

東海第二発電所 審査資料	
資料番号	TKK 審-18 改0
提出年月日	平成30年4月19日

東海第二発電所  
運転期間延長認可申請  
(電気・計装品の絶縁特性低下)  
(その他劣化事象)

平成30年4月19日

本資料のうち、枠囲みの範囲は、営業秘密又は防護上の観点から公開できません。

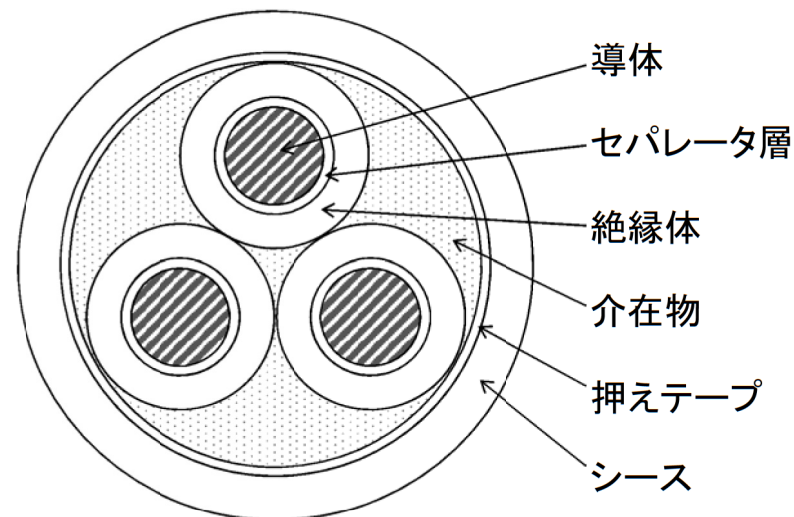
# 目次

---

1. 電気・計装品の絶縁特性低下について	3
2. その他劣化事象(気密性の低下)について	4
3. 経年劣化に関する技術評価の要求事項	5
4. 審査会合における代表機器の選定	6
5. 低圧ケーブル(難燃PNケーブル)の絶縁特性低下の評価	10
6. 電気ペネトレーションの絶縁特性低下及び気密性の低下の評価	18
7. 代表機器以外の評価結果	26

# 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による劣化の進展で、絶縁特性が低下し、電気・計装品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

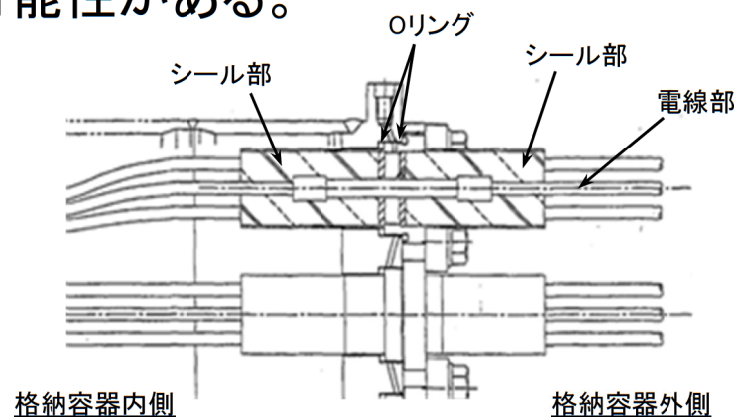
絶縁特性低下は、通電部位と大地間、あるいは通電部位と他の通電部位間の電氣的独立性(絶縁性)を確保するため介在させている高分子絶縁材料が、環境的(熱・放射線等)、電氣的及び機械的な要因による劣化の進展により、電気抵抗が低下することで絶縁性を確保できなくなる事象である。

## 2. その他劣化事象(気密性の低下)について

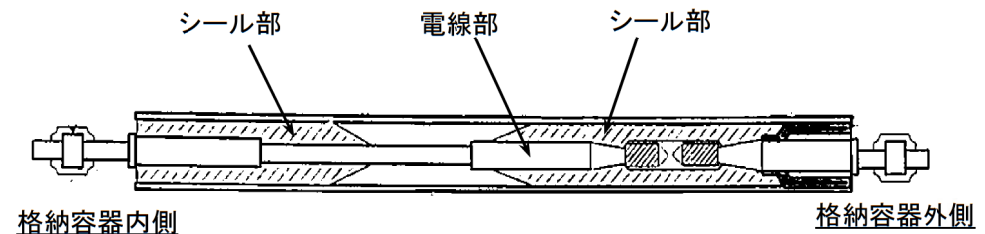
その他劣化事象として、電気ペネトレーションの気密性の低下がある。

電気ペネトレーションの気密性能を維持するために、バウンダリ部にゴム及び高分子材料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による劣化の進展により気密性が低下し、電気ペネトレーションの機能を維持できなくなる可能性がある。



低圧用電気ペネトレーション構造



高圧用電気ペネトレーション構造

低圧用、高圧用電気ペネトレーションの気密性の低下は、シール部、電線部、Oリングの劣化の進展により、シール部に亀裂等が発生し、気密性を維持できなくなる事象である。

### 3. 経年劣化に関する技術評価の要求事項

[絶縁特性低下]

○ 電気・計装品の経年劣化に関する技術評価の要求事項は以下のとおり。

審査基準, ガイド	要求事項
実用発電用原子炉の運転の期間の延長の審査基準	<ul style="list-style-type: none"><li>○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特性低下が生じないこと。</li><li>○長期健全性評価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特性低下が生じないこと。</li></ul>

[気密性の低下]

○ 電気ペネトレーションの経年劣化に関する技術評価の要求事項はない。

## 4. 審査会合における代表機器の選定(1/4)

---

### [絶縁特性低下]

- 代表機器選定にあたり、電気・計装品の絶縁性能を維持すべき機器を評価対象として抽出する。抽出した機器を「表1 東海第二発電所 評価対象設備(電気・計装品)」に示す。
- 代表機器は、設備の重要度及び絶縁特性低下への影響が大きいと考えられる環境(熱・放射線等)に設置された機器の中から、電気・計装品の動作に共通して必要となる電力・信号伝達機能を有した「低圧ケーブル(難燃性エチレンプロピレンゴム絶縁特殊クロロプレンゴムシースケーブル)」及び「電気ペネトレーション」を代表に選定する。

### [気密性の低下]

- 気密性の低下が想定される機器は、低圧用電気ペネトレーション、高圧用電気ペネトレーションのみのため、当該機器を代表に評価を行う。

## 4. 審査会合における代表機器の選定(2/4)

表1 東海第二発電所 評価対象設備(電気・計装品)

機器・設備	評価対象機器	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*1	重大事故等*2
ポンプモータ	高圧モータ	固定子コイル, 口出線・接続部品	○	○
	低圧モータ	固定子コイル, 口出線・接続部品		
容器	電気ペネトレーション	シール部, 電線	○	○
弁	電動弁用駆動部	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	○	○
	ケーブル接続部	絶縁物	○	○

## 4. 審査会合における代表機器の選定(3/4)

機器・設備	評価対象機器	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*1	重大事故等*2
電源設備	高圧閉鎖配電盤	主回路導体支持碍子他		
	動力用変圧器	変圧器コイル他		
	低圧閉鎖配電盤	気中遮断機絶縁支持板他		
	コントロールセンタ	変圧器コイル他		
	ディーゼル発電設備	固定子コイル他		
	MGセット	固定子コイル他		
	無停電電源装置	変圧器コイル		
	直流電源設備	変圧器コイル		
	計測用分電盤	主回路導体支持板		
	計測用変圧器	変圧器コイル		
計測制御設備	計測装置	固定子コイル, 口出線・接続部品	○	○



## 4. 審査会合における代表機器の選定(4/4)

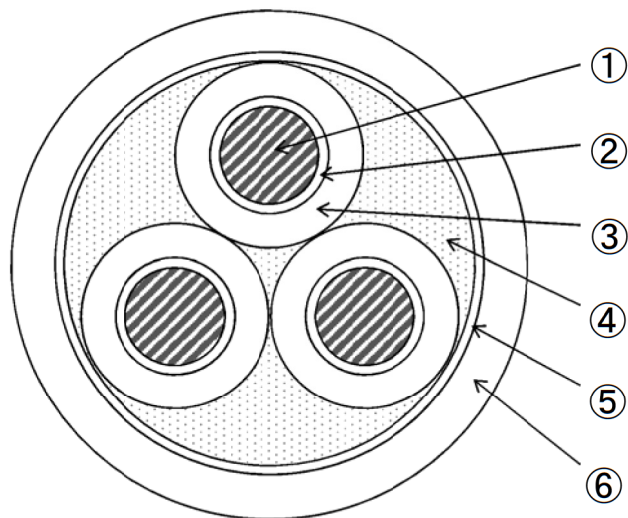
機器・設備	評価対象機器	評価対象部位	過酷な事故時環境においても機能要求のある設備	
			設計基準事故*1	重大事故等*2
タービン設備	制御装置及び保安装置	固定子コイル, 口出線・接続部品		
	非常用系タービン設備	固定子コイル, 口出線・接続部品		
空調設備	ファン	固定子コイル, 口出線・接続部品		
	空調機	固定子コイル, 口出線・接続部品		
	冷凍機	固定子コイル, 口出線・接続部品		
機械設備	ディーゼル機関付属設備	固定子コイル, 口出線・接続部品		
	可燃性ガス濃度制御系再結合装置	固定子コイル, 口出線・接続部品		
	燃料取替機	ブレーキ電磁コイル		
		固定子コイル, 口出線・接続部品		
	燃料取扱クレーン	固定子コイル, 口出線・接続部品他		
	制御用圧縮空気系設備	固定子コイル, 口出線・接続部品		
	廃棄物処理設備	加熱ヒータ		

\*1: 実用発電用原子炉及びその附属施設の位置, 構造及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: 実用発電用原子炉及びその附属施設の位置, 構造及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)

# 5. 低圧ケーブル(難燃PNケーブル)の絶縁特性低下の評価

## 5.1 難燃PNケーブルの使用材料, 使用条件



難燃PNケーブル主要部位の使用材料

No.	部位	材料
①	導体	すずメッキ軟銅
②	絶縁体	難燃エチレンプロピレンゴム
③	介在物	難燃性介在物
④	押えテープ	難燃テープ
⑤	シース	特殊クロロプロレンゴム
⑥	ジャケット	ガラス

難燃PNケーブルの使用条件

	通常運転時	設計基準事故時*1	重大事故等時*2
設置場所	原子炉格納容器内		
周囲温度	65.6 °C(最高)	171 °C(最高)	235 °C(最高)
最高圧力	0.0138 MPa	0.31 MPa	0.62 MPa
放射線	0.250 Gy/h(最大)	2.6 × 10 <sup>2</sup> kGy (最大積算値)	640 kGy (最大積算値)

\*1: 設計基準事故時における原子炉格納容器内の環境条件設計値

\*2: 重大事故等時における原子炉格納容器内の環境条件解析値

## 5. 低圧ケーブル(難燃PNケーブル)の絶縁特性低下の評価

### 5.2 低圧ケーブルの評価方法

低圧ケーブル(難燃PNケーブル)の健全性評価は、以下に示す健全性試験等で得られた結果をもとに東海第二の実環境条件に展開して評価を実施する。

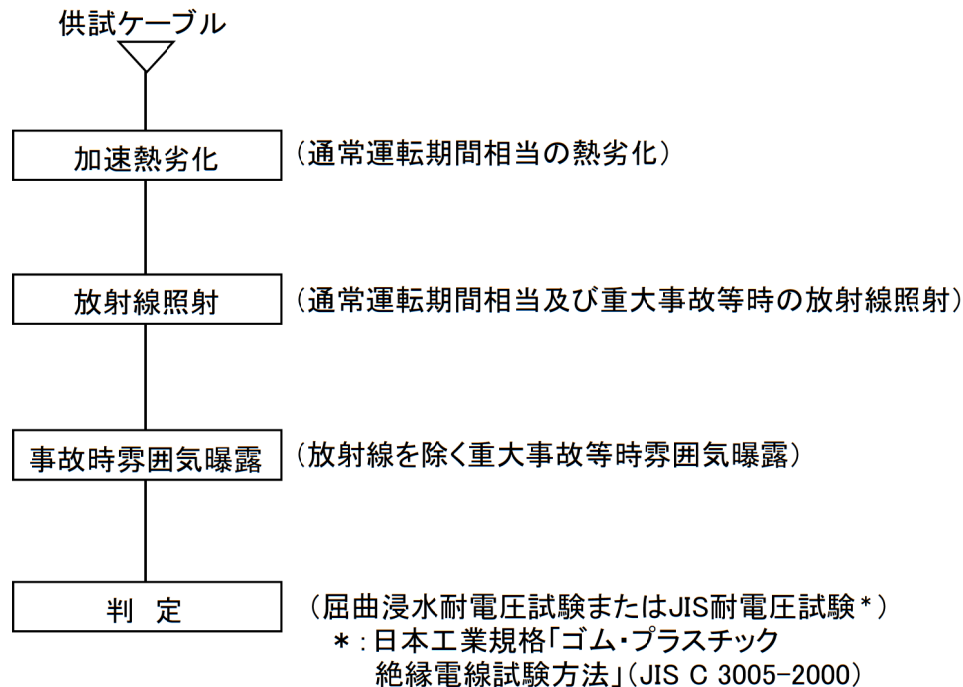
	電気学会推奨案による健全性評価	ACAガイドによる健全性評価
概要	IEEE Std.323-1974及びIEEE Std. 383-1974の規格を根幹にした、電気学会技術報告Ⅱ部第139号「原子力発電所用電線・ケーブルの環境試験方法ならびに耐延焼性試験方法に関する推奨案」(以下「電気学会推奨案」という。)に基づき評価を行う。	平成26年2月に原子力安全基盤機構により取りまとめられた「原子力発電所のケーブル経年劣化評価ガイド(JNES-RE-2013-2049)」(以下「ACAガイド」という。)に基づき評価を行う。

# 5. 低圧ケーブル(難燃PNケーブル)の絶縁特性低下の評価

## 5.3.1 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PN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。



### 難燃PNケーブルの長期健全性試験手順

#### 【屈曲浸水耐電圧試験手順】

- 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きつける。
- 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の状態では、公称絶縁体厚さに対し交流電圧3.2kV/mmを5分間印加する。

#### 【JIS耐電圧試験手順】

- ① あらかじめ設置された清水中に電線を1時間以上浸した状態で、単心の場合は導体と清水の間に、多心の場合は導体相互間及び導体と清水の間に周波数50Hzまたは60Hzの正弦波に近い波形をもった規定の交流電圧を加え、規定時間これに耐えるかどうかを調べる。

## 5. 低圧ケーブル(難燃PNケーブル)の絶縁特性低下の評価

### (2) 試験条件, 試験結果

試験条件は, 実機環境に基づいて, 難燃PNケーブルのうち電力, 制御ケーブルは15年, 計測ケーブル, 補償導線は30年の運転期間を想定した劣化条件を包絡している。

難燃PNケーブルの長期健全性試験条件

		試験条件	15年, 30年間の通常運転時の使用条件に基づく劣化条件	
			設計基準事故時の環境条件	重大事故等時の環境条件
通常運 転相当	温度	電力, 制御ケーブル: 121°C×126時間 計測ケーブル, 補償導線: 121°C×251時間	電力, 制御ケーブル: 121°C×126時間 (= 65.6°C- 15年) 計測ケーブル, 補償導線: 121°C×251時間 (= 65.6°C- 30年)	
	放射線 (集積線量)	電力, 制御ケーブル: 188 kGy 計測ケーブル, 補償導線: 375 kGy	電力, 制御ケーブル: 33 kGy (15年) 計測ケーブル, 補償導線: 66 kGy (30年)	
事故時 雰囲気 相当	温度	235 °C(最高温度)	171°C(最高温度)	235°C(最高温度)
	放射線 (集積線量)	800 kGy	260 kGy	640 kGy
	圧力	0.62 MPa	0.31 MPa	0.62 MPa

難燃PNケーブルの長期健全性試験結果

対象ケーブル	項目	試験条件	判定
補償導線	屈曲浸水 耐電圧試験	供試体外径: 7.8mm マンドレル径: 400mm 絶縁体厚さ: 0.6mm 課電電圧: 1,920V/5分間	良
制御ケーブル 計測ケーブル	JIS耐電圧 試験	課電電圧: AC 2,000 V/1分間	良

### (3) 健全性評価結果

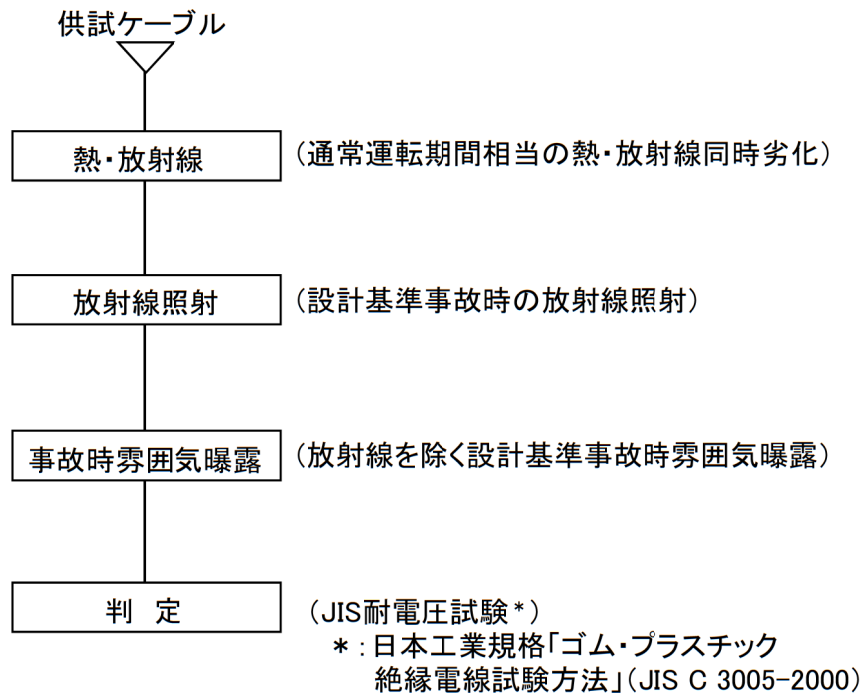
長期健全性試験の結果, 難燃PNケーブルの電力ケーブル, 制御ケーブルは15年間, 計測ケーブル, 補償導線は30年間, 絶縁機能を維持できることを確認した。

# 5. 低圧ケーブル(難燃PNケーブル)の絶縁特性低下の評価

## 5.3.2 ACAガイドによる健全性評価

### (1) 試験手順

事故時雰囲気内で機能要求がある難燃PNケーブルのACAガイドに基づく試験手順及び判定方法を以下に示す。



### 難燃PNケーブルの長期健全性試験手順

#### 【JIS耐電圧試験手順】

- ① あらかじめ設置された清水中に電線を1時間以上浸した状態で、単心の場合は導体と清水の間に、多心の場合は導体相互間及び導体と清水の間に周波数50Hzまたは60Hzの正弦波に近い波形をもった規定の交流電圧を加え、規定時間これに耐えるかどうかを調べる。

## 5. 低圧ケーブル(難燃PNケーブル)の絶縁特性低下の評価

### (2) 試験条件, 試験結果

難燃PNケーブルの試験条件, 試験結果は以下のとおり。

難燃PNケーブルの長期健全性試験条件

		試験条件
通常運 転相当	温度, 放射線	100 °C—94.7 Gy/h—6,990時間
設計基 準事故 相当	放射線 (集積線量)	放射線照射線量 : 260 kGy
	温度	最高温度: 171 °C
	圧力	最高圧力: 0.31 MPa

難燃PNケーブルの長期健全性試験結果

項目	試験条件	判定
JIS耐電圧試験	AC 1,500 V—1分間	良

### (3) 評価方法

「原子カ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)」の試験条件, 結果を東海第二の環境条件に展開して評価を行う。

## 5. 低圧ケーブル(難燃PNケーブル)の絶縁特性低下の評価

### 5.4 評価結果

電気学会推奨案及びACAガイドをもとに得られた試験結果から評価した結果は以下のとおり。

評価手法	評価エリア	環境温度	評価期間	対象ケーブル
電気学会推奨案 設計基準事故	PCV全域	65.6°C* <sup>2</sup>		電力, 制御, 計測用ケーブル, 補償導線
	PCV EL.36.0に敷設されて いる一部のケーブル* <sup>1</sup>	65.8°C~76.5°C* <sup>3</sup>		制御ケーブル
ACAガイド 設計基準事故	PCV全域	65.6°C* <sup>2</sup>		電力, 制御, 計測用ケーブル, 補償導線
	PCV EL.36.0に敷設されて いる一部のケーブル* <sup>1</sup>	65.8°C~76.5°C* <sup>3</sup>		制御ケーブル
電気学会推奨案 重大事故等時	PCV全域	65.6°C* <sup>2</sup>		電力ケーブル 制御ケーブル
	PCV EL.36.0に敷設されて いる一部のケーブル* <sup>1</sup>	65.8°C~76.5°C* <sup>3</sup>		計測用ケーブル 補償導線
			制御ケーブル	

\*1: 原子炉格納容器内の安全機能を有するケーブルの敷設環境等の調査にて設計温度を超過したケーブル

\*2: 原子炉格納容器内の通常運転時における設計温度

\*3: 原子炉格納容器内の安全機能を有するケーブルの敷設環境等の調査による実測値



## 5. 低圧ケーブル(難燃PNケーブル)の絶縁特性低下の評価

### 5.5 現状保全

難燃PNケーブルの絶縁特性低下に対しては、系統機器の点検時に絶縁抵抗測定を実施している。また、系統機器の点検時に実施する動作試験においてもケーブルの絶縁機能の健全性を確認している。

### 5.6 総合評価

格納容器全域に敷設されている設計基準事故時雰囲気で機能要求のある難燃PNケーブルは、ACAガイドに基づいて得られた評価期間の28年、重大事故等時雰囲気において機能要求のある難燃PNケーブル(電力、制御用)は、電気学会推奨案に基づいて得られた評価期間の15年、健全性は維持できると評価する。

格納容器内EL.26.4の一部エリアに敷設されている難燃PNケーブル(制御)は、原子炉格納容器内のケーブル布設環境調査により、設計温度を上回る値が確認されたため、難燃PNケーブルの長期健全性試験結果をもとに環境調査結果で得られた温度を用いて評価した結果、3年から14年間、健全性は維持できると評価する。

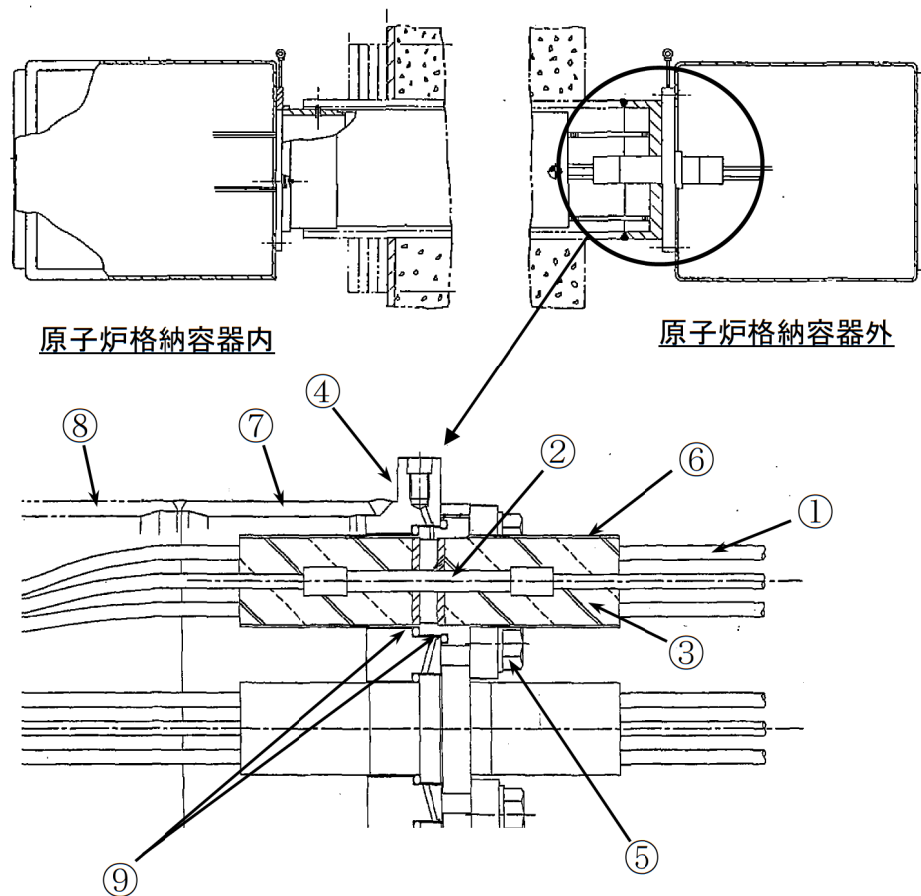
### 5.7 高経年化への対応

現状の保全内容に対して追加すべき項目はないと考える。

## 6. 電気ペネトレーションの絶縁特性低下及び気密性の低下の評価

### 6.1 電気ペネトレーションの使用材料, 使用条件

低圧用電気ペネトレーション構造図

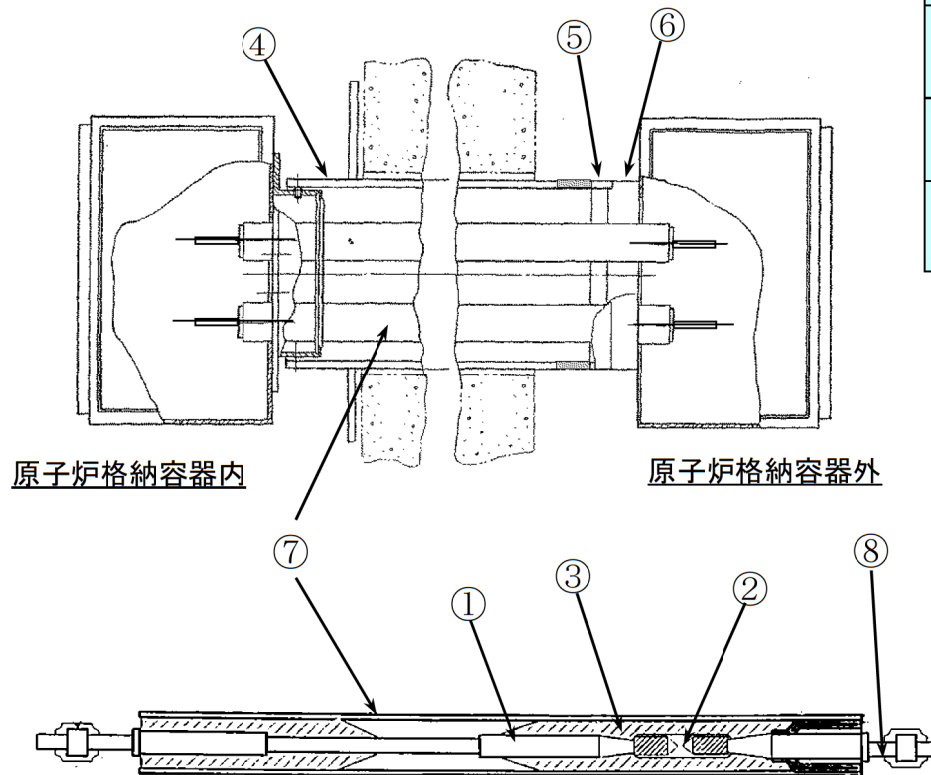


低圧用電気ペネトレーション主要部位の使用材料

No.	部位	材料
①	電線	銅, 架橋ポリエチレン
②	接続部	銅
③	シール部	エポキシ樹脂
④	ヘッド	ステンレス鋼
⑤	取付ボルト	ステンレス鋼
⑥	モジュール	ステンレス鋼
⑦	アダプタ	炭素鋼
⑧	スリーブ	炭素鋼
⑨	Oリング	エチレンプロピレンゴム

# 6. 電気ペネトレーションの絶縁特性低下及び気密性の低下の評価

高圧用電気ペネトレーション構造図



電気ペネトレーションの使用条件

	通常運転時	設計基準事故時	重大事故等時
周囲温度	65.6 °C (最高)	171 °C (最高)	235 °C (最高)
最高圧力	0.0138 MPa	0.31 MPa	0.62 MPa
放射線	0.040 Gy/h (最大)	2.6 × 10 <sup>2</sup> kGy (最大積算値)	640 kGy (最大積算値)

高圧用電気ペネトレーション主要部位の使用材料

No.	部位	材料
①	電線	銅, エチレンプロピレンゴム
②	接続スリーブ	銅
③	シール部	エチレンプロピレンゴム
④	スリーブ	炭素鋼
⑤	アダプタ	炭素鋼
⑥	ヘッド	ステンレス鋼
⑦	パイプ	ステンレス鋼
⑧	導体	銅

## 6. 電気ペネトレーションの絶縁特性低下及び気密性の低下の評価

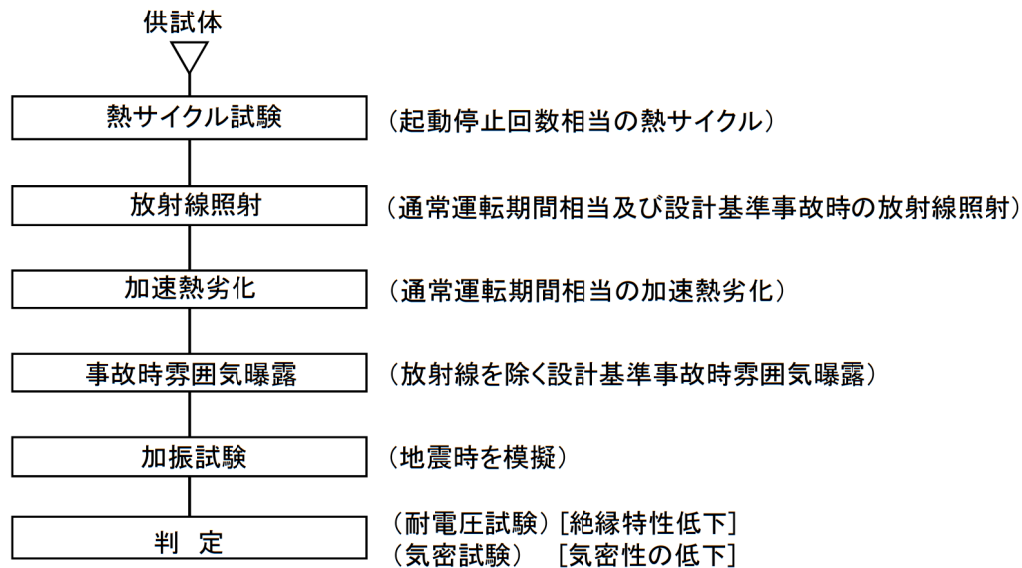
### 6.2 電気ペネトレーションの評価方法

電気ペネトレーションの健全性評価は、通常運転期間と設計基準事故時を想定した長期健全性試験にて評価する。重大事故等時に対する健全性の確認は、格納容器破損防止対策の有効性評価で想定した重大事故等時条件を包絡する重大事故等時のプロファイルを用いて、電気ペネトレーションの絶縁特性低下及び気密性の低下に対する評価部位であるシール部、電線部及びOリングの温度を解析により求め、長期健全性試験で実施した設計基準事故時雰囲気曝露試験の条件に包絡されることを確認する。

#### 6.3.1 電気ペネトレーションの健全評価(設計基準事故時)

##### (1) 試験手順

電気ペネトレーションの健全性評価試験手順を以下に示す。



電気ペネトレーションの長期健全性試験手順

## 6. 電気ペネトレーションの絶縁特性低下及び気密性の低下の評価

### (2) 試験条件, 試験結果

試験条件は、加振試験条件を除き60年間の通常運転期間及び設計基準事故時を想定した条件を包絡している。

低圧用電気ペネトレーション, 高圧用電気ペネトレーションの長期健全性試験条件

試験項目	試験条件	60年間の通常運転時及び設計基準事故時条件
熱サイクル	10 °C⇔66 °C/120サイクル	110回
放射線 (通常時+事故時)	800 kGy	281 kGy (通常時:21 kGy 事故時:260 kGy)
温度	171 °C(最高温度)	171 °C
圧力	0.43 MPa	0.31 MPa
加振*	1,332 Gal(最大加振値)	9,500 Gal

\*: 東海第二で想定される電気ペネトレーションの最大応答加速度 $9.50 \times 10^3$  Galに対しては、同等のモジュール型電気ペネトレーションを用いた加振試験にて、加速度 $19.6 \times 10^3$  Galにて健全性を確認している。

### 低圧用電気ペネトレーションの長期健全性試験結果 (絶縁特性低下)

試験項目	試験条件	結果
耐電圧	AC 720 Vを4秒間印加	良

### 低圧用, 高圧用電気ペネトレーションの 長期健全性試験結果(絶縁特性低下)

試験項目	試験条件	結果
気密試験	0.42MPa(差圧)を15分間	良

## 6. 電気ペネトレーションの絶縁特性低下及び気密性の低下の評価

### 6.3.2 電気ペネトレーションの健全評価(重大事故等時)

#### (1) 評価手順

格納容器破損防止対策の有効性評価で想定した重大事故等時条件を包絡する重大事故等時のプロファイルを用いて、電気ペネトレーションの絶縁特性低下及び気密性の低下に対する評価部位であるシール部、電線部及びOリングの温度を解析により求め、長期健全性試験で実施した設計基準事故時雰囲気曝露試験の条件に包絡されることを確認する。

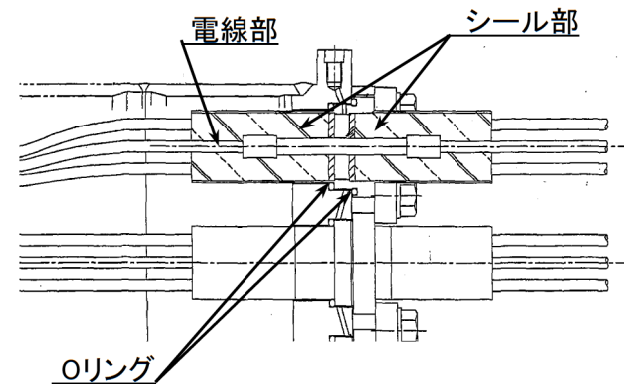
【電気ペネトレーション評価部位】

【電気ペネトレーション長期健全性試験条件】

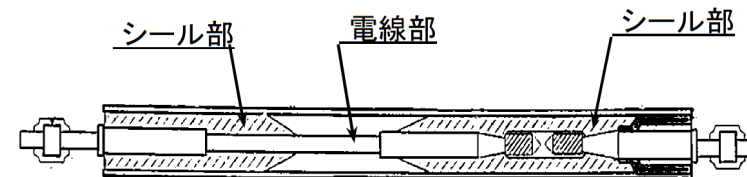
試験項目	試験条件	重大事故等時条件
熱サイクル	10 °C⇔66 °C/1 20サイクル	110回
放射線 (通常時+事故時)	800 kGy	661 kGy 通常時: 21 kGy 事故時: 640 kGy
温度	171 °C (最高温度)	235 °C (最高温度)
圧力*1	0.43 MPa	0.62 MPa
加振*2	1,332 Gal (最大加振値)	9,500 Gal

\*1: 東海第二で想定される重大事故等時の最高圧力0.62MPaは、同等の電気ペネトレーションを用いた特性確認試験にて、0.62MPaを上回る圧力にて健全性を確認している。

\*2: 東海第二で想定される電気ペネトレーションの最大応答加速度 $9.50 \times 10^3$  Galに対しては、同等のモジュール型電気ペネトレーションを用いた加振試験にて、9,500 Galを上回る加振値にて健全性を確認している。



低圧用電気ペネトレーション





高圧用電気ペネトレーション

## 6. 電気ペネトレーションの絶縁特性低下及び気密性の低下の評価

### (2) 評価条件

格納容器破損防止対策の有効性評価で想定した重大事故等時条件を包絡する重大事故等時の解析条件は以下のとおり。

事故プロファイル 1	事故プロファイル 2
	

【事故プロファイル 1 解析入力条件】

時間[h]	<input type="text"/>
格納容器内雰囲気気温度[°C]	<input type="text"/>

【事故プロファイル 2 解析入力条件】

時間[h]	<input type="text"/>
格納容器内雰囲気気温度[°C]	<input type="text"/>

## 6. 電気ペネトレーションの絶縁特性低下及び気密性の低下の評価

### (3) 解析条件

解析にあたっては、電気ペネトレーションの構造体の解析モデルを作成し、各部位の物理特性値を用いて重大事故等時の解析入力条件に対する評価部位の温度を解析により算出する。

### (4) 解析結果

重大事故等時の解析結果は以下のとおり。

	部位	
蒸気曝露試験条件	電線部/シール部	
事故時条件1	電線部	
	シール部	
事故時条件2	電線部	
	シール部	

### (5) 評価結果

電気ペネトレーションの絶縁特性低下に対する評価部位であるシール部及び電線部の温度を解析により求めた結果、長期健全性試験で実施した設計基準事故時雰囲気曝露試験の条件に包絡していることを確認した。



## 6. 電気ペネトレーションの絶縁特性低下及び気密性の低下の評価

### 6.4 現状保全

#### [絶縁特性低下]

- 点検時に絶縁測定及び機器の動作状態を確認し、絶縁特性低下がないことを確認している。

#### [気密性の低下]

- 定期検査時に原子炉格納容器漏えい率検査を実施し、原子炉格納容器全体の漏えい率が基準を満たし、漏えい率が増加傾向にないことを確認している。

### 6.5 総合評価

長期健全性試験結果及び温度解析結果から判断して、電気ペネトレーションの絶縁特性低下及び気密性の低下が発生する可能性は低い。

### 6.6 高経年化への対応

現状の保全内容に対して追加すべき項目はないと考える。

なお、制御棒位置指示用(X-104C)、制御用(X-102A, X-106B)、計測用(X-105C)及び低圧動力用(X-105D)モジュール型電気ペネトレーションは、第24回、第25回定期検査において長期健全性試験の供試体と同等のモジュール型電気ペネトレーションに交換を実施している。それ以外の制御用(X-102B, X-107A)、計測用(X-103, X-230)、制御棒位置指示用(X-104A, B, D)、低圧動力用(X-105A, X-105B)及び核計装用(X-100A, B, C, D)モジュール型電気ペネトレーションは、今停止期間中に同等のモジュール型電気ペネトレーションに更新を行う計画としている。

## 7. 代表機器以外の評価結果

---

追而