

伊方発電所 3 号炉 審査資料	
資料番号	SIN3-PLM30-絶縁低下

伊方発電所 3 号炉 高経年化技術評価  
(電気・計装品の絶縁低下)

補足説明資料

令和 6 年 2 月  
四国電力株式会社

本資料のうち、枠囲みの内容は機密に係る  
事項ですので公開することはできません。

5. 代表機器以外の技術評価	28
6. まとめ	32
6.1 審査ガイド等に対する確認結果	32
6.2 長期施設管理方針として策定する事項	33
7. 添付資料	34
別紙1. 弁電動装置の評価について	1-1
別紙2. 同軸ケーブルの評価について	2-1
別紙3. ケーブル接続部の評価について	3-1
別紙4. 計測制御設備の評価について	4-1
別紙5. 電気・計装品の評価（共通項目）について	5-1
別紙6. 屋外ケーブルの水トリーに対する現状保全内容について	6-1
別紙7. 電気ペネトレーションの製造メーカーによる構造等の差異について	7-1
別紙8. 通電による温度上昇、余裕について	8-1
別紙9. I S L O C A 環境下における機器への影響について	9-1
別紙10. NRA 技術報告（NTEC-2019-1002）の知見を反映した評価について	10-1
別紙11. 蒸気暴露試験中における課電および通電の実施状況について	11-1

表3.1 絶縁低下の評価対象機器・部位

機種	評価対象機器	評価対象部位	環境条件が著しく悪化する環境においても機能要求のある機器	
			設計基準事故時*1	重大事故等時*2
ポンプモータ	高圧ポンプモータ	固定子コイル他	—	—
	低圧ポンプモータ	固定子コイル他	—	—
容器	電気ペネトレーション	ポッティング材、外部リード他	○	○
弁	電動装置	固定子コイル他	○	—*3
ケーブル	高圧ケーブル	絶縁体	—	—
	低圧ケーブル	絶縁体	○	○
	同軸ケーブル	絶縁体、内部シース	○	○
	ケーブル接続部	絶縁物他	○	○
電気設備	メタルクラッド開閉装置(メタクラ)	ばね蓄勢用モータ、計器用変圧器他	—	—
	動力変圧器	コイル	—	—
	パワーセンタ	ばね蓄勢用モータ、計器用変圧器他	—	—
	制御設備	計器用変流器他	—	—
空調設備	モータ	固定子コイル他	—	—
機械設備	制御用空気圧縮機モータ	固定子コイル他	—	—
	燃料取替クレーン	変圧器、固定子コイル他	—	—
	燃料移送装置	変圧器、固定子コイル他	—	—
電源設備	非常用発電設備 発電機	固定子コイル他	—	—
	非常用発電設備内燃機関付属設備(ポンプ)	固定子コイル他	—	—
	計装用インバータ盤	変圧器	—	—
	原子炉トリップ遮断器	ばね蓄勢用モータ	—	—

\*1：実用発電用原子炉及びその付属施設の位置、構造及び設備の基準に関する規則第十二条（安全施設）第3項の要求を踏まえ選定

\*2：実用発電用原子炉及びその付属施設の位置、構造及び設備の基準に関する規則第四十三条（重大事故等対処設備）の要求を踏まえ選定（常設設備）

\*3：重大事故等時環境下で機能要求のある弁電動装置の使命期間内の環境条件は、設計基準事故を想定した事故時雰囲気暴露試験条件に包絡されている。

4.2.1.4 外部リード-2の健全性評価（設計基準事故時）

a. 評価手順

L V型モジュールの外部リード-2の絶縁体は架橋ポリエチレンであり、絶縁体の製造メーカーおよび絶縁材料が同等の難燃三重同軸ケーブルを供試体とした長期健全性試験結果を用いて評価する。外部リード-2のACAガイドに基づく試験手順および判定方法は「別紙2. 同軸ケーブルの評価について」1. 健全性評価 1.2 ACAガイドによる健全性評価（設計基準事故時）を参照のこと。

b. 試験条件

外部リード-2の長期健全性試験条件を表4.2-7に示す。試験条件は、伊方3号炉の実機環境に基づいて60年間の運転期間および設計基準事故を想定した劣化条件を包絡している。

表4.2-7 外部リード-2の長期健全性試験条件（設計基準事故）

		試験条件*1	60年間の通常運転時の使用条件【添付-7参照】に基づく劣化条件【添付-10参照】または設計基準事故時の環境条件【添付-11参照】
通常運転相当	温度	110℃-154日	109℃-154日 (=40℃*2-32.1年*3)
	放射線	—	0.53kGy*4
設計基準事故相当	放射線 (集積線量)	1,500kGy (10kGy/h以下)	675kGy
	温度	最高温度：190℃	最高温度：約120℃
	圧力	最高圧力：0.41MPa[gage]	最高圧力：約0.22MPa[gage]

\*1：実機環境の線量率が低く、熱による劣化が支配的な領域のため、熱加速劣化のみとした。また、45.1℃-2.2mGy/hの布設環境で18.9年間使用したケーブルを供試体とし、追加で劣化させた条件を示す。

\*2：電気ペネトレーションの周囲温度（約38℃）に若干の余裕を加えた温度として設定

\*3：供試体の布設環境における劣化条件（45.1℃-18.9年間）を実機使用環境での相当年数に換算した値（40℃-約27.9年）を60年間の通常運転相当期間から差し引いた期間

\*4：1.0 [mGy/h] × (24×365.25) [h/y] × 60 [y] = 0.53kGy

表4.2-11 外部リード-1-2の長期健全性試験条件（重大事故等時）

		試験条件*1	60年間の通常運転時の使用条件 【添付-7参照】に基づく劣化 条件【添付-12参照】または 重大事故等時の環境条件【添付 -13参照】
通常 運転 相当	温度	120℃-115日	119℃-115日 (=46℃*2-54.9年*3)
	放射線 (集積線量)	—	0.53kGy*4
重大 事故 等時 相当	放射線 (集積線量)	500kGy (10kGy/h以下)	500kGy
	温度	最高温度：153℃	最高温度：約138℃
	圧力	最高圧力：0.45MPa[gage]	最高圧力：約0.35MPa[gage]

- \*1：実機環境の線量率が低く、熱による劣化が支配的な領域のため、熱加速劣化のみとした。また、33.4℃の布設環境で15.6年間（稼働率86%）使用したケーブルを供試体とし、追加で劣化させた条件を示す。
- \*2：電気ペネトレーションの周囲温度（約38℃）に通電による温度上昇と若干の余裕を加えた温度として設定
- \*3：供試体の布設環境における劣化条件（33.4℃-15.6年間（稼働率86%））を実機使用環境での相当年数に換算した値（46℃-約5.1年）を60年間の通常運転相当期間から差し引いた期間
- \*4： $1.0 \text{ [mGy/h]} \times (24 \times 365.25) \text{ [h/y]} \times 60 \text{ [y]} = 0.53\text{kGy}$

c. 評価結果

外部リード-1-2のACA試験結果を表4.2-12に示す。

ACAガイドに基づく評価の結果、伊方3号炉の外部リード-1-2は、運転開始後60年時点においても絶縁機能を維持できると判断する。

表4.2-12 外部リード-1-2の長期健全性試験結果

項目	試験条件	判定
耐電圧試験	課電電圧：1,500V/1分間	良

[出典：電力共通研究「PWRにおける過酷事故用電気計装品に関する経年劣化評価研究 Phase II（ケーブル）」]

4.2.1.7 外部リード-2の健全性評価（重大事故等時）

a. 評価手順

L V型モジュールの外部リード-2の絶縁体は架橋ポリエチレンであり、絶縁体の製造メーカーおよび絶縁材料が同等の難燃三重同軸ケーブルを供試体とした長期健全性試験結果を用いて評価する。外部リード-2のACAガイドに基づく長期健全性試験手順および判定方法は外部リード-1-2と同様であり、4.2.1.6 外部リード-1-2の健全性評価（重大事故等時）を参照のこと。

b. 試験条件

外部リード-2の長期健全性試験条件を表4.2-13に示す。試験条件は、伊方3号炉の実機環境に基づいて60年間の運転期間および重大事故等時を想定した劣化条件を包絡している。

表4.2-13 外部リード-2の長期健全性試験条件（重大事故等時）

		試験条件*1	60年間の通常運転時の使用条件【添付-7】参照】 に基づく劣化条件【添付-12】参照】または重大 事故等時の環境条件【添付-13】参照】
通常 運 転 相 当	温度	110℃-450日	99℃-450日 (=40℃*2-54年*3)
	放射線 (集積線量)	-	0.53kGy*4
重 大 事 故 等 時 相 当	放射線 (集積線量)	500kGy (10kGy/h以下)	500kGy
	温度	150℃ (最高温度)	最高温度：約138℃
	圧力	0.5MPa[gage] (最高圧力)	最高圧力：約0.35MPa[gage]

\*1：実機環境の線量率が低く、熱による劣化が支配的な領域のため、熱加速劣化のみとした。また、25.7℃の布設環境で18.9年間使用したケーブルを供試体とし、追加で劣化させた条件を示す。

\*2：電気ペネトレーションの周囲温度（約38℃）に若干の余裕を加えた温度として設定

\*3：供試体の布設環境における劣化条件（25.7℃-18.9年間）を実機使用環境での相当年数に換算した値（40℃-約6.0年）を60年間の通常運転相当期間から差し引いた期間

\*4： $1.0 \text{ [mGy/h]} \times (24 \times 365.25) \text{ [h/y]} \times 60 \text{ [y]} = 0.53\text{kGy}$

タイトル	設計基準事故および重大事故等時に環境が著しく悪化する電気・計装品の環境条件について
概要	設計基準事故および重大事故等時に環境が著しく悪化する電気・計装品の評価期間を算定するために用いた環境条件の設定方法について、以下に示す。
説明	<p>環境条件が著しく悪化する環境において機能要求のある電気・計装品の評価期間を算定するために用いる環境条件は、ループ室や加圧器上部などの区画で大別し、電気・計装品が設置されている箇所温度、線量が高いと考えられる箇所を測定した結果の最大値に余裕を加えた値にて設定している（添付-1)-2～6参照）。</p> <p>測定結果には、原子力安全・保安院指示文書「原子炉格納容器内の安全機能を有するケーブルの布設環境等の調査実施について（平成 19・07・30 原院第 5 号 平成 19 年 10 月 30 日 NISA-167b-07-1）」に基づき実施した原子炉格納容器内のケーブル布設環境（温度・放射線線量率）の調査結果（プラント運転中（2008 年 11 月 8 日～2010 年 1 月 7 日（第 11 回定期検査並列）～第 12 回定期検査解列）に実施）および至近で実施した伊方 3 号炉の調査結果（プラント運転中（2018 年 10 月 30 日～2019 年 12 月 26 日（第 14 回定期検査並列）～第 15 回定期検査解列）に実施）も踏まえて設定している。</p> <p>なお、事故時環境下において機能要求がある電気・計装品（以下「EQ 機器」という。）の環境調査の実施方針他について、以下に示す。  なお、使用機器については至近で実施した環境調査の結果を示す。</p> <p>○調査方法  EQ 機器が設置されている箇所（原子炉格納容器内、主蒸気管室）のうち温度、放射線が高いと考えられる箇所に測定機器を設置してプラント運転期間中の測定を行う。測定結果をもとに期間中の平均値を算出する。</p> <p>○使用機器  （温度測定）熱電対、ボタン型温度データロガー、サーモラベル  （放射線測定）アラニン線量計</p> <p>○実施方針  原則として 1 回 / 10 年程度として測定を実施している。また、EQ 機器の設置環境が著しく変化するような改造工事等を行った場合は必要に応じて測定を実施する。</p>



タイトル	モジュラー型電気ペネトレーションのポッティング材およびOリングの長期健全性試験における評価期間について								
概要	試験条件と実機の使用条件に基づく劣化条件との比較に用いた実環境温度および活性化エネルギー等を以下に示す。								
説明	<p>モジュラー型電気ペネトレーションの60年間の通常運転時の使用条件に基づく劣化条件は、外部リードに使用されている難燃 EP ゴム絶縁ケーブルの活性化エネルギーを用いて、アレニウス則により算出している。</p> <p>長期健全性試験による評価においては、添付-7)で整理した各環境条件を包絡する温度として、44℃で評価する。</p> <p>実機使用条件 (44℃-60年) を、長期健全性試験条件 (120℃-241日※) との比較を容易にするため、加速時間(L2)を試験条件と同じ 241 日として換算した結果を以下に示す。</p> <table border="1" data-bbox="518 907 1252 996"> <thead> <tr> <th>T2[℃]</th> <th>L2[日]</th> <th>T1[℃]</th> <th>L1[年]</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>114</td> <td>241</td> <td>44</td> <td>60</td> </tr> </tbody> </table> <p>活性化エネルギー： [ ] [kcal/mol] (ACA) での換算値 (L1:実環境年数、L2:加速時間、T1:実環境温度、T2:加速温度)</p> <p>実機使用条件を換算した加速温度 (T2=114℃) は、長期健全性試験条件の温度 (120℃) に包絡される。</p> <p>※通常の熱劣化のみで熱サイクル試験による劣化は含んでいない。 熱サイクルの試験条件については、以下に示す温度および回数にて熱サイクル試験を実施している。なお、IEEE Std-317 にて規定された条件 (55℃以上の熱サイクル試験を 120 回以上実施) を参照に試験を実施しているが、試験条件は供用期間中の運転サイクルを模擬できていることから妥当と考える。</p> <p>○温度 国内 PWR プラントにおける格納容器内の温度差 (40℃) に余裕 (5℃) を加えた温度差 (45℃) の熱サイクル試験を実施した。</p> <p>○試験回数 プラントの起動停止に伴う熱サイクルが 1 回 / 1 年の頻度で発生することから、60 年間分の 60 サイクルの熱サイクル試験を実施した。</p>	T2[℃]	L2[日]	T1[℃]	L1[年]	114	241	44	60
T2[℃]	L2[日]	T1[℃]	L1[年]						
114	241	44	60						

## 2. 現状保全

絶縁体および内部シースの絶縁低下に対しては、定期的に絶縁抵抗測定を行い、管理値以上であることの確認を行っている。【別紙5参照】

## 3. 総合評価

健全性評価結果から判断して、絶縁体および内部シースの絶縁低下により機器の健全性に影響を与える可能性はないと考える。

絶縁低下は、絶縁抵抗測定で検知可能であり、点検手法としては適切である。

## 4. 高経年化への対応

絶縁体および内部シースの絶縁低下については、現状保全項目に高経年化対策の観点から追加すべきものはないと判断する。

## 5. 添付資料

- 1) 原子炉格納容器内の難燃三重同軸ケーブル-1の環境条件について
- 2) 難燃三重同軸ケーブル-1の長期健全性試験（電気学会推奨案）における評価期間について
- 3) 難燃三重同軸ケーブル-1の長期健全性試験（電気学会推奨案）の事故時条件の包絡性について
- 4) 難燃三重同軸ケーブル-1の長期健全性試験（ACA）における評価期間について
- 5) 難燃三重同軸ケーブル-1の長期健全性試験（ACA）の事故時条件の包絡性について
- 6) 難燃同軸ケーブルの長期健全性試験（ACA）における評価期間について
- 7) 難燃同軸ケーブルの長期健全性試験（ACA）の事故時条件の包絡性について
- 8) 難燃同軸ケーブルと難燃性信号対ケーブルの同等性等について

タイトル	難燃同軸ケーブルと難燃性信号対ケーブルの同等性等について
概要	難燃同軸ケーブルと難燃同軸ケーブルの評価に用いた長期健全性試験(ACA)の供試ケーブルである難燃性信号対ケーブルの同等性等について、以下に示す。
説明	<p>使用済燃料ピット内の重大事故等時雰囲気内で機能要求がある難燃同軸ケーブルについては、絶縁体種類が同一で構造が異なる難燃性信号対ケーブルのACAガイドに基づく評価を実施しており、難燃同軸ケーブルと難燃性信号対ケーブルの同等性等を以下に示す。</p> <p>①難燃同軸ケーブルと難燃性信号対ケーブルの同等性の根拠</p> <p>難燃同軸ケーブルと難燃性信号対ケーブルは、構造、用途は異なるが、絶縁体材料(ポリエチレン)および製造メーカー <span style="border: 1px solid black; display: inline-block; width: 100px; height: 15px;"></span> <span style="border: 1px solid black; display: inline-block; width: 15px; height: 15px;"></span> が同じであり、同等性があると考ええる。</p> <p>なお、ケーブルサイズ(絶縁体厚さ)についても、難燃同軸ケーブルの絶縁体厚さが2.05mmであるのに対し、供試ケーブルである難燃性信号対ケーブルの絶縁体厚さは0.3mmであり、ACAガイド(解説-10)に記載されているとおり、絶縁体厚さが小さいケーブルを供試体として選定している。</p> <p>②難燃性信号対ケーブルに対する耐電圧試験結果を難燃同軸ケーブルの評価に適用できることの根拠</p> <p>供試ケーブルである難燃性信号対ケーブルの耐電圧試験は、日本産業規格「ゴム・プラスチック絶縁電線試験方法」(JIS C3005:2000)に従い、課電電圧:AC350V/1分間の試験を実施している。一方、難燃同軸ケーブルのケーブル仕様の耐電圧値はAC1,000V/1分でありJIS規格に沿った耐電圧試験に合格する性能を有するものである。そのことから、実際に使用する難燃同軸ケーブルの電圧値がDC12V±10%程度であることを考慮すると耐電圧値に比べ十分小さく、使用電圧が同じであれば①のとおり絶縁体厚さが小さいほうが厳しい試験になると考えられることから、難燃性信号対ケーブルの評価結果を適用できると考える。</p>

タイトル	N R A技術報告「重大事故環境下におけるケーブルの絶縁特性の分析」 (NTEC-2019-1002) に示された知見を反映した評価について
概要	N R A技術報告「重大事故環境下におけるケーブルの絶縁特性の分析」 (NTEC-2019-1002) に示された知見を反映した評価について、以下に示す。
説明	<p>N R A技術報告「重大事故環境下におけるケーブルの絶縁特性の分析」 (NTEC-2019-1002) (以下、「N R A技術報告」という。) では、蒸気暴露中においては、温度上昇および蒸気による吸湿により、ケーブルの絶縁が低下することが分かっており、重大事故時の蒸気環境下に暴露されて計装ケーブルの絶縁抵抗が低下すると、検出器の種類や回路構成等により、重大事故時に監視するパラメータの測定結果に含まれる誤差が大きくなる可能性があるとの知見が示されている。本知見の対応について、下記に示す。</p> <p>伊方3号炉では、原子炉格納容器内の重大事故時環境下で機能要求のあるケーブルとして、難燃PHケーブル、難燃三重同軸ケーブル-1がある。</p> <p>難燃PHケーブルについては、N R A技術報告により重大事故環境で試験が実施されており、重大事故環境を模擬した蒸気暴露時の絶縁抵抗値が<math>1 \times 10^8 \Omega m</math>以上 (NTEC-2019-1002 図3.3) であることが示されている。</p> <p>また、難燃三重同軸ケーブル-1については、重大事故環境を模擬した蒸気暴露時において絶縁抵抗値が<math>2.0 \times 10^{10} \Omega m</math>以上*1であることを確認している。</p> <p>*1：出典：電力共同委託「高レンジエリアモニタ及び三重同軸ケーブル・コネクタに関わる耐環境性能評価委託2014年度」の試験結果</p>

伊方3号炉で使用されている難燃PHケーブル、難燃三重同軸ケーブル1の最大ケーブル長およびそのケーブル長での重大事故環境を模擬した蒸気暴露試験における絶縁抵抗値は、下表のとおりである。

機器名称	最大ケーブル長	重大事故環境を模擬した蒸気暴露時の絶縁抵抗値
難燃PHケーブル	約105m	$9.5 \times 10^5 \Omega$ 以上
難燃三重同軸ケーブル1	約95m	$2.1 \times 10^8 \Omega$ 以上

伊方3号炉の難燃PHケーブルの絶縁抵抗値は  $9.5 \times 10^5 \Omega$  以上であり、第3回経年劣化管理に係る ATENA との実務レベルの技術的意見交換会（2020年5月22日）の『原子力規制庁技術報告「重大事故環境下におけるケーブルの絶縁特性の分析」に対する電気事業者の対応状況』での報告にある計器誤差の懸念の目安である  $1 \times 10^5 \Omega$  を上回っていることより、重大事故時に監視するパラメータの測定結果への影響は非常に小さいと考える。

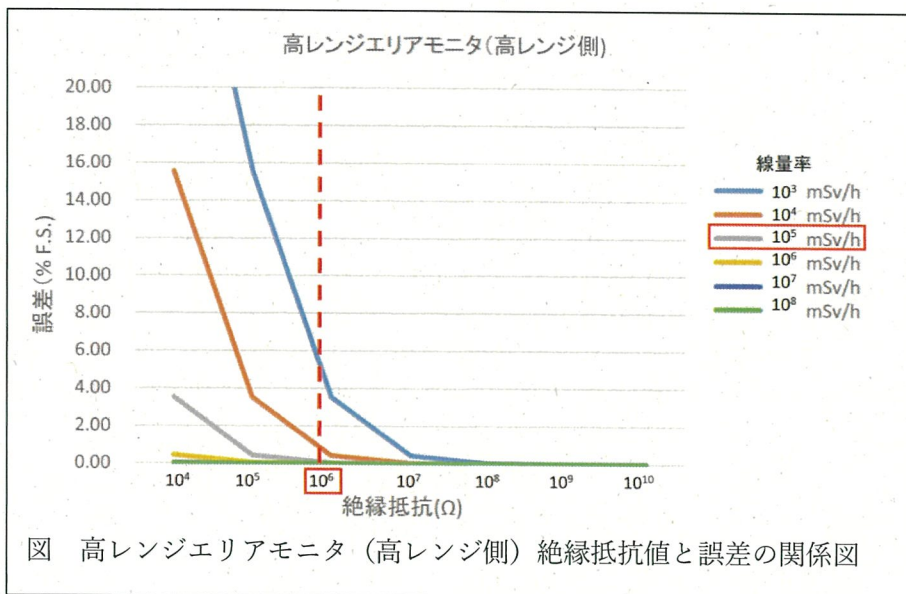
また、難燃三重同軸ケーブル1の絶縁抵抗値は  $2.1 \times 10^8 \Omega$  以上であり、同報告にある難燃三重同軸ケーブル1を使用している放射線監視モニタの計器誤差の懸念の目安である  $1 \times 10^6 \Omega$  を上回っていることより、重大事故時に監視するパラメータの測定結果への影響は非常に小さいと考える。

なお、難燃三重同軸ケーブル1の評価結果の根拠（蒸気暴露試験中の絶縁抵抗測定結果、重大事故時に監視するパラメータの測定結果への影響）について別紙10．添付-1)に示す。

タイトル	NRA技術報告に示された知見を反映した評価のうち、難燃三重同軸ケーブル-1の評価結果の根拠（蒸気暴露試験中の絶縁抵抗測定結果、重大事故時に監視するパラメータの測定結果への影響）について																				
概要	難燃三重同軸ケーブル-1の評価結果の根拠（蒸気暴露試験中の絶縁抵抗測定結果、重大事故時に監視するパラメータの測定結果への影響）について、以下に示す。																				
説明	<p>難燃三重同軸ケーブル-1の評価に用いた試験については、事業者およびメーカーにて研究を実施した結果（出典：電力共同委託「高レンジエリアモニタ及び三重同軸ケーブル・コネクタに関わる耐環境性能評価委託 2014年度」）を基に評価を実施しているため、その根拠を以下に示す。</p> <p><b>【蒸気暴露試験中の絶縁抵抗測定結果】</b></p> <p>蒸気暴露試験中の絶縁抵抗測定結果は、「表1 蒸気暴露試験中の難燃三重同軸ケーブル-1の絶縁抵抗測定結果」のとおりである。1日1回の絶縁抵抗測定を実施*1した結果、絶縁抵抗値は<math>2.0 \times 10^{10} \Omega m</math>以上であることを確認している。</p> <p>表1 蒸気暴露試験中の難燃三重同軸ケーブル-1の絶縁抵抗*2測定結果</p> <table border="1" data-bbox="400 1267 1321 1487"> <thead> <tr> <th></th> <th>試験前</th> <th>1日目</th> <th>2日目</th> <th>3日目</th> <th>4日目</th> <th>5日目</th> <th>6日目</th> <th>7日目</th> <th>試験後</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>絶縁抵抗値 [<math>\Omega m</math>] *3</td> <td>1.7 × <math>10^{13}</math></td> <td>6.2 × <math>10^{11}</math></td> <td>4.5 × <math>10^{10}</math></td> <td>4.0 × <math>10^{10}</math></td> <td>3.0 × <math>10^{10}</math></td> <td>2.8 × <math>10^{10}</math></td> <td>2.6 × <math>10^{10}</math></td> <td>2.4 × <math>10^{10}</math></td> <td>9.5 × <math>10^{11}</math></td> </tr> </tbody> </table> <p>*1：試験中の温度・圧力は安定しており、絶縁抵抗が急激に変化することはないため、1日1回の測定が適切と考えられる。（重大事故対策の有効性評価期間の7日および試験前後の計9回測定実施）</p> <p>*2：蒸気暴露試験中に、中心導体-内部シールドに課電し回路の健全性を確認。絶縁抵抗測定結果には、電離箱検出器および三重同軸コネクタの絶縁抵抗も含まれるが、本評価では、保守的に、絶縁抵抗測定結果をケーブルでの絶縁抵抗と想定し、供試ケーブル長（約1m）で換算している。</p> <p>*3：蒸気暴露試験1日目に絶縁抵抗が低下しているのは、高温、高湿環境によるものと考えられる。その後、絶縁抵抗値が徐々に低下しているが、高温、高湿環境にケーブルがさらされることにより徐々に湿分が内部に浸入したことが一因と考えられる。</p>		試験前	1日目	2日目	3日目	4日目	5日目	6日目	7日目	試験後	絶縁抵抗値 [ $\Omega m$ ] *3	1.7 × $10^{13}$	6.2 × $10^{11}$	4.5 × $10^{10}$	4.0 × $10^{10}$	3.0 × $10^{10}$	2.8 × $10^{10}$	2.6 × $10^{10}$	2.4 × $10^{10}$	9.5 × $10^{11}$
	試験前	1日目	2日目	3日目	4日目	5日目	6日目	7日目	試験後												
絶縁抵抗値 [ $\Omega m$ ] *3	1.7 × $10^{13}$	6.2 × $10^{11}$	4.5 × $10^{10}$	4.0 × $10^{10}$	3.0 × $10^{10}$	2.8 × $10^{10}$	2.6 × $10^{10}$	2.4 × $10^{10}$	9.5 × $10^{11}$												

【重大事故時に監視するパラメータの測定結果への影響】

重大事故環境を模擬した蒸気暴露試験において、試験中に実測した絶縁抵抗値は  $2.0 \times 10^{10} \Omega$  m 以上であることを確認した。伊方3号炉の最大ケーブル長は約 95m であり、 $2.1 \times 10^8 \Omega$  以上となる。難燃三重同軸ケーブル 1 を使用している放射線監視モニタについては、重大事故時に必要なレンジは下図のとおり  $1 \times 10^5 \text{mSv/h}$  付近であり、絶縁抵抗と測定誤差の関係より、 $1 \times 10^6 \Omega$  オーダーまでは計器誤差への影響は非常に小さいと考える。



タイトル	蒸気暴露試験中における課電および通電の実施状況について
概要	蒸気暴露試験中における課電および通電の実施状況について、以下に示す。
説明	<p>電気学会技術報告Ⅱ部第 139 号「原子力発電所用電線・ケーブルの環境試験方法ならびに耐延焼性試験方法に関する推奨案」（以下、「電気学会推奨案」という。）において、蒸気暴露試験中には、課電および通電を行うことが定められている。課電および通電は、「蒸気暴露試験期間中ケーブルがその機能を果たしていること」を確認する目的で要求されており、以下のとおり、定められている。</p> <p>○課電：定格電圧</p> <p>○通電：原則として許容電流。ただし、制御・計装ケーブルは以下のとおり。  制御ケーブル：3A、使用電流、または当事者間による協議  計装ケーブル：通電不要</p> <p>&lt;課電の電圧について&gt;</p> <p>電圧については、定格電圧が推奨されているが、課電の目的は蒸気暴露試験中のケーブルの機能（絶縁機能）を確認することであり、実機の使用電圧以上で課電していれば、実機の使用条件におけるケーブルの絶縁機能の維持が確認できていると考える。</p> <p>&lt;課電の方法について&gt;</p> <p>課電は、電気学会推奨案において試験中の絶縁機能を確認する手段として規定されており、課電を連続で実施すれば、試験中どの時点で絶縁機能を喪失したかが判定できる。一方、耐電圧試験や絶縁抵抗測定による断続的な課電であっても、適切な時点で絶縁機能の確認をすれば、ケーブルの絶縁機能の低下傾向は把握できており、電気学会推奨案における課電に相当すると考える。</p> <p>したがって、断続的な課電を適切に実施していれば、ケーブルの絶縁機能の維持ができていると考える。</p> <p>なお、絶縁機能の確認は、これまでの試験実績を踏まえ、以下に示す絶縁機能の変化が想定されるポイントを重点的に実施している。</p>



○試験条件（温度、圧力）が最大るとき、または変化させるとき

○格納容器スプレイを模擬した化学スプレイの実施中

また、試験後半の温度・圧力条件が一定の期間においては、絶縁機能が急激に変化する可能性は低いと考えられることから、1日～数日毎に実施している。

<通電について>

通電については、原則として許容電流とされているが、通電の目的は主に通電による温度上昇の影響（熱劣化）を確認することであることを踏まえ、使用電流が微弱な計装ケーブルは通電不要とされている。同様に、電力・制御ケーブルにおいても、接続する機器の使用電流とこれによる温度上昇が十分小さい場合は、通電による影響（熱劣化）は有意ではないと考えられ、その温度上昇が蒸気暴露試験温度の余裕に十分包絡される場合は、通電をしなくても評価の保守性を担保できていると考える。

電気学会推奨案による評価対象機器の課電および通電の実施状況の詳細を別紙11. 添付-1) に示す。

## 電気学会推奨案に基づく蒸気暴露試験中\*1の裸電および通電の実施状況

対象機器	用途	事故事象	実施状況		出典
			裸電	通電	
低圧ケーブル	電力、制御、計装	設計基準事故	最高使用電圧：AC440V 課電電圧：定格電圧 (AC600V)	31A (許容電流*2)	メーカーデータ
		重大事故等	最高使用電圧：AC120V 課電電圧：定格電圧 (AC600V)	—*3	電力共同委託「SA 時の計装品の耐環境性能評価委託 2014 年度」
同軸ケーブル	電力、制御、計装	重大事故等	—*4 (重大事故等時の評価に用いた試験にて実施)	—	メーカーデータ
		設計基準事故	最高使用電圧：DC1,000V 課電電圧：DC1,000V (絶縁抵抗測定*5)	—	電力共同委託「高レンジエリアモニタ及び三重同軸ケーブル・コネクタに関する耐環境性能評価委託 2014 年度」

\* 1 : 各試験では、劣化の進行が速いと考えられる「絶縁体厚さが概ね最小のケーブル」を供試体として試験を実施している。

\* 2 : 許容電流は、絶縁体に対する熱的影響を考慮してケーブルサイズ毎に定められているため、ケーブルサイズによって許容電流は異なるものの、許容電流を通電した場合の絶縁体に対する熱的影響は同等であり、どのケーブルサイズを供試体に用いても問題ないと考える。

\* 3 : 使用電流による温度上昇は1℃未満であり、この温度上昇は蒸気暴露試験に見込んである温度の余裕(8℃)を十分下回っているため、通電の有無による影響(熱劣化)はないと評価している。(詳細は添付1 1 . 添付-2 参照)

\* 4 : 評価書に記載の重大事故等時の試験にて実施しており、当該試験結果は設計基準事故時の評価においても適用可能であると考える。(詳細は添付1 1 . 添付-3 参照)

\* 5 : 7 日間の試験において、1 日 1 回および7 日経過後に 1 回実施。

## 難燃 PSHV ケーブルの通電による温度上昇評価

温度上昇の計算式

$$T_1 = n \times r \times R_{th} \times I^2 + T_0$$

$T_1$  : 導体温度 (°C)

$T_0$  : 周囲温度 (°C) …150°C (当該試験の事故時プロファイルの最高温度)

$I$  : 通電電流 (A) …5A

通電電流が最も大きいイグナイタの電源回路にて算出

使用電圧 AC 120V、定格容量 556W → 556W / 120V = 4.6A を保守的に設定。

$n$  : ケーブル線心数…2

$r$  : 導体抵抗 (Ω/cm) … $5.35 \times 10^{-5}$

$R_{th}$  : ケーブル全熱抵抗 (°C・cm/W) …213.6

ケーブルの温度上昇値

$$\Delta T = T_1 - T_0 = 0.58^\circ\text{C}$$

以上のとおり、重大事故等時に機能要求があるケーブルの通電による温度上昇は 1°C 未満である。

## 1. 電気学会推奨案による健全性評価（設計基準事故）

## a. 評価手順

設計基準事故時雰囲気で機能要求がある難燃三重同軸ケーブル-1は、電気学会推奨案に準じて実機相当品による長期健全性試験（重大事故等時）により評価した。難燃三重同軸ケーブル-1の電気学会推奨案に基づく試験手順および判定方法を図1に示す。

本試験は三重同軸コネクタ接続と一体の供試体で実施しており、判定試験として、三重同軸コネクタ接続の判定試験（耐電圧試験）を実施した。電気学会推奨案では、屈曲浸水耐電圧試験を実施することとしているが、合わせて「絶縁体やシースに用いられるゴム、プラスチック材料は、熱、放射線、水蒸気などの影響による劣化を受けるが、本来ならこの状態で電気特性を維持できれば、実用上問題ないといえる。」と記載されており、実機の使用電圧（DC1,000V）を大きく上回る電圧（DC3,000V）で耐電圧試験を実施していれば、健全性評価の観点から十分保守的であり、判定試験として妥当であると考ええる。

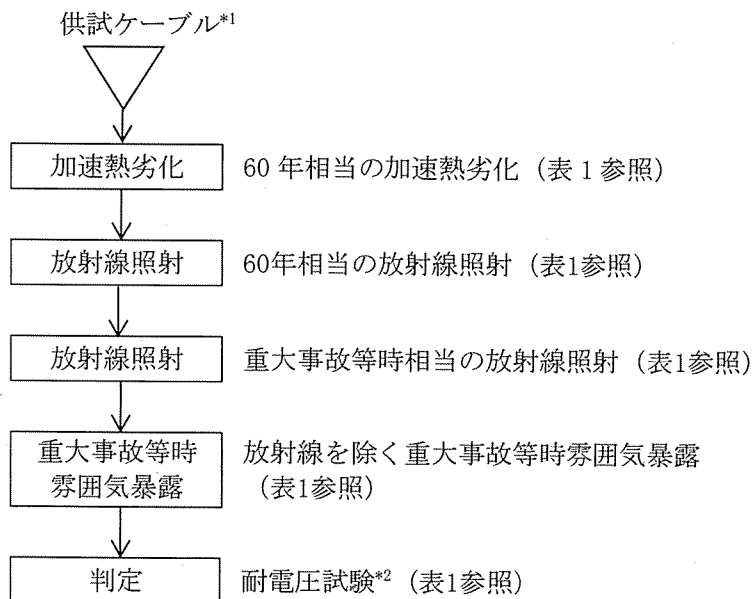


図1 難燃三重同軸ケーブル-1の長期健全性試験手順および判定方法

\*1: 伊方3号炉で使用している難燃三重同軸ケーブル-1と製造メーカーおよび絶縁材料が同一でシース種類が異なる難燃三重同軸ケーブルを供試ケーブルとしている。

\*2: 耐電圧試験は、日本産業規格「ゴム・プラスチック絶縁電線試験方法」(JIS C 3005:2000)の試験

b. 試験条件

難燃三重同軸ケーブル 1 の長期健全性試験条件を表1に示す。試験条件は、伊方3号炉の実機環境に基づいて60年間の運転期間および設計基準事故時を想定した劣化条件を包絡している。

表1 難燃三重同軸ケーブル 1 の長期健全性試験条件（設計基準事故時）

		試験条件	60年間の通常運転時の使用条件【別紙2. 添付-1) 参照】に基づく劣化条件【別紙1 1. 添付-4) 参照】または設計基準事故時の環境条件【別紙1 1. 添付-5) 参照】
通常運転相当	温度	113℃-255h	79℃-255h (=44℃-60年)
	放射線 (集積線量)	750kGy (10kGy/h以下)	136kGy*1
設計基準事故時相当	放射線 (集積線量)	500kGy*2 (10kGy/h以下)	675kGy
	温度	150℃ (最高温度)	約120℃ (最高温度)
	圧力	0.5MPa[gage] (最高圧力)	約0.22MPa[gage] (最高圧力)

\*1:  $0.257[\text{Gy/h}] \times (24 \times 365.25)[\text{h/y}] \times 60[\text{y}] = 136\text{kGy}$

\*2: 試験条件の放射線(集積線量)の総和(750kGy+500kGy=1,250kGy)は、実機環境条件における放射線(集積線量)の総和(136kGy+675kGy=811kGy)を包絡している。

c. 評価結果

難燃三重同軸ケーブル 1 の長期健全性試験結果を表2に示す。電気学会推奨案に基づく評価の結果、伊方3号炉の難燃三重同軸ケーブル 1 は、運転開始後60年時点においても絶縁機能を維持できると判断する。

表2 難燃三重同軸ケーブル 1 の長期健全性試験結果

項目	試験条件	測定値
耐電圧試験	C-I 間 DC3,000V 1分 I-O 間 DC 500V 1分	良

[出典：電力共同委託「高レンジエリアモニタ及び三重同軸ケーブル・コネクタに関わる耐環境性能評価委託2014年度」]

タイトル	難燃三重同軸ケーブル 1 の長期健全性試験（設計基準事故時）における評価期間について								
概要	試験条件と実機の使用条件に基づく劣化条件との比較に用いた実環境温度および活性化エネルギー等を以下に示す。								
説明	<p>難燃三重同軸ケーブル 1 の 60 年間の通常運転時の使用条件に基づく劣化条件は、ケーブル絶縁材の活性化エネルギーを用いて、アレニウス則により算出している。</p> <p>実機使用条件（44℃-60 年）を、長期健全性試験条件（113℃-255 時間）との比較を容易にするため、加速時間(L2)を試験条件と同じ 255 時間として換算した結果を以下に示す。</p> <table border="1" data-bbox="513 880 1248 972"> <thead> <tr> <th>T2[℃]</th> <th>L2[時間]</th> <th>T1[℃]</th> <th>L1[年]</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>79</td> <td>255</td> <td>44</td> <td>60</td> </tr> </tbody> </table> <p>活性化エネルギー： <input type="text"/> [kcal/mol]（メーカーデータ）での換算値  (L1:実環境年数、L2:加速時間、T1:実環境温度、T2:加速温度)</p> <p>実機使用条件を換算した加速温度（T2=79℃）は、長期健全性試験条件の温度（113℃）に包絡される。</p>	T2[℃]	L2[時間]	T1[℃]	L1[年]	79	255	44	60
T2[℃]	L2[時間]	T1[℃]	L1[年]						
79	255	44	60						

タイトル	難燃三重同軸ケーブル-1の長期健全性試験の事故時条件（設計基準事故時）の包絡性について																	
概要	試験条件の事故時条件が、実機に想定される設計基準事故時条件を包絡していることを以下に示す。																	
説明	<p>事故時雰囲気暴露の試験条件を別紙 2. 添付-3)-3 を参照のこと。  設計基準事故（1次冷却材管の破断による原子炉冷却材喪失）の安全解析結果は添付-4)-2 を参照のこと。</p> <p>以下に示すように、事故時雰囲気暴露の試験条件は、実機の設計基準事故時条件を包絡している。</p> <table border="1" data-bbox="432 884 1326 1238"> <thead> <tr> <th></th> <th>条件（温度－時間）</th> <th>65℃換算*1</th> <th>合計</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>事故時 雰囲気 暴露 試験</td> <td rowspan="4" style="border: 2px solid black;"></td> <td>391, 245, 210 時間</td> <td>391, 245, 210 時間</td> </tr> <tr> <td rowspan="3">設計基準 事故*2</td> <td>523, 581 時間</td> <td rowspan="3">533, 009 時間</td> </tr> <tr> <td>8, 041 時間</td> </tr> <tr> <td>209 時間</td> </tr> <tr> <td></td> <td>1, 178 時間</td> </tr> </tbody> </table> <p>*1：活性化エネルギー <input type="text"/> [kcal/mol]（メーカーデータ）での換算値  *2：1次冷却材管の破断による原子炉冷却材喪失事故包絡条件</p>				条件（温度－時間）	65℃換算*1	合計	事故時 雰囲気 暴露 試験		391, 245, 210 時間	391, 245, 210 時間	設計基準 事故*2	523, 581 時間	533, 009 時間	8, 041 時間	209 時間		1, 178 時間
	条件（温度－時間）	65℃換算*1	合計															
事故時 雰囲気 暴露 試験		391, 245, 210 時間	391, 245, 210 時間															
設計基準 事故*2		523, 581 時間	533, 009 時間															
		8, 041 時間																
		209 時間																
	1, 178 時間																	