

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 14 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，設計上考慮すべき事項，設計目標の考え方，設計目標	（第2章）
設計目標に対応した設計方針，具体的な設計及び実証試験の全体概要	（第3. 1章）
実証試験にて考慮すべき複合体の構成品や試験条件のばらつきについて	（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）
施工後に想定される悪影響（防火シートのずれ，隙間，傷等）を想定した実証試験結果	（第3. 5章）
難燃性能以外に設計上考慮すべき事項についての試験・確認結果	（第4章）
代替措置の実機施工性の検討結果	（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，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. 複合体の状態として，防火シートが不完全な状態を想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	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) 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. 複合体内部の火災に対して難燃ケーブルと同等以上※1の難燃性能を確保 ※1: 燃え止まること及び遮炎性 ● 燃焼の三要素のうち、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として、過電流による発火を想定し、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 ● 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すること	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、内部を閉鎖空間とする設計 ● 不燃材の防火シートにより複合体内部を閉鎖空間(外気から酸素の供給がなく閉鎖した状態)とする	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ル材を設置する	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) ① 供試体の選定 ● 目的: 保守的な供試体(ケーブル単体含む)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しないこと	3.4
複合体外部／内部の火災	III. 防火シートが不完全な状態を想定しても難燃性能を確保 ● 施工後に想定される悪影響(防火シートのずれ等)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 ● 単一の不具合としてファイアストップ及び結束ベルト1か所が外れることを想定 ● 防火シートの保持が外れた場合、防火シートにずれが生じ易い垂直トレイを選定	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(垂直トレイ): ・ファイアストップ及び結束ベルト1か所が外れた状態を想定 ・露出部のケーブルをバーナで直接加熱 ● 内部の火災(垂直トレイ): ・ファイアストップ及び結束ベルト1か所が外れた状態を想定 ・露出部のケーブルをバーナで直接加熱し、内部火災を模擬 ● 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

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
 - ・設置間隔は、ファイアストップ及び結束ベルト1か所が外れた状態を想定しても、難燃ケーブルの耐延焼性試験の判定基準(約 1800 mm)を踏まえ、その半分である 900 mm 毎に設定

【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】

浅い(120mm)

○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

+ ファイアストップ(傾き45°を超えるトレイ)

実証試験での標準試験体

実機トレイ形状

折り返し

実証試験基本形状(シート施工の不確実性を排除し、隙間(酸素)最大(太鼓巻))

【ケーブルトレイ分岐部の電線管、直巻き部】

トレイ分岐部は個別に要素試験を実施。
電線管・管端部のシール材の耐火試験
直巻き: 一層敷設の燃焼試験

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)
<p>□は、最も保守的となるものを選定</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	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	延焼防止材の, 高い延焼防止効果を試験により確認しており, 延焼防止材無を選定	無	同左
	ケーブルトレイ	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
		トレイタイプ	ラダー ソリッド トレイ無	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 (トレイ無の状態の耐延焼性確認は, 代表ケーブルの選定において実施)	ラダー	同左
		トレイサイズ	幅: 150mm ~ 750mm	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 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の 300mm 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, 建設時に整線し敷設されていることから整線を選定(垂直トレイのケーブルは自重により整線状態となる)。波状はケーブル敷設時の不確実性の観点から参考に実施	整線	同左, (波状)
トレイ形状	直線 S字 傾斜 十字 L字 T字	空気の流れを妨げることなく, 火炎が最も広がりやすい直線形状を選定 (直線以外のトレイ形状は, その形状により空気の流れを妨げ易い)	直線形状	同左		
試験条件	ケーブル	敷設量	満載 少量	【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%)を選定 【内部火災】耐延焼性を確認するため満載を選定	満載 少量	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		【外部火災】難燃ケーブルと比較するため, IEEE383 に準拠し 20kW を選定。また, バーナ出力を変化させても同等以上の耐延焼性が維持されるかを確認するために 30kW でも実施	20kW	20kW
30kW			【内部火災】難燃ケーブルと比較するため, IEEE383 に準拠し 20kW を選定。内部火災ではケーブルに着火できればよいことから, バーナ出力を変化させた確認試験は不要	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】ファイアストップパを設置しないため, 試験不要	362.5mm 662.5mm 1262.5mm	—	

【試験条件: 代表ケーブルの選定】

- ケーブルリストから非難燃ケーブルを抽出
- 電気学会技術報告から, 損傷長が長くなる約 25mm 以下から回路種別ごとに選択
- 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
- 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
- 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を以下選定

・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)	1層敷設燃焼試験(最大損傷長平均 mm) / 3回	多層敷設燃焼試験(最大損傷長平均 mm) / 3回
計装			9.5~21.5(10種)	9.5	763	—
制御	架橋ポリエチレン	ビニル	9.9~20.0(18種)	9.9	840	635 ^{※3}
低圧電力	架橋ポリエチレン	ビニル	14.5~31.0(12種)	14.5	800	663
低圧電力	難燃架橋ポリエチレン	難燃ビニル	19(41) ^{※1} ~31(5種)	19	595	—
低圧電力	難燃架橋ポリエチレン	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
 ※3: 試験回数2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: ケーブル敷設量と空気量の選定】

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)		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)	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)	満載	満載
可燃物少	少量	代表になり得ない(2つの要素小)	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)		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)	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	満載	左欄の条件で包絡
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)	上欄の条件で包絡	代表になり得ない(2つの要素小)

IEEE383 準拠の外部火災(垂直トレイ)で損傷距離が最も大きかったケーブル満載, 酸素量多の状態(太鼓巻)を基準に各種ばらつき確認試験を実施

【試験条件: ケーブルトレイタイプの選定】

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			

ケーブルの配列: 整線敷設, 波状配列

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

ケーブル敷設量: ケーブル満載, ケーブル少量

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

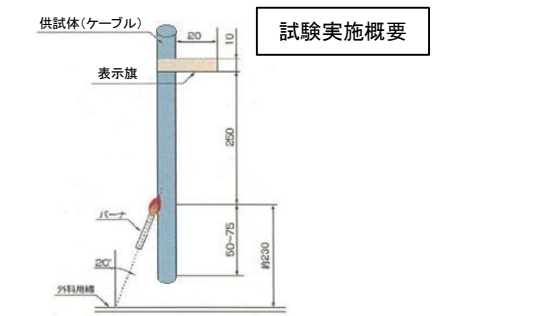
(1) 自己消火性
外部の火災に対する自己消火性の確認
 ・防火シートで覆った場合、酸素(空気)の供給が断たれる可能性があるため、保守的に防火シートを巻かずにケーブル単体で試験を実施
 ・UL1581 VW-1試験を実施

試験方法	判定基準
・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

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	0	無	良
		19	0	0	0	無	良



評価

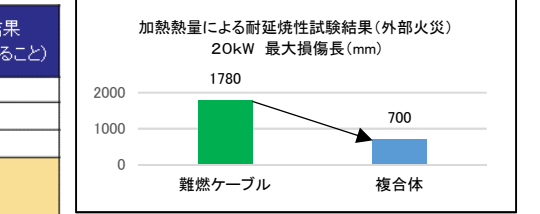
(1) 自己消火性
 ・ケーブル単体で自己消火性を有することを確認

(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

(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				満載	20	1,780	良



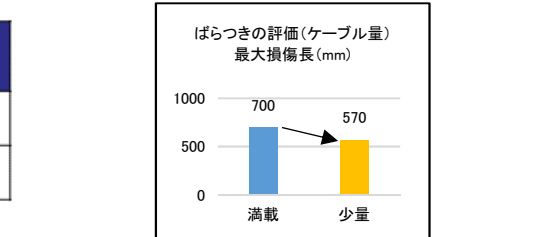
(2) 耐延焼性
①実機状態を模擬した試験
 ・複合体が燃え止まること及び難燃ケーブルよりも損傷長が短いことを確認

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

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
				満載		700	良



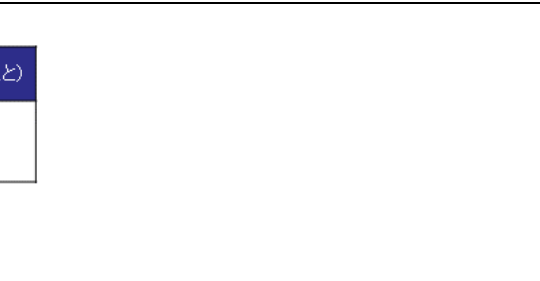
②ケーブル敷設量のばらつきを考慮した試験
 ・複合体が燃え止まること及び難燃ケーブルよりも損傷長が短いことを確認
 ※難燃ケーブルとの最大損傷長の比較のうち満載は(2)①の試験結果(1780mm)、少量は前項3.2の「代表ケーブル選定」の試験結果(1010mm)による。

③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

③水平トレイでの延焼性を確認する試験

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



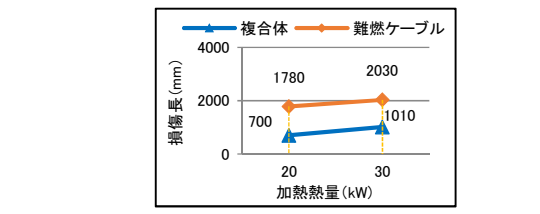
③水平トレイでの延焼性を確認する試験
 ・複合体が燃え止まることを確認

④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、耐延焼性が確保できることを確認する。

・バーナ熱量:30kW
 ・試験回数:2回

④バーナ加熱熱量を変化させた垂直トレイ燃焼試験

供試体	トレイ設置方向	ケーブルの種類(回路種別)	絶縁材/シース	ケーブル量	バーナ熱量(kW)	最大損傷長(mm)	判定結果(燃え止まること)
複合体	垂直	低圧電力ケーブル	架橋ポリエチレン/ビニル	満載	30	1,010	良
					930	良	
難燃ケーブル				満載	30	2,090	良



④バーナ加熱熱量を変化させた垂直トレイ燃焼試験
 ・バーナ熱量30kWで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
 ・加熱熱量と損傷長のグラフにおいて両者の傾きに大きな差異がないことを確認

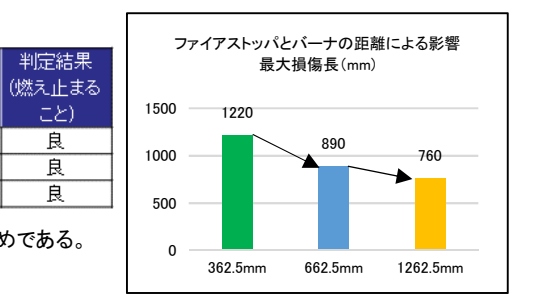
⑤加熱源とファイアストップパの距離による影響の確認試験
 ・加熱源とファイアストップパの位置関係を変化させても耐延焼性が確保できることを確認する。

・試験回数:各1回

⑤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(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
						1262.5	760	良

※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である。



⑤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
 ※難燃ケーブルとの最大損傷長の比較は(2)①の試験結果による。

◆ **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(ケーブル損傷範囲の判定)
 ・(株)古河テクノマテリアル(防火シート損傷範囲の判定)

3.4 複合体の内部の火災に対する実証試験結果

修正

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

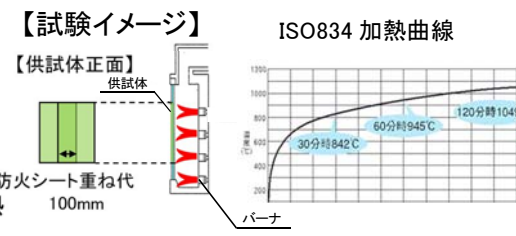
・試験回数:各1回

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

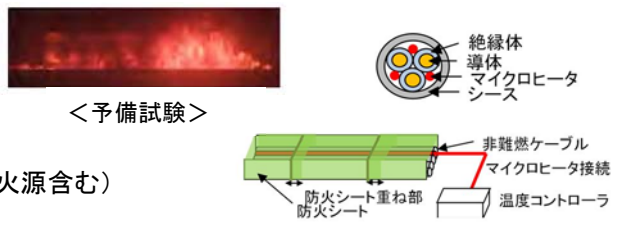
② 波状敷設試験(参考)
 ・波状敷設:建設時敷設のケーブルは整線状態にあるが、保守的な条件としてケーブルを波状敷設して、ケーブル間に隙間を設けた状態を模擬して耐延焼性を確認する

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
 ・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
 【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°C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

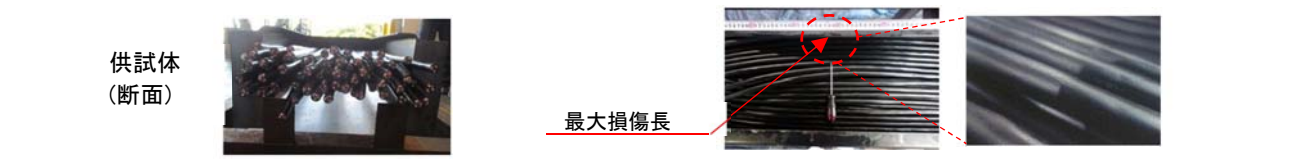
供試体	ケーブル種類(回路種別)	絶縁材/シース	ケーブル量	バーナ熱量(kW)	トレイ設置方向	隙間有無/ファイアストップパ有無	最大損傷長(mm)	判定結果(燃え止まること)
複合体	低圧電力ケーブル	架橋ポリエチレン/ビニル	満載	20	水平	隙間あり/ストップパなし	740	良
					勾配45°		850	良
					垂直	隙間あり/ストップパあり	1,280*	否
						隙間なし/ストップパあり	1,070	良

※: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)



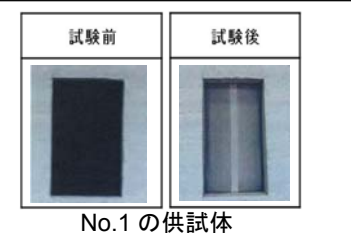
② 波状敷設試験(参考)

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



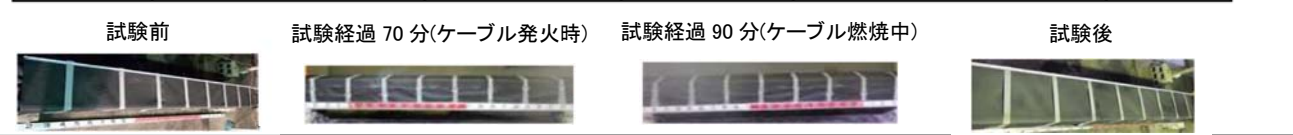
(3) 遮炎性
 ① 遮炎性試験

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

(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

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、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

実証試験実施機関
 ・一般社団法人 電線総合技術センター(ケーブル損傷範囲の判定)
 ・(株)古河テクノマテリアル(防火シート損傷範囲の判定)

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>

複合体正面

<不完全な状態>

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ため、防火シートのずれ模擬に包絡

複合体正面

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(ファイアストップパ幅:75mm)

防火シートのずれ	供試体	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(ファイアストップパ幅:75mm)

防火シートのずれ	供試体	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	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

(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

評価

(1) 複合体外部の火災

① 防火シートのずれ(防火シートの傷)

- 加熱源除去後、複合体内部のケーブルが燃え止まることを確認

(2) 複合体内部の火災

① 防火シートのずれ(防火シートの傷)

- 加熱源除去後、複合体内部のケーブルが燃え止まることを確認

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

実証試験実施機関

- 一般社団法人 電線総合技術センター(ケーブル損傷範囲の判定)
- (株)古河テクノマテリアル(防火シート損傷範囲の判定)

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気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するかを確認</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するかを確認</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 3805</td> <td rowspan="5">防火シート、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 3805	防火シート、結束ベルト	初期時及び劣化処理後に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 3805	防火シート、結束ベルト	初期時及び劣化処理後に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> <table border="1"> <thead> <tr> <th rowspan="2">想定年数</th> <th colspan="2">外観変化 (割れ、膨れ、変色)</th> <th colspan="2">酸素指数</th> </tr> <tr> <th>シート</th> <th>ベルト</th> <th>シート</th> <th>ベルト</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>初期</td> <td>—</td> <td>—</td> <td>40.4</td> <td>63</td> </tr> <tr> <td>40年</td> <td>無</td> <td>無</td> <td>70以上</td> <td>45</td> </tr> <tr> <td>判定結果</td> <td>良</td> <td>良</td> <td>良</td> <td>良</td> </tr> </tbody> </table> <p><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</p> 	想定年数	外観変化 (割れ、膨れ、変色)		酸素指数		シート	ベルト	シート	ベルト	初期	—	—	40.4	63	40年	無	無	70以上	45	判定結果	良	良	良	良
想定年数		外観変化 (割れ、膨れ、変色)		酸素指数																				
	シート	ベルト	シート	ベルト																				
初期	—	—	40.4	63																				
40年	無	無	70以上	45																				
判定結果	良	良	良	良																				
<p>③複合体の外力(地震)による健全性</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>対象トレイ</th> <th>結束ベルトの外れ</th> <th>ファイアストップの外れ</th> <th>ケーブルの露出</th> <th>判定結果</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>水平トレイ</td> <td>無</td> <td>—</td> <td>無</td> <td>良</td> </tr> <tr> <td>垂直トレイ</td> <td>無</td> <td>無</td> <td>無</td> <td>良</td> </tr> </tbody> </table> <p><供試体> ラダートレイ、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>「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気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% (許容される低減率の設計裕度は約 34%であり、電流低減率は設計裕度内で問題なし)</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>ケーブル設計電流(A)</th> <th>定格電流(A)</th> <th>設計裕度(%)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>97</td> <td>72</td> <td>34</td> </tr> </tbody> </table>  <p>【IEEE848 規格試験概要】</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>試験規格</th> <th>備考</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>IEEE848-1996</td> <td></td> </tr> <tr> <td>ケーブル仕様</td> <td>外径 17.5mm</td> </tr> <tr> <td>トレイ形状</td> <td>幅 600mm、高さ 120mm、長さ 3,660mm</td> </tr> <tr> <td>ケーブル配列</td> <td>32本×3段 全巻本</td> </tr> <tr> <td>防火シート</td> <td>無</td> </tr> <tr> <td></td> <td>有</td> </tr> </tbody> </table> <p>・ケーブル全数に通電 ・熱電対温度が規定温度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	32本×3段 全巻本	防火シート	無		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	32本×3段 全巻本																							
防火シート	無																							
	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気的機能(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>(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>「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>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> <ul style="list-style-type: none"> 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% 																								

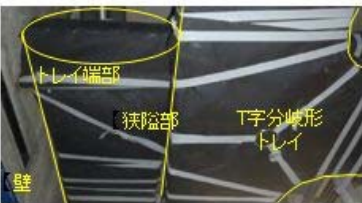


評価

<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)電気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>

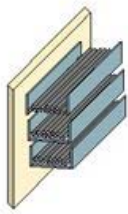
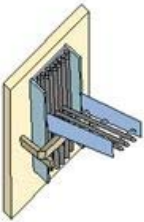


5. 代替措置の実機施工性の検討結果

(1) 代替措置の実機への施工性検証

- ◆ 施工方法の検討については、現場調査を実施し、その結果に基づき具体的な施工性を検証
- ◆ 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を用いて確認

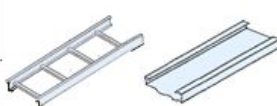
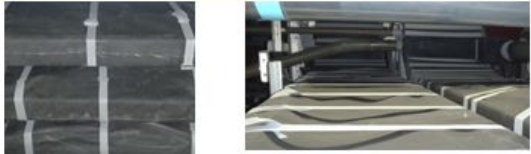




【実機トレイを用いた代替措置の施工性を確認した状況】





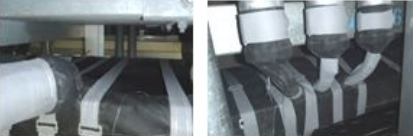




【狭隘となる壁の干渉部等の概要図】

【ケーブルトレイの設置状況と施工例】

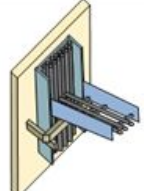



No	設置場所	回路種別	トレイ設置方向	トレイ長さ(m)	備考		
1	原子炉棟	高圧電力	水平	約100	トレイ全長:約100m		
2			垂直	1未満			
3		低圧電力	水平	約1,000		トレイ全長:約3,400m	
4			垂直	約100			
5		制御	水平	約1,300			
6			垂直	約100			
7		計装	水平	約700			
8			垂直	約200			
9	附属棟 (DG室含む)	高圧電力	水平	約280	トレイ全長:約300m		
10			垂直	約20			
11		低圧電力	水平	約1,000		トレイ全長:約4,000m	
12			垂直	約100			
13		制御	水平	約1,900			
14			垂直	約100			
15		計装	水平	約800			
16			垂直	約100			

設置方向	構造図	代替措置施工例	備考
水平			
垂直			

【ケーブルトレイの形状、分岐部の状況】

	トレイ形状	構造図	代替措置施工例	箇所数
1	S字形 U字形			約780
2	T字分岐形 十字分岐形			約350
3	電線管分岐 (躯体貫通部)			約40
4	傾斜形			約580
5	トレイ端部			約320

【ケーブルトレイの合流部の状況】

	トレイ形状	構造図	代替措置施工例	備考
1	トレイ合流部 垂直 (同じ向き)			
2	トレイ合流部 垂直 (異なる向き)			

◆ 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とともに、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。

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. 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

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 既延焼防止材の複合体への影響

◆ 延焼防止材(塗料)による耐延焼性への影響

- 複合体とするにあたり、延焼防止材が複合体の耐延焼性に影響を及ぼさないことを確認
- 複合体の難燃性の確認における非難燃ケーブルの実機模擬条件へ反映

【酸素指数による難燃性の評価】

- ・延焼防止材の熱・放射線加速劣化前後で酸素指数を測定した結果、数値に低下はなく、難燃性を維持していることを確認した。

供試体	酸素指数測定結果		
劣化相当年	初期	40年	60年
延焼防止材	42.6	51.8	53.4

◆ 実機模擬条件の選定結果

非難燃ケーブル材料であるビニル(酸素指数:25.3)と比較し高い難燃性を有していることから、ケーブルは延焼防止材がないものを実機模擬条件に選定する。

添付2 ケーブルトレイから分岐する電線管敷設ケーブルの対応

◆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対応によって難燃性を確保する

- 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

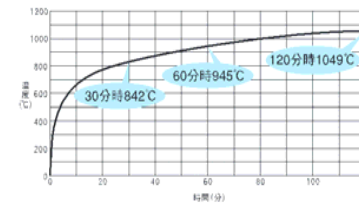
【判定基準】

(1) 外観確認

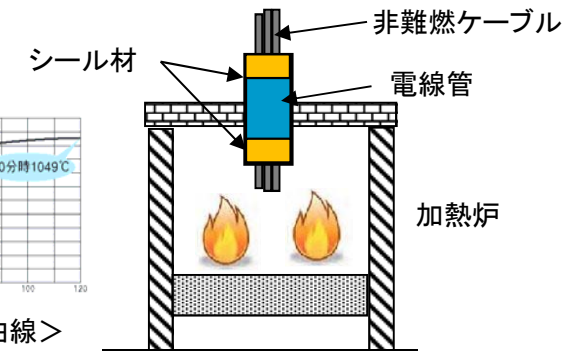
- ①非加熱側へ10秒を超えて継続する火炎の噴出がないこと
- ②非加熱側へ10秒を超えて継続する発炎がないこと
- ③火炎が通る亀裂等の損傷及び隙間を生じないこと

(2) 非加熱側温度測定

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



<ISO834の加熱曲線>

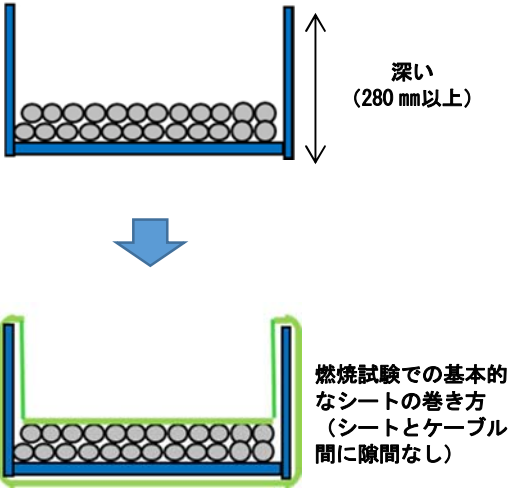
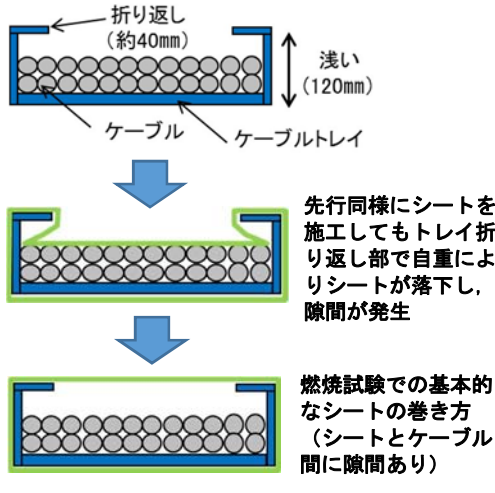
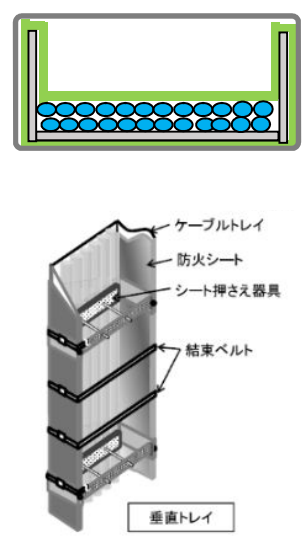
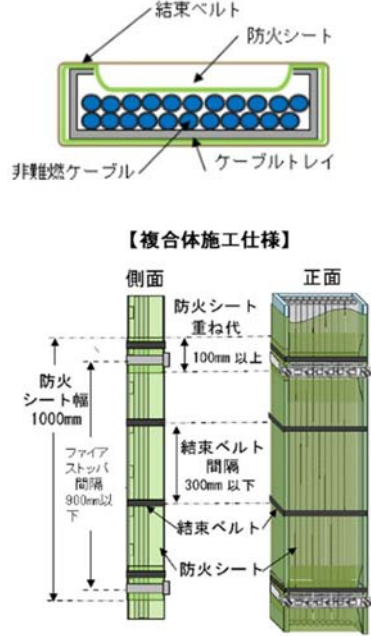


<耐火試験概略>

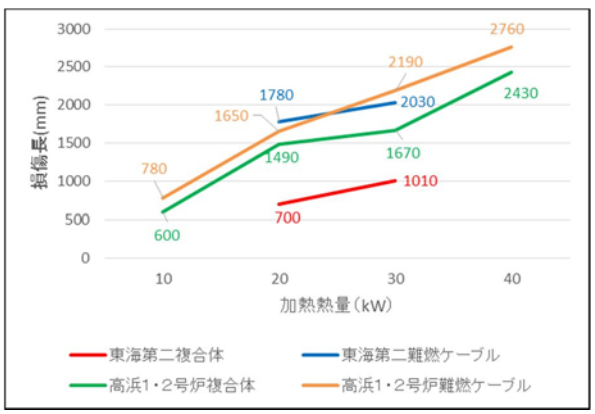
【試験結果】

温度測定位置		非加熱側温度上昇(°C)	外観確認	判定
シール材表面		101	良	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	—	—

添付3 先行プラントと東海第二の違いについて

項目	高浜1, 2号機	東海第二	考え方
難燃性能に関する設計目標	I. 複合体として外部の火災に対して難燃ケーブルを上回る難燃性能を確保する。 II. 複合体として内部発火を想定しても必要な難燃性能を確保する。 III. 実機の施工及び維持管理を行うにあたり、複合体として耐延焼性を有した頑健性を確保する。	I. 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。 II. 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。 III. 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。	
ケーブルトレイの特徴と燃焼試験のための基本的なシートの巻き方	 <p>深い (280 mm以上)</p> <p>燃焼試験での基本的なシートの巻き方 (シートとケーブル間に隙間なし)</p>	 <p>折り返し (約40mm)</p> <p>浅い (120mm)</p> <p>ケーブル ケーブルトレイ</p> <p>先行同様にシートを施工してもトレイ折り返し部で自重によりシートが落下し、隙間が発生</p> <p>燃焼試験での基本的なシートの巻き方 (シートとケーブル間に隙間あり)</p>	<ul style="list-style-type: none"> 東海第二のトレイは浅く、折り返しが大い特徴あり、トレイ形状にそって防火シートを巻いても、折り返し部で防火シートは自重により落下し、隙間(空気層)発生。隙間(酸素量)を定量的に考慮することは困難 このため、燃焼試験では、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(酸素量)が最大となる巻き方(太鼓巻)を基本として、難燃性能を確認。先行は隙間がない状態を基本。 なお、実際の施工は極力酸素を排除して施工
複合体の基本的な施工方法	<ul style="list-style-type: none"> トレイ内面に沿ってシート施工 45° を超えるトレイには保持金具設置  <p>ケーブルトレイ 防火シート シート押さえ器具 結束ベルト</p> <p>垂直トレイ</p>	<ul style="list-style-type: none"> 極力酸素を排除した状態でシート施工 45° を超えるトレイはファイアストップ設置  <p>結束ベルト 防火シート 非難燃ケーブル ケーブルトレイ</p> <p>【複合体施工仕様】</p> <p>側面 正面</p> <p>防火シート重ね代 100mm 以上</p> <p>ファイアストップ間隔 900mm 以下</p> <p>結束ベルト間隔 300mm 以下</p>	<ul style="list-style-type: none"> 東海第二は、複合体内部に空気層が発生するため、傾き 45° を超えるトレイの複合体内部の火災を想定すると防火シートをケーブルに密着させ、酸素量を抑制して延焼を防止することが必要 このため、一定間隔でファイアストップ(地震時のケーブル及びシート固定機能有)を設置して延焼を防止 先行のシート抑え器具も同じ目的だが、シートを密着して施工できるため、保持金具がない状態でも燃え止まる

東海第二シート施工を踏まえた難燃性能確認試験の特徴

外部火災に対する耐延焼性	<ul style="list-style-type: none"> 東海第二の燃焼試験における複合体の基本構造は、防火シートとケーブル間に空気層を確保した巻き方(太鼓巻)である。このため、水平トレイに対しても確認試験を実施(先行の複合体の基本構造は、防火シートとケーブル間には隙間なしのため、より条件の厳しい垂直トレイに対する試験のみ実施) 燃焼試験における複合体の基本構造は太鼓巻であるため、内部火災に対する耐延焼性確保の観点から、一定間隔毎にファイアストップを設置する。このため、バーナとファイアストップの位置のばらつきを確認するための燃焼試験を実施(先行では本試験なし) 先行では外部火災に対して、バーナの熱量を増加させても複合体は燃え止まること、及び、損傷長さが難燃ケーブルに比べ短く、複合体の耐延焼性が難燃ケーブルを上回るとの関係性が保たれていることを確認するため、IEEE383 に準拠した熱量である 20KW に加えて、30KW,40KW の試験も実施。しかしながら、東海第二では、20KW,30KW の試験結果と先行プラントでの試験データを比較し、40KW は不要と判断(グラフ参照) 	 <table border="1"> <caption>燃焼試験結果 (推定値)</caption> <thead> <tr> <th>加熱熱量 (kW)</th> <th>東海第二複合体 (mm)</th> <th>東海第二難燃ケーブル (mm)</th> <th>高浜1・2号炉複合体 (mm)</th> <th>高浜1・2号炉難燃ケーブル (mm)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>10</td> <td>780</td> <td>1650</td> <td>600</td> <td>700</td> </tr> <tr> <td>20</td> <td>1780</td> <td>2030</td> <td>1490</td> <td>1010</td> </tr> <tr> <td>30</td> <td>2190</td> <td>2430</td> <td>1670</td> <td>-</td> </tr> <tr> <td>40</td> <td>2760</td> <td>-</td> <td>-</td> <td>-</td> </tr> </tbody> </table>	加熱熱量 (kW)	東海第二複合体 (mm)	東海第二難燃ケーブル (mm)	高浜1・2号炉複合体 (mm)	高浜1・2号炉難燃ケーブル (mm)	10	780	1650	600	700	20	1780	2030	1490	1010	30	2190	2430	1670	-	40	2760	-	-	-
加熱熱量 (kW)	東海第二複合体 (mm)	東海第二難燃ケーブル (mm)	高浜1・2号炉複合体 (mm)	高浜1・2号炉難燃ケーブル (mm)																							
10	780	1650	600	700																							
20	1780	2030	1490	1010																							
30	2190	2430	1670	-																							
40	2760	-	-	-																							
内部火災に対する耐延焼性	<ul style="list-style-type: none"> 基本的に差異なし 																										
不完全な状態に対する耐延焼性	<ul style="list-style-type: none"> 東海第二の場合、燃焼試験における複合体の基本構造は太鼓巻であるため、不完全な状態を模擬した試験は、ファイアストップ1か所、結束ベルト1か所が脱落した条件と太鼓巻(複合体内部に空気層あり)の条件を重畳させて実施(外部火災及び内部火災) 先行の場合、外部火災の不完全な状態としての試験は、①シート押さえ金具、結束ベルトの各1つ脱落(シート密着)と②ケーブルと防火シート間に隙間ありの2種類の試験を別々に実施。なお、東海第二の場合、②の条件は外部火災の垂直トレイ試験として実施 																										
ケーブル等の機能への影響	<ul style="list-style-type: none"> 基本的に差異なし 但し、条件が異なる高温、放射線に対する耐久性や防火シートによる通電機能への影響等、プラント条件により異なるものは東海第二の条件で実施 																										

添付4

試験項目一覧

試験項目		使用データ	考え方
外部の火災に対する難燃性能の確認	ケーブル種類毎の性能比較評価	自己消火性の実証試験	◎
		耐延焼性確認試験	◎
	加熱熱量を増加させた性能比較評価	耐延焼性確認試験	◎
	複合体の構成要素によるばらつきの評価	耐延焼性確認試験	◎
内部発火を想定した難燃性能の確認	ケーブル種類毎の性能比較評価	自己消火性の実証試験	◎
	トレイ敷設方向による確認試験	耐延焼性確認試験	◎ (一部○)
	延焼性の高いトレイ設置方向の耐延焼性試験	耐延焼性確認試験	◎
	遮炎性試験(防火シート重ね部の延焼性)		○
	過電流模擬試験		○
複合体が不完全な場合	外部	防火シートのずれ、傷	◎
	内部	防火シートのずれ、隙間、傷	◎
シース、トレイへの影響試験	pH 試験		○
ケーブルへの影響試験	電流低減率試験		◎
	絶縁抵抗試験		◎
	耐電圧試験		◎
防火シートの性能及び結束ベルトの耐久性試験	発熱性試験		○
	遮炎性試験		○
	熱・放射線劣化試験		◎
	耐寒性試験		○
	耐水性試験		○
	耐薬品系試験		○
	耐油試験		○
	耐塩水性試験		○
加振試験		◎	
耐火シールの耐火性能の確認試験		◎	材料が異なる

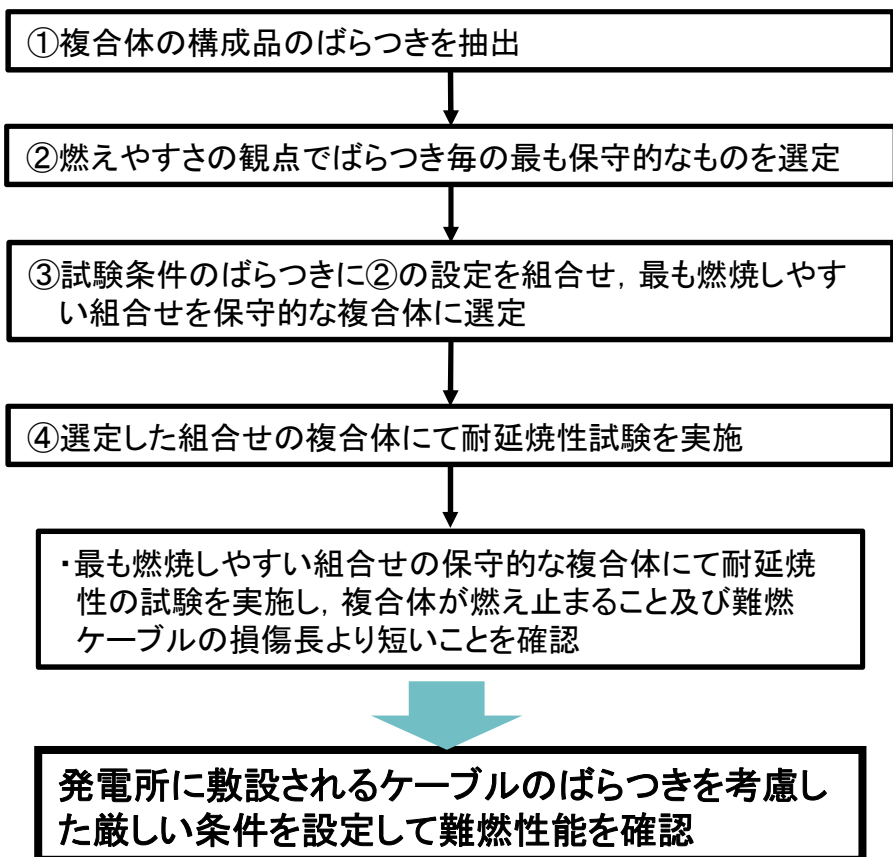
◎:原電実施試験データ、○:先行電力のデータを引用

参考 構成品のばらつきを考慮した燃焼試験の網羅性

●目的

- ・ 複合体の構成品のばらつきを考慮し、最も燃焼しやすい保守的な構成品の組み合わせとした場合でも複合体が燃え止まることを確認する。
- ・ その場合でも複合体が難燃ケーブルと同等以上の難燃性能を有していることを確認する。

【評価の流れ】



【①ばらつきの抽出結果】

		考慮するばらつき
複合体構成品	ケーブル	<ul style="list-style-type: none"> ・種類・サイズ(高圧, 低圧, 制御, 計装) ・使用期間(短期:新品, 長期:旧品) ・延焼防止材(有, 無) ・埃(有, 無)
	ケーブルトレイ	<ul style="list-style-type: none"> ・トレイタイプ(ラダー, ソリッド) ・トレイサイズ(150~750mm(300mm)) ・トレイ形状(直線, 傾斜, L/S/+/T字)

抽出したばらつきのうち,
【②で最も保守的なものとして設定(下線部)】

【③試験条件のばらつきの抽出結果】

		ばらつき
試験条件	ケーブル	・敷設量(少量, 満載)
	防火シート	・ケーブルとの隙間(有, 無)
	ケーブルトレイ	<ul style="list-style-type: none"> ・トレイ設置方向(水平, 勾配, 垂直) ・ファイアストッパ(有, 無)
	バーナ	<ul style="list-style-type: none"> ・20kw, 30kw ・ファイアストッパとバーナの距離