

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 6 月 22 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、安全上の課題を回避し、基準に適合する代替措置が適用でき、難燃ケーブルと比較した場合、火災リスクの有意な増加がない範囲に限って、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）

添付資料

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災に対し、防火シートにより複合体外部からの火炎を遮断し、非難燃ケーブルの延焼（外部の火災からの伝熱による損傷及び発火）を抑制
 - (3) 複合体として内部の火災（過電流発火）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

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災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

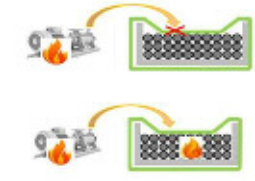
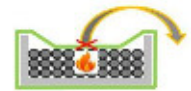
【設計目標】

- 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を確保する
- II. 複合体内部の火災に対して、難燃性を確保する
- 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
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
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
可燃物（ケーブル）		ケーブル自体が可燃物であるため、ケーブルを排除することは不可能

項目	複合体	
構成材料の自己消火性	不燃材の防火シート等を使用	
外部の火災に対する耐延焼性	・防火シートによる複合体外部からの火炎遮断 ・伝熱によるケーブル損傷及び発火を抑制	
内部の火災に対する耐延焼性	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	
	防火シートの遮炎性による上段トレイへの延焼抑制（添付1）	

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 ※：規格基準がないため保安水準を設定	3. 1～3. 5
		耐久性	腐食等	薬品等に対する耐久性を有すること	4. (1)①
			経年劣化	熱・放射線に対する耐久性を有すること	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	放熱性の低下	放熱性の低下がケーブルの通電機能に影響しないこと	4. (2)①
		絶縁体の許容温度の範囲内で機器等の使用電流が通電できること			
	絶縁機能	絶縁性能低下	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	4. (2)②	
	ケーブルの絶縁機能に影響を与えないこと				
	機械的 機能	シースによる 絶縁体保護機能	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スが損傷しないこと	4. (3)①
		ケーブルを外的要因から保護できること			
		ケーブルトレイの保持機能	化学的影響	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	4. (3)①
			耐震性低下	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)②
敷設されるケーブルを保持できること					

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(ISO834 加熱曲線)	防火シート損傷, 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	b. 防火シート重ね部加熱試験(建築基準法遮炎性試験)		防火シート重ね部からの火炎噴出がないこと
				a. 耐延焼性試験(伝熱による損傷)(難燃ケーブルの耐延焼性試験と同じ加熱条件 パーナ熱量 20kW, 加熱時間 20 分)		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)	左記試験の判定条件を満足すること
		(2) 耐延焼性	燃焼の3要素のうち酸素量を抑制	① 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
		[設計/施工仕様] ◆ 防火シート/ファイアストッ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合体内酸素量の抑制(図2)	② ケーブルの耐延焼性	ケーブルを燃焼させ加熱源を除去した場合, 延焼が停止することを確認する試験		ケーブルの延焼が停止する(燃え止まる)こと
				① ファイアストッパ1箇所脱落状態におけるケーブルの延焼停止(図3)	ケーブルを燃焼させ加熱源を除去した場合, 延焼が停止することを確認する試験	ケーブルの延焼が停止する(燃え止まる)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 ファイアストッパ1箇所脱落状態におけるケーブルの延焼停止(図3)		
[複合体の不完全な状態での火災] ◆ 想定外の施工不良, 傷等による複合体の不完全な状態までも考慮し, 安全余裕(設計裕度)を持たせた難燃性能の確保を目標として設定		[設計/施工仕様] ◆ <u>ファイアストッパ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パの設置間隔を 900 mmに設定(図1)</u>				

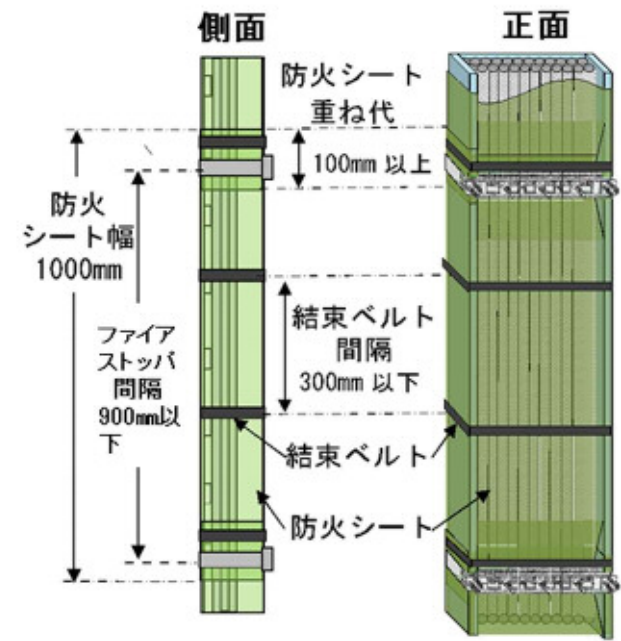


図1 複合体設計・施工仕様

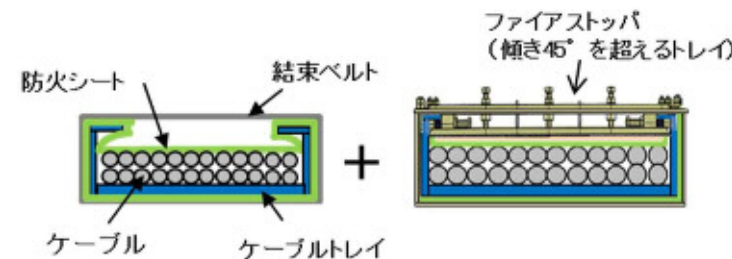
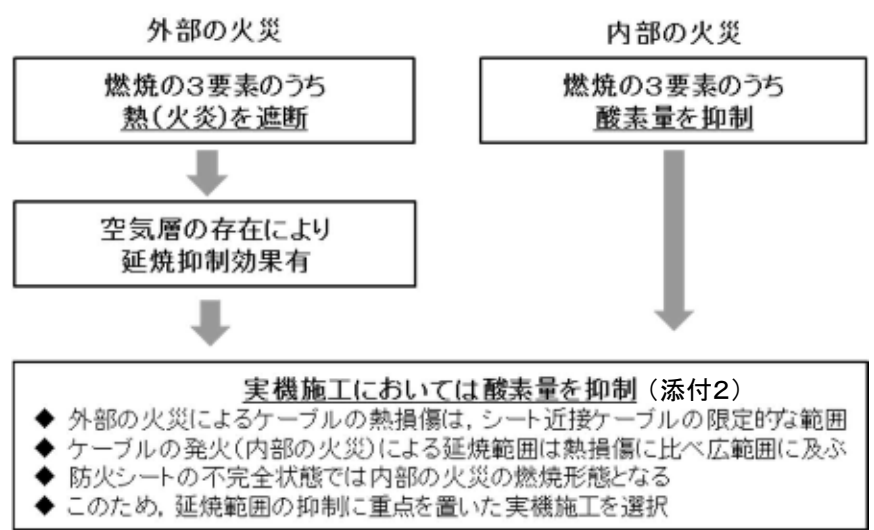


図2 複合体設計・施工仕様(断面図)



- 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)
 - ファイアストッパ
 - ・鋼材: SS400, SCM435 亜鉛メッキ
 - ・傾き 45° を超えるトレイに設置(延焼性試験により妥当性確認)
 - ・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	幅: 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)	幅: 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①: ケーブル種類・サイズ

＜代表ケーブル選定の考え方＞

ケーブルリスト

非難燃ケーブル抽出

回路種別毎に整理

回路種別毎に25mm以下のケーブル抽出
(電気学会技術報告書を基に損傷長が長くなるケーブルを選択)

耐延焼性試験にて代表ケーブル選定

①回路種別毎に選択されたケーブルに対して、耐延焼性試験実施

②低圧電力及び制御ケーブルは、ケーブル量が設計最大量(実機を模擬)の状態でも耐延焼試験実施

ケーブル: 少量敷設
バーナ熱量: 20kW
加熱時間: 20分

防火シート

少量敷設断面
(少量: ケーブル外径の1/2間隔開けて1層敷設)

バーナ

ケーブル: 設計最大量敷設
バーナ熱量: 20kW
加熱時間: 20分

防火シート

設計最大量: 占積率 40%
(敷設量上限)

バーナ

＜燃焼試験の結果＞

代表ケーブルとして低圧電力ケーブル(外径: 14.5mm)を選定

回路種別	絶縁材	シース材	試験ケーブル外径(mm)	少量敷設試験最大損傷長平均(mm)	設計最大量敷設試験最大損傷長平均(mm)
計装			9.5	763	
制御	架橋ポリエチレン	ビニル	9.9	840	635
低圧電力			14.5	800	663
			19	595	

補足②: 延焼防止材

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	影響なし
		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	

延焼防止材は複合体の機能に影響を及ぼさない

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)

【整線敷設】

【波状敷設】

※: 波状状態とは1層ごとにケーブルを編み込んだものを設計最大量敷設した形態。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

補足④: トレイタイプ

【ラダータイプ】

【ソリッドタイプ】

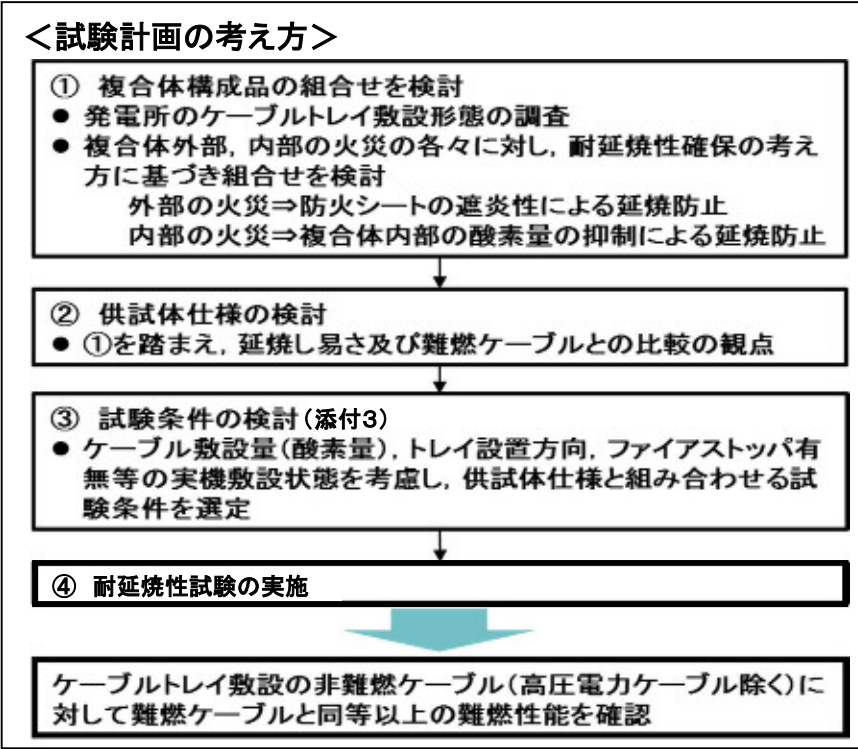
【ケーブル単体部】

補足⑤: トレイ形状

トレイ形状	構造(例)	トレイ形状	構造(例)
直線形		傾斜形	
L字形		T字分岐形	
十字分岐形		S字型	

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/シートの隙間)】

少量(隙間大)	設計最大量(隙間小)	少量/満杯(密着)
断面図	断面図	断面図

◆ 外部火災: ケーブルと防火シート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: バーナとファイアストップパの距離】

ファイアストップパの位置を変化させ、耐延焼性の効果を確認

① 近距離 ② 中距離 ③ 長距離

① 362.5mm
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)

② 662.5mm
2つ目の結束ベルトの下端(①+300mm)

③ 1,262.5mm
十分に離れた位置(①+900mm)

300mm: 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/シートの隙間) (添付4)	少量(隙間大) 設計最大量(隙間小) 満杯(密着)	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)	少量 設計最大量 満杯	可燃物量の多い敷設量
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)	3.3(2)② 垂直 水平(参考)	3.4(2)① 垂直 勾配 45° 水平(参考)
ファイアストップパ	有/無	水平トレイを包絡する条件及び効果の確認	3.3(2)② 垂直: 有/無	必要性及び効果の確認 垂直: 有/無
バーナとファイアストップパの距離		距離による伝熱の影響を確認(補足⑧)	3.3(2)②③ 近距離 中距離 長距離	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
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じ熱量	3.3(2)③ 20kW 30kW(参考)	3.4(2)① 着火に十分な熱量 20kW

＜複合体の外部の火災に対する試験条件(概要)＞

垂直トレイ (45°を超えるもの)	試験条件
実機施工範囲	実機状態模擬
	ケーブル1層+シート密着(ケーブル量が少ない場合) 防火シート バーナ ケーブル1層+シート密着(可燃物量は少ないが、シートは密着し熱は伝わり易い状態)
	設計最大量+シート密着(ケーブル量が最大の場合) 防火シート バーナ ケーブル満杯+シート密着(ケーブルをトレイ満杯に敷設しケーブルへの伝熱を促進)

＜複合体の内部の火災に対する試験条件(概要)＞

垂直トレイ (45°を超えるもの)	試験条件	
実機施工範囲	実機模擬状態	ばらつきを考慮した保守的な状態
	ケーブル1層+シート密着(ケーブル量が少ない場合) ファイアストップパ バーナ 非難燃ケーブル	シート密着していない状態(酸素多)で内部の可燃物(ケーブル量)は設計最大量であり、最も保守的な延焼条件
	設計最大量+シート密着(ケーブル量が最大の場合)	

※外部火災模擬では、内部火災模擬と異なり、空気層は伝熱を抑制因子

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		実証試験結果		評価																																							
(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		(1)自己消火性 ・同左		(1)自己消火性 ・同左																																							
(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)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 <table><tr><th>加熱時間(分)</th><th>試験回数</th><th>火炎が通るき裂等の損傷及び隙間</th><th>判定</th></tr><tr><td>70※</td><td>3</td><td>無</td><td>良</td></tr></table> ※: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) <table><tr><th>加熱時間(分)</th><th>試験回数</th><th>火炎が通るき裂等の損傷及び隙間</th><th>非加熱側で10秒を超えて継続する発火</th><th>非加熱側へ10秒を超えて連続する火炎の噴出</th><th>判定</th></tr><tr><td>20</td><td>2</td><td>無</td><td>無</td><td>無</td><td>良</td></tr></table>		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	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	試験前 試験後 試験前 試験後																			
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																																								
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。 ケーブルトレイ 難燃ケーブル バーナ 難燃ケーブル 複合体 試験回数:1〜3回		②耐延焼性試験 <table><tr><th>供試体</th><th>トレイ設置方向</th><th>ケーブルの種類(回路種別)</th><th>絶縁材／シース</th><th>ケーブル量</th><th>バーナ熱量(kW)</th><th>最大損傷長(mm)</th><th>判定結果(燃え止まること)</th></tr><tr><td rowspan="3">複合体</td><td rowspan="3">垂直</td><td rowspan="3">低圧電力ケーブル</td><td rowspan="3">架橋ポリエチレン／ビニル</td><td>少量</td><td rowspan="3">20</td><td>570</td><td>良</td></tr><tr><td>設計最大量</td><td>663</td><td>良</td></tr><tr><td>満杯</td><td>980</td><td>良</td></tr><tr><td>難燃ケーブル</td><td></td><td></td><td>難燃架橋ポリエチレン／難燃ビニル</td><td>少量</td><td></td><td>1,010</td><td>良</td></tr><tr><td></td><td></td><td></td><td></td><td>設計最大量</td><td></td><td>1,780</td><td>良</td></tr></table> ※:難燃ケーブルの損傷長さは、少量の場合1010mm、設計最大量の場合1780mmである。設計最大量より更にケーブル量が多い状態では設計最大量の場合より損傷は長くなる。一方、ケーブル満杯での複合体の損傷長さは、980mmであり、難燃ケーブル設計最大量の損傷長さより短いため、難燃ケーブル満杯での試験は不要と判断した。 実機状態を模擬した耐延焼性試験 最大損傷長(mm) 設計最大量 少量 満杯 設計最大量 少量 難燃ケーブル 複合体		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	設計最大量	663	良	満杯	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					設計最大量		1,780	良	②耐延焼性試験 ・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	
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																																				
				設計最大量		663	良																																				
				満杯		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																																				
				設計最大量		1,780	良																																				
(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。 供試体概要 複合体断面 ・試験回数:1回		(参考1)水平トレイでの延焼性を確認する試験 <table><tr><th>供試体</th><th>トレイ設置方向</th><th>ケーブルの種類(回路種別)</th><th>絶縁材／シース</th><th>ケーブル量</th><th>バーナ熱量(kW)</th><th>最大損傷長(mm)</th><th>判定結果(燃え止まること)</th></tr><tr><td>複合体</td><td>水平</td><td>低圧電力ケーブル</td><td>架橋ポリエチレン／ビニル</td><td>設計最大量</td><td>20</td><td>740</td><td>良</td></tr></table>		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	設計最大量	20	740	良	(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																							
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	設計最大量	20	740	良																																				
③加熱源とファイアストップパ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パの位置関係による耐延焼性への影響を確認する。 ①近距離 ②中距離 ③長距離 ①近距離 ②中距離 ③長距離 ・試験回数:各1回		③加熱源とファイアストップパの距離による影響の確認試験 <table><tr><th>供試体</th><th>トレイ設置方向</th><th>ケーブルの種類(回路種別)</th><th>絶縁材／シース</th><th>ケーブル量</th><th>バーナ熱量(kW)</th><th>ファイアストップパとバーナの距離※1(mm)</th><th>最大損傷長(mm)</th><th>判定結果(燃え止まること)</th></tr><tr><td rowspan="3">複合体</td><td rowspan="3">垂直</td><td rowspan="3">低圧電力ケーブル</td><td rowspan="3">架橋ポリエチレン／ビニル</td><td rowspan="3">設計最大量</td><td rowspan="3">20</td><td>362.5</td><td>1,220</td><td>良</td></tr><tr><td>662.5</td><td>890</td><td>良</td></tr><tr><td>1,262.5</td><td>760</td><td>良</td></tr><tr><td>難燃ケーブル</td><td></td><td></td><td>難燃架橋ポリエチレン／難燃ビニル</td><td></td><td></td><td>—</td><td>1,780※2</td><td>良</td></tr></table> ※1:加熱源とファイアストップパが近い程、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 ばらつきの評価 (ファイアストップパとバーナの距離) 最大損傷長(mm) 難燃ケーブル 362.5mm 662.5mm 1,262.5mm 複合体		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)	ファイアストップパとバーナの距離※1(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	設計最大量	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※2	良	③加熱源とファイアストップパ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						
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)	ファイアストップパとバーナの距離※1(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	設計最大量	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※2	良																																			
(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		(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 <table><tr><th>供試体</th><th>トレイ設置方向</th><th>ケーブルの種類(回路種別)</th><th>絶縁材／シース</th><th>ケーブル量</th><th>バーナ熱量(kW)</th><th>最大損傷長(mm)</th><th>判定結果(燃え止まること)</th></tr><tr><td rowspan="3">複合体</td><td rowspan="3">垂直</td><td rowspan="3">低圧電力ケーブル</td><td rowspan="3">架橋ポリエチレン／ビニル</td><td rowspan="3">設計最大量</td><td rowspan="3">30</td><td>1,010</td><td>良</td></tr><tr><td>930</td><td>良</td></tr><tr><td>2,030</td><td>良</td></tr><tr><td>難燃ケーブル</td><td></td><td></td><td>難燃架橋ポリエチレン／難燃ビニル</td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr></table> バーナ加熱熱量を変化させた試験 最大損傷長(mm) 難燃ケーブル 複合体		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	設計最大量	30	1,010	良	930	良	2,030	良	難燃ケーブル			難燃架橋ポリエチレン／難燃ビニル					(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											
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	設計最大量	30	1,010	良																																				
						930	良																																				
						2,030	良																																				
難燃ケーブル			難燃架橋ポリエチレン／難燃ビニル																																								
◆ 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
・15 秒着火, 15 秒休止: 5 回	・残炎(燃焼)が 60 秒未満
・バーナ熱量: 500W	・表示旗: 燃損が 25%以下
	・落下物で綿が燃焼しない

試験実施概要

(2) 耐延焼性

① 内部の火災模擬試験

・外部の火災からの伝熱による発火及び過電流発火に対し, 加熱源の除去により燃え止まることを確認

・ファイアストップパの必要性及び効果を確認

	水平トレイ	勾配 45° トレイ	垂直トレイ
供試体			
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℃ 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

< 予備試験 >

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(外部の火災からの伝熱による発火を含む)

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	設計 最大量	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	設計 最大量 (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) 耐延焼性

① 内部の火災模擬試験

・複合体(ケーブルトレイ)の勾配が 45° 以下では, ファイアストップパがなく, 隙間(空気層)があっても, 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

・複合体(ケーブルトレイ)が垂直方向の場合はファイアストップパにより, 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

(参考) 波状敷設試験

・水平トレイ敷設の複合体において, ケーブル間に隙間がある状態においてもファイアストップパなしで, 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

・ファイアストップパ及び結束ベルトが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

＜完全な状態＞

防火シート

結束ベルト

ファイアストップパ

シート重ね部

＜不完全な状態＞

防火シート

結束ベルト

ファイアストップパ

シート重ね部

シートのずれ

ケーブル露出

複合体正面

◆ 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

防火シート

傷

複合体正面

評価

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延焼性を確認する

・ファイアストップパの設置位置: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(ファイアストップパ幅:75mm))

防火シートのずれ

防火シート

ファイアストップパ

バーナ

非難燃ケーブル

1,075～1,150mm

試験状況

・試験回数:1回

(2) 複合体内部の火災

① 防火シートのずれ

・ファイアストップパ及び結束ベルト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延焼性を確認する

・ファイアストップパの設置位置: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(ファイアストップパ幅 75mm))

防火シートのずれ

ファイアストップパ

ケーブル露出 約 230mm

防火シート

バーナ

非難燃ケーブル

1,675～1,750mm

試験状況

・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	設計 最大量	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

供試体(断面)

最大損傷長 1280mm

ケーブルは観察のために引き出したもの

(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	設計 最大量	20	330(露出:230)	1,770	良

供試体(断面)

最大損傷長 1,770mm

(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

8

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	実証試験結果	評価																								
(1)防火シート等の耐久性試験 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 ＜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 ＜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	(1)防火シート等の耐久性試験 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 <table><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><tr><td>耐寒性</td><td>JIS C 3605</td><td rowspan="4">防火シート、結束ベルト</td><td rowspan="4">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></td><td></td><td>良</td></tr></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	(1)防火シート等の耐久性試験 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
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																						
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 ＜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 ＜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	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 ＜判定基準＞ 劣化後のシート及びベルト 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 	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 (※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))																								
③複合体の外力(地震)による健全性 ＜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パが外れないことを確認(添付5) ＜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	③複合体の外力(地震)による健全性 <table><tr><th>対象トレイ</th><th>結束ベルトの外れ</th><th>ファイアストッパの外れ</th><th>ケーブルの露出</th><th>判定結果</th></tr><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></table> ＜供試体＞ ラダートレイ(直線トレイ)、低圧電力ケーブル設計最大量(占積率 40%)、防火塗料有、防火シート施工、結束ベルト締付、ファイアストッパ設置 	対象トレイ	結束ベルトの外れ	ファイアストッパの外れ	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	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									
対象トレイ	結束ベルトの外れ	ファイアストッパの外れ	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																						
(2)防火シートによる電氣的機能への影響確認 ①通電機能への影響確認 ＜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 ＜確認方法＞ IEEE848-1996 に準拠した電流低減率試験	(2) 防火シートによる電氣的機能への影響確認 ①通電機能への影響確認(放熱性低下の影響) ・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) <table><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><tr><td>97</td><td>72</td><td>34</td></tr></table>  <table><tr><th>試験供試体</th><th>備 考</th></tr><tr><td>試験規格</td><td>IEEE848-1996</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>32 本×3 段</td></tr><tr><td>防火シート</td><td>無 有</td></tr></table> ・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	ケーブル設計電流(A)	定格電流(A)	設計裕度(%)	97	72	34	試験供試体	備 考	試験規格	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	32 本×3 段	防火シート	無 有	(2)電氣的機能への影響確認 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						
ケーブル設計電流(A)	定格電流(A)	設計裕度(%)																								
97	72	34																								
試験供試体	備 考																									
試験規格	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	32 本×3 段																									
防火シート	無 有																									
②絶縁機能への影響確認 ＜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 ＜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	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) 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 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 ※試験体: 低圧電力ケーブル(14.5mm) 	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																								
(3) 防火シートによる機械的機能への影響確認 ①防火シートによる化学的影響 ＜目 的＞ 防火シートがケーブルへ直接接触する影響を確認 ＜確認方法＞ JIS に準拠した pH 測定試験	(3) 防火シートによる機械的機能への影響確認 ①防火シートによる化学的影響 「JIS K 6833-1 5.3 接着剤—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 ※試験体: 防火シート	(3)機械的機能への影響確認 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																								
②防火シートによる耐震性低下 ＜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 ＜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	②防火シートによる耐震性低下 判定基準: 重量余裕の範囲内 ・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% 	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																								

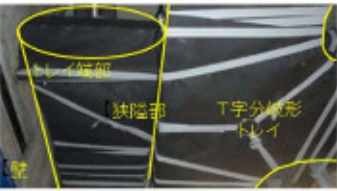
5. 代替措置の実機施工性の検討

- ◆ 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)
(添付6)

【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9,400m
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

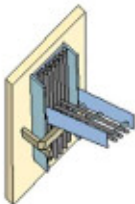


狭隘部
〔壁の干渉部、トレイ端部〕
T字分岐形トレイ

トレイ合流部

傾斜トレイ

【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

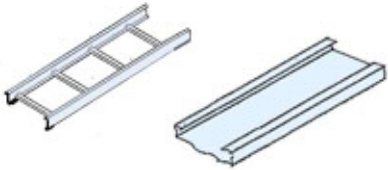
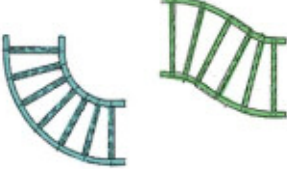
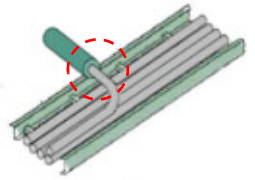
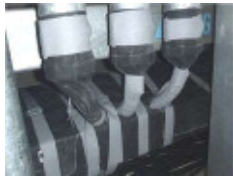
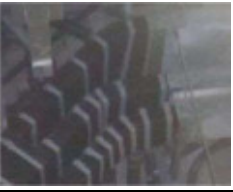
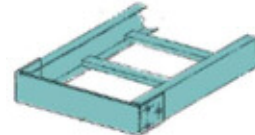
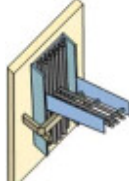
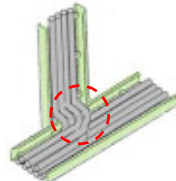
トレイ合流部

傾斜トレイ

【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。

(複合体の設計とその妥当性確認について)

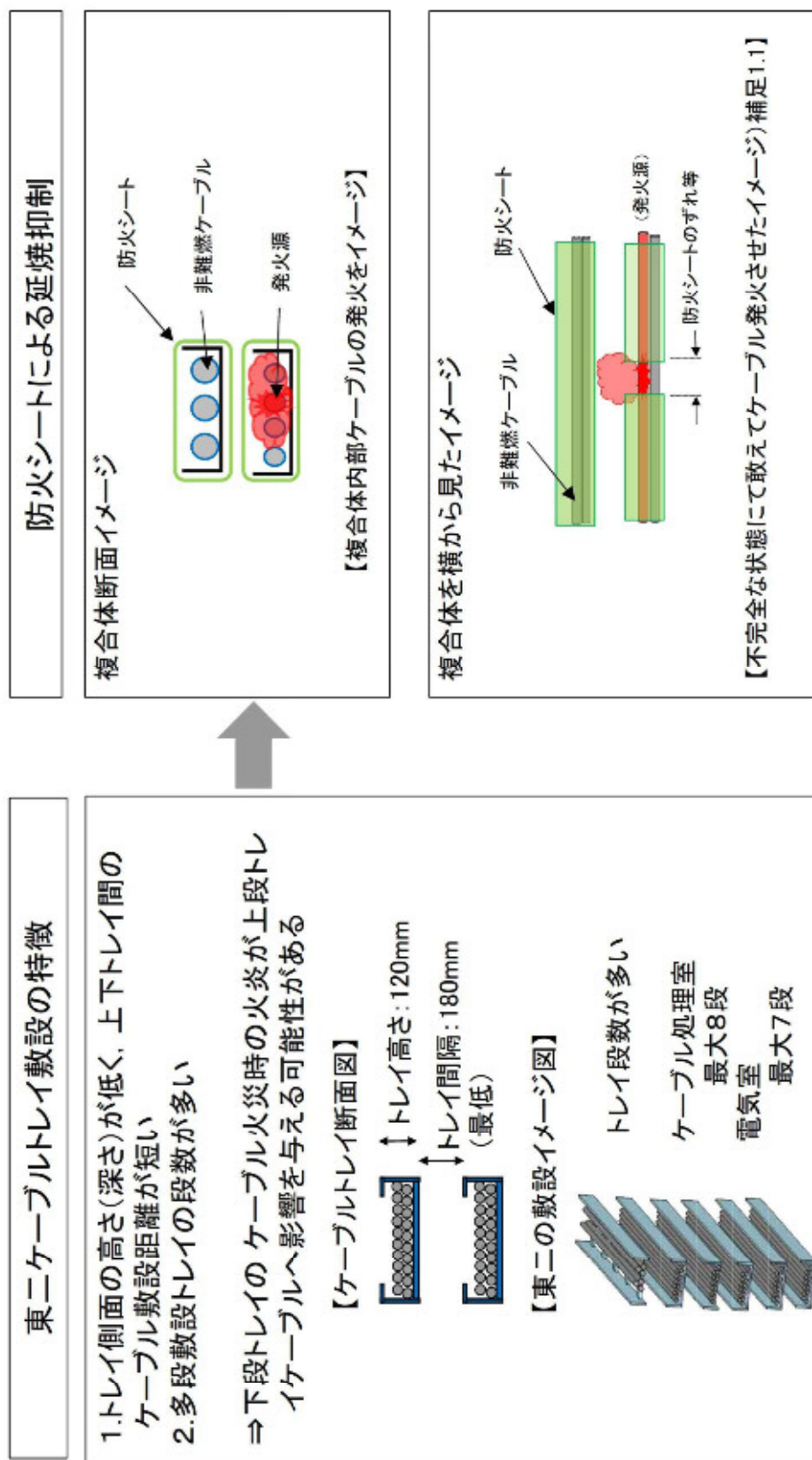
添付資料

添付資料 目次

- 添付1 東海第二のトレイ敷設の特徴を踏まえた防火シートによる延焼抑制
 - 補足1.1 複合体の不完全な状態における延焼性
 - 補足1.2 共通要因による複合体の不完全状態の排除
- 添付2 実機における防火シートの施工
- 添付3 耐延焼性の試験条件について
- 添付4 ケーブル量の定義
- 添付5 直線トレイのみで加振試験することの妥当性・代表性
- 添付6 T字形トレイの斜め掛けベルトの目的, ずれ防止

添付1 東海第二のトレイ敷設の特徴を踏まえた防火シートによる延焼抑制

- ◆ 複合体が設計仕様を満足する状態であることを前提に，東海第二のケーブルトレイ敷設の特徴を踏まえると，防火シートによる上段トレイへの延焼抑制が期待できる。
- ◆ また，複合体が不完全な状態においても火炎の放出範囲が限定的であり，かつ上段トレイの防火シートによる延焼抑制が期待できる。



補足1.1 複合体の不完全な状態における延焼性

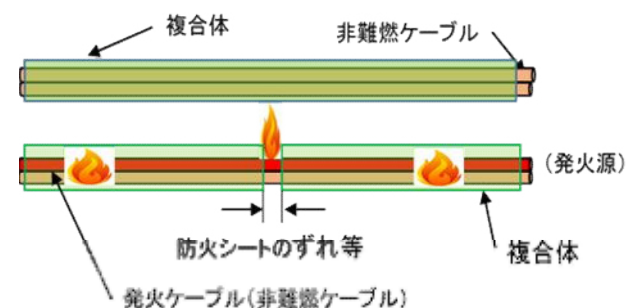
- ◆ 設計目標Ⅲで仮定した設計上の想定外状態(防火シートのずれや傷)を仮定しても、以下のとおり、火炎の放出範囲が限定的であり、かつ上段トレイの防火シートにより延焼抑制が期待できる。

- 設計目標Ⅲで仮定した複合体不完全状態の部位において、ケーブル火災が重畳して発生する可能性が低いこと。

(過電流保護回路故障を仮定しても、ケーブルの発火はケーブルシースの傷等により、地絡、短絡を起こす特定の部位に限定されること、溶断等で通電が断たれることなどから、ケーブル全長が全て発火する可能性は小さい)

- 多段積みトレイの下段トレイの複合体不完全状態が発生している部位において、敢えてケーブル火災の発生を仮定した場合でも、火炎の放出範囲が限定的であり上段トレイへの影響範囲が限定される。

また、上段トレイに巻かれた防火シートにより、
上段トレイへの延焼が抑制される。(右図のとおり)

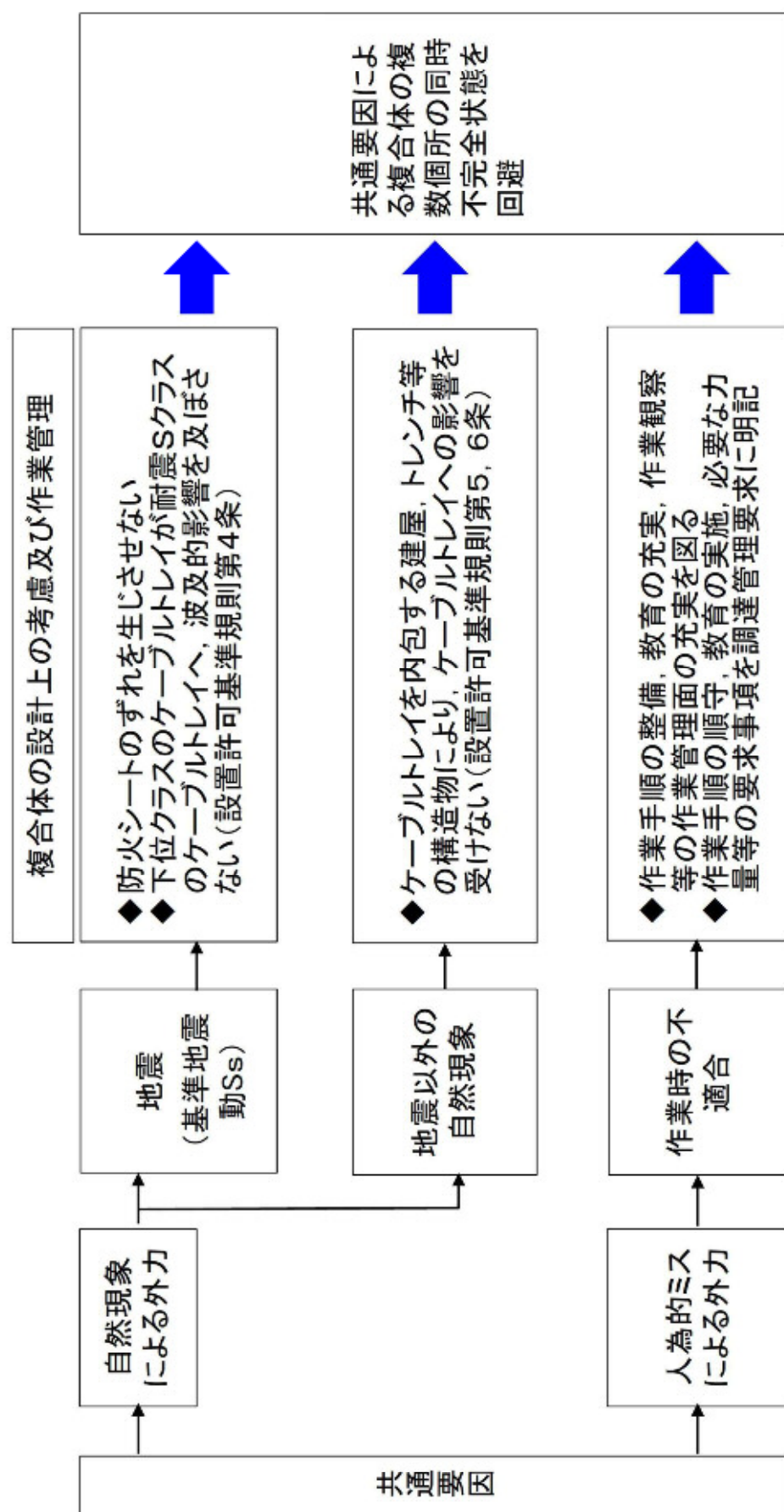


【不完全な状態にて敢えてケーブル発火させたイメージ】

- ◆ 多段積みトレイの上下段の複合体が同時に不完全状態となる共通要因(地震外力等)は設計上排除(補足1.2)

補足1.2 共通要因による複合体の不完全状態の排除

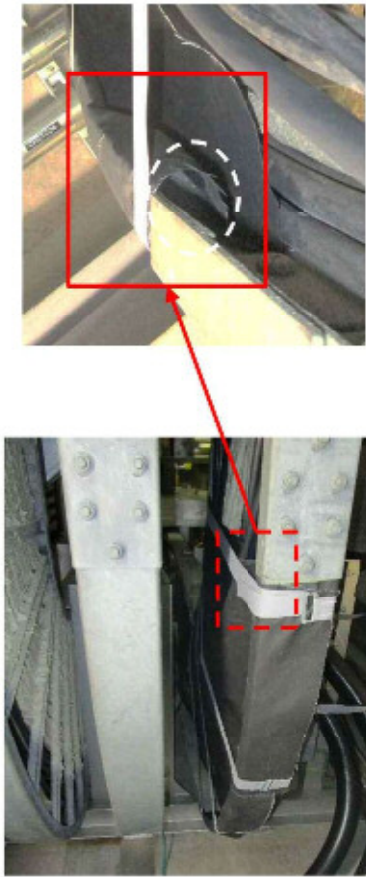
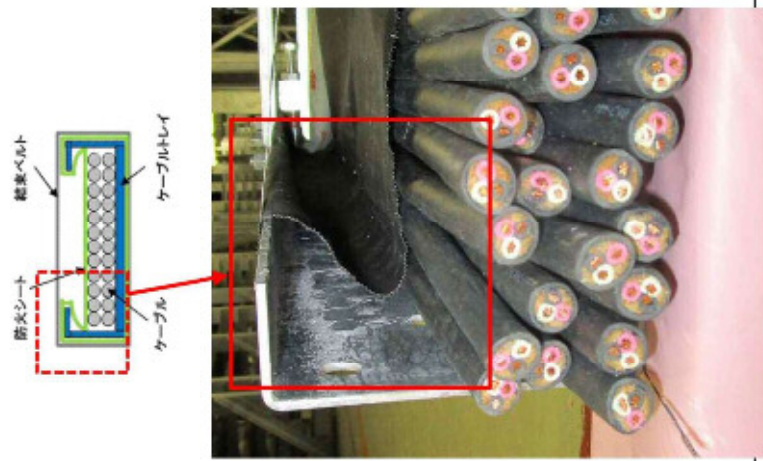
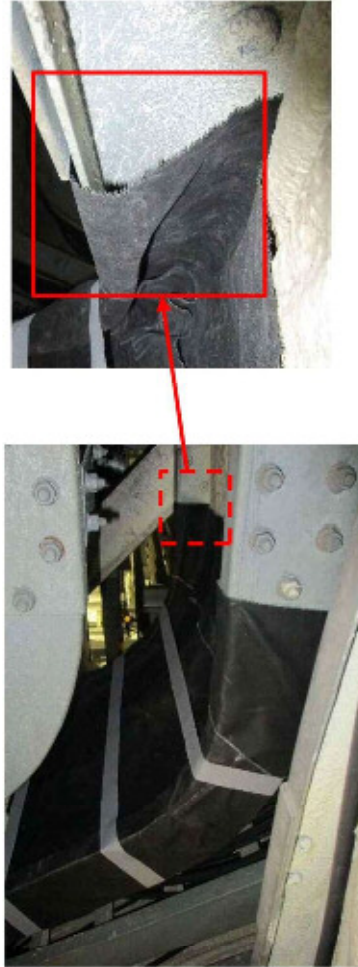
- 複合体は、共通要因による複数個所の同時不完全状態を回避する設計
- 共通要因として、自然現象及び人為的ミスによる外力を想定



添付2 実機における防火シートの施工

◆実機施工における極力空間を抑制する巻き方の検証

- 実機のケーブルトレイ形状に対し、複合体内部の空気を極力抑制する巻き方について検証

トレイ形状	施工例	モックアップ
L字形 		
傾斜形 		

添付3 耐延焼性の試験条件について(1/7)

◆ 試験条件の考え方は以下のとおり

垂直トレイの場合

＜外部の火災＞

燃焼の3要素のうち熱(火災)を遮断

空気層の存在により延焼抑制効果有

＜内部の火災＞

燃焼の3要素のうち酸素量を抑制

実機施工においては酸素量を抑制

- ◆ 外部の火災からの伝熱によるケーブルの熱損傷は、シート近接ケーブルの限定的な範囲
- ◆ ケーブルの発火(外部の火災からの伝熱による発火及び過電流発火)による延焼範囲は、伝熱による熱損傷に比べ広範囲に及ぶ
- ◆ 複合体の不完全な状態での火災は、内部の火災の燃焼形態となる
- ◆ このため、内部の火災の延焼範囲の抑制に重点を置いた実機施工を選択

シート施工ではトレイ折り返し部の隙間(空気)が発生する不確かさ有

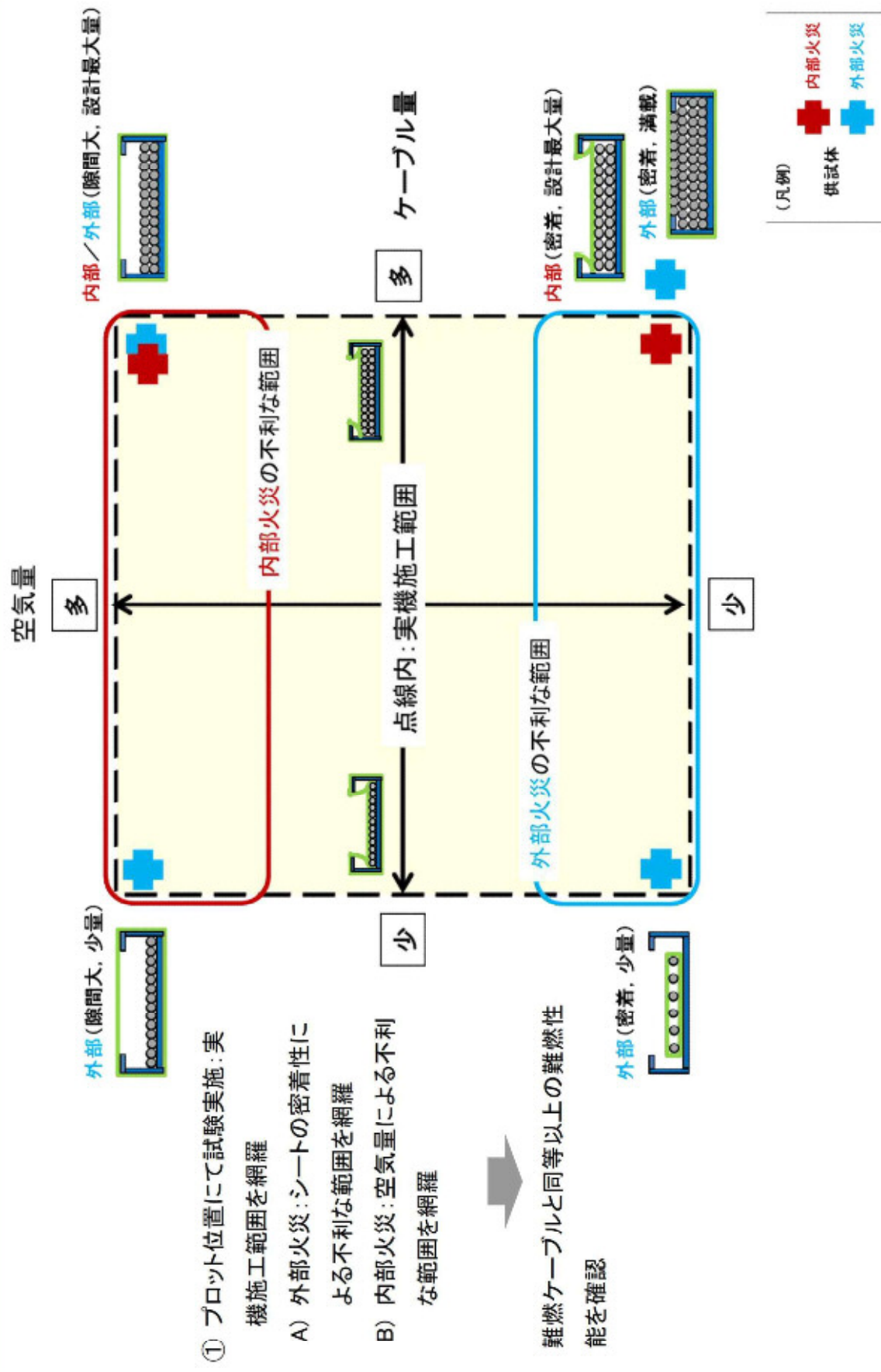
試験条件の考え方

ケーブルとシートを密着させ実機条件を模擬
(ケーブル量が多い側はトレイ満杯にケーブル敷設することにより、複合体内部の酸素量を抑制)

ケーブルとシートを密着させ実機条件を模擬

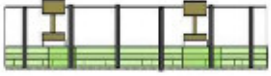
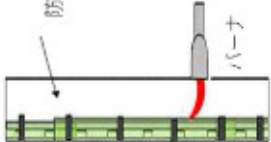
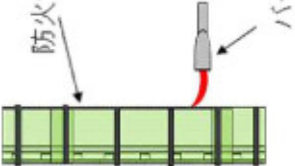
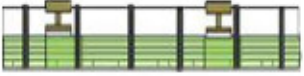
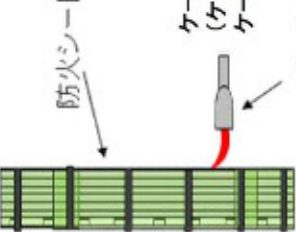
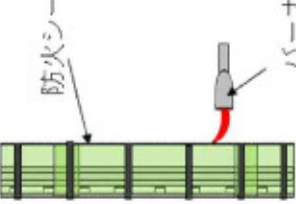
複合体内部の空気量の不確かさは、シートを太鼓巻き
(ファイアストップパ部以外)にすることで最大限を考慮

添付3 耐延焼性の試験条件について(2/7)



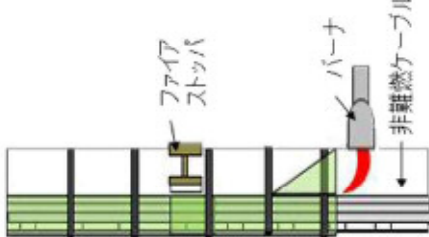
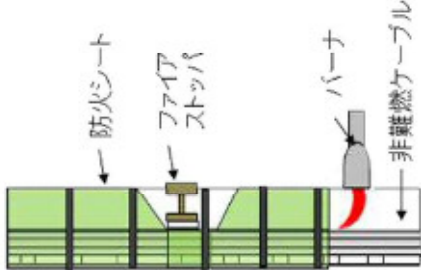
添付3 耐延焼性の試験条件について(3/7)(外部火災 垂直)

- ◆ 外部火災に対してはシートの遮炎効果により延焼を抑制
 - ⇒ ケーブルをトレイ一杯に敷設することによりシートを密着させた条件で実機を模擬
 - ⇒ 複合体内の空気量の不確かさは、シートを密着させないことで考慮

垂直トレイ (45°を超えるもの)	試験条件	実機状態模擬	ばらつき
 ケーブル1層＋シート密着 (ケーブル量が少ない場合)	 防火シート バーナ ケーブル1層＋シート密着(可燃物量は少ないが、シートは密着し熱は伝わり易い状態)	 防火シート バーナ 空気が多い状態 (ケーブル1層)	
 設計最大量＋シート密着 (ケーブル量が最大の場合)	 防火シート バーナ ケーブル満杯＋シート密着 (ケーブルをトレイ満杯に敷設しケーブルへの伝熱を促進)	 防火シート バーナ 空気が多い状態 (ケーブル設計最大量)	

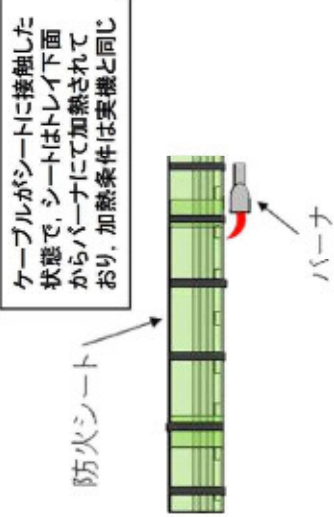
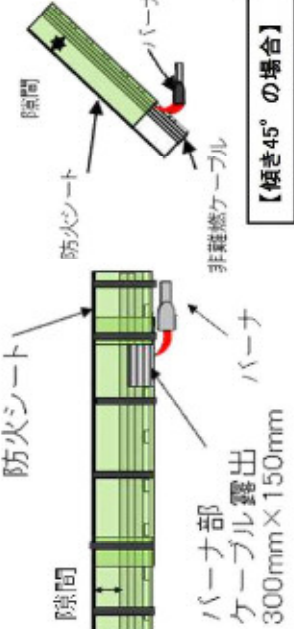
添付3 耐延焼性の試験条件について(4/7)(内部火災 垂直)

- ◆ 内部火災に対してはシートにより酸素を抑制し延焼を抑制
 - ⇒ 可燃物量が多い状態で実機を模擬
 - ⇒ 複合体内の空気量の不確かさは、シートを密着させないことで考慮

垂直トレイ (45°を超えるもの)	試験条件	
実機施工範囲	実機模擬状態	ばらつきを考慮した保守的な状態
 ケーブル1層＋シート密着 (ケーブル量が少ない場合)	 ファイアストップ バーナ 非難燃ケーブル ケーブル設計最大量＋シート密着 (可燃物量が最大でシートは密着し酸素が少ない状態)	 防火シート ファイアストップ バーナ 非難燃ケーブル シート密着していない状態(酸素多)で内部の可燃物(ケーブル量)は設計最大量であり、最も保守的な内部火災の延焼条件
 設計最大量＋シート密着 (ケーブル量が最大の場合)		

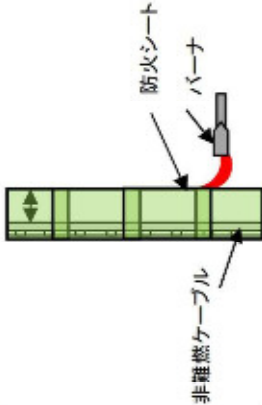
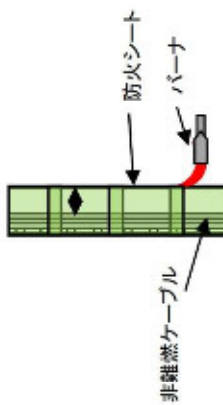
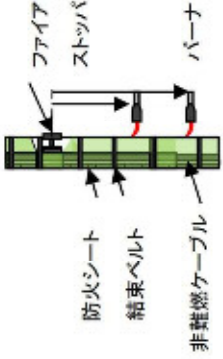
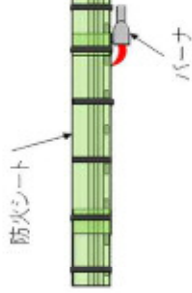
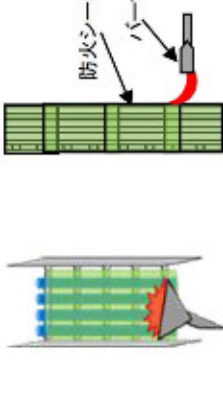
添付3 耐延焼性の試験条件について(5/7)(外部／内部火災 水平)

- ◆ 水平トレイであるため、ケーブルは常にケーブルトレイに接触した状態であり、バーナによる加熱はトレイ下面から実施。このため外部火災に対しては、設計最大量での耐延焼試験を実施
- ◆ 内部火災に対しては、シートの一部を切欠いて直接バーナで内部のケーブルを加熱するため、ケーブルの敷設量は設計最大量で、空気が十分な条件での耐延焼試験を実施。なお、傾き45°のトレイの耐延焼性試験も実施

	水平トレイ	試験条件	
	実機施工範囲	試験条件	ばらつきの扱い
外部火災			— ・ケーブル上部の空気を極力排除した条件(シートを密着)での試験は、延焼し易い垂直トレイと同じ 
内部火災			— ・実機条件模擬は、空気が十分な状態で、トレイ下面の防火シートを一部切り欠いて、バーナで内部ケーブルを直接加熱しており、空気のばらつきは既に実機状態模擬で最大限考慮

添付3 耐延焼性の試験条件について(6/7)(試験マトリクス)

(1) 複合体の外部の火災に対する試験マトリクス

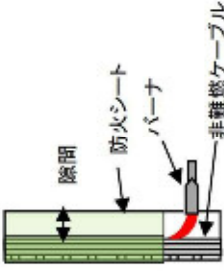
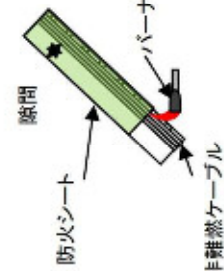
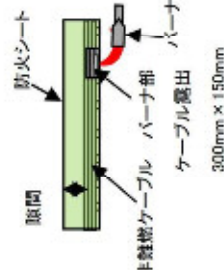
		トレイ方向		水平
		垂直(45°を超えるもの)	有	
ファイアストップパ		無	有	無
試験の考え方		ファイアストップパのない水平トレイを包絡する条件の試験		参考
ケーブル量 【ケーブルとの 隙間】	少量 【隙間大】		隙間がより小さい【隙間小】の条件で包絡	トレイ下面からの加熱であり、影響を受ける下端(1層目)ケーブルへの熱影響は設計最大量(下欄)と同じ
	設計最大量 【隙間小】			
	少量／満杯 【密着】		左欄の条件(全長にわたってケーブルはシートに密着)で包絡	トレイ下面からの加熱であり、影響を受ける下端(1層目)ケーブルへの熱影響は設計最大量(上欄)と同じ

設計最大量: 占積率40%(敷設量上限) 満杯: 試験のために設定した占積率40%を超える状態 少量: 1層敷設

図あり: 試験実施 —: 試験対象外

添付3 耐延焼性の試験条件について(7/7)(試験マトリクス)

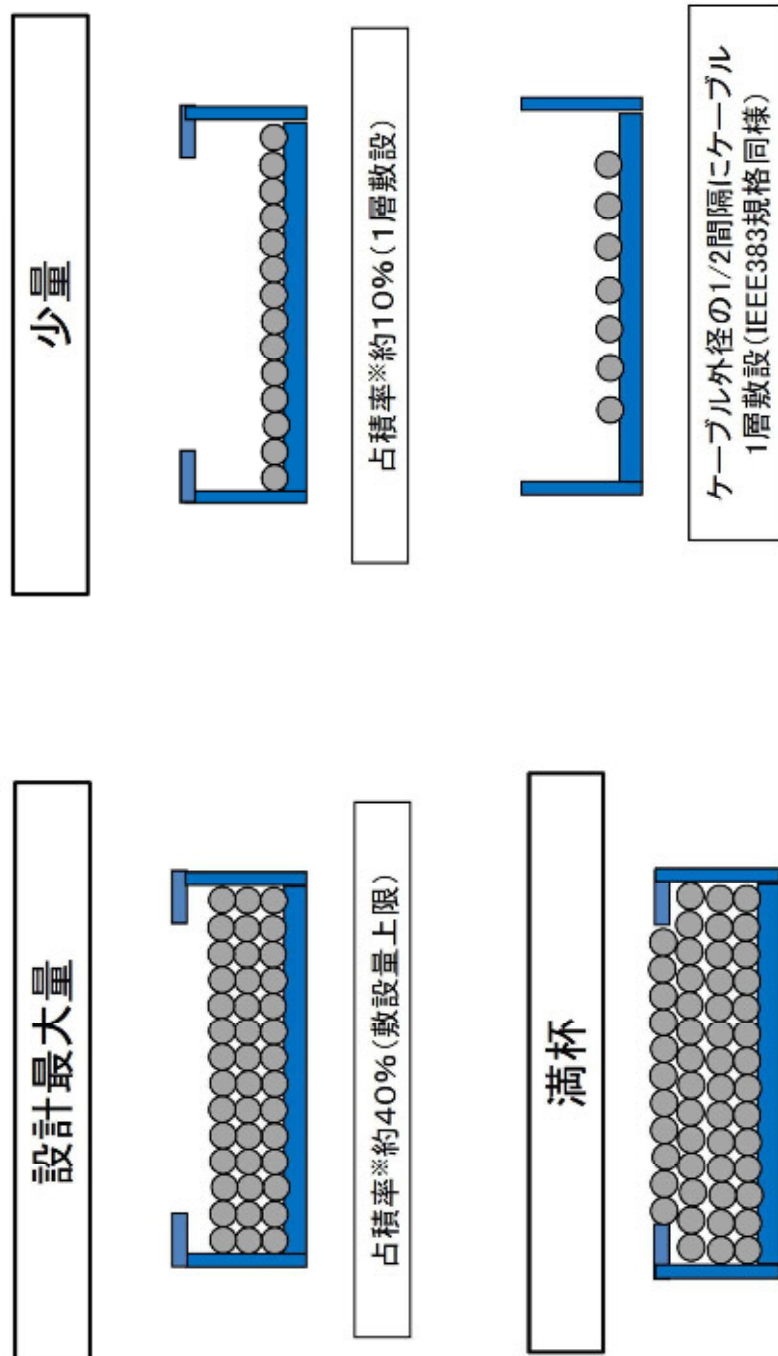
(2)複合体の内部の火災に対する試験マトリクス

		トレイ方向		
		垂直(45°を超えるもの)	45°	水平
ファイアストップパ		無	有	無
試験の考え方		ファイアストップパの 必要性確認	ファイアストップパの 効果確認	ファイアストップパの 必要性確認
ケーブル量	少量	設計最大量の試験結果から延焼すると判断	設計最大量の条件に包絡 (酸素は十分供給されている試験条件であり、 可燃物量が多い方が延焼しやすい)	
	設計最大量			
	設計最大量 (シート密着)	設計最大量の試験結果から延焼すると判断 (密着の不確かさを考慮)	設計最大量の条件に包絡 (シート密着していない方が延焼しやすい)	

設計最大量: 占積率40%(敷設量上限)
図あり: 試験実施 一: 試験対象外

添付4 ケーブル量の定義

◆ 供試体におけるケーブル量の定義



試験のために設定した占積率40%を超える状態

※ ケーブル占積率： ケーブルトレイの断面積に対するケーブル断面積の総和

添付5 直線トレイのみで加振試験することの妥当性・代表性

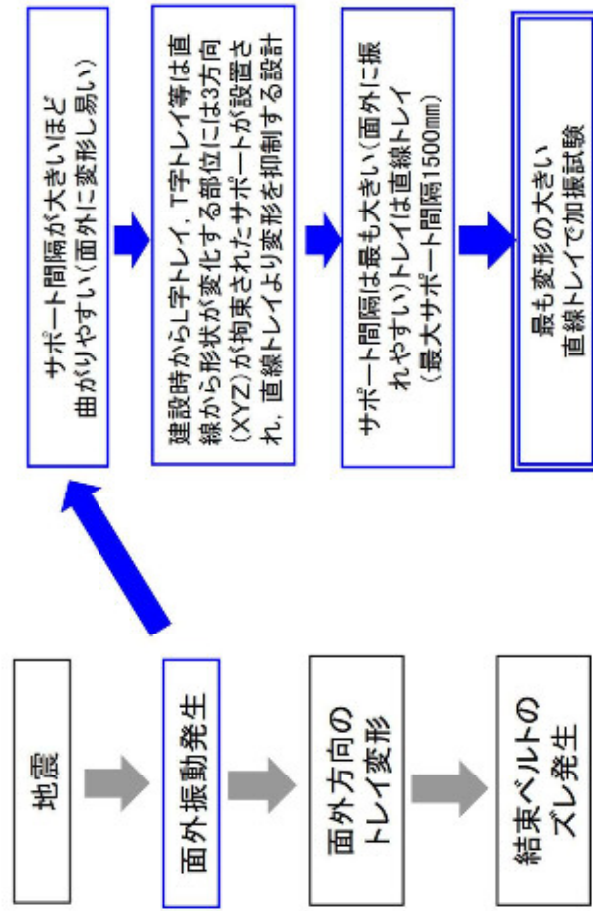
◆ 加振試験の目的

- ベルトが外れ(ずれ)ないこと, ファイアストッパが外れないこと(垂直トレイ)の確認

◆ 結束ベルトの固定方法

- 直線トレイ以外は, 金属リングを用いて結束ベルトが複数方向にトレイ側面と垂直になるよう固定

＜結束ベルトのズレ発生のメカニズム＞



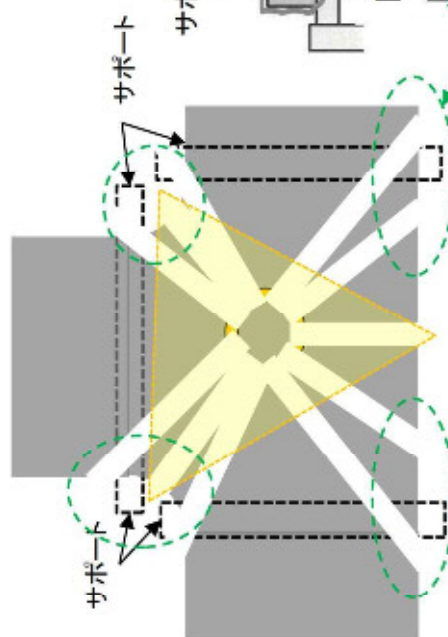
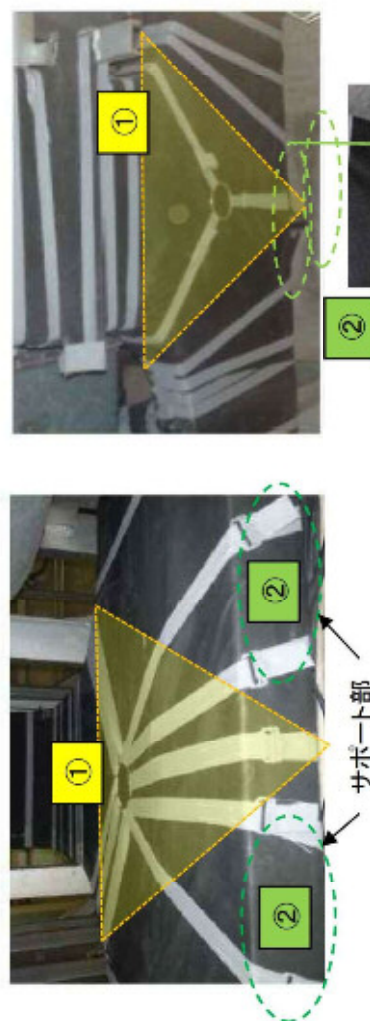
【実機サポート設置状況】

- 最もサポート間隔が大きく面外への変形が大きい直線トレイにて加振試験しズレ等が発生しないことを確認

添付6 T字形トレイの斜め掛けベルトの目的、ずれ防止

◆結束ベルトによる防火シートの固定方法(T字分岐形の例)

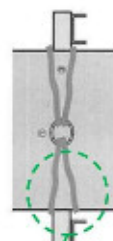
- 結束ベルトで防火シートを固定する場合はトレイ接線に対し直角になるように調整
- 結束ベルトの取付け間隔は300mm以下になるように調整し、斜め掛けとする場合は、トレイサポート部とリングにより結束ベルトがずれないように固定



【上部から見たT字分岐トレイ施工例】



【垂直断面方向】



【上部からのイメージ】

防火シート及び結束ベルトの標準施工方法
(手順)抜粋

【CASE 4】

T字トレイへのシート巻き付け
水平3方向に直角に分岐している部位等

STEP 4 ベルトの巻き付け

⑩巻き付けたシートにベルト(KT35:幅W35mm)を巻き付けてシートを固定してください。分岐部や湾曲部では、写真のようなリング(溶融垂鉛メッキ鋼又はステンレス製、約φ100mm)をトレイの上面・下面の対象位置に用い、それぞれ3方向にベルトを付けてシートを固定してください。

※ トレイの接線に対してベルトが直角になるように、ベルト及びリングの位置を調整してください。直角になっていないとベルトがズレ易くなり、ベルト及びシートにたるみが出る恐れがあります。

※ ピッチが300mm以下になるように各ベルトの位置を調整してください。