

泊発電所 2 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 2 年 7 月 13 日
北海道電力株式会社

: 枠囲みの内容は機密情報に属しますので公開できません。

目次

1. 概要	1
2. 基本方針	1
3. 評価対象と評価手法	3
3.1 評価対象	3
3.2 評価手法	3
4. 代表機器の技術評価	5
4.1 高圧ポンプ用電動機（原子炉補機冷却海水ポンプ用電動機）の技術評価	5
4.1.1(1) ヒートサイクル試験による健全性評価	5
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	8
4.1.2 現状保全	10
4.1.3 総合評価	10
4.1.4 高経年化への対応	10
4.2 低圧ケーブル（難燃 PH ケーブル）の技術評価	11
4.2.1 健全性評価	11
4.2.2 現状保全	13
4.2.3 総合評価	13
4.2.4 高経年化への対応	13
5. 代表機器以外の技術評価	14
6. まとめ	19
6.1 審査ガイド適合性	19
6.2 保守管理に関する方針として策定する事項	20

別紙

別紙 1. 高圧ポンプ用電動機のヒートサイクル試験による評価について	1-1
別紙 2. 難燃 PH ケーブルの活性化エネルギー及びその根拠について	2-1
別紙 3. 保全内容及び保全実績等について	3-1

1. 概要

本資料は、「実用発電用原子炉の施設、運転等に関する規則」第82条第1項の規定に基づき実施した、冷温停止状態が維持されることを前提とした高経年化技術評価のうち、電気・計装品の絶縁低下の評価結果について、補足説明するものである。

絶縁低下は、電気・計装品の種々の部位に使用されているゴムやプラスチック等の高分子絶縁材料が、環境的、電氣的及び機械的な要因で劣化することにより電気抵抗が低下し、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）が確保できなくなる劣化事象である。

ここでは、高圧ポンプ用電動機（原子炉補機冷却海水ポンプ用電動機）及び低圧ケーブル（難燃 PH ケーブル）を代表とし、具体的な評価を「4. 代表機器の技術評価」に、その他の評価対象については、「5. 代表機器以外の技術評価」にて評価を実施する。

2. 基本方針

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「実用発電用原子炉施設における高経年化対策審査ガイド」及び「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。

電気・計装品の絶縁低下についての要求事項を表1に整理する。

評価に当たっては、実施ガイド3.1⑧ただし書きの規定に該当する場合^{*1}ではなくなった際には、プラントの運転を開始した日から60年間について健全性評価を行うことを踏まえ、今回の評価においても、60年間の劣化の進展を仮定した評価を行うことで、40年間における健全性を評価している。

*1 運転開始以後30年を経過する日において技術基準^{*2}に適合しないものがある場合

*2 実用発電用原子炉及びその附属施設の技術基準に関する規則に定められる基準

表1 電気・計装品の絶縁低下についての要求事項

ガイド	要求事項
<p>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</p>	<p>3. 高経年化技術評価等の審査の視点・着眼点</p> <p>(1) 高経年化技術評価の審査</p> <p>⑫健全性の評価 実施ガイド3. 1⑤に規定する期間の満了日までの期間について、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象の発生又は進展に係る健全性を評価していることを審査する。</p> <p>⑬現状保全の評価 健全性評価結果から現状の保全策の妥当性が評価されていることを審査する。</p> <p>⑭追加保全策の抽出 現状保全の評価結果から、現状保全に追加する必要がある新たな保全策が抽出されていることを審査する。</p> <p>(2) 長期保守管理方針の審査</p> <p>①長期保守管理方針の策定 すべての追加保全策について長期保守管理方針として策定されているかを審査する。</p>
<p>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</p>	<p>3. 1 高経年化技術評価の実施及び見直し 高経年化技術評価の実施及び見直しに当たっては、以下の要求事項を満たすこと。</p> <p>⑤抽出された高経年化対策上着目すべき経年劣化事象について、以下に規定する期間の満了日までの期間について機器・構造物の健全性評価を行うとともに、必要に応じ現状の保守管理に追加すべき保全策（以下「追加保全策」という。）を抽出すること。</p> <p>イ 実用炉規則第82条第1項の規定に基づく高経年化技術評価プラントの運転を開始した日から60年間（ただし、⑧ただし書の規定に該当する場合にはプラントの運転を開始した日から40年間とする。）</p> <p>3. 2 長期保守管理方針の策定及び変更 長期保守管理方針の策定及び変更に当たっては、以下の要求事項を満たすこと。</p> <p>①高経年化技術評価の結果抽出されたすべての追加保全策（発電用原子炉の運転を断続的に行うことを前提として抽出されたもの及び冷温停止状態が維持されることを前提として抽出されたもののすべて。）について、発電用原子炉ごとに、保守管理の項目及び当該項目ごとの実施時期を規定した長期保守管理方針を策定すること。</p> <p>なお、高経年化技術評価の結果抽出された追加保全策について、発電用原子炉の運転を断続的に行うことを前提とした評価から抽出されたものと冷温停止状態が維持されることを前提とした評価から抽出されたもの間で、その対象の経年劣化事象及び機器・構造物の部位が重複するものについては、双方の追加保全策を踏まえた保守的な長期保守管理方針を策定すること。</p> <p>ただし、冷温停止が維持されることを前提とした高経年化技術評価のみを行う場合はその限りでない。</p>

3. 評価対象と評価手法

3.1 評価対象

冷温停止状態が維持されることを前提として抽出した高経年化技術評価対象機器について、機能達成に必要な項目を考慮して主要な部位に展開した上で、個々の部位の構造、材料、使用条件及び現在までの運転経験を考慮し、経年劣化事象として絶縁低下が想定される機器・部位を評価対象とする。

評価対象として抽出した機器・部位を表2に示す。

3.2 評価手法

評価対象機器（電気・計装品）の絶縁低下の評価に用いた規格及び評価手法を以下に示す。

- ① IEEE Std. 275-1981 「IEEE Recommended Practice for Thermal Evaluation of Insulation Systems for AC Electric Machinery Employing Form-Wound Pre-Insulated Stator Coils, Machines Rated 6900 V and Below」
- ② IEEE Std. 117-1956 「IEEE Standard Test Procedure for Evaluation of Systems of Insulating Materials for Random-Wound Electric Machinery」
- ③ IEEE Std. 323-1974 「IEEE Standard for Qualifying Class 1E Equipment for Nuclear Power Generating Stations」
- ④ IEEE Std. 383-1974 「IEEE Standard for Type Test of Class 1E Electric Cables, Field Splices, and Connections for Nuclear Power Generating Stations」
- ⑤ IEEE Std. 317-1976 「IEEE Standard for Electric Penetration Assemblies in Containment Structures for Nuclear Power Generating Stations」
- ⑥ IEEE Std. 382-1996 「IEEE Standard for Qualification of Actuators for Power-Operated Valve Assemblies With Safety-Related Functions for Nuclear Power Plants」
- ⑦ 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」

表2 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
ポンプ用電動機	高圧ポンプ用電動機	固定子コイル, 口出線・接続部品
	低圧ポンプ用電動機	固定子コイル, 口出線他
容器	電気ペネトレーション	ポッティング材, 外部リード
弁	電動装置	固定子コイル, 口出線・接続部品他
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 (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
計測制御設備	制御設備	計器用変流器, 計器用変圧器他
空調設備	電動機	固定子コイル, 口出線他
機械設備	制御用空気圧縮機用電動機	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
	直流コントロールセンタ	保護継電器
	計装用インバータ	変圧器

4. 代表機器の技術評価

4.1 高圧ポンプ用電動機（原子炉補機冷却海水ポンプ用電動機）の技術評価

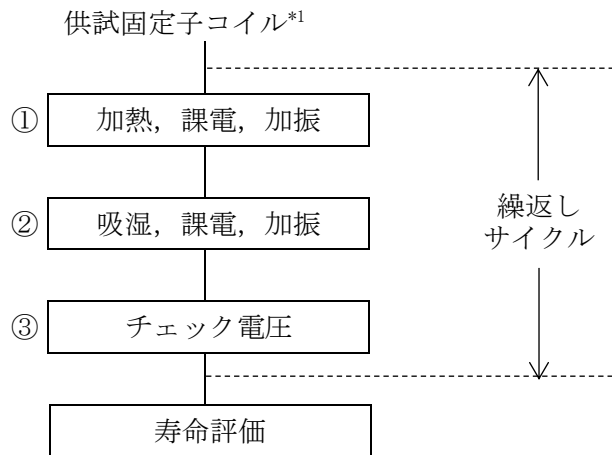
4.1.1(1) ヒートサイクル試験による健全性評価

a. 評価手順

高圧ポンプ用電動機の固定子コイルの健全性評価は、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 Std. 275-1981「IEEE Recommended Practice for Thermal Evaluation of Insulation Systems for AC Electric Machinery Employing Form-Wound Pre-Insulated Stator Coils, Machines Rated 6900 V and Below」（以下「IEEE Std. 275-1981」という。）の規格に基づき実施した評価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、電動機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。

評価手順を図1に示す。



*1：供試固定子コイル及び泊2号炉で使用している実機の固定子コイルの絶縁は、共にエポキシ絶縁で同等品である。

図1 固定子コイル長期健全性評価手順

b. 試験条件

試験条件を表3に、ヒートサイクル方法例を図2に示す。

表3 固定子コイル長期健全性評価における試験条件

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℃*1
	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100%RH (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	――

RH: relative humidity (相対湿度)

*1：実機設計条件の運転温度（使用最高温度）の根拠は以下の通り。

運転温度=145℃=40℃（周囲温度*2）+100℃（温度上昇*3）+5℃（マージン）

*2：周囲温度=40℃（原子炉格納容器外の設計平均温度）

*3：温度上昇=100℃（「電気学会 電気規格調査会標準規格 誘導機(JEC-37-1979)」で定められている温度上昇限度）

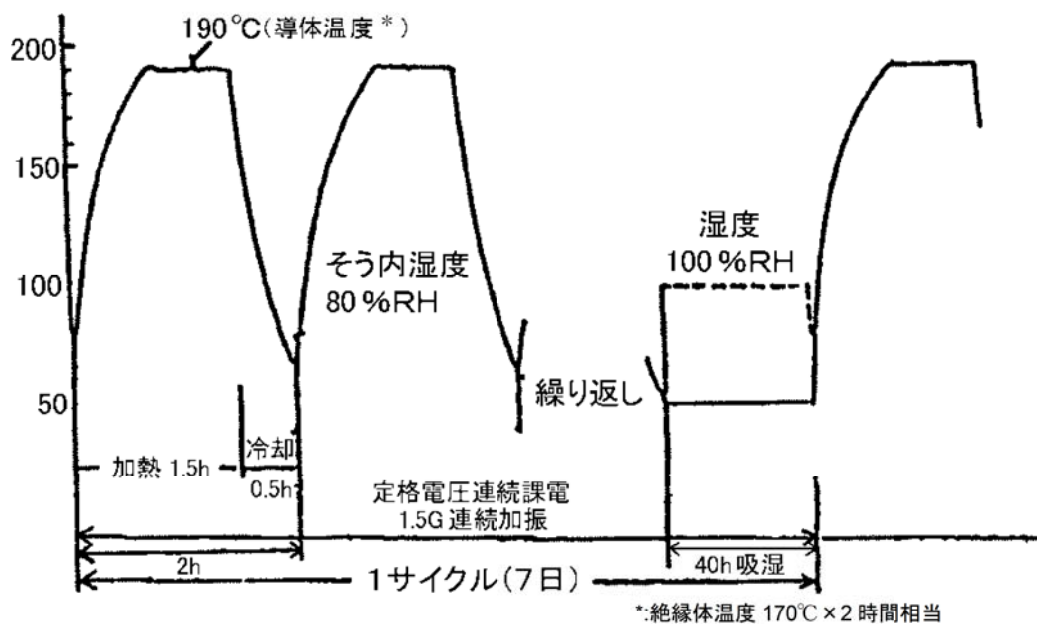


図2 ヒートサイクル方法例 (試験条件1)

c. 評価結果

図1の評価手順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, 170°C及び190°Cでの耐熱寿命を基にアレニウス則*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。

*: アレニウス則

$$\log Y = -A + \frac{B}{273 + t} \quad (1)$$

Y: 寿命時間 (hr)
 t: 運転温度 (°C)
 A, B: 定数
 logY: 自然対数

この耐熱寿命曲線は, 電動機に適用している絶縁固有の特性を表す。

この(1)式に当該電動機の運転温度 t(°C)を代入して, 寿命を求める。

この寿命で絶縁寿命が決定される。【別紙1参照】

固定子コイルの絶縁寿命は, 評価結果より稼働率100%で, 19.95年と判断する。

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

a. 評価手順

実機で使用されていた高圧電動機（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。

なお、供試固定子コイル及び泊2号炉で使用している実機の固定子コイルの絶縁は、共にエポキシ絶縁で同等品である。

b. 試験条件

「電気学会 電気規格調査会標準規格 回転電気機械一般（JEC-2100-1993）」の規格に基づき安全運転下限値*1を決定し、固定子コイルの長期健全性を評価した。

$$*1 : 2E+1=2 \times 6.6 \text{ [kV]} +1 \text{ [kV]} =14.2 \text{ [kV]}$$

c. 評価結果

コイル破壊電圧の測定値を評価した結果が、運転年数*2と絶縁破壊値の関係として、図3に示すように求められる。

$$*2 : \text{稼働率等を考慮に入れた年数} = \text{運転時間(年)} + \text{休止時間(年)} / \text{休止係数}$$

同図では、縦軸の絶縁破壊値は新品の値を100%として示している。

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。

以上の検討結果より、高圧ポンプ用電動機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、より厳しい評価結果である経年機固定子コイルの絶縁破壊値による評価結果を採用し、運転年数で18.5年と判断する。

また、口出線・接続部品の絶縁物の絶縁種別及び耐熱性能は、固定子コイルの絶縁物と同等以上であり、口出線・接続部品の運転に必要な絶縁耐力を保有する期間は、固定子コイルと同様、運転年数で18.5年と判断する。

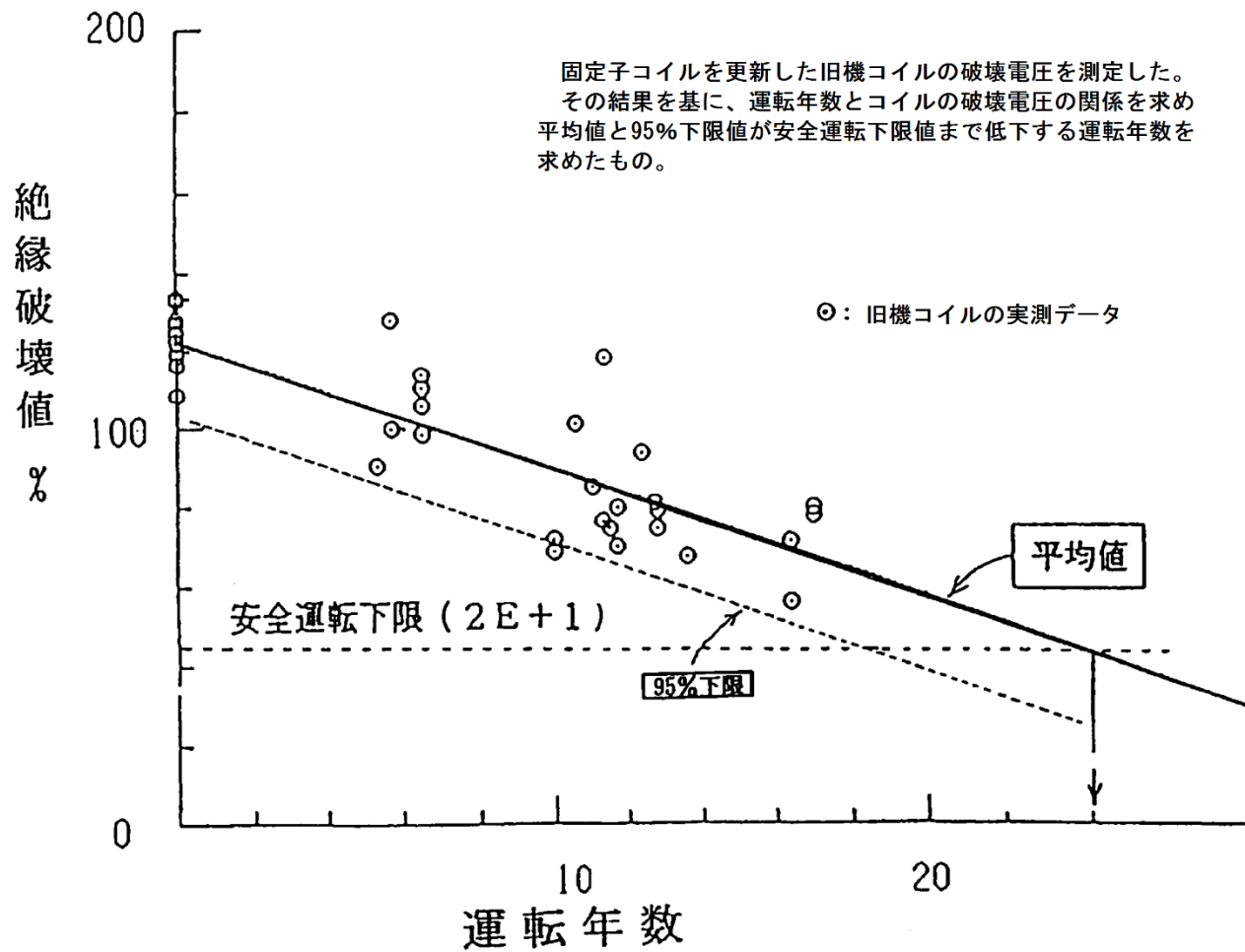


図3 運転年数と絶縁破壊値の関係
[出典：民間データ]

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、直流吸収試験、 $\tan \delta$ 試験及び部分放電試験により、許容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、機器の運転年数及び絶縁診断結果に基づき、取替を行うこととしている。

なお、予防保全のため原子炉補機冷却海水ポンプ用電動機については、第16回定期検査（2011年度～）時に1台の固定子の取替を行っている。【別紙3参照】

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、機器の運転年数及び絶縁診断結果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）の技術評価

4.2.1 健全性評価

a. 評価手順

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図4に示す。

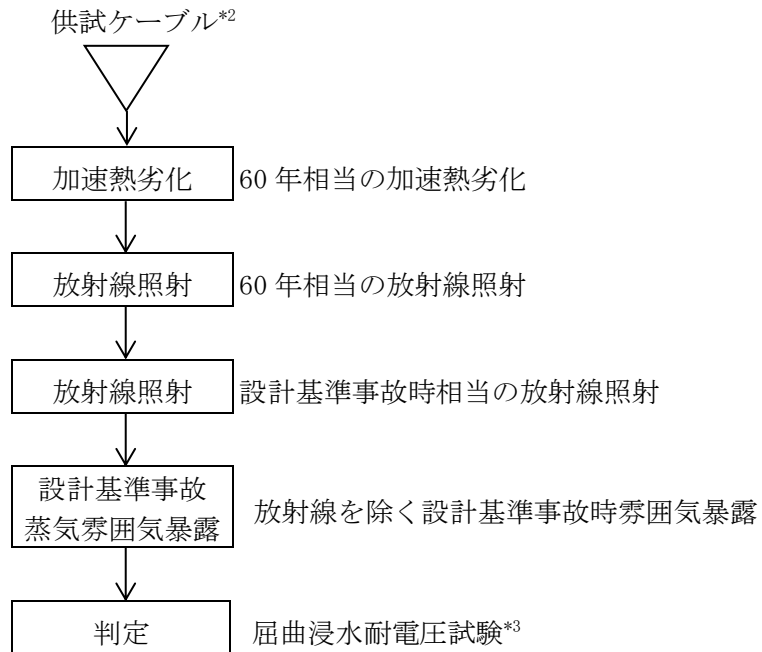


図4 難燃PHケーブルの長期健全性試験手順及び判定方法

*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「IEEE Standard for Qualifying Class 1E Equipment for Nuclear Power Generating Stations」及びIEEE Std. 383-1974「IEEE Standard for Type Test of Class 1E Electric Cables, Field Splices, and Connections for Nuclear Power Generating Stations」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：泊2号炉で使用している難燃PHケーブルと製造メーカー及び絶縁材料が同等の難燃PHケーブルを供試ケーブルとしている。

*3：屈曲浸水耐電圧試験の試験手順は以下のとおりである。

- ① 直線状に試料を伸ばした後、試料外径の約40倍のマンドレルに巻付ける。
- 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。

b. 試験条件

難燃PHケーブルの長期健全性試験条件を表4に示す。試験条件は、泊2号炉の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。

表4 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
通常 運相 転当	温度	140℃-9日	109℃-9日*1 (=54℃*2-60年)
	放射線 (集積線量)	500kGy (7.3kGy/h以下)	67kGy*3
設 計 基 事 準 故 相 当	放射線 (集積線量)	1,500kGy (7.3kGy/h以下)	(冷温停止状態では考慮不要)
	温度	最高温度： 190℃	(冷温停止状態では考慮不要)
	圧力	最高圧力： 0.41MPa[gage]	(冷温停止状態では考慮不要)

*1：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（54℃-60年）を試験条件と比較するために活性化エネルギーを用いて換算した。【別紙2参照】

*2：原子炉格納容器内でのケーブル周囲温度（約43℃）に通電による温度上昇（7℃）と若干の余裕（4℃）を加えた温度として設定した。

*3：0.126[Gy/h]（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）×(24×365.25)[h/y]×60[y]=67kGy

c. 評価結果

難燃PHケーブルの長期健全性試験結果を表5に示す。電気学会推奨案に基づく評価の結果、泊2号炉の難燃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。

表5 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

(出典：メーカーデータ)

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。

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。【別紙3参照】

4.2.3 総合評価

健全性評価結果から判断して、難燃PHケーブルについては、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

難燃PHケーブルの絶縁体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. 代表機器以外の技術評価

代表機器以外の評価対象及び技術評価の概要を表6に示す。

表6 (1/5) 代表機器以外の評価対象及び技術評価の概要

評価対象設備	グループ内代表機器	評価対象部位	グループ内代表機器の健全性評価	現状保全【別紙3参照】	総合評価	高経年化への対応
低圧ポンプ用電動機	充てんポンプ用電動機	固定子コイル, 励磁コイル, 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, 必要により洗浄, 乾燥, 絶縁補修処理若しくは取替を行う。	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, 必要に応じて洗浄, 乾燥, 絶縁補修処理若しくは取替を実施していく。
電気ペネトレーション	ビッグテイル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年間の通常運転後においても絶縁機能を維持できると判断。外部リード(EPゴム)－1については, 代表型式の外部リードと構造及び絶縁材料が類似していることから, 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。	絶縁抵抗測定又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。外部リード(EPゴム)－1については絶縁低下の可能性は否定できないが, 絶縁低下は絶縁抵抗測定又は機器の動作確認で検知可能であり, 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。外部リード(EPゴム)－1については絶縁抵抗測定又は機器の動作確認を実施していく。
弁電動装置	余熱除去ライン入口止め弁電動装置	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。
	タービン動補助給水ポンプ駆動蒸気ライン元弁電動装置	主極コイル, 電機子コイル, 口出線・接続部品	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。

表 6 (2/5) 代表機器以外の評価対象及び技術評価の概要

評価対象設備	グループ内代表機器	評価対象部位	グループ内代表機器の健全性評価	現状保全【別紙 3 参照】	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	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。 一部の難燃高圧 CSHV 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ていないため、絶縁低下の可能性は否定できない。	絶縁診断を実施。	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。 一部の難燃高圧 CSHV 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。 一部の難燃高圧 CSHV ケーブルについては、絶縁抵抗測定を実施していく。
		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ないが、海水管ダクト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。海水管ダクト内の水の溜まりの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、水トリー劣化による絶縁低下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、点検結果に基づき取替等を検討していく。更に、海水管ダクト内の目視確認を実施していく。
低圧ケーブル	難燃 SHVV ケーブル、難燃 VV ケーブル、FPET ケーブル	絶縁体	用途が制御又は計装用のみで通電による温度上昇がごく僅かであることから、絶縁低下の可能性は小さいと考えるが、電気学会推奨案の手順による長期健全性評価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又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又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 - 1	絶縁体、内部シース	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。
ケーブル接続部	気密端子箱接続、直ジョイント、原子炉格納容器内電動弁コネクタ接続、三重同軸コネクタ接続 - 1	絶縁物等	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。	系統機器の動作確認又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。

表 6 (3/5) 代表機器以外の評価対象及び技術評価の概要

評価対象設備	グループ内代表機器	評価対象部位	グループ内代表機器の健全性評価	現状保全 【別紙3参照】	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	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	60年相当の課電劣化試験及び熱サイクル試験による健全性試験の結果、絶縁性能に問題のないことを確認。	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。
		保護継電器 (機械式)	同種保護継電器のサンプリング調査結果による評価の結果、保護継電器入力トランスが試験の判定基準を満たす期間は約40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。	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。
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、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)	遮断器の保護継電器(静止形)、保護継電器(機械式)	メタクラの評価と同様。	同左	同左	同左
		ばね蓄勢用モータ	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	ディーゼル発電機制御盤	計器用変流器、計器用変圧器	メタクラの評価と同様。	同左	同左	同左

表6 (4/5) 代表機器以外の評価対象及び技術評価の概要

評価対象設備	グループ内代表機器	評価対象部位	グループ内代表機器の健全性評価	現状保全 【別紙3参照】	総合評価	高経年化への対応
制御設備	ディーゼル発電機制御盤	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。20 年経過後適切な頻度で絶縁抵抗測定及び精密点検として tan δ 測定、直流吸収比測定及びコイルの目視点検を実施。	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及び精密点検で検知可能であり、点検手法として適切。	絶縁抵抗測定並びに適切な頻度で精密点検として tan δ 測定、直流吸収比測定及びコイルの目視点検を実施していく。
空調用電動機	安全補機開閉器室給気ファン用電動機	固定子コイル、口出線	低压ポンプ用電動機の評価と同様。	同左	同左	同左
	空調用冷凍機用電動機	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 16.5 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、必要により洗浄、乾燥、絶縁補修処理若しくは取替を行う。	絶縁低下は、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、必要に応じて洗浄、乾燥、絶縁補修処理若しくは取替を実施していく。
空気圧縮装置	制御用空気圧縮機用電動機	固定子コイル、口出線	低压ポンプ用電動機の評価と同様。	同左	同左	同左
燃料取扱設備	燃料取替クレーン	電動機（低压）の固定子コイル	絶縁仕様が低压ポンプ用電動機に比べて同等以上であるため、固定子コイルの絶縁耐力を保有する運転期間は 16.5 年と考えられるが、低压ポンプ用電動機と設置場所が異なることから、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、絶縁抵抗測定の結果に基づき、必要により洗浄、乾燥、絶縁補修処理若しくは取替を行う。	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、必要に応じて洗浄、乾燥、絶縁補修処理若しくは取替を実施していく。
		電磁ブレーキの固定鉄心	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	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。

表6 (5/5) 代表機器以外の評価対象及び技術評価の概要

評価対象設備	グループ内代表機器	評価対象部位	グループ内代表機器の健全性評価	現状保全 【別紙3参照】	総合評価	高経年化への対応
燃料取扱設備	燃料取替クレーン	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。
燃料移送装置	燃料移送装置	電動機（低圧）の固定子コイル	燃料取替クレーンの評価と同様。	同左	同左	同左
		電磁ブレーキの固定鉄心	燃料取替クレーンの評価と同様。	同左	同左	同左
		変圧器	燃料取替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	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）	高圧ポンプ用電動機の評価と同様。運転時間は年間約40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。	絶縁診断を実施。また、機器の運転年数及び絶縁診断結果に基づき、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、機器の運転年数及び絶縁診断結果に基づいた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）	低圧ポンプ用電動機の評価と同様。運転時間は年間約40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、絶縁抵抗測定の結果に基づき、必要により洗浄、乾燥、絶縁補修処理若しくは取替を行う。	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、必要に応じて洗浄、乾燥、絶縁補修処理若しくは取替を実施していく。
ディーゼル機関付属設備	燃料弁冷却水ポンプ、燃料油移送ポンプ	電動機の固定子コイル、口出線	低圧ポンプ用電動機の評価と同様。	同左	同左	同左
直流電源設備	直流コントロールセンタ	保護継電器（機械式）	メタクラの評価と同様。	同左	同左	同左
計器用電源設備	計装用インバータ	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. まとめ

6.1 審査ガイド適合性

「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。絶縁低下についての要求事項との対比を表7に示す。

表7 (1/2) 電気・計装品の絶縁低下についての要求事項との対比

ガイド	要求事項	技術評価結果
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	3. 高経年化技術評価等の審査の視点・着眼点 (1) 高経年化技術評価の審査 ⑫健全性の評価 実施ガイド3.1⑤に規定する期間の満了日までの期間について、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象の発生又は進展に係る健全性を評価していることを審査する。	4.1.1(1), 4.1.2(2), 4.2.1及び5.の「健全性評価」に示すとおり、各電気・計装品に応じた健全性評価を実施した。
	⑬現状保全の評価 健全性評価結果から現状の保全策の妥当性が評価されていることを審査する。	4.1.2, 4.2.2及び5.の「現状保全」に示すとおり、現状保全の評価結果から、現状の保全策が妥当であることを確認した。
	⑭追加保全策の抽出 現状保全の評価結果から、現状保全に追加する必要のある新たな保全策が抽出されていることを審査する。	4.1.4, 4.2.4及び5.の「高経年化への対応」に示すとおり、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した。
	(2) 長期保守管理方針の審査 ①長期保守管理方針の策定 すべての追加保全策について長期保守管理方針として策定されているかを審査する。	

表 7 (2/2) 電気・計装品の絶縁低下についての要求事項との対比

ガイド	要求事項	技術評価結果
<p>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</p>	<p>3.1 高経年化技術評価の実施及び見直し 高経年化技術評価の実施及び見直しに当たっては、以下の要求事項を満たすこと。</p> <p>⑤抽出された高経年化対策上着目すべき経年劣化事象について、以下に規定する期間の満了日までの期間について機器・構造物の健全性評価を行うとともに、必要に応じ現状の保守管理に追加すべき保全策（以下「追加保全策」という。）を抽出すること。</p> <p>イ 実用炉規則第82条第1項の規定に基づく高経年化技術評価 プラントの運転を開始した日から60年間（ただし、⑧ただし書の規定に該当する場合にはプラントの運転を開始した日から40年間とする。）</p> <p>3.2 長期保守管理方針の策定及び変更 長期保守管理方針の策定及び変更にあたっては、以下の要求事項を満たすこと。</p> <p>①高経年化技術評価の結果抽出されたすべての追加保全策（発電用原子炉の運転を断続的に行うことを前提として抽出されたもの及び冷温停止状態が維持されることを前提として抽出されたもののすべて。）について、発電用原子炉ごとに、保守管理の項目及び当該項目ごとの実施時期を規定した長期保守管理方針を策定すること。</p> <p>なお、高経年化技術評価の結果抽出された追加保全策について、発電用原子炉の運転を断続的に行うことを前提とした評価から抽出されたものと冷温停止状態が維持されることを前提とした評価から抽出されたもの間で、その対象の経年劣化事象及び機器・構造物の部位が重複するものについては、双方の追加保全策を踏まえた保守的な長期保守管理方針を策定すること。</p> <p>ただし、冷温停止が維持されることを前提とした高経年化技術評価のみを行う場合はその限りでない。</p>	<p>4.1.4、4.2.4及び5.の「高経年化への対応」に示すとおり、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した。</p>

6.2 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する評価について、保守管理に関する方針は抽出されなかった。

別紙

別紙 1. 高圧ポンプ用電動機のヒートサイクル試験による評価について

別紙 2. 難燃 PH ケーブルの活性化エネルギー及びその根拠について

別紙 3. 保全内容及び保全実績等について

別紙 1. 高圧ポンプ用電動機のヒートサイクル試験による評価について

170℃及び 190℃での試験結果（耐熱寿命）から、実機の使用環境における絶縁寿命は下記のように求められる。

・試験結果

温度 (℃)	耐熱寿命 (時間)
170	
190	

・耐熱寿命計算

アレニウス則を用いて定数A, Bを決定

$$\log Y = -A + B / (273 + t) \cdots (1) \quad Y : \text{寿命時間}, \quad t : \text{運転温度}$$

(1)に試験結果の値を代入し, A及びBの値を求めると,

$$A = \boxed{}, \quad B = \boxed{}$$

(1)に定数A, B及び運転温度 145℃を代入し, 寿命Yを求めると,

$$Y = 174,874 \text{ 時間} = 19.95 \text{ 年 (稼働率 100\%として)}$$

別紙 2. 難燃 PH ケーブルの活性化エネルギー及びその根拠について

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活性化エネルギー及びその根拠を以下に示す。

- ・ 製造メーカー：
- ・ 材料：難燃エチレンプロピレンゴム
- ・ 活性化エネルギー： kcal/mol
- ・ 根拠：メーカーデータ

別紙 3. 保全内容及び保全実績等について

絶縁低下に関する代表機器の保全内容及び保全実績，並びに断続運転時よりも冷温停止状態維持評価の方が使用条件が厳しくなる機器及び点検頻度設定の考え方について以下に示す。

(1) 代表機器の保全内容

技術評価を実施した代表機器の機器名，評価対象部位，保全項目，判定基準及び点検頻度を添付-1に示す。

なお，添付-1に示す点検頻度は断続運転時のものであるが，冷温停止状態における点検頻度は，添付-2に示すフローに基づき，断続運転時における点検計画を考慮のうえ，保管状態，停止期間に応じた追加保全の検討を行い，必要な追加保全を実施することとしている。

(2) 代表機器の保全実績

技術評価を実施した代表機器の機器名，補修・取替実績，実施時期及び取替理由を添付-3に示す。

(3) 断続運転時よりも冷温停止状態維持評価の方が使用条件が厳しくなる機器及び点検頻度設定の考え方

断続運転時よりも冷温停止状態維持評価の方が使用条件が厳しくなる機器は余熱除去ポンプ用電動機であり，原子炉容器内に燃料を装荷したまま冷温停止状態を維持し続ける場合においては，使用条件のうち年間を通しての運転時間が長くなるという点で厳しくなる。断続運転時における余熱除去ポンプ用電動機の絶縁特性に係る点検（頻度）は，絶縁抵抗測定（1回／1定検）及び絶縁診断（1回／8定検）を実施している。冷温停止状態維持時においては，断続運転時における点検計画を考慮のうえ，保管状態，停止期間に応じた追加保全の検討を行い，必要な追加保全を実施することとしている。

添付-1：代表機器の機器名，評価対象部位，保全項目，判定基準及び点検頻度（断続運転時）

添付-2：定期検査の長期化に伴う追加保全

添付-3：代表機器の機器名，補修・取替実績，実施時期及び取替理由

代表機器の機器名, 評価対象部位, 保全項目, 判定基準及び点検頻度 (断続運転時) (1/6)

評価対象設備	グループ内代表機器	評価対象部位	保全項目	判定基準	断続運転時の点検頻度*1	備考
高圧ポンプ用電動機	原子炉補機冷却海水ポンプ用電動機	固定子コイル, 口出線・接続部品	絶縁抵抗測定		1回/1定検	
			絶縁抵抗測定 (絶縁診断時)			
			直流吸収試験			
			tan δ 試験			
			部分放電試験			
低圧ポンプ用電動機	充てんポンプ用電動機	固定子コイル, 励磁コイル, 口出線	絶縁抵抗測定		1回/3定検	
電気ペネトレーション	ビッグテイル型電気ペネトレーション	ポッティング材, 外部リード	絶縁抵抗測定又は系統機器の動作確認		系統機器の点検周期に合わせて実施	
弁電動装置	余熱除去ライン入口止め弁電動装置	固定子コイル, 口出線・接続部品	絶縁抵抗測定		1回/6定検	
	タービン動補助給水ポンプ駆動蒸気ライン元弁電動装置	主極コイル, 電機子コイル, 口出線・接続部品	絶縁抵抗測定		1回/6定検	

*1: 冷温停止時における点検頻度については, 断続運転における点検計画を考慮するため, 断続運転での周期を記載。

代表機器の機器名，評価対象部位，保全項目，判定基準及び点検頻度（断続運転時）（2/6）

評価対象設備	グループ内代表機器	評価対象部位	保全項目	判定基準	断続運転時の点検頻度*1	備考
高圧ケーブル	難燃高圧 CSHV ケーブル	絶縁体	絶縁抵抗測定		1回/8定検	
			絶縁抵抗測定 (絶縁診断時)			
			直流漏れ電流測定			
			シース絶縁抵抗測定			
			遮へい層抵抗測定			
低圧ケーブル	難燃 PH ケーブル， 難燃 SHVV ケーブル， 難燃 VV ケーブル， FPET ケーブル	絶縁体	絶縁抵抗測定又は系統機器の動作確認		系統機器の点検周期に合わせて実施	
同軸ケーブル	難燃三重同軸ケーブル- 1	絶縁体， 内部シース	絶縁抵抗測定		系統機器の点検周期に合わせて実施	
ケーブル接続部	気密端子箱接続， 直ジョイント， 原子炉格納容器内電動弁コネクタ接続	絶縁物等	絶縁抵抗測定又は系統機器の動作確認		系統機器の点検周期に合わせて実施	
	三重同軸コネクタ接続- 1	絶縁物等	絶縁抵抗測定		系統機器の点検周期に合わせて実施	

*1：冷温停止時における点検頻度については，断続運転における点検計画を考慮するため，断続運転での周期を記載。

代表機器の機器名，評価対象部位，保全項目，判定基準及び点検頻度（断続運転時）（3/6）

評価対象設備	グループ内代表機器	評価対象部位	保全項目	判定基準	断続運転時の点検頻度*1	備考
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	絶縁抵抗測定		1回/4定検	系統機器の点検 周期に合わせて 実施
		計器用変流器	絶縁抵抗測定		1回/4定検	
		計器用変圧器	絶縁抵抗測定		1回/4定検	
		保護継電器 (機械式)	絶縁抵抗測定		1回/4定検	
動力変圧器	動力変圧器 (安全系)	コイル	絶縁抵抗測定		1回/2定検	
パワーセンタ	パワーセンタ (安全系)	遮断器の保護継電器 (静止形),	絶縁抵抗測定		1回/4定検	
		保護継電器 (機械式)	絶縁抵抗測定		1回/4定検	
		ばね蓄勢用モータ	絶縁抵抗測定		1回/4定検	
		計器用変圧器	絶縁抵抗測定		1回/4定検	
制御設備	ディーゼル発電機制御盤	計器用変流器, 計器用変圧器	絶縁抵抗測定		1回/1定検	
		励磁装置	絶縁抵抗測定	1回/1定検		

*1：冷温停止時における点検頻度については，断続運転における点検計画を考慮するため，断続運転での周期を記載。

代表機器の機器名，評価対象部位，保全項目，判定基準及び点検頻度（断続運転時）（4/6）

評価対象設備	グループ内代表機器	評価対象部位	保全項目	判定基準	断続運転時の点検頻度*1	備考
制御設備	ディーゼル発電機制御盤	励磁装置	絶縁抵抗測定 (精密点検時)		1回/5定検	
			直流吸収比測定			
			tan δ 試験			
空調用電動機	安全補機開閉器室給気ファン用電動機	固定子コイル，口出線	絶縁抵抗測定		1回/6定検	
	空調用冷凍機用電動機	固定子コイル，口出線・接続部品	絶縁抵抗測定		1回/3定検	
空気圧縮装置	制御用空気圧縮機用電動機	固定子コイル，口出線	絶縁抵抗測定		1回/4定検	
燃料取扱設備	燃料取替クレーン	電動機（低圧）の固定子コイル	絶縁抵抗測定		1回/1定検	
		電磁ブレーキの固定鉄心	絶縁抵抗測定		1回/1定検	
		指速発電機	絶縁抵抗測定		1回/1定検	
		変圧器	絶縁抵抗測定		1回/1定検	

*1：冷温停止時における点検頻度については，断続運転における点検計画を考慮するため，断続運転での周期を記載。

代表機器の機器名，評価対象部位，保全項目，判定基準及び点検頻度（断続運転時）（5/6）

評価対象設備	グループ内代表機器	評価対象部位	保全項目	判定基準	断続運転時の点検頻度*1	備考
燃料移送装置	燃料移送装置	電動機（低圧）の固定子コイル	絶縁抵抗測定		1回／1定検	
		電磁ブレーキの固定鉄心	絶縁抵抗測定		1回／1定検	
		変圧器	絶縁抵抗測定		1回／1定検	
ディーゼル発電設備	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）	絶縁抵抗測定		1回／1定検	
			絶縁抵抗測定（絶縁診断時）		1回／1定検	
			直流吸収試験		1回／1定検	
			tan δ 試験		1回／1定検	
			部分放電試験		1回／1定検	
		回転子コイル（低圧），口出線・接続部品（低圧）	絶縁抵抗測定		1回／1定検	
ディーゼル機関付属設備	燃料弁冷却水ポンプ，燃料油移送ポンプ	電動機の固定子コイル，口出線	絶縁抵抗測定		1回／4定検	

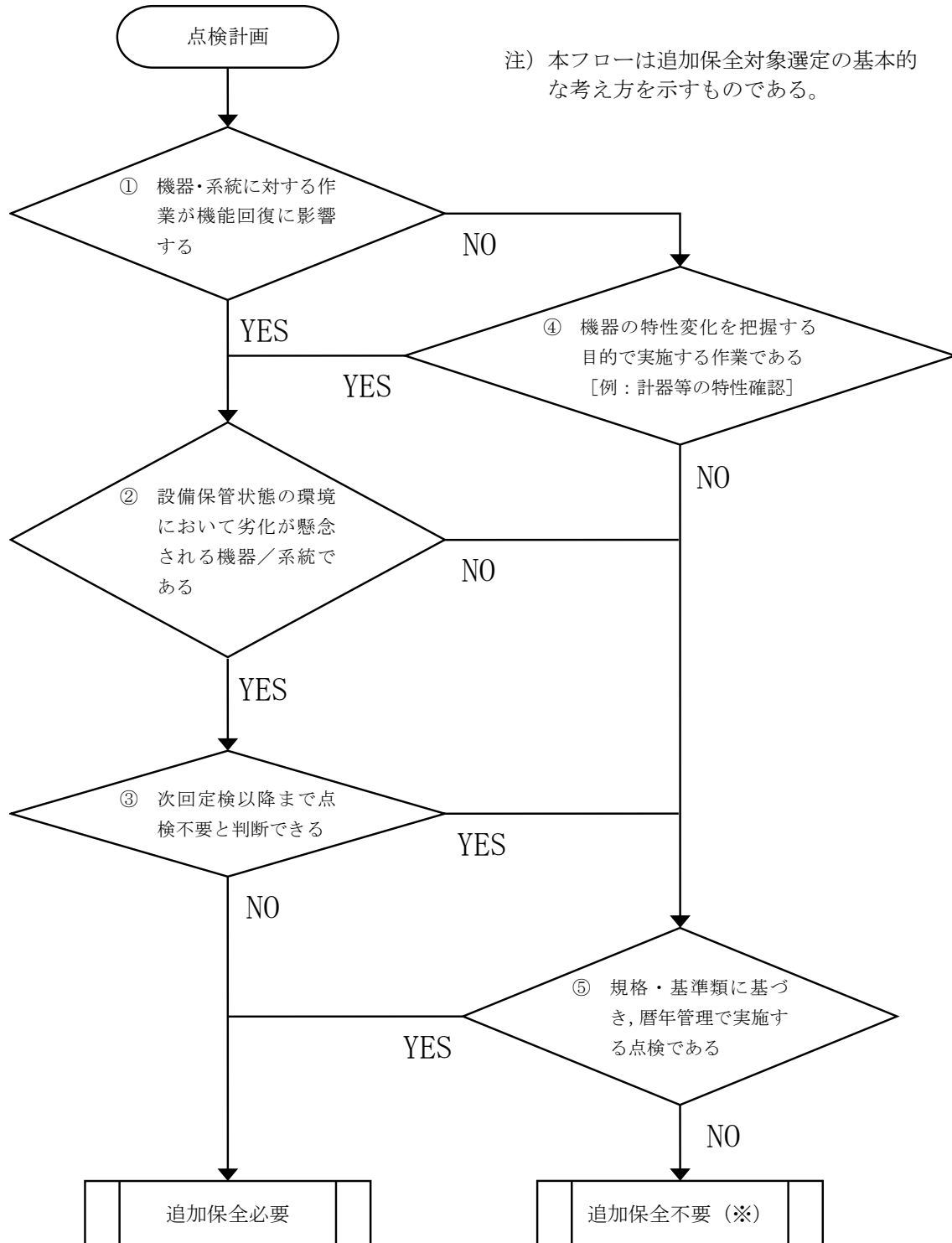
*1：冷温停止時における点検頻度については，断続運転における点検計画を考慮するため，断続運転での周期を記載。

代表機器の機器名，評価対象部位，保全項目，判定基準及び点検頻度（断続運転時）（6/6）

評価対象設備	グループ内代表機器	評価対象部位	保全項目	判定基準	断続運転時の点検頻度*1	備考
直流電源設備	直流コントロールセンタ	保護継電器（機械式）	絶縁抵抗測定		1回／4定検	
計器用電源設備	計装用インバータ	変圧器	絶縁抵抗測定		1回／1定検	

*1：冷温停止時における点検頻度については，断続運転における点検計画を考慮するため，断続運転での周期を記載。

定期検査の長期化に伴う追加保全



※: 追加保全不要となった項目についても、他の作業との兼ね合い、系統構成等を考慮して、追加保全を行う場合もある。

代表機器の機器名，補修・取替実績，実施時期及び取替理由

評価対象設備	代表機器の機器名	補修・取替実績	実施時期	取替理由
高圧ポンプ用電動機	原子炉補機冷却海水ポンプ用電動機	固定子取替 (1台/4台)	第16回定期検査時 (2011年度～)	予防保全
低圧ポンプ用電動機	充てんポンプ用電動機	固定子取替 (3台/3台)	第14回定期検査時 (2009年度)	予防保全