

資料⑥



# 大飯発電所3号炉 高経年化技術評価 審査会合における指摘事項の回答

関西電力株式会社

2021年9月30日

## 審査会合における指摘事項の一覧

2021年8月5日審査会合における指摘事項は以下のとおり。

No	指摘／質問事項	回答
① (絶縁低下)	電気ペネトレーションの気密性低下事象について事象分類の考え方を整理すること	本日回答
② (コンクリート 構造物)	気中帯、干満帯での塩分浸透の分析方法について土木学会での考えの取扱いを補足説明資料に追記すること	本日回答

## (1) 事象分類の考え方の方針について

原子炉格納容器バウンダリ機能に係る気密性低下は、6事象以外の事象であるが、劣化対象となる部位(有機物)および起因となる要因は絶縁低下と同じであり、また、同じ長期健全性試験(電気ペネトレーションの要求機能を踏まえた設計、試験、認定に係る要件を定めた規格 IEEE Std.317-2013に準拠。同一供試体に対して判定試験のみ絶縁低下の確認試験とは別に実施。)にて検証していることから、原子炉格納容器バウンダリ機能に係る気密性低下を絶縁低下と同等の○事象(高経年化対策上着目すべき経年劣化事象)として評価することとする。

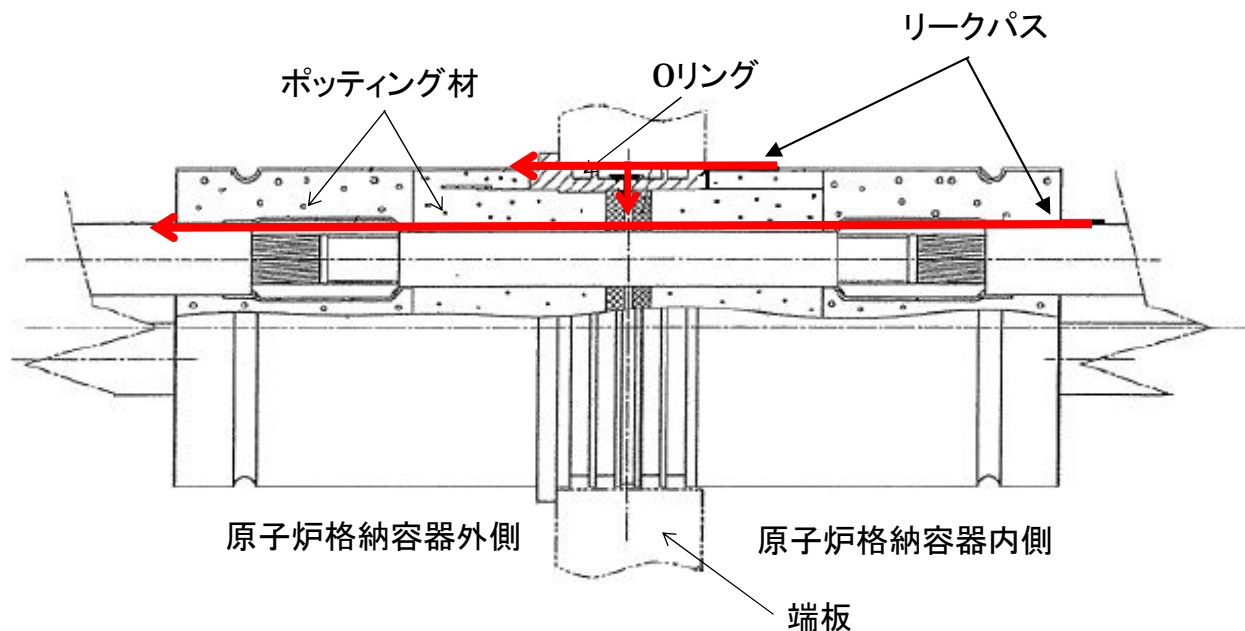
## (2) 事象分類の変更に伴う評価書の記載について

原子炉格納容器バウンダリ機能に係る気密性低下における評価の事象分類の考え方の方針を踏まえ、評価書(容器 3.3電気ペネトレーション)における本経年劣化事象の当社記載方針を次項以降で示す。

### (3) 事象の説明

ポッティング材(エポキシ樹脂)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、接着力の低下により気密性が低下した場合、図に示すようにリークパスが原子炉格納容器内よ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に係る気密性低下を起こす可能性がある。

また、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、図に示すようにリークパスが原子炉格納容器内よ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。



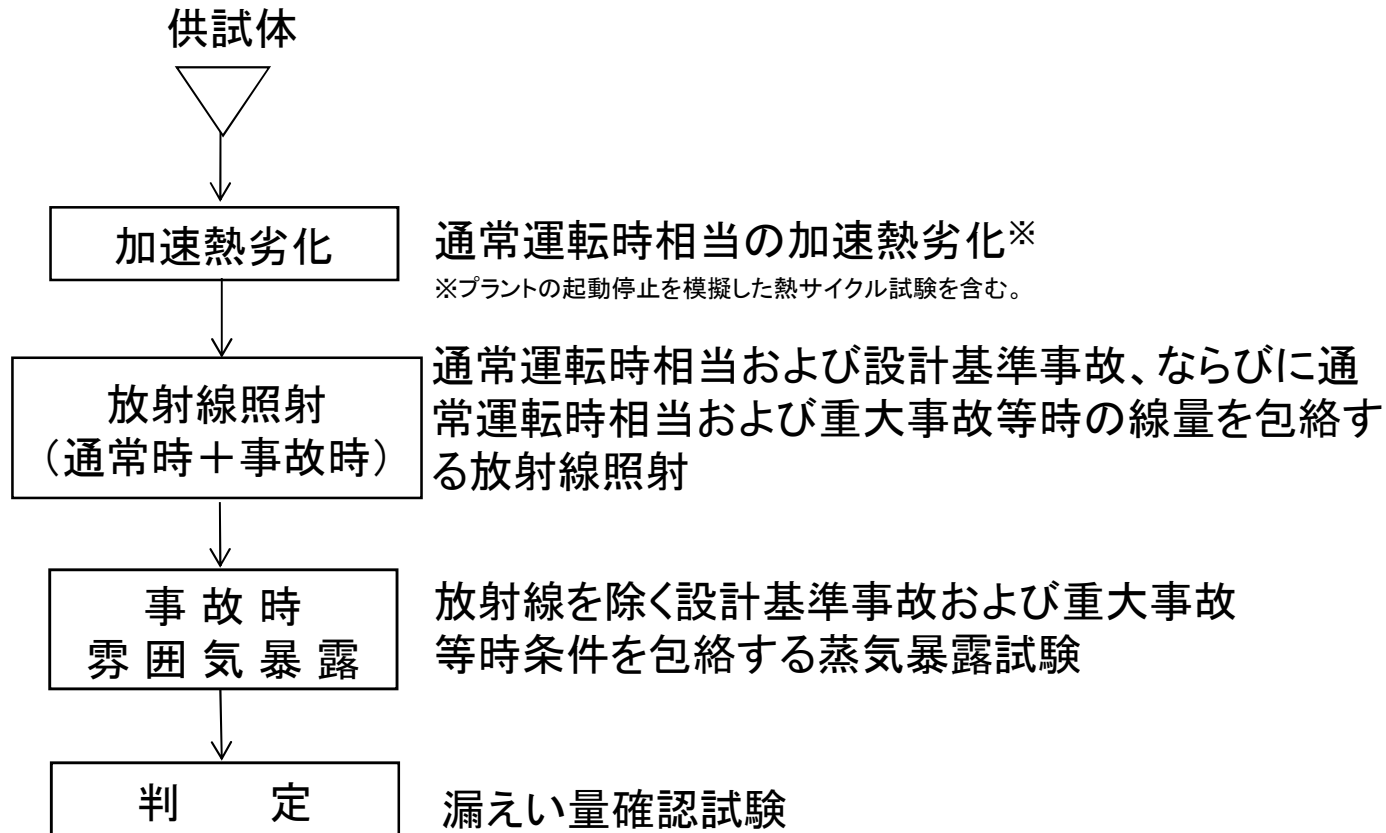
**図 原子炉格納容器バウンダリ機能に係るリークパス**

### (4) 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)およびOリング(EPゴム))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。

## (5) 試験手順

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

# ① 電気ペネトレーションの気密性低下事象について事象分類の考え方

## (6) 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arium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	*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31°C)に通電による温度上昇と若干の余裕を加えた温度
放射線 照射	1,500kGy (10kGy/h以下)	通常運転相当: 0.58kGy*3 設計基準事故時線量: 824kGy 重大事故等時線量: 500kGy	*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1.1mGy/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、 1.1[mGy/h] × (24 × 365.25) [h/y] × 60[y] = 0.58kGy となる。
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132°C(最高温度) : 約0.31MPa[gage](最高圧力) 重大事故等時 : 約143°C(最高温度) : 約0.43MPa[gage](最高圧力)	

### 長期健全性試験結果

項目	判定基準	測定値	判定
漏えい量 確認試験	1.0 × 10 <sup>-3</sup> cm <sup>3</sup> /sec以下	0.67 × 10 <sup>-3</sup> cm <sup>3</sup> /sec	良

## (7) 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、原子炉格納容器バウンダリ機能に係る気密性を維持できることを確認した。

## (8) 現状保全

ポッティング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N<sub>2</sub>ガスの圧力確認を実施し、機器の健全性を確認することとしている。

## (9) 総合評価

健全性評価結果から判断して、ポッティング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。

## (10) 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。

## 審査会合における指摘事項の一覧

No	指摘／質問事項	回答
① (絶縁低下)	電気ペネトレーションの気密性低下事象について事象分類の考え方を整理すること	本日回答
② (コンクリート 構造物)	気中帯、干満帯での塩分浸透の分析方法について土木学会での考えの取扱いを補足説明資料に追記すること	本日回答



## ② 気中帯、干満帯での塩分浸透の分析方法について土木学会での考えによる取扱い

### a. 回帰分析の方法

- ①塩化物イオン濃度は、気中帯、干満帯および海中帯のそれぞれに対して、3箇所(No.1、No.2、No.3)のコア採取により実施をしている
- ②拡散方程式(D及びC<sub>0</sub>)は、気中帯、干満帯および海中帯のそれぞれに対して、測定された塩化物イオン濃度を回帰分析することで評価する。評価はコア(No.1、No.2、No.3)の平均値を用いる場合と、コア(No.1、No.2、No.3)の単独値を用いる場合の双方について実施した
- ③回帰分析に当たっては、土木学会規準「実構造物におけるコンクリート中の全塩化物イオン分布の測定方法(案)(JSCE-G 573-2003 コンクリート委員会・規準関連小委員会)」<sup>※1)</sup>を参考に、中性化の影響を考慮し、コンクリート表面に近い領域(0~20mm)の測定値を用いる場合と用いない場合の影響を検討し影響の大きな方を採用した

※1:土木学会規準 JSCE-G 573-2003 注記16)

中性化した領域およびそこから1cm以内の深部で採取された試料から得られた結果は、回帰分析を行なう際には用いないほうがよい。全く中性化が生じていない場合においても、構造物表面から深さ1cm以内で採取された試料から得られた結果は、回帰分析を行なう際には用いないほうがよい。

### 塩化物イオン濃度の測定結果(気中帯の例)

  : 平均値を用いる場合と単独値を用いる場合の双方を検討  
  : 0~20mmの測定値を用いる場合と用いない場合の影響を検討

構造物	部位	調査時期	試料番号	単位	塩化物イオン濃度(%)および量(kg/m <sup>3</sup> )					
					0~20mm	20~40mm	40~60mm	60~80mm	80~100mm	100~120mm
海水ポンプ室(気中帯)	底版	2016年	No.1	%	0.10	0.07	0.01	0.00	0.00	0.00
				kg/m <sup>3</sup>	2.39	1.68	0.16	0.00	0.00	0.00
			No.2	%	0.13	0.06	0.01	0.00	0.00	0.00
				kg/m <sup>3</sup>	3.07	1.44	0.18	0.00	0.02	0.00
			No.3	%	0.16	0.09	0.00	0.00	0.00	0.00
				kg/m <sup>3</sup>	3.79	2.14	0.10	0.00	0.07	0.00
			平均	%	0.13	0.07	0.01	0.00	0.00	0.00
				kg/m <sup>3</sup>	3.08	1.75	0.15	0.00	0.03	0.00

## ② 気中帯、干満帯での塩分浸透の分析方法について土木学会での考えによる取扱い

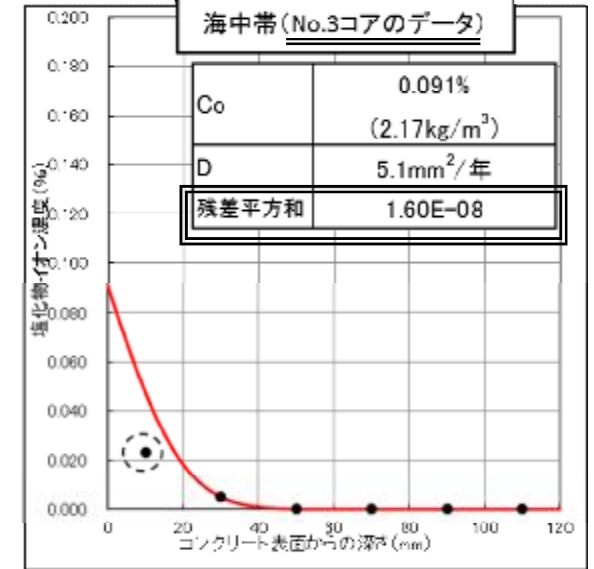
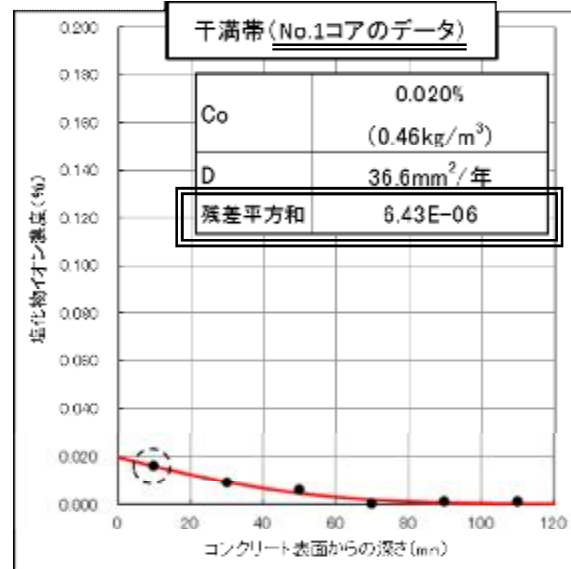
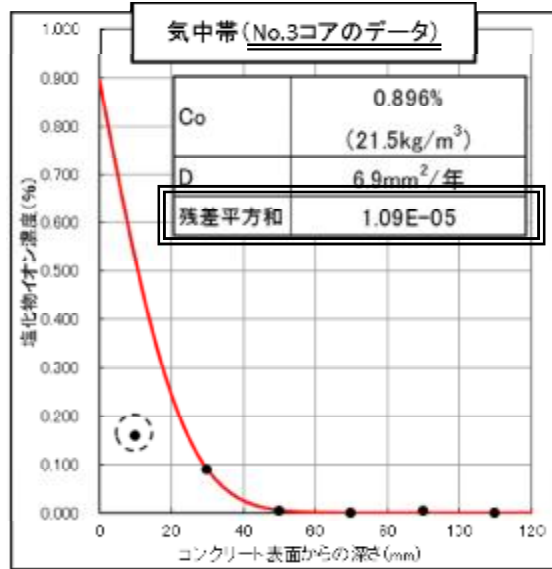
### b. データを選定した回帰分析の結果 (塩化物イオン濃度の測定結果および拡散方程式のグラフ)

● : 塩化物イオン濃度測定結果  
 ○ : 回帰分析に用いない塩化物イオン濃度測定結果  
 — : 回帰分析結果

$C_0$  : コンクリート表面の塩化物イオン濃度 (コンクリート表面の塩化物イオン量<sup>※1</sup>)  
 $D$  : コンクリート中の塩化物イオンの見かけの拡散係数

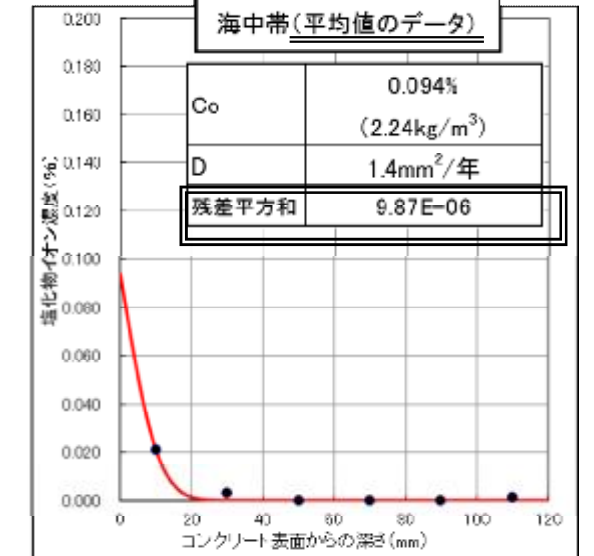
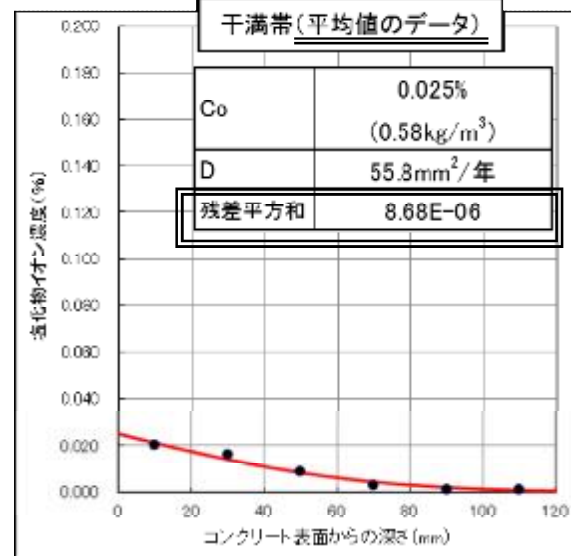
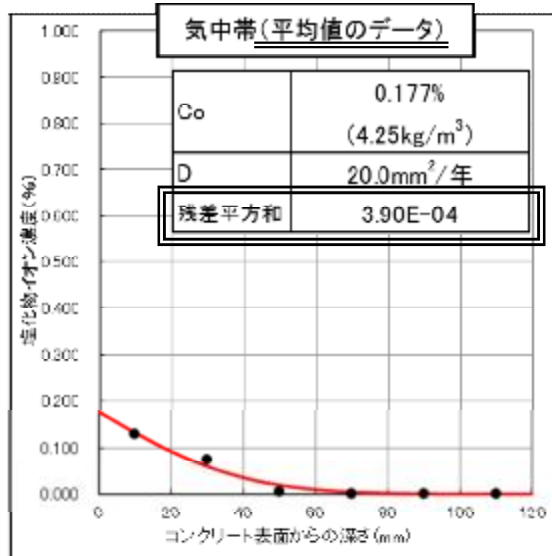
#### 塩化物イオン濃度測定結果コア(No.1、No.2、No.3)の単独値を用いて回帰分析を行った結果

見直し後



#### 塩化物イオン濃度測定結果コア(No.1、No.2、No.3)の平均値を用いて回帰分析を行った結果

見直し前




② 気中帯、干満帯での塩分浸透の分析方法について土木学会での考えによる取扱い

c. 塩分浸透による強度低下の健全性評価結果

運転開始後60年経過時点における鉄筋腐食減量は、かぶりコンクリートにひび割れが発生する時点の鉄筋腐食減量を下回っていることから、健全性評価上問題とはならない

鉄筋腐食減量算出の見直しをした結果

 : 評価の結果を見直した箇所

(運転開始後60年経過時点とかぶりコンクリートにひび割れが発生する時点の鉄筋腐食減量の比較)

	調査時期	調査時点の 鉄筋位置での 塩化物イオン濃度 および量  上段(%) 下段(kg/m <sup>3</sup> )	見直し	鉄筋の腐食減量 (× 10 <sup>-4</sup> g/cm <sup>2</sup> )			
				調査時点	運転開始後 60年経過時点	かぶりコンクリートに ひび割れが発生す る時点	
						経過年	腐食減量
海水ポンプ室 (気中帯)	2016年 (運転開始後24年経過)	0.00 (0.03)	前	2.2	5.5	617	90.1
			後	2.2	5.5	460	
海水ポンプ室 (干満帯) <sup>※1</sup>	2016年 (運転開始後24年経過)	0.00 (0.03)	前	6.1	14.6	397	90.1
			後	6.1	14.9	389	
海水ポンプ室 (海中帯)	2016年 (運転開始後24年経過)	0.00 (0.00)	前	0.0	0.0	6,961	90.1
			後	0.0	0.0	4,035	



評価書の補正により、上記内容を反映する。

※1: コンクリート表面の乾湿の繰り返しの程度を考慮して、気中帯と同様の外気環境に曝されている状態であると想定し、酸素濃度を21%に設定した。