

No.	2F4-耐震 6_Rev. 3	分類：耐震安全性評価（共通）																														
タイトル	<p>高経年化対策上着目すべき経年劣化事象でない事象として、「③現在までの運転経験や使用条件から得られた材料試験データとの比較等により、運転を断続的に行うことを前提とした場合には経年劣化の進展が考えられるが、冷温停止状態が維持されることを前提とした場合には経年劣化の進展が考えられない、または進展傾向が極めて小さいと考えられる経年劣化事象」の区分（耐震安全性評価の対象とし、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象として扱うもの）を適用しない理由について</p>																															
説明	<p>福島第二4号炉の高経年化技術評価においては、冷温停止を前提とした評価を実施しており、経年劣化事象の進展するものは進展するものとして評価し、経年劣化事象の進展しないものは進展しないものとして評価している。</p> <p>従って、冷温停止状態が維持されることを前提とした場合には経年劣化の進展が考えられない、または進展傾向が極めて小さいと考えられる経年劣化事象の区分（耐震安全性評価の対象とし、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象として扱うもの）は適用していない。</p> <p>以下に、経年劣化の進行の有無と実際の評価期間の関係図の概略を示す。</p> <table border="1" data-bbox="338 1061 1404 1895"> <thead> <tr> <th data-bbox="338 1061 491 1211">冷温停止状態での劣化状況</th> <th data-bbox="491 1061 683 1211">劣化事象 (対象機器)</th> <th data-bbox="683 1061 871 1211">評価期間</th> <th data-bbox="871 1061 1098 1211">東北地方 太平洋沖地震 平成 23 年 3 月 11 日</th> <th data-bbox="1098 1061 1251 1211">現時点 平成 27 年 8 月 25 日</th> <th data-bbox="1251 1061 1404 1211">運転開始後 40 年時点 平成 39 年 8 月 25 日</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td data-bbox="338 1211 491 1377">進展する</td> <td data-bbox="491 1211 683 1377">炭素鋼製機器・配管等の腐食（熱交換器，RPV 等）</td> <td data-bbox="683 1211 871 1377">実際に評価した期間 要求される評価期間</td> <td colspan="3" data-bbox="871 1211 1404 1377"> </td> </tr> <tr> <td data-bbox="338 1377 491 1704">進展しない</td> <td data-bbox="491 1377 683 1543">過度回数を使用する評価（炉内，RPV，配管等）</td> <td data-bbox="683 1377 871 1543">実際に評価した期間 要求される評価期間</td> <td colspan="3" data-bbox="871 1377 1404 1543"> </td> </tr> <tr> <td data-bbox="338 1543 491 1704">進展しない</td> <td data-bbox="491 1543 683 1704">中性子照射（炉内，RPV）</td> <td data-bbox="683 1543 871 1704">実際に評価した期間 要求される評価期間</td> <td colspan="3" data-bbox="871 1543 1404 1704"> </td> </tr> <tr> <td data-bbox="338 1704 491 1895">進展しない</td> <td data-bbox="491 1704 683 1895">IASCC の亀裂進展（炉内上部格子板）</td> <td data-bbox="683 1704 871 1895">実際に評価した期間 要求される評価期間</td> <td colspan="3" data-bbox="871 1704 1404 1895"> </td> </tr> </tbody> </table>		冷温停止状態での劣化状況	劣化事象 (対象機器)	評価期間	東北地方 太平洋沖地震 平成 23 年 3 月 11 日	現時点 平成 27 年 8 月 25 日	運転開始後 40 年時点 平成 39 年 8 月 25 日	進展する	炭素鋼製機器・配管等の腐食（熱交換器，RPV 等）	実際に評価した期間 要求される評価期間				進展しない	過度回数を使用する評価（炉内，RPV，配管等）	実際に評価した期間 要求される評価期間				進展しない	中性子照射（炉内，RPV）	実際に評価した期間 要求される評価期間				進展しない	IASCC の亀裂進展（炉内上部格子板）	実際に評価した期間 要求される評価期間			
冷温停止状態での劣化状況	劣化事象 (対象機器)	評価期間	東北地方 太平洋沖地震 平成 23 年 3 月 11 日	現時点 平成 27 年 8 月 25 日	運転開始後 40 年時点 平成 39 年 8 月 25 日																											
進展する	炭素鋼製機器・配管等の腐食（熱交換器，RPV 等）	実際に評価した期間 要求される評価期間																														
進展しない	過度回数を使用する評価（炉内，RPV，配管等）	実際に評価した期間 要求される評価期間																														
進展しない	中性子照射（炉内，RPV）	実際に評価した期間 要求される評価期間																														
進展しない	IASCC の亀裂進展（炉内上部格子板）	実際に評価した期間 要求される評価期間																														

No.	2F4-耐震 6_Rev. 3	分類：耐震安全性評価（共通）
説明 (続き)	<p>また、配管減肉については安定停止期間中に進展しない事象であるが、評価上は保守的に40年時点まで事象が進展するものとして評価を行っている。</p> <p>なお、炉内構造物（上部格子版）の照射誘起型応力腐食割れ（IASCC）の評価では、中性子照射量が亀裂発生のしきい値を超えた時点から運開後 40 年目までとしているが、しきい値を超過した時点から震災時点まではプラント運転中の亀裂進展が支配的であるためプラント運転中のみ亀裂が進展し、震災時点から 40 年時点まではプラント停止期間が長期になることから、保守的に全期間亀裂が進展するものとしている。</p> <p style="text-align: right;">以上</p>	

No.	2F4-耐震 8_Rev. 2	分類：耐震安全性評価（共通）
タイトル	安定停止の維持状態で動的機能維持が必要となる機器とその理由、並びに個別機器ごとの動的機能維持評価の記載方針について	
説明	<p>原子炉の安定停止を維持するため、原子炉冷却材バウンダリの維持や炉心からの崩壊熱の除去等に関する機能は必要であることから、地震時または地震後に動作可能なことを確認するため動的機能維持評価を行う。</p> <p>安定停止維持設備のうち、動的機能維持評価の必要な対象設備は「原子力発電所耐震設計技術指針 重要度分類・許容応力編（JEAG4601・補-1984）」を参考に抽出している。主な評価対象機器を添付資料 2F4-耐震 8-①_Rev. 2 に示す。</p> <p>個別機器ごとの動的機能維持の評価では、動的機能維持が必要な機器に対して、発生の可能性が否定できないと評価される経年劣化事象について、以下のいずれかの評価結果により機器の地震時の動的機能が維持されることを確認している。</p> <ul style="list-style-type: none"> ① 技術評価での検討の結果、現在発生しているか、または将来にわたって起こることが否定できない事象であるが、機器の振動応答特性または構造強度への影響が軽微もしくは無視できること。 ② 運転開始後 40 年時点の経年劣化を考慮した耐震安全性評価を実施し、地震時または地震後の動的機能に影響を与えないこと。 <p>添付資料 (1) 2F4-耐震 8-①_Rev. 2 「安定停止維持状態における動的機能維持評価の対象機器 Rev. 2」</p> <p style="text-align: right;">以 上</p>	

安定停止維持状態における動的機能維持評価の対象機器 Rev.2

No.	評価理由	動的機能維持評価の主な評価対象機器	主な評価部位と経年劣化事象	事象区分	
1	RPVバウンダリを構成する弁のうち、その健全性を維持するため	主蒸気系弁	①弁箱の疲労割れ ②弁箱等の腐食（流れ加速型腐食） ③電動弁用駆動部の固定子コイル、口出線・接続部品等の絶縁特性低下 ④炭素鋼配管の腐食（流れ加速型腐食）※2	①◎※1 ②■ ③耐震安全性に影響を与えないことが自明な経年劣化事象 ④◎※3	
2		給水系弁			
3		原子炉冷却材浄化系弁			
4	炉心から崩壊熱を除去するため	高圧炉心スプレイ系弁	①弁箱等の腐食（流れ加速型腐食） ②電動弁用駆動部の固定子コイル、口出線・接続部品等の絶縁特性低下	①■ ②耐震安全性に影響を与えないことが自明な経年劣化事象	
6		低圧炉心スプレイ系弁			
8		残留熱除去系弁			
5		高圧炉心スプレイ系ポンプ			①主軸等の摩耗 ②主軸等の腐食（孔食、隙間腐食）
7		低圧炉心スプレイ系ポンプ			
9		残留熱除去系ポンプ			
10		非常用補機冷却水ポンプ			
11		非常用ディーゼル機関（A、B号機）	①シリンダヘッド等の腐食（全面腐食） ②燃料移送ポンプモータの固定子コイル及び口出線・接続部品等の絶縁特性低下	①■ ②耐震安全性に影響を与えないことが自明な経年劣化事象	
12		HPCSディーゼル機関			
13		非常用ディーゼル機関（A、B号機）付属設備			
14		HPCSディーゼル機関付属設備			
15		放射性物質の放出を伴うような事故の際に、その外部拡散を抑制するため	残留熱除去系弁	①弁箱等の腐食（流れ加速型腐食） ②電動弁用駆動部の固定子コイル、口出線・接続部品等の絶縁特性低下	①■ ②耐震安全性に影響を与えないことが自明な経年劣化事象
16			残留熱除去系ポンプ	①主軸等の摩耗 ②主軸等の腐食（孔食、隙間腐食）	①■ ②■
19			非常用補機冷却水ポンプ	①弁（電動弁駆動部）のステムナット及びギアの摩耗 ②プロ用モータの固定子コイル及び口出線・接続部品等の絶縁特性低下	①■ ②耐震安全性に影響を与えないことが自明な経年劣化事象
17	可燃性ガス濃度制御系設備				
18	非常用ガス処理系換気ファン		①ファンモータの固定子コイル及び口出線・接続部品等の絶縁特性低下	①耐震安全性に影響を与えないことが自明な経年劣化事象	
20	非常用ディーゼル機関（A、B号機）		①シリンダヘッド等の腐食（全面腐食） ②燃料移送ポンプモータの固定子コイル及び口出線・接続部品等の絶縁特性低下	①■ ②耐震安全性に影響を与えないことが自明な経年劣化事象	
21	HPCSディーゼル機関				
22	非常用ディーゼル機関（A、B号機）付属設備				
23	HPCSディーゼル機関付属設備				
24	使用済み燃料プール水を補給するため		残留熱除去系弁	①弁箱等の腐食（流れ加速型腐食） ②電動弁用駆動部の固定子コイル、口出線・接続部品等の絶縁特性低下	①■ ②耐震安全性に影響を与えないことが自明な経年劣化事象
25		残留熱除去系ポンプ	①主軸等の摩耗 ②主軸等の腐食（孔食、隙間腐食）	①■ ②■	

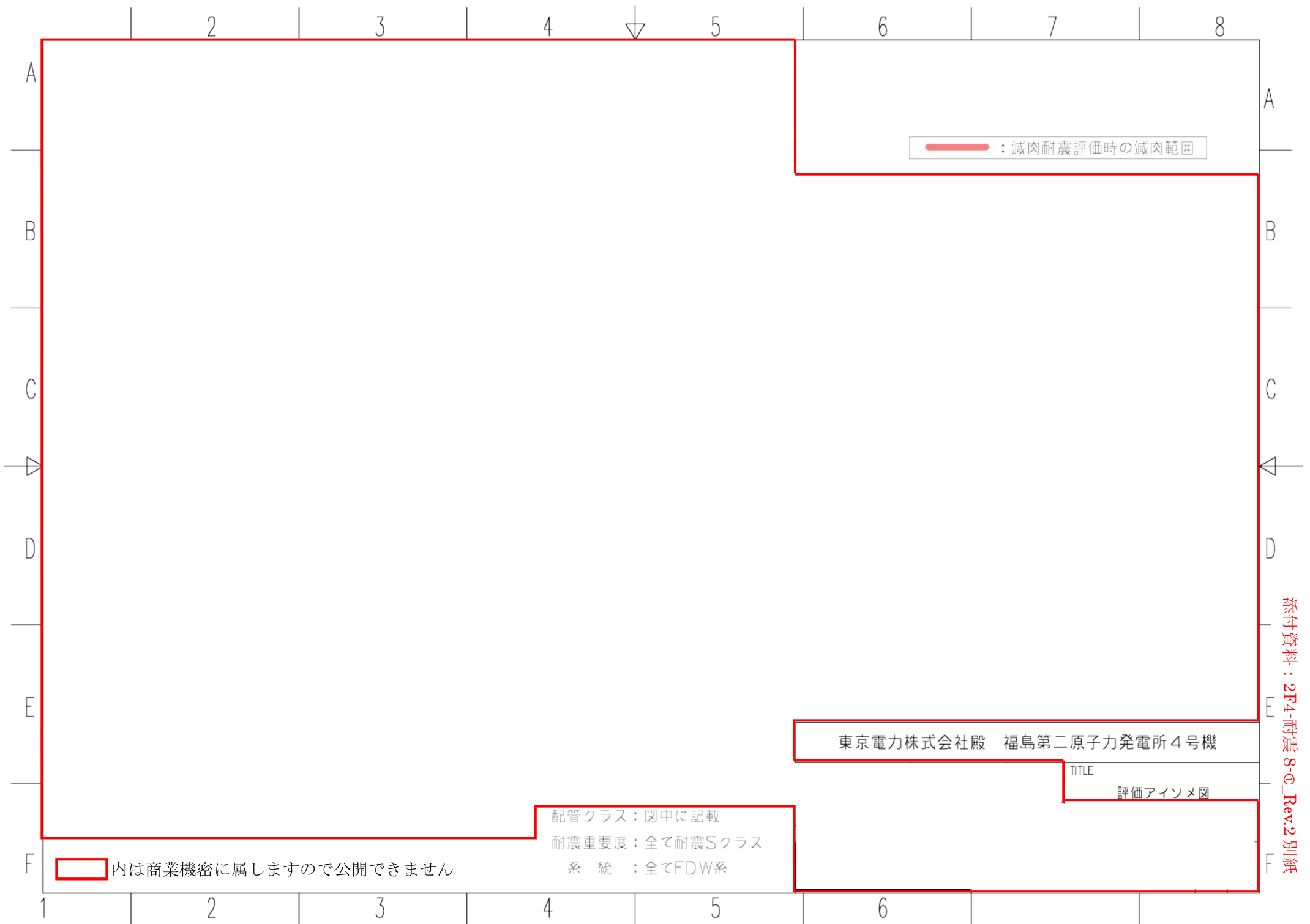
◎：機器の振動応答特性または構造強度への影響が軽微もしくは無視できない事象

■：機器の振動応答特性または構造強度への影響が軽微もしくは無視できる事象

※1：弁箱の疲労割れは、耐震安全性上考慮する必要がある経年劣化事象であるが、疲れ累積係数が許容値を満足しており疲労割れは発生しないため、振動応答特性に影響を与える経年劣化事象ではないことを確認している。

※2：炭素鋼配管の腐食（流れ加速型腐食）は、静的機器の経年劣化事象であるが、動的機能維持評価の対象機器に影響を与える可能性があることから抽出する。

※3：炭素鋼配管の腐食（流れ加速型腐食）は、耐震安全性上考慮する必要がある経年劣化事象であるが、配管に接続される動的機能維持評価の対象弁の応答加速度が機能確認済み応答加速度以下であることを別紙に示す通り確認しており、動的機能に影響を与える経年劣化事象ではないことを確認している。



— : 減肉耐震評価時の減肉範囲

東京電力株式会社 福島第二原子力発電所 4号機

TITLE
評価アイコンメ図

内は商業機密に属しますので公開できません

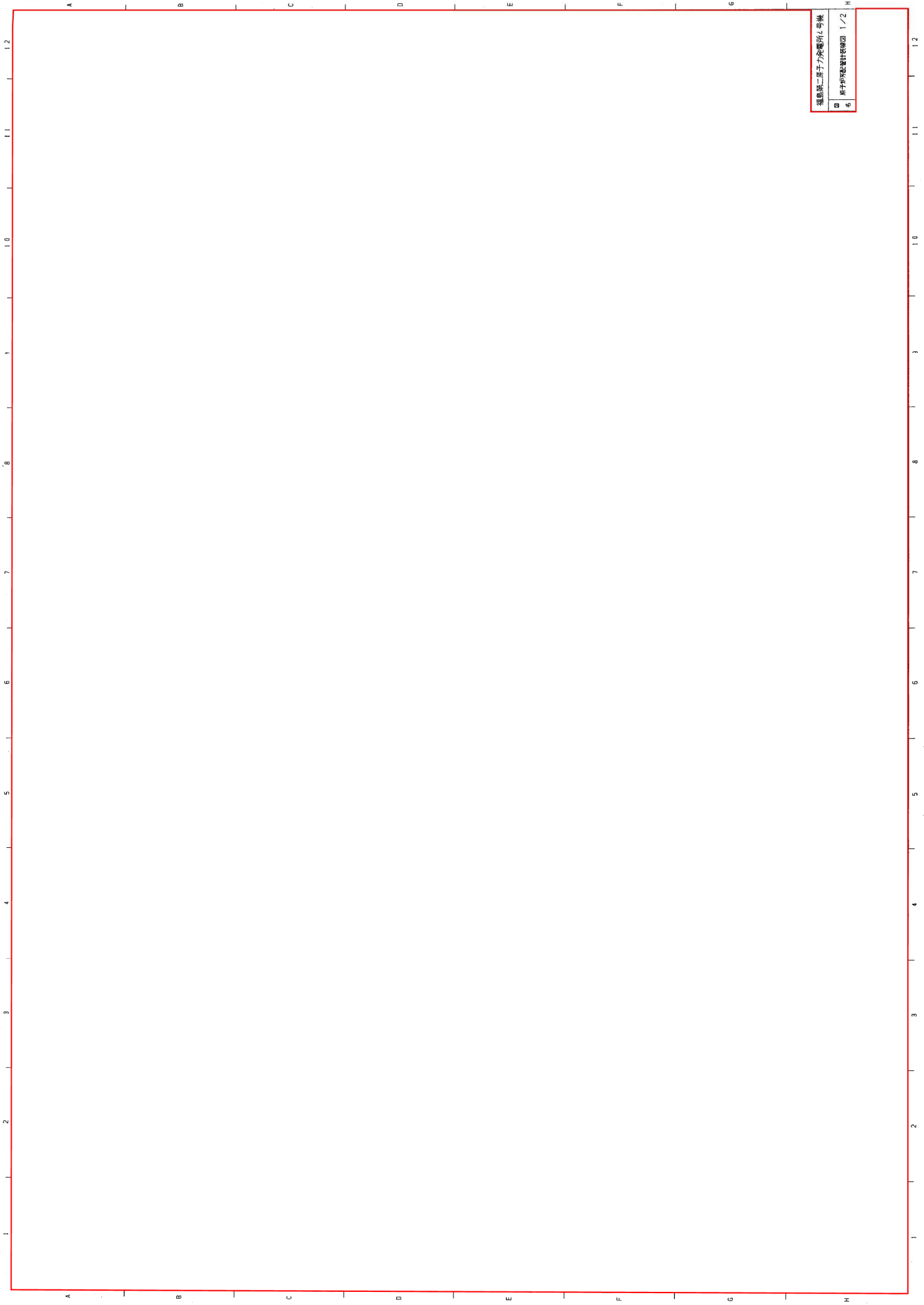
配管クラス：図中に記載
耐震重要度：全て耐震Sクラス
系統：全てFDW系

添付資料：2F4-耐震 8-0_Rev.2別紙

No.	2F4-耐震 11_Rev. 1	分類：耐震安全性評価（配管）						
タイトル	炭素鋼配管の腐食（流れ加速型腐食（FAC））に対する評価の具体的内容について							
説明	<p>炭素鋼配管の腐食（流れ加速型腐食（FAC））に対する評価の具体的内容を以下に示す。</p> <p>1. 評価仕様</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ 適用地震動：基準地震動 S_s ($S_s-1\sim 3$)，基準地震動 S_1（建設時） ・ 減衰定数：JEAC4601-2008 に基づく（ただし，基準地震動 S_1 は 0.5 % に適合しないものは一律 1.0 % を適用） ・ 評価用肉厚：必要最小肉厚 <p>2. 解析モデル及び系統毎のモデル数</p> <p>3次元多質点梁モデルによるスペクトルモーダル解析にて評価を実施した。なお，系統毎のモデル数は下表となる（添付資料 2F4-耐震 11-①参照）。</p> <p style="text-align: center;">表 1 系統毎のモデル数</p> <table border="1" data-bbox="588 1227 1179 1397"> <thead> <tr> <th>系統</th> <th>モデル名</th> <th>モデル数</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>給水系</td> <td style="border: 2px solid red;"></td> <td>3</td> </tr> </tbody> </table> <p>3. ラインの抽出根拠及び減肉の種別</p> <p>安定停止維持に必要な設備の中で，以下の条件に適合するラインを評価対象とした。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ 材質：炭素鋼（対策材やライニング配管を除く） ・ 運転状態：常時運転（安定停止中において配管内部に流体が流れている運転状態） ・ 管理ランク：FAC-2，FAC-S（発電用原子力設備規格 配管減肉管理に関する技術規格（JSME S NH1-2006）に基づく） ・ 流体状態：高温（95℃以上）または高圧（1.9 MPa 以上） <p>4. 評価対象としたラインに係る耐震重要度区分ごとの対象及び評価対象部位</p> <p>クラス区分，耐震重要度区分の範囲及び評価対象部位については，添付資料 2F4-耐震 11-②の通りとなる。</p>		系統	モデル名	モデル数	給水系		3
系統	モデル名	モデル数						
給水系		3						

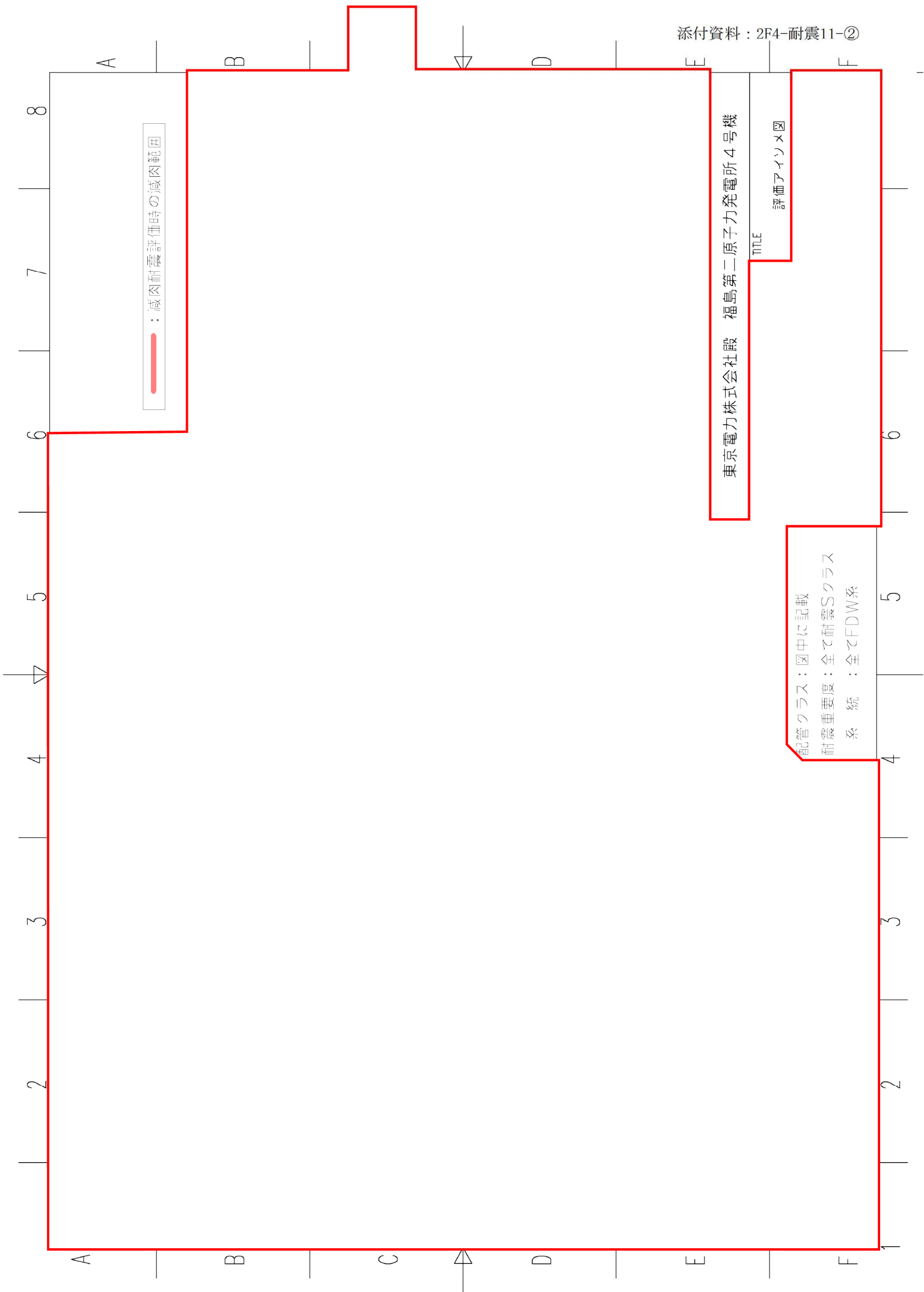
内は商業機密に属しますので公開できません

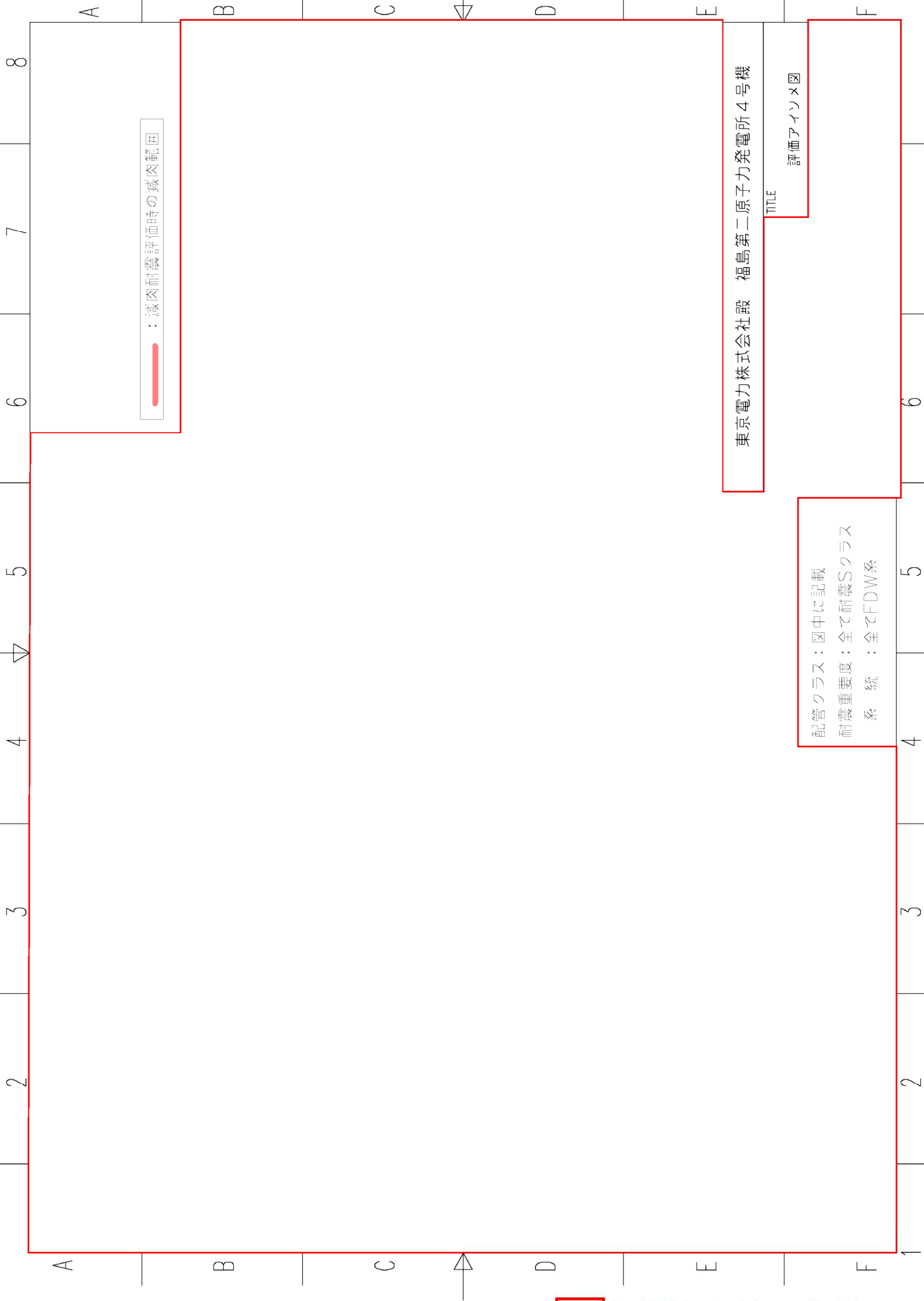
No.	2F4-耐震 11_Rev. 1	分類：耐震安全性評価（配管）				
<p>説明 (続き)</p>	<p>5. 評価結果</p> <p>評価対象ラインの応力評価の結果を整理した応力値一覧を、添付資料 2F4-耐震 11-③に示す。なお、耐震安全性評価書では、応力値一覧で整理した応力比（発生応力値/許容応力値）が最も大きい評価点の値を記載している。</p> <p>また、耐震安全性評価書に記載している応力評価結果と評価点の位置情報との関係を、添付資料 2F4-耐震 11-②にて以下のように示す。</p> <p>○：一次応力，○：一次+二次応力</p> <table border="1" data-bbox="422 645 1142 680"> <thead> <tr> <th>評価条件</th> <th>クラス区分</th> <th>許容応力状態</th> <th>発生応力/許容応力</th> </tr> </thead> </table> <p>なお、応力評価の傾向分析結果を、添付資料 2F4-耐震 11-④に示す。</p> <p>6. 添付資料</p> <p>(1) 2F4-耐震 11-①「評価対象 P&ID」</p> <p>(2) 2F4-耐震 11-②「給水系（FDW）モデル図」</p> <p>(3) 2F4-耐震 11-③「減肉耐震評価結果（応力値一覧表）」</p> <p>(4) 2F4-耐震 11-④「減肉耐震評価結果比較表」</p> <p style="text-align: right;">以上</p>		評価条件	クラス区分	許容応力状態	発生応力/許容応力
評価条件	クラス区分	許容応力状態	発生応力/許容応力			



福島第二原子力発電所1号機	
③	原子炉設備設計仕様図 1/2

福島第二原子力発電所4号機	
図	図水、給水配管仕様図
e	3 / 4





：減肉耐震評価時の減肉範囲

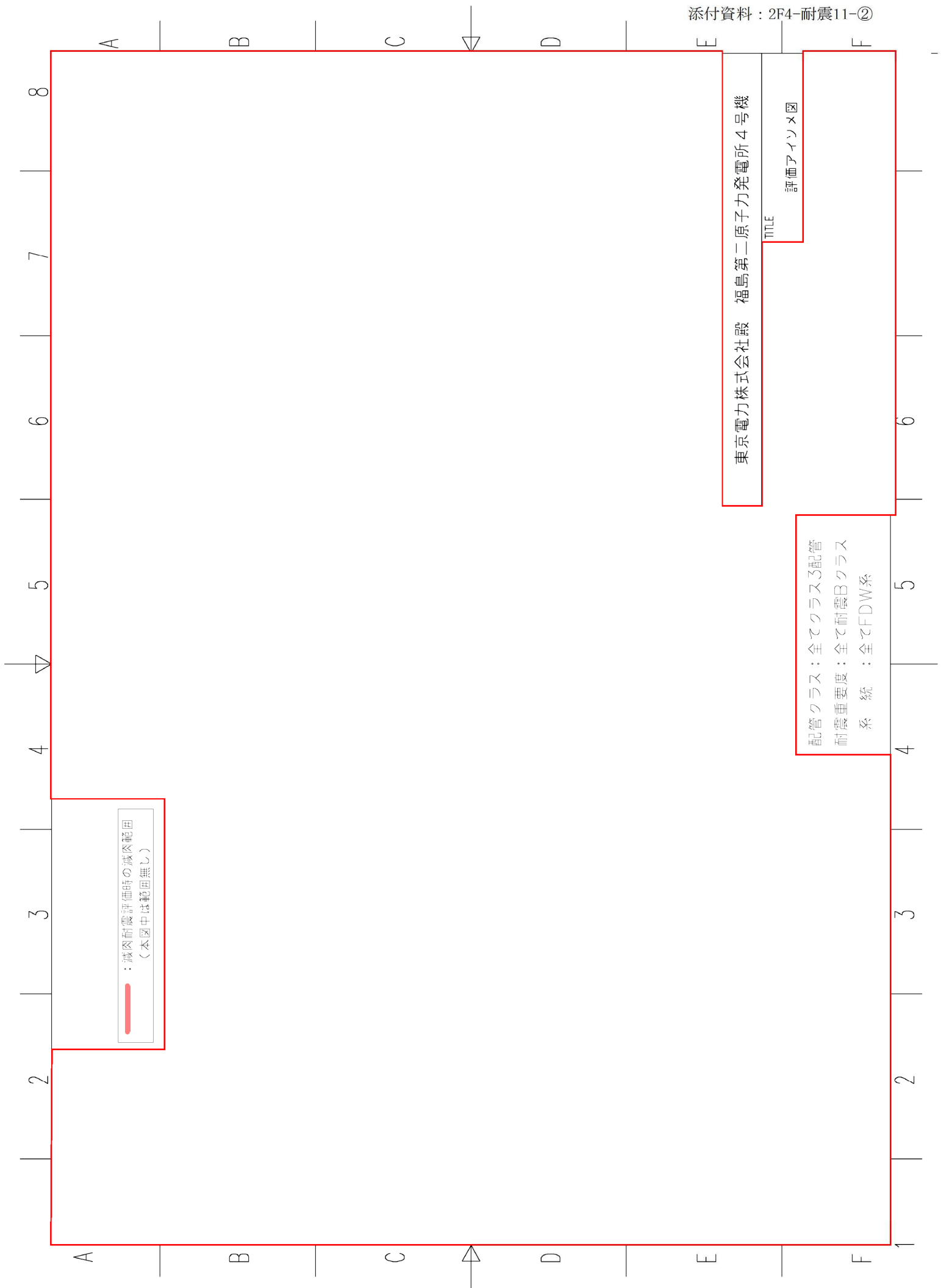
東京電力株式会社 福島第二原子力発電所4号機

TITLE

評価アイコン図

配管クラス：図中に記載
 耐震重要度：全て耐震Sクラス
 系統：全てFDW系

内は商業機密に属しますので公開できません

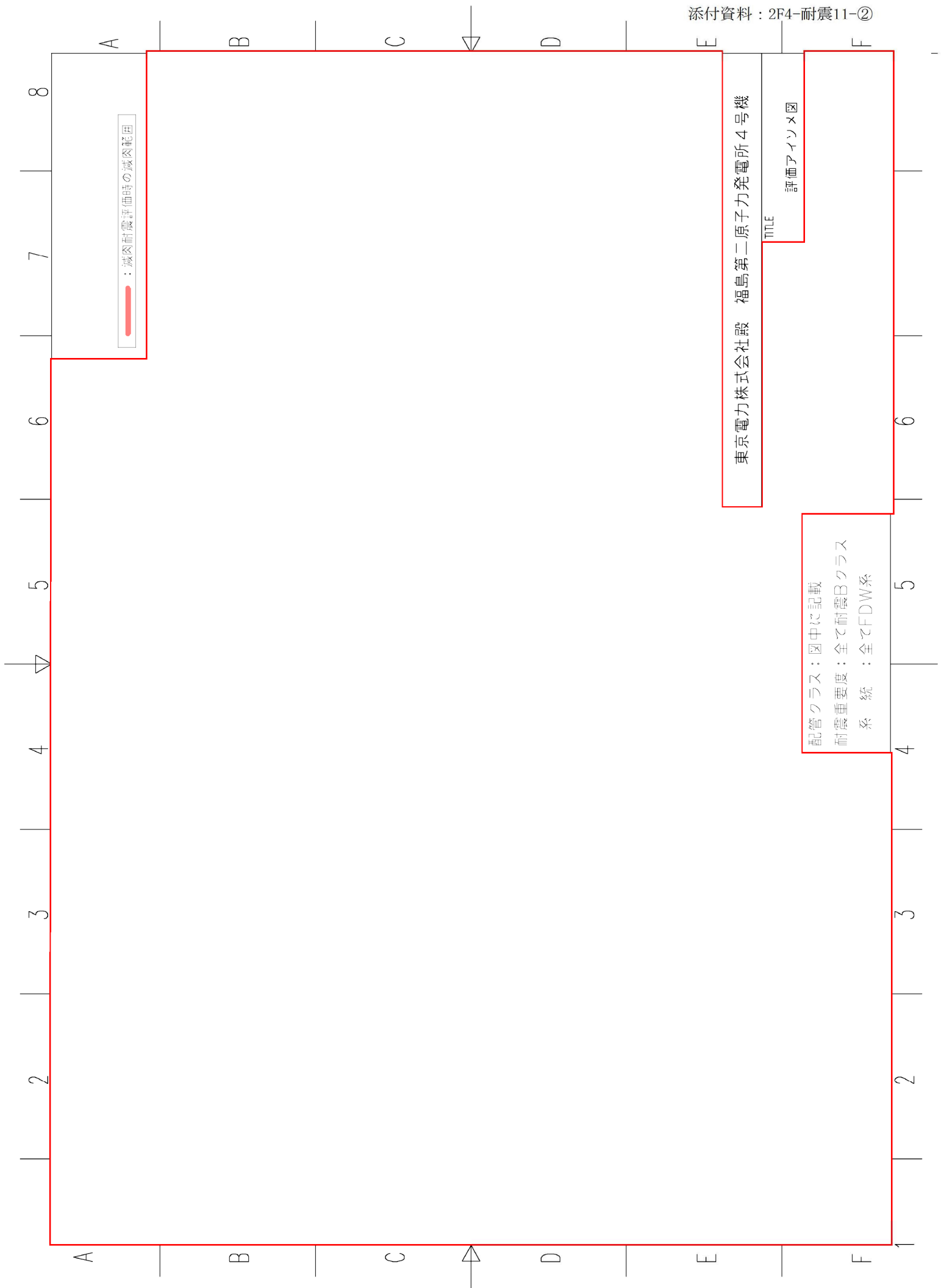


：減肉耐震評価時の減肉範囲
(本図中は範囲無し)

東京電力株式会社 福島第二原子力発電所4号機

TITLE
評価アイコン図

配管クラス：全てクラス3配管
耐震重要度：全て耐震Bクラス
系統：全てFDW系



：減肉耐震評価時の減肉範囲

東京電力株式会社 福島第二原子力発電所4号機

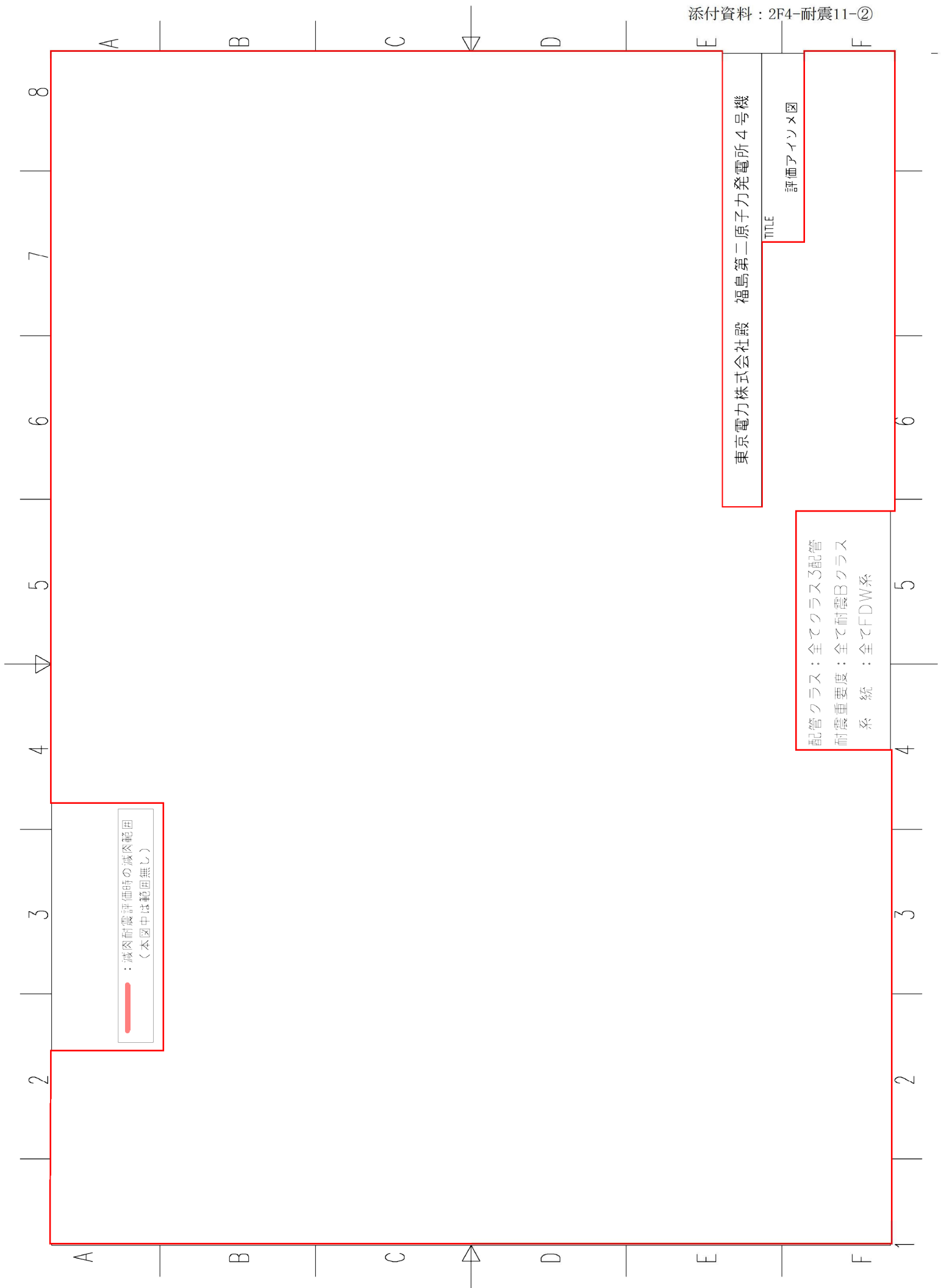
TITLE

評価アイコン図

配管クラス：図中に記載

耐震重要度：全て耐震Bクラス

系統：全てFDW系




 : 減肉耐震評価時の減肉範囲
 (本図中は範囲無し)

東京電力株式会社 福島第二原子力発電所4号機

TITLE

評価アイコン図

配管クラス：全てクラス3配管
 耐震重要度：全て耐震Bクラス
 系統：全てFDW系

2F-4PLM減肉耐震評価結果（応力値一覧表）

安定停止維持バウンダリ内
FDWモデルについて解析結果の比較を行う。

[比較結果]

許容応力状態Ⅲ_AS(Cs),一次応力の解析結果を以下に示す。

評価箇所	機器区分	耐震クラス	t _{sr} ^{*2}		40年		応力比 ^{*3}		順位		
			評価点番号 ^{*1}	最大発生応力(MPa)	許容応力(MPa)	評価点番号 ^{*1}	最大発生応力(MPa)	許容応力(MPa)	t _{sr}	40年	t _{sr}
[]	77S1	S	[]	73	310	-	-	0.24	-	C1-S-1	-
	77S2	S	[]	90	209	-	-	0.43	-	C2-S-1	-
	77S1	S	[]	73	310	-	-	0.24	-	C1-S-1	-
	77S2	S	[]	90	209	-	-	0.43	-	C2-S-1	-

- *1：評価点は最大発生応力点を示す
- *2：t_{sr}（必要最小肉厚）による解析結果を示す
- *3：応力比は最大発生応力/許容応力を示す

許容応力状態Ⅲ_AS(Cs),一次+二次応力の解析結果を以下に示す。

評価箇所	機器区分	耐震クラス	t _{sr} ^{*2}		40年		応力比 ^{*3}		順位		
			評価点番号 ^{*1}	最大発生応力(MPa)	許容応力(MPa)	評価点番号 ^{*1}	最大発生応力(MPa)	許容応力(MPa)	t _{sr}	40年	t _{sr}
[]	77S1	S	[]	117	414	-	-	0.28	-	C1-S-1	-
	77S2	S	[]	69	418	-	-	0.17	-	C2-S-1	-
	77S1	S	[]	[]	[]	-	-	[]	-	[]	-
	77S2	S	[]	69	418	-	-	0.17	-	C2-S-1	-

- *1：評価点は最大発生応力点を示す
- *2：t_{sr}（必要最小肉厚）による解析結果を示す
- *3：応力比は最大発生応力/許容応力を示す

許容応力状態Ⅳ_AS(0s),一次応力の解析結果を以下に示す。

評価箇所	機器区分	耐震クラス	t _{sr} ^{*2}		40年		応力比 ^{*3}		順位		
			評価点番号 ^{*1}	最大発生応力(MPa)	許容応力(MPa)	評価点番号 ^{*1}	最大発生応力(MPa)	許容応力(MPa)	t _{sr}	40年	t _{sr}
[]	77S1	S	[]	77	414	-	-	0.19	-	C1-S-1	-
	77S2	S	[]	94	380	-	-	0.25	-	C2-S-1	-
	77S1	S	[]	77	414	-	-	0.19	-	C1-S-1	-
	77S2	S	[]	94	380	-	-	0.25	-	C2-S-1	-

- *1：評価点は最大発生応力点を示す
- *2：t_{sr}（必要最小肉厚）による解析結果を示す
- *3：応力比は最大発生応力/許容応力を示す

2F-4PLM減肉耐震評価結果（応力値一覧表）

安定停止維持バウナダリ内
FDW系モデルについて解析結果の比較を行う。

[比較結果]

許容応力状態IV_AS(Ds), 一次+二次応力の解析結果を以下に示す。

評価箇所	機器区分	耐震クラス	tsr ^{*2}			40年			応力比 ^{*3}		順位	
			評価点番号 ^{*1}	最大発生応力(MPa)	許容応力(MPa)	評価点番号 ^{*1}	最大発生応力(MPa)	許容応力(MPa)	tsr	40年	tsr	40年
[Redacted]	77S1	S	[Redacted]	142	414	-	-	-	0.34	-	-	C1-S-1
	77S2	S	[Redacted]	74	418	-	-	-	0.18	-	-	C2-S-1
	77S1	S	[Redacted]			-	-	-		-	-	[Redacted]
	77S2	S	[Redacted]			-	-	-		-	-	[Redacted]

*1：評価点は最大発生応力点を示す

*2：tsr（必要最小肉厚）による解析結果を示す

*3：応力比は最大発生応力/許容応力を示す

許容応力状態B_AS(Cs), 一次応力の解析結果を以下に示す。

評価箇所	機器区分	耐震クラス	tsr ^{*2}			40年			応力比 ^{*3}		順位	
			評価点番号 ^{*1}	最大発生応力(MPa)	許容応力(MPa)	評価点番号 ^{*1}	最大発生応力(MPa)	許容応力(MPa)	tsr	40年	tsr	40年
[Redacted]	77S2	B ^{*4}	[Redacted]	83	209	-	-	-	0.40	-	-	C2-B-1
	77S2	B ^{*5}	[Redacted]	83	209	-	-	-	0.40	-	-	C2-B-1

*1：評価点は最大発生応力点を示す

*2：tsr（必要最小肉厚）による解析結果を示す

*3：応力比は最大発生応力/許容応力を示す

*4：R/Bの耐震条件による解析結果を示す

*5：T/Bの耐震条件による解析結果を示す

減肉耐震評価結果比較表

区分	耐震重要度	評価地震力	許容応力状態	応力種別	評価点 上段：4号 下段：3号	一次応力 (MPa)			一次+二次応力 (MPa)		
						発生応力 (合計) / 許容応力 上段：4号 下段：3号	内圧応力 +自重応力 上段：4号 下段：3号 【参考値】	地震による応力 上段：4号 下段：3号 【参考値】	発生応力 (合計) / 許容応力 上段：4号 下段：3号	地震慣性 による応力 上段：4号 下段：3号 【参考値】	地震相対変位 による応力 上段：4号 下段：3号 【参考値】
クラス1	S	S ₁	Ⅲ _A S	一次応力	[Redacted]	73/310 (71/310)	[Redacted]	[Redacted]	—	[Redacted]	[Redacted]
				一次+二次 応力		117/414 (81/375)					
		S _s	Ⅳ _A S	一次応力		77/414 (118/375)			—		
				一次+二次 応力		—			142/414 (227/375)		
クラス2	S	S ₁	Ⅲ _A S	一次応力	90/209 (167/209)	—	—				
				一次+二次 応力	—	69/418 (108/418)					
		S _s	Ⅳ _A S	一次応力	94/380 (234/380)	—					
				一次+二次 応力	—	74/418 (241/418)					
クラス2	B	1/2 S ₁	B _A S	一次応力	83/209 (119/187)	—	—				

【傾向分析】

減肉耐震評価結果の比較から、4号炉のクラス1、2のSクラスの一次応力（地震による応力）、一次+二次応力（地震慣性による応力）がⅢ_ASとⅣ_ASで3号炉と比較し、大きく変わらない傾向が挙げられる。要因としては、以下が考えられる。

当該評価点については、Ⅲ_ASでは静的地震力（C_H）、Ⅳ_ASでは動的地震力（ZPA（S_s））における応力値が最大となり、地震力の差が小さいことが許容応力状態ごとの応力評価の結果に有意な差が表れづらい主な要因であると考えられる。

なお、同様の配管減肉評価を行っている3号炉では、4号炉と比較して、許容応力状態ごとに適用した地震力（Ⅲ_AS：動的地震力（FRS（S₁））、Ⅳ_AS：動的地震力（FRS（S_s）））の差が大きいことが、応力評価の結果に有意な差を生じさせる要因であったと考えられる。

また、3号炉は一次応力の最大応力評価点がⅢ_ASとⅣ_ASで異なる。参考までにⅢ_ASと同評価点の応力値を以下に示す。

・クラス1 Sクラス Ⅳ_AS [Redacted]

【考慮する地震荷重】

福島第二4号炉の減肉耐震評価では、許容応力状態に応じて以下の地震力を用いて評価している。

- ・許容応力状態Ⅲ_AS：動的地震力（FRS（S₁））、動的地震力（ZPA（S₁））、静的地震力（C_H）
- ・許容応力状態Ⅳ_AS：動的地震力（FRS（S_s））、動的地震力（ZPA（S_s））

以上を地震荷重として考慮し、各評価点ごとに最大となる応力値を出力する。

[Redacted] 内は商業機密に属しますので公開できません

No.	2F4-耐震 21_Rev. 2	分類：耐震安全性評価（基礎ボルト）
タイトル	詳細耐震安全性評価の結果（表 3. 14-10）の中央制御室サージタンク及びコントロール建屋電気品室サージタンクにおける機器付基礎ボルトの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>① 中央制御室サージタンク</p> <p>JEAC4601-2008「5. 2. 3 四脚たて置円筒形容器」に基づき，中央制御室サージタンクにおける機器付基礎ボルトに対して，腐食時に地震を受けた場合の健全性の評価を実施した。</p> <p>中央制御室サージタンク（基礎ボルト）の評価内容を以下に示す。</p> <p>1. 評価仕様</p> <p>(1) 機器構造</p> <p>中央制御室サージタンクは，4脚たて置円筒形容器であり，ボルトで十分剛な基礎に固定されているものとする。具体的な構造として，添付資料 2F4-耐震 21-①に外形図を示す。</p> <p>(2) 解析モデル</p> <p>本評価の解析モデルを以下に示す。</p>	

No.	2F4-耐震 21_Rev. 2	分類：耐震安全性評価（基礎ボルト）
<p>説明 (続き)</p>	<p>図 1-1 脚下端が第 1 脚は単純支持，第 2 脚は固定されている場合の変形モード</p>	

No.	2F4-耐震 21_Rev. 2	分類：耐震安全性評価（基礎ボルト）			
説明 (続 き)	(3) 耐震条件				
	項目	記号	入力値	単位	
	耐震重要度	—	S	—	
	据付設置建屋	—	C/B	—	
	据付設置位置	—	0. P 18, 000	mm	
	固有周期（水平方向）	—		s	
	固有周期（鉛直方向）	—		—	
	水平方向設計震度*2*3	C_H		—	
	鉛直方向設計震度*2	C_V		—	
	<p>*1：鉛直方向については、剛構造とみなした</p> <p>*2：設計震度については、動的地震力 (S_s, S_l) 及び静的地震力の最大値とする</p> <p>*3：動的地震力 (S_s) の床応答スペクトルについては、添付資料 2F4-耐震 21-③, ④参照</p>				
	(4) 評価条件				
	荷重, 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	
	ボルト径*1	d		—	
	ボルト半径当たり腐食量	c	0. 3	mm	
	運転時質量	m_0		kg	
	引張りを受けるボルトの本数（半径方向）	n_1		—	
	引張りを受けるボルトの本数（周方向）	n_2		—	
	ボルトとコンクリートとの弾性係数比	s		—	
	胴の内径	D_i		mm	
	胴の板厚	t		mm	
	胴の縦弾性係数	E		MPa	
	脚の縦弾性係数	E_s		MPa	
	脚のせん断弾性係数	G_s		MPa	
	脚の断面積	A_s		mm^2	
	脚の半径方向軸に対する有効せん断断面積	A_{sr}		mm^2	
	脚の周方向軸に対する有効せん断断面積	A_{st}		mm^2	
	脚の半径方向軸に対する断面 2 次モーメント	I_{sr}		mm^4	
	脚の周方向軸に対する断面 2 次モーメント	I_{st}		mm^4	
	脚のねじりモーメント係数	J_s		mm^4	
	アタッチメントである脚の胴への取付部の幅の 1/2(胴の周方向)	C_1		mm	
	アタッチメントである脚の胴への取付部の幅の 1/2(胴の軸方向)	C_2		mm	
	*1:ボルト径については、谷径を入力値とする				

□内は商業機密に属しますので公開できません

No.	2F4-耐震 21_Rev. 2	分類：耐震安全性評価（基礎ボルト）		
説明 (続き)	項目	記号	入力値	単位
	基礎から容器上部重心までの距離	l_g		mm
	脚の長さ	l		mm
	脚の中立軸間の距離	l_c		mm
	脚底板の半径方向幅	a		mm
	脚底板の周方向幅	b		mm
	脚底板端面からボルト中心までの半径方向の距離	d_1		mm
	脚底板端面からボルト中心までの周方向の距離	d_2		mm
参考文献 (1) (2) による算出値を以下に示す。				
	項目	記号	入力値	単位
	アタッチメントパラメータ軸方向の補正係数	k_l		—
	アタッチメントパラメータ周方向の補正係数	k_c		—
	胴の脚つけ根部における長手方向曲げモーメントに対する局部ばね定数	K_l		N/mm
	胴の脚つけ根部における周方向曲げモーメントに対する局部ばね定数	K_c		N/mm
	胴の脚つけ根部における半径方向荷重に対する局部ばね定数	K_r		N/mm
2. 評価方法				
評価方法については、水平方向地震力 (X 方向, Z 方向) で厳しい結果となるもののみ記載している。				
(1) 釣合方程式				
脚下端が第 1 脚は単純支持, 第 2 脚は固定の場合について, 釣合方程式を示す。				
水平力の釣合より				
$2P_1 + 2Q = F_0 \quad \dots \textcircled{1}$				
転倒モーメントの釣合より				
$2M_1 - 2M_3 + 2R_l r_m = F_0(l_g - l) \quad \dots \textcircled{2}$				
ここで,				
$r_m = (D_i + t) / 2$				

□内は商業機密に属しますので公開できません

No.	2F4-耐震 21_Rev. 2	分類：耐震安全性評価（基礎ボルト）
<p>説明 (続き)</p>	<p>第1脚の水平方向変位量Δ_{x1}、傾き角θ_1、鉛直方向変位量Δ_{y1}は次による。</p> $\Delta_{x1} = \frac{P_1 l^3}{3E_s I_{st}} + \frac{P_1 l}{G_s A_{sr}} + l\theta_1 \quad \dots \textcircled{3}$ $P_1 l + M_1 = R_1 u \quad \dots \textcircled{4}$ $\Delta_{y1} = \frac{R_1 l}{A_s E_s} \quad \dots \textcircled{5}$ <p>ここで、</p> $u = \frac{l_c}{2} - r_m$ <p>胴の半径方向局部変位量Δ_{r1}と局部傾き角θ_2は、次による。</p> $\Delta_{r1} = \frac{K_r P_1}{r_m E} \quad \dots \textcircled{6}$ $\theta_2 = \frac{K_l M_1}{r_m^3 \beta_1^2 E} \quad \dots \textcircled{7}$ <p>ここで、</p> $\beta_1 = k_l \sqrt[3]{\beta_1 \beta_2^2} \quad , \quad \beta_1 = \frac{C_1}{r_m} \quad , \quad \beta_2 = \frac{C_2}{r_m}$ <p>第2脚の傾き角θ_0と水平方向変位量Δ_{x3}は、次による。</p> $\theta_0 = -\frac{M_3 l}{E_s I_{sr}} + \frac{Q l^2}{2E_s I_{sr}} \quad \dots \textcircled{8}$ $\Delta_{x3} = \frac{Q l^3}{3E_s I_{sr}} + \frac{Q l}{G_s A_{st}} - \frac{M_3 l^2}{2E_s I_{sr}} \quad \dots \textcircled{9}$ <p>第1脚と胴の傾き角の釣合より</p> $\theta_1 + \theta_2 - \theta_0 = 0 \quad \dots \textcircled{10}$ <p>第2脚のねじり角と胴の局部傾き角は等しいことから</p> $\theta_3 = \frac{(Qu - M_c) l}{G_s J_s} = \frac{K_c M_c}{r_m^3 \beta_c^2 E} \quad \dots \textcircled{11}$ <p>ここで、</p> $\beta_c = k_c \sqrt[3]{\beta_1 \beta_2^2} \quad , \quad \beta_1 = \frac{C_1}{r_m} \quad , \quad \beta_2 = \frac{C_2}{r_m}$	

No.	2F4-耐震 21_Rev. 2	分類：耐震安全性評価（基礎ボルト）
<p>説明 (続き)</p>	<p>脚と胴の水平方向変位の釣合より</p> $\triangle_{x1} + \triangle_{y1} = \triangle_{x3} + u\theta_3 \quad \dots \textcircled{12}$ <p>さらに、鉛直方向変位の釣合より</p> $\triangle_{y1} - u\theta_1 - r_m\theta_0 = 0 \quad \dots \textcircled{13}$ <p>式①～式⑬から P_1, Q, R_1, M_3 を求める。</p> <p>(2) せん断応力 水平方向地震力（Z方向）が作用した場合</p> $\tau_b = \frac{\sqrt{Q^2 + (P + P_2)^2}}{2A_b} + \frac{Qu - M_c}{A_b(b - 2d_2)}$ <p>ボルトの断面積は、</p> $A_b = \frac{\pi}{4}(d - 2c)^2$ <p>ここで、</p> $M_l = \frac{\left(\frac{l^3}{12E_s I_{st}} + \frac{l}{G_s A_{sr}} + \frac{K_r}{r_m E} \right) m_0 g u l}{\left(\frac{l^3}{3E_s I_{st}} + \frac{l}{G_s A_{sr}} + \frac{K_r}{r_m E} \right) \left(\frac{l}{E_s I_{st}} + \frac{K_l}{r_m^3 \beta_l^2 E} \right) - \left(\frac{l^2}{2E_s I_{st}} \right)^2}$ $P = \frac{\frac{m_0 g}{4} u - M_l}{2E_s I_{st}} l^2$ $R_2 = \frac{m_0 g C_V}{4}$ $M_{l2} = \frac{\left(\frac{l^3}{12E_s I_{st}} + \frac{l}{G_s A_{sr}} + \frac{K_r}{r_m E} \right) R_2 u l}{\left(\frac{l^3}{3E_s I_{st}} + \frac{l}{G_s A_{sr}} + \frac{K_r}{r_m E} \right) \left(\frac{l}{E_s I_{st}} + \frac{K_l}{r_m^3 \beta_l^2 E} \right) - \left(\frac{l^2}{2E_s I_{st}} \right)^2}$	

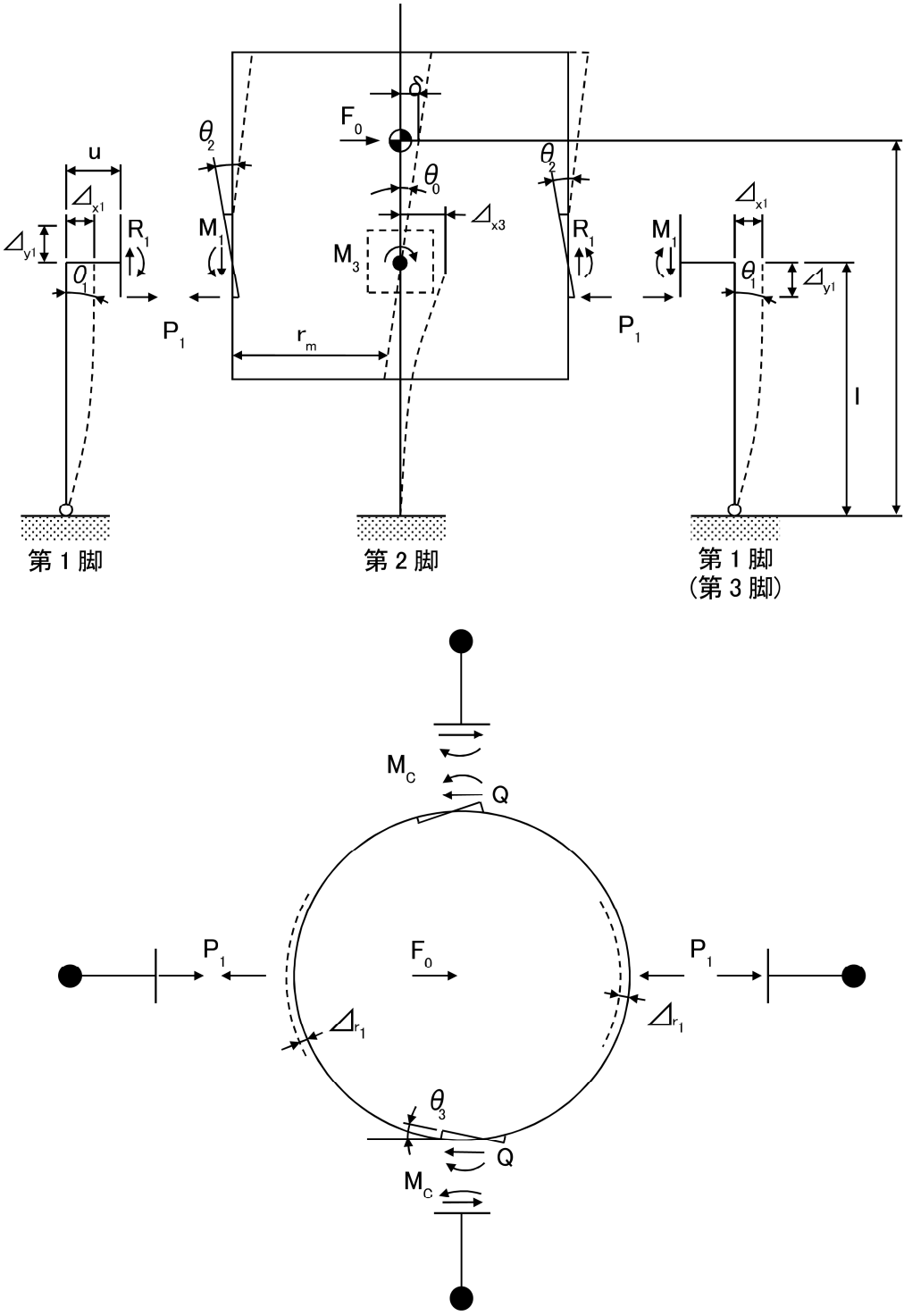
No.	2F4-耐震 21_Rev. 2	分類：耐震安全性評価（基礎ボルト）
<p>説明 (続き)</p>	$P_2 = \frac{(R_2 u - M_{I2}) l^2}{\frac{2 E_s I_{st}}{l^3} + \frac{l}{G_s A_{sr}} + \frac{K_r}{r_m E}}$ <p>(3) 引張応力 引張応力については、保守的に脚下端が固定の場合とする。また、a を b, b を a, d₁ を d₂, n₁ を n₂ に置き換えた場合も計算し、最大値の得られた式を記載している。</p> <p>水平方向地震力 (X 方向) が作用した場合</p> $M_{x1} = \left[\left\{ \frac{1}{\sqrt{2}} (P_1 l + M_1 - R_1 u) \right\} + \left\{ (P - P_2) l + (M_I - M_{I2}) - (R - R_2) u \right\} \right]^2 + \left\{ \frac{1}{\sqrt{2}} (Q_I - M_3) \right\}^2 \right]^{\frac{1}{2}}$ $R_{x1} = R - R_2 - \frac{R_1}{\sqrt{2}}$ <p>ここで、</p> $R = \frac{m_0 g}{4}$ <p>R_{x1} は負のため、ボルトに生じる引張力は次により求める。 中立軸の位置 X_n を次式により求め、</p> $X_n^3 + 3 \left(e - \frac{a}{2} \right) X_n^2 - \frac{6 s A_b n_1}{b} \left(e + \frac{a}{2} - d_1 \right) (a - d_1 - X_n) = 0$ <p>ボルトに生じる引張力</p> $F_b = \frac{R_{x1} \left(e - \frac{a}{2} + \frac{X_n}{3} \right)}{a - d_1 - \frac{X_n}{3}}$ <p>から、ボルトに生じる引張応力を次式により求める。</p> $\sigma_b = \frac{F_b}{n_1 A_b}$	

No.	2F4-耐震 21_Rev. 2	分類：耐震安全性評価（基礎ボルト）									
説明 (続 き)	<p>3. 評価結果</p> <p>評価結果については、水平方向地震力（X 方向，Z 方向）で厳しい結果のみ記載している。</p> <p>(1) 応力計算について</p> <p>上記計算によって求められた算出応力を以下に示す。</p> <p>(結果)</p> <table border="1" data-bbox="416 602 1345 728"> <thead> <tr> <th>応 力</th> <th>算出応力</th> <th>単位</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>引 張</td> <td>$\sigma_b = 154$</td> <td>MPa</td> </tr> <tr> <td>せん断</td> <td>$\tau_b = 18$</td> <td>MPa</td> </tr> </tbody> </table> <p>(2) 許容応力について</p> <p>JEAG4601-1987 6. 6. 3 (1)容器 d. 4 脚たて置円筒形容器 (c)評価方法 (ii) 応力の評価 ③基礎ボルトの応力評価の評価式に基づき、許容応力を算出する。</p> <p>なお、許容応力は使用状態によらず、保守的に許容応力状態Ⅲ_AS を適用する。</p> <p>許容応力算定用基準値</p> $F = \min(S_y, 0.7S_u)$ <p>許容引張応力</p> $f_{ts} = \min[(1.4f_{t0} - 1.6\tau_b), f_{t0}]$ $f_{t0} = \left(\frac{F}{2}\right) 1.5$ <p>許容せん断応力</p> $f_{sb} = \left(\frac{F}{1.5\sqrt{3}}\right) 1.5$		応 力	算出応力	単位	引 張	$\sigma_b = 154$	MPa	せん断	$\tau_b = 18$	MPa
応 力	算出応力	単位									
引 張	$\sigma_b = 154$	MPa									
せん断	$\tau_b = 18$	MPa									

No.	2F4-耐震 21_Rev. 2	分類：耐震安全性評価（基礎ボルト）																																														
説明 (続き)	<p>以下に算出に用いる評価条件及び算出結果を示す。</p> <p>(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>ボルト材質</td> <td>—</td> <td></td> <td>—</td> </tr> <tr> <td>ボルト径</td> <td>d</td> <td></td> <td>—</td> </tr> <tr> <td>評価用温度</td> <td>—</td> <td>70</td> <td>°C</td> </tr> <tr> <td>ボルト材の設計降伏点*1</td> <td>S_y</td> <td></td> <td>MPa</td> </tr> <tr> <td>ボルト材の設計引張強さ*1</td> <td>S_u</td> <td></td> <td>MPa</td> </tr> </tbody> </table> <p>*1: 発電用原子力設備規格 設計・建設規格（2005年版）（2007年追補版） 付録材料図表 Part5 表 8 及び表 9 引用</p> <p>(結果)</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>応力</th> <th>許容応力</th> <th>単位</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>引張</td> <td>$f_{ts} = 450$</td> <td>MPa</td> </tr> <tr> <td>せん断</td> <td>$f_{sb} = 346$</td> <td>MPa</td> </tr> </tbody> </table> <p>(1) 結論 上記の結果から、ボルト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> <table border="1"> <thead> <tr> <th>応力</th> <th>算出応力</th> <th>許容応力</th> <th>単位</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>引張</td> <td>$\sigma_b = 154$</td> <td>$f_{ts} = 450$</td> <td>MPa</td> </tr> <tr> <td>せん断</td> <td>$\tau_b = 18$</td> <td>$f_{sb} = 346$</td> <td>MPa</td> </tr> </tbody> </table>			項目	記号	入力値	単位	ボルト材質	—		—	ボルト径	d		—	評価用温度	—	70	°C	ボルト材の設計降伏点*1	S_y		MPa	ボルト材の設計引張強さ*1	S_u		MPa	応力	許容応力	単位	引張	$f_{ts} = 450$	MPa	せん断	$f_{sb} = 346$	MPa	応力	算出応力	許容応力	単位	引張	$\sigma_b = 154$	$f_{ts} = 450$	MPa	せん断	$\tau_b = 18$	$f_{sb} = 346$	MPa
項目	記号	入力値	単位																																													
ボルト材質	—		—																																													
ボルト径	d		—																																													
評価用温度	—	70	°C																																													
ボルト材の設計降伏点*1	S_y		MPa																																													
ボルト材の設計引張強さ*1	S_u		MPa																																													
応力	許容応力	単位																																														
引張	$f_{ts} = 450$	MPa																																														
せん断	$f_{sb} = 346$	MPa																																														
応力	算出応力	許容応力	単位																																													
引張	$\sigma_b = 154$	$f_{ts} = 450$	MPa																																													
せん断	$\tau_b = 18$	$f_{sb} = 346$	MPa																																													

 内は商業機密に属しますので公開できません

No.	2F4-耐震 21_Rev. 2	分類：耐震安全性評価（基礎ボルト）
<p>説明 (続き)</p>	<p>② コントロール建屋電気品室サージタンク JEAC4601-2008「5.2.3 四脚たて置円筒形容器」に基づき、コントロール建屋電気品室サージタンクにおける機器付基礎ボルトに対して腐食時に、地震を受けた場合の健全性の評価を実施した。 コントロール建屋電気品室サージタンク（基礎ボルト）の評価内容を以下に示す。</p> <p>1. 評価仕様</p> <p>(1) 機器構造 コントロール建屋電気品室サージタンクは、4脚たて置円筒形容器であり、ボルトで十分剛な基礎に固定されているものとする。具体的な構造として、添付資料 2F4-耐震 21-②に外形図を示す。</p> <p>(2) 解析モデル 本評価の解析モデルを以下に示す。</p>	

No.	2F4-耐震 21_Rev. 2	分類：耐震安全性評価（基礎ボルト）
<p>説明 (続き)</p>	 <p>図 2-1 脚下端が第1脚は単純支持，第2脚は固定されている場合の変形モード</p>	

No.	2F4-耐震 21_Rev. 2	分類：耐震安全性評価（基礎ボルト）			
説明 (続き)	(3) 耐震条件				
	項目	記号	入力値	単位	
	耐震重要度	—	S	—	
	据付設置建屋	—	C/B	—	
	据付設置位置	—	0. P 12, 200	mm	
	固有周期（水平方向）	—		s	
	固有周期（鉛直方向）	—		—	
	水平方向設計震度*2*3	C_H		—	
	鉛直方向設計震度*2	C_V		—	
	<p>*1：鉛直方向については、剛構造とみなした</p> <p>*2：設計震度については、動的地震力 (S_s, S_l) 及び静的地震力の最大値とする</p> <p>*3：動的地震力 (S_s) の床応答スペクトルについては、添付資料 2F4-耐震 21-⑤, ⑥参照</p>				
	(4) 評価条件				
	荷重, 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	
	ボルト径*1	d		—	
	ボルト半径当たり腐食量	c	0.3	mm	
	運転時質量	m_0		kg	
	引張りを受けるボルトの本数（半径方向）	n_1		—	
	引張りを受けるボルトの本数（周方向）	n_2		—	
	ボルトとコンクリートとの弾性係数比	s		—	
	胴の内径	D_i		mm	
	胴の板厚	t		mm	
	胴の縦弾性係数	E		MPa	
	脚の縦弾性係数	E_s		MPa	
	脚のせん断弾性係数	G_s		MPa	
	脚の断面積	A_s		mm^2	
	脚の半径方向軸に対する有効せん断断面積	A_{sr}		mm^2	
	脚の周方向軸に対する有効せん断断面積	A_{st}		mm^2	
	脚の半径方向軸に対する断面 2 次モーメント	I_{sr}		mm^4	
	脚の周方向軸に対する断面 2 次モーメント	I_{st}		mm^4	
	脚のねじりモーメント係数	J_s		mm^4	
	アタッチメントである脚の胴への取付部の幅の 1/2 (胴の周方向)	C_1		mm	
	アタッチメントである脚の胴への取付部の幅の 1/2 (胴の軸方向)	C_2		mm	
	*1:ボルト径については、谷径を入力値とする				

 内は商業機密に属しますので公開できません

No.	2F4-耐震 21_Rev. 2	分類：耐震安全性評価（基礎ボルト）		
説明 (続き)	項目	記号	入力値	単位
	基礎から容器上部重心までの距離	l_g		mm
	脚の長さ	l		mm
	脚の中立軸間の距離	l_c		mm
	脚底板の半径方向幅	a		mm
	脚底板の周方向幅	b		mm
	脚底板端面からボルト中心までの半径方向の距離	d_1		mm
	脚底板端面からボルト中心までの周方向の距離	d_2		mm
参考文献 (1) (2) による算出値を以下に示す。				
	項目	記号	入力値	単位
	アタッチメントパラメータ軸方向の補正係数	k_l		—
	アタッチメントパラメータ周方向の補正係数	k_c		—
	胴の脚つけ根部における長手方向曲げモーメントに対する局部ばね定数	K_l		N/mm
	胴の脚つけ根部における周方向曲げモーメントに対する局部ばね定数	K_c		N/mm
	胴の脚つけ根部における半径方向荷重に対する局部ばね定数	K_r		N/mm
2. 評価方法				
評価方法については、水平方向地震力 (X 方向, Z 方向) で厳しい結果となるもののみ記載している。				
(1) 釣合方程式				
脚下端が第 1 脚は単純支持, 第 2 脚は固定の場合について, 釣合方程式を示す。				
水平力の釣合より				
$2P_1 + 2Q = F_0 \quad \dots \textcircled{1}$				
転倒モーメントの釣合より				
$2M_1 - 2M_3 + 2R_l r_m = F_0(l_g - l) \quad \dots \textcircled{2}$				
ここで,				
$r_m = (D_i + t) / 2$				

□内は商業機密に属しますので公開できません

No.	2F4-耐震 21_Rev. 2	分類：耐震安全性評価（基礎ボルト）
<p>説明 (続き)</p>	<p>第1脚の水平方向変位量Δ_{x1}、傾き角θ_1、鉛直方向変位量Δ_{y1}は次による。</p> $\Delta_{x1} = \frac{P_1 l^3}{3E_s I_{st}} + \frac{P_1 l}{G_s A_{sr}} + l\theta_1 \quad \dots \textcircled{3}$ $P_1 l + M_1 = R_1 u \quad \dots \textcircled{4}$ $\Delta_{y1} = \frac{R_1 l}{A_s E_s} \quad \dots \textcircled{5}$ <p>ここで、</p> $u = \frac{l_c}{2} - r_m$ <p>胴の半径方向局部変位量Δ_{r1}と局部傾き角θ_2は、次による。</p> $\Delta_{r1} = \frac{K_r P_1}{r_m E} \quad \dots \textcircled{6}$ $\theta_2 = \frac{K_l M_1}{r_m^3 \beta_1^2 E} \quad \dots \textcircled{7}$ <p>ここで、</p> $\beta_1 = k_l \sqrt[3]{\beta_1 \beta_2^2} \quad , \quad \beta_1 = \frac{C_1}{r_m} \quad , \quad \beta_2 = \frac{C_2}{r_m}$ <p>第2脚の傾き角θ_0と水平方向変位量Δ_{x3}は、次による。</p> $\theta_0 = -\frac{M_3 l}{E_s I_{sr}} + \frac{Q l^2}{2E_s I_{sr}} \quad \dots \textcircled{8}$ $\Delta_{x3} = \frac{Q l^3}{3E_s I_{sr}} + \frac{Q l}{G_s A_{st}} - \frac{M_3 l^2}{2E_s I_{sr}} \quad \dots \textcircled{9}$ <p>第1脚と胴の傾き角の釣合より</p> $\theta_1 + \theta_2 - \theta_0 = 0 \quad \dots \textcircled{10}$ <p>第2脚のねじり角と胴の局部傾き角は等しいことから</p> $\theta_3 = \frac{(Qu - M_c) l}{G_s J_s} = \frac{K_c M_c}{r_m^3 \beta_c^2 E} \quad \dots \textcircled{11}$ <p>ここで、</p> $\beta_c = k_c \sqrt[3]{\beta_1 \beta_2^2} \quad , \quad \beta_1 = \frac{C_1}{r_m} \quad , \quad \beta_2 = \frac{C_2}{r_m}$	

No.	2F4-耐震 21_Rev. 2	分類：耐震安全性評価（基礎ボルト）
説明 (続 き)	<p>脚と胴の水平方向変位の釣合より</p> $\triangle_{x1} + \triangle_{y1} = \triangle_{x3} + u\theta_3 \quad \dots \textcircled{12}$ <p>さらに、鉛直方向変位の釣合より</p> $\triangle_{y1} - u\theta_1 - r_m\theta_0 = 0 \quad \dots \textcircled{13}$ <p>式①～式⑬から P₁, Q, R₁, M₃ を求める。</p> <p>(2) せん断応力</p> <p>水平方向地震力 (Z 方向) が作用した場合</p> $\tau_b = \frac{\sqrt{Q^2 + (P + P_2)^2}}{2A_b} + \frac{Qu - M_c}{A_b(b - 2d_2)}$ <p>ボルトの断面積は、</p> $A_b = \frac{\pi}{4}(d - 2c)^2$ <p>ここで、</p> $M_l = \frac{\left(\frac{l^3}{12E_s I_{st}} + \frac{l}{G_s A_{sr}} + \frac{K_r}{r_m E} \right) m_0 g u l}{\left(\frac{l^3}{3E_s I_{st}} + \frac{l}{G_s A_{sr}} + \frac{K_r}{r_m E} \right) \left(\frac{l}{E_s I_{st}} + \frac{K_l}{r_m^3 \beta_l^2 E} \right) - \left(\frac{l^2}{2E_s I_{st}} \right)^2}$ $P = \frac{\frac{m_0 g}{4} u - M_l}{2E_s I_{st}} l^2$ $R_2 = \frac{m_0 g C_V}{4}$ $M_{l2} = \frac{\left(\frac{l^3}{12E_s I_{st}} + \frac{l}{G_s A_{sr}} + \frac{K_r}{r_m E} \right) R_2 u l}{\left(\frac{l^3}{3E_s I_{st}} + \frac{l}{G_s A_{sr}} + \frac{K_r}{r_m E} \right) \left(\frac{l}{E_s I_{st}} + \frac{K_l}{r_m^3 \beta_l^2 E} \right) - \left(\frac{l^2}{2E_s I_{st}} \right)^2}$	

No.	2F4-耐震 21_Rev. 2	分類：耐震安全性評価（基礎ボルト）
<p>説明 (続き)</p>	$P_2 = \frac{(R_2 u - M_{I2}) l^2}{\frac{2 E_s I_{st}}{l^3} + \frac{l}{G_s A_{sr}} + \frac{K_r}{r_m E}}$ <p>(3) 引張応力 引張応力については、保守的に脚下端が固定の場合とする。また、a を b, b を a, d₁ を d₂, n₁ を n₂ に置き換えた場合も計算し、最大値の得られた式を記載している。</p> <p>水平方向地震力 (X 方向) が作用した場合</p> $M_{x1} = \left[\left\{ \frac{1}{\sqrt{2}} (P_1 l + M_1 - R_1 u) \right\} + \left\{ (P - P_2) l + (M_I - M_{I2}) - (R - R_2) u \right\} \right]^2 + \left[\frac{1}{\sqrt{2}} (Q_I - M_3) \right]^2 \right]^{\frac{1}{2}}$ $R_{x1} = R - R_2 - \frac{R_1}{\sqrt{2}}$ <p>ここで、</p> $R = \frac{m_0 g}{4}$ <p>R_{x1} は負のため、ボルトに生じる引張力は次により求める。 中立軸の位置 X_n を次式により求め、</p> $X_n^3 + 3 \left(e - \frac{a}{2} \right) X_n^2 - \frac{6 s A_b n_1}{b} \left(e + \frac{a}{2} - d_1 \right) (a - d_1 - X_n) = 0$ <p>ボルトに生じる引張力</p> $F_b = \frac{R_{x1} \left(e - \frac{a}{2} + \frac{X_n}{3} \right)}{a - d_1 - \frac{X_n}{3}}$ <p>から、ボルトに生じる引張応力を次式により求める。</p> $\sigma_b = \frac{F_b}{n_1 A_b}$	

No.	2F4-耐震 21_Rev. 2	分類：耐震安全性評価（基礎ボルト）									
説明 (続 き)	<p>3. 評価結果</p> <p>評価結果については、水平方向地震力（X 方向, Z 方向）で厳しい結果のみ記載している。</p> <p>(1) 応力計算について</p> <p>上記計算によって求められた算出応力を以下に示す。</p> <p>(結果)</p> <table border="1" data-bbox="416 602 1345 728"> <thead> <tr> <th>応 力</th> <th>算出応力</th> <th>単位</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>引 張</td> <td>$\sigma_b = 149$</td> <td>MPa</td> </tr> <tr> <td>せん断</td> <td>$\tau_b = 18$</td> <td>MPa</td> </tr> </tbody> </table> <p>(2) 許容応力について</p> <p>JEAG4601-1987 6. 6. 3 (1) 容器 d. 4 脚たて置円筒形容器 (c) 評価方法 (ii) 応力の評価 ③基礎ボルトの応力評価の評価式に基づき、許容応力を算出する。</p> <p>なお、許容応力は使用状態によらず、保守的に許容応力状態Ⅲ_AS を適用する。</p> <p>許容応力算定用基準値</p> $F = \min(S_y, 0.7S_u)$ <p>許容引張応力</p> $f_{ts} = \min[(1.4f_{t0} - 1.6\tau_b), f_{t0}]$ $f_{t0} = \left(\frac{F}{2}\right) 1.5$ <p>許容せん断応力</p> $f_{sb} = \left(\frac{F}{1.5\sqrt{3}}\right) 1.5$		応 力	算出応力	単位	引 張	$\sigma_b = 149$	MPa	せん断	$\tau_b = 18$	MPa
応 力	算出応力	単位									
引 張	$\sigma_b = 149$	MPa									
せん断	$\tau_b = 18$	MPa									

No.	2F4-耐震 21_Rev. 2	分類：耐震安全性評価（基礎ボルト）																																													
説明 (続き)	<p>以下に算出に用いる評価条件及び算出結果を示す。</p> <p>(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>ボルト材質</td> <td>—</td> <td></td> <td>—</td> </tr> <tr> <td>ボルト径</td> <td>d</td> <td></td> <td>—</td> </tr> <tr> <td>評価用温度</td> <td>—</td> <td>70</td> <td>°C</td> </tr> <tr> <td>ボルト材の設計降伏点*1</td> <td>S_y</td> <td></td> <td>MPa</td> </tr> <tr> <td>ボルト材の設計引張強さ*1</td> <td>S_u</td> <td></td> <td>MPa</td> </tr> </tbody> </table> <p>*1: 発電用原子力設備規格 設計・建設規格（2005年版）（2007年追補版） 付録材料図表 Part5 表 8 及び表 9 引用</p> <p>(結果)</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>応力</th> <th>許容応力</th> <th>単位</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>引張</td> <td>$f_{ts} = 174$</td> <td>MPa</td> </tr> <tr> <td>せん断</td> <td>$f_{sb} = 134$</td> <td>MPa</td> </tr> </tbody> </table> <p>(1) 結論 上記の結果から、ボルト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> <table border="1"> <thead> <tr> <th>応力</th> <th>算出応力</th> <th>許容応力</th> <th>単位</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>引張</td> <td>$\sigma_b = 149$</td> <td>$f_{ts} = 174$</td> <td>MPa</td> </tr> <tr> <td>せん断</td> <td>$\tau_b = 18$</td> <td>$f_{sb} = 134$</td> <td>MPa</td> </tr> </tbody> </table>		項目	記号	入力値	単位	ボルト材質	—		—	ボルト径	d		—	評価用温度	—	70	°C	ボルト材の設計降伏点*1	S_y		MPa	ボルト材の設計引張強さ*1	S_u		MPa	応力	許容応力	単位	引張	$f_{ts} = 174$	MPa	せん断	$f_{sb} = 134$	MPa	応力	算出応力	許容応力	単位	引張	$\sigma_b = 149$	$f_{ts} = 174$	MPa	せん断	$\tau_b = 18$	$f_{sb} = 134$	MPa
項目	記号	入力値	単位																																												
ボルト材質	—		—																																												
ボルト径	d		—																																												
評価用温度	—	70	°C																																												
ボルト材の設計降伏点*1	S_y		MPa																																												
ボルト材の設計引張強さ*1	S_u		MPa																																												
応力	許容応力	単位																																													
引張	$f_{ts} = 174$	MPa																																													
せん断	$f_{sb} = 134$	MPa																																													
応力	算出応力	許容応力	単位																																												
引張	$\sigma_b = 149$	$f_{ts} = 174$	MPa																																												
せん断	$\tau_b = 18$	$f_{sb} = 134$	MPa																																												

 内は商業機密に属しますので公開できません

No.	2F4-耐震 21_Rev. 2	分類：耐震安全性評価（基礎ボルト）
	<p>③ 添付資料</p> <ul style="list-style-type: none"> (1) 2F4-耐震 21-① 「C/B4 号中央制御室サージタンク外形図」 (2) 2F4-耐震 21-② 「C/B4 号非常用電気品室サージタンク外形図」 (3) 2F4-耐震 21-③ 「C/B4 号 OP+18.0M 床応答スペクトル図」 (4) 2F4-耐震 21-④ 「中央制御室サージタンクの水平方向設計震度の設定方法」 (5) 2F4-耐震 21-⑤ 「C/B4 号 OP+12.2M 床応答スペクトル図」 (6) 2F4-耐震 21-⑥ 「C/B 電気品室サージタンクの水平方向設計震度の設定方法」 <p>④ 参考文献</p> <ul style="list-style-type: none"> (1) Bijlaard, P.P.: Stresses from Radial Loads and External Moments in Cylindrical Pressure Vessels, The Welding Journal, 34(12), Research Supplement, 1955. (2) Wichman, K.R. et al. : Local Stress in Spherical and Cylindrical Shells due to External Loadings, Welding Research Council bulletin, March 1979 revision of WRC bulletin 107/August 1965. <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



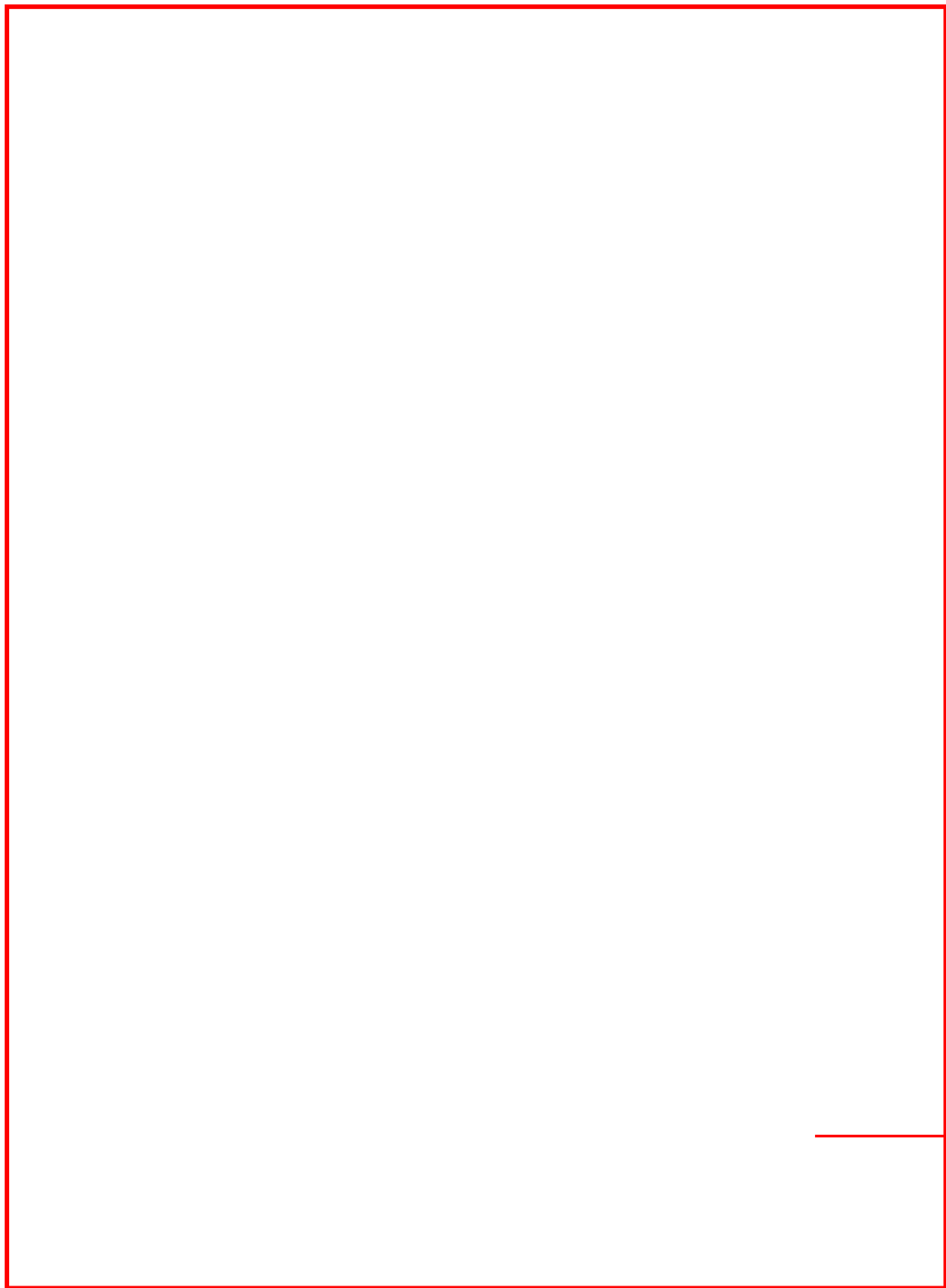
東京電力株式会社 野原千力発電所4号機

管理番号	14-A001-701
ページ	2
図面番号	C

04号中核炉管
7-57>7号物置

04号中核炉管
7-57>7号物置





図

固有周期 [秒]



内は商業機密に属しますので公開できません

固有周期



図 B1.3 床応答スペクトル

中央制御室サージタンクの水平方向設計震度の設定方法（基準地震動 S_s）



床応答スペクトルのデジタル値（コントロール建屋，OP18,000 mm）

<中央制御室サージタンクの水平方向設計震度の設定方法>

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，

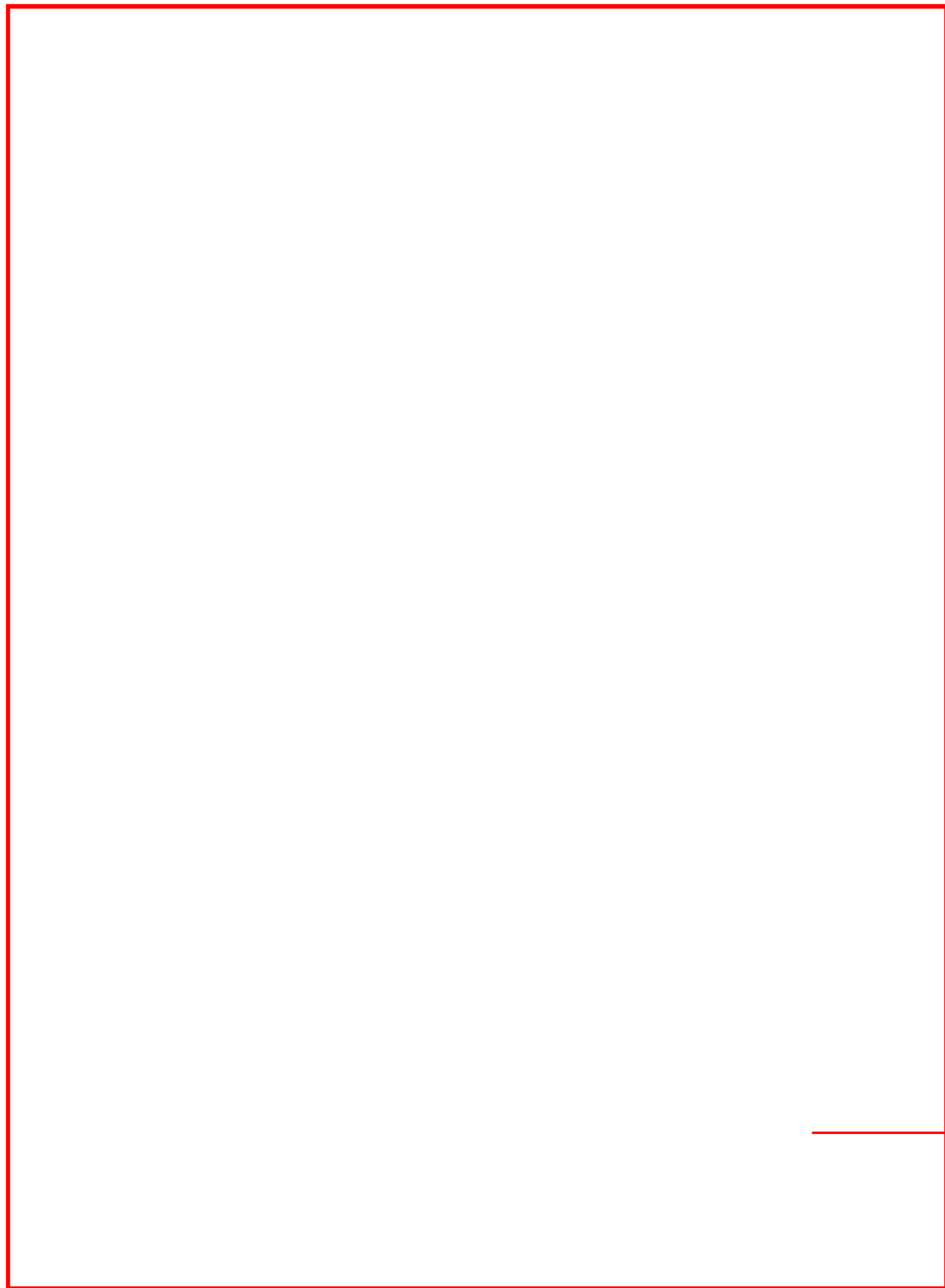
固有周期 s のとき，震度

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 （小数点第 3 位を切り上げ）となる。

上記より，中央制御室サージタンクの水平方向設計震度は となる。

内は商業機密に属しますので公開できません



図

固有周期 [秒]



内は商業機密に属しますので公開できません

固有周期



図 B1.4 床応答スペクトル

コントロール建屋電気品室サージタンクの水平方向設計震度の設定方法（基準地震動 S_s ）



床応答スペクトルのデジタル値（コントロール建屋，OP12,200 mm）

＜コントロール建屋電気品室サージタンクの水平方向設計震度の設定方法＞

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

（小数点第 3 位を切り上げ）となる。

上記より，コントロール建屋電気品室サージタンクの水平方向設計震度は となる。

内は商業機密に属しますので公開できません

No.	2F4-耐震 23	分類：容器（原子炉压力容器）
タイトル	<p>原子炉压力容器胴の中性子照射脆化に対する冷温停止状態評価と運転状態評価の差異（耐圧試験時と炉心臨界時の差異含む）、最低温度要求（55℃、-1℃）の内容、圧力-温度制限曲線と飽和圧力温度曲線に対する線形破壊力学に基づく評価（破壊靱性値、応力拡大係数値等）を提示すること。</p>	
説明	<p>本評価では、円筒胴（炉心領域）に対して、JEAC 4206-2007 FB-4000「原子炉压力容器に対する供用期間中の破壊靱性の要求」に従い、圧力-温度制限曲線を作成している。具体的な評価内容は以下の通り。</p> <p>1. 冷温停止状態と運転状態評価の差異について</p> <p>安定停止維持状態を前提とした評価であるが、耐震安全性評価書では炉心臨界時の評価結果を記載していることから、炉心臨界時及び耐圧試験時の圧力-温度制限曲線作成の際に生じる評価条件の差異を以下に示す。</p> <p>(1) 許容基準</p> <p>JEAC 4206-2007 附属書 A の A-3225 に示される通り、炉心臨界時と耐圧試験時にて許容基準が異なる。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ 供用状態 A 及び B（耐圧・漏えい試験を除く） $K_I = 2 \cdot K_{I_p} + K_{I_q} < K_{Ic}$ ・ 耐圧・漏えい試験 $K_I = 1.5 \cdot K_{I_p} + K_{I_q} < K_{Ic}$ <p>ここで、K_{I_p} は一次応力による応力拡大係数、K_{I_q} は二次応力による応力拡大係数を示す。</p> <p>(2) K_{I_t}（温度勾配によって生じる応力拡大係数）</p> <p>応力拡大係数は JEAC 4206-2007 附属書 F の方法を用いて計算する。なお、供用状態 A 及び B では に示される K_{I_t} を考慮するが、耐圧試験時は温度勾配がないため K_{I_t} は考慮不要となる。</p> <p>(3) 圧力・温度制限の要求におけるマージン</p> <p>要求温度は各内圧に対して計算された $T-RT_{NDT}$ から算出するが、炉心臨界時には JEAC 4206-2007 表-FB-4100-1 に規定されたマージンである 22℃ を加えて求める。</p> <p>以上より、安定停止維持状態とは異なるものの、圧力-温度制限曲線は耐圧試験時と比較して飽和圧力温度曲線までの裕度が小さく保守的であることから、炉心臨界時の評価結果を用いている。</p> <p>炉心臨界時及び耐圧試験時の圧力-温度制限曲線を 2F4-耐震 23-①、②に示す。</p>	

 内は商業機密に属しますので公開できません

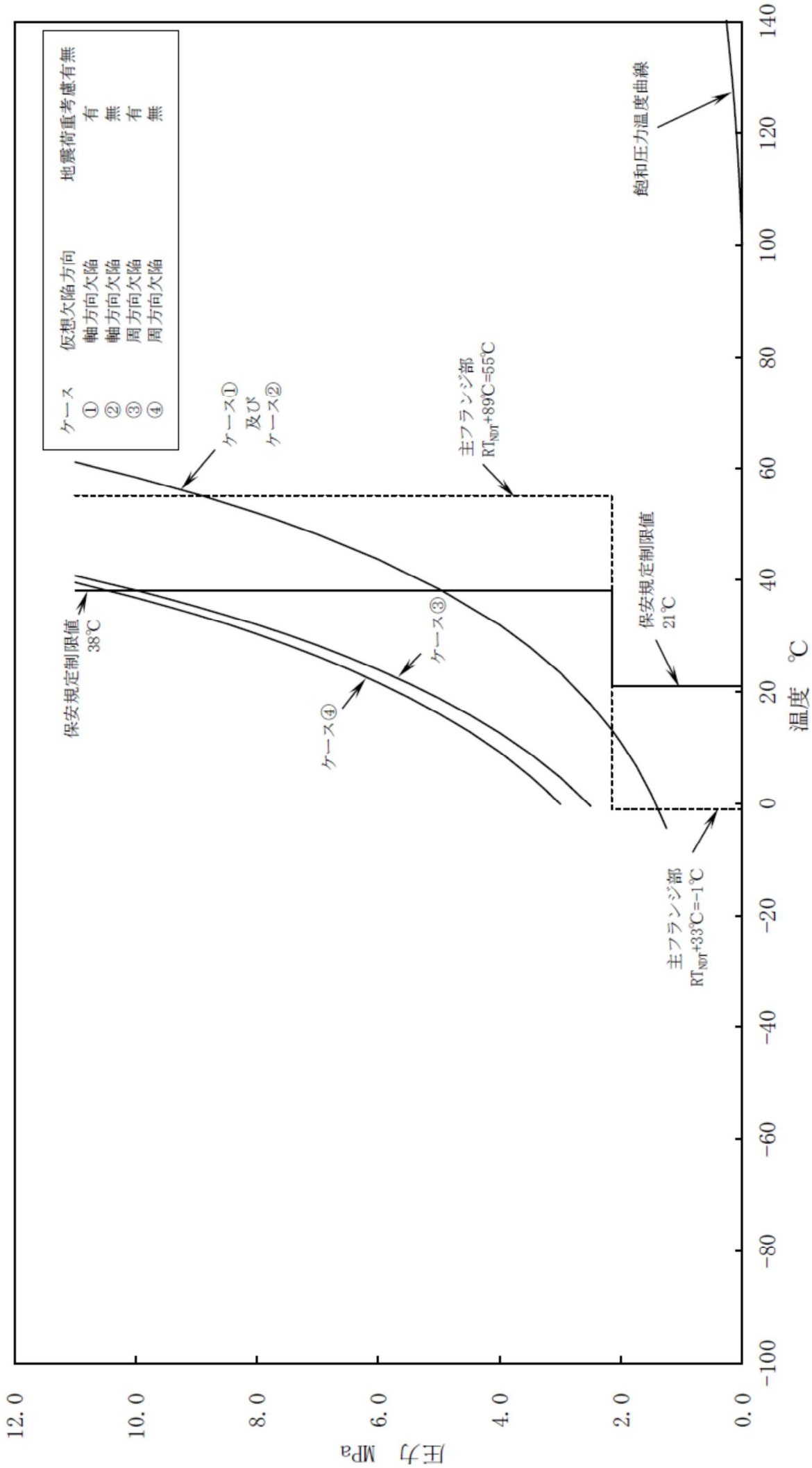
No.	2F4-耐震 23	分類：容器（原子炉压力容器）
<p>説明 (続き)</p>	<p>2. 最低温度要求 (55℃, -1℃) の内容について 最低使用温度要求については、圧力-温度制限曲線と評価条件の整合を図るため JEAC 4206-2007 表-FB-4100-1「原子炉压力容器に対する圧力・温度要求」のうち「供用状態 A 及び B」の「炉心が臨界」の項目に従って設定している。最低温度要求の評価内容を以下に示す。 なお、ボルト締付け荷重が作用する部分の RT_{NDT} は <input type="text"/> を用いた。</p> <p>(1) 55℃の制限線（供用状態 A 及び B） 供用前の水圧試験圧力の 20%を超える圧力で、炉心が臨界の場合に対する制限である。ここで、本制限は「耐圧・漏えい試験」に対して要求される温度とボルト締付け荷重が作用する部分の材料の最も高い $RT_{NDT}+89℃$ の高いほうを設定している。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・「耐圧・漏えい試験」に対して要求される温度 $\Rightarrow RT_{NDT}+50℃ =$ <input type="text"/> ・ボルト締付け荷重が作用する部分の材料の最も高い $RT_{NDT}+89℃$ $\Rightarrow RT_{NDT}+89℃ =$ <input type="text"/> <p>(2) -1℃の制限線（供用状態 A 及び B） 供用前の水圧試験圧力の 20%以下の圧力で、炉心が臨界の場合（沸騰水型原子炉压力容器において、通常水位内での運転がなされる場合）に対する制限である。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ボルト締付け荷重が作用する部分の材料の最も高い $RT_{NDT}+33℃$ $\Rightarrow RT_{NDT}+33℃ =$ <input type="text"/> <p>上記により求めた最低使用温度要求値、保安規定の管理値及び圧力-温度制限曲線を複合し、安全側となるように運転上の制限を管理している。</p>	

内は商業機密に属しますので公開できません

No.	2F4-耐震 23	分類：容器（原子炉压力容器）											
説明 (続 き)	<p>3. 圧力-温度制限曲線における線形破壊力学に基づく評価について 圧力-温度制限曲線の作成に用いる要求温度は、JEAC4206-2007 附属書 A の A-3222 に記載の静的破壊靱性 K_{IC} を RT_{NDT} を基準にした温度の関数とした下記の式から求める。</p> $K_{IC} = 36.48 + 22.78 \exp[0.036(T - RT_{NDT})]$ <p>要求温度は上記式を変形した下記の式により求められる。</p> <div style="border: 2px solid red; width: 400px; height: 40px; margin: 10px auto;"></div> <p>ここで、任意の運転状態において線形破壊力学に基づき求めた K_I を、 に置き換えることにより、運転上の要求温度（マージンを含む）を決定している。</p> <p>参考として、耐震安全性評価書 図 3.4-1 に記載の圧力-温度制限曲線のうち制限温度の厳しくなるケース①及び②の評価結果を用いて、平成 29 年 3 月 17 日時点での使用済み燃料プール水温に最も近い要求温度（マージン含む）が求められた応力拡大係数 K_I を一例として示す。</p> <p style="text-align: center;">表 1 評価結果</p> <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th style="width: 50%;">項目</th> <th style="width: 50%;">パラメータ</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>評価ケース</td> <td>①（炉心臨界時，軸方向欠陥，地震荷重あり） ②（炉心臨界時，軸方向欠陥，地震荷重なし）</td> </tr> <tr> <td>使用済み燃料プール水温</td> <td style="text-align: center;">28.4℃</td> </tr> <tr> <td>内圧</td> <td rowspan="4" style="border: 2px solid red;"></td> </tr> <tr> <td>要求温度（マージン含む）</td> </tr> <tr> <td>応力拡大係数 K_I</td> </tr> <tr> <td></td> </tr> </tbody> </table> <p>*1：JEAC4206-2007 附属書 F に基づき算出した値</p>		項目	パラメータ	評価ケース	①（炉心臨界時，軸方向欠陥，地震荷重あり） ②（炉心臨界時，軸方向欠陥，地震荷重なし）	使用済み燃料プール水温	28.4℃	内圧		要求温度（マージン含む）	応力拡大係数 K_I	
項目	パラメータ												
評価ケース	①（炉心臨界時，軸方向欠陥，地震荷重あり） ②（炉心臨界時，軸方向欠陥，地震荷重なし）												
使用済み燃料プール水温	28.4℃												
内圧													
要求温度（マージン含む）													
応力拡大係数 K_I													
													

内は商業機密に属しますので公開できません

No.	2F4-耐震 23	分類：容器（原子炉压力容器）
<p>説 明 (続 き)</p>	<p>4. 評価結果</p> <p>安定停止維持状態における原子炉冷却材温度は管理されており、ここまでの評価内容により炉心臨界時を想定して求めた保守的な温度・圧力制限曲線を満足していることから、中性子照射脆化に対する耐震性を考慮した制限に対し、十分な安全性が確保されていると判断する。</p> <p>5. 添付資料</p> <p>(1)2F4-耐震 23-① 「圧力－温度制限曲線（炉心領域円筒胴，炉心臨界時）」</p> <p>(2)2F4-耐震 23-② 「圧力－温度制限曲線（炉心領域円筒胴，耐圧試験時）」</p> <p style="text-align: right;">以 上</p>	



圧力-温度制限曲線（炉心領域円筒胴，炉心臨界時）



圧力—温度制限曲線（炉心領域円筒胴，耐圧試験時）

内は商業機密に属しますので公開できません