

資料〇-〇-〇



美浜発電所 3号炉 劣化状況評価 電気・計装品の絶縁低下

関西電力株式会社

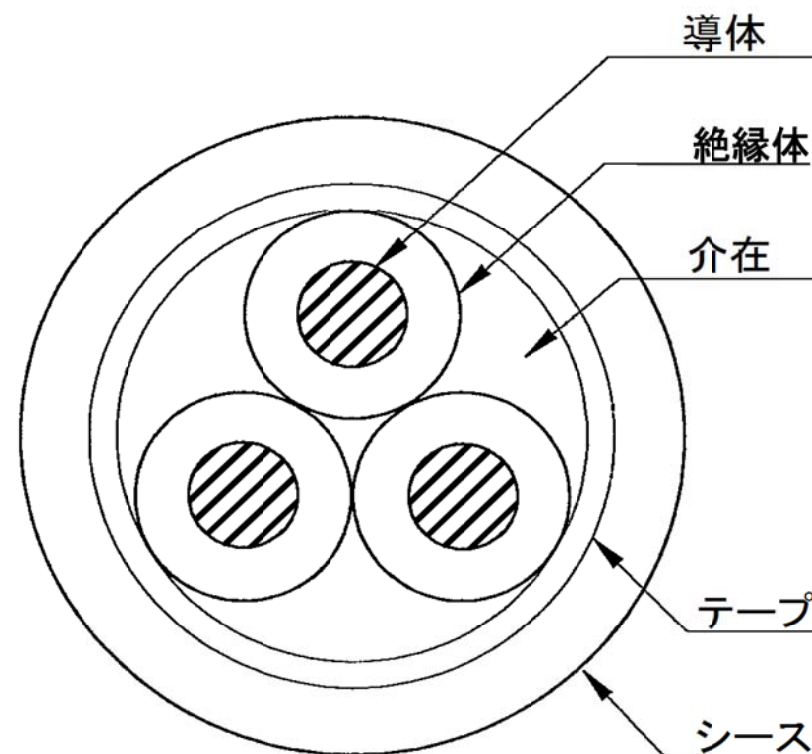
平成28年7月14日

1. 高浜1, 2号炉の運転期間延長審査を踏まえた反映事項.....	2
2. 電気・計装品の絶縁低下について.....	3
3. 審査会合における代表機器の選定.....	4
4. 電気・計装品の絶縁低下の評価	
4. 1 高圧ポンプモータ(海水ポンプモータ)の評価.....	7
4. 2 低圧ケーブル(難燃PHケーブル)の評価.....	13
5. 代表機器以外の評価結果.....	20
6. まとめ.....	25

分類	反映事項	頁
評価内容に関わる事項	高浜1, 2号炉では、当該プラントの温度・放射線条件から、ACAガイドに基づく評価を行った結果、一部のケーブルで60年までの健全性を確認できなかったため「保守管理に関する方針」としてケーブルの取替えを策定した。美浜3号炉では、温度・放射線条件が異なり、全てのケーブルで60年までの健全性を確認できたため、「保守管理に関する方針」として策定する事項がなかった。	18 ～ 19

2. 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。

3. 審査会合における代表機器の選定(1/3)

3.1 代表機器の選定

電気・計装品の絶縁低下が想定される機器は多数存在するため、劣化状況評価では、評価対象となる機器の中から代表機器を選定して評価を行う。評価対象機器、代表機器は、以下の手順にて選定する。

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。

2: 対象設備のグループ化及び代表機器の選定

劣化状況評価書では、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。

3: 絶縁低下の審査会合における代表機器の選定

絶縁低下評価においては、設備の重要度及び設置環境(熱・放射線、事故時環境)を考慮し、屋外に設置されており、点検検査結果により健全性評価を行っている「高圧ポンプモータ(海水ポンプモータ)」及び事故時環境下で機能が要求され、環境認定試験による健全性評価を行っている「難燃PHケーブル」を代表例として選定し、具体的な評価内容を説明する。

①高圧ポンプモータ(海水ポンプモータ)

重要度クラス1の設備であり、屋外の環境にある設備。点検検査結果により、健全性を確認。

②低圧ケーブル(難燃PHケーブル)

重要度クラス1の設備であり、使用条件が厳しい設備。環境認定試験により、健全性を確認。

上記の代表2機器について、以降、美浜3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 美浜3号炉 電気・計装設備の絶縁低下の評価結果一覧」に示す。

3. 審査会合における代表機器の選定(2/3)

表1 美浜3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

3. 審査会合における代表機器の選定(3/3)

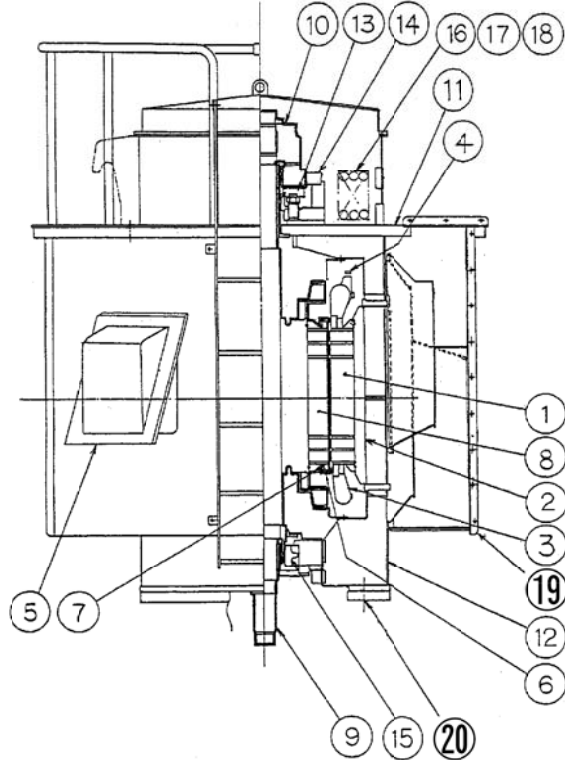
表1 美浜3号炉 評価対象設備(電気・計装設備)(2/2)

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

4. 1 高圧ポンプモータ(海水ポンプモータ)の評価(1/6)

4. 1. 1 健全性評価



注：太線が回転部を示す。

美浜3号炉 海水ポンプモータ構造図

美浜3号炉 海水ポンプモータ使用条件

定格出力	580 kW
周囲温度	約40℃*1
放射線	0.9 × 10 ⁻³ Gy/h*2
定格電圧	6600 V
定格回転数	885 rpm

*1: 通年の最高温度を考慮した雰囲気温度
*2: 通常運転時の管理区域内の最大実測値

美浜3号炉 海水ポンプモータ主要部位の使用材料

No.	部 位	材 料
①	固定子コア	珪素鋼板
②	フレーム	炭素鋼
③	固定子コイル	銅、マイカ、エポキシ樹脂 (F種絶縁)
④	口出線・接続部品	銅、シリコンゴム、マイカ、エポキシ樹脂 (F種絶縁)
⑤	端子箱	炭素鋼
⑥	エンドリング	銅合金
⑦	回転子棒	銅合金
⑧	回転子コア	珪素鋼板
⑨	主 軸	炭素鋼
⑩	ランナ	鋳 鉄
⑪	上部ブラケット	炭素鋼
⑫	下部ブラケット	炭素鋼
⑬	スラスト軸受 (すべり)	消耗品・定期取替品
⑭	上部ガイド軸受 (すべり)	消耗品・定期取替品
⑮	下部ガイド軸受 (すべり)	消耗品・定期取替品
⑯	油冷却器伝熱管	チタン
⑰	油冷却器水室	チタン
⑱	油冷却器管板	チタン
⑲	屋外カバー	炭素鋼
⑳	取付ボルト	炭素鋼

4. 1 高圧ポンプモータ(海水ポンプモータ)の評価(2/6)

高圧ポンプモータ(海水ポンプモータ)の健全性評価は以下に示す2つの方法により実施した。その結果(管理強化の目安値)を基に絶縁診断による傾向管理を強化することで機器の健全性を確保している。

高圧ポンプモータ(海水ポンプモータ)の健全性評価

	ヒートサイクル試験による健全性評価	経年機のコイル破壊電圧測定試験による健全性評価
概要	供試固定子コイルに加熱等の繰り返しサイクルを加える方法にて測定した耐熱寿命を基にアレニウス則から評価対象機器の実機環境に換算した耐用期間を評価する。 (⇒ <input type="text" value="9"/> 、 <input type="text" value="10"/>)	異なる環境条件の実機で使用された複数の高圧モータの固定子コイルの絶縁破壊電圧を測定し、絶縁破壊値の運転年数に対する低下傾向から耐用期間を評価する。 (⇒ <input type="text" value="11"/>)
結果	耐用期間(管理強化の目安)は約20年 (稼働率100%で19.95年)	耐用期間(管理強化の目安)は運転年数で 18.5年
評価	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、健全性を確保している。	

4. 1 高圧ポンプモータ(海水ポンプモータ)の評価(3/6)

4. 1. 1. 1 ヒートサイクル試験による健全性評価

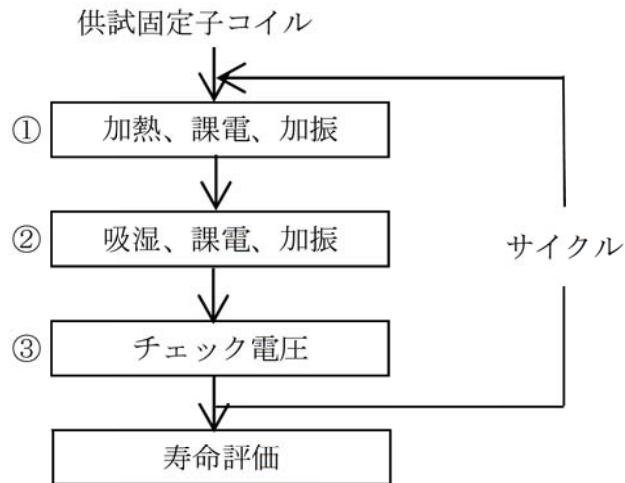
(1) 評価手順及び試験条件

高圧ポンプモータと同種の一般的な固定子コイルの絶縁低下に対する評価方法を用いる。ここでは、IEEE(米国電気電子学会) Std.275-1981の規格に基づき実施した評価試験(ヒートサイクル試験)結果より固定子コイルの長期健全性を評価した。

IEEE Std.275-1981では、熱、機械、環境及び電気の各劣化要因について個々に試験条件が述べられているが、モータはこれらの劣化要因が複合するため、複合劣化の試験条件で固定子コイルの長期健全性を評価する。ヒートサイクル試験の試験手順、試験条件及びヒートサイクル方法例を以下に示す。

ヒートサイクル試験条件

手順	試験項目	試験条件 1	試験条件 2	実機設計条件
①	温度	170℃×2時間(加熱1.5h、冷却0.5h、at80%RH)	190℃×2時間(加熱1.5h、冷却0.5h、at80%RH)	最大145℃
	電圧	6.6kV-常時印加	6.6kV-常時印加	6.6kV
	振動	1.5G-常時加振	1.5G-常時加振	1G以下
②	湿度	100%RH-40時間 (at 50℃)	100%RH-40時間 (at 50℃)	最大RH100% (at 40℃)
	電圧	6.6kV-常時印加	6.6kV-常時印加	6.6kV
	振動	1.5G-常時加振	1.5G-常時加振	1G以下
③	チェック電圧	対地間 1.5×E=9.9kV-1分間 線間 150V-1分間	対地間 1.5×E=9.9kV-1分間 線間 150V-1分間	——



ヒートサイクル長期健全性評価手順

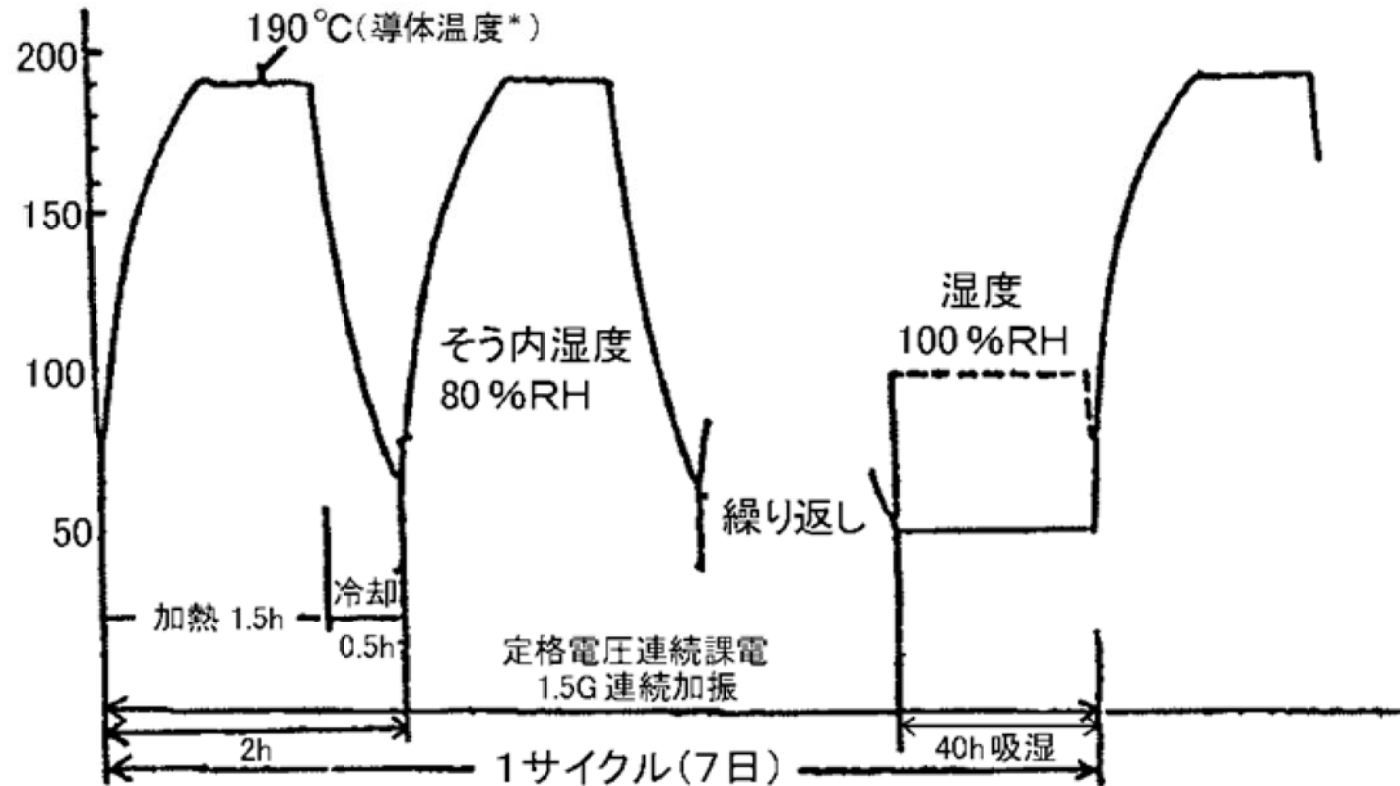
4.1 高圧ポンプモータ(海水ポンプモータ)の評価(4/6)

(2) 試験結果

供試高圧ポンプモータの固定子コイルについて、評価手順①(64回程度の繰返し)、②、③を1サイクルとし、コイル絶縁がチェック電圧で破壊するまで繰返して、170℃及び190℃での耐熱寿命を基にアレニウス則*1が成り立つと仮定して定数A、Bを求め、耐熱寿命曲線を得る。

*1:アレニウス則

$$\log Y = -A + \frac{B}{273 + t}$$



*:絶縁体温度170℃×2時間相当)

この耐熱寿命曲線は、モータに適用している絶縁固有の特性を表す。

ヒートサイクル方法例(試験条件1)

この式に当該モータの運転温度*2t(℃)を代入して、寿命を求める。
この寿命で耐用期間(管理強化の目安)を決定する。

*2:運転温度

運転温度は、使用最高温度を用いる。

使用最高温度=周囲温度+固定子コイルの温度上昇+測定ポイントとホットスポットとの差(マージン)

これらの結果、耐用期間(管理強化の目安)は、評価結果より、約20年(稼働率100%で19.95年)と判断する。

4. 1 高圧ポンプモータ(海水ポンプモータ)の評価(5/6)

4. 1. 1. 2 経年機のコイル破壊電圧測定試験による健全性評価

(1) 試験方法及び試験条件

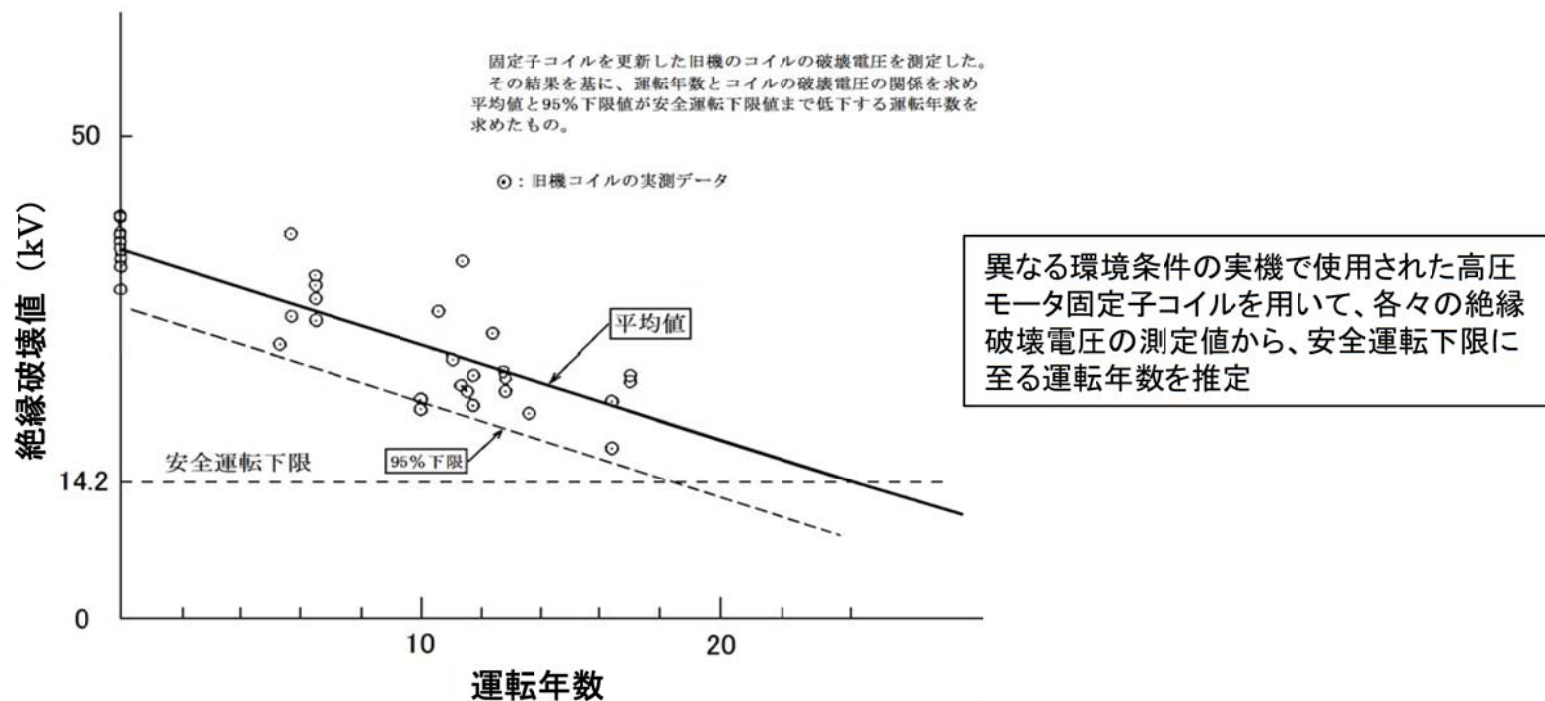
実機で使用されていた高圧モータ(6. 6kV級)で、固定子コイル破壊電圧を測定し、安全運転下限に低下するまでの期間を評価する。ここでは、JEC-2100の規格に基づき安全運転下限値*を決定し、固定子コイルの長期健全性を評価した。

*: $2E+1=2 \times 6. 6[kV]+1[kV]=14. 2[kV]$

(2) 試験結果

コイル破壊電圧の測定値を評価した結果が、運転年数*と絶縁破壊値の関係として、下図のように求められる。

*: 稼働率等を考慮に入れた年数 = 運転時間(年) + 休止時間(年) / 休止係数



この評価からコイル破壊電圧の平均値と95%信頼下限が安全運転下限に低下するのが18. 5~24年となるため、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年と判断する。

4. 1. 2 現状保全

固定子コイル及び口出線・接続部品の絶縁低下に対しては、定期的な絶縁診断として絶縁抵抗測定及び直流吸収試験、 $\tan\delta$ 試験、部分放電試験により、管理範囲に収まっていることの確認を行うとともに、傾向管理を行っている。

また、運転年数に基づき、直流吸収試験、 $\tan\delta$ 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することとしている。

なお、予防保全のため、海水ポンプモータについては第18回定期検査時(2000年度)及び第21回定期検査時(2004～2006年度)に全台(4台)の固定子の取替を行っている。

4. 1. 3 総合評価

健全性評価結果から判断して、固定子コイル及び口出線・接続部品の絶縁低下については機器の運転年数で18.5年以降において発生の可能性は否定できないが、絶縁診断による傾向管理を強化し健全性を確保している。また、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である。

4. 1. 4 高経年化への対応

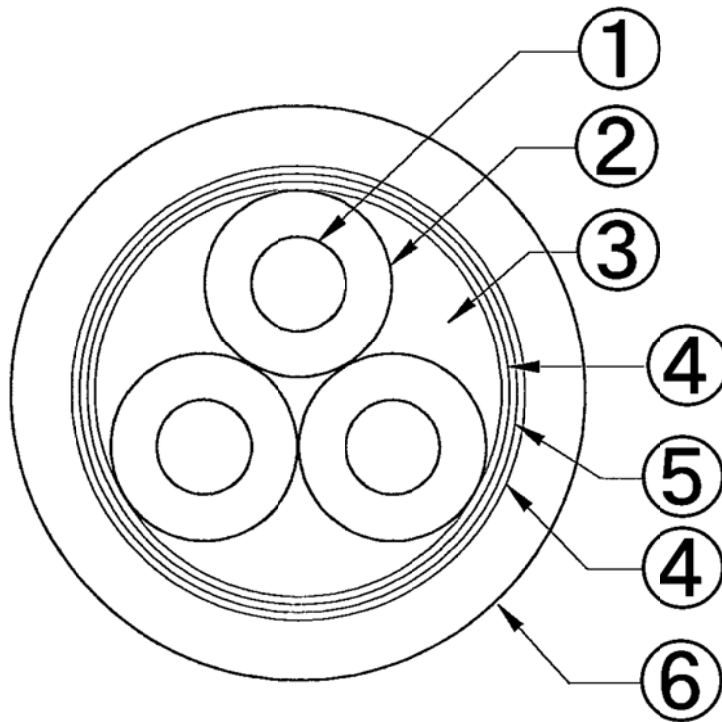
固定子コイル及び口出線・接続部品の絶縁低下については、定期的に絶縁診断を実施していくとともに、機器の運転年数と絶縁診断に基づいた取替を実施していく。

4. 2 低圧ケーブル(難燃PHケーブル)の評価(1/7)

4. 2. 1 健全性評価

美浜3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



美浜3号炉
難燃PHケーブル構造図

美浜3号炉 難燃PHケーブルの使用条件※1

	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		
周囲温度	約41℃※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. 39Gy/h※3	607kGy (最大集積線量)	500kGy (最大集積線量)

※1:環境条件が厳しい原子炉格納容器内ケーブルを代表として記載

※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

4.2 低圧ケーブル(難燃PHケーブル)の評価(2/7)

低圧ケーブル(難燃PHケーブル)の健全性評価は以下に示す2つの方法により実施した。その結果より、機器の健全性を確保している。

低圧ケーブル(難燃PHケーブル)の健全性評価

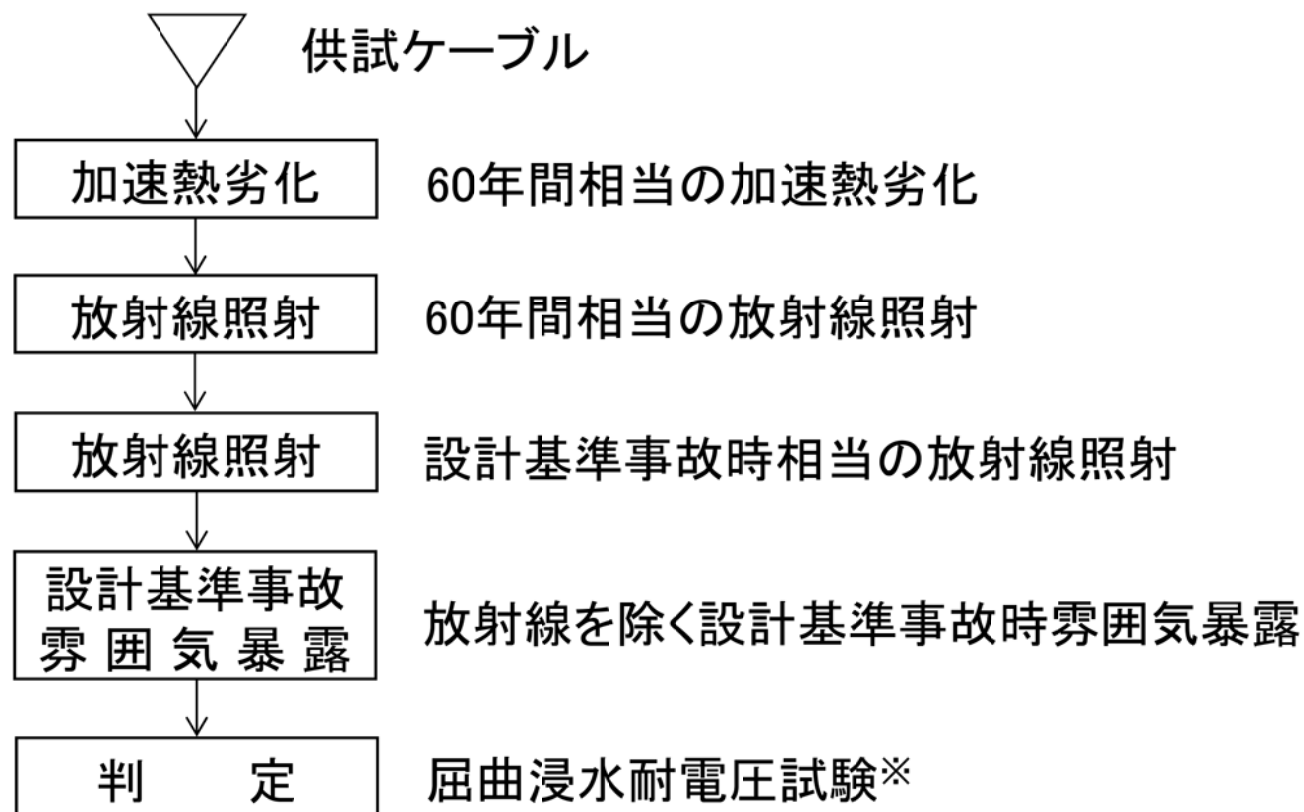
	電気学会推奨案による健全性評価	ACAガイドによる健全性評価
概要	<p>IEEE Std.323-1974及びIEEE Std.383-1974の規格を根幹にした、電気学会技術報告Ⅱ部第139号「原子力発電所用電線・ケーブルの環境試験方法ならびに耐延焼性試験方法に関する推奨案」(電気学会推奨案)に基づき評価を行う。</p> <p>(⇒ 15、16)</p>	<p>平成26年2月に、原子力安全基盤機構により取りまとめられた「原子力発電所のケーブル経年劣化評価ガイド(JNES-RE-2013-2049)」(「ACAガイド」という。)に基づき評価を行う。</p> <p>(⇒ 17、18)</p>
結果	60年以上の健全性を確認。	60年以上の健全性を確認。
評価	各種規格に基づく試験を実施した結果、60年以上の健全性を確認。	

4. 2 低圧ケーブル(難燃PHケーブル)の評価(3/7)

4. 2. 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に基づく試験手順及び判定方法を以下に示す。



- ※: 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。

難燃PHケーブルの長期健全性試験手順

4.2 低圧ケーブル(難燃PHケーブル)の評価(4/7)

(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
相当 通常運転	温度	140°C-9日	107°C-9日 (=53°C※1-60年)	
	放射線 (集積線量)	500kGy(7.3kGy/h以下)	206kGy※2	
相当 事故時 雰囲気	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41°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。

※2: $0.39[\text{Gy/h}] \times (24 \times 365.25)[\text{h/y}] \times 60[\text{y}] = 206\text{kGy}$

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

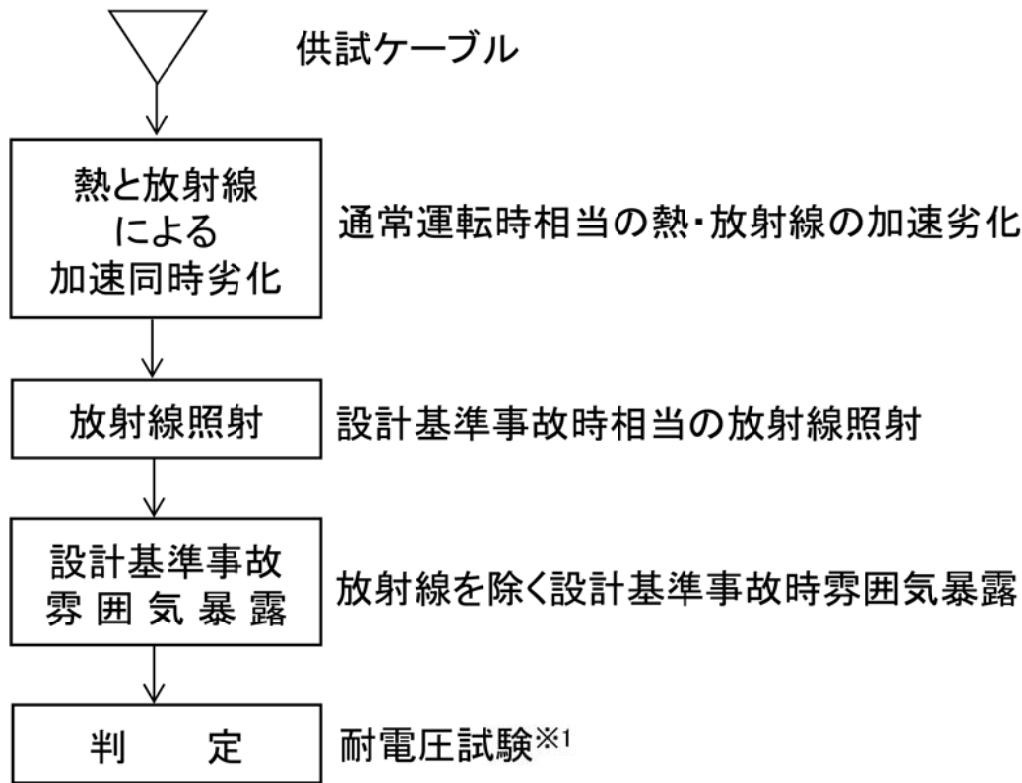
60年間の運転期間を想定した劣化条件を包絡した試験(長期健全性試験)の結果、難燃PHケーブルは運転開始後60年時点においても、絶縁機能を維持できることを確認した。

4.2.1.2 ACAガイドによる健全性評価

(1) 試験手順並びに試験条件

ACAガイド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

4.2 低圧ケーブル(難燃PHケーブル)の評価(6/7)

(2) 試験結果

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と判断する。

美浜3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
	温度 [°C]	放射線量率 [Gy/h]	
ループ室	31	0.3882	<u>75</u>
加圧器室上部	51	0.0016	<u>90</u>
通路部	41	0.0014	<u>78</u> *3
MS区画*4	40	0.0013	<u>200</u>

*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:主蒸気配管・主給水配管中間建屋区画及び主蒸気配管ディーゼル建屋区画

高浜1、2号とは異なり、保守管理に関する方針の対象となるケーブルは抽出されなかった。

要因:環境温度・放射線条件の違い(美浜3号は格納容器内通路部などの環境温度が低い)
ケーブルトレイの温度上昇の違い(ケーブルトレイの布設状況の違いによる)

4. 2 低圧ケーブル(難燃PHケーブル)の評価(7/7)

4. 2. 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、管理値以上であることを確認している。

4. 2. 3 総合評価

健全性評価結果から判断して、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。

4. 2. 4 高経年化への対応

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. 代表機器以外の評価結果

表2 美浜3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	充てん/高圧注入 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。	絶縁診断を実施。また、運転年数に基づき、直流吸収試験、 $\tan \delta$ 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	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16.5年と判断。過去の絶縁抵抗測定の結果に基づき、絶縁抵抗の監視強化し、健全性を確保。	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、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。
電気 ベネトレーション	ピッグテイル型電気 ベネトレーション	ポッティング材 外部リード	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。	ケーブルおよび機器を含めた絶縁抵抗測定または機器の動作確認を実施。	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。
弁電動装置	余熱除去ポンプ 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。
		絶縁体 (水トリー劣化)(屋外布 設ケーブルのみ)	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。

5. 代表機器以外の評価結果

表2 美浜3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
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。		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。
	VVケーブル		絶縁低下の可能性は小さいと考える。制御・計装用ケーブルについては電圧・電流値が電力用と比較して小さく、さらに問題となる可能性は小さいと考える。		絶縁低下の可能性は小さく、絶縁低下は系統機器の動作確認または絶縁抵抗測定で検知可能であり、点検手法として適切。	系統機器の動作確認または絶縁抵抗測定を実施していく。
同軸ケーブル	難燃三重同軸ケーブル-2	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。
	原子炉格納容器内電動弁コネクタ接続		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。			
	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。			

5. 代表機器以外の評価結果

表2 美浜3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
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できる。	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。 2019年度までに取替予定。	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。	2019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。
パワーセンタ	パワーセンタ(安全系)	保護リレー	メタクラの評価と同様	同左	同左	同左
		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	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。
		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、10年経過後は精密点検としてtan δ測定、直流吸収比測定およびコイルの目視点検も実施。	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としてtan δ測定、直流吸収比測定およびコイルの目視点検を実施していく。

5. 代表機器以外の評価結果

表2 美浜3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	補助建屋よう素除去 排気ファンモータ、制 御建屋送気ファン モータ (低圧モータ)	固定子コイル 口出線	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16～16.5年と判 断。過去の絶縁抵抗測定の結果に基づき、絶縁抵 抗の監視強化し、健全性を確保。	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16～16.5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を実施して いく。
	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	空調モータ(低圧モータ)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より も厳しいため、それ以前での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。
		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。

5. 代表機器以外の評価結果

表2 美浜3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、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を実施して いく。
	非常用ディーゼル機 関(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

6. 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。

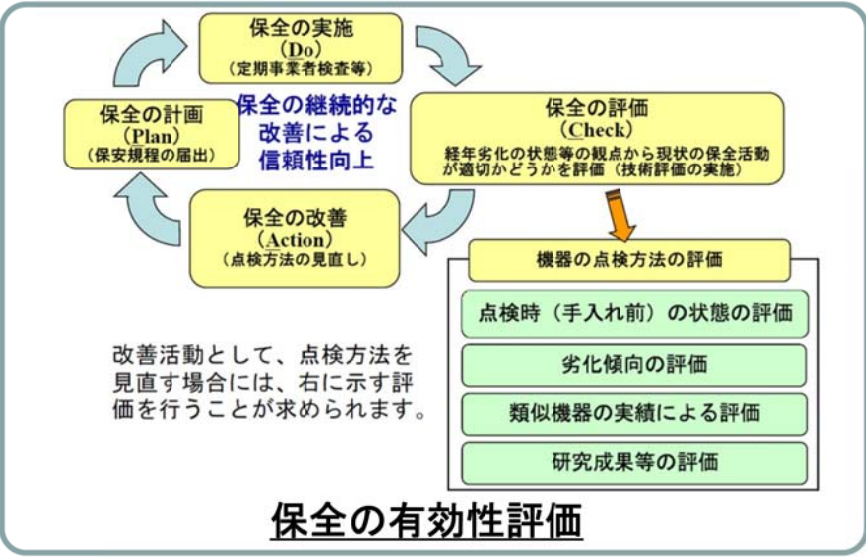
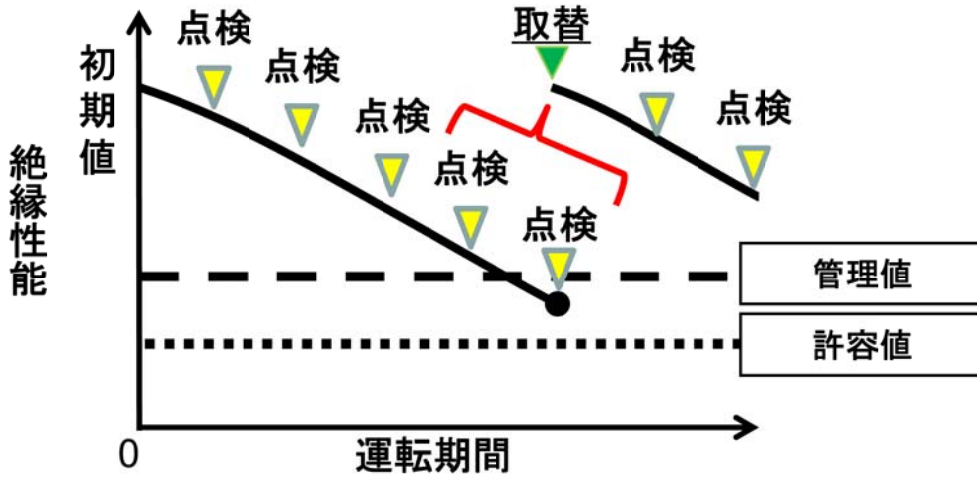
延長しようとする期間における要求事項との対比

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. 1 高圧ポンプモータ(海水ポンプモータ)の評価」や「5. 代表機器以外の評価結果」に示すとおり、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・計装設備及び重大事故等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。	「4. 2 低圧ケーブル(難燃PHケーブル)の評価」や「5. 代表機器以外の評価結果」に示すとおり、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、電気学会推奨案やACAガイド等に準じた環境認定試験による健全性評価の結果、有意な絶縁低下が生じないことを確認。

【参考】事故時機能要求のある設備の健全性評価について

1. 点検検査結果による健全性評価について

定期的な点検検査の結果に基づき、取替や手入れの対策を実施することにより、長期的の使用においても有意な絶縁低下が生じないように管理を実施することが必要。



2. 環境認定試験による健全性評価について

長期健全性試験(環境認定試験)の試験条件が、実機環境で評価期間を確認し、その評価期間を超えて使用することのないよう、取替えを実施することが必要。

