

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 20 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妥当性確認の概要	（第3. 1章）
実機で想定されるばらつきを考慮した試験条件	（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（熱、酸素、可燃物）のいずれかを抑制することにより、高い難燃性能を確保
- ◆ 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

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、傷）も考慮し設計目標を設定

【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能を確保する
- II. 複合体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
- 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	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 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概要

項目	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	
I. 複合体外部の火災に対する基本性能	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 ●難燃ケーブルは外部の火災に対し難燃材料のケーブルシースにより延焼を抑制するが、複合体は外部被覆となる不燃材の防火シートにより内部の非難燃ケーブルの延焼又は熔融を抑制 ●このため、複合体外部の火災に対しては、難燃ケーブルに対する耐延焼性試験(IEEE383)に準拠した試験により難燃ケーブルと同等以上の難燃性能を確認 ●試験による判定基準は、(設計目標I)を要求するため、ケーブルの損傷長が難燃ケーブルの損傷長未満であることとする	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	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 ➢ 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) (非難燃ケーブルの自己消火性を確認) ① 実機代表ケーブルの選定 ●目的:実機全ケーブルの中から供試体に用いる実機代表ケーブルを選定 ●試験方法(燃焼条件):IEEE383に準拠した耐延焼試験 ② 供試体の作製条件 ●目的:作成条件の設定 ●方法:構成品・施工状態のばらつきを考慮して選定 ③ 耐延焼性試験 ●試験方法(燃焼条件):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未満であること	3. 3
II. 複合体内部の火災に対する基本性能	II. 複合体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 ●難燃ケーブルは過電流発火に対して難燃材料のケーブルシース及び絶縁体により延焼を抑制するが、複合体は、複合体内部の火災(複合体外部の火災又は過電流によるケーブル発火)に対し、複合体内部の酸素量を抑制することにより延焼を抑制 ●このため、複合体内部の火災に対しては、以下の試験と判定基準により難燃ケーブルと同等以上の難燃性能を有すること(設計目標II)を確認	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、内部を閉鎖空間とする設計	II. 閉鎖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機器等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ル材を設置	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) (非難燃ケーブルの自己消火性を確認) ① 供試体の作製条件 ●目的:作成条件の設定 ●方法:構成品・施工状態のばらつきを考慮して選定 ② 耐延焼性試験 試験方法(燃焼条件):IEEE383に準拠 遮炎性試験(建築基準法に準拠) 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 ●防火シートに損傷・発火がなく、外部に火炎の継続的な噴出がないこと ●外部に火炎の継続的な噴出がないこと	3. 4
III. 複合体外部/内部の火災に対して想定を超える状態における安全裕度	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 ●複合体の難燃性能(設計目標I及びII)は、複合体が設計仕様を満足する状態であることが前提 ●このため、供用期間中における環境条件に対し耐久性を有すること、基準地震動Ssによっても設計どおりの状態を維持できることを複合体の設計上考慮すべき事項として要求 ●設計目標IIIは、想定外の施工不良、傷等による複合体の不完全状態が存在する不確かさまでも考慮し、複合体が高い難燃性能を確保できるよう安全余裕(設計裕度)を確保することを目的として設定 ●具体的な設計目標としては、複合体の防火シートを固定するファイアストップ(45度超の勾配をもつトレイ敷設の場合)及び結束ベルトの1つが脱落した状態を仮定した場合にも、外部の火災及び内部の火災に対し耐延焼性を確保できること(燃え止まること)を要求	III. 設計方針I及びIIを満足しない不完全な状態を仮定しても耐延焼性を確保する設計	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 ●ファイアストップの設置間隔は、ファイアストップ及び結束ベルト1箇所が外れた状態を想定しても、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)を踏まえ、その半分である900mm以内に設定	1. 耐延焼性	① 供試体の作製条件 ●ファイアストップ及び結束ベルト1箇所を外れた状態 ●傷がついた状態は、シートのずれによるケーブル露出状態と同じであるため、シートのずれ模擬に包絡 ② 耐延焼性試験 ●外部及び内部の火災に対する耐延焼性を実証 ●試験条件(燃焼条件):IEEE383に準拠 ●露出部のケーブルをバーナで直接加熱	●燃え止まること	3. 5

複合体の設計仕様・図

【複合体設計仕様】

側面 正面

防火シート重ね代 100mm以上

防火シート幅 1000mm

ファイアストップ間隔 900mm以下

結束ベルト間隔 300mm以下

結束ベルト

防火シート

【ケーブルトレイ断面】

ケーブルトレイ断面 (約40mm)

ケーブル

ケーブルトレイ

結束ベルト

防火シート

ファイアストップ

【ケーブルトレイの特徴】
○トレイは浅く、折り返しあり

【実機施工】
○極力、空気層が発生しないように施工

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
 - ・防火シートとの間には耐火材(セラミックファイバ)でケーブルの凸凹に追従させ密着

【仮定した不完全な状態】

防火シート

結束ベルト

ファイアストップ

シート重ね部

シート

ファイアストップ

シートのずれ

ケーブル露出

【防火シートのずれ】

【防火シートの傷】

3.2 実機で想定されるばらつきを考慮した試験条件

構成部品	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)		
		外部火災	内部火災				
<p>口は、選定結果</p>							
複合体構成部品	ケーブル	種類・サイズ	高圧 低圧 制御 計装	実機全ケーブルリストの中から回路種別ごとに 25mm 以下のケーブルを選択し、IEEE383 に準拠した一層及び多層敷設燃焼試験において最も損傷した低圧電力ケーブル(外径 14.5mm)を実機代表ケーブルに選定	同左(内部火災も考えは同様)	低圧, 外径 14.5mm	同左
		使用期間	短期(新品) 長期(旧品)	新品と旧品を比較し、燃えやすい新品を選定 【絶縁体/シースの 40 年劣化相当(19.3/28.6) > 新品(18.3/25.3)】	同左(内部火災も考えは同様)	新品ケーブル	同左
		延焼防止材	有 無	延焼防止材は高い延焼防止性能を有しているため、延焼防止材無を選定(添付 1)	同左(内部火災も考えは同様)	無	同左
		埃	有 無	実機サンプリングによる埃の成分分析から影響は極めて小さいため、埃無を選定	同左(内部火災も考えは同様)	無	同左
		ケーブル敷設状態	整線 波状	垂直トレイ: 自重で自然に整線状態となるため、整線を選定 水平トレイ: 建設時に整線し施工しているため、整線を選定	同左(内部火災も考えは同様)	垂直: 整線 水平: 整線	垂直: 整線 水平: 整線、 波状(参考)
		ケーブル敷設状態	整線 波状	垂直トレイ: 自重で自然に整線状態となるため、整線を選定 水平トレイ: 建設時に整線し施工しているため、整線を選定	同左(内部火災も考えは同様)	垂直: 整線 水平: 整線	垂直: 整線 水平: 整線、 波状(参考)
ケーブルトレイ	トレイタイプ	ラダー ソリッド トレイ無※1	水平では、シートからケーブルに直接熱が伝わりやすいラダータイプを選定	空気を取り易い開口面を有するラダータイプを選定	ラダー	同左	
	トレイサイズ	幅: 150mm ~ 750mm	IEEE383 の試験に用いるトレイサイズ 300mm を選定(実機全てのトレイ高さは一律 120mm)	同左(内部火災も考えは同様)	(幅) 300 × (高さ) 120	同左	
	トレイ形状	直線 十字 L字 T字 S字	空気の流れを妨げること無く火災が最も広がりやすい直線トレイ形状を選定(直線以外のトレイ形状は直線トレイ形状に比べ、空気の流れが妨げられ易い)	同左(内部火災も考えは同様)	直線形状	同左	
<p>※1: ケーブルトレイ分岐部のトレイ無部(ケーブル単体部)は、ケーブル直巻き状態での耐延焼性確認試験(添付3)(右図、代表ケーブル選定の1層敷設燃焼試験が該当)、電線管部は管端部のシール材の耐火試験により耐延焼性を確認(添付2)</p>							
試験条件	ケーブル	敷設量※2 (ケーブルとシートの隙間)	満載(隙間小) 少量(隙間大) 多量(隙間無)	外部火災を模擬した耐延焼性試験では、隙間が最大となる巻き方(太鼓巻)の供試体とし、複合体内部の隙間のばらつきは、敷設ケーブル量を変えることにより選定	内部火災を模擬した耐延焼性試験では酸素は十分に供給されるため、可燃物量の多い満載を選定	満載(標準) 少量(ばらつき) 多量(ばらつき)	満載(標準)
	ケーブルトレイ	トレイ設置方向※2	垂直 勾配 45° 水平	延焼しやすい方向は、垂直であるため、垂直トレイを標準として選定。参考として水平を選定	延焼しやすい方向は、垂直であるため、垂直トレイを標準として選定。また、ファイアストップパ設置範囲を確認するため勾配 45° を標準とし選定。参考として水平を選定	垂直(標準) 水平(参考)	垂直(標準) 勾配 45° (標準) 水平(参考)
	ケーブルトレイ	ファイアストップパ※2	有 無	垂直トレイ: ファイアストップパのない水平トレイを包絡条件および設計要求条件として、ファイアストップパ無、有を選定	垂直トレイ: ファイアストップパの必要性または効果を確認するための条件としてファイアストップパ有、無を選定	垂直: 無・有(標準)	垂直: 有・無(標準)
	バーナ	ファイアストップパとバーナの距離		バーナ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、ファイアストップパに対して異なるバーナ位置を選定(ファイアストップパ中心からの距離を変えて3か所)	ファイアストップパがない場合は延焼することが確認されているため、ケーブルが着火すればバーナとファイアストップパの距離に依存しない(ファイアストップパ下端からバーナまでの距離)	362.5mm 662.5mm 1262.5mm	1075mm
	バーナ	20kW 30kW		IEEE383 に準拠し 20kW を選定 加熱量が増加し内部で発火する場合は、複合体内部の火災に対する耐延焼性試験で確認。加熱量を増加した 30kW での着火の有無を参考として確認	内部の火災はケーブルに着火させ燃え止まることを確認するため、ケーブルの着火可能な 20kW を選定	20kW(標準) 30kW(参考)	20kW(標準)
	バーナ					3.3(2)	3.4(2)

※2: 耐延焼試験の供試体の考え方(添付4)

【試験条件の設定の考え方】

- ① 複合体構成部品からばらつきを抽出
- ② ①を踏まえ、燃えやすさの観点、難燃ケーブルとの比較の観点から供試体形状を決定
- ③ トレイ設置方向、酸素量、可燃物量等の実機敷設状態を考慮し試験条件を選定
- ④ 耐延焼性試験を実施

発電所での敷設されているケーブルトレイ敷設の非難燃ケーブル(高圧電力ケーブル除く)に対して難燃ケーブルと同等以上の難燃性能を確認

【試験条件: 実機代表ケーブルの選定】

- ① 実機全ケーブルリストから非難燃ケーブルを抽出
- ② 電気学会技術報告から、損傷長が長くなる約 25mm 以下のケーブルを回路種別ごとに選択
- ③ 選択されたケーブルに対して IEEE383 に準拠した耐延焼試験を実施
ケーブル層(直巻き)敷設、バーナ熱量: 20kW、加熱時間: 20分
- ④ 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)状態でも耐延焼試験を実施し、比較
- ⑤ 燃焼試験の結果
「耐延焼性」を実証するための代表ケーブルとして以下を選定
・低圧電力ケーブル: 外径 14.5mm

回路種別	絶縁材	シース材	使用ケーブル 外径(mm)	試験ケーブル 外径(mm)	一層敷設燃焼試験(最大 燃焼長平均 mm) / 3 回	多層敷設燃焼試験(最大 燃焼長平均 mm)
計装	架橋ポリ	ビニル	9.5~21.5(10種)	9.5	763	—
制御			9.9~20.0(18種)	9.9	840	635
低圧電力			14.5~31.0(12種)	14.5	800	663
低圧電力	難燃架橋ポリ リエチレン	難燃ビニル	—	14	1,010 ^{※2}	—

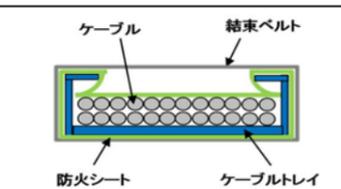
※1: ()内はトリプレックス型 3 本より合わせ外径を示す。※2: 試験回数 1 回
・比較対象とする難燃ケーブルとして、同サイズの低圧電力ケーブル(外径 14.0mm)を選定

【試験条件: ケーブルトレイタイプの選定】

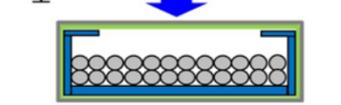


【試験条件: ケーブルトレイ形状の選定】

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	

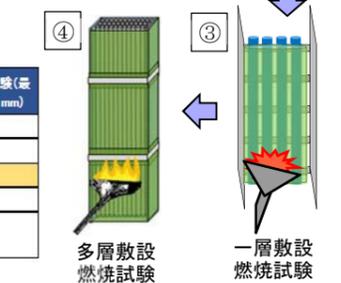
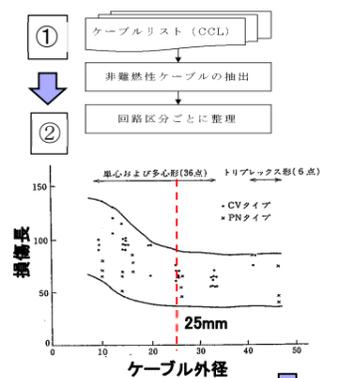


【実機施工】
○極力、空気が発生しないように施工

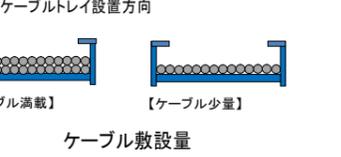
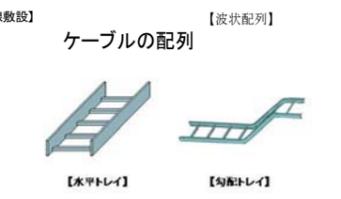
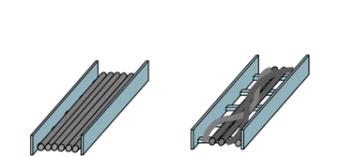


【耐延焼性確認(供試体)】
○シート施工時の不確かさ(折り返し部の隙間)を考慮した上で、隙間が最大となる巻き方(太鼓巻)の供試体とし、複合体内部の隙間のばらつきは、敷設ケーブル量を変えることにより考慮

【外部火災の場合】



【垂直トレイ燃焼試験イメージ】



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

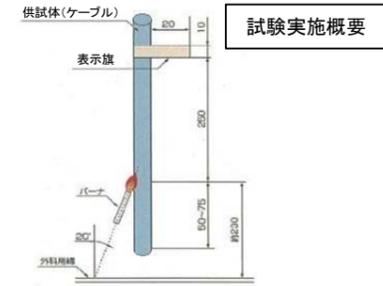
- 防火シートで覆った場合、酸素(空気)の供給が断たれる可能性があるため、保守的に防火シートを巻かずにケーブル単体で試験を実施
- UL1581 VW-1試験を実施

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

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

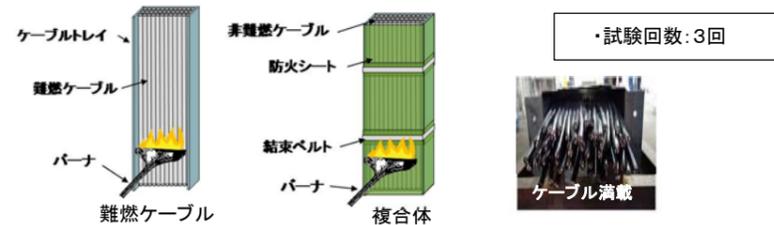
(1) 自己消火性

- 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実機状態を模擬した耐延焼性試験

- 標準的な状態として外部火災に対して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)として外部火災に対して複合体の耐延焼性が確保できることを確認する。



・試験回数: 1回

②ケーブル敷設量のばらつきを考慮した試験

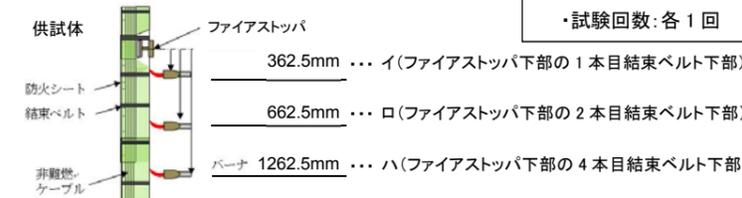
- ケーブル敷設量のばらつき(防火シートとケーブルの隙間量)を考慮しても耐延焼性が確保されることを確認する。



・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

- 加熱源とファイアストップパの位置関係を変化させても耐延焼性が確保できることを確認する。



・試験回数: 各1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

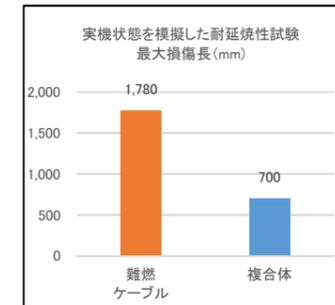
- バーナ加熱熱量を1.5倍に変化させた場合においても、複合体の耐延焼性が確保できること及び内部のケーブルが着火しないことを確認する。

- バーナ熱量: 30kW
- 試験回数: 2回

(2) 耐延焼性

①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
						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		1,780	良



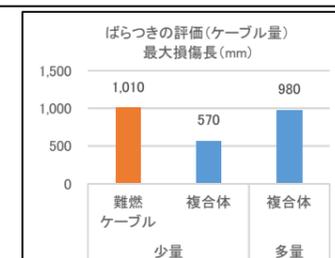
(参考1) 水平トレイでの延焼性を確認する試験

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

②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		少量	1,010 ^{※1}

※1: 前項 3.2 の「代表ケーブル選定」の試験結果

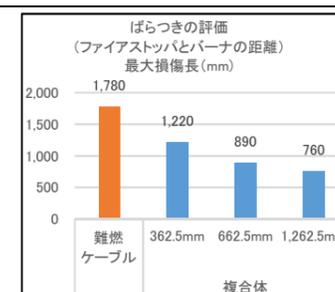


※: 難燃ケーブルの損傷長は、少量の場合 1010 mm, 満載の場合 1780 mm である。満載より更にケーブル量が多い状態では満載の場合より損傷は長くなる。一方、ケーブル多量での複合体の損傷長は、980 mm であり、難燃ケーブル満載の損傷長さより短いため、難燃ケーブル多量での試験は不要と判断した。

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

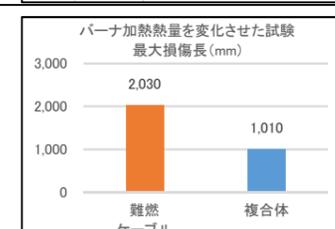
供試体	トレイ設置方向	ケーブルの種類(回路種別)	絶縁材/シース	ケーブル量	バーナ熱量(kW)	ファイアストップパとバーナの距離 ^{※1} (mm)	最大損傷長(mm)	判定結果(燃え止まること)
複合体	垂直	低圧電力ケーブル	架橋ポリエチレン/ビニル	満載	20	362.5	1,220	良
						662.5	890	良
						1,262.5	760	良
難燃ケーブル			難燃架橋ポリエチレン/難燃ビニル			—	1,780 ^{※2}	良

※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



(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
						2,030	良
難燃ケーブル			難燃架橋ポリエチレン/難燃ビニル				



(2) 耐延焼性

①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

②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

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

- 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
 ◆ 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

・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			
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、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
 ・火炎が外部へ露出する可能性が最も高い防火シート重ね部にて遮炎性を確認する
 【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

【試験イメージ】

 ISO834 加熱曲線

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

絶縁体 導体 マイクロヒータ接続
 非難燃ケーブル マイクロヒータ接続
 防火シート重ね部 防火シート
 温度コントローラ

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

火源方向:→
 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

(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

試験前 試験後

 No.1の供試体

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)	ケーブル量	トレイ設置方向	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	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

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

・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

(3) 遮炎性
 ① 遮炎性(建築基準法)
 ・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

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、遮炎性が確保できることを確認

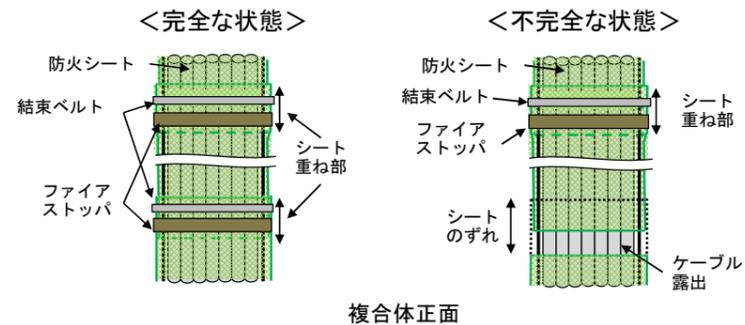
◆ 結論:複合体内部の火災について、設計目標を達成できることを確認

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】

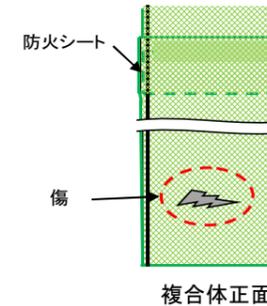
◆ 防火シートのずれ

- 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

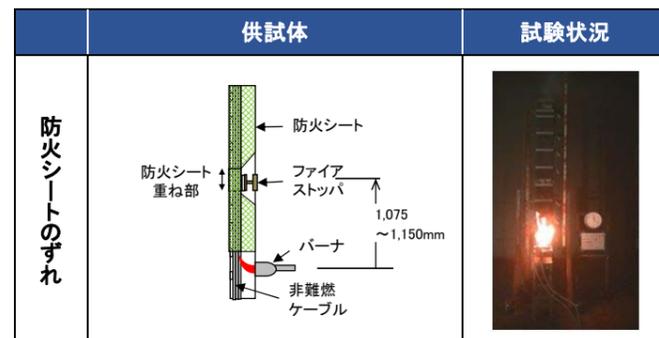


確認項目

(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 200mm 以上露出+シート幅 1000mm=1200mm, ファイアストップ幅 75mm に設置余裕を考慮)



・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

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	満載	20	330(露出:230)	1,770	良

供試体(断面)



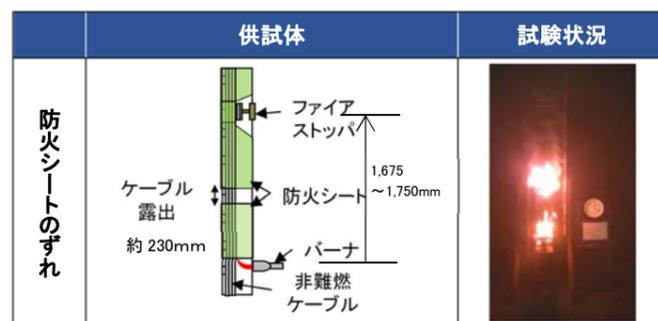
最大損傷長 1,770mm



(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 200mm 以上露出+ベルト間隔 300mm+ベルト幅 35mm+露出部約 230mm+シート幅 1000mm=1765mm ファイアストップ幅 75mm に設置余裕を考慮)



・試験回数:1回

◆ 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

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)

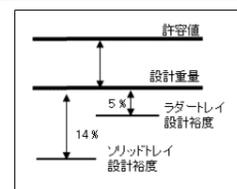
- 加熱源除去後、複合体内部のケーブルが燃え止まることを確認

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> 	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>  <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>【IEEE848-1996 試験概要】</p> <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: 低圧電力ケーブル(14.5mm)</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>

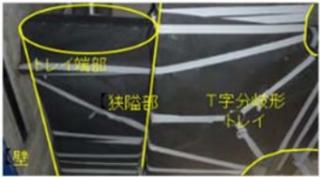
5. 代替措置の実機施工性の検討

- ◆ 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			水平	約1,300	
4		制御	垂直	約100	
5			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			水平	約1,900	
10		制御	垂直	約100	
11			水平	約800	
12			垂直	約100	

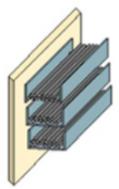
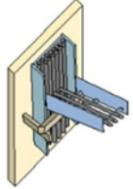
- ◆ 狭隘となる壁の干渉部及びトレイの端部, トレイの合流部, T字分岐形トレイ, 傾斜トレイ等について施工可能であることを実機トレイにて確認





狭隘部
 (壁の干渉部, トレイ端部)
 T字分岐形トレイ

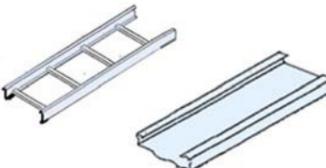
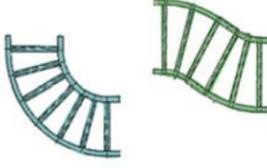
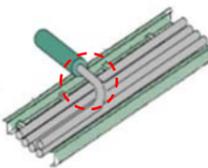
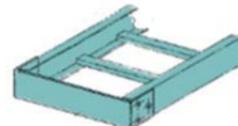
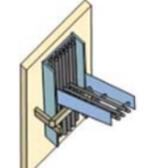
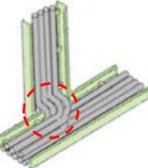
【実機トレイを用いた代替措置の施工性を確認した状況】


【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以上の難燃性能を確保
- 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。

添付1 延焼防止材による複合体の機能への影響

◆ 延焼防止材(塗料)による複合体の機能への影響を以下の観点で評価

- 複合体の難燃性能への影響
- 延焼防止材が塗布されているケーブルの機能への影響

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	延焼防止材の難燃性能	熱・放射線加速劣化試験による延焼防止材の酸素指数(酸素指数: 初期値: 42.6 < 40年: 51.8, 60年: 53.4)は非難燃ケーブルシースの酸素指数25.3に比べ高い	経年変化を考慮しても非難燃ケーブルのシースより高い難燃性を有する
	ケーブルの隙間空気量	ケーブルの隙間が延焼防止材で埋まるため、空気量は低減される	酸素の低減に寄与
ケーブルへの機械的影響	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, 耐アルカリ性を有するためケーブルの耐久性に影響しないことを確認	影響なし
ケーブルへの電氣的影響	放熱性(熱伝導性)	延焼防止材の固有熱抵抗は小さいため、塗布することでケーブル表面積が広がり、熱抵抗増加分より放熱が良くなる ・延焼防止材: 100°C・cm/W < 非難燃ケーブル材料: 500~600°C・cm/W 電流低減率試験により、延焼防止材塗布前後の通電電流に変化がないことを確認 ・導体温度: 80°C, 通電電流: 塗料なし119A ≒ 塗料あり120A	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(難燃性能は向上する)ため、複合体の難燃性能の実証試験及び複合体によるケーブル機能への影響確認試験においては、延焼防止材を考慮しない

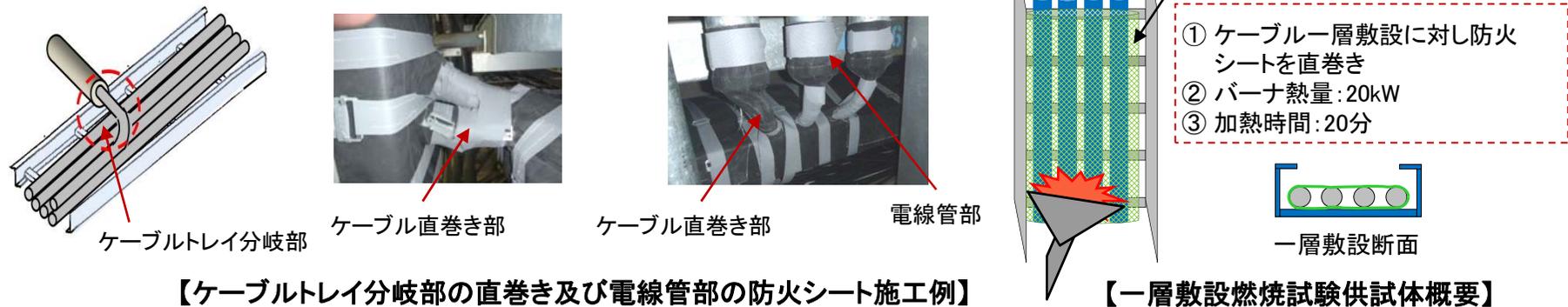
添付2 ケーブルトレイ分岐部の耐延焼性確認(ケーブル単体部)

◆トレイ分岐部に対しては以下の要素試験において耐延焼性を確認

➢トレイ無部(ケーブル単体部):ケーブル直巻き状態での耐延焼性確認試験(代表ケーブル選定時の一層敷設
燃焼試験が該当)

➢電線管部:管端部のシール材の耐火試験(添付3参照)

◆ケーブル直巻き部は, IEEE383に準拠した耐延焼試験を実施



【ケーブルトレイ分岐部の直巻き及び電線管部の防火シート施工例】

【一層敷設燃焼試験供試体概要】

◆燃焼試験結果 最も燃えやすいケーブルでも難燃ケーブルより損傷長が短い

回路種別	絶縁材	シース材	試験ケーブル外径(mm)	最大損傷長(mm)	最大損傷長平均(mm)
計装	架橋ポリエチレン	ビニル	9.5	740	763
				760	
				790	
制御			9.9	780	840
				780	
				960	
低圧電力			14.5	740	800
				810	
				850	
	635				
低圧電力	難燃架橋ポリエチレン	難燃ビニル	19	510	595
				640	
低圧電力	難燃架橋ポリエチレン	難燃ビニル	14	1010 ^{※1}	1010 ^{※1}

※1: 試験回数1回

添付3 ケーブルトレイから分岐する電線管敷設ケーブルの措置

◆ケーブルトレイから分岐する電線管敷設ケーブルは以下の措置によって難燃性を確保

- 電線管開口部に耐火シールを施し, 酸素供給の遮断により延焼防止
- シール材は耐火試験により確認された材料を使用(試験結果を以下に示す。)

◆シール材耐火試験

	電線管	ケーブル種類	ケーブル材料	サイズ(mm ²)	本数
試験体	Φ130 両端50mmをシール材充填	高圧電力	架橋ポリエチレン絶縁 ビニルシース (非難燃ケーブル)	325	1
		制御		2	7

【試験方法】

・「建築基準法 防耐火性能試験・評価業務法書 (ISO834)」に従った加熱曲線を用いて3時間加熱

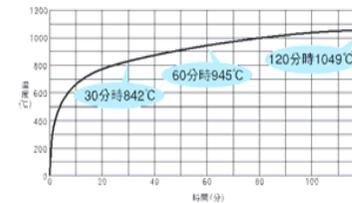
【判定基準】

(1) 外観確認

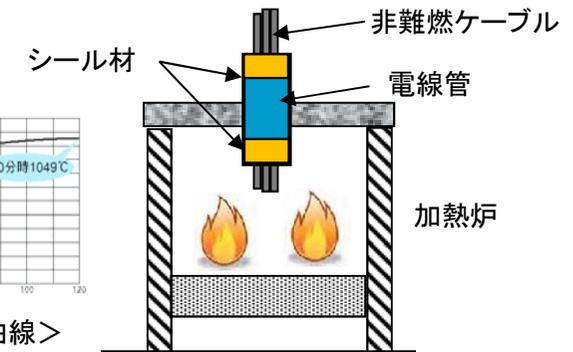
- ① 非加熱側へ10秒を超えて継続する火炎の噴出がないこと
- ② 非加熱側へ10秒を超えて継続する発炎がないこと
- ③ 火炎が通る亀裂等の損傷及び隙間を生じないこと

(2) 非加熱側温度測定

・シール材表面温度上昇幅がISO834で定める「平均140K, 最高180K」を超えないこと



<ISO834の加熱曲線>



<耐火試験概略>

【試験結果】

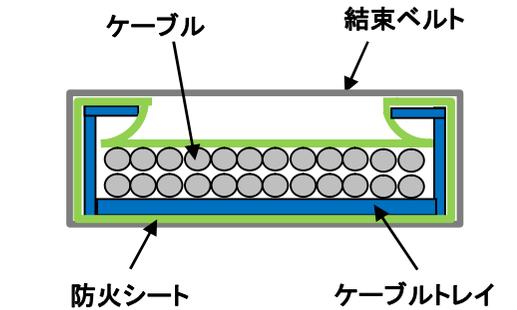
	温度測定位置	外観確認	非加熱側温度上昇幅(K)※	判定
	シール材表面	良	101	合格
参考	高圧電力ケーブルシース表面	—	95	—
	制御ケーブルシース表	—	71	—

※2回の試験のうち, 高温側の温度上昇を示す。

添付4 耐延焼性試験の供試体の考え方

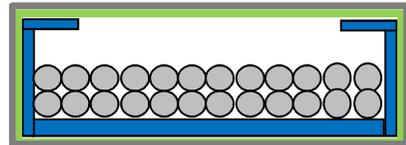
4.1 耐延焼性試験の供試体の考え方(外部火災 全体マトリックス)

<外部火災>



【実機施工】

○極力、空気層が発生しないように施工



【耐延焼性確認(供試体)】

○シート施工時の不確かさ(折り返し部の隙間)を考慮した上で、隙間が最大となる巻き方(太鼓巻)の供試体とし、複合体内部の隙間のばらつきは、敷設ケーブル量を変えることにより考慮

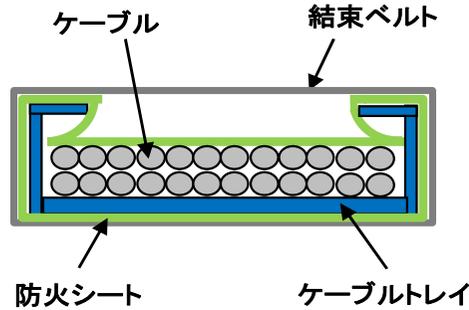
		トレイ方向		
		垂直(45°を超えるもの)		水平
ファイアストップ		無	有	無
試験の考え方		ファイアストップのない水平トレイを包絡する条件での試験	垂直トレイでのファイアストップの効果を確認する試験	参考
ケーブル量 【ケーブルとの隙間】	少量 【隙間大】	○ (隙間小と比較)	—	—
	満載 【隙間小】	◎	◎	△
	多量 【密着】	○ (実機施工を考慮してシート密着状態を模擬)	—	—

◎:標準 ○:ばらつき △:参考 —:試験対象外

外部火災に対しては、防火シートにより内部の非難燃ケーブルの延焼、熔融を抑制させる設計とするため、ケーブル量(ケーブルと防火シートの隙間)を条件に試験を検討

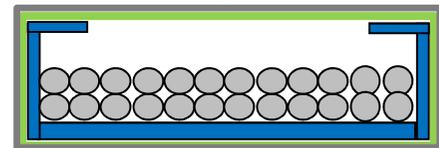
添付4 耐延焼性試験の供試体の考え方

4.2 耐延焼性試験の供試体の考え方(内部火災 全体マトリックス)



【実機施工】

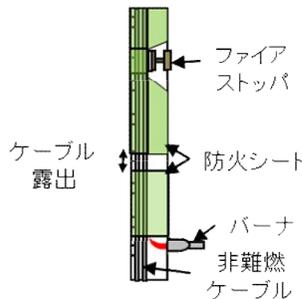
○極力、空気層が発生しないように施工



【耐延焼性確認(供試体)】

○シート施工時の不確かさ(折り返し部の隙間)はあるが、試験では酸素が十分に供給される条件となるため、隙間が最大となる巻き方(太鼓巻)の供試体とする

◆ 耐延焼性試験は酸素が十分供給される条件で実施



<内部火災>

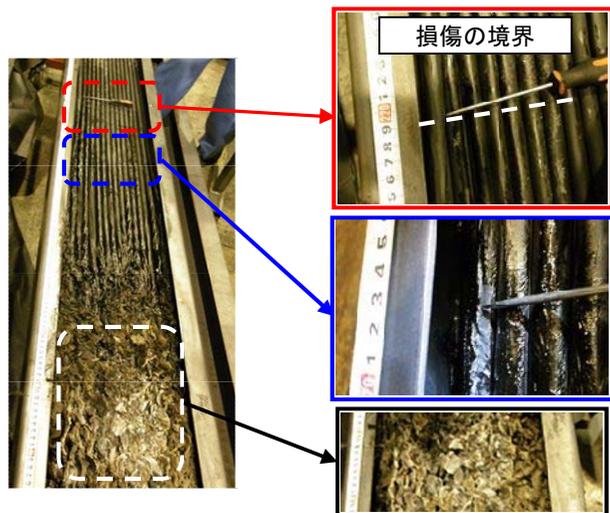
		トレイ方向		
		垂直(45°を超えるもの)	45°	水平
ファイアストップパ		無	有	無
試験の考え方		ファイアストップパの必要性を確認する試験	ファイアストップパの効果を確認する試験	ファイアストップパの必要性を確認する試験
ケーブル量	少量	—	—	—
	満載	◎	◎	△
	満載(シート密着)	—	○ (実機施工を考慮してシート密着状態を模擬)	—

◎:標準 ○:ばらつき △:参考 —:試験対象外

内部火災に対しては、防火シートにより内部の酸素供給を抑制するため、実機施工では極力密着して施工するが、試験は十分に酸素が供給される条件にて実施するため、ケーブル量(可燃物量)が多い条件を標準としてトレイ方向を条件に試験を検討

参考2 耐延焼性試験におけるケーブル損傷長の判定方法

【ケーブルの損傷】



【溶融】
表面が溶けて色が変化

【炭化】
表面が硬化し削れる

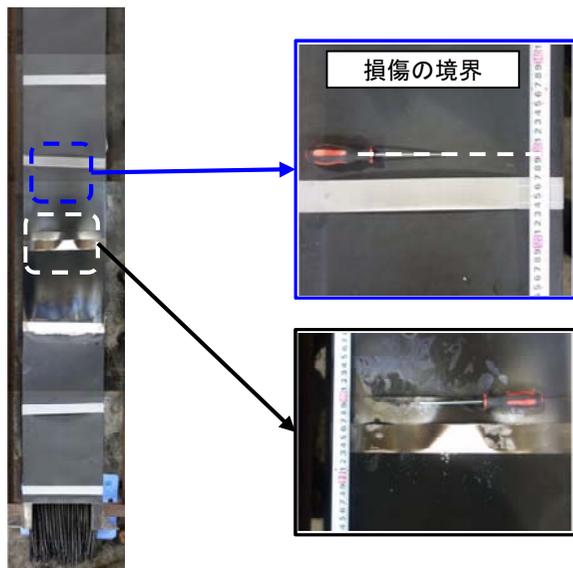
【灰化】
形状を残していない

◆耐延焼試験におけるケーブルの損傷長の判定については、定められた判定基準に基づき、力量のある者によって判定

ケーブル及び防火シートの損傷長判定基準

対象	損傷区分	判定基準	
		シース	絶縁体
ケーブル	溶融	シース	ケーブル表面の変形
		絶縁体	絶縁体の異常な変形
	火ぶくれ	シース	ケーブル表面の膨れ
		絶縁体	絶縁体の異常な膨れ
	炭化	シース	シース表面を金属ピックで一定の力で突き刺す。この時素材に弾性がないこと、乾いた音が生じて表面が崩れるなどを確認
		絶縁体	同上
灰化	シース	シース表面を金属ピックで一定の力で突き刺す。この時乾いた音をたてずに崩れることを確認	
	絶縁体	同上	
防火シート	溶融	発生しない	
	火ぶくれ	発生しない	
	炭化	防火シート表面に金属ピックで一定の力で突き刺し、穴が開かないことを確認後、シート表面をピックで引っ掻き、表面の難燃ゴムが容易に削れること(ゴム弾性を失う状況)を確認	
	灰化	防火シート表面に金属ピックで一定の力で突き刺す。この時、ほとんど抵抗なくシートを貫通することを確認	

【防火シートの損傷】



【炭化】
表面が硬化し削れる

【灰化】
ピックが刺さる

参考3 複合体内部の火災に対する耐延焼性試験の供試体について

- ◆複合体内部の火災の耐延焼性試験はケーブル自体に着火させ燃え止まることを確認
- ◆水平、勾配は防火シートにとケーブル間に隙間を設けトレイ両端部を開放した保守的な条件で確認
 - 水平トレイは、整線状態であっても、空気量を最大にした厳しい条件で耐延焼性を確認しているため、波状敷設については参考として燃え止まることを確認している。

トレイ設置方向	非難燃ケーブル敷設時	現状の敷設状態	説明	耐延焼性試験	
				敷設状態	シートとの隙間
垂直	整線状態	整線状態	ケーブル敷設時に自重で直線状態となる	整線敷設	有
勾配	整線状態	整線状態	・故意に交差させて配線しなければ整線状態は維持	整線敷設	有
水平	整線状態	交差ケーブルが存在	・敷設時には整線状態にあったものの増改良で敷設した難燃ケーブルが交差状態で存在	整線敷設	有
				波状敷設※	有

※波状敷設とは1層ごとにケーブルを交差させて編み込んだものを多層敷設した形態(右画像)
 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

- 複合体外部の火災の水平トレイについては、上部に隙間を設けて空気量を最大とし、下部の加熱源からの熱伝達されやすく燃焼しやすい整線状態を参考として確認

