第 6 条の 3 第 7 項に規定する一時預かり事業又は同条第 9 項に規定する家庭的保育事業を行う施設その他これらに類するものとして総務省令で定めるもの (4) 児童発達支援センター、情緒障害児短期治療施設又は児童福祉法第 6 条の 2 の 2 第 2 項に規定する児童発達支援若しくは同条第 4 項に規定する放課後等デイサービスを行う施設（児童発達支援センターを除く。） (5) 身体障害者福祉センター、障害者支援施設（ロ（5）に掲げるものを除く。）、地域活動支援センター、福祉ホーム又は障害者の日常生活及び社会生活を総合的に支援するための法律第 5 条第 7 項に規定する生活介護、同条第 8 項に規定する短期入所、同条第 12 項に規定する自立訓練、同条第 13 項に規定する就労移行支援、同条第 14 項に規定する就労継続支援若しくは同条第 15 項に規定する共同生活援助を行う施設（短期入所等施設を除く。） ニ) 幼稚園又は特別支援学校
(9)	イ) 公衆浴場のうち、蒸気浴場、熱気浴場その他これらに類するもの
(16)	イ) 複合用途防火対象物のうち、その一部が (1) 項から (4) 項まで、(5) 項イ、(6) 項又は (9) 項イに掲げる防火対象物の用途に供されているもの
(16の2)	地下街
(16の3)	建築物の地階（(16の2)項に掲げるものの各階を除く。）で連続して地下道に面して設けられたものと当該地下道とを合わせ たもの（(1)項から(4)項まで、(5)項イ、(6)項又は(9)項イに掲げる防火対象物の用途に供される部分が存するものに限る。）
工事用防災シート	工事中の建築物その他の工作物のうち、次のもの ・ 建築物（都市計画区域外のもっぱら住居の用に供するもの及びこれに附属するものを除く。） ・ プラットホームの上屋 ・ 貯蔵槽 ・ 化学工業製品製造装置 ・ 前 2 号に掲げるものに類する工作物

一方、防災製品は防災物品以外の防災品であり、つまり一般的に「火災から身を守る」ための製品である。その用途に対応した防災製品性能試験基準、健康上の安全性に配慮した防災製品毒性審査基準及び一定以上の品質の製品を継続して製造するための防災製品品質管理基準に基づいて日本防災協会に認定されている。防災製品には表 25 に示すように様々なものがある。その中で塩ビ製品が用いられるものはテント・シート・幕類・防護用ネットなどである。近年、網目の大きなネットが建設工事現場で使用されることが増えた。しかしながら溶接の火花で着火する事故が増

え、防災性能を有するネットのニーズができた。具体的には網目間隔が 12mm 以下のメッシュネットは従来から防災対象物品である工事用シートに含まれているが、網目間隔が 12mm を超えるネットは防護用ネットとして平成 16 年に防災製品に追加された。

表 25. 防災製品の種類

防 災 製 品 の 種 類	主 な 用 途 ・ 対 象
(1) 寝具類	ア 側地類 イ ふとん類 ウ 毛布類
(2) テント類	
(3) シート類	
(4) 幕類	広告膜、のぼり旗、横断幕など
(5) 非常持出袋	
(6) 防災頭巾等	
(7) 防災頭巾等側地	
(8) 防災頭巾等詰物類	防災頭巾用中わた、プラスチック発泡体
(9) 衣服類	內衣（浴衣、肌着、パジャマ）、外衣（ジャケット、コート）、割烹着、エプロン、アームカバー、バスローブ・バスタオル・フェイスタオル、靴下、ベスト、手袋、帽子、マフラーなど身にまとうもの又は身につけるもの
(10) 布張家具等	
(11) 布張家具等側地	
(12) 自動車・オートバイ等のボディカバー	
(13) ローパーテーションパネル	
(14) 襖紙・障子紙等	
(15) 展示用パネル	展示会場を構成する間仕切り、棚、展示物等の材料及びその他装飾のための板状の材料や装飾物等が該当する。材料として、樹脂、合板を含む木材、金属等の板及びそれらの表面に、布、紙、樹脂製シートやフィルム、板を組み合わせたもの等が含まれるが、合板は含まない（合板を含むものは、防災物品の展示用合板に整理される）
(16) 祭壇	
(17) 祭壇用白布	
(18) マット類	
(19) 防護用ネット	網目寸法が 12mm を超えるネット状のものや網等が該当し、工事用、工事用以外を問わず、人体や物品の落下を防止する、あるいは人体や物品を落下物や飛来物から防護する目的のために用いられるもの全てが該当する
(20) 防火服	消防隊員等が用いる服装や熱と炎による危険度が高い環境において使用される特殊作業服等で、生地表や銀面の防火服を構成する全ての生地の組み合わせたものが該当する
(21) 防火服表地	防火服の最外層の生地が該当する。なお、表地については、引張強さや引裂強さ等の防災性能 以外の評価も行うこととされている
(22) 木製等ブラインド	防災物品である布製ブラインド以外のブラインドが該当する
(23) 活動服	消防団員用、消防吏員用
(24) 災害用間仕切り等	
(25) 作業服	熱と炎による危険度が高い環境に於いて使用される特殊作業服等及び消防隊用の服装を除く

〈工事用シート（ターポリン）の燃焼比較〉 〈工事用シート（メッシュ）の燃焼比較〉

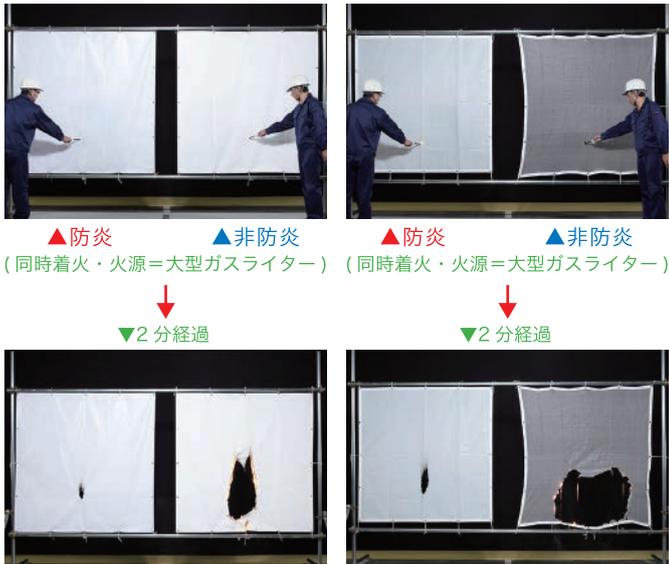


図 15. 工事用防災シートの例  
出典：(公財) 日本防災協会資料より



図 16. 防災物品として認定を受けたものに取り付けられる防災表示の例

布製のブラインド、展示用の合板、どん帳その他これに類する舞台  
幕、舞台において使用する大道具用の合板及び工事用シート並びにこ  
れらの材料

備考

- 1 単位：ミリメートル。
- 2 様式の色彩：地を白色、「防災」を赤色、「消防庁登録者番号」  
及び「登録確認機関名」を黒色、その他のものは緑色、横線  
を黒色。

※消防法施行規則 別表第1の2の2（第4条の4関係）

出典：消防庁 防災の知識と実際より



図 17. 工事用シートが利用された工事現場の例  
出典：(公財) 日本防災協会資料より



図 18. 防災工事用シートの防災奏功事例  
出典：防災工事用シートの奏効詳細とその検証（京都市消防局）より

## 2.4 塩ビ電線・ケーブル

### 2.4.1 塩ビ絶縁・被覆電線ケーブル

塩ビは、電線の絶縁材及び被覆材として、広く使われている。これは、塩ビ電線は電気絶縁性、耐久性、耐疲労性、難燃性に優れ、配線で折り曲げ易く復元しやすいためである。

塩ビ絶縁電線及び塩ビシースケーブルは、電力引き込み線、建物内の電力配線、通信線、電気製品及び輸送機器内の配線に、多用されている。

塩ビ絶縁電線（ビニル絶縁電線）は、導体の周囲を塩ビで覆ったもので、低電力用、通信用に多用されている。その構成の例を図 19～20 に示す。



図 19. 塩ビ絶縁電線（単線）の例

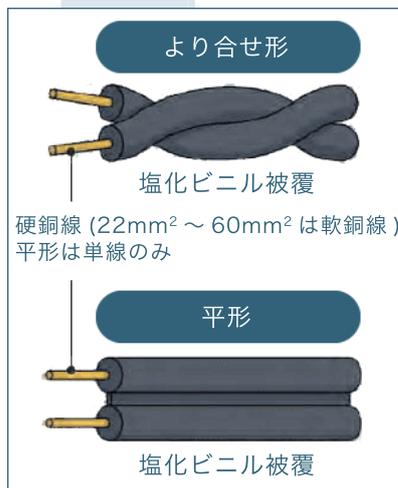


図 20. 塩ビ絶縁電線（2条）の例

塩ビ絶縁塩ビシースケーブルは、電力供給（建物、輸送機内等）に多用されている。その構成の例を図 21 に示す。

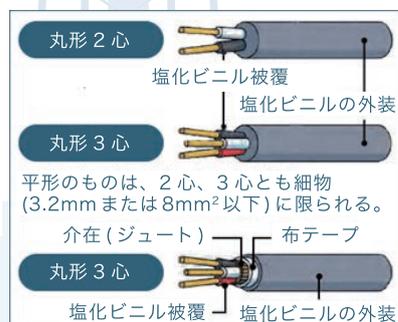


図 21. 塩ビ絶縁・被覆電線ケーブルの例

### 2.4.2 塩ビ絶縁・被覆電線ケーブルの火災安全性

塩ビが本来持っている難燃性により、塩ビ絶縁・被覆電線ケーブルは良好な火災安全性を有する。

一般に電線の絶縁材及び被覆材は可燃性であるため、その延焼性、発煙性、燃焼生成ガス毒性、耐火性など、用途に応じてさまざまな要件が規定されている。

延焼性は、電線・ケーブルの長手方向（線方向）の燃え広がりの度合いを言い、電線・ケーブルがその線方向の火災の進展への寄与の度合いを評価するものである。

発煙性及び燃焼生成ガスの毒性は、電線・ケーブルの火災時での煙及び毒性ガスの発生度の度合いを言い、火災の人的被害への寄与を評価するものである。

耐火性は、火災時であっても、一定の電力供給能力、あるいは通信能力を保持することが求められる配線に対して求められる性能である。

### 2.4.3 電線の火災安全性試験

#### 2.4.3.1 延焼性試験

電線ケーブル単体（1本）の延焼性試験と、複数の電線ケーブルを並行して並べて試験する場合がある。複数の電線ケーブルを並べた場合あるいは束ねて敷設した場合、燃焼する電線が互いに燃焼熱を与え合うので、延焼がより進展することがある。

#### (1) 一条敷設の延焼性試験

電線1本を垂直から60度傾斜してその下端に500Wブンゼンバーナの火炎を接炎して、上方への延焼を観測する JIS C 3005 の傾斜試験、電線1本を垂直に保持してその下端に出力を制御したブンゼンバーナの火炎を接炎して上方への延焼を観測する JIS C 3665-1 (IEC 60332-1)、UL1581 の試験、電線1本を水平に保持してその中央に出力を制御したブンゼンバーナの火炎を接炎して燃焼延焼を観測する試験（JIS C 3005 水平試験）がある。

#### (2) 他条敷設の延焼性試験

複数の電線ケーブルを垂直に並べて敷設し、その下方に規定のバーナ（通常はリボンバーナと称する幅広の火炎を生成するバーナ）の火炎で加熱し、上方への延焼を観測する。JIS C 3521 の場合の布設の例を図 22 に示す。

### 2.4.3.2 発煙性及び燃焼生成物の試験

#### (1) 発煙性試験

規定の容積のチャンバの中で、規定の形状および量の試験片を規定の加熱方法で加熱して燃焼させ、発生した煙をチャンバに貯めて、その光透過率から煙濃度を算出する。

IEC 61034-2 の試験（3m キューブ試験）では、チャンバの大きさは幅 3m 奥行き 3m 高さ 3m で、試験体の長さは 1m で外径に応じて求めた本数を燃焼容器上に並べてアルコールの火炎で燃焼させて、チャンバ内の煙の光透過率を測定する。

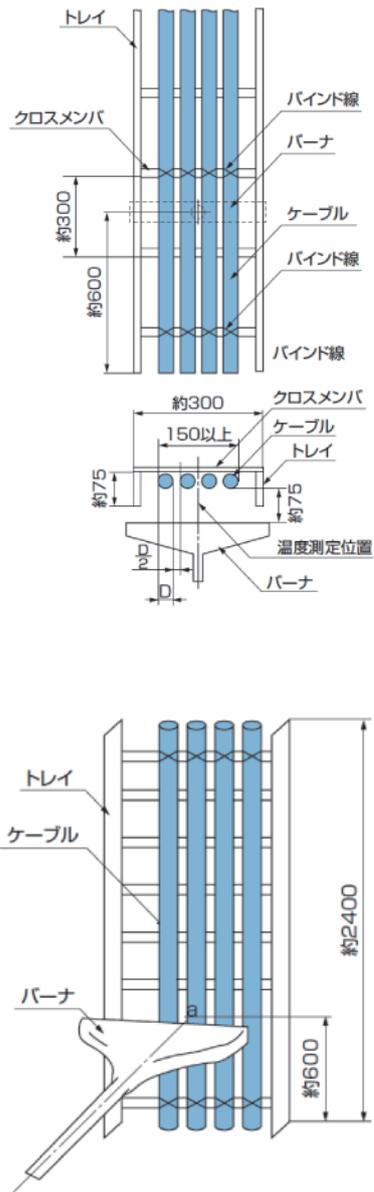


図 22. 複数敷設延焼性試験

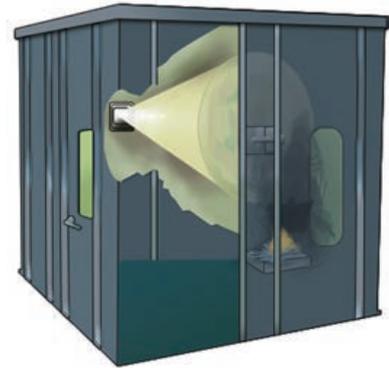


図 23. 3m キューブ試験

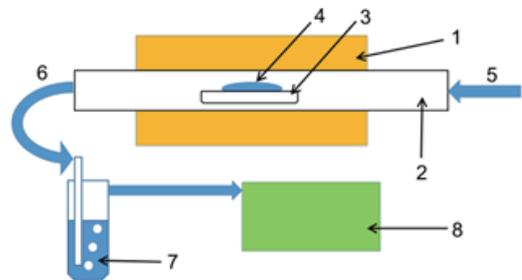
ISO 5659-2 の発煙性試験は、2.1.2.1 に示した。

この ISO 5659-2 と同様のチャンバと煙濃度測定装置を使用し、試験片を垂直に保持して電熱線ヒータで加熱する ASTM E662 の試験もある。

#### (2) 燃焼ガス評価試験

燃焼時に発生するガスの成分を測定する試験は、試料の燃焼方法、ガスの分析方法にいくつかの方法がある。

加熱方法の一つである石英管電気炉では、直径 40～50mm の石英管内に数 g の試料をセラミックトレイに載せて置き、石英管の外側から電気炉で加熱する。発生するガスを石英管の一端から抽出して分析する。



- 1 電気炉
- 2 石英管
- 3 試料トレイ
- 4 試料
- 5 空気流入
- 6 ガス抽出
- 7 ハロゲン化水素ガスを蒸留水で吸収
- 8 ガス分析計

図 24. 石英管炉とハロゲンガス抽出

加熱方法として発煙性試験装置を使用する場合は、2.1.2.1 に示した。

発生したガスの分析方法としては、ガス検知管での定量、イオンクロマトグラフによる定量、赤外分光分析計による定量がある。

塩ビ製品の燃焼で発生するハロゲン化水素（HCl、HBr、HF）を分析する場合は、抽出したガスを蒸留水に通してこれらのガスを捕獲し、分析する方法を取ることもある。

EN 50339 では、IEC 60332-3 の複数条敷設延焼性試験の排気ダクトにおいて、通過する煙ガスの透過光から煙の光学密度を測定し、ダクト内の酸素濃度を測定して、酸素濃度の大气濃度（20.95%）からの減少率により燃焼発熱速度を計測し（燃焼によって発生する発熱量は消費する酸素量に比例し、その比例定数は燃焼物質に依らずほぼ一定であるという原理による）、さらにガスをサンプリングして分析する。

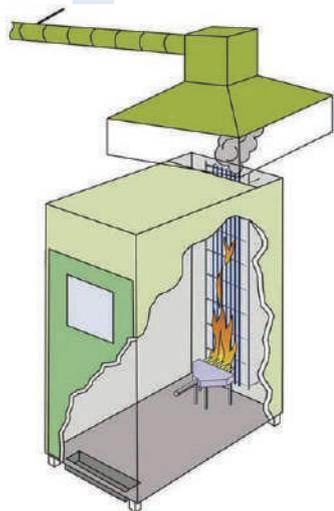


図 25. EN 50399 の複数条敷設延焼性試験と排気ダクト

## 参考文献

- ( 1 ) The Combustion of Organic Polymers, Cullis, C.F. and Hirschler, M.M., Oxford University Press, Oxford, UK, 1981.
- ( 2 ) Flammability Handbook of Plastics, Hilado, C.J., Technomic, Lancaster, PA, US, 1969.
- ( 3 ) Poly(vinyl chloride) and its fire properties, Hirschler, M.M., Fire and Materials, Vol. 41, pp. 993-1006, 2017.
- ( 4 ) 消防庁, 平成 30 年版 消防白書
- ( 5 ) Phosgene in the thermal decomposition products of poly(vinyl chloride): generation, detection and measurement, J.E. Brown, M.M. Birky, J. of Anal. Toxicology, Vol. 4, p.166-174 (1980).
- ( 6 ) Real-scale fire tests of one bedroom apartments with regard to tenability assessment, Guillaume, E., Didieux, F., Thiry, A. and Bellivier, A., Fire Safety Journal, Vol. 70, pp. 81-97, 2014.
- ( 7 ) Transport and Decay of Combustion Products in Fires, M.M. Hirschler and F.M. Galloway, in Symp. On Hazards of Combustion Products: Toxicity, Opacity, Corrosivity and Heat Release, Nov. 10-11, 2008, pp. 73-96, Interscience Communications, London, UK, 2008
- ( 8 ) Fire hazard and toxic potency of the smoke from burning materials, Hirschler, M.M., Journal of Fire Sciences Vol. 5, pp. 289-307 (1987).
- ( 9 ) Toxic gas and smoke assessment studies on vinyl floor covering with the fire propagation test, Martin, K.G. and Powell, D.A., Fire and Materials, Vol. 3, pp. 132-139, 1979.
- (10) NF 513 – Règles de Certification – Marque NF Sécurité Feu-Tubes et Raccords PVC, Rédacteur CL – LNE, Revue No. 3, Mars 2017, Approbation par AFNOR, France.
- (11) ISO/TR 20118, 2018; Plastics — Guidance on fire characteristics and fire performance of PVC materials and products used in building applications.

### 監修・執筆 |

吉田公一 一般財団法人日本舶用品検定協会

### 執筆 |

成瀬友宏 国土交通省国土技術政策総合研究所 建築研究部防火基準研究室

若月薫 国立大学法人信州大学繊維学部

発行 | 初版 2020年4月1日



塩ビ工業・環境協会

〒104-0033 東京都中央区新川1-4-1

TEL | 03-3297-5601 FAX | 03-3297-5783

URL | <http://www.vec.gr.jp>

デザイン&印刷 |

株式会社キャリアコンサルティング