

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)

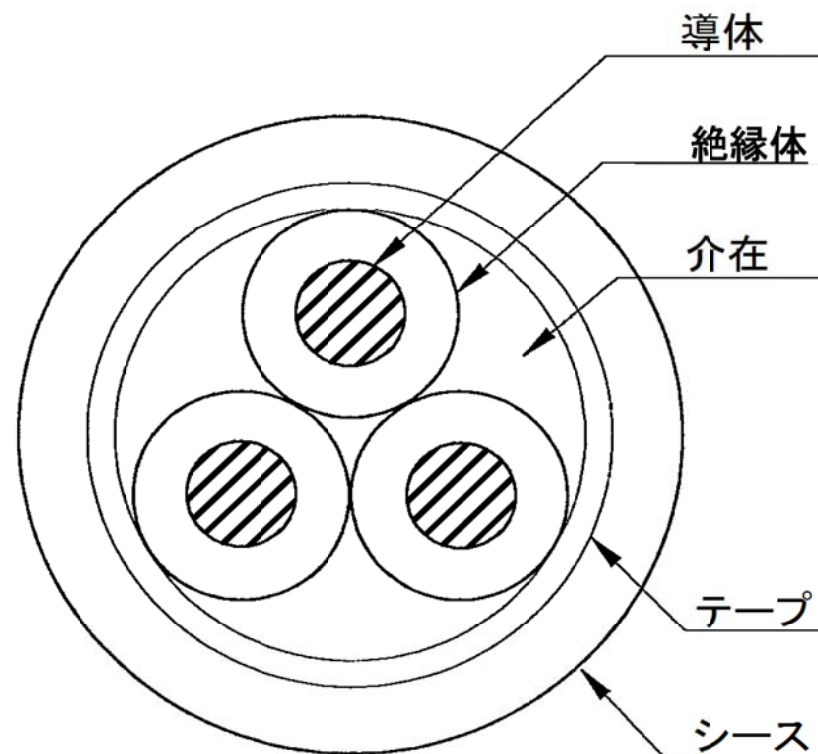
平成27年12月2日
関西電力株式会社

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.....	15
5. まとめ.....	20

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 高浜1、2号炉 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	過酷な事故時環境においても機能要求のある設備※	
			設計基準事故	重大事故等
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		

※:JEAG4623-2008「原子力発電所の安全系電気・計装品の耐環境性能の検証に関する指針」に基づき、適用範囲(対象設備)を検討

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)

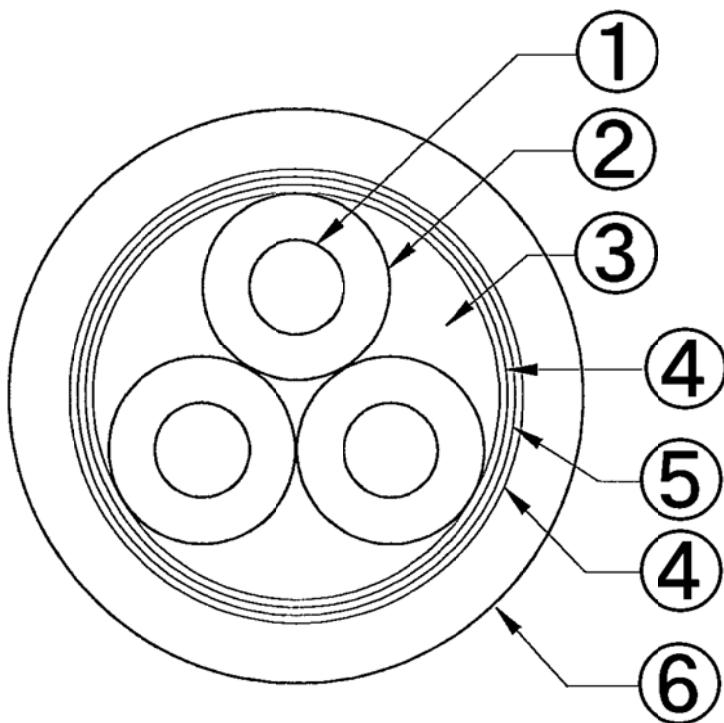
機器・構造物	評価対象設備	評価対象部位	過酷な事故時環境においても機能要求のある設備※	
			設計基準事故	重大事故等
計測制御設備	制御設備	計器用変流器他		
空調設備	空調モータ	固定子コイル他		
機械設備	空気圧縮装置	固定子コイル		
	燃料取扱設備	変圧器他		
	燃料移送設備	変圧器他		
電源設備	非常用ディーゼル発電設備	固定子コイル他		
	計器用電源設備	変圧器		
	制御棒駆動装置用電源設備	ばね蓄勢用モータ		

※:JEAG4623-2008「原子力発電所の安全系電気・計装品の耐環境性能の検証に関する指針」に基づき、適用範囲(対象設備)を検討

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

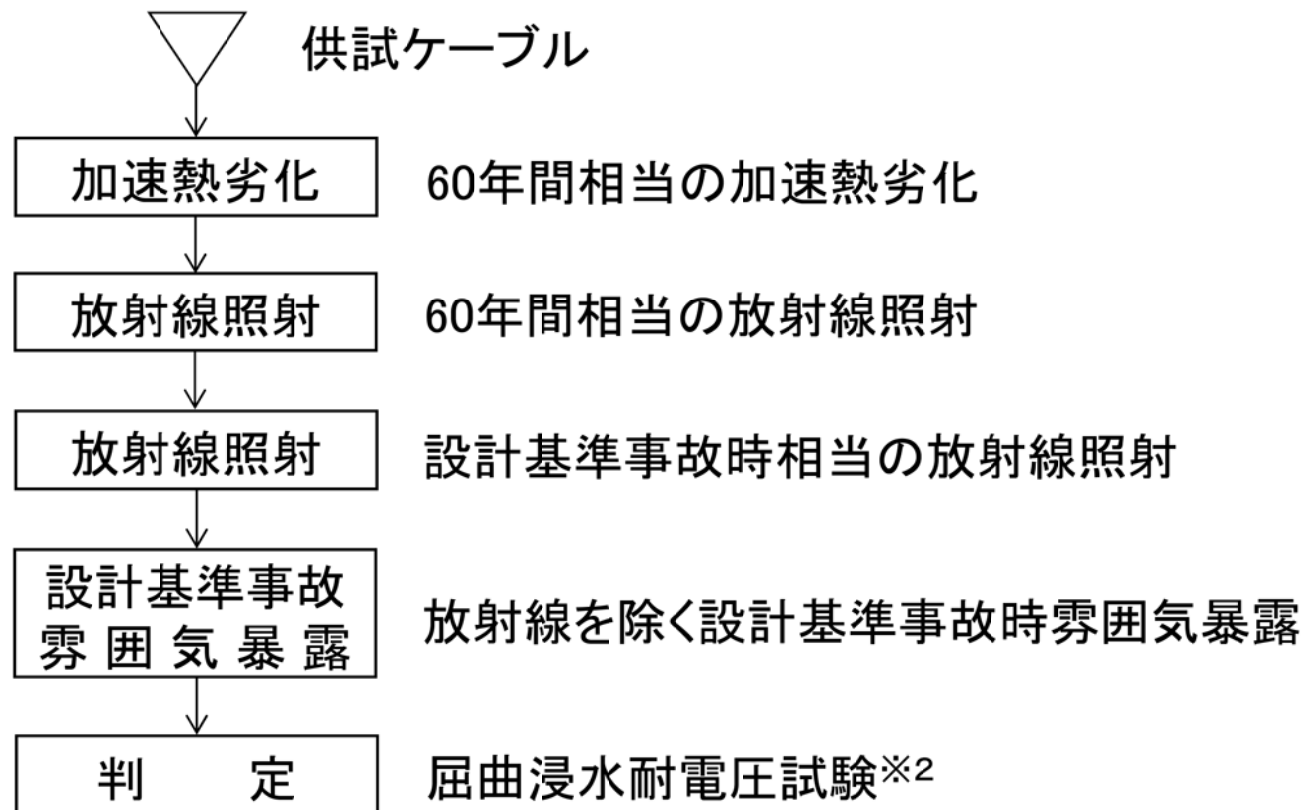
※2: 通常運転時の原子炉格納容器内ケーブル布設箇所周囲の平均温度の最大実測値

※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°C-9日	124°C-9日 (=65°C※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°C	最高温度:約122°C	最高温度:約138°C
	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°C)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°C)に通電による温度上昇と若干の余裕を
 加えた温度(68°C)で劣化条件を考慮しても、試験条件(140°C-9日)に包絡される。

※2: $0.29[\text{Gy/h}] \times (24 \times 365.25)[\text{h/y}] \times 60[\text{y}] = 153\text{kGy}$

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

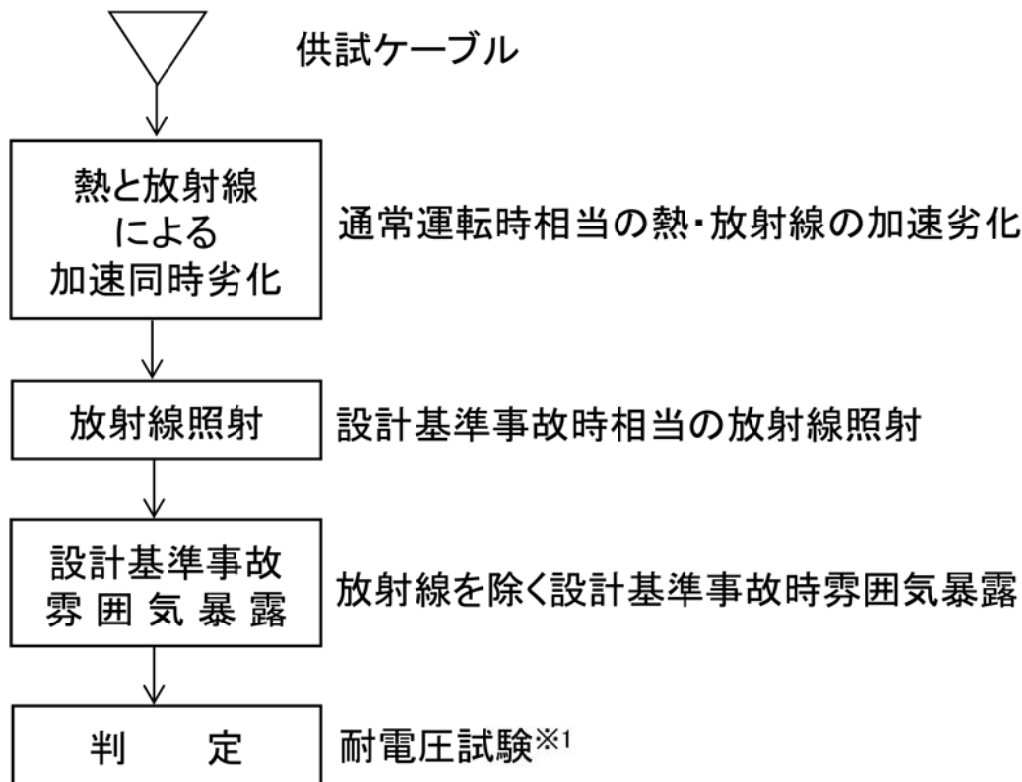
60年間の運転期間を想定した劣化条件を包絡した
 試験(長期健全性試験)の結果、難燃PHケーブルは
 運転開始後60年時点においても、絶縁機能を維持
 できることを確認した。

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に、試験条件及び試験結果を下表に示す。

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	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

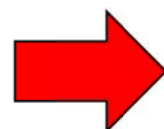
健全性評価結果から判断して、通路部に布設の一部の難燃PHケーブルを除いて、絶縁体の絶縁低下により機器の健全性に影響を与える可能性はないと考える。

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。

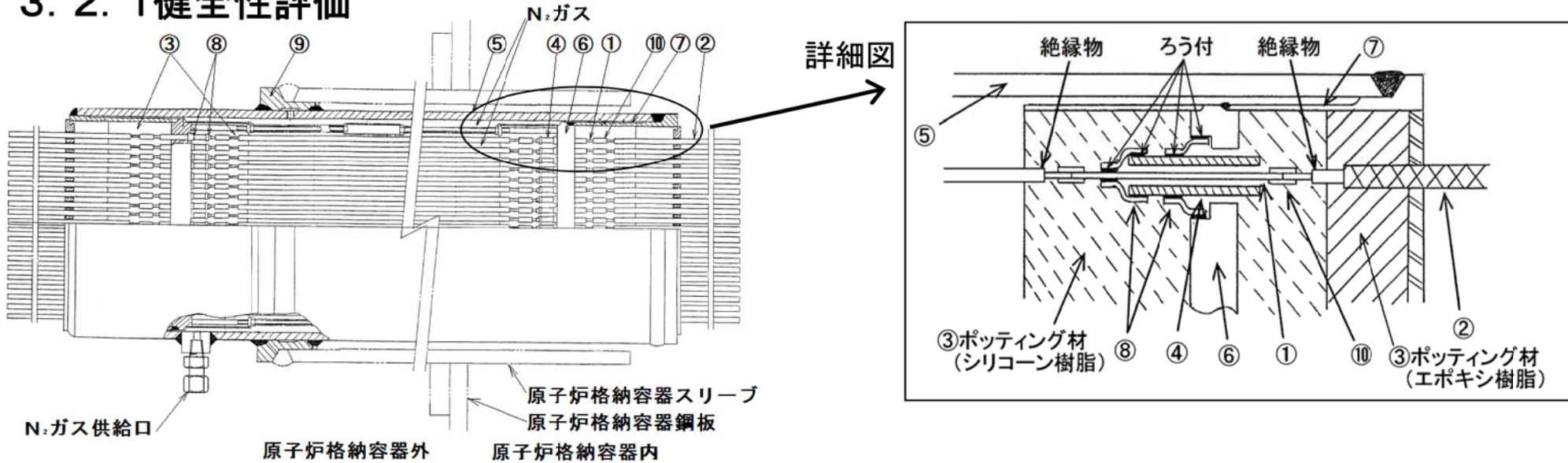
通路部に布設の一部の難燃PHケーブルについては、追加保全項目として、ACAガイドに従った長期健全性評価結果から評価期間に至る前に取替等の措置を実施する。



保守管理に関する方針として策定

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	ポッティング材	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)

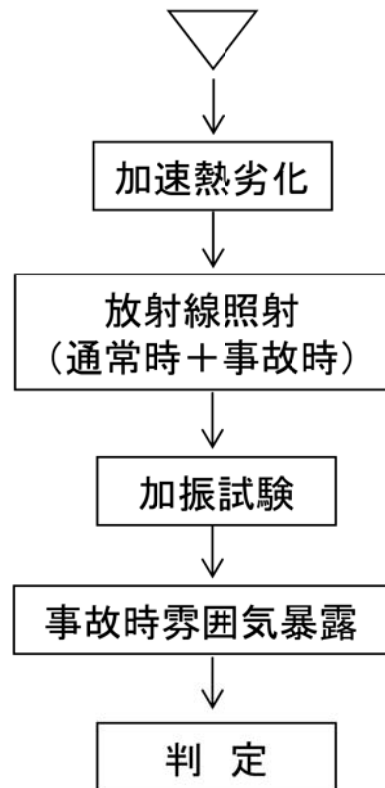
※1: 通常運転時の原子炉格納容器内電気ペネトレーション周囲の平均温度の最大実測値
 ※2: 通常運転時の原子炉格納容器内電気ペネトレーション周囲の平均線量率の最大実測値

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。なお、当該試験に供した電気ペネトレーションの外部リード(EPゴム絶縁)は、高浜1、2号炉で使われている外部リード(シリコンゴム絶縁)とは異なるため、別途実施した試験(※)との組み合わせにより健全性評価を行う。

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	ポッティング材 条件: 125°C × 10日間 外部リード 条件: 121°C × 7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下記条件を包絡している。 ・ポッティング材: 111°C × 10日間 ・外部リード : 119°C × 7日間
放射線照射	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

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

※: 外部リード(シリコンゴム)単体の試験であり、加速熱劣化、放射線照射及び事故時雰囲気暴露の後、屈曲浸水耐電圧試験にて健全性を確認。

	試験前	試験後	判定基準	項目	試験条件	判定
絶縁抵抗 (電気ペネトレーション)	$1.5 \times 10^{11} \Omega$	$6.0 \times 10^{10} \Omega$	$1.0 \times 10^8 \Omega$ 以上	屈曲浸水 耐電圧試験 (外部リード(シリコンゴム))	供試体外径 : 11.5mm マンドレル径: 400mm 絶縁厚さ: 0.76mm 課電電圧: 2.6kV/5分間	良

(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。

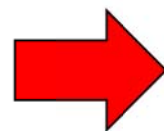
3.2.3 総合評価

ポッティング材及び外部リード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)ポッティング材及び外部リード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。



保守管理に関する方針として策定

4. 代表機器以外の評価結果

表2 高浜1、2号炉 電気・計装設備の絶縁低下評価結果(1/5)

評価対象設備	グループ内 代表機器	部位	グループ内 代表機器の健全性評価	現状保全	総合評価	高経年化への対応
高圧ポンプモータ	(1号) 海水ポンプモータ 充てん/高圧注入 ポンプモータ 電動補助給水 ポンプモータ (2号) 海水ポンプモータ 充てん/高圧注入 ポンプモータ 1次冷却水ポンプ モータ	固定子コイル 口出線・接続部品	ヒートサイクル試験により評価した耐用期間と経年機によるコイル破壊電圧の測定値を評価した耐用期間から、固定子コイルの運転に必要な絶縁耐力を保有する期間は、運転年数で18.5年と判断。運転年数で、18.5年以降に絶縁診断による傾向管理を強化し、健全性を確保。	絶縁診断(絶縁抵抗測定、直流吸収試験、tan δ 試験、部分放電試験)を実施。また、運転年数に基づき、直流吸収試験、tan δ 試験、部分放電試験の周期を短縮し、点検結果に基づき取替を実施。	絶縁低下は運転年数で18.5年以降において発生の可能性は否定できないが、現状保全を継続することにより、健全性の維持可能。	絶縁診断を実施していくとともに、運転年数と絶縁診断に基づいた取替を実施していく。
低圧ポンプモータ	ほう酸ポンプモータ	固定子コイル 口出線	経年機によるコイル破壊電圧の測定値を評価した耐用期間から、固定子コイルの運転に必要な絶縁耐力を保有する期間は、運転年数で16.5年と判断。	絶縁抵抗測定を実施。また、過去の点検結果に基づき、絶縁抵抗測定の周期を短縮し、必要により洗浄、乾燥、絶縁補修処理もしくは取替を実施。	絶縁低下は運転年数で16.5年以降において発生の可能性は否定できないが、現状保全を継続することにより、健全性の維持可能。	絶縁抵抗測定を実施していくとともに、点検結果に基づき、絶縁抵抗測定実施頻度の見直し及び必要に応じて洗浄、乾燥、絶縁補修処理もしくは取替を実施していく。
弁電動装置	ループ余熱除去系第1入口弁	固定子コイル 口出線・接続部品	長期健全性試験の結果、60年間の通常運転とその後の設計基準事故後においても、絶縁機能を維持できると判断。	絶縁抵抗測定を実施。	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。	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。
高圧ケーブル	難燃高圧CSHVケーブル	絶縁体	長期健全性試験の結果、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判断。	絶縁診断(絶縁抵抗測定、直流漏洩電流測定、tan δ 試験、シース絶縁抵抗測定、遮蔽層抵抗測定、部分放電試験)を実施。	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。	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。
		絶縁体 (水トリー劣化)	ケーブルが長時間浸水する可能性は低いが、トレンチ底部の溜まり水によって高湿度環境となることを考慮すると、水トリー劣化による絶縁低下の可能性は否定できない。	絶縁診断(絶縁抵抗測定、直流漏洩電流測定、tan δ 試験、シース絶縁抵抗測定、遮蔽層抵抗測定、部分放電試験)を実施。ケーブルトレンチの水溜り有無の目視確認を実施。	高湿度環境となることを考慮すると、絶縁体の絶縁低下(水トリー劣化)の可能性は否定できないが、水トリー劣化による絶縁低下は絶縁診断で、浸水状態は目視確認で検知可能であり、点検手法として適切。	絶縁診断を実施していくとともに、点検結果の傾向に基づき取替等を検討していく。さらに、トレンチ内の目視確認を実施していく。
低圧ケーブル	難燃KKケーブル	絶縁体	電気学会推奨案に基づく長期健全性試験の結果、60年間の通常運転とその後の設計基準事故後、または60年間の通常運転とその後の重大事故等時においても、絶縁機能を維持できると判断。また、ACAガイドに従った評価を実施し、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。	系統機器の動作確認または絶縁抵抗測定を実施。	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。	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。
	SHVVケーブル		電気学会推奨案に基づく長期健全性試験の結果、運転開始後60年間に於いて、絶縁機能を維持できると判断。			
	PAケーブル VVケーブル		絶縁低下の可能性は小さいと考えるが、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。			

4. 代表機器以外の評価結果

表2 高浜1、2号炉 電気・計装設備の絶縁低下評価結果(2/5)

評価対象設備	グループ内 代表機器	部位	グループ内 代表機器の健全性評価	現状保全	総合評価	高経年化への対応
同軸ケーブル	難燃三重同軸ケーブル	絶縁体 内部シース	電気学会推奨案に基づく長期健全性試験の結果、60年間の通常運転とその後の設計基準事故後、または60年間の通常運転とその後の重大事故等時においても、絶縁機能を維持できると判断。 また、ACAガイドに従った評価を実施し、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。	絶縁抵抗測定を実施。	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。	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。
	三重同軸ケーブル		電気学会推奨案に基づく長期健全性試験の結果、運転開始後60年間に於いて、絶縁機能を維持できると判断。			
ケーブル接続部	気密端子箱接続直ジョイント 三重同軸コネクタ-1接続	絶縁物等	長期健全性試験の結果、運転開始後60年間の通常運転とその後の設計基準事故後、または60年間の通常運転とその後の重大事故等時においても絶縁機能を維持できると判断。	系統機器の動作確認または絶縁抵抗測定を実施。	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。	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。
	原子炉格納容器外電動弁コネクタ接続		長期健全性試験の結果、運転開始後60年間に於いて、絶縁機能を維持できると判断。			
	高圧コネクタ接続		長期健全性試験を実施していないため、絶縁低下の可能性は否定できない。			
メタルクラッド 開閉装置 (メタクラ)	メタクラ(安全系)	ばね蓄勢用モータ	設置環境、作動時間から使用温度に比べて十分余裕のある絶縁種を使用していることから、絶縁低下の発生の可能性は小さいと考えるが、60年間の供用を想定すると絶縁低下が生じる可能性は否定できない。	絶縁抵抗測定を実施。	絶縁低下の可能性は否定できないが、絶縁低下は絶縁抵抗測定で検知可能であり、点検手法として適切。	絶縁抵抗測定を実施していく。
		計器用変流器 計器用変圧器	長期健全性試験の結果、運転開始後60年までの使用においても絶縁性能は維持できると評価。	絶縁抵抗測定を実施。	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。	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。
		保護リレー	同種保護リレーのサンプリング調査結果による評価の結果、保護リレーの入カトランスが試験の判定基準を満たす期間は約47年であり、絶縁低下の可能性は否定できない。	絶縁抵抗測定を実施。 2016年度までに取替予定。	健全性評価結果と更新計画から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。	2016年度までに保護リレーの更新を行う。
動力変圧器	動力変圧器(安全系)	コイル	長期健全性試験の結果から、急激な絶縁低下の可能性は小さいと考えるが、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。	絶縁抵抗測定を実施。	絶縁低下の可能性は否定できないが、絶縁低下は絶縁抵抗測定で検知可能であり、点検手法として適切。	絶縁抵抗測定を実施していく。

4. 代表機器以外の評価結果

表2 高浜1、2号炉 電気・計装設備の絶縁低下評価結果(3/5)

評価対象設備	グループ内 代表機器	部位	グループ内 代表機器の健全性評価	現状保全	総合評価	高経年化への対応
パワーセンタ	パワーセンタ(安全系)	ばね蓄勢用モータ	メタクラの評価と同様	同左	同左	同左
		保護リレー	メタクラの評価と同様	(1号) 絶縁抵抗測定を実施。 2015年度までに取替予定。 (2号) 絶縁抵抗測定を実施。 第27回定期検査(2010年度～)に更新。	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。	(1号) 2015年度までに保護リレーの更新を行う。 (2号) 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。
		計器用変圧器	メタクラの計器用変圧器の評価結果から、絶縁低下の可能性は小さいと考えるが、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。	絶縁抵抗測定を実施。	絶縁低下の可能性は否定できないが、絶縁低下は絶縁抵抗測定で検知可能であり、点検手法として適切。	絶縁抵抗測定を実施していく。
制御設備	非常用ディーゼル発電機制御盤	計器用変流器	メタクラの評価と同様	同左	同左	同左
		保護リレー	メタクラの評価と同様	(1号) 絶縁抵抗測定を実施。 第17回定期検査時(1997年度)に更新。更に、今後、製造中止対応のため、更新を行う計画。 (2号) 絶縁抵抗測定を実施。 第16回定期検査時(1996年度～1997年度)、第19回定期検査時(2000年度)に更新。更に、今後、製造中止対応のため、更新を行う計画。	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。	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。
		励磁装置	設備の納入後20年前後より絶縁抵抗の低下を生じる可能性が考えられ、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。	絶縁抵抗測定を実施し、20年経過後は精密点検としてtanδ測定、直流吸収比測定も実施。	絶縁低下の可能性は否定できないが、絶縁低下は、絶縁抵抗測定および精密点検で検知可能であり、点検手法として適切。	絶縁抵抗測定および精密点検を実施していく。

4. 代表機器以外の評価結果

表2 高浜1、2号炉 電気・計装設備の絶縁低下評価結果(4/5)

評価対象設備	グループ内 代表機器	部位	グループ内 代表機器の健全性評価	現状保全	総合評価	高経年化への対応
空調モータ	(1号) 制御建屋送気ファン モータ、制御建屋循 環ファンモータ (低圧モータ)	固定子コイル 口出線・接続部品	ヒートサイクル試験により評価した耐用期間と経年機によるコイル破壊電圧の測定値を評価した耐用期間から、固定子コイルの運転に必要な絶縁耐力を保有する期間は、運転年数で16年と判断。	絶縁抵抗測定を実施。また、過去の点検結果に基づき、絶縁抵抗測定の周期を短縮し、必要により洗浄、乾燥、絶縁補修処理もしくは取替を実施。	絶縁低下は運転年数で16年以降において発生の可能性は否定できないが、現状保全を継続することにより、健全性の維持可能。	絶縁抵抗測定を実施していくとともに、点検結果に基づき、絶縁抵抗測定実施頻度の見直し及び必要に応じて洗浄、乾燥、絶縁補修処理もしくは取替を実施していく。
	(2号) 補助建屋よう素除去 排気ファンモータ、非常用ディーゼル発電機室冷却ファンモータ (低圧モータ)					
	(1号のみ) チラーユニット用圧縮機モータ(高圧モータ)	固定子コイル 口出線・接続部品	高圧ポンプモータの評価と同様	同左	同左	同左
空気圧縮装置	計器用空気圧縮機	固定子コイル 口出線	低圧ポンプモータの評価と同様	同左	同左	同左
燃料取扱設備	燃料取換クレーン	固定子コイル	低圧ポンプモータの評価と同様の評価を適用できると考えられるが、設置環境は低圧ポンプモータと異なることから長期間の供用を想定すると絶縁低下の可能性も否定できない。	絶縁抵抗測定を実施。また、過去の点検結果に基づき、絶縁抵抗測定の周期を短縮し、必要により洗浄、乾燥、絶縁補修処理もしくは取替を実施。	絶縁低下の可能性は否定できないが、絶縁低下は、絶縁抵抗測定で検知可能であり、点検手法として適切。	絶縁抵抗測定を実施していくとともに、点検結果に基づき、絶縁抵抗測定実施頻度の見直し及び必要に応じて洗浄、乾燥、絶縁補修処理もしくは取替を実施していく。
		電磁ブレーキ	使用温度に比べて十分余裕のある絶縁種を使用していることから、絶縁低下の発生の可能性は小さいと考えるが、60年間の供用を想定すると絶縁低下が生じる可能性は否定できない。	絶縁抵抗測定を実施。	絶縁低下の可能性は否定できないが、絶縁低下は、絶縁抵抗測定で検知可能であり、点検手法として適切。	絶縁抵抗測定を実施していく。
		指速発電機	使用温度に比べて十分余裕のある絶縁種を使用していることから、絶縁低下の発生の可能性は小さいと考えるが、60年間の供用を想定すると絶縁低下が生じる可能性は否定できない。	絶縁抵抗測定を実施。	絶縁低下の可能性は否定できないが、絶縁低下は、絶縁抵抗測定で検知可能であり、点検手法として適切。	絶縁抵抗測定を実施していく。
		変圧器	長期健全性試験の結果、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判断。	絶縁抵抗測定を実施。	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。	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。

4. 代表機器以外の評価結果

表2 高浜1、2号炉 電気・計装設備の絶縁低下評価結果(5/5)

評価対象設備	グループ内 代表機器	部位	グループ内 代表機器の健全性評価	現状保全	総合評価	高経年化への対応
燃料移送装置	燃料移送装置	モータ(低圧)の固定子 コイル	燃料取換クレーンの評価と同様	同左	同左	同左
		電磁ブレーキ	燃料取換クレーンの評価と同様	同左	同左	同左
		変圧器	燃料取換クレーンの評価と同様	同左	同左	同左
ディーゼル 発電設備	非常用ディーゼル発 電機	固定子コイル(高圧) 口出線・接続部品	高圧ポンプモータの評価と同様。 運転時間は年間約30時間であるが、長期間の運 転を想定すると絶縁低下の可能性は否定できな い。	絶縁診断(絶縁抵抗測定、直流 吸収試験、tan δ試験、部分放 電試験)により傾向管理を実施。 また、絶縁診断の結果に基づき 取替えを実施。	絶縁低下の可能性は否定できないが、絶 縁低下は絶縁診断で検知可能であり、点 検手法として適切。	絶縁診断を実施していくととも に、点検結果に基づき取替を実 施していく。
		回転子コイル(低圧) 口出線・接続部品	低圧ポンプモータの評価と同様。 運転時間は年間約30時間であるが、長期間の運 転を想定すると絶縁低下の可能性は否定できな い。	絶縁抵抗測定を実施。また、過 去の点検結果に基づき、絶縁抵 抗測定の結果に基づき、必要に より洗浄、乾燥、絶縁補修処理 もしくは取替を実施。	絶縁低下は運転年数で16.5年以降にお いて発生の可能性は否定できないが、現 状保全を継続することにより、健全性の維 持可能。	絶縁抵抗測定を実施していくと ともに、点検結果に基づき、必 要に応じて洗浄、乾燥、絶縁補 修処理もしくは取替えを実施し ていく。
	非常用ディーゼル機 関付属設備(ポンプ)	固定子コイル 口出線	低圧ポンプモータの評価と同様	同左	同左	同左
計器用電源設備	安全系インバータ	変圧器	使用温度に比べて十分余裕のある絶縁種を使用し ていることから、絶縁低下の発生の可能性は小さい と考えるが、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。	絶縁抵抗測定を実施。	絶縁低下の可能性は否定できないが、絶 縁低下は、絶縁抵抗測定で検知可能であ り、点検手法として適切。	絶縁抵抗測定を実施していく。
制御棒駆動装置用 電源設備	原子炉トリップ遮断器	ばね蓄勢用モータ	メタクラの評価と同様	同左	同左	同左

5. まとめ

以上の評価結果について、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との対比を下表に示す。

延長しようとする期間における要求事項との対比

評価対象事象 又は 評価事項	要求事項	健全性評価結果
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。	「4. 代表機器以外の評価結果」に示す通り、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管理を実施。
	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。	「“3. 1. 1”、“3. 2. 1”健全性評価」や「4. 代表機器以外の評価結果」に示す通り、事故時環境(設計基準事故・重大事故等)下で機能が要求される電気・計装設備については、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及び追加保全策の実施を考慮した結果、有意な絶縁低下が生じないことを確認。

(参考1) 保守管理に関する方針として策定する事項

電気・計装品の絶縁低下に関しては、個別機器の評価結果を踏まえ、保守管理に関する方針を下表の通り定め、運転期間延長認可申請書の添付資料三「保守管理に関する方針書」にて記載するとともに、当該方針を長期保守管理方針として高浜発電所原子炉施設保安規定に定め、確実に実施していく。

No.	保守管理に関する方針	実施時期※
1	三重同軸型電気ペネトレーションのポッティング材および外部リードの絶縁低下については、実機同等品による再評価または取替を実施する。	短期(1、2号炉)
2	低圧ケーブルの絶縁低下については、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。 *:原子力安全基盤機構「原子力発電所のケーブル経年劣化評価ガイド JNES-RE-2013-2049」	中長期(1号炉) 短期(2号炉)

※:実施時期は以下の期限を示す。

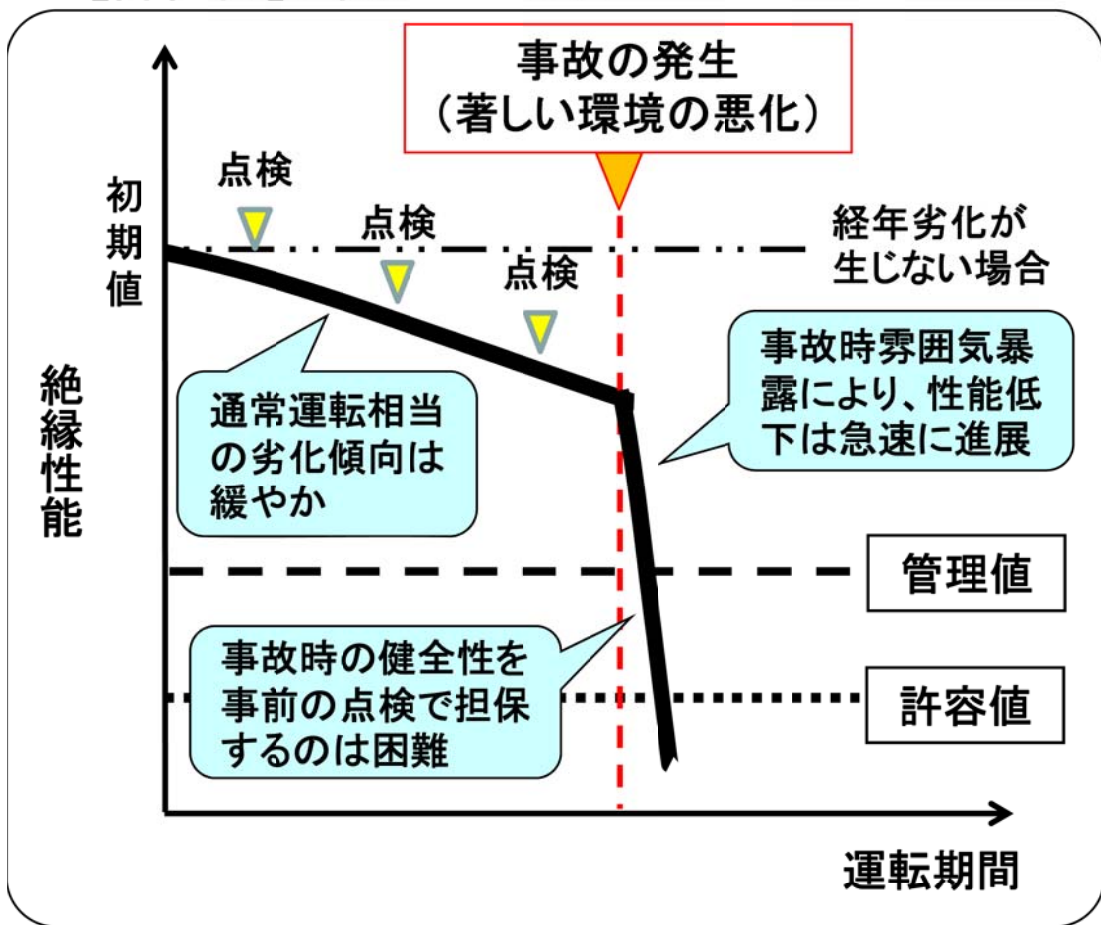
高浜1号炉:平成26年11月14日からの5年間を「短期」、同10年間を「中長期」、同20年間を「長期」とする。

高浜2号炉:平成27年11月14日からの5年間を「短期」、同10年間を「中長期」、同20年間を「長期」とする。

(参考2) 事故時機能要求のある設備の健全性評価

○ 評価対象機器：電気^レ補^レレーション、弁電動装置、ケーブル等

【評価例】：低圧ケーブル



絶縁低下のイメージ図



長期健全性試験手順(例)

事故時雰囲気内で機能要求のある電気・計装設備は、定期的な点検による健全性確認だけでなく、60年間の通常運転環境内での経年劣化による絶縁低下と事故時雰囲気内での絶縁低下を模擬した「長期健全性試験」にて、健全性評価が必要である。