

JRR-3 の設計及び工事の方法の認可申請書（その 10）に係る追加説明事項

令和 2 年 4 月 20 日
日本原子力研究開発機構
原子力科学研究所

設工認その 10 について審査会合等で頂いたコメントに対し、以下の通り対応方針を示す。

【R2/3/2審査会合、R2/3/18ヒアリングコメント①】

資料 R3-191-2 表 2 に示す発泡性耐火被覆を施工することによって、1 時間耐火性能を有することについて説明すること。

- ・これまで、難燃シートとして不燃シート及び発泡性耐火シートを重ねて施工し耐火性能を確保することとしていたが、実証試験による性能確認の実現性等を考慮し、東北電力女川原子力発電所 2 号炉（以下、「女川 2 号炉」という。）にて使用実績のある材質（シリカ・マグネシア・カルシア系+シリカ系複合材：H30 年 4 月審査資料より）のものを使用することに方針を変更する。
- ・難燃シートが建築基準法に基づく 1 時間の耐火性能を有していること及び IS0834 の加熱曲線で 1 時間加熱したときの非加熱面の温度が防護対象機器の機能喪失温度 (205°C) 以下であることの説明にあたっては、実証試験を行ったうえでその結果が記載されたメーカー試験成績書をエビデンスとして示す。

【R2/3/2審査会合、R2/3/18ヒアリングコメント②】

資料 R3-191-2 で示した防護対象以外のケーブルが発火した場合の防護対象ケーブルの健全性評価においては、内部火災影響評価ガイドに示されている火災等価時間を用いて想定される火災に対する難燃シートの健全性を説明すること。

火災等価時間の説明に方針変更する。貫通部のケーブル重量を計算し、内部火災評価ガイドを参考に火災等価時間を計算し評価する。

【R2/3/2審査会合、R2/3/18ヒアリングコメント③】

ケーブルを発泡性耐火被覆で巻く場合、ケーブルの通電による温度上昇による発泡性耐火被覆内の影響について考慮すること。

難燃シート（シリカ・マグネシア・カルシア系＋シリカ系複合材）を施工する対象ケーブル（安全保護系（計測制御系を含む）、非常用電源系）は440V以下の低電圧ケーブルであり、通電状態における温度は室温と同程度（実測で約20℃）であり、著しい発熱を生じるものではない。また、施工する難燃シート（シリカ・マグネシア・カルシア系＋シリカ系）の熱抵抗[※]は約0.3(m²・K/W)であり、一般的な断熱材の熱抵抗（フェノールフォーム系：約3.0(m²・K/W)）に比べて10倍程度熱を通しやすい材料である。このことから、難燃シートを施工した場合でも、通常の通電状態においてはケーブル自体への熱影響はない。

なお、女川2号炉で実施している許容電流低減率（空中一条敷設時の許容電流に対するケーブル多条敷設や耐火ラッピング施工による許容電流の低減割合。）の実証試験結果（H30年4月審査資料）によると、難燃シートを巻くことにより多条敷設時の許容電流から更に電流を低減させるための許容電流低減率は約56%であり、これを参考にJRR-3の防護対象ケーブル（最も発熱の大きい1次冷却材補助ポンプに関するケーブルを選定）の各状態における許容電流を算出すると、表の値となる。これらの値を比較すれば、④の電流値は③の電流値を超えないことが分かる。

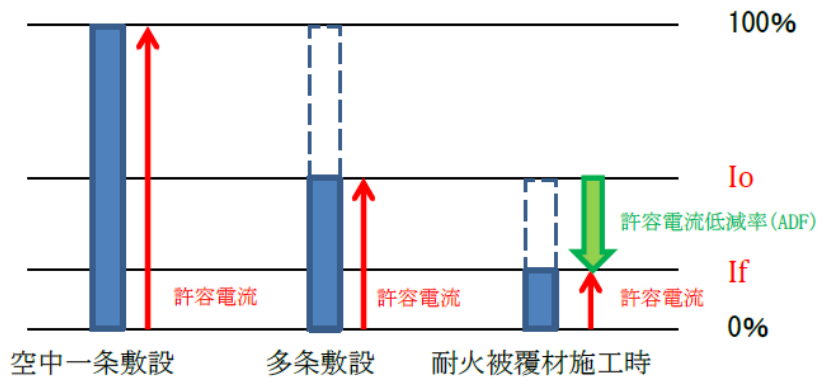
※熱抵抗：物の断熱性能表す値

（定義） 熱抵抗(m²・K/W)＝断熱材の厚さ(m)÷熱伝導率(W/m・K)

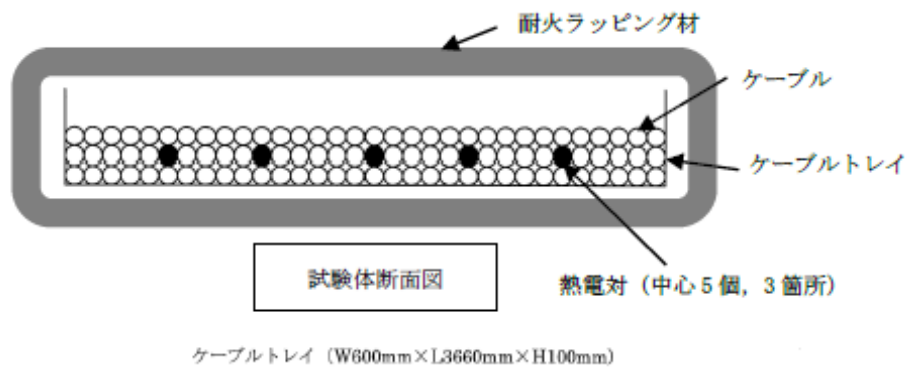
JRR-3防護対象ケーブルの各状態における電流値

| | 電流値 (A) | 備考 |
|---------------------|-----------------|------------------------|
| ①空中一条敷設時の許容電流 | 100 | 当該ケーブル規格に基づく許容値 |
| ②ケーブルトレイ等多条敷設時の許容電流 | 70 | JRR-3における設計上の許容値 |
| ③難燃シート施工後の許容電流 | 30.5 | 女川2号炉の許容電流低減率56%を参考に計算 |
| ④実際に防護対象ケーブルに流れる電流値 | 26 [※] | JRR-3における設計値 |

※1次冷却材補助ポンプの運転に必要な電流値の合計。



ケーブル許容電流と許容電流低減率（女川2号炉ケーブルトレイラッピングの場合）
 （出典 女川2号炉 H30年4月審査資料）



許容電流低減率評価 試験体構造概略図（出典 女川2号炉 H30年4月審査資料）

【R2/3/2審査会合、R2/3/18ヒアリングコメント④】

難燃性のケーブルは、自己消火性と耐延焼性を有することが必要である。JRR-3 で実施している ICEA 試験等によって自己消火性が確認できることを説明すること。

ケーブルトレイに敷設する内部火災防護対象設備に係る難燃ケーブルは、ICEA 垂直燃焼試験及び IEEE 規格 383 垂直トレイ燃焼試験に合格していることにより自己消火性及び耐延焼性を有していることを確認している。

JRR-3において自己消火性の確認のために実施している ICEA 垂直燃焼試験は UL 垂直燃焼試験と試験方法、判定基準については同等のものとなっている。ICEA 垂直燃焼試験はケーブルのシースを取り除いた試験であること、判定基準に綿の燃焼を規定していない等の一部相違点があるが、一般に絶縁体に比べてシースの自己消火性のほうが高いため、シースを取り除いた ICEA 垂直燃焼試験の方が厳しい試験条件であると言える。自己消火性の確認については、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、「発電炉審査基準」という。）において、UL 垂直燃焼試験がその実証試験として例示されているが、上記の理由から ICEA 垂直燃焼試験は UL 垂直燃焼試験と同様に自己消火性を確認できるものとする。

なお、表に示すとおり、発電炉における UL 垂直燃焼試験確認ケーブルと JRR-3 のケーブルのシースについて比較した結果、材質、厚さともにすべて発電炉で合格したものと同等であることを確認している。また、JRR-3における実証試験は代表性のあるケーブルについて抜き取りで実施しており、試験対象としていないケーブルについては、ケーブルメーカーが発行するケーブル仕様書により適合性を確認している。

JRR-3 と発電炉における難燃ケーブルシース比較

| JRR-3 火災防護対象設備ケーブル | | 発電炉における UL 垂直試験確認ケーブル | |
|--------------------|----------|---------------------------|----------|
| シース材 | シース厚さ | シース材 | シース厚さ |
| 特殊耐熱ビニル | 1.5 mm以上 | 特殊耐熱ビニル※1 | 1.5 mm以上 |
| 難燃クロロプレンゴム | 1.5 mm以上 | 難燃クロロプレンゴム※1 | 1.5 mm以上 |
| 難燃架橋ポリエチレン ※3 | 0.9 mm以上 | ノンハロゲン難燃架橋 ポリエチレン※2、※3 | 1.02 mm |

※1 日本原電東海第二原子力発電所 平成 29 年 10 月審査資料より

※2 東京電力柏崎原子力発電所 6、7 号炉 平成 27 年 8 月審査資料より

※3 自己消火性（燃焼継続性の有無）の確認としては主として酸素指数がその指標となる。酸素指数はどちらも 35 程度であることから、自己消火性の観点において同等の材質であると判断する。

【R2/3/2審査会合、R2/3/18ヒアリングコメント⑤】

難燃ケーブルの実証試験について、発電炉審査基準の要求を満たしていることを示すこと。

コメント④で説明した通り、ケーブルトレイに敷設するグループケーブルについては、ICEA 垂直燃焼試験及び IEEE 規格 383 垂直トレイ燃焼試験に合格していることにより自己消火性及び耐延焼性を有していることを確認している。

一方、特殊ケーブルとして分類した同軸ケーブルについては、ICEA 垂直燃焼試験により自己消火性については確認しているが、IEEE 規格 383 垂直トレイ燃焼試験による耐延焼性については確認していない。当該ケーブルは電流値が小さいことから自己発火の可能性は低く、万が一発火することを想定したとしても電線管に収納され両端をパテで密封してあることから酸素不足が生じ燃焼が継続することはない。そのため、十分に耐延焼性を確保していると判断する。

【R2/3/2審査会合、R2/3/18ヒアリングコメント⑥】

資料 R3-191-2 で示した難燃シートの施工性について、ケーブル周りの隙間等の説明を追加すること。

シートの施工方法の詳細、ケーブル周りの状況、対象ケーブル長さ等について、概略図等を示し説明する。

【R2/4/8ヒアリングコメント】

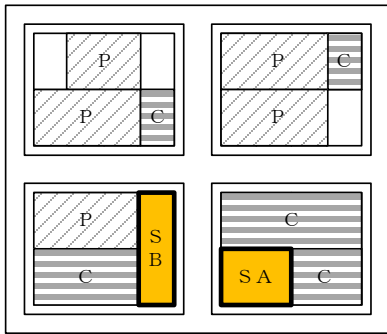
単独ケーブルが何で、どこを通るものであるか明確にすること。

これまで単独ケーブルと説明してきたものは、ケーブル単独の燃焼試験として ICEA 垂直燃焼試験を実施しているものという意味であり、全体として電線管を通して単独で敷設するケーブルが存在するという意味ではない。JRR-3 に敷設するケーブル全体のうち一部のケーブル（特殊ケーブルとして分類した同軸ケーブル及びその他の光ファイバーケーブル等）についてはケーブルトレイと電線管を用いて敷設されており、そのうち防護対象ケーブルにあたる特殊ケーブルについては、建家貫通部においてすべて電線管を通して敷設されている。具体的には貫通部のケーブル詳細配置図に示す箇所を通る。

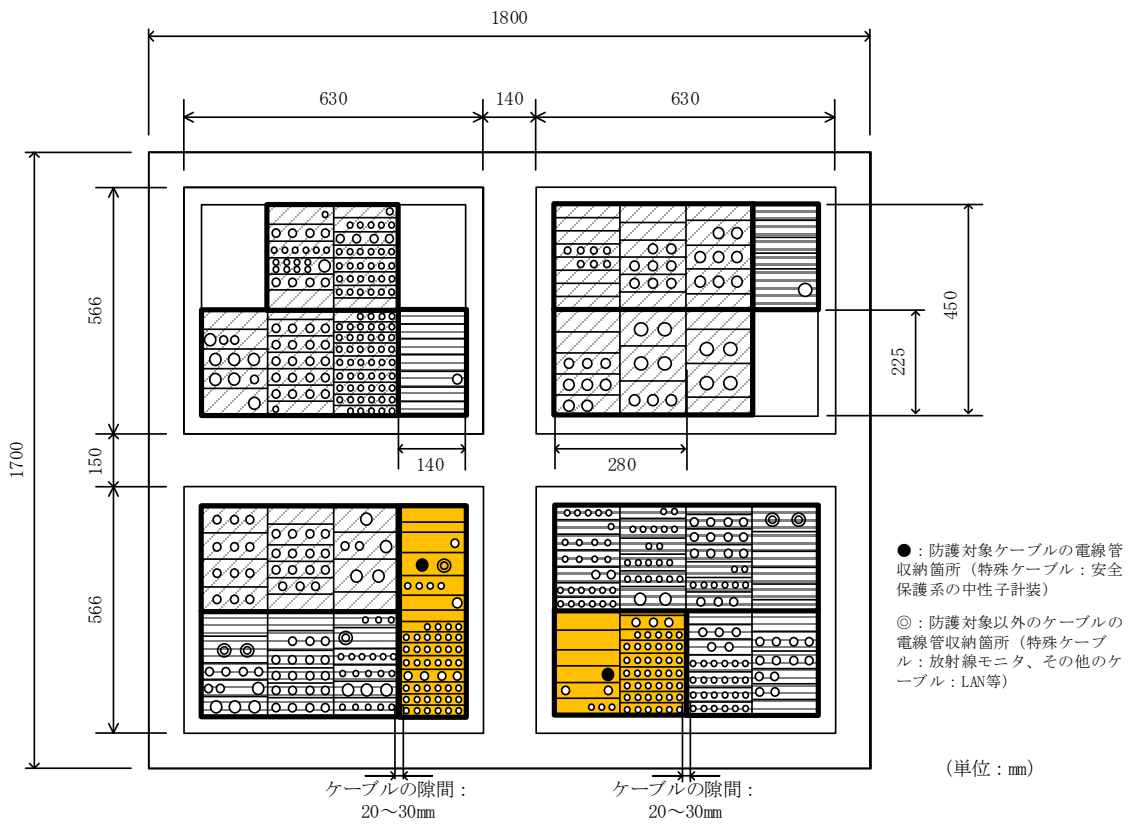
以上、審査会合等のコメントについては上記方針で回答することとする。このうち①のコメントについては、実証試験等が必要であるため回答に時間を要する。このため、設工認その10については別紙に示すスケジュールで進めることとしたい。

貫通部ケーブル一覧表

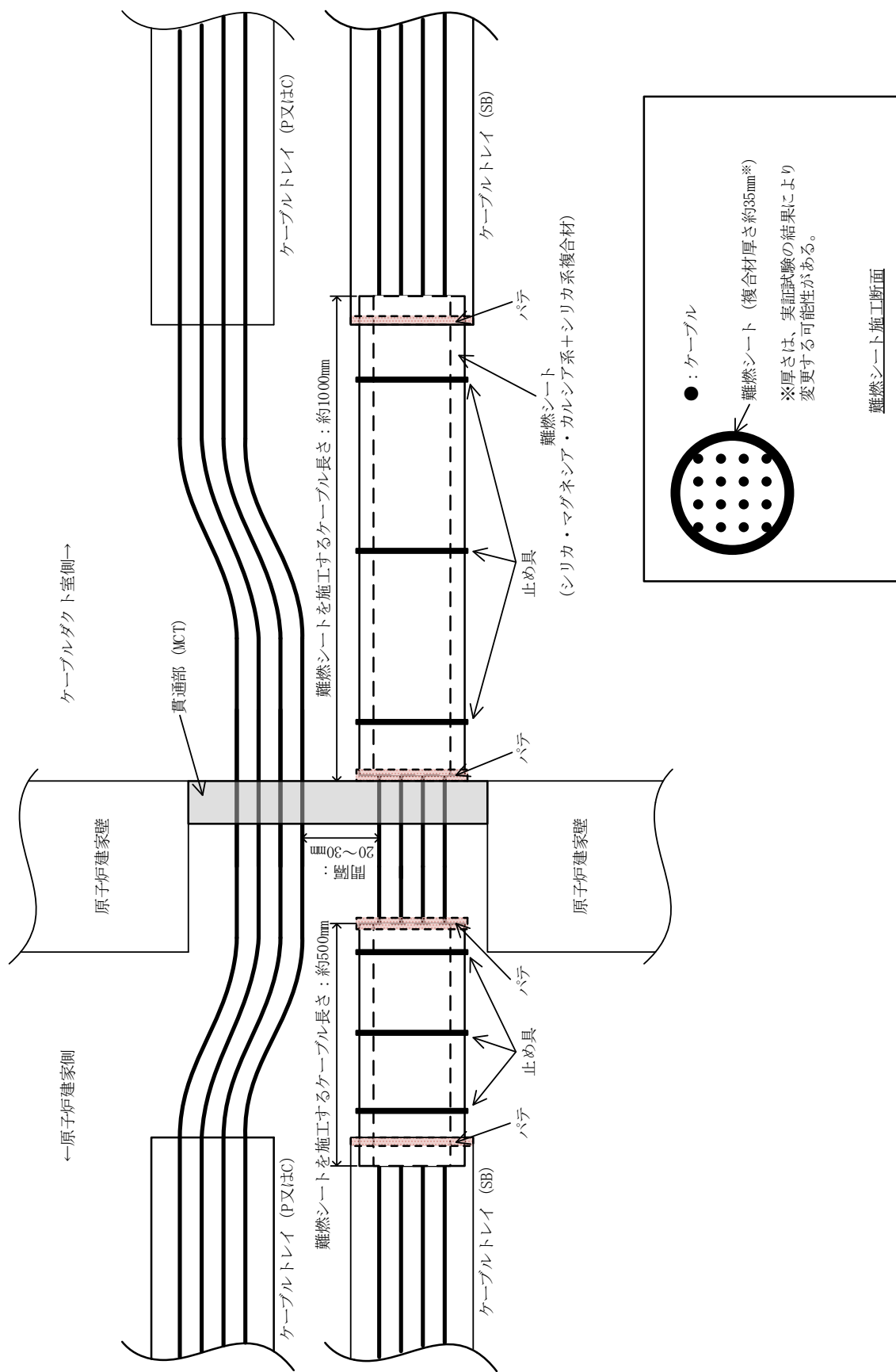
| 種類 | | ケーブル名称 | 難燃性の確認 | |
|----------------|----------------------------|--------------------------------------|--------|-------|
| | | | 延焼性 | 自己消火性 |
| 動力ケーブル | 動力、電灯 ケーブル (P、SA、SB) | 難燃 EP ゴム絶縁特殊クロロプレンゴ ムシースケーブル | ○ | ○ |
| | | 難燃性架橋ポリエチレン絶縁ビニル シース低圧動力ケーブル | ○ | ○ |
| | 制御ケーブル (P、SA、SB) | 制御用難燃 EP ゴム絶縁特殊クロロプ レンゴムシースケーブル | ○ | ○ |
| | | 難燃性ビニル絶縁ビニルシース制御 ケーブル | ○ | ○ |
| 信号ケーブル | 計装ケーブル (C、SA、SB) | 静電遮蔽付難燃 EP ゴム絶縁特殊クロ ロプレンゴムシースケーブル | ○ | ○ |
| | | 難燃性ビニル絶縁ビニルシース計装 ケーブル | ○ | ○ |
| | 特殊ケーブル (C、SA、SB) | 架橋ポリエチレン絶縁 2 重編組特殊 同軸ケーブル | ○ | ○ |
| | その他 (C) | 難燃性ビニル絶縁電線 | ○ | ○ |
| | | LAN ケーブル | ○ | |
| | | 光ファイバーケーブル | | |
| 原子炉建家地震計専用ケーブル | | | | |



貫通部の区分



貫通部のケーブル詳細配置図 (原子炉建家側視点)



難燃シート施工概略図 (例：B系の貫通部)

今後の審査スケジュールについて

1. 設工認その10について

審査会合、ヒアリングにおけるコメントの要求事項を満足するためには、追加で難燃シートの実証試験を行う必要があるため、設工認その10の審査スケジュールを以下のとおり見直すこととしたい。

| | | |
|------------|-------|-------------------|
| R2/4/8 (水) | ヒアリング | 説明方針の確認 |
| 4/20 (月) | 審査会合 | 説明方針について |
| 8月上旬まで | — | 実証試験 (契約手続き期間を含む) |
| 8月上旬 | ヒアリング | 実証試験結果を踏まえたケーブル分離 |
| 8月中旬 | 審査会合 | 設備の妥当性の説明 |
| 8月末 | — | 補正申請 |
| 9月末 | — | 認可希望 |

なお、上記スケジュールにより対応すれば、JRR-3の運転再開時期には影響しないと考えている。

ケーブル分離設備の原子炉建家貫通部に係る火災防護について

令和2年4月20日
日本原子力研究開発機構
原子力科学研究所

1. 火災防護に対する JRR-3 原子炉施設の安全確保の考え方

JRR-3 は、炉心を火災の影響により損傷させないために、原子炉の運転中において火災を確認した場合は、原子炉を停止し、その後、30 秒間の強制冷却（1 次冷却材主ポンプ 2 台、1 次冷却材補助ポンプ 2 台の計 4 台あるポンプのうち少なくとも 1 台による冷却確保）をすることとしている。この考え方のもと、火災の発生により JRR-3 原子炉施設の安全性が損なわれることを防止するため、火災発生防止（電気系統の過熱・焼損の防止、発火性・引火性物質の管理）、火災検知及び消火（自動火災報知設備、消火設備の設置）並びに火災の影響の低減（区画・距離・バリアによる物理的分離、多重化、フェールセーフ設計、不燃又は難燃性ケーブルの使用）の三方策を適切に組み合わせて、内部火災に対する防護対象設備を防護することを基本方針としている。表 1 に防護対象設備と火災による影響に関する整理表を示す。

JRR-3 施設内において火災発生を確認したときは、原子炉を停止することとしており、三方策の組み合わせによって炉心の崩壊熱除去は達成する。また、原子炉設置時に敷設したケーブルはすべて難燃性を採用しており、それらを各系統、ケーブルの種類ごと分離してケーブルダクト、ケーブルトレイ又は電線管に設置することで、火災に対する防護方針（原子炉停止後 30 秒間の強制冷却維持）を守ることをしている。

JRR-3 は、火災発生時に原子炉を安全に停止し、停止後 30 秒間の冷却を確保することが必要であることから、原子炉建家貫通部の安全保護系ケーブル（対象となる計測制御系ケーブルは、建家貫通部においては安全保護系ケーブルを共用している）及び非常用電源系ケーブル（以下、「防護対象ケーブル」という。）に対して難燃シートを用いてケーブル分離対策を施す。

表1 内部火災に対する防護対象設備と火災による影響

| 安全機能 | 構築物、系統及び機器 | 停止機能 | 冷却機能 ^{※2} | |
|---------------------------|---|-----------------|--------------------|--|
| 過大な反応度の添加防止 | 制御棒駆動装置 | ○ | | フェールセーフで設計されており、ケーブルが焼損した場合は自重により制御棒が炉心に挿入されるため、原子炉は自動停止する。 |
| 炉心の形成 | 炉心構造物 燃料要素 | ○ | | 水中に設置されているため、火災によりその機能を失うことはない。 |
| 炉心の冷却 | 冠水維持設備 (サイフォンブレイク弁を除く。) | | ○ | 不燃材により構成されており、火災により機能を喪失することはない。 |
| | 1次冷却系設備 | | ○ | 護るべき安全機能は1次冷却材の保持であり、主要材料にステンレス鋼を用いているため、火災によりその機能を失うことはない。 万一、ケーブルが焼損した場合には、1次冷却材流量低もしくは1次冷却材主ポンプ停止により原子炉は自動停止する。 |
| 炉心の保護 | 原子炉プールコンクリート躯体 | | ○ | 不燃材により構成されており、火災により機能を喪失することはない。 |
| 重水を内蔵する機能 | 重水タンク、重水冷却系設備 | | | 護るべき安全機能は重水の保持であり、水中に設置されているまたは主要材料にステンレス鋼を用いているため、火災によりその機能を失うことはない。 万一、ケーブルが焼損した場合には、重水流量低もしくは重水溢流タンク水位、重水温度高により原子炉は自動停止する。 |
| 放射性物質の貯蔵機能 | 使用済燃料プール (使用済燃料貯蔵ラックを含む。) | | | 不燃材により構成されており、火災により機能を喪失することはない。 |
| 原子炉の緊急停止 | 制御棒、スクラム機構 | ○ | | 水中に設置されているまたはステンレス鋼により構成されているため、火災によりその機能を失うことはない。 |
| 未臨界維持 | 制御棒 | ○ | | |
| 工学的安全施設及び原子炉停止系統への作動信号の発生 | 安全保護回路(停止系) | ○ | | フェールセーフで設計されており、ケーブルが焼損した場合は原子炉は自動停止する。 |
| 原子炉停止後の除熱 | 1次冷却材補助ポンプ | | ○ | 原子炉停止後30秒は2系統あるうち、最低1系統は防護される必要がある。 |
| 安全上特に重要な関連施設 | 非常用電源系 | | ○ | 非常用電源系を構成する機器、ケーブルは独立に設置されており、一方が焼損した場合でももう一方の系統により必要な安全機能は維持される。 |
| 計測・制御 (安全保護機能を除く。) | 中性子計装設備 ^{※1} 、 プロセス計装設備 ^{※1} | ○ ^{※3} | ○ ^{※3} | 原子炉停止後30秒は2系統あるうち、最低1系統は防護される必要がある。 |

※1：崩壊熱除去運転のために監視が必要な設備に限る

※2：原子炉停止後の崩壊熱除去（30秒）に限る

※3：停止機能及び冷却機能が達成されていることの確認のための設備

2. 原子炉建家貫通部のケーブル分離対策の設計方針

防護対象ケーブルの大部分については、各系統、ケーブルの種類ごと分離してケーブルダクト、ケーブルトレイ又は電線管に設置する等、火災に対する防護対策がされているが、原子炉建家の貫通部については、構造上の制約からケーブルトレイから外れ、比較的近い距離に集まり建家を貫通するため、火災に対する物理的な独立性が確保されていない。そのため、当該箇所については本設工認で示した難燃シートを防護対象ケーブルA系、B系に施工し、系統分離することにより独立性を確保する。これにより、1. で述べた火災発生による停止後30秒間の強制冷却を確保する。

3. 設計仕様

3. 1 難燃シート

防護対象ケーブルに施工する難燃シートの仕様を以下に示す。

表 2 難燃シートの仕様

| | |
|----|--|
| 規格 | ① 建築基準法 |
| 材質 | シリカ・マグネシア・カルシア系+シリカ系 |
| 厚さ | 約 35 mm ^{※1} |
| 性能 | ① 建築基準法に基づく 1 時間の耐火性能を有していること ^{※2} 。 ② IS0834 の加熱曲線で 1 時間加熱したときの非加熱面の温度が防護対象機器の機能喪失温度（原子力発電所の内部火災影響評価ガイドのケーブル損傷基準：205℃）以下であること ^{※2} 。 |

※1： 複合材としての厚さ

※2： 建築基準法に基づく 1 時間の耐火性能を有していること及び IS0834 の加熱曲線で 1 時間加熱したときの非加熱面の温度が防護対象機器の機能喪失温度（原子力発電所の内部火災影響評価ガイドのケーブル損傷基準：205℃）以下であることの説明にあたっては、実証試験を行い、その結果が記載されたメーカー試験成績書をエビデンスとして示す。

※上記エビデンスを示すためには実証試験が必要であり、契約手続きを含めると約 4 か月の期間を要する。そのため、許認可対応スケジュールを見直し、8 月中旬に審査会合を行い、その後 8 月中を目途に補正を申請し、9 月末認可希望とする。

※実証試験の結果により上記仕様内容については変更する可能性がある。

3. 2 施工方法

難燃シートは当該設備の性能を損なわないよう、下記に従ったうえで図 1 及び図 2 ②に示すように施工する。

- (1) ケーブル分離に用いる難燃シートは表 2 の仕様に示す性能を有するものを用いる。
- (2) 防護対象ケーブル A 系、B 系の各々（図 1 の「難燃シート設置箇所」）に難燃シートを施工する。
- (3) 難燃シートの固定には、UL94V-0 相当以上の難燃性を有する止め具（結束バンド）を用いる。
- (4) 以下に示す難燃シートの設置範囲の境界部分については、UL94V-0 相当以上の難燃性を有するパテ等を用いて隙間を埋めることとする。
 - ・原子炉建家内側：建家貫通部（壁面手前まで）のケーブルと難燃シートの境界及びケーブルトレイと難燃シートの境界
 - ・原子炉建家外側：建家貫通部（壁面）のケーブルと難燃シートの境界及びケーブルトレイと難燃シートの境界

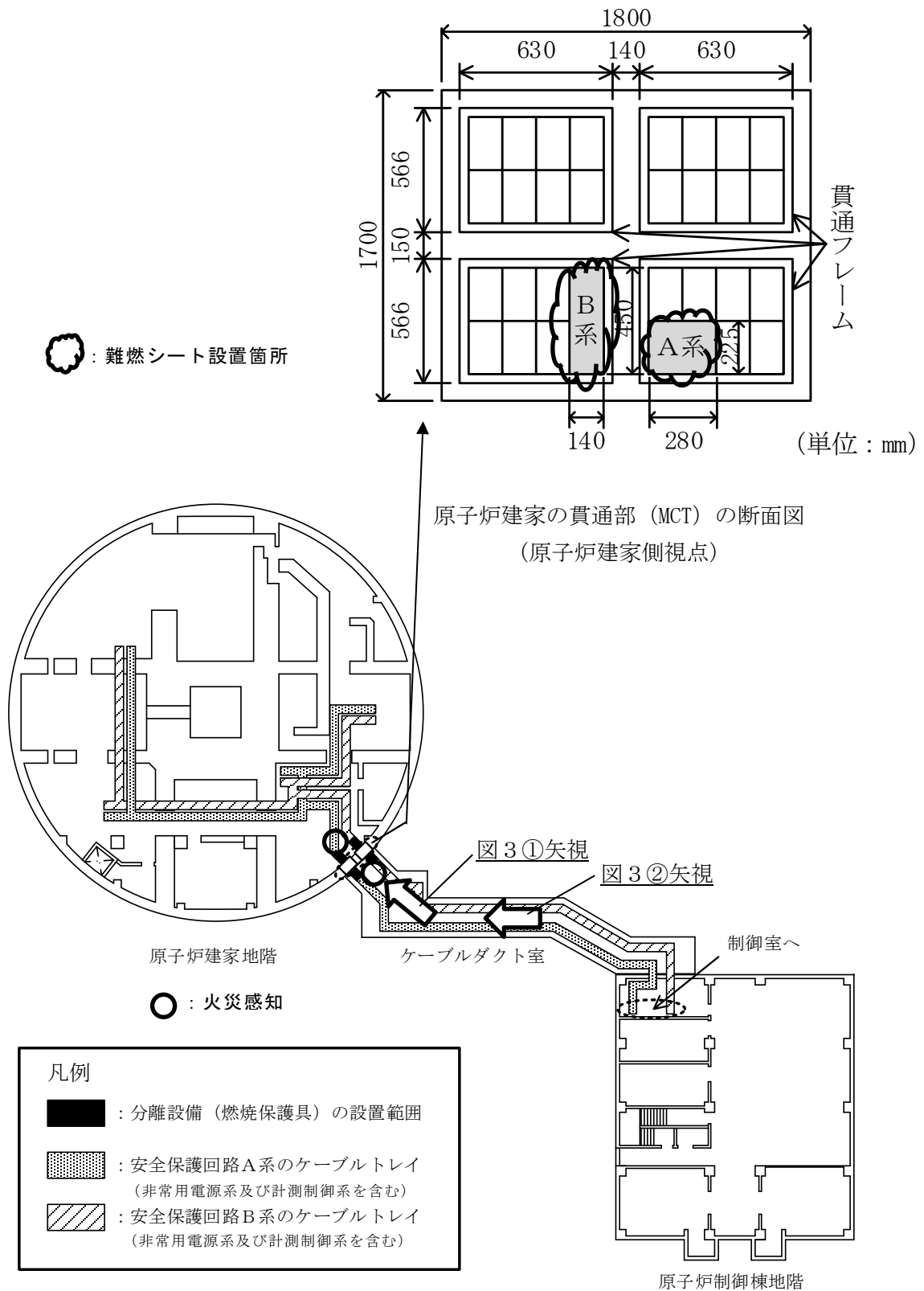
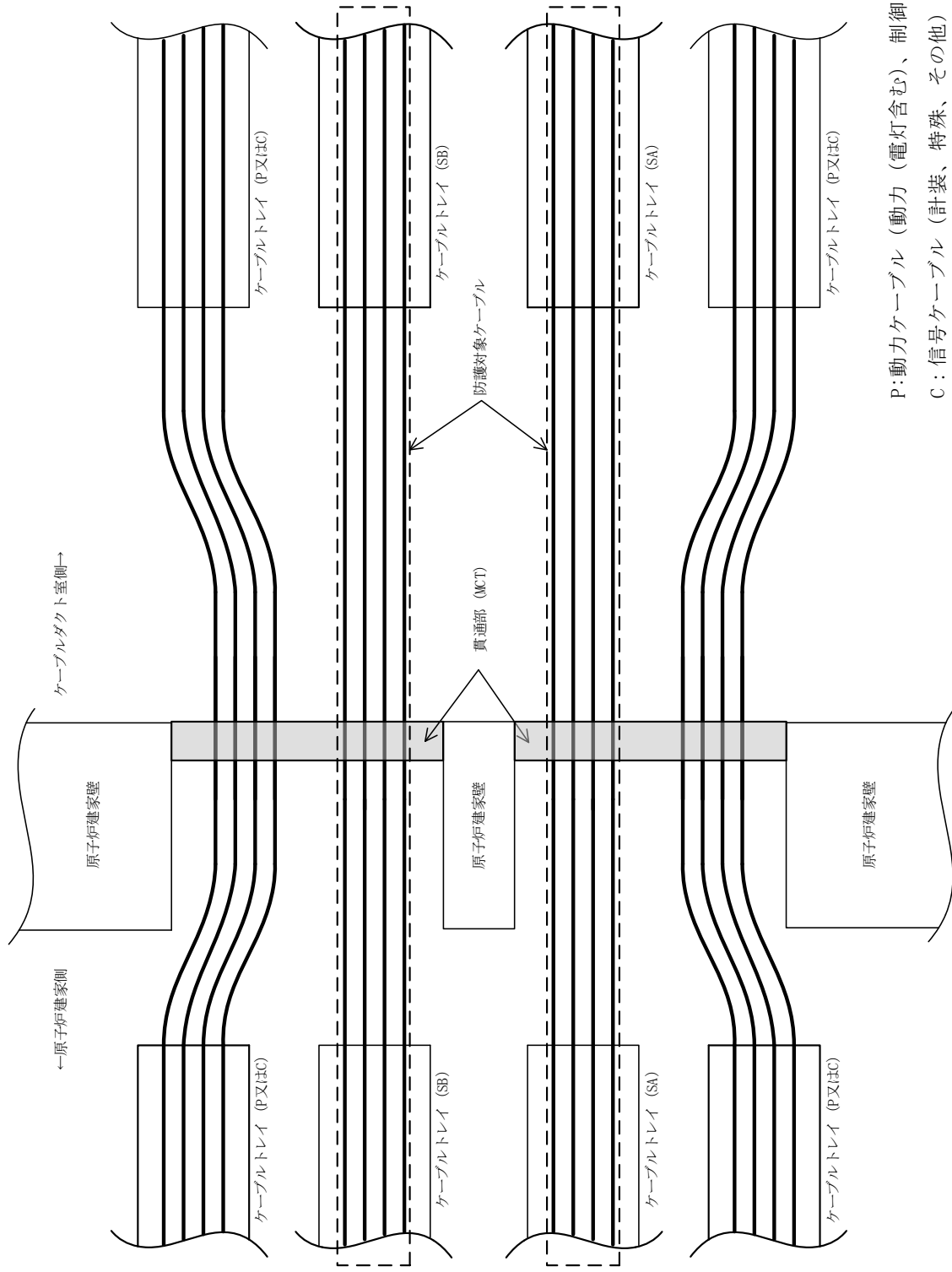
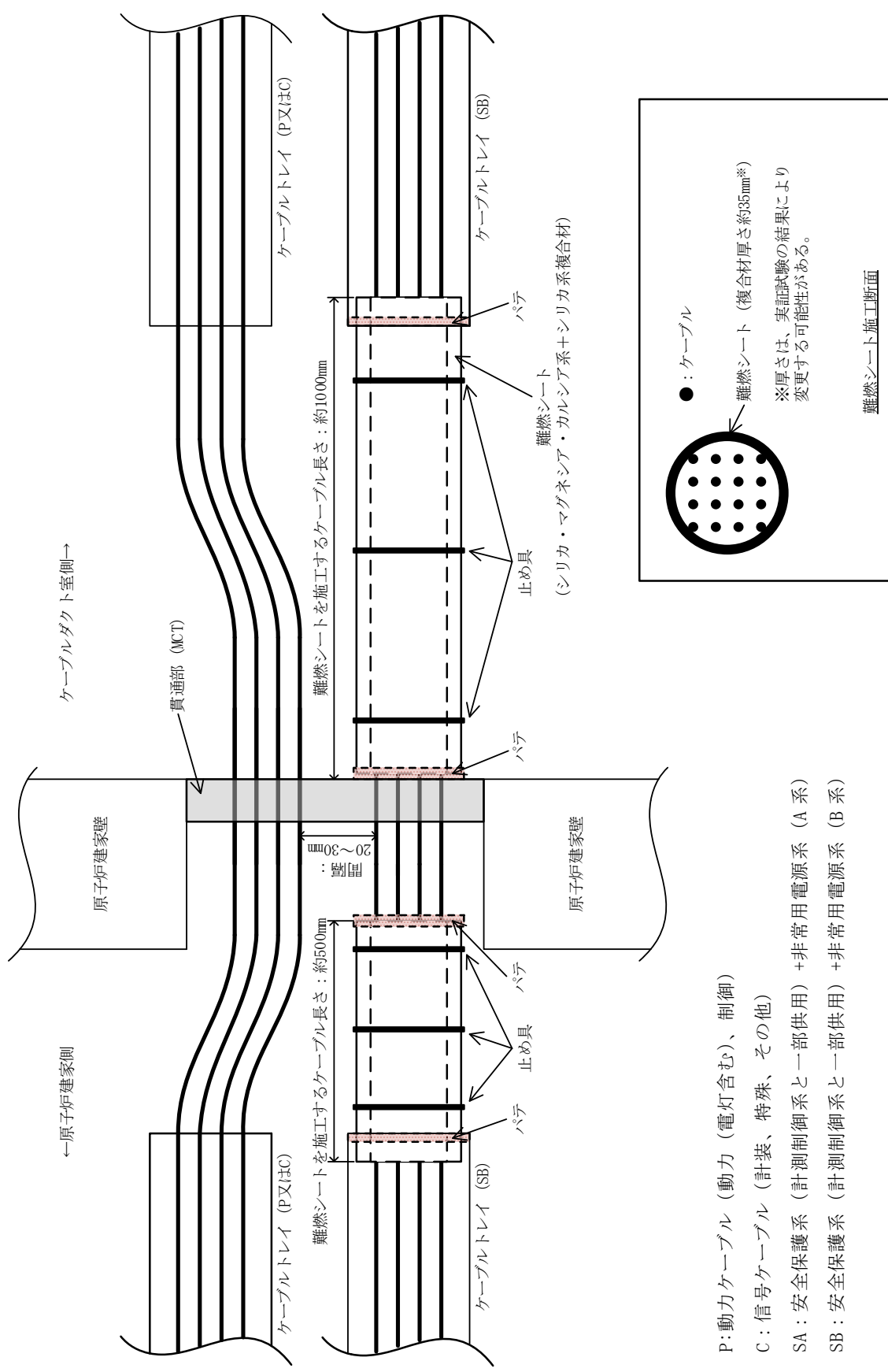


図1 分離設備の設置図



P:動力ケーブル (動力 (電灯含む)、制御)
 C:信号ケーブル (計装、特殊、その他)
 SA:安全保護系 (計測制御系と一部供用) +非常用電源系 (A系)
 SB:安全保護系 (計測制御系と一部供用) +非常用電源系 (B系)

図2① 原子炉建家貫通部の概略図



- P: 動力ケーブル (動力 (電灯含む)、制御)
- C: 信号ケーブル (計装、特殊、その他)
- SA: 安全保護系 (計測制御系と一部供用) + 非常用電源系 (A系)
- SB: 安全保護系 (計測制御系と一部供用) + 非常用電源系 (B系)

図 2② 難燃シート施工概略図 (例: B系の貫通部)



図3① ケーブルダクト室内 MCT 付近



図3② ケーブルダクト室内

4. 火災影響評価

4. 1 評価条件

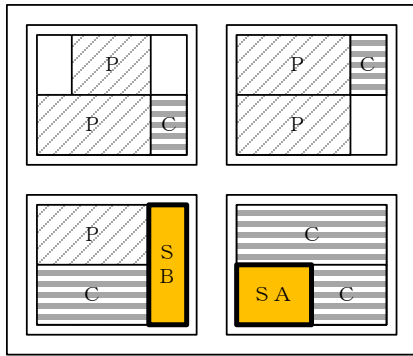
(1) ケーブルの種類、配置の詳細

原子炉建家貫通部に敷設されているケーブルの種類は、動力ケーブル（動力、電灯、制御）、信号ケーブル（計装、特殊、その他）である。これらのケーブルは一部を除いて難燃性を有するケーブルを採用している（動力、電灯、制御、計装、特殊ケーブル等、原子炉設置時に敷設したケーブルはすべて難燃ケーブル。後付けしたその他のケーブル（LAN ケーブル等）は一部非難燃性）。ケーブル詳細配置図を図 4 に、貫通部ケーブル一覧表を表 3 に示す。

また、ケーブルダクト室内には、引火性・可燃性物質等のケーブル以外の発火源が存在しない。このことから、ケーブルを発火源としたケーブル火災について評価する。

(2) 発火源の想定

- ・ 図 2 に示すとおり、ケーブルダクト室には発火性・引火性物質は存在せず、これらは施設内への持込管理を行うことから、発火源としてはケーブルのみを想定する。
- ・ 発火源は、原子炉建家貫通部のすべてのケーブルを対象とする。



P : 動力ケーブル (動力 (電灯含む。)、制御)
 C : 信号ケーブル (計装、特殊、その他)
 S A : 安全保護系 (計測制御系と一部共用) + 非常用電源系 (A系)
 S B : 安全保護系 (計測制御系と一部共用) + 非常用電源系 (B系)

貫通部の区分

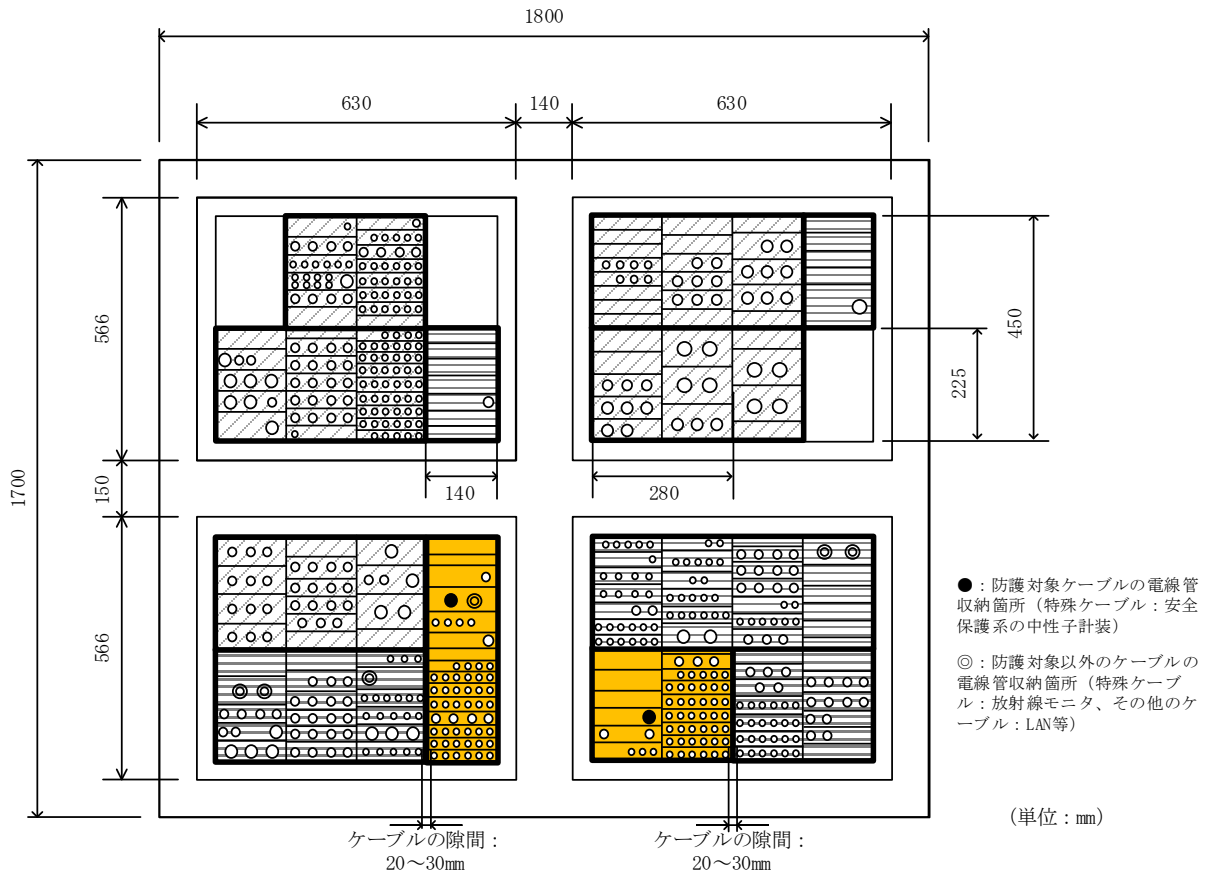


図4 貫通部のケーブル詳細配置図 (原子炉建家側視点)



図5 貫通部写真（ケーブルダクト室側視点）



図6 貫通部写真（原子炉建家側視点）

表3 貫通部ケーブル一覧表

| 種類 | | ケーブル名称 | 難燃性の確認 | |
|--------|----------------------------|--------------------------------------|--------|-------|
| | | | 延焼性 | 自己消火性 |
| 動力ケーブル | 動力、電灯 ケーブル (P、SA、SB) | 難燃 EP ゴム絶縁特殊クロロブレン ゴムシースケーブル | ○ | ○ |
| | | 難燃性架橋ポリエチレン絶縁ビニ ルシース低圧動力ケーブル | ○ | ○ |
| | 制御ケーブル (P、SA、SB) | 制御用難燃 EP ゴム絶縁特殊クロロ ブレンゴムシースケーブル | ○ | ○ |
| | | 難燃性ビニル絶縁ビニルシース制 御ケーブル | ○ | ○ |
| 信号ケーブル | 計装ケーブル (C、SA、SB) | 静電遮蔽付難燃 EP ゴム絶縁特殊ク ロロブレンゴムシースケーブル | ○ | ○ |
| | | 難燃性ビニル絶縁ビニルシース計 装ケーブル | ○ | ○ |
| | 特殊ケーブル (C、SA、SB) | 架橋ポリエチレン絶縁2重編組特 殊同軸ケーブル | ○* | ○ |
| | その他 (C) | 難燃性ビニル絶縁電線 | ○ | ○ |
| | | LAN ケーブル | ○ | |
| | | 光ファイバーケーブル | | |
| | | 原子炉建家地震計専用ケーブル | | |

※参考資料3参照

4.2 評価

ケーブル火災による影響評価にあたっては、内部火災評価ガイドを参考に火災等価時間を算出し、その結果が難燃シートの耐火性能である1時間を超えないことを確認する。

(1) 火災区画の面積

発火源に想定したケーブルが設置されているケーブルダクト室の床面積を火災区画の面積に設定する。

ケーブルダクト室の床面積 = $2.9\text{m} \times 25.8\text{m} = 74.82 \text{ (m}^2\text{)}$

∴火災区画の面積 : $74.82 \text{ (m}^2\text{)}$

(2) 火災区画の発熱量

難燃シート施工範囲のケーブルを発火源とし、この範囲のケーブルの量から発熱量を算出する。

可燃性物質の量 (ケーブル量) : 575 (kg)

ケーブルの熱含有率：25,568 (kJ/kg)

$$\begin{aligned}\text{発熱量} &= \text{ケーブル量} \times \text{熱含有量} \\ &= 575 \times 25,568 \\ &= 14,701,600 \text{ (kJ)}\end{aligned}$$

(3) 等価時間の設定

(2) で算出した火災区域の発熱量から、下式により等価時間を算出する。

$$\begin{aligned}\text{等価時間} &= \text{火災荷重} / \text{燃焼率} \\ &= \text{発熱量} / \text{火災区画の面積} / \text{燃焼率} \\ &= 14,701,600 / 74.82 / 908,095 \\ &= 0.22 \text{ (h)}\end{aligned}$$

ここで、

燃焼率：短時間単位面積当たりの発熱量 (908,095 kJ/m²/h)

発熱量：14,701,600 (kJ)

火災区画の面積：74.82 (m²)

以上より、等価時間が 0.22 (h) であり 1 時間を超えないことから、想定するケーブル火災に対し難燃シートの耐火性能は確保され、防護対象ケーブルは護られる。

5. 結論

以上より、想定される火災発生時においても防護対象ケーブルが 2 系統同時に損傷を受けることはなく、また、最低限 1 系統の防護対象ケーブルは護られることから、火災による原子炉停止後 30 秒間の強制冷却が可能であり、原子炉の安全機能は維持できる。

よって、原子炉建家貫通部に施工するケーブル分離対策は、独立性確保のための十分な耐火性能を有していると判断する。

参考資料1 難燃シートを施工した場合の通電状態のケーブルによる温度上昇について

難燃シート（シリカ・マグネシア・カルシア系＋シリカ系複合材）を施工する対象ケーブル（安全保護系（計測制御系を含む）、非常用電源系）は440V以下の低電圧ケーブルであり、通電状態における温度は室温と同程度（実測で約20℃）であり、著しい発熱を生じるものではない。また、施工する難燃シート（シリカ・マグネシア・カルシア系＋シリカ系）の熱抵抗^{*}は約0.3(m²・K/W)であり、一般的な断熱材の熱抵抗（フェノールフォーム系：約3.0(m²・K/W)）に比べて10倍程度熱を通しやすい材料である。このことから、難燃シートを施工した場合でも、通常に通電状態においてはケーブル自体への熱影響はない。

なお、女川2号炉で実施している許容電流低減率（空中一条敷設時の許容電流に対するケーブル多条敷設や耐火ラッピング施工による許容電流の低減割合。）の実証試験結果（H30年4月審査資料）によると、難燃シートを巻くことにより多条敷設時の許容電流から更に電流を低減させるための許容電流低減率は約56%であり、これを参考にJRR-3の防護対象ケーブル（最も発熱の大きい1次冷却材補助ポンプに関するケーブルを選定）の各状態における許容電流を算出すると、参表1の値となる。これらの値を比較すれば、④の電流値は③の電流値を超えないことが分かる。

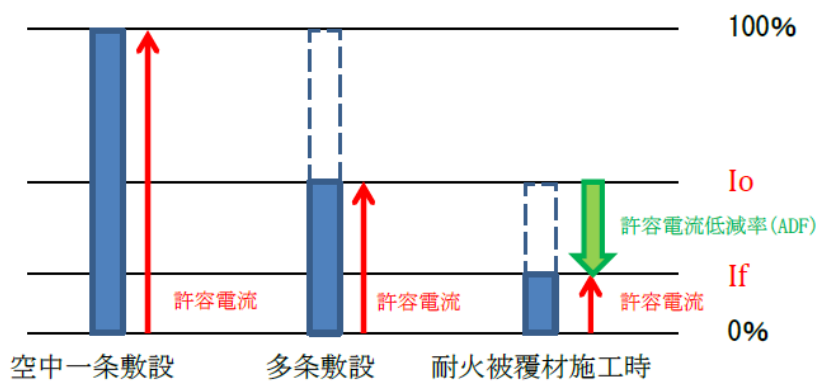
※熱抵抗：物の断熱性能を表す値

（定義） 熱抵抗 (m²・K/W) = 断熱材の厚さ (m) ÷ 熱伝導率 (W/m・K)

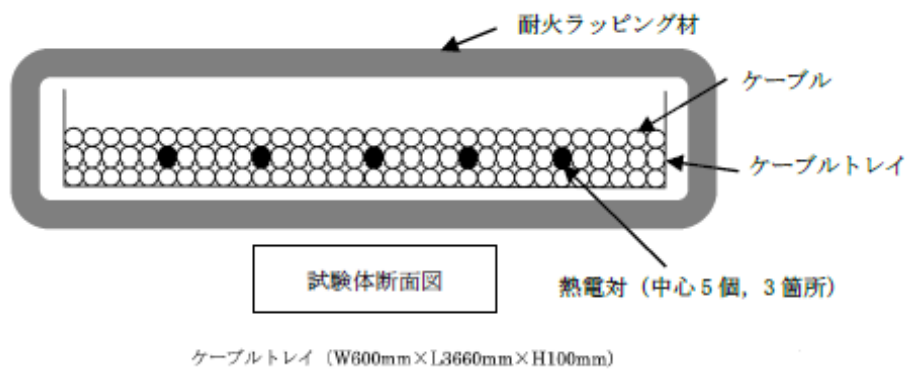
参表1 JRR-3防護対象ケーブルの各状態における電流値

| | 電流値 (A) | 備考 |
|---------------------|-----------------|------------------------|
| ①空中一条敷設時の許容電流 | 100 | 当該ケーブル規格に基づく許容値 |
| ②ケーブルトレイ等多条敷設時の許容電流 | 70 | JRR-3における設計上の許容値 |
| ③難燃シート施工後の許容電流 | 30.5 | 女川2号炉の許容電流低減率56%を参考に計算 |
| ④実際に防護対象ケーブルに流れる電流値 | 26 [*] | JRR-3における設計値 |

※1次冷却材補助ポンプの運転に必要な電流値の合計。



ケーブル許容電流と許容電流低減率（女川2号炉ケーブルトレイラッピングの場合）
 （出典 女川2号炉 H30年4月審査資料）



許容電流低減率評価 試験体構造概略図（出典 女川2号炉 H30年4月審査資料）

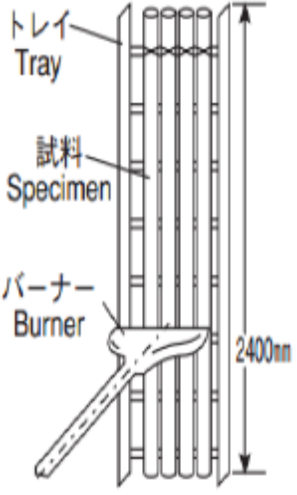
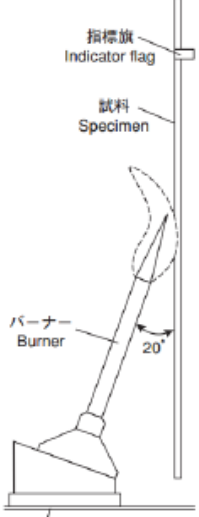
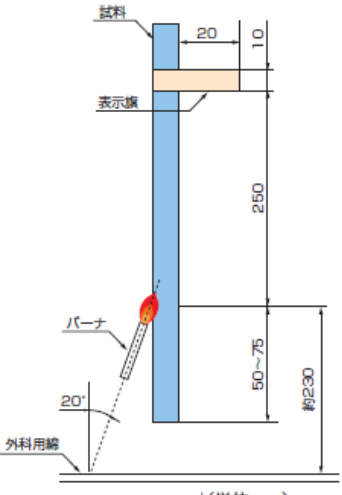
参考資料 2 内部火災防護対象設備の難燃ケーブルについて

ケーブルトレイに施設する内部火災防護対象設備に係る難燃ケーブルは、ICEA 垂直燃焼試験及び IEEE 規格 383 垂直トレイ燃焼試験に合格していることにより自己消火性及び耐延焼性を有していることを確認している。

JRR-3 において自己消火性の確認のために実施している ICEA 垂直燃焼試験は参表 2 に示すとおり UL 垂直燃焼試験と試験方法、判定基準については同等のものとなっている。ICEA 垂直燃焼試験はケーブルのシースを取り除いた試験であること、判定基準に綿の燃焼を規定していない等の一部相違点があるが、一般に絶縁体に比べてシースの自己消火性の方が高いため、シースを取り除いた ICEA 垂直燃焼試験の方が厳しい試験条件であると言える。自己消火性の確認については、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、「発電炉審査基準」という。）において UL 垂直燃焼試験がその実証試験として例示されているが、上記の理由から ICEA 垂直燃焼試験は UL 垂直燃焼試験と同様に、自己消火性を確認できるものと考ええる。

なお、参表 3 に示すとおり、発電炉における UL 垂直燃焼試験確認ケーブルと JRR-3 のケーブルのシースについて比較した結果、材質、厚さともにすべて発電炉で合格したものと同等であることを確認している。また、JRR-3 における実証試験は代表性のあるケーブルについて抜き取りで実施しており、試験対象としていないケーブルについては、ケーブルメーカーが発行するケーブル仕様書により適合性を確認している。

参表2 ケーブル燃焼試験の概要

| 試験名 | 垂直トレイ燃焼試験 (IEEE 規格 383) | 垂直燃焼試験 (ICEA S-19-81) | 垂直燃焼試験 (UL 規格) |
|--------|--|---|--|
| 試験装置概要 |  <p>トレイ Tray 試料 Specimen バーナー Burner 2400mm</p> |  <p>指標旗 Indicator flag 試料 Specimen バーナー Burner 20°</p> |  <p>試料 20 10 表示旗 250 バーナー 20° 外科用綿 50~75 約230 !(単位mm)</p> |
| 試験方法 | <ul style="list-style-type: none"> バーナーはトレイ下端より 600mm の位置で炎がトレイのクロス材の中間部で当たるようにかつ試料表面とバーナーの炎口面の間隔が 75mm になるようにトレイ幅の中央部に水平に設置する。 バーナーを点火し 20 分間連続燃焼させる。 | <ul style="list-style-type: none"> 資料を垂直に保持し、20 度の角度でバーナーの炎をあてる。 15秒着火、15秒休止を5回繰り返し、資料の燃焼の程度を調べる。 | <ul style="list-style-type: none"> 資料を垂直に保持し、20 度の角度でバーナーの炎をあてる。 15 秒着火、15 秒休止を 5 回繰り返し、資料の燃焼の程度を調べる。 |
| 判定基準 | <ul style="list-style-type: none"> 20 分間の燃焼中及び燃焼後においてケーブルの上端まで延焼しないこと。 | <ul style="list-style-type: none"> 残炎による燃焼が 60 秒を越えない。 表示旗が 25% 以上焼損しない。 | <ul style="list-style-type: none"> 残炎による燃焼が 60 秒を越えない。 表示旗が 25% 以上焼損しない。 落下物によって下に設置した綿が燃焼しない。 |

参表3 JRR-3 と発電炉における難燃ケーブルシース比較

| JRR-3 火災防護対象設備ケーブル | | 発電炉 UL 垂直燃焼試験確認ケーブル | |
|--------------------|----------|--|---------|
| シース材 | シース厚さ | シース材 | シース厚さ |
| 特殊耐熱ビニル | 1.5 mm以上 | 特殊耐熱ビニル※ ¹ | 1.5 mm |
| 難燃クロロプレンゴム | 1.5 mm以上 | 難燃クロロプレンゴム※ ¹ | 1.5 mm |
| 難燃架橋ポリエチレン | 0.9 mm以上 | ノンハロゲン難燃架橋 ポリエチレン※ ² 、※ ³ | 1.02 mm |

※1 日本原電東海第二原子力発電所 平成 29 年 10 月審査資料より

※2 東京電力柏崎原子力発電所 6、7 号炉 平成 27 年 8 月審査資料より

※3 自己消火性（燃焼継続性の有無）の確認としては主として酸素指数がその指標となる。酸素指数はどちらも 35 程度であることから、自己消火性の観点において同等の材質であると判断する。

参考資料3 難燃ケーブルの耐延焼性について

参考資料2で説明した通り、ケーブルトレイに敷設するグループケーブルについては、ICEA 垂直燃焼試験及び IEEE 規格 383 垂直トレイ燃焼試験に合格していることにより自己消火性及び耐延焼性を有していることを確認している。

一方、特殊ケーブルとして分類した同軸ケーブルについては、ICEA 垂直燃焼試験により自己消火性については確認しているが、IEEE 規格 383 垂直トレイ燃焼試験による耐延焼性については確認していない。当該ケーブルは電流値が小さいことから自己発火の可能性は低く、万が一発火することを想定したとしても電線管に収納され両端をパテで密封してあることから酸素不足が生じ燃焼が継続することはない。そのため、十分に耐延焼性を確保していると判断する。