

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 4 月 7 日
日本原子力発電株式会社

1. はじめに

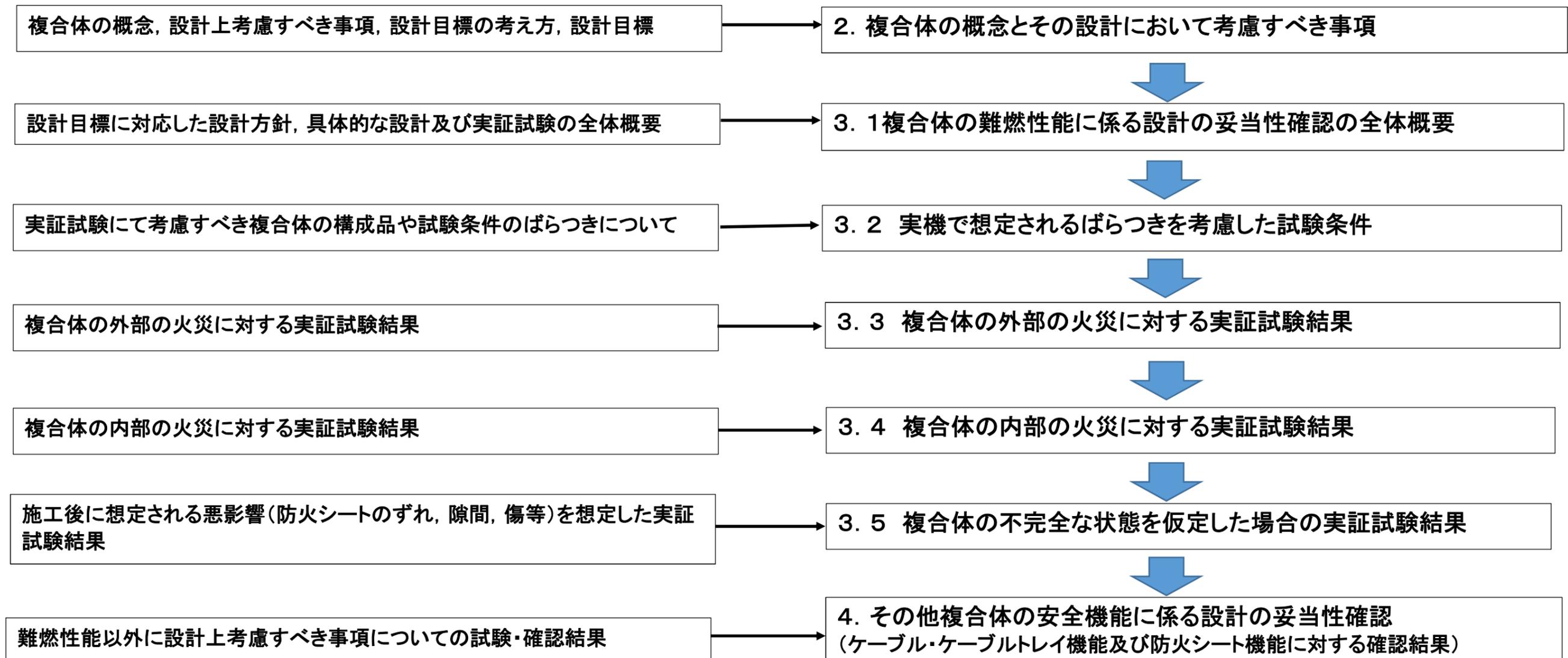
実用発電用原子炉及びその附属施設の火災防護に係る審査基準（以下「審査基準」という。）では、安全機能を有する機器は、難燃ケーブルを使用することが要求されているが、東海第二発電所はプラント建設時に非難燃ケーブルを使用している。

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

説明の流れ(資料構成)



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（熱、酸素、可燃物）のいずれかを排除することにより、高い難燃性能を確保する
- ◆ 難燃性能（耐延焼性）を確保する概念は以下のとおり
 - (1) 複合体外部で発生する火災に対し、防火シートの遮炎効果により複合体内部ケーブルの損傷を抑制
 - (2) 複合体内部で発生する火災（ケーブル発火）に対し、複合体内部の酸素量を抑制することにより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災（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災伝播を抑制

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、既設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の考え方

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るべく、以下の設計目標を定める。

- ◆ 複合体は防火シートを用いることから、火源が複合体の外部の場合と内部の場合が想定される。このため、複合体の外部と内部の火災の両方に対して設計目標を設定
- ◆ 難燃性能を維持するため複合体の健全性は設計、施工管理において考慮するが、施工後に想定される悪影響（防火シートのずれ、隙間、傷等）も考慮し、設計目標を設定

【設計目標】

- 複合体の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する
- 複合体の内部の火災に対して、難燃ケーブルと同等以上の難燃性能を確保する
- 複合体の状態として、防火シート施工が不完全な状態を仮定しても難燃性能を確保する

※ 難燃性能については、設計目標が達成できることを実証する。

防火シートによる複合体の概念

項目	複合体	
材料	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	
内部の火災に対する耐延焼性	防火シート及び保持金具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 ※：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	防火シートの薬品等に対する耐久性を有すること	4. (1)①
			経年劣化	防火シートの熱・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	— (前回審査会合添付資料)		
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	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
		絶縁機能 ケーブルの絶縁機能に影響を与えないこと	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
	機械的機能	シースによる絶縁体保護機能 ケーブルを外的要因から保護できること	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
			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
		ケーブルトレイの保持機能 敷設されるケーブルを保持できること	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

3.1 複合体の難燃性能に係る設計の妥当性確認の全体概要

想定火災	設計目標	設計方針	具体的な設計	試験等による実証			項
				確認事項	確認方法	判定基準等	
複合体外部の火災	I. 複合体外部から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 ●燃焼の三要素のうち、防火シートにより外部からの火災を遮断 ●複合体外部からの火災によりケーブルに火災が発生しても、加熱源を除去した場合は自己消火し、ケーブルは延焼しないこと	I. ケーブル及びケーブルトレイを不燃材の防火シートで覆い複合体を形成 ●不燃材の防火シートにより外部の火災から遮断	I. 防火シートで被覆する設計仕様 ●防火シートは建築基準法で定められた不燃材を選定 ●防火シートの巻き方 ➢ ケーブルトレイに防火シートを巻き、ケーブルとの間に極力隙間が生じないように防火シートを密着させる ➢ 防火シートを一定間隔ごとに結束ベルトにてケーブルトレイに固定 ➢ 防火シートの継ぎ目は一定量を確保し重ね合わせ	1. 自己消火性 2. 耐延焼性	UL 垂直燃焼試験 (UL1581 VW-1) に準拠 ① 代表ケーブルの選定 ●目的: 実機ケーブルは多種多様にわたるため、予備試験にて保守的に代表ケーブルを選定 ●試験方法: IEEE383 に準拠した耐延焼試験 ② 供試体の選定 ●目的: 保守的な供試体の設定 ●方法: 実機のばらつきを考慮した保守的な仕様を選定 ③ 耐延焼性試験 ●試験方法: IEEE383 に準拠	垂直燃焼試験の判定基準 ●燃え止まること ●難燃ケーブルの損傷長と比べ短いこと	3. 3
複合体内部の火災	II. 複合体内部からの発火による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 ●燃焼の三要素のうち酸素量を抑制するため、防火シートにより酸素の吸い込み量を抑制 ●複合体内部からのケーブル発火による火災を、防火シートにより遮断 ●複合体内部からのケーブル発火による火災は過電流による発火を想定し、加熱源としての過電流を除去した場合は自己消火し、ケーブルは延焼しないこと	II. ケーブル及びケーブルトレイを不燃材の防火シートで覆い複合体内部が閉鎖空間となる設計 ●複合体内部を閉鎖空間(外気から容易に酸素の供給がない閉鎖した状態)とする	II. 閉塞空間とする設計仕様 ●垂直トレイには一定間隔ごとにファイアストップを設置し、防火シートとケーブルを密着固定 ●ケーブルトレイから安全機能を有する機器に接続するために分岐して敷設される非難燃ケーブルは、電線管に収納するとともに、その両端に難燃性の耐火シートを設置する	1. 自己消火性 2. 耐延焼性 3. 遮炎性	UL 垂直燃焼試験 (UL1581 VW-1) に準拠 ① 供試体の選定 ●目的: 保守的な供試体の設定 ●方法: 実機のばらつきを考慮した保守的な仕様を選定 ② 耐延焼性試験 ●試験方法: IEEE383 に準拠 遮炎性試験 (建築基準法) 過電流模擬発火試験	垂直燃焼試験の判定基準 ●燃え止まること ●建築基準法の遮炎性試験の判定基準 ●複合体外部へ連続して火災が噴出しにくいこと	3. 4
複合体外部／内部の火災	III. 複合体が不完全な状態を仮定しても、設計目標 I 及び II の耐延焼性を確保 ●施工後に想定される悪影響(防火シートのずれ、傷等)を想定した状態において、複合体外部及び内部の火災によりケーブルに火災が発生しても、加熱源を除去した場合、ケーブルは延焼しないこと	III. 設計方針 I 及び II を満足しない想定外の不完全な状態を考慮した設計 ●不完全な状態を想定 ➢ ファイアストップ、結束ベルトが外れてケーブルが露出 ➢ 防火シートに傷	III. 防火シートのずれ、傷があっても耐延焼性を有する設計	1. 耐延焼性	① 供試体の選定 ●複合体外部及び内部の火災に対する供試体から選定 ② 耐延焼性試験 ●外部の火災: 防火シートのずれを想定し、ケーブル露出部にバーナを当てた垂直トレイ燃焼試験 ●内部の火災: ファイアストップの脱落、防火シートのずれを想定し、防火シートをずらした状態でケーブル露出部にバーナを当てた垂直トレイ燃焼試験 ●試験条件は、IEEE383 に準拠	●燃え止まること	3. 5

複合体の設計仕様・図(添付)

【複合体施工仕様】

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
 - ・鋼材: SS400, SCM435 亜鉛メッキ
 - ・傾き 45° を超えるトレイに設置
 - ・防火シートとファイアストップ間には耐火材(セラミックファイバー)を設置し、ケーブル敷設状況(凸凹)に追従して防火シートをケーブルに密着

【ケーブルトレイ断面】

●折り返し(約40mm)
●ケーブル
●ケーブルトレイ
●防火シート

【東海第二ケーブルトレイの特徴】
○トレイは浅く、折り返しあり
●浅い(120mm)

【トレイ形状にそったシート敷設】
○防火シートは自重により落下し、折り返し部の隙間(空気層)発生
○空気量に不確かさあり

【実証試験(供試体)】
○シート施工時の不確実性(折り返し部の隙間)を排除し、隙間が最大となる巻き方(太鼓巻)で防火シートの耐延焼性能を確認

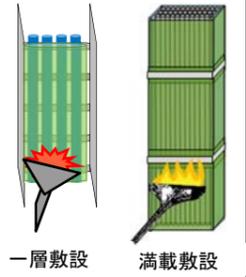
【実機施工】
○極力、空気層が発生しないように施工
+ ファイアストップ

3.2 実機で想定されるばらつきを考慮した試験条件

構成	構成	実機で想定されるばらつき	試験条件選定の考え方	供試体 (外部火災)	供試体 (内部火災)		
複合体構成	ケーブル	種類・サイズ	高圧, 低圧, 制御, 計装	可燃物量が多くて損傷しやすい細径の条件に該当する低圧電力ケーブルの外径 14.5mm を実機代表ケーブルとして選定	低圧, 外径 14.5mm	同左	
		使用期間	短期(新品) 長期(旧品)	絶縁体/シースの熱・放射線加速劣化させた酸素指数を比べ, 小さい方を選定 40年劣化相当(19.3/28.6) > 新品(18.3/25.3) 酸素指数: 燃焼継続に必要な最低の酸素濃度を示し, 数値が小さいほど燃えやすい	新品ケーブル	同左	
		延焼防止材	有 無	ケーブルに対して延焼防止効果の無い方を選定	無	同左	
		埃	有 無	埃の可燃物としての影響は極めて小さいことから, 埃無を選定	無	同左	
	ケーブルトレイ	トレイタイプ	ラダー ソリッド	空気を取り入れやすい開口面を有するトレイタイプを選定 電線管の分岐部については耐火シールを施し, 防火シートを施工	ラダー	同左	
		トレイサイズ	幅: 150mm ~ 750mm	IEEE383 の試験に用いるバーナサイズ(250mm)に適したトレイサイズを選定 (実機全てのトレイ高さは一律 120mm)	(幅) 300 × (高さ) 120	同左	
		ケーブル敷設状態	整線 波状	原則, 建設時に整線されて敷設されていることから整線を選定	整線	同左	
		トレイ形状	直線・傾斜・L字形・T字・十字分岐形	火炎が最も広がりやすい直線形を選定	直線形	同左	
	試験条件	ケーブル	敷設量	少量 満載	【外部火災】耐延焼性を確認するため少量(1層敷設)及び満載(ケーブル占積率 40%)を選択 【内部火災】耐延焼性を確認するため満載を選定	少量 満載	満載
		防火シート	ケーブルとの隙間	有 無	【外部火災】垂直トレイ: 防火シート施工時の不確実性を排除し, 隙間が最大となる巻き方で耐延焼性を確認するため有を選定 【内部火災】垂直トレイ: 太鼓巻を選定し, ファイアストップパ有/無で有効性を確認 水平トレイ: 太鼓巻を選定	有 (太鼓巻)	有, 無
ケーブルトレイ		トレイ設置方向	水平 勾配 垂直	【外部火災】燃焼速度が速い垂直とその比較対象として水平を選定 【内部火災】ファイアストップパ設置の必要性確認のため水平, 勾配 45° 及び垂直を選定	垂直 水平	水平 勾配(45°) 垂直	
		ファイアストップパ	有 無	【外部火災】厳しい条件となるようにファイアストップパ無を選定 【内部火災】実機施工に即し, 垂直トレイ有, 水平及び勾配 45° トレイは無を選定	無	有(垂直) 無(水平, 勾配 45°)	
バーナ		20kW 30kW	【外部/内部火災】難燃ケーブルと比較するため, IEEE383 の試験条件に準拠した 20kW, 加熱時間 20 分を選定 【外部火災】難燃ケーブルとの耐延焼性の比較結果の傾向が維持されるかを 30kW で確認	【外部火災】難燃ケーブルと比較するため, IEEE383 の試験条件に準拠した 20kW, 加熱時間 20 分を選定 【内部火災】バーナによる着火は内部発火を模擬するためであり, 加熱源の位置を変えて試験を行うことに意味はない	20kW 30kW	20kW	
		ファイアストップパとバーナの距離	【外部火災】加熱源とファイアストップパの距離の違いによる耐延焼性の効果を確認するために異なるバーナ位置を選定 【内部火災】バーナによる着火は内部発火を模擬するためであり, 加熱源の位置を変えて試験を行うことに意味はない	【外部火災】加熱源とファイアストップパの距離の違いによる耐延焼性の効果を確認するために異なるバーナ位置を選定 【内部火災】バーナによる着火は内部発火を模擬するためであり, 加熱源の位置を変えて試験を行うことに意味はない	362.5mm 662.5mm 1262.5mm	—	

【試験条件: 代表ケーブルの選定】

- ① 実機のケーブルリストから非難燃ケーブルを抽出
- ② 選択されたケーブルに対して垂直トレイ燃焼試験で損傷長を比較
試験条件を IEEE383 に準拠
・ケーブル層敷設, バーナ熱量: 20kW, 加熱時間: 20 分
- ③ 低圧電力及び制御ケーブルは, ケーブル量満載(実機を模擬)でも実施
- ④ 燃焼試験の結果



回路種別	絶縁材	シース材	外径(mm)	③最大損傷長平均(mm)	④最大損傷長平均(mm)
計装	架橋ポリエチレン	ビニル	9.5	763	—
制御			9.9	840	635
低圧電力			14.5	800	663
低圧電力			19(41)	595	—

【垂直トレイ燃焼試験イメージ】

※比較対象とする難燃ケーブルとして, 同サイズの低圧電力ケーブル(外径 14.0mm)を選定



「自己消火性」を実証するための代表ケーブルを以下選定

- ・計装ケーブル: 外径 9.5mm
- ・制御ケーブル: 外径 9.9mm
- ・低圧電力ケーブル: 外径 14.5mm, 19mm

「耐延焼性」を実証するための代表ケーブルを以下選定

- ・低圧電力ケーブル: 外径 14.5mm

【試験条件: ケーブル敷設量の選定】

燃焼の三要素のうち酸素, 可燃物の量から網羅的に試験条件を選定

外部火災(垂直トレイ)

	酸素量多(太鼓巻)	酸素量少(シート密着)
可燃物多	満載	満載(ファイアストップパ)
可燃物少	少量	代表になり得ない(2つの要素小)

内部火災(垂直トレイ)

	酸素量多(太鼓巻)	酸素量少(シート密着)
可燃物多	満載	満載
可燃物少	上欄の条件で包絡	代表になり得ない(2つの要素小)

外部火災(水平トレイ)

	酸素量多(太鼓巻)	酸素量少(シート密着)
可燃物多	満載	左条件で包絡
可燃物少	垂直トレイで包絡	代表になり得ない(2つの要素小)

内部火災(水平トレイ)

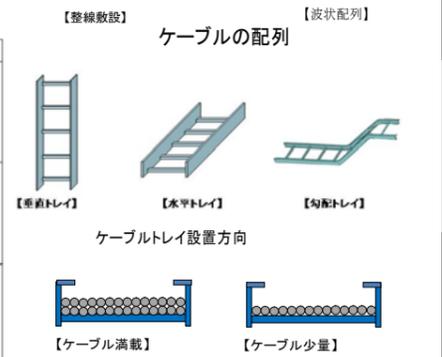
	酸素量多(太鼓巻)	酸素量少(シート密着)
可燃物多	満載	左欄の条件で包絡
可燃物少	上欄の条件で包絡	代表になり得ない(2つの要素小)

※内部火災模擬では, 内部ケーブルを直接バーナ加熱するため十分な酸素が供給され, 可燃物が多いほど延焼

【試験条件: ケーブルトレイタイプの選定】



トレイタイプ			
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			



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

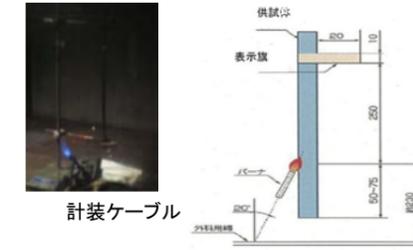
- ◆外部の火災に対する自己消火性の確認
- ・防火シートで覆った場合、酸素(空気)の供給が断たれる可能性があるため、保守的に防火シートを巻かずにケーブル単体で試験を実施
- ・UL1581 VW-1試験に準拠

試験方法	判定基準
・15秒着火, 15秒休止:5回 ・バーナ熱量:500W	・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

実証試験結果

(1) 自己消火性【垂直燃焼試験結果】

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

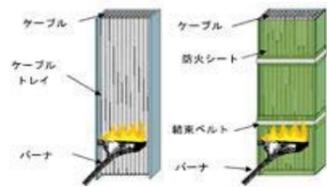
(1) 自己消火性

- ・ケーブル単体で自己消火性を有することを確認した。

(2) 耐延焼性

①試験条件

a.実機状態を模擬した耐延焼性試験



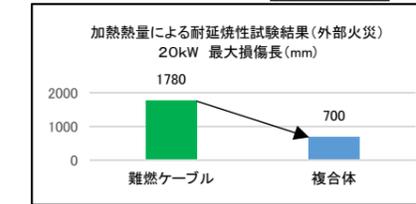
IEEE383の試験条件準拠
 ・バーナ熱量, 加熱時間, 判定基準, 試験回数
 実機模擬(供試体:ラダートレイ)
 ・満載:多層敷設(占積率40%)(配列間隔:整線)

(2) 耐延焼性

①試験条件

a.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
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
						680	良
						700	良
難燃ケーブル			難燃架橋ポリエチレン/難燃ビニル	満載	20	1,780	良



(2) 耐延焼性

①試験条件

- a. 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した。

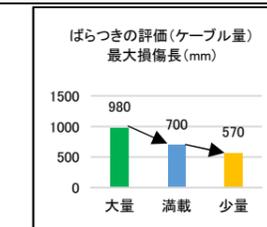
b.ケーブルの敷設状態から、敷設量を考慮した延焼形態の確認



- ・少量:1層敷設(配列間隔:整線)
- ・多量:トレイ内満杯(シートと密着状態(隙間なし))

b.敷設量のばらつき(ケーブル量での確認試験)

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	バーナ熱量(kW)	ケーブル量	隙間(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	20	少量	85	570	良
					満載	35	700	良
					多量(参考)	0	980	良



- b. 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した。

c.水平トレイでのファイアストップパの必要性を確認



c.水平トレイへの必要性

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	バーナ熱量(kW)	ケーブル量	トレイ設置形態	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	20	満載	整線	740	良

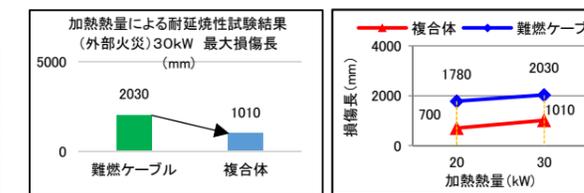
- c. 複合体が燃え止まること及び難燃ケーブルよりも損傷長が短いことを確認した。また、ファイアストップパは不要。

d.加熱熱量を変化させた場合においても複合体と難燃ケーブルとの耐延焼性の関係性(傾向)を確認

- ・バーナ加熱熱量を変化させた場合においても傾向が変わらないこと

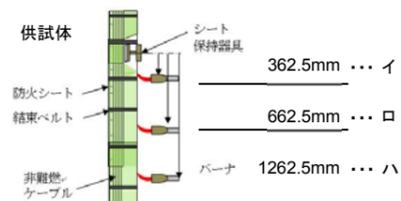
d.バーナ加熱熱量を変化させた垂直トレイ燃焼試験

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
					20	930	良
難燃ケーブル			難燃架橋ポリエチレン/難燃ビニル	満載	30	2,080	良



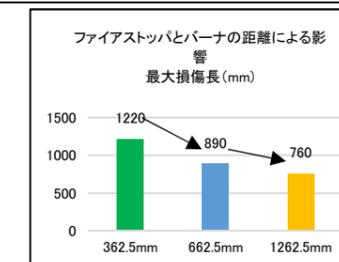
- d. 複合体が燃え止まること及び難燃ケーブルよりも損傷長が短いことを確認した。また、傾向が変わらないことを確認した。

e.加熱源とファイアストップパの距離による影響



e.距離による影響

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	バーナ熱量(kW)	ファイアストップパとバーナの距離(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	20	362.5	1,220	良
					662.5	890	良
					1262.5	760	良



- e. 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した。

◆ 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

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

- ◆ 防火シートで酸素の供給が妨げられないよう、防火シートは巻かずにケーブル単体で自己消火性を確認する。
- ・試験方法、判定基準:複合体外部の火災同様

(2) 耐延焼性

① 内部の火災模擬試験

- ・複合体の延焼性について、トレイ設置方向(角度)を変えて確認し、勾配 45° を超えるトレイ設置方向にはファイアストップパで耐延焼性が確保できることを確認する

	水平トレイ	勾配 45° トレイ	垂直トレイ
供試体			
試験状況			

② 波状敷設試験(参考)

- ・波状敷設:建設時敷設のケーブルは整線状態にあるが、保守的な条件としてケーブルを波状敷設して、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

(3) 遮炎性

① 遮炎性試験

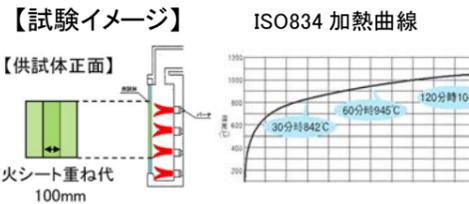
- ・防火シートのき裂等により火炎が噴出ししないことを確認する

【建築基準法の遮炎性試験準拠】

- ・加熱炉で防火シートを ISO834 加熱曲線に沿って 20 分加熱

【判定基準】

- ・遮炎性試験の判定方法(結果欄に記載)



② 過電流発火による遮炎性試験

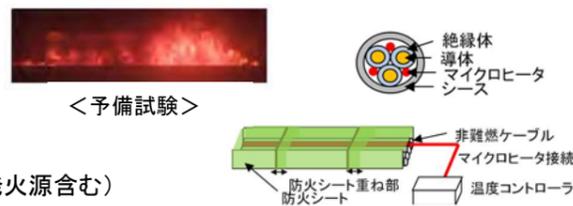
- ・過電流によってケーブルが発火した状態を想定して遮炎性を確認する

【予備試験】

- ・ケーブル内のマイクロヒータで 650℃まで加熱しケーブル発火することを確認

【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

- ・非難燃ケーブルを防火シートで覆わず、バーナの火炎を直接ケーブルに当てた3.3複合体外部の火災による自己消火性の試験結果を用いる。

(2) 耐延焼性

① 内部の火災模擬試験

供試体	ケーブル種類(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

② 波状敷設試験(参考)

供試体	トレイ設置方向	ケーブル種類(回路種別)	絶縁材/シース	ケーブル量	バーナ熱量(kW)	隙間有無	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(波状)	20	あり	1,690	良

供試体(断面)



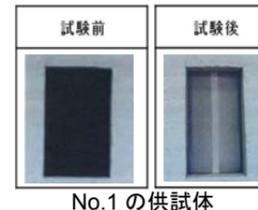
最大損傷長



(3) 遮炎性

① 遮炎性試験

No.	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
1	無	無	無	良
2	無	無	無	良



② 過電流発火による遮炎性試験

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

(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° 以下の敷設状態のケーブルは、隙間(空気層)があっても燃え止まることを確認した。
- ・複合体(ケーブルトレイ)が垂直設置方向はファイアストップパにより燃え止まることを確認した。

② 波状敷設試験(参考)

- ・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燃え止まることを確認した。

(3) 遮炎性

① 標準試験による遮炎性

- ・防火シートを 100mm 重ねることにより、遮炎性を確保できることを確認した。

② 過電流発火による遮炎性

- ・過電流を模擬した内部発火においても、遮炎性が確保できることを確認した。

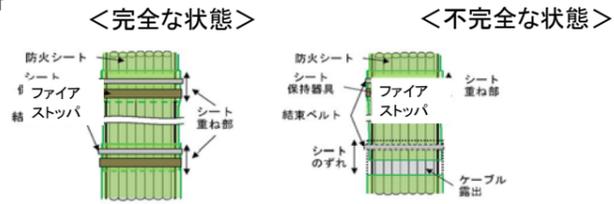
◆ 結論:複合体内部の火災について、設計目標を達成できることを確認した。

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

確認項目

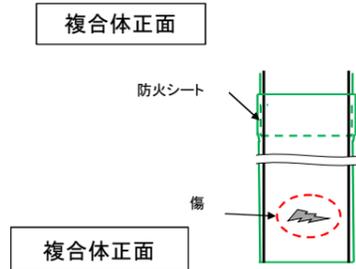
◆ 防火シートのずれ

- 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



◆ 防火シートの傷

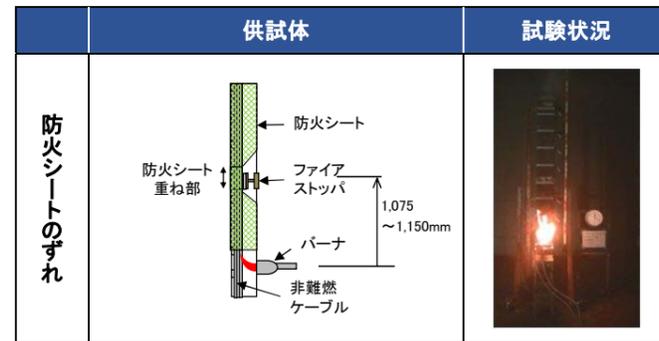
- 資機材の運搬等で防火シートに貫通する傷についてケーブルが露出したことを仮定
- 防火シートに傷がついた状態は、防火シートがずれてケーブルが露出する状態と同じため、防火シートのずれ模擬に包絡



(1) 複合体外部の火災

① 防火シートのずれ

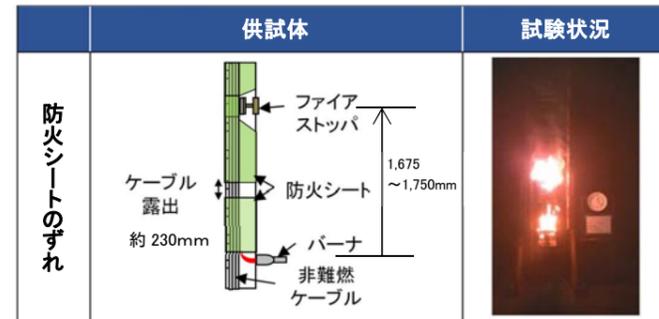
- 防火シートがずれたところに火源を仮定
- ファイアストップパの設置位置:バーナからの距離 1,075mm~1,150mm (ファイアストップパ幅:75mm)



(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
- この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
- 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 (ファイアストップパ幅:75mm)



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



◆ 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した。

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した。

(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)

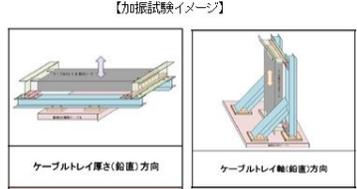
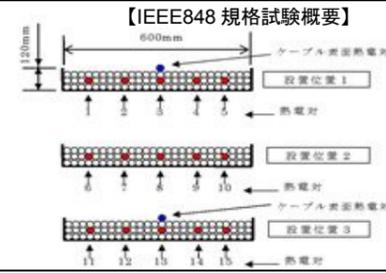
- 加熱源除去後、複合体内部のケーブルが燃え止まることを確認した。

4. その他複合体の安全機能に係る設計の妥当性確認 (ケーブル・ケーブルトレイ機能及び防火シート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の耐久性</p> <p><目的> 実機使用環境を想定し、防火シートの耐久性を確認</p> <p><確認方法> JISに準拠し、耐寒、耐水、耐薬品、耐油、耐塩水性があることを確認</p>
<p>②高温及び放射線環境下における耐久性</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を実施し酸素指数が難燃ケーブルの酸素指数以上であることを確認</p>
<p>③複合体の外力(地震)による健全性</p> <p><目的> 複合体のケーブルが想定する外力(地震)でずれないことを確認</p> <p><確認方法> ・実機を模擬して保守的な加速度にて確認(水平トレイ:4G, 垂直トレイ:3G) ・供試体:ラダートレイ(W600mm×H120mm×L2150mm), 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, ファイアストップ取付</p>
<p>(2)電氣的機能への影響確認</p> <p>①通電機能</p> <p><目的> 防火シートによる放熱性の低下が、ケーブルの通電機能に対し影響するかを確認</p> <p><確認方法> 通電電流の低下への影響を、IEEE848-1996に準じた電流低減率試験により確認</p>
<p>②絶縁機能</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するかを確認</p> <p><確認方法> ・絶縁機能確認:「JIS C 3005 ゴム・プラスチック絶縁電線試験方法」に準拠し絶縁抵抗測定により確認 ・耐電圧特性確認:「JIS C 3605 600V ポリエチレンケーブル」に準拠し特性を確認</p>
<p>(3)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 K 6833-1 5.3に準拠した pH 測定し、中性の範囲(pH6~8)であることを確認</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> 複合体形成後の重量増加がケーブルトレイの設計重量の余裕の範囲内であることを確認</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(プロテクトシート-P2・eco), 結束ベルト</td> <td rowspan="5">初期時及び劣化処理後に外観に異常が見られないこと(腐れ, 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(プロテクトシート-P2・eco), 結束ベルト	初期時及び劣化処理後に外観に異常が見られないこと(腐れ, 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(プロテクトシート-P2・eco), 結束ベルト	初期時及び劣化処理後に外観に異常が見られないこと(腐れ, 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耐久性試験結果</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th rowspan="2">想定年数</th> <th colspan="2">外観変化 (腐れ, 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>難燃ケーブル酸素指数</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>部位/素材</th> <th>判定基準</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>絶縁体/難燃性架橋ポリエチレン</td> <td>25 以上</td> </tr> <tr> <td>シース/難燃性特殊耐熱ビニル</td> <td>27 以上</td> </tr> </tbody> </table> <p>※シースの酸素指数を判定基準とした</p> 	想定年数	外観変化 (腐れ, 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	部位/素材	判定基準	絶縁体/難燃性架橋ポリエチレン	25 以上	シース/難燃性特殊耐熱ビニル	27 以上
想定年数		外観変化 (腐れ, 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																										
部位/素材	判定基準																													
絶縁体/難燃性架橋ポリエチレン	25 以上																													
シース/難燃性特殊耐熱ビニル	27 以上																													
<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> 	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)電氣的機能への影響確認</p> <p>①防火シートによる電氣的機能(放熱)</p> <p>・防火シートがある場合の電流低減率: 約 13.4% (許容される低減率は約 34%であり、設計許容値内で問題なし)</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>試験規格</th> <th>IEEE848-1996</th> <th>備考</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>ケーブル仕様</td> <td>外径 17.5mm</td> <td></td> </tr> <tr> <td>トレイ形状</td> <td>幅 600mm, 高さ 120mm, 長さ 3,660mm</td> <td>ラダータイプ</td> </tr> <tr> <td>ケーブル配置</td> <td>32本×3段</td> <td>全容本</td> </tr> <tr> <td>防火シート</td> <td>有</td> <td></td> </tr> </tbody> </table> <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> 	試験規格	IEEE848-1996	備考	ケーブル仕様	外径 17.5mm		トレイ形状	幅 600mm, 高さ 120mm, 長さ 3,660mm	ラダータイプ	ケーブル配置	32本×3段	全容本	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	IEEE848-1996	備考																												
ケーブル仕様	外径 17.5mm																													
トレイ形状	幅 600mm, 高さ 120mm, 長さ 3,660mm	ラダータイプ																												
ケーブル配置	32本×3段	全容本																												
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																												
<p>②防火シートによる電氣的機能(絶縁)</p> <p>a.絶縁抵抗測定試験結果</p> <p>・規定電圧(交流:1500V)で1分間耐えることを確認</p> <p>b.耐電圧試験結果</p> <p>・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>(3)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>・測定値(pH): 6.4</p>																														
<p>②防火シートによる耐震性低下</p> <p>重量増加(ラダー): 3.3% < 設計重量の余裕: 5% 重量増加(ソリッド): 4.0% < 設計重量の余裕: 14% ➢ 重量増加が設計余裕に影響しない設計重量の余裕の範囲内に収まることを確認した。</p>																														

評価

<p>(1)防火シート等の耐久性試験</p> <p>①防火シートは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した。</p>
<p>②防火シートは高温及び放射線環境下において難燃ケーブル以上に、耐久性を有していることを確認した。</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複合体は外力(地震)によって、ずれないことを確認した。</p>
<p>(2)電氣的機能への影響確認</p> <p>①防火シート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ことを確認した。</p>
<p>②防火シートが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した。</p>
<p>(3)機械的機能への影響確認</p> <p>①防火シートの pH 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した。</p>
<p>②防火シートによる重量増加は、設計余裕に影響しない設計重量の余裕の範囲内に収まることを確認した。</p>