

東海第二発電所 審査資料	
資料番号	TKK 補-Ⅲ-5 改 11
提出年月日	平成 30 年 4 月 19 日

東海第二発電所 劣化状況評価  
(電気・計装品の絶縁特性低下)

補足説明資料

平成 30 年 4 月 19 日  
日本原子力発電株式会社

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。

## 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（昭和 53 年通商産業省令第 77 号。以下「実用炉規則」という。）第 114 条（**発電用原子炉の運転の期間の延長に係る認可の基準**）の規定に基づき，**電気・計装品の劣化状況評価を行い，評価内容及び評価結果が適切であることを説明するものである。**

電気・計装品の**絶縁性能を維持**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により，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。

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。

## 2. 基本方針

電気・計装品の絶縁特性低下に対する評価は，60 年（取替を前提とした機器については，それまでの期間）の供用期間中に経年的に劣化が進展し，この状態で事故時環境内においても絶縁性能が維持できることを評価する。

電気・計装品の絶縁特性低下を評価するにあたっての要求事項を表 1 に整理する。

表 1 電気・計装品の絶縁特性低下についての要求事項

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>

### 3. 評価対象と評価手法

電気・計装品の絶縁特性低下が想定される機器は多数存在するため、劣化状況評価の補足説明では、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。

補足説明の代表機器選定にあたり、電気・計装品の機能維持に必要な絶縁性能を考慮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2 東海第二発電所 評価対象機器（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ブ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。

評価対象機器（電気・計装品）の評価にあたっては、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」、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 レポート（JNES-SS-0903）、IEEE Std.317-1976「IEEE Standard for Electric Penetration Assemblies in Containment Structures for Nuclear Power Generating Stations」（以下「IEEE Std.317-1976」という。）、IEEE Std.323-1974「IEEE Standard for Qualifying Class 1E Equipment for Nuclear Power Generating Stations」（以下「IEEE Std.323-1974」という。）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」（以下「IEEE Std.383-1974」という。）等をもとに実施した長期健全性試験の結果及び各機器の点検実績等から健全性について評価する。

なお、「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ブレンゴムシースケーブル）」及び「電気ペネトレーション」以外の機器に対する評価は「5. 代表機器以外の技術評価」に示す。

表2 東海第二発電所 評価対象機器（電気・計装品）

機器・構造物	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	○	○
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	○	○
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		

タイトル	低圧電気ペネトレーションの長期健全性試験条件の事故時条件の包絡性について																																
説明	<p>長期健全性試験における事故時雰囲気曝露試験条件と設計基準事故条件の比較した結果を示す。</p> <p>【シール部】</p> <p>事故時雰囲気曝露試験条件は、設計基準事故条件及び重大事故等時条件1, 2を包絡している。</p> <table border="1" data-bbox="437 763 1331 1697"> <thead> <tr> <th colspan="4">低圧電気ペネトレーション</th> </tr> <tr> <th></th> <th>条件</th> <th>44.5℃換算時間</th> <th>合計</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td rowspan="4">事故時雰囲気曝露試験条件</td> <td rowspan="4"></td> <td>18,290年</td> <td rowspan="4">29,877年</td> </tr> <tr> <td>5,881年</td> </tr> <tr> <td>2,377年</td> </tr> <tr> <td>3,329年</td> </tr> <tr> <td rowspan="4">設計基準*2事故条件</td> <td rowspan="4"></td> <td>18,291年</td> <td rowspan="4">25,672年</td> </tr> <tr> <td>5,852年</td> </tr> <tr> <td>385年</td> </tr> <tr> <td>1,114年</td> </tr> <tr> <td>重大事故*3条件1</td> <td></td> <td></td> <td>温度、時間とも事故時雰囲気曝露試験条件に包絡</td> </tr> <tr> <td>重大事故*3条件2</td> <td></td> <td></td> <td>温度、時間とも事故時雰囲気曝露試験条件に包絡</td> </tr> </tbody> </table> <p>活性化エネルギー: [ ] [cal/mol] (エポキシ樹脂/メーカー提示値)</p> <p>*1: 曝露試験は [ ] 時間にて実施しているが、重大事故等時条件に合わせ [ ] 時間にて評価</p> <p>*2: 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</p> <p>*3: 重大事故等時における電気ペネトレーションシール部の環境条件解析値</p>			低圧電気ペネトレーション					条件	44.5℃換算時間	合計	事故時雰囲気曝露試験条件		18,290年	29,877年	5,881年	2,377年	3,329年	設計基準*2事故条件		18,291年	25,672年	5,852年	385年	1,114年	重大事故*3条件1			温度、時間とも事故時雰囲気曝露試験条件に包絡	重大事故*3条件2			温度、時間とも事故時雰囲気曝露試験条件に包絡
低圧電気ペネトレーション																																	
	条件	44.5℃換算時間	合計																														
事故時雰囲気曝露試験条件		18,290年	29,877年																														
		5,881年																															
		2,377年																															
		3,329年																															
設計基準*2事故条件		18,291年	25,672年																														
		5,852年																															
		385年																															
		1,114年																															
重大事故*3条件1			温度、時間とも事故時雰囲気曝露試験条件に包絡																														
重大事故*3条件2			温度、時間とも事故時雰囲気曝露試験条件に包絡																														

説明

## 【電線部】

事故時雰囲気曝露試験条件は，設計基準事故条件及び重大事故等時条件1,2を包絡している。

低圧電気ペネトレーション			
	条件	44.5℃換算時間	合計
事故時雰囲気曝露試験条件		5,563年	9,873年
		1,959年	
		856年	
		1,495年	
設計基準*2 事故条件		5,564年	8,431年
		1,960年	
		173年	
		644年	
重大事故*3 条件1			温度，時間とも事故時雰囲気曝露試験条件に包絡
重大事故*3 条件2		18年	7,639年
		18年	
		97年	
		7,506年	

活性化エネルギー： [ ] [cal/mol]

(架橋ポリエチレン/メーカ提示値)

\*1:曝露試験は [ ] 時間にて実施しているが，重大事故等時条件に合わせ [ ] 時間にて評価

\*2: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

\*3:重大事故等時における電気ペネトレーション電線部の環境条件解析値

以上

# 1. 電動弁用駆動部の技術評価

## (1) 電動弁用駆動部の評価

### 1) 電動弁モータ（原子炉格納容器内）の評価

#### a. 評価手順

東海第二の原子炉格納容器内において使用されている，設計基準事故時雰囲気  
機能要求がある電動弁モータは，IEEE Std. 382-1972「IEEE Trial-Use Guide for  
Type Test of Class I Electric Valve Operators for Nuclear Power Generating  
Stations」（以下「IEEE Std. 382-1972」という。）及び IEEE Std. 382-1996「IEEE  
Standard for Qualification of Actuators for Power-operated Valve Assemblies  
With Safety-Related Functions for Nuclear Power Plants」（以下「IEEE Std. 382  
-1996」という。）をもとに東海第二で使用している電動弁交流モータと同等の新品  
モータを供試体に長期健全性試験により評価する。【添付-1）参照】

また，重大事故等時雰囲気における健全性の評価は，重大事故等時条件が長期健  
全性試験条件に包絡されることを確認する。

電動弁モータの長期健全性試験手順（原子炉格納容器内）を図 1.1 に示す。

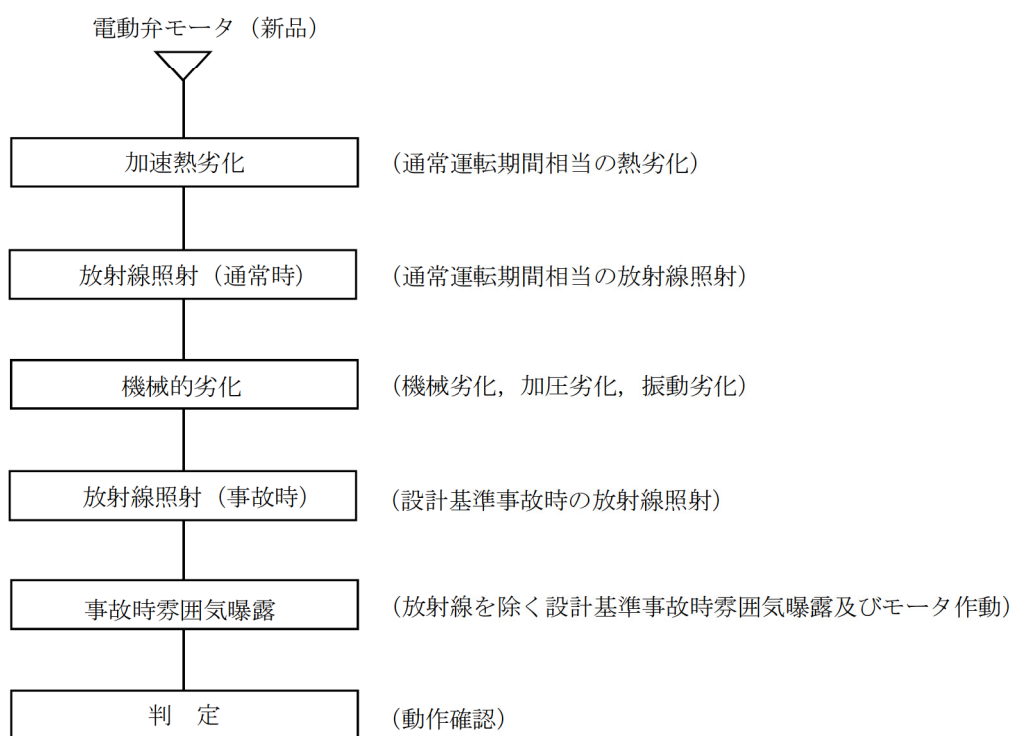


図 1.1 電動弁モータの長期健全性試験手順（原子炉格納容器内）



b. 試験条件

試験条件は、電動弁モータ（原子炉格納容器内）の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。

また、試験条件は、電動弁モータ（原子炉格納容器内）の重大事故等時を想定した条件も包絡している。

電動弁モータの長期健全性試験条件（原子炉格納容器内）を表1.1に示す。

表 1.1 電動弁モータの長期健全性試験条件（原子炉格納容器内）

	試験条件	説明
加速熱劣化	105 °C×1,740 時間	原子炉格納容器内の周囲最高温度 65.6 °C*1 では、60年間の通常運転期間に相当する。 【添付-2) 参照】
放射線照射 (通常時)	放射線照射線量：22 kGy	東海第二で想定される60年間の通常運転期間相当の線量 約 21 kGy*1 を包絡する。
機械的劣化	機械劣化：弁開閉往復動作相当回数 3,000 回 加圧劣化：0.48 MPa 3分以上を65回 振動劣化：0.75 G, 3軸方向 各135分	東海第二の60年間の動作回数 約 800回を包絡する。IEEE Std. 382-1996 に基づく。【添付-3) 参照】 東海第二の通常運転時の最高圧力 0.0138 MPa*1, 60年間の加圧回数 45回を包絡する。 【添付-3) 参照】 IEEE Std. 382-1996 に基づく。
放射線照射 (事故時)	放射線照射線量：800 kGy	東海第二で想定される設計基準事故時の最大積算値 $2.6 \times 10^2$ kGy*2 及び重大事故等時の最大積算値 $6.40 \times 10^2$ kGy*3 を包絡する。
事故時雰囲気 曝露	最高温度：172 °C 最高圧力：0.427 MPa 曝露時間：約13日間	東海第二における設計基準事故時の最高温度 171 °C*2, 最高圧力 0.31 MPa*2 及び重大事故等時の最高温度 123 °C*3, 最高圧力 0.31 MPa*3 を包絡する。【添付-4) 参照】

\*1: 通常運転時における原子炉格納容器内の環境条件設計値

通常運転時線量  $21 \text{ [kGy]} = 0.04 \text{ [Gy/h]} \times 24 \text{ [h]} \times 365.25 \text{ [d]} \times 60 \text{ [y]}$

\*2: 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

\*3: 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

\*1~\*3 は【添付-5) 参照】

## 2) 電動弁モータ（原子炉格納容器外）の評価

### a. 評価手順

東海第二の原子炉格納容器外において使用されている設計基準事故時雰囲気で機能要求がある電動弁交流モータ及び電動弁直流モータは、IEEE Std. 382-1972 及び IEEE Std. 382-1996 をもとに東海第二で 38 年間使用した電動弁交流モータを用いた長期健全性試験により評価する。【添付-1参照】

また、重大事故等時雰囲気における健全性の評価は、重大事故等時条件が長期健全性試験条件に包絡されることを確認する。

電動弁モータの長期健全性試験手順（原子炉格納容器外）を図 2.1 に示す。

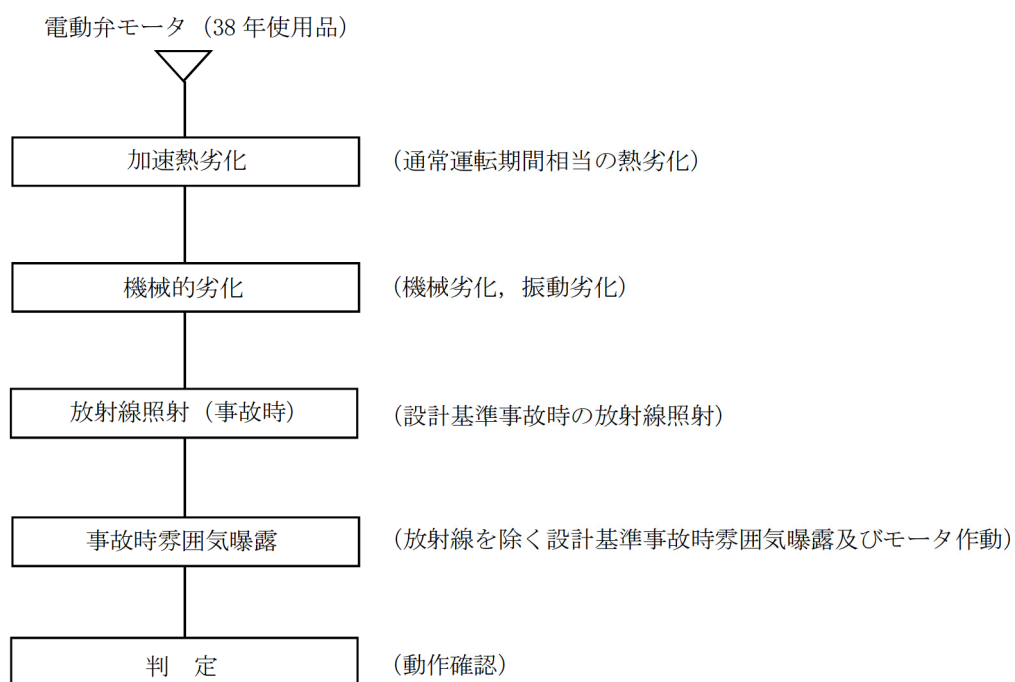


図 2.1 電動弁モータの長期健全性試験手順（原子炉格納容器外）

b. 試験条件

試験条件は、電動弁モータ（原子炉格納容器外/原子炉建屋）の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する。電動弁モータ（原子炉格納容器外/主蒸気トンネル室）は23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する。

また、試験条件は電動弁モータ（原子炉格納容器外/原子炉建屋）の重大事故等時を想定した条件も包絡している。電動弁モータ（原子炉格納容器外/MSトンネル）は、重大事故等時の放射線照射を除いて包絡している。

電動弁モータの長期健全性試験条件（原子炉格納容器外）を表2.1及び表2.2に示す。

表 2.1 電動弁モータの長期健全性試験条件（原子炉格納容器外/主蒸気トンネル室）

	試験条件	説明
加速熱劣化	105℃×385時間	原子炉建屋内の周囲最高温度60.0℃*1では、22年間の通常運転期間に相当する。【添付-6参照】使用期間38年の実機供試体に22年分の劣化付与を行っており、60年の通常運転期間に相当する。
機械的劣化	機械劣化：弁開閉往復動作相当回数 1,100回 振動劣化：0.75G, 3軸方向 各50分	東海第二の60年間の動作回数約800回を包絡する。【添付-3参照】 IEEE Std. 382-1996に基づく。
放射線照射 (事故時)	放射線照射線量：1,700Gy	東海第二で想定される設計基準事故時の最大積算値 $4.5 \times 10^2$ Gy*2を包絡する。 重大事故等時の放射線2,500Gyに対しては、同等の原子炉格納容器外仕様のモータを用いた放射線照射試験にて、重大事故等時の放射線量を上回る $1.0 \times 10^6$ Gyにて健全性が維持できることを確認している。
事故時雰囲気 曝露	最高温度：105℃ 最高圧力：0.02MPa 曝露時間：約7日間	東海第二で想定される設計基準事故時の最高温度100℃*2、最高圧力0.001744MPa*2及び重大事故等時の最高温度72℃*3、最高圧力0.0069MPa*3を包絡する。【添付-7参照】

\*1: 通常運転時における原子炉格納容器外（主蒸気トンネル室）の環境条件設計値

\*2: 設計基準事故時における原子炉格納容器外（RHR系統）の環境条件設計値

\*3: 重大事故等時における原子炉格納容器外（主蒸気トンネル室）の環境条件解析値

\*1~\*3は【添付-5参照】

表 2.2 電動弁モータの長期健全性試験条件（原子炉格納容器外/原子炉建屋）

	試験条件	説明
加速熱劣化	105 °C × 385 時間	原子炉建屋内の周囲最高温度 40.0 °C*1 では、60 年以上の運転期間に相当する。【添付-6) 参照】
機械的劣化	機械劣化：弁開閉往復動作相当回数 1,100 回 振動劣化：0.75 G, 3 軸方向 各 50 分	東海第二の 60 年間の動作回数 約 800 回を包絡する。【添付-3) 参照】 IEEE Std. 382-1996 に基づく。
放射線照射 (事故時)	放射線照射線量：1,700 Gy	東海第二で想定される設計基準事故時の最大積算値 $1.7 \times 10^3$ Gy*2 及び重大事故等時の最大積算値 $1.5 \times 10^3$ Gy*3 を包絡する。
事故時雰囲気 曝露	最高温度：105 °C 最高圧力：0.02 MPa 曝露時間：約 7 日間	東海第二で想定される設計基準事故時の最高温度 100 °C*2, 最高圧力 0.001744 MPa*2 及び重大事故等時の最高温度 56 °C*3, 最高圧力 0.0069 MPa*3 を包絡する。【添付-7) 参照】

\*1: 通常運転時における原子炉格納容器外（原子炉建屋）の環境条件設計値

\*2: 設計基準事故時における原子炉格納容器外（原子炉建屋）の環境条件設計値

\*3: 重大事故等時における原子炉格納容器外（原子炉建屋）の環境条件解析値

\*1～\*3 は【添付-5) 参照】

### c. 評価結果

長期健全性試験の結果、60 年間の通常運転期間、設計基準事故時において電動弁モータ（原子炉格納容器外）の絶縁機能を維持できることを確認した。

また、重大事故等時条件は、設計基準事故時曝露試験条件に包絡されていることから重大事故等時雰囲気においても絶縁性能を維持できることを確認した。

東海第二で想定される重大事故等時における放射線の影響による電動弁モータ（原子炉格納容器外/主蒸気トンネル室）の絶縁特性低下に対しては、同等の原子炉格納容器外仕様のモータを用いた放射線照射試験にて重大事故等時線量を上回る  $1.0 \times 10^6$  Gy にて健全性が維持されていることから、絶縁特性低下に至る可能性は小さいと考える。

また、電動弁モータ（原子炉格納容器外）の電磁ブレーキ及び口出線に用いられている絶縁材（ポリイミドアミド及びシリコンゴム）は、電動弁モータ（原子炉格納容器内）の固定子コイル及び口出線材料と同じであり、原子炉格納容器内の長期健全性試験にて、格納容器外の重大事故時線量を上回る線量にて健全性が維持できることが確認されていることから絶縁特性低下に至る可能性は小さいと考える。

【添付-8) 参照】