

# 川内原子力発電所 1号炉の 30年目の高経年化技術評価結果について (絶縁低下について)

本資料は川内 1号炉30年目高経年化技術評価のN R A 審査会合時(2014年、2015年)に用いたもので、一部資料を追加しています。

2022年9月6日

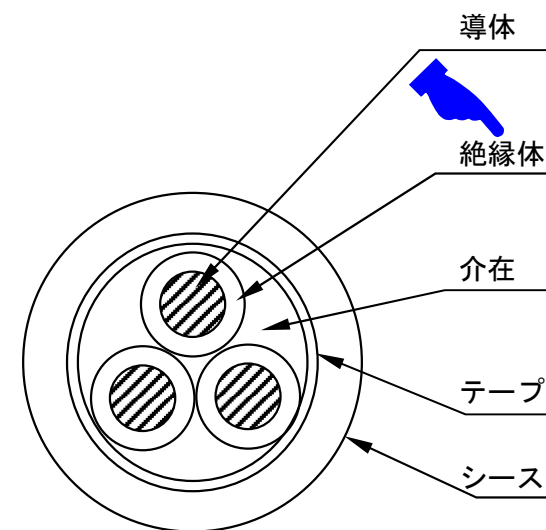
目 次

1. 審査会合における代表機器の選定	2
2. 低圧ケーブル	
2.1 健全性評価	6
2.2 現状保全	10
2.3 総合評価	10
2.4 高経年化への対応	10
3. 高圧ポンプ用電動機	
3.1 健全性評価	11
3.2 現状保全	16
3.3 総合評価	17
3.4 高経年化への対応	17
4. 代表機器以外の評価	17
5. 重大事故等を考慮した技術評価結果について	25

## 1. 審査会合における代表機器の選定

### ○絶縁低下について

- ・ 電気・計装設備には、絶縁性能を保つために、種々の部位にゴム、樹脂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。
- ・ これらの材料は、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、絶縁性能が低下し、電気・計装設備の機能が維持できなくなる可能性がある。
- ・ 絶縁低下とは、通電部位と大地間、あるいは通電部位と他との通電部位間の電氣的独立性（絶縁性）を確保するための高分子材料が、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、絶縁性が確保できなくなる現象である。
- ・ さらに絶縁低下には水トリ劣化がある。これは長期間にわたって水が存在する状態でかつ高い電位に絶縁材料がさらされている場合に、水と局所的な電界集中が原因で絶縁材料中に樹枝状に欠陥が発生する現象であり、高圧ケーブルのみに発生が確認されている。
- ・ なお、絶縁低下とは別に、長期間の使用に伴い接点部分の電氣的摩耗等により動作特性が変化する特性変化の可能性があることから、同様に評価している。



代表的なケーブルの構造

**【ステップ1】**

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 評価対象電気・計装設備」に示す。

抽出された全評価対象機器に対して健全性評価を実施し、現状保全を継続していくことでその健全性を維持できることを確認した。全評価対象機器の評価結果を「表2 電気・計装設備の絶縁低下の評価結果一覧」に示す。

**【ステップ2】**

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・外）、絶縁材料、計測対象（圧力・水位等）等に応じグループ化を行っており、設備の重要度（高い）、使用条件（環境温度や定格電圧が高い）等を考慮してグループ内代表機器を選定している。

**【ステップ3】**

グループ内代表機器の中から設備の重要性と評価の共通性を考慮し、以下の観点から審査会合における代表機器を選定する。

①長期健全性試験結果をもって絶縁性能維持を判断するもの

②長期健全性試験結果と現状保全をもって絶縁性能維持を判断するもの

上記観点から、以下の機器を審査会合における代表機器として選定し、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も、「表2 電気・計装設備の絶縁低下の評価結果一覧」に示す。

①**低圧ケーブル（難燃PHケーブル）**

設計基準事故環境下（LOCA）にて機能が要求され、使用条件が最も厳しく、原子炉格納容器内で多く使用されているケーブル

②**高圧ポンプ用電動機（海水ポンプ）**

通常の使用電圧が高く、屋外に設置され、連続運転している電動機

表1 評価対象電気・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
ポンプモータ	高圧ポンプ用電動機	固定子コイル、口出線他	—
	低圧ポンプ用電動機	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	—
計測制御設備	プロセス計測制御設備	伝送器	○※
		信号変換処理部、指示計他	—
	制御設備	半導体基板他	—

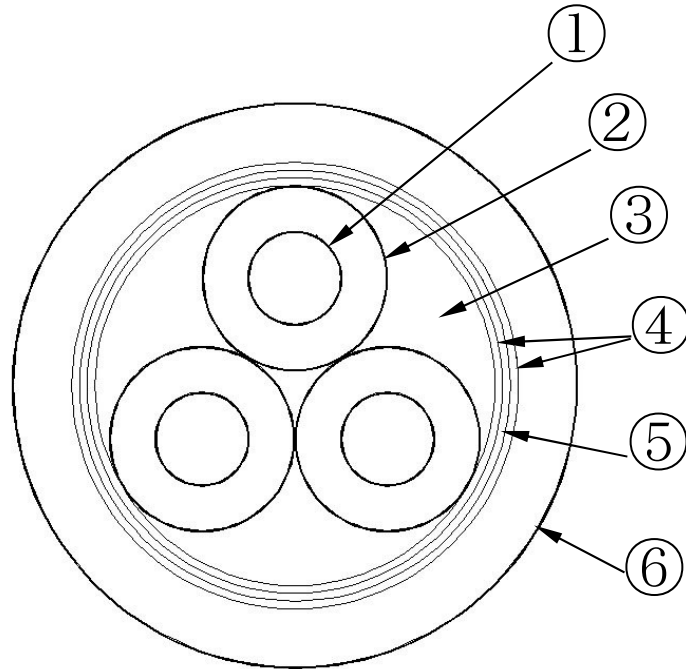
※設計基準事故を考慮するが定期取替品のため高経年化対策実施ガイドに基づき高経年化対策技術評価の対象外としている。

表1 評価対象電気・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
空調設備	電動機	固定子コイル他	—
機械設備	制御用空気圧縮装置	固定子コイル他	—
	燃料取扱設備	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	—
	直流電源設備	保護リレー	—
	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	—
	大容量空冷式発電機	固定子巻線他	—

## 2. 低圧ケーブル <難燃PHケーブルの評価例>

### 2.1 健全性評価



代表的な低圧ケーブル構造図

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（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ケーブルの使用条件

	通 常 運 転 時	設計基準事故時
使用環境	原子炉格納容器内	原子炉格納容器内
周囲温度	約49°C*1	約127°C (最高温度)
圧 力	約0.0098MPa [gage] 以下	約0.245MPa [gage] (最高圧力)
放 射 線	0.36Gy/h*2	602kGy (最大集積線量)

\*1：原子炉格納容器内の設計平均温度

\*2：通常運転時の原子炉格納容器内におけるケーブル布設エリアでの最大計測値

## (1) 準拠規格

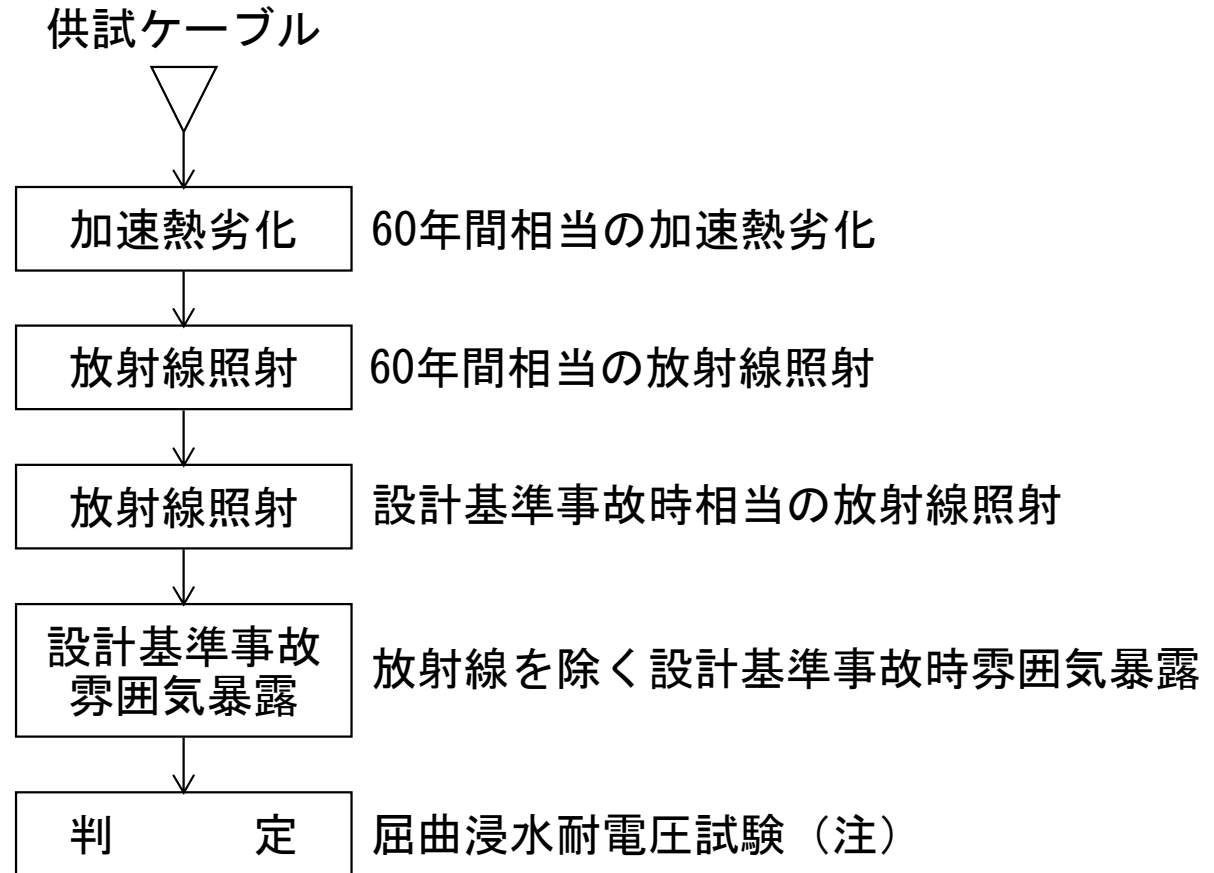
ケーブルの長期間の経年劣化を考慮した必要性能の評価方法は、IEEE Std. 323-1974及び383-1974の規格を根幹に我が国のケーブル耐環境試験方法推奨案として電気学会にてまとめられている、『電気学会技術報告Ⅱ部第139号「原子力発電所用電線・ケーブルの環境試験方法並びに耐延焼性試験方法に関する推奨案」（以下、「電気学会推奨案」という。）』を用いる。

電気学会推奨案には、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おり、これらに従って難燃PHケーブルの長期健全性を評価した。



## (2) 試験手順、試験項目

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。



(注) 屈曲浸水耐電圧試験の試験手順

- ① 供試ケーブルを直線状に伸ばした後、供試ケーブル外径の約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。

### (3) 試験条件、試験結果

試験条件は、川内1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。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
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)	190kGy*2
設計基準 事故相当	放射線 (集積線量)	1,500kGy (7.3kGy/h)	602kGy
	温度	最高温度：190℃	最高温度：約127℃
	圧力	最高圧力：0.41MPa[gage]	最高圧力：約0.245MPa[gage]

\*1：原子炉格納容器内でのケーブル布設エリアの温度（約49℃）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

\*2：0.36[Gy/h] × (24 × 365.25) [h/y] × 60[y] = 190kGy

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

## (4) 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。

## 2.2 現状保全

電力用ケーブルについては、定期的に絶縁抵抗測定により許容値以上であることを確認している。また、制御・計装用のケーブルについては、定期的に計測制御系統設備の機能検査等により、系統機器の動作又は計器の指示値等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。

## 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、絶縁抵抗測定、系統機器の動作確認又は計器の指示値確認等で検知可能であり、点検手法として適切である。

なお、冷温停止状態においては、原子炉格納容器内は、断続的運転時に比べ環境条件が緩和され、絶縁低下の進展は考え難いことから、十分に保守的な評価と考えられる。

## 2.4 高経年化への対応

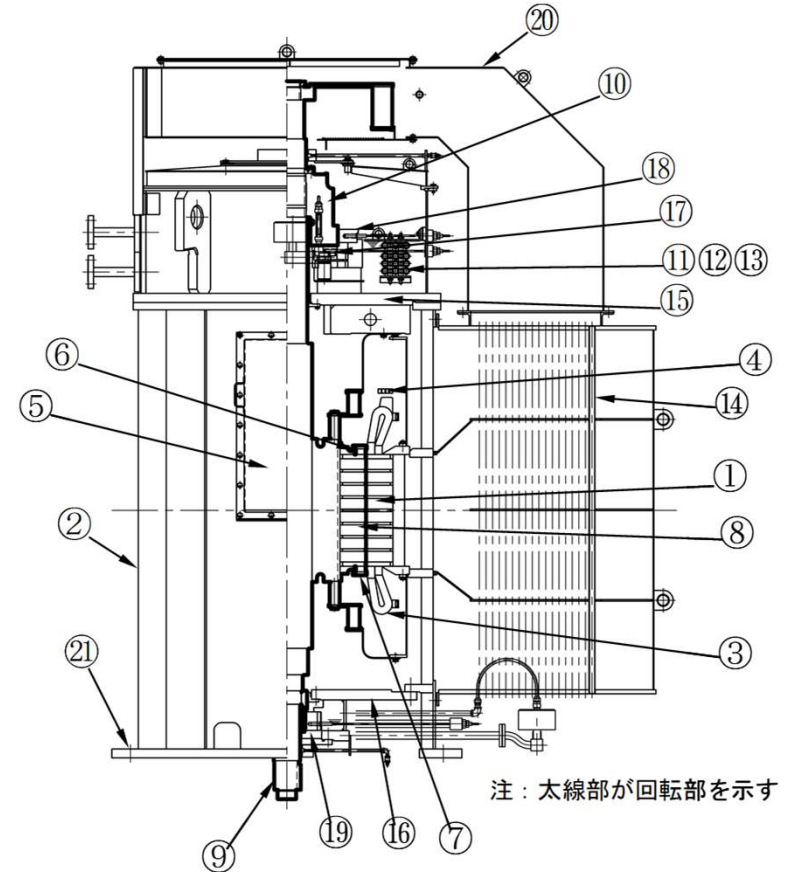
絶縁体の絶縁低下については、現状保全項目に高経年化対策の観点から、追加すべきものはないと判断する。

### 3. 高圧ポンプ用電動機 <海水ポンプ用電動機の評価例>

#### 3.1 健全性評価

部 位		材 料
固定子組立品	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、絶縁物（マイカ、エポキシ樹脂）（F種絶縁）
	④ 口出線・接続部品	銅、絶縁物（珪素ゴム、マイカ、エポキシ樹脂）（F種絶縁）
	⑤ 端子箱	炭素鋼
回転子組立品	⑥ 回転子棒	銅合金
	⑦ エンドリング	銅合金
	⑧ 回転子コア	珪素鋼板
	⑨ 主 軸	炭素鋼
	⑩ ラ ン ナー	鑄 鉄
冷却器組立品	⑪ 油冷却器伝熱管	チタン合金
	⑫ 油冷却器水室	チタン合金
	⑬ 油冷却器管板	チタン合金
	⑭ 空気冷却器伝熱管	銅合金
軸受組立品	⑮ 上部ブラケット	炭素鋼
	⑯ 下部ブラケット	炭素鋼
	⑰ スラスト軸受（すべり）	消耗品・定期取替品
	⑱ 上部ガイド軸受（すべり）	消耗品・定期取替品
カバーク組立品	⑳ 外扇カバー	炭素鋼
支持組立品	㉑ 取付ボルト	炭素鋼

海水ポンプ用電動機主要部位の使用材料



注：太線部が回転部を示す

海水ポンプ用電動機構造図

定 格 出 力	380kW
周 囲 温 度	約40℃*1
定 格 電 圧	6,600V
定 格 回 転 数	885rpm

\* 1  
 通年の屋外の最高温度を考慮した雰囲気温度

海水ポンプ用電動機の使用条件

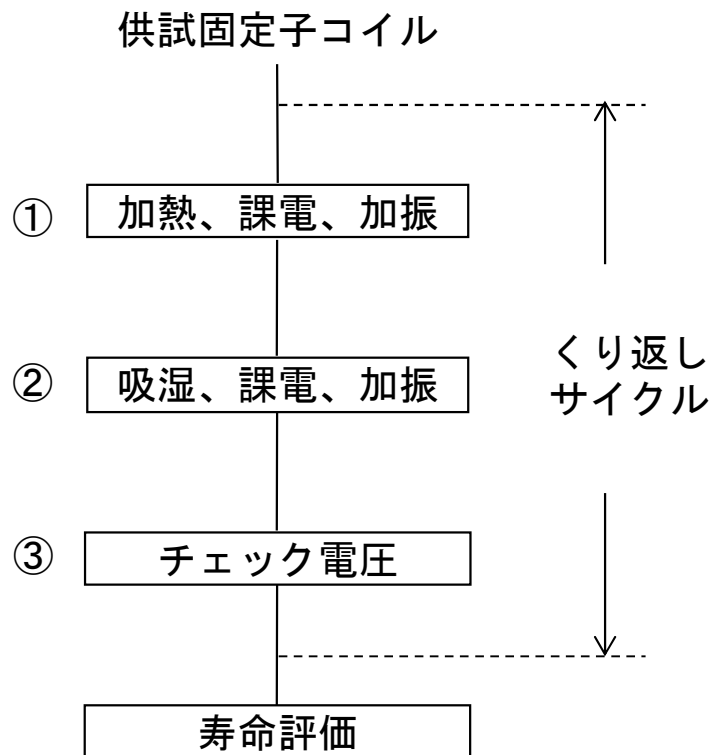
## (1) 準拠規格

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. 275-1966の規格に準じて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. 275-1966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した。

## (2) 試験手順、試験項目並びに試験条件

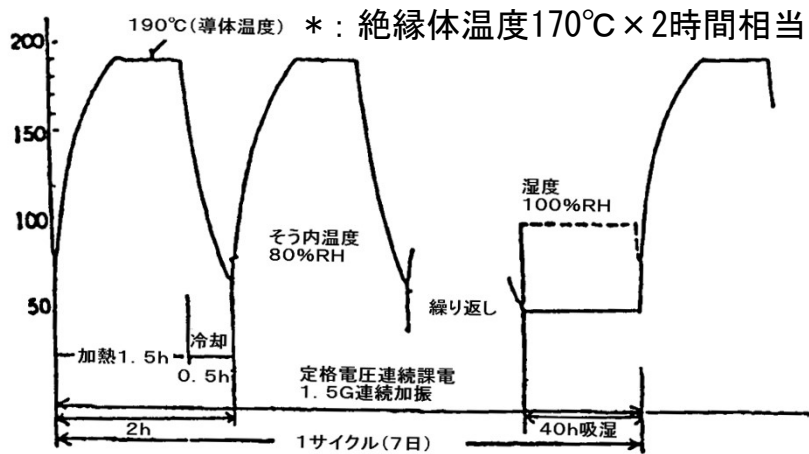
高圧ポンプ用電動機の供試固定子コイルのヒートサイクル方法による評価手順並びに試験条件を以下に示す。



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°C×2 時間 (加熱1.5 h、冷却0.5 h、at80% RH)	190°C×2 時間 (加熱1.5 h、冷却0.5 h、at80% RH)	最大145°C
	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°C)	100%RH—40時間 (at 50°C)	最大100%RH (at 40°C)
	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 (相对湿度)

固定子コイル長期健全性評価手順



ヒートサイクル方法例 (試験条件 1)

### (3) ヒートサイクル方法による試験結果

- 高圧ポンプ電動機の固定子コイルについて、試験手順①（64回程度の繰り返し）、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り返し、試験条件1（170℃）及び試験条件2（190℃）での耐熱寿命を基にアレニウス則\*に基づいて定数A、Bを求め耐熱寿命曲線を得る。

\*アレニウス則 
$$\log Y = -A + \frac{B}{273 + t} \dots\dots\dots (1)$$

Y : 寿命時間 (h)  
 t : 運転温度 (°C)  
 A、B : 定数  
 log Y : 自然対数

- このアレニウス則（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。
- 運転温度は、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））を用いる。
- これらの結果、固定子コイルの絶縁寿命は、19.95年と判断する。

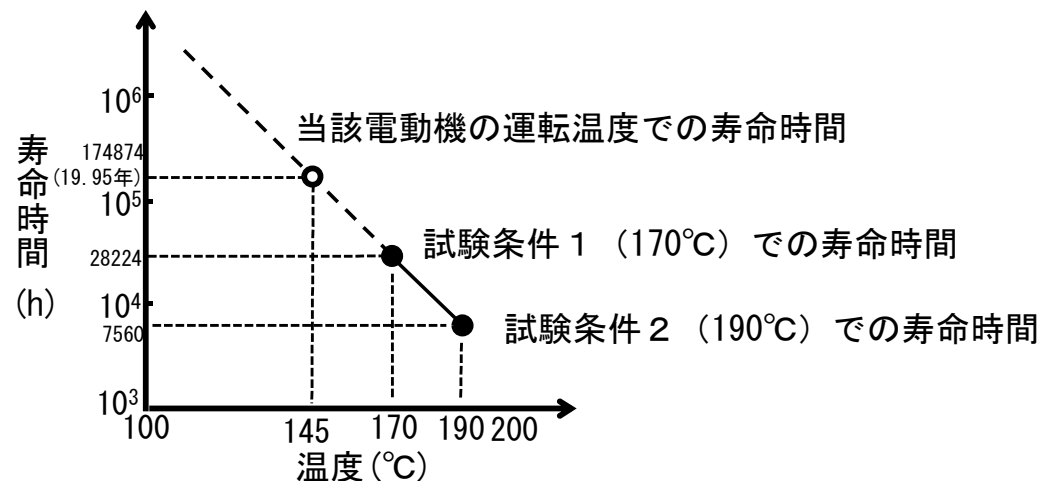


図 耐熱寿命曲線

### (4) 旧機の coils 破壊電圧の測定値評価結果

- 6. 6 kV 級の経年機に使用していた旧機 coils の破壊電圧の測定結果及びその平均値から、稼働率を考慮した運転年数\*1 と絶縁破壊値の関係が下図のように求められる。
- 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 coils 破壊電圧の平均値と 95% 信頼下限が安全運転下限 14.2 kV\*2 に低下するのが 18.5 ~ 24 年となるため、固定子 coils の運転に必要な絶縁耐力を保有する期間は 95% 信頼下限で評価した場合、18.5 年と判断する。

\*1 : 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

\*2 : (社) 電気学会 JEC-2100 「回転電気機械一般」 :  $2E+1 = 2 \times 6.6 [kV] + 1 [kV] = 14.2 [kV]$

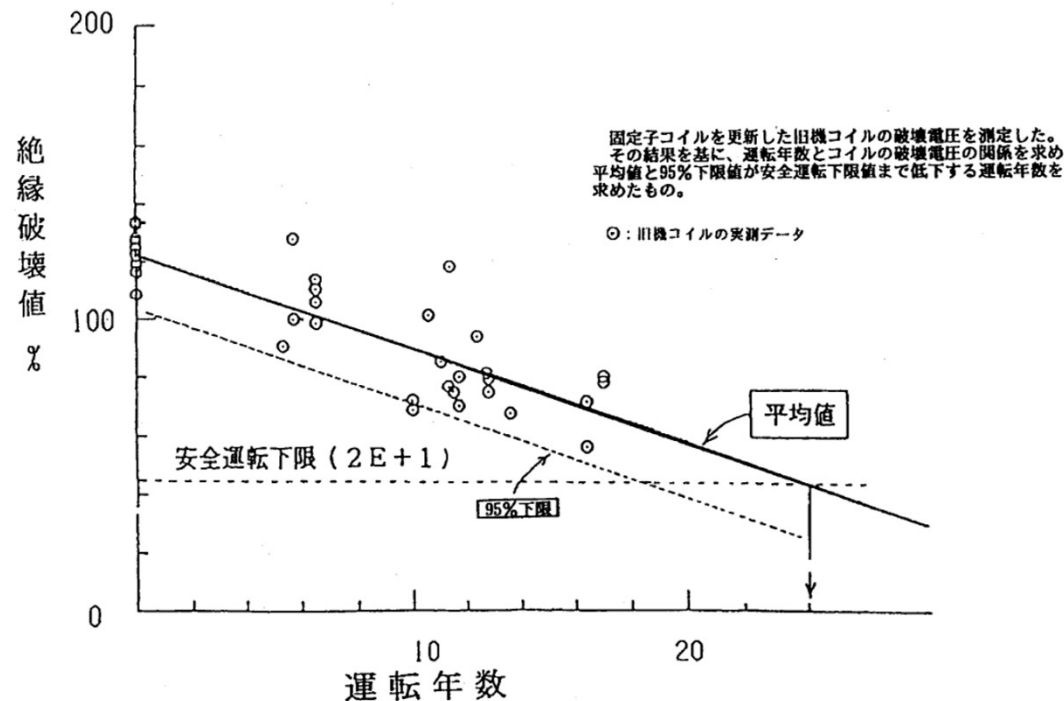


図 運転年数と絶縁破壊値の関係



## (5) 健全性評価結果

ヒートサイクル方法及び旧機のコイル破壊電圧の測定値による評価結果より、高圧ポンプ用電動機固定子コイル及び口出線・接続部品の運転に必要な絶縁耐力を保有する期間は、より厳しい評価結果である旧機のコイル破壊電圧の測定値を評価した結果を採用し、18.5年と判断する。

なお、海水ポンプ用電動機は屋外に設置されているが、IEEE Std. 275-1966の規格に準じて実施した試験において吸湿は厳しい状況下にて実施していること及び旧機のコイルは破壊電圧試験では屋外に設置されていた供試体も含まれていることから、屋内外の設置環境による評価年数に差はないと考える。

## 3.2 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、定期的な絶縁抵抗測定を行い、許容値以上であることを確認している。さらに、絶縁診断（直流吸収試験、 $\tan \delta$  試験、部分放電試験）により、許容値以上であることの確認を行っている。

また、絶縁抵抗測定及び絶縁診断結果に基づき、必要により洗浄、乾燥、絶縁補修処理もしくは取替えを実施していく。

なお、海水ポンプ用電動機については、予防保全のため、A、B号機が第19回定期検査時、C号機が第20回定期検査時、D号機が第18回定期検査時に絶縁更新を行っている。

### 3.3 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、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、絶縁抵抗測定及び絶縁診断で検知可能であり、点検手法として適切である。よって、現状保全を継続することで、健全性を維持できると考える。

なお、冷温停止状態においても、環境並びに運転条件は変わらないことから、断続的運転時の評価と同等と考えられる。

### 3.4 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、引き続き定期的な絶縁抵抗測定及び絶縁診断を実施していくとともに、運転年数及び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えを実施していく。

## 4. 代表機器以外の評価

その他の電気・計装設備を含め絶縁低下の評価結果を「表2 電気・計装設備の絶縁低下の評価結果一覧」に示す。

表2 電気・計装設備の絶縁低下の評価結果一覧(1/7)

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
高圧ポンプ用 電動機	<ul style="list-style-type: none"> <li>海水ポンプ用電動機</li> <li>充てん／高圧注入ポンプ用電動機</li> <li>電動補助給水ポンプ用電動機</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>固定子コイル</li> <li>口出線・接続部品</li> </ul>	ヒートサイクル試験による絶縁寿命と経年機によるコイル破壊電圧の測定値を評価した絶縁寿命から、絶縁耐力を保有する期間は18.5年と判断	絶縁抵抗測定・絶縁診断を実施 また、現状保全の結果に基づき、必要により洗浄、乾燥、絶縁補修処理もしくは取替えを実施	絶縁低下の可能性は否定できないが、絶縁抵抗測定・絶縁診断で検知可能 現状保全を継続することで健全性を維持	引き続き絶縁抵抗測定・絶縁診断を実施  運転年数及び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えを実施
低圧ポンプ用 電動機	<ul style="list-style-type: none"> <li>ほう酸ポンプ用電動機</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>固定子コイル他</li> </ul>	ヒートサイクル試験による絶縁寿命と経年機によるコイル破壊電圧の測定値を評価した絶縁寿命から、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えを実施	絶縁低下の可能性は否定できないが、絶縁抵抗測定で検知可能 現状保全を継続することで健全性を維持	引き続き絶縁抵抗測定を実施  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えを実施
電気ペネトレーション	<ul style="list-style-type: none"> <li>ピッグテイル型電線貫通部</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>ポッティング材</li> <li>外部リード</li> </ul>	長期健全性試験結果に基づき評価した結果、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 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

表2 電気・計装設備の絶縁低下の評価結果一覧(2/7)

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
弁電動装置	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ R H R S 入口 隔離弁電動装置</li> <li>・ T / D A F W P 蒸気入口弁 電動装置</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 固定子コイル 他</li> </ul>	<p>長期健全性試験結果に基づき評価した結果、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</p>	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
	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ タービン動補助 給水ポンプ復水タンク元 弁電動装置</li> </ul>		<p>弁電動装置の電動機は密閉構造であり、塵埃及び湿分は抑制されるものの、屋外設置であるため、絶縁低下の可能性は否定できない</p>	絶縁抵抗測定を実施	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であり、現状保全を継続することで健全性を維持できる	絶縁抵抗測定を実施
高圧ケーブル	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 難燃高圧 C S H V ケーブル</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 絶縁体</li> </ul>	<p>長期健全性試験結果に基づき評価した結果、60年時点においても、絶縁機能を維持できると判断</p>	絶縁抵抗測定・絶縁診断を実施	絶縁低下による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・絶縁診断で検知可能であり、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
		<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 絶縁体 (水トリー劣化)</li> </ul>	<p>屋外に布設している当該ケーブルは、長時間浸水する可能性はないが、溜まり水による多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</p>	<p>絶縁抵抗測定・絶縁診断を実施 点検結果に基づき、必要により取替等を実施 また、トレンチ内の目視確認を実施</p>	<p>絶縁低下（水トリー劣化）の可能性は否定できない。 絶縁低下は絶縁抵抗測定・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</p>	<p>引き続き絶縁抵抗測定・絶縁診断を実施  点検結果に基づき必要により取替等を実施  また、トレンチ内については、引き続き目視確認を実施</p>

表2 電気・計装設備の絶縁低下の評価結果一覧(3/7)

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	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ KKケーブル</li> <li>・ 難燃PHケーブル</li> <li>・ 難燃SHVVケーブル</li> <li>・ FPETケーブル</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 絶縁体</li> </ul>	<p>長期健全性試験結果に基づき評価した結果、60年時点においても、絶縁機能を維持できると判断</p> <p>なお、KKケーブル、難燃PHケーブルは60年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</p>	<p>電力用ケーブルについては、絶縁抵抗測定を実施</p> <p>制御・計装用ケーブルについては、系統機器の動作又は計器の指示値等の確認を実施</p>	<p>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</p> <p>絶縁低下は、絶縁抵抗測定、系統機器の動作確認又は計器の指示値確認等で検知可能であり、点検手法として適切</p>	<p>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</p>
同軸ケーブル	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 難燃三重同軸ケーブル</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 絶縁体</li> <li>・ 内部シース</li> </ul>	<p>長期健全性試験結果に基づき評価した結果、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</p>	<p>絶縁抵抗測定を実施</p>	<p>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</p> <p>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</p>	<p>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</p>
ケーブル 接続部	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 気密端子箱接続</li> <li>・ 直ジョイント</li> <li>・ 電動弁コネクタ接続</li> <li>・ 三重同軸コネクタ接続</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 絶縁体他</li> </ul>	<p>長期健全性試験結果に基づき評価した結果、60年時点においても、絶縁機能を維持できると判断</p> <p>なお、気密端子箱接続、直ジョイント、三重同軸コネクタは60年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</p>	<p>電力用ケーブル接続部については、絶縁抵抗測定を実施</p> <p>制御・計装用ケーブル接続部については、系統機器の動作又は計器の指示等の確認を実施</p>	<p>絶縁機能を維持できると判断</p> <p>絶縁低下は、絶縁抵抗測定、系統機器の動作確認又は計器の指示値確認等で検知可能であり、点検手法として適切</p>	<p>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</p>

表2 電気・計装設備の絶縁低下の評価結果一覧(4/7)

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 (安全系)	・ばね蓄勢用 モータ (低圧モータ)	設置環境、作動時間から使用温度に比べて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、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 よって、現状保全を継続することで、健全性を維持できる	引き続き定期的に絶縁抵抗測定を実施
パワーセンタ	・パワーセンタ (安全系)					
制御棒駆動装置用電源設備	・原子炉トリップ遮断器盤					
空調設備 電動機	・空調用冷凍機用電動機	・固定子コイル他	高圧ポンプ用電動機と同様	同左	同左	同左
	・ディーゼル発電機室給気ファン用電動機 ・安全補機室排気ファン用電動機	・固定子コイル他	低圧ポンプ用電動機と同様	同左	同左	同左
制御用空気圧縮機装置	・制御用空気圧縮機用電動機	・固定子コイル他	低圧ポンプ用電動機と同様	同左	同左	同左
非常用ディーゼル発電設備	・ディーゼル発電機	・固定子コイル他	高圧ポンプ用電動機と同様	同左	同左	同左
		・回転子コイル他	低圧ポンプ用電動機と同様	同左	同左	同左
大容量空冷式発電機	・大容量空冷式発電機	・固定子巻線他	高圧ポンプ用電動機と同様	同左	同左	同左
		・回転子巻線他	低圧ポンプ用電動機と同様	同左	同左	同左

表2 電気・計装設備の絶縁低下の評価結果一覧(5/7)

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 (安全系)	・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調査結果から、絶縁性能は維持できると判断	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
制御設備	・ディーゼル発電機盤					
燃料取扱設備	・燃料取替クレーン	・変圧器	21年間使用した変圧器を用いた熱加速試験結果から、絶縁性能は維持できると判断	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
燃料移送装置	・燃料移送装置					
動力変圧器	・動力変圧器 (安全系)	・コイル	熱劣化試験で健全性が確認された変圧器の銅線と比較した結果、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はできない	絶縁抵抗測定を実施	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 よって、現状保全を継続することで、健全性を維持できる	引き続き定期的に絶縁抵抗測定を実施
メタルクラッド開閉装置	・メタクラ (安全系)	・保護リレー	同種の保護リレーの試験結果より健全性を評価した結果、コイル部絶縁の絶縁破壊電圧が判定基準に達するまでの期間は約40年となり、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はできない	絶縁抵抗測定を実施 点検結果に基づき、必要により取替えを実施	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 よって、現状保全を継続することで、健全性を維持できる	引き続き定期的に絶縁抵抗測定を実施  点検結果に基づき必要により取替えを実施
パワーセンタ	・パワーセンタ (安全系)					
制御設備	・ディーゼル発電機盤					
直流電源設備	・直流コントロールセンタ					

表2 電気・計装設備の絶縁低下の評価結果一覧(6/7)

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
制御設備	・ディーゼル発電機盤	・励磁装置	過去に実施した精密点検の結果から、設備の納入後30年前後より絶縁抵抗の低下が生じる可能性は小さいと考えられるが、絶縁低下の可能性は否定できない	絶縁抵抗測定・精密点検を実施	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によって、現状保全を継続することで、健全性を維持できる	引き続き定期的に絶縁抵抗測定及び適切な頻度で精密点検を実施
メタルクラッド開閉装置	・メタクラ(安全系)	※ ・保護リレー(静止形) ・指示計 ・記録計 ・信号変換処理部 ・電源装置 ・自動/手動操作器 ・手動操作器 ・電流/空気圧変換器 ・前置増幅器 ・地震検出器 ・半導体基板 ・電圧調整装置 ・回転数検出器 ・荷重監視装置 ・速度制御装置	設置環境等から急激な特性変化を起こす可能性は小さいと考えるが、特性変化が生じる可能性は否定できない また、マイグレーションによる短絡及び断線の可能性は小さいと考えるが、マイグレーションが発生する可能性は否定できない	校正試験又は巡視点検等での目視確認を実施	特性変化は、校正試験又は目視確認で検知可能であり、点検手法として適切によって、現状保全を継続することで、健全性を維持できる	引き続き定期的に校正試験又は目視確認を実施
パワーセンタ	・パワーセンタ(安全系)					
プロセス計測制御設備	・1次冷却材圧力 ・RHループ流量 ・加圧器水位 ・1次冷却材温度 ・水平方向加速度 ・出力領域中性子束 ・CV高レンジエアモニタ ・アモニア水素濃度					
制御設備	・ディーゼル発電機盤					
燃料取扱設備	・燃料取替クレーン					
直流電源設備	・直流コントロールセンタ					

※：特性変化



表2 電気・計装設備の絶縁低下の評価結果一覧(7/7)

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 (安全系)	※ ・保護リレー (機械式)	耐久試験より、急激な特性変化が生じる可能性は小さいと考えられるが、特性変化が生じる可能性は否定できない	校正試験を実施	特性変化の可能性は否定できないが、特性変化は、校正試験で検知可能であり、点検手法として適切よって、現状保全を継続することで、健全性を維持できる	引き続き定期的に校正試験を実施
パワーセンタ	・パワーセンタ (安全系)					
制御設備	・ディーゼル発電機盤					
直流電源設備	・直流コントロールセンタ					

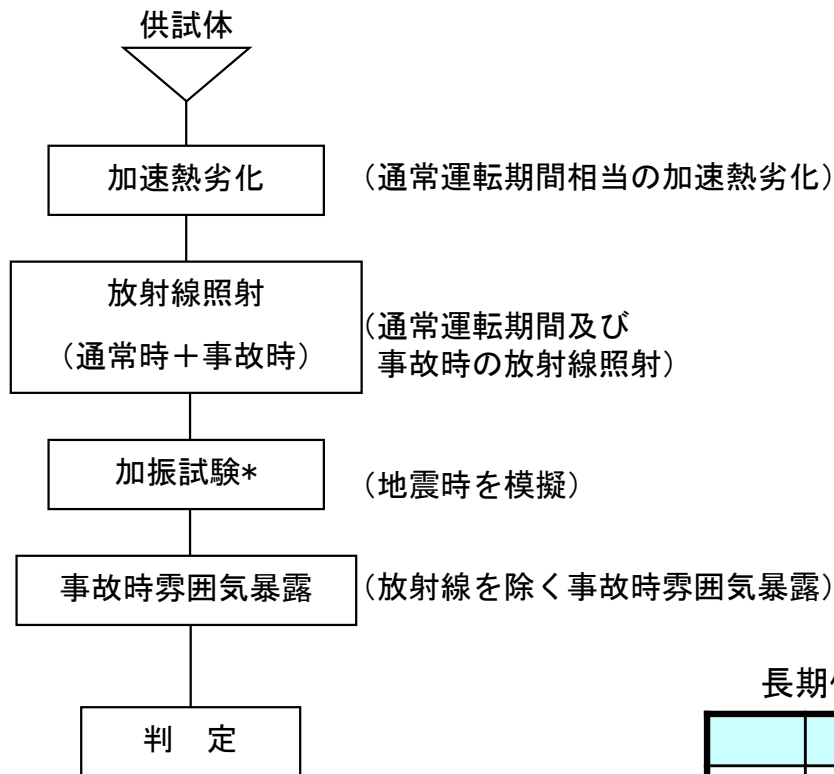
※：特性変化

30年目高経年化技術評価時の保安規定変更認可申請後の再稼働工認において、「設計基準事故」事象に加え、「重大事故等」事象が追加となったことから、「重大事故等」時の環境条件を考慮した評価を以降に示す。

## (1) 電気ペネトレーションの重大事故等時環境影響評価結果

### ① 評価方法

- ・ピッグテイル型電線貫通部の長期健全性試験結果に基づき評価を実施した。
- ・長期健全性試験の試験手順を以下に示す。



\* : 外部リードは、ケーブルの長期健全性試験結果を使用しており、加振試験は実施していない

### ② 評価結果

試験条件は、実機環境に基づく60年間の運転期間を想定した劣化条件及び事故時の条件を包絡しており、ピッグテイル型電線貫通部は運転開始後60年時点においても、絶縁機能を維持できると判断した。

長期健全性試験の条件

	試験条件	試験条件の説明
加速熱劣化	電線貫通部 (実機同等品) 条件 : 125°C-10日間 外部リード 条件 : 121°C-7日間	原子炉格納容器内の通常雰囲気温度に通電による温度上昇も考慮した温度に若干の余裕をみた温度 (約60°C) で60年間の運転期間に相当する条件を包絡している。 ・電線貫通部 : 112°C-10日間 ・外部リード : 117°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 : 500kGy (平常時) +1,500kGy (事故時)	60年間の運転に予想される集積線量 (190kGy) に重大事故等時の線量 (500kGy) 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。	想定される最大加速度 (0.73G) 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	重大事故等時の最大温度 (約138°C)、最大圧力 (約0.350MPa) を包絡している。

長期健全性試験での絶縁抵抗の変化

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

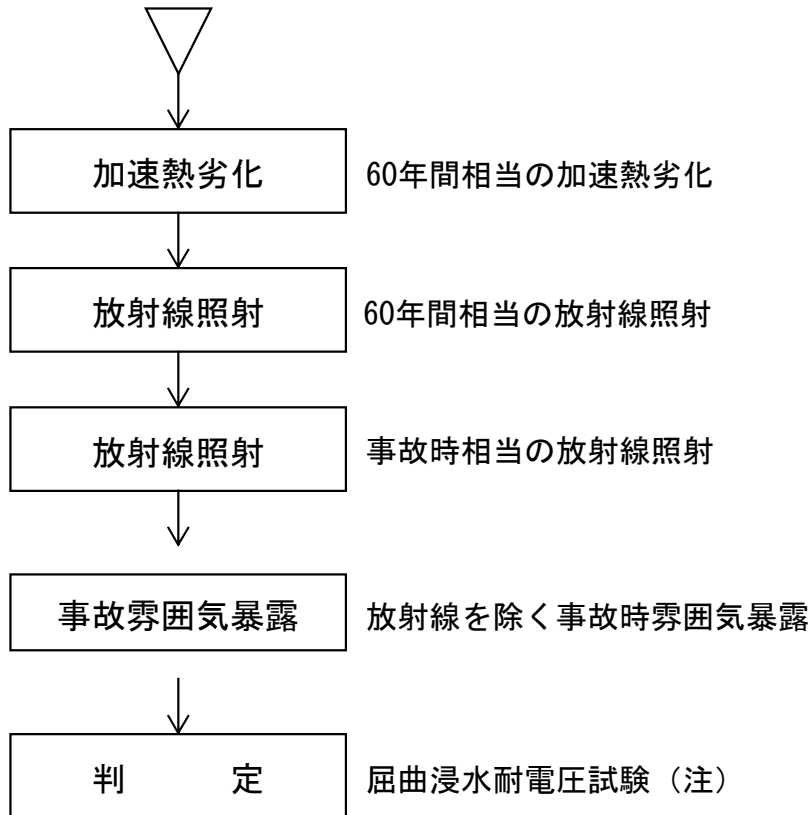
外部リードの長期健全性試験結果

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 : 供試体外径の約40倍 絶縁厚さ : 0.76mm 課電電圧 : 2.6kV/5分間	良

(2) 低圧ケーブルの重大事故等環境影響評価結果

①評価方法

- ・ 低圧ケーブル（難燃PHケーブル）の長期健全性試験結果に基づき評価を実施した。
- ・ 長期健全性試験の試験手順を以下に示す。



(注) 屈曲浸水耐電圧試験の試験手順

- ① 供試ケーブルを直線状に伸ばした後、供試ケーブル外径の約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。

②評価結果

試験条件は、実機環境における60年間の運転期間を想定した劣化条件及び事故時の条件を包絡しており、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した。

		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)	190kGy*2
重大 相当 事故等	放射線 (集積線量)	1,500kGy (7.3kGy/h)	500kGy
	温度	最高温度 190℃	最高温度 約138℃
	圧力	最高圧力 0.41MPa[gage]	最高圧力 約0.350MPa[gage]

\*1：原子炉格納容器内でのケーブル布設エリアの温度（約49℃）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

\*2：0.36[Gy/h] × (24 × 365.25) [h/y] × 60[y] ≒ 190kGy

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

# ピッグテイル型電線貫通部の構造

