

資料②



高浜発電所3, 4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

2023年9月27日

目次

1. 概要.....	3
2. 基本方針.....	3
3. 評価対象と評価手法.....	4
4. 代表機器の技術評価	
4. 1 低圧ケーブルの技術評価(難燃PHケーブル 3号炉)	
4. 1. 1 健全性評価.....	<u>8</u>
4. 1. 2 現状保全.....	<u>14</u>
4. 1. 3 総合評価.....	<u>14</u>
4. 1. 4 高経年化への対応.....	<u>14</u>
4. 2 低圧ケーブルの技術評価(難燃PHケーブル 4号炉)	
4. 2. 1 健全性評価.....	<u>15</u>
4. 2. 2 現状保全.....	<u>21</u>
4. 2. 3 総合評価.....	<u>21</u>
4. 2. 4 高経年化への対応.....	<u>21</u>

目次

4. 3 電気ペネトレーションの技術評価 (モジュラー型電気ペネトレーション 3号炉)	
4. 3. 1 健全性評価.....	<u>22</u>
4. 3. 2 現状保全.....	<u>26</u>
4. 3. 3 総合評価.....	<u>26</u>
4. 3. 4 高経年化への対応.....	<u>26</u>
4. 4 電気ペネトレーションの技術評価 (モジュラー型電気ペネトレーション 4号炉)	
4. 4. 1 健全性評価.....	<u>27</u>
4. 4. 2 現状保全.....	<u>31</u>
4. 4. 3 総合評価.....	<u>31</u>
4. 4. 4 高経年化への対応.....	<u>31</u>
5. 代表機器以外の技術評価.....	<u>32</u>
6. 経年劣化傾向の評価.....	<u>38</u>
7. 長期施設管理方針の有効性評価.....	<u>39</u>
8. まとめ.....	<u>40</u>

1. 概要 および 2. 基本方針

1. 概要

本資料は、「実用発電用原子炉の設置、運転等に関する規則」第113条第2項の規定に基づき実施した劣化状況評価のうち、電気・計装品の絶縁低下の評価結果を説明するものである。

2. 基本方針

電気・計装品の絶縁低下に対する評価の基本方針は、対象機器について絶縁低下に対する技術評価を行い、運転開始後60年時点までの期間において「実用発電用原子炉の運転の期間の延長の審査基準」、「実用発電用原子炉の運転期間延長認可申請に係る運用ガイド」、「実用発電用原子炉施設における高経年化対策審査ガイド」および「実用発電用原子炉施設における高経年化対策実施ガイド」の要求事項を満たすことを確認することである。

3. 評価対象と評価手法(1/4)

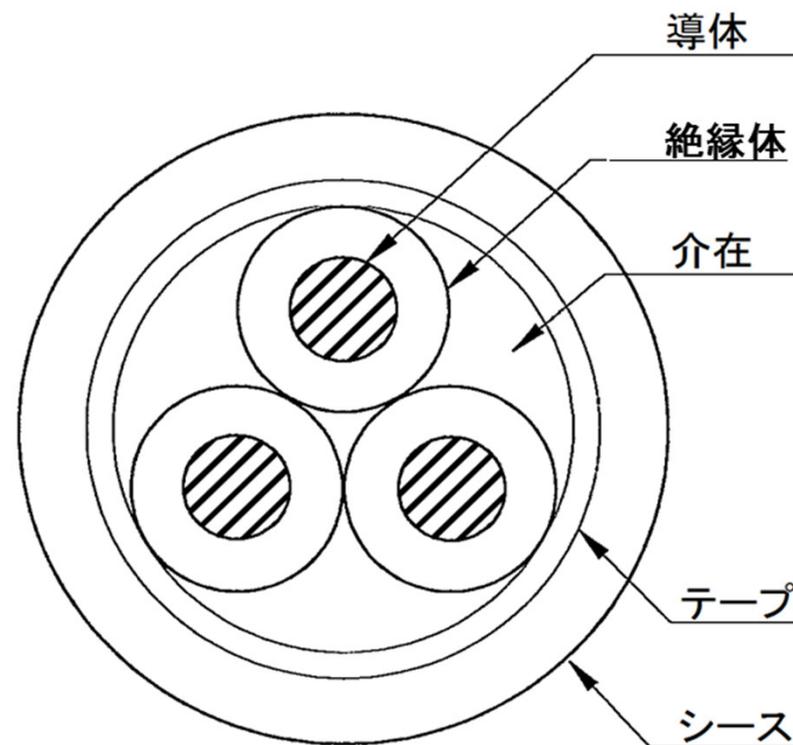
(1) 評価対象

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が使用されている。

絶縁低下は、これら高分子材料が、機械的、熱的、電気的および環境的な要因で劣化することにより電気抵抗が低下し、絶縁性が維持できなくなる劣化事象である。

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、これらの機器のうち、設計基準事故および重大事故等時に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機器の中から、低圧ケーブル(難燃PHケーブル)および電気ペネトレーション(モジュラー型電気ペネトレーション)を代表機器として評価の詳細を説明する。

なお、評価対象として抽出した機器・部位を次ページに示す。



代表的なケーブルの構造

3. 評価対象と評価手法(2/4)

絶縁低下の評価対象機器・部位(1/2)

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、口出線・接続部品	—	—
	低圧ポンプモータ	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、外部リード他	○	○
弁	電動装置	固定子コイル、口出線・接続部品他	○	—※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)	ばね蓄勢用モータ他	—	—
	動力変圧器	コイル	—	—
	パワーセンタ	ばね蓄勢用モータ他	—	—

*1: 実用発電用原子炉およびその付属施設の位置、構造およ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: 実用発電用原子炉およびその付属施設の位置、構造およ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ため“—”と表記

3. 評価対象と評価手法(3/4)

絶縁低下の評価対象機器・部位(2/2)

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
計測制御設備	制御設備	計器用変流器他	—	—
空調設備	モータ	固定子コイル、口出線他	—	—
機械設備	空気圧縮機モータ	固定子コイル他	—	—
	燃料取替クレーン	固定子コイル他	—	—
	燃料移送装置	固定子コイル他	—	—
電源設備	ディーゼル発電機	固定子コイル、口出線・接続部品他	—	—
	ディーゼル機関付属設備(ポンプ)	固定子コイル他	—	—
	直流電源設備	変圧器	—	—
	無停電電源	変圧器	—	—
	制御棒駆動装置用電源設備	ばね蓄勢用モータ	—	—

*1: 実用発電用原子炉およびその付属施設の位置、構造およ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: 実用発電用原子炉およびその付属施設の位置、構造およ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. 評価対象と評価手法(4/4)

(2) 評価手法

それぞれの代表機器毎に以下の規格および評価手法等に基づき評価を行った。

(a) 低圧ケーブル(難燃PHケーブル)

- ・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」

(以下、「電気学会推奨案」という。)

- ・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。)

- ・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-SS-0903)

(以下、「ACA」という。)

(b) 電気ペネトレーション(モジュラー型電気ペネトレーション)

- ・IEEE Std.317-2013「IEEE Standard for Electric Penetration Assemblies in Containment Structures for Nuclear Power Generating Stations」

(以下、「IEEE Std.317-2013」という。)

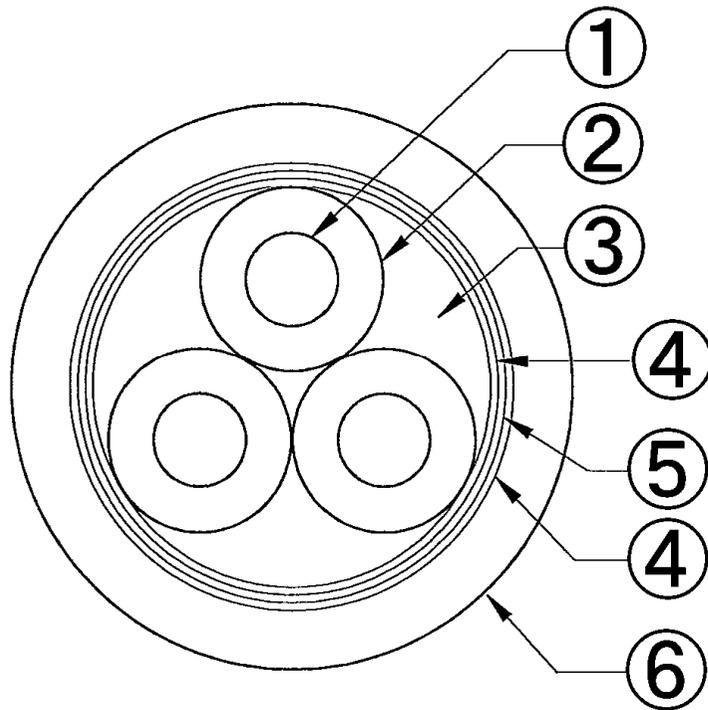
4. 代表機器の技術評価(低圧ケーブル 3号炉(1/7))

4. 1. 低圧ケーブルの技術評価(難燃PHケーブル 3号炉)

4. 1. 1 健全性評価

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 蔽 層	銅テープ(錫メッキ)
⑥	シ ー ス	難燃クロロスルホン化ポリエチレン



難燃PHケーブル構造図(例)

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50°C※2	約125°C (最高温度)	約138°C (最高温度)
圧 力	約0.0098MPa [gage]以下	約0.25MPa [gage] (最高圧力)	約0.35MPa [gage] (最高圧力)
放 射 線	0.4375Gy/h※3	675kGy (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: 設計基準事故または重大事故等を考慮する原子炉格納容器内難燃PHケーブルの通常運転時のケーブル布設箇所周囲の平均温度の最大実測値

※3: 設計基準事故または重大事故等を考慮する原子炉格納容器内難燃PHケーブルの通常運転時のケーブル布設箇所周囲の平均線量率の最大実測値

4. 代表機器の技術評価(低圧ケーブル 3号炉(2/7))

(1) 評価手法

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つの評価手法により実施した。

	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^{※1} 及び IEEE Std.383-1974^{※2} の規格を根幹にした、「電気学会推奨案」に基づき評価を行う。</p> <p>(⇒ 10 、 11)</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「ACAガイド」に基づき評価を行う。</p> <p>(⇒ 12 、 13)</p>

※1: IEEE Standard for Qualifying Class 1E Equipment for Nuclear Power Generating Stations

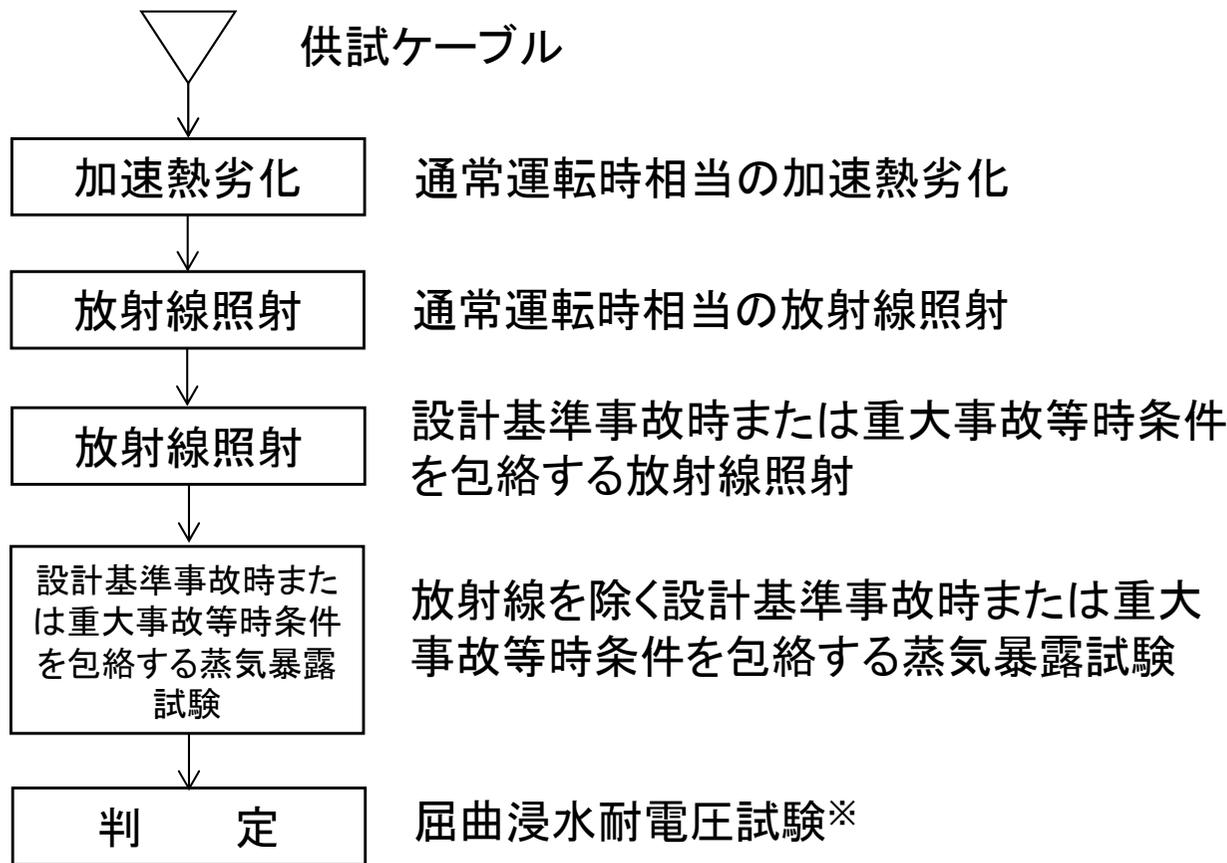
※2: IEEE Standard for Type Test of Class 1E Electric Cables, Field Splices, and Connections for Nuclear Power Generating Stations

4. 代表機器の技術評価(低圧ケーブル 3号炉(3/7))

(2) 電気学会推奨案による健全性評価

(a) 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。



長期健全性試験手順

※: 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倍のマンドレル(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。

4. 代表機器の技術評価(低圧ケーブル 3号炉(4/7))

(b) 試験条件ならびに試験結果

難燃PHケーブルの長期健全性試験条件ならびに長期健全性試験結果を以下に示す。

試験条件は、実機環境に基づいて60年間の運転期間および事故時雰囲気想定した劣化条件を包絡している。

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、 設計基準事故時または重大事故等時の環境条件
通常 相当 運転時	温度	140°C-9日	111°C-9日 (=56°C※1-60年)
	放射線 (集積線量)	500kGy (7.3kGy/h以下)	231kGy※2
事故時 暴露 蒸気 試験	放射線 (集積線量)	1,500kGy (7.3kGy/h以下)	設計基準事故時:675kGy 重大事故等時 :500kGy
	温度	190°C (最高温度)	設計基準事故時:約 125°C(最高温度) 重大事故等時 :約 138°C(最高温度)
	圧力	0.41MPa[gage] (最高圧力)	設計基準事故時:約 0.25MPa[gage](最高圧力) 重大事故等時 :約 0.35MPa[gage](最高圧力)

※1:設計基準事故または重大事故等を考慮する原子炉格納容器内難燃PHケーブル布設箇所周囲の平均温度に、通電による温度上昇等を考慮した各布設エリアの温度を包絡する温度として設定した。

※2:0.4375[Gy/h] × (24 × 365.25)[h/y] × 60[y] = 231kGy

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

(c) 評価結果

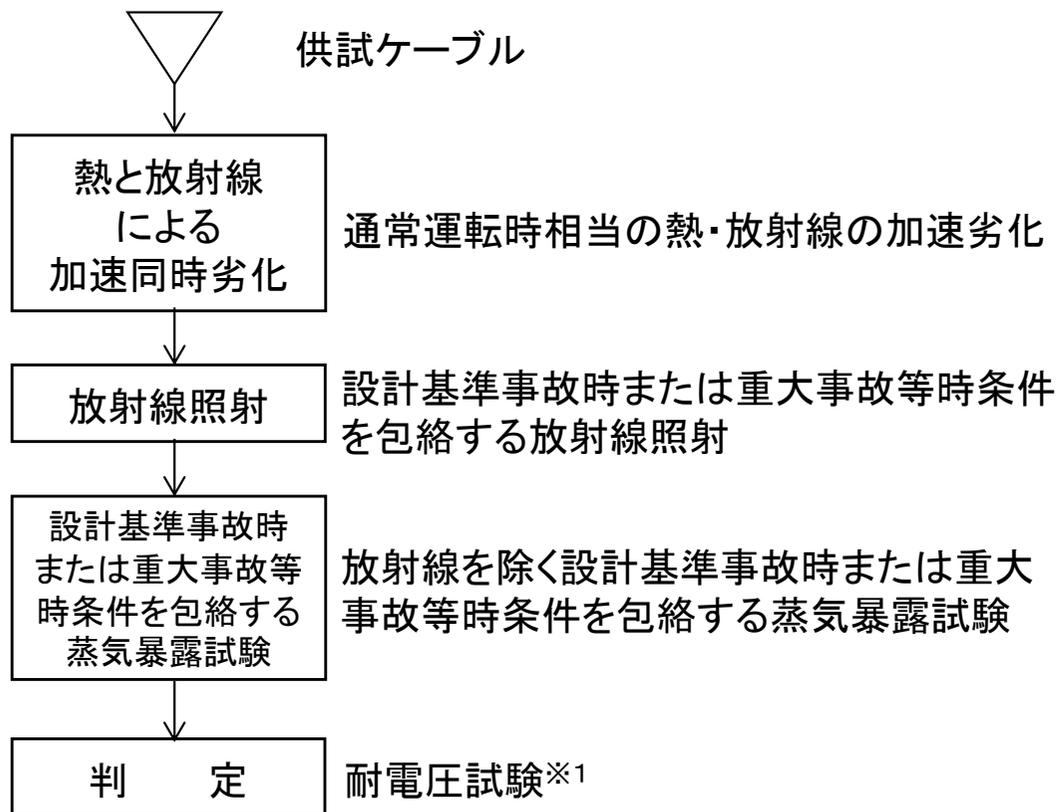
60年間の運転期間を想定した劣化条件を包絡した試験(長期健全性試験)の結果、難燃PHケーブルは運転開始後60年時点においても、絶縁機能を維持できることを確認した。

4. 代表機器の技術評価(低圧ケーブル 3号炉(5/7))

(3) ACAガイドによる健全性評価

(a) 試験手順、試験条件ならびに試験結果

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「ACA」の試験結果を用いた。



長期健全性試験条件

		試験条件
通常運転時相当	温度 放射線	100°C—94.8Gy/h—4,003h
	放射線 (集積線量)	1,500kGy (10kGy/h以下)
事故時雰囲気相当	温度	最高温度:190°C
	圧力	最高圧力:0.41MPa[gage]

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

※1: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

長期健全性試験手順

4. 代表機器の技術評価(低圧ケーブル 3号炉(6/7))

(b) 評価結果

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。
(下記表は、各布設区分のうち評価期間が最も短いものを記載)

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	備考*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	41	0.4375	48	第19回定期検査時 (2009年度)ケーブル 更新	約 72
加圧器室上部	47	0.0004	123		—
通路部	46	0.0002	65 *3	<u>56°Cで評価</u>	—
MS区画	28	0.00001	559		—

*1: 時間稼働率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(10°C)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またはケーブル製造年月以降の至近定検回を記載

4. 代表機器の技術評価(低圧ケーブル 3号炉(7/7))

4. 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の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の確認を行っている。

4. 1. 3 総合評価

健全性評価結果から判断して、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。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である。

4. 1. 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。

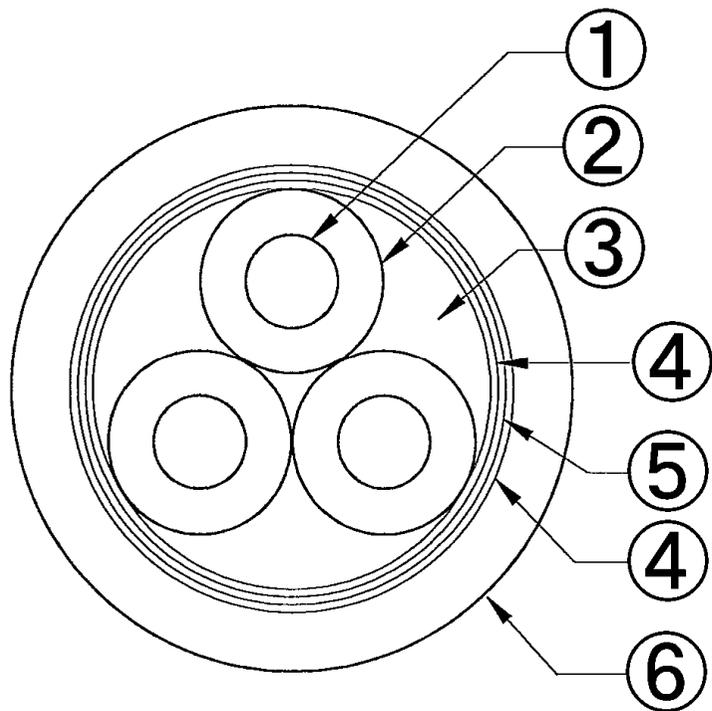
4. 代表機器の技術評価(低圧ケーブル 4号炉(1/7))

4. 2. 低圧ケーブルの技術評価(難燃PHケーブル 4号炉)

4. 2. 1 健全性評価

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 蔽 層	銅テープ(錫メッキ)
⑥	シ ー ス	難燃クロロスルホン化ポリエチレン



難燃PHケーブル構造図(例)

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44℃※2	約125℃ (最高温度)	約138℃ (最高温度)
圧 力	約0.0098MPa [gage]以下	約0.25MPa [gage] (最高圧力)	約0.35MPa [gage] (最高圧力)
放射線	0.1696Gy/h※3	675kGy (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: 設計基準事故または重大事故等を考慮する原子炉格納容器内難燃PHケーブルの通常運転時のケーブル布設箇所周囲の平均温度の最大実測値

※3: 設計基準事故または重大事故等を考慮する原子炉格納容器内難燃PHケーブルの通常運転時のケーブル布設箇所周囲の平均線量率の最大実測値

4. 代表機器の技術評価(低圧ケーブル 4号炉(2/7))

(1) 評価手法

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つの評価手法により実施した。

	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^{※1} 及び IEEE Std.383-1974^{※2} の規格を根幹にした、「電気学会推奨案」に基づき評価を行う。</p> <p>(⇒ 17、18)</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「ACAガイド」に基づき評価を行う。</p> <p>(⇒ 19、20)</p>

※1: IEEE Standard for Qualifying Class 1E Equipment for Nuclear Power Generating Stations

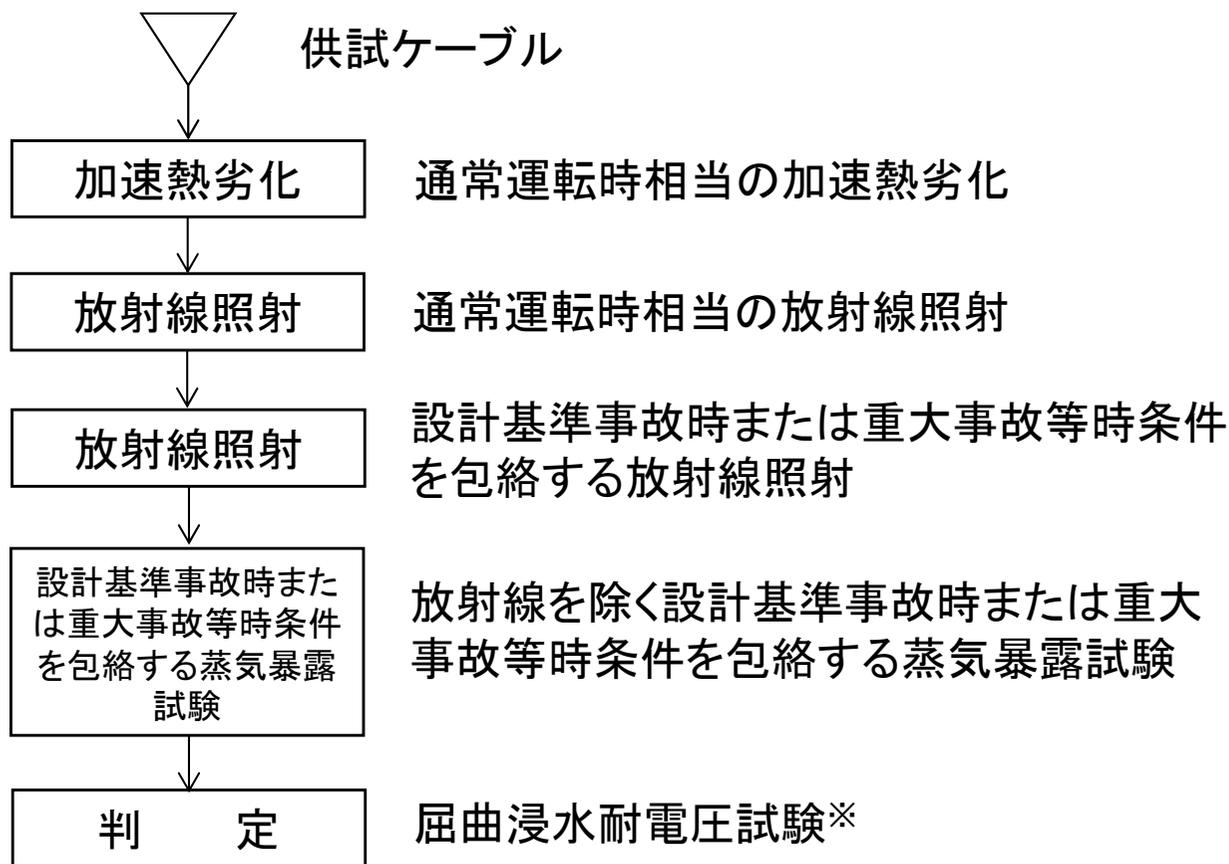
※2: IEEE Standard for Type Test of Class 1E Electric Cables, Field Splices, and Connections for Nuclear Power Generating Stations

4. 代表機器の技術評価(低圧ケーブル 4号炉(3/7))

(2) 電気学会推奨案による健全性評価

(a) 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。



長期健全性試験手順

※: 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倍のマンドレル(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。

4. 代表機器の技術評価(低圧ケーブル 4号炉(4/7))

(b) 試験条件ならびに試験結果

難燃PHケーブルの長期健全性試験条件ならびに長期健全性試験結果を以下に示す。

試験条件は、実機環境に基づいて60年間の運転期間および事故時雰囲気想定した劣化条件を包絡している。

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、 設計基準事故時または重大事故等時の環境条件
相当 通常 運転 時	温度	140°C-9日	105°C-9日 (=51°C ^{*1} -60年)
	放射線 (集積線量)	500kGy (7.3kGy/h以下)	90kGy ^{*2}
暴露 試験 時 蒸気	放射線 (集積線量)	1,500kGy (7.3kGy/h以下)	設計基準事故時:675kGy 重大事故等時 :500kGy
	温度	190°C (最高温度)	設計基準事故時:約 125°C(最高温度) 重大事故等時 :約 138°C(最高温度)
	圧力	0.41MPa[gage] (最高圧力)	設計基準事故時:約 0.25MPa[gage](最高圧力) 重大事故等時 :約 0.35MPa[gage](最高圧力)

※1:設計基準事故または重大事故等を考慮する原子炉格納容器内難燃PHケーブル布設箇所周囲の平均温度に、通電による温度上昇等を考慮した各布設エリアの温度を包絡する温度として設定した。

※2:0.1696[Gy/h]×(24×365.25)[h/y]×60[y]=90kGy

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

(c) 評価結果

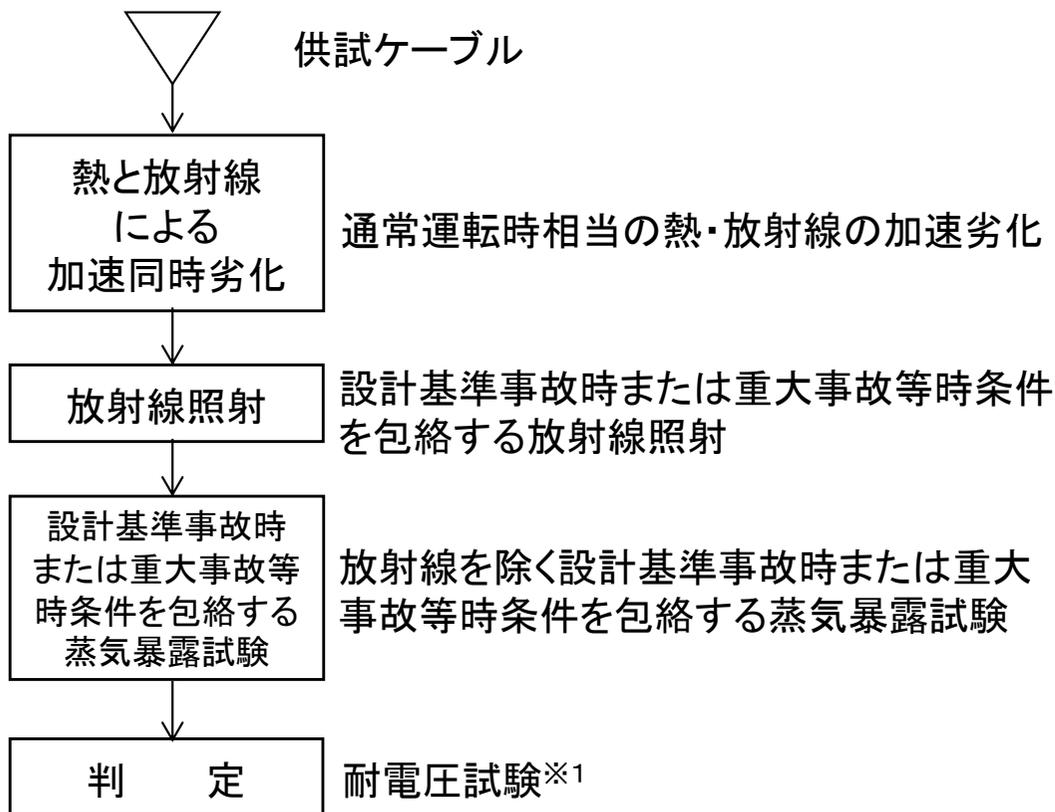
60年間の運転期間を想定した劣化条件を包絡した試験(長期健全性試験)の結果、難燃PHケーブルは運転開始後60年時点においても、絶縁機能を維持できることを確認した。

4. 代表機器の技術評価(低圧ケーブル 4号炉(5/7))

(3) ACAガイドによる健全性評価

(a) 試験手順、試験条件ならびに試験結果

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「ACA」の試験結果を用いた。



長期健全性試験条件

		試験条件
通常 相当 運転 時	温度 放射線	100°C—94.8Gy/h—4,003h
	放射線 (集積線量)	1,500kGy (10kGy/h以下)
事故 相当 時 雰 囲 気	温度	最高温度:190°C
	圧力	最高圧力:0.41MPa[gage]

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

※1: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

長期健全性試験手順

4. 代表機器の技術評価(低圧ケーブル 4号炉(6/7))

(b) 評価結果

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。
 (下記表は、各布設区分のうち評価期間が最も短いものを記載)

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	備考
	温度 [°C]	放射線量率 [Gy/h]		
ループ室	43	0.0940	83	
加圧器室上部	44	0.0013	149	
通路部	41	0.0005	92 *3	<u>51°Cで評価</u>
MS区画	28	0.00001	559	

*1: 時間稼働率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(10°C)を考慮して評価している

4. 代表機器の技術評価(低圧ケーブル 4号炉(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の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の確認を行っている。

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。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である。

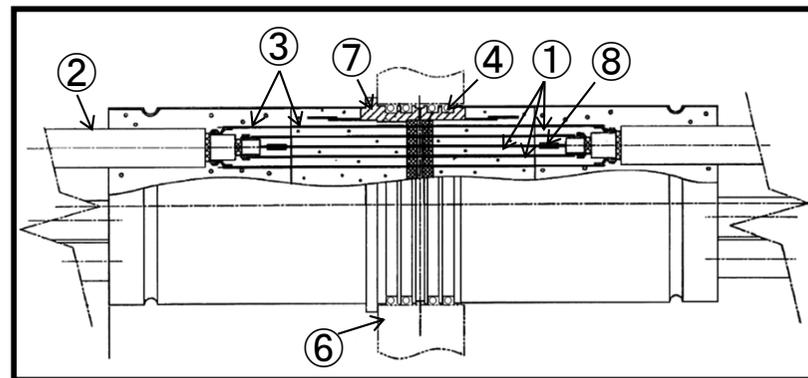
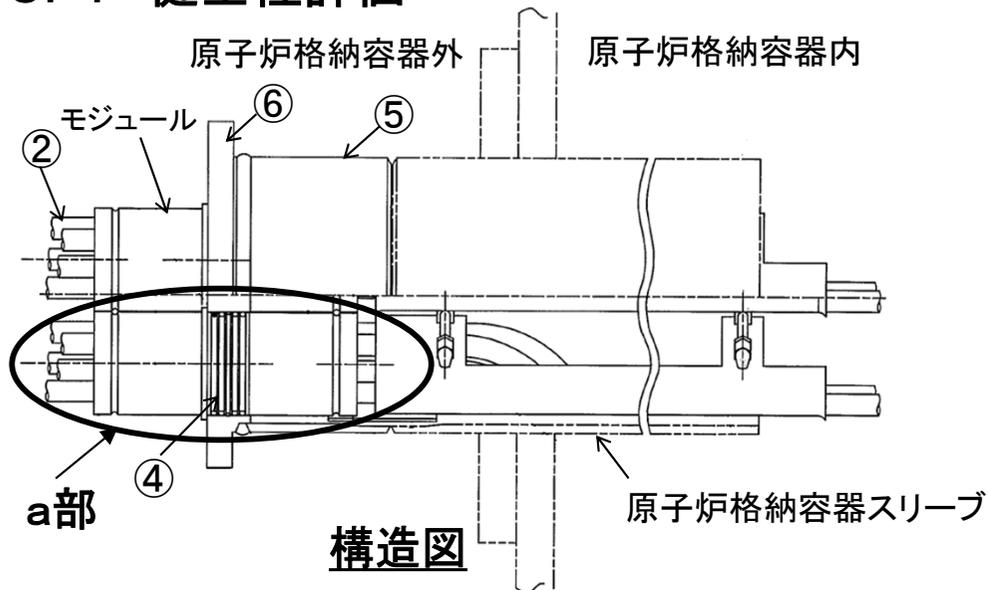
4. 2. 4 高経年化への対応

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。

4. 代表機器の技術評価(電気ペネトレーション 3号炉(1/5))

4.3 電気ペネトレーションの技術評価(モジュラー型電気ペネトレーション 3号炉)

4.3.1 健全性評価



a部詳細図

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(架橋ポリエチレン)
③	ポッティング材	エポキシ樹脂
④	Oリング	EPゴム
⑤	本体	炭素鋼
⑥	端板	ステンレス鋼
⑦	ヘッダー	ステンレス鋼
⑧	接続金具	銅

使用条件

	通常運転時	設計基準事故時	重大事故等時
圧力	約0.0098 MPa [gage]以下	約0.25 MPa [gage] (最高圧力)	約0.35 MPa [gage] (最高圧力)
温度	約38 °C※1	約125 °C (最高温度)	約138 °C (最高温度)
放射線	0.2 mGy/h※2	675 kGy (最大集積線量)	500 kGy (最大集積線量)

※1: 通常運転時の原子炉格納容器内モジュラー型電気ペネトレーション布設箇所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モジュラー型電気ペネトレーション布設箇所周囲の平均線量率の最大実測値

4. 代表機器の技術評価(電気ペネトレーション 3号炉(2/5))

(1) 事象の説明

ポッティング材(エポキシ樹脂)やOリング(EPゴム)は有機物であり、熱および放射線により経年劣化が進行し、気密性が低下した場合、下図に示すように湿気が電気ペネトレーション内部に浸入し、銅棒間または銅棒とヘッダー間の絶縁性能が低下する可能性がある。外部リードについては、絶縁体が有機物であり、熱的、電氣的、環境的要因で経年劣化が進行し、絶縁性能の低下を起こす可能性がある。

また、ポッティング材やOリングが熱および放射線により経年劣化が進行し、接着力の低下により気密性が低下した場合、リークパスが原子炉格納容器内より電気ペネトレーション内部を通り、原子炉格納容器外側まで至ることによって、原子炉格納容器バウンダリ機能に係る気密性低下を起こす可能性がある。

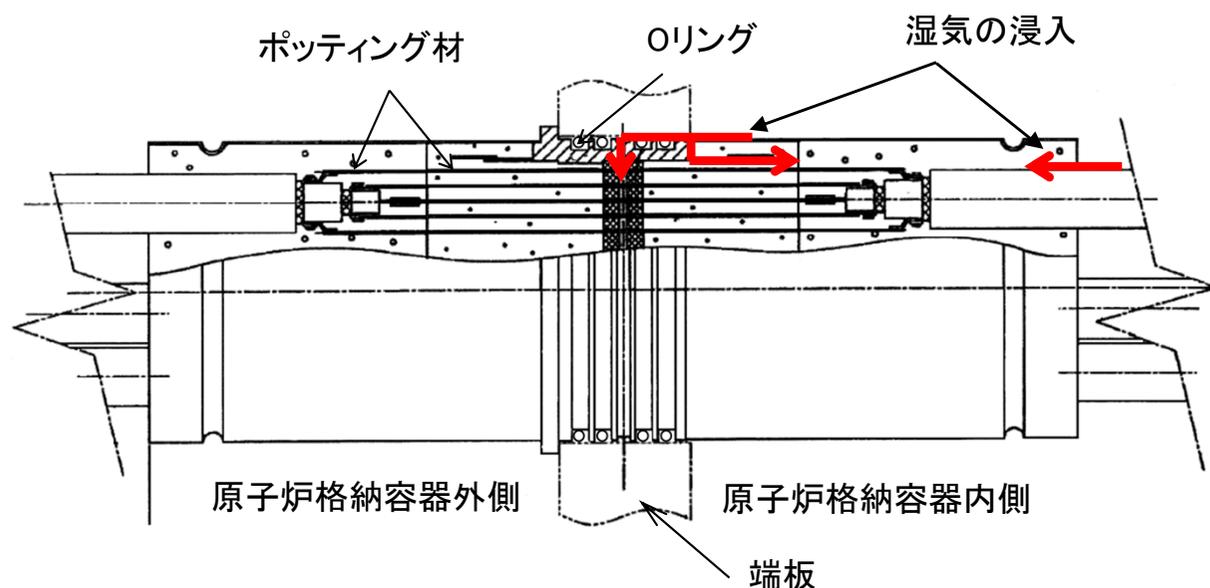


図 ポッティング材およびOリング使用箇所

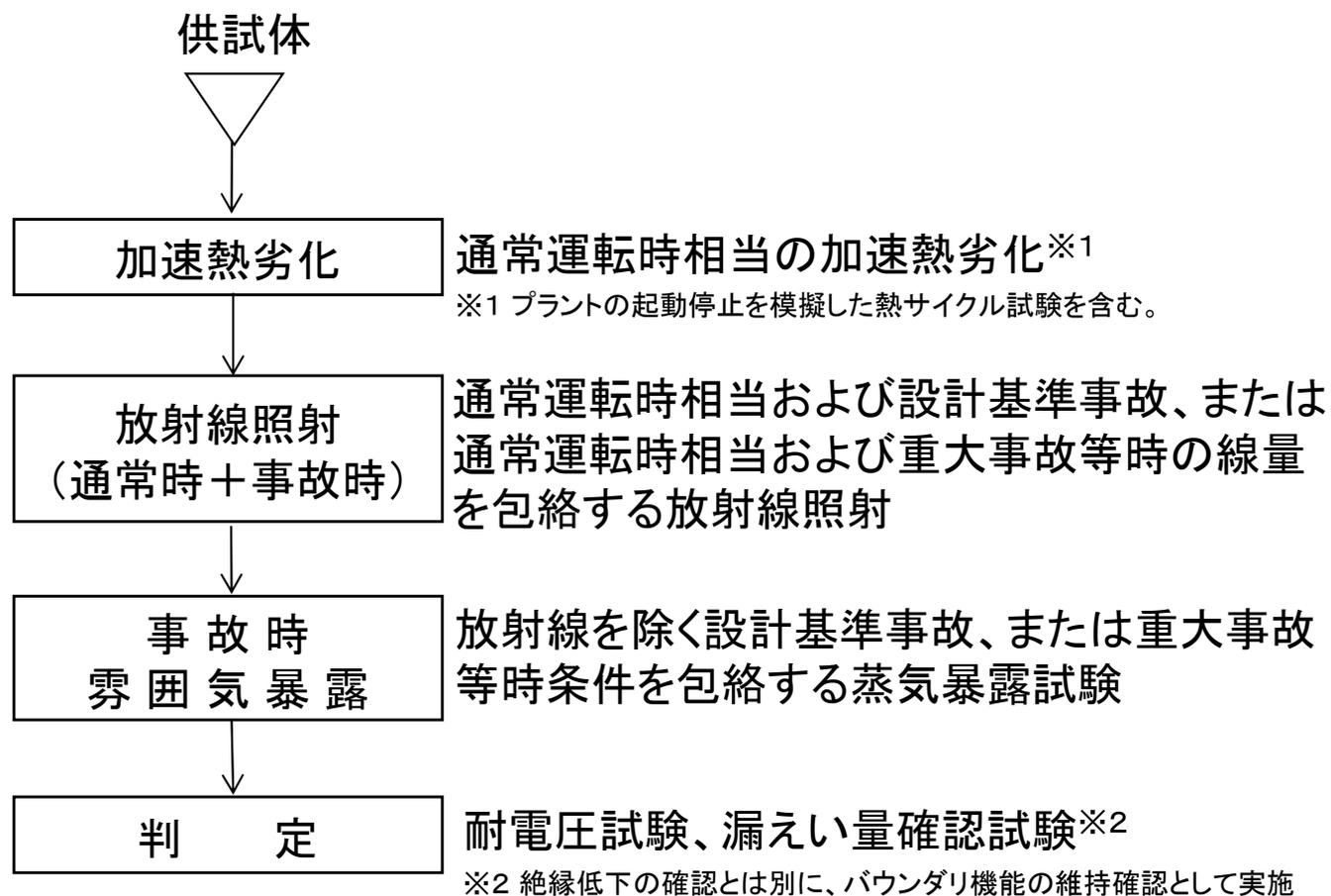
(2) 評価手法

電気ペネトレーション(ポッティング材(エポキシ樹脂)、Oリング(EPゴム)および外部リード)の長期健全性試験については、IEEE Std.317-2013に準拠して実施する。

4. 代表機器の技術評価(電気ペネトレーション 3号炉(3/5))

(3) 試験手順

ポッティング材およびOリングから電気ペネトレーション内部への湿気の浸入による絶縁低下、外部リードの絶縁低下(以下、「ポッティング材、Oリングおよび外部リードの絶縁低下」という。)、ポッティング材およびOリングの原子炉格納容器バウンダリ機能に係る気密性低下のIEEE Std.317-2013に準拠した試験手順及び判定方法を以下に示す。



長期健全性試験手順

4. 代表機器の技術評価(電気ペネトレーション 3号炉(4/5))

(4) 試験条件、試験結果

電気ペネトレーションの長期健全性試験条件ならびに長期健全性試験結果を以下に示す。

試験条件は、実機環境に基づいて60年間の運転期間および事故時雰囲気を想定した劣化条件を包絡している。

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、 設計基準事故時および重大事故等時の環境条件
加速 熱劣化	熱劣化: 110°C-218日間*1 熱サイクル: 71~107°C-20日間	40°C*2-60年
放射線 照射	1,500kGy (10kGy/h以下)	通常運転相当:0.106kGy*3 設計基準事故時線量:675kGy 重大事故等時線量:500kGy
事故時 雰囲気 暴露	最高温度:190°C 最高圧力:0.45MPa[gage] 試験時間:7日間	設計基準事故時:約125°C(最高温度) :約0.25MPa[gage](最高圧力) 重大事故等時 :約138°C(最高温度) :約0.35MPa[gage](最高圧力)

*1:熱サイクル試験による劣化(71~107°C-20日間)に、使用条件40°C-60年に相当する熱劣化となるよう、通常の熱劣化(110°C-218日間)を加えた。

*2:電気ペネトレーションの周囲温度(約38°C)に若干の余裕を加えた温度。

*3:原子炉格納容器内電気ペネトレーション近傍で最も放射線レベルが高い区域の空間線量率は0.2mGy/hであり、この値より60年間の平常時の集積線量を評価すると、
 $0.2[mGy/h] \times (24 \times 365.25)[h/y] \times 60[y] = 0.106kGy$ となる。

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: C-1S間 1,500V/1分間 1S-2S間 500V/1分間	良	
項目	判定基準	測定値	判定
漏えい量 確認試験	1.0×10^{-3} cm ³ /sec以下	0.67×10^{-3} cm ³ /sec	良

(5) 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は運転開始後60年時点においても、絶縁機能および原子炉格納容器バウンダリ機能(気密性)を維持できることを確認した。

4. 代表機器の技術評価(電気ペネトレーション 3号炉(5/5))

4. 3. 2 現状保全

ポットینگ材、リングおよび外部リードの絶縁低下に対しては、定期的に系統機器の動作確認またはケーブルおよび機器を含めた絶縁抵抗測定を実施し、有意な絶縁低下のないことを確認している。

ポットینگ材およびリングの原子炉格納容器バウンダリ機能に係る気密性低下に対しては、定期的に原子炉格納容器漏えい率試験および電気ペネトレーションに封入しているN2ガスの圧力確認を実施し、機器の健全性を確認している。

4. 3. 3 総合評価

健全性評価結果から判断して、ポットینگ材、リングおよ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。ポットینگ材、リングおよび外部リードの絶縁低下は、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である。

また、健全性評価結果から判断して、ポットینگ材およびリングの原子炉格納容器バウンダリ機能に係る気密性低下の可能性はないと考える。ポットینگ材およびリングの原子炉格納容器バウンダリ機能に係る気密性低下は原子炉格納容器漏えい率試験および電気ペネトレーションに封入しているN2ガスの圧力確認で検知可能であり、点検手法として適切である。

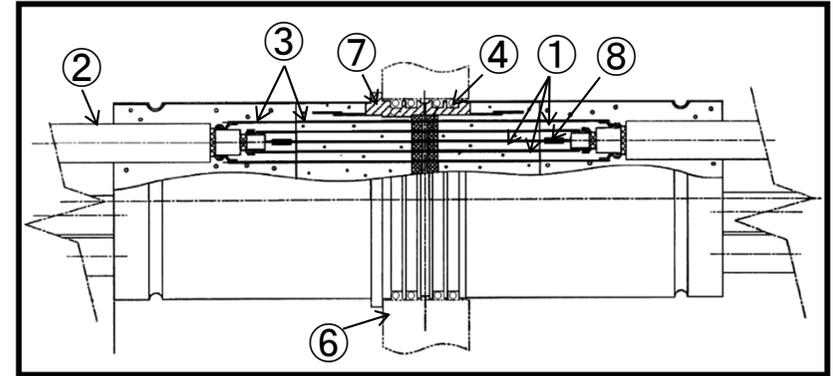
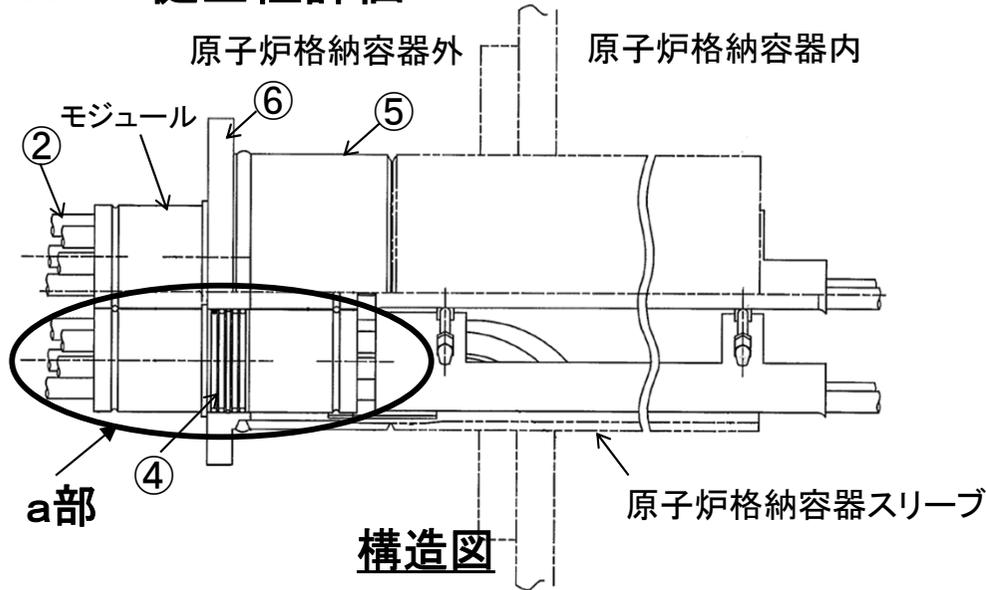
4. 3. 4 高経年化への対応

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。

4. 代表機器の技術評価(電気ペネトレーション 4号炉(1/5))

4.4 電気ペネトレーションの技術評価(モジュラー型電気ペネトレーション 4号炉)

4.4.1 健全性評価



a部詳細図

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(架橋ポリエチレン)
③	ポッティング材	エポキシ樹脂
④	Oリング	EPゴム
⑤	本体	炭素鋼
⑥	端板	ステンレス鋼
⑦	ヘッダー	ステンレス鋼
⑧	接続金具	銅

使用条件

	通常運転時	設計基準事故時	重大事故等時
圧力	約0.0098 MPa [gage] 以下	約0.25 MPa [gage] (最高圧力)	約0.35 MPa [gage] (最高圧力)
温度	約36 °C※1	約125 °C (最高温度)	約138 °C (最高温度)
放射線	0.7 mGy/h※2	675 kGy (最大集積線量)	500 kGy (最大集積線量)

※1: 通常運転時の原子炉格納容器内モジュラー型電気ペネトレーション布設箇所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モジュラー型電気ペネトレーション布設箇所周囲の平均線量率の最大実測値

4. 代表機器の技術評価(電気ペネトレーション 4号炉(2/5))

(1) 事象の説明

ポッティング材(エポキシ樹脂)やOリング(EPゴム)は有機物であり、熱および放射線により経年劣化が進行し、気密性が低下した場合、下図に示すように湿気が電気ペネトレーション内部に浸入し、銅棒間または銅棒とヘッダー間の絶縁性能が低下する可能性がある。外部リードについては、絶縁体が有機物であり、熱的、電氣的、環境的要因で経年劣化が進行し、絶縁性能の低下を起こす可能性がある。

また、ポッティング材やOリングが熱および放射線により経年劣化が進行し、接着力の低下により気密性が低下した場合、リークパスが原子炉格納容器内より電気ペネトレーション内部を通り、原子炉格納容器外側まで至ることによって、原子炉格納容器バウンダリ機能に係る気密性低下を起こす可能性がある。

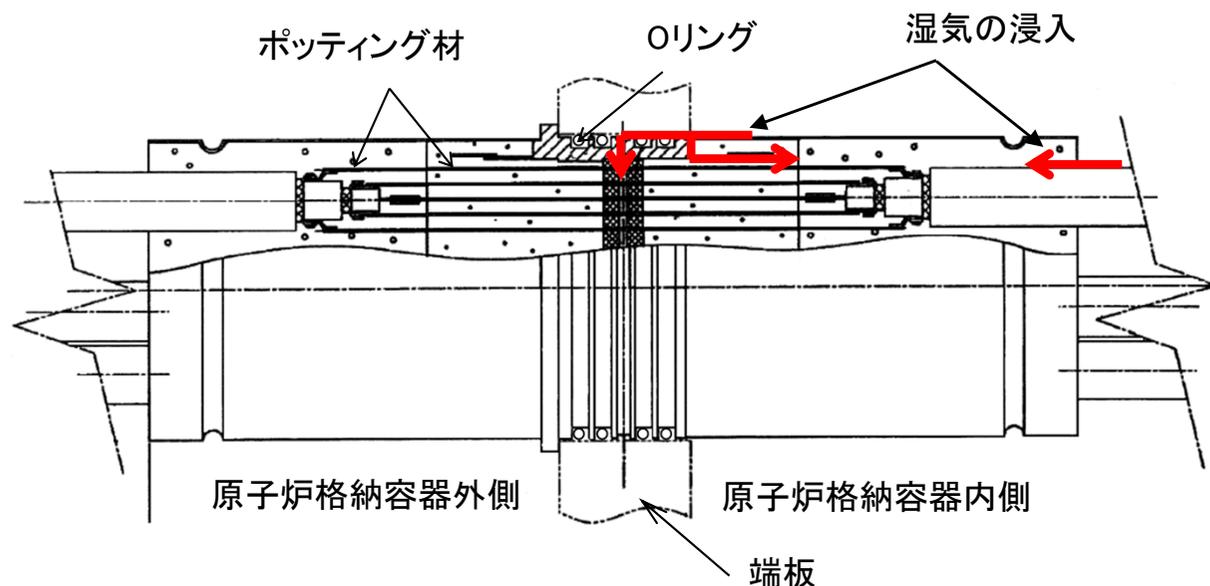


図 ポッティング材およびOリング使用箇所

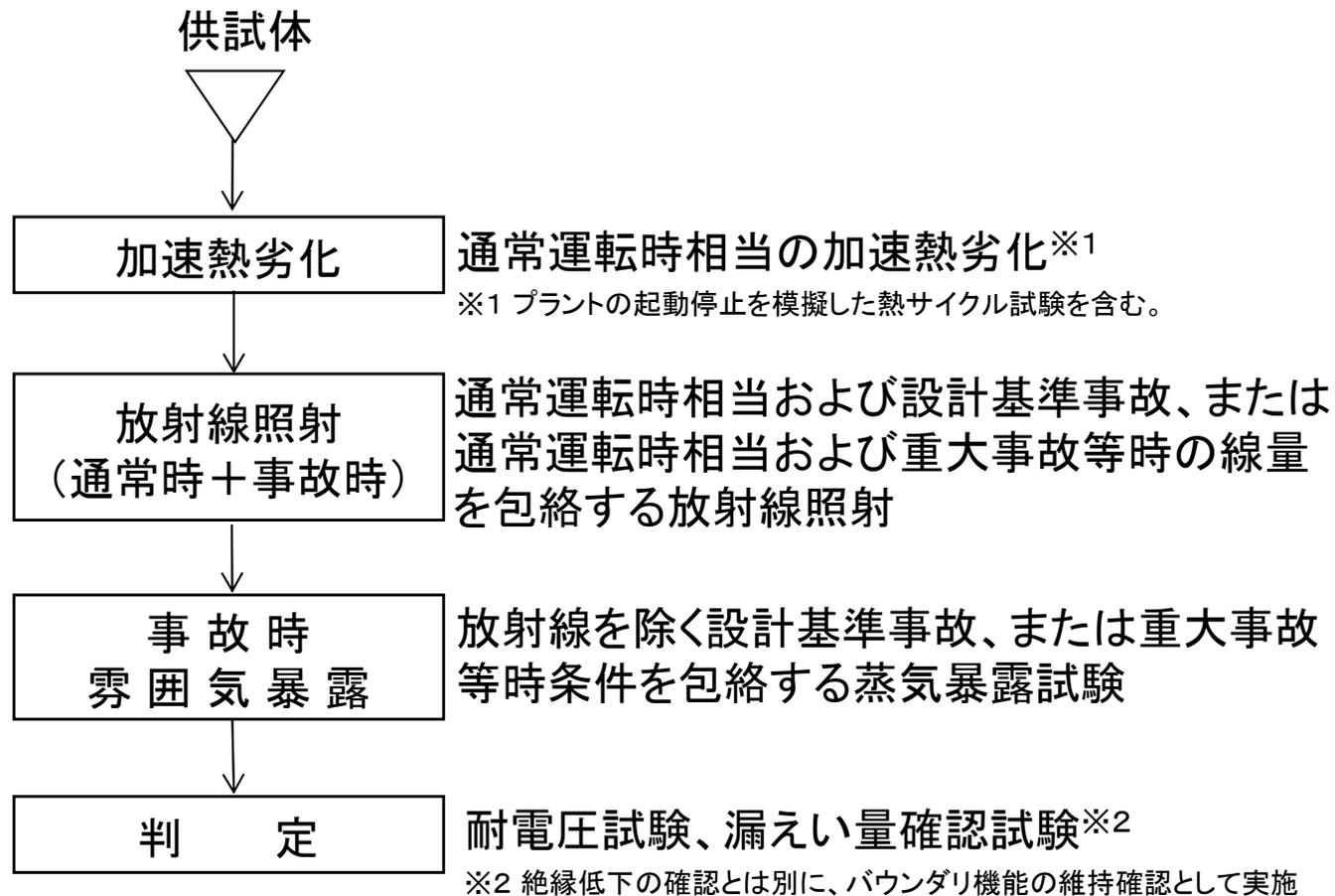
(2) 評価手法

電気ペネトレーション(ポッティング材(エポキシ樹脂)、Oリング(EPゴム)および外部リード)の長期健全性試験については、IEEE Std.317-2013に準拠して実施する。

4. 代表機器の技術評価(電気ペネトレーション 4号炉(3/5))

(3) 試験手順

ポッティング材、Oリングおよび外部リードの絶縁低下ならびにポッティング材およびOリングの原子炉格納容器バウンダリ機能に係る気密性低下のIEEE Std.317-2013に準拠した試験手順及び判定方法を以下に示す。



長期健全性試験手順

4. 代表機器の技術評価(電気ペネトレーション 4号炉(4/5))

(4) 試験条件、試験結果

電気ペネトレーションの長期健全性試験条件ならびに長期健全性試験結果を以下に示す。

試験条件は、実機環境に基づいて60年間の運転期間および事故時雰囲気を想定した劣化条件を包絡している。

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、 設計基準事故時および重大事故等時の環境条件
加速熱劣化	熱劣化: 110°C-218日間*1 熱サイクル: 71~107°C-20日間	40°C*2-60年
放射線照射	1,500kGy (10kGy/h以下)	通常運転相当:0.368kGy*3 設計基準事故時線量:675kGy 重大事故等時線量:500kGy
事故時雰囲気暴露	最高温度:190°C 最高圧力:0.45MPa[gage] 試験時間:7日間	設計基準事故時:約125°C(最高温度) :約0.25MPa[gage](最高圧力) 重大事故等時 :約138°C(最高温度) :約0.35MPa[gage](最高圧力)

*1:熱サイクル試験による劣化(71~107°C-20日間)に、使用条件40°C-60年に相当する熱劣化となるよう、通常の熱劣化(110°C-218日間)を加えた。

*2:電気ペネトレーションの周囲温度(約36°C)に若干の余裕を加えた温度。

*3:原子炉格納容器内電気ペネトレーション近傍で最も放射線レベルが高い区域の空間線量率は0.7mGy/hであり、この値より60年間の平常時の集積線量を評価すると、
0.7[mGy/h] × (24 × 365.25) [h/y] × 60[y] = 0.368kGy となる。

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: C-1S間 1,500V/1分間 1S-2S間 500V/1分間	良	
項目	判定基準	測定値	判定
漏えい量確認試験	1.0 × 10 ⁻³ cm ³ /sec以下	0.67 × 10 ⁻³ cm ³ /sec	良

(5) 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は運転開始後60年時点においても、絶縁機能および原子炉格納容器バウンダリ機能(気密性)を維持できることを確認した。

4. 代表機器の技術評価(電気ペネトレーション 4号炉(5/5))

4. 4. 2 現状保全

ポットینگ材、リングおよび外部リードの絶縁低下に対しては、定期的に系統機器の動作確認またはケーブルおよび機器を含めた絶縁抵抗測定を実施し、有意な絶縁低下のないことを確認している。

ポットینگ材およびリングの原子炉格納容器バウンダリ機能に係る気密性低下に対しては、定期的に原子炉格納容器漏えい率試験および電気ペネトレーションに封入しているN2ガスの圧力確認を実施し、機器の健全性を確認している。

4. 4. 3 総合評価

健全性評価結果から判断して、ポットینگ材、リングおよ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。ポットینگ材、リングおよび外部リードの絶縁低下は、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である。

また、健全性評価結果から判断して、ポットینگ材およびリングの原子炉格納容器バウンダリ機能に係る気密性低下の可能性はないと考える。ポットینگ材およびリングの原子炉格納容器バウンダリ機能に係る気密性低下は原子炉格納容器漏えい率試験および電気ペネトレーションに封入しているN2ガスの圧力確認で検知可能であり、点検手法として適切である。

4. 4. 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. 代表機器以外の技術評価

高浜3、4号炉 電気・計装品の絶縁低下の技術評価(1/6)

評価対象設備	評価対象機器	部位	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	<ul style="list-style-type: none"> 海水ポンプモータ 電動補助給水ポンプモータ 充てん／高圧注入ポンプモータ 格納容器スプレイポンプモータ 原子炉補機冷却水ポンプモータ 余熱除去ポンプモータ 	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絶縁寿命と、経年機の設置経過年数とコイル絶縁破壊値との関係による評価結果から、固定子コイル等の耐用期間(管理強化の目安)は、運転年数で18.5年と判断。	絶縁診断を実施。機器の運転年数に基づき、絶縁診断の周期を短縮し、点検結果に基づき取替を検討する。	絶縁低下は、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、機器の運転年数および絶縁診断結果に基づいた取替を実施していく。
低圧ポンプモータ	<ul style="list-style-type: none"> ほう酸ポンプモータ 燃料取替用水ポンプモータ 恒設代替低圧注水ポンプモータ 燃料取替用水タンク補給用移送ポンプモータ 	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絶縁寿命と、経年機の設置経過年数とコイル絶縁破壊値との関係による評価結果から、固定子コイル等の運転に必要な絶縁耐力を保有する期間はB種絶縁で16.5年、F種絶縁で16年と判断。	絶縁抵抗測定を実施。また、絶縁抵抗測定の結果に基づき、監視強化としての絶縁抵抗測定の実施頻度の見直しおよび必要により洗浄、乾燥、絶縁補修処理もしくは取替を行う。	絶縁低下は、16～16.5年以降において発生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、監視強化としての絶縁抵抗測定の実施頻度の見直しおよ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。
電気ペネトレーション	<ul style="list-style-type: none"> キャニスター型電気ペネトレーション 	ポッティング材、外部リード	長期健全性試験の結果、60年間の通常運転とその後の設計基準事故後、または60年間の通常運転および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。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。	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	<ul style="list-style-type: none"> 余熱除去ポンプCループ側入口第1隔離弁電動装置等 	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。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。	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	<ul style="list-style-type: none"> 難燃高圧CSHVケーブル-1 難燃高圧CSHVケーブル-2 	絶縁体	電気学会推奨案に従って実施した長期健全性試験結果により評価した結果、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。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。	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。
	<ul style="list-style-type: none"> 難燃高圧CSHVケーブル-3 	絶縁体	実機同等品での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。	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。

5. 代表機器以外の技術評価

高浜3、4号炉 電気・計装品の絶縁低下の技術評価(2/6)

評価対象設備	評価対象機器	部位	健全性評価	現状保全	総合評価	高経年化への対応
高圧ケーブル	・難燃高圧CSHVケーブル(屋外布設)	絶縁体	トレンチ底部の溜まり水による高湿度環境を考慮すると、水トリー劣化による絶縁低下の可能性は否定できない。	絶縁診断およびトレンチ内の水溜まりの有無の目視確認を実施。	絶縁低下の可能性は否定できないが、水トリー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。	屋外布設のケーブルについては、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	実機同等品による電気学会推奨案に基づく長期健全性試験結果により評価した結果、60年間の運転期間および設計基準事故後、または60年間の運転期間および重大事故等時後においても絶縁機能を維持できると判断。また、ACAガイドに従った長期健全性試験結果により評価した結果、60年間の運転期間および設計基準事故後、または60年間の運転期間および重大事故等時後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。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。	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。
	・難燃PHケーブルー1(3号炉)	絶縁体	実機同等品による電気学会推奨案に基づく長期健全性試験結果により評価した結果、60年間の運転期間および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。また、ACAガイドに従った長期健全性試験結果により評価した結果、60年間の運転期間および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。	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。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。	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。
	・難燃PSHVケーブルー1 ・難燃PSHVケーブルー2	絶縁体	絶縁体種類が同一でシース種類が異なる難燃PHケーブルの評価結果から、電気学会推奨案に基づく長期健全性試験結果により評価した結果、60年間の運転期間および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。また、ACAガイドに従った長期健全性試験結果により評価した結果、60年間の運転期間および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。	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。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。	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。
	・難燃PSHVケーブル ・FPETケーブル ・FPPケーブル ・FPTFケーブル ・TFEFPケーブル ・難燃KKケーブルー1 ・難燃PHケーブルー1(4号炉)	絶縁体	構造および絶縁体材料が類似している実機相当品での電気学会推奨案に基づく長期健全性試験結果により評価した結果、60年間の運転期間において絶縁機能を維持できることが確認できたものの、実機同等品での長期健全性試験を実施していないことから、絶縁低下の可能性は否定できない。	系統機器の動作確認または絶縁抵抗測定を実施。	絶縁低下の可能性は否定できないが、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。

5. 代表機器以外の技術評価

高浜3、4号炉 電気・計装品の絶縁低下の技術評価(3/6)

評価対象設備	評価対象機器	部位	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	実機同等品による電気学会推奨案に基づく長期健全性試験結果により評価した結果、60年間の運転期間および設計基準事故、または60年間の運転期間および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ガイドに従った長期健全性試験結果により評価した結果、60年間の運転期間および設計基準事故後、または60年間の運転期間および重大事故等時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。 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。	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。
	・難燃同軸ケーブル	絶縁体	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ガイドに基づく長期健全性試験結果を用いて重大事故等時雰囲気内での健全性を評価した結果、60年間の運転期間および重大事故等時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。 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。	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。
	・難燃三重同軸ケーブル-1	絶縁体、 内部シース	実機同等品での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。	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。
ケーブル接続部	・気密端子箱接続	Oリング、 LCモールド	実機同等品による長期健全性試験結果により評価した結果、60年間の運転期間および設計基準事故、または60年間の運転期間および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。 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。	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。
	・直ジョイント	熱収縮 チューブ				
	・三重同軸コネクタ接続-1	絶縁物、O リング	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。	系統機器の動作確認または絶縁抵抗測定を実施。	絶縁低下の可能性は否定できないが、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。
	・一般端子接続 ・端子台接続 ・三重同軸コネクタ接続-2 ・複合同軸コネクタ接続 ・高圧コネクタ接続	絶縁物等				

5. 代表機器以外の技術評価

高浜3、4号炉 電気・計装品の絶縁低下の技術評価(4/6)

評価対象設備	評価対象機器	部位	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)	<ul style="list-style-type: none"> メタクラ(安全系) 空冷式非常用発電装置(遮断器盤) 	ばね蓄勢用モータ	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	実機同等品による60年相当の健全性調査の結果、絶縁性能に問題のないことを確認している。	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。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。	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。
動力変圧器	<ul style="list-style-type: none"> 動力変圧器(安全系) 代替所内電気設備変圧器 	コイル	実機コイルのポリアミド紙平角銅線は、60年相当の絶縁性能を長期特性試験で確認した変圧器コイルの2重ガラス平角銅線に比べ、熱劣化特性で優れていることから、急激な絶縁低下の可能性は小さいと考えるが、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	<ul style="list-style-type: none"> パワーセンタ(安全系) 	ばね蓄勢用モータ	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。
		計器用変圧器	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。
制御設備	<ul style="list-style-type: none"> ディーゼル発電機制御盤 	計器用変流器	実機同等品による60年相当の健全性調査の結果、絶縁性能に問題のないことを確認している。	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。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。	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	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。 20年経過後適切な頻度で励磁装置の絶縁抵抗測定および精密点検としてtan δ測定および直流吸収比測定を実施。	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。	絶縁抵抗測定ならびに適切な頻度で精密点検としてtan δ測定および直流吸収比測定を実施していく。

5. 代表機器以外の技術評価

高浜3、4号炉 電気・計装品の絶縁低下の技術評価(5/6)

評価対象設備	評価対象機器	部位	健全性評価	現状保全	総合評価	高経年化への対応
制御設備	・制御用空気圧縮機盤	変圧器	屋内に設置された制御盤筐体内に内蔵されているため、塵埃が付着しにくい環境にあることから急激な絶縁低下の可能性は小さい。	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。
	・1次冷却材ポンプ母線計測盤 ・空冷式非常用発電装置制御盤	計器用変圧器				
	・空冷式非常用発電装置制御盤	励磁装置				
空調モータ	・安全補機開閉器室空調ファンモータ	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絶縁寿命と、経年機の設置経過年数とコイル絶縁破壊値との関係による評価結果から、固定子コイル等の運転に必要な絶縁耐力を保有する期間は16年と判断。	絶縁抵抗測定を実施。また、絶縁抵抗測定の結果に基づき、監視強化としての絶縁抵抗測定の実施頻度の見直しおよび必要により洗浄、乾燥、絶縁補修処理もしくは取替を行う。	絶縁低下は、16年以降において発生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、点検結果に基づき監視強化としての絶縁抵抗測定の実施頻度の見直しおよび必要により洗浄、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	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絶縁寿命と、経年機の設置経過年数とコイル絶縁破壊値との関係による評価結果から、固定子コイル等の耐用期間(管理強化の目安)は、運転年数で18.5年と判断。	絶縁診断を実施。機器の運転年数に基づき、絶縁診断の周期を短縮し、点検結果に基づき取替を検討する。	絶縁低下は、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、機器の運転年数および絶縁診断結果に基づいた取替を実施していく。
	・安全補機開閉器室循環ファンモータ ・ディーゼル発電機室給気ファンモータ ・中間建屋給気ファンモータ	固定子コイル、口出線・接続部品	長期間の運転を考慮すると固定子コイルおよび口出線等の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、絶縁抵抗測定の結果に基づき、監視強化としての絶縁抵抗測定の実施頻度の見直しおよび必要により洗浄、乾燥、絶縁補修処理もしくは取替を行う。	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、監視強化としての絶縁抵抗測定の実施頻度の見直しおよ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。
	・安全補機室空気浄化ファンモータ ・アニュラス空気浄化ファンモータ ・中間建屋排気ファンモータ ・余熱除去ポンプ室冷却ファンモータ ・格納容器スプレイポンプ室冷却ファンモータ ・充てん/高圧注入ポンプ室冷却ファンモータ ・配管貫通部冷却ファンモータ ・中央制御室循環ファンモータ ・中央制御室空調ファンモータ ・中央制御室非常用循環ファンモータ ・空調用冷水ポンプモータ	固定子コイル(低圧)、口出線(低圧)				

5. 代表機器以外の技術評価

高浜3、4号炉 電気・計装品の絶縁低下の技術評価(6/6)

評価対象設備	評価対象機器	部位	健全性評価	現状保全	総合評価	高経年化への対応
空気圧縮装置	・空気圧縮機モータ	固定子コイル、口出線・接続部品	低圧ポンプモータの評価と同様	低圧ポンプモータの評価と同様	低圧ポンプモータの評価と同様	低圧ポンプモータの評価と同様
燃料取扱設備	①燃料取替クレーン ②使用済燃料ピットクレーン ③燃料取扱建屋クレーン ④燃料移送装置	モータ(低圧)の固定子コイル①～④	低圧ポンプモータの評価と同様。	低圧ポンプモータの評価と同様	低圧ポンプモータの評価と同様	低圧ポンプモータの評価と同様
		電磁ブレーキ固定鉄心①～④	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①～③				
		変圧器①～④				
非常用ディーゼル発電設備	・ディーゼル発電機 ・空冷式非常用発電装置(発電機)	固定子コイル(高圧)、口出線・接続部品(高圧)	高圧ポンプモータの評価と同様	高圧ポンプモータの評価と同様	高圧ポンプモータの評価と同様	高圧ポンプモータの評価と同様
		回転子コイル(低圧)、口出線・接続部品(低圧)	低圧ポンプモータの評価と同様	低圧ポンプモータの評価と同様	低圧ポンプモータの評価と同様	低圧ポンプモータの評価と同様
	・ディーゼル機関付属設備ポンプモータ	固定子コイル、口出線	低圧ポンプモータの評価と同様	低圧ポンプモータの評価と同様	低圧ポンプモータの評価と同様	低圧ポンプモータの評価と同様
直流電源設備	・充電器(3系統目蓄電池用)	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。
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盤	ばね蓄勢用モータ	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。

6. 経年劣化傾向の評価

30年目の評価以降、40年目の評価として、ケーブル実機環境調査結果に基づく温度と放射線照射量を用い※1、さらにケーブル製造メーカーの違いを考慮した評価を実施した結果、事故時雰囲気内で機能要求があるケーブルについては、実機と同じ製造メーカーのケーブルで長期健全性試験を実施し、60年間の健全性について確認することができた。また、事故時雰囲気内で機能要求がない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、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、今後も現状保全を継続することとしている。

※1：30年目の評価との相違点

これらのケーブルについて、制御・計装用ケーブルは定期的に系統機器の動作に異常のないことを確認し、また、電力用ケーブルは定期的に絶縁抵抗測定を行い有意な絶縁低下のないことを確認できしており、30年目で実施した評価内容およびそれ以降の保全が有効であったと考える。

また、ケーブル以外の事故時雰囲気内で機能要求がある電気・計装品（電気ペネトレーション、弁電動装置、プロセス設備）について、いずれも再評価による60年間の健全性確認や、評価で確認された期間内に取替えることとしており、30年目以降も適切な対応がなされたと考える。

なお、事故時雰囲気内で機能要求がある機器の管理については、設置環境と健全性結果を基にリスト化する等、整備を進めており、定期取替品としている電気・計装品の取替管理については、取替周期を定め、機器個別の評価寿命を超過しない期間内で取替を実施している。

7. 長期施設管理方針の有効性評価

電気・計装品の絶縁低下に関する長期施設管理方針が当初意図した結果が得られたかを評価した結果、全ての長期施設管理方針が有効であったことが確認されたことから、40年目の長期施設管理方針に反映すべき事項はなかった。

(3号炉)

主変圧器コイルの絶縁低下

- 長期施設管理方針
主変圧器の取替を実施する。
- 実施状況
第23回定期検査時(2018年度)に主変圧器の取替を実施した。
- 有効性評価
計画的な取替を計画し、実施することにより健全性が確認できていることから、長期施設管理方針は有効であったと考える。

(4号炉)

主変圧器コイルの絶縁低下

- 長期施設管理方針
絶縁紙の寿命評価に基づき、主変圧器取替の実施計画を策定する。
- 実施状況
第23保全サイクル中に、主変圧器取替の実施計画を策定^{※1}した。
※1: 第25回定期検査時に取替予定。
- 有効性評価
絶縁紙の寿命評価に基づく主変圧器取替要否を判断し、主変圧器取替の実施計画を策定したことから、長期施設管理方針は有効であったと考える。

8. まとめ

8. 1 審査基準適合性

「2. 基本方針」で示した要求事項について技術評価を行った結果、全ての要求事項を満足していることを確認した。

8. 2 長期施設管理方針として策定する事項

電気・計装品の絶縁低下に関する評価結果より、長期施設管理に関する方針は抽出されなかった。