

解説 記事

防火措置を施すことによる 非難燃ケーブルの難燃性能の向上

関西電力株式会社

瀬越 義則 Yoshinori SEGOSHI

1. はじめに

原子力発電所の新規制基準における火災防護対策では、安全機能を有する機器には難燃ケーブルを使用することが要求されている [1]。しかしながら、1970年代に運転を開始したプラントにおいては、建設時に敷設された非難燃ケーブルが使用されている。ここで言う非難燃ケーブルとは、自己消火性及び耐延焼性のいずれかの実証試験により難燃ケーブルに求められる性能を有していることが示されていないケーブルを指している。

よって、非難燃ケーブルについては、不燃材の防火シートでケーブル及びケーブルトレイを覆うことにより複合体を形成し、難燃ケーブルと同等以上の性能を確保することとした。

本稿では、複合体の設計、及びその難燃性能を確認した実証試験の概要等について紹介する。

2. 設計目標及び設計方針

今回採用を検討した防火シートは、不燃であり火炎を遮るが熱は伝わる。また、複合体内部の酸素量を定量的に管理することは難しく、ケーブル自体が可燃物であるため、この防火シートを用いて複合体を形成しても、燃焼の3要素（熱、酸素、可燃物）のうち熱（火炎）及び酸素量は抑制できるものの、燃焼の3要素のいずれかを完全に排除して複合体を不燃とすることはできない。

したがって、複合体に難燃ケーブルを上回る難燃性能を持たせることとし、その際には、防火シートを用いて複合体とすることによる悪影響等も考慮して設計目標・設計方針を設定した（図1参照）。

3. 具体的設計方針の設定

2章で設定した設計目標・設計方針を達成するため、具体的には以下(1)～(4)の設計とした。

設計目標	設計方針
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。	I：ケーブル及びケーブルトレイ全体を防火シートで覆い複合体とする。 〔これにより、複合体内部のケーブルを火炎から遮るとともに、酸素供給を極力抑制することで複合体の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。	II：ケーブル及びケーブルトレイ全体を防火シートで覆い複合体内部が閉塞空間となる設計とする。 〔これにより、複合体内部のケーブルが発火しても、複合体内部の延焼を一定距離内に留めるとともに、複合体外部への火炎を遮る。〕
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。	III：実機施工及び維持管理を行うにあたり、耐延焼性が確保される範囲で防火シートのずれ等の不完全な状態を考慮した頑健な設計とする。
IV：防火シートで覆うことによるケーブル及びケーブルトレイへの悪影響を考慮しても、ケーブル及びケーブルトレイが保有する機能を維持できる設計とする。	IV：複合体を形成してもケーブル及びケーブルトレイの電氣的または機械的機能が維持できる設計とする。

図1 設計目標及び設計方針

(1) 設計方針 I について

ケーブルを外部の火炎から遮るため、また、防火シート内部への酸素供給を極力抑制するために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とした（図2参照）。使用する防火シートは、不燃性、耐久性、被覆性を確認したものを採用することとした。

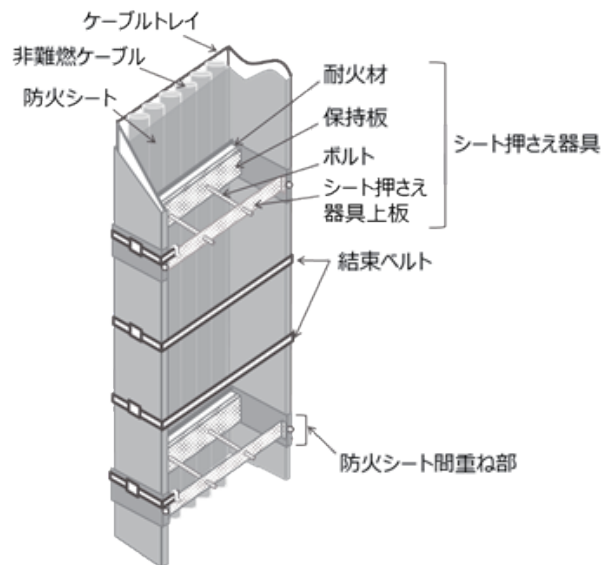


図2 設計方針 I

(2) 設計方針Ⅱについて

複合体として内部発火を想定した場合の延焼を考慮し、火災区画境界となる壁等をケーブルトレイが貫通する部分に耐火シールを施工し、隣接火災区画への延焼を防止することとした。また、垂直方向のケーブルトレイなど火災が伸展する可能性のある範囲については、シート押さえ器具を設置し防火シートのめくれを防いで延焼防止を図ることとした (図3参照)。

また、複合体内部の発火による火炎について、防火シートに重ね部を設けて覆うことにより、複合体外部へ火炎が噴出することを防止する設計とした。

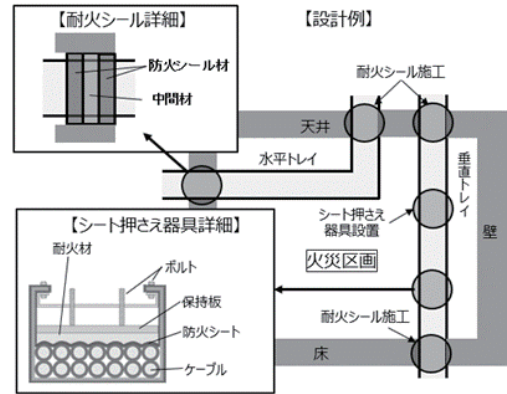


図3 設計方針Ⅱ

(3) 設計方針Ⅲについて

ケーブル及びケーブルトレイを防火シートで覆い、その状態を維持するために結束ベルトで固定し、必要によりシート押さえ器具で防火シートのめくれを防止するものの、実機施工後の供用期間中において想定しうる防火シートのずれ、隙間及び傷においても複合体が耐延焼性を有したものとすることから、防火シートのずれ、隙間、傷を模擬した耐延焼性試験 (図4参照) にも合格する頑健な設計とした。

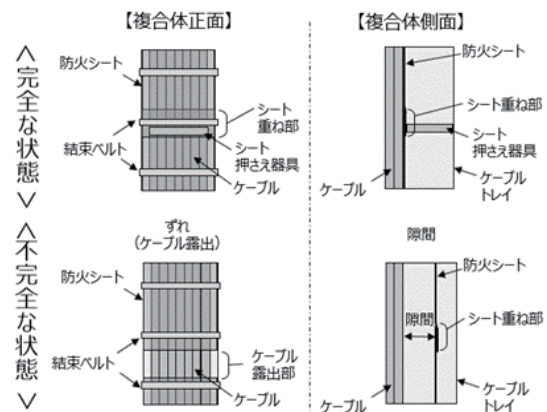


図4 設計方針Ⅲ

(4) 設計方針Ⅳについて

実機施工においては、防火シートで覆い複合体を形成することで、ケーブルやケーブルトレイに悪影響 (化学的影響、熱の蓄積、重量の増加) を与える可能性が想定されることから、ケーブル及びケーブルトレイの電気的または機械的機能への影響の程度が問題ないことを確認することとした。

4. 設計目標達成確認の流れ

3章の具体的な設計方針に基づき複合体を形成することで、設計目標Ⅰ～Ⅳを達成し、複合体に求める難燃性能を有することを図5に示す流れで確認した。

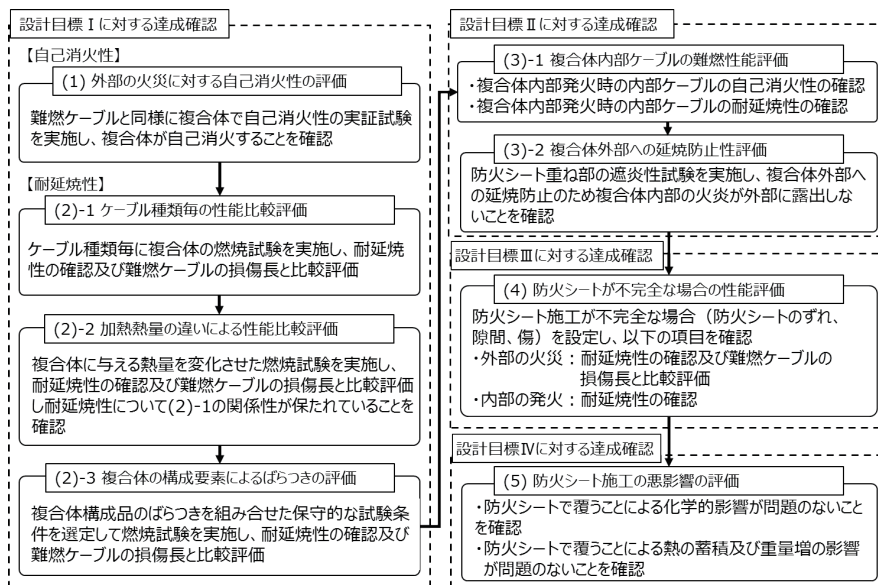


図5 設計目標達成確認の流れ

5. 実証試験結果

4章の設計目標達成確認の流れに沿って、複合体が難燃ケーブルを上回る難燃性能を有することを実証試験で確認した。

実証試験の内、設計目標Ⅰ、Ⅱに関して実施した代表的な試験結果について、以下の(1)～(8)に示す。

(1) 自己消火性試験（設計目標Ⅰ）

複合体外部の火災を想定し、難燃ケーブルの自己消火性の実証試験に試験条件を準拠させた試験を実施した。試験の結果、複合体は難燃ケーブルと同様に自己消火することを確認した（図6参照）。

(2) ケーブル種類毎の耐延焼性試験（設計目標Ⅰ）

実機を代表するケーブル種類を用いた複合体に対して、難燃ケーブルの耐延焼性の実証試験に試験条件を準拠させた試験を実施した。試験の結果、複合体は燃え止まり、またその損傷長は難燃ケーブルに比べ短いことから、複合体は難燃ケーブルを上回る耐延焼性を有していることを確認した（図7参照）。

(3) 加熱熱量の違いによる耐延焼性試験（設計目標Ⅰ）

5.(2)項の試験条件では複合体への加熱熱量を難燃ケーブルの実証試験条件である20kWで実施したが、複合体の性能を確認するため、加熱熱量を10～40kWに変化させた耐延焼性の試験を実施した。試験の結果、加熱熱量を変化させても、複合体は燃え止まることを確認した。また、複合体の損傷長は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した（図8参照）。

(4) 不燃材の防火シートの遮炎性試験（設計目標Ⅰ）

複合体が耐延焼性を有するためには、複合体外郭である防火シートの遮炎性能が確保されることが重要であることを踏まえ、複合体の耐延焼性の限界を把握するために、防火シートに対して遮炎性試験を実施した。試験の結果、加熱熱量平均約500kWにおいても防火シートの遮炎性能が確保されていることを確認した（図9参照）。

(5) 自己消火性試験（設計目標Ⅱ）

設計目標Ⅱでは、複合体内部のケーブルの発火を想定しても必要な難燃性能を確保することを目標とした。このため、複合体内部のケーブルを着火させた自己消火性

試験方法		外部からの火災によりケーブルを燃焼させても自己消火することを確認する。
試験条件	500Wのバーナの火災を15秒着火、15秒休止を5回繰り返す	
試験結果	判定基準：自己燃焼が60秒を超過せずに自己消火すること 	

図6 自己消火性の実証試験結果

試験方法	<難燃ケーブル> ケーブルの損傷長を確認する。	<複合体> 複合体の損傷長を確認する。
試験条件	加熱熱量20kW	
試験結果		

図7 ケーブル種類毎の耐延焼性の実証試験結果

試験方法	<難燃ケーブル> ケーブルの損傷長を確認する。	<複合体> 複合体の損傷長を確認する。
試験条件	防火シート遮炎性能が確保される範囲で熱量を変化	
試験結果		

図8 加熱熱量の違いによる耐延焼性の実証試験結果

供試体	防火シート		
試験方法		防火シートに火災等が通るき裂等の損傷及び隙間が生じないことを確認する。	
試験条件	遮炎性試験 ^{※1} に基づく加熱曲線により加熱		
試験結果	遮炎性試験 ^{※1} に基づく加熱曲線により70分間 ^{※2} 加熱（バーナ熱量平均約500kW）を行い、防火シートに火災等が通るき裂等の損傷及び隙間が生じないことを確認した。		

※1：国土交通省の指定認定機関の性能試験、評価業務方法書に規定された遮炎性試験 ※2：試験設備の限界

図9 防火シートの遮炎性の実証試験結果

の実証試験を実施した結果、複合体は自己消火することを確認した（図10参照）。

(6) 耐延焼性試験 (設計目標Ⅱ)

複合体内部のケーブルの発火を想定しても複合体の耐延焼性が確保されることを確認するため、まず垂直又は水平等のトレイ敷設方向による燃焼試験を実施し、延焼の可能性のある敷設方向を特定した。試験の結果、設計方針を超えて複合体内部の空気量が最大となる垂直トレイの場合のみ、供試体の端までの間で燃え止まらず、耐延焼性は確保できなかった (図 11 参照)。

燃え止まりを確認できなかったトレイ敷設方向には、設計方針に基づき、シート押さえ器具にて防火シートとケーブル間の隙間を抑えて閉塞空間を作り、防火シートの延焼防止性能を発揮させることにより、シート押さえ器具のシート押さえ箇所までケーブルが燃え止まることを確認した (図 12 参照)。

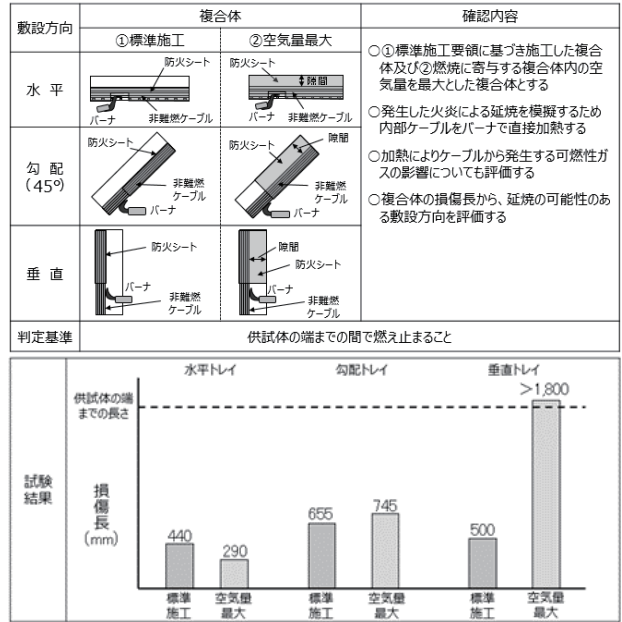


図 11 耐延焼性の実証試験結果

(7) 外部への延焼防止性の評価結果 (設計目標Ⅱ)

複合体を形成するために防火シートに重ね部を設けながらケーブル及びケーブルトレイを覆っていくが、複合体内部のケーブルが発火した場合、この防火シートの重ね部から内部の火災が露出する可能性がある。このため、重ね部を模擬した防火シートに対して遮炎性試験を実施し、重ね部から火災は露出しないことを確認した (図 13 参照)。

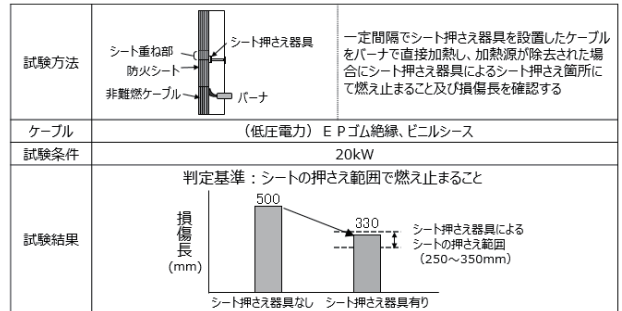


図 12 シート押さえ器具を設置した供試体に対する耐延焼性の実証試験結果

(8) 過電流模擬試験による耐延焼性 (遮炎性能) 評価結果 (設計目標Ⅱ)

保護継電器等により過電流による過熱、焼損を防止するものの、複合体内部のケーブルに過電流火災が発生した場合を想定しても、防火シートの遮炎性能が確保されることを確認するため、過電流模擬試験を実施した。試験の結果、複合体内部の火災が外部に露出せず、複合体内部で発火した場合でも遮炎性能が確保されることを確認した (図 14 参照)。

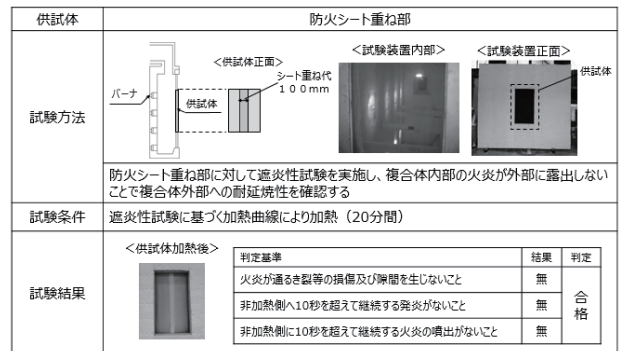


図 13 防火シートの遮炎性能の実証試験結果

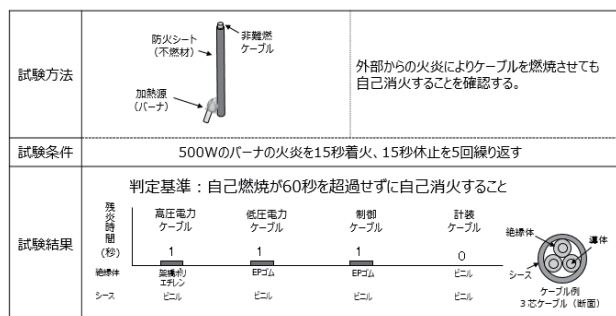


図 10 自己消火性の実証試験結果

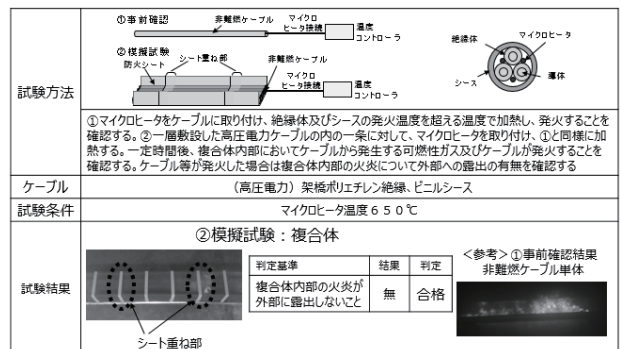


図 14 過電流模擬による遮炎性能の実証試験結果

6. まとめ

非難燃ケーブルについては、不燃材の防火シートでケーブル及びケーブルトレイを覆った複合体を形成する設計とすることに対して、実証試験により以下の性能を確認した。

- 複合体外部の火災に対して複合体は難燃ケーブルと同様に自己消火すること。
- 全てのケーブル種類において複合体は燃え止まり、難燃ケーブルを上回る耐延焼性を有していること。
- 加熱熱量を変化させても複合体は燃え止まること。また複合体の損傷長は難燃ケーブルと比べ短く、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。
- 防火シートは遮炎性試験にて遮炎性能が確保されていること。
- 複合体内部のケーブルの発火による火災を想定しても複合体は自己消火すること。
- シート押さえ器具によるシート押さえ箇所にてケーブルが燃え止まること。
- 複合体内部の火炎が外部へ露出しないこと。

以上の結果から、複合体は難燃ケーブルと同等以上の難燃性能が確保されることが確認できた。

これにより、原子力発電所で使用している非難燃ケーブルに対して防火シートを施工し複合体を形成することにより、難燃ケーブルと同等以上の難燃性能を確保することができる蓋然性を確認した。

参考文献

- [1] 原子力規制委員会 “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”

(平成 28 年 8 月 31 日)

著者紹介

著者：瀬越 義則
所属：関西電力株式会社 原子力事業
本部 発電グループ マネジャー
専門分野：保全システム