

高浜発電所1、2号炉の劣化状況評価 (電気・計装品の絶縁低下)

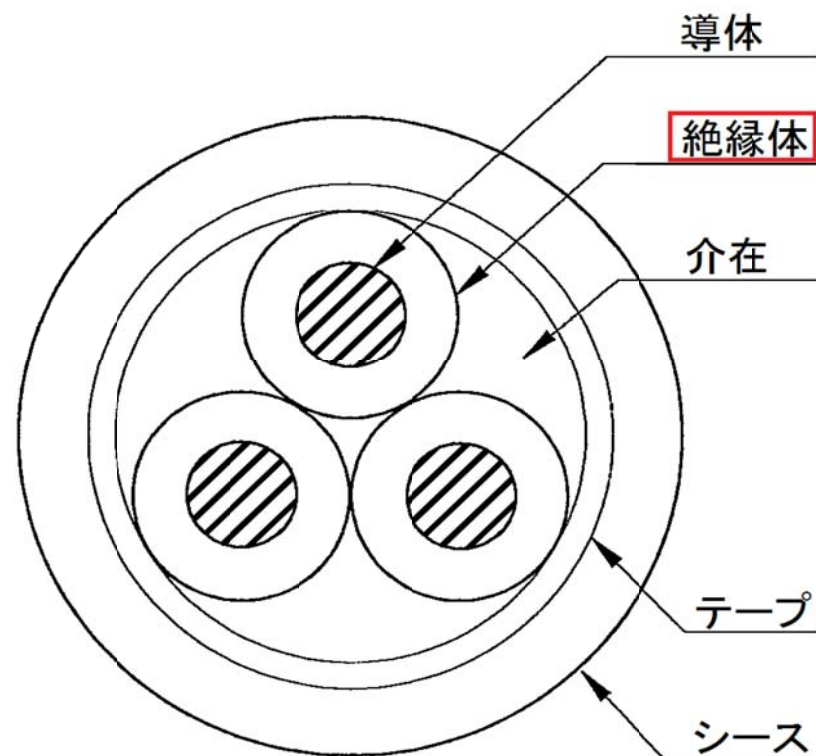
平成27年11月25日
関西電力株式会社

1. はじめに.....	2
2. 審査会合における代表機器の選定.....	3
3. 電気・計装品の絶縁低下の評価	
3-1. 低圧ケーブル(難燃PHケーブル)の評価.....	6
3-2. 電気ペネトレーション(ピッグテイル型)の評価.....	12
4. 代表機器以外の評価結果.....	
5. 審査基準への適合状況.....	15

1. はじめに

1.1 電気・計装品の絶縁低下について

電気・計装品には、その諸機能を達成するために、種々の部位にゴム、プラスチック等の高分子材料及びプロセス油等の有機化合物材料が使用されている。これら材料は、環境的(熱・放射線等)、電氣的及び機械的な要因で劣化するため、絶縁特性が低下し、電気・計装設備の機能が維持できなくなる可能性がある。



代表的なケーブルの構造

絶縁低下は、通電部位と大地間、あるいは通電部位と他の通電部位間の電氣的独立性(絶縁性)を確保するため介在されている高分子絶縁材料が、環境的(熱・放射線等)、電氣的及び機械的な要因で劣化するため、電気抵抗が低下し、絶縁性を確保できなくなる現象である。

2. 審査会合における代表機器の選定(1/3)

2.1 代表機器の選定

○ステップ1:絶縁低下に係る評価対象設備

絶縁低下の評価では、電気・計装設備の機能維持に必要な絶縁性能を考慮すべき設備を評価対象として抽出している。抽出した設備を「表1 評価対象設備(電気・計装設備)」に示す。

○ステップ2:対象設備のグループ化及び代表機器の選定

高経年化技術評価書では、電圧区分(高圧・低圧)、型式、設置場所(屋内・屋外)、絶縁材料等によりグループ化を行っており、設備の重要度、使用条件等を考慮してグループ内の代表機器を選定している。

○ステップ3:絶縁低下の審査会合における代表機器の選定

グループ内の代表機器の中から設備の重要度及び絶縁低下への影響が大きいと考えられる設置環境(熱・放射線、屋内外)を考慮し、審査会合における代表機器を選定する。

具体的には、重要度が高くかつ熱・放射線環境等の使用条件が厳しいもので、評価の結果、追加保全策が必要なものをそれぞれ代表(①、②)として抽出した。

①低圧ケーブル

重要度クラス1の設備であり、使用条件が厳しく、追加保全策が必要となっている設備。
ここでは、原子炉格納容器内で多く使用されている難燃PHケーブルを代表として説明する。

②電気ペネトレーション

重要度クラス1の設備であり、使用条件が厳しく、追加保全策が必要となっている設備。
ここでは、台数が最も多い電気ペネトレーション(ピックテイル型)を代表として説明する。

上記の代表2機器について、以降、高浜1、2号炉の具体的な評価内容を説明する。なお、代表機器以外の評価結果については、「表2 電気・計装設備の絶縁低下の評価結果一覧」に示す。

2. 審査会合における代表機器の選定(2/3)

表1 高浜1、2号炉 評価対象設備(電気・計装設備)(1/2)

機器・構造物	評価対象設備	評価対象部位	設計基準事故を考慮する設備	重大事故等を考慮する設備
ポンプモータ	高圧モータ	固定子コイル、口出線他	—	—
	低圧モータ	固定子コイル、口出線	—	—
容器	電気ペネトレーション	ポッティング材、外部リード	○	○
弁	弁電動装置	固定子コイル他	○	—
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	ばね蓄勢用モータ他	—	—
	動力変圧器	コイル	—	—
	パワーセンタ	保護リレー他	—	—

2. 審査会合における代表機器の選定(3/3)

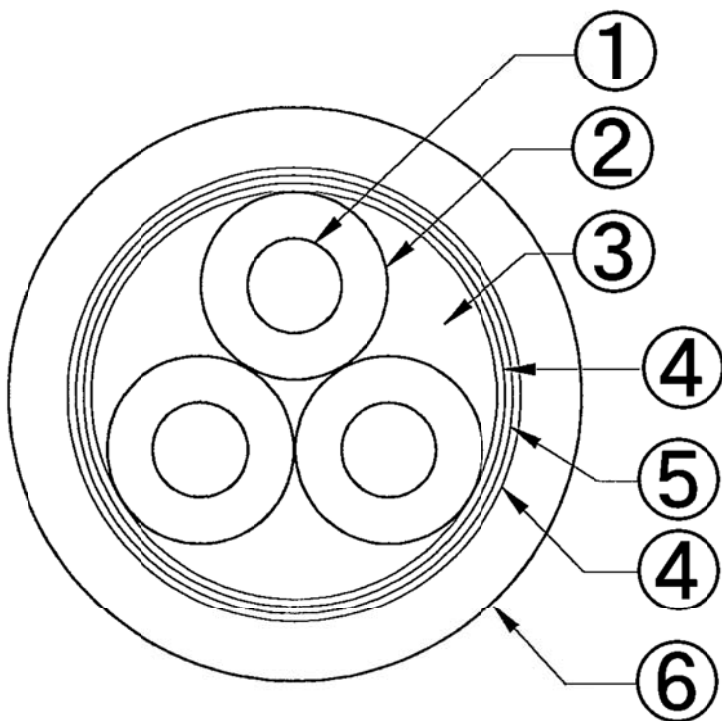
表1 高浜1、2号炉 評価対象設備(電気・計装設備)(2/2)

機器・構造物	評価対象設備	評価対象部位	設計基準事故を考慮する設備	重大事故等を考慮する設備
計測制御設備	制御設備	計器用変流器他	—	—
空調設備	空調モータ	固定子コイル他	—	—
機械設備	空気圧縮装置	固定子コイル	—	—
	燃料取扱設備	変圧器他	—	—
	燃料移送設備	変圧器他	—	—
電源設備	非常用ディーゼル発電設備	固定子コイル他	—	—
	計器用電源設備	変圧器	—	—
	制御棒駆動装置用電源設備	ばね蓄勢用モータ	—	—

3.1.1 健全性評価

高浜1、2号炉 難燃PHケーブル主要部位の使用材料

No.	部 位	材 料
①	導 体	銅(錫メッキ)
②	絶 縁 体	難燃エチレンプロピレンゴム
③	介 在	ジュート
④	テ ー プ	布
⑤	遮へい層	銅テープ
⑥	シ ー ス	難燃クロロスルホン化ポリエチレン



高浜1、2号炉
難燃PHケーブル構造図

高浜1、2号炉 難燃PHケーブルの使用条件

	通常運転時 ^{※1}	設計基準事故時	重大事故等時
設置場所	原子炉格納容器内		
周囲温度	約48℃ ^{※2}	約122℃ (最高温度)	約138℃ (最高温度)
圧 力	約0.012MPa [gage]以下	約0.26MPa [gage] (最高圧力)	約0.305MPa [gage] (最高圧力)
放 射 線	0.29Gy/h ^{※3}	607kGy (最大集積線量)	500kGy (最大集積線量)

※1: 原子炉格納容器内の環境を代表として記載

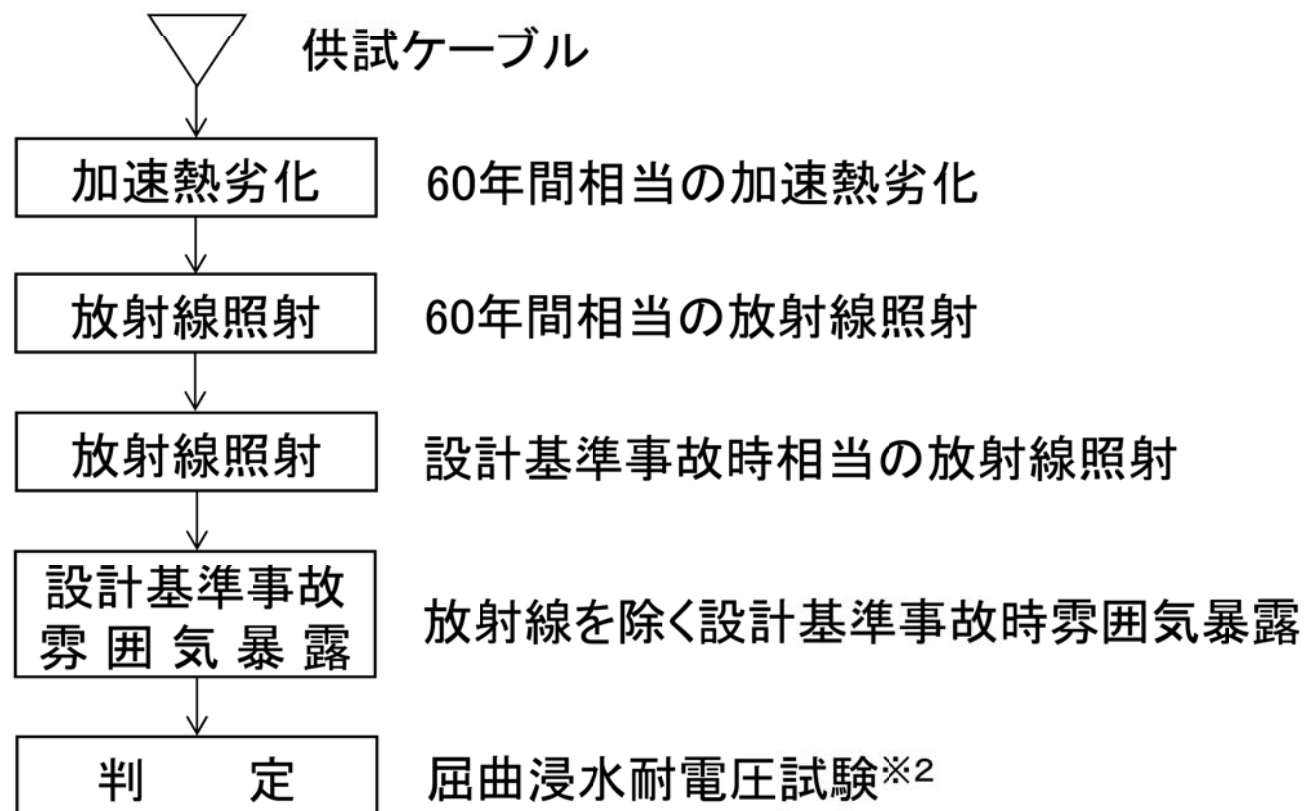
※2: 通常運転時の原子炉格納容器内ケーブル布設箇所周囲の平均温度の最大実測値

※3: 通常運転時の原子炉格納容器内ケーブル布設箇所周囲の平均線量率の最大実測値

3.1.1.1 電気学会推奨案による健全性評価

(1) 試験手順

事故時雰囲気内で機能要求がある難燃PHケーブルの電気学会推奨案※1に基づく試験手順及び判定方法を以下に示す。



難燃PHケーブルの長期健全性試験手順

※1: 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並びに耐延焼性試験方法に関する推奨案」の略称。IEEE Std. 323-1974及びIEEE Std.383-1974の規格を根幹にした、ケーブルの加速劣化方法を含む試験条件、試験手順、並びに判定方法が述べられている。

※2: 屈曲浸水耐電圧試験の試験手順は以下のとおり

- ① 直線状に供試ケーブルを伸ばした後供試ケーブルの外径の約40倍のマンダレル(円筒状の器具)に巻付ける。
- 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、公称絶縁体厚さに対し交流電圧3.2kV/mmを5分間印加し、絶縁破壊を生じるか否かを調べる。

3-1. 低圧ケーブル(難燃PHケーブル)の評価(3/6)

(2) 試験条件、試験結果

試験条件は、実機環境に基づいて60年間の運転期間を想定した劣化条件を包絡している。
難燃PHケーブルの長期健全性試験条件並びに長期健全性試験結果を以下に示す。

難燃PHケーブルの長期健全性試験条件

		試験条件	60年間の通常運転時の 使用条件に基づく劣化条件 又は 設計基準事故時の環境条件	60年間の通常運転時の 使用条件に基づく劣化条件 又は 重大事故等時の環境条件
通常 相当 運転	温度	140℃-9日	124℃-9日 (=65℃※1-60年)	
	放射線 (集積線量)	500kGy(7.3kGy/h以下)	153kGy※2	
事故時 雰囲気 相当	放射線 (集積線量)	1500kGy(7.3kGy/h以下)	607kGy	500kGy
	温度	最高温度:190℃	最高温度:約122℃	最高温度:約138℃
	圧力	最高圧力:0.41MPa[gage]	最高圧力:約0.26MPa[gage]	最高圧力:約0.305MPa[gage]

※1:原子炉格納容器内でのケーブル周囲温度(約48℃)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した。なお、布設環境が
厳しい一部の難燃PHケーブルについては、使用条件に基づき温度メモリによる実測値(約50℃)に通電による温度上昇と若干の余裕を
加えた温度(68℃)で劣化条件を考慮しても、試験条件(140℃-9日)に包絡される。

※2:0.29[Gy/h] × (24 × 365.25)[h/y] × 60[y] = 153kGy

難燃PHケーブルの長期健全性試験結果

項目	試験条件	判定
屈曲浸水 耐電圧試験	供試体外径 :11.5mm マンドレル径:400mm 絶縁厚さ:0.8mm 課電電圧:2.6kV/5分間	良

(3) 健全性評価結果

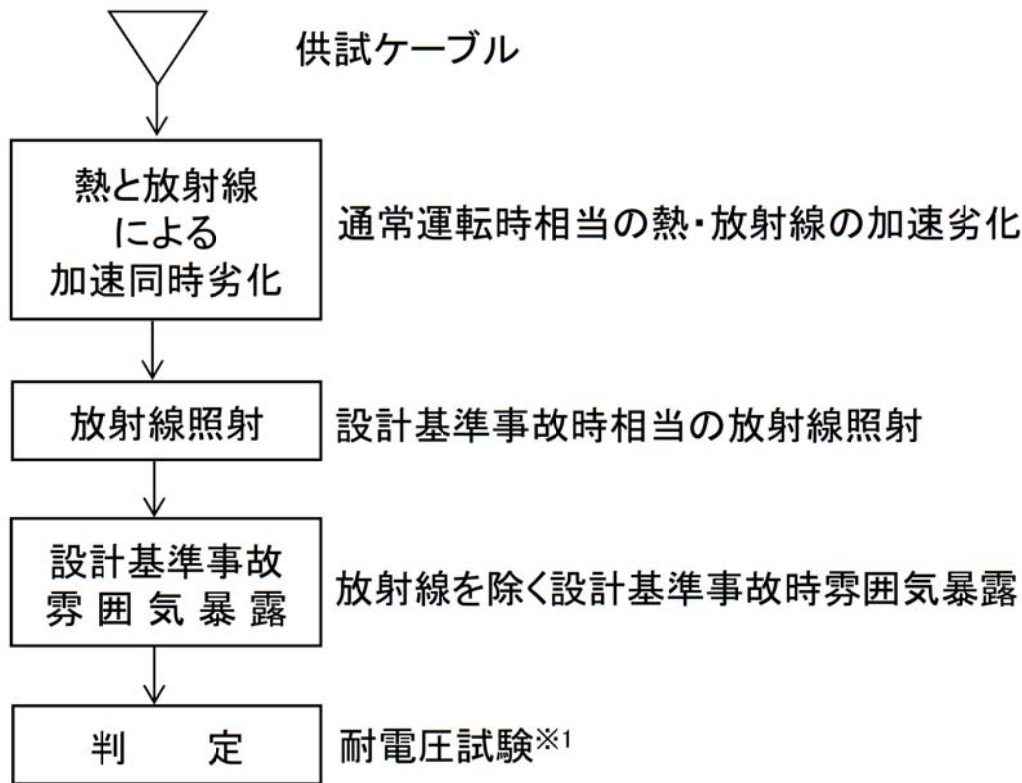
60年間の運転期間を想定した劣化条件を包絡した
試験(長期健全性試験)の結果、難燃PHケーブルは
運転開始後60年時点においても、絶縁機能を維持
できることを確認した。

3.1.1.2 ACAガイドによる健全性評価

(1) 試験手順並びに試験条件及び試験結果

原子力安全基盤機構により取りまとめられた「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。)に基づく試験手順を下図左に、試験条件及び試験結果を下図右に示す。

なお、評価にあたっては「原子力プラント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-SSLレポート)」の試験結果を用いた。



難燃PHケーブルの長期健全性試験手順

※1: 耐電圧試験は、日本工業規格「ゴム・プラスチック絶縁電線試験方法」(JIS C 3005:2000)の試験

難燃PHケーブルの長期健全性試験条件 (ACA試験条件:最大事前劣化条件)

		試験条件
通常 相当 運転	温度 放射線	100°C—94.8Gy/h—4003h
	放射線 (集積線量)	1500kGy (10kGy/h以下)
設計 基準 事故 相当	温度	最高温度:190°C
	圧力	最高圧力:0.41MPa[gage]

難燃PHケーブル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:1500V/1分間	良

3-1. 低圧ケーブル(難燃PHケーブル)の評価(5/6)

(2) 健全性評価結果

難燃PHケーブルは、一部の難燃PHケーブルを除いて運転開始後60年時点においても絶縁機能を維持できると判断するが、通路部に布設されている一部の難燃PHケーブルは、60年間の供用を想定すると、絶縁低下の可能性は否定できない。

高浜1号炉 実布設環境での長期健全性評価結果(難燃PHケーブル)

布設区分	実布設環境条件		評価期間 [年]※1、2	ケーブル 更新時期※4、5	更新を踏まえた評価 期間[年]
	温度 [°C]	放射線量率 [Gy/h]			
ループ室	50	0.0130	28 ※3	第27回定期検査時(2011年度～)	約65
加圧器室 上部	50	0.0005	99	—	—
通路部	47	0.0013	37 ※3	第27回定期検査時(2011年度～)	約74
	47	0.0002	38 ※3	第12回定期検査時(1990～1991年度)	約54

高浜2号炉 実布設環境での長期健全性評価結果(難燃PHケーブル)

布設区分	実布設環境条件		評価期間 [年]※1、2	ケーブル 更新時期※4、5	更新を踏まえた評価 期間[年]
	温度 [°C]	放射線量率 [Gy/h]			
ループ室	48	0.0202	31 ※3	第26回定期検査時(2010年度～)	約66
加圧器室 上部	48	0.0001	117	—	—
通路部	44	0.00001	47 ※3	—※6	約47

※1:稼働率100%での評価期間

※2:時間依存データの重ね合わせ手法により評価

※3:ケーブルトレイの温度上昇値を考慮して評価している。

※4:評価期間が60年を下回る場合に更新時期を記載

※5:更新時期は、実際に更新した定検回又はケーブル製造年月以降の至近定検回を記載

※6:更新時期が特定できなかったケーブルがあり、保守的に運転開始から使用されているものとして評価

3.1.2 現状保全

制御・計装用ケーブルについては、定期的に系統機器の動作に異常のないことを確認し、絶縁低下による機能低下がないことを確認している。また、電力用ケーブルについては、定期的に絶縁抵抗測定を行い、許容値以上であることを確認している。

3.1.3 総合評価

健全性評価結果から判断して、通路部に布設の一部の難燃PHケーブルを除いて、絶縁体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。

また、通路部に布設の一部の難燃PHケーブルについては、絶縁低下の可能性は否定できないが、ACAガイドに従った長期健全性評価結果から評価期間に至る前に取替等の措置を講じることで、絶縁体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。

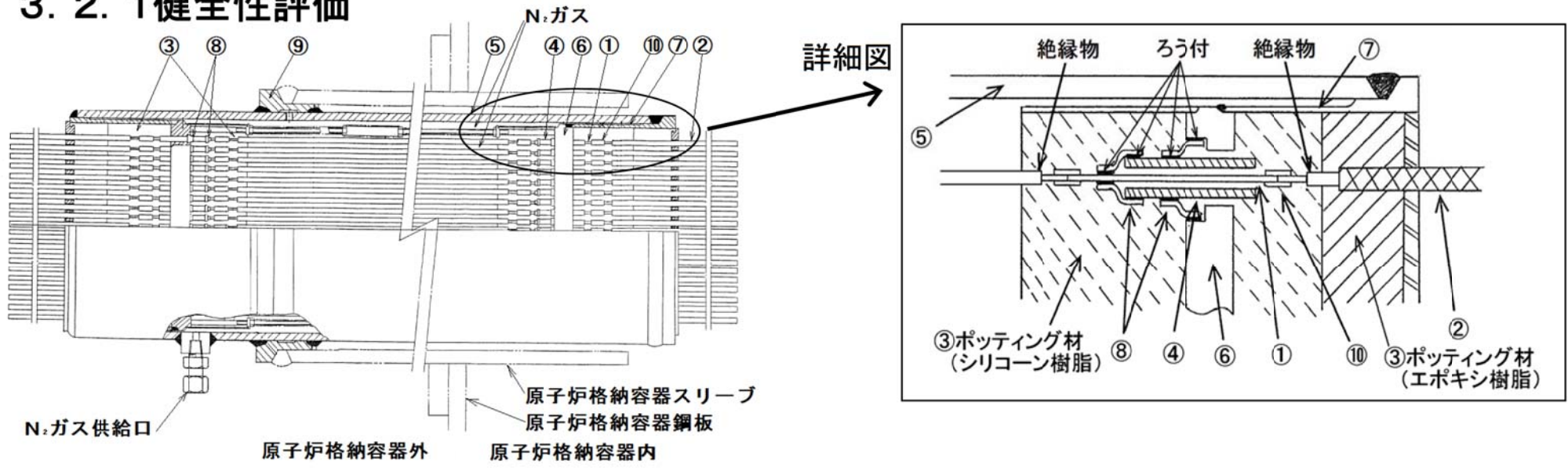
3.1.4 高経年化への対応

絶縁体の絶縁低下については、通路部に布設の一部の難燃PHケーブルを除いて、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。

通路部に布設の一部の難燃PHケーブルについては、追加保全項目として、ACAガイドに従った長期健全性評価結果から評価期間に至る前に取替等の措置を実施する。

3-2. 電気ペネトレーションの評価(1/3)

3.2.1 健全性評価



高浜1、2号炉 電気ペネトレーション(ピッグテイル型)構造図

高浜1、2号炉 電気ペネトレーション(ピッグテイル型)主要部位の使用材料

No	部 位	材 料
①	銅 棒	銅
②	外部リード	銅、絶縁物(シリコンゴム)
③	ポットイング材	シリコン樹脂、エポキシ樹脂
④	アルミナ磁器	Al ₂ O ₃ (アルミナ)
⑤⑥	本体、端板	ステンレス鋼
⑦	シュラウド	ステンレス鋼
⑧	封着金具	ニッケル合金
⑨	溶接リング	炭素鋼
⑩	スプライス	銅

高浜1、2号炉 電気ペネトレーション(ピッグテイル型)主要部位の使用条件

	通常運転時	設計基準事故時	重大事故等時
設置場所	原子炉格納容器内		
圧 力	約0.012MPa [gage]以下	約0.26MPa [gage] (最高圧力)	約0.305MPa [gage] (最高圧力)
温 度	約43℃※1	約122℃ (最高温度)	約138℃ (最高温度)
放 射 線	1.4mGy/h※2	607kGy (最大集積線量)	500kGy (最大集積線量)

※1: 通常運転時の原子炉格納容器内電気ペネトレーション周囲の平均温度の最大実測値
 ※2: 通常運転時の原子炉格納容器内電気ペネトレーション周囲の平均線量率の最大実測値

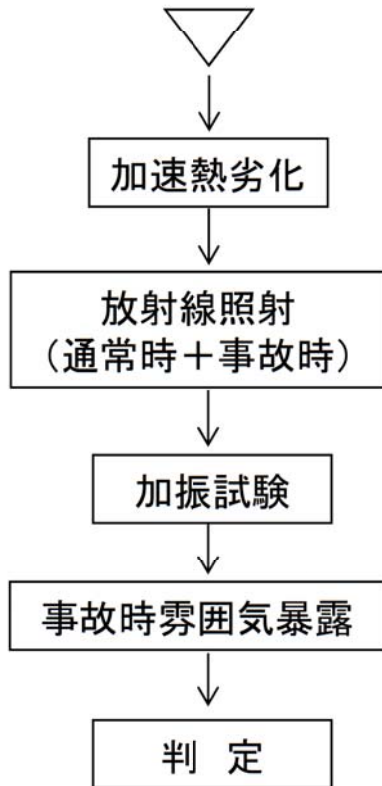
3-2. 電気ペネトレーションの評価(2/3)

(1) 評価手順、試験条件及び試験結果

電気ペネトレーション(ピッグテイル型)については、IEEE Std.323-1974に準拠した長期健全性試験を実施しており、この結果に基づき健全性評価を行う。具体的な試験手順、試験条件及び試験結果は以下に示す通り。

電気ペネトレーション(ピッグテイル型)の長期健全性試験条件

	試験条件	妥当性説明
加速熱劣化	条件: 125°C × 10日間	電気ペネトレーションの周囲温度(約43°C)に通電による温度上昇と若干の余裕を加えた温度(約60°C)で60年間の運転に相当する条件(ポッティング材: 111°C × 10日間)を包絡している。
放射線照射 (通常時+事故時)	平常時における集積線量と 事故時の放射線量を照射 条件: 0.5MGy(平常時) + 1.5MGy(事故時)	60年間の運転に予想される集積線量(0.736kGy)に設計基準事故時線量(0.607MGy)又は重大事故等時線量(0.500MGy)を加えた線量を包絡している。
加振試験	加速度1.8Gで加振	想定されるSd地震動による最大加速度(1号: 0.69G、2号: 0.70G)を包絡している。
事故時 雰囲気暴露	最高温度: 190°C 最高圧力: 0.414MPa 時間: ~15日間	設計基準事故時の最高温度(約122°C)、最高圧力(約0.26MPa)及び重大事故等時の最高温度(約138°C)、最高圧力(約0.305MPa)を包絡している。



電気ペネトレーション(ピッグテイル型)の長期健全性試験結果

	試験前	試験後	判定基準*1
絶縁抵抗	$1.5 \times 10^{11} \Omega$	$6.0 \times 10^{10} \Omega$	$1.0 \times 10^8 \Omega$ 以上

*1: IEEE Std.317-1976に基づく

電気ペネトレーション(ピッグテイル型) の長期健全性試験手順

(2)健全性評価結果

60年間の運転期間を想定した劣化条件を包絡した試験(長期健全性試験)の結果、電気ペネトレーション(ピッグテイル型)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ことを確認した。

3.2.2 現状保全

定期的にケーブル及び機器を含めた絶縁抵抗測定又は機器の動作確認を実施し、有意な絶縁低下のないことを確認している。

3.2.3 総合評価

ポッティング材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。

3.2.4 高経年化への対応

電気ペネトレーション(ピッグテイル型)ポッティング材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。

なお、一部の電気ペネトレーション(三重同軸型)については、実機相当品による長期健全性評価を実施した結果、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考えられるが、念のため、実機同等品による再評価又は取替を実施する。

5. 審査基準への適合状況

原子力規制委員会「実用発電用原子炉の運転の期間の延長の審査基準」(以下、審査基準)に規定されている延長しようとする期間における要求事項への適合状況を下表に示す。

延長しようとする期間における要求事項への適合状況

評価対象事象 又は 評価事項	要求事項	適合状況
電気・計装設備の 絶縁低下	点検検査結果による健全性評価の結果、評価対象の電気・計装設備に有意な絶縁低下が生じないこと。	絶縁抵抗測定等の現状保全を継続することにより、評価対象の電気・計装設備に有意な絶縁低下が生じないよう適切に管理していることから、要求事項に適合している。
	環境認定試験による健全性評価の結果、設計基準事故環境下で機能が要求される電気・計装設備に有意な絶縁低下が生じないこと。	ACAガイドやIEEE323等に準じた環境認定試験による健全性評価の結果、設計基準事故環境下で機能が要求される電気・計装設備に有意な絶縁低下が生じないことを確認していることから、要求事項に適合している。

なお、今後、高浜1/2号の工事計画認可申請の審査や補正の状況等を踏まえ、評価対象となる設備や評価手法の追加・変更があった場合には、劣化状況評価書に適切に反映していく。