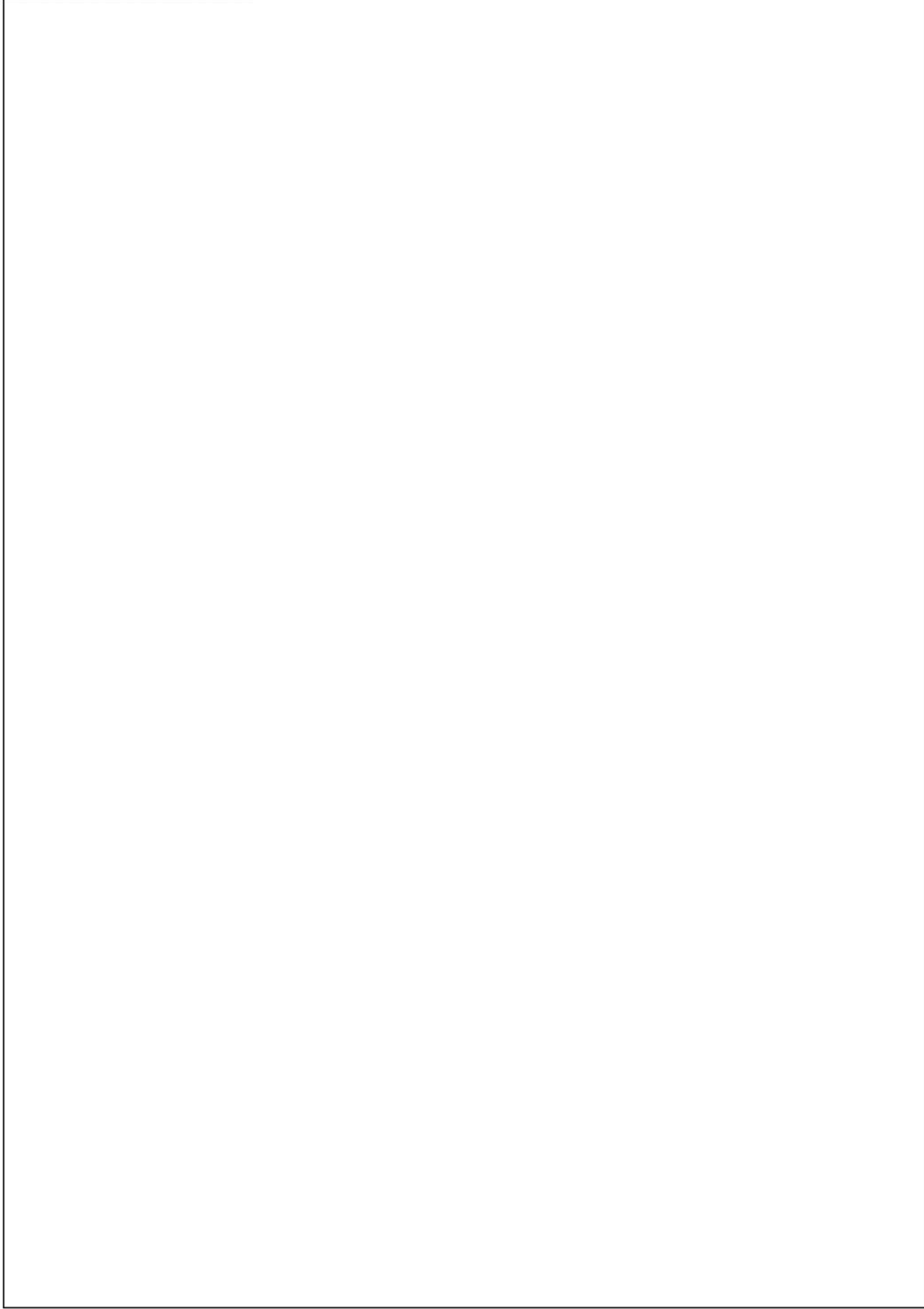


No.	高浜 2－熱時効－ 6 rev1	事象：2相ステンレス鋼の熱時効
質 問	<p>(別冊-5配管-41次冷却材管-17頁)</p> <p>母管の熱時効に係る現状保全及び総合評価について、健全性評価において選定した評価部位との関係から、定期的実施している溶接部の超音波探傷検査における検査部位の選定（サンプリング）の妥当性を提示すること。</p>	
回 答	<p>母管及び管台の溶接部の供用期間中検査（超音波探傷検査）の検査部位の選定は維持規格に基づき実施しております。</p> <p>維持規格においては、経年劣化を確認するため定点サンプリング方式を採用しております。当該部においては、経年劣化事象を考慮して相対的に経年変化に厳しい条件にあると考えられる部位を優先して選定することが望ましいとの考えに則って、以下の溶接継手を優先して選定することとしております。</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>①容器と各管との溶接継手</li> <li>②構造不連続部の継手</li> </ul> <p>また、部位として選定した構造不連続部の継手が特定の系統および口径の継手に偏らないようにするため、その継手数を比例配分により求めるよう定めております。（維持規格参照）</p> <p>具体的な選定箇所および検査部位を添付 1 に示します。</p> <p>なお、母管及び管台の健全性評価において選定した箇所については、添付 1 に示す上記①②に該当する選定箇所に含まれており、現状保全にて健全性を確認しております。</p>	



No.	高浜2－その他の経年劣化事象－1	事象：摩耗－1
質 問	<p>(別冊-7炉内構造物-26頁)          制御棒クラスタ案内管(案内板)の摩耗について、健全性評価の具体的な内容及びその根拠を提示すること。</p>	
回 答	<p>制御棒クラスタ案内管(案内板)の摩耗については、CCDカメラによって案内板のガイド穴を撮影した後、撮影画像から摩耗長さを算出しています。高浜2号炉は第21回定期検査時に摩耗計測を実施しており、摩耗長さは最大で <input type="text"/> %でした。</p> <p>その結果から、日本機械学会 維持規格(JSME S NA1-2008) および原子力安全推進協会 PWR炉内構造物点検評価ガイドライン[制御棒クラスタ案内管](第3版)(グループ4)に基づき将来の摩耗予測を実施し、制御棒クラスタ案内管(案内板)から制御棒が抜け出す可能性が出てくると考えられる摩耗長さ74%に至るのは62.7万運転時間であると評価しています。(図1、図2参照)</p> <p>一方で、高浜2号炉の2015年4月時点の運転実績は約22万時間であることから、制御棒クラスタ案内管(案内板)の摩耗が制御棒の案内機能に直ちに影響を及ぼす可能性はないと考えています。</p> <p>また、定期的に制御棒の落下試験を実施し、挿入時間に問題がないことにより健全性を確認しています。</p> <p>したがって、今後も現状保全を継続することで、機能の維持は可能であるとと考えています。</p>	

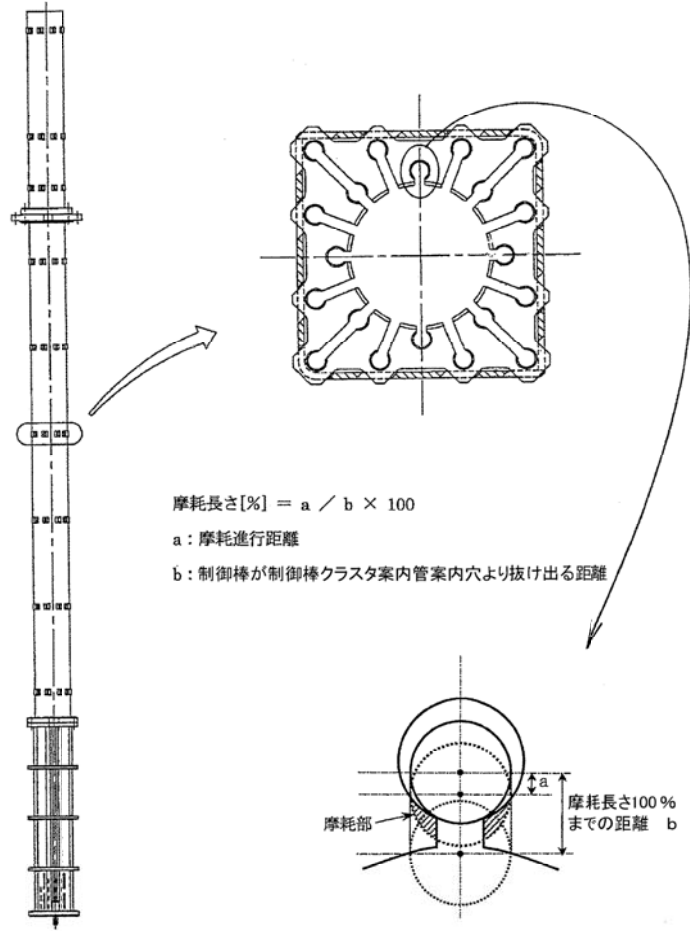


図1 高浜2号炉 制御棒クラスタ案内管（案内板）摩耗長さ

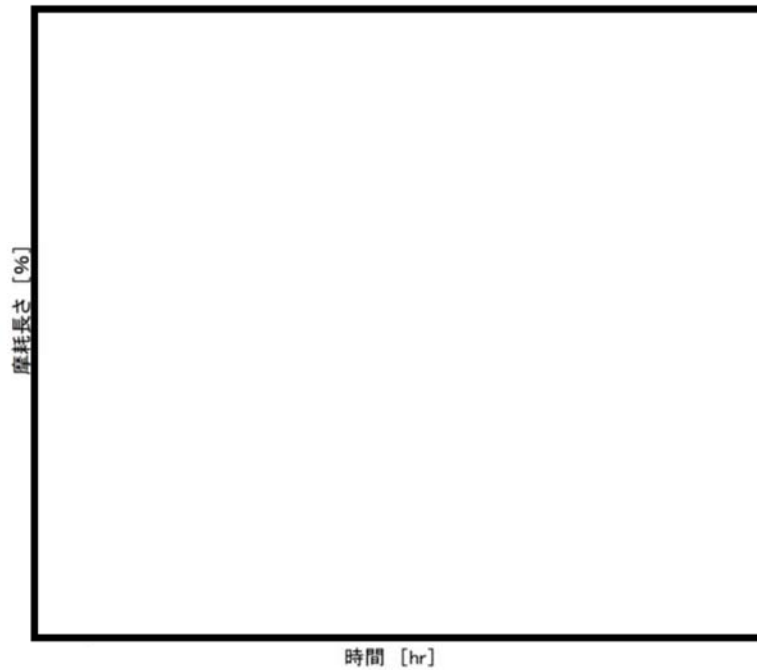


図2 高浜2号炉 制御棒クラスタ案内管案内板摩耗進行予測結果

内は商業機密に属しますので公開できません

No.	高浜2－その他の経年劣化事象－15 Rev1	事象：中性子照射による靱性低下 －1
質 問	<p>(別冊-7炉内構造物-27頁) 炉心そうの目視確認について、頻度、範囲等の詳細を提示すること。また、「万一有意な欠陥が存在すると仮定した場合でも不安定破壊しないことを確認している」ことの詳細を提示すること。</p>	
回 答	<p>炉心そうに対して実施している水中テレビカメラによる目視確認については、「高浜1－その他の経年劣化事象－20」を参照願います。</p> <p>万一有意な欠陥が存在すると仮定した場合でも不安定破壊しないことを確認している」ことの詳細について、以下に示します。</p> <p>想定欠陥は、日本機械学会 設計・建設規格 (JSME S NC1-2005/2007) を準用し、深さを板厚の1/4、長さは板厚の1.5倍の表面欠陥を周方向に仮定した (図1)。</p> <p>平板中の半楕円表面き裂の応力拡大係数Kを求めるRaju-Newmanの式 (Raju, I. S. and Newman, J. C., Jr., NASA Technical Paper 1578, 1979.) を用いて想定欠陥の応力拡大係数Kを算出した結果、<span style="border: 1px solid black; padding: 0 5px;"> </span>MPa√mとなった。</p> <p>一方、図2中のJ<sub>IC</sub>最下限値14 kJ/m<sup>2</sup>から、換算式により破壊靱性値K<sub>IC</sub>を求めると51 MPa√mとなる。</p> <p>以上より、想定欠陥の応力拡大係数は、破壊靱性値を下回っており、不安定破壊は生じないことを確認した。</p> $K_{IC} = \sqrt{\frac{E}{(1-\nu^2)}} \times J_{IC}$ <p>E：縦弾性係数 (173000 N/mm<sup>2</sup> at 350°C)  ν：ポアソン比 (0.3)  J<sub>IC</sub>：破壊靱性値の下限 (14 kJ/m<sup>2</sup> at 350°C)</p>	

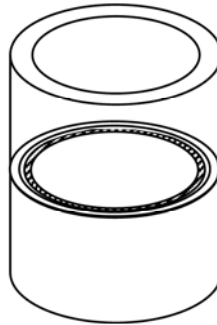
また、日本機械学会 発電用原子力施設規格 維持規格 (JSME S NA1-2008) に基づき実施した健全性評価の結果を以下に示します。

【評価内容】

- ・炉心そう溶接部にき裂を想定し、FEM解析によって応力拡大係数Kを算出する。

【評価条件】

- ・溶接タイプ (残留応力) :
- ・機械及び熱応力 : 通常運転時の応力
- ・地震による応力 :  $S_s$ 地震動による応力 (約  MPa)
- ・想定き裂形状 : 溶接線中心 (内面) に全周き裂  
(下図にき裂のイメージを示す)
- ・炉心そう形状 : 板厚  mm、内径  $\phi$   mm



想定き裂のイメージ  
(斜線部分)

【評価結果】

評価条件の応力状態における炉心そうに対し、き裂深さをパラメータとして応力拡大係数Kを算出した結果、応力拡大係数Kは最大値約  MPa $\sqrt{m}$  となり、破壊靱性値  $K_{Ic}$  : 51 MPa $\sqrt{m}$  に対して十分小さい値であった。以上の結果から、仮に炉心そう溶接部にき裂が生じても不安定破壊は起こらないと考えられる。

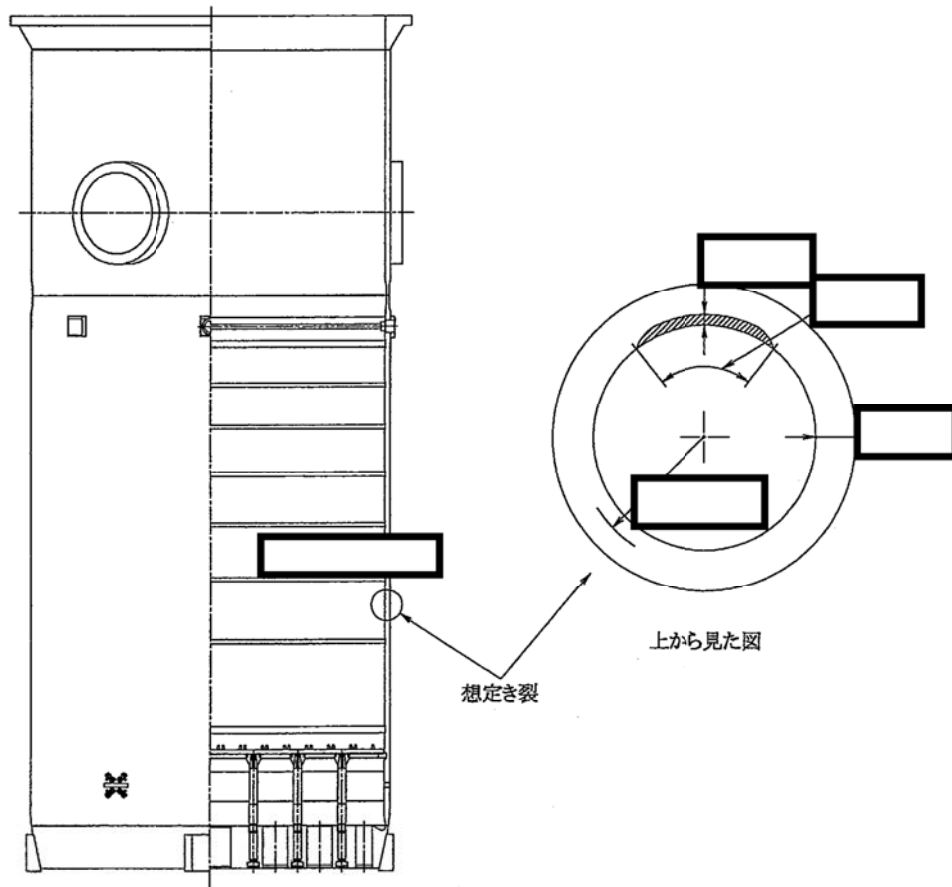


図1 高浜2号炉 中性子照射による靱性低下に対する炉心そうの想定き裂

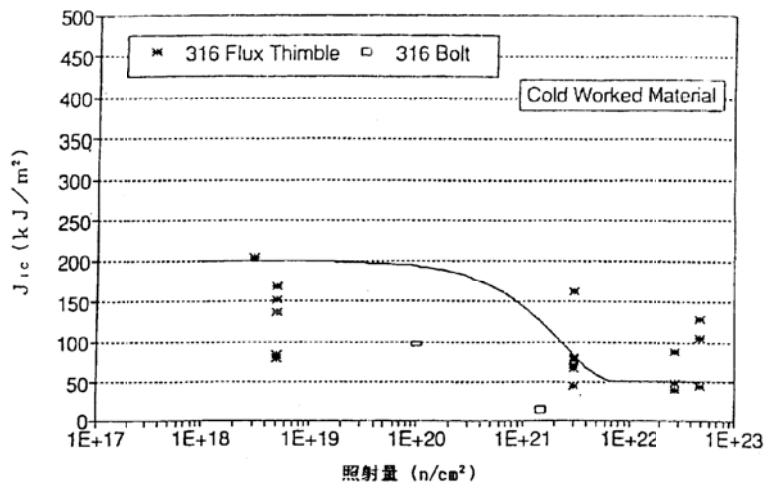


図2 破壊靱性値 $J_{1c}$ と照射量の関係

[出典：発電設備技術検査協会「プラント長寿命化技術開発」報告書]

内は商業機密に属しますので公開できません

No.	高浜2-40年目追加評価-2	事象：劣化傾向の評価											
質問	<p>(別冊-18 40年目追加評価-低サイクル疲労-7頁)                  ケーシング吐出ノズルについて、30年目の高経年化技術評価と劣化状況評価における疲労累積係数の相違について定量的な理由を提示すること。</p>												
回答	<p>表1 1次冷却材ポンプケーシング吐出ノズル疲労評価結果の相違</p> <table border="1" data-bbox="454 768 1302 981"> <thead> <tr> <th rowspan="2">機器・設備</th> <th rowspan="2">部位</th> <th colspan="2">60年時点の予測値</th> </tr> <tr> <th>30年目評価</th> <th>40年目評価</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>1次冷却材ポンプ</td> <td>ケーシング吐出ノズル</td> <td>0.192</td> <td>0.018</td> </tr> </tbody> </table> <p>表1のように、高浜2号機の1次冷却材ポンプケーシング吐出ノズルの疲労評価結果については、40年目評価（以下「PLM40」という。）の予測値が30年目評価（以下「PLM30」という。）の予測値で相違があります。相違が生じた大きな理由として「応力割増係数Keの算出式の変更」が挙げられます。</p> <p>PLM40の適用基準は「発電用原子力設備規格 設計・建設規格 第1編軽水炉規格」（JSME S NC-1 2005/2007）であるのに対し、PLM30の適用基準は「発電用原子力設備に関する構造等の技術基準」（通商産業省告示501号）であるため、応力割増係数Keの算出式が変更となっています。</p> <p>(1) PLM30での応力割増係数Keの算出過程                  まず、PLM30でのKe算出式を示します。「発電用原子力設備に関する構造等の技術基準」によりKeは、次式で表されます。添付1にPLM30での吐出ノズルの疲労評価結果および評価点を示します。</p> $Ke = 1 + \frac{1-n}{n(m-1)} \left( \frac{Sn}{3Sm} - 1 \right) \quad (\text{※}Sn > 3Sm \text{のとき})$ <p> <math>Sn</math>：一次+二次応力強さのサイクルにおける極大値と極小値の差  <math>Sm</math>：設計応力強さ  <math>m</math>：材料の種類に応じ定められた定数（添付3参照）  <math>n</math>：材料の種類に応じ定められた定数（添付3参照）                 </p> <p>例として表1のPLM30における予測値を示した評価点の、繰り返しピーク応力強さ最大の場合のKe計算過程を示します。（添付1および添付3参照）</p> $Ke = 1 + \frac{1-0.3}{0.3(1.7-1)} \left[ \text{ } - 1 \right] = \text{ } $			機器・設備	部位	60年時点の予測値		30年目評価	40年目評価	1次冷却材ポンプ	ケーシング吐出ノズル	0.192	0.018
機器・設備	部位	60年時点の予測値											
		30年目評価	40年目評価										
1次冷却材ポンプ	ケーシング吐出ノズル	0.192	0.018										

内は商業機密に属しますので公開できません



(2) PLM40のKe算出式を用いて、(1)の評価点のKeを算出  
次にPLM40でのKe算出式を示します。「発電用原子力設備規格 設計・建設規格 第1編軽水炉規格」(JSME S NC-1 2005/2007)により、Keは次式で表されます。添付1にPLM40での吐出ノズルの疲労評価結果および評価点を示します。

$$Ke = 1 + (q-1) \left(1 - \frac{3Sm}{Sn}\right) \quad \left( \text{※ } K < B_0, \frac{Sn}{3Sm} \geq \frac{(q + \frac{A_0}{K} - 1) - \sqrt{(q - \frac{A_0}{K} - 1)^2 - 4A_0(q-1)}}{2A_0} \text{ のとき} \right)$$

- $Sn$ : 一次+二次応力強さのサイクルにおける極大値を極小値の差
- $Sm$ : 設計応力強さ
- $q$ : 材料の種類に応じ定められた定数 (添付1参照)
- $A_0$ : 材料の種類に応じ定められた定数 (添付1参照)
- $B_0$ : 材料の種類に応じ定められた定数 (添付1参照)
- $K$ :  $Sp/Sn$
- $Sp$ : ピーク応力強さのサイクルにおいてその極大値と極小値の差

この式を用いて、表1のPLM30における予測値を示した評価点の、繰り返しピーク応力強さ最大の場合のKeを算出します。

$$Ke = 1 + (3.1 - 1) \left(1 - \frac{\square}{\square}\right) = \square$$

PLM40で用いたKe算出式によるKe  $\square$  が、PLM30で用いたKe算出式によるKe  $\square$  よりも値が小さくなっています。

同様にKeを算出していく、PLM30の評価についてPLM40のKe算出式を用いてUF値を算出した値を表2に示します。

表2 PLM30のKe算出式を変更した場合のUF値比較

PLM30でのUF値	
告示501号によるKe算出式を用いた場合	JSME S NC-1 2005/2007によるKe算出式を用いた場合
0.192	0.036

このようにPLM40の算出式を適用すると、PLM30の算出式を適用したものよりUFが小さくなるのが分かります。

以上のことから、PLM40の予測値とPLM30の予測値で相違が生じた大きな理由として「Keの算出式の変更」が考えられます。

高浜2号機PLM30での一次冷却材ポンプ各評価点での一次+二次応力強さ

部 位	評価点	一次+二次応力強さ (N/mm <sup>2</sup> )		疲れ評価	
		PL+PB+Q	許容値	$\sum u_i$	許容値
吸込 ノズル	[Redacted]	[Redacted]	[Redacted]	[Redacted]	[Redacted]
吐出 ノズル					
脚部					

内は商業機密に属しますので公開できません

高浜2号機PLM30でのRCPケーシング吐出ノズルの疲労評価結果 (評価点: 13)

STRESS INTENSITY				NUMBER OF CYCLES		USAGE
MAXIMUM	MINIMUM	KE	ALT	N	N <sub>e</sub>	FACTOR
TOTAL =						0.19139

⇒通常UF: 0.192



高浜2号機PLM30でのRCPケーシング評価点

内は商業機密に属しますので公開できません

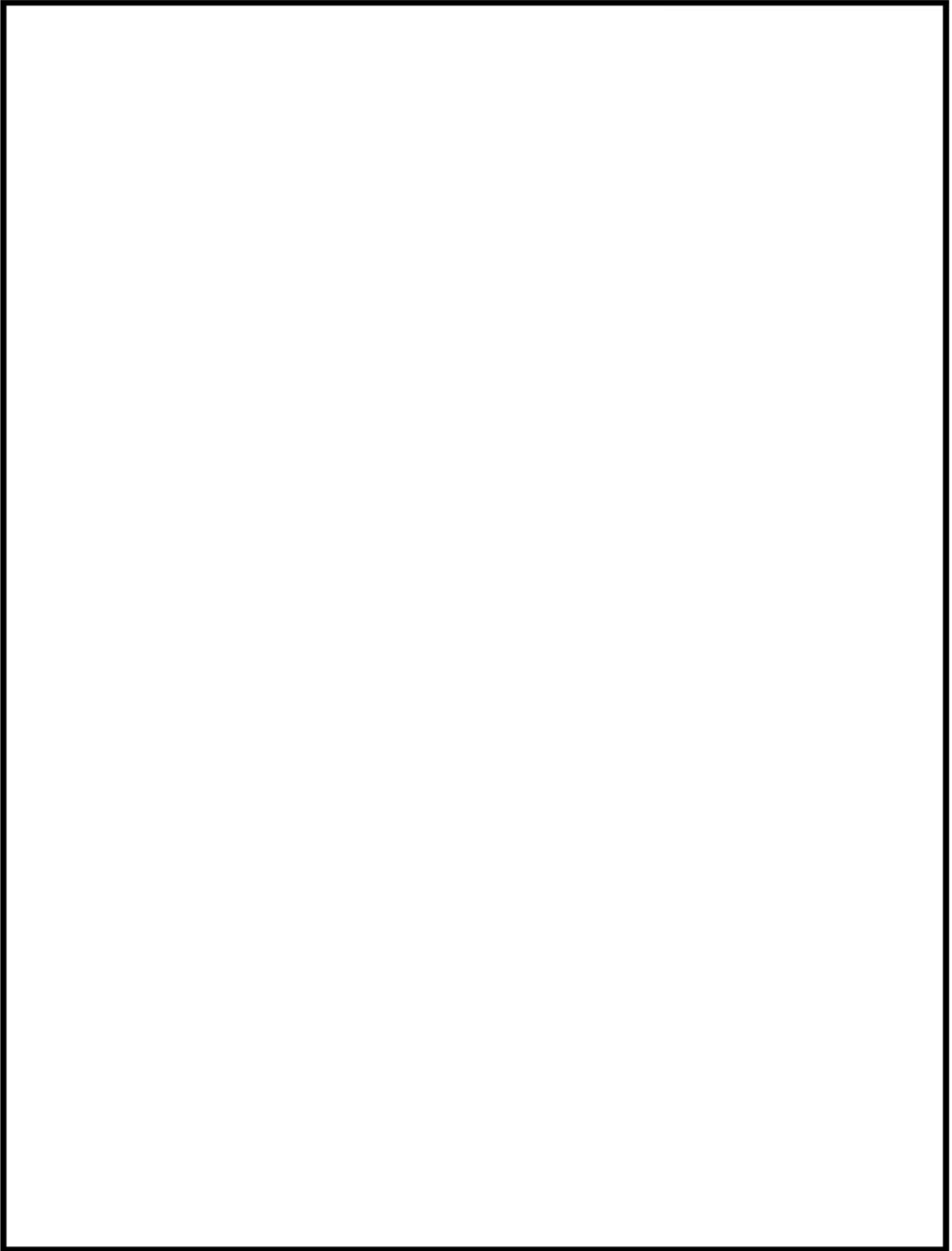
高浜 2 号機PLM40でのRCPケーシング吐出ノズルの疲労評価結果 (評価点 : 6003)

STRESS INTENSITY	NUMBER OF CYCLES	USAGE

TOTAL = | 0.01728 |

⇒通常UF : 0.018

内は商業機密に属しますので公開できません



高浜2号機 PLM40でのRCPケーシング評価点

内は商業機密に属しますので公開できません

応力割増係数 $K_e$ 算出式における、材料の種類に応じ定められた定数  
(PLM30適用基準「発電用原子力設備に関する構造等の技術基準」より抜粋)

材 料 の 種 類	m	n	$A_0$
低合金鋼	2.0	0.2	1.0
マルテンサイト系ステンレス鋼	2.0	0.2	1.0
炭素鋼	3.0	0.2	0.66
オーステナイト系ステンレス鋼	1.7	0.3	0.7
高ニッケル合金	1.7	0.3	0.7

(PLM40適用基準「発電用原子力設備規格 設計・建設規格 第1編軽水炉規格」より抜粋)

材 料 の 種 類	q	$A_0$	$B_0$
低合金鋼	3.1	1.0	1.25
マルテンサイト系ステンレス鋼	3.1	1.0	1.25
炭素鋼	3.1	0.66	2.59
オーステナイト系ステンレス鋼	3.1	0.7	2.15
高ニッケル合金	3.1	0.7	2.15