

No.	高浜 1 - 中性子照射脆化 - 6 rev1	事象：中性子照射脆化
質 問	<p>(別冊-4容器-1原子炉容器-33頁) 上部棚吸収エネルギー低下について、運転開始後60年時点のJEAC4206に基づく弾塑性破壊力学評価の計算過程及び計算に用いた数値を提示すること。</p>	
回 答	<p>60年時点の上部棚吸収エネルギーの予測が68J未満となる母材について、JEAC4206-2007の附属書G「上部棚吸収エネルギーが68Jを下回る原子炉圧力容器の健全性評価方法」に従った健全性評価の計算過程及び計算に用いた数値を以下に示します。なお、評価は弾塑性破壊力学評価上厳しくなる周方向欠陥を想定して実施しています。</p> <p>【弾塑性破壊力学評価の計算過程】</p> <p>(1) J_{mat} の算出 欠陥深さ a に対する上部棚破壊靱性 J_{mat} は次式で評価しています。 $J_{mat} = M_j \cdot C_1 \cdot \Delta a^{C_2}$ $M_j = 0.863[\text{供用状態 A,B,C}], 1.05[\text{供用状態 D}]$ $C_1 = \exp\{0.147 + 2.64 \cdot \log(\text{USE 調整値}) - 0.00087 \cdot T\}$ $C_2 = -0.549 + 0.383 \cdot \log(C_1)$ USE 調整値：60年運転時点における仮想欠陥深さでの値 (= 1/4t 深さ： <input type="text"/> J、10mm 深さ： <input type="text"/> J) T：評価位置での温度* (= <input type="text"/> °C) * 低温側配管の一次冷却材の温度 (出典：JEAC4206-2007 附属書 G G-3200)</p> <p>(2) J_{app} の算出 欠陥深さ a に対するき裂進展力 J_{app} は次式、及び表 1 の評価条件を基に評価しています。 $J_{app} = 1000 \cdot (K_I')^2 / E'$ $K_I' = \sqrt{\frac{a_e}{a}} \cdot K_I$ $a_e = a + \left(\frac{1000}{6\pi} \right) \cdot \left[\frac{K_I}{\sigma_y} \right]^2$ $E : \text{ヤング率 (MPa)}$ $E' : E / (1 - \nu^2) \text{ (MPa)}$ $\nu : \text{ポアソン比}$ $\sigma_y : \text{降伏応力 (MPa)}$ $K_I = 0.961 K_{IP}^e + 0.961 C \cdot K_{IT}^e$ $C = 1.0 - \{-0.159(a/t) + 0.155\} (\sigma / \sigma_{total})$ ただし、C の下限は次式とする。 $C = 1.0 - 0.12 \cdot (\sigma / \sigma_{total})$</p>	

σ_t : 欠陥深さ位置の熱応力(MPa)
 σ_{total} : 欠陥深さ位置の応力(MPa)
 t : 胴部母材厚さ (= mm)
 K_{IP}^e : 内圧応力に対する応力拡大係数
 K_{IT}^e : 熱応力に対する応力拡大係数

(出典 : JEAC4206-2007 附属書 G G-6200)

※ K_{IP}^e 及び K_{IT}^e は、ASME Code Section XI, Appendix A の解 (作用分布応力を多項式近似する場合) により算出する。

K_{IP}^e 及び K_{IT}^e の計算式を以下に示します。

(JEAC4206-2007 附属書 F-3200 参照)

$$K_I = \frac{1}{\sqrt{1000}} [(A_0 + A_P)G_0 + A_1G_1 + A_2G_2 + A_3G_3] \sqrt{\pi a/Q} \quad \dots(1)$$

$$\sigma = A_0 + A_1 \left(\frac{u}{a}\right) + A_2 \left(\frac{u}{a}\right)^2 + A_3 \left(\frac{u}{a}\right)^3 \quad \dots(2)$$

$$A_P = p (K_{IP}^e \text{ の場合}), 0 (K_{IT}^e \text{ の場合}) \quad \dots(3)$$

$$Q = 1 + 4.593 \left(\frac{a}{\ell}\right)^{1.65} - q_y \quad \dots(4)$$

$$q_y = \left[(A_0G_0 + A_PG_0 + A_1G_1 + A_2G_2 + A_3G_3) / \sigma_{ys} \right]^2 / 6 \quad \dots(5)$$

ここで、圧力による応力は厚肉円筒の式を用いて算出し、熱応力は差分法で導出した温度分布から算出しています。また、式(4)の塑性域補正 q_y は J_{app} を算出する過程(附属書H-4000)で考慮するため、ここでは考慮していません($q_y=0$)。

表1 評価に使用した各条件

	仮想欠陥 ^{*1*2}	内圧 ^{*3}	温度過渡
供用状態 A, B	深さ <input type="text"/> mm (1/4t) 長さ <input type="text"/> mm (1.5t)	<input type="text"/> (MPa) 一定 (最高使用圧力の 1.1 倍)	<input type="text"/> °C/h (停止までの下降率)
供用状態 C	深さ : 10mm 長さ : 60mm	<input type="text"/> (MPa) 一定 (供用状態 C の最高圧力)	100% 定常時の温度 (<input type="text"/> °C) から供用状態 C の最低温度 (<input type="text"/> °C) への ステップ状温度変化
供用状態 D		<input type="text"/> (MPa) 一定 (供用状態 D の最高圧力)	100% 定常時の温度 (<input type="text"/> °C) から供用状態 D の最低温度 (<input type="text"/> °C) への ステップ状温度変化

※1 : t は原子炉容器胴部の板厚

※2 : 仮想欠陥の方向は軸方向と周方向の2つを考える。

※3 : 供用状態 A, B のき裂不安定性評価に用いる際には安全率 1.25 を考慮する。

内は商業機密に属しますので公開できません

(a) K_{IP}^e と K_{IT}^e の算出で使用する係数

K_{IP}^e と K_{IT}^e は時刻歴で変化するため、代表として供用状態A,Bで周方向欠陥 $\Delta a=2.5\text{mm}$ にて J_{app} が最大となる時刻の作用分布応力を多項式近似した場合の係数(A_0 等)を以下に示します。なお、 u はき裂深さ方向の変数です。

(K_{IP}^e の場合)

$A_p = \square$ $A_0 = \square$ $A_1 = \square$ $A_2 = \square$ $A_3 = \square$
 $G_0 = \square$ $G_1 = \square$ $G_2 = \square$ $G_3 = \square$

(K_{IT}^e の場合)

$A_0 = \square$ $A_1 = \square$ $A_2 = \square$ $A_3 = \square$
 $G_0 = \square$ $G_1 = \square$ $G_2 = \square$ $G_3 = \square$

(b) 欠陥深さ位置の熱応力 σ_t 及び応力 σ_{total} の数値

代表として供用状態A,Bで周方向欠陥 $\Delta a=2.5\text{mm}$ にて J_{app} が最大となる時刻の $\sigma_t \cdot \sigma_{total}$ を以下に示します。

Δa [mm]	熱応力 σ_t [MPa]	応力 σ_{total} [MPa]
2.5	<input type="text"/>	<input type="text"/>

(算出に必要な条件)

【RV 寸法】

R_c : クラッド内半径 (= mm)、 R_i : 母材内半径 (= mm)
 t : 母材板厚 (= mm)

【熱伝導率、熱拡張率】

ASME Sec II PartD の Table TCD を使用 (母材: GroupC、クラッド: GroupD)

【縦弾性係数】 (JSME 設計建設規格 2005/2007 Part6 表 1)

母材: $\times 10^{11}$ Pa

【熱膨張係数】 (JSME 設計建設規格 2005/2007 Part6 表 2)

母材: $\times 10^{-6}$ mm/mm $^\circ\text{C}$

【ポアソン比 ν 】 (JSME 設計建設規格 2005/2007 PPB-3725)

【降伏応力 σ_y 】 (JSME 設計建設規格 2005/2007 Part5 表 8)

MPa

内は商業機密に属しますので公開できません

(3) 各供用状態に対する判定結果

周方向欠陥に対する各供用状態での判定結果を以下に示します。

【供用状態A,B】

き裂進展評価： $J_{app} < J_{mat}$ at $\Delta a = 2.5\text{mm}$ 添付-1 (1/2) 参照

き裂不安定性評価：添付-1 (1/2) 参照

【供用状態C】

き裂進展評価： $J_{app} < J_{mat}$ at $\Delta a = 2.5\text{mm}$ 添付-1 (1/2) 参照

き裂不安定性評価：添付-1 (1/2) 参照

【供用状態D】

き裂不安定性評価：添付-1 (2/2) 参照

欠陥深さ評価：延性き裂進展後の深さ $a_f (=11\text{mm}) \leq 0.75t (= \text{[] mm})$

塑性不安定破壊評価：

$$\sigma_f (= \text{[] MPa}^{**1}) > \sqrt{3P_c \cdot (R_i + a_e^{**}) / [2 \cdot (t \cdot a_e^{**})]} (= \text{[] MPa})$$

※1：設計降伏点 (S_y) と設計引張強さ (S_u) の平均値

ここで、

$$a_e^{**} = [a_e^* (1 - \{1 + 2c^2/t^2\}^{-0.5})] / [1 - (a_e^*/t) \{1 + 2c^2/t^2\}^{-0.5}]$$

P_c ：最大圧力(= []) (MPa)

R_i ：胴部母材内半径(= []) (mm)

a_e^{**} ：延性き裂進展後の塑性域補正を考慮した欠陥深さ(= []) (mm)
(半楕円表面き裂に補正)

t ：胴部母材厚さ(= []) (mm)

a_e^* ：延性き裂進展後の塑性域補正を考慮した欠陥深さ(=11) (mm)

$2c$ ：欠陥長さ(= []) (mm)

(a) 欠陥深さ評価 a_f の算出根拠

添付-1 から延性き裂進展量 Δa は J_{app} と J_{mat} の交点までの距離であり、全て 1 mm 未満となりますが、保守的に切り上げて $\Delta a = 1\text{mm}$ として、初期き裂深さ 10mm に加えており、延性き裂進展後の深さは $a_f = 11\text{mm}$ となります。

(b) 流動応力 σ_f の算出根拠

流動応力 σ_f については、設計降伏点 (S_y) と設計引張強さ (S_u) の平均値を用いています。評価温度 ($T_c = \text{[]}$) における設計降伏点 $S_y \text{[]}$ 、設計引張強さ $S_u \text{[]}$ は JSME 設計・建設規格 2005/2007 Part5 表8、表9から線形補間して算出しています。

$$S_y \text{[]} = (S_{yat300} - S_{yat275}) / (300 - 275) * (\text{[]} - 275) + S_{yat275} \\ = \text{[] MPa}$$

$S_u \text{[]} = 490 \text{ MPa}$ であることから、流動応力 σ_f は以下の通りとなります。

$$\sigma_f = (\text{[]} + 490) / 2 = \text{[]} \approx \text{[] MPa} \text{ (小数点以下切捨)}$$

以上

[] 内は商業機密に属しますので公開できません

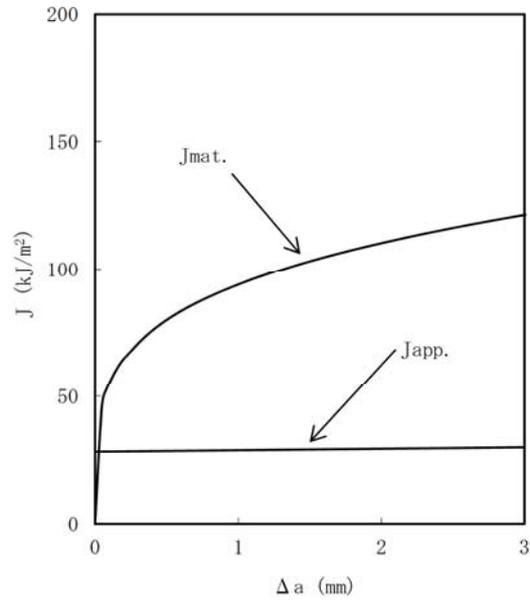


図-1 供用状態A, Bに対する評価結果

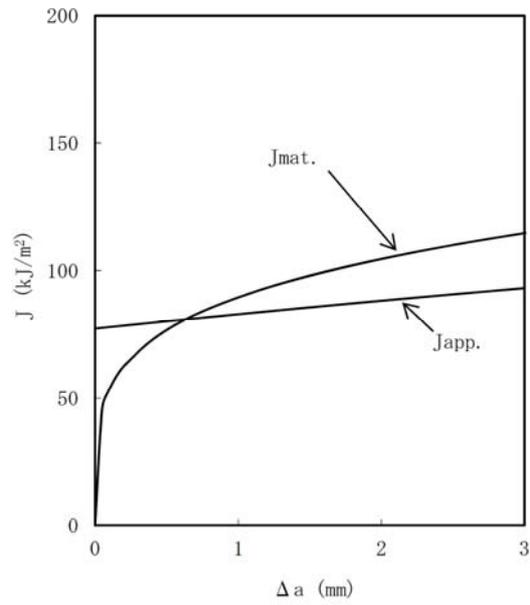


図-2 供用状態Cに対する評価結果

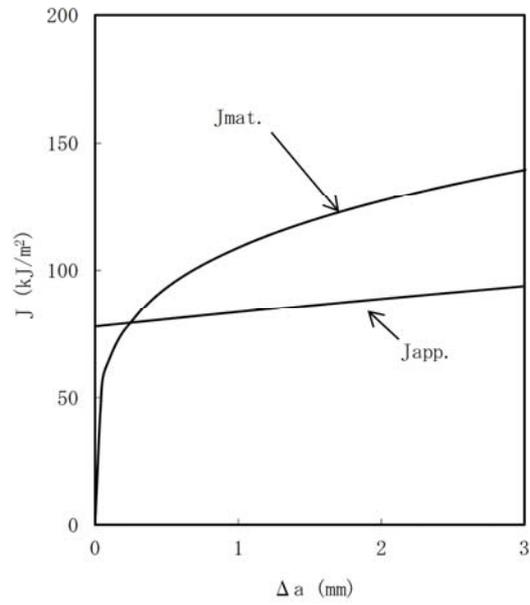


図-3 供用状態Dに対する評価結果

No.	高浜 1－熱時効－ 9	事象：2相ステンレス鋼の熱時効
質 問	<p>(別冊-5配管-4 1 次冷却材管-15頁)</p> <p>母管の熱時効に係る健全性評価について、重大事故等時(原子炉停止機能喪失)におけるプラント条件(ピーク温度360℃、ピーク圧力18.5MPa)を考慮しても、配管は不安定破壊することはないとした考え方及び具体的根拠を提示すること。</p>	
回 答	<p>重大事故等時のプラント条件を考慮した1次冷却材管に係る健全性評価の具体的評価内容を添付-1に示します。</p>	

1. 代表点の抽出

重大事故等時の健全性を確認するにあたっては、評価対象部位の中で応力が最大であり、通常運転時の評価における評価点となっている加圧器サージライン用管台を代表点とする。

2. フェライト量の算出

フェライト量は、ミルシートの化学成分から、ASTM A800に基づき算出している。

化学成分 (溶鋼分析) %								Cre/Nie (注1)	フェライト量 (注2)
C	Si	Mn	Cr	Ni	Mo	Cb(Nb)	N		F%
									約13.7

(注1) ASTM A800の7.1.2参照

(注2) ASTM A800のFig. X1.1参照

3. 評価用Jmatの決定

き裂進展抵抗値 (Jmat値) は、電共研で改良された脆化予測モデル (H3Tモデル: Hyperbolic-Time, Temperature Toughness) を用いて、評価部位のフェライト量を基に求める。なお、JmatのJ_{1c}、J₆の値は以下のとおりである。

	J _{1c} (kJ/m ²)	J ₆ (kJ/m ²)
き裂進展抵抗 (Jmat)		

内は商業機密に属しますので公開できません

4. 評価部位の応力

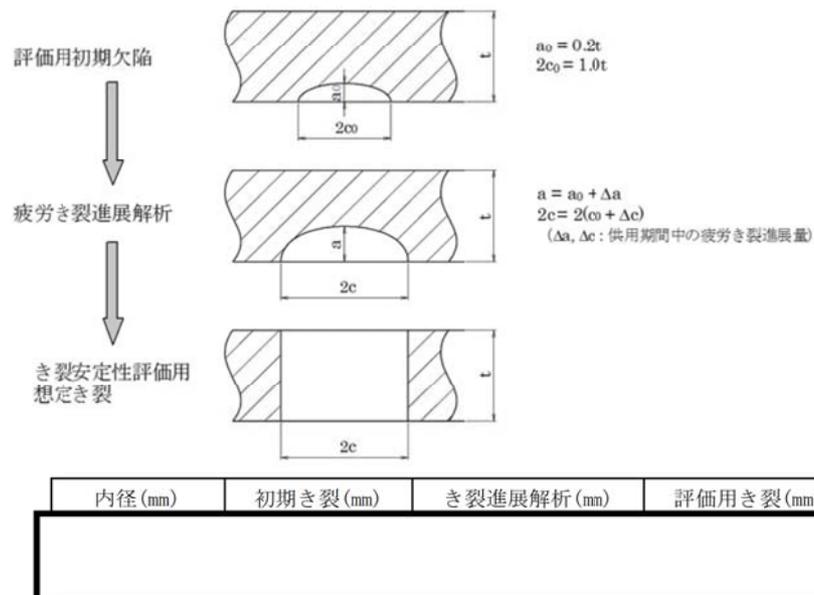
重大事故等時の内圧、自重、熱膨張及び地震荷重を考慮した応力値を示す。

評価条件	内圧による 応力 (MPa)	曲げ応力				軸力による応力				合算値 (MPa) (小数点第1位 切り上げ)
		自重 (%)	熱 (%)	地震 (Ss) (%)	合計 (MPa)	自重 (%)	熱 (%)	地震 (Ss) (%)	合計 (MPa)	
重大事故等時										約232
通常運転時 (参考)										約215

5. Jappの決定

(1) 評価用き裂

き裂安定性評価を保守的に行うために評価用き裂を貫通き裂とする。



(2) FEM解析

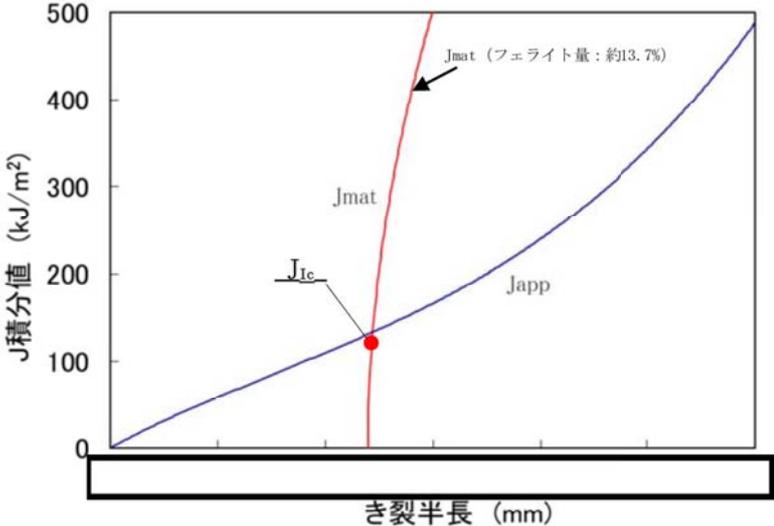
評価用き裂と表 1 に示す評価条件を入力条件として、FEM (有限要素法) 解析により、破壊力 (Japp値) を求める。なお、各き裂長さにおけるJappは以下のとおり。

き裂長さ	1t	3t	5t
Japp (kJ/m ²)			

内は商業機密に属しますので公開できません

6. き裂安定性評価

重大事故等時のプラント条件を考慮した場合であっても、 J_{mat} と J_{app} の交点においては、 J_{mat} の傾きが J_{app} の傾きを上回ることから、不安定破壊は起こらないと判断でき健全である。



内は商業機密に属しますので公開できません

表1 評価条件
 加圧器サージライン用管台

内径 [mm]																																							
外径 [mm]																																							
き裂形状	周方向貫通き裂(き裂長さ: 1t, 3t, 5tの3種類)																																						
荷重																																							
内圧 [MPa]																																							
軸力 [kN]	自重			熱			地震			合計																													
曲げモーメント [kN・m]	自重		熱		地震		合計																																
	My	Mz	My	Mz	My	Mz	My	Mz																															
物性値																																							
ヤング率 [MPa]																																							
ポアソン比	$\nu=0.3$ (弾性域)、 $\nu=0.5$ (塑性域)																																						
応力-ひずみ関係	<p>フェライト量が低い非時効材の応力-ひずみ線図を用いる。本評価データは電共研「1次冷却材管の時効劣化に関する研究 (STEPI)」で得られた知見を参考にしている。本電共研では2つの試験片について引張り試験を実施し、結果がほぼ同等であったことから1つの試験片のデータを用いて応力-ひずみ線図を導出した。Japp 値は応力-ひずみ線図の下部の面積に比例するため、強度が低い非時効材を用いることはより安全側の評価となります。</p>																																						
	公称ひずみ [%]			公称応力 [MPa]			ひずみ [%]			応力 [MPa]																													
	<p>非時効材のフェライト量</p> <table border="1" style="margin-left: auto; margin-right: auto;"> <tr> <td colspan="6">化学成分 (詳細分析) %</td> <td colspan="2">フェライト量</td> </tr> <tr> <td>C</td> <td>Si</td> <td>Mn</td> <td>Cr</td> <td>Ni</td> <td>Mo</td> <td>Cb (Nb)</td> <td>N</td> <td>Cre/Nie</td> <td colspan="2">%</td> </tr> <tr> <td colspan="8"></td> <td colspan="2">%</td> </tr> </table>										化学成分 (詳細分析) %						フェライト量		C	Si	Mn	Cr	Ni	Mo	Cb (Nb)	N	Cre/Nie	%										%	
化学成分 (詳細分析) %						フェライト量																																	
C	Si	Mn	Cr	Ni	Mo	Cb (Nb)	N	Cre/Nie	%																														
								%																															

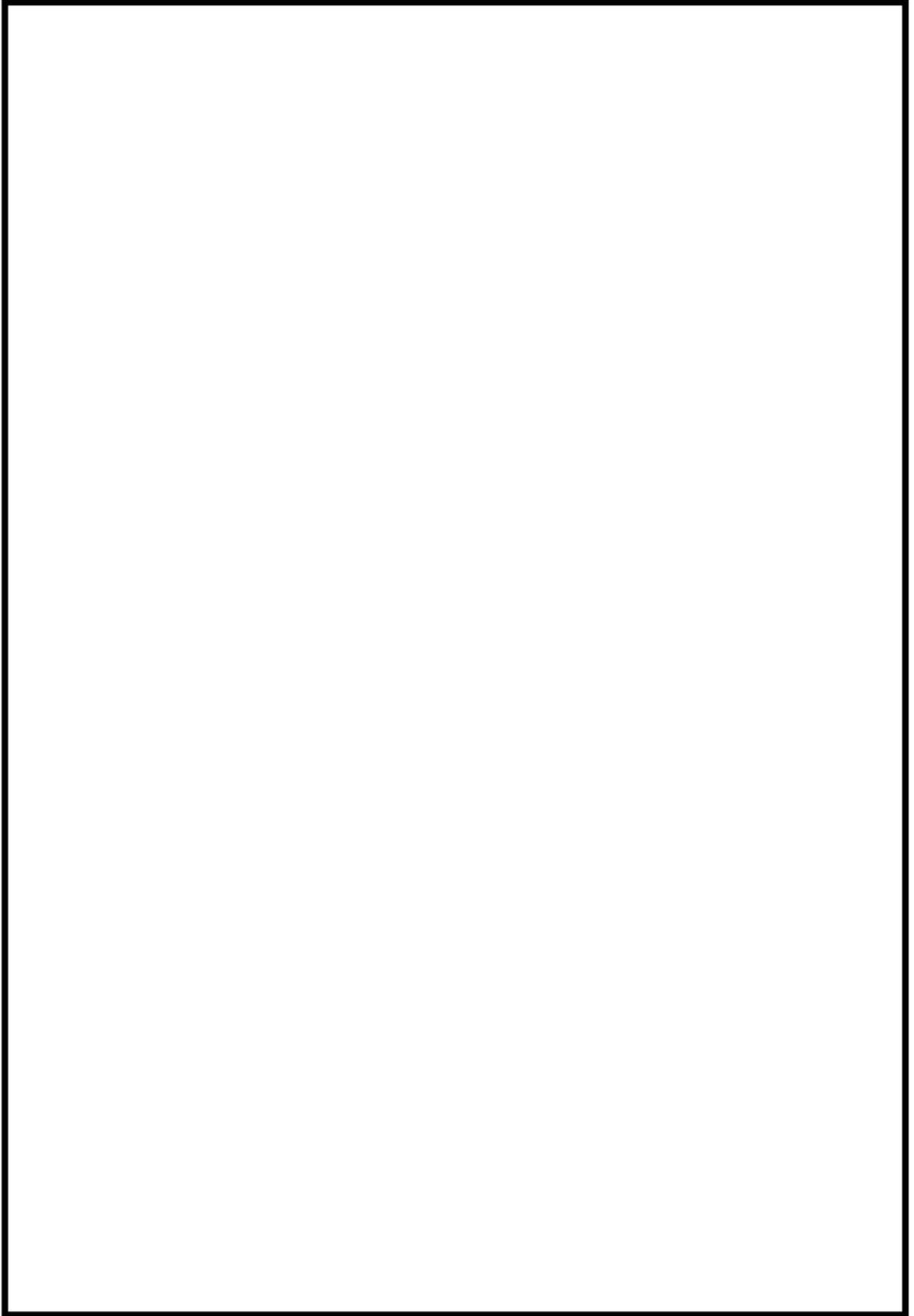
内は商業機密に属しますので公開できません。

No.	高浜1-熱時効-10	事象：2相ステンレス鋼の熱時効
質 問	<p>(別冊-5配管-41次冷却材管-18頁)</p> <p>母管及び管台の熱時効に係る現状保全及び総合評価について、健全性評価において選定した評価部位との関係から、定期的実施している溶接部の超音波探傷検査における検査部位の選定(サンプリング)の妥当性を提示すること。</p>	
回 答	<p>母管及び管台の溶接部の供用期間中検査(超音波探傷検査)の検査部位の選定は維持規格に基づき実施しております。</p> <p>維持規格においては、経年劣化を確認するため定点サンプリング方式を採用しております。当該部においては、経年劣化事象を考慮して相対的に経年変化に厳しい条件にあると考えられる部位を優先して選定することが望ましいとの考えに則って、以下の溶接継手を優先して選定することとしております。</p> <ul style="list-style-type: none"> ①容器と各管との溶接継手 ②構造不連続部の継手 <p>また、部位として選定した構造不連続部の継手が特定の系統および口径の継手に偏らないようにするため、その継手数を比例配分により求めるよう定めております。(維持規格参照)</p> <p>具体的な選定箇所および検査部位を添付1に示します。</p> <p>なお、母管及び管台の健全性評価において選定した箇所については、添付1に示す上記①②に該当する選定箇所に含まれており、現状保全にて健全性を確認しております。</p>	



No.	高浜1-絶縁低下-2 rev1	事象：絶縁低下																																	
質問	(別冊-4容器-3.3電気ペネトレーション-13頁) 表2.3-3の設計基準事故時雰囲気暴露の全ての試験条件が、実機の設計基準事故時条件を包絡していることの根拠を提示すること。																																		
回答	<p>添付1に安全解析結果(事故後27時間までの解析を実施)を、添付2に事故時雰囲気暴露の試験条件を添付します。</p> <p>以下に示しますように、事故時雰囲気暴露の試験条件は、実機の設計基準事故時条件を包絡しております。</p> <p>(ポッティング材：シリコン樹脂)</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th></th> <th>条件</th> <th>65℃換算*1</th> <th>合計</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td rowspan="3">事故時 雰囲気 暴露 試験</td> <td rowspan="3">[Redacted]</td> <td>632479時間</td> <td rowspan="3">2185928時間 (100年以上)</td> </tr> <tr> <td>229959時間</td> </tr> <tr> <td>1323490時間</td> </tr> <tr> <td rowspan="3">設計基 準事故</td> <td rowspan="3">[Redacted]</td> <td>9852時間</td> <td rowspan="3">22650時間 (約2.6年)</td> </tr> <tr> <td>4062時間</td> </tr> <tr> <td>8736時間</td> </tr> </tbody> </table> <p>*1：活性化エネルギー [Redacted] での換算値</p> <p>(外部リード：シリコンゴム)</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th></th> <th>条件</th> <th>65℃換算*2</th> <th>合計</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td rowspan="3">事故時 雰囲気 暴露 試験</td> <td rowspan="3">[Redacted]</td> <td>306846時間</td> <td rowspan="3">1335030時間 (100年以上)</td> </tr> <tr> <td>134231時間</td> </tr> <tr> <td>893953時間</td> </tr> <tr> <td rowspan="3">設計基 準事故</td> <td rowspan="3">[Redacted]</td> <td>6693時間</td> <td rowspan="3">18588時間 (約2.1年)</td> </tr> <tr> <td>3159時間</td> </tr> <tr> <td>8736時間</td> </tr> </tbody> </table> <p>*1：活性化エネルギー [Redacted] での換算値</p> <p style="text-align: right;">以上</p>				条件	65℃換算*1	合計	事故時 雰囲気 暴露 試験	[Redacted]	632479時間	2185928時間 (100年以上)	229959時間	1323490時間	設計基 準事故	[Redacted]	9852時間	22650時間 (約2.6年)	4062時間	8736時間		条件	65℃換算*2	合計	事故時 雰囲気 暴露 試験	[Redacted]	306846時間	1335030時間 (100年以上)	134231時間	893953時間	設計基 準事故	[Redacted]	6693時間	18588時間 (約2.1年)	3159時間	8736時間
	条件	65℃換算*1	合計																																
事故時 雰囲気 暴露 試験	[Redacted]	632479時間	2185928時間 (100年以上)																																
		229959時間																																	
		1323490時間																																	
設計基 準事故	[Redacted]	9852時間	22650時間 (約2.6年)																																
		4062時間																																	
		8736時間																																	
	条件	65℃換算*2	合計																																
事故時 雰囲気 暴露 試験	[Redacted]	306846時間	1335030時間 (100年以上)																																
		134231時間																																	
		893953時間																																	
設計基 準事故	[Redacted]	6693時間	18588時間 (約2.1年)																																
		3159時間																																	
		8736時間																																	

[Redacted] 内は商業機密に属しますので公開できません



高浜1号炉 格納容器内圧力温度解析結果



内は商業機密に属しますので公開できません



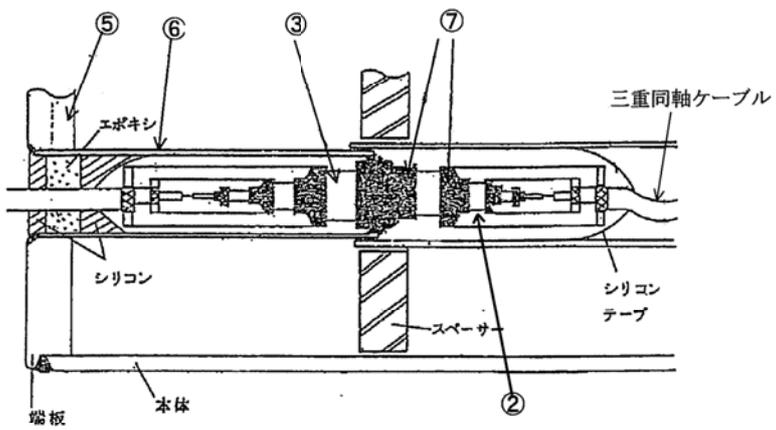
電気ペネ 事故時雰囲気暴露試験条件



内は商業機密に属しますので公開できません

No.	高浜1－絶縁低下－9	事象：絶縁低下
質 問	<p>(別冊-4容器-3.3電気ペネトレーション-16頁) 以下についての説明を提示すること。 ①三重同軸型電気ペネトレーション(高浜1号炉の対象機器及び長期健全性試験に供試された実機相当品)の製造メーカ、構造及び劣化を考慮すべき部位の使用材料 ②三重同軸型電気ペネトレーションについて、高浜1号炉の対象機器と長期健全性試験に供試された実機相当品の同等性 ③三重同軸型電気ペネトレーションの長期健全性試験の内容及びその妥当性</p>	
回 答	<p>①高浜1号炉の三重同軸型電気ペネトレーションの製造メーカは、 [REDACTED] で、長期健全性試験に供試された三重同軸型電気ペネトレーションの製造メーカは、 [REDACTED] です。</p> <p>構造図を添付1に示します。アルミナ磁器、封着金具、シュラウドでバウンダリを形成しています。また、劣化を考慮すべき部位の使用材料は以下の通りです。</p> <p>着目すべき経年劣化事象</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ポッティング材：シリコーン樹脂 ・外部リード：架橋ポリエチレン <p>着目すべき経年劣化事象でない事象</p> <ul style="list-style-type: none"> ・溶接リング：炭素鋼 ・アルミナ磁器：アルミナ磁器 ・封着金具：ニッケル合金 ・シュラウド：ステンレス鋼 ・端板：ステンレス鋼 <p>②WH社製三重同軸型電気ペネトレーションは上記実機相当品のオリジナルモデルであるため、構造、材質は基本的に同一であると考えております。</p> <p>③長期健全性試験の内容及びその妥当性を添付2に示します。</p> <p style="text-align: right;">以 上</p>	

[REDACTED] 内は商業機密に属しますので公開できません



No.	部 位
①	外部リード (三重同軸ケーブル)
②	ポッティング材
③	アルミナ磁器
④	本体
⑤	端板
⑥	シユラウド(保護管)
⑦	封着金具
⑧	溶接リング

(1) 長期健全性試験の内容について

①試験手順

実機相当品により、代表機器（ピッグテイル型）と同様、下記手順で実施しています。

供試体→加速熱劣化→放射線照射→加振試験→事故時雰囲気曝露→判定

②試験条件 下表に示す条件で実施しています。加速熱劣化の試験条件を除き、代表機器（ピッグテイル型）と同じです。

	試験条件	説明
加速熱劣化	条件： 105℃×7日間	試験条件は、ポットイング材について、電気ペネトレーションの周囲温度（約43℃）に若干の余裕を加えた温度（約49℃）で60年間の運転に相当する条件（100℃×7日）を包絡している。また、外部リードについては、稼働率を考慮*1すると、60年間の運転に相当する条件（105℃×7日）を包絡している。
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：0.5MGy（平常時）＋ 1.5MGy（事故時）	高浜1号炉の60年間の運転に予想される集積線量*2に設計基準事故時線量0.516MGyを加えた線量を包絡している。
加振試験	実機プラントにSd地振動を想定して求めた最大加速度 1.8Gで加振	高浜1号炉に想定される最大加速度（0.69G）を包絡している。
事故時 雰囲気 曝露	温度 Max 190℃ 圧力 Max 0.414MPa 時間 ～15日間	高浜1号炉の設計基準事故時の最高温度、最高圧力を包絡している。

*1：運転開始後60年までの稼働率を85%とし、運転時49℃、停止時25℃で評価した。

*2：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約1.4mGy/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、
1.4 [mGy/h] × (24×365.25) h/y×60 [y] = 0.736kGy となる。

[出典（試験条件）：電力共通研究「電気・計装機器の耐環境実証試験に関する研究(Step-3)」1983年度]

(2) 長期健全性試験内容の妥当性について

当該試験はIEEE 323-1974に準拠した手順で実施しています。その妥当性については、JEAG 4623-2008で呼び込んでいるIEEE 317-1983の要求事項から見て、不足しているいずれの項目についても、耐環境試験で付与した劣化条件から見た影響は非常に軽微と考えられることから、妥当性はあるものと考えます（添付3参照）。

(3) 事故時雰囲気曝露試験の妥当性について

添付4に安全解析結果（事故後27時間までの解析を実施）を、添付5に事故時雰囲気曝露の試験条件を添付します。

添付6に示しますように、事故時雰囲気曝露の試験条件は、実機の設計基準事故時条件を包絡しております。

添付3：IEEE Std 317の寿命試験に関する要求事項と電共研の実施有無(1/3)

No	IEEE-317-1983 要求事項		S58年電共研 実施有無	IEEE-317の要求に対して、 電共研で実施していない場合の理由等
	試験項目	試験内容		
1	6.3.1 初期特性試験	各供試体は製造試験に合格していること。	○ (実施) 以降同じ	—
2	6.3.2 1) 輸送・保管の模擬	供試体は輸送・保管の最も厳しい環境条件に曝すものとする。	×	本試験は、輸送中の温度や振動に対する検証と考えられる。輸送・保管中の温度はほぼ常温と考えられ、厳しい環境条件に曝されることはないため、劣化への影響は非常に小さいと考えられる。また、輸送中の振動に対しても、梱包をしており、劣化への影響は非常に小さいと考えられる。
3	6.3.2 2) 運転熱サイクルの 模擬	供試体は、供用期間中の運転サイクルを模擬した熱サイクル試験を行うこと。	×	本試験は、温度変化による熱応力に対する検証と考えられる。温度変化は、定検中のC/V内最低温度と運転中の最高温度が定検毎に1回あるとして、約10℃～約60℃で60サイクル程度である。電気ペネトレーションを常温(20℃)で製作、20℃→60℃の温度変化に対して、ポッティング材の熱応力、シユラウド、導体との接着面のせん断応力を求めた。その結果、熱応力は[]、引張強度[]に対して非常に小さい。また、接着面のせん断応力も[]引張せん断接着強度[]に対して非常に小さく、ポッティング材の割れや剥がれに対して問題ないレベルと考えられる。また、サイクル数も60回程度と少ないことから、熱応力による劣化への影響は非常に小さいと考えられる。
4	6.3.2 3) 熱劣化の模擬	<ul style="list-style-type: none"> 供試体は、設置寿命期間中の設計通常使用温度での運転を模擬するために熱劣化処理を受けるものとする。 加速劣化時間及び温度はアレニウスのデータから算出するか、正当化することができる他の方法を用いても良い。 	○	—

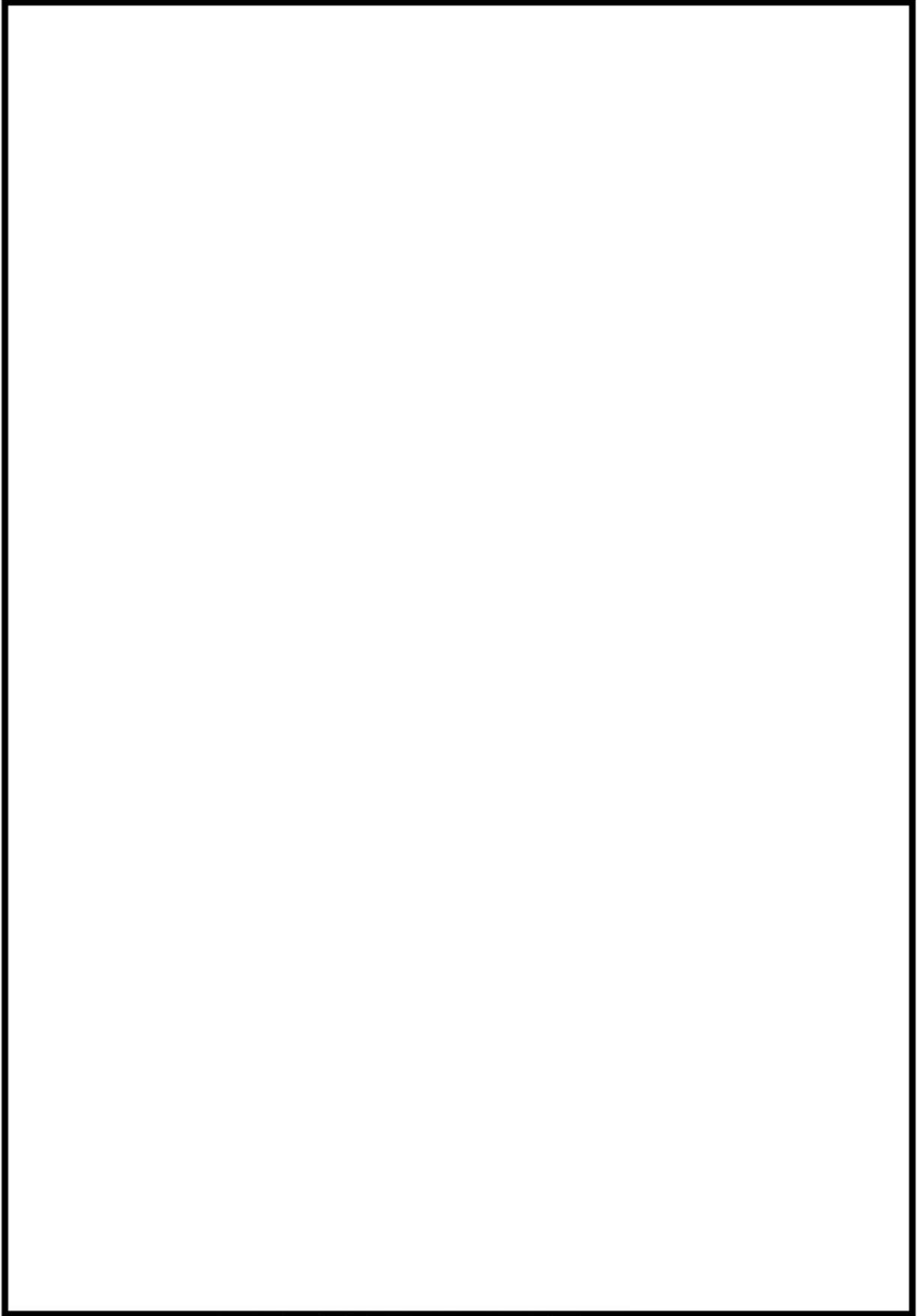
[]内は商業機密に属しますので公開できません

添付3：IEEE317の寿命試験に関する要求事項と電共研の実施有無(2/3)

No	IEEE-317-1983 要求事項		S58年電共研 実施有無	IEEE-317の要求に対して、 電共研で実施していない場合の理由等
	試験項目	試験内容		
5	6.3.2.4) 放射線照射の模 擬	設計通常使用環境の放射線を設置寿命期間中模擬した放射線を供試体に照射するものとする。設計基準事象による最大累積放射線量をこの時点で含めても良い。 6.3.2.1)～4)の事前処理後、供試体は、漏えい試験及び電気試験(導通、絶縁抵抗試験、耐電圧試験)に合格するものとする。	○	—
6	6.3.3 (1) 短絡電流および 短絡熱容量試験	短絡電流および短絡熱容量試験を行うこと。 ・設置状態を模擬し、短絡状態時に応力を受けるすべての構成部品を含むものとする。 ・試験は室温で実施してよいが、試験開始時の導体温度は、定格連続電流試験時の最高温度以上とすること。 ・短絡電流試験は、定格短絡電流以上で、継続時間は0.033秒以上とする。短絡熱容量試験は、定格短絡熱容量と同様の電流の二乗×時間(秒)とする。 ・短絡熱容量試験は短絡電流試験と組み合わせても良い。 ・試験後、漏えい試験及び電気試験(導通、耐電圧試験)に合格するものとする。	×	本試験の目的は、大電流通電による熱と電磁力に対する検証と考えられる。 実際の電源系統では、過負荷・短絡電流等の保護回路により、短絡電流等は瞬時遮断されられる。 度及び熱劣化に対して影響はないと考えられる。 ・熱に対する影響は、電流の継続時間が非常に短く、ポッティング材やケーブルの絶縁体の短時間許容温度及び熱劣化に対して影響はないと考えられる。 ・電磁力に対しては、ポッティング材内のケーブル間で吸引、反発力が働き、ポッティング材に力が加わるが、電流の継続時間が非常に短く、ポッティング材の健全性に対して影響はないと考えられる。
7	6.3.3 (2) 耐震試験	・供試体は、設計使用条件に裕度を加えた条件の入力振動スペクトルでANSI/IEEE Std 344-1975(1980年改訂)に準じて耐震試験を行う。 ・試験中、供試体の全ての導体は、連続性を維持し、定格電圧に裕度を加えたものに耐えるものとする。 ・試験後、漏えい試験及び電気試験(耐電圧試験)に合格するものとする。	○	—
8	6.3.3 (3) 最過酷DE環境 条件の模擬試験	・設計最大想定事故時の環境条件(圧力、温度、湿度、放射線(放射線照射の模擬に含めない場合)化学スプレイ)に対する健全性を実証すること。 ・試験中、導体に定格電圧を連続的に印加するものとする。 ・試験後、漏えい試験に合格するものとする。	○	—

添付3：IEEE317の寿命試験に関する要求事項と電共研の実施有無(3/3)

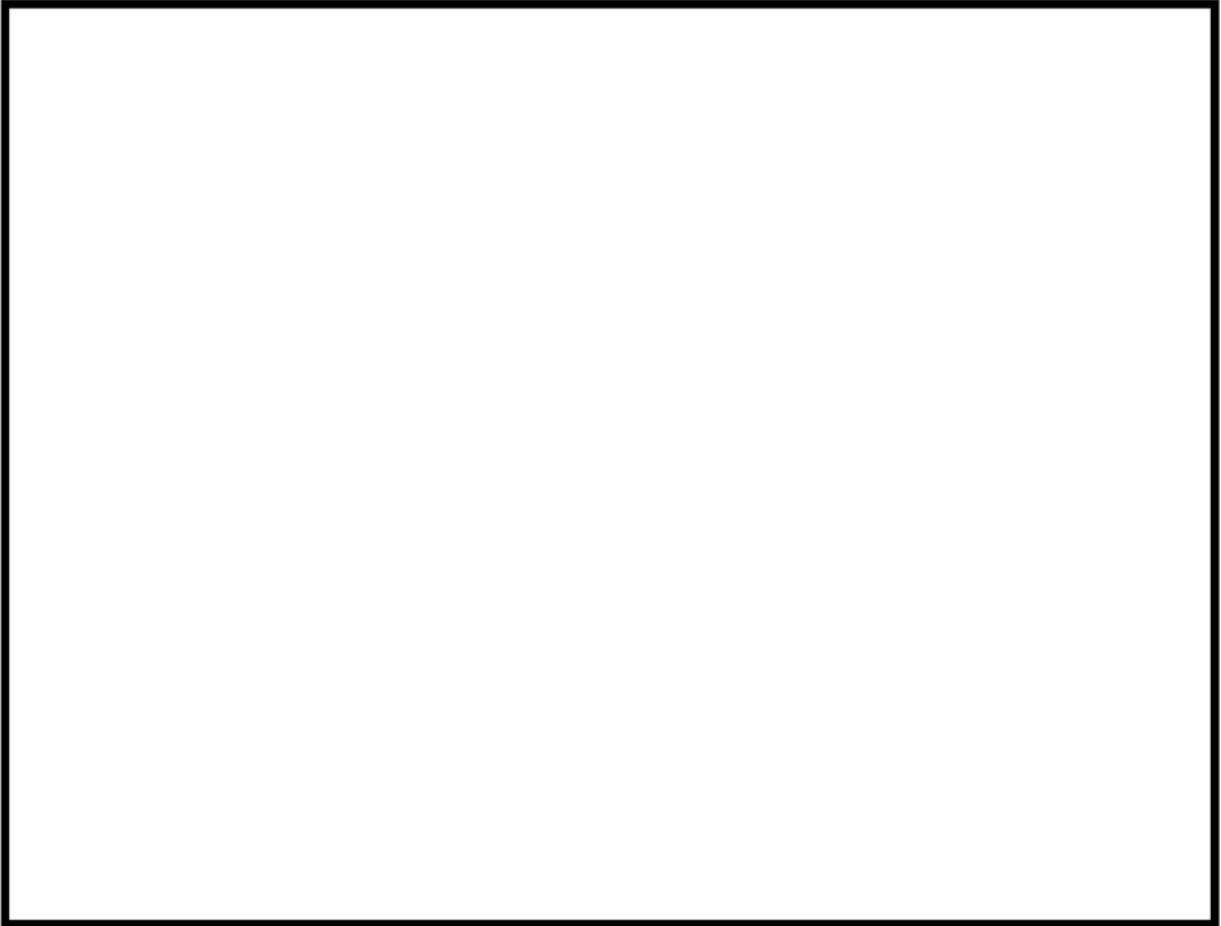
No	IEEE-317-1983 要求事項		S58年電共研 実施有無	IEEE-317の要求に対して、 電共研で実施していない場合の理由等
	試験項目	試験内容		
9	6.3.3 (4) 最過酷DBE 環境条件 での定格 短時間過 負荷電流 試験	<ul style="list-style-type: none"> 最も厳しいDBE環境条件時の定格連続電流通電時に、供試体のI回路が定格短時間過負荷電流および継続時間を通電できるものとする。 定格短時間過負荷電流とは最高通常環境温度で定格電流を通電している状態で、1つの回路が、導体温度が短時間過負荷設計温度限度を超過せずに、規程の時間通電することができている過負荷電流で、定格連続電流の7倍以上で継続時間は10秒以上とする。 環境条件で、温度は6.3.3(3)の試験中の最高温度以上、圧力は設計圧力以上（二重導体シールの場合は内側を加圧してもよい。）化学スプレー、蒸気は必要はない。 試験後、定格電圧に耐えること。漏えい試験に合格するものとする。 	×	本試験の目的は、事故時の温度、圧力が高い状態で、大電流通電による熱に対する検証と考えられる。実際の電源系統では、過負荷・短絡電流等の保護回路により、定格短時間過負荷試験電流は影響の少ない時間で遮断されるため、短時間許容温度及び熱劣化に対して影響はないと考えられる。
10	6.3.3 (5) 最過酷DBE 環境条件 での定格 短絡電流 試験	<ul style="list-style-type: none"> 最も厳しいDBE環境条件時の定格連続電流通電時に、供試体のI回路が定格短絡電流を通電できるものとする。 電流値および継続時間は、短絡電流試験は、定格短絡電流以上で、継続時間は0.033秒以上とする。 環境条件は6.3.3(4)と同じ。 試験後、定格電圧に耐えること。漏えい試験に合格するものとする。 	×	<p>本試験の目的は、事故時の温度、圧力が高い状態で、大電流通電による熱と電磁力に対する検証と考えられる。実際の電源系統では、過負荷・短絡電流等の保護回路により、短絡電流等は瞬時遮断されるため、短時間許容温度及び熱劣化に対して影響はないと考えられる。</p> <ul style="list-style-type: none"> 熱に対する影響は、電流の継続時間が非常に短く、ポットティング材やケーブルの絶縁体の短時間許容温度及び熱劣化に対して影響はないと考えられる。 電磁力に対しては、ポットティング材内のケーブル間で吸引、反発力が働き、ポットティング材に力が加わるが、電流の継続時間が非常に短く、ポットティング材の健全性に対して影響はないと考えられる。
11	6.3.3 (6) 最過酷DBE 環境条件 での定格 短絡熱容 量(I ² t) 試 験	<ul style="list-style-type: none"> 最も厳しいDBE環境条件時の定格連続電流通電時に、定格短絡熱容量(I²t)と同等の電流(A)の二乗×時間(秒)を発生させる短絡電流を通電させる。 環境条件は6.3.3(4)と同じ。 6.3.3(5)で試験された導体は6.3.3(6)の試験を受ける必要はなく、別々の供試体で実施する 短絡熱容量試験は短絡電流試験と組み合わせても良い。 試験後、定格電圧に耐えること。漏えい試験に合格するものとする。 	×	同上



高浜 1 号炉 格納容器内圧力温度解析結果



内は商業機密に属しますので公開できません



電気ペネ 事故時雰囲気暴露試験条件

内は商業機密に属しますので公開できません

(ポッティング材：シリコン樹脂)

	条件	6.5℃換算*1	合計
事故時 雰囲気 曝露 試験	[Redacted]	632479時間	2185928時間 (100年以上)
		229959時間	
		1323490時間	
設計基 準事故	[Redacted]	9852時間	22650時間 (約2.6年)
		4062時間	
		8736時間	

* 1 : 活性化エネルギー [Redacted] (メーカー) での換算値

(外部リード：架橋PEゴム)

	条件	6.5℃換算*1	合計
事故時 雰囲気 曝露 試験	[Redacted]	148866時間	831041時間 (約94年)
		78353時間	
		603822時間	
設計基 準事故	[Redacted]	4547時間	15740時間 (1.8年)
		2457時間	
		8736時間 (364日)	

* 1 : 活性化エネルギー [Redacted] (メーカー) での換算値

[Redacted] 内は商業機密に属しますので公開できません

No.	高浜1-絶縁低下-11	事象：絶縁低下
質 問	<p>(別冊-8ケーブル-共通-(下記ケーブル等の健全性評価の記載ページ)) 以下のケーブル等について、電気学会推奨案等(ケーブル接続部についてはIEEE規格)に基づく各ケーブルの長期健全性評価試験において、通常運転時相当の熱劣化に相当する加速熱劣化条件を算定するために用いた絶縁体等の活性化エネルギーの値及びその値の根拠について提示すること。</p> <p>①難燃高圧CSHVケーブル ②難燃KKケーブル ③難燃PHケーブル ④SHVVケーブル ⑤PAケーブル(長期健全性試験を実施した製造メーカーのケーブル) ⑥VVケーブル(長期健全性試験を実施した製造メーカーのケーブル) ⑦三重同軸ケーブル ⑧難燃三重同軸ケーブル ⑨気密端子箱接続 ⑩直ジョイント ⑪原子炉格納容器外電動弁コネクタ接続 ⑫三重同軸コネクタ-1接続</p>	
回 答	<p>下記の通りです。</p> <p>①難燃高圧CSHVケーブル：[] kcal/mol (メーカー) ②難燃KKケーブル：[] kcal/mol (メーカー) ③難燃PHケーブル：[] kcal/mol (メーカー) ④SHVVケーブル：[] kcal/mol (メーカー) ⑤PAケーブル(長期健全性試験を実施した製造メーカーのケーブル)：[] kcal/mol (メーカー) ⑥VVケーブル(長期健全性試験を実施した製造メーカーのケーブル)：[] kcal/mol (メーカー) ⑦三重同軸ケーブル：[] kcal/mol (メーカー) ⑧難燃三重同軸ケーブル：[] kcal/mol (メーカー) ⑨気密端子箱接続：[] kcal/mol (メーカー) ⑩直ジョイント：[] kcal/mol (メーカー) ⑪原子炉格納容器外電動弁コネクタ接続：[] kcal/mol (メーカー) 及び [] kcal/mol (EPRI) ([] kcal/mol：エチレンポリレンゴム(リング、ブッシュ)、 [] kcal/mol：ジアルキルアクリレート樹脂(絶縁物)) ⑫三重同軸コネクタ-1接続：[] kcal/mol (メーカー) 及び [] kcal/mol (メーカーカタログ値) ([] kcal/mol：エチレンポリレンゴム(リング)、 [] kcal/mol：架橋ポリスチレン(絶縁物))</p>	

[] 内は商業機密に属しますので公開できません

No.	高浜 1 - 絶縁低下 - 1 2	事象：絶縁低下																	
質 問	<p>(別冊-8ケーブル-共通-(下記ケーブル等の健全性評価の記載ページ)) 以下のケーブル等について、電気学会推奨案等(ケーブル接続部についてはIEEE規格)に基づく各ケーブルの長期健全性評価試験における設計基準事故時相当の試験条件が、実機の設計基準事故時条件を包絡していることの根拠について説明を提示すること。</p> <p>①難燃KKケーブル ②難燃PHケーブル ③難燃三重同軸ケーブル ④気密端子箱接続 ⑤直ジョイント ⑥三重同軸コネクタ-1接続</p>																		
回 答	<p>添付 1 に安全解析結果（事故後 2 7 時間までの解析を実施）を、添付 2 に事故時雰囲気曝露の試験条件を添付します。</p> <p>なお、以下に示しますように、事故時雰囲気曝露の試験条件は、実機の設基準定事故時条件を包絡しております。</p> <p>①難燃KKケーブル</p> <table border="1" data-bbox="411 1037 1342 1485"> <thead> <tr> <th></th> <th>条件</th> <th>6 5℃換算*1</th> <th>合計</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td rowspan="3">事故時 雰囲気 曝露 試験</td> <td rowspan="3">[Redacted]</td> <td>458601時間</td> <td rowspan="3">1751319時間 (100年以上)</td> </tr> <tr> <td>181026時間</td> </tr> <tr> <td>1111692時間</td> </tr> <tr> <td rowspan="3">設計基 準事故</td> <td rowspan="3">[Redacted]</td> <td>8297時間</td> <td rowspan="3">20665時間 (約2.4年)</td> </tr> <tr> <td>3632時間</td> </tr> <tr> <td>8736時間</td> </tr> </tbody> </table> <p>* 1 : 活性化エネルギー [Redacted] での換算値</p>				条件	6 5℃換算*1	合計	事故時 雰囲気 曝露 試験	[Redacted]	458601時間	1751319時間 (100年以上)	181026時間	1111692時間	設計基 準事故	[Redacted]	8297時間	20665時間 (約2.4年)	3632時間	8736時間
	条件	6 5℃換算*1	合計																
事故時 雰囲気 曝露 試験	[Redacted]	458601時間	1751319時間 (100年以上)																
		181026時間																	
		1111692時間																	
設計基 準事故	[Redacted]	8297時間	20665時間 (約2.4年)																
		3632時間																	
		8736時間																	

[Redacted] 内は商業機密に属しますので公開できません

回 答

②難燃PHケーブル

	条件	6.5℃換算*1	合計
事故時 雰囲気 曝露 試験		283150時間	1265404時間 (100年以上)
		126437時間	
		855817時間	
設計基 準事故		6412時間	18220時間 (約2.1年)
		3072時間	
		8736時間	

* 1 : 活性化エネルギー [] での換算値

③難燃三重同軸ケーブル

	条件	6.5℃換算*1	合計
事故時 雰囲気 曝露 試験		197669247時間	229979503時間 (100年以上)
		8723231時間	
		8959845時間	
		14627179時間	
設計基 準事故		111558時間	139975時間 (約16年)
		19681時間	
		8736時間	

* 1 : 活性化エネルギー [] での換算値

④気密端子箱接続

	条件	6.5℃換算*1	合計
事故時 雰囲気 曝露 試験		458601時間	1751319時間 (100年以上)
		181026時間	
		1111692時間	
設計基 準事故		8297時間	20665時間 (約2.4年)
		3632時間	
		8736時間	

* 1 : 活性化エネルギー [] での換算値

[] 内は商業機密に属しますので公開できません

回 答

⑤直ジョイント

	条件	6.5℃換算*1	合計
事故時 雰囲気 曝露 試験	[Redacted]	107940時間	676813時間 (約77年)
		61680時間	
		507193時間	
設計基 準事故		3829時間	14762時間 (約1.7年)
		2197時間	
		8736時間	

* 1 : 活性化エネルギー [Redacted] での換算値

⑥三重同軸コネクタ-1 接続
(絶縁物)

	条件	6.5℃換算*1	合計
事故時 雰囲気 曝露 試験	[Redacted]	104614627061年	104771832701年 (100年以上)
		125470197年	
		24837075年	
		6898367年	
設計基 準事故		407877476時間	17165338日 (100年以上)
		4081906時間	
		8736時間	

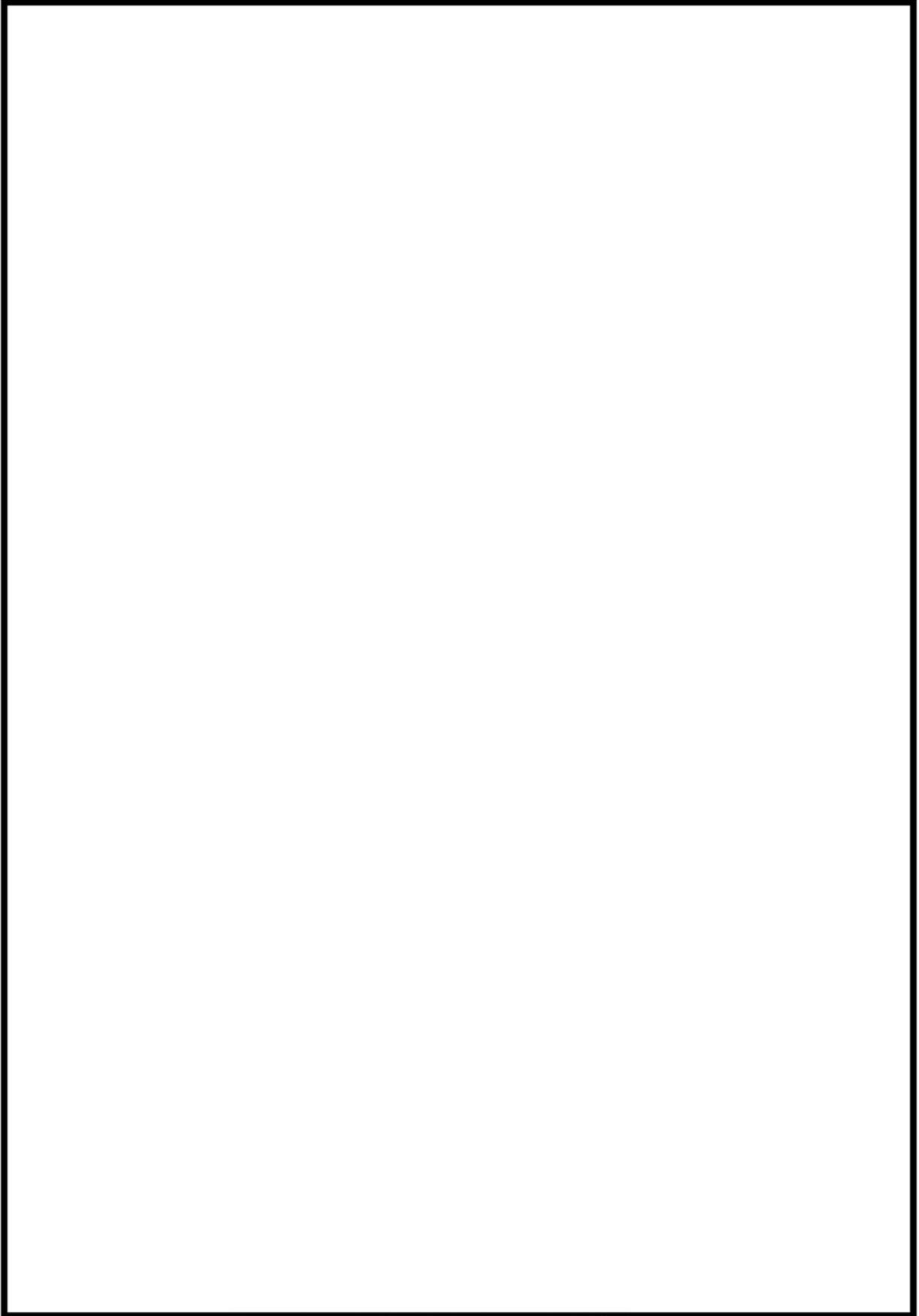
* 1 : 活性化エネルギー [Redacted] での換算値

(Oリング、パッキン)

	条件	6.5℃換算*1	合計
事故時 雰囲気 曝露 試験	[Redacted]	1528669時間	3152043時間 (100年以上)
		211360時間	
		365716時間	
		1046299時間	
設計基 準事故		8297時間	20665時間 (約2.4年)
		3632時間	
		8736時間	

* 1 : 活性化エネルギー [Redacted] での換算値

[Redacted] 内は商業機密に属しますので公開できません



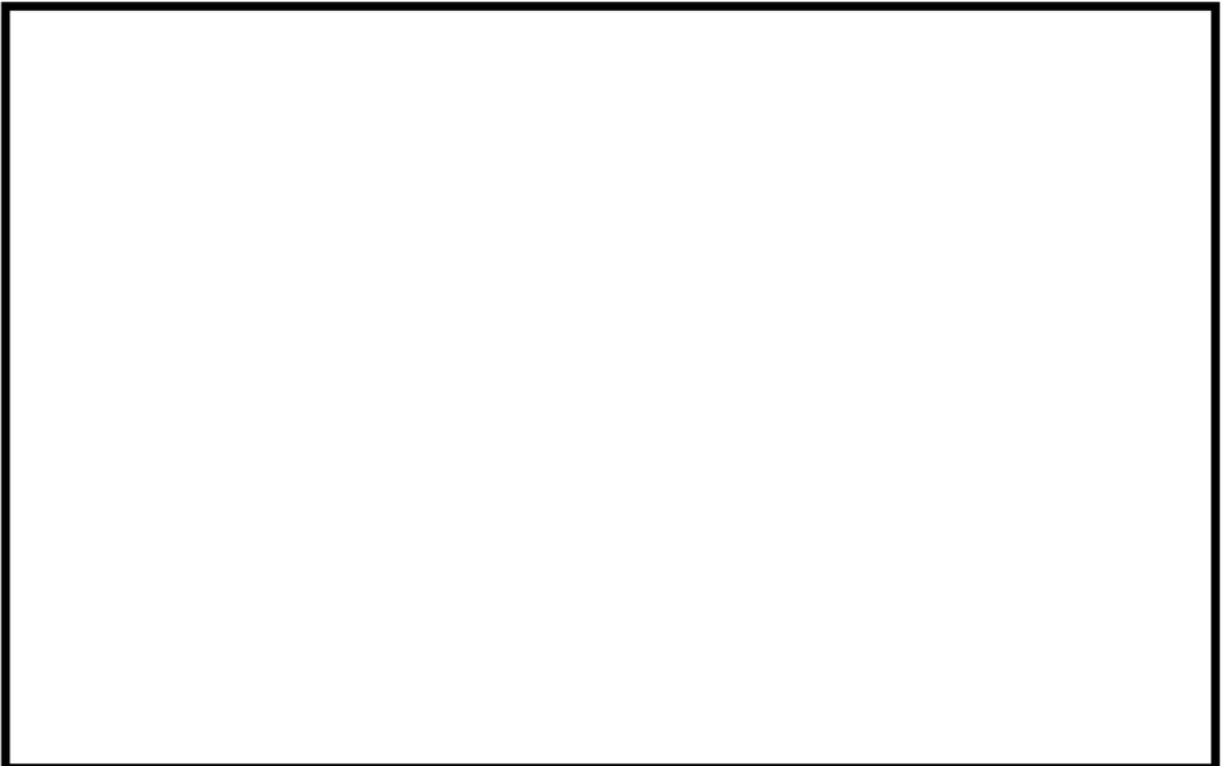
高浜 1 号炉 格納容器内圧力温度解析結果



内は商業機密に属しますので公開できません



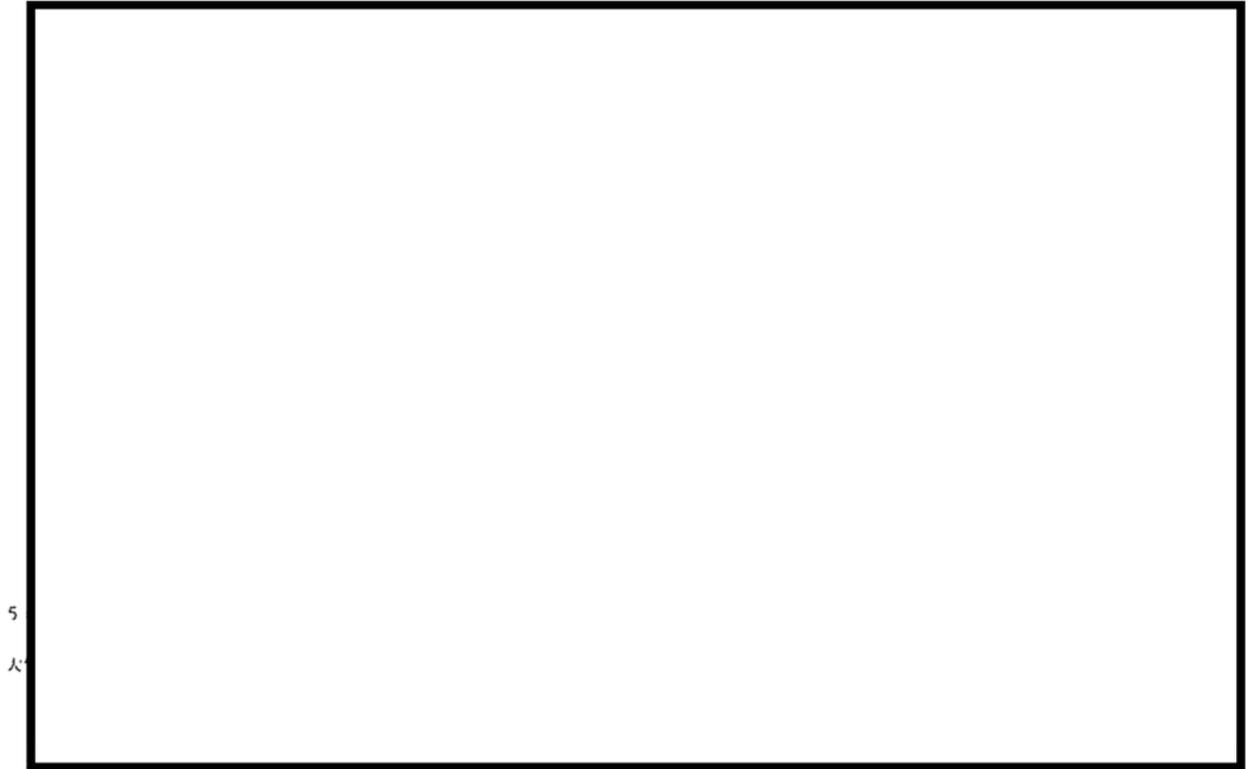
難燃KKケーブル 事故時雰囲気暴露試験条件



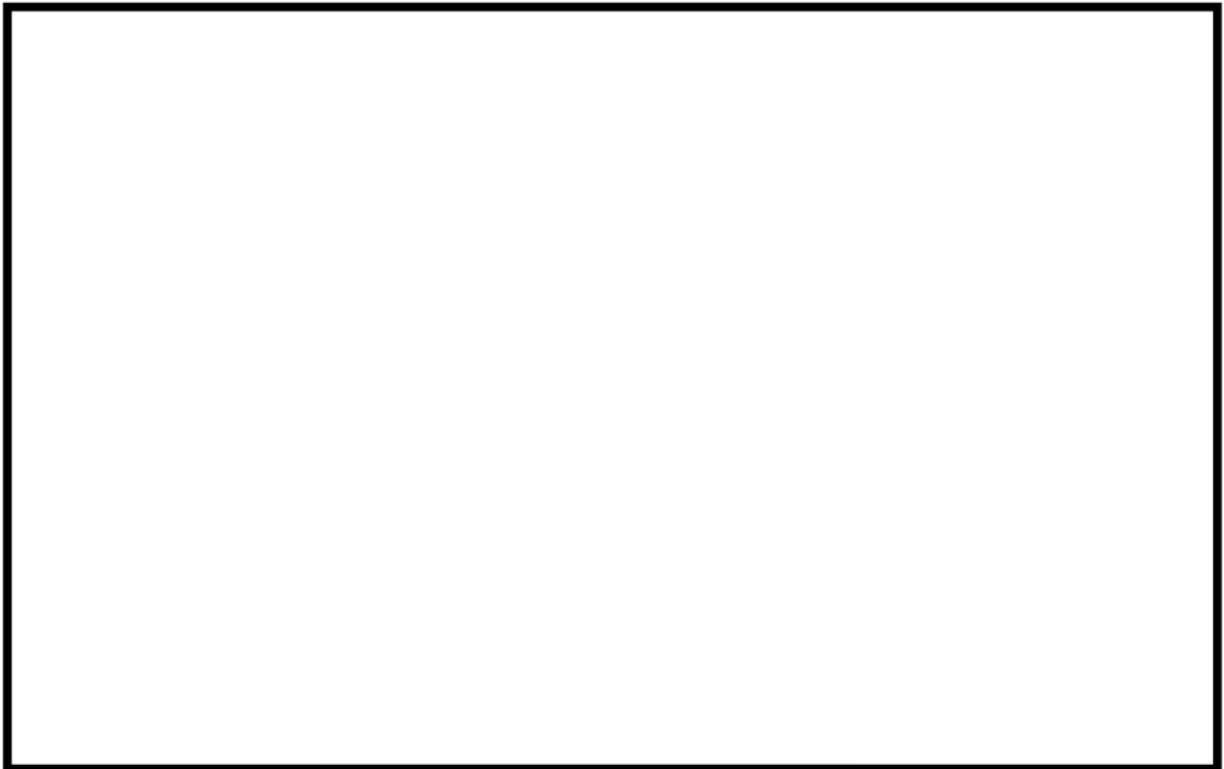
難燃PHケーブル 事故時雰囲気暴露試験条件



内は商業機密に属しますので公開できません



難燃三重同軸ケーブル 事故時雰囲気暴露試験条件



気密端子箱接続 事故時雰囲気暴露試験条件



内は商業機密に属しますので公開できません



直ジョイント 事故時雰囲気暴露試験条件



三重同軸コネクタ-1 接続 事故時雰囲気暴露試験条件



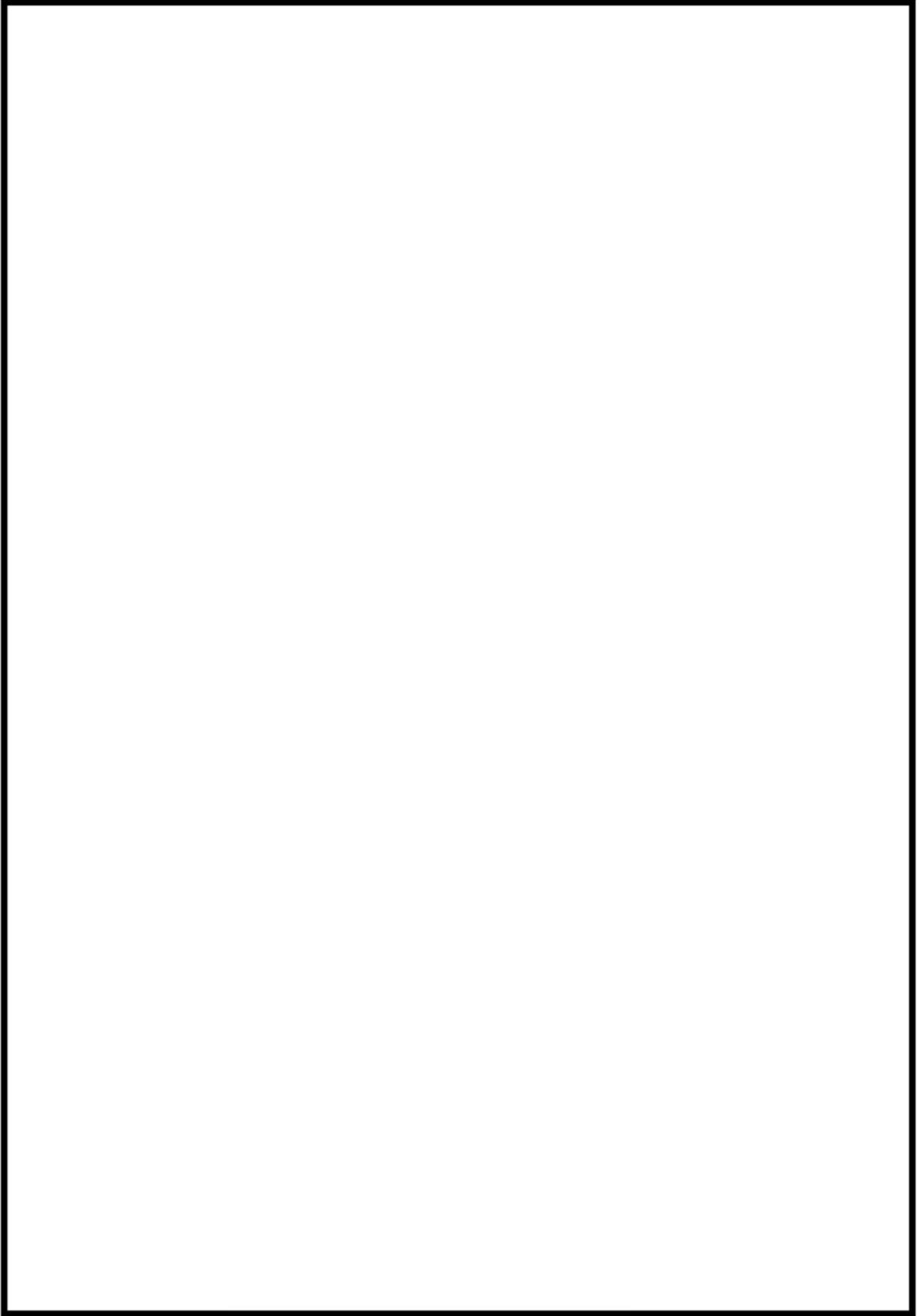
内は商業機密に属しますので公開できません

No.	高浜1-絶縁低下-20 rev1	事象：絶縁低下																																	
質問	(別冊-6弁-2.1電動装置-21頁) 表2.3-3において、設計基準事故時雰囲気暴露の全ての試験条件が、実機の設計基準事故時条件を包絡していることの根拠を提示すること。																																		
回答	<p>添付1に安全解析結果（事故後27時間までの解析を実施）を、添付2に事故時雰囲気暴露の試験条件を添付します。</p> <p>以下（1）及び（2）に示しますように、事故時雰囲気暴露の試験条件は、実機の設計基準事故時条件を包絡しております。</p> <p>(1) 口出線・接続部品（シリコーンゴム）</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th></th> <th>条件</th> <th>65℃換算*2</th> <th>合計</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td rowspan="3">事故時 雰囲気 暴露 試験</td> <td rowspan="3">[Redacted]</td> <td>372796530時間 (15533189日)</td> <td rowspan="3">19930654日 (100年以上)</td> </tr> <tr> <td>44175780時間 (1840657日)</td> </tr> <tr> <td>61363398時間 (2556808日)</td> </tr> <tr> <td rowspan="3">設計基 準事故</td> <td rowspan="3">[Redacted]</td> <td>431638時間 (17985日)</td> <td rowspan="3">20326日 (55.6年)</td> </tr> <tr> <td>47440時間 (1977日)</td> </tr> <tr> <td>8736時間 (364日)</td> </tr> </tbody> </table> <p>*1：活性化エネルギー [Redacted] での換算値</p> <p>(2) 固定子コイル（ポリイミド/ポリイミド）</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th></th> <th>条件</th> <th>65℃換算*2</th> <th>合計</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td rowspan="3">事故時 雰囲気 暴露 試験</td> <td rowspan="3">[Redacted]</td> <td>220269時間 (9178日)</td> <td rowspan="3">1482678時間 (100年以上)</td> </tr> <tr> <td>174688時間 (7279日)</td> </tr> <tr> <td>1087721時間 (45322日)</td> </tr> <tr> <td rowspan="3">設計基 準事故</td> <td rowspan="3">[Redacted]</td> <td>8120時間 (1076日)</td> <td rowspan="3">20438時間 (約2.3年)</td> </tr> <tr> <td>3582時間 (149日)</td> </tr> <tr> <td>8736時間 (364日)</td> </tr> </tbody> </table> <p>*1：活性化エネルギー [Redacted] での換算値</p>				条件	65℃換算*2	合計	事故時 雰囲気 暴露 試験	[Redacted]	372796530時間 (15533189日)	19930654日 (100年以上)	44175780時間 (1840657日)	61363398時間 (2556808日)	設計基 準事故	[Redacted]	431638時間 (17985日)	20326日 (55.6年)	47440時間 (1977日)	8736時間 (364日)		条件	65℃換算*2	合計	事故時 雰囲気 暴露 試験	[Redacted]	220269時間 (9178日)	1482678時間 (100年以上)	174688時間 (7279日)	1087721時間 (45322日)	設計基 準事故	[Redacted]	8120時間 (1076日)	20438時間 (約2.3年)	3582時間 (149日)	8736時間 (364日)
	条件	65℃換算*2	合計																																
事故時 雰囲気 暴露 試験	[Redacted]	372796530時間 (15533189日)	19930654日 (100年以上)																																
		44175780時間 (1840657日)																																	
		61363398時間 (2556808日)																																	
設計基 準事故	[Redacted]	431638時間 (17985日)	20326日 (55.6年)																																
		47440時間 (1977日)																																	
		8736時間 (364日)																																	
	条件	65℃換算*2	合計																																
事故時 雰囲気 暴露 試験	[Redacted]	220269時間 (9178日)	1482678時間 (100年以上)																																
		174688時間 (7279日)																																	
		1087721時間 (45322日)																																	
設計基 準事故	[Redacted]	8120時間 (1076日)	20438時間 (約2.3年)																																
		3582時間 (149日)																																	
		8736時間 (364日)																																	

[Redacted] 内は商業機密に属しますので公開できません

回 答	(3) 固定子コイル (エポキシ樹脂)			
		条件	65℃換算 ^{*2}	合計
	事故時 雰囲気 曝露 試験	[Redacted]	120554時間 (5023日)	1016450時間 (100年以上)
			111540時間 (4648日)	
			784356時間 (32681日)	
	設計基 準事故	[Redacted]	5884時間 (245日)	17525時間 (約2年)
			2905時間 (121日)	
8736時間 (364日)				
* 1 : 活性化エネルギー [Redacted] での換算値				
以 上				

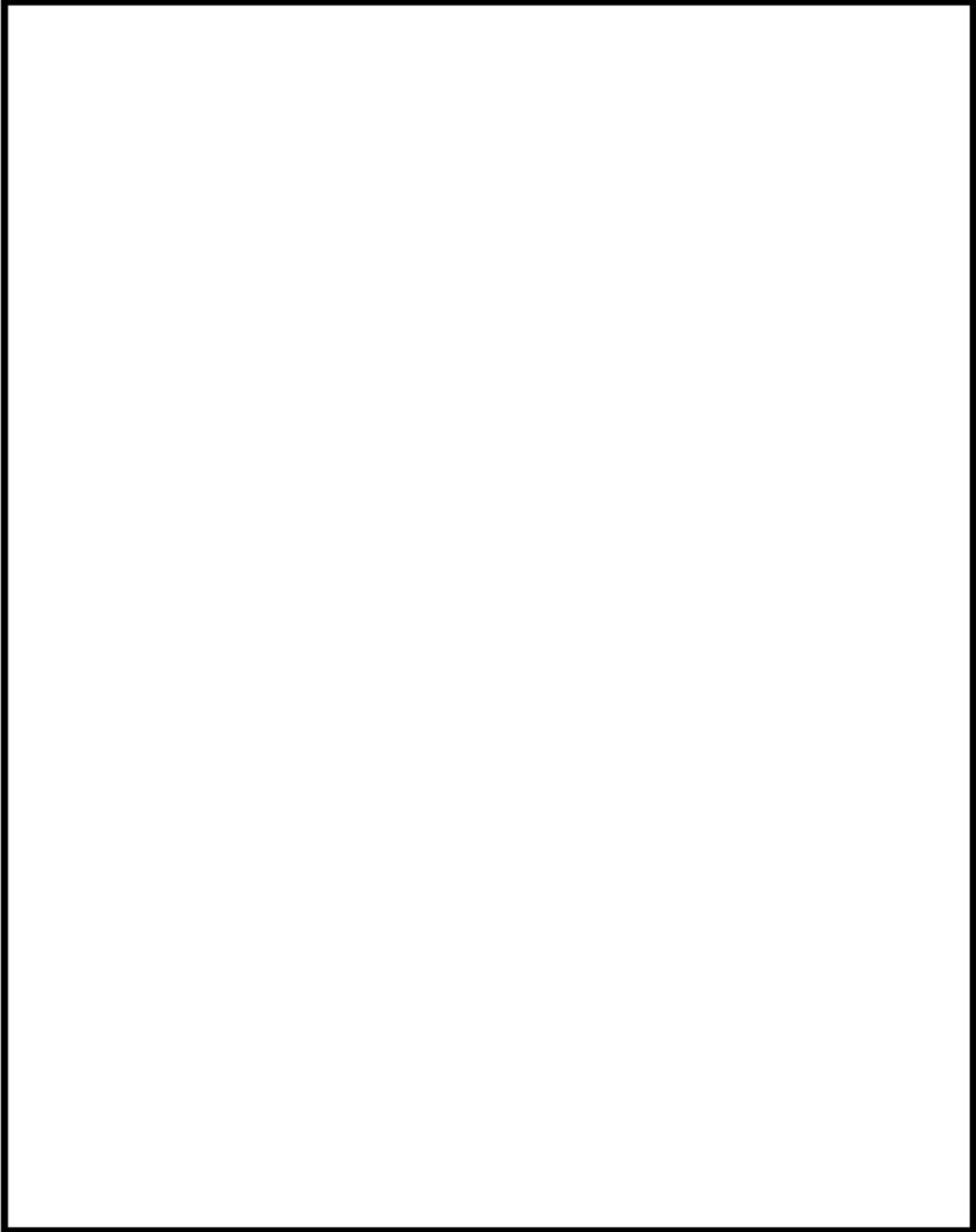
[Redacted] 内は商業機密に属しますので公開できません



高浜1号炉 格納容器内圧力温度解析結果



内は商業機密に属しますので公開できません



弁電動装置 事故時雰囲気暴露試験条件



内は商業機密に属しますので公開できません

No.	高浜 1－絶縁低下－ 2 5	事象：絶縁低下												
質 問	<p>(別冊-計測制御設備-プロセス計測制御設備-12, 22, 25, 34頁)</p> <p>設計基準事故時雰囲気内で機能要求がある1次冷却材圧力計測制御装置 伝送器、加圧器水位計測制御装置伝送器、1次冷却材高温側温度(広域)計測 制御装置測温抵抗体及び格納容器内高レンジエリアモニタ放射線検出器に ついては消耗品・定期取替品とされているが、以下についての説明を提示 すること。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・取替周期 ・取替周期の期間内において事故時雰囲気中で健全性が維持できることの 根拠 													
回 答	<p>設計基準事故時雰囲気内で機能要求がある機器の取替周期と、その期間 内において事故時雰囲気中で健全性が維持できることの根拠は以下の通りで す。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・1次冷却材圧力及び加圧器水位計測制御装置伝送器 <table border="1" data-bbox="406 913 1348 1149"> <thead> <tr> <th data-bbox="406 913 608 954">取替周期</th> <th data-bbox="608 913 1348 954">根拠</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td data-bbox="406 954 608 1149">[]</td> <td data-bbox="608 954 1348 1149"> 伝送器の耐環境性評価研究 (H17電共研) : []のエージング (基準温度49℃) →アレニウス換算 [] 47.7℃^{*1}) で []相当と 評価 ・同研究で []のエージング </td> </tr> </tbody> </table> <p>※ 1 : 当社 1 1 プラントを対象として、C/V 内に設置された電気・計装品の環 境温度調査にて実測した通路部 (伝送器が設置される) の最大平均温度</p> <ul style="list-style-type: none"> ・1次冷却材高温側温度(広域)計測制御装置測温抵抗体 <table border="1" data-bbox="406 1288 1348 1485"> <thead> <tr> <th data-bbox="406 1288 608 1328">取替周期</th> <th data-bbox="608 1288 1348 1328">根拠</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td data-bbox="406 1328 608 1485">[]</td> <td data-bbox="608 1328 1348 1485"> []社内試験 [] (10年のエージング (基準温 度50℃、10℃半減則採用)) →アレニウス換算 [] 49.3℃^{*2}) で稼働率を考慮 して []相当と評価 </td> </tr> </tbody> </table> <p>※ 2 : 同電気・計装品の環境温度調査にて実測したループ室の最大平均温度 (但 し、大飯1/2号機は除く)</p> <ul style="list-style-type: none"> ・格納容器内高レンジエリアモニタ放射線検出器 <table border="1" data-bbox="406 1619 1348 1776"> <thead> <tr> <th data-bbox="406 1619 608 1659">取替周期</th> <th data-bbox="608 1619 1348 1659">根拠</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td data-bbox="406 1659 608 1776">[]</td> <td data-bbox="608 1659 1348 1776"> 「事故時エリアの耐環境性評価に関する検討報告 (H17) 」 および「事故時エリアモニタの耐環境性評価研究 (H16電 共研) 」 []のエージング (基準温度50℃) </td> </tr> </tbody> </table>		取替周期	根拠	[]	伝送器の耐環境性評価研究 (H17電共研) : []のエージング (基準温度49℃) →アレニウス換算 [] 47.7℃ ^{*1}) で []相当と 評価 ・同研究で []のエージング	取替周期	根拠	[]	[]社内試験 [] (10年のエージング (基準温 度50℃、10℃半減則採用)) →アレニウス換算 [] 49.3℃ ^{*2}) で稼働率を考慮 して []相当と評価	取替周期	根拠	[]	「事故時エリアの耐環境性評価に関する検討報告 (H17) 」 および「事故時エリアモニタの耐環境性評価研究 (H16電 共研) 」 []のエージング (基準温度50℃)
取替周期	根拠													
[]	伝送器の耐環境性評価研究 (H17電共研) : []のエージング (基準温度49℃) →アレニウス換算 [] 47.7℃ ^{*1}) で []相当と 評価 ・同研究で []のエージング													
取替周期	根拠													
[]	[]社内試験 [] (10年のエージング (基準温 度50℃、10℃半減則採用)) →アレニウス換算 [] 49.3℃ ^{*2}) で稼働率を考慮 して []相当と評価													
取替周期	根拠													
[]	「事故時エリアの耐環境性評価に関する検討報告 (H17) 」 および「事故時エリアモニタの耐環境性評価研究 (H16電 共研) 」 []のエージング (基準温度50℃)													

[] 内は商業機密に属しますので公開できません

回 答

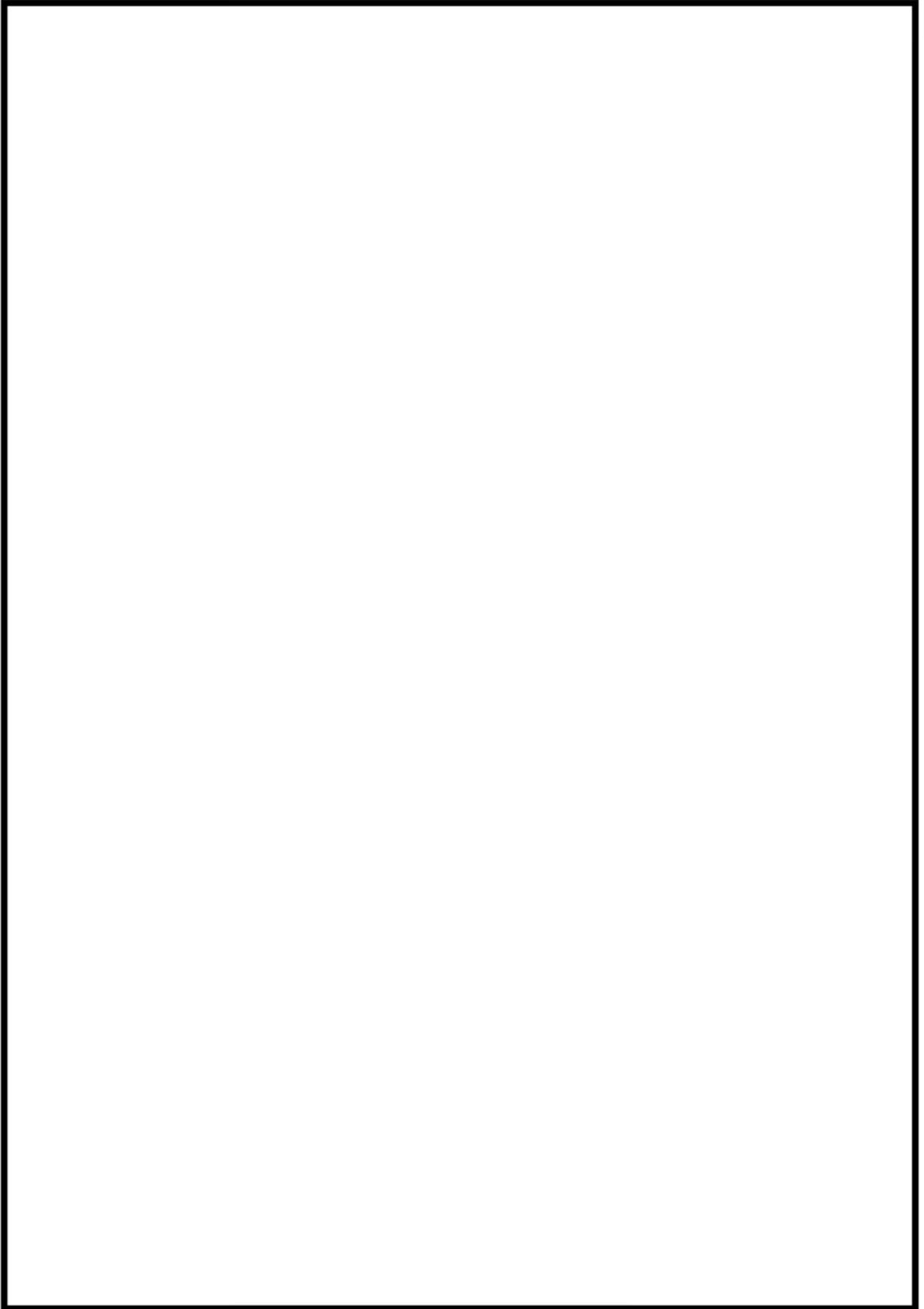
また、格納容器内の設計基準事故時の劣化条件（以下、「DB条件」とする）と包絡条件を添付1に、各機器の事故時雰囲気暴露試験条件がDB条件を包絡している根拠を添付2～4に示します。

添付1：DB条件と包絡条件

添付2：1次冷却材圧力及び加圧器水位計測制御装置伝送器 事故時雰囲気暴露試験条件

添付3：1次冷却材高温側温度（広域）計測制御装置測温抵抗体 事故時雰囲気暴露試験条件

添付4：格納容器内高レンジエリアモニタ放射線検出器 事故時雰囲気暴露試験条件



DB条件と包絡条件

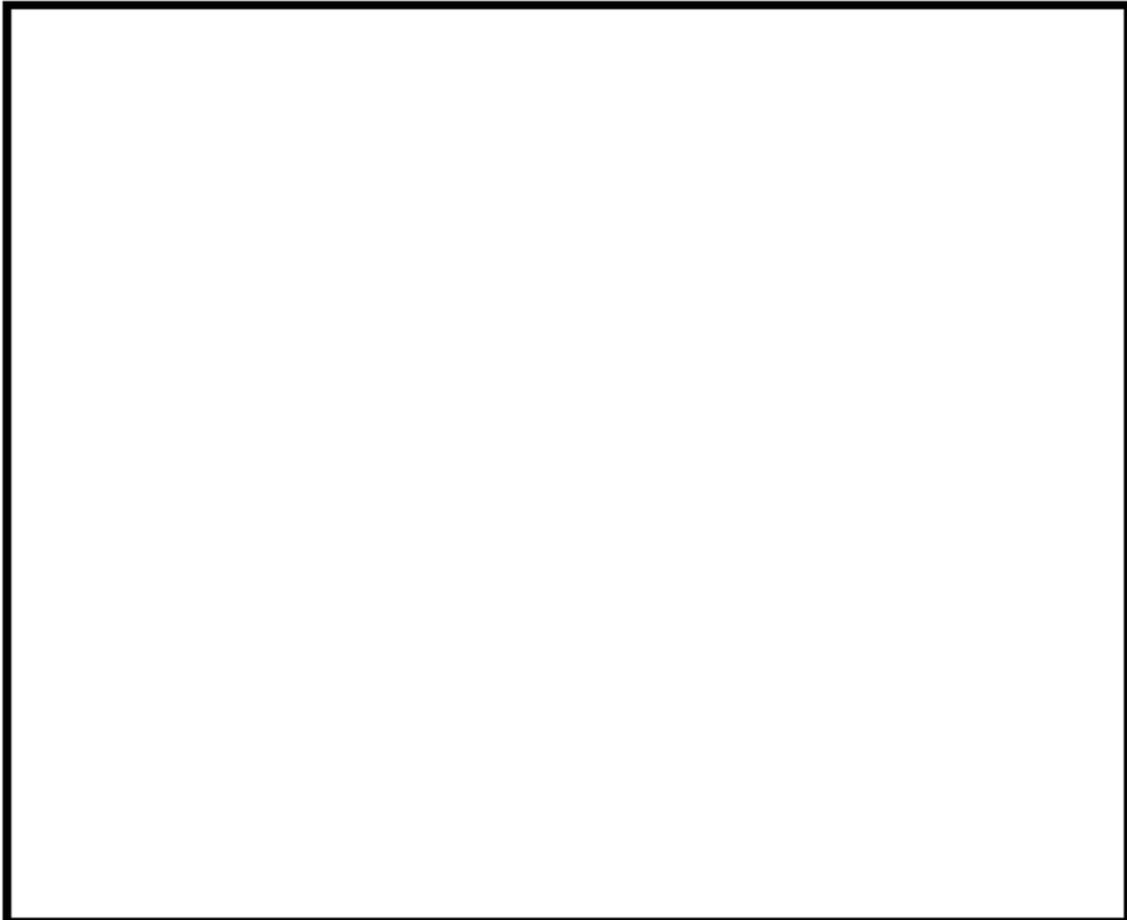


内は商業機密に属しますので公開できません

1次冷却材圧力及び加圧器水位計測制御装置伝送器

	条件	6.5℃換算*1	合計
事故時 雰囲気 曝露 試験		2021時間	43234時間 (約4.9年)
		3432時間	
		10202時間	
		27579時間	
設計基 準事故		457時間	9744時間 (約1.1年)
		551時間	
		8736時間	

* 1 : 活性化エネルギー kcal/molでの換算値



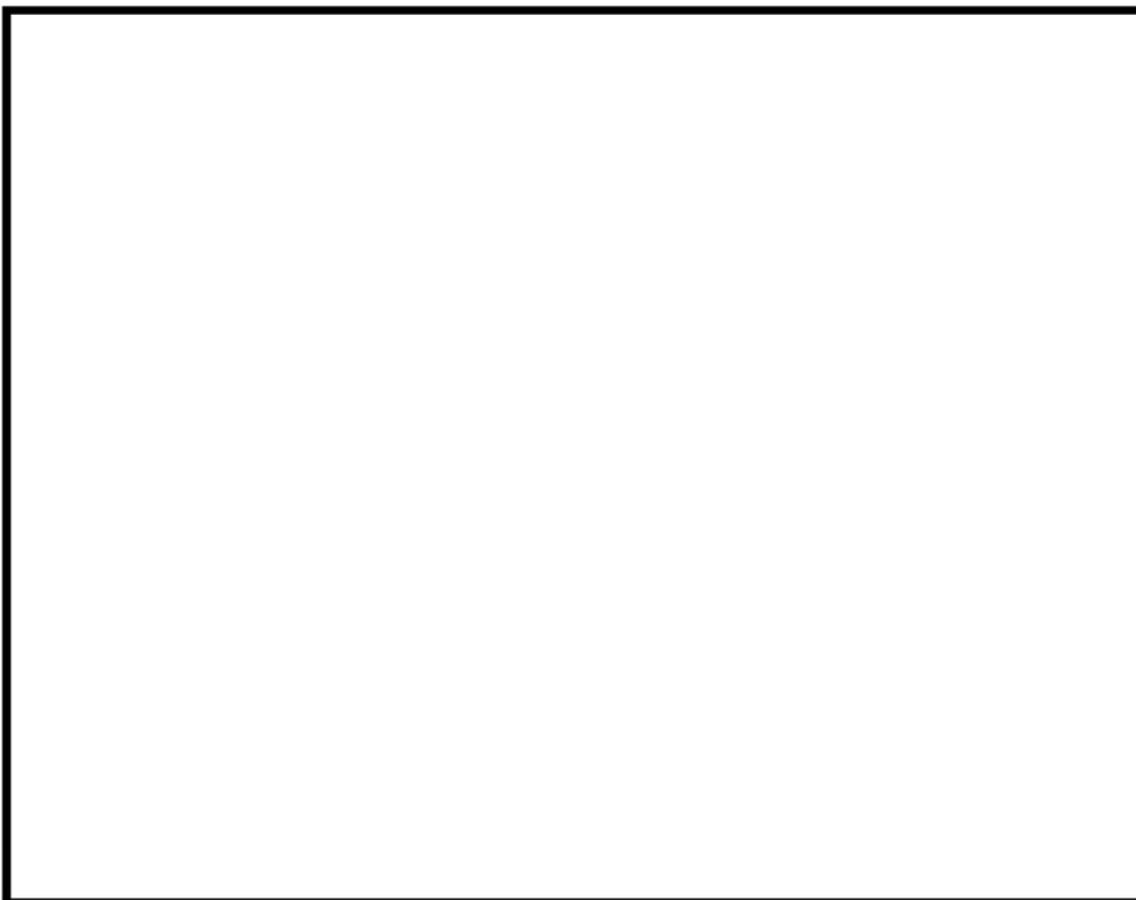
1次冷却材圧力及び加圧器水位計測制御装置伝送器 事故時雰囲気曝露試験条件

内は商業機密に属しますので公開できません

1次冷却材高温側温度（広域）計測制御装置测温抵抗体

	条件	6 5℃換算*1	合計
事故時 雰囲気 曝露 試験		980時間	42430時間 (約4.8年)
		1864時間	
		39586時間	
設計基 準事故		310時間	9475時間 (約1.1年)
		429時間	
		8736時間	

* 1 : 活性化エネルギー kcal/molでの換算値



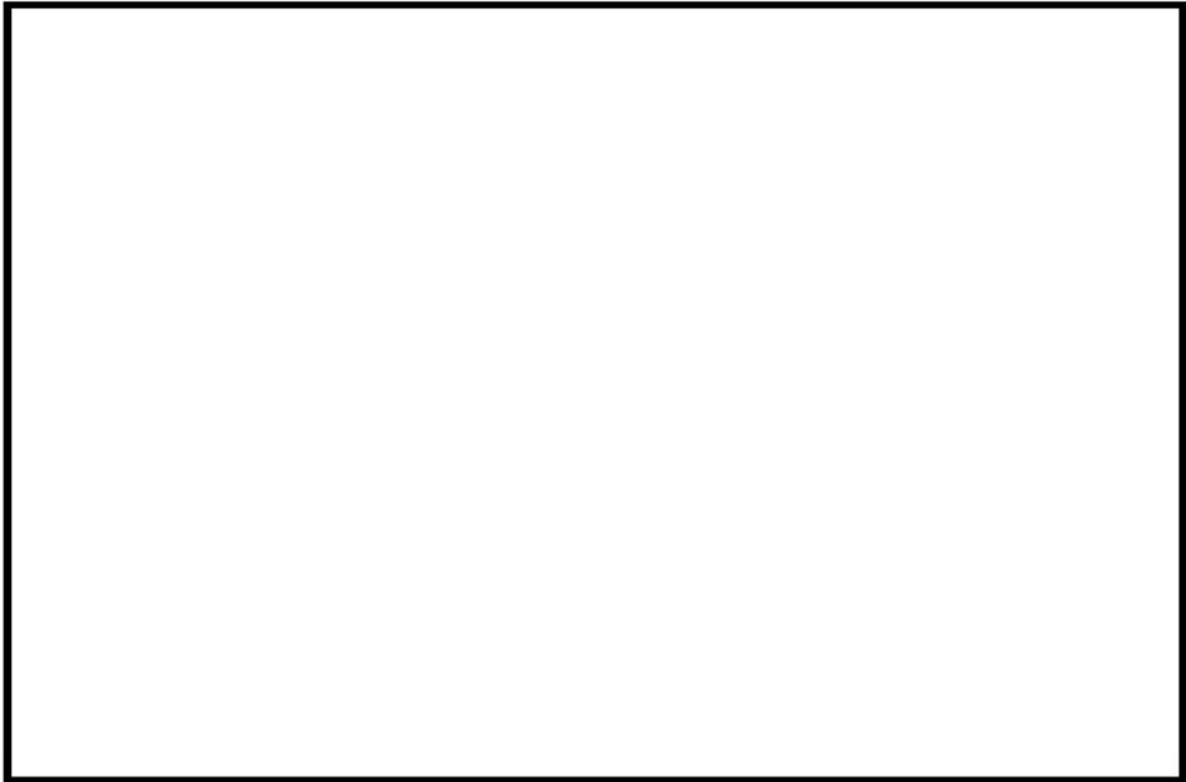
1次冷却材高温側温度（広域）計測制御装置测温抵抗体 事故時雰囲気曝露試験条件

内は商業機密に属しますので公開できません

格納容器内高レンジエリアモニタ放射線検出器

	条件	6.5℃換算*1	合計
事故時 雰囲気 曝露 試験		965時間	21911時間 (約2.5年)
		1056時間	
		19890時間	
設計基 準事故		156時間	9129時間 (約1.1年)
		237時間	
		8736時間	

* 1 : 10℃半減則での換算値



格納容器内高レンジエリアモニタ放射線検出器 事故時雰囲気曝露試験条件



内は商業機密に属しますので公開できません

No.	高浜 1－耐震－ 9	分類：熱交換器
質 問	<p>(3.2.20 頁)</p> <p>蒸気発生器の冷却材出入口管台セーフエンドの応力腐食割れに対する評価の具体的内容（評価仕様、解析モデル、入力（荷重）条件、評価結果を含む）を提示すること。</p>	
回 答	<p>蒸気発生器の冷却材出入口管台セーフエンドの応力腐食割れについては、「美浜 2 号における評価」に基づき同様の評価を実施することとします。なお、対象の劣化モードは PWSCC ですが、「美浜 2 号における評価」においては下記に示すとおり（1）「PWSCC」に加え（2）「低サイクル疲労」による進展も考慮しているため、同様に「低サイクル疲労」による進展も加えた評価を行うこととします。</p> <p>（1）PWSCC 進展評価 セーフエンド部の運転中の軸方向応力は表面は引張応力であるが、板厚内で圧縮応力となることから、SCC 進展における応力拡大係数 $K=0$ となる深さの全周内表面欠陥を想定します。</p> <p>（2）低サイクル疲労進展評価 PWSCC によるき裂の進展が停留する応力拡大係数 $K=0$ を初期欠陥深さとして疲労進展評価を行い、得られた進展量を加えた欠陥深さを評価用の欠陥とします。</p> <p>評価内容および結果については添付－ 1 に示します。</p>	

1. 評価仕様

想定する欠陥は、周方向欠陥とする。発電用原子力設備規格維持規格（以下、JSME 維持規格）の EB-1320 の第二段階の欠陥評価に基づき、蒸気発生器入口セーフエンド部の周方向欠陥の健全性評価を実施する。当部位の運転中の応力分布は、引張応力から圧縮応力に変化するため、SCCによる進展は停留すると考えられることから、停留した欠陥深さから疲労によるき裂進展評価を実施する。破壊評価は、評価末期の欠陥に対して、極限荷重法を用いて実施する。評価フローを図1に示す。

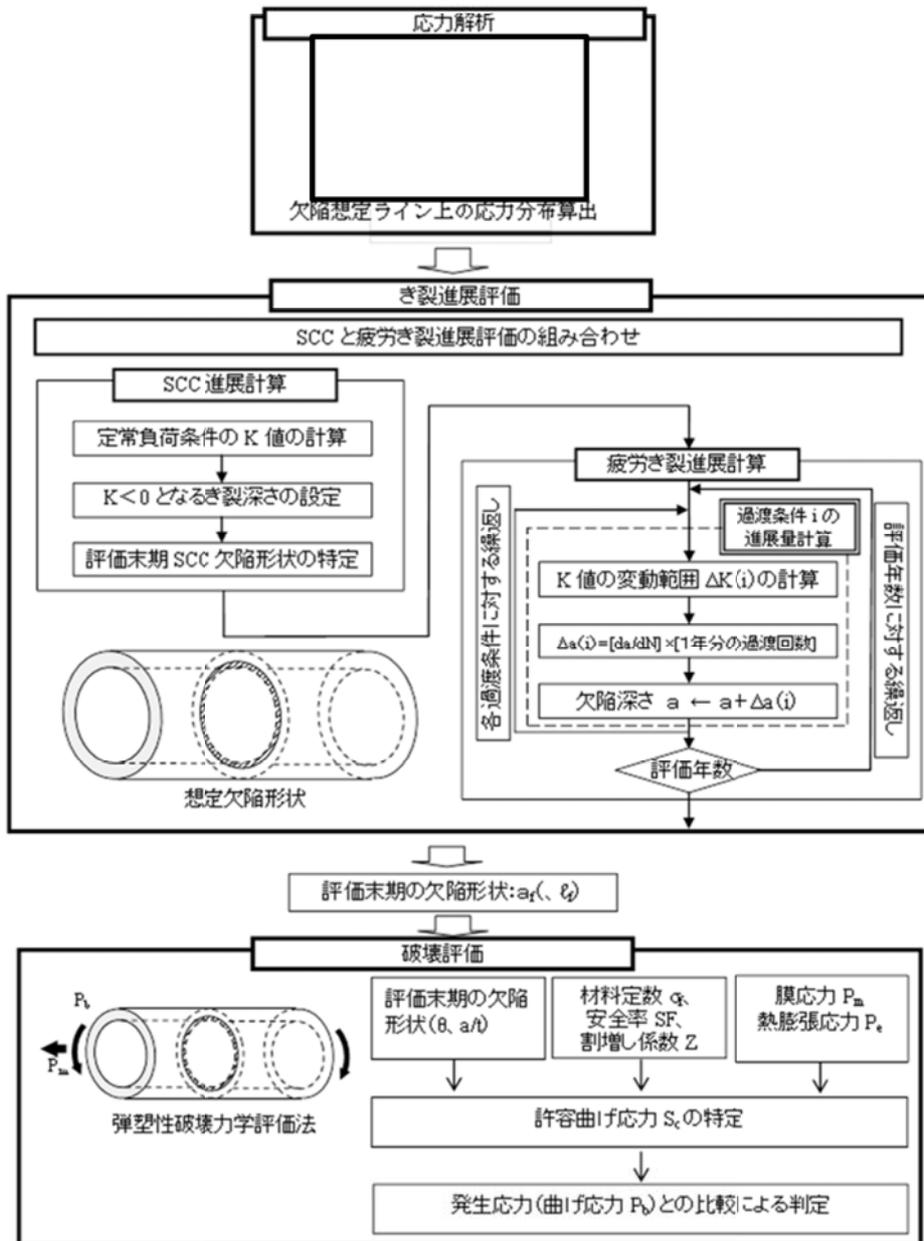


図1 評価フロー

内は商業機密に属しますので公開できません

2. 解析モデル

セーフエンドの主要形状寸法を表 1 に、評価対象の構造を図 2 に示す。評価用荷重条件は、JSME 維持規格「添付 E-7」より定常負荷条件とする。定常負荷条件で発生する応力は、溶接時残留応力、出力運転時の内圧および熱荷重による応力、機械的荷重による応力である。なお、欠陥想定ライン上の応力分布算出のうち溶接時残留応力は、蒸気発生器管台セーフエンド部のニッケル基合金溶接部の溶接過程を模擬した FEM 弾塑性解析により求めたものを用いた。内圧及び熱による応力は定常運転時の内圧と温度より FEM 弾性解析により求めたものを用いた。

表 1 主要形状寸法

部位	外径 Do (mm)	内径 (mm)	板厚 t (mm)
入口管台			

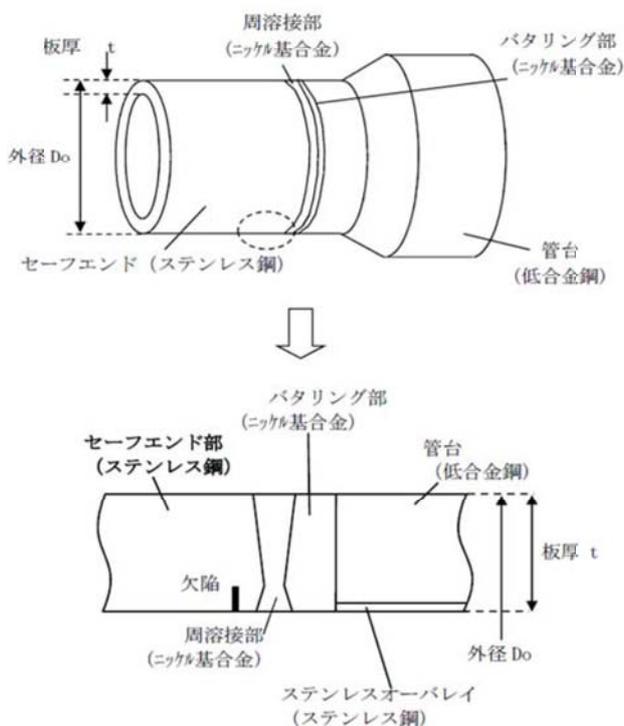


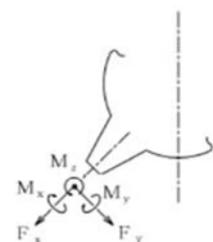
図 2 評価対象構造

3. 評価条件

評価に用いた機械的荷重 (外荷重) 条件を表 2、疲労進展評価に考慮した過渡条件を表 3、破壊評価に考慮した条件を表 4 に示す。

表 2 荷重条件

荷重の種類		軸力 (kN)			曲げモーメント (kN・m)		
		F _X	F _Y	F _Z	M _X	M _Y	M _Z
自重							
熱膨張							
管台 反力	S _d 地震時						
		S _d 地震時					



(注) Z 軸は手前方向である。

表3 疲労進展評価時の過渡条件 (供用状態 A 及び B、並びに 地震荷重)

供用状態	過渡条件	PLM 評価用過渡回数 (プラント供用 60 年想定)	
A	起動		
	停止		
	負荷上昇 (負荷上昇率 5%/min)		
	負荷減少 (負荷減少率 5%/min)		
	90%から 100%へのステップ状負荷上昇		
	100%から 90%へのステップ状負荷減少		
	100%からの大きいステップ状負荷減少		
	定常負荷運転時の変動		
	燃料交換		
	0%から 15%への負荷上昇		
	15%から 0%への負荷減少		
	1 ループ停止		
	1 ループ起動		
	B		負荷の喪失
外部電源喪失			
1 次冷却材流量の部分喪失			
100%からの 原子炉トリップ		不注意な冷却を伴わないトリップ	
		不注意な冷却を伴うトリップ	
		不注意な冷却と安全注入を伴うトリップ	
1 次冷却系の異常な減圧			
制御棒クラスタの落下			
出力運転中の非常用炉心冷却系の誤起動			
1 次冷却系停止ループの誤起動			
タービン回転試験			
1 次系漏えい試験			
地震	S _d *の 1/3 の地震力		

*: プラント使用 60 年到達時点 (SG 取替後の想定使用年数 (39 年) 到達時点) で考慮する回数。
 なお、地震回数は下記のとおり算出しました。

・ 1/3 S_d 地震の頻度: 1 回/10 年

・ 地震 1 回あたりの等価繰り返し回数:

・ 使用期間: 39 年

以上より、地震回数は、 ⇒ 安全側に と想定しました。

内は商業機密に属しますので公開できません

表4 破壊評価用条件

供用状態		供用状態 C&D		
温度 T(°C)				
設計応力強さ S _m (MPa)				
流動応力 σ _f (MPa) (=2.7S _m)				
周方向欠陥用 応力	膜応力 P _m (MPa)			
	曲げ応力 P _b (MPa)			
	熱膨張応力 P _c (MPa)			
	地震			S _s (S _s -1)
曲げ応力 P _b (MPa)				
最大合計	膜応力 P _m (MPa)			
	曲げ応力 P _b (MPa)			
	熱膨張応力 P _c (MPa)			

(注) 供用状態 C&D の膜応力及び曲げ応力は、供用状態 C&D の過渡条件を包絡する圧力（最高使用圧力を 1.1 倍した圧力）に対するものを適用した。

4. SCC による進展評価

SCC によるき裂進展は、JSME 維持規格 EB-4352 の考え方に基づいて実施した。き裂は保守側に全周内表面欠陥とし、溶接部境界から 10mm 以内のステンレス鋼母材部に想定した。SCC 進展評価用応力拡大係数算出式として、JSME 維持規格の EB-4360 に基づき、添付 E-5 5.3(4)a 項の周方向全周内表面欠陥の式を使用する。

$$K = \left[(\sigma_0 + \sigma_p)G_0 + \sigma_1 G_1 \left(\frac{a}{t}\right) + \sigma_2 G_2 \left(\frac{a}{t}\right)^2 + \sigma_3 G_3 \left(\frac{a}{t}\right)^3 + \sigma_4 G_4 \left(\frac{a}{t}\right)^4 + \sigma_{bg} G_{bg} \right] \sqrt{\pi a} \dots\dots\dots (3-1)$$

σ₀, σ₁, σ₂, σ₃, σ₄, σ_p : 板厚方向の応力分布を(3-2)式の四次多項式で与えた時の係数。σ_p は、内圧が円筒内表面の欠陥に働く場合 p, それ以外は 0 とする。

σ_{bg} : 断面曲げ応力

$$\sigma(x) = \sigma_0 + \sigma_1 \left(\frac{x}{t}\right) + \sigma_2 \left(\frac{x}{t}\right)^2 + \sigma_3 \left(\frac{x}{t}\right)^3 + \sigma_4 \left(\frac{x}{t}\right)^4 \dots\dots\dots (3-2)$$

a : 欠陥深さ

t : 板厚

x : き裂表面からの距離 0 ≤ x ≤ t

G₀, G₁, G₂, G₃, G₄, G_{bg} : 管厚比 Ri/t および欠陥深さ a/t から決定される補正係数。周方向全周表面欠陥に対する表添付 E-5-13 を用いて Ri/t, a/t で補間。

R_i : 内半径

なお、当該部においては運転中の板厚内応力分布計算結果(図3)から、内表面の引張応力から圧縮応力に転じ、応力拡大係数 $K < 0$ となる欠陥深さで SCC による進展が停留すると考えられることから、 $K=0$ となる深さを SCC による進展深さとした(図4)。



図3 運転中の応力分布



図4 き裂深さと応力拡大係数 (SCC)

5. 疲労による進展評価

疲労によるき裂進展は、JSME 維持規格 EB-4351 に基づいて実施した。疲労き裂進展速度は、JSME 維持規格の添付 E-2 4.1(2)b 項に示されるオーステナイト系ステンレス鋼の PWR 一次系水質環境中の疲労き裂進展速度線図を用いて評価を実施する。

$$da/dN = 4.35 \times 10^{-13} T_c^{0.63} tr^{0.33} \Delta K^{3.0} / (1-R)^{1.56} \dots\dots\dots (3-3)$$

- ただし、 da/dN : 疲労き裂進展速度 (m/cycle)
- ΔK : 応力拡大係数の範囲 ($MPa\sqrt{m}$)
($\Delta K = K_{max} - K_{min}$: $R \geq 0$ 、 $\Delta K = K_{max}$: $R < 0$)
- T_c : 温度 ($^{\circ}C$)
- tr : 負荷上昇時間 (秒)
($tr < 1$ の場合は $tr=1$ 、 tr が定義できない場合は $tr=1000$)
- R : 応力比 = K_{min}/K_{max} ($R < 0$ のときは、 $R=0$ としてする)
- K_{min} 、 K_{max} : 応力拡大係数の最小、最大

き裂は前章で求めた SCC によるき裂形状から、プラント供用 60 年時点（蒸気発生器取替後 39 年間）までの疲労によるき裂進展を算出した。評価結果を図 5 及び表 5 に示す。



図 5 疲労によるき裂進展評価結果

表 5 プラント供用 60 年時点における欠陥形状

	初期欠陥深さ a ₀ (mm)	疲労欠陥 評価年数	欠陥深さ a (mm)	欠陥角度 2θ (°)
入口管台		39 年		360

6. 破壊評価結果

破壊評価は、JSME 維持規格 EB-4440 に基づいて実施した。破壊評価は、セーフエンド部のオーステナイト系ステンレス鋼管の評価末期の周方向欠陥に対して、弾塑性破壊力学法を用いた。評価方法は「事例規格 周方向欠陥に対する許容欠陥角度の制限の代替規定、NA-CC-002、2005、日本機械学会」にて欠陥角度 2θ>60°の欠陥にも適用可能な以下評価式を用いた。なお、安全率 SF については、PLM耐震評価における欠陥は、実際に生じているものではなく、あくまで想定であることから、JSME 維持規格で記載される周方向欠陥（許容状態 C&D）の評価に使用する SF:1.39 を考慮する必要はないと考えるが、ここでは安全側に考慮することとしました。

$$\beta \leq \pi - \theta \text{ の場合 } P'_b = \frac{2\sigma_f}{\pi} \left(2 \sin \beta - \frac{a}{t} \sin \theta \right)$$

$$\beta = \frac{1}{2} \left(\pi - \frac{a}{t} \theta - \pi \frac{P_m}{\sigma_f} \right)$$

$$\beta > \pi - \theta \text{ の場合 } P'_b = \frac{2\sigma_f}{\pi} \left(2 - \frac{a}{t} \right) \sin \beta$$

$$\beta = \frac{\pi}{2 - a/t} \left(1 - \frac{a}{t} - \frac{P_m}{\sigma_f} \right)$$

$$\text{塑性崩壊の曲げ応力 } P'_b = Z (SF) \left(P_m + P_b + \frac{P_e}{(SF)} \right) - P_m$$

- ただし、 t : 板厚 \square
 a : 評価期間末期の欠陥深さ $= \square$
 σ_f : 流動応力 (実測降伏点と引張強さの平均、または $2.7S_m$)
 S_m : 設計応力強さ
 β : 周方向欠陥付き管の中立軸に対応する角度
 SF : 安全率 周方向欠陥のとき $= 1.39$ (許容状態 C&D)
 P_b' : 欠陥形状で表した塑性崩壊曲げ応力
 θ : 周方向欠陥半長に対応する角度 (欠陥角度) $= \pi \text{rad}$
 P_m : 一次一般膜応力
 P_b : 一次曲げ応力
 P_e : 熱膨脹応力
 Z : Z 係数 (割増し係数)

許容曲げ応力は次式となる。

$$S_c = \frac{1}{SF} \left(\frac{P_b'}{Z} - P_e \right) - P_m \left(1 - \frac{1}{Z \cdot SF} \right)$$

ただし、



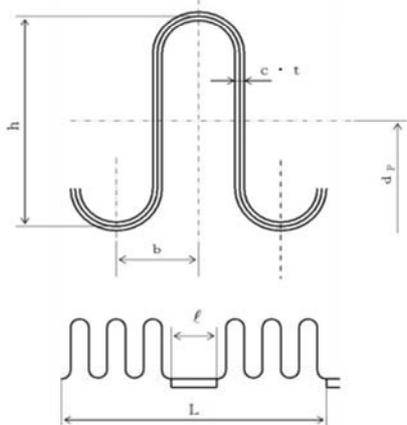
前章で求めたプラント供用 60 年時点 (39 年後) のき裂に対する、 S_s 地震時の発生応力及び許容曲げ応力を算出した結果を表 6 に示す。評価部位に作用する曲げ応力は許容曲げ応力以下であることから、SCC に対する耐震安全性は問題ない。

表 6 プラント供用 60 年時点の欠陥形状に対する破壊評価結果

部位	評価き裂 深さ (mm)	安全率	曲げ応力 P_b (MPa)	許容曲げ 応力 S_c (MPa)	応力比 (P_b / S_c)
入口管台	\square	1.39 (供用状態 C&D)	\square	\square	0.53

以上

\square 内は商業機密に属しますので公開できません

No.	高浜1-耐震-12	分類：容器																																																																								
質問	<p>機械ペネトレーションの主蒸気系統伸縮継手及び主給水系統伸縮継手の疲労割れに対する具体的評価内容（評価仕様、解析モデル、入力（荷重）条件、評価結果を含む）を提示すること。</p>																																																																									
回答	<p>1. 記号の説明 伸縮継手の疲労評価に用いる記号について、表1に示します。</p> <p style="text-align: center;">表1 伸縮継手の疲労評価に用いる記号</p> <table border="1" data-bbox="406 638 1308 1377"> <thead> <tr> <th>記号</th> <th>単位</th> <th>定義</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>b</td> <td>mm</td> <td>継手部の波のピッチの2分の1</td> </tr> <tr> <td>c</td> <td>-</td> <td>継手部の層数</td> </tr> <tr> <td>d_P</td> <td>mm</td> <td>継手部の有効径（平均径）</td> </tr> <tr> <td>E</td> <td>MPa</td> <td>最高使用温度におけるJSME S NCI-2005/2007付録図表Part6表1に規定する材料の縦弾性係数</td> </tr> <tr> <td>e</td> <td>mm</td> <td>継手部の1山当たりの総変位量</td> </tr> <tr> <td>e_x</td> <td>mm</td> <td>軸方向変位による継手部の1山当たりの変位量</td> </tr> <tr> <td>e_y</td> <td>mm</td> <td>軸直角方向変位による継手部の1山当たりの変位量</td> </tr> <tr> <td>h</td> <td>mm</td> <td>継手部の波の高さ</td> </tr> <tr> <td>L</td> <td>mm</td> <td>継手部の有効長さ</td> </tr> <tr> <td>ℓ</td> <td>mm</td> <td>中間の管の長さ</td> </tr> <tr> <td>N</td> <td>-</td> <td>許容繰返し回数</td> </tr> <tr> <td>n</td> <td>-</td> <td>継手の波数の2倍の値（1波の継手にあつては2）</td> </tr> <tr> <td>P</td> <td>MPa</td> <td>最高使用圧力</td> </tr> <tr> <td>t</td> <td>mm</td> <td>継手部の板の厚さ</td> </tr> <tr> <td>U</td> <td>-</td> <td>疲れ係数</td> </tr> <tr> <td>UF</td> <td>-</td> <td>疲れ累積係数</td> </tr> <tr> <td>W_N</td> <td>-</td> <td>1個の継手部の山数</td> </tr> <tr> <td>X</td> <td>mm</td> <td>軸方向変位量（表3におけるXの2倍（両振幅））</td> </tr> <tr> <td>Y</td> <td>mm</td> <td>軸直角方向変位量（表3におけるδ_y=√(y²+z²)の2倍（両振幅））</td> </tr> <tr> <td>δ</td> <td>mm</td> <td>全伸縮量</td> </tr> <tr> <td>σ</td> <td>MPa</td> <td>合計応力</td> </tr> <tr> <td>σ_D</td> <td>MPa</td> <td>全伸縮量による応力</td> </tr> <tr> <td>σ_P</td> <td>MPa</td> <td>最高使用圧力による応力</td> </tr> </tbody> </table> <p>伸縮継手の基本寸法箇所を図1に示します。</p>  <p style="text-align: center;">(複式(中間の管を含む))</p> <p style="text-align: center;">図1 伸縮継手の基本寸法箇所</p>		記号	単位	定義	b	mm	継手部の波のピッチの2分の1	c	-	継手部の層数	d _P	mm	継手部の有効径（平均径）	E	MPa	最高使用温度におけるJSME S NCI-2005/2007付録図表Part6表1に規定する材料の縦弾性係数	e	mm	継手部の1山当たりの総変位量	e _x	mm	軸方向変位による継手部の1山当たりの変位量	e _y	mm	軸直角方向変位による継手部の1山当たりの変位量	h	mm	継手部の波の高さ	L	mm	継手部の有効長さ	ℓ	mm	中間の管の長さ	N	-	許容繰返し回数	n	-	継手の波数の2倍の値（1波の継手にあつては2）	P	MPa	最高使用圧力	t	mm	継手部の板の厚さ	U	-	疲れ係数	UF	-	疲れ累積係数	W _N	-	1個の継手部の山数	X	mm	軸方向変位量（表3におけるXの2倍（両振幅））	Y	mm	軸直角方向変位量（表3におけるδ _y =√(y ² +z ²)の2倍（両振幅））	δ	mm	全伸縮量	σ	MPa	合計応力	σ _D	MPa	全伸縮量による応力	σ _P	MPa	最高使用圧力による応力
記号	単位	定義																																																																								
b	mm	継手部の波のピッチの2分の1																																																																								
c	-	継手部の層数																																																																								
d _P	mm	継手部の有効径（平均径）																																																																								
E	MPa	最高使用温度におけるJSME S NCI-2005/2007付録図表Part6表1に規定する材料の縦弾性係数																																																																								
e	mm	継手部の1山当たりの総変位量																																																																								
e _x	mm	軸方向変位による継手部の1山当たりの変位量																																																																								
e _y	mm	軸直角方向変位による継手部の1山当たりの変位量																																																																								
h	mm	継手部の波の高さ																																																																								
L	mm	継手部の有効長さ																																																																								
ℓ	mm	中間の管の長さ																																																																								
N	-	許容繰返し回数																																																																								
n	-	継手の波数の2倍の値（1波の継手にあつては2）																																																																								
P	MPa	最高使用圧力																																																																								
t	mm	継手部の板の厚さ																																																																								
U	-	疲れ係数																																																																								
UF	-	疲れ累積係数																																																																								
W _N	-	1個の継手部の山数																																																																								
X	mm	軸方向変位量（表3におけるXの2倍（両振幅））																																																																								
Y	mm	軸直角方向変位量（表3におけるδ _y =√(y ² +z ²)の2倍（両振幅））																																																																								
δ	mm	全伸縮量																																																																								
σ	MPa	合計応力																																																																								
σ _D	MPa	全伸縮量による応力																																																																								
σ _P	MPa	最高使用圧力による応力																																																																								

2. 評価部位

評価する伸縮継手は、技術評価で厳しい系統とし、主蒸気配管はCループ（改造なし）、主給水配管はBループ（改造あり）とします。図2にC－主蒸気配管、図3にB－主給水配管の伸縮継手の模式図を示します。

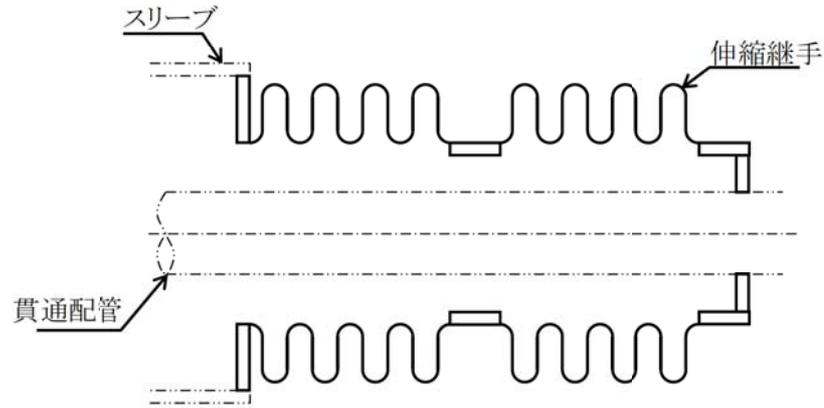


図2 C－主蒸気配管(改造なし)

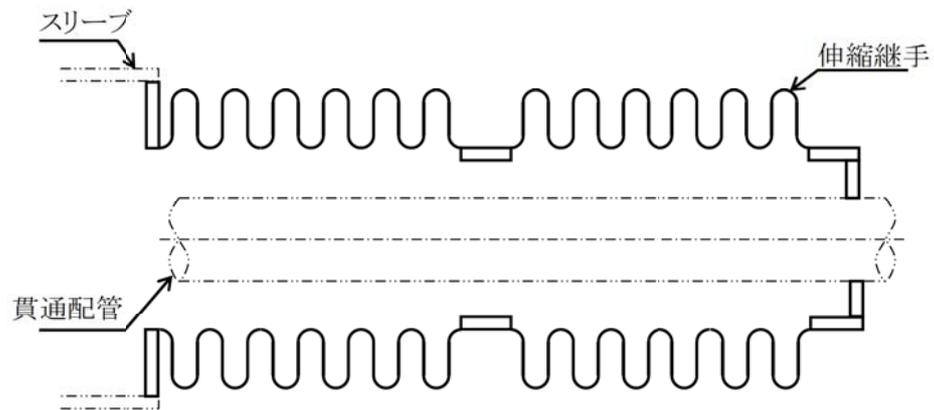


図3 B－主給水配管(改造あり)

評価部位は、図4に示す伸縮継手の頂部とします。

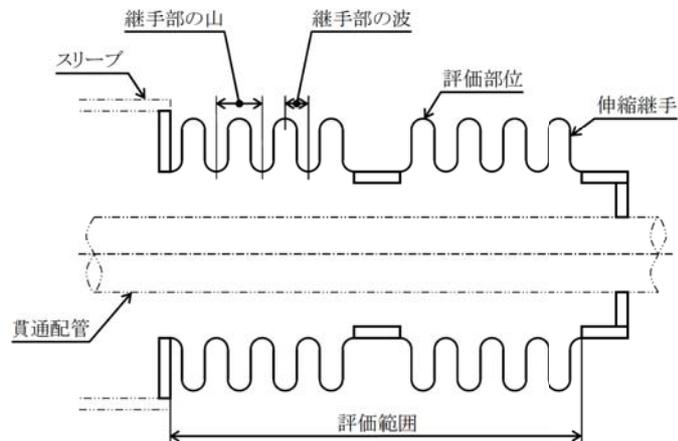


図4 伸縮継手の評価部位

3. 評価内容

(1) 格納容器貫通部の仕様

各格納容器貫通部の仕様について表 2 に示します。

表 2 格納容器貫通部の仕様

配管	原子炉格納容器最高使用圧力 (MPa)	最高使用温度 (°C)	伸縮継手有効径 (mm)	継手部の波の高さ (mm)	継手部の波のピッチの 2 分の 1 (mm)	継手部の板の厚さ (mm)	伸縮継手 1 個の山数	継手部の層数	材料	ヤング率 (MPa)	様式伸縮継手の長さ (mm)		
											中心間距離 A	中間の管の長さ B	伸縮継手の長さ L
主蒸気配管格納容器貫通部	0261												
主給水配管格納容器貫通部	0261												

(2) 地震時の伸縮継手の変位

Ss地震時及びSd地震時の伸縮継手の変位について表 3 に示します。

表 3-1 伸縮継手の変位 (Ss地震時)

ライン名称	地震合計変位 (mm)			
	X	Y	Z	$\delta y = \sqrt{(Y^2 + Z^2)}$
主蒸気配管格納容器貫通部				
主給水配管格納容器貫通部				

表 3-2 伸縮継手の変位 (Sd地震時)

ライン名称	地震合計変位 (mm)			
	X	Y	Z	$\delta y = \sqrt{(Y^2 + Z^2)}$
主蒸気配管格納容器貫通部				
主給水配管格納容器貫通部				

注：表 3 に示す座標系は、格納容器半径方向をx方向、鉛直方向をz方向とする右手直交座標系であり、表 1 に示すX、Yとは異なるものである。

(3) 疲れ累積係数 (UF) の算出

地震時の伸縮継手の変位から発生応力を算出し許容繰返し回数を求め、評価用繰返し回数と許容繰返し回数の比 (疲れ累積係数) を算出します (日本機械学会 設計・建設規格「PVE-3800 伸縮継手」参照)。

a. 伸縮継手の変位

(a) 軸方向変位による継手部の 1 山当たりの変位量

$$e_x = \frac{X}{2W_N}$$

(b) 軸直角方向変位による継手部の1山当たりの変位量

$$e_y = \frac{3 d_p Y}{2 W_N \left\{ L + \ell \left(\frac{\ell}{L} + 1 \right) \right\}}$$

(c) 継手部の1山当たりの総変位量

$$e = e_x + e_y$$

(d) 伸縮継手の全伸縮量

$$\delta = e W_N$$

b. 伸縮継手の応力と許容繰返し回数

(a) 伸縮継手の応力

全伸縮量による応力

$$\sigma_D = \frac{1.5 E t \delta}{n \sqrt{b h^3}}$$

注：ヤング率Eについては、表2における高温時の値ではなく、常温（21℃）におけるヤング率195,000(MPa)を用いる。

最高使用圧力による応力

$$\sigma_P = \frac{P h^2}{2 t^2 c}$$

発生応力

$$\sigma = \sigma_D + \sigma_P$$

(b) 許容繰返し回数

$$N = \left(\frac{11031}{\sigma} \right)^{3.5}$$

(c) 疲れ累積係数

$$U F = \Sigma \frac{\text{評価用繰返し回数}}{\text{許容繰返し回数}}$$

4. 評価結果

(1) 地震によるUF評価結果

Ss地震によるUF評価結果を、表4に示します。

表4 Ss地震によるUF評価結果

格納容器貫通部	発生応力 [MPa]	許容繰返し 回数	評価繰返し 回数	UF
主蒸気ライン貫通部				0.200
主給水ライン貫通部				0.005



内は商業機密に属しますので公開できません

Sd地震によるUF評価結果を、表5に示します。

表5 Sd地震によるUF評価結果

格納容器貫通部	発生応力 [MPa]	許容繰返し 回数	評価繰返し 回数	UF
主蒸気ライン貫通部				0.031
主給水ライン貫通部				0.002

(2) 通常運転時UFとの組合せによる評価結果

通常運転時のUFを加えた結果を表6及び表7に示します。

表6 Ss地震時の通常運転時UFとの組合せによる評価結果

格納容器貫通部	通常運転時	Ss地震時	合計
主蒸気ライン貫通部	0.008	0.200	0.208
主給水ライン貫通部	0.033	0.005	0.038

表7 Sd地震時の通常運転時UFとの組合せによる評価結果

格納容器貫通部	通常運転時	Sd地震時	合計
主蒸気ライン貫通部	0.008	0.031	0.039
主給水ライン貫通部	0.033	0.002	0.035

以上より、主蒸気系統伸縮継手及び主給水系統伸縮継手の疲労割れに対する耐震安全性に問題はありません。

以上

内は商業機密に属しますので公開できません