

東海第二発電所

火災による損傷防止

(非難燃ケーブルの対応について)

平成28年10月27日
日本原子力発電株式会社

目次

I. 基準要求に対する適合方針と防火措置

1. ケーブルに対する基準要求事項
2. 東海第二発電所のケーブル配線の特徴
3. 基準要求に対する適合方針
4. ケーブル取替作業に関する検討
5. ケーブル取替作業に伴う安全上の悪影響の検討
6. 防火シートによる複合体形成に伴う安全上の悪影響の検討
7. 適合方針に基づく具体的対応の検討結果

II. 複合体の概念, 設計目標及び設計方針の設定について

1. 複合体の概念
2. 設計目標の設定から達成確認までのフロー
3. 設計目標(保安水準)及び設計方針の設定

<補足説明資料>

- 補足1. ケーブル配線の特徴
- 補足2. 非難燃ケーブルの防火措置方法の検討
- 補足3. ケーブル取替の基本的な考え方
- 補足4. ケーブルトレイ設置状況からの取替検討
- 補足5. ケーブル取替に係る作業安全の確保
- 補足6. ケーブルの絶縁体劣化と発火のリスク

I . 基準要求に対する適合方針と防火措置

1. ケーブルに対する基準要求事項

【設置許可基準規則(抜粋)】

第八条 火災による損傷の防止

設計基準対象施設は、火災により発電用原子炉施設の安全性が損なわれないよう、火災の発生を防止することができ、(後略)

【設置許可基準規則の解釈(抜粋)】

第8条(火災による損傷の防止)

2 第8条について、別途定める「实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」(中略)に適合するものであること。

【实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(抜粋)】

2.1火災の発生防止

不燃性材料又は難燃性材料を使用した設計であること。

・ケーブルは難燃ケーブル※を使用すること。

※:火災により着火し難く、著しい燃焼をせず、また、加熱源を除去した場合はその燃焼部が広がらない性質を有するケーブル

【設置許可基準規則の解釈(抜粋)】

設置許可基準規則に定める技術的要件を満足する技術的内容は、本解釈に限定されるものではなく、設置許可基準規則に照らして十分な保安水準の確保が達成できる技術的根拠があれば、設置許可基準規則に適合するものと判断する。

2. 東海第二発電所のケーブル配線の特徴【ケーブル敷設状況】

東海第二発電所のケーブルには建設時に非難燃ケーブルが採用され、ケーブルトレイに敷設された非難燃ケーブルには延焼防止材が施されている。その後の増改良工事においては難燃ケーブルが採用され、延焼防止材が施された非難燃ケーブルの上に敷設されている。発電所のケーブルは回路種別により4種類に分かれ、ケーブルトレイ等の形態で配線されている。その特徴を以下に示す(補足1)。

○計装ケーブル

現場の伝送器からケーブル処理室を経由し、中央制御室の制御盤までケーブルトレイ又は電線管で敷設(電線管が多い)

○制御ケーブル

中央制御盤からケーブル処理室を経由し、各機器までケーブルトレイ又は電線管で敷設
また、中央制御室の床下コンクリートピットで制御盤間を連絡

○低圧電カケーブル

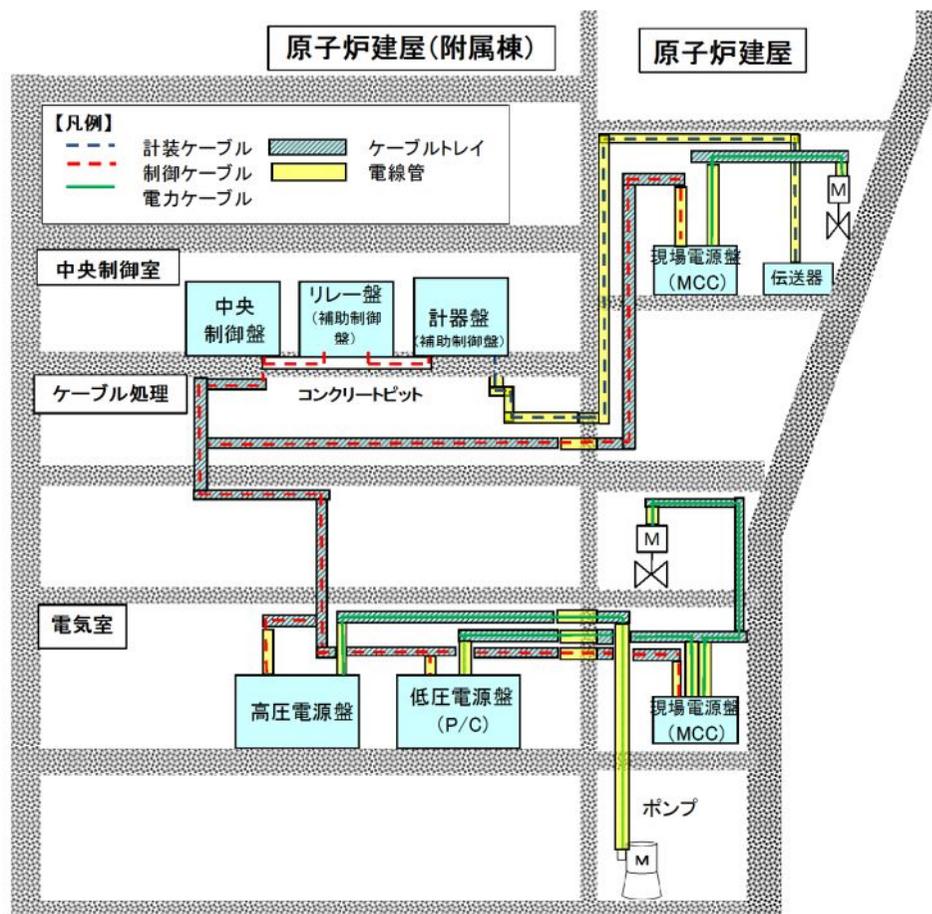
電気室の低圧電源盤から現場電源盤、現場電源盤から各機器までケーブルトレイで敷設

○高圧電カケーブル

電気室の高圧電源盤から現場の各機器までケーブルトレイで敷設

【ケーブルの敷設形態は、以下に大別】

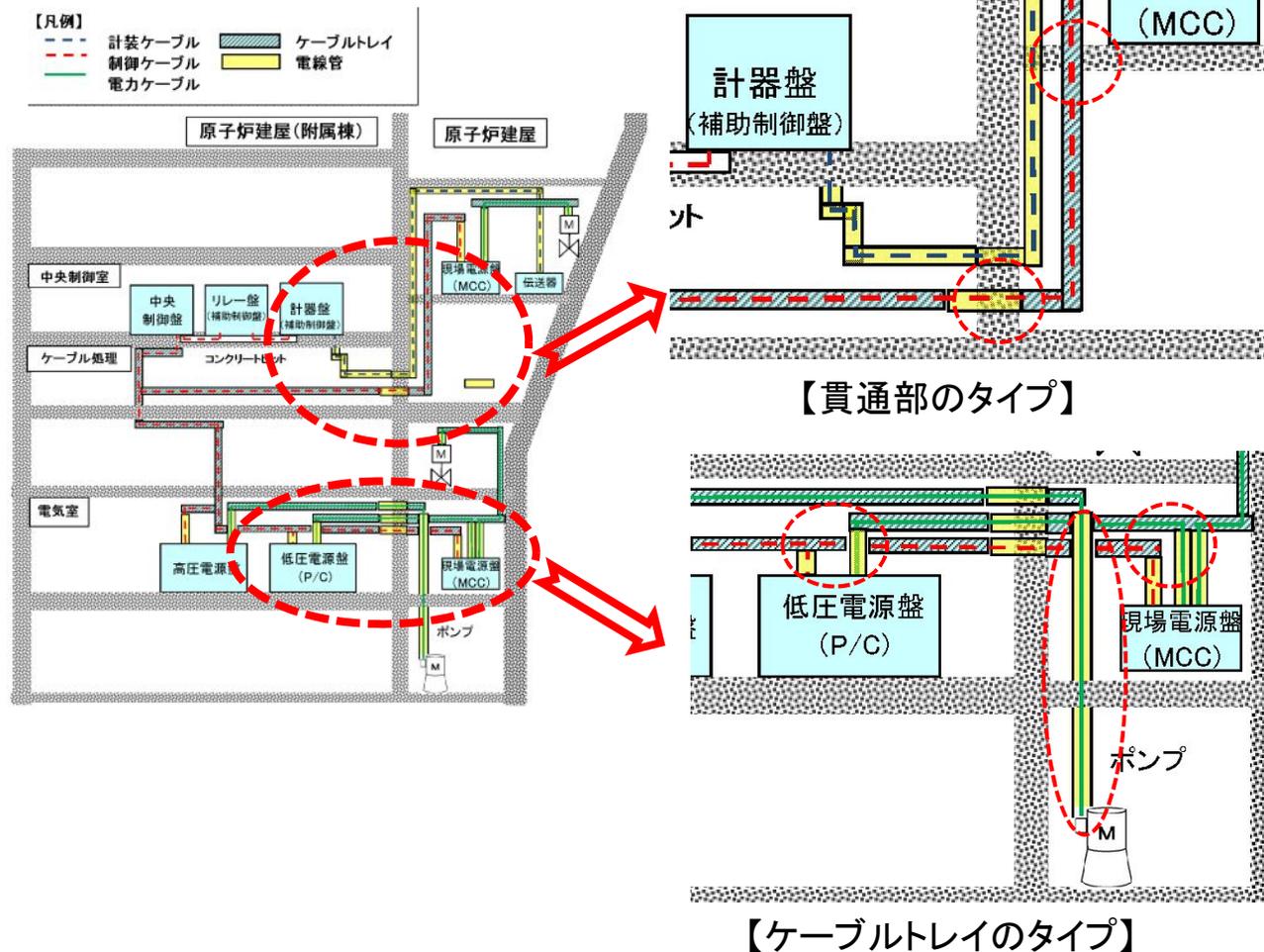
- ①電線管…全長を電線管で配線
- ②コンクリートピット…全長をピット内配線
- ③ケーブルトレイ…盤、機器等へは一部を分岐、合流させ電線管で配線



【安全機能を有する機器に接続されるケーブルイメージ】

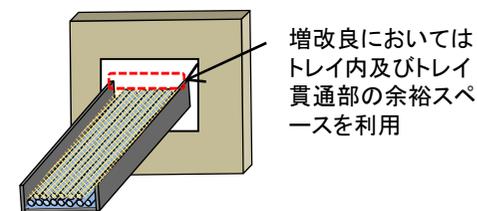
2. 東海第二発電所のケーブル配線の特徴【ケーブル貫通部の状況】

ケーブル配線の内、壁・床・天井の貫通部及びケーブルトレイの特徴について以下に示す。



貫通部のタイプ(イメージ)

- ・ケーブルトレイ
- ・電線管



ケーブルトレイ貫通部



電線管貫通部

ケーブルトレイ

大部分がトレイで敷設されるがトレイから一部を分岐, 又は合流させた後に電線管を使用

3.基準要求に対する適合方針

基準要求では、難燃ケーブルの使用が要求されていることから、東海第二発電所のケーブル配線の特徴を踏まえ、以下の適合方針とする

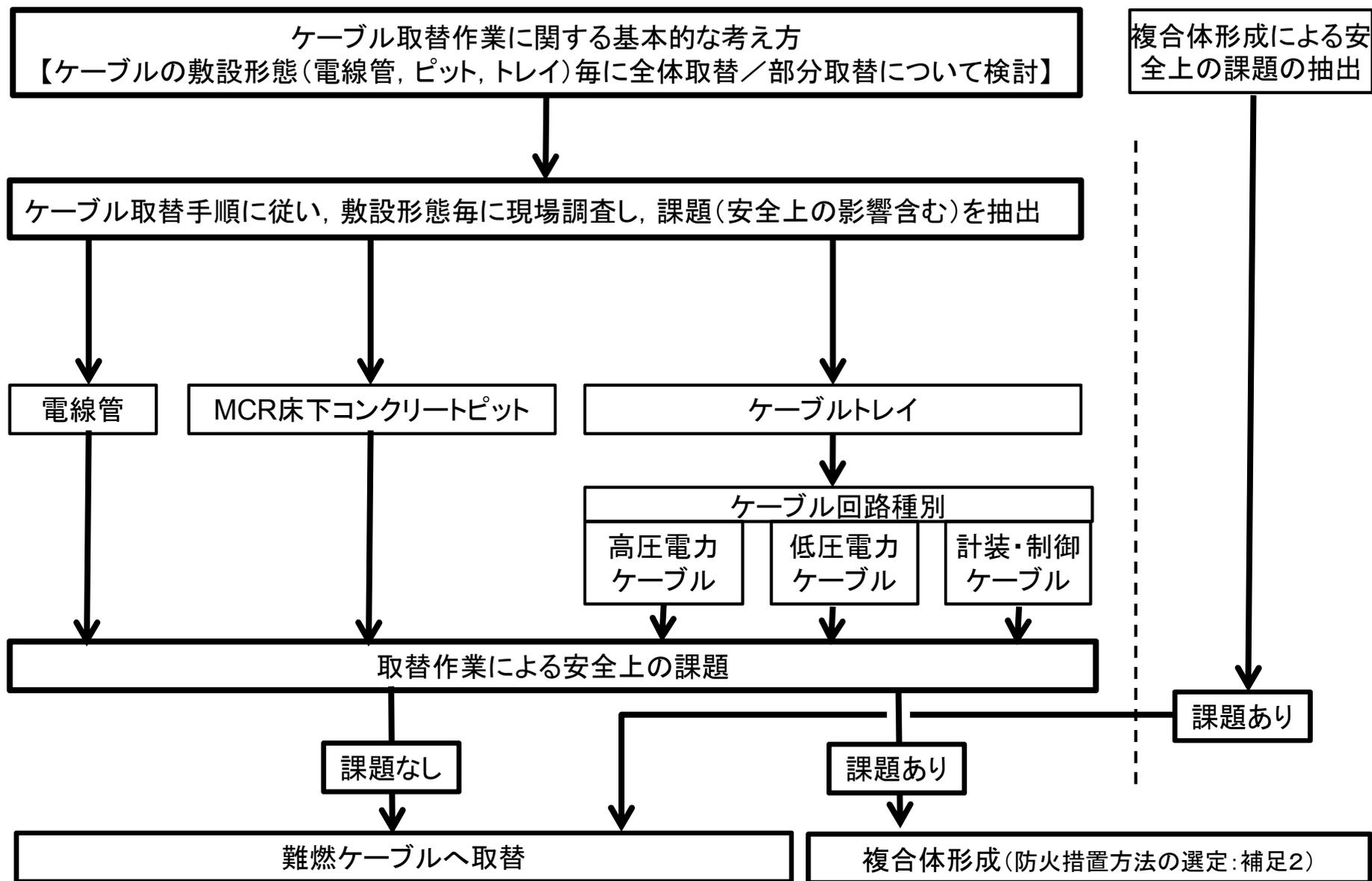
<適合方針>

- ★安全機能を有する機器に接続される非難燃ケーブルは、難燃ケーブルに取替る
- ★ケーブル取替作業により悪影響が生じる場合は防火シートによる複合体を形成※する

※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ことで、火災防護上十分な難燃性能を確保できることを実証する

この適合方針に基づく具体的対応を立案するため、ケーブル取替作業と複合体形成に伴う安全上の悪影響について検討を行う

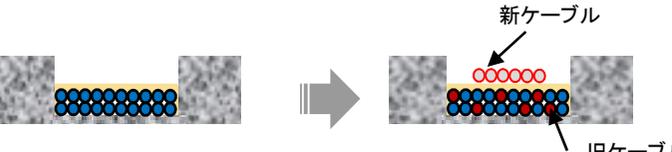
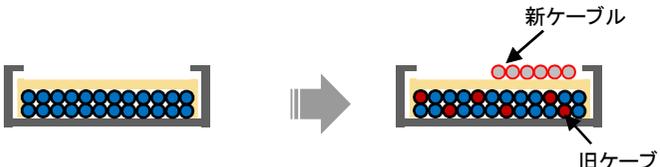
3. 1 難燃ケーブル取替作業に伴う安全上の課題検討の考え方



4. ケーブル取替作業に関する検討

4.1 ケーブル取替作業に関する基本的な考え方

ケーブルの敷設形態に応じた難燃ケーブルへの取替に関連し、作業実績を踏まえ検討した結果を以下に示す(補足3)。

敷設形態	過去の作業実績	検討結果
電線管	<p>ケーブルの撤去, 取替</p> 	<p>電線管内のケーブルを全て難燃ケーブルに取替える方針とする。 このため電線管内の旧ケーブルを撤去し、空にした電線管内に新ケーブルを敷設する。</p>
コンクリートピット	<p>ケーブルの引替(旧ケーブルは据置)</p> 	<p>ピット/トレイ内の一部(数本)のケーブルを難燃ケーブルに引替えても、多くの非難燃ケーブルがピット/トレイに残存</p> <p style="text-align: center;">↓</p> <ul style="list-style-type: none"> ・非難燃ケーブルが残存するトレイは複合体形成が必須 ・可燃物量が増加(旧ケーブルは撤去できない)
ケーブルトレイ	<p>ケーブルの引替(旧ケーブルは据置)</p> 	<p style="text-align: center;">↓</p> <ul style="list-style-type: none"> ・このため、ピット内又はトレイ内の非難燃ケーブルを全て難燃ケーブルに取替える方針とする。(トレイ内ケーブルのうち数本だけの取替えは実施しない) ・なお、1本の非難燃ケーブルの一部分のみ難燃ケーブルへ取替えることは実施しない方針とする。(ケーブル接続部増加による発熱発生リスクの回避)

4. 2 ケーブル取替作業に伴う課題の抽出【電線管】

【ケーブルの取替方法はケーブル敷設形態に依存するため、敷設形態ごとに取替方法を検討し、安全上の悪影響について検討する】

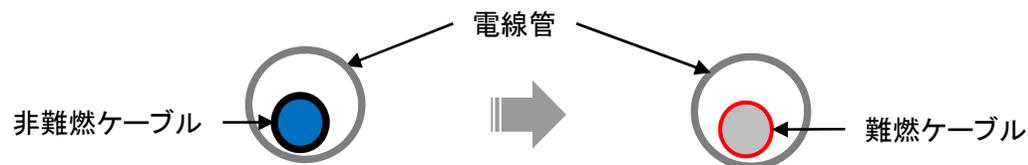
ケーブル取替作業に伴う課題について、以下のステップで検討を行った。

- a. ウォークダウンによる現場の確認
- b. 非難燃ケーブルを撤去し、難燃ケーブルへ取替えるにあたっての課題の抽出

電線管

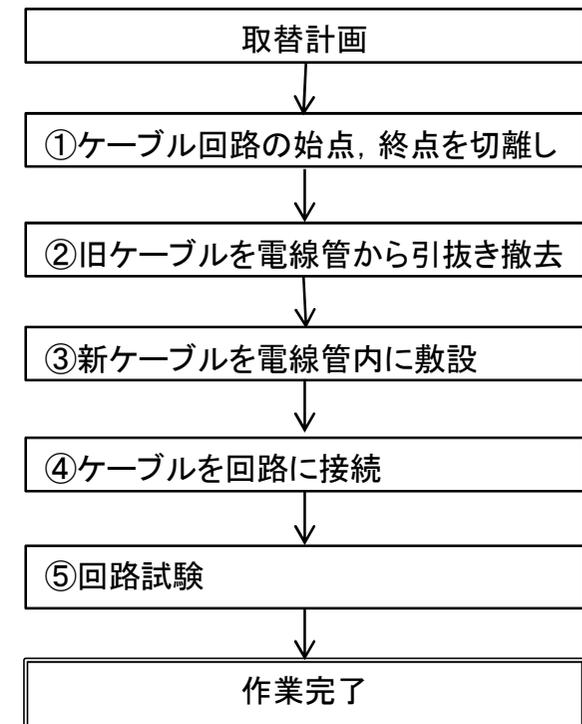
現場確認及び課題の抽出結果は以下のとおり。

- a. ウォークダウン等による現場の確認結果
 - 電線管内に配線された非難燃ケーブル(制御/計装ケーブル)は電線管内の全ケーブル撤去及び難燃ケーブルへの取替が可能
 - 取替実績あり



- b. 課題の抽出結果
非難燃ケーブルを撤去し、難燃ケーブルへ取替えるにあたっての課題なし

【電線管のケーブルの取替手順】



4. 3 ケーブル取替作業に伴う課題の抽出【コンクリートピット】

コンクリートピット

ケーブルの始点と終点が全てコンクリートピットに敷設されるのは中央制御室(MCR)の床下コンクリートピットであり、この箇所に対する現場確認及び課題の抽出結果は以下のとおり。

a. ウォークダウン等による現場の確認結果

- ピット内のケーブルはMCR内の盤間接続ケーブルであるため接続距離が短い。
- 新たな壁・床貫通部を設けることなく、難燃ケーブルの敷設スペースが確保可能。
- 全長にわたる延焼防止材の剥離、非難燃ケーブルを撤去する作業スペースの確保が可能
- 必要に応じ予備機能の確保のため仮設ケーブルの設置が可能

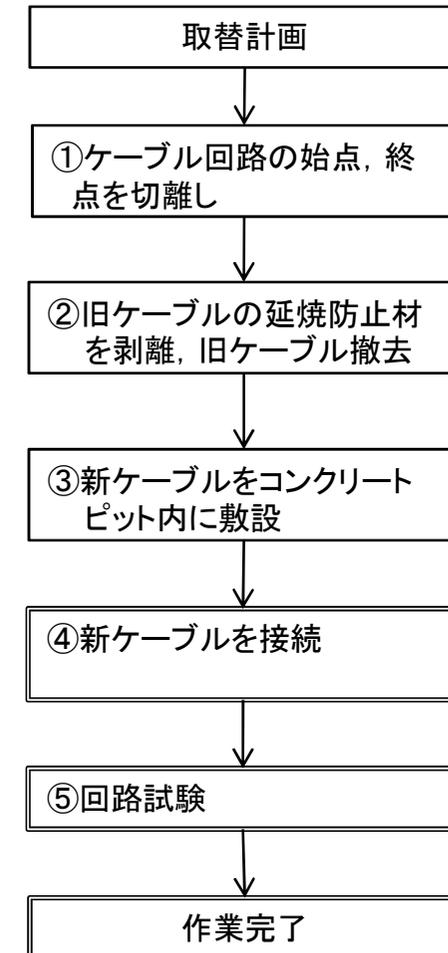


【コンクリートピットのケーブル取替手順イメージ】

b. 課題の抽出結果

非難燃ケーブルを撤去し、難燃ケーブルへ取替るにあたっての課題なし

【コンクリートピットのケーブル取替手順】



4. 4 ケーブル取替作業に伴う課題の抽出【ケーブルトレイ】

4. 4. 1 トレイ内敷設ケーブルの取替作業に関する基本的な考え方

＜ケーブルトレイ内の敷設状況＞

- ▶トレイ内のケーブル量が多く、トレイ内に非難燃ケーブルが束になって敷設され、束を覆うよう延焼防止材が塗布されている



- トレイ内の全てのケーブルを撤去し新ケーブルを敷設する場合は、片系列の全機能が長期間停止するため、単一故障により安全機能(例:使用済燃料プール冷却水系及び関連計器, 原子炉補機冷却水系, 放射線モニタ, 警報回路, 照明等)喪失のリスクがある。加えて、延焼防止材剥離(アスベスト取扱)には特別な作業管理が必要
- 延焼防止材が塗布されたケーブルの束から必要なケーブルを特定することは困難。また、延焼防止材剥離と束になったケーブルの中から特定のケーブルを撤去するには、周囲の活線ケーブルを傷つける可能性があり、必要機能喪失, 感電等のリスクがある



○既設トレイ内でのケーブル取替(新ケーブル敷設及び旧ケーブル撤去)は困難

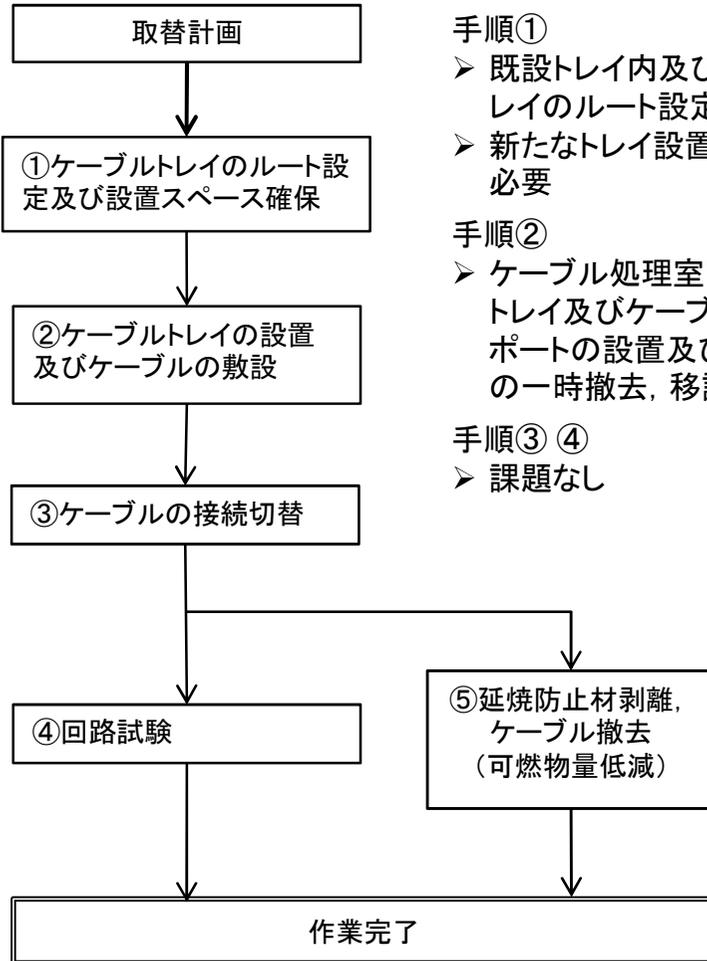


ケーブル取替時には、先ず既設のトレイ横に新規トレイを設置し、新ケーブルを敷設後、旧ケーブルから新ケーブルへの接続切替を順次行うことが基本

4.4.2 ケーブル取替作業に伴う課題の抽出【計装・制御ケーブル】

計装・制御ケーブル(中央制御盤～ケーブル処理室～現場電源盤間の制御ケーブルの例)に対する現場確認及び課題の抽出結果は以下のとおり(補足4)。

a. ウォークダウン等による現場の確認結果



手順①

- 既設トレイ内及び壁貫通部に余裕がないため、新たなトレイのルート設定として、新たなトレイの壁貫通部が必要
- 新たなトレイ設置には干渉設備の一時撤去、移設等が必要

手順②

- ケーブル処理室は各機器からケーブルが集まるため、トレイ及びケーブルの物量が膨大であり、トレイ/サポートの設置及びケーブル敷設の作業には干渉設備の一時撤去、移設等が必要

手順③④

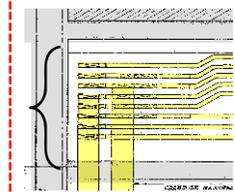
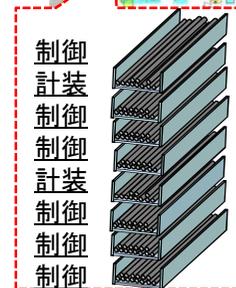
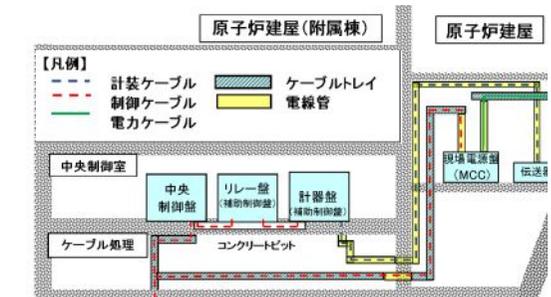
- 課題なし

手順⑤

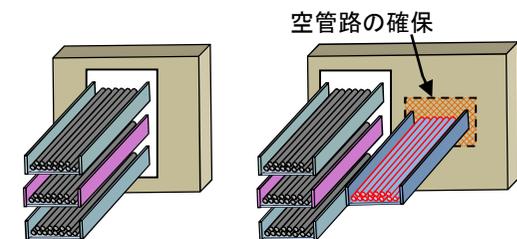
- ケーブル量が膨大であり、延焼防止材剥離の作業及び剥離後のケーブル撤去の作業には干渉設備の一時撤去、移設等が必要

b. 課題の抽出結果

- ・壁貫通部余裕がないため、新たな壁貫通部が必要
- ・ケーブルトレイ/サポートの設置、ケーブル敷設/撤去には、干渉設備の一時撤去、移設等が必要
- ・ケーブルトレイ/サポート設置、ケーブル敷設、延焼防止材剥離及びケーブル撤去の作業には干渉設備の一時撤去、移設等が必要



【ケーブルトレイ配列】

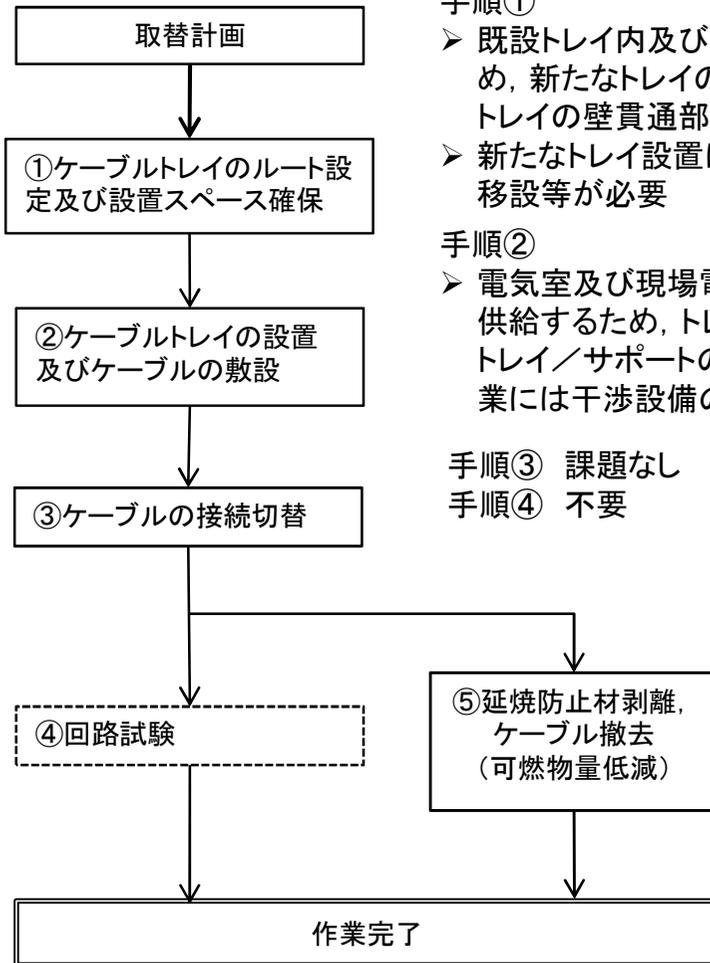


【原子炉建屋側壁貫通部イメージ】

4.4.3 ケーブル取替作業に伴う課題の抽出【低圧電力ケーブル】

低圧電力ケーブル(低圧電源盤～現場電源盤～電動弁ケーブルの例)に対する現場確認及び課題の抽出結果は以下のとおり(補足4)。

a. ウォークダウン等による現場の確認結果



手順①

- 既設トレイ内及び壁貫通部に余裕がないため、新たなトレイのルート設定として、新たなトレイの壁貫通部が必要
- 新たなトレイ設置には干渉設備の一時撤去、移設等が必要

手順②

- 電気室及び現場電源盤は低圧電源を各機器に供給するため、トレイ及びケーブルの量が多く、トレイ/サポートの設置及びケーブル敷設の作業には干渉設備の一時撤去、移設等が必要

手順③ 課題なし

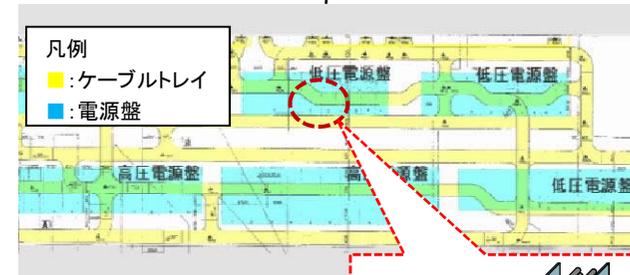
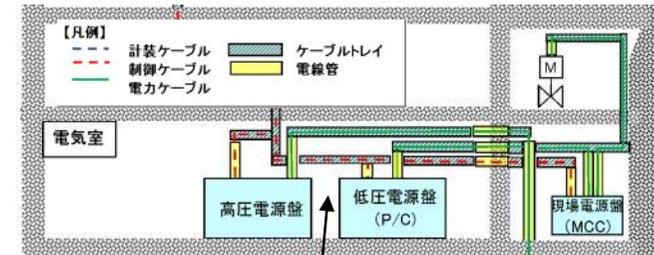
手順④ 不要

手順⑤

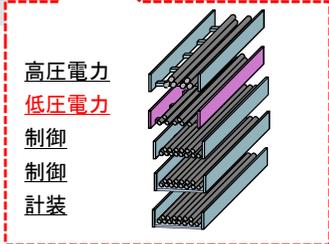
- ケーブル量が多く、延焼防止材剥離の作業及び剥離後のケーブル撤去の作業には干渉設備の一時撤去、移設等が必要

b. 課題の抽出結果

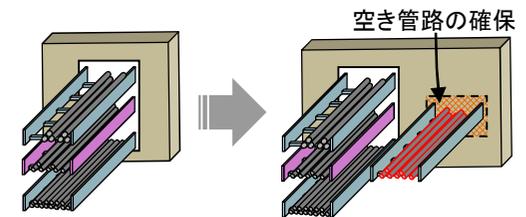
- ・壁貫通部余裕がないため、新たな壁貫通部が必要
- ・ケーブルトレイ/サポートの設置、ケーブル敷設/撤去には、干渉設備の一時撤去、移設等が必要
- ・ケーブルトレイ/サポート設置、ケーブル敷設、延焼防止材剥離及びケーブル撤去の作業には干渉設備の一時撤去、移設等が必要



【電気室平面図】



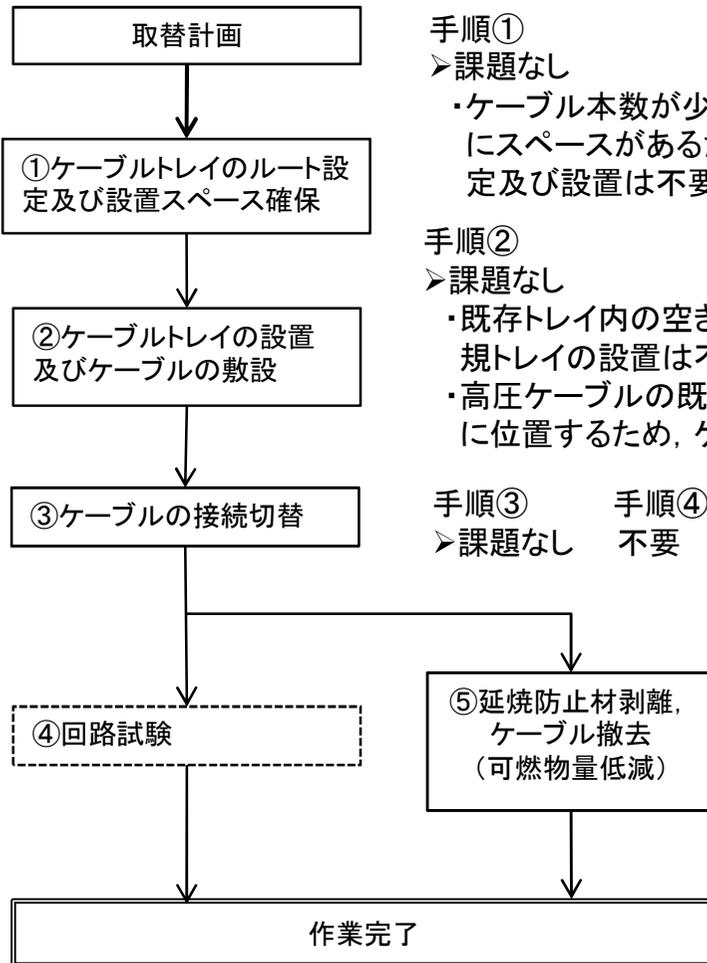
【ケーブルトレイ配列】



【原子炉建屋側壁貫通部イメージ】

4.4.4 ケーブル取替作業に伴う課題の抽出【高圧電力ケーブル】

高圧電力ケーブル(高圧電源盤～ポンプ電動機ケーブルの例)に対する現場確認及び課題の抽出結果は以下のとおり(補足4)。



a. ウォークダウン等による現場の確認結果

手順①

➤課題なし

- ・ケーブル本数が少なく, 既存トレイ内及び貫通部にスペースがあるため, 新たなトレイのルート設定及び設置は不要

手順②

➤課題なし

- ・既存トレイ内の空きスペースを利用するため新規トレイの設置は不要
- ・高圧ケーブルの既存トレイは多段積みの最上段に位置するため, ケーブルの敷設作業が可能

手順③

➤課題なし

手順④

不要

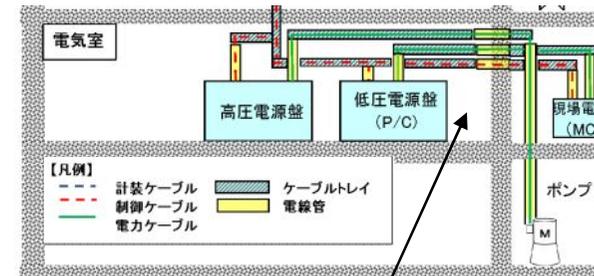
手順⑤

➤課題なし

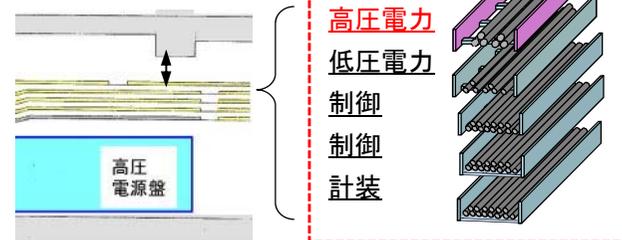
- ・ケーブル本数が少なく, 延焼防止材を一部剥離(トレイ接点及び切断部)すればケーブル撤去ができることから, ケーブル撤去可能

b. 課題の抽出結果

高圧電力ケーブルの取替作業に伴う課題はない

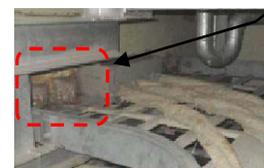


【電気室平面図】

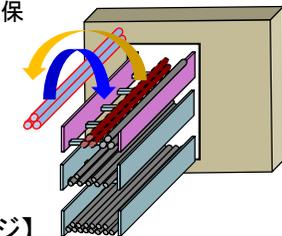


【ケーブルトレイ配列と上部スペース】

空管路の確保



【原子炉建屋側壁貫通部イメージ】



4. 4. 5 ケーブル取替作業に伴う課題の抽出【ケーブルトレイまとめ】

【ケーブル取替作業に伴う課題の整理と対応】

抽出された課題を分類し対応策を検討する。

回路区分		計装・制御	低圧電力	高圧電力	課題に対する対応策
ケーブル 取替の 課題 の分類	壁等貫通部の管路確保	壁貫通部余裕がないため、新たな壁貫通部が必要	同左	課題なし (空管路, 既設トレイ内に余裕有)	・新規ケーブルトレイを設置しケーブルを敷設するための、 <u>壁貫通部として、新たに開口部を設け管路の確保が必要</u>
	設置スペースの確保	ケーブルトレイ/サポートの設置/撤去には、干渉設備の一時撤去, 移設等が必要	同左	課題なし (既設トレイ使用)	・設置スペースを確保するための干渉設備の一時撤去, 移設が必要
	作業スペースの確保	ケーブルトレイ/サポート設置, ケーブル敷設, 延焼防止材剥離及びケーブル撤去の作業には干渉設備の一時撤去, 移設等が必要	同左	課題なし (上部のスペース利用)	・作業スペースを確保するための干渉設備の一時撤去, 移設が必要

➤ 新規ケーブルトレイを設置するためには、建屋躯体に新たな開口部を設ける必要がある。

➤ なお、スペースの確保については、いずれも干渉設備の一時撤去, 移設となるため、取替作業における作業安全確保が必要。

5. ケーブル取替作業に伴う安全上の悪影響の検討(1/2)

ケーブル取替作業に伴う課題の対応策から安全上の悪影響について検討し、評価する。敷設形態ごとの安全上の悪影響を以下に示す。

敷設形態	課題の対応策		安全上の悪影響
電線管	—		なし
コンクリート ピット	—		なし
ケーブル トレイ	計装・制御 ケーブル	① 新たなトレイのルート設定のため、新たな壁貫通部が必要 ② 新たなトレイのルート設定、トレイ／サポートの設置、ケーブルの敷設、延焼防止材剥離及びケーブル撤去の作業には、干渉設備の一時撤去、移設等が必要	① あり 新たな壁貫通部の設置は躯体強度に悪影響を及ぼす ② なし 作業安全確保の留意事項として課題の対応が必要(補足5)
	低圧電力 ケーブル		
	高圧電力 ケーブル	—	なし

検討の結果、ケーブル取替作業により設備安全上の悪影響は、新たな壁貫通部の設置による躯体強度の低下となる。

5. ケーブル取替作業に伴う安全上の悪影響の検討(2/2)

新たなケーブルトレイの設置に伴い、躯体に開口を設置する場合の安全上の悪影響について評価を行った。

躯体に開口部を設置する場合、

・建設時

- 予め躯体開口を設定し、補強筋を配置することにより開口部を補強

・運転開始後

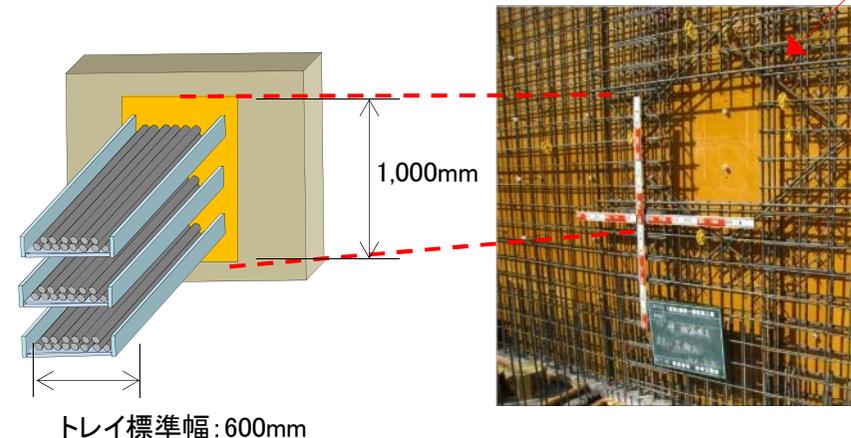
- 新たに躯体開口を設置するには、一部鉄筋の切除が必要
- トレイは多段積みとなっており、かつ、ルートが複数のエリアにまたがることから、構造上重要な壁に複数の大きな開口部の設置が必要



評価結果

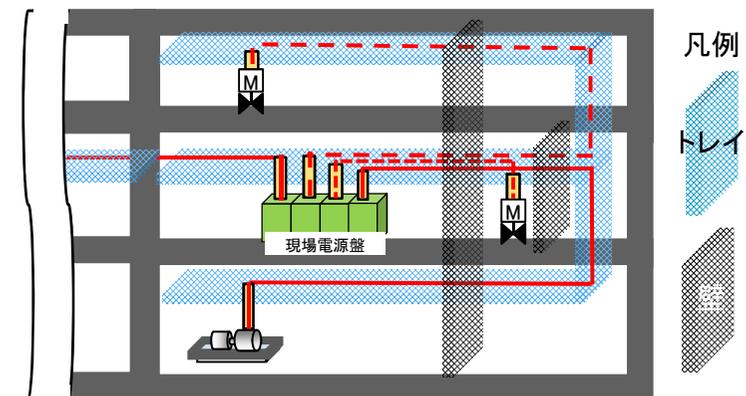
- 新たにケーブルトレイを設置するため躯体に開口を設置する場合、躯体強度に悪影響を及ぼす(実力的な耐震強度の低下)

壁開口部の鉄筋補強(例)



トレイ標準幅: 600mm

【ケーブルトレイの壁貫通部イメージ】



【ルートが複数のエリアにまたがることから、構造上重要な壁を複数の貫通部が必要】

6. 防火シートによる複合体形成に伴う安全上の悪影響の検討

防火シートによる複合体形成のデメリットと安全上の悪影響の検討結果を、以下に示す。

比較項目		説明	デメリット	安全上の悪影響	備考
防火性能	防火性能 (外部火災)	外部からの火災への耐火性能	無	—	試験結果から防火シートは難燃ケーブルと同等以上の防火性能を有することを証明
	防火性能 (内部火災)	内部からの火災への耐火性能	無	—	
検知消火	火災感知	防火シートで覆うことによる火災感知への影響	無	—	適切に火災感知器を設置することで対応可能
	火災消火	防火シートで覆うことによる火災消火への影響	無	—	適切に消火設備を設置することで対応可能
ケーブル機能等への影響	通電機能	防火シートで覆うことによるケーブルの通電機能への影響	有	—	シートで覆うことで熱がこもるため許容電流値は低下するが許容値内であり問題なし。電流低減率試験によってケーブルの設計範囲内であることを検証する(検証済)
	絶縁機能	防火シートで覆うことによるケーブルの絶縁機能への影響	無	—	絶縁抵抗試験、耐電圧試験によって影響がないことを検証する(検証済)
	トレイ保持機能	防火シートの重量増加によるトレイ保持機能への影響	有	—	シート分の重さが増加するが、適切にサポートを設置することで対応可能。またトレイの設計裕度を検証する(検証済)
	化学反応	防火シートが直接接触することによるケーブル及びケーブルトレイ材質への影響	無	—	JISに準拠した方法で防火シートのpHを測定し、中性の範囲であることを検証する(検証済)
	ECCSストレーナへの影響	PCV内において防火シートがデブリとなる影響(ECCSストレーナを閉塞させる可能性)	有	有	シートに破損を想定すると、これらがデブリとなりECCSストレーナに影響する可能性を否定できない
保守管理	新規ケーブル敷設	新規ケーブル敷設する場合の影響	有	—	ケーブルの追加敷設が必要な場合には、シート巻き直しが必要となるが対応可能
	防火シートのずれ	防火シートがずれる可能性(地震等によりずれる可能性)	無	—	結束ベルト及びファイアストップにより防火シートがずれないように固定する。なお、加振台にてシートにずれが発生しないことを確認済(水平トレイ:には4G, 垂直トレイ:には3G)
	施工後の点検	防火シートで覆うことによるケーブル点検への影響	有	—	ケーブルの点検は絶縁抵抗測定にて実施、敷設したシートの健全性確認が必要となるが対応可能

➤防火シートによる複合体形成に伴う安全上の悪影響はECCSストレーナ閉塞⇒PCV内は電線管敷設であり難燃ケーブルへ取替

➤デメリットは存在するが、ケーブル取替作業に伴う躯体強度低下(安全性の低下)に比べれば、十分に許容でき対応可能

7. 適合方針に基づく具体的対応の検討結果

ケーブル取替作業及び複合体形成に伴う安全上の悪影響を考慮し、ケーブル敷設形態及び回路種別ごとの具体的対応を下記のとおりとする。

★安全機能を有する機器に接続された非難燃ケーブルは、難燃ケーブルに取替える
以下の範囲について非難燃ケーブルを難燃ケーブルに取替る

- 電線管で敷設されたケーブル
- 中央制御室の床下コンクリートピット内に敷設された制御盤間連絡ケーブル
- ケーブルトレイで敷設された高圧電力ケーブル

★ケーブル取替作業により悪影響が生じる場合※は防火シートによる複合体を形成する
以下の範囲の非難燃ケーブルを防火シートで覆い複合体を形成する

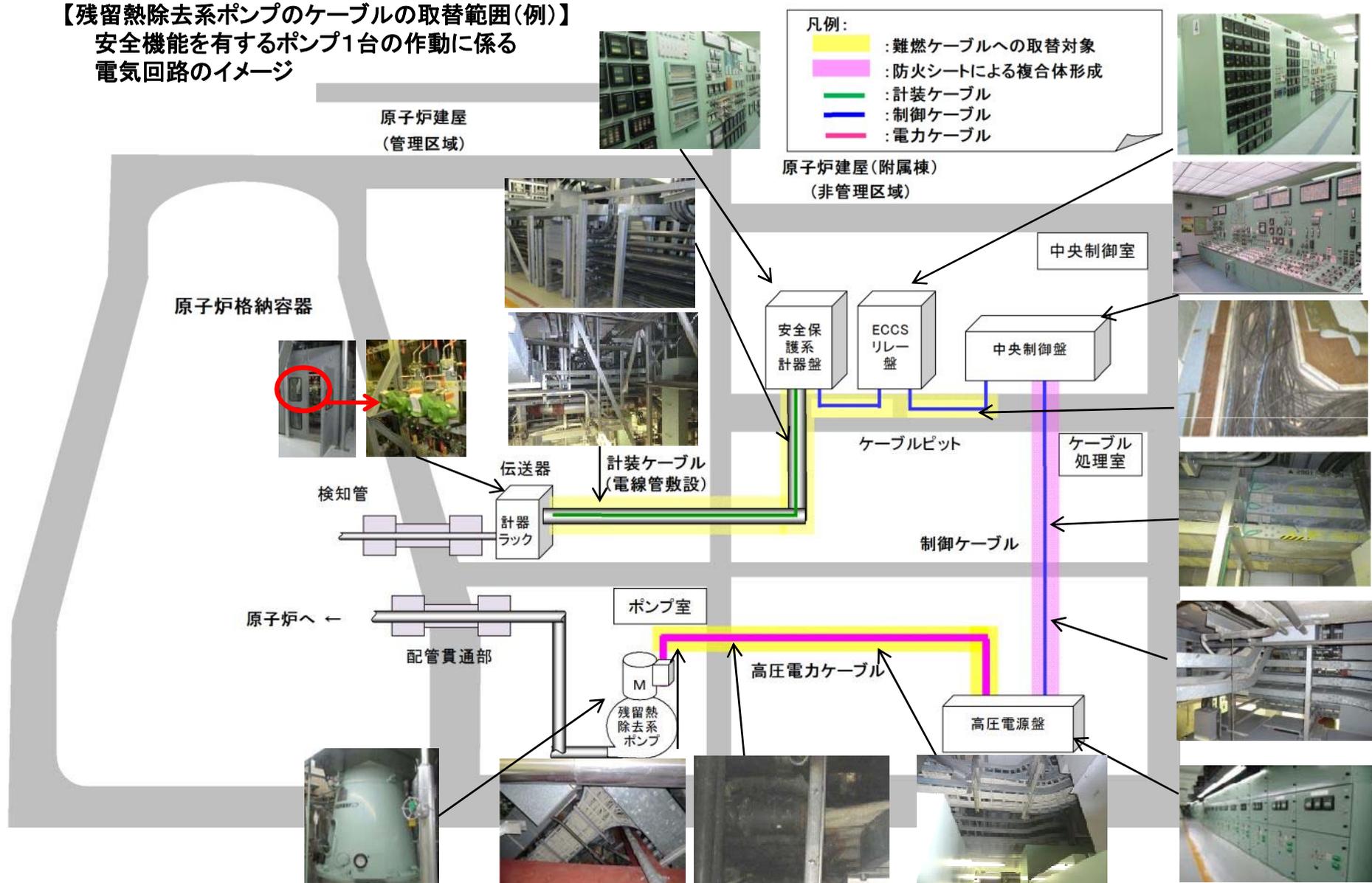
- ケーブルトレイで敷設された計装・制御ケーブル及び低圧電力ケーブル

※ ケーブル取替のため、建屋躯体への新規開口が必要なもの

- 上記適合方針に基づく具体的対応は、難燃ケーブルへの取替作業による安全性の低下回避の他、ケーブル発火リスクの低減(高圧電力ケーブルの取替:補足6)の観点からも有効な対応と評価

7. 適合方針に基づく具体的対応の検討結果【残留熱除去系ポンプの例】

【残留熱除去系ポンプのケーブルの取替範囲(例)】
 安全機能を有するポンプ1台の作動に係る
 電気回路のイメージ

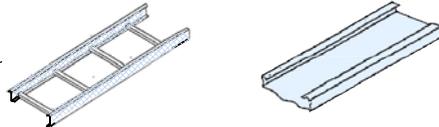
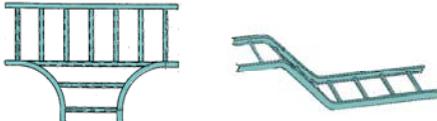
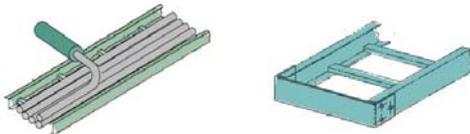


Ⅱ. 複合体の概念, 設計目標及び 設計方針の設定について

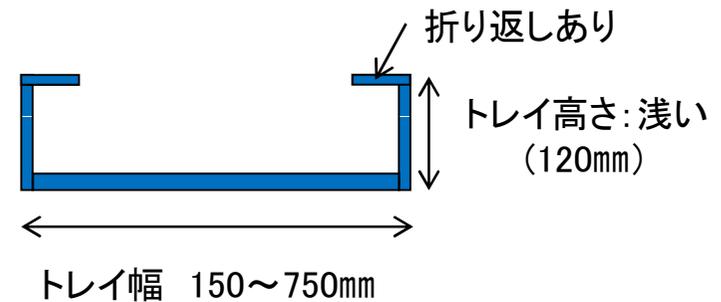
1. 複合体の概念(1/3)

【東海第二のケーブルトレイの特徴について】

①トレイ形状(構造)

トレイ形状	構造(例)
ラダータイプ, ソリッドタイプ	
L字形, サポート部	
T字分岐形, 傾斜部	
電線管合流部, 端部	

トレイ断面の特徴(先行例との比較)



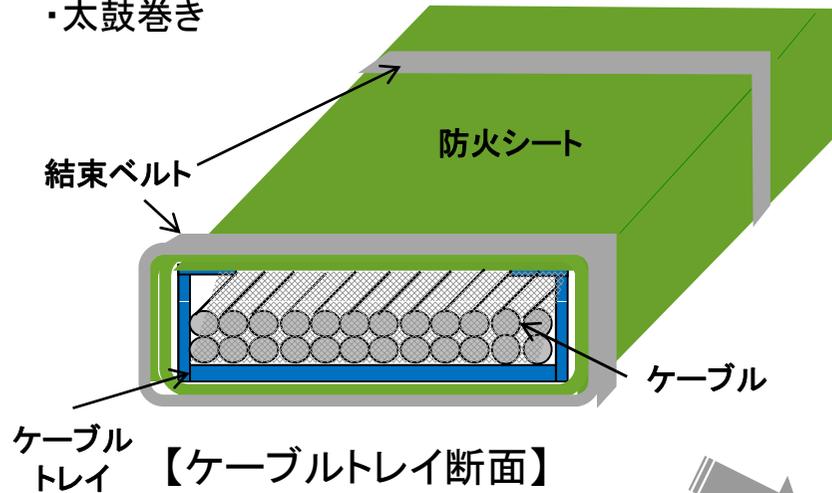
1. 複合体の概念(2/3)

【複合体について】

複合体とは、非難燃ケーブルが敷設されたケーブルトレイを不燃性の防火シートで覆い、結束ベルトで固定したものである。

【標準の防火シートの巻き方】

- ・太鼓巻き

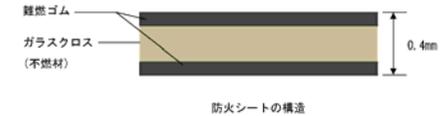


太鼓巻きの特徴

- ・防火シート内部に空気層ができる
- ・ケーブルの敷設量で空気層の容積が変わる

(凡例)

← 重ね代100mm以上



■防火シート: (プロテコ®シート-P2・eco)

【仕様】

- ・不燃材(ガラスクロス両面に難燃化ゴムをコーティング)

【目的】

- ・電力・制御ケーブルなどの延焼防止



■結束ベルト

【仕様】

- ・不燃材(シリコーンコートガラスクロス製ベルト)

【目的】

- ・防火シートの固定

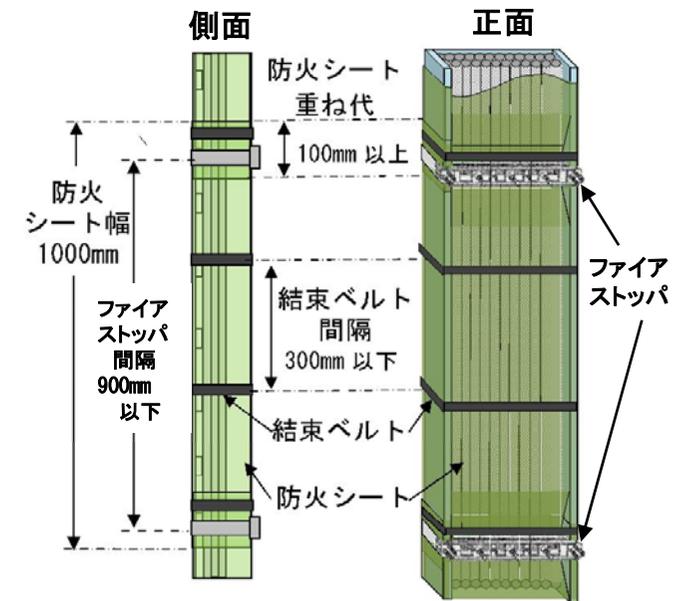
1. 複合体の概念(3/3)

【説明】

- 防火シートには、下表の要求内容を満たすものを採用する。
- 防火シートで覆う複合体には下表の要求内容を満足させる。

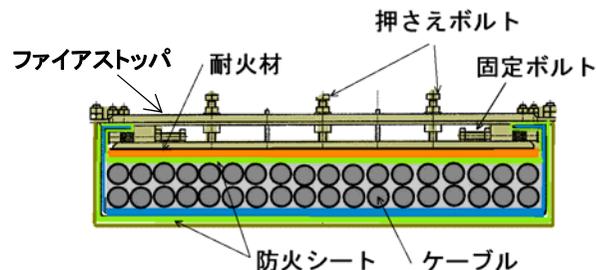
防火シートの要求内容	複合体の要求内容
建築基準法の不燃材及び防火設備に求められる遮炎性を有していること。	防火シートは100mm以上重ねて巻く
使用環境に対応した耐久性を有していること。	300mm以内に結束ベルトを設置
想定される外力(地震等)では損傷しないこと。	ファイアストッパは防火シート重ね部の900mm以内に設置

【複合体イメージ】



【ファイアストッパについて】

ケーブルトレイの延焼しやすい設置方向に対して、複合体にファイアストッパを設置する。



➤設置目的

- ・防火シート重ね部の浮き上がりを防止し、防火シートとケーブルを密着させる
- ・防火シート内への空気の流入を減らし、閉塞空間を作ること延焼拡大を防止する
- ・地震等の外力によってもシートがずれないように固定させる

➤材質

- ・鋼材: SS400, SCM435 亜鉛メッキ

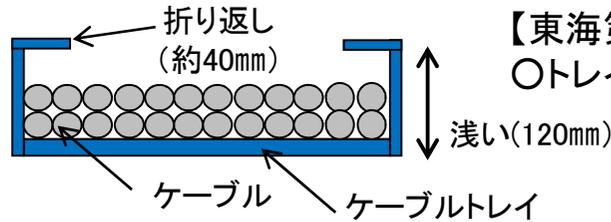
➤その他

- ・防火シートとファイアストッパ間には耐火材(セラミックファイバー)を設置
耐火材は柔らかく、適度な厚さを有しており、ケーブルの敷設状況(凸凹)に追従しシートをケーブルに密着させる

1. 複合体の概念(参考1/2)

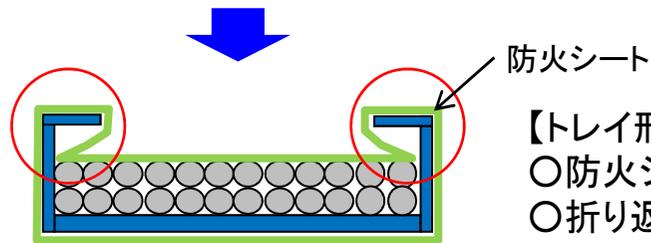
【基本的なシート施工方法の考え方】

【ケーブルトレイ断面】



【東海第二ケーブルトレイの特徴】

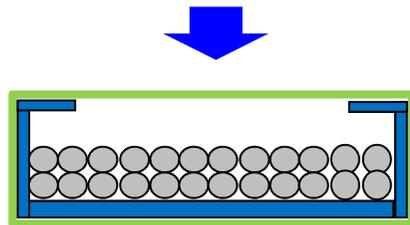
○トレイは浅く、内側への折り返しあり



【トレイ形状に合ったシート敷設】

○防火シートは自重により落下し、折り返し部の隙間(空気層)発生

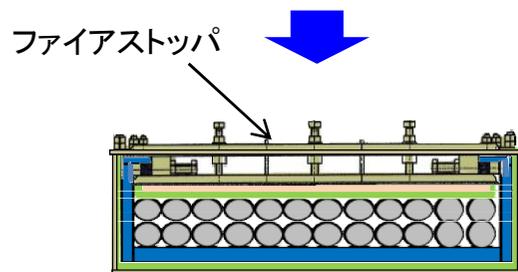
○折り返し部の隙間はケーブル敷設量等にも依存するため定量的に評価することは困難



【基本的なシート施工方法(太鼓巻)】

○シート施工時の不確実性(折り返し部の隙間)を排除し、隙間が最大となる巻き方(太鼓巻)による防火シートの性能を確認

(ケーブルとシート間隙についてもケーブル量を変えて確認試験を実施)



【内部火災への対応】

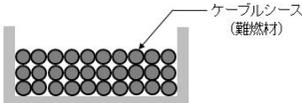
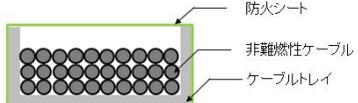
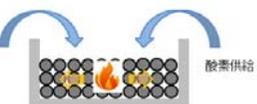
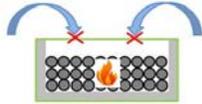
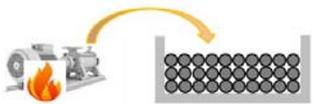
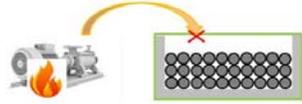
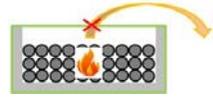
○垂直トレイは、地震時のケーブルの揺れ防止のため、防火シートの重なり部(約90cm毎)保持金具を設置(45°を超えるトレイに設置)

○この保持金具によりシートをケーブルに密着させ延焼を防止(ファイアストップパ)

○なお、水平トレイは、ファイアストップパなしでも延焼が継続しないことを確認

1. 複合体の概念(参考2/2)

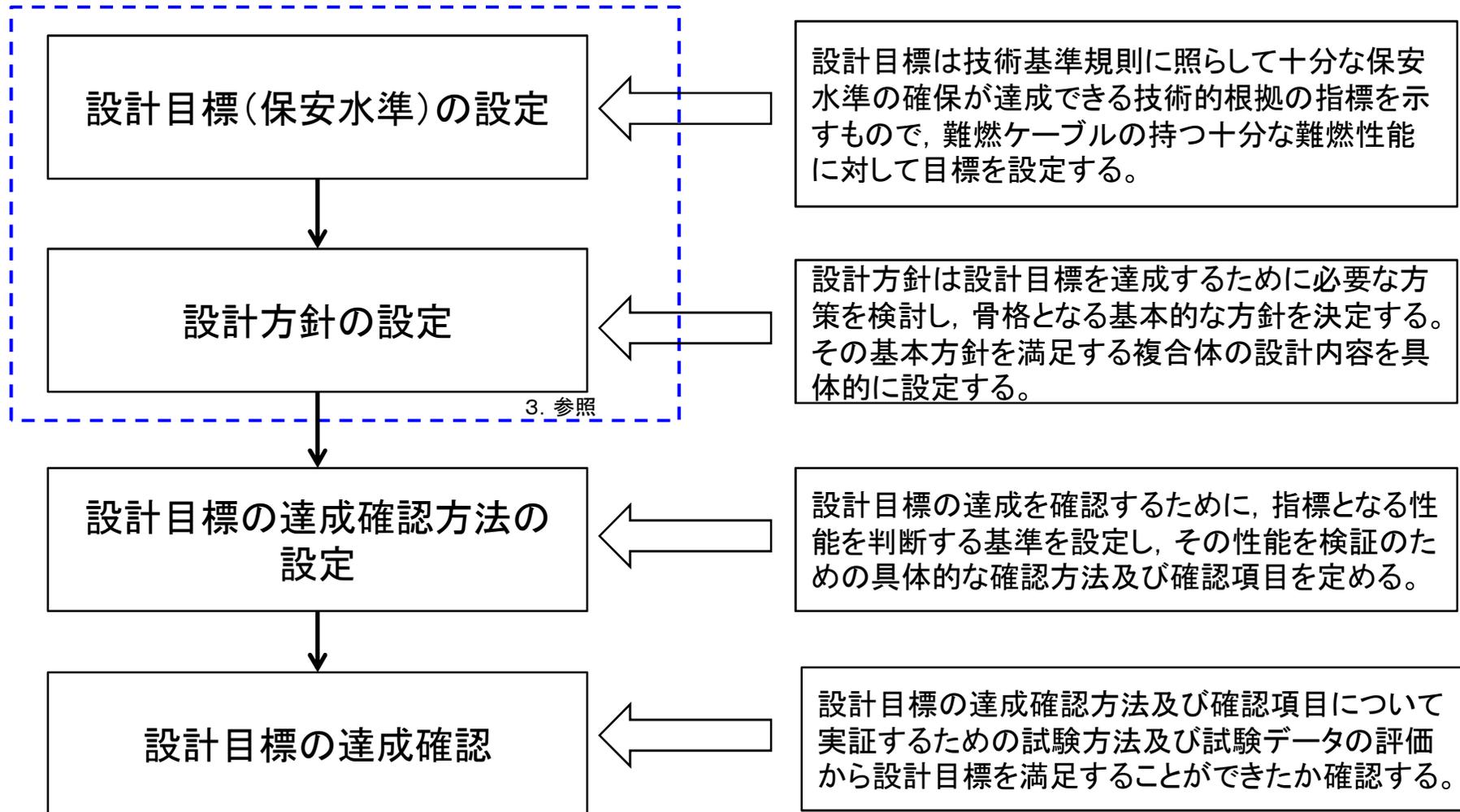
【難燃ケーブルと複合体の比較】

コンセプト比較	難燃ケーブル	複合体
材料 (延焼(着火)し 難しい)	 <p>ケーブル構成材料が難燃性であり, 着火し難い</p>	 <p>外郭を不燃材の防火シートで覆うことで, 火炎の直火を抑制し延焼及び着火を防止</p>
ケーブルの燃焼 (著しく燃焼しない)	 <p>構成材料が難燃性であり燃焼を抑制</p>	 <p>防火シートで覆い, 燃焼に必要な酸素を抑制することで燃焼を抑制</p>
ケーブルへの燃焼拡大 (燃焼が広がらない)	 <p>ケーブル材料自体が難燃性であり, 加熱源を除去すると燃え止まる</p>	 <p>複合体外郭を不燃材の防火シートで覆い, 火炎が直接ケーブルに触れないこと及び酸素の供給抑制によりケーブルは延焼しない</p>
ケーブル外部への延焼拡大 (その他)	 <p>ケーブル自体が難燃性のため, 燃焼抑制により外部への延焼拡大を防止</p>	 <p>複合体内部が燃焼しても, 外郭となる不燃材の防火シートにより外部への延焼拡大を防止</p>

難燃性:「火災により延焼(着火)し難く, 著しい燃焼をせず, また, 加熱源を除去した場合はその燃焼部が広がらない性質」

2. 設計目標の設定から達成確認までのフロー

- 複合体として十分な保安水準を設定し、達成できることを試験にて実証する。
 - 以下に設計目標の設定から設計目標の達成確認までのフローを示す。



3. 設計目標(保安水準)及び設計方針の設定

設計目標	設計方針
<p>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※1を確保する。</p> <p>※1:複合体が自己消火し,耐延焼性を有することをいう。</p>	<p>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。</p> <p>(外部の火災から遮断されるとともに,連続的な酸素供給を抑制する。)</p>
<p>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。</p>	<p>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鎖空間となる設計とする。</p> <p>(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。)</p>
<p>III 実機の施工およ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。</p>	<p>III 実機への施工及び維持管理を行うにあたり,設計方針 I 及び II を満足しない想定外の不完全な状態を考慮した設計とする。</p> <p>(防火シートのずれ,隙間及び傷があっても耐延焼性を有する。)</p>
<p>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。</p>	<p>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及び機械的機能が維持できる設計とする。</p> <p>(電氣的機能への影響として熱の蓄積を考慮,機械的な影響として重量増加を考慮)</p>

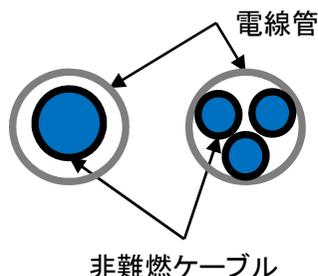
<補足説明資料>

補足1. ケーブル配線の特徴(1/4)

【電線管内のケーブル】

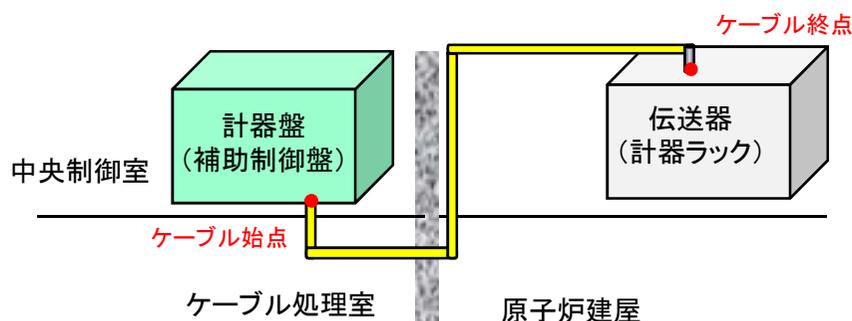
ケーブルの全長を電線管で敷設している配線の特徴、取替手順について以下に示す。

○電線管の中に1本～複数本のケーブルを敷設



【電線管内のケーブル敷設イメージ】

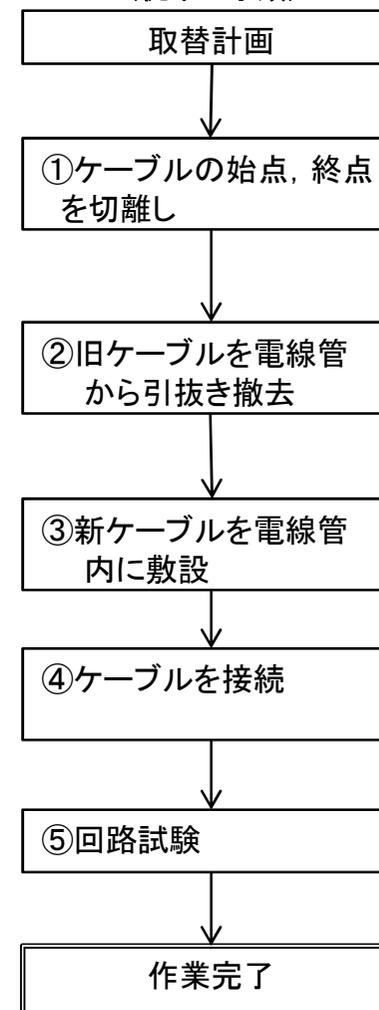
○電線管内のケーブルは、ケーブルの始点と終点、始点から終点間のケーブル特定が可能



【安全機能を有する機器に接続される計装ケーブルのイメージ】

【ケーブルの取替手順(実績)】

(従来の手順)

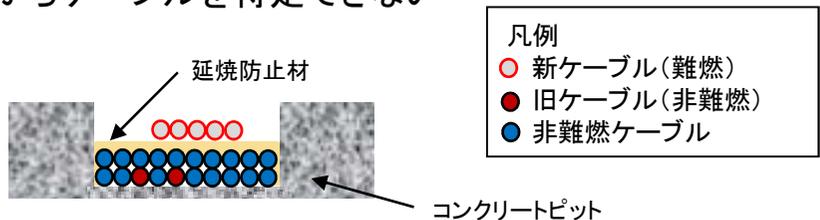


補足1. ケーブル配線の特徴(2/4)

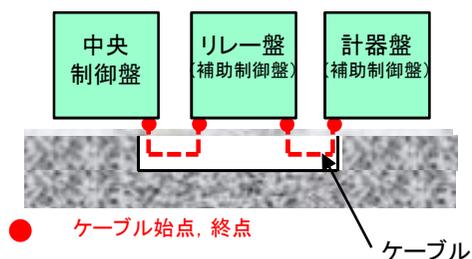
【コンクリートピットのケーブル】

ケーブルの全長をコンクリートピットに敷設している配線の特徴について以下に示す。

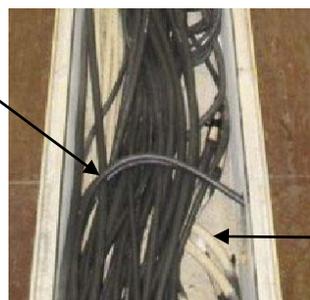
- 中央制御室の各盤間のケーブルはケーブル量が多く、非難燃ケーブルが束になって敷設され、束を覆うように延焼防止材が塗布されている
- 増改良工事により敷設された難燃ケーブルが延焼防止材を塗布された非難燃ケーブルの上部に敷設されている
- ケーブルの始点と終点は特定可能であるが、延焼防止材が塗布されたケーブルの束の中からケーブルを特定できない



【コンクリートピット内のケーブル敷設イメージ】



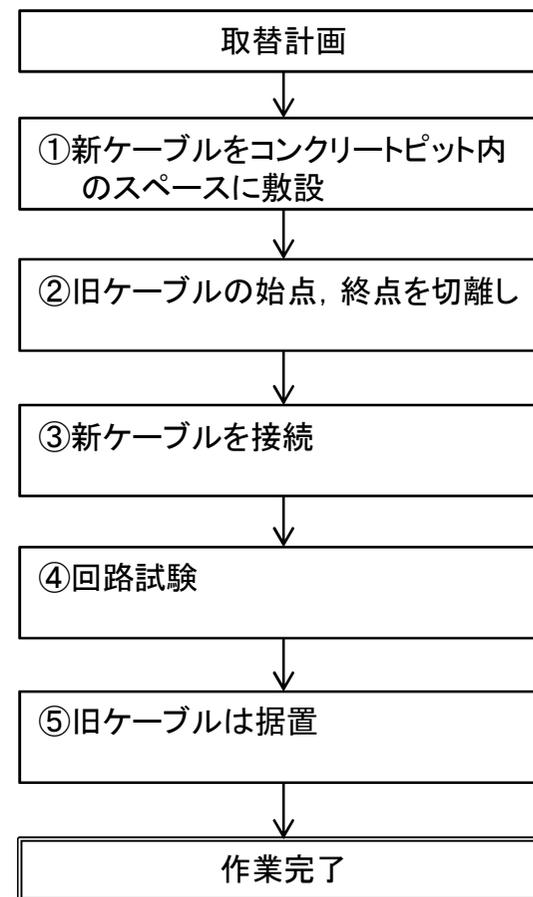
【盤間を連絡するケーブルのイメージ】



【ケーブル敷設状況】

【ケーブルの取替手順(実績)】

(従来の手順)

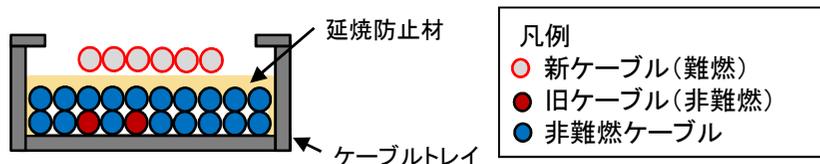


補足1. ケーブル配線の特徴(3/4)

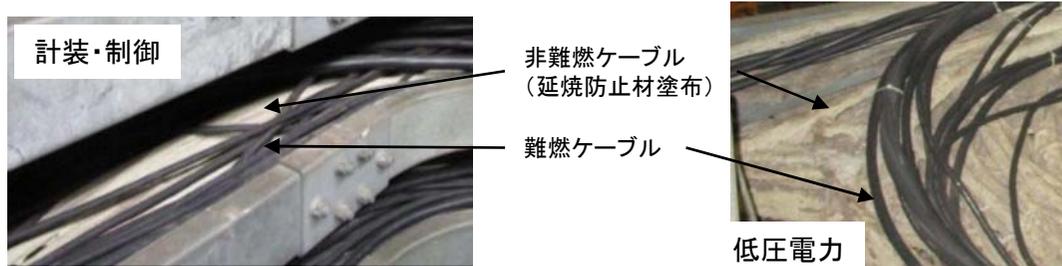
【ケーブルトレイ(計装・制御/低圧電力ケーブル)】

ケーブルをケーブルトレイに敷設している配線の特徴について以下に示す。

- 計装・制御/低圧電力ケーブルはケーブル量が多く、ケーブルトレイ上に非難燃ケーブルが束になって敷設され、束を覆うよう延焼防止材が塗布されている
- 増改良工事により難燃ケーブルが延焼防止材を塗布された非難燃ケーブルの上部に敷設されている
- ケーブルの始点と終点は特定可能であるが、延焼防止材が塗布されたケーブルの束の中からケーブルを特定できない

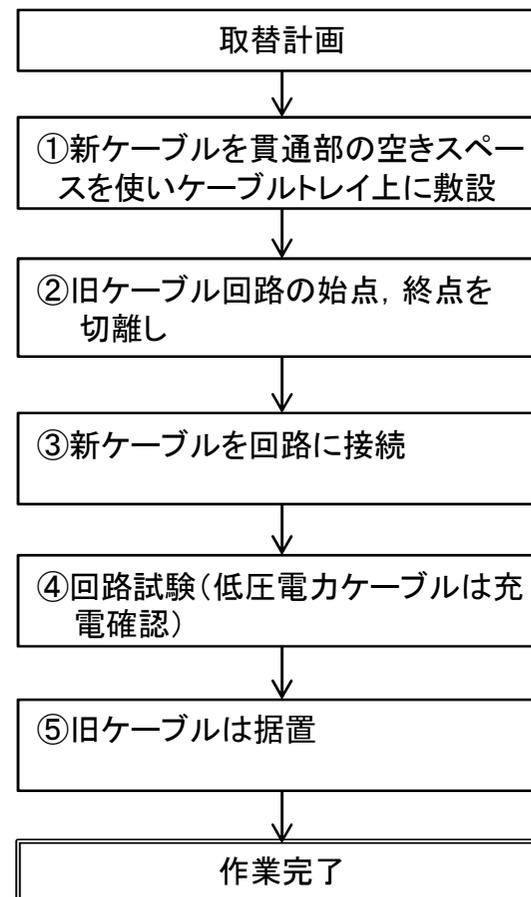


【計装・制御/低圧電力ケーブルの敷設イメージ】



【ケーブルトレイ上の敷設状況】

【ケーブルの取替手順(実績)】 (従来の手順)

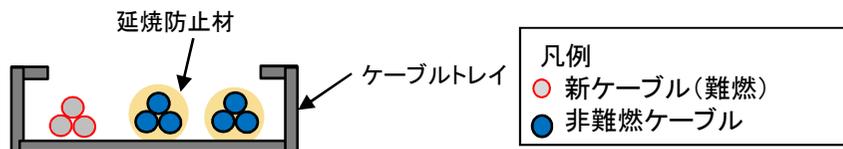


補足1. ケーブル配線の特徴(4/4)

【ケーブルトレイ(高圧電力ケーブル)】

ケーブルをケーブルトレイに敷設している配線の特徴について以下に示す。

- 高圧電力ケーブルは本数が少なく、ケーブルトレイ上に非難燃ケーブルがケーブル単体で敷設され、ケーブルごとに延焼防止材が塗布されている
- 増改良工事により難燃ケーブルがケーブルトレイに敷設されており、非難燃ケーブルは撤去されている
- 延焼防止材はケーブルごとに塗布されており、ケーブルの識別が可能



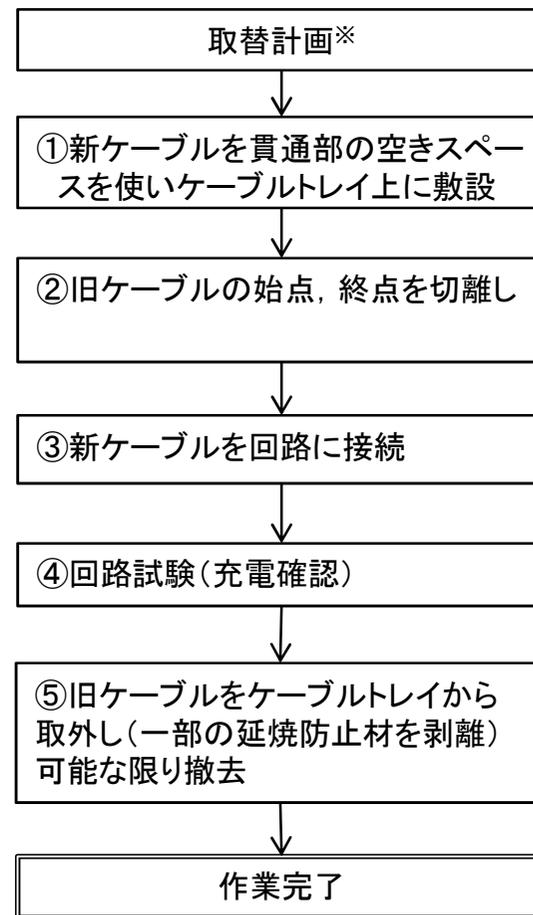
【高圧電力ケーブルの敷設イメージ】



【高圧電力ケーブルの敷設状況】

【ケーブルの取替手順(実績)】

(従来の手順)



※ ケーブル敷設状況により②⑤を先行して実施

補足2. 非難燃ケーブルの防火措置方法の検討

【防火措置方法の選定】

難燃ケーブル取替以外の方法で、非難燃ケーブルの難燃性能を向上させるための防火措置として、実績のある「防火塗料」と「防火シートによる複合体形成」の比較検討を行った結果を以下に示す。

防火措置	難燃性能	品質管理	施工管理	耐久性	保守性
防火塗料	○	△	○	○	○
	塗料塗布により難燃性能を確保可能	均一な膜厚の施工管理及び全ての施工範囲の膜厚測定までの要求に応えることが難しい	容易	使用環境下の耐久性を確認済	確認可能
防火シートによる複合体形成	○	○	○	○	○
	シート巻により難燃性能を確保可能	工業製品であるため均一な品質が確保可能	狭隘部での重量物の扱い等の施工のしにくさはある	使用環境下の耐久性を確認済	確認可能

- 防火措置として実績のある「防火塗料」と「防火シートによる複合体形成」を比較検討し、品質管理に優れた「防火シートによる複合体形成」を選定した。
- 「防火シートによる複合体形成」は、他電力においても難燃ケーブル取替に替わる防火措置としての採用実績あり。

補足3. ケーブル取替の基本的な考え方(1/2)

【ケーブル取替の基本的考え】

東海第二発電所のケーブルの敷設形態として、難燃ケーブルへの取替は以下の観点から、電線管内、ケーブルピット内、ケーブルトレイ内の全数のケーブル(単位)とする。

- 各敷設形態の単位で取替ることにより全ケーブルが難燃ケーブルとなり、規制要求に適合する
- 可燃物が増加しないように、回路から切離された非難燃ケーブルは撤去する

敷設形態	ケーブルの取替単位(取替前後のイメージ)
電線管	
コンクリートピット	
ケーブルトレイ	

補足3. ケーブル取替の基本的な考え方(2/2)

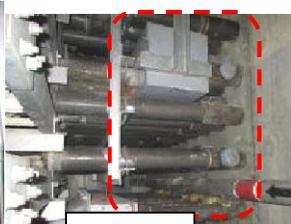
【ケーブルトレイのケーブル取替パターンの検討】

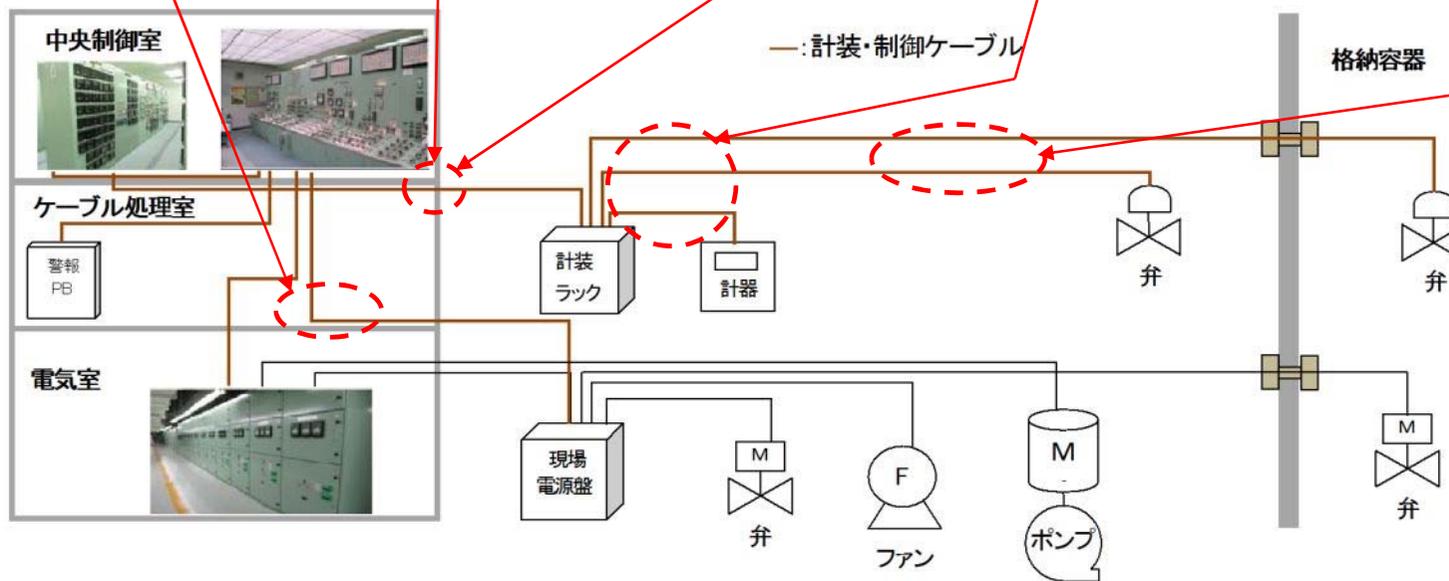
ケーブル取替として考えられるパターンについて検討, 評価した結果を示す。

取替パターン	取替イメージ	取替のポイント	評価
トレイ内ケーブル全量取替		<ul style="list-style-type: none"> ●新たにトレイを設置し, 設置したトレイに難燃ケーブルを敷設した後, トレイ単位で回路を切替 ●既設ケーブルは延焼防止材剥離後, 撤去 	<p>○</p> <ul style="list-style-type: none"> ・全ケーブルが難燃ケーブルに取替わり, 可燃物量は増加しない
トレイ内の限定した本数のケーブル取替		<ul style="list-style-type: none"> ●空貫通部を利用して, 増設トレイ又は電線管で難燃ケーブルに引替 ●非難燃ケーブルは防火シートにより複合体を形成 	<p>×</p> <ul style="list-style-type: none"> ・限定的に難燃ケーブルに取替えても, 非難燃ケーブルが残るため複合体形成が必要となる ・また, 回路から切離された非難燃ケーブルの撤去ができないため, 可燃物量は増加
ケーブルの一部を取替		<ul style="list-style-type: none"> ●中継箱を設置して, 非難燃ケーブルと難燃ケーブルを接続 ●非難燃ケーブルは防火シートにより複合体を形成 	<p>×</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ケーブルが集まるに従いトレイ内のケーブル量が増加するが, 延焼防止材が塗布されているため, ケーブルの特定が困難 ・限定的に難燃ケーブルに取替えても, 非難燃ケーブルが残るため複合体形成が必要となる ・また, ケーブル同士の接続は必要目的以外設けないことが基本であることから実施しない ・電気設備工事施工監理指針 第2章

補足4. ケーブルトレイ設置状況からの取替検討(1/2)

【計装・制御ケーブル敷設状況】

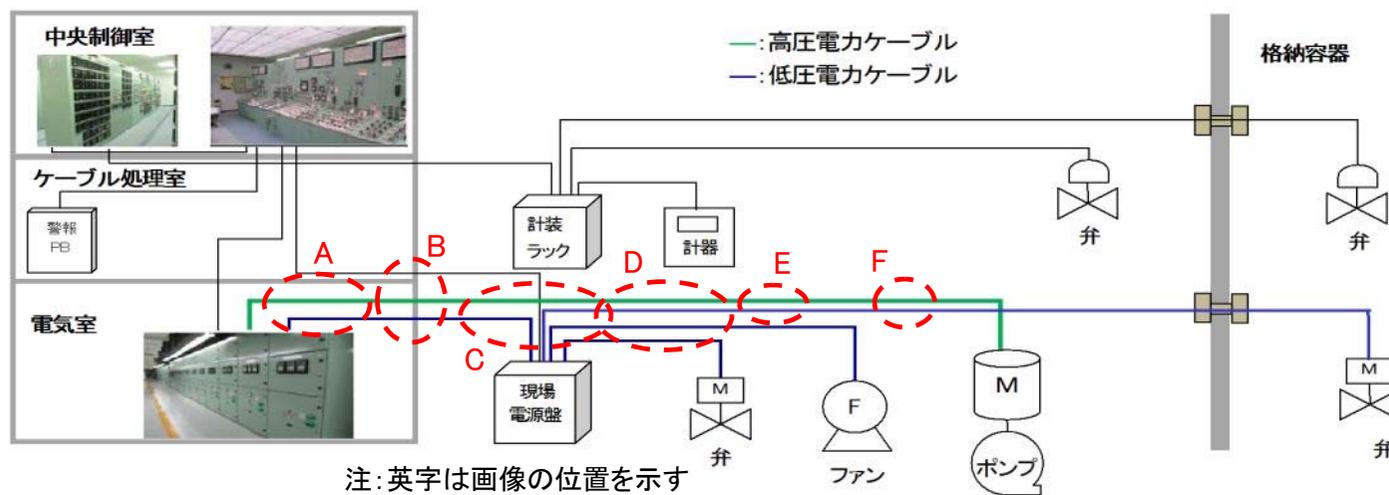
回路種別	ケーブル処理室	原子炉建屋	敷設状況
制御・計装	<ul style="list-style-type: none"> 全てのケーブルが集合するため、膨大な量のトレイ、電線管が設置されている 壁貫通部の空管路が少ない  <p>トレイ敷設</p>  <p>壁貫通部</p>	<ul style="list-style-type: none"> ケーブル量が多く、トレイも多段積みに設置されている 壁貫通部の空管路が少ない  <p>壁貫通部正面</p>  <p>トレイ敷設</p>	<ul style="list-style-type: none"> ケーブル量が多く、束になった状態で延焼防止材が塗布されている 延焼防止材が塗布され、ケーブルの特定が困難  <p>制御・計装</p>



補足4. ケーブルトレイ設置状況からの取替検討(2/2)

【電カケーブル敷設状況】

回路種別	電気室	原子炉建屋	敷設状況
高圧電力 (トレイ)	・ケーブル量が少なく、1本ごと延焼防止材が塗布  	・同左  	・ケーブルが少なくケーブル特定可能 
低圧電力 (トレイ)	・ケーブル本数が多く、延焼防止材が塗布 ・トレイが多段積みになっており、高圧電力ケーブルの下段等に敷設される ・壁貫通部の空管路が少ない  	・同左   	・ケーブル量が多く、延焼防止材も塗布されケーブルの特定が困難 



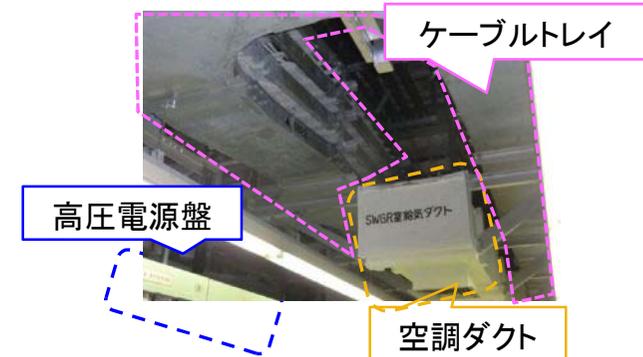
補足5. ケーブル取替に係る作業安全の確保

【トレイ設置及びケーブル敷設作業における安全作業】

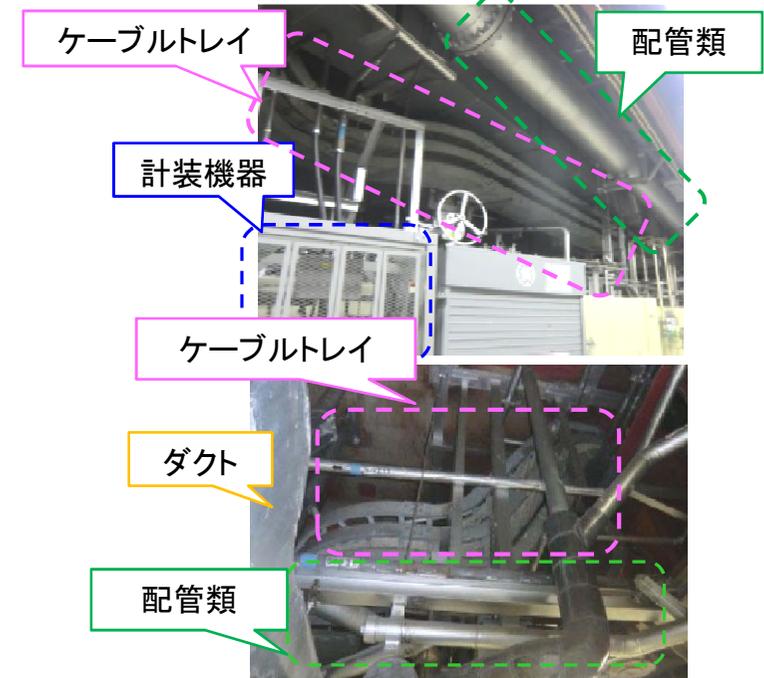
建設時と異なり、多種多様な設備が設置され、放射線管理区域など原子力特有の制約がある中、ケーブル敷設作業は様々な不安全要素があるため、留意する必要がある。以下に代表的な作業例を示す。

- 重量物の取扱作業
 - ・重量物:トレイ, サポート, ケーブル他
- ケーブル全長にわたるアスベストの取扱作業
 - ・延焼防止材にはアスベストが含有されているため
- 重要設備の直上での重量物の取扱作業や溶接等の火気作業
- 狭隘部での干渉物の撤去又は移設作業

<電気室(非管理区域)>



<原子炉建屋(管理区域)>

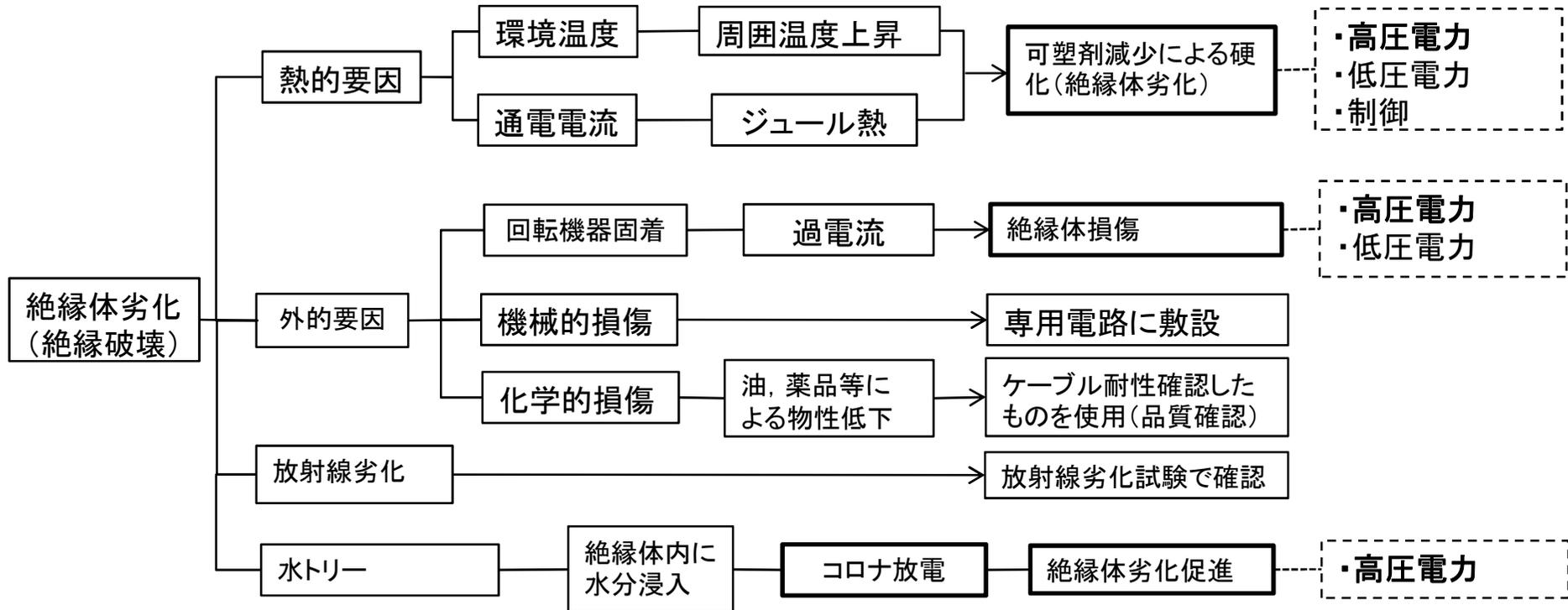


補足6. ケーブルの絶縁体劣化と発火のリスク

【ケーブルの発火リスク】

○ケーブルの絶縁体(架橋ポリエチレン)劣化要因

<対象ケーブル>



○ケーブル発火のリスクの大きさ(波及的影響)

- 絶縁体劣化による絶縁破壊の可能性は劣化要因が多い高圧電力ケーブル
- 高圧電力ケーブルは電圧が高く、電気エネルギーが莫大で、地絡・短絡による波及的影響が大きい

・高圧電力

参 考 資 料

参考1. ケーブルトレイを段積みする新ケーブル敷設

【多段積みトレイへの新ケーブル敷設手順】

トレイ及びケーブルを敷設するため、トレイ上部及びトレイ周囲の作業スペースを確保

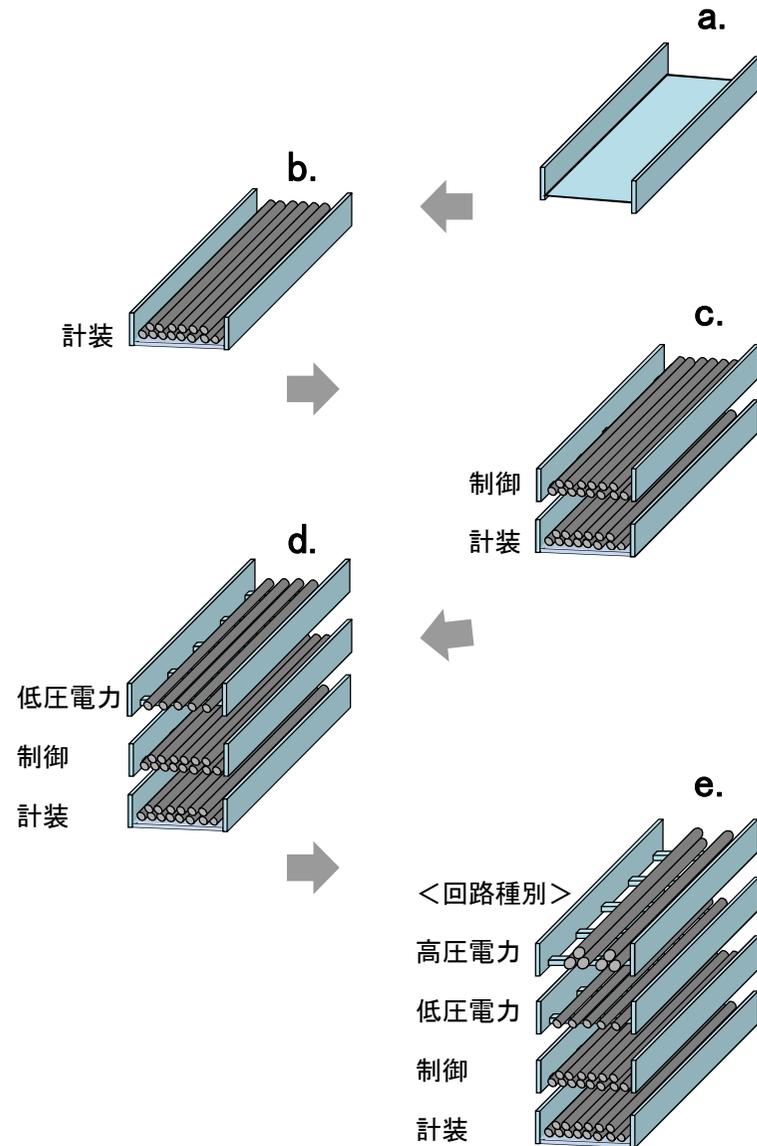
▶ 作業スペース確保の観点から以下の手順でケーブル敷設

- a. 最下段になる計装用ケーブルトレイを設置
- b. 計装ケーブルを敷設
- c. 中間段となる制御用ケーブルトレイ設置後、ケーブルを敷設
- d. 中間段となる低圧電力用ケーブルトレイ設置後、ケーブル敷設
- e. 最上段となる高圧電力用ケーブルトレイ設置後、ケーブル敷設

ケーブルトレイに分岐部(T字型, 十字型等)が必要な場合は更にスペース確保が必要

【既設ケーブルの撤去手順】

- ▶ 新ケーブル敷設と逆の手順で延焼防止材剥離後、既設ケーブルを撤去



参考2. 延焼防止材の剥離方法

【既塗布の延焼防止材を剥離する目的】

- 非難燃ケーブル撤去による可燃物の低減
- 非難燃ケーブルの整線(トレイ内)
- ケーブルトレイの移設, 配線ルートの変更
- 非難燃ケーブルの1本毎の分離

【延焼防止材の剥離方法及びケーブルへの影響の有無】

剥離方法	ケーブルへの影響
加熱により塗料を軟化させ剥離	ケーブル仕様に応じた温度管理で対応するため, 加熱によるケーブルの設計温度への影響は生じない
溶剤により塗料を溶かして剥離	ケーブル材料に影響しないことを確認できた溶剤を使用するため, 溶剤によるケーブルへの影響は生じない

参考3. 複合体形成の単位(1/2)

【設置許可基準規則で要求される系統分離】

第12条(抜粋)

2 安全機能を有する系統のうち、安全機能の重要度が特に高い安全機能を有するものは、当該系統を構成する機械又は器具の単一故障(中略)が発生した場合であって、外部電源が利用できない場合においても機能できるように、当該系統を構成する機械又は器具の機能、構造及び動作原理を考慮して、多重性又は多様性を確保し、及び独立性を確保するものでなければならない。

⇒発電用軽水型原子炉施設の安全機能の重要度分類に関する審査指針より抜粋

(1) 信頼性に対する設計上の考慮 (指針9. 第2項: 多重性又は多様性及び独立性の設計に対する要求事項)

次に掲げる系統は、「安全設計審査指針」指針9. 第2項の「重要度の特に高い安全機能を有する系統」とみなす。

- (a) PS-1のうち、通常運転時に開であって、事故時閉動作によって原子炉冷却材圧力バウンダリ機能の一部を果たすこととなる弁
(b) MS-1 (c) MS-2のうち、事故時のプラント状態の把握機能を果たすべき系統

第8条の詳細規程 (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 2.3 火災の影響軽減抜粋)

2.3.2 原子炉施設内のいかなる火災によっても、安全保護系及び原子炉停止系の作動が要求される場合には、火災による影響を考慮しても、多重化されたそれぞれの系統が同時に機能を失うことなく、原子炉を高温停止及び低温停止できる設計であること。

(参考) 「高温停止及び低温停止できる」とは、想定される火災の原子炉への影響を考慮して、高温停止状態及び低温停止状態の達成、維持に必要な系統及び機器がその機能を果たすことができることをいう。

- ・第12条の要求は安全区分Ⅰ(A系)Ⅱと(B系)又はⅢ(HPCS系)に対して系統分離を要求
- ・第8条では原子炉停止機能に対して、多重性により同時機能喪失防止を要求しているため、安全区分Ⅰ(A系)、Ⅱ(B系)にして系統分離が必要、火災影響評価にて確認を要求
- ・また、非安全系ケーブルが安全区分の分離を妨げないことを要求

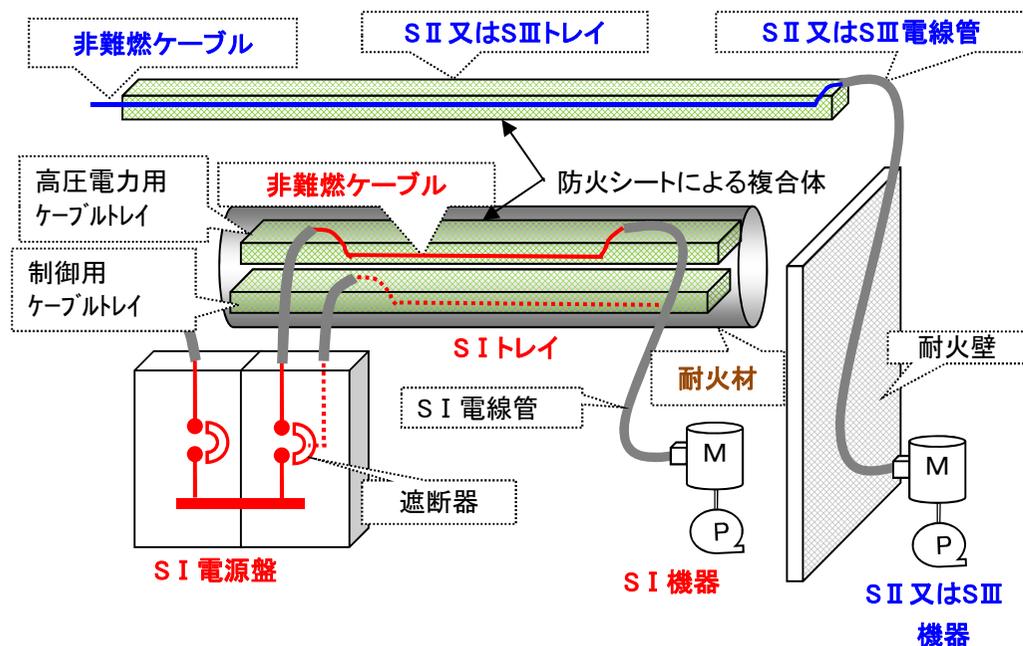
参考3. 複合体形成の単位(2/2)

【複合体形成の単位】

非難燃ケーブルはケーブルトレイによって系統分離し敷設することから、複合体はケーブルトレイ毎に形成する。

▶安全区分

- 安全区分Ⅰトレイと安全区分Ⅱトレイ又は安全区分Ⅲトレイはトレイにより系統分離されているため、トレイ単位に複合体を施工すれば区分分離に影響はない。



【ケーブルトレイ複合体形成イメージ】

参考4. ケーブルトレイの整線(1/2)

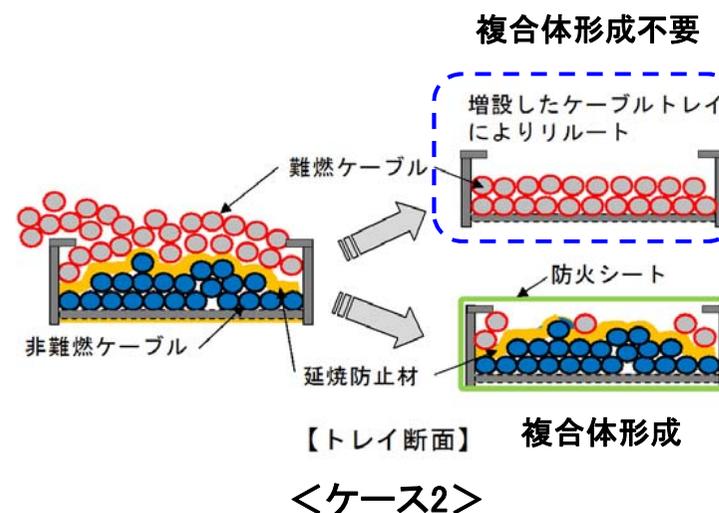
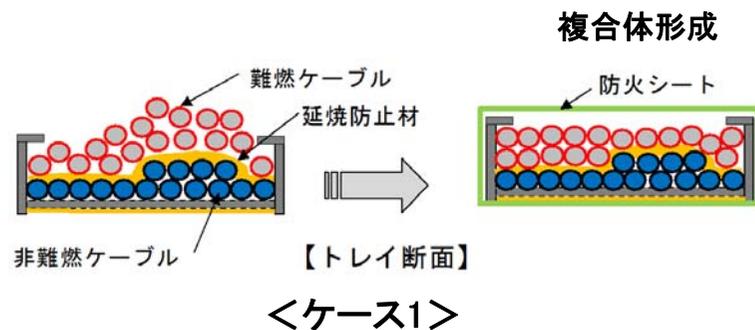
【ケーブルトレイ内のケーブルの整線】

○整線の目的

- ・防火シートを施工手順のとおり巻くため、ケーブル段差によるシート重ね部からの空気の流入を防止する。
- ・難燃ケーブルの配線をルート変更(リルート)することにより、トレイ内のケーブルを減量し、防火シートを標準施工できるようにする。
- ・リルートにより、難燃ケーブル専用のトレイとする。(防火シートによる複合体形成不要)

○整線及び整線後の防火シートの施工例

- ・ケース1:トレイ内に余裕がある場合
- ・ケース2:トレイ内に余裕がない場合



参考4. ケーブルトレイの整線(2/2)

【ケーブル配線のルート変更】

トレイで敷設された非難燃ケーブルについて、複合体を形成するため、トレイ上面に敷設した難燃ケーブルの配線ルートを変更(リルート)する。

○リルートの方法

- ①ケーブルトレイ又はケーブルダクトのスペース確保及び設置(床面, 壁面, トレイ下部, トレイ手前)
- ②中継箱設置(難燃ケーブルに余長がない場合は発熱リスクを回避するため必要最小限とする。)
- ③ケーブル敷設ルート変更

○床面を使ってフリーアクセスフロアとしてリルートする例

