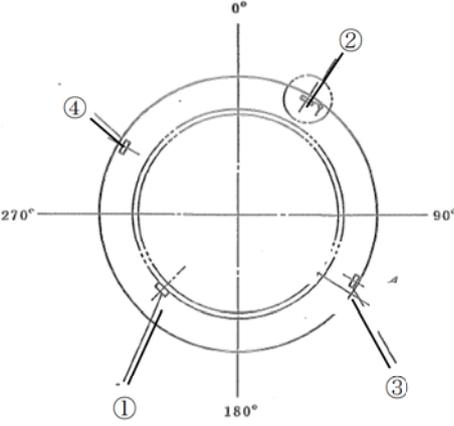
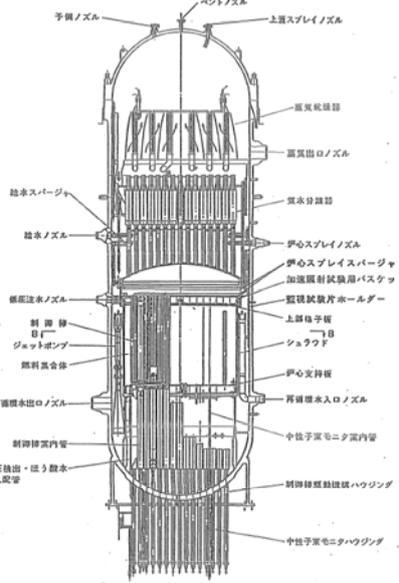


No.	2F4-中性子照射脆化 2_Rev. 1	分類：容器（原子炉压力容器）																					
タイトル	原子炉压力容器内面で照射量が $1.0 \times 10^{21} \text{n/m}^2$ をこえる範囲の母材及び溶接金属について																						
説明	<p>原子炉压力容器内面で照射量が $1.0 \times 10^{21} \text{n/m}^2$ をこえる範囲（補足説明資料No. 2F4-中性子照射脆化 1 で規定される範囲（原子炉压力容器の炉心領域部））の母材及び溶接金属の成分を下表に示す。</p> <p style="text-align: right;">(単位：重量%)</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="2"></th> <th>Si</th> <th>P</th> <th>Ni</th> <th>Cu</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td rowspan="4">母材</td> <td>胴板 3 (1)</td> <td colspan="4" rowspan="4" style="border: 2px solid red;"></td> </tr> <tr> <td>胴板 3 (2)</td> </tr> <tr> <td>胴板 4 (1)</td> </tr> <tr> <td>胴板 4 (2)</td> </tr> <tr> <td colspan="2">溶接金属</td> <td>0.32</td> <td>0.007</td> <td>0.98</td> <td>0.03</td> </tr> </tbody> </table> <p style="text-align: right;">以 上</p>				Si	P	Ni	Cu	母材	胴板 3 (1)					胴板 3 (2)	胴板 4 (1)	胴板 4 (2)	溶接金属		0.32	0.007	0.98	0.03
		Si	P	Ni	Cu																		
母材	胴板 3 (1)																						
	胴板 3 (2)																						
	胴板 4 (1)																						
	胴板 4 (2)																						
溶接金属		0.32	0.007	0.98	0.03																		

 内は商業機密に属しますので公開できません

No.	2F4-中性子照射脆化 4_Rev. 1	分類：容器（原子炉压力容器）																																
タイトル	監視試験片の配置，試験片数，各カプセルの取り出し時期，中性子照射量，中性子束及びリードファクターについて																																	
説明	<p>1. 監視試験片の配置，試験片数，各カプセルの取り出し時期</p> <p>建設時に「原子力発電設備に関する構造等の技術基準(告示 501)S45(1970). 9.3」に基づき，炉内へ装荷しているカプセル数は， カプセル である。</p> <p>試験片数についても，建設時に「同技術基準」に基づき，母材，溶接金属，熱影響部について，衝撃：8個以上，引張：2個以上の規定数を装荷している。</p> <div style="display: flex; justify-content: space-around; align-items: center;">   </div> <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse; margin-top: 10px;"> <thead> <tr> <th colspan="2">配置</th> <th rowspan="3">取出時期</th> <th colspan="6">試験片個数</th> </tr> <tr> <th rowspan="2">場所</th> <th rowspan="2">角度</th> <th colspan="3">衝撃試験片</th> <th colspan="3">引張試験片</th> </tr> <tr> <th>母材</th> <th>溶接金属</th> <th>熱影響部</th> <th>母材</th> <th>溶接金属</th> <th>熱影響部</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td colspan="9" style="height: 100px; border: 2px solid red;"></td> </tr> </tbody> </table>		配置		取出時期	試験片個数						場所	角度	衝撃試験片			引張試験片			母材	溶接金属	熱影響部	母材	溶接金属	熱影響部									
配置		取出時期	試験片個数																															
場所	角度		衝撃試験片			引張試験片																												
			母材	溶接金属	熱影響部	母材	溶接金属	熱影響部																										

 内は商業機密に属しますので公開できません

No.	2F4-中性子照射脆化 4_Rev. 1	分類：容器（原子炉圧力容器）					
説明 (続き)	2. 関連温度及び関連温度移行量 各監視試験結果は以下のとおり。						
	回数	関連温度及び関連温度移行量 (°C)					
		母材		溶接金属		熱影響部	
	関連温度 初期値	-40		-65		-40	
		関連温度 移行量	関連温度	関連温度 移行量	関連温度	関連温度 移行量	関連温度
	第1回 (加速照射)	13	-27	13	-52	11	-29
	第2回	2	-38	12	-53	-11	-51
	3. 各カプセルの中性子照射量, 中性子束 各カプセルの中性子照射量及び中性子束は以下のとおり。						
		中性子照射量 (n/cm ²)			中性子束 (n/cm ² /sec)		
	第1回 (加速照射)						
第2回							

内は商業機密に属しますので公開できません

No.	2F4-中性子照射脆化 4_Rev. 1	分類：容器（原子炉压力容器）													
説明 (続き)	<p>4. 各カプセルのリードファクター 第1, 2回監視試験結果より, 監視試験片位置, 压力容器 1/4t 位置における中性子束のリードファクターは以下のとおり。</p> <p><第1, 2回監視試験></p> <table border="1" data-bbox="395 562 1366 913"> <thead> <tr> <th data-bbox="395 562 612 645"></th> <th data-bbox="612 562 828 645"></th> <th data-bbox="828 562 1003 645">压力容器 内表面</th> <th data-bbox="1003 562 1173 645">監視試験片 位置</th> <th data-bbox="1173 562 1366 645">压力容器 1/4t 位置</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td data-bbox="395 645 612 913" rowspan="2">高速中性子束 相対値</td> <td data-bbox="612 645 828 779">第1回 [] (加速照射)</td> <td colspan="3" data-bbox="828 645 1366 913" rowspan="2">[]</td> </tr> <tr> <td data-bbox="612 779 828 913">第2回 []</td> </tr> </tbody> </table> <p>なお, 中性子束分布の解析コードが取出年代で相違し, 第1回時は [], [], 第2回時は [] を使用していることから, リードファクターに相違が発生している。 ただし, 評価は, 第2回時の [] を使用している。</p> <div data-bbox="414 1160 1241 1892" style="border: 2px solid red; height: 300px; margin: 20px 0;"></div> <p style="text-align: center;">監視試験片及び中性子ドジメータの炉内配置</p> <p style="text-align: right;">以上</p>						压力容器 内表面	監視試験片 位置	压力容器 1/4t 位置	高速中性子束 相対値	第1回 [] (加速照射)	[]			第2回 []
		压力容器 内表面	監視試験片 位置	压力容器 1/4t 位置											
高速中性子束 相対値	第1回 [] (加速照射)	[]													
	第2回 []														

[] 内は商業機密に属しますので公開できません

No.	2F4-IASCC1_Rev. 1	分類：炉内構造物								
タイトル	炉内構造物各機器（炉心シュラウド、上部格子板、炉心支持板、燃料支持金具、制御棒案内管）の通常運転時の温度について									
説明	<p>通常運転時の炉内構造物は、原子炉冷却材と接しており、炉内構造物の各部位の運転温度は下表の通り。</p> <table border="1" data-bbox="472 757 1003 1010"> <thead> <tr> <th data-bbox="472 757 794 797">部位</th> <th data-bbox="794 757 1003 797">温度 (°C)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td data-bbox="472 797 794 837">炉心シュラウド</td> <td data-bbox="794 797 1003 837" rowspan="5"></td> </tr> <tr> <td data-bbox="472 837 794 878">上部格子板</td> </tr> <tr> <td data-bbox="472 878 794 918">炉心支持板</td> </tr> <tr> <td data-bbox="472 918 794 958">燃料支持金具</td> </tr> <tr> <td data-bbox="472 958 794 1010">制御棒案内管</td> </tr> </tbody> </table> <p>なお、炉内支持構造物の応力解析で熱応力の算出に用いられている温度分布計算結果からも各部位の最高温度は□°Cである。</p> <p style="text-align: right;">以上</p>		部位	温度 (°C)	炉心シュラウド		上部格子板	炉心支持板	燃料支持金具	制御棒案内管
部位	温度 (°C)									
炉心シュラウド										
上部格子板										
炉心支持板										
燃料支持金具										
制御棒案内管										



内は商業機密に属しますので公開できません

No.	2F4-IASCC2_Rev. 1	分類：炉内構造物
タイトル	現時点までの運転時間（EFPY）と中性子照射量評価の内容（評価モデル，計算方法等の詳細を含む）及び結果，また中性子照射量が最大となる位置について	
説明	<p>現時点（平成 27 年 8 月 25 日）の運転時間（EFPY）は，17.45 EFPY であり，中性子照射量評価の内容（計算の方法を含む）については，添付①に示す。</p> <p>中性子照射量が最大となる位置は，上部格子板の約 5.5×10^{25} n/m² である。</p> <p>なお，中性子照射率については，保守的に中性子束等高線図の各部位で高い側の等照射線の照射率を用いて算出している。中性子束等高線図及び中性子照射率を添付②及び③に示す。</p> <p>【添付資料】</p> <ul style="list-style-type: none"> ・2F4-IASCC2-①_Rev. 1：現時点（平成 27 年 8 月 25 日）での炉内構造物の中性子照射量推定値（2F4） ・2F4-IASCC2-②：もちより委託業務報告書 原子炉压力容器中性子照射量解析評価 ・2F4-IASCC2-③_Rev. 1：炉内構造物の中性子照射率 	

No.	2F4-IASCC2_Rev. 1	分類：炉内構造物
説明 (続き)	<p>原子炉圧力容器中性子照射量は、以下の手順で算出している。</p> <p>評価は、R-Z 体系モデル（垂直断面モデル）によって平均的な中性子束を求め、それに R-θ 体系モデル（水平断面モデル）によって得られた炉心形状に関する補正係数を考慮して、高速中性子束を算出する。</p> <p>(1) R-Z 体系モデル</p> <p>R-Z 体系モデルは、炉心中心軸を Z 軸とする R-Z 体系で、モデル化の範囲は、軸方向が有効炉心部上下 2m までとし、径方向は原子炉遮へい壁（RSW）外側までである。</p> <p style="text-align: center;">炉内構造物主要における垂直方向（R-Z）体系モデル</p> <div data-bbox="598 745 1182 1603" style="border: 1px solid red; height: 383px; margin: 10px auto;"></div> <p style="text-align: center;">図 4.3.1-2 1100MWe 級 BWR の 2 次元 R-Z 体系計算モデル（全体系）</p> <p style="text-align: center;">（出典：もちより委託「原子炉圧力容器中性子照射量解析評価業務」報告書</p>	



内は商業機密に属しますので公開できません

No.	2F4-IASCC2_Rev. 1	分類：炉内構造物
<p>説明 (続き)</p>	<p>(2)R-θ 体系モデル</p> <p>R-θ 体系モデル，炉心中心レベルに着目し炉心中心軸を R 軸の中心とする。R-θ 体系で，モデルの範囲は，径方向が炉心中心から RSW 外側までで，θ 方向は線源の対称性を考慮して 1/8 炉心(45°)である。</p> <p style="text-align: center;">炉内構造物主要部における径方向 (R-θ) 体系モデル</p> <div style="text-align: center;">  </div> <p style="text-align: center;">図 4.3.1-5 1100MWe 級 BWR の 2 次元 R-θ 体系計算モデル(1/8 炉心)</p> <p>(出典：もちより委託「原子炉圧力容器中性子照射量解析評価業務」報告書</p> <p>(3)計算コード</p> <p>計算コードは，高速中性子束の計算に実績のある輸送計算コード DOT3.5 を用いている。</p> <p>(4)入力パラメータ</p> <p>入力パラメータは以下のとおりである。なお，中性子束の計算に用いているのは最大中性子束となる断面等を考慮した値である。</p> <ul style="list-style-type: none"> ①炉心条件 (燃料種類等) ②構成材料の物性値 (密度，組成等) ③原子炉等構造物の形状，寸法 ④出力分布 ⑤核分裂による中性子スペクトル <p style="text-align: right;">以 上</p>	



内は商業機密に属しますので公開できません

現時点(平成27年8月25日)での炉内構造物の中性子照射量推定値 算出根拠 (2F4)

現時点(平成27年8月25日)におけるEFPY : 17.45 EFPY

$$\text{EFPY} = (\text{試運転以降の累積発電機電力量}) \div (\text{定格電気出力} \times 365 \text{日} \times 24 \text{時間})$$

$$= (168,088,440 \text{MWh}) \div (1,100 \text{MW} \times 365 \text{日} \times 24 \text{時間})$$

No	機器名	技術評価書記載	照射率 (n/m ² /s)	もちより業務委託報告書「原子炉压力容器中性子照射量解析評価業務(平成16年3月)」 (n/cm ² /s)	EFPY秒換算(s) = 17.45(EFPY) × 365(d) × 24(h) × 3600(s) = 550,303,200
					現時点(平成27年8月25日)の照射量推定値 = 照射率(n/m ² /s) × EFPY秒換算 (n/m ²)
1	炉心シュラウド	約 5.5 × 10 ²⁴ n/m ²			5.5E+24
2	上部格子板	約 5.5 × 10 ²⁵ n/m ²			5.5E+25
3	周辺燃料支持金具	約 5.5 × 10 ²⁴ n/m ²			5.5E+24
4	炉心支持板	約 5.5 × 10 ²³ n/m ²			5.5E+23
5	制御棒案内管	約 5.5 × 10 ²³ n/m ²			5.5E+23

内は商業機密に属しますので公開できません



殿

もちより委託業務報告書

原子炉圧力容器中性子照射量解析評価業務

平成16年3月



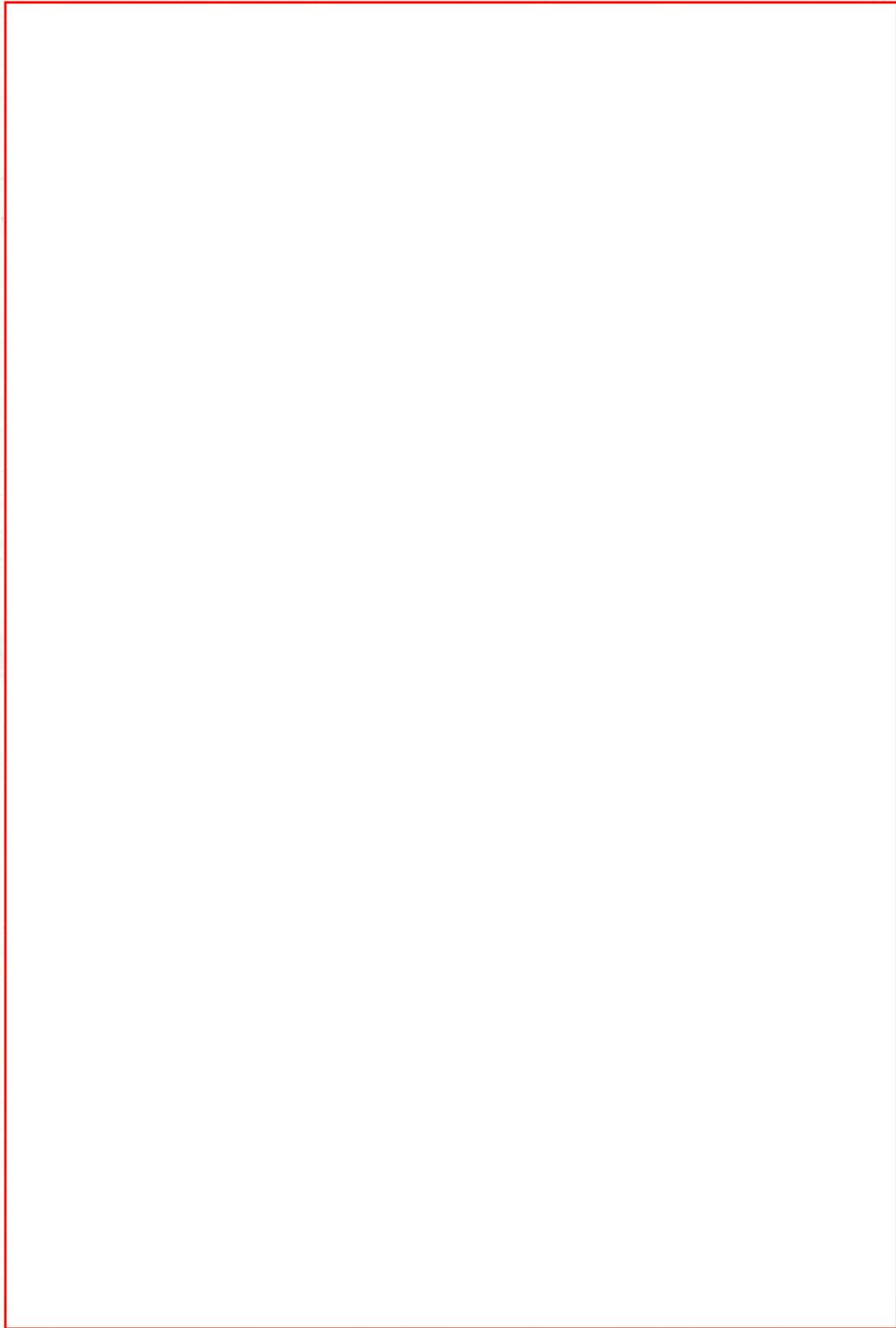
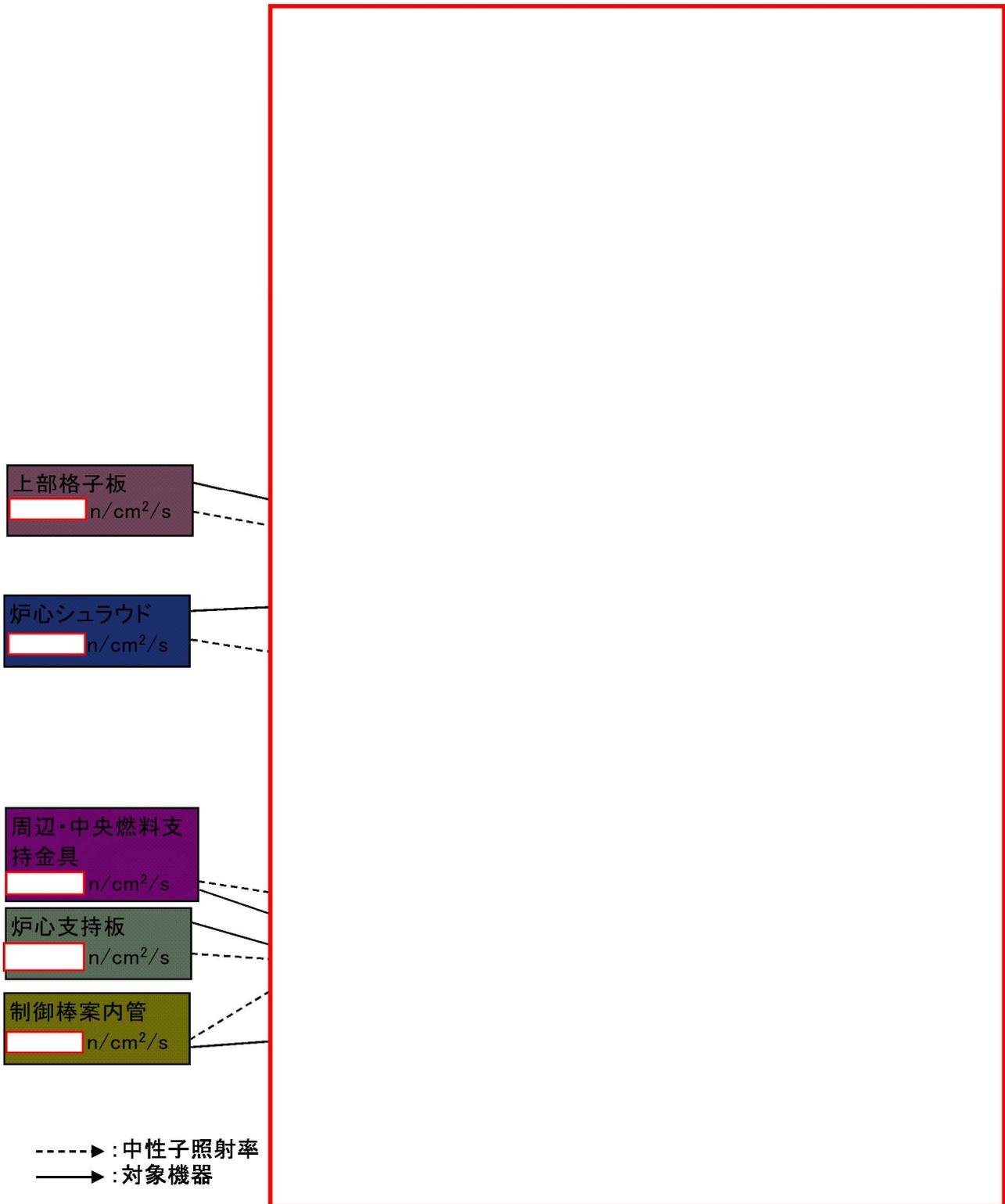


図 4.3.2-1 R-Z 体系計算による 1100MWe 級 BWR の 1MeV 以上の中性子束等高線図
($\text{cm}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$)

4.3-12

内は商業機密に属しますので公開できません

炉内構造物の中性子照射率



[]内は商業機密に属しますので公開できません

No.	2F4-IASCC5_Rev. 1	分類：炉内構造物												
タイトル	維持規格及び「欠陥の解釈」による点検のこれまでの実績（方法、頻度及び結果の記録を含む）、また炉心シュラウド、制御棒案内管及び上部格子板についての ISI 検査、制御棒案内管取り外し時及び定期検査毎の炉心確認における確認結果の記録													
説明	<p>維持規格及び「欠陥の解釈」による点検は、第 16 回定期検査時に炉心シュラウドの点検を実施しており、その他の炉内構造物について、点検実績はない。</p> <p>また、ISI 検査は JEAC 4205 に基づき点検を実施しており、検査対象機器に炉内構造物（炉心シュラウド・上部格子板等）は検査範囲に含まれていないため、点検の実績はない。</p> <p>制御棒案内管は、第 16 回定期検査時の目視点検において、異常のないことを確認している。</p> <p>上部格子板は、第 17 回定期検査時の炉心確認において、燃料集合体の確認に合わせて変形・曲がりがないことを確認している。</p> <p style="text-align: center;">日本機械学会 発電用原子力設備規格 維持規格の検査内容</p> <table border="1" data-bbox="391 1108 1401 1393"> <thead> <tr> <th>項目番号</th> <th>試験部位</th> <th>試験対象</th> <th>方法</th> <th>頻度</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>G1. 30</td> <td>原子炉圧力容器 炉心支持構造物</td> <td>炉心シュラウド 上部格子板 炉心支持板 燃料支持金具 制御棒案内管 など</td> <td>VT-3</td> <td>10 年間</td> </tr> </tbody> </table> <p style="text-align: right;">以 上</p>				項目番号	試験部位	試験対象	方法	頻度	G1. 30	原子炉圧力容器 炉心支持構造物	炉心シュラウド 上部格子板 炉心支持板 燃料支持金具 制御棒案内管 など	VT-3	10 年間
項目番号	試験部位	試験対象	方法	頻度										
G1. 30	原子炉圧力容器 炉心支持構造物	炉心シュラウド 上部格子板 炉心支持板 燃料支持金具 制御棒案内管 など	VT-3	10 年間										

No.	2F4-IASCC6_Rev. 1	分類：炉内構造物（炉心シュラウド）
タイトル	炉内構造物における日本機械学会 発電用原子力設備規格 設計・建設規格 事例規格「応力腐食割れ発生の抑制に対する考慮（NC-CC-002）」への対応状況について	
説明	<p>【事例規格】発電用原子力設備における「応力腐食割れ発生の抑制に対する考慮」（NC-CC-002）によると、応力腐食割れ（SCC）発生因子である「材料」「応力」「環境」を改善することでSCC発生を抑制する対応が示されている。</p> <p>福島第二原子力発電所4号炉の炉内構造物には、低炭素オーステナイト系ステンレス鋼（SUS316L）やステンレス鋼鋳鋼（SCS19A）が採用されており、「SUS304 や SUS316」と比べると、BWR 炉水環境下では耐 SCC 性が高いと考えている。</p> <p>また、4号機第17回定期検査時に、炉心シュラウド内面溶接部をウォータージェットピーニング法により、残留応力を引張応力から圧縮応力に改善している。</p> <p style="text-align: right;">以 上</p>	

No.	2F4-IASCC7_Rev. 1	分類：炉内構造物（上部格子板）
タイトル	炉心確認時における上部格子板グリッドプレートの確認実績（確認方法，確認範囲，及び確認記録）	
説明	<p>炉心確認時の燃料集合体炉内配置検査において，燃料集合体の確認に合わせて上部格子板に変形・曲がりがないことを確認している。</p> <p>確認方法は，燃料集合体炉内配置検査用の水中テレビカメラにより確認している。</p> <p>また，東北地方太平洋沖地震後の炉内構造物点検において，上部格子板の目視点検を行い，異常のないことを確認している。</p> <p style="text-align: right;">以 上</p>	

No.	2F4-IASCC8_Rev. 1	分類：炉内構造物（上部格子板）
タイトル	現時点における上部格子板の健全性及び冷温停止中における IASCC の発生・進展の可能性の評価内容並びに冷温停止期間中の点検計画について	
説明	<p>現時点(平成 27 年 8 月 25 日)における上部格子板の中性子照射量は約 $5.5 \times 10^{25} \text{ n/m}^2$ であり、照射誘起型応力腐食割れ (IASCC) の感受性への影響が現れると考えられるしきい照射量 ($1 \times 10^{25} \text{ n/m}^2$) を超えるものの、上部格子板のグリッドプレート中央部に溶接部はなく、運転中の差圧、熱及び自重等に起因する引張応力成分は低いことから、IASCC 発生の可能性は小さいと評価している。</p> <p>また、東北地方太平洋沖地震後の炉内構造物点検において、上部格子板の目視点検を行い、異常のないことを確認している。</p> <p>当面の冷温停止期間中においては、高速中性子照射をほとんど受けることはなく、炉内における劣化や照射量が有意に進展する状態ではないと考えられるため、冷温停止期間中の点検は計画していない。</p> <p style="text-align: right;">以 上</p>	

No.	2F4-絶縁低下 10_Rev. 1	分類：ケーブル（共通）
タイトル	<p>ケーブル（高圧難燃 CV ケーブル，難燃 PN ケーブル，難燃 CV ケーブル，難燃 FV ケーブル，難燃二重同軸ケーブル，難燃六重同軸ケーブル及び難燃複合同軸ケーブル）の製造メーカ及び震災以外での交換実績について</p>	
説明	<p>ケーブル（高圧難燃 CV ケーブル，難燃 PN ケーブル，難燃 CV ケーブル，難燃 FV ケーブル，難燃二重同軸ケーブル，難燃六重同軸ケーブル及び難燃複合同軸ケーブル）については、プラント設計時にケーブル仕様を確定し、展開接続図に取り合い等を記載し管理をしている。</p> <p>また、交換する際はその都度、仕様確定し、展開接続図へ反映し管理している。</p> <p>なお、製造メーカ及び震災以外での交換実績については、以下のとおり。</p> <p>①製造メーカ</p> <ul style="list-style-type: none"> ・高圧難燃 CV ケーブル 日立電線 ・難燃 PN ケーブル 日立電線 ・難燃 CV ケーブル 日立電線, タツタ電線 ・難燃 FV ケーブル 日立電線 ・難燃二重同軸ケーブル 日立電線 ・難燃六重同軸ケーブル 日立電線 ・難燃複合同軸ケーブル 日立電線 <p>②震災以外での至近 10 年の交換実績</p> <ul style="list-style-type: none"> ・2F-4G プラントバイタル CVCF (B) 取替 (H18 年度)：難燃 CV ケーブル ・2F-4M SRV 逃がし弁機能圧力設定計器取替 (H22 年度)：難燃 CV ケーブル ・2F-4M 燃料取替機計算機取替 (H21 年度)：難燃 CV ケーブル ・2F-4M プロセス放射線モニタ他取替 (H18 年度)：難燃 CV ケーブル ・2F-4R MSIV-LCS 除却工事 (H18 年度)：難燃 CV ケーブル ・2F-4M 起動領域中性子モニタ装置他取替 (H18 年度) ：難燃 CV ケーブル，難燃 FV ケーブル， 難燃二重同軸ケーブル，難燃六重同軸ケーブル ・2F-4M 主要計測設備修理工事 (H22 年度)：難燃二重同軸ケーブル <p>なお、交換したケーブルは、各装置等の取替時に取り合い箇所の変更や現場配置の変更による余長不足から交換したもので、経年劣化によるものではない。</p> <p style="text-align: right;">以 上</p>	

No.	2F4-コンクリート鉄骨7 [中性化1] Rev. 1	分類：コンクリート構造物
タイトル	平成 27 年に実施した環境測定（温度、相対湿度及び二酸化炭素濃度）の方法、位置及び結果について	
説明	<p>1. 計測方法</p> <p>事前調査において、空調条件や仕上げ条件の分類により選定された箇所について、室内環境（温度・湿度・二酸化炭素濃度）を測定した。温湿度の測定は、毎日一定時間毎に、冷温停止状態で平成 27 年 2 月から平成 27 年 8 月の 7 ヶ月間の連続自動計測とし、二酸化炭素濃度は温湿度測定期間内の 1 ヶ月毎に 1 日 2 計測（午前・午後）行った。</p> <p>(1) 温湿度測定</p> <p>a. 各測定点において温度・湿度を自動計測する。</p> <p>b. 毎日 1 時間毎の自動計測結果を記録する。</p> <p>c. 温湿度測定器は以下の通り。 使用機器；TR-72wf（株式会社ティアンドディ製） 記録容量；約 8000 データ×2 チャンネル（温度・湿度）</p> <p>(2) 二酸化炭素濃度測定</p> <p>a. 温度・湿度測定と同一箇所において、二酸化炭素濃度の計測を行う。</p> <p>b. 計測回数は温湿度計の設置期間中の各月 1 回の計 8 回とし、1 回あたり 2 計測を行う。</p> <p>c. 二酸化炭素測定器は以下の通り。 使用機器；LAQ モニタ Model12211（日本カノマックス株式会社製） 検知原理；非分散型赤外線式</p> <p>2. 位置及び結果</p> <p>福島第二 4 号炉で平成 27 年に実施した温度、相対湿度及び二酸化炭素濃度の測定位置及び測定結果を添付資料 7-①に示す。</p> <p>【添付資料】</p> <p>・2F4-コンクリート鉄骨 7-①：室内環境調査結果 集計結果一覧表</p> <p style="text-align: right;">以 上</p>	

No.	2F4-コンクリート鉄骨8 [中性化2] Rev. 1	分類：コンクリート構造物
タイトル	中性化の評価点を選定した過程について	
説明	<p>中性化の評価対象部位は、屋外と屋内では鉄筋位置に対する中性化深さと鉄筋腐食開始の関係が異なることから、各々に対して評価対象部位を抽出した。</p> <p>1. 屋内の評価対象部位</p> <p>① 環境測定</p> <p>中性化の進展度合いは、空気環境条件（温度・湿度・二酸化炭素濃度）の影響を受けることから、室内環境を測定した。</p> <p>測定箇所を選定にあたっては下記 a, b を原則に、その他 c～f を加味し、計 31 箇所にて測定を行った。</p> <ul style="list-style-type: none"> a. 仕上げに無塗装部がある室 b. 空調系統区分毎に 1 箇所以上 c. 各建屋の代表エリア（各系統・各階の主要部） d. 2F1～3号機の PLM で代表部位とされたエリア e. パッケージ空調機のある室 f. 人・車の往来の多い箇所 <p>② 評価対象の選定過程</p> <p>中性化の評価対象は、上記の環境測定の結果をもとに、影響が大きいとされた箇所の他、仕上げ材の有無も考慮して、環境測定の結果から、森永式の子測により中性化が進展しやすい環境下にあると想定される複数箇所を選定し、中性化深さを測定した。</p> <p>その結果、各構造物の屋内における平均中性化深さは、添付資料 8-①に示す通りであり、中性化深さの平均値が最も大きい原子炉建屋北西階段室を評価対象とした。</p> <p>2. 屋外の評価対象部位</p> <p>屋外環境については、各対象構造物においてほぼ同一であり、屋外構造物について中性化深さを測定した結果を添付資料 8-①に示す。</p> <p>建物においては、最小かぶり厚さが同一であることから、タービン建屋外壁を評価対象とした。また、構築物は、調査年とかぶり厚さの相違等を考慮して、非常用ガス処理系配管ダクト及び軽油タンク配管トレンチを評価対象とした。</p>	

No.	2F4-コンクリート鉄骨 8 [中性化 2]	分類：コンクリート構造物
<p>説 明 (続 き)</p>	<p>【添付資料】</p> <ul style="list-style-type: none"> ・2F4-コンクリート鉄骨 8-①：コンクリートの中性化深さ実測値及び評価対象部位の選定 <p style="text-align: right;">以 上</p>	

表 1-1 コンクリートの中性化深さ実測値及び評価対象部位の選定

環境	種別	対象構造物	測定位置	運転開始 または 使用開始 年月	調査時点の中性化深さ			かぶり 厚さ (cm)	選定
					調査時期	経過 年数	実測値 (cm)		
屋内	建物	原子炉建屋						4.0	○
		タービン建屋						4.0	
		海水熱交換器建屋						4.0	
屋外	建物	原子炉建屋						4.0	
		タービン建屋						4.0	○
		海水熱交換器建屋						4.0	
	構築物	取水構造物						5.0	
		復水貯蔵 タンク基礎						8.0	
		非常用ガス処理系 配管ダクト						8.0	○
		海水配管ダクト (南側)						8.0	
		海水配管ダクト (北側)	8.0						
		軽油タンク基礎	9.0						
		軽油タンク 配管トレンチ	4.0	○					

内は商業機密に属しますので公開できません

No.	2F4-コンクリート鉄骨 9[塩分浸透 1]Rev. 1	分類：コンクリート構造物
タイトル	塩分浸透の評価点を選定した過程について	
説明	<p>評価点の位置については、海水や飛沫の影響により最も厳しい塩分浸透環境下にある取水構造物に加え、添付資料 9-①Rev. 1 に示す通り、海側に面する壁を有する建物（原子炉建屋、タービン建屋、海水熱交換器建屋）を対象に、塩化物イオン濃度の測定を行った。</p> <p>その結果、取水構造物では気中帯、干満帯、海中帯、建物では海水熱交換器建屋 1 階南側外壁とした。</p> <p>【添付資料】</p> <ul style="list-style-type: none">・2F4-コンクリート鉄骨 9-①Rev. 1：鉄筋位置における塩化物イオン濃度の測定結果一覧 <p style="text-align: right;">以 上</p>	

表 1-1 鉄筋位置における塩化物イオン濃度の測定結果一覧

建屋 (箇所)	コア記号	試料 採取 位置 [mm]	塩化物イオン 濃度 (CL-) の 平均値 A [kg/m ³]	コンク リート の密度 B [kg/m ³]	塩化物イオン濃度 [%]	
					コア別 A/B	3本 平均値
原子炉建屋 (3F 東外壁)	4R-12-①	40~60				
	4R-12-②	40~60				
	4R-12-③	40~60				
タービン建屋 (1F 東外壁)	4T-6-①	40~60				
	4T-6-②	40~60				
	4T-6-③	40~60				
海水熱交換器建屋 (1F 東外壁)	4Hx-2-①	40~60				
	4Hx-2-②	40~60				
	4Hx-2-③	40~60				
海水熱交換器建屋 (1F 南外壁)	4Hx-3-①	40~60				
	4Hx-3-②	40~60				
	4Hx-3-③	40~60				
海水熱交換器建屋 (1F 北外壁)	4Hx-4-①	40~60				
	4Hx-4-②	40~60				
	4Hx-4-③	40~60				

 内は商業機密に属しますので公開できません

No.	2F4-コンクリート鉄骨 10 [機械振動 1]	分類：コンクリート構造物
タイトル	機械振動の評価対象部位を選定した過程及びプラント運転中及びプラント停止後に比較的大きな振動を受ける機器の原動機出力について	
説明	<p>機械振動に対する評価対象部位について、4号炉は振動測定を行っていないことから、1号炉の実績に基づき次の通り選定した。</p> <p>1号炉においては、常時振動している機器を内包している建物・構築物を抽出し、振動影響の高い機器について予備調査を行い、上位5種類の機器に対し、運転中の変位および加速度測定を平成22年に実施しており、その結果を添付資料10-①に示す。</p> <p>測定の結果、常時振動している機器のうち、躯体への影響が最も大きいと想定される機器は、高圧タービン、低圧タービンとなり、評価対象部位はタービン発電機架台コンクリートとした。</p> <p>以上から、4号炉の評価対象部位は、1号炉の実績より、タービン発電機架台コンクリートとした。</p> <p>また、プラント運転中及びプラント停止後に、比較的大きな振動を受ける機器の原動機出力を添付資料10-②に示す。</p> <p>【添付資料】</p> <ul style="list-style-type: none"> ・2F4-コンクリート鉄骨 10-①：機械振動に対する1号機本調査結果 ・2F4-コンクリート鉄骨 10-②：原動機出力表 <p style="text-align: right;">以上</p>	

機械振動に対する1号機本調査結果

順位	対象機器	建屋	階	変位最大値(μ mP-P)				加速度最大値(G) (参考)				備考				
				鉛直方向 (V)	順位	軸方向 (A)	順位	水平方向 (H)	順位	鉛直方向 (V)	順位		軸方向 (A)	順位	水平方向 (H)	順位
1	③高圧タービン	T/B	2F													
2	⑤低圧タービン	T/B	2F													
3	①R/B換気系送風機	T/B	3F													
4	②T/Bホップ送風機	T/B	3F													
5	④MGセット	R/B	2F													

内は商業機密に属しますので公開できません

【原動機出力表】

表 1-1 高圧ポンプモータのグループ化と代表機器の選定

分類基準	機器名称 (台数)	仕様 (定格出力×回転速度)	選定基準				選定理由	
			重要度*1	使用条件	使用条件			
型式	設置場所		運転状態*2	定格電圧 (V)	周囲温度 (°C)	選定		
開放	屋内	残留熱除去系ポンプモータ (3)	連続*3 (一時)	6,600	40 以下	◎	運転状態	
			MS-1	750 kW×1,475 rpm				
			MS-1	2,600 kW×1,485 rpm				
		低圧炉心スプレイ系ポンプモータ (1)	一時 (一時)	6,600	40 以下			
		低圧炉心スプレイ系ポンプモータ (1)	一時 (一時)	6,600	40 以下			

◎：代表機器

*1：最上位の重要度を示す

*2：上段は安定停止維持における運転状態，下段の（ ）は震災前の運転状態を示す

*3：運転状態は，3台中2台が連続で残り1台は一時

表 1-1 低圧ポンプモータのグループ化と代表機器の選定

分類基準	機器名称 (台数)	仕様 (定格出力× 回転速度)	選定基準				選定理由
			重要度*1	使用条件	選定		
型式	設置場所		重要度*1	運転状態*2	定格電圧 (V)	周囲温度 (°C)	
全閉 屋内	ほう酸水注入系ポンプモータ (2)	45 kW×1, 450 rpm	MS-1	一時 (一時)	440	40 以下	
			MS-1	一時 (一時)	440	40 以下	
			MS-1	一時 (一時)	440	40 以下	
			MS-1	連続 (一時)	440	40 以下	
			MS-1	連続 (一時)	440	40 以下	
			MS-1	連続 (一時)	440	40 以下	
			MS-1	連続 (一時)	440	40 以下	
			MS-1	連続 (一時)	440	40 以下	
			MS-1	連続 (連続)	440	40 以下	◎
			MS-2	連続 (連続)	440	40 以下	
水浸	原子炉冷却材浄化系再循環ポンプモータ (2)	120 kW×2, 960 rpm 120 kW×2, 970 rpm	PS-2	連続 (連続)	440	40 以下	◎

◎：代表機器

*1：最上位の重要度を示す

*2：上段は安定停維持における運転状態，下段の（ ）は震災前の運転状態を示す

No.	2F4-コンクリート鉄骨 19 [中性化 3]		分類：コンクリート構造物																																							
タイトル	コンクリートの中性化深さ（表 2.3-2）に示す，調査時点及び運転開始後 40 年経過時点の中性化深さの推定値についての算定過程（推定式，条件，パラメータ）及び結果について																																									
説明	<p>調査時点および運転開始後 40 年経過時点の中性化深さの推定値の勘定過程（推定式、条件、パラメータ）および結果を以下に示す。</p> <p>1. 推定式、条件、パラメータ</p> <p>以下の中性化深さを推定する速度式を用いて評価を実施した。推定式の詳細、条件およびパラメータは、添付資料 19-①「中性化深さの推定値の勘定過程および結果」に示すとおり。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・岸谷式 ・森永式 ・中性化深さの実測値に基づく\sqrt{t}式 <p>2. 結果</p> <p>運転開始後 40 年経過時点の中性化深さの推定値が、鉄筋が腐食し始めるときの中性化深さを下回っていることを確認した。</p> <p>中性化深さを評価した結果を以下に示す。</p> <p style="text-align: right;">(単位:cm)</p> <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th colspan="2" rowspan="2">評価対象部位</th> <th colspan="3">調査時点の中性化深さ</th> <th rowspan="2">福島第二 4 号炉 運転開始後 40 年 時点の中性化深 さ*2 (推定式)</th> <th rowspan="2">鉄筋が腐食し 始める時点の 中性化深さ*3</th> </tr> <tr> <th>経 年 劣 化</th> <th>実測値 (調査時期)</th> <th>推定値*1 (推定式)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td rowspan="2">屋内</td> <td>原子炉建屋</td> <td>28 年</td> <td>2.8 (平成 28 年 2 月)</td> <td>3.6 (岸谷式)</td> <td>4.3 (岸谷式)</td> <td>6.0</td> </tr> <tr> <td>タービン建屋</td> <td>28 年</td> <td>1.0 (平成 28 年 2 月)</td> <td>2.1 (岸谷式)</td> <td>2.5 (岸谷式)</td> <td>4.0</td> </tr> <tr> <td rowspan="2">屋外</td> <td>非常用 ガス処理系 配管ダクト</td> <td>25 年</td> <td>3.6 (平成 24 年 8 月)</td> <td>2.1 (岸谷式)</td> <td>4.6 (\sqrt{t}式)</td> <td>8.0</td> </tr> <tr> <td>軽油タンク 配管トレンチ</td> <td>28 年</td> <td>1.3 (平成 27 年 9 月)</td> <td>2.2 (岸谷式)</td> <td>2.6 (岸谷式)</td> <td>4.0</td> </tr> </tbody> </table> <p>*1：岸谷式，森永式による推定値のうち最大値を記載 *2：岸谷式，森永式及び実測値に基づく\sqrt{t}則による推定値のうち最大値を記載 *3：かぶり厚さから評価した値</p>						評価対象部位		調査時点の中性化深さ			福島第二 4 号炉 運転開始後 40 年 時点の中性化深 さ*2 (推定式)	鉄筋が腐食し 始める時点の 中性化深さ*3	経 年 劣 化	実測値 (調査時期)	推定値*1 (推定式)	屋内	原子炉建屋	28 年	2.8 (平成 28 年 2 月)	3.6 (岸谷式)	4.3 (岸谷式)	6.0	タービン建屋	28 年	1.0 (平成 28 年 2 月)	2.1 (岸谷式)	2.5 (岸谷式)	4.0	屋外	非常用 ガス処理系 配管ダクト	25 年	3.6 (平成 24 年 8 月)	2.1 (岸谷式)	4.6 (\sqrt{t} 式)	8.0	軽油タンク 配管トレンチ	28 年	1.3 (平成 27 年 9 月)	2.2 (岸谷式)	2.6 (岸谷式)	4.0
評価対象部位		調査時点の中性化深さ			福島第二 4 号炉 運転開始後 40 年 時点の中性化深 さ*2 (推定式)	鉄筋が腐食し 始める時点の 中性化深さ*3																																				
		経 年 劣 化	実測値 (調査時期)	推定値*1 (推定式)																																						
屋内	原子炉建屋	28 年	2.8 (平成 28 年 2 月)	3.6 (岸谷式)	4.3 (岸谷式)	6.0																																				
	タービン建屋	28 年	1.0 (平成 28 年 2 月)	2.1 (岸谷式)	2.5 (岸谷式)	4.0																																				
屋外	非常用 ガス処理系 配管ダクト	25 年	3.6 (平成 24 年 8 月)	2.1 (岸谷式)	4.6 (\sqrt{t} 式)	8.0																																				
	軽油タンク 配管トレンチ	28 年	1.3 (平成 27 年 9 月)	2.2 (岸谷式)	2.6 (岸谷式)	4.0																																				

No.	2F4-コンクリート鉄骨 19 [中性化 3]	分類：コンクリート構造物
<p>説 明</p> <p>(続 き)</p>	<p>【添付資料】</p> <p>・ 2F4-コンクリート鉄骨 19-①：中性化深さの推定式に勘定過程および結果</p> <p style="text-align: right;">以 上</p>	

中性化深さの推定値の勘定過程および結果

1. 推定式・パラメータ

(1) 岸谷式

	屋内		屋外		備考
	原子炉建屋	タービン建屋	非常用ガス処理系配管ダクト	軽油タンク配管トレンチ	
W/C：水セメント比（比）					
α：劣化外力係数					
β：仕上げ材による係数					
γ：セメントによる係数					
調査時点の推定値（cm）					
運転開始後40年後経過時点の推定値（cm）					

$$t = \frac{7.2}{R^2 \cdot (4.6 \cdot x - 1.76)^2} \cdot C^2$$

t：期間（年） C：中性化深さ（cm） x：水セメント比（比）

R：中性化率（α×β×γ） α：劣化外力の区分係数

β：仕上げ材料による係数 γ：セメントによる係数

(2) 森永式

	屋内		屋外		備考
	原子炉建屋	タービン建屋	非常用ガス処理系配管ダクト	軽油タンク配管トレンチ	
W/C：水セメント比（%）					
R：仕上材の中性化率					
二酸化炭素濃度（%）					
T：温度（℃）					
RH：湿度（%）					
調査時点の推定値（cm）					
運転開始後40年後経過時点の推定値（cm）					

$$x = \sqrt{\frac{C}{5}} \cdot 2.44 \cdot R \cdot (1.391 - 0.017 \cdot RH + 0.022 \cdot T) \cdot (4.6 \cdot w/c / 100 - 1.76) \cdot \sqrt{t}$$

x：中性化深さ（mm） T：温度（℃） t：材齢（日） C：炭酸ガス濃度（%）

RH：湿度（%） w/c：水セメント比（%） R：中性化比率

(3) √t式

	屋内		屋外		備考
	原子炉建屋	タービン建屋	非常用ガス処理系配管ダクト	軽油タンク配管トレンチ	
中性化実測深さ（cm）					
運転開始後40年後経過時点の推定値（cm）					

$$C = A \cdot \sqrt{t}$$

t：期間（年） C：中性化深さ（cm） A：中性化速度係数

内は商業機密に属しますので公開できません

No.	2F4-コンクリート鉄骨 20[中性化 5] Rev. 1	分類：コンクリート構造物
タイトル	中性化の評価点における目視点検結果及び補修計画，補修実績について	
説明	<p>目視点検については、「原子力発電所建築設備点検マニュアル」及び「原子力発電所土木設備点検マニュアル」に基づき，定期的を実施している。</p> <p>「建築設備点検業務（平成 26, 27 年度）他 5 件」並びに「土木設備点検業務（平成 27 年度）他 3 件」より実施した目視点検の結果，中性化による鉄筋腐食に起因するよ うなひび割れは確認されていないことから，補修計画，実績はない。</p> <p style="text-align: right;">以 上</p>	

No.	2F4-コンクリート鉄骨 22 [塩分浸透 3]	分類：コンクリート構造物																										
タイトル	鉄筋の腐食減量（表 2.3-3）の算定過程（方法，条件，パラメータ）及び結果について																											
説明	<p>鉄筋の腐食減量の勘定過程（方法、条件、パラメータ）および結果を以下に示す。</p> <p>1. 方法 (1) 拡散方程式により、コンクリート表面からの塩化物イオンの浸透性を予測 (2) 森永式により、コンクリートにひび割れが発生する腐食減量を予測することで鉄筋の腐食減量の評価を実施</p> <p>2. 条件およびパラメータ 添付資料 22-①「塩分浸透による鉄筋の腐食減量の推定値勘定の過程および結果」に示すとおり。</p> <p>3. 結果 運転開始 40 年時点の鉄筋腐食減量が、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を確認した。 鉄筋の腐食減量の勘定結果を以下に示す。</p> <table border="1" data-bbox="432 1341 1342 1762"> <thead> <tr> <th colspan="2" rowspan="2">対象の部位</th> <th colspan="3">鉄筋の腐食減量 ($\times 10^{-4} \text{ g / c m}^2$)</th> </tr> <tr> <th>調査時点</th> <th>運転開始後 40 年時点</th> <th>かぶりコンクリートにひび割れが発生する時点</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>海水熱 交換機建屋</td> <td>1 階南側 外壁</td> <td>5.3</td> <td>7.3</td> <td>46.5</td> </tr> <tr> <td rowspan="3">取水構造物</td> <td>気中帯</td> <td>2.6</td> <td>4.8</td> <td>49.2</td> </tr> <tr> <td>干満帯</td> <td>8.6</td> <td>13.4</td> <td>88.3</td> </tr> <tr> <td>海中帯</td> <td>0.0</td> <td>0.0</td> <td>88.3</td> </tr> </tbody> </table> <p>[添付資料] ・2F4-コンクリート鉄骨 22-①：塩分浸透による鉄筋の腐食減量の推定値勘定の過程及び結果</p> <p style="text-align: right;">以上</p>		対象の部位		鉄筋の腐食減量 ($\times 10^{-4} \text{ g / c m}^2$)			調査時点	運転開始後 40 年時点	かぶりコンクリートにひび割れが発生する時点	海水熱 交換機建屋	1 階南側 外壁	5.3	7.3	46.5	取水構造物	気中帯	2.6	4.8	49.2	干満帯	8.6	13.4	88.3	海中帯	0.0	0.0	88.3
対象の部位		鉄筋の腐食減量 ($\times 10^{-4} \text{ g / c m}^2$)																										
		調査時点	運転開始後 40 年時点	かぶりコンクリートにひび割れが発生する時点																								
海水熱 交換機建屋	1 階南側 外壁	5.3	7.3	46.5																								
取水構造物	気中帯	2.6	4.8	49.2																								
	干満帯	8.6	13.4	88.3																								
	海中帯	0.0	0.0	88.3																								

塩分浸透による鉄筋の腐食減量の推定値算定過程及び結果

	海水熱交換器建屋	取水構造物						
	1 階南側外壁	気中帯	干満帯	海中帯				
調査時期	平成28年	平成24年						
経過年								
Co (kg/m ³)								
Dc (cm ² /年)								
コンクリート密度 (kg/m ³)								
鉄筋径 d (mm)								
かぶり c (mm)								
水セメント比W/C (%/100)								
温度T (°C)								
相対湿度RH (%)								
酸素濃度O (%/100)								
鉄筋位置Cl ⁻ 濃度 (%)								
鉄筋位置Cl ⁻ 濃度 (kg/m ³)								
<p>1. 拡散方程式</p> $C(c, t) = C_0 \left(1 - \operatorname{erf} \frac{c}{2\sqrt{D_c \cdot t}} \right)$ <p>C(c, t) : 深さc (cm)の鉄筋位置における、時刻t (年)の塩化物イオン濃度 (kg/m³) Co : コンクリート表面における塩化物イオン濃度 (kg/m³) Dc : 塩化物イオンの拡散係数 (cm²/年) c : コンクリート表面からの距離 (cm) t : 経過時間 (年) erf : 誤差関数</p> <p>2. 森永式</p> $V_{12tn} = V_{11tn} \times \frac{V_{12tn}}{V_{11tn}}$ $V_{11tn} = \frac{d}{10 \cdot c^2} \left[-0.51 - 6.81 \cdot Cl_{tn} + 44.97 (W/C)^2 + 60.84 \cdot Cl_{tn} \cdot (W/C)^2 \right]$ $V_{12tn} = \frac{1}{10} (2.59 - 0.05 \cdot T - 6.89 \cdot H - 22.87 \cdot O - 0.89 \cdot Cl_{tn} + 0.14 \cdot T \cdot H + 0.51 \cdot T \cdot O + 0.01 \cdot T \cdot Cl_{tn} + 60.81 \cdot H \cdot O + 3.01 \cdot H \cdot Cl_{tn} + 6.55 \cdot O \cdot Cl_{tn})$ $V_{12tn}' = \frac{1}{10} (0.56528 + 1.2808 \cdot Cl_{tn})$ <p>V1tn : 経過年数tn年における腐食速度 (mg/cm²/年) V11tn : 温度15°C, 湿度69%, 酸素濃度20%における腐食速度 (mg/cm²/年) V12tn : ベースコートコーティング鉄筋の腐食速度 (mg/cm²/年) V12tn' : 温度15°C, 湿度69%, 酸素濃度20%におけるベースコートコーティング鉄筋の腐食速度 (mg/cm²/年) d : 鉄筋径 (mm) c : かぶり (mm) Cl_{tn} : 経過年数tn年における鉄筋位置の塩化物イオン濃度 (kg/m³) W/C : 水セメント比 (%/100) T : 温度 (°C) H : 湿度に関する項 [H = (RH - 45) / 100] RH : 相対湿度 (%) O : 酸素濃度 (%/100)</p>								

 内は商業機密に属しますので公開できません

No.	2F4-コンクリート鉄骨 24 [塩分浸透 5]	分類：コンクリート構造物																		
タイトル	鉄筋の腐食減量（表 2.3-4）の算定過程（方法、条件、パラメータ）及び結果について																			
説明	<p>鉄筋の腐食減量の勘定過程（方法、条件、パラメータ）および結果を以下に示す。</p> <p>1. 方法</p> <p>（1）拡散方程式により、コンクリート表面からの塩化物イオンの浸透性を予測</p> <p>（2）森永式により、コンクリートにひび割れが発生する腐食減量を予測することで鉄筋の腐食減量の評価を実施</p> <p>2. 条件およびパラメータ</p> <p>添付 1 「塩分浸透による鉄筋の腐食減量の推定値勘定の過程および結果」に示すとおり。</p> <p>3. 結果</p> <p>運転開始 40 年時点の鉄筋腐食減量が、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を確認した。</p> <p>鉄筋の腐食減量の勘定結果を以下に示す。</p> <table border="1" data-bbox="406 1258 1369 1590"> <thead> <tr> <th colspan="2" rowspan="2">対象の部位</th> <th colspan="3">鉄筋の腐食減量（$\times 10^{-4} \text{g/cm}^2$）</th> </tr> <tr> <th>調査時点</th> <th>運転開始後 40 年時点</th> <th>かぶりコンクリート にひび割れが 発生する時点</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>海水熱 交換器建屋</td> <td>地下 1 階 内壁</td> <td>17.4</td> <td>27.8</td> <td>46.5</td> </tr> <tr> <td>海水配管 ダクト</td> <td>北側ダクト 内壁</td> <td>4.5</td> <td>7.2</td> <td>79.8</td> </tr> </tbody> </table> <p>[添付資料]</p> <p>・2F4-コンクリート鉄骨 24-①：塩分浸透による鉄筋の腐食減量の推定値勘定の過程及び結果</p> <p style="text-align: right;">以上</p>		対象の部位		鉄筋の腐食減量（ $\times 10^{-4} \text{g/cm}^2$ ）			調査時点	運転開始後 40 年時点	かぶりコンクリート にひび割れが 発生する時点	海水熱 交換器建屋	地下 1 階 内壁	17.4	27.8	46.5	海水配管 ダクト	北側ダクト 内壁	4.5	7.2	79.8
対象の部位		鉄筋の腐食減量（ $\times 10^{-4} \text{g/cm}^2$ ）																		
		調査時点	運転開始後 40 年時点	かぶりコンクリート にひび割れが 発生する時点																
海水熱 交換器建屋	地下 1 階 内壁	17.4	27.8	46.5																
海水配管 ダクト	北側ダクト 内壁	4.5	7.2	79.8																

塩分浸透による鉄筋の腐食減量の推定値算定過程及び結果

	海水熱交換器建屋	海水配管ダクト		
	地下1階内壁	北側ダクト内壁		
調査時期	平成24年			
経過年				
Co (kg/m ³)				
Dc (cm ² /年)				
コンクリート密度 (kg/m ³)				
鉄筋径 d (mm)				
かぶり c (mm)				
水セメント比W/C (%/100)				
温度T (°C)				
相対湿度RH (%)				
酸素濃度O (%/100)				
鉄筋位置Cl ⁻ 濃度 (%)				
鉄筋位置Cl ⁻ 濃度 (kg/m ³)				
1. 拡散方程式			$C(c, t) = C_0 \left(1 - \operatorname{erf} \frac{c}{2\sqrt{D_c \cdot t}} \right)$ <p>C(c, t) : 深さc (cm)の鉄筋位置における、時刻t (年)の塩化物イオン濃度 (kg/m³) Co : コンクリート表面における塩化物イオン濃度 (kg/m³) Dc : 塩化物イオンの拡散係数 (cm²/年) c : コンクリート表面からの距離 (cm) t : 経過時間 (年) erf : 誤差関数</p>	
2. 森永式			$V_{12tn} = V_{11tn} \times \frac{V_{12tn}}{V_{11tn}}$ $V_{11tn} = \frac{d}{10 \cdot c^2} \left[-0.51 - 6.81 \cdot Cl_{tn} + 44.97 \cdot (W/C)^2 + 60.84 \cdot Cl_{tn} \cdot (W/C)^2 \right]$ $V_{12tn} = \frac{1}{10} (2.59 - 0.05 \cdot T - 6.89 \cdot H - 22.87 \cdot O - 0.89 \cdot Cl_{tn} + 0.14 \cdot T \cdot H + 0.51 \cdot T \cdot O + 0.01 \cdot T \cdot Cl_{tn} + 60.81 \cdot H \cdot O + 3.01 \cdot H \cdot Cl_{tn} + 6.55 \cdot O \cdot Cl_{tn})$ $V_{12tn}' = \frac{1}{10} (0.56528 + 1.2808 \cdot Cl_{tn})$ <p>V1tn : 経過年数tn年における腐食速度 (mg/cm²/年) V11tn : 温度15°C, 湿度69%, 酸素濃度20%における腐食速度 (mg/cm²/年) V11tn : ベースコート鉄筋の腐食速度 (mg/cm²/年) V12tn' : 温度15°C, 湿度69%, 酸素濃度20%におけるベースコート鉄筋の腐食速度 (mg/cm²/年) d : 鉄筋径 (mm) c : かぶり (mm) Cl_{tn} : 経過年数tn年における鉄筋位置の塩化物イオン濃度 (kg/m³) W/C : 水セメント比 (%/100) T : 温度 (°C) H : 湿度に関する項 [H = (RH - 45) / 100] RH : 相対湿度 (%) O : 酸素濃度 (%/100)</p>	

内は商業機密に属しますので公開できません

No.	2F4-コンクリート鉄骨 25 [塩分浸透 6] Rev. 1	分類：コンクリート構造物
タイトル	塩分浸透の評価点における目視点検結果及び補修計画，補修実績について	
説明	<p>目視点検については、「原子力発電所建築設備点検マニュアル」及び「原子力発電所土木設備点検マニュアル」に基づき、定期的を実施している。</p> <p>「建築設備点検業務（平成 26, 27 年度）他 5 件」並びに「土木設備点検業務（平成 27 年度）他 3 件」より実施した目視点検の結果，建物については，塩分浸透による鉄筋腐食に起因するようなひび割れは確認されていないことから，補修計画，実績はない。</p> <p>また，構築物については，塩分浸透による鉄筋腐食に起因するようなひび割れは確認されていないことから，補修計画はない。なお，補修実績としては，「土木設備補修工事のうち 4 号機スクリーン室躯体コンクリート補修工事」において，塩分浸透による鉄筋腐食に起因するひび割れを補修している。</p> <p style="text-align: right;">以 上</p>	

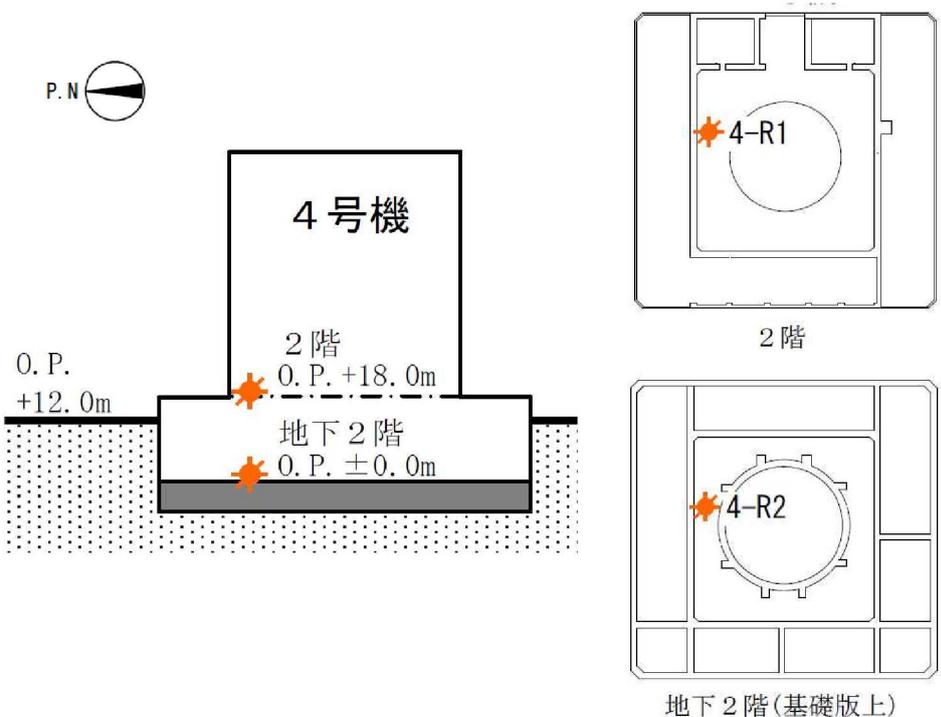
No.	2F4-耐震1	分類：耐震安全性評価（共通）
タイトル	震災の影響に関する損傷確認機器リスト，ならびに復旧状況について	
説明	<p>震災の影響に関する損傷確認機器リスト，ならびに復旧状況については，添付資料の通り。</p> <p>【添付資料】</p> <ul style="list-style-type: none">・2F4-耐震1-①：2F4 PLM 震災時の直接影響を受けた機器の健全性評価リスト <p style="text-align: right;">以上</p>	

2F4 PLM 震災時の直接影響を受けた機器の健全性評価リスト

評価書大分類	評価書小分類	機器名称	部位	代表機器	劣化事象	健全性評価 (取替,補修,点検等)	結果 良・否
ポンプ	ターボポンプ	非常用補機冷却水ポンプ(A)	主軸,羽根車,ケーシングリング,すべり軸受	代表以外	アプレシブ摩耗	分解点検	良
ポンプ	ターボポンプ	非常用補機冷却水ポンプ(A)	主軸	代表以外	孔食,隙間腐食	分解点検	良
ポンプ	ターボポンプ	非常用補機冷却水ポンプ(A)	軸受箱,ケーシング,ケーシングカバー,取付ボルト,ベース,基礎ボルト,軸継手	代表以外	全面腐食	分解点検	良
ポンプ	ターボポンプ	残留熱除去冷却水ポンプ	主軸,すべり軸受	代表以外	アプレシブ摩耗	分解点検(軸受部)	良
ポンプ	ターボポンプ	残留熱除去冷却水ポンプ	主軸	代表以外	孔食,隙間腐食	分解点検(軸受部)	良
熱交換器	直管式熱交換器	非常用補機冷却系熱交換器(A)	胴(外部),水室(外部),支持脚スライド部,フランジボルト,支持脚,基礎ボルト	代表以外	全面腐食	分解点検(外観点検)	良
ポンプモータ	低圧ポンプモータ	非常用補機冷却水ポンプモータ(A)	取付ボルト,固定子コア,回転子コア,フレーム,エンドブラケット,端子箱,主軸	代表以外	全面腐食	補修	良
ポンプモータ	低圧ポンプモータ	非常用補機冷却水ポンプモータ(A)	絶縁体	代表以外	絶縁特性低下	補修	良
ポンプモータ	低圧ポンプモータ	残留熱除去冷却水ポンプモータ	取付ボルト,固定子コア,回転子コア,フレーム,エンドブラケット,端子箱,主軸	代表以外	全面腐食	補修	良
ポンプモータ	低圧ポンプモータ	残留熱除去冷却水ポンプモータ	絶縁体	代表以外	絶縁特性低下	補修	良
ポンプモータ	低圧ポンプモータ	残留熱除去冷却海水ポンプモータ	取付ボルト,固定子コア,回転子コア,フレーム,エンドブラケット,端子箱,主軸	代表以外	全面腐食	補修	良
ポンプモータ	低圧ポンプモータ	残留熱除去冷却海水ポンプモータ	絶縁体	代表以外	絶縁特性低下	補修	良
弁	電動弁駆動部	残留熱除去冷却海水熱交出口弁	固定子コイル,口出線・接続部品,回転子コイル,ブレーキ電磁コイル	代表以外	絶縁特性低下	取替,絶縁抵抗測定	良
ケーブル	高圧ケーブル	高圧難燃CVケーブル	-	代表	津波浸水	取替	良
ケーブル	低圧ケーブル	難燃CVケーブル	-	代表	津波浸水	取替	良
ケーブル	ケーブルトレイ・電線管	ケーブルトレイ,電線管,サポート等	-	代表	腐食	洗浄	良
ケーブル	ケーブル接続部	端子台接続	絶縁体	代表以外	絶縁特性低下	取替	良
ケーブル	ケーブル接続部	端子接続	絶縁体	代表以外	絶縁特性低下	取替	良
計測制御設備	計測装置	圧力計測装置	圧力伝送器	代表以外	特性変化	清掃・特性試験	良
計測制御設備	計測装置	計器架台	サポート,ベースプレート,取付ボルト,ナット	代表以外	全面腐食	洗浄・目視確認	良
計測制御設備	計測装置	取付ボルト	取付ボルト	代表以外	全面腐食	洗浄・目視確認	良
空調設備	ファン及び空調機	海水熱交換器建屋 電気品室非常用空調機	ファンモータ	代表以外	津波浸水(全面腐食)	取替	良
電源設備	動力用変圧器	非常用P/C変圧器(シリコン乾式)	-	代表	津波浸水	取替	良
電源設備	低圧閉鎖配電盤	非常用P/C	-	代表	津波浸水	取替	良
電源設備	コントロールセンタ	非常用MCC	-	代表	津波浸水	取替	良

No.	2F4-耐震 2	分類：耐震安全性評価（共通）
タイトル	震災の影響に関する最新情報について	
説明	<p>3/11 の震災影響に関する下記事項についての最新情報は、以下の通り。</p> <p>【配管支持構造物の地震、津波の影響の最新情報】</p> <ul style="list-style-type: none"> 震災後、配管支持構造物について、目視により地震による損傷の無いことを確認するとともに、津波により浸水した機器については、洗浄を行い、目視点検にて異常の無いことを確認した。 また、現在は特別な保全計画に基づき、配管支持構造物について、計画的に点検を実施し、異常の無いことを確認している。 <p>【基礎ボルトの地震、津波の影響の最新情報（0.3 mm 以下の腐食となるか）】</p> <ul style="list-style-type: none"> 震災後、基礎ボルトについて、目視により、地震による損傷のないことを確認した。津波による浸水期間は、最長でも 1 か月程度であり、当該機器については洗浄を行い、目視点検にて異常のないことを確認していることから、浸水による全面腐食への影響はないものとする。 また、現在は、特別な保全計画に基づき、基礎ボルトについて、計画的に点検を実施し、異常の無いことを確認している。 従って、基礎ボルト 40 年間の腐食量の 0.3 mm を上回る可能性はないものとする。 <p>【コンクリートの地震、津波の影響の最新情報（ひび割れの程度、加熱による特性変化）】</p> <ul style="list-style-type: none"> 震災後に 4 号機コンクリート構造物及び鉄骨構造物の健全性について、コンクリート躯体の著しいひび割れ・剥離及び鉄骨鋼材の損傷・変形等を緊急にて目視点検を実施した。 その結果、建屋の一部でひび割れや剥離等が発見されたが、構造上問題となるものはなく、震災の影響はないものとする。 また、点検計画に基づき、コンクリート構造物及び鉄骨構造物について、目視点検を実施し、その結果に基づき補修の必要性を判断し、補修計画を定めている。 津波の浸水の塩分浸透によるコンクリートの強度低下については、塩化物イオン濃度の測定結果から、鉄筋の腐食減量は問題ないと判断した。 	

No.	2F4-耐震 2	分類：耐震安全性評価（共通）
<p>説 明 (続 き)</p>	<ul style="list-style-type: none"> ・ 加熱による特性変化については、震災時にサプレッションチェンバのプール水温が、最高使用温度（104℃）を超過した期間があったことから、「原子力事業者防災業務計画に基づく復旧計画書に係る実施状況報告」の内、「原子炉格納容器内コンクリート構造物の温度影響による健全性影響評価」にて、PCV内コンクリート構造物の健全性に問題がないことを確認した。 <p style="text-align: right;">以 上</p>	

No.	2F4-耐震3	分類：耐震安全性評価（共通）
タイトル	東北地方太平洋沖地震による地震動（水平，鉛直）と設計地震動（Ss）との大小関係（建屋応答スペクトル図，観測点位置図等）について	
説明	<p>・地震観測点について 4号炉の観測点位置は，図1の通り。</p>  <p>図1 4号機原子炉建屋の地震観測点配置図</p>	

No.	2F4-耐震 3	分類：耐震安全性評価（共通）
<p>説明 (続 き)</p>	<p>・東北地方太平洋沖地震による地震動と設計用地震動（Ss）の比較について 図2に原子炉建屋基礎版上，図3に原子炉建屋2階の応答スペクトル比較図を示す。 原子炉建屋2階のNS方向において，東北地方太平洋沖地震による地震動が一部の周期帯で設計用地震動を上回っているものの，概ね同程度以下となっている。</p> <div style="text-align: center;"> </div> <p style="text-align: center;">(a) NS 方向</p> <p style="text-align: center;">(b) EW 方向</p> <p style="text-align: center;">(c) UD 方向</p>	
<p>図2 4号機原子炉建屋基礎版上の加速度応答スペクトル（減衰率5%）</p>		

No.	2F4-耐震 3	分類：耐震安全性評価（共通）
説明 (続 き)	<div style="display: flex; justify-content: space-between; align-items: flex-start;"> <div style="width: 45%;"> <p>— 4-R1 観測点</p> <p>— 基準地震動 Ss-1</p> <p>- - - 基準地震動 Ss-2</p> <p>- · - 基準地震動 Ss-3</p> </div> <div style="width: 50%;"> <p>(a) NS 方向</p> <p>(b) EW 方向</p> <p>(c) UD 方向</p> </div> </div> <p style="text-align: center;">図 3 4号機原子炉建屋2階の加速度応答スペクトル（減衰率5%）</p> <p style="text-align: right;">以 上</p>	

No.	2F4-耐震 4_Rev. 1	分類：耐震安全性評価（共通）
タイトル	<p>現行の JEAG4601 に基づく標準的な手法以外の値を適用したケース（設計用減衰定数，地震応答解析手法，等価繰り返し回数）の適用内容について</p>	
説明	<p>現行の JEAG4601 に基づく標準的な手法以外の値を適用したケース（設計用減衰定数，地震応答解析手法）及び適用内容は，以下の通り。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・評価項目：配管疲労評価，炭素鋼配管の腐食 ・対象系統：給水系，原子炉再循環系 ・適用項目：減衰定数（S_s：0.5～3.0 %） ・適用規格：日本電気協会「原子力発電所耐震設計技術規程 JEAC4601-2008」 <p>ただし，設計地震動 S_1 については，建設時に適用した減衰定数が 0.5 % と 1.0 % の 2 種類のみのため，JEAC4601-2008 にて 0.5 % に適合しないものは一律 1.0 % を採用した。</p> <p>[例]</p> <p>各系統における配管解析に用いた減衰定数</p> <p>① 給水系 S_s：2.5 % ， S_1：1.0 %</p> <p>② 原子炉再循環系 S_s：2.5 %</p> <p style="text-align: right;">以 上</p>	

No.	2F4-耐震 5	分類：耐震安全性評価（共通）
タイトル	<p>建設後の耐震補強の実績（実施時期，以下のいずれに該当するかの整理，工事概要（サポートの撤去，移動，追設，容量変更の要点を含む））について</p> <p>イ) 基準地震動 Ss 等に対する耐震補強ケース</p> <p>ロ) 配管の減肉評価結果に基づく耐震補強ケース</p> <p>ハ) 上記のイ)，ロ) 以外の耐震補強ケース</p>	
説明	<p>建設後の耐震補強の実績として，工事目的及び実施時期を以下に示す。 また，工事概要を添付資料(1)，(2)に示す。</p> <p>イ) 基準地震動 Ss 等に対する耐震補強ケース 「発電用原子炉施設に関する耐震設計審査指針」の改訂に伴い新たに策定した基準地震動 Ss に対して、耐震設計上重要な施設の安全機能を向上させるため耐震補強を実施した。</p> <p>① 平成 23 年 2 月～平成 24 年 4 月 以下の機器の耐震補強を実施。 原子炉建屋クレーン，燃料取替機，原子炉建屋天井トラス</p> <p>② 第 17 回定検（平成 22 年 9 月～平成 23 年 1 月） 以下の系統の耐震補強（配管サポート改造）を実施。 残留熱除去系，残留熱除去冷却系，残留熱除去冷却海水系， 高圧炉心スプレイ系，低圧炉心スプレイ系，高圧炉心スプレイ補機冷却系， 非常用補機冷却系，ほう酸水注入系，制御棒駆動水圧系，復水補給水系， 燃料プール冷却浄化系，可燃性ガス濃度制御系，非常用ガス処理系</p> <p>ロ) 配管の減肉評価結果に基づく耐震補強ケース 該当工事なし</p> <p>ハ) 上記のイ)，ロ) 以外の耐震補強ケース 該当工事なし</p> <p>【添付資料】</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ 2F4-耐震 5-①：「基準地震動 Ss 等に対する耐震補強工事一覧」 ・ 2F4-耐震 5-②：「基準地震動 Ss 等に対する耐震補強工事概要」 <p style="text-align: right;">以 上</p>	

基準地震動Ss等に対する耐震補強工事一覧

No.	対象設備	耐震強化工事概要	
1	原子炉建屋クレーン	落下防止ラグ構造変更，トロリストopp構造変更	
2	燃料取替機	横行用転倒防止金具構造変更，走行レール構造変更，ガード落下防止部材追加 等	
3	原子炉建屋天井トラス	斜材，補強材の追加	
4	配管	残留熱除去系	架構補強
		残留熱除去冷却系	架構補強，サポート取替，サポート撤去，サポート拘束方向変更
		残留熱除去冷却海水系	架構補強，サポート取替
		高圧炉心スプレイ系	架構補強
		低圧炉心スプレイ系	架構補強
		高圧炉心スプレイ補機冷却系	架構補強，サポート取替
		非常用補機冷却系	架構補強，サポート撤去，サポート拘束方向変更
		ほう酸水注入系	架構補強，サポート追加
		制御棒駆動水圧系	架構補強
		復水補給水系	架構補強
		燃料プール冷却浄化系	架構補強
可燃性ガス濃度制御系	架構補強		
非常用ガス処理系	架構補強		

基準地震動 S_s 等に対する耐震補強工事概要

(1) 原子炉建屋クレーン

落下防止ラグ及びトロリストッパの落下防止ラグは、ランウェイガード及びクレーン本体ガードの空間部分に潜り込む構造となっているため、クレーン浮き上がり量を考慮した構造に変更。



図1 原子炉建屋クレーン耐震補強工事概略図

(2) 燃料取替機

本体あるいはトロリに設置されている転倒防止金具の構造を変更（片ツメ→両ツメ）。走行レールを構造変更し、新規品と交換。ガード落下防止金具の追設を実施。また、走行レールの構造変更に伴い、リミットスイッチ移設等の付随作業を実施。

図2 燃料取替機耐震補強工事概略図

(3) 原子炉建屋天井トラス

主トラス及びつなぎ梁へ斜材，補強材を追加。

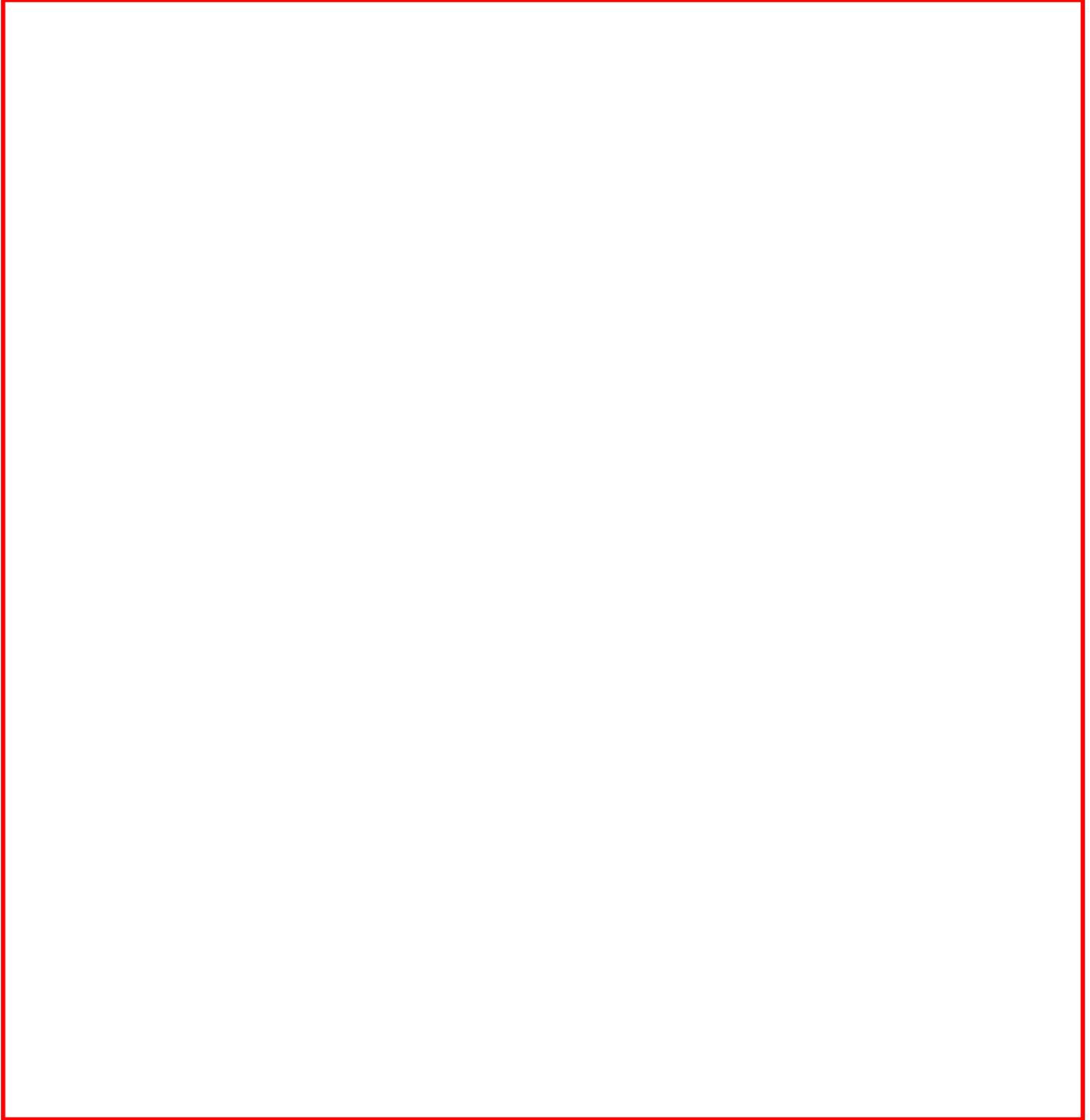


図 3 原子炉建屋天井トラス耐震補強工事概略図

内は商業機密に属しますので公開できません

(4) 配管サポート改造

以下の系統の耐震補強（配管サポート改造）を実施。（計 63 箇所）

残留熱除去系，残留熱除去冷却系，残留熱除去冷却海水系，
高圧炉心スプレイ系，低圧炉心スプレイ系，高圧炉心スプレイ補機冷却系，
非常用補機冷却系，ほう酸水注入系，制御棒駆動水圧系，復水補給水系，
燃料プール冷却浄化系，可燃性ガス濃度制御系，非常用ガス処理系

耐震補強を実施した系統のうち，最も補強箇所の多かった系統である残留熱除去冷却系について，補強箇所及び補強内容の概要を図 4 に示す。

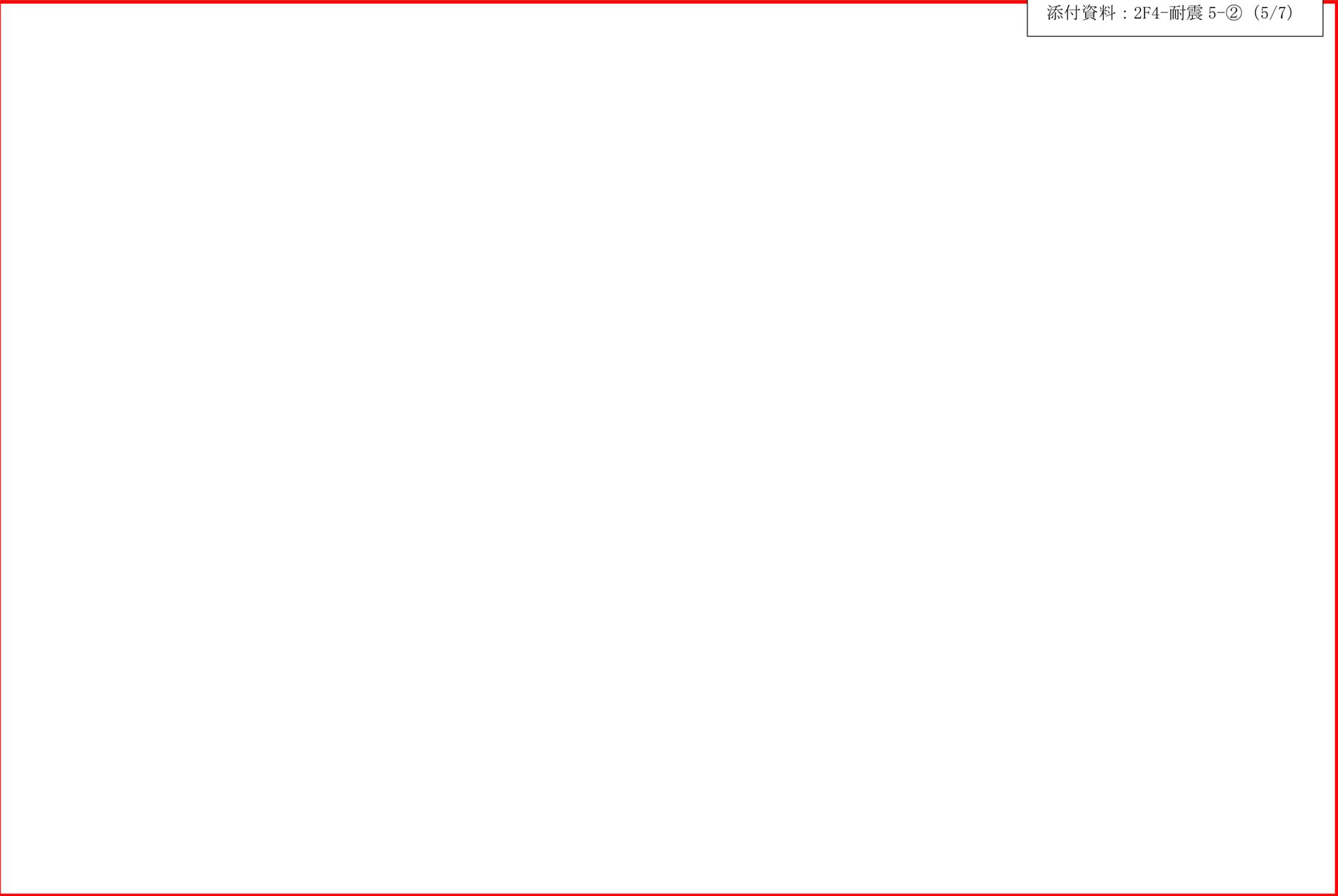
また，残留熱除去冷却系の各補強内容について，詳細な補強箇所の代表例を図 5 に示す。



内は商業機密に属しますので公開できません

図 4 残留熱除去冷却系耐震補強工事概略図

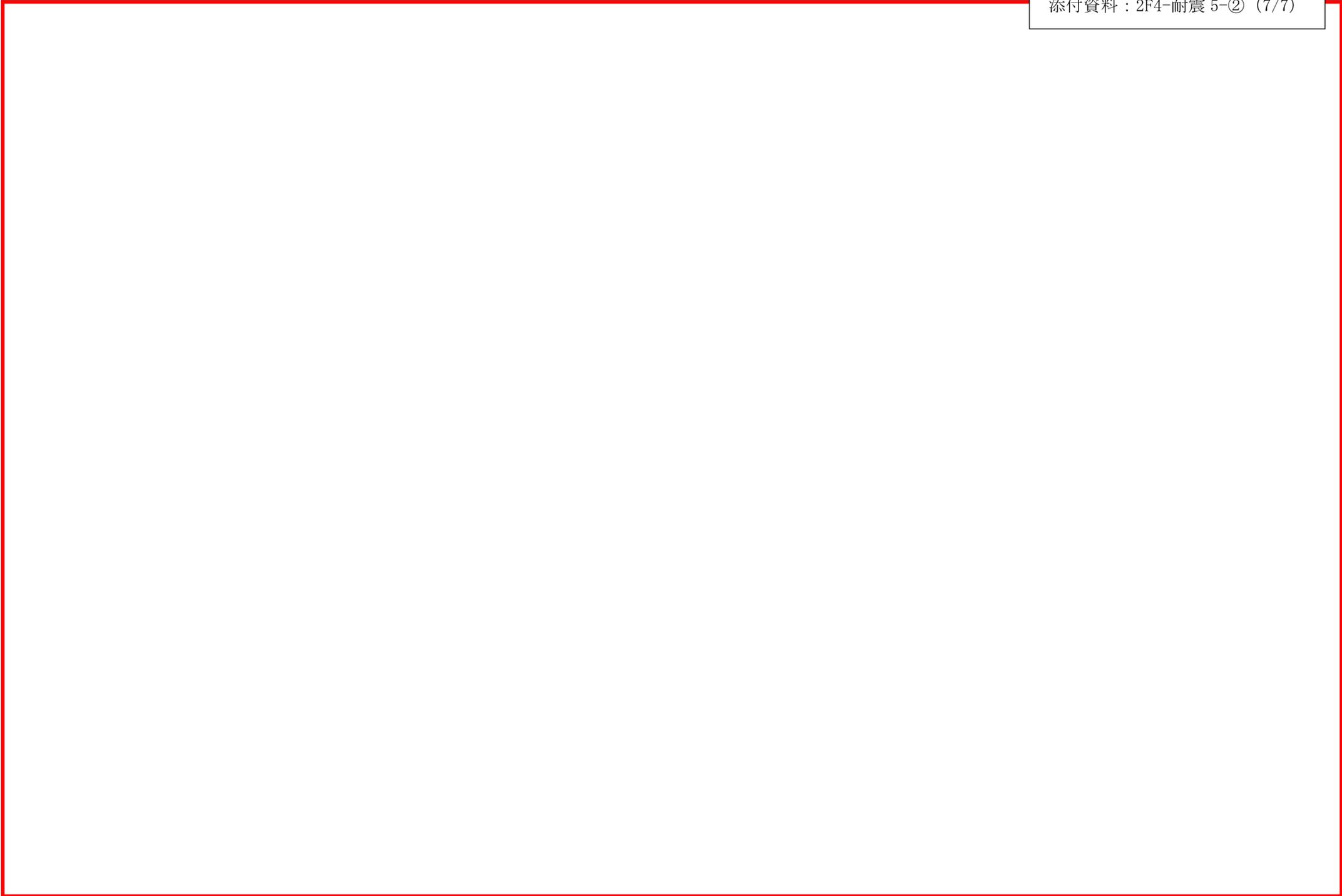
福島第二原子力発電所 4号機	
図名	残留熱除去機器冷却系 配管計装線図
図番	P48-1010
図番	10P059-186
SHEET NO.	1-135
東京電力株式会社	



 内は商業機密に属しますので公開できません

図 5 残留熱除去冷却系耐震補強工事例 (1/3)

内は商業機密に属しますので公開できません



内は商業機密に属しますので公開できません

図5 残留熱除去冷却系耐震補強工事例 (3/3)

No.	2F4-耐震 10	分類：耐震安全性評価（熱交換器）
タイトル	原子炉冷却材浄化系再生熱交換器の胴の腐食（全面腐食）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）について	
説明	<p>JEAG4601-1987に基づき，原子炉冷却材浄化系再生熱交換器の各部位（第1脚つけ根部，第2脚つけ根部）に対して胴の腐食（全面腐食）時に，地震を受けた場合の健全性の評価を実施した。以下に，その具体的内容を示す。</p> <p>1. 評価仕様</p> <p>(1) 機器構造</p> <p>原子炉冷却材浄化系再生熱交換器は，横置円筒形容器であり，3個の胴が架台に三段重ねられた構造となっている。各胴は2個の脚で支持され，脚はそれぞれ取付ボルトで架台に固定されている。ただし，2個の脚のうち第2脚は胴の長手方向について架台に対してスライドできる構造となっている。添付資料 2F4-耐震 10-①に原子炉冷却材浄化系再生熱交換器構造図を示す。</p> <p>(2) 解析モデルと計算条件</p> <p>本評価では，評価対象機器の胴部の腐食を想定しており，脚の胴へのつけ根部に作用する荷重により生じる局部応力について評価している。</p> <p>本評価対象の概略図，胴に生じるモーメント，脚が胴に及ぼす力の関係及び荷重状態を図 1-1～6 に示す。</p> <div style="display: flex; justify-content: space-around;"> <div data-bbox="467 1339 802 1608"> </div> <div data-bbox="991 1391 1294 1547"> </div> </div> <div style="display: flex; justify-content: space-around; margin-top: 20px;"> <div data-bbox="544 1637 730 1671"> <p>図 1-1 概略図</p> </div> <div data-bbox="916 1637 1369 1671"> <p>図 1-2 脚の位置での曲げモーメント</p> </div> </div> <div style="display: flex; justify-content: space-around; margin-top: 20px;"> <div data-bbox="395 1749 874 1877"> </div> <div data-bbox="1038 1697 1246 1883"> </div> </div> <div style="display: flex; justify-content: space-around; margin-top: 20px;"> <div data-bbox="389 1912 868 1984"> <p>図 1-3 長手方向荷重により胴が受ける局部モーメント</p> </div> <div data-bbox="911 1912 1362 1984"> <p>図 1-4 横方向荷重により胴が受ける局部モーメント</p> </div> </div>	

No.	2F4-耐震 10	分類：耐震安全性評価（熱交換器）
-----	-----------	------------------

説明
(続き)

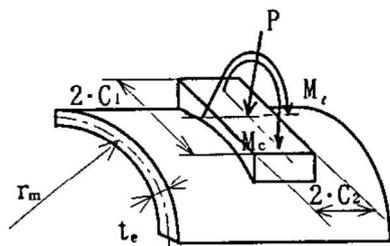


図 1-5 脚が胴に及ぼす力の関係

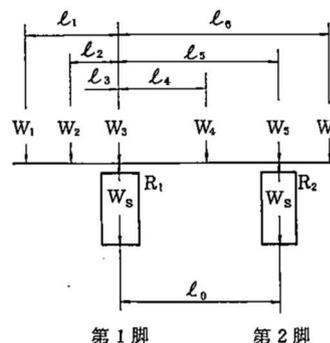


図 1-6 荷重状態

(3) 耐震条件

項目	記号	入力値	単位
耐震重要度	—	B	—
クラス区分	—	クラス 3	—
据付設置建屋	—	原子炉建屋	—
据付設置位置	—	O. P. 31,800*1	mm
水平方向固有周期	T		s
水平方向設計震度 (基準地震動 S_d)	C_H	0.40*3	—

*1：基準床レベルを示す

*2：建設時工認に記載の固有周期。「(5) 水平方向固有周期の設定方法」参照

*3：固有周期が柔であるため、固有周期に対する床応答スペクトルにおける水平震度の 1/2 を設計震度とする

(4) 評価概要

本評価では、JEAG4601-1987「6.6.3 B及びCクラス機器 (1)容器 e.横置円筒形容器」に示される応力の計算方法に基づき、評価部位（胴の脚つけ根部）への腐食を想定した場合の発生応力を評価している。

(5) 水平方向固有周期の設定方法

固有周期は、建設時工認において算出された値を採用している。

JEAG4601-1987「6.6.3 B及びCクラス機器 (1)容器 e.横置円筒形容器」では胴単体を 1 質点系モデルとして固有周期を算出するが、工認は胴、脚及び架台からなる系全体を多質点系モデルとして算出している。評価対象機器は図 1-1 に示す構造であることから、工認記載値の採用が妥当であると判断した。

JEAG4601-1987「6.6.3 B及びCクラス機器 (1)容器 e.横置円筒形容器」における固有周期計算モデル及び工認における固有周期計算モデルを、図 1-7、図 1-8 に示す。

内は商業機密に属しますので公開できません

説明
(続き)

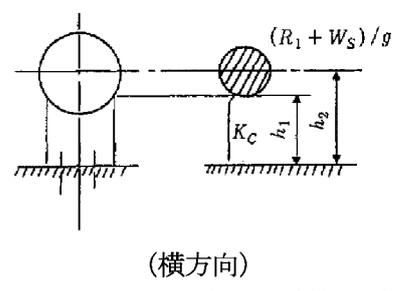
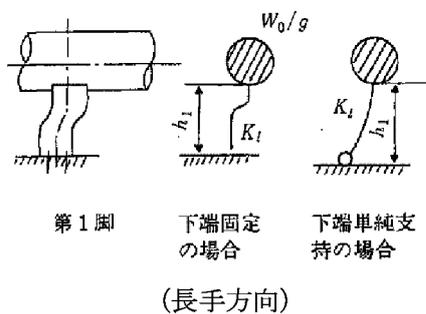


図 1-7 JEAQ の固有周期計算モデル

図 1-8 工認の固有周期計算モデル

(6) 評価条件

応力算出に用いた評価条件を以下に示す。

項目	記号	入力値	単位	備考
最高使用圧力	P_r	10.0	MPa	
最高使用温度	T_h	302	°C	
胴の内径（腐食前）	D_{i0}		mm	
胴の板厚（腐食前）	t_0		mm	
内面腐食量	δ	0.8	mm	
胴の内径（腐食後）	D_i		mm	$D_{i0} + \delta \times 2$
胴の板厚（腐食後）	t		mm	$t_0 - \delta$
胴の外径	D_o		mm	$D_{i0} + t_0 \times 2$
第1脚つけ根部における胴の外径半径	r_o		mm	$D_i / 2 + t_e$
第1脚つけ根部における胴の有効板厚	t_e		mm	胴の板厚 t
第1脚つけ根部における胴の平均半径	r_m		mm	$(D_i + t_e) / 2$
第1脚の重量	m_{s1}		kg	
容器の運転時重量	m_0		kg	
静荷重 1	m_1		kg	
静荷重 2	m_2		kg	

内は商業機密に属しますので公開できません

No.	2F4-耐震 10	分類：耐震安全性評価（熱交換器）				
説明 (続 き)	項目	記号	入力値	単位	備考	
	静荷重 3	m_3		kg		
	静荷重 4	m_4		kg		
	静荷重 5	m_5		kg		
	静荷重 6	m_6		kg		
	第 1 脚から各荷重までの距離	l_1		mm		
	第 1 脚から各荷重までの距離	l_2		mm		
	第 1 脚から各荷重までの距離	l_3		mm		
	第 1 脚から各荷重までの距離	l_4		mm		
	第 1 脚から各荷重までの距離	l_5		mm		
	第 1 脚から各荷重までの距離	l_6		mm		
	脚中心間距離	l_0		mm		
	重力加速度	g		9.80665	m/s^2	
	第 1 脚部における胴の運転時重量によるモーメント	M_1			$N \cdot mm$	
	第 1 脚の受ける重量	R_1	N			
	架台の取付部から脚の胴つけ根部までの高さ	h_1	mm			
	架台の取付部から胴の中心までの高さ	h_2	mm			
	脚の胴つけ根部のアタッチメントの幅の 1/2 (胴の横方向)	C_1	mm			
	脚の胴つけ根部のアタッチメントの幅の 1/2 (胴の長手方向)	C_2	mm			
	第 1 脚下端の支持条件*1	—	—			
*1：脚を架台に固定する取付ボルトが、脚の変形方向に直角な方向より見て脚 1 個につき 1 列の場合は下端を単純支持とする。その他の場合は固定とする						
参考文献 (1) によるアタッチメントパラメータの計算値を以下に示す。						
項目	記号	入力値	単位		備考*1	
シェルパラメータ	γ		—	r_m/t_e		
アタッチメントパラメータ	β_1		—	C_1/r_m		
	β_2		—	C_2/r_m		
	β_ϕ		—	$(\beta_1 \cdot \beta_2)^{(1/3)}$		
	β_c		—	$(\beta_1^2 \cdot \beta_2)^{(1/3)}$		
	$\beta_{N\phi}$		—	$\{1-1/3 \cdot (\beta_1/\beta_2-1)(1-K_1^{N\phi})\} \cdot (\beta_1 \cdot \beta_2)^{(1/2)}$		
	β_{Nx}		—	$\{1-1/3 \cdot (\beta_1/\beta_2-1)(1-K_1^{Nx})\} \cdot (\beta_1 \cdot \beta_2)^{(1/2)}$		
*1：各応力計算で用いるアタッチメントパラメータの計算式を記載						

内は商業機密に属しますので公開できません

No.	2F4-耐震 10	分類：耐震安全性評価（熱交換器）			
説明 (続 き)	シェルパラメータ及びアタッチメントパラメータから参考資料(1)より得た値を以下に示す。				
	項目	記号	入力値	単位	備考*1
	WRC によるアタッチメントパラメータ $\beta_{N\phi}$ の周方向の補正係数	$K_I^{N\phi}$		—	Table 6
	WRC によるアタッチメントパラメータ β_{Nx} の軸方向の補正係数	K_I^{Nx}		—	Table 6
	WRC による周方向曲げモーメント M_c に対する周方向一次応力補正係数	$C_c^{N\phi}$		—	Table 7
	WRC による周方向曲げモーメント M_c に対する軸方向一次応力補正係数	C_c^{Nx}		—	Table 7
	WRC による長手方向曲げモーメント M_θ に対する周方向一次応力補正係数	$C_\theta^{N\phi}$		—	Table 8
	WRC による長手方向曲げモーメント M_θ に対する軸方向一次応力補正係数	C_θ^{Nx}		—	Table 8
	WRC による周方向曲げモーメント M_c による周方向一次応力係数	$[N_\phi / (M_c / r_m^2 \beta_c)]$		—	Fig. 3A
	WRC による周方向曲げモーメント M_c による軸方向一次応力係数	$[N_x / (M_c / r_m^2 \beta_c)]$		—	Fig. 4A
	WRC による長手方向曲げモーメント M_θ による周方向一次応力係数	$[N_\phi / (M_\theta / r_m^2 \beta_\theta)]$		—	Fig. 3B
	WRC による長手方向曲げモーメント M_θ による軸方向一次応力係数	$[N_x / (M_\theta / r_m^2 \beta_\theta)]$		—	Fig. 4B
	WRC による胴の脚つけ根部に作用する反力 P による周方向一次応力係数	$[N_\phi / (P / r_m)]$		—	Fig. 3C*2
	WRC による胴の脚つけ根部に作用する反力 P による軸方向一次応力係数	$[N_x / (P / r_m)]$		—	Fig. 3C*2
	WRC による胴の脚つけ根部に作用する反力 P による周方向一次応力係数	$[N_\phi / (P / r_m)]$		—	Fig. 4C*2
WRC による胴の脚つけ根部に作用する反力 P による軸方向一次応力係数	$[N_x / (P / r_m)]$		—	Fig. 4C*2	
*1：参考文献(1)より得られる値の読み取り元である図表番号を記載					
*2：Fig. 3C と Fig. 4C を比較して、それぞれ大きな係数を採用					

 内は商業機密に属しますので公開できません

No.	2F4-耐震 10	分類：耐震安全性評価（熱交換器）
説明 (続 き)	<p data-bbox="359 324 518 353">2. 応力評価</p> <p data-bbox="375 365 550 394">(1) 胴の応力</p> <p data-bbox="406 405 662 434">① 脚の受ける重量</p> <p data-bbox="454 448 1404 517">脚にかかる質量は、モーメントの釣合より求める。図 1-3 において第 1 脚まわりのモーメントの釣合より次式が成り立つ。</p> $\sum_{i=1}^6 m_i g l_i - R_2 l_0 = 0$ <p data-bbox="486 616 1204 645">したがって、脚の受ける質量は、次式によって与えられる。</p> $R_2 = \sum_{i=1}^6 m_i g l_i / l_0$ $R_1 = \sum_{i=1}^6 m_i g - R_2$ <p data-bbox="406 884 662 913">② 曲げモーメント</p> <p data-bbox="486 925 1236 954">図 1-6 に示すように胴は集中荷重を受けるはりとして考える。</p> <p data-bbox="454 965 1404 1034">図 1-2 において脚つけ根部における曲げモーメント M_1、M_2 は、次式によって与えられる。</p> $M_1 = \sum_{i=1}^2 m_i g l_i $ $M_2 = m_6 g l_6 - l_0 $ <p data-bbox="375 1220 630 1249">(2) 内圧による応力</p> <p data-bbox="454 1261 1093 1290">内圧による応力 $\sigma_{\phi 1}$、σ_{x1} は以下の式によって求まる。</p> $\sigma_{\phi 1} = \frac{P_r (D_i + 1.2t)}{2t}$ $\sigma_{x1} = \frac{P_r (D_i + 1.2t)}{4t}$	

No.	2F4-耐震 10	分類：耐震安全性評価（熱交換器）
-----	-----------	------------------

説明
(続 き)

(3) 運転時重量により生じる長手方向曲げモーメントによる応力

脚つけ根の部分における曲げモーメントにより生じる応力は、次のように求める。参考文献(2)によると、曲げモーメントは胴の断面に対して一様に作用するものではなく、脚取付部において円周方向の曲げモーメントに置換され、胴の局部変形を生じさせようとする。

今、長手方向の曲げモーメントによる胴の応力の影響範囲を脚上 $\theta_0/6$ の点とすると、長手方向曲げモーメントに対する胴の有効断面積は、図 1-9 に 2θ で示される円殻となる。したがって、応力は次式で表される。

$$\sigma_{x2} = \frac{M_1}{Z}$$

ここで、

$$r_m = \frac{D_i + t_e}{2}$$

$$Z = r_m^2 t_e \left(\frac{\theta + \sin \theta \cos \theta - 2 \sin^2 \theta / \theta}{\sin \theta / \theta - \cos \theta} \right)$$

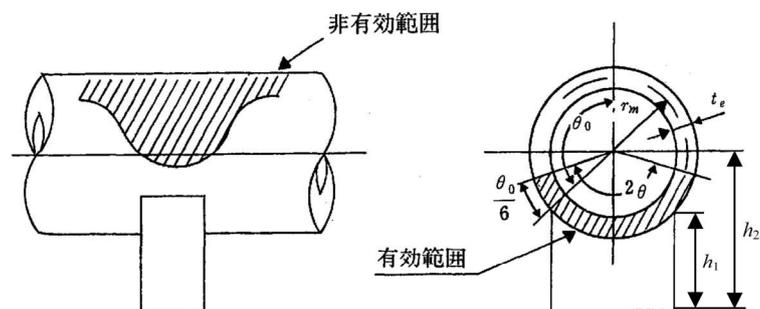


図 1-9 脚つけ根部の有効範囲

(4) 運転時重量による脚つけ根部の応力解析モデルと計算条件

胴の脚つけ根部には、脚反力による局部応力が生じる。胴の第 1 脚つけ根部に作用する反力は、次式で表される。

$$P = R_1$$

この反力 P により生じる胴の局部応力は、次式で表される。

$$\sigma_{\phi 3} = \left[\frac{N_{\phi}}{P/r_m} \right] \left(\frac{P}{r_m t_e} \right)$$

$$\sigma_{x3} = \left[\frac{N_x}{P/r_m} \right] \left(\frac{P}{r_m t_e} \right)$$

No.	2F4-耐震 10	分類：耐震安全性評価（熱交換器）
説明 (続 き)	<p data-bbox="379 324 890 358">(5) 長手方向地震による脚つけ根部の応力</p> <p data-bbox="432 365 1406 479">第2脚は、長手方向に自由にスライドできるので第1脚は図 1-3 のように変形し、また、脚下端が であることから、脚つけ根部に生じる曲げモーメント及び鉛直荷重（偶力）は次式により与えられる。</p> $M_{\ell} = C_H (m_0 - m_{s1}) g h_1$ $P_{\ell} = C_H (m_0 - m_{s1}) g \frac{h_2}{\ell_0}$ <p data-bbox="432 665 1406 736">曲げモーメント M_{ℓ} と鉛直荷重 P_{ℓ} により生じる胴の局部応力は参考文献(1)より求められる。曲げモーメント M_{ℓ} により生じる応力は</p> $\sigma_{\phi 41} = \left[\frac{N_{\phi}}{M_{\ell} / (r_m^2 \beta_{\ell})} \right] \left(\frac{M_{\ell}}{r_m^2 \beta_{\ell} t_e} \right) C_{\ell}^{N\phi}$ $\sigma_{x 41} = \left[\frac{N_x}{M_{\ell} / (r_m^2 \beta_{\ell})} \right] \left(\frac{M_{\ell}}{r_m^2 \beta_{\ell} t_e} \right) C_{\ell}^{Nx}$ <p data-bbox="456 1025 842 1059">鉛直荷重 P_{ℓ} により生じる応力は</p> $\sigma_{\phi 42} = \left[\frac{N_{\phi}}{P_{\ell} / r_m} \right] \left(\frac{P_{\ell}}{r_m t_e} \right)$ $\sigma_{x 42} = \left[\frac{N_x}{P_{\ell} / r_m} \right] \left(\frac{P_{\ell}}{r_m t_e} \right)$ <p data-bbox="432 1267 1406 1339">ここで、鉛直荷重 P_{ℓ} による一次応力係数は、(4)の反力 P による一次応力係数と同様の値を用いる。</p> <p data-bbox="456 1350 1278 1384">また、水平方向荷重により胴には下記式で表される引張力が生じる。</p> $\sigma_{x 43} = \frac{C_H (m_0 - m_{s1}) g}{\pi (D_i + t) t}$ <p data-bbox="432 1520 1406 1592">したがって、曲げモーメント M_{ℓ}、鉛直力 P_{ℓ} 及び水平方向荷重により生じる胴の応力は次式の通り。</p> $\sigma_{\phi 4} = \sigma_{\phi 41} + \sigma_{\phi 42}$ $\sigma_{x 4} = \sigma_{x 41} + \sigma_{x 42} + \sigma_{x 43}$ <p data-bbox="432 1733 1406 1805">また、長手方向の地震が作用した場合、第1脚つけ根部に生じるせん断応力は次式の通り。</p> $\tau_{\ell} = \frac{C_H (m_0 - m_{s1}) g}{4 C_2 t}$	

内は商業機密に属しますので公開できません

No.	2F4-耐震 10	分類：耐震安全性評価（熱交換器）
説明 (続 き)	<p data-bbox="379 324 861 358">(6) 横方向地震による脚つけ根部の応力</p> <p data-bbox="427 365 1406 439">横方向の地震が作用した場合、第1脚のつけ根部に生じる曲げモーメント M_c は次式の通り。</p> $M_c = C_H R_1 r_o$ <p data-bbox="427 528 1406 602">この曲げモーメント M_c により生じる胴の局部応力は、参考文献(1)により求められる。</p> $\sigma_{\phi s} = \left[\frac{N_{\phi}}{M_c / (r_m^2 \beta_c)} \right] \left(\frac{M_c}{r_m^2 \beta_c t_e} \right) C_c^{N\phi}$ $\sigma_{x s} = \left[\frac{N_x}{M_c / (r_m^2 \beta_c)} \right] \left(\frac{M_c}{r_m^2 \beta_c t_e} \right) C_c^{Nx}$ <p data-bbox="427 862 1406 936">また、横方向に地震が作用した場合、第1脚つけ根部に生じるせん断応力は次式の通り。</p> $\tau_c = \frac{C_H R_1}{4 C_1 t}$ <p data-bbox="379 1064 566 1097">(7) 組合せ応力</p> <p data-bbox="427 1104 1406 1178">(2)～(6)によって算出された第1脚つけ根部に生じる胴の応力は、以下により組合せられる。</p> <p data-bbox="400 1187 647 1220">① 一次一般膜応力</p> <p data-bbox="443 1227 863 1261">(a) 長手方向地震が作用した場合</p> $\sigma_{0\ell} = \text{Max}(\sigma_{0\ell\phi}, \sigma_{0\ell x})$ <p data-bbox="501 1317 587 1350">ここで、</p> $\sigma_{0\ell\phi} = \sigma_{\phi 1}$ $\sigma_{0\ell x} = \sigma_{x 1} + \sigma_{x 2} + \sigma_{x 43}$ <p data-bbox="443 1489 836 1523">(b) 横方向地震が作用した場合</p> $\sigma_{0c} = \text{Max}(\sigma_{0c\phi}, \sigma_{0cx})$ <p data-bbox="501 1579 587 1612">ここで、</p> $\sigma_{0c\phi} = \sigma_{\phi 1}$ $\sigma_{0cx} = \sigma_{x 1} + \sigma_{x 2}$	

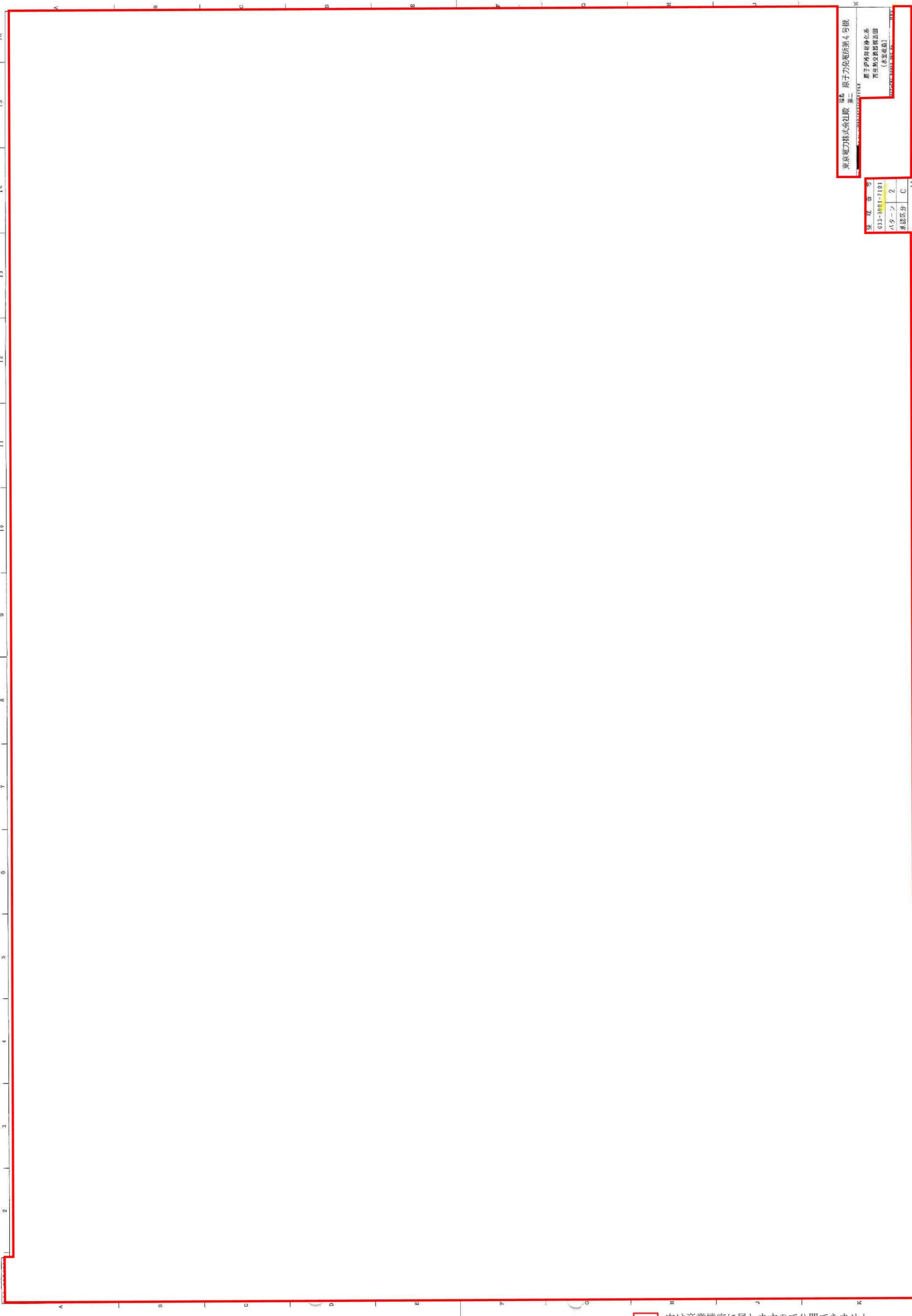
No.	2F4-耐震 10	分類：耐震安全性評価（熱交換器）								
<p>説明 (続き)</p>	<p>したがって、胴に生じる一次一般膜応力の最大値は次式の通り。 $\sigma_0 = \text{Max}(\sigma_{0\ell}, \sigma_{0c})$</p> <p>② 一次応力 (a) 長手方向地震が作用した場合 $\sigma_{1\ell} = \frac{1}{2} \left\{ (\sigma_{1\ell\phi} + \sigma_{1\ell x}) + \sqrt{(\sigma_{1\ell\phi} - \sigma_{1\ell x})^2 + 4\tau_\ell^2} \right\}$ ここで、 $\sigma_{1\ell\phi} = \sigma_{\phi 1} + \sigma_{\phi 3} + \sigma_{\phi 4}$ $\sigma_{1\ell x} = \sigma_{x 1} + \sigma_{x 2} + \sigma_{x 3} + \sigma_{x 4}$</p> <p>(b) 横方向地震が作用した場合 $\sigma_{1c} = \frac{1}{2} \left\{ (\sigma_{1c\phi} + \sigma_{1cx}) + \sqrt{(\sigma_{1c\phi} - \sigma_{1cx})^2 + 4\tau_c^2} \right\}$ ここで、 $\sigma_{1c\phi} = \sigma_{\phi 1} + \sigma_{\phi 3} + \sigma_{\phi 5}$ $\sigma_{1cx} = \sigma_{x 1} + \sigma_{x 2} + \sigma_{x 3} + \sigma_{x 5}$</p> <p>したがって、胴に生じる一次一般膜応力の最大値は次式の通り。 $\sigma_1 = \text{Max}(\sigma_{1\ell}, \sigma_{1c})$</p> <p>3. 評価結果 (1) 応力計算について 「2. 応力評価」における計算によって求められた算出応力を以下に示す。</p> <p>① 胴に生じる応力の最大値</p> <p style="text-align: right;">単位：MPa</p> <table border="1" data-bbox="469 1424 1358 1550"> <thead> <tr> <th>許容応力状態</th> <th>応力</th> <th>算出応力</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td rowspan="2">BAS</td> <td>一次一般膜 σ_0</td> <td>101</td> </tr> <tr> <td>一次 σ_1</td> <td>115</td> </tr> </tbody> </table>		許容応力状態	応力	算出応力	BAS	一次一般膜 σ_0	101	一次 σ_1	115
許容応力状態	応力	算出応力								
BAS	一次一般膜 σ_0	101								
	一次 σ_1	115								

No.	2F4-耐震 10	分類：耐震安全性評価（熱交換器）			
説明 (続 き)	② 設計震度による応力の組合せ				
	(a) 一次一般膜応力				
単位：MPa					
地震の方向	長手方向		横方向		
応力の方向	周方向	軸方向	周方向	軸方向	
内圧による応力	$\sigma_{\phi 1} =$ []	$\sigma_{x1} =$ []	$\sigma_{\phi 1} =$ []	$\sigma_{x1} =$ []	
運転時質量による 長手方向曲げモー メントによる応力	-	$\sigma_{x2} =$ []	-	$\sigma_{x2} =$ []	
地震によ る応力	引張	$\sigma_{x43} =$ []	-	-	
和	$\sigma_{0\ell\phi} =$ []	$\sigma_{0\ell x} =$ []	$\sigma_{0c\phi} =$ []	$\sigma_{0c} =$ []	
組合せ応力	$\sigma_{0\ell} = 101$		$\sigma_{0c} = 101$		
(b) 一次応力					
単位：MPa					
地震の方向	長手方向		横方向		
応力の方向	周方向	軸方向	周方向	軸方向	
内圧による応力	$\sigma_{\phi 1} =$ []	$\sigma_{x1} =$ []	$\sigma_{\phi 1} =$ []	$\sigma_{x1} =$ []	
運転時質量による 長手方向曲げモー メントによる応力	-	$\sigma_{x2} =$ []	-	$\sigma_{x2} =$ []	
運転時質量による 脚反力による応力	$\sigma_{\phi 3} =$ []	$\sigma_{x3} =$ []	$\sigma_{\phi 3} =$ []	$\sigma_{x3} =$ []	
地震によ る応力	引張	$\sigma_{\phi 41} =$ []	$\sigma_{x41} =$ []	$\sigma_{\phi 5} =$ []	
			$\sigma_{x42} =$ []		$\sigma_{x5} =$ []
		$\sigma_{\phi 42} =$ []	$\sigma_{x43} =$ []		
	せん断	$\tau_{\ell} =$ []		$\tau_c =$ []	
和	$\sigma_{1\ell\phi} =$ []	$\sigma_{1\ell x} =$ []	$\sigma_{1c\phi} =$ []	$\sigma_{1c} =$ []	
組合せ応力	$\sigma_{1\ell} = 115$		$\sigma_{1c} =$ []		

[]内は商業機密に属しますので公開できません

No.	2F4-耐震 10	分類：耐震安全性評価（熱交換器）																																									
説明 (続き)	<p>(2) 許容応力について JEAG4601-1987「表 6.3.3-8 容器、管、及びポンプの許容応力 第4種容器」に基づき、許容応力を算出する。以下に、算出に用いる算出条件及び算出結果を示す。</p> <p>① 許容応力の算出条件</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>項目</th> <th>記号</th> <th>入力値</th> <th>単位</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>胴材料</td> <td>—</td> <td>SB49</td> <td>—</td> </tr> <tr> <td>最高使用温度</td> <td>—</td> <td>302</td> <td>℃</td> </tr> <tr> <td>胴材料の設計降伏点</td> <td>S_y</td> <td></td> <td>MPa</td> </tr> <tr> <td>胴材料の設計引張強さ</td> <td>S_u</td> <td></td> <td>MPa</td> </tr> </tbody> </table> <p>② 許容応力の算出結果</p> <p style="text-align: right;">単位：MPa</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>許容応力状態</th> <th>一次一般膜</th> <th>一次</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>$B_A S$</td> <td>Min ($S_y, 0.6S_u$)</td> <td>S_y</td> </tr> <tr> <td></td> <td>198</td> <td>198</td> </tr> </tbody> </table> <p>(3) 結論 上記の結果から、原子炉冷却材浄化系再生熱交換器の胴に発生する応力が許容応力を満足することを確認した。</p> <p style="text-align: right;">単位：MPa</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>許容応力状態</th> <th>応力</th> <th>算出応力</th> <th>許容応力</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td rowspan="2">$B_A S$</td> <td>一次一般膜</td> <td>101</td> <td>198</td> </tr> <tr> <td>一次</td> <td>115</td> <td>198</td> </tr> </tbody> </table> <p>4. 添付資料 (1) 2F4-耐震 10-①「原子炉冷却材浄化系再生熱交換器 構造図」 (2) 2F4-耐震 10-②「水平方向設計震度の設定方法」</p> <p>5. 参考文献 (1) Wichman, K.R. et al. : Local Stresses in Spherical and Cylindrical Shells due to External Loadings, Welding Research Council bulletin, March 1979 revision of WRC bulletin 107/August 1965. (2) Stresses in Large Horizontal Cylindrical Pressure Vessels on Two Saddle Supports, Welding Research Supplement, Sep. 1951.</p> <p style="text-align: right;">以上</p>			項目	記号	入力値	単位	胴材料	—	SB49	—	最高使用温度	—	302	℃	胴材料の設計降伏点	S_y		MPa	胴材料の設計引張強さ	S_u		MPa	許容応力状態	一次一般膜	一次	$B_A S$	Min ($S_y, 0.6S_u$)	S_y		198	198	許容応力状態	応力	算出応力	許容応力	$B_A S$	一次一般膜	101	198	一次	115	198
項目	記号	入力値	単位																																								
胴材料	—	SB49	—																																								
最高使用温度	—	302	℃																																								
胴材料の設計降伏点	S_y		MPa																																								
胴材料の設計引張強さ	S_u		MPa																																								
許容応力状態	一次一般膜	一次																																									
$B_A S$	Min ($S_y, 0.6S_u$)	S_y																																									
	198	198																																									
許容応力状態	応力	算出応力	許容応力																																								
$B_A S$	一次一般膜	101	198																																								
	一次	115	198																																								

 内は商業機密に属しますので公開できません



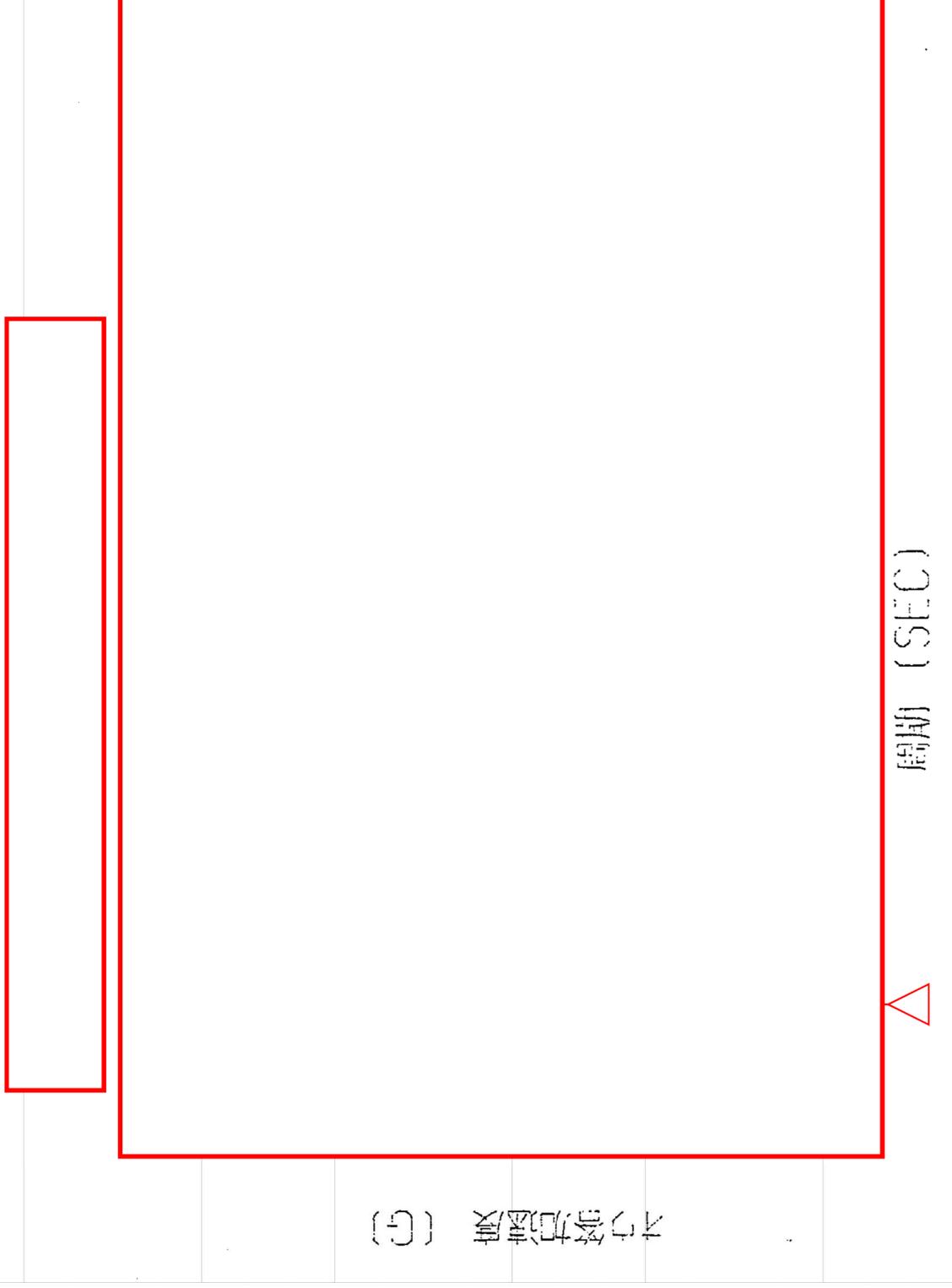
東京電力株式会社 福島第二 原子力発電所第4号機

原子炉冷却炉格納容器
再稼働設備配置図
[水室配置]

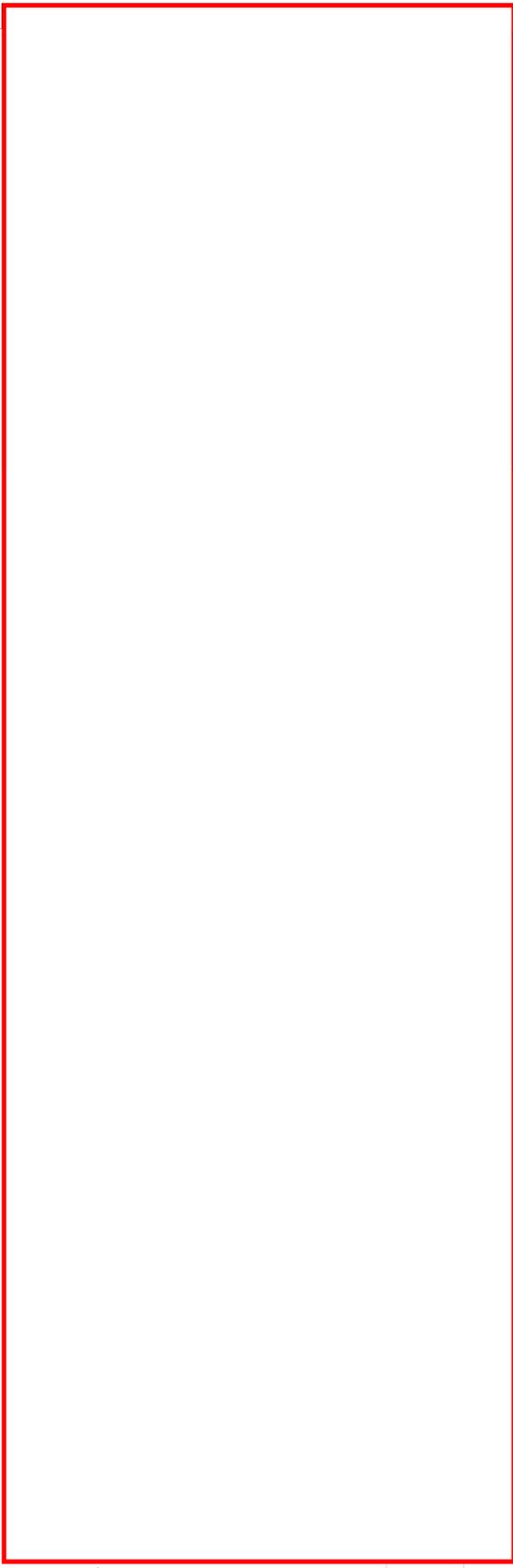
発注番号	933-3001-7101
ページ	2
表紙区分	C

水平方向設計震度の設定方法（基準地震動 S1）（1 / 2）

図-16.(a) RESPONSE ACCELERATION SPECTRUM



水平方向設計震度の設定方法（基準地震動 S1）（2 / 2）



	床応答スペクトルのデジタル値（原子炉建屋，OP 31.800mm）
	<u>表-22.(a)</u>

<原子炉冷却材浄化系再生熱交換器の水平方向設計震度の設定>

機器の固有周期は s であるが，床応答スペクトルのデジタル値には s に対する震度の記載がないため，補間計算により震度を算出する。

s の前後の固有周期における震度は，固有周期 s のとき，震度 固有周期 s のとき，震度 したがって，固有周期 s に対する震度は となる。

また，原子炉冷却材浄化系再生熱交換器は耐震クラス B であるため，JEA64601-1987 に基づき，機器の固有周期における震度を 1/2 倍した値を評価に用いることから， ÷ 2 = ≒ 0.40（小数点第 3 位を切上げ）したがって，原子炉冷却材浄化系再生熱交換器の水平方向設計震度を 0.40 とする。