

1.(5) 燃焼特性

一般的に、電線・ケーブルの燃焼特性を分類すると、使用されている被覆材の材料としての燃焼特性と電線・ケーブルの完成品としての燃焼特性に分けることが出来る。使用されている被覆材が難燃であればあるほど電線・ケーブルとして難燃であることは確かだが、必ずしも比例関係にはなく、また、電線・ケーブルがどれほど燃えにくいという特性(この場合、延焼性と考えることが出来る)は電線・ケーブルの布設本数、布設環境(水平か垂直か、布設されている密度、トレイ上の布設がダクト内布設かなど)等によって大きく影響を受ける。

また、使用されている材料が燃焼によってどのような生成物を生じるかと言う点も燃焼特性の一つとして評価されるべきである。この場合、燃焼による発煙性、有害物質の生成などが対象となる。

このような状況に鑑み、燃焼特性に関しては様々な試験方法が提案され、現在も IEC 等で審議中の規格もある。

1.(5)-1. 電線・ケーブル及び光ファイバケーブル用被覆材の燃焼特性

電線・ケーブル用被覆材の燃焼特性評価方法は1.(4)に述べられているとおりであるが、主な被覆材料についてのデータを以下に示す。

難燃性に関するデータ

ア)酸素指数

材料において難燃性を評価する手法として最もよく使用されているのは酸素指数である。表1.(5)-1に電線・ケーブルによく使用されている材料のデータを示す。また、表1.(5)-2には電線・ケーブルの被覆材として使用している場合のデータ例を示す。

特に、ポリ塩化ビニルに関しては可塑剤を添加して使用していることから、可塑剤の添加による酸素指数変化に関するデータも調査した。その結果を表1.(5)-3に示す。また、酸素指数は高温になると低下すると言われており、そのデータを表1.(5)-4に示す。

表1.(5)-1. 電線・ケーブルによく使用されている材料の酸素指数

材料	酸素指数
ポリエチレン	17.4 ~ 17.5
ポリプロピレン	17.4
塩素化ポリエチレン	21.1
ポリテトラフルオロエチレン	95
ポリ塩化ビニル	45 ~ 49
ポリ塩化ビニリデン	60
ポリスチレン	18.1
ポリメチルメタクリレート	17.3
ポリアミド	29
ポリカーボネート	26 ~ 28
エポキシ樹脂	19.8

出典 : ポリマーの難燃化(西沢 仁、大成社)P54、表4・10

表 1 . (5) - 2 . 一般的な電線・ケーブル被覆材の酸素指数 (例)

材料	酸素指数
低密度ポリエチレン	17.8
高密度ポリエチレン	18.5
一般ビニル	25.3
ポリクロロブレン	30.3
クロロスルホン化ポリエチレン	45.9
EPゴム	21.5
シリコン樹脂	25
テトラフルオロエチレン エチレン共重合体	32.3
ポリテトラフルオロエチレン	70以上

出典 : ポリマーの難燃化(西沢 仁、大成社)P90、表 5・38

表 1 . (5) - 3 . 可塑剤の添加による酸素指数変化

材料	可塑剤の種類	可塑剤量 (phr)	塩素量 (%)	酸素指数
ポリ塩化ビニル	無し	0	57	42~49
ポリ塩化ビニル	DOP	60	36	22.2
ポリ塩化ビニル	"	80	32	21.1
ポリ塩化ビニル	"	90	30	19.2
ポリ塩化ビニル	DOP	40	32	21.6
	Dihexyl Phthalate	40		
ポリ塩化ビニル	DOP	40	32	21.6
	Butyl Benzyl Phthalate	40		

出典 : 電気絶縁材料技術(岩田 幸一他、トリケップス)P175、表 2

表 1 . (5) - 4 . 材料の温度による酸素指数変化例

材料	酸素指数		
	55.0	60.0	65.0
ポリエチレン	5.7	3.5	2.8
硬質ポリ塩化ビニル	11.5	10.7	10.7
軟質ポリ塩化ビニル	7.4	6.0	5.1
ポリプロピレン	7.4	4.8	3.9
ナイロン - 6	6.0	4.5	2.2
ナイロン - 66	4.8	4.2	3.1
ポリスチレン	10.2	4.5	3.2
ポリカーボネート	21以上	16.7	11.0

出典 : 三菱電線工業時報 昭和 62 年 10 月(加藤 寛)P81、Table13

イ) 発火温度と引火温度

材料の温度を上昇させて可燃性ガスを発生させ、これに口火を近づけた時に、その材料が炎を発して燃え始める現象を引火と言う。低温では発生する可燃性ガスの濃度が低く引火しない物質でも、温度を上げて行くと可燃性ガスの濃度が上昇し、やがてある温度で可燃性ガスの濃度が燃焼可能な濃度となり引火が起きる。この引火が発生する点を引火点(引火温度)と言う。

これに対し、明瞭な形で着火エネルギーを与えること無しに試料が発火する(自然発火する)温度を発火点(発火温度)と言う。電線・ケーブルに使用される主な材料に関する発火温度及び引火温度を表 1 . (5) - 5 に示す。

表 1.(5)-5 . 電線・ケーブルに使用される主な材料の発火温度と引火温度

材料	発火温度 ()	引火温度 ()
ポリエチレン	349	341
ポリプロピレン	570	-
ポリ塩化ビニル	454	391
ポリスチレン	488 ~ 496	345 ~ 360
ポリアミド	424	421
ポリエステル樹脂	483 ~ 488	346 ~ 399
シリコン樹脂	550 ~ 564	490 ~ 527
ポリウレタン	416	310
ポリテトラフルオロエチレン	530	-

出典 : Flammability Handbook for Plastics(C.J.Hilado、TechnomicPub.)

ウ)材料の接炎難燃試験

材料が炎に曝された時にどの程度難燃性を保持できるかと言うことは非常に重要な特性である。この特性を評価するためにも種々の試験方法が考案されており、中でも UL-94 (Testing for Flammability of Plastic Materials for Parts in Devices & Appliances) による方法が有名である。UL-94 には HB、V-0、V-1、V-2、HBF、HF-1、HF-2、5V などの難燃グレードがあり、どのような機器に使用されるかによって、要求される難燃グレードが異なる。この場合、個々に配合を行って所定の難燃グレードに合格するようメーカーにおいて努力しているというのが実態である。一般的な材料について UL-94 のどのグレードに適合する例があるかについて表 1.(5)-6 に示す。

表 1.(5)-6 . 主な電線・ケーブル用材料の UL-94 による評価結果例

材料	94HB	V-2	V-1	V-0
ポリプロピレン				
ポリ塩化ビニル	-	-		
ポリスチレン				
ポリアミド			-	
ポリエステル樹脂		-		
シリコン樹脂	-	-	-	
ポリカーボネート	-			
ポリイミド	-	-	-	

出典 : ポリマーの難燃化(西沢 仁、大成社)P252、表 7・9

エ)鉄道車輛用材料難燃性評価法

鉄道車輛に使用する製品に関しては難燃性材料の使用が義務づけられており、日本国有鉄道が民営化される前、その規格であった JRS において試験方法が規定されていた。その試験方法が JRS 17400-5A-15BR3A で電線・ケーブルも本法により難燃性以上のグレードであると認定された材料で被覆することが義務づけられていた。この場合も、メーカー各社が独自の被覆材配合を開発して受験しており、電線・ケーブル被覆材料ごとにどのグレードに該当するかと言ったデータは存在しない。表 1.(5)-7 に一般的に鉄道車輛に使用されている材料の試験結果例を示す。

表 1.(5) - 7 . 車輛用材料の難燃性評価試験結果例

材料	重量 (g)	厚さ (mm)	加熱時間 (分)	燃焼性				排気温度 上昇 ()	減光 係数 (Cs)	滴下性		
				炎持続時間	火勢	焼損重量 (g)	焼損面積 (cm ²)				残炎	残じん
クロロブレン(電線用)	174.8	1.9	3.0	-	-	25.7	97	無し	無し	21	0.93	無し
架橋ポリエチレン(電線用)	134.3	2.0	3.0	-	-	7.4	94	無し	無し	21	0.50	無し
ポリ塩化ビニル(電線用)	131.1	2.0	3.0	-	-	10.8	109	無し	無し	28	1.31	無し
硬質ビニル電線管	368.8	5.5	3.0	2分52秒	こえない	5.3	80	無し	無し	16	0.15	無し
ポリカーボネート	240.0	4.3	3.0	2分25秒	-	3.6	8	無し	無し	25	0.05	有り
ポリウレタンフォーム	22.4	20.0	3.0	49秒	こえる	8.1	351	無し	無し	63	0.60	有り
FRP	359.6	23.2	3.0	2分52秒	こえる	11.6	162	無し	無し	27	1.16	無し
毛布	27.3	-	3.0	3分	こえる	4.9	276	無し	無し	24	0.38	無し

出典 :ポリマーの難燃化(西沢 仁、大成社)P252、表 7・10

発煙性に関するデータ

材料が燃焼する時、発する煙による視距離の減少は火災避難上最も重要な、関心のある事項である。この為に、種々の発煙性測定試験方法が提案されている。

ア) NBS スモークチャンバ

材料の発煙性評価においては、ほとんどの場合、光学的に測定する手法が採用されている。このうち最も有名な試験方法として NBS 法があり、発煙の強さを光学密度 (D)として表し、この値が大きければ大きいほど煙量が多いことを示している。NBS 法により測定した電線・ケーブル用材料の最大光学密度 (Dm)を表 1.(5) - 8及び 9に示す。

表 1.(5) - 8 .電線・ケーブル用材料の発煙性測定例 (1)

材料	Dm
低密度ポリエチレン	13
高密度ポリエチレン	39
ポリ塩化ビニル	720以上
ナイロン6	1
ナイロン66	10
ポリメチルメタアクリレート	2
ポリエチレンテレフタレート	350
ABS	720
ポリカーボネート	427
ポリスチレン	494

出典 :三菱電線工業時報(第 74 号) 昭和 62 年 10 月(加藤 寛)P92、Table35
表 1.(5) - 9 .電線・ケーブル用材料の発煙性測定例 (2)

材料	試料厚 (inch)	Dm
ポリエチレン	1/8	68
ポリエチレン(水和アルミナ60%充填)	3/16	75
ポリスチレン	1/8	660以上
ポリスチレン(水和アルミナ60%充填)	3/16	105
ポリカーボネート	-	162
ポリカーボネート(20%Br含有)	-	427
ポリカーボネート(23%Cl含有)	-	426

出典 :ポリマーの難燃化(西沢 仁、大成社)P257、表 7・15

イ) その他の発煙性測定試験法

発煙量の測定は難燃性測定の際に同時に行うものもあり、コーンカロリーメータによる測定や JIS A 1321 (建築物の内装材料及び工法の難燃性試験方法)、鉄道車輛用材料の難燃性測定においても燃焼中の煙量測定がされている。

有害物質の発生測定に関するデータ

電線・ケーブル用被覆材料の燃焼による有害物質発生測定に関しては3.章に詳述するのでここでは割愛する。

1.(5)-2.電線・ケーブルの燃焼特性

電線・ケーブルの製品としての燃焼においては、その延焼性に関する特性と燃焼中の耐電圧に関する特性の二つが課題となっている。延焼性に関しては、電線・ケーブル1本、1本を燃焼させてその燃焼継続を試験する方法もあるが、特にグループ化された電線・ケーブルの延焼性が関心を集めており、試験方法についてもいくつかの方法が提案されている。

電線・ケーブルの燃焼中における耐電圧保持は既に日本国内で消防用電線または耐火電線として広く実用化されている。

電線・ケーブル1本を燃焼させたときの延焼性

電線・ケーブルを1本で燃焼させたときの延焼性の試験方法としては試料を水平に保持する方法、斜めに保持する方法、垂直に保持する方法があり、試験としてはグループ化されたときに比べてかなり燃えにくく、被覆材がポリ塩化ビニル等のいわゆる難燃性を持つ材料であれば殆ど合格すると考えて良い。勿論、燃え難さという意味では試料を垂直に保持する方が水平に保持する方法より試験規格としては厳しい。

ア) JIS による方法

我が国の工業規格である JIS には電線・ケーブルに関する難燃性測定方法が規定されている。試験方法としては JIS C 3005(ゴム・プラスチック絶縁電線試験方法)で、水平試験と傾斜試験(4.26 難燃、の中において、a)水平試験、b)傾斜試験)に分かれており、各製品の JIS において試験方法を参照し性能を規定することとされている。試験データの例を表1.(5)-10に示す。

表1.(5)-10. JISC 3005 における1条難燃試験測定例

材料名	試料番号	酸素指数	JIS C 3005 燃焼試験 炭化長	
			水平試験 (mm)	傾斜試験 (mm)
	1	28.5	33.0	50.0
	2	28.0	45.0	50.0
フッ素樹脂難燃材料	3	35.0	40.0	47.0
	4	27.5	-	-
	5	27.0	-	-
	6	27.0	-	-
低塩酸PVC	7	21.5	-	-
難燃PVC	8	-	40.0	60.0
架橋ポリエチレン	9	-	235.0	290.0

出典 :平成9年度 ANERI 委託研究試験結果報告

イ) IEC60332 による方法

IEC60332 の part 1(Test on a single vertical insulated wire or cable)及び part 2(Test on a single small vertical insulated copper wire or cable)において電線・ケーブルを1本燃

焼させた時の特性測定法が規定されている。どちらも電線・ケーブル1本に対する燃焼試験ではあるが part 2 では part 1 の方法で燃焼させた場合、着火炎により導体が溶融して試験にならないような細径の電線・ケーブル(単線導体では 0.4mm ~ 0.8mm、より線導体では 0.1mm² ~ 0.5mm²)について実施するものと規定されている。どちらの方法も試料を垂直に保持し、バーナーの炎を試料に対し斜めにあてる事となっている。表1.(5)-11に IEC60332-1 に基づいて各種電線・ケーブルを試験したときのデータ例をグループ化された場合とシース材料の酸素指数と共に示す。

表1.(5)-11. IEC60332-1 による1条燃焼試験データ例

電線・ケーブルの種類	試験方法	グループケーブル燃焼試験			1条ケーブル燃焼試験	酸素指数
		IEC60332-3		IEEE 383	IEC60332-1	IEC60332-3
		Category B	Category C	(垂直トレイ)		Annex B
	試料番号	炭化長 (cm)	炭化長 (cm)	炭化長 (cm)	燃焼残長 (mm)	
3.6/6kV NH-CE	A	62	37	37	390	34.5
	B	250以上	57	69	395	34.0
	C	66	131	104	425	42.0
0.6/1kV NH-CE	D	70	70	65	400	34.5
	E	65	56	80	415	30.5
	F	66	250以上	180以上	410	30.0
NH-CEE	G	-	67	65	405	31.5
	H	-	60	71	410	33.5
	J	-	250以上	114	405	30.0
600V NH-IE	K	-	-	99	445	26.0
	L	-	-	50	430	29.0
	M	-	-	24	435	35.5
	規格値	250以下	250以下	180以下	50以上	-

出典 :平成 9 年度「ノンハロゲン難燃電線・ケーブルの試験方法並びにケーブル規格の検討」成果報告書(新エネルギー・産業技術総合開発機構/(財)日本規格協会 委託研究、社団法人 電線総合技術センター)、P52、表 5.29

グループ化された電線・ケーブルを燃焼させたときの延焼性

グループ化された電線・ケーブルを燃焼させたときの燃焼性は、原子力発電所が活発に建設された 1960 年代にアメリカにおいて検討が始まった。その規格の先駆をなしたものは IEEE においてまとめられた垂直トレイ燃焼試験 (IEEEstd. 383) で、この時点では一般的な電線・ケーブルは数分のうちに全焼し、難燃性を持つものは規定の 20 分を超えても全焼しないという程度の評価であった。その後、難燃性の研究が進み、燃焼性評価はどの程度の長さ燃焼するかという点(延焼性)に注目が移っていった。その後、IEEEstd. 383 に代表される、いわゆる Open Tray から、燃焼試験としてはより厳しいダクト中での燃焼試験評価法が種々考案されるに至った。現在では多くの試験方法が規格化されているが、その中での代表的なデータを以下に示す。

ア IEC60332-3 による燃焼試験

表1.(5)-11にもグループ化された電線・ケーブルの燃焼性について IEC60332-3 によるデータを例示しているが、同じく難燃 CV ケーブルの燃焼性について比較を行った例を表1.(5)-12に示す。通常 Category B は Category C に比べて燃焼させる試料の電線・ケーブル本数が多く、同じケーブルの燃焼試験であれば、本数を増加させると燃焼し易くなると言われているが、ここでは逆の結果が得られている。これは密着

布設されていることが関係しているのではないかと報告書には述べられている。

表1.(5)-12.難燃 CVケーブルの IEC60332-3 による燃焼状況比較

			Category B			Category C		
			1層目ケーブル	2層目ケーブル	3層目ケーブル			
試験条件	ケーブル長さ			3.5m		3.5m		
	ケーブル総本数			52本		22本	規格値	
	各層本数		17本	17本	18本	22本		
	布設状況		密着垂直布設	密着垂直布設	密着垂直布設	密着垂直布設		
	燃焼時間			40分		20分		
試験結果	最大シース溶融長	(cm)	66	0	0	147	-	
	最大シース炭化長	(端)	(cm)	60	50	50	133	250未満
		(中央)	(cm)		40	0		
	最大シース灰化長	(cm)	30	0	0	105	-	
	最大導体露出長	(cm)	30	0	0	112	-	
	残炎時間			0秒		14分27秒	-	

出典 :需要家設備(主として電線路)の難燃・防火技術、電気学会技術報告第 640 号(需要家設備(主として電線路)の難燃・防火技術調査専門委員会、電気学会)P65、8.6 表、8.7 表

イ) UL1666によるライザー燃焼試験

ビル内の垂直シャフト(EPS)に多条布設される電線・ケーブルに関して延焼性を評価する試験方法が UL により提案されている。上記 i)項において IEC60332-3 の試験を行ったのと同じ電線・ケーブルを用いて UL1666 による燃焼性試験を実施した結果を表 1.(5)-13に示す。

表1.(5)-13.難燃 CVケーブルの UL1666 による燃焼性試験結果

試験条件	ケーブル長さ		5.5m	
	ケーブル本数		29本	規格値
	布設状況		密着1列垂直布設	
	燃焼時間		30分	
試験結果	バーナーからの最高火炎高さ	(cm)	210	366以下
	バーナーからの最大シース溶融長	(cm)	222	
	バーナーからの最大シース炭化長	(cm)	203	
	バーナーからの最大シース灰化長	(cm)	183	
	バーナーからの最大導体露出長	(cm)	179	
	残炎時間		16分25秒	
	最高温度*	()	249.8	454.4以下

* 2階スロット部のケーブル表面から約140mmの測定点温度

出典 :需要家設備(主として電線路)の難燃・防火技術、電気学会技術報告第 640 号(需要家設備(主として電線路)の難燃・防火技術調査専門委員会、電気学会)P67、8.8 表、8.9 表

ウ)スタイナートンネル試験

グループ化された電線・ケーブルに関する燃焼性評価法のうち、最も厳しいと言われる評価法として UL910 に規定されたスタイナートンネル試験がある。この試験装置を持つ試験機関はアメリカ、カナダを中心に存在するが、現在、ラウンドロビテストによる電線・ケーブルに関する燃焼評価条件の調整が続けられている。このテストに参加しているのは全世界で 5 カ所 (アメリカで 2 箇所 (UL、ITS「Intertek Testing Services」)、イギリスで 2 箇所(BRE「Building Research Establishment」、LPC「Loss Prevention Council」)、及び JECTEC の 5 箇所)となっている。上記 i)項において IEC60332-3 の試験を行ったのと同じ電線・ケーブルを用いて UL910 による燃焼性試

験を実施した結果を表1.(5)-14に示す。

表1.(5)-14.難燃 CV ケーブルの UL910 による燃焼性試験結果

試験条件	ケーブル長さ		7.32m		
	ケーブル本数		25本	規格値	
	布設状況		密着1列水平布設		
	温度測定点		バーナーから7.09m離れたケーブル表面近傍		
	燃焼時間		20分		
試験結果	最高火炎長	(m)	7.32以上	1.52未満	
	最大シース溶融長	(m)	7.32(ケーブル全長)	-	
	最大シース炭化長	(m)	7.32(ケーブル全長)	-	
	最大シース灰化長	(m)	7.32(ケーブル全長)	-	
	最大導体露出長	(m)	7.32(ケーブル全長)	-	
	残炎時間		13分16秒で全焼	-	
	最高温度	()	850	-	
	煙濃度	最大		5以上	0.5以下
		平均		1.776	0.15以下

出典 :需要家設備(主として電線路)の難燃・防火技術、電気学会技術報告第640号(需要家設備(主として電線路)の難燃・防火技術調査専門委員会、電気学会)P68、8.10表、8.11表