

設工認その 10 に係る難燃シートを用いたケーブル分離について

令和 2 年 9 月 14 日

日本原子力研究開発機構

原子力科学研究所

【R2. 4. 20 審査会合コメント】

- ・実証試験の結果を踏まえたケーブル分離の妥当性を説明すること。

1. 難燃シートを用いたケーブル分離に係る経緯について

JRR-3 は、炉心を火災の影響により損傷させないために、原子炉の運転中において火災を確認した場合は、原子炉を停止し、その後、30 秒間の強制冷却（1 次冷却材主ポンプ 2 台、1 次冷却材補助ポンプ 2 台の計 4 台あるポンプのうち少なくとも 1 台による冷却確保）をすることとしている。この考え方のもと、内部火災に対する防護対象設備を防護することを基本方針としている。

原子炉建家貫通部周辺の安全保護系ケーブル（対象となる計測制御系ケーブルは、建家貫通部においては安全保護系ケーブルを共用している）及び 1 次冷却材補助ポンプの運転に必要な非常用電源系ケーブル（以下、「防護対象ケーブル」という。）についてはケーブルトレイ等による物理的な分離がなされておらず（図 1. 1、図 1. 2 参照）、また周囲には防護対象以外の一般系ケーブルが敷設されているため、万が一、原子炉建家貫通部周辺で防護対象ケーブルまたは一般系のケーブルによる火災が発生した場合には、この火災により 2 系統のケーブルが同時に機能喪失し、原子炉停止後 30 秒の強制冷却が維持できない可能性がある。このため、令和 2 年 4 月 20 日の審査会合において、これらの物理的分離がされていない防護対象ケーブルについて、難燃シートを巻設することで物理的分離を行い、火災発生時にも少なくともどちらか一方の系統の機能を維持することで原子炉停止後 30 秒の強制冷却を確保すること、また、施工に先立って、難燃シート巻設にあたっては、難燃シートの性能に係る実証試験を実施し、巻設する難燃シートがケーブルの物理的分離に十分な性能を有していることを確認する旨説明を行った。

本資料は、難燃シートの性能に係る実証試験の結果を踏まえたケーブル分離の妥当性について説明するものである。

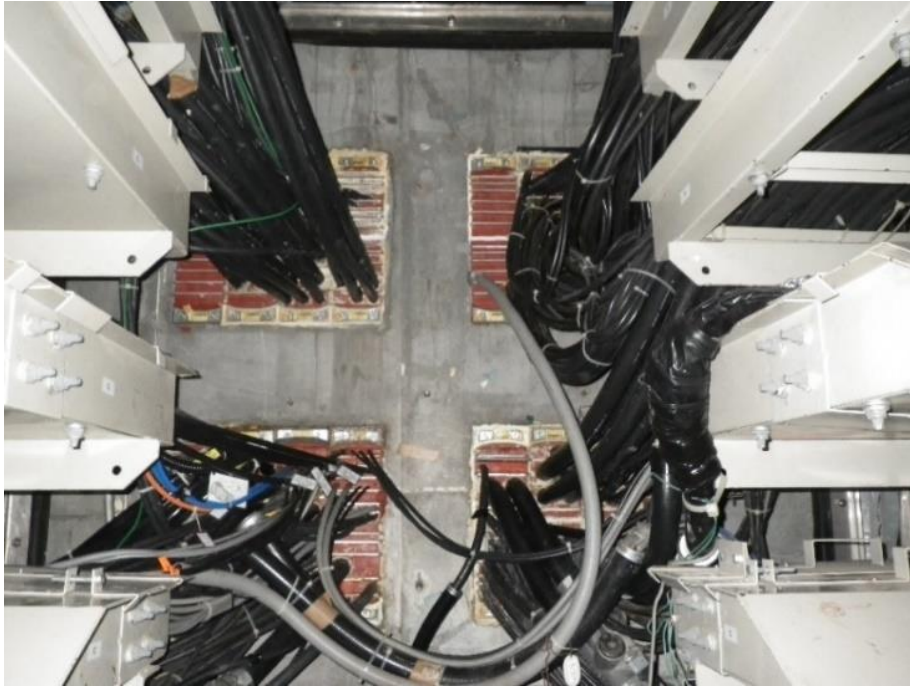


図 1.1 原子炉建家貫通部周辺（ケーブルダクト室側）

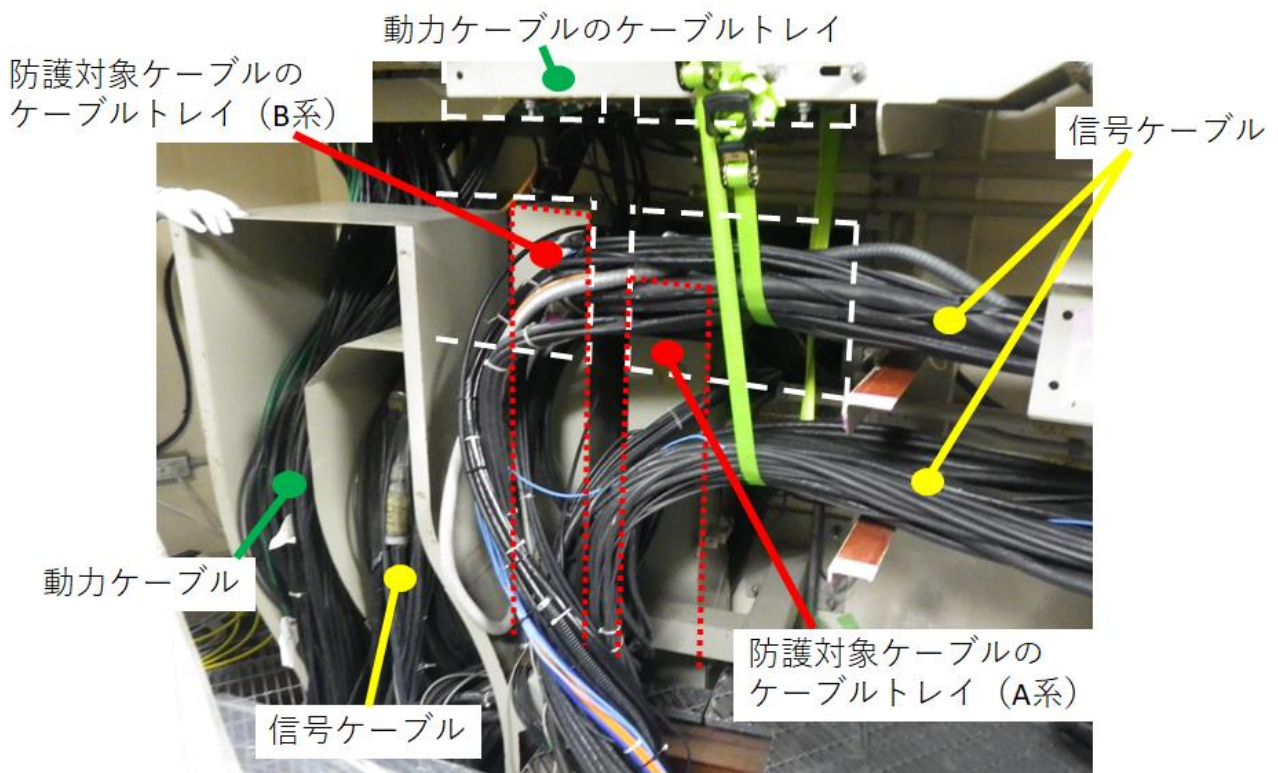


図 1.2 原子炉建家貫通部周辺（原子炉建家側）※現場調査時撮影

2. 原子炉建家貫通部のケーブル分離について

2.1 原子炉建家貫通部のケーブル分離の設計方針

防護対象ケーブルの大部分については、各系統、ケーブルの種類ごとに分離してケーブルダクト、ケーブルトレイ又は電線管に設置する等、火災に対する防護対策がされているが、原子炉建家の貫通部については、構造上の制約からケーブルトレイから外れ、比較的近い距離に集まり建家を貫通するため、火災に対する物理的な独立性が確保されていない。そのため、当該箇所については防護対象ケーブルA系、B系をそれぞれ鋼板で囲い、その外側に難燃シートを施工し、系統分離することにより独立性を確保する。これにより、原子炉停止後 30 秒間の強制冷却を確保する。

なお、原子炉建家内側の貫通部のうち、原子炉建家壁により物理的に分離されている箇所については、厚さ 140 mm の鉄筋コンクリートで分離が図られており（図 2. 1 参照）、どちらか一方の貫通部よりケーブル火災が発生した場合にも原子炉停止後 30 秒の強制冷却が確保できることから、難燃シート等の施工による分離は不要とする（図 2. 3 参照）。また、貫通部の MCT は耐火構造を有しており、火災が貫通部を通過することはない。

2.2 難燃シートの要求性能について

難燃シートに要求される性能は、火災発生から検知して原子炉を停止し 30 秒の強制冷却を完了するまで、防護対象ケーブルが機能喪失しないように防護することである。JRR-3 の原子炉建家貫通部周辺には煙感知器が設置されており、当該区画において火災が発生した場合、火災発生から煙感知器による検知までに 10 分（参考資料 2 参照）、検知後の現場確認と原子炉停止操作及び炉心の強制冷却に 20 分要したと保守的に想定しても、火災発生から原子炉停止後 30 秒間の強制冷却は 30 分以内に完了する。以上のことから難燃シートに要求される性能は、火災発生から 30 分後の難燃シートの内側の温度が、機能喪失温度（ケーブル損傷基準：205℃）に達しないことである。

2.3 難燃シートの施工方法

2.3.1 難燃シートの設計仕様

防護対象ケーブルに施工する難燃シート等の仕様を表 2. 1 に示す。

表 2. 1 難燃シート等の設計仕様

項目	仕様	
難燃シート (シリカ・マグネシア・カルシア系 ＋シリカ系複合材)	断熱材 (厚さ)	ファインフレックス BIO ブランケット (厚さ 50mm)
	表皮材 (厚さ)	コーテッドシリカクロス (厚さ 0.6mm)
	内皮材 (厚さ)	ガラスクロス (厚さ 0.36mm)
鋼板	材質	亜鉛メッキ鋼板 (SECC)
	厚さ	1.6mm

2.3.2 施工方法

難燃シート等は当該設備の性能を損なわないよう、下記に従ったうえで図2.2及び図2.3に示すように施工する。

- (1) 難燃シート及び鋼板は、表2.1に示す仕様のものを用いる。
- (2) 防護対象ケーブルA系、B系の各々を鋼板で囲い、その外側を難燃シートで巻設する。
- (3) 難燃シートの固定には、耐熱性を有する止め具（表皮材と同様の材質のベルト）を用いる。
- (4) 以下に示す難燃シートの設置範囲の境界部分については、UL94V-0*相当以上の難燃性を有するパテを用いて隙間を埋めることとする（図2.3参照）。

- ・原子炉建家内側：建家貫通部（壁面手前まで）のケーブルと難燃シートの境界及び既設ケーブルトレイと難燃シートの境界
- ・原子炉建家外側：建家貫通部（壁面）のケーブルと難燃シートの境界及び既設ケーブルトレイと難燃シートの境界

*UL94L-0：米国の電気製品のプラスチック材の難燃性能を示す規格。（参考資料3参照）

厚さ140mmの原子炉建家壁で分離されていることから、一方の貫通部でケーブル火災が発生した場合にも原子炉停止後30秒の強制冷却の確保が可能。

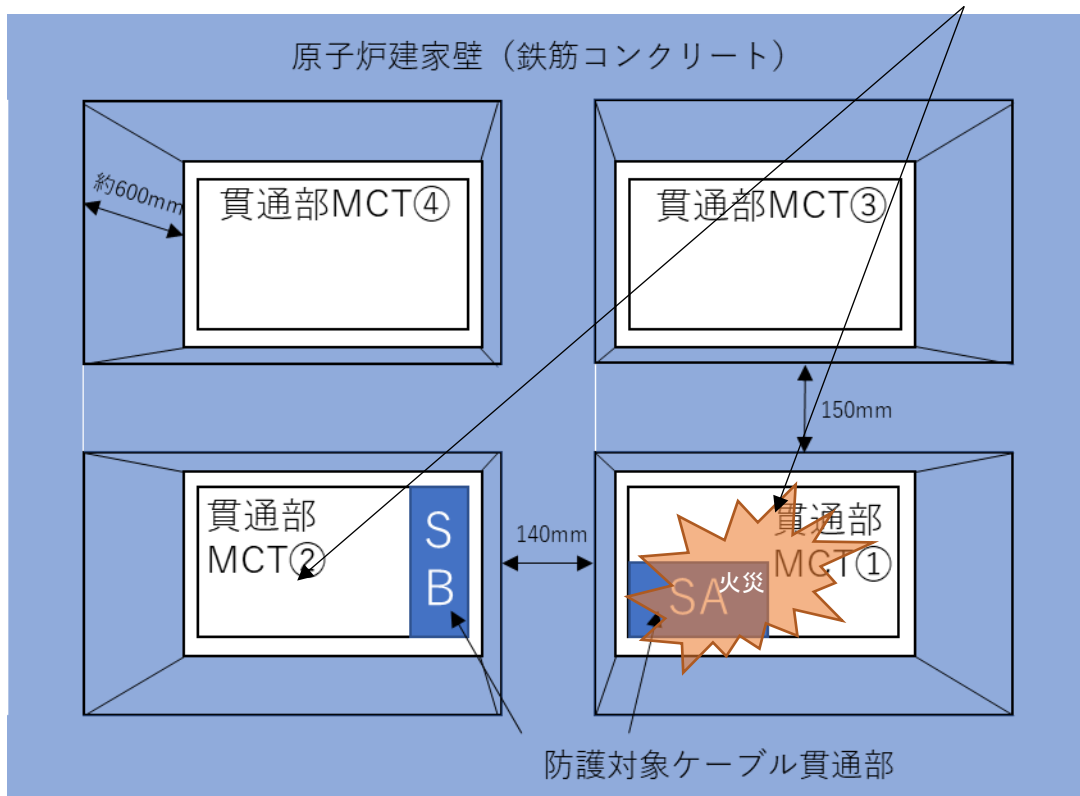


図2.1 原子炉建家貫通部イメージ図（原子炉建家側）

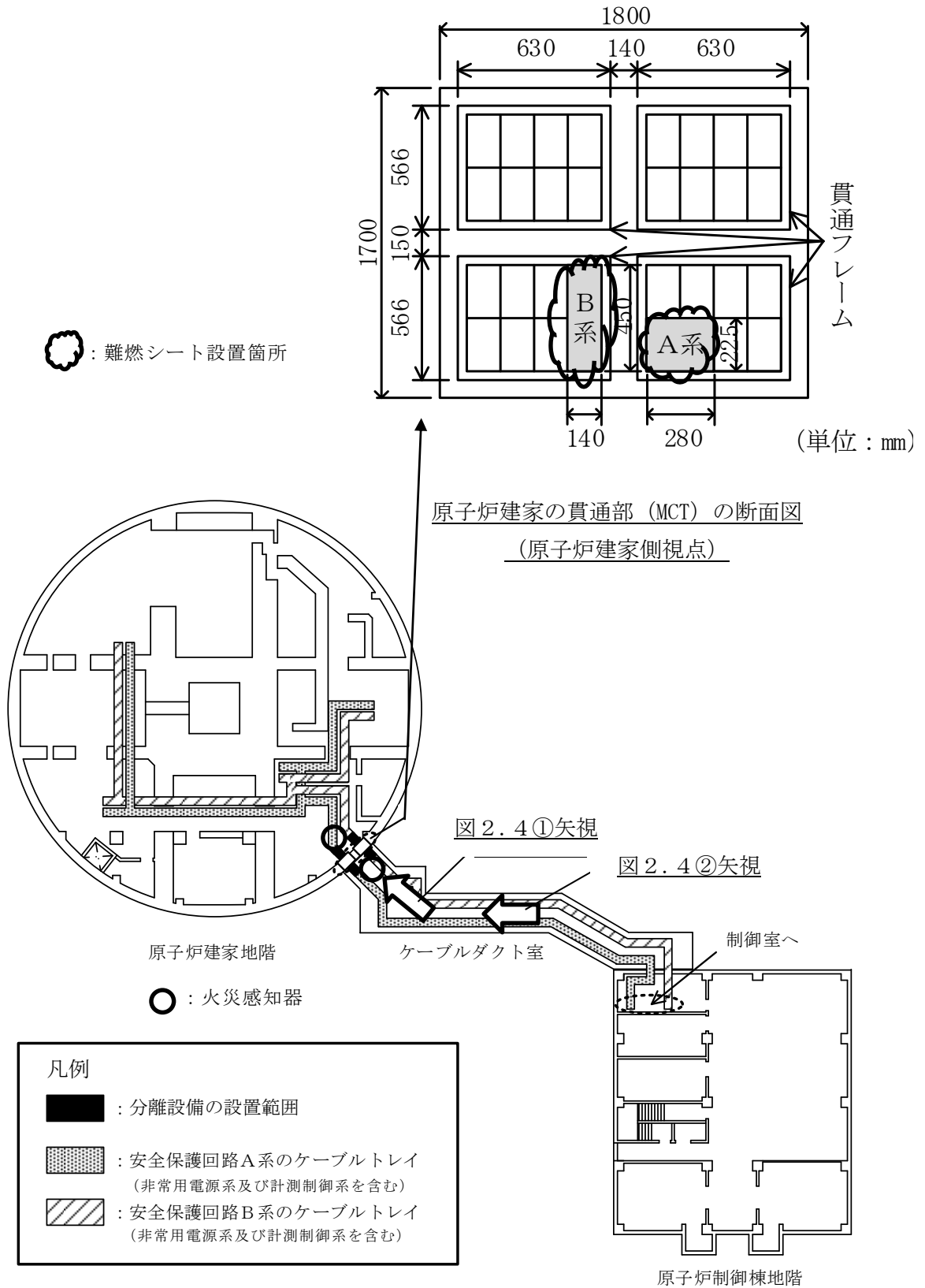


図 2.2 分離設備の設置図

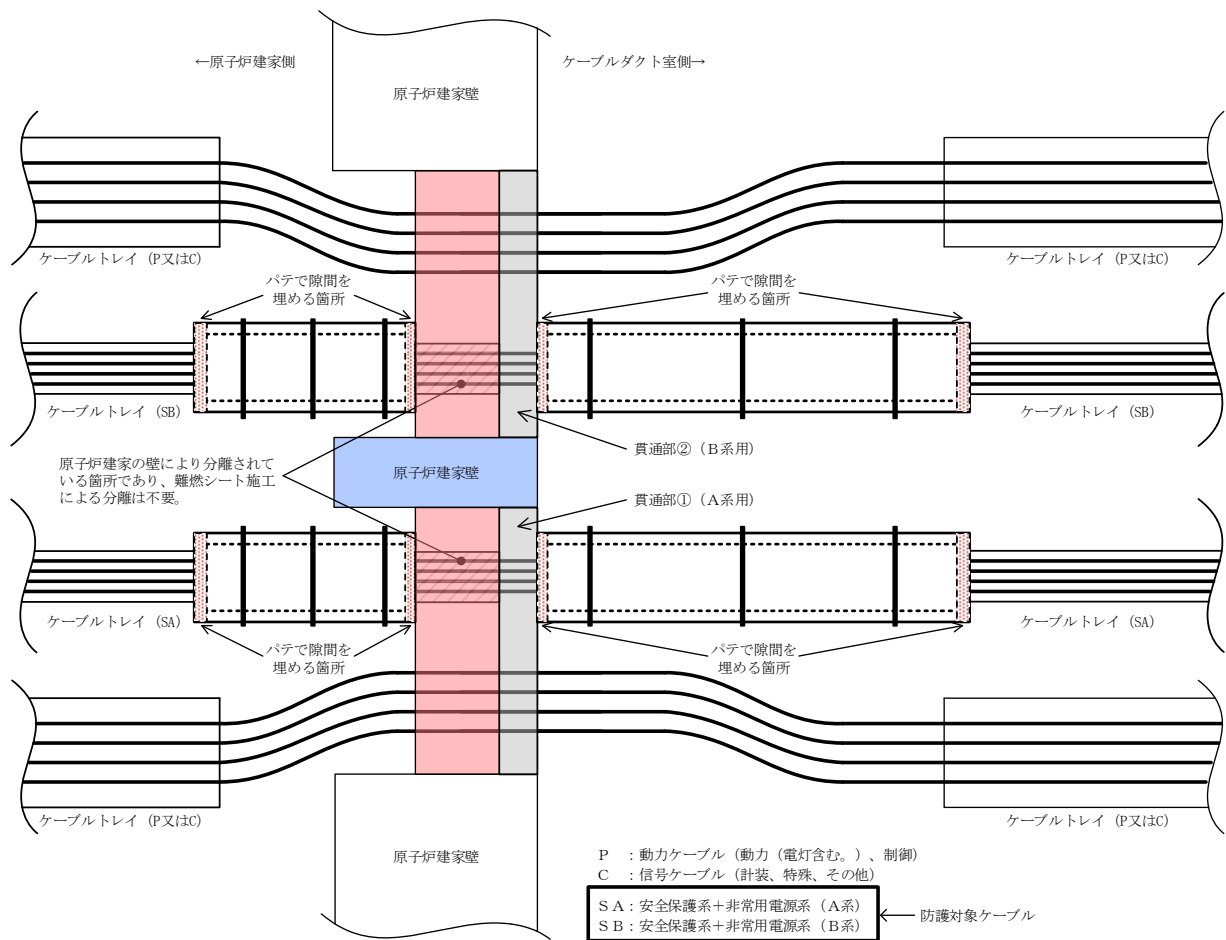


図 2. 3 難燃シート等の施工概略図



図 2. 4 ① ケーブルダクト室内 MCT 付近



図 2. 4 ② ケーブルダクト室内

3. 難燃シートの実証試験について

原子炉建家貫通部の防護対象ではない一般系のケーブルが発火源となる火災発生を想定した場合に、防護対象ケーブルの機能喪失を防止するための分離設備として施工する難燃シートについて、IS0834 の標準加熱曲線で 30 分加熱したときの非加熱面側の温度を確認するため、試験体を用いた実証試験を行った。以下に具体的な試験内容、試験結果等を示す。なお、実証試験は、加熱時間を 1 時間として温度データを取得した。

3.1 試験内容

3.1.1 試験体の仕様

実証試験に用いる試験体は、以下の機器等を組み合わせて構成する。図 3. 1 に試験体の概略図を示す。

(1) 難燃シート（以下①～③の複合材）

①断熱材

- ・名称：ファインフレックス BIO ブランケット
- ・製造社：ニチアス
- ・型式番号：5615
- ・品種：160kg/m³ (#160)
- ・厚さ：50mm

②表皮材（外側）

- ・名称：コーテッドシリカクロス
- ・製造社：株式会社日本無機
- ・型式番号：BCS/NZ
- ・厚さ：0.6mm
- ・耐熱温度：1000℃

③内皮材（内側）

- ・名称：ガラスクロス
- ・製造社：ユニチカ
- ・厚さ：0.36mm
- ・使用温度：300～500℃

(2) ケーブルトレイ模擬体

- ・材質：亜鉛メッキ鋼板（SECC）
- ・外径寸法：280mm(W) × 1500mm(L) × 226.6mm(H)
- ・鋼板厚さ：1.6mm
- ・形状：全面密封形

(3) 難燃性ケーブル

- ・名称：架橋ポリエチレン絶縁ビニルシース電力ケーブル
- ・製造社：住電日立ケーブル株式会社

- ・型式番号：600V F-CV 3C×22sq
- ・断面積：22mm²
- ・心数：3心

(4) 温度センサ

- ・使用熱電対：K 熱電対（JIS C 1602 に規定するクラス 2 を満たすもの）
- ・仕様：ガラス被覆熱電対、素線構成（1/0.65×1P）
- ・長さ：4m

3.1.2 試験方法

試験は、建築基準法に基づく標準加熱曲線（IS0834 曲線、表 3.1 及び図 3.2 参照）を用いて実施するものとする。鋼板のケーブルトレイ模擬体内に温度センサ及び難燃性ケーブルを固定し、ケーブルトレイ模擬体の外側全面に難燃シートを巻設した試験体を準備し、加熱試験炉にて加熱試験を行う。

(1) 加熱条件

標準加熱曲線（IS0834 曲線）に基づき、加熱開始から 30 分経過後の温度が 842℃となるように試験体の片面を加熱する。

(2) 試験ケース

JRR-3 の試験は、難燃シート（断熱材）の厚さを変えた以下の 2 つのケースにて実施する。

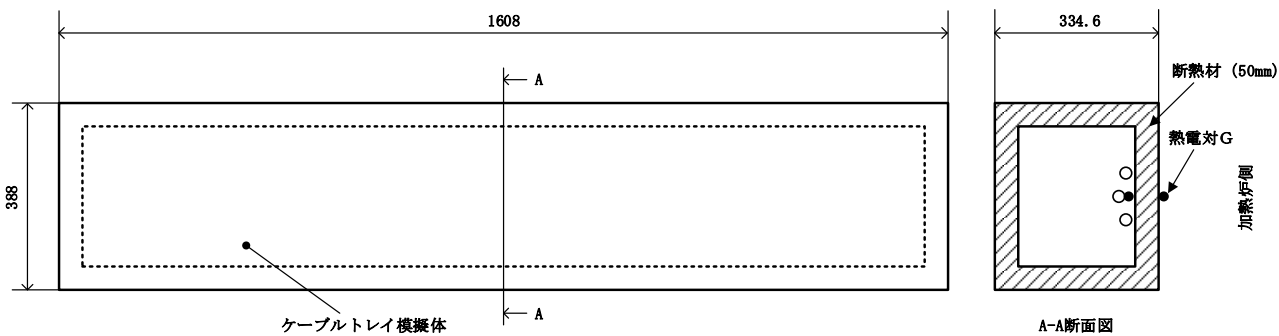
- ・ケース 1 難燃シート（断熱材）の厚さ：50mm
- ・ケース 2 難燃シート（断熱材）の厚さ：40mm（元厚さ 50mm→40mm に圧縮したもの）※

※他のケーブルとの取り合いにより、50mm での施工が困難となる可能性のある一部の個所（全体の 20～30%程度）について、断熱材を圧縮して施工することを想定し、断熱材を 40mm に圧縮した場合の影響について実証試験により確認する。

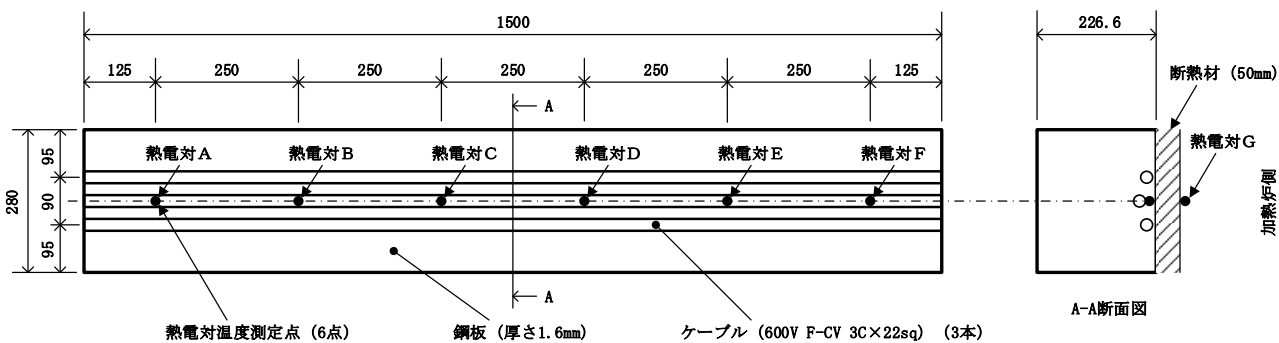
(3) 判定基準

加熱開始から 30 分後の試験体内部温度（非加熱面温度）が機能喪失温度（ケーブル損傷基準：205℃）以下であること。

・試験体の主要寸法



・熱電対の配置



(単位：mm)

・試験体の断面 (詳細)

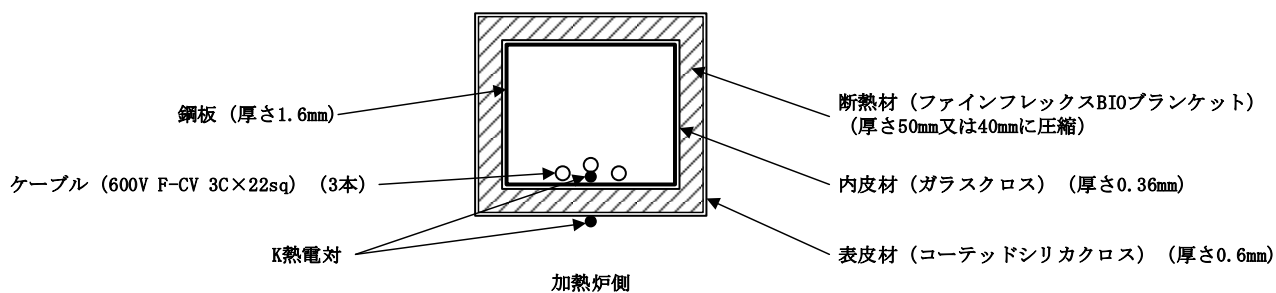


図 3.1 試験体の概略図

表 3.1 標準加熱試驗溫度表

時間：t (分)	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60
標準加熱曲線 (°C)	576	678	739	781	815	842	865	885	902	918	932	945

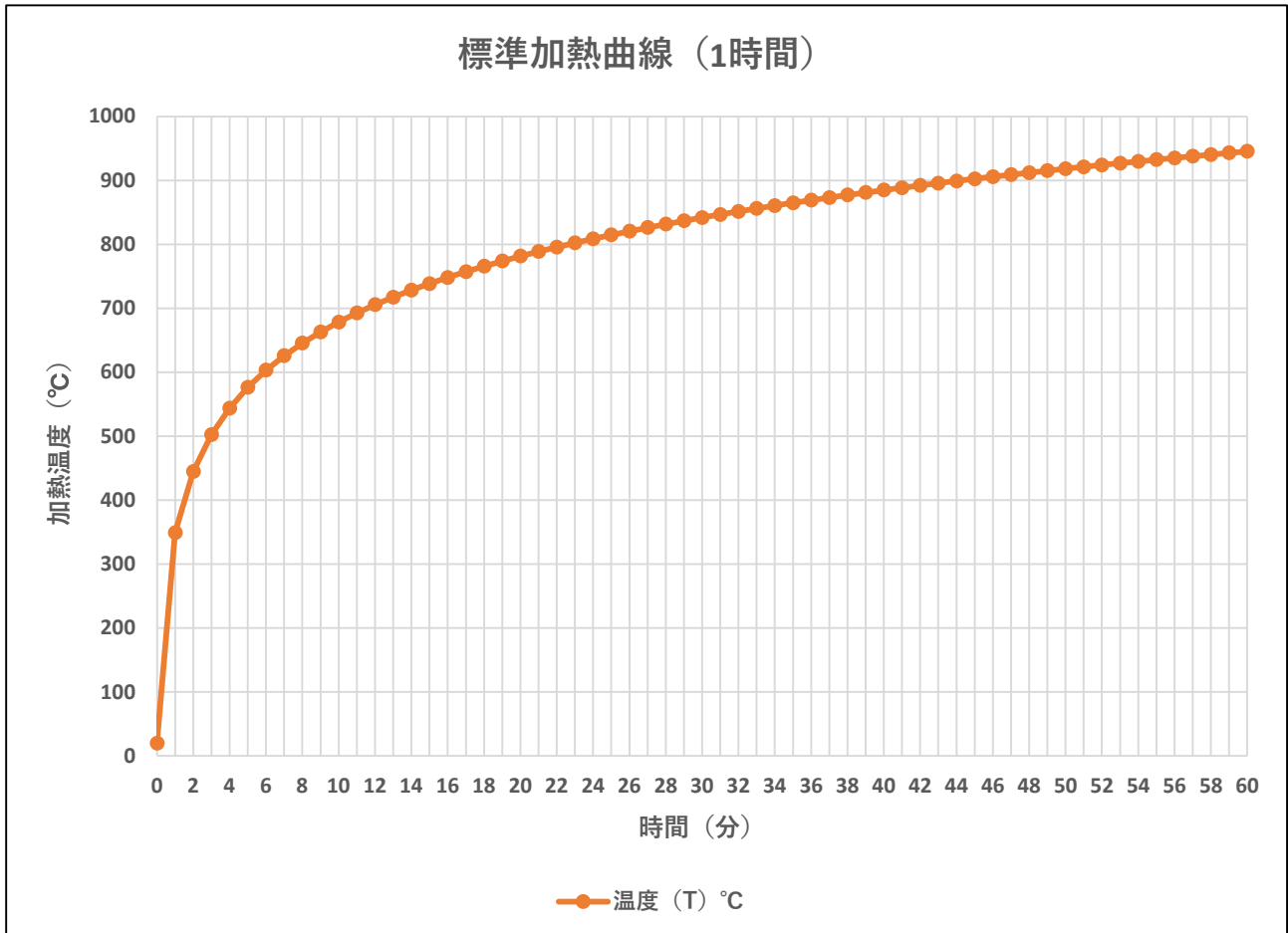


図 3.2 標準加熱曲線図

IS0834 標準加熱曲線式 $T = 345 \log_{10} (8t+1) + 20$
 T : 加熱溫度 (°C)
 t : 時間 (分)

引用元 INTERNATIONAL STANDARD IS0834-1 First edition 1999-09-15
 Fire-resistance tests Elements of building construction Part1 General requirements

3.2 実証試験結果

ケース1及びケース2の実証試験結果を表3.2、表3.3、図3.3及び図3.4に示す。

表3.2 ケース1実証試験結果 (難燃シート(断熱材)の厚さ:50mm)

経過時間 (分)	標準加熱試験 温度 (°C)	炉内温度 (°C)	試験体内部温度 (°C)					
			測定点 A	測定点 B	測定点 C	測定点 D	測定点 E	測定点 F
0	50°C以下	30.9	27.6	27.6	27.7	27.7	27.8	27.8
5	576	586.5	32.1	32.2	31.9	31.5	30.7	30.9
10	678	669.8	34.7	35.3	34.7	34.4	33.6	33.4
15	739	743.9	37.4	37.9	37.1	36.4	35.6	35.2
20	781	798.9	43.1	43.8	42.5	41.2	38.9	38.2
25	815	822.3	51.8	53.3	51.5	49.5	45.6	44.0
30	842	847.6	61.3	63.9	61.0	58.9	54.2	51.4
35	865	873.9	72.5	76.7	74.1	71.1	64.0	59.5
40	885	891.9	84.3	90.4	88.3	84.6	76.0	69.3
45	902	910.6	96.2	104.4	102.7	98.0	88.7	80.1
50	918	925.5	108.1	118.0	116.8	110.9	101.4	91.2
55	932	940.9	119.8	131.4	130.5	123.9	113.9	102.6
60	945	952.7	132.2	145.1	144.3	137.2	127.1	114.8

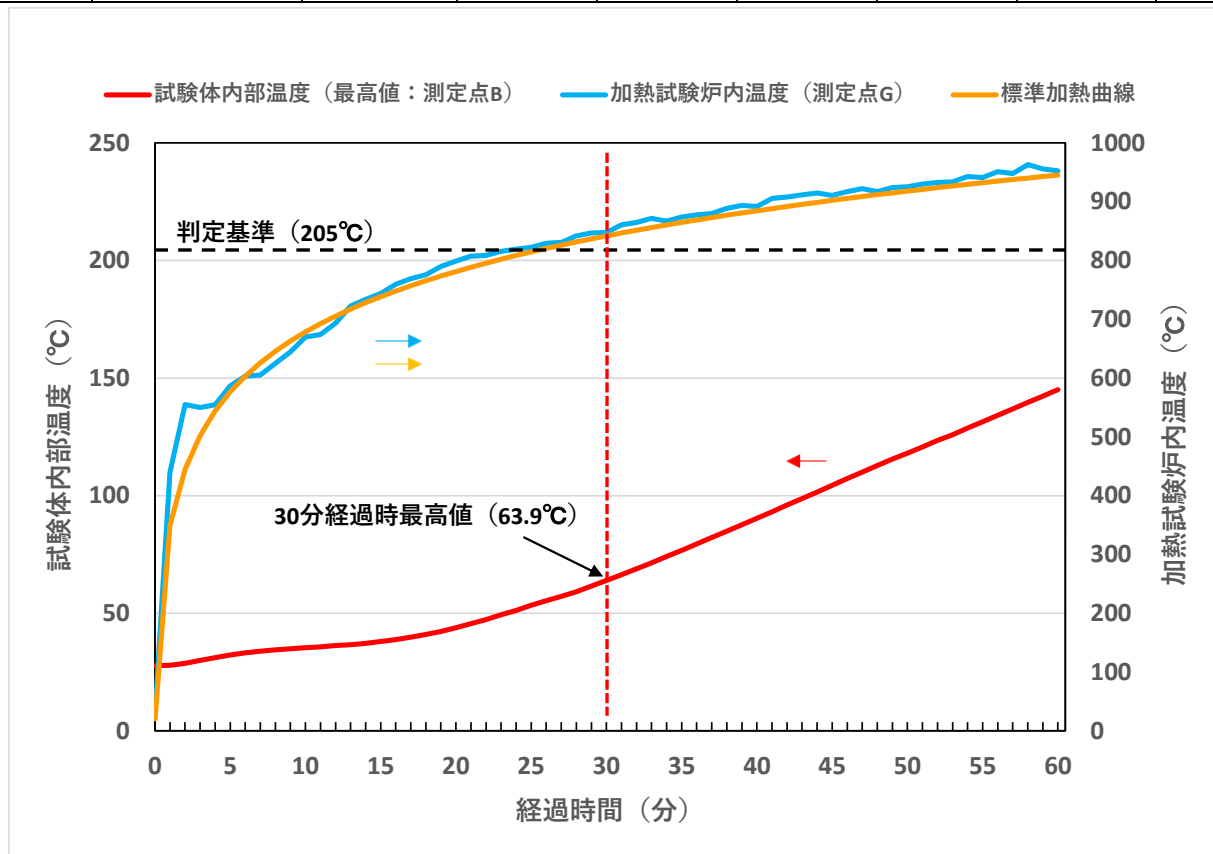


図3.3 ケース1実証試験結果

表 3.3 ケース 2 実証試験結果 (難燃シート (断熱材) の厚さ : 40mm 圧縮)

経過時間 (分)	標準加熱試験 温度 (°C)	炉内温度 (°C)	試験体内部温度 (°C)					
			測定点 A	測定点 B	測定点 C	測定点 D	測定点 E	測定点 F
0	50°C以下	29.2	27.9	27.7	28.6	27.7	28.7	28.8
5	576	621.5	32.0	32.5	32.7	32.2	33.8	33.2
10	678	710.7	39.0	39.3	40.3	39.1	40.4	39.4
15	739	756.5	47.5	47.8	48.9	46.9	49.3	47.6
20	781	805.7	59.2	59.6	59.8	57.6	61.8	59.0
25	815	839.4	75.0	78.2	75.8	72.3	80.2	72.8
30	842	870.7	96.3	99.9	97.3	94.5	104.3	95.4
35	865	891.5	116.4	120.9	118.0	115.7	127.2	116.2
40	885	900.7	136.1	141.6	138.1	136.3	148.4	135.9
45	902	916.9	155.4	161.1	156.8	156.4	166.8	155.0
50	918	945.5	173.2	178.4	172.8	174.8	185.2	173.0
55	932	969.4	191.0	195.3	191.8	194.6	199.3	187.8
60	945	966.6	201.4	220.2	211.8	219.5	222.0	202.8

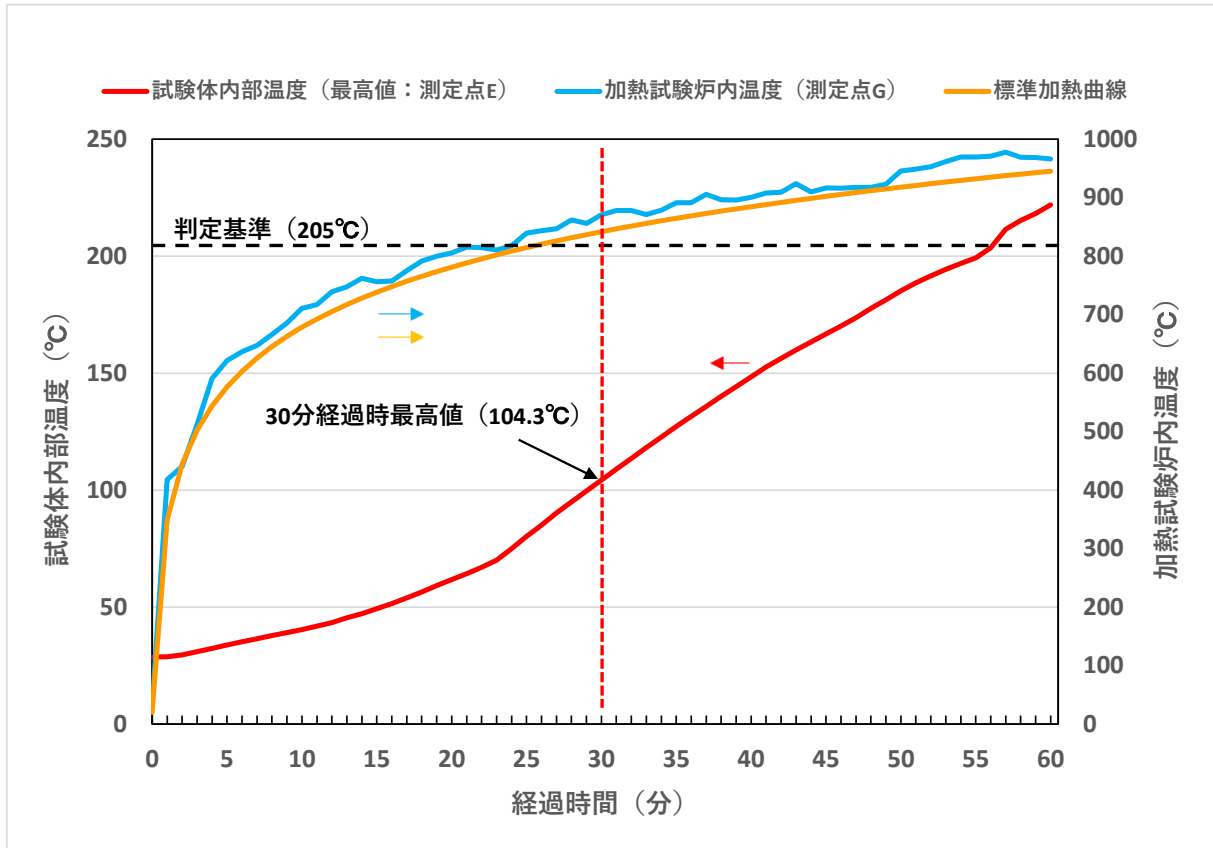


図 3.4 ケース 2 実証試験結果

ケース1の試験の結果、標準加熱曲線（IS0834 曲線）に基づく加熱開始から 30 分経過後の 842℃到達時に、試験体内部温度が最高で 63.9℃となり、一方、ケース2の試験の結果、加熱開始から 30 分経過後において試験体内部温度が最高で 104.3℃となった。このことから、両ケースとも判定基準（205℃以下）を満足することを確認した。

なお、ケース1及びケース2における加熱開始から 1 時間経過後の試験体内部温度は、それぞれ 145.℃1 及び 220.0℃となった。

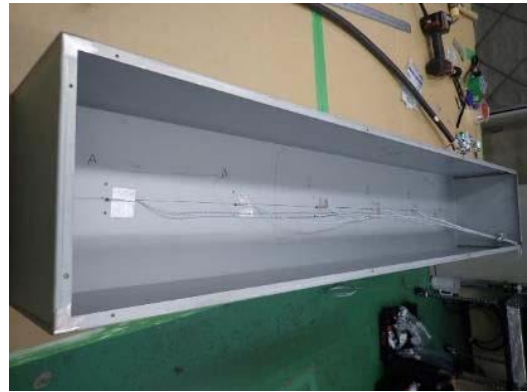
3.3 実設計への反映

ケース1及びケース2の試験において、判定基準を満足することを確認した。今回試験を実施したいずれのケースにおいても、難燃シートは必要な時間（火災発生から強制冷却完了までの時間：30 分）に対して、火災から防護対象ケーブルの性能を維持することができるものである。

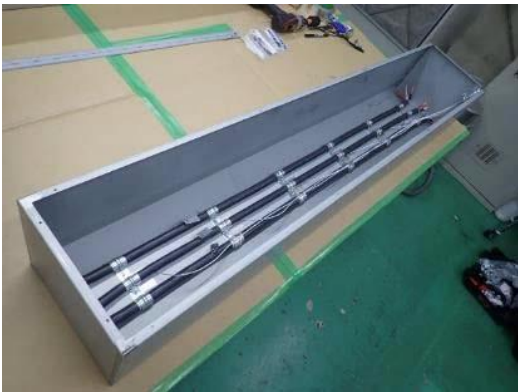
以上の結果から、建家貫通部周辺の防護対象ケーブルについては、50mm の難燃シートで保護することとする。また、他のケーブルとの取り合いにより 50mm での施工が困難な箇所（全体の 20～30%程度）については、40mm までシートを圧縮し施工することとする。



ケーブルトレイ模擬体



熱電対設置状態



ケーブル設置状態



難燃シート巻設状態



加熱試験炉外観



試験体設置状態

図 3.5① 実証試験写真 (その1)



加熱試験開始



加熱試験中（炉内）



加熱試験中（データ測定状況）



試験体外観（加熱試験終了時）

図 3. 5 ② 実証試験写真（その 2）

(参考資料1)

試験体と実際の構造との比較及び試験方法の妥当性について

実証試験については、JRR-3の原子炉建家貫通部の状況を鑑み、試験体の仕様及び試験方法を選定している。試験体の仕様は、ケーブルトレイ境界から原子炉建家貫通部までの間の剥き出しとなっている防護対象ケーブルについて鋼板で囲い、その外側を難燃シートで巻設することを実際に想定した機器(同じ材質、厚さ)で構成している。また、試験方法については他の部位等と同様に、建築基準法に基づく標準加熱曲線(IS0834 曲線)を用いている。複数ある一般系ケーブルの貫通部区分のうち1つの区分のケーブル火災を想定した場合、原子炉建家貫通部の構造やケーブル配置の状況から防護対象ケーブルの周囲全体を囲むような火災は考え難いことから、加熱条件としては片面(一方向)の加熱で十分であると考ええる。

なお、本試験を受注しているメーカは、標準加熱曲線(IS0834 曲線)を用いた加熱試験に求められる知見・技術力を有しており、他の発電炉において同様の試験の実績があることを確認している。

表1 試験体と実際の構造(現場施工)との比較

項目		試験体	現場施工	備考(妥当性、保守性等)
難燃シート (複合材)	断熱材 (厚さ)	ファインフレックス BIO ブランケット (厚さ 50mm)	左記と同じ	実際の構造(現場施工)と同一であるため、妥当であると考ええる。
	表皮材 (厚さ)	コーテッドシリカクロス (厚さ 0.6mm)		
	内皮材 (厚さ)	ガラスクロス (厚さ 0.36mm)		
鋼板	材質	亜鉛メッキ鋼板(SECC)	左記と同じ	実際の構造(現場施工)と同一であるため、妥当であると考ええる。
	厚さ	1.6mm		
	大きさ	280mm(W) × 1500mm(L) × 226.6mm(H)	現場に合わせた大きさとする	試験体の鋼板は、建家貫通部の寸法を基に代表的な大きさとして決めている。現場施工用の鋼板の大きさと同一ではないが、本試験は難燃シート(断熱材)の厚さが十分であることの確認を目的としており、試験条件としては妥当であると考ええる。
加熱条件	加熱面	片面(一方向)	左記と同じ	建家貫通部の構造やケーブル配置の状況から防護対象ケーブルの周囲全体を囲むような火災は考え難く、片面(一方向)を加熱したときの内部温度(非加熱面温度)を測定する条件で十分であると考ええる。

(参考資料2)

JRR-3における内部火災発生から煙感知器作動までの時間について

火災発生から煙感知器作動までの時間については、火災の状況、区画の形状及び発火源と感知器の位置関係より様々であるため、一般的なデータはほとんど公表されていない。平成21年に総務省消防庁から公開されている「平成20年大阪市浪速区個室ビデオ店火災関係資料集」の資料4-1「個室ビデオ店を想定した火災実験報告」において、15の実験パターンにおける煙感知器作動時間の測定が行われており、表2のとおり、煙感知器作動時間は最大で154秒である。当該データを参考に、JRR-3における内部火災発生から煙感知器作動までの時間については、保守的に10分と想定することとする。

表2 実験結果

(「平成20年大阪市浪速区個室ビデオ店火災関係資料集(平成21年総務省消防庁)」より引用)

4 実験結果

(実験結果 総括表)

実験パターン	区画	火源	扉の開閉状況	スプリンクラー設備			火災感知器		結果*1	
				スプリンクラーヘッド等の種類	放水圧力(MPa)	放水圧力(L/min)	放水開始時間(秒)	煙感知器作動時間(秒)		定温式熱感知器作動時間(秒)
①	たれ壁タイプ	キャリーバッグ	—	標準型SPヘッド K80	0.10	80	134	63	126	○
②		ゴミ箱	—	標準型SPヘッド K80	0.10	81	126	85	126	○
③		キャリーバッグ	—	小区画型SPヘッド K50	0.10	51	156	107	154	◎
④		ゴミ箱	—	小区画型SPヘッド K50	0.10	51	139	80	—	◎
⑤		キャリーバッグ(防炎加工品)	—	小区画型SPヘッド K50	0.10	51	240	154	—	◎
⑥		キャリーバッグ	—	水道連結用SPヘッド K43	0.05	29	136	81	183	△
⑦		ゴミ箱	—	水道連結用SPヘッド K43	0.05	29	106	65	315	△
⑧		ゴミ箱	—	下方放出型自動消火装置(第三種浸潤剤入り水5.5L)	—	—	165	76	157	×
⑨		ゴミ箱	—	下方放出型自動消火装置(第三種浸潤剤入り水3.0L)	—	—	133	54	114	×
⑩	壁区画タイプ	ゴミ箱	閉	小区画型SPヘッド K50	0.10	50	72	58	69	◎*2
⑪		ゴミ箱	閉	標準型SPヘッド K80	0.10	81	74	60	71	◎*2
⑫		ゴミ箱	閉	水道連結用SPヘッド K43	0.05	29	83	59	78	◎*2
⑬		ゴミ箱	閉	水道連結用SPヘッド K30	0.03	15	89	67	85	○
⑭		ゴミ箱	開	水道連結用SPヘッド K43	0.05	29	118	46	119	△
⑮		ゴミ箱	閉	—	—	—	—	50	70	—

*1 結果の凡例

- ◎…ほぼ鎮火した。
- …火勢は鎮圧し、炎が抑制された。
- △…火勢はやや鎮圧したが、炎は消えなかった(あるいは燃え尽きた)。
- ×…火勢は鎮圧せず、他の可燃物にも延焼した。

*2 今回は、個室を模した区画について、密閉性が比較的高い条件で実験を行っており、扉を閉めた場合には、スプリンクラー設備及び自動火災報知設備(特に定温式熱感知器)が早期に作動し、消火効果も高い結果となっている。一方、実際の個室ビデオ店では、換気用の開口部等が設けられることが多く、扉を開けた場合と同様の傾向となることが想定される。

(参考資料3)

難燃性 UL94 規格について

UL 規格は米国の電気製品の安全規格であり、UL94 規格は装置及び器具部品用プラスチック材の難燃性を示すものである。UL94V 垂直燃焼試験は、試験片(125±5×13±0.5×t mm)をクランプに垂直に取付け、20mm 炎による 10 秒間接炎を 2 回行い、その燃焼挙動により燃焼性分類を V-0, V-1, V-2, Not の判定を行うものである。試験は 1 試料につき 5 本の試験片について実施する。各燃焼分類の判定基準を表 3 に示す。また、垂直燃焼試験について図 1 に示す。

表 各燃焼分類の判定基準

判定基準	燃焼性分類		
	V-0	V-1	V-2
各試験片の燃焼時間	10 秒以下	30 秒以下	30 秒以下
5 本の合計燃焼時間	50 秒以下	250 秒以下	250 秒以下
2 回目接炎終了後の無炎燃焼時間	30 秒以下	60 秒以下	600 秒以下
クランプまでの燃焼	なし	なし	なし
滴化物による綿の着火	なし	なし	あり

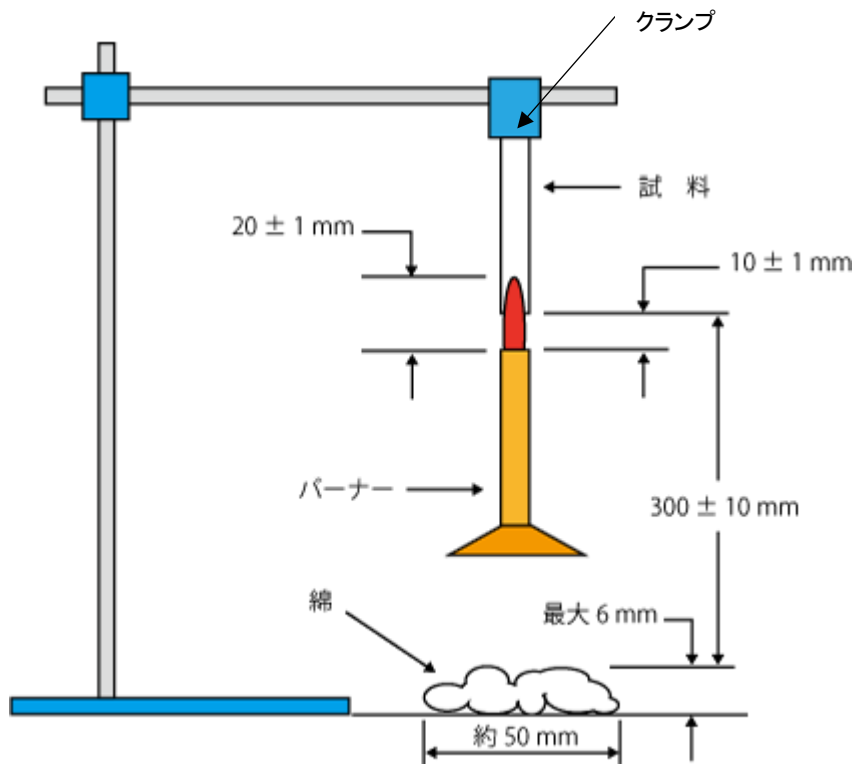


図 1 垂直燃焼試験