

東海第二発電所

非難燃ケーブルの対応について
<複合体の設計とその妥当性確認について>

平成29年5月11日
日本原子力発電株式会社

1. はじめに

実用発電用原子炉及びその附属施設の火災防護に係る審査基準（以下「審査基準」という。）では、安全機能を有する機器は、難燃ケーブルを使用することが要求されているが、東海第二発電所はプラント建設時に非難燃ケーブルを使用している。

このため、原則、難燃ケーブルに取替えることとしているが、①ケーブル取替に伴い安全上の課題が生じる範囲で、かつ、②施工後の状態において、他設備の安全機能への影響がなく、難燃ケーブルを使用する場合と同等の安全性を確保できる範囲に限って、代替措置による保安水準の達成を実証したうえで、代替措置を適用することとした。

本資料では、代替措置（防火シートによる複合体形成）の概念とその設計において考慮すべき事項について整理し、考慮すべき事項についての試験結果等についてまとめた。

説明内容（資料構成）

複合体の概念とその設計において考慮すべき事項

（第2章）

複合体の難燃性能に係る設計の考え方とその妥当性確認の全体像

（第3. 1章）

耐延焼性試験の供試体仕様・試験条件設定の考え方

（第3. 2章）

複合体の外部の火災に対する実証試験結果

（第3. 3章）

複合体の内部の火災に対する実証試験結果

（第3. 4章）

複合体の不完全な状態を仮定した場合の実証試験結果

（第3. 5章）

その他複合体の安全機能に係る設計の妥当性確認
（防火シート機能及びケーブル・ケーブルトレイ機能に対する確認結果）

（第4章）

代替措置の実機施工性の検討

（第5章）

まとめ

（第6章）

2. 複合体の概念とその設計において考慮すべき事項

2.1 防火シートによる複合体の概念

- ◆ 非難燃ケーブルを防火シートにより覆い複合体とする。複合体は可燃物を内包することから、燃焼の3要素のうち、熱、酸素を抑制することにより難燃性を確保
- ◆ 難燃性能（自己消火性及び耐延焼性）を確保するための考え方は以下のとおり
 - (1) 複合体内部の非難燃ケーブルは、単体で自己消火性を有することを確認
 - (2) 複合体として外部の火炎に対し、防火シートにより複合体外部からの火炎を遮断し、内部の非難燃ケーブルの延焼を抑制
 - (3) 複合体として内部の火炎（ケーブル過電流発火及び外部からの加熱による発火）に対し、複合体内部の酸素量を抑制することにより非難燃ケーブルの延焼を抑制
- ◆ 複合体は上記概念により達成する難燃性能の他、複合体内部で発生する火炎（ケーブル発火）に対し、防火シートの遮炎効果による複合体外部への火炎伝播を抑制

2.2 複合体の設計上考慮すべき事項と設計の妥当性確認

- ◆ 複合体は上記概念に基づき防火シート、ケーブル及びケーブルトレイ等から構成されることを考慮し、以下の複合体の安全機能について設計上考慮すべき事項を抽出し、複合体設計の妥当性を確認
 - (1) 複合体としての難燃性能
 - (2) ケーブル及びケーブルトレイの安全機能

2.3 難燃性能に関する設計目標

複合体は、設置許可基準規則及び火災防護審査基準に定める技術的要件を満足する技術的内容と同一でないため、設置許可基準規則に照らして十分な保安水準を確保すべく、以下の設計目標を定める。

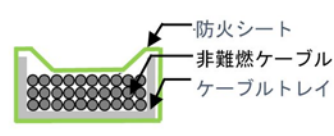
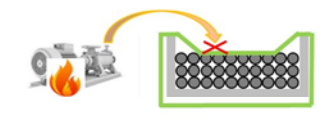
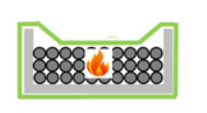
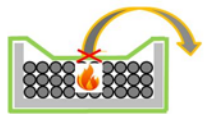
- ◆ 複合体を形成する方針であることから、複合体の外部からの火炎による火災及び内部からの発火による火災の両方に対して設計目標を設定
- ◆ 施工後に想定される悪影響（防火シートのずれ、傷）を考慮した設計目標を設定

【設計目標】

- 複合体外部の火炎に対して、難燃ケーブルと同等以上の難燃性を確保する
- 複合体内部の火炎に対して、難燃ケーブルと同等以上の難燃性を確保する
- 想定外の施工不良、傷等により複合体の不完全な状態を仮定しても耐延焼性を確保する

※ 上記、設計目標に対して以降で設計方針を設定し、実証試験により目標達成を確認する

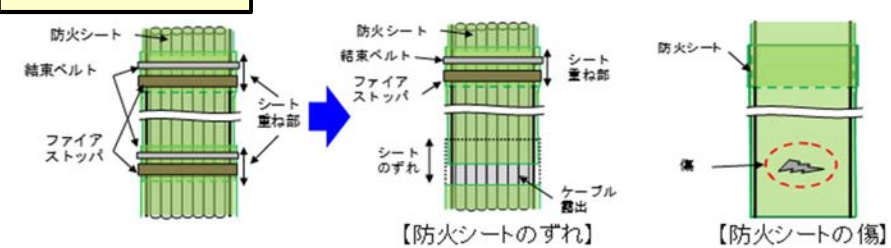
防火シートによる複合体の概念（難燃性能の確保）

燃焼の3要素	複合体の特徴	項目	複合体
熱エネルギー（火炎）	防火シートは不燃材で火炎を遮るが伝熱はある	構成材料の自己消火性	・非難燃ケーブルの自己消火性を確認 ・不燃材の防火シート等を使用 
酸素	ケーブルトレイの特徴を考慮してケーブル周囲の空気が少なくなるように防火シートを施工することで酸素量を抑制	外部の火炎に対する耐延焼性	防火シートによる複合体外部からの火炎遮断 
可燃物（ケーブル）	ケーブル自身が可燃物であるため、ケーブルを排除することは不可能	内部の火炎に対する耐延焼性	防火シート及びファイアストップパによる酸素量の抑制 
		燃焼ケーブルから外部への延焼性	防火シートの遮炎性による周囲への燃焼拡大の抑制 

複合体の設計上考慮すべき事項

	機能項目	機能を阻害する要因	設計上考慮すべき事項	参照	
複合体としての難燃性能	複合体の難燃性	難燃性	難燃性（自己消火性、耐延焼性）※を確保すること <small>※：規格基準がないため保安水準を設定</small>	3. 1～3. 5	
		耐久性	腐食等 経年劣化	薬品等に対する耐久性を有すること 熱・放射線に対する耐久性を有すること	4. (1)① 4. (1)②
		耐震性	地震	複合体が健全であること（防火シート等が破損したり、ずれないこと）	4. (1)③
		施工性	実機トレイ形状等	防火シートメーカーの仕様に基づき施工できること	5
	ケーブル及びケーブルトレイの安全機能	電氣的機能	通電機能 絶縁機能	放熱性の低下 絶縁性能低下	放熱性の低下がケーブルの通電機能に影響しないこと 防火シートがケーブルに直接接触しても絶縁性能が維持できること
ケーブル及びケーブルトレイの安全機能	機械的機能	シーすによる絶縁保護機能	化学的影響	防火シートがケーブルに直接接触してもシーすが損傷しないこと	4. (3)①
		ケーブルトレイの保持機能	化学的影響 耐震性低下	防火シートがケーブルトレイに直接接触してもトレイが損傷しないこと 複合体形成による重量増加によっても耐震性が確保できること	4. (3)① 4. (3)②

3.1 複合体の難燃性能に係る設計の考え方とその妥当性確認の全体像

設計目標	設計項目	設計の考え方	確認事項	確認方法	判定基準	
I. 外部の火災に対する難燃性能	難燃ケーブルと同等以上の難燃性能	(1) 自己消火性	ケーブル単体の自己消火性を確保	ケーブルの発火を模擬する内部の火災にて確認		
		(2) 耐延焼性	燃焼の3要素のうち熱(火炎)を遮断	① 防火シートの遮炎性の維持	a. 実機火災荷重を考慮した防火シート加熱試験 (ISO384 加熱曲線) b. 防火シート重ね部加熱試験 (建築基準法遮炎性試験)	防火シート損傷, 火炎噴出がないこと 防火シート重ね部からの火炎噴出がないこと
	[設計/施工仕様] (図1) ◆ 非難燃ケーブル, ケーブルトレイを不燃材の防火シートにより被覆 ◆ 防火シート重ね代の形成 ◆ 結束ベルトによる防火シートの固定		② 難燃ケーブルと同等以上の耐延焼性	難燃ケーブル耐延焼性試験 (IEEE383) の燃焼条件によるケーブル損傷長比較	ケーブル損傷長が難燃ケーブル未満	
	II. 内部の火災に対する難燃性能	難燃ケーブルと同等の難燃性能	(1) 自己消火性	ケーブル単体の自己消火性を確保	非難燃ケーブルの自己消火性	難燃ケーブルの自己消火性確認試験 (UL1581 VW-1)
		(2) 耐延焼性	燃焼の3要素のうち酸素量を抑制	① ケーブルの延焼停止	難燃ケーブル耐延焼性試験 (IEEE383) の燃焼条件による試験	ケーブルの延焼が停止する(燃えとまる)こと
		[設計/施工仕様] ◆ 防火シート/ファイアストップパによる酸素量抑制空間の形成 (図2) ◆ 防火シートの密着施工による複体内酸素量の抑制 (図2)		② 防火シートによる酸素量抑制空間の維持	過電流発火模擬による防火シートの健全性確認	外部からの酸素供給パスとなる防火シートの損傷がないこと
III. 難燃性能に対する設計余裕	想定外の不完全状態に対しても耐延焼性を確保	(1) 不完全状態での耐延焼性	施工不良, 傷等の実機状態の不確かさを考慮しても難燃ケーブルと同等の耐延焼性を確保	① ファイアストップパ1箇所脱落状態におけるケーブルの延焼停止 (図3)	難燃ケーブル耐延焼性試験 (IEEE383) の燃焼条件による試験	ケーブルの延焼が停止する(燃えとまる)こと
		[設計/施工仕様] ◆ ファイアストップパ1箇所の脱落状態を仮定しても, IEEE383 に基づく難燃ケーブルの耐延焼性試験の判定基準 6ft (約 1800mm) を満足するようにファイアストップパの設置間隔を 900mm に設定 (図1)				

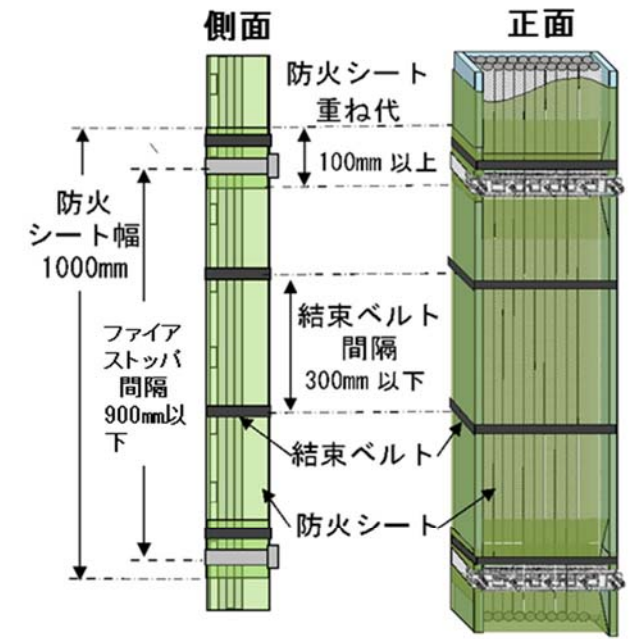


図1 複合体設計・施工仕様

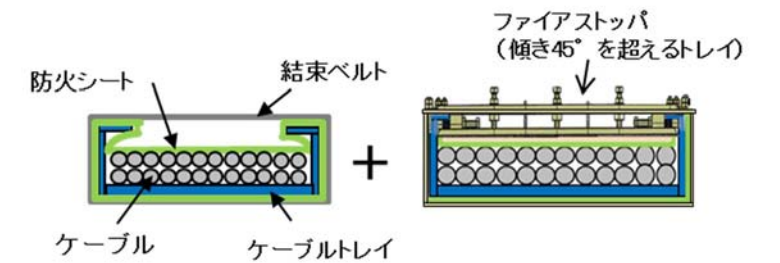
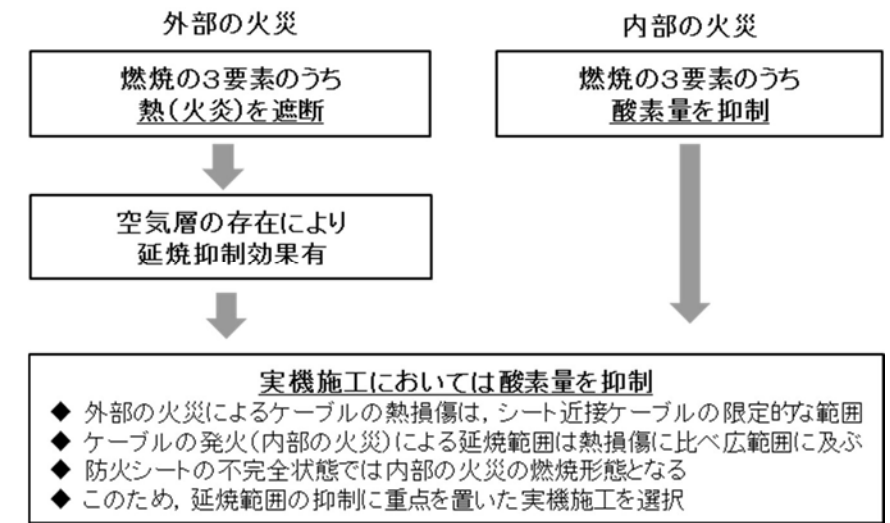


図2 複合体設計・施工仕様(断面図)



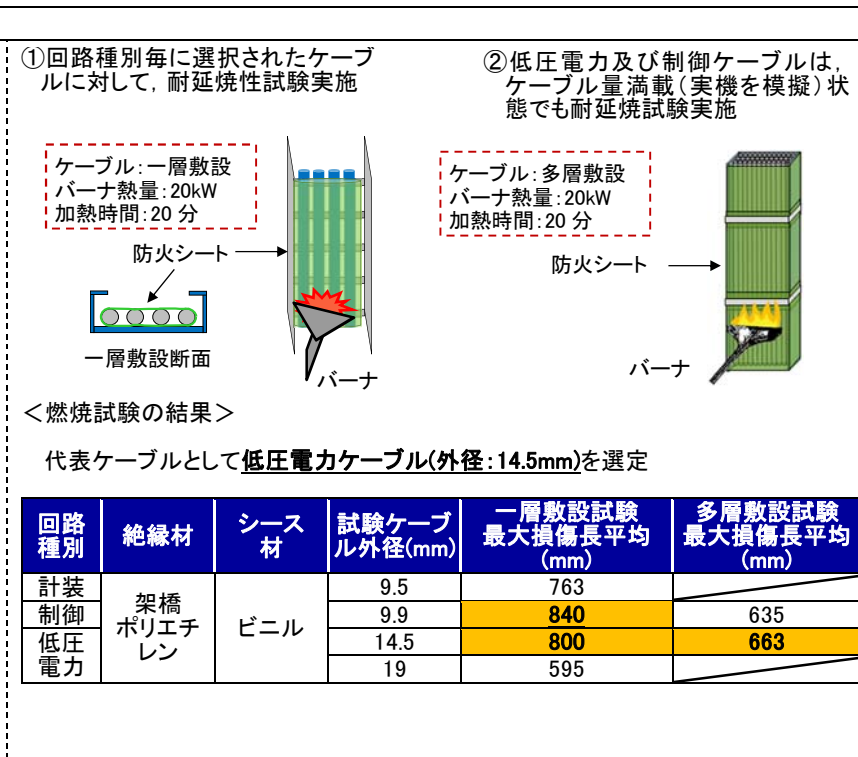
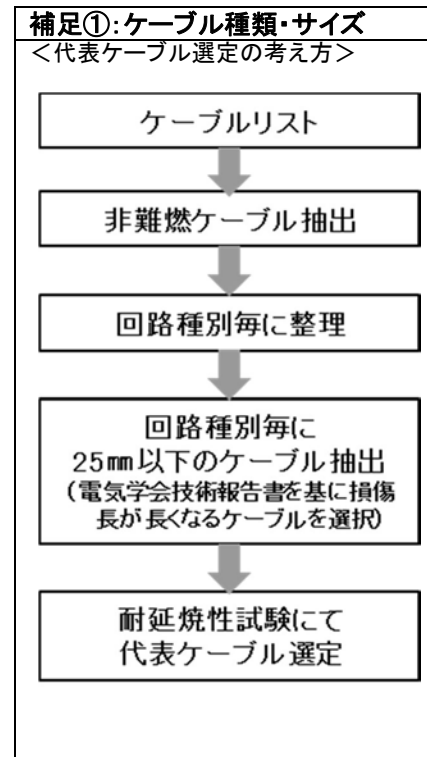
- 構成品の仕様
- 防火シート
 - ・不燃材(ガラスクロス両面に難燃化ゴムコーティング)
 - 結束ベルト
 - ・不燃材(シリコンガラスクロス製ベルト)
 - ファイアストップパ
 - ・鋼材: SS400, SCM435 亜鉛メッキ
 - ・傾き 45° を超えるトレイに設置
 - ・防火シートとの間は耐火材(セラミックファイバ)でケーブルの凸凹に追従させ密着

図3 仮定した不完全な状態

3.2 耐延焼性試験の供試体仕様・試験条件設定の考え方(1/2)

(1) 供試体仕様 (設計目標 I 及び II に対する耐延焼性確保の考え方に基づき、延焼し易さの観点、難燃ケーブルとの比較の観点から供試体仕様を決定)

複合体構成品		複合体の外部の火災(熱の遮断に着目した仕様)		複合体の内部の火災(酸素量の抑制に着目した仕様)		
		構成品選定の考え方	供試体	構成品選定の考え方	供試体	
ケーブル	種類・サイズ	高圧電力, 低圧電力, 制御, 計装	燃焼試験に基づく損傷長の長いケーブル(補足①)	低圧電力ケーブル, 外径 14.5 mm	燃焼試験に基づく損傷長の長いケーブル(補足①)	低圧電力ケーブル, 外径 14.5 mm
	使用期間	新品, 旧品	燃え易い状態(酸素指数小)	新品	燃え易い状態(酸素指数小)	新品
	延焼防止材	有, 無	熱がケーブルに直接伝わる状態(補足②)	無	燃え易い状態(補足②)	無
	埃	有, 無	発熱量は小さくケーブル燃焼に影響しないことを評価済	無	発熱量は小さくケーブル燃焼に影響しないことを評価済	無
	敷設状態	整線, 波状(補足③)	垂直トレイ: 自重で整線 水平トレイ: 熱が伝わり易い状態	垂直: 整線 水平: 整線	垂直トレイ: 自重で整線 水平トレイ: 空気を取り入れ易い状態(整線状態で供試体両端を開放) 極端な波状状態は参考	垂直: 整線 水平: 整線 波状(参考)
ケーブルトレイ	型式	ラダー, ソリッド, トレイ無(補足④)	熱が伝わり易いトレイ型式(ソリッドは金属により熱が拡散)	ラダー	空気を取り入れ易いトレイ型式(開口が多い方)	ラダー
	サイズ(幅)	:150mm~750mm	難燃ケーブルと比較するため同じサイズ	300mm	外部の火災と比較のため同じ条件(難燃ケーブルと比較できないため)	300mm
	形状	直線, 傾斜, L字, S字, 十字分岐, T字分岐(補足⑤)	バーナの炎が延びる形状	直線形状	空気の流れが妨げられない形状	直線形状



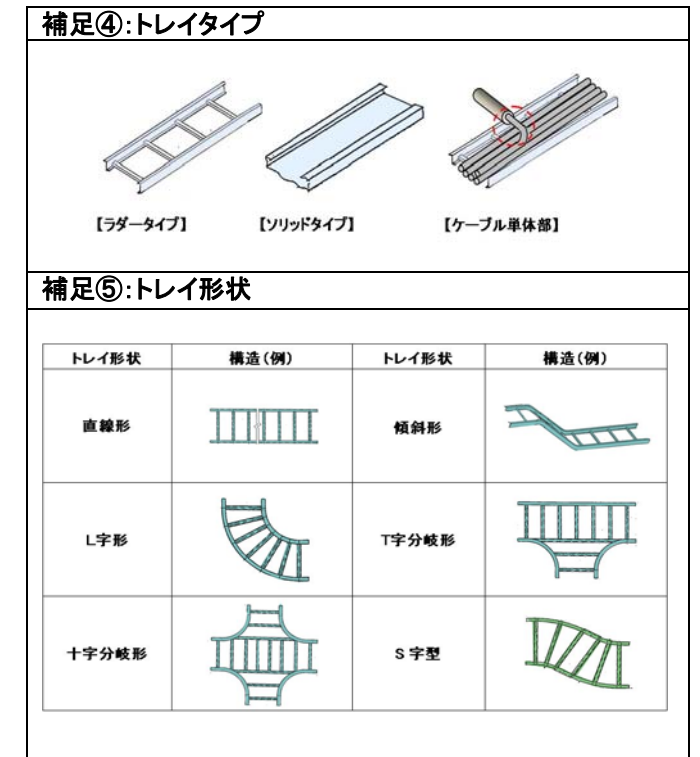
補足③: ケーブル敷設状態

敷設状態として整線と波状*を想定(右図)

※: 波状状態とは1層ごとにケーブルを編み込んだものを多層敷設した形態。実機には非難燃ケーブル単体でこのような敷設状態は存在しないため参考として確認

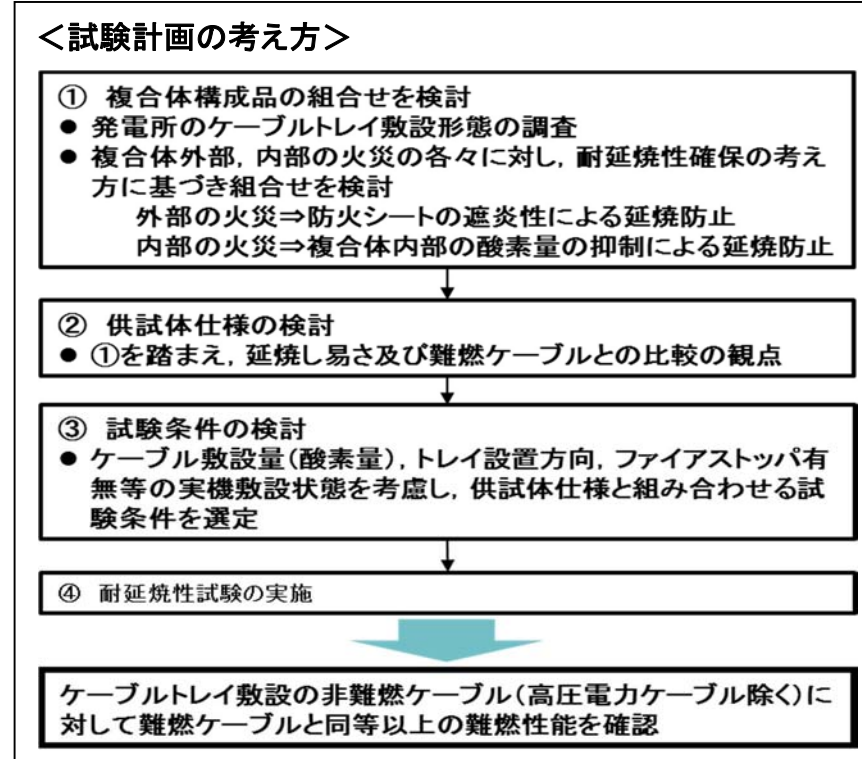
大項目	確認項目	確認結果	複合体への影響評価
複合体の難燃性能	延焼防止材難燃性能	加速劣化後の酸素指数も非難燃ケーブルより高い	延焼防止材は複合体の難燃性をより向上
	ケーブルの隙間	延焼防止材により隙間が埋まるため空気量低減	酸素を低減
機械的影響	化学的影響	pH: 7(中性)	影響なし
	耐久性	耐水性, 耐油性, 耐塩水性, 耐酸性, 耐アルカリ性有	影響なし
電気的影響	放熱性(熱伝導性)	延焼防止材の固有熱抵抗は空気に比べ小さく、塗布によりケーブル表面積が広がるため放熱が改善 電流低減率試験により通電電流に変化がないことを確認	影響なし

延焼防止材は複合体の機能に影響を及ぼさない



3.2 耐延焼性試験の供試体仕様・試験条件設定の考え方(2/2)

(2) 試験条件



【補足⑥:ケーブル敷設量(ケーブルとシートの隙間)】

少量(隙間大): ケーブル層敷設	満載(隙間小): トレイ占積率 40%	多量(密着): トレイ内ケーブル満杯
------------------	---------------------	--------------------

- ◆ 外部火災: ケーブル量(ケーブルと防火シートの隙間)を変化させた試験を計画
- ◆ 内部火災: 試験は十分に酸素が供給される条件。このため、ケーブル量(可燃物量)が多い状態での試験を計画

【補足⑦:ケーブルトレイ設置方向】

【垂直トレイ】 【水平トレイ】 【勾配トレイ】

- ◆ 延焼が広がる速度が最も速いのは、火災が真っ直ぐ上に延びる垂直方向であることから、垂直設置を選定することが保守的

【補足⑧:ファイアストップとバーナ距離】

ファイアストップの位置を変化させ、耐延焼性の効果を確認

- ① 362.5 mm
シート重ね部から見て下方側の最初の結束ベルトの下端(右図参照)
- ② 662.5 mm
2つ目の結束ベルトの下端(①+300 mm)
- ③ 1,262.5 mm
十分に離れた位置(①+900 mm)

300 mm: 結束ベルト間隔

試験条件	複合体の外部の火災		複合体の内部の火災	
	試験条件選定の考え方	試験条件	試験条件選定の考え方	試験条件
ケーブル敷設量(ケーブル/シート隙間)	満載(隙間小) 少量(隙間大) 多量(隙間無)	隙間による影響を確認するため、3種類のケーブル敷設量(補足⑥)	満載 少量 多量 3.3(2)②③	可燃物量の多い敷設量 満載 3.4(2)①
ケーブルトレイ	垂直 勾配 45° 水平	延焼し易い設置方向(補足⑦)	垂直 水平(参考) 3.3(2)②	延焼し易い設置方向(補足⑦) 3.4(2)①
ファイアストップ	有/無	水平トレイを包絡する条件及び効果の確認	垂直: 有/無 3.3(2)②④	必要性及び効果の確認 3.4(2)①
バーナとファイアストップの距離		距離による伝熱の影響を確認(補足⑧)	近距離 中距離 長距離 3.3(2)④	ケーブルを直接燃焼させるため、バーナ位置は次のシート端部の直下で固定 1,075mm 3.4(2)①
バーナ熱量	20kW 30kW	難燃ケーブルと損傷長を比較するため同一条件(IEEE383)	20kW 30kW(参考)	着火に十分な熱量 20kW

<複合体の外部の火災に対する試験マトリックス>

	トレイ方向		
	垂直(45°を超えるもの)		水平
ファイアストップ	無	有	無
試験の考え方	ファイアストップのない水平トレイを包絡する条件の試験	ファイアストップの効果確認	参考
ケーブル量【ケーブルとの隙間】	少量【隙間大】	隙間がより小さい【隙間小】の条件で包絡	トレイ下面からの加熱であり、影響を受ける下端(1層目)ケーブルへの熱影響は満載(下欄)と同じ
	満載【隙間小】		防火シート
	多量【密着】	左欄の条件(全長にわたってケーブルはシートに密着)で包絡	トレイ下面からの加熱であり、影響を受ける下端(1層目)ケーブルへの熱影響は満載(上欄)と同じ

満載: 占積率40%(敷設量上限) 多量: 試験のために設定した占積率40%を超える状態
図あり: 試験実施 - : 試験対象外

<複合体の内部の火災に対する試験マトリックス>

	トレイ方向			
	垂直(45°を超えるもの)		45°	水平
ファイアストップ	無	有	無	無
試験の考え方	ファイアストップの必要性確認	ファイアストップの効果確認	ファイアストップの必要性確認	参考
ケーブル量	少量	下欄の条件に包絡(試験は酸素が十分に供給されている条件であり、可燃物量が多い(下欄の条件)方が延焼し易い)		
	満載			
	満載(シート密着)	上の欄の試験結果から延焼すると推定	上欄の条件に包絡(シート密着していない方が延焼し易い)	

満載: 占積率40%(敷設量上限)
図あり: 試験実施 - : 試験対象外

3.3 複合体の外部の火災に対する実証試験結果

確認項目

(1)自己消火性
・ケーブルの発火を模擬する複合体内部の火災にて確認

(2)耐延焼性
①防火シートの遮炎性
a.実機火災荷重を考慮した防火シートの加熱試験
・防火シートの遮炎性を確認する
b.防火シート重ね部加熱試験
・防火シート重ね部の遮炎性を確認する
【建築基準法指定機関の遮炎性試験準拠】
・防火シートをISO834加熱曲線に沿って加熱
a.20分以上, b.20分(防火設備の加熱時間)

②実機状態を模擬した耐延焼性試験
・標準的な状態(垂直トレイ)の複合体の耐延焼性を確認する。

・試験回数: 3回

(参考1)水平トレイでの延焼性を確認する試験
・標準的な状態(水平トレイ)の複合体の耐延焼性を確認する。

・試験回数: 1回

③ケーブル敷設量のばらつきを考慮した試験
・防火シートとケーブルの隙間のばらつきによる耐延焼性への影響を確認する。

・試験回数: 各1回

④加熱源とファイアストップの距離による影響の確認試験
・加熱源とファイアストップの位置関係による耐延焼性への影響を確認する。

・試験回数: 各1回

- ◆ 362.5 mm シート重ね部から見て下方側の最初の結束ベルトの下端(左図参照)
- ◆ 662.5 mm 2つ目の結束ベルトの下端(①+300 mm)
- ◆ 1,262.5 mm 十分に離れた位置(①+900 mm)
- ◆ 300 mm: 結束ベルト間隔

(参考2)バーナ加熱熱量を変化させた垂直トレイ燃焼試験
・バーナ加熱熱量を1.5倍に変化させた場合においても, 複合体の耐延焼性が確保できること及び内部のケーブルが着火しないことを確認する。

・バーナ熱量: 30kW
・試験回数: 2回

実証試験結果

(1)自己消火性
・同左

(2)耐延焼性
①防火シートの遮炎性
a.防火シートの加熱試験

加熱時間(分)	試験回数	火炎が通るき裂等の損傷及び隙間	判定
70*	3	無	良

※: 試験設備の限界

b.防火シート重ね部の加熱試験(防火設備の遮炎性試験)

加熱時間(分)	試験回数	火炎が通るき裂等の損傷及び隙間	非加熱側で10秒を超えて継続する発火	非加熱側へ10秒を超えて連続する火炎の噴出	判定
20	2	無	無	無	良

②実機状態を模擬した耐延焼性試験

供試体	トレイ設置方向	ケーブルの種類(回路種別)	絶縁材/シース	ケーブル量	バーナ熱量(kW)	最大損傷長(mm)	判定結果(燃え止まること)
複合体	垂直	低圧電力ケーブル	架橋ポリエチレン/ビニル	満載	20	600	良
						690	良
難燃ケーブル			難燃架橋ポリエチレン/難燃ビニル	満載		1,780	良

(参考1)水平トレイでの延焼性を確認する試験

供試体	トレイ設置方向	ケーブルの種類(回路種別)	絶縁材/シース	ケーブル量	バーナ熱量(kW)	最大損傷長(mm)	判定結果(燃え止まること)
複合体	水平	低圧電力ケーブル	架橋ポリエチレン/ビニル	満載	20	740	良

③ケーブル敷設量のばらつきを考慮した試験

供試体	トレイ設置方向	ケーブルの種類(回路種別)	絶縁材/シース	ケーブル量	バーナ熱量(kW)	最大損傷長(mm)	判定結果(燃え止まること)
複合体	垂直	低圧電力ケーブル	架橋ポリエチレン/ビニル	少量	20	570	良
				多量		980	良
難燃ケーブル			難燃架橋ポリエチレン/難燃ビニル	少量		1,010*	良

※1: 前項 3.2 の「代表ケーブル選定」の試験結果

※: 難燃ケーブルの損傷長は, 少量の場合 1010 mm, 満載の場合 1780 mmである。満載より更にケーブル量が多い状態では満載の場合より損傷は長くなる。一方, ケーブル多量での複合体の損傷長は, 980 mmであり, 難燃ケーブル満載の損傷長さより短いため, 難燃ケーブル多量での試験は不要と判断した。

④加熱源とファイアストップの距離による影響の確認試験

供試体	トレイ設置方向	ケーブルの種類(回路種別)	絶縁材/シース	ケーブル量	バーナ熱量(kW)	ファイアストップとバーナの距離(mm)	最大損傷長(mm)	判定結果(燃え止まること)
複合体	垂直	低圧電力ケーブル	架橋ポリエチレン/ビニル	満載	20	362.5	1,220	良
						662.5	890	良
						1,262.5	760	良
難燃ケーブル			難燃架橋ポリエチレン/難燃ビニル			1,780**	良	

※1: 加熱源とファイアストップが近い程, 損傷長が長いのはトレイからの伝熱でケーブル被覆が損傷するため
※2: (2)①の試験結果

(参考2)バーナ加熱熱量を変化させた垂直トレイ燃焼試験

供試体	トレイ設置方向	ケーブルの種類(回路種別)	絶縁材/シース	ケーブル量	バーナ熱量(kW)	最大損傷長(mm)	判定結果(燃え止まること)
複合体	垂直	低圧電力ケーブル	架橋ポリエチレン/ビニル	満載	30	1,010	良
						930	良
難燃ケーブル			難燃架橋ポリエチレン/難燃ビニル			2,030	良

評価

(1)自己消火性
・同左

(2)耐延焼性
①防火シートの遮炎性
a.防火シートに70分間加熱(バーナ熱量平均約500kW)を行い, 火炎が通るき裂等の損傷及び隙間が生じないことを確認
b.防火シート重ね部が, 防火設備に要求される遮炎性(20分加熱)を有することを確認

②実機状態を模擬した試験
・複合体が燃え止まること及び難燃ケーブルよりも損傷長が短いことを確認
・バーナ熱量 20kW で複合体が発火しないことを確認

(参考1)水平トレイでの延焼性を確認する試験
・複合体が燃え止まることを確認

③ケーブル敷設量のばらつきを考慮した試験
・複合体が燃え止まること及び難燃ケーブルよりも損傷長が短いことを確認

④加熱源とファイアストップの距離による影響の確認試験
・距離を変化させても, 複合体が燃え止まること及び難燃ケーブルよりも損傷長が短いことを確認

(参考2)バーナ加熱熱量を変化させた垂直トレイ燃焼試験
・複合体が燃え止まること及び難燃ケーブルよりも損傷長が短いことを確認
・バーナ熱量 30kW で複合体が発火しないことを確認

◆ 結論: 複合体外部の火災について, 設計目標を達成できることを確認

実証試験実施機関
・一般社団法人 電線総合技術センター

3.4 複合体の内部の火災に対する実証試験結果

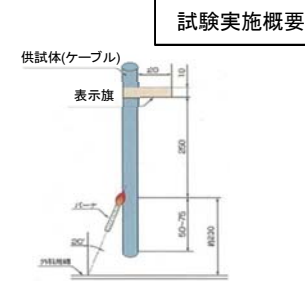
確認項目

(1) 自己消火性

内部の火災に対する自己消火性の確認

- 非難燃ケーブル自体(防火シートなし)の自己消火性をUL1581 VW-1試験にて確認

試験方法	判定基準
<ul style="list-style-type: none"> 15秒着火, 15秒休止: 5回 バーナ熱量: 500W 	<ul style="list-style-type: none"> 残炎(燃焼)が60秒未満 表示旗: 燃損が25%以下 落下物で綿が燃焼しない



(2) 耐延焼性

① 内部の火災模擬試験

- ファイアストップパの必要性及び効果を確認する。

試験回数: 各1回

	水平トレイ	勾配45°トレイ	垂直トレイ
供試体			<div style="display: flex; justify-content: space-around;"> <div> <p>【隙間なし】</p> </div> <div> <p>【隙間あり】</p> </div> </div>
試験状況			

(参考) 波状敷設試験

- 波状敷設: 建設時敷設のケーブルは整線状態にあるが、極端な条件としてケーブルを波状敷設し、ケーブル間に隙間を設けた状態を模擬して耐延焼性を確認する

波状敷設(水平トレイ)	供試体	試験状況

② 過電流発火による防火シート健全性試験

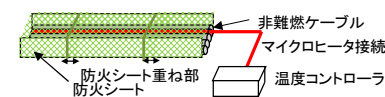
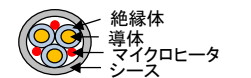
- 過電流によるケーブル発火を模擬して防火シートの健全性を確認する

【予備試験】

- ケーブル内部に設置したマイクロヒータで650°Cまで加熱しケーブルが発火することを確認する

【過電流発火模擬試験】

- 発火源: 高圧電力ケーブル(非難燃)325mm²
- 可燃物量: 絶縁体が多い高圧ケーブル4本(発火源含む)
- 保守的に防火シートとケーブル間に隙間模擬



実証試験結果

(1) 自己消火性

ケーブルの種類(回路種別)	絶縁材/シース	外径(mm)	最大残炎時間(秒)	表示旗の損傷(%)	綿の燃焼	判定結果
計装ケーブル	架橋ポリエチレン/ビニル	9.5	12	0	無	良
制御ケーブル		9.9	13	0	無	良
低圧電力ケーブル		14.5	16	0	無	良
		19	0	0	無	良

評価

(1) 自己消火性

- ケーブル単体で自己消火性を有することを確認

(2) 耐延焼性

① 内部の火災模擬試験

供試体	ケーブルの種類(回路種別)	絶縁材/シース	ケーブル量	バーナ熱量(kW)	トレイ設置方向	隙間有無/ファイアストップパ有無	最大損傷長(mm)	判定結果(燃え止まること)
複合体	低圧電力ケーブル	架橋ポリエチレン/ビニル	満載	20	水平	隙間あり/ストップパなし	740	良
					勾配45°		850	良
					垂直	隙間あり/ストップパあり	1,280*	良
						隙間なし/ストップパあり	1,070	良

※: ケーブルと防火シートに隙間があるため、バーナでケーブルトレイが加熱されケーブルシース接触部が変形

(ファイアストップパとバーナの距離: 1,075~1,150mm
ファイアストップパ幅: 75mm)



勾配45°:
隙間あり/ストップパなし
最大損傷長: 850mm



垂直:
隙間あり/ストップパあり
最大損傷長: 1,280mm

ケーブルは観察のために引き出したもの

(参考) 波状敷設試験

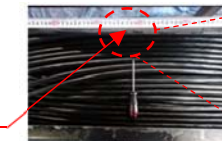
供試体	ケーブルの種類(回路種別)	絶縁材/シース	ケーブル量	バーナ熱量(kW)	トレイ設置方向	隙間有無	最大損傷長(mm)	判定結果(燃え止まること)
複合体	低圧電力ケーブル	架橋ポリエチレン/ビニル	満載(波状)	20	水平	あり	1,690	良

供試体(断面)



火源方向: →

最大損傷長



② 過電流発火による防火シート健全性試験

供試体	ケーブルの種類(回路種別)	ケーブル量	トレイ設置方向	複合体外部へ連続した火災の噴出	判定
複合体	高圧電力ケーブル	1層敷設	水平	無	良

試験前



試験経過 70分(ケーブル発火時)



試験経過 90分(ケーブル燃焼中)



試験後



② 過電流発火による遮炎性試験

- 過電流を模擬した内部発火においても、防火シートが健全であることを確認した

◆ 結論: 複合体内部の火災について、設計目標を達成できることを確認

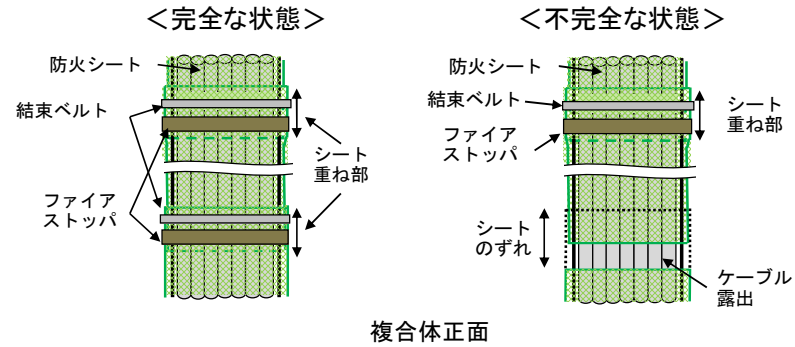
実証試験実施機関
一般社団法人 電線総合技術センター

3.5 複合体の不完全な状態を仮定した場合の実証試験結果

【耐燃焼試験供試体】

◆ 防火シートのずれ

- ファイアストップ及び結束ベルトが1箇所外れ防火シートがずれ(約300mm)ケーブルが露出した状態を仮定



◆ 防火シートの傷

- 資機材の運搬等で防火シートに貫通する傷がついてケーブルが露出したことを仮定
- 防火シートに傷がついた状態は、防火シートがずれてケーブルが露出する状態と同じであるため、防火シートのずれ模擬に包絡

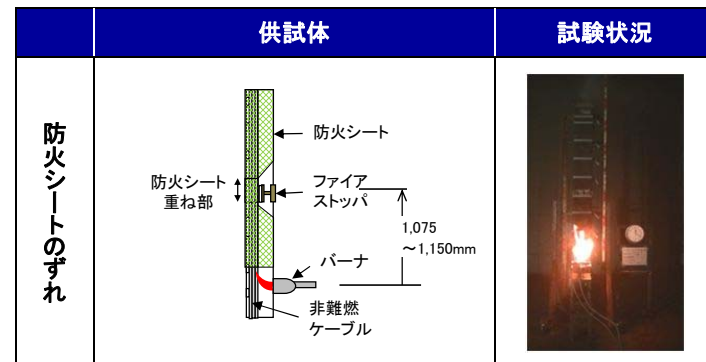


確認項目

(1) 複合体外部の火災

① 防火シートのずれ

- 防火シートがずれたところに火源を仮定し耐燃焼性を確認する
- ファイアストップの設置位置:バーナからの距離 1,075mm~1,150mm
(ケーブル着火部:防火シート端部から 150mm 下部(防火シート 1,000mm+バーナまで 150mm=1,150mm(ファイアストップ幅:75mm))

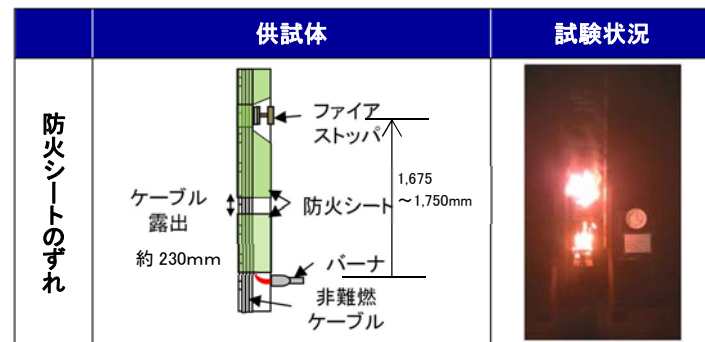


・試験回数:1回

(2) 複合体内部の火災

① 防火シートのずれ

- ファイアストップ及び結束ベルト1箇所が外れ、ケーブルが露出した状態で内部発火を想定し、バーナでケーブルに強制着火させ耐燃焼性を確認する
- ファイアストップの設置位置:バーナからの距離 1,675mm~1,750mm
(ケーブル着火部:防火シート端部から 150mm(防火シート 1000mm+ケーブル露出約 230mm+シート約 370mm+バーナまで 150mm)=1750mm(ファイアストップ幅 75mm))



・試験回数:1回

実証試験結果

(1) 複合体外部の火災

① 防火シートのずれ(防火シートの傷)

供試体	トレイ設置方向	ケーブルの種類(回路種別)	絶縁材/シース	ケーブル量	バーナ熱量(kW)	防火シートのずれ(mm)	最大損傷長(mm)	判定結果(燃え止まること)
複合体	垂直	低圧電力ケーブル	架橋ポリエチレン/ビニル	満載	20	300(露出:200)	1,280*	良

※:ケーブルと防火シートに隙間があるため、バーナでケーブルトレイが加熱されケーブルシースの接触部表面が変形



(2) 複合体内部の火災

① 防火シートのずれ(防火シートの傷)

供試体	トレイ設置方向	ケーブルの種類(回路種別)	絶縁材/シース	ケーブル量	バーナ熱量(kW)	防火シートのずれ(mm)	最大損傷長(mm)	判定結果(燃え止まること)
複合体	垂直	低圧電力ケーブル	架橋ポリエチレン/ビニル	満載	20	330(露出:230)	1,770	良



評価

(1) 複合体外部の火災

① 防火シートのずれ(防火シートの傷)

- 加熱源除去後、複合体内部のケーブルが燃え止まることを確認

(2) 複合体内部の火災

① 防火シートのずれ(防火シートの傷)

- 加熱源除去後、複合体内部のケーブルが燃え止まることを確認

◆ 結論:複合体の不完全な状態を仮定した場合について、設計目標を達成できることを確認

実証試験実施機関
一般社団法人 電線総合技術センター

4. その他複合体の安全機能に係る設計の妥当性確認（防火シート機能及びケーブル・ケーブルトレイ機能に対する確認結果）

確認項目

<p>(1)防火シート等の耐久性試験</p> <p>①実機使用環境下における防火シート・結束ベルトの耐久性</p> <p><目的> 実機使用環境を想定し、防火シート・結束ベルトの耐久性を確認</p> <p><確認方法> 各 JIS に準拠した、耐寒、耐水、耐薬品、耐油、耐塩水性の各試験</p>
<p>②高温及び放射線環境下における防火シート・結束ベルトの耐久性</p> <p><目的> 高温及び放射線環境下における防火シート・結束ベルトの耐久性を確認</p> <p><確認方法> ・高温環境及び放射線環境を模擬 ・電気学会技術報告に準拠させた劣化試験による試験前後の外観及び酸素指数</p>
<p>③複合体の外力(地震)による健全性</p> <p><目的> 想定する外力(地震)で結束ベルトが外れないこと、ケーブルが露出しないこと及び垂直トレイではファイアストップが外れないことを確認</p> <p><確認方法> ・実機を模擬して保守的な加速度(水平トレイ:4G, 垂直トレイ:3G) ・JIS 及び原子力発電所耐震指針(JEAG4601)に準拠した加振試験</p>
<p>(2)防火シートによる電氣的機能への影響確認</p> <p>①通電機能への影響確認</p> <p><目的> 防火シートで覆うことによる放熱性の低下が、ケーブルの通電機能に対し影響しないかを確認</p> <p><確認方法> IEEE848-1996 に準拠した電流低減率試験</p>
<p>②絶縁機能への影響確認</p> <p><目的> 防火シートがケーブルに直接接触し、ケーブルの絶縁性能に対し影響しないかを確認</p> <p><確認方法> a. JIS に準拠した絶縁抵抗測定試験 b. JIS に準拠した耐電圧試験</p>
<p>(3) 防火シートによる機械的機能への影響確認</p> <p>①防火シートによる化学的影響</p> <p><目的> 防火シートがケーブルへ直接接触する影響を確認</p> <p><確認方法> JIS に準拠した pH 測定試験</p>
<p>②防火シートによる耐震性低下</p> <p><目的> 複合体の形成に伴う重量増加により、ケーブルトレイのケーブルの保持機能に影響がないことを確認</p> <p><確認方法> 複合体形成後の増加する重量を算出し裕度を評価</p>

実証試験結果

<p>(1)防火シート等の耐久性試験</p> <p>①実機使用環境下における防火シート・結束ベルトの耐久性試験結果</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>試験項目</th> <th>準拠規格</th> <th>試験対象</th> <th>判定基準</th> <th>判定結果</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>耐寒性</td> <td>JIS C 3605</td> <td rowspan="5">防火シート、結束ベルト</td> <td rowspan="5">試験前後の外観に異常がないこと(割れ、膨れ、変色)</td> <td>良</td> </tr> <tr> <td>耐水性</td> <td>JIS K 5600-6-2</td> <td>良</td> </tr> <tr> <td>耐薬品性</td> <td>JIS K 5600-6-1</td> <td>良</td> </tr> <tr> <td>耐油性</td> <td>JIS C 2320(1種2号)</td> <td>良</td> </tr> <tr> <td>耐塩水性</td> <td>JIS K 5600</td> <td>良</td> </tr> </tbody> </table>	試験項目	準拠規格	試験対象	判定基準	判定結果	耐寒性	JIS C 3605	防火シート、結束ベルト	試験前後の外観に異常がないこと(割れ、膨れ、変色)	良	耐水性	JIS K 5600-6-2	良	耐薬品性	JIS K 5600-6-1	良	耐油性	JIS C 2320(1種2号)	良	耐塩水性	JIS K 5600	良		
試験項目	準拠規格	試験対象	判定基準	判定結果																				
耐寒性	JIS C 3605	防火シート、結束ベルト	試験前後の外観に異常がないこと(割れ、膨れ、変色)	良																				
耐水性	JIS K 5600-6-2			良																				
耐薬品性	JIS K 5600-6-1			良																				
耐油性	JIS C 2320(1種2号)			良																				
耐塩水性	JIS K 5600			良																				
<p>②高温及び放射線環境下における防火シート・結束ベルトの耐久性試験結果</p> <p><判定基準> 劣化後のシート及びベルト</p> <p>①外観に割れ、膨れ、変色がないこと ②酸素指数値が、シート初期値を上回っていること</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th rowspan="2">想定年数</th> <th colspan="2">外観変化 (割れ、膨れ、変色)</th> <th colspan="2">酸素指数</th> </tr> <tr> <th>シート</th> <th>ベルト</th> <th>シート</th> <th>ベルト</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>初期</td> <td>—</td> <td>—</td> <td>40.4</td> <td>63</td> </tr> <tr> <td>40年</td> <td>無</td> <td>無</td> <td>70以上</td> <td>45</td> </tr> <tr> <td>判定結果</td> <td>良</td> <td>良</td> <td>良</td> <td>良</td> </tr> </tbody> </table> <p>熱加速劣化後の状態</p> 	想定年数	外観変化 (割れ、膨れ、変色)		酸素指数		シート	ベルト	シート	ベルト	初期	—	—	40.4	63	40年	無	無	70以上	45	判定結果	良	良	良	良
想定年数		外観変化 (割れ、膨れ、変色)		酸素指数																				
	シート	ベルト	シート	ベルト																				
初期	—	—	40.4	63																				
40年	無	無	70以上	45																				
判定結果	良	良	良	良																				
<p>③複合体の外力(地震)による健全性</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>対象トレイ</th> <th>結束ベルトの外れ</th> <th>ファイアストップの外れ</th> <th>ケーブルの露出</th> <th>判定結果</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>水平トレイ</td> <td>無</td> <td>—</td> <td>無</td> <td>良</td> </tr> <tr> <td>垂直トレイ</td> <td>無</td> <td>無</td> <td>無</td> <td>良</td> </tr> </tbody> </table> <p><供試体> ラダートレイ、低圧電力ケーブル満載(占積率 40%)、防火塗料有、防火シート施工、結束ベルト締付、ファイアストップ設置</p> <p>「JIS C60068-2-6 正弦波振動試験方法」 「JIS C60068-3-6 機器の耐震試験方法」</p> 	対象トレイ	結束ベルトの外れ	ファイアストップの外れ	ケーブルの露出	判定結果	水平トレイ	無	—	無	良	垂直トレイ	無	無	無	良									
対象トレイ	結束ベルトの外れ	ファイアストップの外れ	ケーブルの露出	判定結果																				
水平トレイ	無	—	無	良																				
垂直トレイ	無	無	無	良																				
<p>(2) 防火シートによる電氣的機能への影響確認</p> <p>①通電機能への影響確認(放熱性低下の影響)</p> <p>・防火シートがある場合の電流低減率: 約 13.4% (電流低減率は電流余裕の範囲内(約 34%)にあり問題なし)</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>ケーブル設計電流(A)</th> <th>定格電流(A)</th> <th>設計裕度(%)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>97</td> <td>72</td> <td>34</td> </tr> </tbody> </table> <p>IEEE848-1996 試験概要</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>試験規格</th> <th>備考</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>IEEE848-1996</td> <td></td> </tr> <tr> <td>ケーブル仕様</td> <td>外径 17.5mm</td> </tr> <tr> <td>トレイ形状</td> <td>幅 600mm、高さ 120mm、長さ 3,660mm</td> </tr> <tr> <td>ケーブル配列</td> <td>22本×3段</td> </tr> <tr> <td>ラダータイプ</td> <td>全 30本</td> </tr> <tr> <td>防火シート</td> <td>有</td> </tr> </tbody> </table> <p>・ケーブル全数に通電 ・導体温度が約 90℃になるよう電流を調整 ・導体温度が安定した 3 時間の温度を測定 ・防火シート施工前後のケーブル電流低減率を評価</p>	ケーブル設計電流(A)	定格電流(A)	設計裕度(%)	97	72	34	試験規格	備考	IEEE848-1996		ケーブル仕様	外径 17.5mm	トレイ形状	幅 600mm、高さ 120mm、長さ 3,660mm	ケーブル配列	22本×3段	ラダータイプ	全 30本	防火シート	有				
ケーブル設計電流(A)	定格電流(A)	設計裕度(%)																						
97	72	34																						
試験規格	備考																							
IEEE848-1996																								
ケーブル仕様	外径 17.5mm																							
トレイ形状	幅 600mm、高さ 120mm、長さ 3,660mm																							
ケーブル配列	22本×3段																							
ラダータイプ	全 30本																							
防火シート	有																							
<p>②絶縁機能への影響確認(防火シートとケーブルの接触による電氣的機能(絶縁)への影響)</p> <p>a. 絶縁抵抗測定試験結果 「JIS C 3005 ゴム・プラスチック絶縁電線試験方法」 ・水中に 1 時間以上浸し、規定電圧(直流: 100V 以上)を 1 分間印加してもケーブルの絶縁抵抗値の低下がないことを確認</p> <p>b. 耐電圧試験結果 「JIS C 3605 600V ポリエチレンケーブル」 ・規定電圧(交流: 1500V)で 1 分間耐えることを確認</p> <p>※試験体: 低圧電力ケーブル(14.5mm)</p> 																								
<p>(3) 防火シートによる機械的機能への影響確認</p> <p>①防火シートによる化学的影響</p> <p>「JIS K 6833-1 5.3 接着剤—一般試験方法—第 1 部」 判定基準: 中性の範囲(pH6~8) ・測定値(pH): 6.4</p> <p>※試験体: 防火シート</p>																								
<p>②防火シートによる耐震性低下</p> <p>判定基準: 重量余裕の範囲内</p> <p>・重量増加率(ラダー): (最大)3.3% < 設計重量の余裕: 5% ・重量増加率(ソリッド): (最大)4.0% < 設計重量の余裕: 14%</p> 																								

評価

<p>(1)防火シート等の耐久性試験</p> <p>①実機使用環境下において耐久性を有していることを確認</p>
<p>②高温及び放射線環境下において耐久性を有していることを確認</p> <p>(※酸素指数は値が多くなるほど燃焼継続に多くの酸素量を必要とすることを表す(燃えにくさ))</p>
<p>③外力(地震)によって、外れないこと、露出しないことを確認</p>
<p>(2)電氣的機能への影響確認</p> <p>①放熱性の低下が、ケーブルの通電機能に対し影響しないことを確認</p>
<p>②ケーブルに直接接触しても、ケーブルの絶縁性能に対し影響しないことを確認</p>
<p>(3)機械的機能への影響確認</p> <p>①pH 測定値が中性の範囲内であり、防火シートが直接接触してもシースを損傷させないことを確認</p>
<p>②重量増加がケーブルトレイの重量余裕の範囲内であることを確認</p>

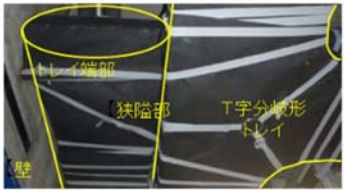


5. 代替措置の実機施工性の検討

- ◆ 実機のトレイ全長を調査し、全てのトレイ形状を確認
- ◆ トレイ形状毎に実機トレイを用いて施工性を確認(右表のとおり)

【実機ケーブルトレイの敷設状況】

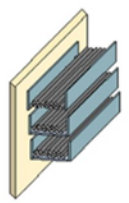
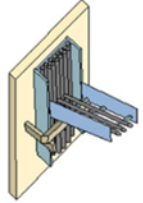

No	設置場所	回路種別	トレイ設置方向	トレイ長さ(m)	備考
1	原子炉棟	低圧電力	水平	約1,000	トレイ全長: 約3,400m
2			垂直	約100	
3		制御	水平	約1,300	
4			垂直	約100	
5		計装	水平	約700	
6			垂直	約200	
7	附属棟 (DG室含む)	低圧電力	水平	約1,000	トレイ全長: 約4,000m
8			垂直	約100	
9		制御	水平	約1,900	
10			垂直	約100	
11		計装	水平	約800	
12			垂直	約100	

- ◆ 狭隘となる壁の干渉部及びトレイの端部, トレイの合流部, T字分岐形トレイ, 傾斜トレイ等について施工可能であることを実機トレイにて確認

狭隘部
 (壁の干渉部, トレイ端部)
 T字分岐形トレイ

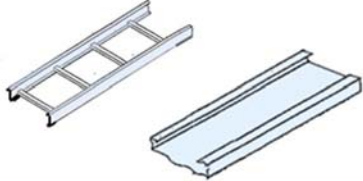



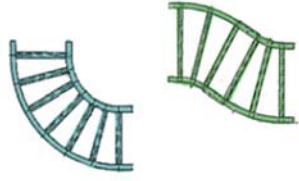



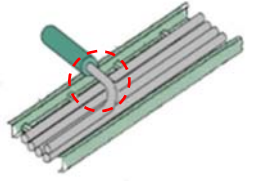



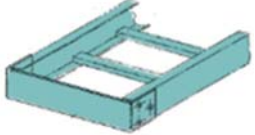

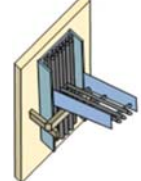

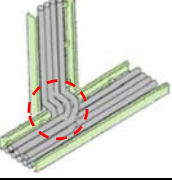

【実機トレイを用いた代替措置の施工性を確認した状況】

【狭隘となる壁の干渉部等の概要図】

- ◆ 施工時の品質管理については、今後、施工手順や判定基準を明確に定める。
- ◆ 維持管理についても計画的な点検を保全計画に反映する。

【複合体施工状態確認】

No.	トレイ形状	構造図	複合体施工例
1	直線形状の水平型		
2	直線形状の垂直型		
3	L字形 S字形		
4	T字分岐形 十字分岐形		
5	電線管分岐(躯体貫通部)		
6	傾斜型		
7	トレイ端部		
8	トレイ合流部垂直 (同じ向き)		
9	トレイ合流部垂直 (異なる向き)		

6. まとめ

複合体は、難燃性能に関して設定した以下の設計目標を確保できることを確認した。

- I. 複合体外部の火災に対して、難燃ケーブルと同等以上の難燃性能を確保
- II. 複合体内部の火災に対して、難燃ケーブルと同等の難燃性能を確保
- III. 想定外の施工不良、傷等により複合体の不完全な状態を仮定しても、耐延焼性を確保

また、設計上考慮すべき事項として抽出した耐久性、耐震性、施工性、ケーブル及びケーブルトレイの安全機能に対する設計の妥当性を確認した。