

No.	2F4-中性子照射脆化 7	分類：容器（原子炉压力容器）																							
タイトル	現時点（平成 27 年 8 月 25 日時点）の関連温度，上部棚吸収エネルギーの予測，破壊力学的検討によるマージン及び胴の最低使用温度の計算過程について																								
説明	<p>福島第二 4 号炉における原子炉压力容器胴の中性子照射脆化について以下に示す。</p> <p>○適用規格について 最低使用温度及び上部棚吸収エネルギーの評価においては，下記の規格に基づき評価を行っている。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・原子炉構造材の監視試験方法（JEAC4201-2007） ・原子力発電所用機器に対する破壊靱性の確認試験方法（JEAC4206-2007） <p>○健全性評価における胴内表面の照射量及び評価に用いた板厚 1/4 深さ位置での中性子照射量について</p> <table border="1"> <tr> <td>胴内表面の中性子照射量</td> <td>$4.1 \times 10^{21} \text{ n/m}^2$ (>1MeV)</td> </tr> <tr> <td>評価に用いた板厚 1/4 深さ位置での中性子照射量</td> <td>$2.8 \times 10^{21} \text{ n/m}^2$ (>1MeV)</td> </tr> </table> <p>○原子炉压力容器の炉心領域部材料の化学成分について (単位：重量%)</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>区分</th> <th>Si</th> <th>P</th> <th>Ni</th> <th>Cu</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>母材</td> <td>0.26</td> <td>0.005</td> <td>0.68</td> <td>0.03</td> </tr> <tr> <td>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>○EFPYについて</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>EFPY</th> <th>備考</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>17.45 (18*)</td> <td>平成 27 年 8 月 25 日時点</td> </tr> </tbody> </table> <p>*：「JEAC4201-2007 附属書表 B-2100-2 原子炉压力容器に対する ΔRT_{NDT} 計算値」で ΔRT_{NDT} 計算値を算出する際に適用した EFPY 値を示す。</p> <p>平成 27 年 8 月 25 日時点の EFPY は，18 EFPY である。 平成 23 年 3 月 11 日までの 4 号機の総発電量＝168,088,440 MWh。これ以降，東北地方太平洋沖地震により発電はしていない。 このため，平成 27 年 8 月 25 日時点の EFPY＝総発電量/(1100×365×24)＝17.45EFPY これを切り上げ 18EFPY としている。</p>		胴内表面の中性子照射量	$4.1 \times 10^{21} \text{ n/m}^2$ (>1MeV)	評価に用いた板厚 1/4 深さ位置での中性子照射量	$2.8 \times 10^{21} \text{ n/m}^2$ (>1MeV)	区分	Si	P	Ni	Cu	母材	0.26	0.005	0.68	0.03	溶接金属	0.32	0.007	0.98	0.03	EFPY	備考	17.45 (18*)	平成 27 年 8 月 25 日時点
胴内表面の中性子照射量	$4.1 \times 10^{21} \text{ n/m}^2$ (>1MeV)																								
評価に用いた板厚 1/4 深さ位置での中性子照射量	$2.8 \times 10^{21} \text{ n/m}^2$ (>1MeV)																								
区分	Si	P	Ni	Cu																					
母材	0.26	0.005	0.68	0.03																					
溶接金属	0.32	0.007	0.98	0.03																					
EFPY	備考																								
17.45 (18*)	平成 27 年 8 月 25 日時点																								

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 7	分類：容器（原子炉压力容器）																																														
説明 (続き)	<p>○評価結果について</p> <ul style="list-style-type: none"> ・最低使用温度 <p>JEAC4206-2007 及び JEAC4201-2007 により求めた関連温度移行量，関連温度，最低使用温度は，以下のとおり。なお，計算過程を 2F4-照射脆化 7-①に添付する。</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>評価時期</th> <th>材 料</th> <th>関連温度 初期値 (°C)</th> <th>関連温度 移行量 (°C)*</th> <th>関連温度 (°C)</th> <th>破壊力学的 検討による マージン(°C)</th> <th>胴の最低 使用温度(°C)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td rowspan="3">平成 27 年 8 月 25 日時点</td> <td>母材</td> <td>-40</td> <td>25</td> <td>-15</td> <td rowspan="3">24</td> <td rowspan="3">9</td> </tr> <tr> <td>溶接金属</td> <td>-65</td> <td>25</td> <td>-40</td> </tr> <tr> <td>熱影響部</td> <td>-40</td> <td>25</td> <td>-15</td> </tr> </tbody> </table> <p style="text-align: center;">*：压力容器内壁面から板厚 1/4 深さでの予測値</p> <ul style="list-style-type: none"> ・上部棚吸収エネルギー予測値 <p>上部棚吸収エネルギー予測値は，以下のとおりです。JEAC4206-2007 で規定されている 68 J を上回っている。なお，計算過程を 2F4-照射脆化 7-②に添付する。</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th></th> <th>方向</th> <th>初期値</th> <th>平成 27 年 8 月 25 日時点</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>母材</td> <td>T 方向</td> <td>199</td> <td>171</td> </tr> <tr> <td>溶接金属</td> <td>溶接線に直角方向</td> <td>202</td> <td>166</td> </tr> <tr> <td>熱影響部</td> <td>溶接線に直角方向</td> <td>216</td> <td>185</td> </tr> </tbody> </table> <p>○破壊力学的検討によるマージンについて</p> <p>最低使用温度＝関連温度＋破壊力学的検討によるマージン</p> <p>ここで，破壊力学的検討によるマージン＝$1/0.036 \times \ln((K_{IC} - 36.48)/22.78) =$ °C</p> <p style="text-align: right;">K_{IC}：破壊靱性値 MPa</p> <p>応力拡大係数K_Iは，JEAC4206-2007 A-3222の(7)式によります。また，A-3222の(1)項の内容により，K_{IC}としてK_Iを使用している。</p> $K_I = 1.5 \cdot K_{IP} + K_{Iq}$ $= 1.5 \cdot M_m \cdot \sigma_M + (2/3) \cdot M_m \cdot \sigma_q$ $= 1.5 \times \text{ } + (2/3) \times \text{ }$ $= \text{ }$ <table border="1" style="margin-left: auto; margin-right: auto;"> <thead> <tr> <th colspan="2">応力 (N/mm²)</th> <th rowspan="2">応力拡大係数K_I</th> </tr> <tr> <th>σ_M</th> <th>σ_q</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td style="text-align: center;"> </td> <td style="text-align: center;"> </td> <td style="text-align: center;"> </td> </tr> </tbody> </table>		評価時期	材 料	関連温度 初期値 (°C)	関連温度 移行量 (°C)*	関連温度 (°C)	破壊力学的 検討による マージン(°C)	胴の最低 使用温度(°C)	平成 27 年 8 月 25 日時点	母材	-40	25	-15	24	9	溶接金属	-65	25	-40	熱影響部	-40	25	-15		方向	初期値	平成 27 年 8 月 25 日時点	母材	T 方向	199	171	溶接金属	溶接線に直角方向	202	166	熱影響部	溶接線に直角方向	216	185	応力 (N/mm ²)		応力拡大係数K _I	σ _M	σ _q	 	 	
評価時期	材 料	関連温度 初期値 (°C)	関連温度 移行量 (°C)*	関連温度 (°C)	破壊力学的 検討による マージン(°C)	胴の最低 使用温度(°C)																																										
平成 27 年 8 月 25 日時点	母材	-40	25	-15	24	9																																										
	溶接金属	-65	25	-40																																												
	熱影響部	-40	25	-15																																												
	方向	初期値	平成 27 年 8 月 25 日時点																																													
母材	T 方向	199	171																																													
溶接金属	溶接線に直角方向	202	166																																													
熱影響部	溶接線に直角方向	216	185																																													
応力 (N/mm ²)		応力拡大係数K _I																																														
σ _M	σ _q																																															
 	 	 																																														

 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 7	分類：容器（原子炉圧力容器）
説明 (続き)	<p>【添付資料】</p> <ul style="list-style-type: none">・2F4-中性子照射脆化 7-①：JEAC4201-2007 及び JEAC4201-2007 [2013 追補版] に基づく関連温度移行量評価（18EFPY）・2F4-中性子照射脆化 7-②：上部棚吸収エネルギー予測値評価 <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

JEAC4201-2007 及び JEAC4201-2007 [2013 追補版] に基づく関連温度移行量評価 (18EFPY)

1. 4号機の関連温度移行量評価

JEAC4201-2007 附属書 B に規定される国内脆化予測法に基づき評価を行う。

平成 27 年 8 月 25 日時点 (17.45EFPY) における ΔRT_{NDT} 予測値の算出過程を示す。

板厚： $t = \square$ mm、1/4t 位置での深さ： $a = t/4 = \square$ mm、

胴板内面の中性子束 $\phi : \square$ n/cm²/s、

1/4t 位置での中性子束： $\phi_c = \square \cdot \exp(-0.24a/25.4) = \square$ n/cm²/s

①脆化予測評価表の選定

4号機第2回監視試験より、1/4t (t：板厚) 位置での中性子束 $\phi_c = \square$ n/cm²/s であるため、 $\phi_a = 4.0 \times 10^8$ n/cm²/s、 $\phi_b = 6.5 \times 10^8$ n/cm²/s に対応した表を選定する。

② ΔRT_{NDT} 計算値の算出

(1) 母材部及び熱影響部の評価

4号機母材部及び熱影響部の化学成分は次の通りである。

Cu=0.03 mass%、Ni=0.68 mass%

17.45EFPY に近い 18EFPY、Cu= \square mass% における表の読み値と、Ni に対して比例補間した値は表 1 の通りとなる。2-2 の式 (3) より、中性子束 $\phi_c = \square$ n/cm²/s に対する ΔRT_{NDT} 計算値は次の通りである (小数点第 2 位を切り上げ)。

ΔRT_{NDT}

表 1 4号機母材部及び熱影響部の Ni に対する補間後の ΔRT_{NDT} 計算値

JEAC4201-2007 の 脆化予測評価表 (対応する中性子束 n/cm ² /s)	Ni [mass%]	
	ΔRT_{NDT} (読み値) [°C]	ΔRT_{NDT} (補間後の値) [°C]
附属書表 B-2100-2 (\square) (\square)		
附属書表 B-2100-2 (\square) (\square)		

(2) 溶接金属の評価

4号機溶接金属の化学成分は次の通りである。

Cu= \square mass%、Ni= \square mass%

18 EFPY、Cu= \square mass%、Ni= \square mass% における表の読み値は表 2 の通りとなる。2-2 の式 (3) より、中性子束 $\phi_c = \square$ n/cm²/s に対する ΔRT_{NDT} 計算値は次の通りである (小数点第 2 位を切り上げ)。

ΔRT_{NDT}

\square 内は商業機密に属しますので公開できません

表2 4号機溶接金属の化学成分に対する ΔRT_{NDT} 計算値

JEAC4201-2007 の 脆化予測評価表 (対応する中性子束 $n/cm^2/s$)	Ni [mass%]	
	ΔRT_{NDT} (読み値) [°C]	ΔRT_{NDT} (補間後の値) [°C]
附属書表 B-2100-2 <input type="text"/>		
附属書表 B-2100-2 <input type="text"/>		

③マージンの算出

炉壁試験片による実測値は1個しかないため、マージン M_R は以下の通りである。

$M_R = \text{} \text{ } ^\circ\text{C}$

2-1の式(2)より求めた ΔRT_{NDT} 予測値と、炉壁試験片による実測値を表3に示す。

ΔRT_{NDT} 予測値は監視試験による実測値を上回っており M_R を求めなおす必要はない。

表3 4号機 ΔRT_{NDT} 予測値と実測値の比較

	ΔRT_{NDT} 予測値 [°C]	第2回試験(炉壁試験片)での ΔRT_{NDT} 実測値 [°C]
母材		2
溶接金属		12
熱影響部		-11

以上

内は商業機密に属しますので公開できません

上部棚吸収エネルギー予測値評価

中性子照射による上部棚吸収エネルギー（USE：Upper Shelf Energy）の低下について評価した結果は表1の通りである。なお、予測値は小数点以下第1位を切り捨てている。

表1 USE 予測値

	方 向	初期値	平成27年8月25日時点
母材	T方向(主圧延方向に直角な方向)	199	171
溶接金属	溶接線に直角方向	202	166
熱影響部	溶接線に直角方向	216	185

最も上部棚吸収エネルギーが低下するのは溶接金属の値であり、建設時（未照射材）で202J、平成27年8月25日時点で166J程度となっている。なお、いずれもJEAC4206規定の68Jを上回っている。これらの導出に必要な事項を以下に示す。

USE調整値(J) = USE初期値 × (1 - ΔUSE予測値/100)、ΔUSE予測値 = C₀ + [CF_U] × [FF_U] + Mu

C₀：母材は 、溶接金属は

ここで、[CF_U]は表2に示す化学成分、[FF_U]は中性子照射量（平成27年8月25日時点）4.1 × 10²¹n/m²をパラメータとしてそれぞれ算出した。

Muは監視試験による最大のΔUSEの実測値が上記のΔUSE予測値を上回った場合は実測値を包絡するようにMuを定めることが定められており、これに従いMu（実測値包絡）を定めた。

表3に監視試験データを示すが、USE実測値が初期値より大きいものがあり、この値を使用した方法によりMuを設定すると負の値となり、適切な予測ができない可能性があるため、Mu（実測値包絡）はΔUSEの実測値が2個未満の場合に規定される式 [Mu = 2σ_{ΔU} (σ_{ΔU}：母材(熱影響部含む)は6.9%、溶接金属は7.5%)] により設定している。なお、予測値は小数点以下第2位を切り上げている。また、表4にΔUSE算出のためのパラメータを示す。

表2 RPV胴板材料の化学成分（単位：wt%）

	Si	P	Ni	Cu
母材	0.26	0.005	0.68	0.03
溶接金属	0.32	0.007	0.98	0.03
熱影響部	0.26	0.005	0.68	0.03

表3 監視試験データ

回 数	上部棚吸収エネルギー(J)		
	母材	溶接金属	熱影響部
初期値	199	202	216
第1回(加速)	188	176	185
2回	222	212	223

表4 ΔUSE算出のためのパラメータ

	CF _U	平成27年8月25日時点		
		FF _U	M _U (実測値包絡)	ΔUSE予測値(%)
母材	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>
溶接金属				
熱影響部				

以上

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 8	分類：容器（原子炉圧力容器）
タイトル	至近の供用期間中検査における超音波探傷検査，漏えい検査の要領及び結果について	
説明	<p>原子炉圧力容器の供用期間中検査については，社団法人日本機械学会 JSME S NA1-2008「発電用原子力設備規格 維持規格（2008年改訂版）」に準拠し，第4号機第17保全サイクル定期事業者検査のクラス1機器供用期間中検査として検査を実施した。</p> <p>原子炉圧力容器の超音波探傷検査，漏えい検査を実施し判定基準を満足していることを確認している。</p> <p>【超音波探傷検査】</p> <p>B-A 原子炉圧力容器の炉心外周域耐圧部分の溶接継手 2 継手</p> <p style="text-align: right;">以 上</p>	

No.	2F4-IASCC1	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="475 752 1002 1008"> <thead> <tr> <th data-bbox="475 752 799 797">部位</th> <th data-bbox="799 752 1002 797">温度 (°C)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td data-bbox="475 797 799 842">炉心シュラウド</td> <td data-bbox="799 797 1002 1008" rowspan="5"></td> </tr> <tr> <td data-bbox="475 842 799 887">上部格子板</td> </tr> <tr> <td data-bbox="475 887 799 931">炉心支持板</td> </tr> <tr> <td data-bbox="475 931 799 976">燃料支持金具</td> </tr> <tr> <td data-bbox="475 976 799 1008">制御棒案内管</td> </tr> </tbody> </table> <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										

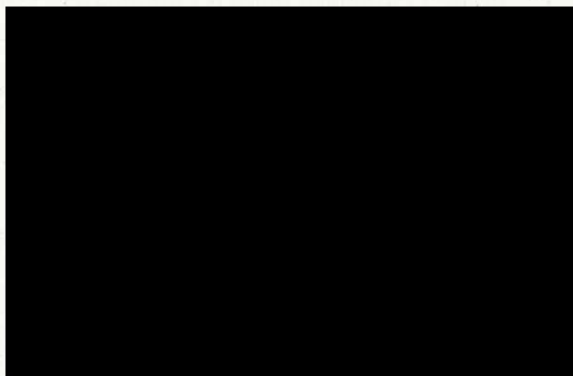
 内は商業機密に属しますので公開できません

No.	2F4-IASCC2	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>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：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：炉内構造物の中性子照射率 <p style="text-align: right;">以 上</p>	

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)



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



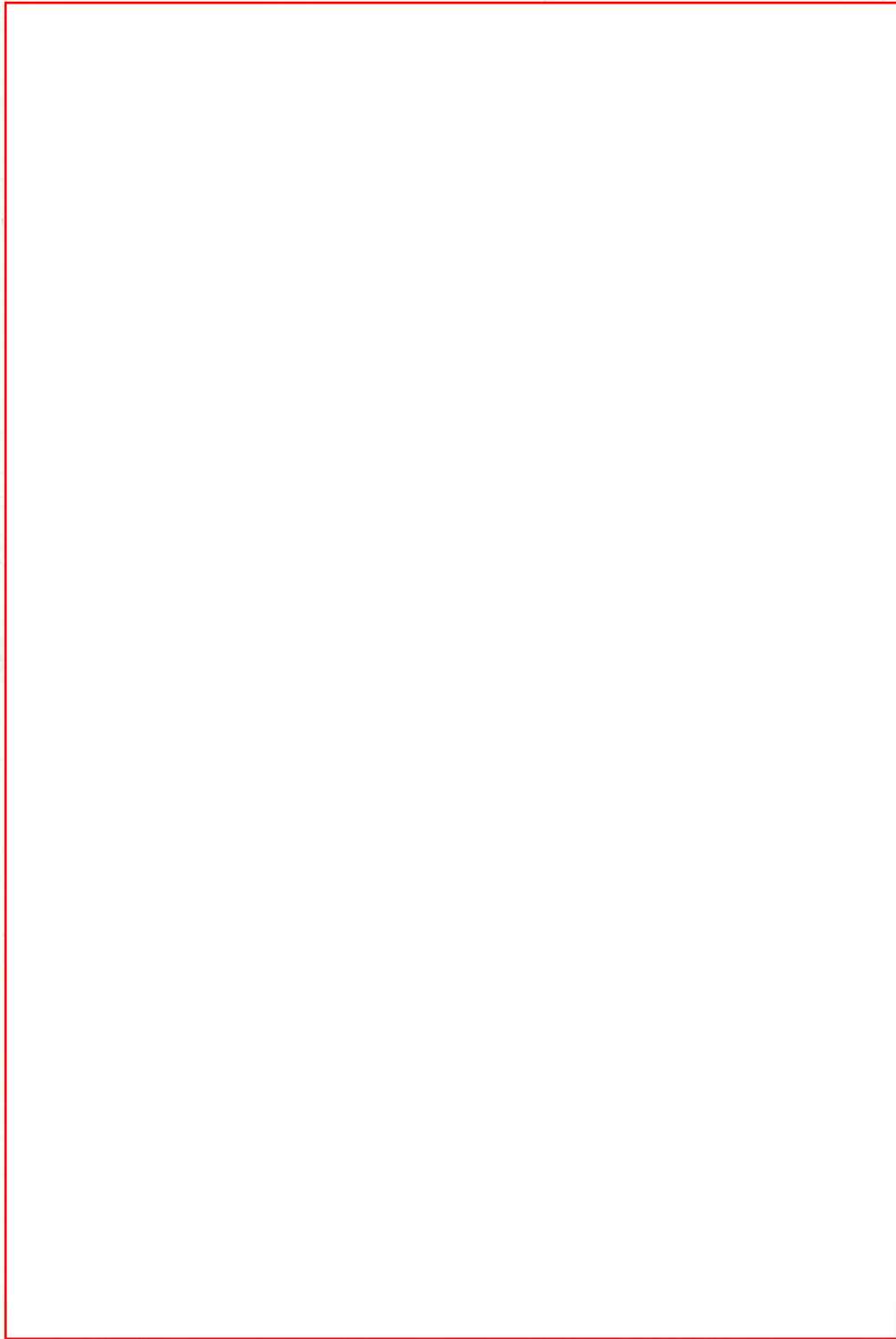
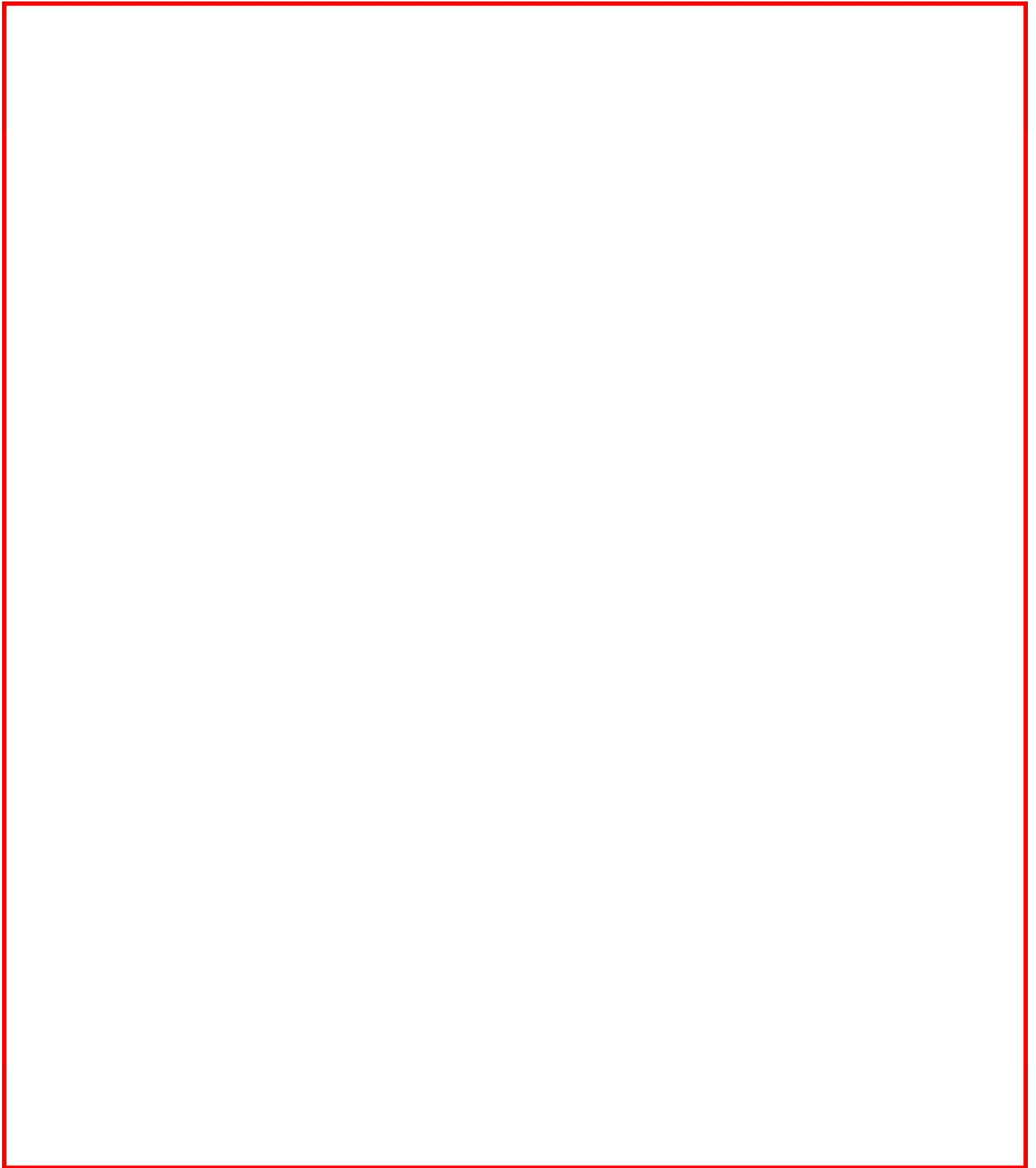


図 4.3.2-1 R-Z 体系計算による 1100MWe 級 BWR の 1MeV 以上の中性子束等高線図
($\text{cm}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$)

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