

島根原子力発電所 2号炉 審査資料	
資料番号	PLM-07 改12
提出年月日	2023年 9月 19日

島根原子力発電所 2号炉 高経年化技術評価
(電気・計装設備の絶縁特性低下)

補足説明資料

2023年 9月 19日

中国電力株式会社

本資料のうち、枠囲みの内容は機密に係る事項のため公開できません。

1. 概要	1
2. 基本方針	1
3. 評価対象と評価手法	3
(1) 評価対象	3
(2) 評価手法	3
4. 代表機器の技術評価	6
4.1 低圧ケーブル（難燃PNケーブル）の評価	6
(1) 電気学会推奨案による健全性評価（設計基準事故時）	6
(2) ACAガイドによる健全性評価（設計基準事故時）	8
(3) 現状保全	10
(4) 総合評価	10
(5) 高経年化への対応	10
4.2 電気ペネトレーションの評価	11
(1) モジュール型核計装用電気ペネトレーションの健全性評価	11
(2) 現状保全	14
(3) 総合評価	14
(4) 高経年化への対応	14
5. 代表機器以外の技術評価	15
6. まとめ	31
(1) 審査ガイド適合性	31
(2) 施設管理に関する方針として策定する事項	33
7. 添付資料	34

別紙1. 高圧ポンプモータの評価について

別紙2. 高圧ケーブルの評価について

別紙3. 低圧ケーブルの評価について

別紙4. 同軸ケーブルの評価について

別紙5. ケーブル接続部の評価について

別紙6. 電動弁用駆動部の評価について

別紙7. 計測制御設備の評価について

別紙8. 電気・計装設備の評価（共通項目）について

別紙9. 電気ペネトレーションの評価について

別紙 4. 同軸ケーブルの評価について

1. 同軸ケーブルの技術評価

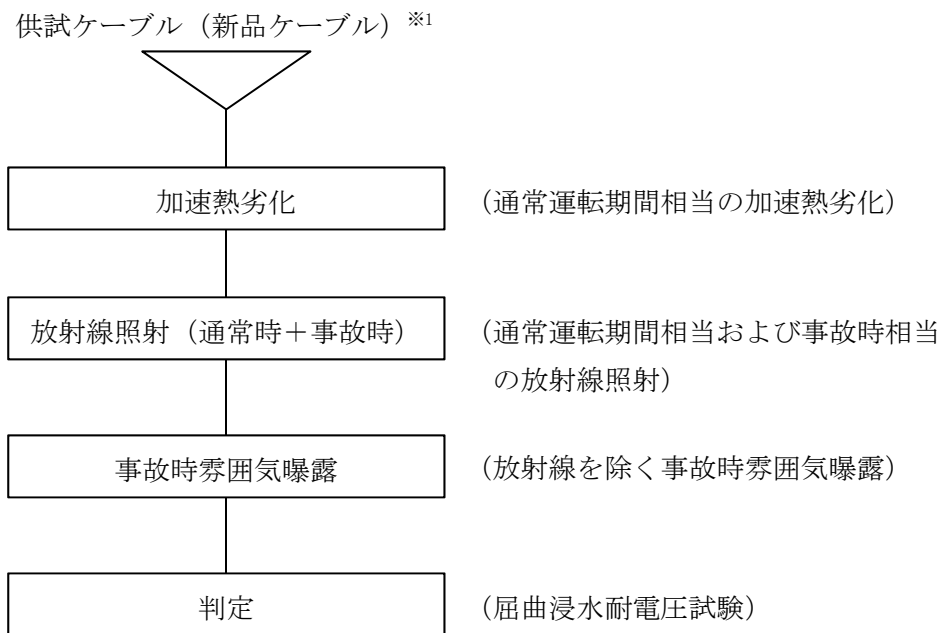
(1) 同軸ケーブル（難燃三重同軸ケーブル）の評価

1) 電気学会推奨案による健全性評価

a. 評価手順

事故時雰囲気内で機能要求のある難燃三重同軸ケーブルの健全性の評価は、電気学会推奨案に基づく長期健全性試験により評価する。

難燃三重同軸ケーブルの電気学会推奨案に基づく長期健全性試験手順を図 1 に示す。



※1：供試ケーブルは、島根原子力発電所 2 号炉で使用している難燃三重同軸ケーブルと同等のもの

図 1 同軸ケーブルの長期健全性試験手順（設計基準事故，重大事故等）

b. 試験条件

試験条件は60年間の通常運転期間および事故時雰囲気を想定した条件を包絡している。
難燃三重同軸ケーブルの長期健全性試験条件を表1に示す。

表1 難燃三重同軸ケーブルの長期健全性試験条件（設計基準事故，重大事故等）

	試験条件	説明
加速熱劣化	121℃×168 時間	原子炉格納容器内の周囲温度(63℃)に対して，60 年間の運転期間を包絡する。 【別紙 4. 添付-1) 参照】
放射線照射	放射線照射線量：7.6×10 ⁵ Gy	島根 2 号炉で想定される照射線量 4.44×10 ⁵ Gy (60 年間の通常運転期間 8.4×10 ⁴ Gy に事故時線量 3.6×10 ⁵ Gy を加えた線量) を包絡する。
事故時雰囲気曝露	最高温度：171℃ 最高圧力：0.427 MPa 曝露時間：約 310 時間	島根 2 号炉の事故時の最高温度(171℃)，最高圧力(0.427 MPa)を包絡する。 【別紙 4. 添付-2) 参照】

c. 評価結果

長期健全性試験の結果，60年間の通常運転期間および事故時雰囲気において，難燃三重同軸ケーブルの絶縁性能を維持できることを確認した。

難燃三重同軸ケーブルの長期健全性試験結果を表2に示す。

表2 難燃三重同軸ケーブルの長期健全性試験結果（設計基準事故，重大事故等）

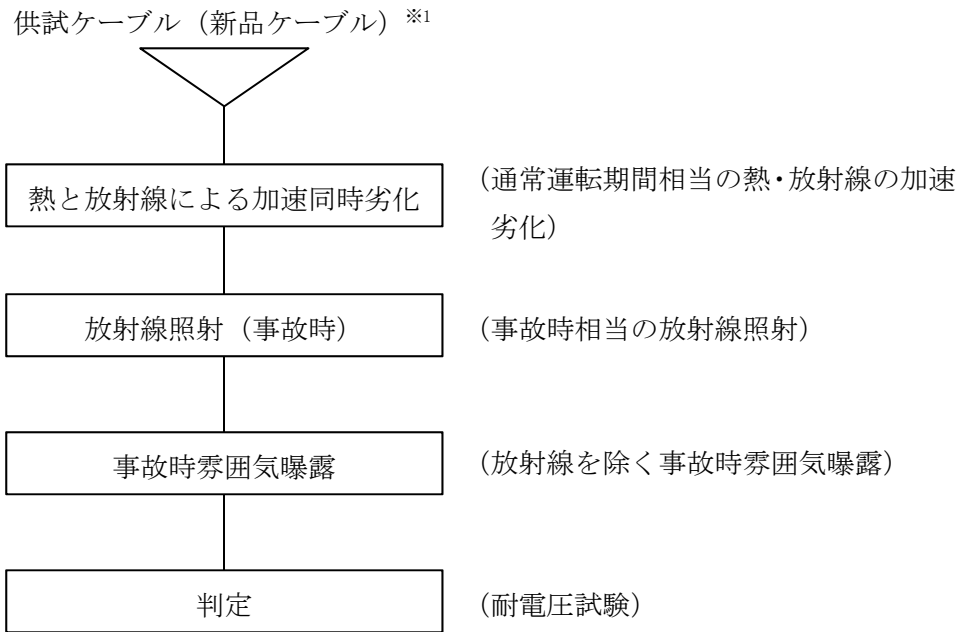
項目	試験手順	判定基準	結果
屈曲浸水耐電圧試験	① 直線状に試料を伸ばした後，試料外径(10.9 mm)の約 40 倍のマンドレルに巻きつける。 ② ①の両端部以外を常温の水中に浸し 1 時間以上放置する。 ③ ②の状態を，公称絶縁体厚さに対し交流電圧 3.2 kV/mm を 5 分間印加する。	絶縁破壊しないこと	良

2) ACAガイドによる健全性評価

a. 評価手順

事故時雰囲気における健全性の評価は，「原子カプランスのケーブル経年変化評価技術調査研究に関する最終報告書JNESレポート(JNES-SS-0903)」(以下，「ACA研究報告書」という)をもとに，難燃三重同軸ケーブルは等価損傷簡易手法を用いて評価する。

難燃三重同軸ケーブルの「原子力発電所のケーブル経年劣化評価ガイド(JNES-RE-2013-2049)」(以下，「ACAガイド」という)に基づく長期健全性試験手順を図2に示す。



※¹：供試ケーブルは、島根原子力発電所 2 号炉で使用している難燃三重同軸ケーブルと同等のもの

図 2 同軸ケーブルのACAガイドに基づく試験手順

b. 試験条件

試験条件は60年間の通常運転期間および事故時雰囲気を想定した条件を包絡している。難燃三重同軸ケーブルの長期健全性試験条件を表 3 に示す。

表 3 難燃三重同軸ケーブルの長期健全性試験条件（ACAガイド）

	試験条件	説明
熱・放射線 加速同時劣化	100℃—98.1Gy/h—約 293 日間 (7,024h)	ACA 研究報告書をもとに等価損傷簡易手法を用いて、原子炉格納容器内の環境条件（63℃，0.16Gy/h）で評価した結果，60年間の通常運転期間を包絡する。
事故時放射線照射 (線量率)	5.0×10^5 Gy (1.0×10^4 Gy/h)	島根 2 号炉で想定される事故時の最大積算値 (2.7×10^6 Gy) を包絡する。
事故時雰囲気曝露	最高温度：171℃ 最高圧力：0.427 MPa	島根 2 号炉の事故時の最高温度（171℃），最高圧力（0.427MPa）を包絡する。

c. 評価結果

ACA研究報告書の試験結果をもとに、等価損傷簡易手法を用いて島根2号炉の原子炉建物および原子炉格納容器内の環境条件に展開し評価した結果、60年時点において絶縁を維持できることを確認した。

難燃三重同軸ケーブルの長期健全性試験結果を表4に示す。

表4 難燃三重同軸ケーブルの長期健全性試験結果（ACAガイド）

項目	試験条件	判定基準	結果
耐電圧試験	課電電圧：7,000V/1分間	絶縁破壊しないこと	良

(2) 現状保全

難燃三重同軸ケーブルの絶縁体の絶縁特性低下については、系統機器の点検時に絶縁抵抗測定を実施している。

また、系統機器の点検時に実施する機器の動作試験においてもケーブルの絶縁機能の健全性を確認している。

なお、点検で有意な絶縁特性低下が認められた場合には、ケーブルの取替えを行うこととしている。

(3) 総合評価

難燃三重同軸ケーブルの絶縁体については、運転開始から60年間の通常運転および事故時雰囲気において絶縁性能を維持できると判断する。

(4) 高経年化への対応

難燃三重同軸ケーブルの絶縁体の絶縁特性低下については、現状の保全項目に高経年化対策の観点から追加すべき項目はない。引き続き、現状保全を継続していく。

2. 添付資料

- 1) 同軸ケーブルの長期健全性試験における評価期間について
- 2) 同軸ケーブルの長期健全性試験条件の事故時条件の包絡性について
- 3) 事故時雰囲気で機能要求のある同軸ケーブルの環境条件について
- 4) 同軸ケーブルの構造について
- 5) 同軸ケーブルの代替評価について

タイトル	同軸ケーブルの長期健全性試験における評価期間について
説 明	<p>難燃三重同軸ケーブルの電気学会推奨案による健全性評価について、加速熱劣化における実環境年数の算定はケーブルの絶縁材の活性化エネルギーを用いてアレニウスの式により算出している。加速熱劣化条件は 60 年間の通常運転期間を包絡している。</p> $\ln t_2 - \ln t_1 = \frac{E}{R} \left(\frac{1}{T_2} - \frac{1}{T_1} \right)$ <p>①難燃三重同軸ケーブル</p> <p>t1：実環境年数 ：60 年以上 (560, 870 時間)</p> <p>t2：加速時間 ：168 時間</p> <p>T1：実環境温度 ：336 K (=63℃)</p> <p>T2：加速温度 ：394 K (=121℃)</p> <p>R：気体定数 ：1.98721×10⁻³ kcal/mol・K</p> <p>E：活性化エネルギー： <input type="text"/> kcal/mol (架橋ポリエチレン/メーカー提示値)</p>

ACA ガイドによる健全性評価について、加速熱劣化における実環境年数の算定はケーブルの絶縁材の活性化エネルギー値を用いて、等価損傷簡易手法により算出している。加速熱劣化条件は 60 年間の通常運転期間を包絡している。

$$a = \frac{t_1}{t_2} \text{とすると}$$

$$a = \left[\exp \left\{ \frac{E}{R} \left(\frac{1}{273+T_1} - \frac{1}{273+T_2} \right) \right\} \times \frac{D_1}{D_2} \right]^{\tan \theta} \times \left(\frac{D_2}{D_1} \right)$$

a : 加速倍率

t₁ : 実環境年数

t₂ : 加速時間

T₁ : 実環境温度

T₂ : 加速温度

D₁ : 実線量率

D₂ : 加速線量率

R : 気体定数

E : 活性化エネルギー

θ : 等価損傷線量と線量率の傾き

①難燃三重同軸ケーブル

t₁ : 実環境年数 : 60 年以上 (2, 681, 079 時間)

t₂ : 加速時間 : 7, 024 時間

T₁ : 実環境温度 : 336 K (=63 °C)

T₂ : 加速温度 : 373 K (=100 °C)

D₁ : 実線量率 : 0.16 Gy/h

D₂ : 加速線量率 : 98.1 Gy/h

R : 気体定数 : 1.9859 × 10⁻³ kcal/mol · K

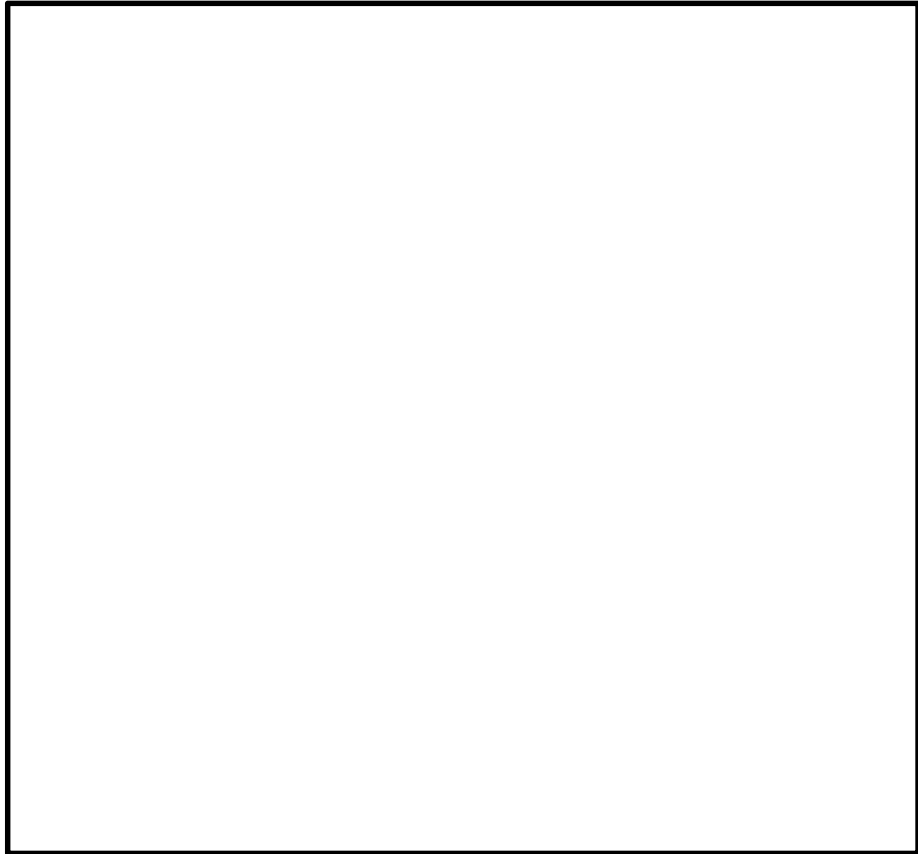
E : 活性化エネルギー : kcal/mol

(架橋ポリエチレン/メーカ提示値)

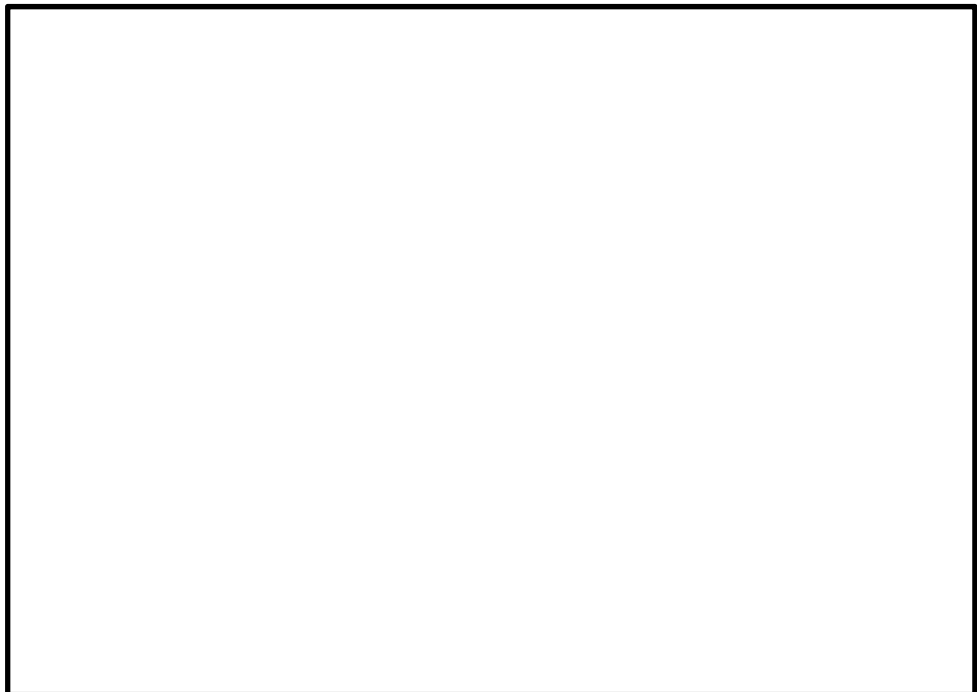
tan θ : 0.5

以 上

タイトル	同軸ケーブルの長期健全性試験条件の事故時条件の包絡性について			
説 明	<p>難燃三重同軸ケーブルの電気学会推奨案による長期健全性試験における事故時雰囲気曝露試験条件と事故時条件およびそれらと比較した結果を示す。</p> <p>事故時雰囲気曝露試験の試験条件は事故時条件を包絡している。</p> <p>a. 難燃三重同軸ケーブル</p>			
		条件	94℃換算時間	合計
	事故時雰囲気 曝露試験		37,892 時間	57,072 時間
			6,566 時間	
			3,185 時間	
			9,429 時間	
	設計基準事故 ※1		18,947 時間	28,534 時間
			6,567 時間	
			644 時間	
			2,376 時間	
重大事故等時 ※2		6,316 時間	6,316 時間	
<p>活性化エネルギー： <input type="text"/> kcal/mol (架橋ポリエチレン/メーカ提示値)</p> <p>※1：設計基準事故時における原子炉格納容器内の難燃三重同軸ケーブル敷設箇所環境条件設計値。</p> <p>※2：重大事故等時における原子炉格納容器内の難燃三重同軸ケーブル敷設箇所環境条件設計値 (動作要求がある時間)</p>				



島根 2 号炉 原子炉格納容器内設計基準事故時条件



難燃三重同軸ケーブル **電気学会推奨案** 事故時雰囲気曝露試験条件

難燃三重同軸ケーブルの ACA ガイドによる長期健全性試験における事故時雰囲気曝露試験条件と事故時条件およびそれらを比較した結果を示す。

事故時雰囲気曝露試験の試験条件は事故時条件を包絡している。

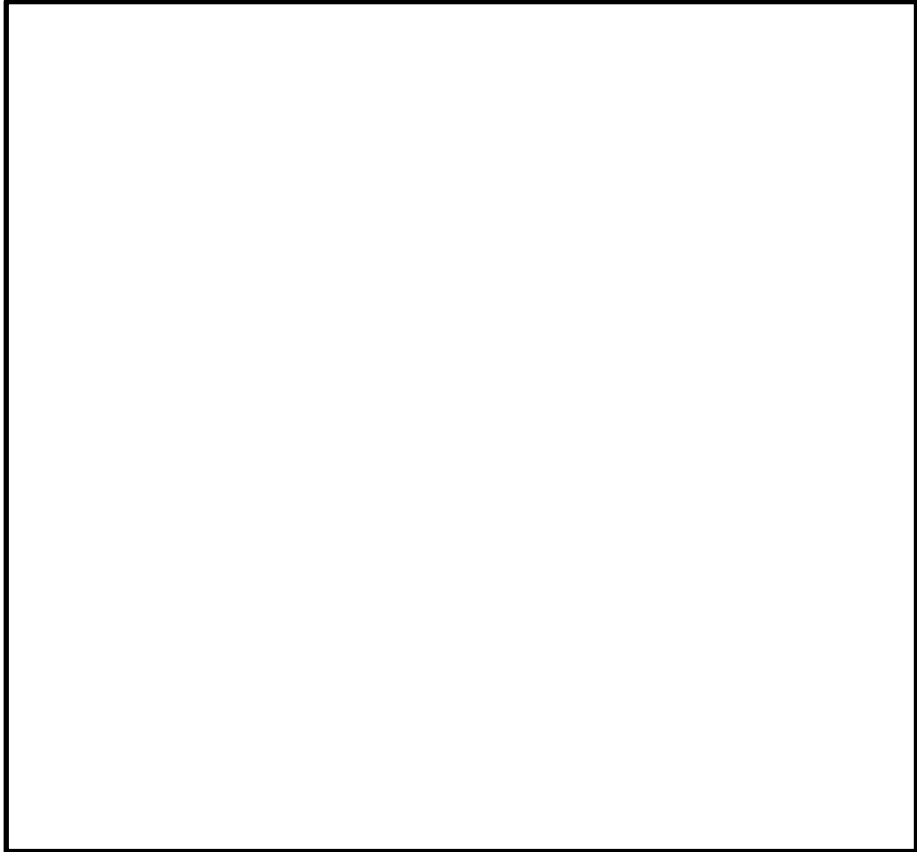
a. 難燃三重同軸ケーブル

	条件	94℃換算時間	合計
事故時雰囲気 曝露試験		56,839 時間	66,744 時間
		9,905 時間	
設計基準事故 ※1		18,947 時間	28,534 時間
		6,567 時間	
		644 時間	
		2,376 時間	
重大事故等時 ※2		6,316 時間	6,316 時間

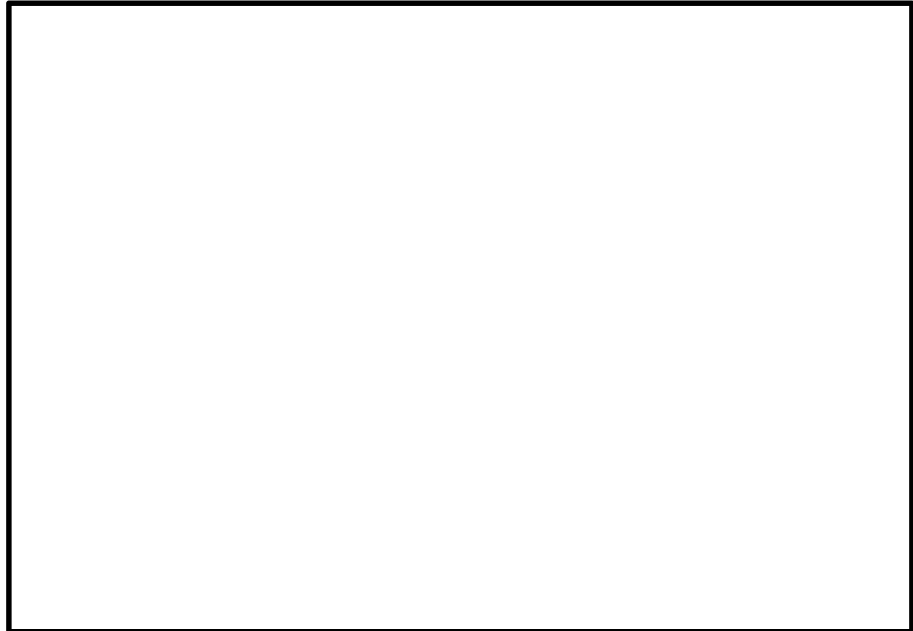
活性化エネルギー： kcal/mol (架橋ポリエチレン/メーカー提示値)

※1：設計基準事故時における原子炉格納容器内の難燃三重同軸ケーブル敷設箇所環境条件設計値

※2：重大事故等時における原子炉格納容器内の難燃三重同軸ケーブル敷設箇所環境条件設計値 (動作要求がある時間)



島根 2 号炉 原子炉格納容器内設計基準事故時条件



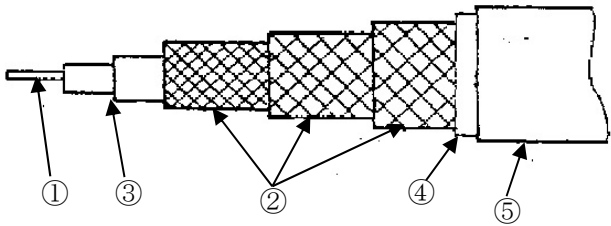
難燃三重同軸ケーブル ACA ガイド 事故時雰囲気曝露試験条件

以 上

タイトル	事故時雰囲気での機能要求のある同軸ケーブルの環境条件について																
説明	<p>事故時雰囲気での機能要求のある同軸ケーブルの敷設箇所の環境条件は下記の通り。</p> <p>a. 難燃三重同軸ケーブル</p> <table border="1" data-bbox="454 589 1366 835"> <thead> <tr> <th></th> <th>通常運転時^{※1}</th> <th>設計基準事故時^{※2}</th> <th>重大事故等時^{※3}</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>周囲温度</td> <td>63℃</td> <td>171℃ (最高)</td> <td>171℃ (最高)</td> </tr> <tr> <td>最高圧力</td> <td>14 kPa</td> <td>0.427 MPa</td> <td>0.427 MPa</td> </tr> <tr> <td>放射線</td> <td>1.6×10⁻¹ Gy/h (最大)</td> <td>2.7×10⁵ Gy (最大積算値)</td> <td>2.7×10⁵ Gy (最大積算値)</td> </tr> </tbody> </table> <p>※1：通常運転時における原子炉格納容器内の難燃三重同軸ケーブル敷設箇所の環境条件設計値</p> <p>※2：設計基準事故時における原子炉格納容器内の難燃三重同軸ケーブル敷設箇所の環境条件設計値</p> <p>※3：重大事故等時における原子炉格納容器内の難燃三重同軸ケーブル敷設箇所の環境条件設計値（動作要求がある時間）</p> <p style="text-align: right;">以上</p>		通常運転時 ^{※1}	設計基準事故時 ^{※2}	重大事故等時 ^{※3}	周囲温度	63℃	171℃ (最高)	171℃ (最高)	最高圧力	14 kPa	0.427 MPa	0.427 MPa	放射線	1.6×10 ⁻¹ Gy/h (最大)	2.7×10 ⁵ Gy (最大積算値)	2.7×10 ⁵ Gy (最大積算値)
	通常運転時 ^{※1}	設計基準事故時 ^{※2}	重大事故等時 ^{※3}														
周囲温度	63℃	171℃ (最高)	171℃ (最高)														
最高圧力	14 kPa	0.427 MPa	0.427 MPa														
放射線	1.6×10 ⁻¹ Gy/h (最大)	2.7×10 ⁵ Gy (最大積算値)	2.7×10 ⁵ Gy (最大積算値)														

タイトル 同軸ケーブルの構造について

同軸ケーブルの構造は以下の通り。
 ①難燃三重同軸ケーブル



部位	材料
① 内部導体	錫メッキ軟銅より線
② 外部導体	錫メッキ軟銅編組
③ 絶縁体	架橋ポリエチレン
④ セパレータ	難燃テープ
⑤ シース	難燃架橋ポリエチレン

説明

以上

タイトル	同軸ケーブルの代替評価について											
説 明	1. 電気学会推奨案による健全性評価（事故時）											
	<table border="1"> <thead> <tr> <th data-bbox="405 448 740 499">評価対象ケーブル</th> <th data-bbox="740 448 1062 499">代替評価ケーブル</th> <th data-bbox="1062 448 1415 499">評価</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td data-bbox="405 499 740 689"> 難燃三重同軸ケーブル ①絶縁体種類： 架橋ポリエチレン ②製造メカ：<input data-bbox="587 645 715 689" type="text"/> </td> <td data-bbox="740 499 1062 689">(同等ケーブルにて評価)</td> <td data-bbox="1062 499 1415 689" style="text-align: center;">/</td> </tr> </tbody> </table>	評価対象ケーブル	代替評価ケーブル	評価	難燃三重同軸ケーブル ①絶縁体種類： 架橋ポリエチレン ②製造メカ： <input data-bbox="587 645 715 689" type="text"/>	(同等ケーブルにて評価)	/	(同等ケーブルにて評価)	/			
	評価対象ケーブル	代替評価ケーブル	評価									
	難燃三重同軸ケーブル ①絶縁体種類： 架橋ポリエチレン ②製造メカ： <input data-bbox="587 645 715 689" type="text"/>	(同等ケーブルにて評価)	/									
2. ACA ガイドによる健全性評価（事故時）												
<table border="1"> <thead> <tr> <th data-bbox="405 784 740 835">評価対象ケーブル</th> <th data-bbox="740 784 1062 835">代替評価ケーブル</th> <th data-bbox="1062 784 1415 835">評価</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td data-bbox="405 835 740 1025"> 難燃三重同軸ケーブル ①絶縁体種類： 架橋ポリエチレン ②製造メカ：<input data-bbox="587 981 715 1025" type="text"/> </td> <td data-bbox="740 835 1062 1025"> 難燃一重同軸ケーブル ①絶縁体種類： 架橋ポリエチレン ②製造メカ：<input data-bbox="906 981 1034 1025" type="text"/> </td> <td data-bbox="1062 835 1415 1025"> 絶縁材料は同一であり、 代替ケーブルを用いた評価 にて問題ないと判断す る。 </td> </tr> </tbody> </table>	評価対象ケーブル	代替評価ケーブル	評価	難燃三重同軸ケーブル ①絶縁体種類： 架橋ポリエチレン ②製造メカ： <input data-bbox="587 981 715 1025" type="text"/>	難燃一重同軸ケーブル ①絶縁体種類： 架橋ポリエチレン ②製造メカ： <input data-bbox="906 981 1034 1025" type="text"/>	絶縁材料は同一であり、 代替ケーブルを用いた評価 にて問題ないと判断す る。	<table border="1"> <thead> <tr> <th data-bbox="740 784 1062 835">代替評価ケーブル</th> <th data-bbox="1062 784 1415 835">評価</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td data-bbox="740 835 1062 1025"> 難燃一重同軸ケーブル ①絶縁体種類： 架橋ポリエチレン ②製造メカ：<input data-bbox="906 981 1034 1025" type="text"/> </td> <td data-bbox="1062 835 1415 1025"> 絶縁材料は同一であり、 代替ケーブルを用いた評価 にて問題ないと判断す る。 </td> </tr> </tbody> </table>	代替評価ケーブル	評価	難燃一重同軸ケーブル ①絶縁体種類： 架橋ポリエチレン ②製造メカ： <input data-bbox="906 981 1034 1025" type="text"/>	絶縁材料は同一であり、 代替ケーブルを用いた評価 にて問題ないと判断す る。	絶縁材料は同一であり、 代替ケーブルを用いた評価 にて問題ないと判断す る。
評価対象ケーブル	代替評価ケーブル	評価										
難燃三重同軸ケーブル ①絶縁体種類： 架橋ポリエチレン ②製造メカ： <input data-bbox="587 981 715 1025" type="text"/>	難燃一重同軸ケーブル ①絶縁体種類： 架橋ポリエチレン ②製造メカ： <input data-bbox="906 981 1034 1025" type="text"/>	絶縁材料は同一であり、 代替ケーブルを用いた評価 にて問題ないと判断す る。										
代替評価ケーブル	評価											
難燃一重同軸ケーブル ①絶縁体種類： 架橋ポリエチレン ②製造メカ： <input data-bbox="906 981 1034 1025" type="text"/>	絶縁材料は同一であり、 代替ケーブルを用いた評価 にて問題ないと判断す る。											

 絶縁材料は同一であり、 代替ケーブルを用いた評価 にて問題ないと判断す る。 || 以 上 | | |