

タイトル	配管破断防護設計指針等に基づき、破断前漏えい概念を適用している配管系に対する、劣化状況評価の対象期間における破断前漏えいの成立性について
説明	<p>設計評価（工事計画認可申請書）で破断前漏えい概念（以下LBB）適用を確認している配管は添付 1 に示す配管系統である。</p> <p>これらの配管系統に対して劣化状況評価において、着目すべきとしている劣化事象とその部位の組合せは以下のとおりである。</p> <p>＜ステンレス鋼配管＞ ○ 1 次冷却系統配管（分岐管台含む） ・疲労割れ（低サイクル疲労）</p> <p>＜ 1 次冷却材管＞ ○ 母管（直管、エルボ） ・疲労割れ（低サイクル疲労） ・熱時効</p> <p>これら劣化事象のうち、疲労割れ（低サイクル疲労）については、劣化状況評価の結果から、60年の運転期間を想定しても発生の可能性はない。一方で熱時効については、劣化による影響が考えられるため、1次冷却材管の母管（直管、エルボ）に対して熱時効による劣化の影響を考慮してLBBの成立性を確認する。</p> <p>高浜2号炉の配管における2相ステンレス鋼使用部位は1次冷却材管母管であり、破損想定位置は原子炉容器出入口管台と配管との接続部（母管）である。（添付1） これら2部位に対して熱時効劣化状態におけるLBB成立性を確認することとするが、出口管台と入口管台の判定応力は同じであり、作用応力は出口管台の方が大きい。このため、入口管台の評価は出口管台で代表させて評価を行う。</p> <p>【評価方法】 LBB成立性の確認は、「配管の破断に伴う「内部発生飛来物に対する設計上の考慮」について」に基づいて行う。具体的には以下の方法で行う。</p> <p>(1) 評価部位 ・評価部位（配管破損想定位置）は、設計評価と同じ位置とする。具体的には原子炉容器出口管台と配管との溶接部とする。 ・熱時効による材料特性の変化（靱性の低下）を考慮して、き裂安定性評価を行い、配管破損形式を確認する。</p> <p>(2) 評価用初期欠陥 初期欠陥は、$0.2t$（深さ）$\times 1.0t$（長さ）t:板厚 の半楕円の管内面周方向単一欠陥とする。</p>

(3) 評価用荷重

き裂進展解析に用いる評価用荷重は、供用状態A、Bおよび1/3Sd地震を考慮して設定した荷重とする。

(4) き裂進展解析

・き裂進展解析は、Paris則によるものとする。き裂進展速度は国内軽水炉環境下の試験データから定められた「原子力発電所配管破損防護設計技術指針 (JEAG4613-1998)」(以下JEAG4613)、「3.2 評価方法」に記載の相関式を用いて実施する。

・き裂が配管を貫通するまで解析を行う。

(5) 想定き裂の決定

・き裂安定性解析に用いる想定き裂の寸法は、漏洩検知設備の検知能力に対し安全余裕を取り、通常運転荷重をもとに決定したき裂の大きさを下回らないものとする。

・漏洩量計算のための開口面積の計算はTada&Parisの式によるものとする。

・き裂からの漏洩量計算はHenryの式 (サブクール水) によるものとし、き裂面の表面粗さを考慮する。

・高浜2号機は設計評価にてRCPB配管から1gpmの漏洩が生じたときの検出能力を有することを確認しており、さらにJEAG4613の参考資料1にて(4)のき裂進展解析によるオーステナイトステンレス鋼の貫通時のき裂長さは約5tで包絡されることが確認されていることから、想定き裂の寸法は検出能力に対して安全余裕を持った5gpmとき裂進展解析による5tの大きい方を想定き裂とする。

(添付2)

(6) き裂安定性解析

・正味応力概念に基づくき裂安定性解析を行い、き裂部が破壊に至らない応力を求める。ただし、今回評価対象とするステンレス鋼については熱時効により破壊靱性が低下し弾塑性的破壊挙動を示すため、正味応力概念に基づいて評価した破壊時の応力を弾塑性破壊力学評価法で補正することで求めることとする。

・流動応力は設計・建設規格に規定されている設計降伏点と設計引張強さの和の1/2とする。

・作用荷重は、供用状態A、B、Cおよび供用状態A+Sd地震動の組み合わせを考慮する。

・考慮する荷重は一次応力 (自重、内圧、その他機械荷重) + 二次応力成分のうち熱膨張荷重とする。

・き裂安定性解析により求められる安定限界応力が設計荷重により生じる応力以下の場合は「破断」。上回る場合は「漏洩」を想定する。

(7) 設計用開口面積

上記評価により「漏洩」と判断された場合には、冷却材の噴出によるジェット力を評価するための設計用開口面積を求める。開口面積はTada&Parisの式により求めた計算値に1.5を乗ずる。

なお、上記に基づく評価の結果が「発電用原子力設備規格 配管破損防護設計規格 (JSME S ND1-2002)」(以下LBB規格)の表D-2400-2にPWRのオーステナイトステンレス鋼配管に対して定められており、表D-2400-2(3/3)は

ステンレス鋳鋼に対して適用されるものである。ここで適用されている安定限界応力は最も保守的となる実機プラントの最大フェライト量約23.5%^{*1}の主冷却材管（SCS14A材）に対して、熱時効による靱性低下の飽和J-R曲線（予測）を用い、2パラメータ法から評価したHp係数^{*2}により極限荷重評価法による破壊時曲げ応力を補正した安定限界応力から評価したものである。このため、運転開始後60年の熱時効劣化を考慮したLBB成立性評価は、表D-2400-2(3/3)を用いる。

*1 高浜2号炉主冷却材管（原子炉容器出入口管台部）のフェライト量は約11.9%～約17.0%

*2 $H_p = M_{of} / M_1 = 1.45$ （29B主冷却材管の場合）

M_{of} ：極限荷重評価法による最大曲げモーメント

M_1 ：2パラメータ法（R6法Option2）による破壊評価曲線図における破壊評価曲線とJ-R曲線等から求めたき裂進展評価曲線の接点から算出（詳細はJSME S ND1-2002に記載）

【LBB成立性評価】

原子炉容器出口管台に対して、配管破損形式の決定を行う。供用状態A, B, C及び供用状態A+Sd地震の荷重に基づき作用する応力を求め、表1に従い判定応力と比較することで、配管破損形式及び開口面積を決定する。なお、配管の破損形式は、以下に分類する。

(1) 漏えい

- a. 表1で作用応力が判定応力より低い場合、配管に想定する。
- b. 表1に示す開口面積に相当する円形の開口を配管の周方向任意位置に想定する。

(2) 破断

表1で作用応力が判定応力以上の場合、配管に周方向破断を想定する。

表1 配管の破損形式及び開口面積

呼び径 (B)		29 (内径)
外径Do (mm)		882.0
板厚t (mm)		72.7
想定き裂角2θ (度) (注4)		56.6
判定応力 ($\times S_m$) (注2)		1.76
作用応力	$P_m=0.5S_m$ $P_b=0$	L(207)
	$P_m=0.5S_m$ $P_b=0.5S_m$	L(543)
	$P_m=0.5S_m$ $P_b=1.0S_m$	L(1235)
	$P_m=0.5S_m$ $P_b=1.5S_m$	B
	$P_m=0.5S_m$ $P_b=2.0S_m$	B
	(注2) 判定応力	L(1876)

(注1) B : 破断を想定する
L : 漏えいを想定する

(注2) 

(注3) 開口面積は作用応力に応じて内挿するものとする。

(注4) 想定き裂角度 2θ は、想定き裂長さに対する中心角を表す。

原子炉容器出口管台について、作用する応力を基に、LBB規格の添付5を用いて決定した配管破損形式及び開口面積を表2に示す。

表2 高浜2号炉における熱時効を考慮したLBB成立性確認結果

破損想定位置	呼び径(B)	作用応力(合計) ($\times S_m$)	安定限界応力 ($\times S_m$)	配管破損形式	開口面積 (mm^2)
原子炉容器出口管台	29 (内径)		1.76	L	

このとおり配管破損形式は「漏えい」となることから、高浜2号炉において、LBBを適用している2相ステンレス鋼配管は60年間の熱時効劣化を考慮してもLBEが成立することが確認できた。

以上

枠囲みの範囲は機密に係る事項ですので公開することはできません

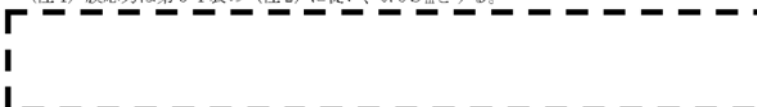
高浜 2 号機 工事計画認可申請書 (H28. 4. 27 一部補正申請)

添付資料14 別添7 原子炉冷却材圧力バウンダリに属する配管に対するLBB成立性評価
結果に関する説明書 (抜粋)

第 4-1 表 LBB 成立性評価結果 (1/2)

評価対象：1 次冷却材管

分類	破損想定位置	呼び径 (B)	作用応力 ($\times S_m$)			判定応力 ($\times S_m$)	配管破損 形式	開口面積 (mm^2)	配管破損 反力 (kN)
			膜応力 ^(注1)	曲げ応力	合計応力				
母管	原子炉容器出口管台	29(内径)	0.5			2.28	L		
	原子炉容器入口管台	27.5(内径)	0.5			2.28	L		
分岐管台 ^(注4)	サージ管台	14	0.5			2.00	L		
	アキュムレータ注入管台	12	0.5			1.93	L		
	余熱除去ポンプ入口管台	12	0.5			1.93	L		
	安全注入管台 ^(注2)	6	0.5			1.83	L		
	スプレイ管台	4	0.5			1.54	L		
	充てん管台 ^(注3)	3	0.5			1.35	B		
	抽出管台 ^(注3)	3	0.5			1.35	B		
	冷却材ドレン管台 ^(注3)	2	0.5			1.03	B		

(注1) 膜応力は第 3-1 表の (注2) に従い、 $0.5 S_m$ とする。

第 4-1 表 LBB 成立性評価結果 (2/2)

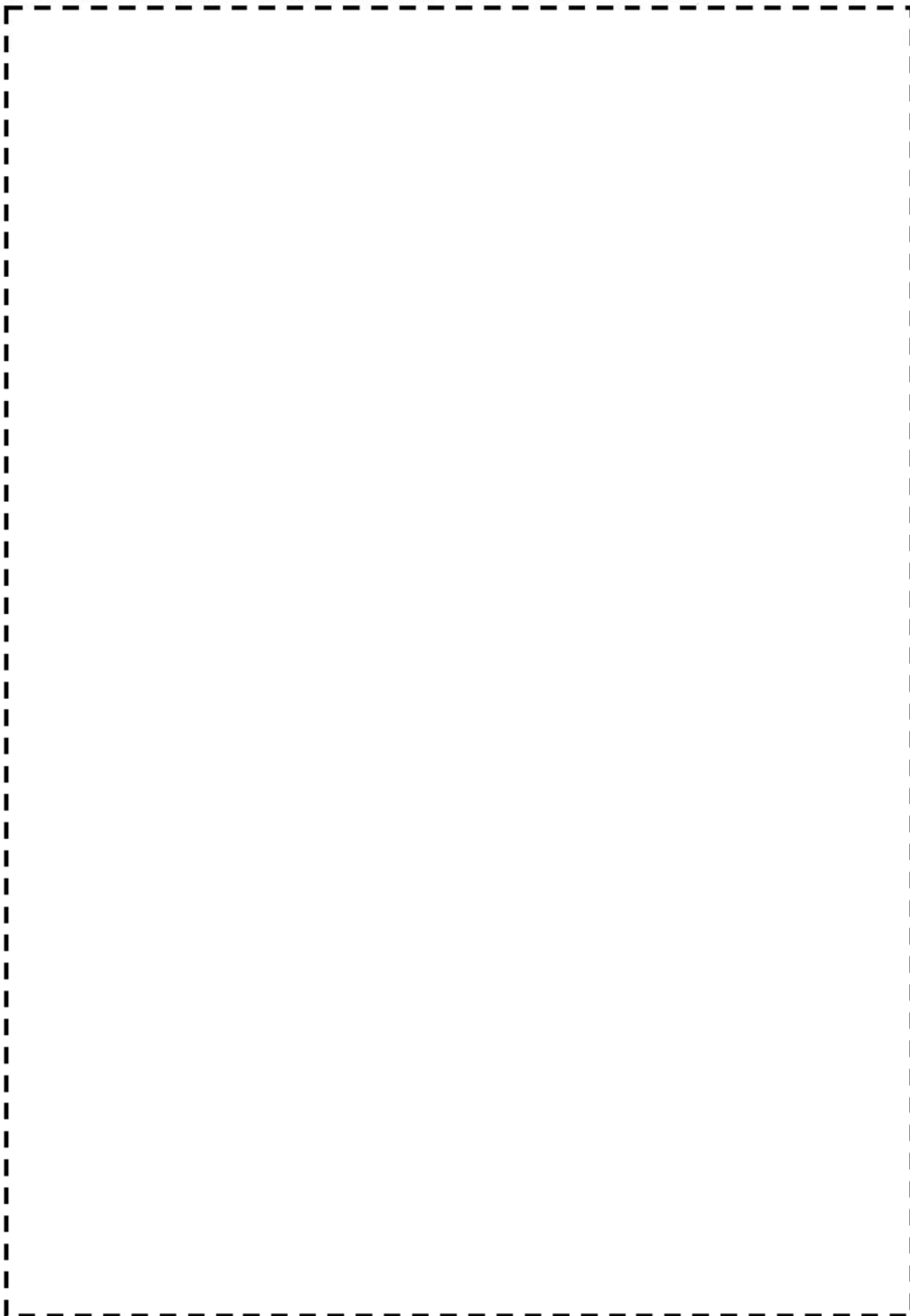
評価対象：加圧器

分類	破損想定位置	呼び径 (B)	作用応力 ($\times S_m$)			判定応力 ($\times S_m$)	配管破損 形式	開口面積 (mm^2)	配管破損 反力 (kN)
			膜応力 ^(注1)	曲げ応力	合計応力				
接続管台 ^(注2)	サージ管台	14	0.5			2.00	L		
	安全弁管台	6	0.5			1.83	L		
	逃がし弁管台	6	0.5			1.83	L		
	スプレイ管台	4	0.5			1.54	L		

(注1) 膜応力は第 3-1 表の (注2) に従い、 $0.5 S_m$ とする。

枠囲みの範囲は機密に係る事項ですので公開することはできません

原子炉安全基準専門部会 配管防護設計小委員会 バックデータ集（抜粋）



枠囲みの範囲は機密に係る事項ですので公開することはできません

工認と劣化状況評価のLBB評価比較

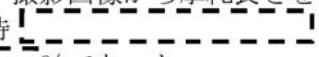
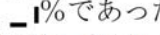
劣化状況評価で実施する経年劣化を考慮したLBB評価においては、JEAG4613による評価を基本としているが、ステンレス鋳鋼の熱時効を考慮した評価を行うため、安定限界応力はLBB規格に記載の値を使用した。（工認では熱時効を考慮しておらず、JEAG4613に記載の安定限界応力を使用している。）

なお、工認と劣化状況評価の評価条件の相違点を下表に示す。

表. 工認と劣化状況評価のLBB評価比較

		高浜2号炉再稼働工認申請	高浜2号炉劣化状況評価	備考
適用規格	適用規格	JEAG4613-1998	JEAG4613-1998（安定限界応力はJSME S ND1-2002の値を使用）	熱時効考慮の有無
	対象材料	オーステナイト系 ステンレス鋼管	ステンレス鋳鋼	
	想定き裂長さ	管の厚さの5倍の長さ		相違なし
	想定き裂角 2θ	56.6度		相違なし
	Hp係数	—	1.45 (29B)	熱時効考慮の有無
入力	評価部位	原子炉容器出口		相違なし
	形状	原子炉容器出口（外径、板厚、断面係数）		相違なし
	作用荷重	<ul style="list-style-type: none"> 自重による荷重 熱膨張（供用状態A、供用状態B、供用状態C）による荷重 地震（Sd）による荷重 		相違なし
評価過程	膜	作用応力 (P_m)	$P_m=0.5S_m$	相違なし
		作用応力式 (P_b)		相違なし (太字は最大となった応力状態)
		作用応力 (P_b)		相違なし
	合計	作用応力 ($P_a=P_m+P_b$)		
評価結果	安定限界応力	$P_f=2.28S_m$	$P_f=1.76S_m$	熱時効考慮の有無
		L (4333)	L (1876)	
	開口面積	mm^2	mm^2	相違なし
	判定	L ($P_a < P_f$)	L ($P_a < P_f$)	—

枠囲みの範囲は機密に係る事項ですので公開することはできません

<p>タイトル</p>	<p>制御棒クラスタ案内管（案内板）の摩耗について</p>
<p>説明</p>	<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る。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%であった。</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る。（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る。</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る。</p> <p>高浜2号炉の制御棒クラスタ案内管（案内板）の次回点検については、PWR炉内構造物点検評価ガイドラインに基づき、前回点検から管理摩耗長さに達すると予測されるまでの期間の1/2の期間として、40万運転時間を目処に計画している。</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る。</p>

枠囲みの範囲は機密に係る事項ですので公開することはできません。

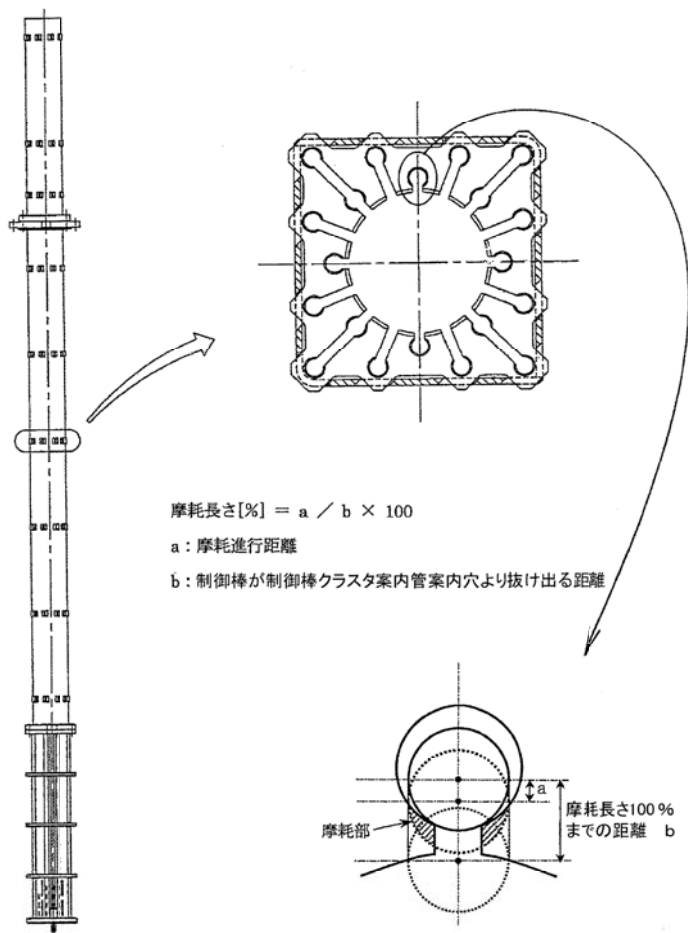


図 1 高浜 2 号炉 制御棒クラスタ案内管 (案内板) 摩耗長さ



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

枠囲みの範囲は機密に係る事項ですので公開することはできません。

<p>タイトル</p>	<p>炉内計装用シンプルチューブの摩耗について</p>
<p>説明</p>	<p>炉内計装用シンプルチューブは、1次冷却材の流れによってシンプルチューブが振動し、燃料集合体下部ノズルまたは下部炉心構造物の通路と接触することによる摩耗が考えられる。</p> <p>この減肉した炉内計装用シンプルチューブの耐圧健全性を確認するために、実機での減肉形状を模擬して外圧による圧壊試験を行い、限界減肉率（\square %）を求めている。</p> <p>また、炉内計装用シンプルチューブの摩耗による減肉に対しては、定期的な渦流探傷検査により摩耗状況を確認し、必要に応じて位置変更または取替を実施している。渦流探傷検査の判定基準は限界減肉率に十分に余裕を見込んだ設定としており、シンプルチューブの摩耗量は限界減肉率に比べて十分小さい状態で管理している。</p> <p style="text-align: center;">-----</p> <p>渦流探傷検査は定期的実施し、減肉箇所と減肉量を把握しており、これまでに急激な減肉は認められていない。また、判定基準に基づき、必要に応じて位置変更や取替の処置を適切に実施しており、これまでの運転経験においてもシンプルチューブからの漏えいは経験していない。</p> <p>なお、過去には高浜1号炉のシンプルチューブにおいて、\square 使用した後に\square %の減肉を確認し、取替を実施したものがあ（添付1参照）。当該シンプルチューブは、\square の使用による中性子照射を受けたものであり、かつ\square %の減肉した状態であったが、使用期間中において漏えい事象はない。</p> <p>一方、現在は減肉率\square %でシンプルチューブの位置変更を行っており、減肉率の低いところで管理できている状態にある。実機での使用実績からも現状の判定基準を用いることで問題ないと考えている。</p> <p>シンプルチューブ先端近傍では中性子照射による材料性状の変化（硬化）が考えられるが、シンプルチューブ自体は拘束のない状態（1次冷却材の外圧を受けるのみ）にあることから、これが直ちに問題となる可能性は小さいと考えている。</p> <p>仮にシンプルチューブから漏えいが発生した場合には、シンプルチューブの先にある中性子束計測装置の漏洩検出器により検出可能であり、隔離弁を閉止することで系外への漏えいを阻止できるように設計されている。また、シンプルチューブから漏えいが発生した場合は、エリアモニタ、格納容器サンプ水位上昇等による検出もあり、これらにより漏えいを検出した後は警報時操作所則に従い、対応を行うこととなる。</p> <p style="text-align: right;">以 上</p>

枠囲みの範囲は機密に係る事項ですので公開することはできません。

表2 減肉指示チューブリスト

(高浜1号機 第21回定検)

- : 指示なし
記号 : 減肉箇所
数字 : 減肉量 (%)
/ : 処置なし

シンプルチューブ		前回		今回	シンプルチューブ		前回		今回
番号	アドレス	結果	処置		番号	アドレス	結果	処置	
* 1	J- 7				26	L- 4			
* 2	G- 7				27	H- 3			
* 3	G- 9				28	D- 5			
* 4	H- 6				29	C- 8			
* 5	F- 8				* 30	N- 7			
6	J-10				* 31	J- 3			
7	F- 9				32	N-10			
* 8	F- 6				33	F-13			
9	H-11				* 34	D-12			
10	L- 8				* 35	N- 5			
* 11	L- 9				* 36	B- 8			
* 12	J- 5				37	B- 7			
13	L- 6				38	G-14			
14	F-11				* 39	F- 2			
* 15	H- 4				* 40	B-10			
16	J-12				41	N-12			
17	D- 7				42	M- 3			
* 18	L-11				43	D- 3			
* 19	L- 5				44	C-12			
* 20	E- 5				45	L-14			
* 21	E-11				46	B- 5			
* 22	F- 4				47	R- 8			
* 23	D-10				48	H- 1			
24	H-13				**49	J-15			
25	N- 8				**50	A- 9			

** : 特殊計装案内管 (本)
* : 計装案内管 (本)
無印 : 十字計装案内管 (本)

枠囲みの範囲は機密に係る事項ですので公開することはできません。

高浜1号機シンブルチェーン減肉指示リスト(5/6)

シンブル 番号	シンブル 外径	第10回		第11回		第12回		第15回		第17回		第18回	
		ECT	処置	ECT	処置	ECT	処置	ECT	処置	ECT	処置	ECT	処置
41	N-12												
42	M-3												
43	D-3												
44	C-12												
45	L-14												
46	B-5												
47	R-8												
48	H-1												
**49	J-15												
**50	A-9												

正検及びECT結果からの記事

注) : 位置変更の旧当たり位置を示す。

** : 特殊計装案内管

** : 計装案内管

** : 十字計装案内管

プリント

KTN-1

54

DC-AF-042

6

枠囲みの範囲は機密に係る事項ですので公開することはできません。

<p>タイトル</p>	<p>重機器サポートパッド、ヒンジ等摺動部の摩耗について</p>
<p>説明</p>	<p>原子炉容器サポート、蒸気発生器支持脚および1次冷却材ポンプ支持脚の摺動部は、重機器の自重を支えていることから、運転開始後60年時点における推定摩耗量を評価した。</p> <p>摩耗量については、現在定量的に評価する理論が確立されていないが、ここではホルム (Holm) の理論式 (機械工学便覧 (日本機械学会編)) により、概略の摩耗量の推定を行った。</p> <p>ホルムの式：$W=K \cdot S \cdot P / P_m$</p> <p>W：摩耗量 [m³] K：摩耗係数 [-] S：すべり距離 [m] P：荷重 [N] P_m：硬さ [N/m²]</p> <p>なお、評価にあたっては、通常運転時における評価対象サポートに加わる荷重 (ton) を算出した。すべり距離 (cm) については計算により求めた熱移動量を基に運転状態 I および運転状態 II の過渡条件とその回数から算出した。</p> <p>摩耗係数および硬さについては J. F. Archard & W. Hirst, Proc. Roy. Soc., 236, A, (1956), 397 より使用温度での硬さの変化を考慮しても安全側の評価となるよう、実機より柔らかい材料である潤滑材なしの軟鋼-軟鋼のデータを引用した。</p> <p>上記式より、運転開始後60年時点の推定摩耗量と、原子炉容器パッド部や蒸気発生器支持脚および1次冷却材ポンプ支持脚の接触面積から、運転開始後60年時点の推定摩耗深さを求める。表1に各数値を示す。</p>

枠囲みの範囲は機密に係る事項ですので公開することはできません。

表1 高浜2号炉 評価対象部位の各数値

部 位	推定摩耗量 (cm ³)	接触面積 (cm ²)	運転開始後 60年時点の 推定摩耗深さ (mm)
原子炉容器 パッド			
蒸気発生器 支持脚ヒンジ			
1次冷却材ポンプ 支持脚ヒンジ			

評価結果を表2に示すが、運転開始後60年時点の推定摩耗深さ（推定減肉量）は微少であり、許容値に比べ十分小さい。また原子炉容器パッドについてはキャビティシール据付時に漏えい検査を実施しており、原子炉容器とキャビティに機器の健全性に影響を及ぼすような有意な高低差は認められないことから、長期運転にあっても支持機能に影響を及ぼす可能性はないと考える。

表2 高浜2号炉 重機器サポート摺動部の摩耗量評価結果

部 位	運転開始後 60年時点の 推定摩耗深さ (mm)	許容値 (mm)	運転開始後60年時点 の推定摩耗深さ / 許容値
原子炉容器 パッド			約1 / 3
蒸気発生器 支持脚ヒンジ			約1 / 1700
1次冷却材ポンプ 支持脚ヒンジ			約1 / 1150

(*1) キャビティシール据付基準範囲

(*2) 他部位へ干渉しない限界値

枠囲みの範囲は機密に係る事項ですので公開することはできません。

タイトル	被覆管の摩耗について
説明	被覆管の摩耗についての健全性評価およびその根拠を添付に示す。

制御棒クラスタの構造と挿入位置関係を図1に示す。

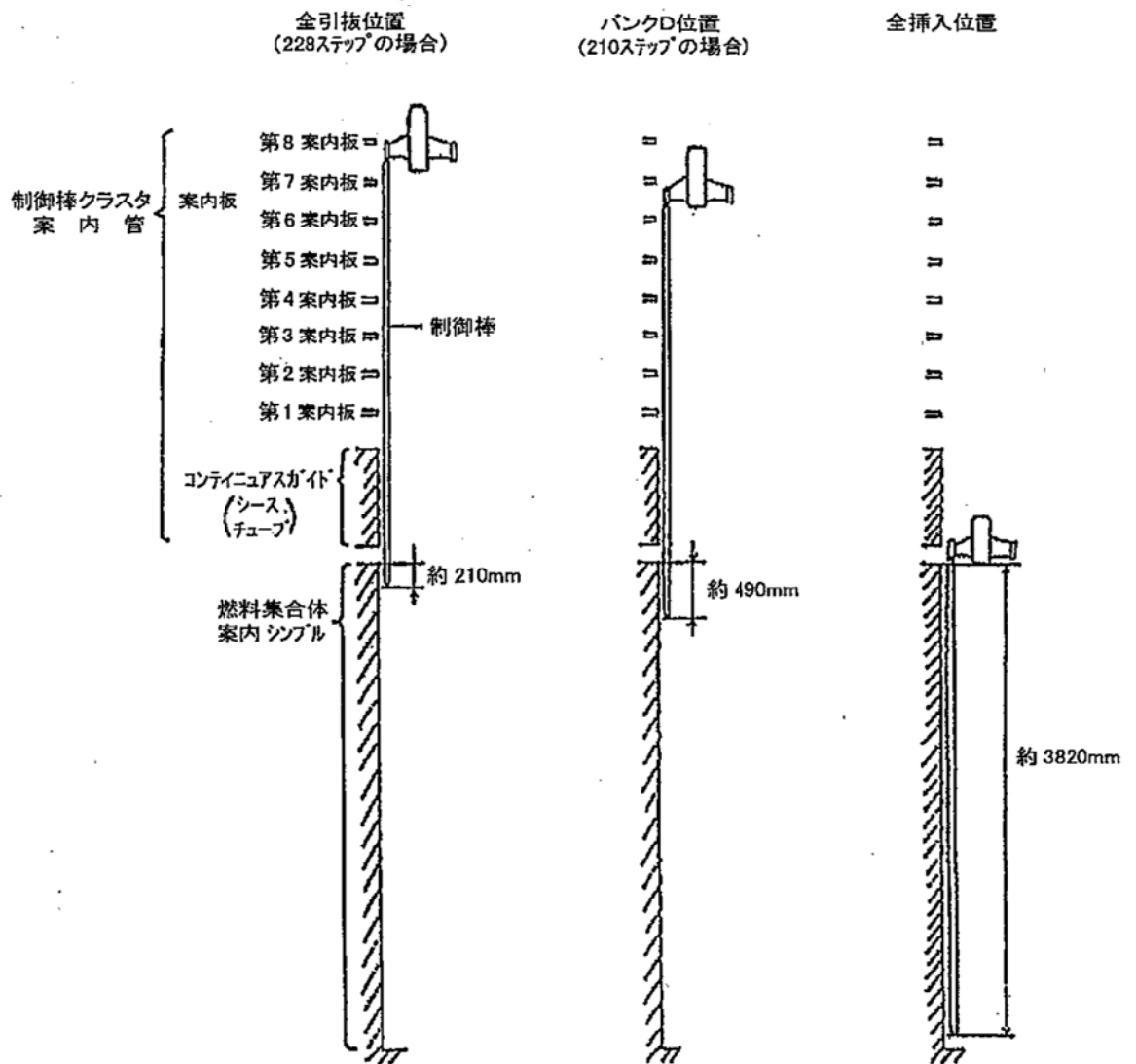


図1 高浜2号炉 制御棒クラスタの構造と挿入位置関係

米国ポイントビーチ (Point Beach) 発電所2号炉で被覆管の摩耗が認められたという報告が、1984年3月にされたため、国内プラントでも検討を行い、図2および図3に示すとおり摩耗測定結果から摩耗の進行を評価しており、予防保全的に摩耗深さが肉厚を超えないよう定期的に取り替を行っている。

なお、万一被覆管が減肉により貫通してもただちに制御棒クラスタの機能に与える影響は小さいことを確認している。

- ・ 被覆管強度 : 摩耗減肉後、さらに貫通した状態で、最も条件が厳しいステッピング荷重を考慮しても、応力や疲労評価上問題なく、被覆管強度は保たれる。
- ・ 中性子吸収体の溶出 : 被覆管に穴が開いても、中性子吸収体が1次冷却材中に溶出する量は微量であり、制御能力にはほとんど影響ない。
- ・ 挿入性、挿入時間への影響 : 被覆管が貫通しても挿入性は確保される。

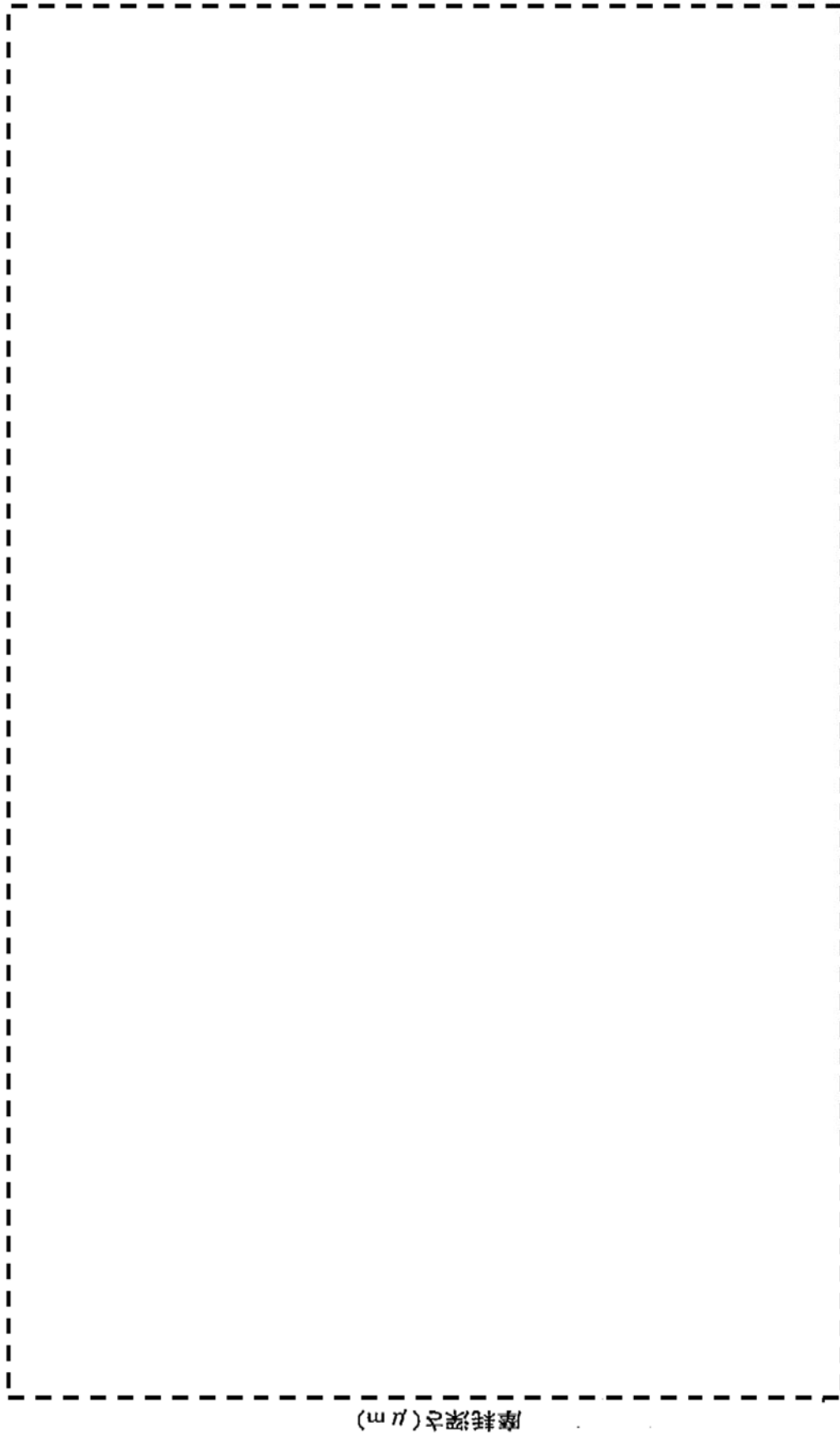


図2 運転時間と制御棒被覆管 (C r メッキ部) 摩耗深さの関係

枠囲みの範囲は機密に係る事項ですので公開することはできません。

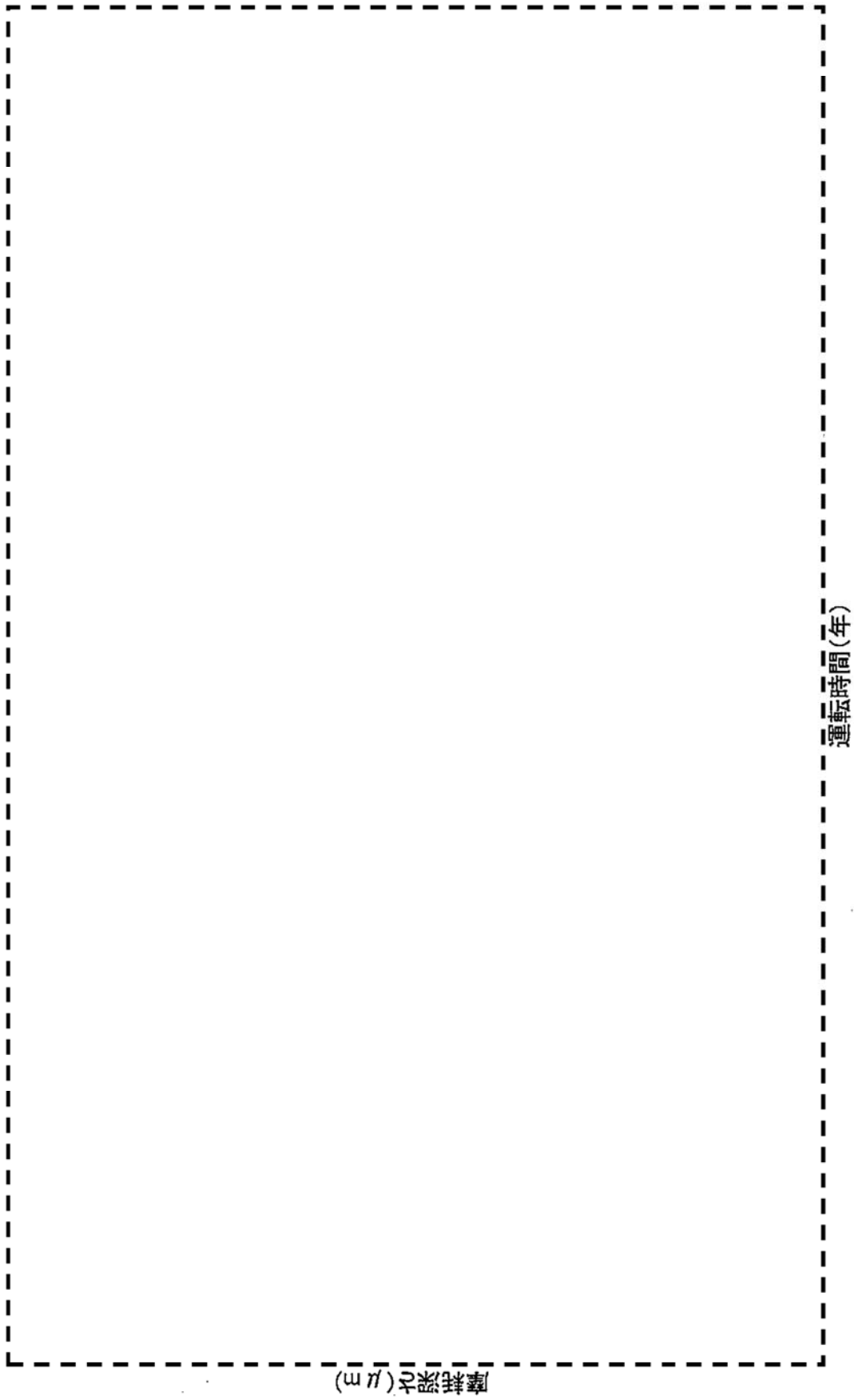


図3 運転時間と制御棒被覆管先端部摩擦深さの相関

枠囲みの範囲は機密に係る事項ですので公開することはできません。

タイトル	熱交換器2次側構成品（低合金鋼使用部位）の腐食について
説明	<p>高浜2号炉の劣化状況評価書において、流れ加速型腐食が想定される部位が低合金鋼であることから、炭素鋼より流れ加速型腐食に優れているとの記載がある箇所、材料は以下の通りである。</p> <p>①蒸気発生器 a) 給水リング b) Jチューブ c) 給水入口管台 d) 蒸気出口管台 e) 2次側胴 f) 気水分離器 g) サーマルスリーブ</p> <p>② 高圧タービン 車軸</p> <p>③ 低圧タービン 車軸</p> <p>ただし、上記の部位のうち、蒸気発生器の2次側胴に使用されている材料はクロムを含んでおらず、炭素鋼に対する流れ加速型腐食に対する優位性は小さい材料である。</p> <p>これらの部位の流れ加速型腐食に対する健全性を以下に示す。</p> <p>① 蒸気発生器 蒸気発生器2次側の各部位については、内部構成品の目視確認を実施しており、可視可能範囲は定期的 [] に健全であることを確認している。（添付-1）</p> <p>また、給水リング内部、給水入口管台内部（サーマルスリーブ）はH23年度に目視点検を実施しており、腐食などの劣化がないことを確認している。（添付-2）</p> <p>蒸気出口管台は内部に600系ニッケル基合金製のフローリストリクタベンチュリーが取り付けられていることから流れ加速型腐食発生の可能性は小さいと考えている。</p> <p>なお、給水リング、Jチューブ、気水分離器（Jチューブからの給水が</p>

枠囲みの範囲は機密に係る事項ですので公開することはできません。


当たる部分)、サーマルスリーブに用いられている材料はクロム等の含有量が多いことから、材質的にも流れ加速型腐食発生の可能性は小さいと考えている。(参考文献参照)

2次側胴については、蒸気流速が炭素鋼部位も含めた他の2次側構成品と同等の条件であることから流れ加速型腐食の発生が想定される部位ではなく、炭素鋼と同等の耐食性能の材料を使用していることに問題はない。

従って、今後も同様な保全を継続することで機器の健全性を維持することができる。


② 高圧タービン

高圧タービンの車軸は湿り蒸気雰囲気で使用しており、流れ加速型腐食発生の懸念があるが、車軸はクロム等の含有量の多い材料を使用していることから、材質的にも流れ加速型腐食発生の可能性は小さいと考えている。(参考文献参照)

また、定期的「

③ 低圧タービン

低圧タービンの車軸は湿り蒸気雰囲気で使用しており、流れ加速型腐食発生の懸念があるが、車軸はクロム等の含有量の多い材料を使用していることから、材質的にも流れ加速型腐食発生の可能性は小さいと考えている。(参考文献参照)

また、定期的「

参考文献：発電用設備規格 配管減肉管理に関する規格(2005年版)(増訂版) 参考資料 2. 流れ加速型腐食

枠囲みの範囲は機密に係る事項ですので公開することはできません。

記録No.2-1

KTN-2 蒸気発生器二次側内部点検記録

点検日 H22.6.23

蒸気発生器二次側内部点検に於ける下記点検部位の可視可能範囲を目視にて確認する。

- *異常なし→レ 記入後サイン
- *異常あり→別紙にて報告すること。

点検者	関電	品管	点検者

A-S/G			
点検箇所	判定基準	点検結果	備考
1. 湿分分離機	① ベーン押えボルト本体	ボルト脱落有無の確認	✓
	② ベーン押えボルトの取付け溶接部	押えボルト溶接部の健全性の確認	✓
	③ ドレン管取付け溶接つけ根部	腐食有無の確認	✓
	④ 多孔板	スラッジの固着有無の確認	✓
2. デッキプレート	①スカーソ溶接部邪魔板	スカーソ溶接部の健全性の確認	✓
	②マンホール蓋用取付けボルト(3ヶ所)	取付けボルト脱落有無の確認	✓
	③マンホール蓋用取付けボルト溶接部(3ヶ所)	健全性の確認	✓
	④デッキプレート上面全域及び水位計圧力検出取出管内部(5ヶ所)	スラッジの固着有無の確認 スケール等異物による閉塞の有無の確認	✓
	⑤デッキプレートドレン管プレートの溶接部	健全性の確認 スラコレ注入管及び排水管の位置決め溶接部の健全性確認	✓
3. オリフィスリング(3ヶ所)	取付け溶接部の健全性の確認	✓	
4. スワールベーン(3ヶ所)	羽根溶接部の健全性の確認	✓	
5. マンホールシート面及びリガメント部	有害な傷の有無確認	✓	
6. 水位計圧力検出取出管内面	スケール等の異物による閉塞の有無確認	✓	



枠囲みの範囲は機密に係る事項ですので公開することはできません。

記録No.2-2

KTN-2 蒸気発生器二次側内部点検記録

点検日 H22.6.23

蒸気発生器二次側内部点検に於ける下記点検部位の可視可能範囲を目視にて確認する。

- *異常なし→レ 記入後サイン
- *異常あり→別紙にて報告すること。

点検者	関電	品管	点検者

B-S/G			
点検箇所	判定基準	点検結果	備考
1. 湿分分離機	① ベーン押えボルト本体	ボルト脱落有無の確認	✓
	② ベーン押えボルトの取付け溶接部	押えボルト溶接部の健全性の確認	レ
	③ ドレン管取付け溶接つけ根部	腐食有無の確認	レ
	④ 多孔板	スラッジの固着有無の確認	レ
2. デッキプレート	①スカート溶接部邪魔板	スカート溶接部の健全性の確認	レ
	②マンホール蓋用取付けボルト(3ヶ所)	取付けボルト脱落有無の確認	レ
	③マンホール蓋用取付けボルト溶接部(3ヶ所)	健全性の確認	レ
	④デッキプレート上面全域及び水位計圧力検出取出管内部(5ヶ所)	スラッジの固着有無の確認 スケール等異物による閉塞の有無の確認	レ
	⑤デッキプレートドレン管プレートの溶接部	健全性の確認 スラコレ注入管及び排水管の位置決め溶接部の健全性確認	レ
3. オリフィスリング(3ヶ所)	取付け溶接部の健全性の確認	レ	
4. スワールベーン(3ヶ所)	羽根溶接部の健全性の確認	レ	
5. マンホールシート面及びリガメント部	有害な傷の有無確認	レ	
6. 水位計圧力検出取出管内面	スケール等の異物による閉塞の有無確認	レ	



枠囲みの範囲は機密に係る事項ですので公開することはできません。

記録No.2-3

KTN-2 蒸気発生器二次側内部点検記録

点検日 H22.6.22

蒸気発生器二次側内部点検に於ける下記点検部位の可視可能範囲を目視にて確認する。
 *異常なし→レ 記入後サイン
 *異常あり→別紙にて報告すること。

点検者	関電	品管	点検者

C-S/G			
点検箇所	判定基準	点検結果	備考
1. 湿分分離機	① ベーン押えボルト本体	ボルト脱落有無の確認	✓
	② ベーン押えボルトの取付け溶接部	押えボルト溶接部の健全性の確認	✓
	③ ドレン管取付け溶接つけ根部	腐食有無の確認	✓
	④ 多孔板	スラッジの固着有無の確認	✓
2. デッキプレート	①スカーソ溶接部邪魔板	スカーソ溶接部の健全性の確認	✓
	②マンホール蓋用取付けボルト(3ヶ所)	取付けボルト脱落有無の確認	✓
	③マンホール蓋用取付けボルト溶接部(3ヶ所)	健全性の確認	✓
	④デッキプレート上面全域及び水位計圧力検出取出管内部(5ヶ所)	スラッジの固着有無の確認 スケール等異物による閉塞の有無の確認	✓
	⑤デッキプレートドレン管プレートの溶接部	健全性の確認 スラコレ注入管及び排水管の位置決め溶接部の健全性確認	✓
3. オリフィスリング(3ヶ所)	取付け溶接部の健全性の確認	✓	
4. スワールベーン(3ヶ所)	羽根溶接部の健全性の確認	✓	
5. マンホールシート面及びリガメント部	有害な傷の有無確認	✓	
6. 水位計圧力検出取出管内面	スケール等の異物による閉塞の有無確認	✓	

枠囲みの範囲は機密に係る事項ですので公開することはできません。

記録No.2-4

KTN-2 蒸気発生器二次側内部点検記録
(H/H)

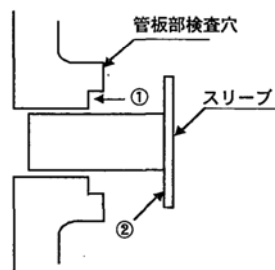
蒸気発生器二次側内部点検に於ける下記点検部位の可視可能範囲を目視にて確認する。
 *異常なし→レ 記入後サイン
 *異常あり→別紙にて報告すること。

	点検日	関電	品管	点検者
A	H22.7.13			
B	H22.7.6			
C	H22.6.29			

A-S/G				
点検箇所		判定基準	点検結果	備考
H/H	① 検査穴シート面及びリガメント部	有害な傷の有無確認	✓	
	② 検査穴用スリーブシート面		✓	

B-S/G				
点検箇所		判定基準	点検結果	備考
H/H	① 検査穴シート面及びリガメント部	有害な傷の有無確認	✓	
	② 検査穴用スリーブシート面		✓	

C-S/G				
点検箇所		判定基準	点検結果	備考
H/H	① 検査穴シート面及びリガメント部	有害な傷の有無確認	✓	
	② 検査穴用スリーブシート面		✓	



高浜2号機 第27回定検
蒸気発生器2次側構造物保全計画策定に向けた調査(取替SG) 報告書抜粋

4. 調査結果

4.1 給水内管

給水内管の内表面を全周に渡って目視調査した結果、有意な腐食・傷・変形は認められなかった。全周調査したうちの代表撮影写真を図4-1-1～図4-1-7に示す。

なお、高浜2号機の給水内管はCr-Mo鋼製であるため、基本的には経年劣化が想定される箇所ではないが、今回材質改善による対策の効果を確認する目的で供用期間の長い高浜2号機を代表プラントとして調査を実施したものである。今回の調査にて現時点(SGR後12.5万時間経過時点)で顕著な減肉傾向がないことを確認したことにより、改めてCr-Mo鋼製給水内管においては流れ加速型腐食(FAC)による減肉を経年劣化モードとして想定する必要性が小さいことが示された。

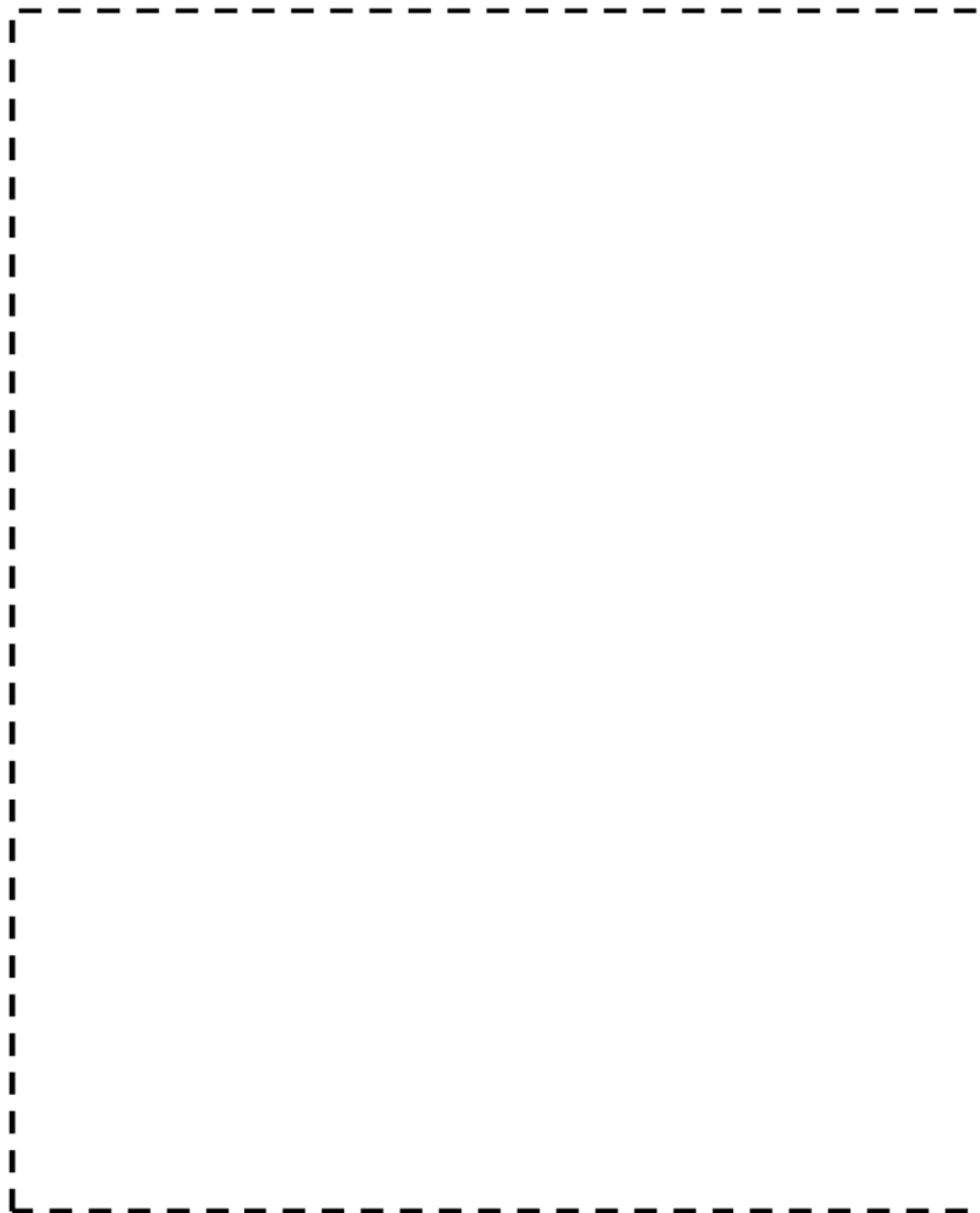


図 4-1-1 給水内管の目視調査結果 (J チューブ No.2~4 付近)

枠囲みの範囲は機密に係る事項ですので公開することはできません。

4.2 給水内管サーマルスリーブ

給水内管サーマルスリーブ内面先端部を目視調査した結果、有意な腐食・傷・変形は認められなかった。また、給水管台とサーマルスリーブ外面の隙間（サーマルスリーブ外面のスペーサ4箇所の周辺）についても、目視調査した結果、有意な腐食・傷・変形は認められなかった。給水内管サーマルスリーブ内面先端部の撮影写真を図4-2-1、サーマルスリーブ外面のスペーサの撮影写真を図4-2-2に示す。

なお、高浜2号機の給水内管サーマルスリーブはCr-Mo鋼製であるため、基本的には経年劣化が想定される箇所ではないが、今回材質改善による対策の効果を確認する目的で供用期間の長い高浜2号機を代表プラントとして調査を実施したものである。今回の調査にて現時点（SGR後12.5万時間経過時点）で顕著な減肉傾向がないことを確認したことにより、改めてCr-Mo鋼製給水内管サーマルスリーブにおいては流れ加速型腐食（FAC）による減肉を経年劣化モードとして想定する必要性が小さいことが示された。

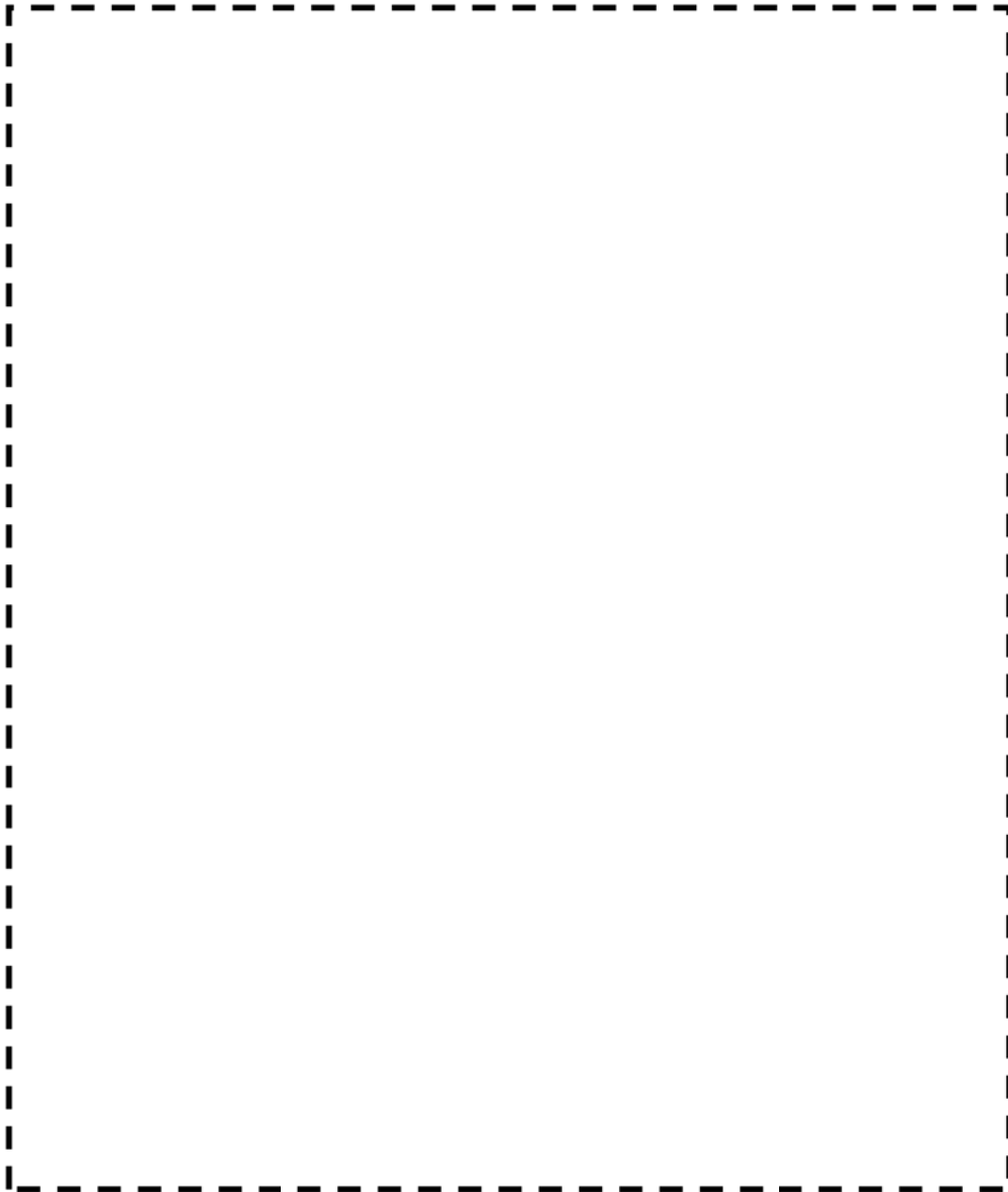


図 4-2-1 給水内管サーマルスリーブ内面の目視調査結果

枠囲みの範囲は機密に係る事項ですので公開することはできません。

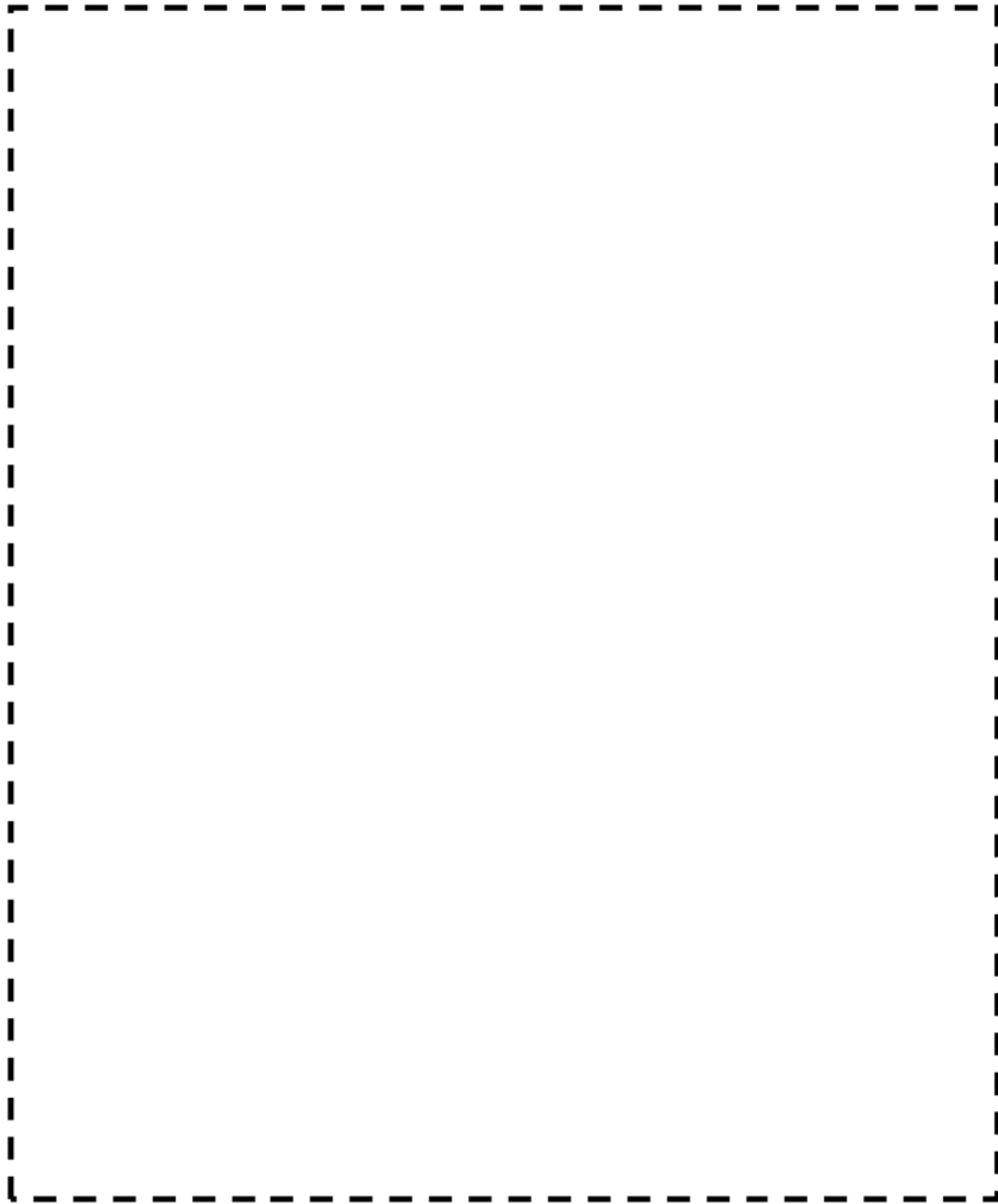


図 4-2-2 給水内管サーマルスリーブ外面のスペーサ肉盛の目視調査結果

27

枠囲みの範囲は機密に係る事項ですので公開することはできません。

Aクラス

1.2u 運営統括長	機械技術 アドバイザー	課長 係長 班長
		関電

関西電力(株)高浜発電所2号機

第 25 回

資料室管理番号
2-2001-25 T001

工事件名 タービン主機定期点検工事
(タービン主機定期点検検査工事)

工事コード	081P007100M500
-------	----------------

統括報告書

(兼定期点検工事記録)

確認	定検等管理委託会社		
	課長	受託責任者	定検管理員

作成 認可 確認	タービン主機定期点検検査工事	
	作業所所長	技術指導員

作成 認可 欄	[Redacted]					
	作業所所長	作業責任者	品管	安全	異物	放管
	[Redacted]					
	課長	係長	担当	作成	照査	

配付先	関電	控	作成	平成 21年 5月 20日	原紙保管
	1	1	1	1	
	図面番号 PB3-2-2002R				

証 認			
関係技術者	技術指導員	品質	作業
(印・記録用)	(印・記録用)	(印・記録用)	(印・記録用)

目 視 検 査 記 録

プラント名	高浜発電所 第2号機	工事件名	タービン主機定期点検工事
品 名	第1低圧車軸	個 数	1車軸
実 施 日	平成 21 年 3 月 23 日	検査員 (評価者)	
判定基準	表面に機能・性能に影響を及ぼす恐れのあるき裂、打こん、変形及び摩耗がないこと。		
判定結果	<input checked="" type="checkbox"/> 合格		
	<input type="checkbox"/> 不合格 (状況:)		
処 置	<input checked="" type="checkbox"/> 無		
	<input type="checkbox"/> 有 (処置内容:)		
備考			

確 認			
電力技術士 <small>(電力・記録技術)</small>	技術指導員 <small>(電力・記録技術)</small>	品 管 <small>(電力・記録技術)</small>	作 責 <small>(電力・記録技術)</small>
/			

目 視 検 査 記 録

プラント名	高浜発電所 第2号機	工事件名	タービン主機定期点検工事
品 名	第3 低圧車軸	個 数	1 車軸
実 施 日	平成 24 年 3 月 23 日	検査員 (評価者)	
判定基準	表面に機能・性能に影響を及ぼす恐れのあるき裂、打こん、変形及び摩耗がないこと。		
判定結果	<input checked="" type="checkbox"/> 合格		
	<input type="checkbox"/> 不合格 (状況:)		
処 置	<input checked="" type="checkbox"/> 無		
	<input type="checkbox"/> 有 (処置内容:)		
備考			

Aクラス

1.2a 運営統括長	保安指針変更 要否検討内容 保安計画課 確認	機械技術 アドバイザー	課長	係長	班長	係
			関	電		

関西電力(株)高浜発電所2号機

資料室管理番号
2-2001-26T001

第 26 回

工事件名 タービン主機定期点検工事

(タービン主機定期点検検査工事)

工事コード 101P000728M500

統括報告書

(兼定期点検工事記録)

確 認	定検等管理委託会社		
	課長	受託責任者	定検管理員

作 成 認 可 ・ 確 認	タービン主機定期点検検査工事	
	現場代理人	技術指導

発行						秘 扱 (ク ラ ス B) 資 料
作 成 認 可 欄	現場代理人	作業責任者	品 管	安 全	異 物	放 管
	課長	係長	担 当	作 成	照 査	
配 付 先	関電殿	控				作成 平成 22年 10月 26日 原紙保管
	1	1	1	1		図面番号 PB3-2-2204R R 0

目 視 検 査 記 録

プラント名	高浜発電所 第2号機	工事件名	タービン主機定期点検工事
品 名	高圧車軸	個 数	1車軸
実 施 日	平成 22 年 8 月 6 日	検査員 (評価者)	■■■■■■■■■■
判 定 基 準	表面に機能・性能に影響を及ぼす恐れのあるき裂、打こん、変形及び摩耗がないこと。		
判 定 結 果	<input checked="" type="checkbox"/> 合格		
	<input type="checkbox"/> 不合格 (状況:)		
処 置	<input checked="" type="checkbox"/> 無		
	<input type="checkbox"/> 有 (処置内容:)		
<u>備考</u>			

目 視 検 査 記 録

プラント名	高浜発電所 第2号機	工事件名	タービン主機定期点検工事
品 名	第2 低圧車軸	個 数	1 車軸
実 施 日	平成 22 年 8 月 6 日	検査員 (評価者)	
判定基準	表面に機能・性能に影響を及ぼす恐れのあるき裂、打こん、変形及び摩耗がないこと。		
判定結果	<input checked="" type="checkbox"/> 合格		
	<input type="checkbox"/> 不合格 (状況:)		
処 置	<input checked="" type="checkbox"/> 無		
	<input type="checkbox"/> 有 (処置内容:)		
<u>備考</u>			

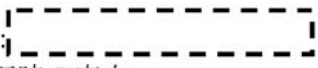





タイトル	炉心そのの中性子照射による靱性低下について
説明	<p>炉心そのの中性子照射による靱性低下について、以下に示す。</p> <p>想定欠陥は、日本機械学会 設計・建設規格 (JSME S NC1-2005/2007) を準用し、深さを板厚の1/4、長さは板厚の1.5倍の表面欠陥を周方向に仮定した (図1)。</p> <p>平板中の半楕円表面き裂の応力拡大係数Kを求めるRaju-Newmanの式 (Raju, I. S. and Newman, J. C., Jr., NASA Technical Paper 1578, 1979.) を用いて想定欠陥の応力拡大係数Kを算出した結果、$51 \text{ MPa}\sqrt{\text{m}}$となった。</p> <p>一方、図2中の$J_{IC}$最下限値$14 \text{ kJ/m}^2$から、換算式により破壊靱性値$K_{IC}$を求めると$51 \text{ MPa}\sqrt{\text{m}}$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^2 at 350°C) ν : ポアソン比 (0.3) J_{IC} : 破壊靱性値の下限 (14 kJ/m^2 at 350°C)</p>

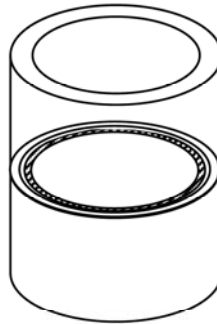
また、日本機械学会 発電用原子力施設規格 維持規格 (JSME S NA1-2008) に基づき実施した健全性評価の結果を以下に示す。

【評価内容】

- ・ 炉心そう溶接部にき裂を想定し、FEM解析 (2次元断面モデル) 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
(解析モデルには機械荷重 (炉心そう断面作用荷重 : 約  kN、炉心そう内外差圧 :  MPa) と熱伝導解析で求めた炉心そうの温度分布を設定)
- ・ 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 ϕ  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。

枠囲みの範囲は機密に係る事項ですので公開することはできません。

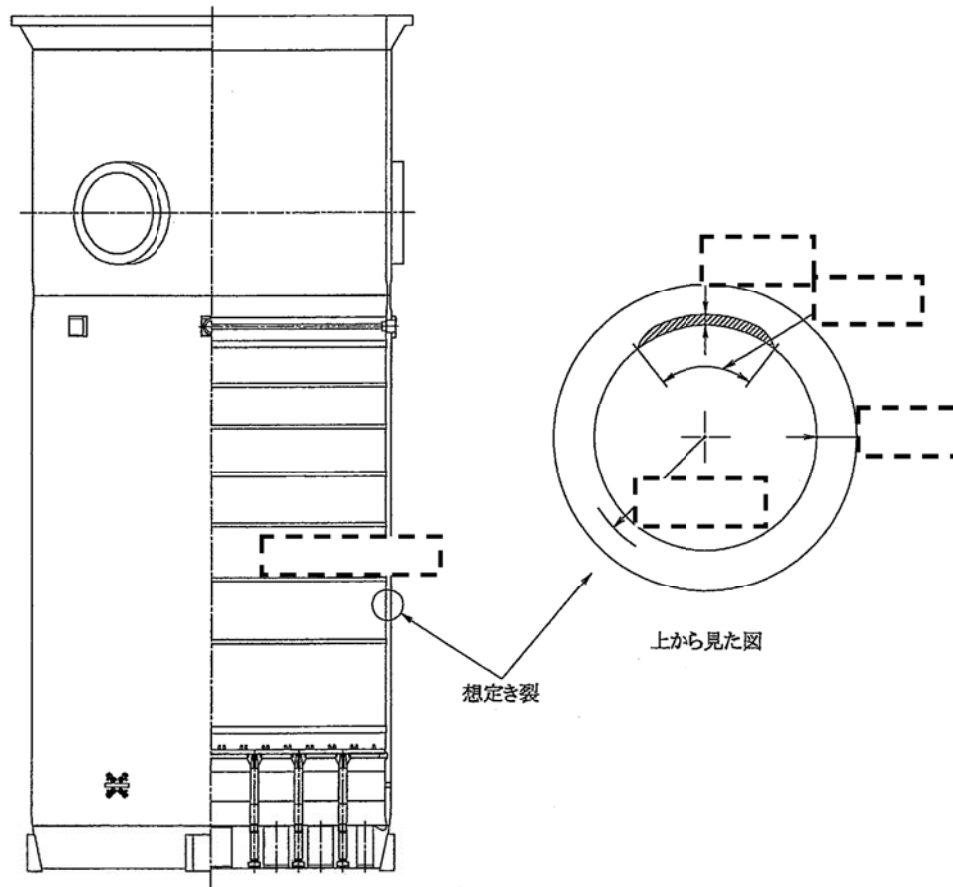


図1 高浜2号炉 中性子照射による靱性低下に対する炉心そのの想定き裂

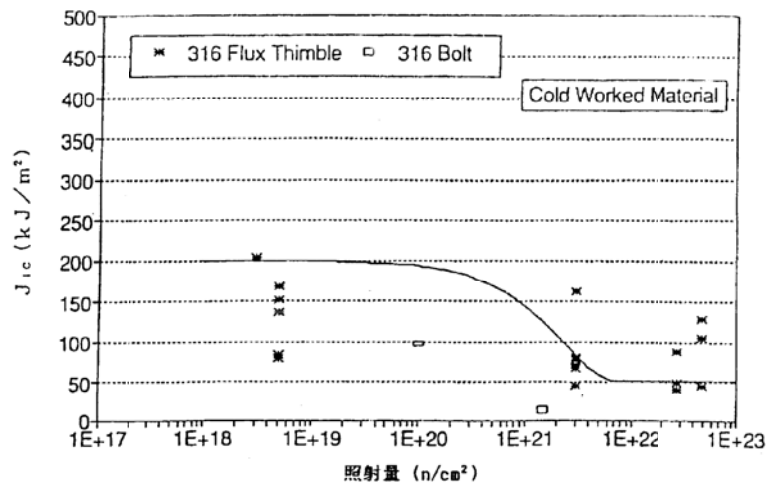


図2 破壊靱性値 J_{IC} と照射量の関係

[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]

枠囲みの範囲は機密に係る事項ですので公開することはできません。

<p>タイトル</p>	<p>30年目の高経年化技術評価と劣化状況評価におけるケーシング吐出ノズルの疲労累積係数の相違について</p>										
<p>説明</p>	<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="454 459 1300 672"> <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る。相違が生じた大きな理由として「応力割増係数K_eの算出式の変更」が挙げられる。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K_eの算出式が変更となっている。</p> <p>(1) PLM30での応力割増係数K_eの算出過程</p> <p>まず、PLM30でのK_e算出式を示す。「発電用原子力設備に関する構造等の技術基準」によりK_eは、次式で表される。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す。</p> $K_e = 1 + \frac{1-n}{n(m-1)} \left(\frac{S_n}{3S_m} - 1 \right) \quad (\text{※} S_n > 3S_m \text{ のとき})$ <p> S_n: 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 S_m: 設計応力強さ m: 材料の種類に応じ定められた定数 (添付 3 参照) n: 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K_e計算過程を示す。(添付 1 および添付 3 参照)</p> $K_e = 1 + \frac{1-0.3}{0.3(1.7-1)} \left(\frac{1.7}{1.7} - 1 \right) = 1.7$ <p>(2) PLM40のK_e算出式を用いて、(1) の評価点のK_eを算出</p> <p>次にPLM40でのK_e算出式を示す。「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、K_eは次式で表される。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す。</p> <p style="border: 1px dashed black; padding: 5px; text-align: center;">枠囲みの範囲は機密に係る事項ですので公開することはできません。</p>	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								

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

- 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 を算出する。

$$Ke = 1 + (3.1 - 1) \left(1 - \frac{3 \times 100}{1000}\right) = 1.14$$

PLM40 で用いた Ke 算出式による Ke が、PLM30 で用いた Ke 算出式による Ke よりも値が小さくなる。

同様に Ke を算出していき、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る。

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」が考えられる。

枠囲みの範囲は機密に係る事項ですので公開することはできません。

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

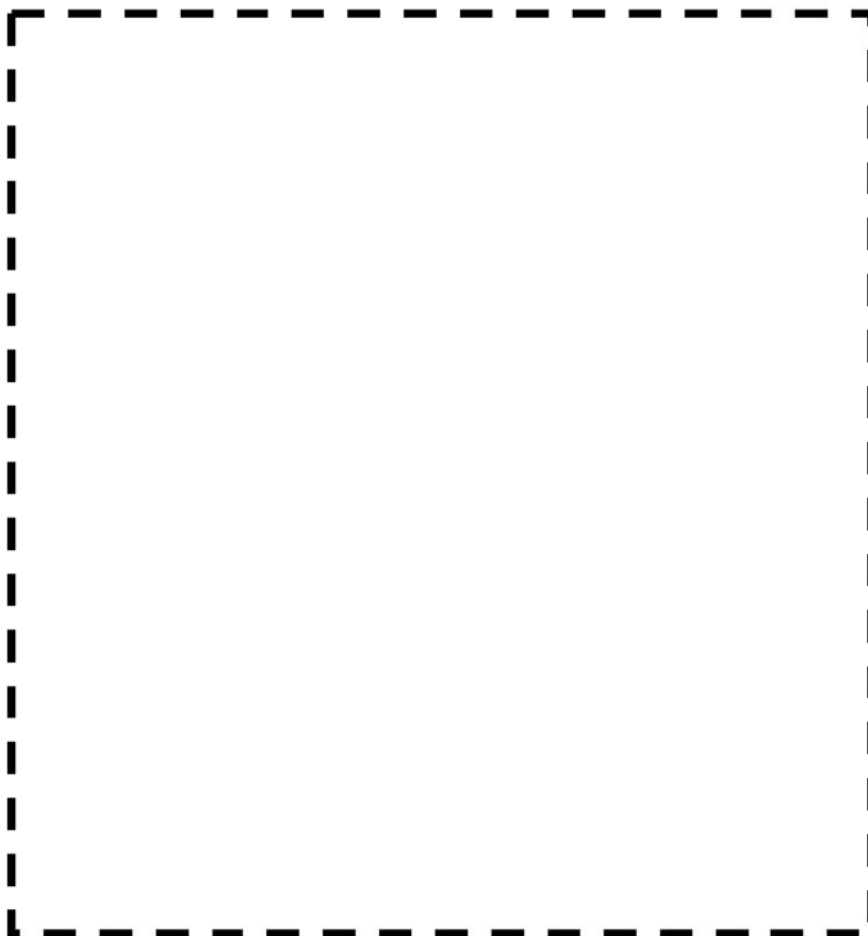
部 位	評価点	一次+二次応力強さ (N/mm ²)		疲れ評価	
		PL+PB+Q	許容値	Σu_i	許容値
吸込 ノズル					
吐出 ノズル					
脚部					1.0

枠囲みの範囲は機密に係る事項ですので公開することはできません。

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*	FACTOR
						TOTAL = 0.19139

⇒通常UF: 0.192



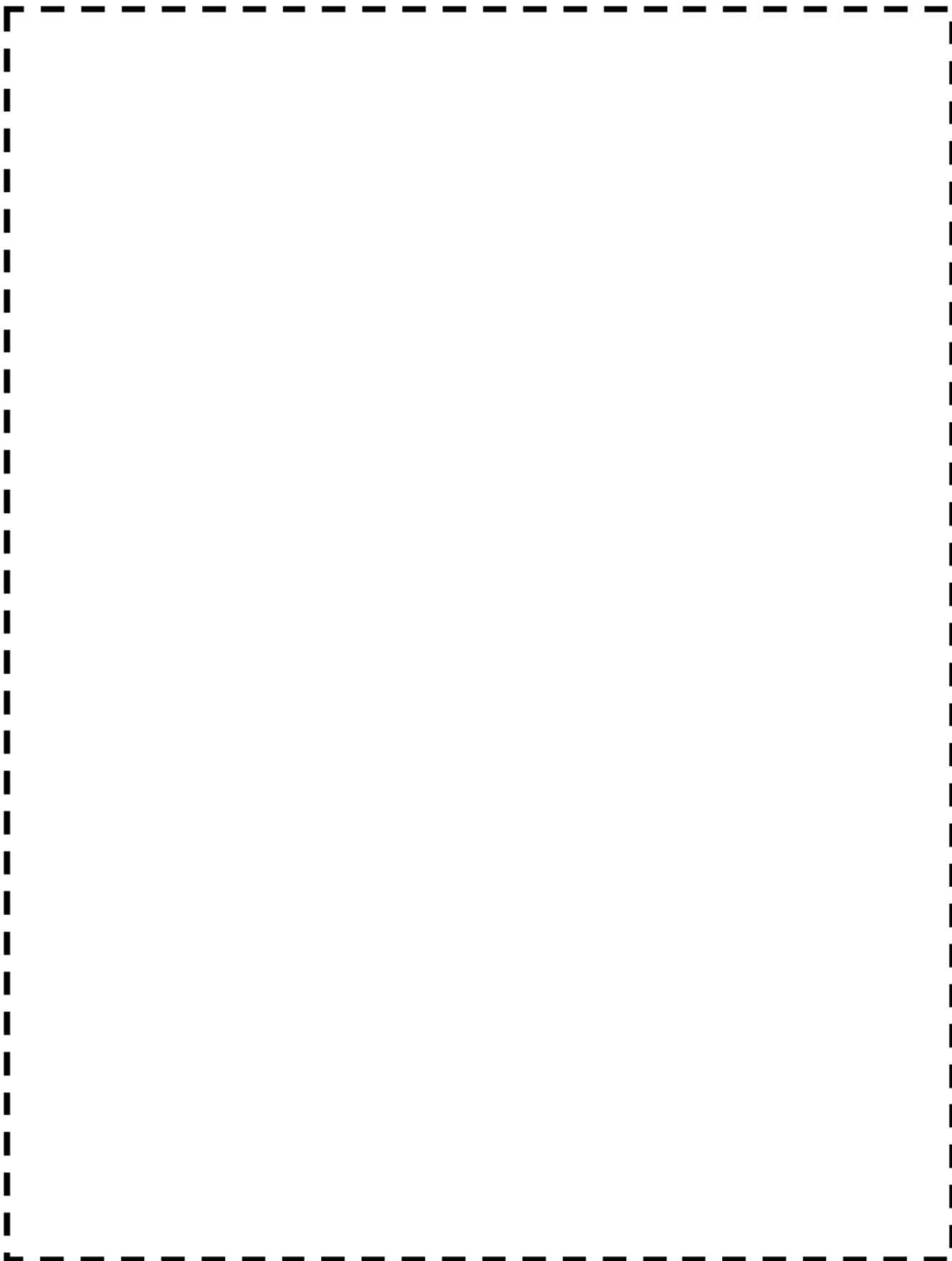
高浜2号機PLM30でのRCPケーシング評価点

枠囲みの範囲は機密に係る事項ですので公開することはできません。

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

枠囲みの範囲は機密に係る事項ですので公開することはできません。



高浜2号機 PLM40でのRCPケーシング評価点

枠囲みの範囲は機密に係る事項ですので公開することはできません。

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

タイトル	30年目の高経年化技術評価と劣化状況評価における給水入口管台及び管板廻りの疲労累積係数の相違について											
説明	<p>蒸気発生器の給水入口管台及び管板廻りの低サイクル疲労評価について、30年目の高経年化技術評価（以下PLM30という）と劣化状況評価（以下PLM40という）における疲労累積係数の比較を表1に示す。</p> <p style="text-align: center;">表1 蒸気発生器疲労評価結果（疲労累積係数）の比較</p> <table border="1" data-bbox="507 645 1249 913"> <thead> <tr> <th rowspan="2">部位</th> <th colspan="2">60年時点の予測値</th> </tr> <tr> <th>PLM30</th> <th>PLM40</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>給水入口管台</td> <td>0.041 (0.286)</td> <td>0.102 (0.658)</td> </tr> <tr> <td>管板廻り</td> <td>0.372 (0.105)</td> <td>0.115 (0.102)</td> </tr> </tbody> </table> <p>上段は大気中の疲労累積係数（以下Uf値） （）内は接液環境中の疲労累積係数（以下Uen値）</p> <p>PLM30とPLM40で疲労累積係数に差異が生じている主な理由は以下のとおりである。</p> <p>【給水入口管台（大気中）】 PLM30とPLM40で給水管台の構造は同一であるが、PLM30では各評価点の応力を不静定解析モデルを用いて評価しており、PLM40ではFEMを用いて応力を評価している。このためPLM30とPLM40では解析方法に差があるためUf値に差が生じたものである。</p> <p>【給水入口管台（接液環境中）】 接液環境中の評価は、PLM30、PLM40ともに熱成層の発生を考慮した評価を行っているが、熱成層による影響が厳しいと考えて評価した点が異なるためUen値に差が生じる結果となっている。PLM30では過去のトラブル事例（海外プラント）から、評価部位を決定したのに対して、PLM40では応力解析の結果から熱成層による影響が厳しい評価点を決定したためである。</p> <p>【管板廻り】 PLM30とPLM40で管板廻りの構造は同一であるが、PLM30では各評価点の応力を不静定解析モデルを用いて評価しており、PLM40ではFEMを用いて応力を評価している。このためPLM30とPLM40では解析方法に差があるためUf値、Uen値に差が生じたものである。</p> <p>PLM40では、解析技術の向上を踏まえて、最新の設計方法と同様に精度がより高い方法を用いて評価した結果（給水管台のUf、管板廻り）、あるいは、過去の高経年化技術評価の審査結果を踏まえて、より保守的な評価点に見直しを行った結果（給水管台のUen）であり、適切な評価であると考えている。</p>	部位	60年時点の予測値		PLM30	PLM40	給水入口管台	0.041 (0.286)	0.102 (0.658)	管板廻り	0.372 (0.105)	0.115 (0.102)
部位	60年時点の予測値											
	PLM30	PLM40										
給水入口管台	0.041 (0.286)	0.102 (0.658)										
管板廻り	0.372 (0.105)	0.115 (0.102)										

	<p>添付 1 に給水管台のPLM30とPLM40の評価の違いを示す。 添付 2 に管板廻りのPLM30とPLM40の評価の違いを示す。</p>
--	--

蒸気発生器疲労評価におけるPLM30とPLM40の違いについて（給水管台）

【大気中の疲労評価】

PLM30の給水入口管台の構造モデルを図1、PLM40の給水入口管台の構造モデルを図2に示す。PLM30では構造を単純幾何形状に分割し、境界面の不静定力を算出して各形状における応力を算出し、構造不連続部は応力集中係数を掛けてピーク応力を算出している。一方でPLM40では構造をFEMでモデル化して応力解析を実施しており、直接ピーク応力を算出している。このため応力解析結果が異なっている。

表2にPLM30とPLM40との類似評価点におけるUf値の比較を示す。

表2 各評価点におけるUf値の比較（給水管台）

PLM30		PLM40	
評価点	Uf	評価点	Uf
1		1	
2		2	
3		5	
4		6	
7		9L	
		9C	
8		10L	
		10C	
9L		13L	
9C		13C	
10L		14L	
10C		14C	

赤字はUf最大となった評価点の値

Uf値で比較をすると、各評価点でばらつきはあるものの、大きな差異は生じておらず、応力解析方法の違いによるものと考えられる。

【接液環境中の疲労評価】

給水入口管台の接液環境中の評価は、PLM30, PLM40ともに熱成層を考慮しており、熱成層を考慮する過渡（冷水注入）に対しては3次元FEMモデルで行っている。

PLM30とPLM40で熱成層を考慮したFEMモデルはほぼ同じであるが、評価点が異なっておりそのためにUen値が異なる結果となっている。

これは、PLM30では熱成層を考慮した環境疲労評価部位として、海外プラントでトラブルが発生した給水管台先端部を評価点としたのに対し、PLM40では本解析にて熱成層による応力の影響が最も厳しくなる部位を評価点としたものであり、評価方針が異なるためである。

PLM40では熱成層による応力を含めてUen値が厳しくなる部位を適切に評価できた結果、Uen値が高くなったものと考えられる。

枠囲みの範囲は機密に係る事項ですので公開することはできません。

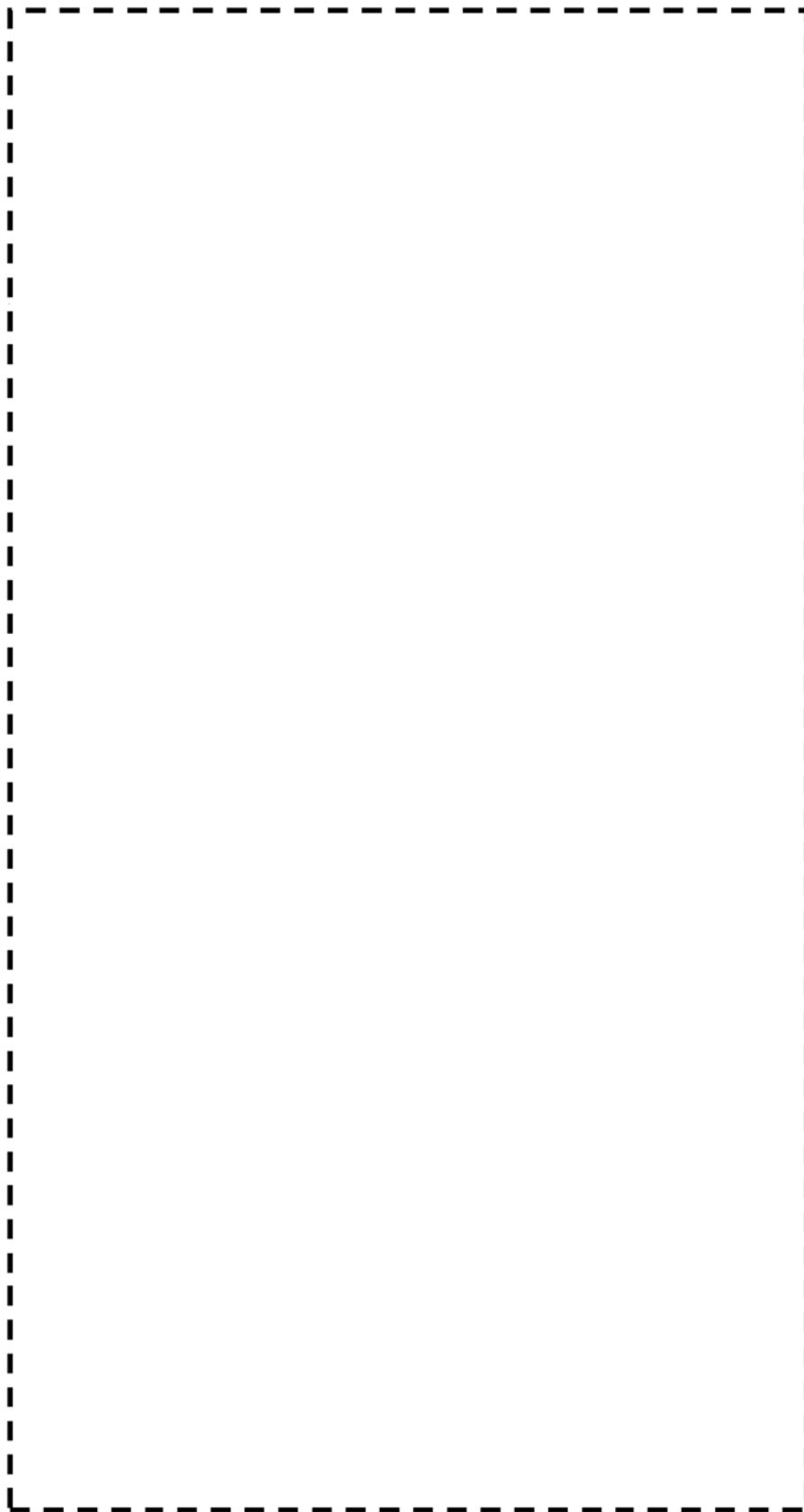


図1 PLM30における給水管台構造モデル (大気中)

枠囲みの範囲は機密に係る事項ですので公開することはできません。

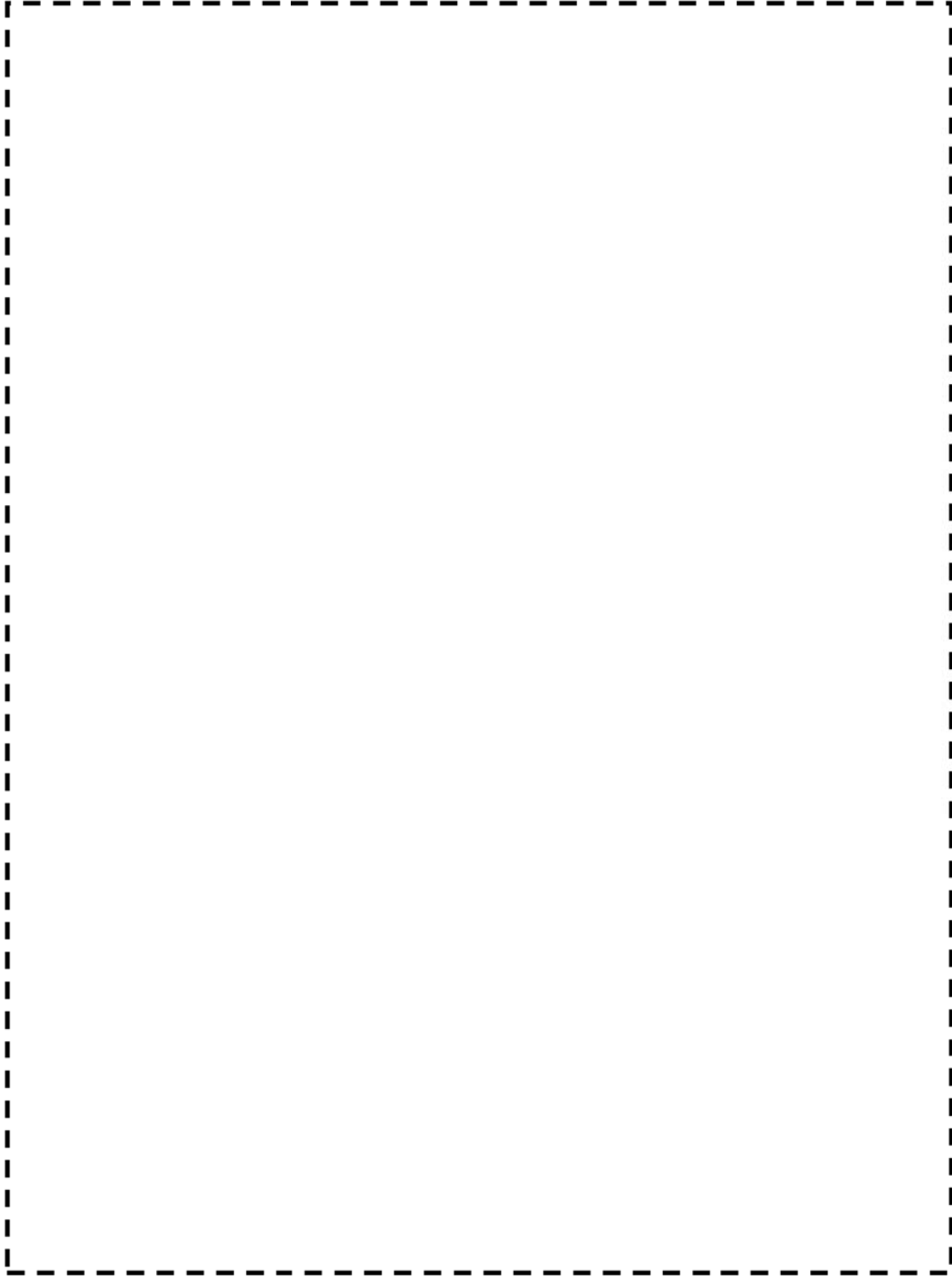


図2 PLM40における給水管台構造モデル (大気中)

枠囲みの範囲は機密に係る事項ですので公開することはできません。

蒸気発生器疲労評価におけるPLM30とPLM40の違いについて（管板廻り）

【大気中の疲労評価】

PLM30の給水入口管台の構造モデルを図3、PLM40の給水入口管台の構造モデルを図4に示す。PLM30では構造を単純幾何形状に分割し、境界面の不静定力を算出して各形状における応力を算出し、構造不連続部は応力集中係数を掛けてピーク応力を算出している。一方でPLM40では構造をFEMでモデル化して応力解析を実施しており、直接ピーク応力を算出している。このため応力解析結果が異なっている。

表3にPLM30とPLM40との類似評価点におけるUf値の比較を示す。

表3 各評価点におけるUf値の比較（管板廻り）

PLM30		PLM40	
評価点	Uf	評価点	Uf
1		1	
2		2	
3		3	
4		4	
P1 R/R*=0.0		1 次側R/R*=0.0	
P1 R/R*=1.0		1 次側R/R*=1.0	
P2 R/R*=0.0		2 次側R/R*=0.0	
P2 R/R*=1.0		2 次側R/R*=1.0	

赤字はUf値が最大となった評価点のUf値

青字はUen値が最大となった評価点のUf値

Uf値で比較をすると、各評価点でばらつきはあるものの、大きな差異は生じておらず、応力解析方法の違いによるものと考えられる。

【接液環境の疲労評価】

接液環境中の評価はPLM30、PLM40ともに同一の点（評価点1）が最大となっている。大気中の疲労累積係数と同様にモデルの違いにより応力が異なることから、Uen値に差が生じたものである。

枠囲みの範囲は機密に係る事項ですので公開することはできません。

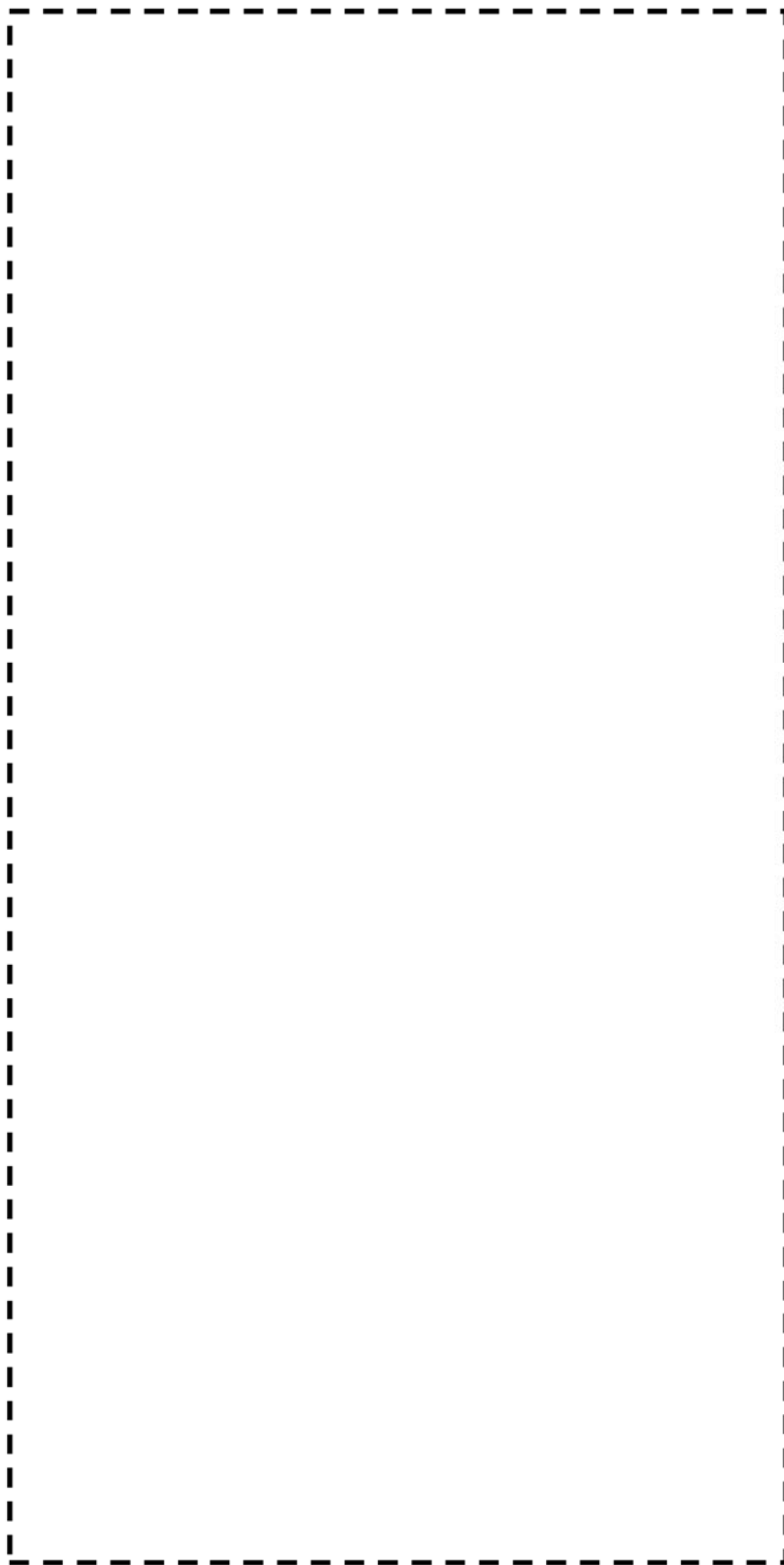


図3 PLM30における管板廻り構造モデル

枠囲みの範囲は機密に係る事項ですので公開することはできません。

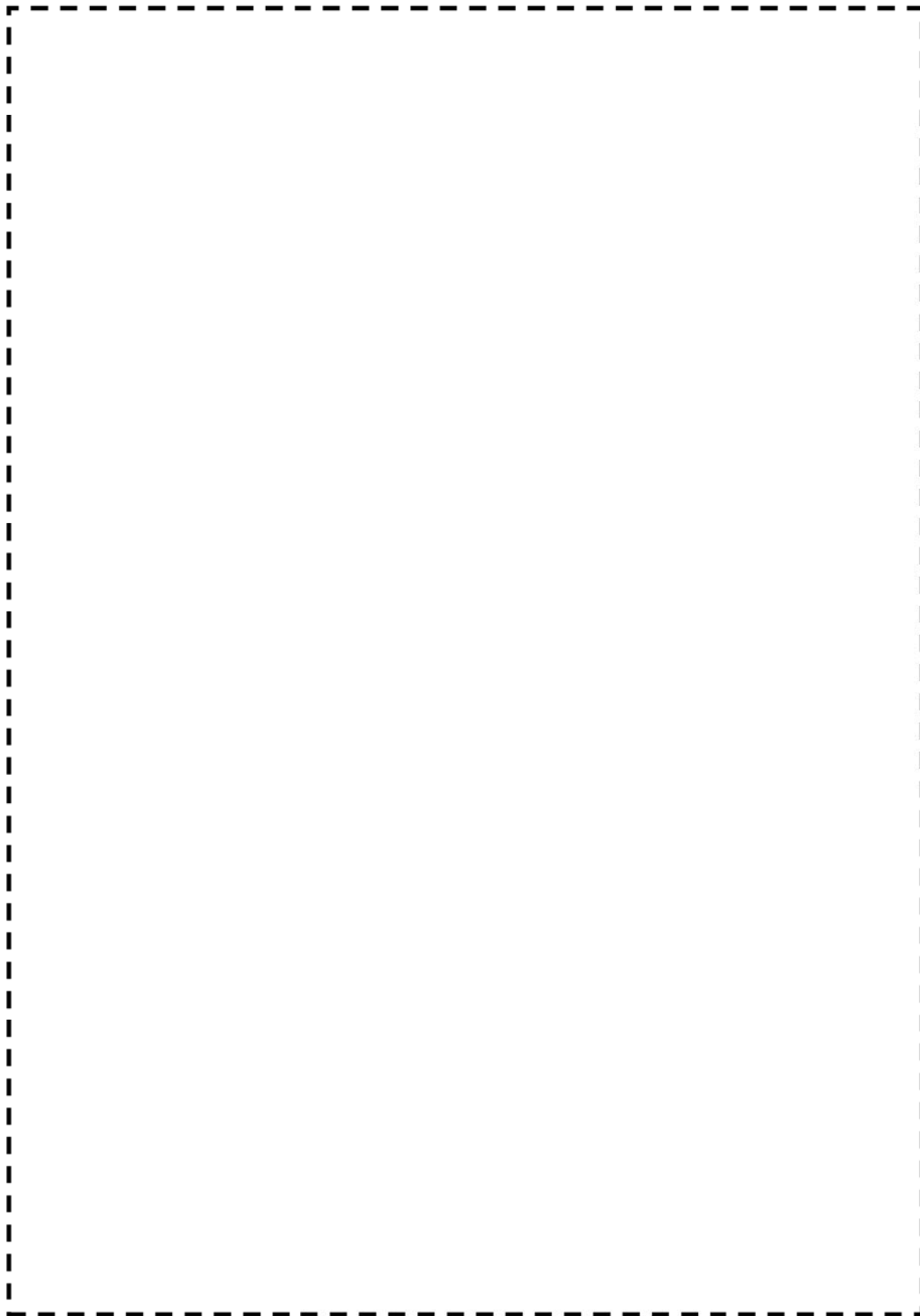


図4 PLM40における管板廻り構造モデル

枠囲みの範囲は機密に係る事項ですので公開することはできません。

タイトル	30年目の高経年化技術評価と劣化状況評価におけるスプレイライン用管台及びサージ用管台の疲労累積係数の相違について											
説明	<p>加圧器のスプレイライン用管台及びサージ用管台の低サイクル疲労評価について、30年目の高経年化技術評価（以下PLM30という）と劣化状況評価（以下PLM40という）における疲労累積係数の比較を下表に示す。</p> <p style="text-align: center;">表 加圧器疲労評価結果（疲労累積係数）の比較</p> <table border="1" data-bbox="507 600 1249 857"> <thead> <tr> <th rowspan="2">部位</th> <th colspan="2">60年時点の予測値</th> </tr> <tr> <th>PLM30</th> <th>PLM40</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>スプレイライン 用管台</td> <td>0.007 (0.531)</td> <td>0.121 (0.019)</td> </tr> <tr> <td>サージ用管台</td> <td>0.028 (0.072)</td> <td>0.017 (0.061)</td> </tr> </tbody> </table> <p>表内の上段の数値は大気中の疲労累積係数（Uf）を示す。 （）内の数値は接液中の疲労累積係数（Uen）を示す。</p> <p>PLM30とPLM40で疲労累積係数に差異が生じている主な理由は以下のとおりである。</p> <p>【スプレイ管台（Uf値）】 加圧器スプレイ管台には起動・停止時の固有の過渡として起動時の冷水注入、停止時の冷水注入を考慮しているが、想定する運転モードの違いでPLM30とPLM40では冷水注入時の温度差が異なっている。このためPLM30とPLM40では発生する応力に差があるためUf値の差が生じている。</p> <p>【スプレイ管台（Uen値）】 加圧器スプレイ配管は第21回定検（H15年度）に改造を実施しており、PLM30では改造前の配管形状で評価を行った。PLM40では改造後の配管形状で評価を行っている。このためPLM30とPLM40で評価モデルに差があるためUen値に差が生じている。</p> <p>【サージ用管台】 加圧器サージ用管台は、第26回定検（H22年度）に改造を実施しており、PLM30とPLM40で管台の評価モデルが異なっている。このため発生する応力が異なっていることからPLM30とPLM40のUf値、Uen値に差が生じているが、大きな差はなく同等であると考えている。</p> <p>PLM40では、最近の改造を踏まえた評価および、標準的な設計条件を適用してより保守的な評価を実施したものであり、適切な評価結果であると考えている。</p>	部位	60年時点の予測値		PLM30	PLM40	スプレイライン 用管台	0.007 (0.531)	0.121 (0.019)	サージ用管台	0.028 (0.072)	0.017 (0.061)
部位	60年時点の予測値											
	PLM30	PLM40										
スプレイライン 用管台	0.007 (0.531)	0.121 (0.019)										
サージ用管台	0.028 (0.072)	0.017 (0.061)										

	<p>添付1にスプレイライン管台の疲労評価（Uf値）の比較を示す。 添付2にスプレイライン管台の環境疲労評価（Uen値）の比較を示す。 添付3にサージ用管台の疲労評価（Uf値）、環境疲労評価（Uen値）の比較を示す。</p>
--	--

表2 PLM40における疲労評価結果
(Ufに対して支配的な過渡組合せ)

過渡組合せ	繰返しピーク 応力強さ(MPa)	Ke	繰返し回数	Uf

表3 PLM30における疲労評価結果
(表2と同等の過渡組合せによるUf)

過渡組合せ	繰返しピーク 応力強さ(MPa)	Ke	繰返し回数	Uf

枠囲みの範囲は機密に係る事項ですので公開することはできません。

加圧器スプレイ管台の環境疲労評価 (PLM30とPLM40との比較)

加圧器スプレイ管台の環境疲労評価においては、PLM30とPLM40でUenが最大となる点は同じであり、大気中の疲労評価最大点と同等の部位の評価を実施している。

しかしながら、表1に示すようにUen値が大きく異なっている。

この差は繰返しピーク応力強さの違いが影響しているが、加圧器スプレイ配管の形状に差があることが原因である。

加圧器スプレイ管台の環境疲労評価では、PLM30、PLM40ともに熱成層の影響を考慮して熱成層が発生する範囲の配管を含めた3次元FEMモデルを使って評価を行っているが、加圧器スプレイ配管は第21回定検 (H15年度) に改造工事を実施しており、図2および図3に示すようにPLM30とPLM40では熱成層を考慮した部位の配管形状が大きく異なっている。

PLM30では熱成層を考慮する配管の水平距離が長く、加圧器管台への垂直配管の長さが短い。このため、改造前の配管では熱成層による過渡が発生した場合の熱変位に伴う加圧器管台への曲げ、捻りが比較的大きく作用することになる。改造によって熱成層を考慮する範囲の配管の水平長さが短くなり、垂直管長さが長くなったことで応力が大きく緩和されたものである。

このため、熱成層を考慮する過渡との組合せにおいてUenが低減し、合計Uenの差異につながっているものである。

表4 PLM30における疲労評価結果
(Uenに対して支配的な過渡組合せ)

過渡組合せ	繰返しピーク 応力強さ (MPa)	Ke	繰返し 回数	Uf	Fen	Uen

表5 PLM40における疲労評価結果
(表4と同等の過渡組合せによるUen)

過渡組合せ	繰返しピーク 応力強さ (MPa)	Ke	繰返し 回数	Uf	Fen	Uen

枠囲みの範囲は機密に係る事項ですので公開することはできません。



図2 環境疲労評価におけるPLM30の熟成層評価モデル



図3 環境疲労評価におけるPLM40の熟成層評価モデル

枠囲みの範囲は機密に係る事項ですので公開することはできません。

加圧器サージ用管台の疲労評価、環境疲労評価 (PLM30とPLM40との比較)

PLM30とPLM40の加圧器サージ用管台の構造モデルの比較を図4に示す。加圧器サージ用管台はH22年度に行われた改造工事を反映してPLM30とPLM40で管台の評価モデルが異なっている。

このため各評価点の発生応力が異なってくることから、 U_f 、 U_{en} の値に違いが生じているものである。また、PLM40では評価点を増加させており、管台コーナ部付近に新たに評価点を設けたことから、大気中の疲労累積係数が最大になる点が変わっている。

PLM30とPLM40の類似評価点における U_f 値の比較を表6に示す。

各評価点で数値の違いはあるものの、 U_f 値の差は最大でも0.025程度であり、管台形状の差があることを考慮すればほぼ同等の結果であると考ええる。

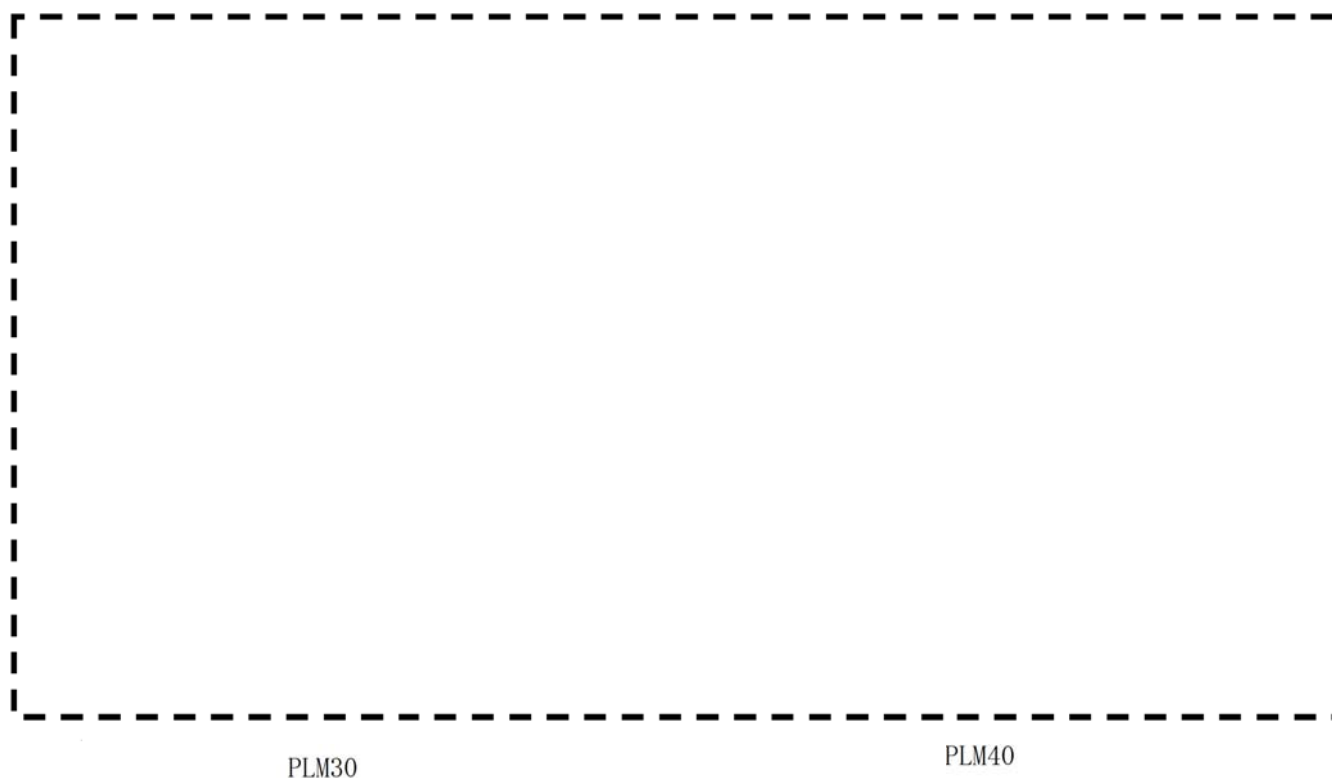


図4 PLM30とPLM40の構造モデル比較 (加圧器サージ用管台)

枠囲みの範囲は機密に係る事項ですので公開することはできません。

表6 各評価点におけるUf値の比較 (サージ管台)

PLM30		PLM40	
評価点	Uf	評価点	Uf
1		1	
2		2	
3		3	
4		4	
7		7	
8		8	
9		13	
10		14	
11		15	
12		16	
15		17	
16		18	
-		19	
17		21	
18		22	

赤太字はUf値が最大になった評価点のUf値

青太字はUen値が最大となった評価点のUf値

枠囲みの範囲は機密に係る事項ですので公開することはできません。

タイトル	30年目の高経年化技術評価と劣化状況評価における加圧器スプレ配管の疲労累積係数の相違について								
説明	<p>加圧器スプレ配管について、30年目の高経年化技術評価（以下PLM30という）と劣化状況評価（以下PLM40という）における疲労累積係数の比較を以下に示す。</p> <p style="text-align: center;">加圧器スプレ配管疲労評価結果（疲労累積係数）の比較</p> <table border="1" data-bbox="507 600 1248 792"> <thead> <tr> <th rowspan="2">部位</th> <th colspan="2">60年時点の予測値</th> </tr> <tr> <th>PLM30</th> <th>PLM40</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>加圧器スプレ配管</td> <td>0.006 (0.183)</td> <td>0.023 (0.267)</td> </tr> </tbody> </table> <p>表内の上段の数値は大気中の疲労累積係数（Uf）を示す。 （）内の数値は接液中の疲労累積係数（Uen）を示す。</p> <p>PLM30とPLM40で疲労累積係数に差異が生じている主な理由は以下のとおりである。</p> <p>【大気中の疲労累積係数】 加圧器スプレ配管は、第21回定検（H15年度）に行われた改造工事を反映して配管ルートが変わっている。このためPLM30とPLM40では評価モデルに差があるためUf値に差が生じたものである。</p> <p>【接液中の疲労累積係数】 加圧器スプレ配管は、第21回定検（H15年度）に行われた改造工事を反映して配管ルートが変わっている。またPLM30では第16回定検以降は熱成層が発生しないものと想定して評価を実施していたが、PLM40では他プラントも含めた標準的な評価として熱成層の発生を考慮する評価に変更している。このためPLM30とPLM40で考慮する応力、評価モデルに差があるためUen値に差が生じている。</p> <p>PLM40では、最近の改造を踏まえた評価および、標準的な設計手法導入による保守的な評価を実施したものであり、適切な評価結果であると考えている。</p> <p>添付1にスプレ配管の疲労評価（Uf値）の比較を示す。 添付2にスプレ配管の環境疲労評価（Uen値）の比較を示す。</p>	部位	60年時点の予測値		PLM30	PLM40	加圧器スプレ配管	0.006 (0.183)	0.023 (0.267)
部位	60年時点の予測値								
	PLM30	PLM40							
加圧器スプレ配管	0.006 (0.183)	0.023 (0.267)							

加圧器スプレイ配管の疲労評価 (PLM30とPLM40との比較)

加圧器スプレイ配管については第21回定検 (H15年度) に配管の改造が行われた。このため、PLM30とPLM40の評価モデルは図1、図2のように配管ルートやサポートが異なっており、Uf最大点となる加圧器スプレイライン合流点の形状やサポートが大きく違うため、発生応力が異なることがPLM30とPLM40の評価の違いの主な理由である。

例えば、PLM40の評価で支配的となっている「負荷上昇」-「停止時の冷水注入」と同等の過渡の組合せのPLM30の結果を比較すると表2、表3に示すように同等の過渡の組合せにおいて繰返しピーク応力強さに差があることから、他の過渡の組合せでも同様にピーク応力強さの差が生じたためUfの差となったものと考えている。

表2 PLM40における疲労評価結果
(Ufに対して支配的な過渡の例)

過渡組合せ	繰返しピーク 応力強さ (MPa)	Ke	繰返し回 数	Uf

表3 PLM30における疲労評価結果
(表2と同等の過渡組合せによるUf)

(バイパス流量アップ前※)

過渡組合せ	繰返しピーク 応力強さ (MPa)	Ke	繰返し回 数	Uf

(バイパス流量アップ後※)

過渡組合せ	繰返しピーク 応力強さ (MPa)	Ke	繰返し回 数	Uf

※ 第16回定検以降加圧器スプレイバイパス流量を増加させており、PLM30ではバイパス流量アップ前後に分けて評価を実施した。

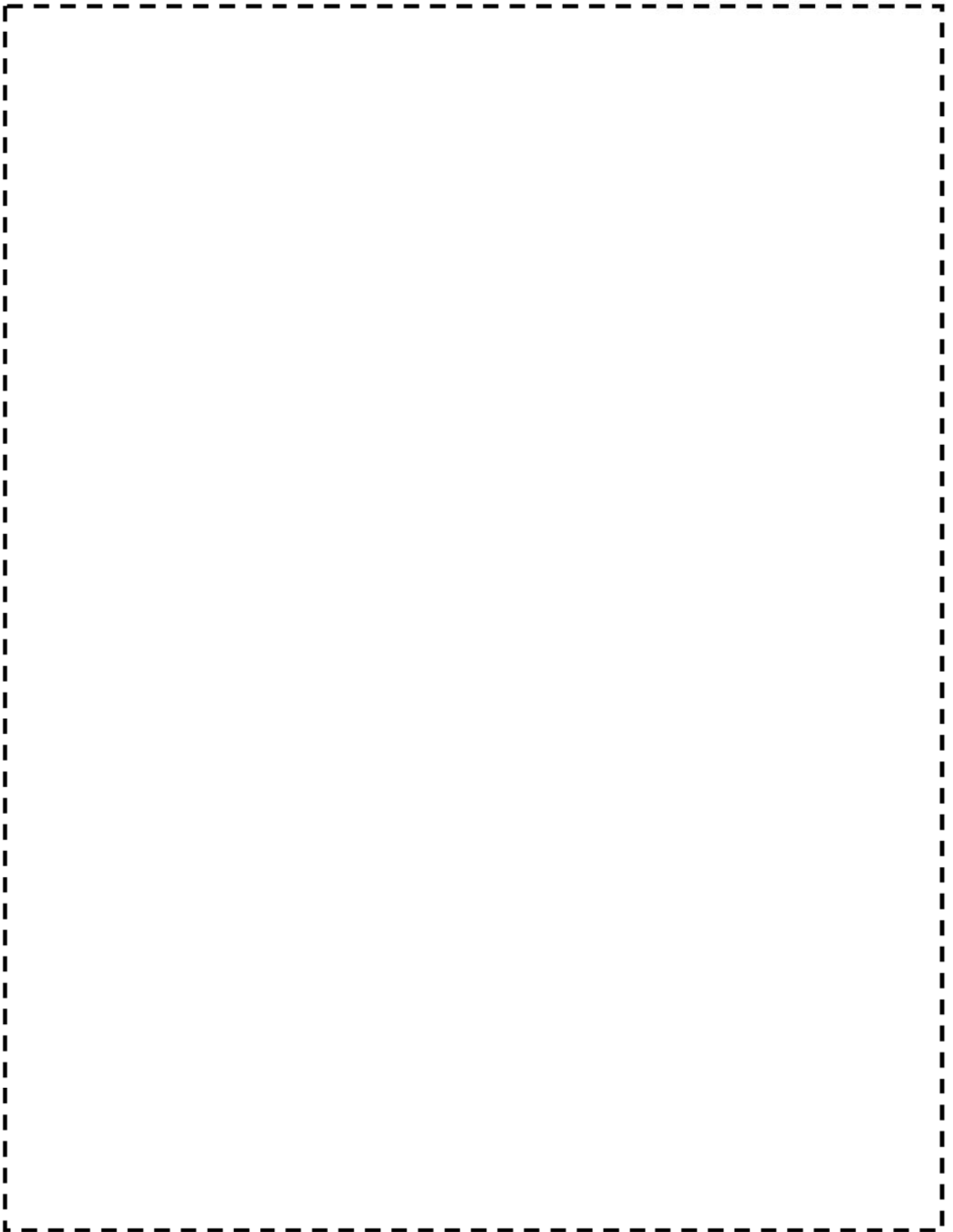


図1 加圧器スプレイ配管疲労評価モデル (PLM30)

枠囲みの範囲は機密に係る事項ですので公開することはできません。

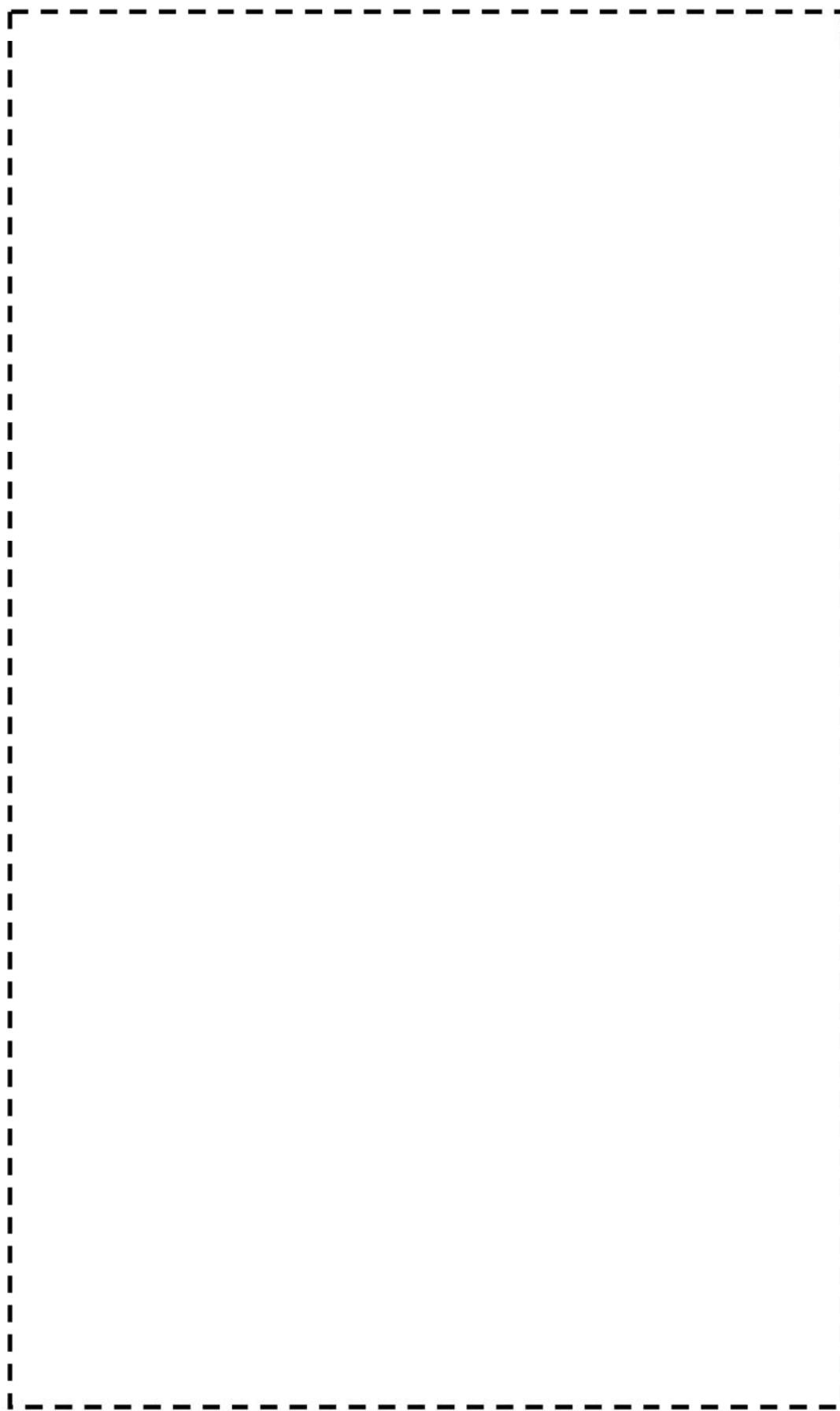


図2 加圧器スプレイ配管疲労評価モデル (PLM40)

枠囲みの範囲は機密に係る事項ですので公開することはできません。

加圧器スプレ配管の環境疲労評価 (PLM30とPLM40との比較)

PLM40の加圧器スプレ配管の環境疲労評価については、添付 1 の大気中の疲労評価の説明で述べたようにPLM30以降の改造を反映して配管改造を反映しているため、図 3、図 4 に示すように評価モデルが異なる。

また、PLM30では第 16 回定検 (1996 年度) 以前と第 16 回定検以降に分けて、第 16 回定検以前では、加圧器スプレ配管に熱成層の発生を考慮し、第 16 回定検以降は熱成層の発生が無いものとして評価を実施している。第 16 回定検以降は加圧器スプレのバイパス流量を増加させて、熱成層が発生しないとして評価したものである。

一方PLM40では運転開始後 60 年までの供用期間にわたって熱成層の発生を考慮して評価を行った。

このため、PLM30とPLM40では評価モデルが大きく異なっていること、PLM40では今後も含めた 60 年までの供用期間に熱成層の発生を考慮した応力解析を行っていることから、PLM40の方が環境を考慮した疲労累積係数 (Uen) が大きい値となっている。



図 3 加圧器スプレ配管環境疲労評価モデル (PLM30)
(熱成層を考慮した第 16 回定検までに用いたもの。第 16 回定検以降は図 1 と同じ)

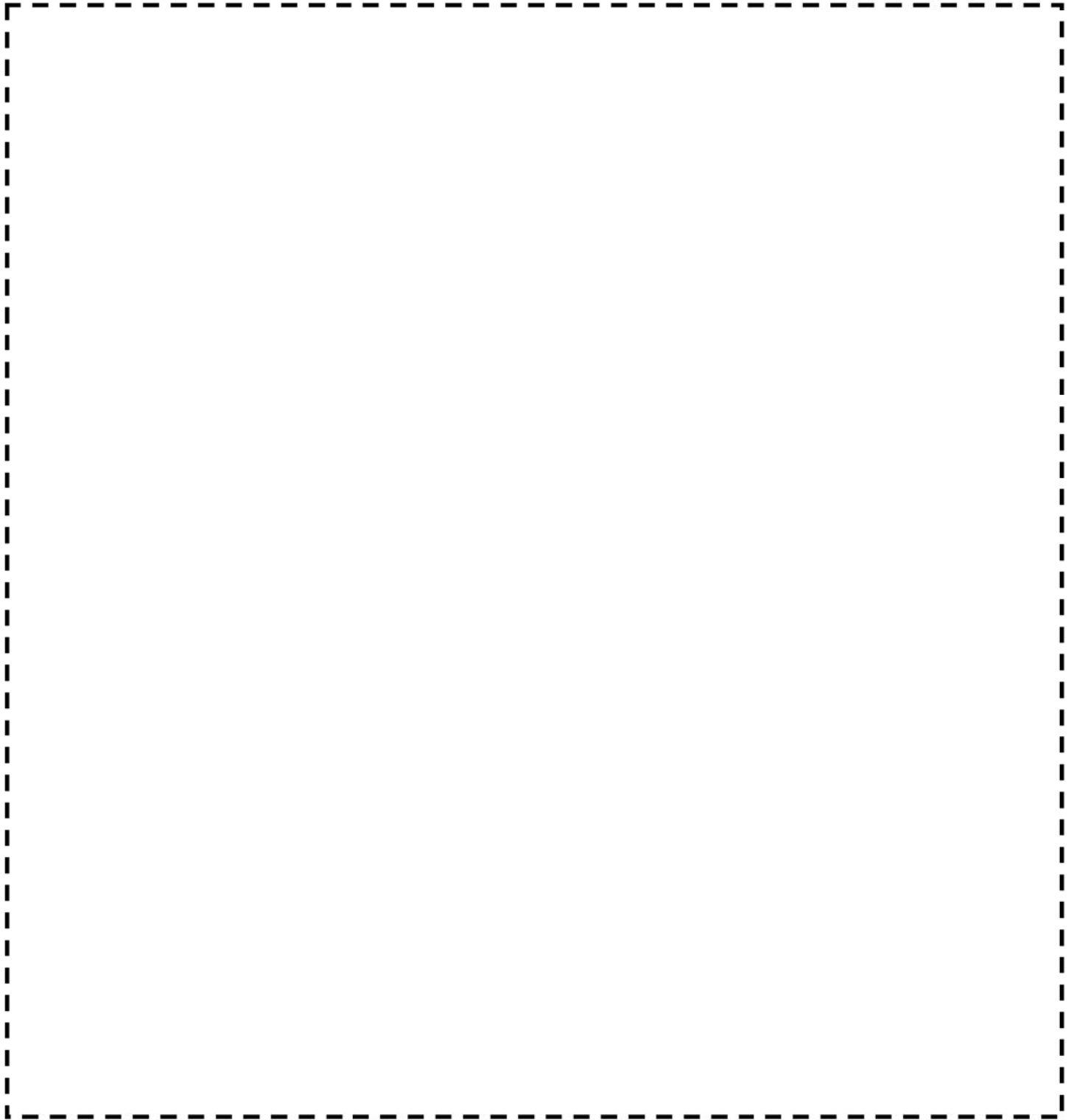


図4 加圧器スプレイ配管環境疲労評価モデル (PLM40)

枠囲みの範囲は機密に係る事項ですので公開することはできません。

タイトル	30年目の高経年化技術評価と劣化状況評価における加圧器サージライン用配管の疲労累積係数の相違について								
説明	<p>加圧器サージ配管について、30年目の高経年化技術評価（以下PLM30という）と劣化状況評価（以下PLM40という）における疲労累積係数の比較を以下に示す。</p> <p style="text-align: center;">加圧器サージ配管疲労評価結果（疲労累積係数）の比較</p> <table border="1" data-bbox="507 645 1249 831"> <thead> <tr> <th rowspan="2">部位</th> <th colspan="2">60年時点の予測値</th> </tr> <tr> <th>PLM30</th> <th>PLM40</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>加圧器サージ配管</td> <td>0.003 (0.077)</td> <td>0.004 (0.002)</td> </tr> </tbody> </table> <p>表内の上段の数値は大気中の疲労累積係数（Uf）を示す。 （）内の数値は接液中の疲労累積係数（Uen）を示す。</p> <p>PLM30とPLM40で疲労累積係数に差異が生じている主な理由は以下のとおりである。</p> <p>【大気中の疲労累積係数】 PLM30では疲労評価を「発電用原子力設備に関する構造等の技術基準（告示501号）」に基づいて実施したが、PLM40では「設計・建設規格（2005/2007）」に基づいて実施した。このため設計・建設規格で導入されたフレキシビリティファクター考慮の有無等によりUfの値に差が生じたものである。</p> <p>【接液中の疲労累積係数】 繰り返しピーク応力強さの算出は内圧、熱膨張、熱成層、管板方向の熱勾配を考慮しているが、PLM30では熱膨張+熱成層の項を時刻歴で算出し、その最大値と内圧、管板方向の熱勾配の最大値を絶対和して求めた。一方、PLM40では全ての項を一括して時刻歴で求めた。このため、PLM40の方がピーク応力の最大値が低下するため、Uenの値に差が生じたものである。 PLM40では新しい規格に基づく評価、解析技術の性能向上に伴う詳細な評価を実施したものであり、適切な評価結果であると考えている。</p> <p>添付1にサージ配管の疲労評価（Uf値）の比較を示す。 添付2にサージ配管の環境疲労評価（Uen値）の比較を示す。</p>	部位	60年時点の予測値		PLM30	PLM40	加圧器サージ配管	0.003 (0.077)	0.004 (0.002)
部位	60年時点の予測値								
	PLM30	PLM40							
加圧器サージ配管	0.003 (0.077)	0.004 (0.002)							

加圧器サージ配管の疲労評価 (PLM30とPLM40との比較)

加圧器サージ配管について、PLM30とPLM40の評価モデルは図1、図2のようにほぼ同じである。

表1と表2を比較すると、各評価点毎のUf値は全体的にほぼ同じであるが、PLM30, PLM40でUf値が最大となった加圧器管台 (PLM30 : 節点2000 PLM40 : 節点502) のUf値に比較差が出ている。

この加圧器管台部分の評価の差は、適用規格による違いが主な要因であると考えられる。PLM30では疲労評価を「発電用原子力設備に関する構造等の技術基準 (告示501号)」に基づいて実施したが、PLM40では「設計・建設規格 (2005/2007)」に基づいて実施した。

このため、PLM40では、配管の管台部の剛性にフレキシビリティを考慮していることからPLM30の評価より管台部の応力が厳しくなり、Uf値が増加している。

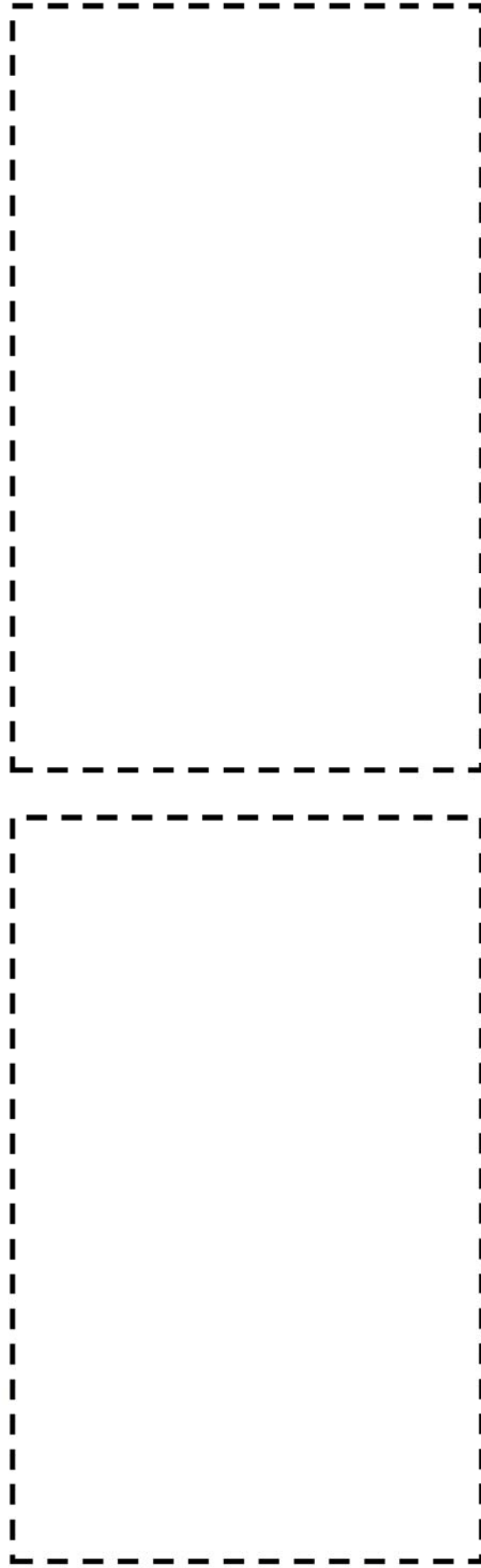


図1 加圧器サージ配管疲労評価モデル (PLM30)

図2 加圧器サージ配管疲労評価モデル (PLM40)

枠囲みの範囲は機密に係る事項ですので公開することはできません

表 1 PLM30における疲労評価結果 (節点毎のUF値)

節点番号	ピーク応力 強さ (MPa)	繰返しピーク 応力強さ (MPa)	疲労累積係数
[Redacted]			

表 2 PLM40における疲労評価結果 (節点毎のUF値)

節点番号	ピーク 応力強さ (MPa)	繰返しピーク 応力強さ (MPa) (注)	疲労累積 係数	許容値
[Redacted]				1.0

表 1 の繰り返しピーク応力強さの値はヤング率補正前の値、
表 2 の繰り返しピーク応力強さの値はヤング率補正後の値である

枠囲みの範囲は機密に係る事項ですので公開することはできません

加圧器サージ配管の環境疲労評価 (PLM30とPLM40との比較)

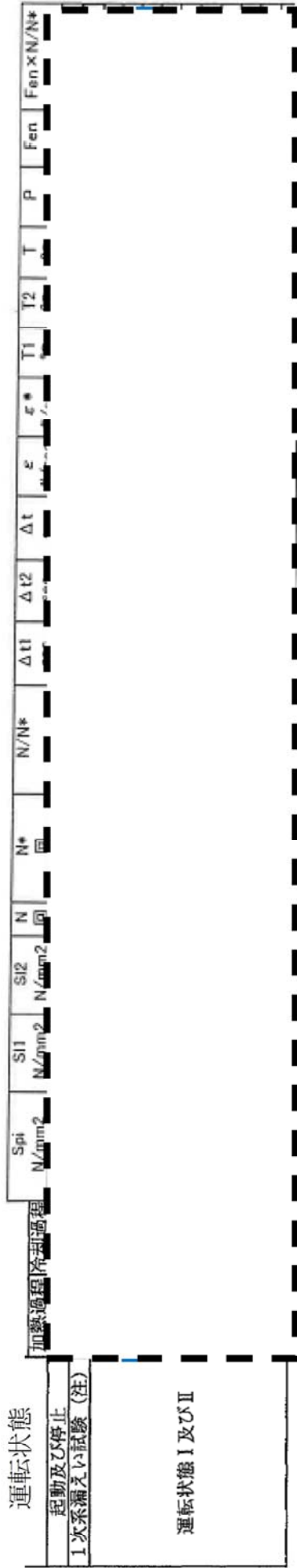
加圧器サージ配管について、PLM30とPLM40の環境疲労の評価モデルはほぼ同じである。しかしながら、図1、図2に示すようにUen最大値の評価点および、評価値に差が生じている。これはPLM30とPLM40では熱成層応力を考慮した環境疲労評価において、ピーク応力算出の際の応力各項目の足し合わせ方法に差があるためである(詳細を表3に示す)。このためPLM30ではPLM40に比べてピーク応力が大きく設定されたものであり、ピーク応力が厳しくなる評価点も異なっている。

表3 環境疲労評価法の比較

評価書	評価方法
PLM30	<p>(1) 各応力項の算出方法</p> $Sp = \sqrt{\text{内圧} + \text{熱膨張} + \text{熱成層} + \text{板厚方向内外面線形温度差 (線形/非線形)}}$ <p>[各応力項の算出状況]</p> <p>①内圧応力 ②熱膨張+熱成層 ③板厚方向内外面温度差 (線形/非線形)</p> <p>(2) 発生応力 応力評価式で規定する個々に算出した応力を、発生時刻に間隔なく絶対和してSp(S1)、UFを算出。</p>
PLM40	<p>(1) 各応力項の算出方法 配管系を3次元FEMモデル化し、過渡変動を与えて時々刻々の管の温度、応力変動を直接算出し、この中で最大値を用いて応力/疲労評価を実施。</p> <p>[過渡条件]</p> <p>(配管FEMモデル)</p>

タイトル	30年目の高経年化技術評価と劣化状況評価における抽出水しゃ断弁の疲労累積係数の相違について										
説明	<p style="text-align: center;">表1 高浜2号機 抽出水しゃ断弁 疲労累積係数の相違</p> <table border="1" style="margin-left: auto; margin-right: auto;"> <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 (() 内は環境疲労を考慮した値)</th> </tr> <tr> <th>30年目評価</th> <th>40年目評価</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>玉形弁</td> <td>抽出水しゃ断弁</td> <td style="text-align: center;">0.036 (0.493)</td> <td style="text-align: center;">0.025 (0.373)</td> </tr> </tbody> </table> <p>表1のように、高浜2号機の抽出水しゃ断弁の疲労累積係数について30年目の高経年化技術評価（以下「PLM30」という。）の予測値と40年目の劣化状況評価（以下「PLM40」という。）の予測値を比較すると、評価結果に相違が生じている。</p> <p>相違が生じた主な理由として、以下の2点が考えられる。</p> <p>①適用基準の変更による相違 疲労評価に使用する規格を「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）から「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）へ、環境を考慮した疲労評価に使用する規格を「環境中疲れ寿命評価指針（資源エネルギー庁）」から「発電用原子力設備規格 環境疲労評価手法（JSME S NF1-2009）」へ変更したことにより相違が生じている。</p> <p>②過渡回数の相違 PLM40ではPLM30以降の約10年間の供用実績を反映した過渡回数を評価に用いていることにより相違が生じている。</p> <p>高浜2号機の抽出水しゃ断弁の疲労評価結果の相違については特に「②過渡回数の相違」が大きく影響していると考えられる。</p> <p>添付1として高浜2号機のPLM30において抽出水しゃ断弁の疲労評価結果を示す。添付2としてPLM40について示す。例として青枠で示した過渡は「抽出ラインの隔離及び復帰」は抽出水しゃ断弁の疲労評価において支配的な過渡である。PLM30では13回を想定していたのに対し、PLM40では7回と減少している。このような過渡回数の変化が、評価結果の相違に大きな影響を与えていると考えられる。</p> <p style="text-align: right;">以上</p>	機器・設備	部位	60年時点の予測値 (() 内は環境疲労を考慮した値)		30年目評価	40年目評価	玉形弁	抽出水しゃ断弁	0.036 (0.493)	0.025 (0.373)
機器・設備	部位			60年時点の予測値 (() 内は環境疲労を考慮した値)							
		30年目評価	40年目評価								
玉形弁	抽出水しゃ断弁	0.036 (0.493)	0.025 (0.373)								

高浜2号機 PLM30における抽出水しや断弁の疲労評価および環境疲労評価結果



は「抽出ライン隔離及び復旧」の過渡に係る評価結果を示す。

枠囲みの範囲は機密に係る事項ですので公開することはできません。

高浜2号機 PLM40における抽出水しや断弁の疲労評価および環境疲労評価結果

運転状態	過渡の組合せ		S _{PI} (MPa)	N (回)	N* (回)	N/N*	Δt (sec)	E (MPa)	ε (%/sec)	ε* (-)	T (°C)	T* (°C)	Fen (-)	Fen×N/N*
	加熱過程	冷却過程												
起動時及び停止時 以外														
I次系漏えい試験(注1)														
疲労累積係数 0.02484 →0.025														
環境疲労累積係数 0.37213 →0.373														

は「抽出ライン隔離及び復旧」の過渡に係る評価結果を示す。
枠囲みの範囲は機密に係る事項ですので公開することはできません。

タイトル	高浜1号炉と共有する施設について																										
説明	<p>高経年化技術評価対象機器・構造物のうち高浜1号炉と2号炉で共有するものについて、高経年化技術評価書上の扱いは下記表の通り。</p> <p>表1. 高浜1/2号炉の共用する設備の扱い(1/3)</p> <table border="1" data-bbox="408 607 1351 1641"> <thead> <tr> <th data-bbox="408 607 587 674">概要</th> <th data-bbox="587 607 818 674">機種</th> <th data-bbox="818 607 1235 674">機器・構造物</th> <th data-bbox="1235 607 1351 674">評価書の整理</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td data-bbox="408 674 587 909" rowspan="3">チラーユニットに関連する設備</td> <td data-bbox="587 674 818 741">冷凍機(空調設備)</td> <td data-bbox="818 674 1235 741">チラーユニット</td> <td data-bbox="1235 674 1351 909" rowspan="3">1号にて評価</td> </tr> <tr> <td data-bbox="587 741 818 808">モータ(空調設備)</td> <td data-bbox="818 741 1235 808">チラーユニット用圧縮機モータ 冷水ポンプモータ</td> </tr> <tr> <td data-bbox="587 808 818 909">制御設備(計測制御設備)</td> <td data-bbox="818 808 1235 909">チラーユニット制御盤</td> </tr> <tr> <td data-bbox="408 909 587 1641" rowspan="5">制御建屋換気空調システムに関連する設備</td> <td data-bbox="587 909 818 976">ファン(空調設備)</td> <td data-bbox="818 909 1235 976">制御建屋送気ファン 制御建屋循環ファン</td> <td data-bbox="1235 909 1351 1641" rowspan="5">1号にて評価</td> </tr> <tr> <td data-bbox="587 976 818 1066">モータ(空調設備)</td> <td data-bbox="818 976 1235 1066">制御建屋送気ファンモータ 制御建屋循環ファンモータ</td> </tr> <tr> <td data-bbox="587 1066 818 1133">空調ユニット(空調設備)</td> <td data-bbox="818 1066 1235 1133">制御建屋冷暖房ユニット</td> </tr> <tr> <td data-bbox="587 1133 818 1200">ダクト(空調設備)</td> <td data-bbox="818 1133 1235 1200">制御建屋循環システムダクト</td> </tr> <tr> <td data-bbox="587 1200 818 1641">ダンパ(空調設備)</td> <td data-bbox="818 1200 1235 1641">制御建屋循環ファン出口ダンパ 制御建屋循環ファン入口ダンパ 制御建屋循環ファン外気放出ダンパ 制御建屋循環ファン循環ダンパ 制御建屋送気ファン出口ダンパ 制御建屋冷暖房ユニット外気取入ダンパ 制御建屋冷暖房ユニット出口ダンパ</td> </tr> </tbody> </table>			概要	機種	機器・構造物	評価書の整理	チラーユニットに関連する設備	冷凍機(空調設備)	チラーユニット	1号にて評価	モータ(空調設備)	チラーユニット用圧縮機モータ 冷水ポンプモータ	制御設備(計測制御設備)	チラーユニット制御盤	制御建屋換気空調システムに関連する設備	ファン(空調設備)	制御建屋送気ファン 制御建屋循環ファン	1号にて評価	モータ(空調設備)	制御建屋送気ファンモータ 制御建屋循環ファンモータ	空調ユニット(空調設備)	制御建屋冷暖房ユニット	ダクト(空調設備)	制御建屋循環システムダクト	ダンパ(空調設備)	制御建屋循環ファン出口ダンパ 制御建屋循環ファン入口ダンパ 制御建屋循環ファン外気放出ダンパ 制御建屋循環ファン循環ダンパ 制御建屋送気ファン出口ダンパ 制御建屋冷暖房ユニット外気取入ダンパ 制御建屋冷暖房ユニット出口ダンパ
概要	機種	機器・構造物	評価書の整理																								
チラーユニットに関連する設備	冷凍機(空調設備)	チラーユニット	1号にて評価																								
	モータ(空調設備)	チラーユニット用圧縮機モータ 冷水ポンプモータ																									
	制御設備(計測制御設備)	チラーユニット制御盤																									
制御建屋換気空調システムに関連する設備	ファン(空調設備)	制御建屋送気ファン 制御建屋循環ファン	1号にて評価																								
	モータ(空調設備)	制御建屋送気ファンモータ 制御建屋循環ファンモータ																									
	空調ユニット(空調設備)	制御建屋冷暖房ユニット																									
	ダクト(空調設備)	制御建屋循環システムダクト																									
	ダンパ(空調設備)	制御建屋循環ファン出口ダンパ 制御建屋循環ファン入口ダンパ 制御建屋循環ファン外気放出ダンパ 制御建屋循環ファン循環ダンパ 制御建屋送気ファン出口ダンパ 制御建屋冷暖房ユニット外気取入ダンパ 制御建屋冷暖房ユニット出口ダンパ																									

表1. 高浜1/2号炉の共用する設備の扱い(2/3)

概要	機種	機器・構造物	評価書の整理
中央制御室空調系統等に関連する設備	ファン(空調設備)	中央制御室非常用循環ファン	1号にて評価
	モータ(空調設備)	中央制御室非常用循環ファンモータ	
	空調ユニット(空調設備)	中央制御室非常用循環フィルタユニット	
	ダクト(空調設備)	中央制御室非常用循環系統ダクト	
	ダンパ(空調設備)	中央制御室送気隔離ダンパ 本館エレベータ横階段エリア送気隔離ダンパ 本館エレベータ横階段エリア排気隔離ダンパ 中央制御室非常用循環フィルタユニット入口ダンパ 中央制御室非常用循環ファン出口ダンパ 出入管理室送気隔離ダンパ SGブローダウンサンプル室送気隔離ダンパ 中央給湯室3階洗面所排気隔離ダンパ	
1次系冷却水ポンプ室空調系統に関連する設備	ファン(空調設備)	1次系冷却水ポンプ室冷却ファン	1号にて評価
	モータ(空調設備)	1次系冷却水ポンプ室冷却ファンモータ	
	空調ユニット(空調設備)	1次系冷却水ポンプ室冷房ユニット	
	ダクト(空調設備)	1次系冷却水ポンプ室冷却ファンダクト	

表1. 高浜1/2号炉の共用する設備の扱い(3/3)

概要	機種	機器・構造物	評価書の整理
中間建屋空調システムに関連する設備	ファン(空調設備)	中間建屋送気ファン 中間建屋排気ファン	2号にて評価
	モータ(空調設備)	中間建屋送気ファンモータ 中間建屋排気ファンモータ	
	空調ユニット(空調設備)	中間建屋送気冷暖房ユニット	
	ダクト(空調設備)	中間建屋送排気ファンダクト	
	ダンパ(空調設備)	中間建屋送気ファン入口ダンパ 中間建屋送気ファン出口ダンパ 中間建屋排気ファン入口ダンパ 中間建屋排気ファン出口ダンパ 中間建屋排気ファン出口ダンパ(排気) 中間建屋排気ファン出口ダンパ(循環) 中間建屋送気冷暖房ユニット外気取入れダンパ 中間建屋送気冷暖房ユニット再循環ダンパ 中間建屋送気冷暖房ユニットバイパスダンパ 中間建屋送気ファン再循環ダンパ	
その他	機械設備	アスファルト固化設備	1号にて評価
	機械設備	雑固体焼却設備	1号にて評価
	機械設備	溶離廃液濃縮装置	1号にて評価
	コンクリート構造物および鉄骨構造物	原子炉補助建屋のうち、制御建屋および廃棄物処理建屋	1号にて評価
	配管および弁	換気空調系統(チラーユニット冷水系統等(上記の整理と同じ))、アスファルト固化設備、雑固体廃棄物焼却設備、廃樹脂処理装置	1号にて評価

タイトル	日常劣化管理に関する劣化傾向の把握について
説明	<p>当社の劣化傾向管理に関しては、劣化トレンドの管理のため状態監視保全及び点検手入れ前データの活用を行なっており、具体的には下記の診断等を実施している。</p> <p>1 状態監視保全</p> <ul style="list-style-type: none">(1) 回転機器の軸受部に対する振動診断(2) 電気設備や機械的摺動部に対する赤外線サーモグラフィー診断(3) 軸受に使用されている潤滑油の診断（試運用中） <p>2 点検手入れ前データ</p> <ul style="list-style-type: none">(1) A s - f o u n dデータの収集・保全への反映 <p>なお、1 (1)、(2)及び2 (1)は社内文書としてマニュアルを定め運用しており、添付 1、2にそれらの実施状況を示す。</p> <p style="text-align: right;">以上</p>

簡 品-73

件名											
平成25年度 発電所運営会議(保守管理会議)の結果について											
<p>所長 26.2.20</p> <p>副所長(技術) 26.2.20</p> <p>副所長(事務) 26.2.20</p> <p>運営部長(1/24) 26.2.20</p> <p>運営統括長(4d) 26.2.20</p> <p>安全・防災課長(電気) 26.2.20</p> <p>安全・防災課長(1/26任) 26.2.19</p> <p>安全・防災室課長</p> <p>所長室課長(労働安全) 26.2.19</p> <p>技術課長 26.2.19</p> <p>原子燃料課長 26.2.19</p> <p>放射線管理課長 26.2.19</p> <p>第一発電室長 26.2.20</p> <p>第二発電室長 26.2.20</p> <p>保全課長 26.2.19</p> <p>電気係修課長 26.2.19</p> <p>計装係修課長 26.2.19</p> <p>原子炉係修課長 不在</p> <p>タービン係修課長 26.2.20</p> <p>土木建築課長 26.2.19</p> <p>電気工事 G 課長 26.2.19</p> <p>電気工事 G 課長(CBR) 26.2.20</p> <p>機械工事 G 課長 26.2.20</p> <p>機械工事 G 課長(2/22) 26.2.20</p> <p>機械工事 G 課長(2/22) 26.2.19</p> <p>発電所課長(BT) 不在</p> <p>発電所課長(発電所則) 26.2.20</p> <p>電気技術アドバイザー 26.2.19</p> <p>機械技術アドバイザー 26.2.19</p> <p>第一発電室定検課長 不在</p> <p>第二発電室定検課長 26.2.20</p> <p>情報管理専任者 26.2.20</p>	<p>所管 品質保証室</p> <table border="1" style="width: 100%; text-align: center;"> <thead> <tr> <th>室長 (3/4炉主任)</th> <th>課長</th> <th>係長</th> <th>係</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>26.2.19</td> <td>26.2.18</td> <td>26.2.18</td> <td>■</td> </tr> </tbody> </table> <p>標記については、平成26年1月30日に開催された発電所運営会議(保守管理会議)の結果をとりまとめたので上申します。 なお、本上申をもって「原子力発電所の保守管理規程(JEAC4209-2007)」の「MC-16 保守管理の有効性評価」で要求される以下の評価の記録として扱います。</p> <p>1. 評価年月日、評価者 (1) 評価年月日 平成26年1月30日 (2) 評価者 「高浜発電所 発電所運営会議所達」に定める保守管理会議メンバー(19名/34名中)</p> <p>2. 保守管理の有効性について評価した結果およびその根拠(改善内容を含む) (1) 評価結果 JEAC4209 の要求事項に沿ったプロセスが確立され、それに基づき実施されていることから、保守管理は有効に機能していると評価する。 (2) 評価の根拠 発電所運営会議(保守管理会議)議事録および会議資料</p> <p>3. その他必要な事項 特になし</p> <p style="text-align: right;">以上</p> <p>添付資料</p> <p>添付-1 発電所運営会議(保守管理会議)議事録 添付-2 発電所運営会議(保守管理会議)会議資料 (保守管理目標の達成状況、保全の有効性評価結果)</p> <table border="1" style="width: 100%;"> <tr> <td style="width: 50%; vertical-align: top;"> 品質保証規程7.2.1 (業務に対する要求事項) のレビューの結果 (良好)・変更要 </td> <td style="width: 50%; vertical-align: top;"> 原子力発電安全 運営委員会付議 要・(否) </td> </tr> </table>	室長 (3/4炉主任)	課長	係長	係	26.2.19	26.2.18	26.2.18	■	品質保証規程7.2.1 (業務に対する要求事項) のレビューの結果 (良好)・変更要	原子力発電安全 運営委員会付議 要・(否)
室長 (3/4炉主任)	課長	係長	係								
26.2.19	26.2.18	26.2.18	■								
品質保証規程7.2.1 (業務に対する要求事項) のレビューの結果 (良好)・変更要	原子力発電安全 運営委員会付議 要・(否)										

添付3 平成25年度「保全の有効性評価結果」について

定期的な評価のインプット		評価期間	評価結果
分類1	分類2		
a.	保全活動管理指標の監視結果	1u H24. 9. 3～H25.11.30 2u H24.12. 1～H25.11.30 3u H24.12. 1～H25.11.30 4u H24.12. 1～H25.11.30	
b.	保全データの推移及び経年劣化の長期的な傾向監視の実績	1u～4u H24.12. 1～H25.11.30	
		1u～4u H24.12. 1～H25.11.30	
		1u H24. 9. 3～H25.11.30 2u H24.12. 1～H25.11.30 3u H24.12. 1～H25.11.30 4u H24.12. 1～H25.11.30	
		1u～4u H24.12. 1～H25.11.30	
c.	トラブルなど運転経歴	1u～4u H24.12. 1～H25.11.30	
d.	高齢化技術評価及び定期安全レビュー結果	1u～4u H24.12. 1～H26. 1.15	
		H24.12.1～H25.11.30	
e.	他プラントのトラブル及び経年劣化傾向に係るデータ	1u～4u H24.12. 1～H25.11.30	
		1u～4u H24.12. 1～H25.11.30	
f.	リスク情報、科学的知見	1u H22. 11.23～H25.11.30 第27回定検分)	
		2u H23.8.31～H25.11.30 第27回定検分)	
g.	その他	3u H23. 12.13～H25.11.30 第21回定検分)	
		4u H23. 3.30～H25.11.30 第20回定検分)	
		1u～4u H24.12. 1～H25.11.30	
		1u H22. 11.25～H25.11.30 第27回定検分)	
		2u H23.7.1～H25.11.30 第27回定検分)	
		3u H23. 10.25～H25.11.30 第21回定検分)	
		4u H23. 3.16～H25.11.30 第20回定検分)	

枠囲みの範囲は機密に係る事項ですので公開することはできません。

回転機器振動診断マニュアル

目 次

第1章 総則	3-1
1. 目的	3-1
2. 適用範囲	3-1
3. 関連する外部文書（法令、民間規格等）	3-1
4. 関係する内部文書（社内標準等）	3-1
5. 用語の定義	3-1
第2章 振動診断業務の実施に係る役務	3-3
1. 目的	3-3
2. 役割分担	3-3
3. 実施体制	3-4
第3章 振動診断実施に必要な力量	3-5
1. 目的	3-5
2. 必要とする力量	3-5
3. 力量管理	3-5
4. 教育訓練	3-5
第4章 振動診断の実施	3-6
1. 目的	3-6
2. 振動診断業務のプロセス	3-6
(1) 対象範囲の策定	3-6
(2) 振動診断の実施計画	3-6
(3) 測定	3-7
(4) 評価	3-8
(5) 評価結果に基づく対策の実施	3-8
(6) 処置（グリスアップ等の軽微は処置は除く）	3-9
(7) 振動診断管理基準の管理	3-9
(8) マスターデータの管理	3-10
(9) 神童君システムの管理	3-10
第5章 振動診断結果の報告	3-11
1. 目的	3-11
2. 振動診断結果の定期的な報告	3-11

高浜発電所 保修業務所則指針
別紙4

赤外線サーモグラフィ診断マニュアル

保修業務ガイド別紙33

点検手入れ前データ採取業務マニュアル

平成22年12月7日 制 定

原子力事業本部 保修管理グループ

計算機プログラム（解析コード）の概要

1. はじめに

2. 解析コードの概要

- 2.1 ABAQUS Ver. 6.3-1
- 2.2 ABAQUS Ver. 6.7.1
- 2.3 ABAQUS Ver. 6.8-1
- 2.4 ABAQUS Ver. 6.8-4
- 2.5 ABAQUS Ver. 6.12-3
- 2.6 ANISN (ANISN-W)
- 2.7 ANSYS Ver. 5.7
- 2.8 ANSYS Ver. 11.0
- 2.9 ANSYS Ver. 12.0
- 2.10 AUTO PIPE Ver. 6.3
- 2.11 DORT Ver. 1.5.11
- 2.12 DOT Ver. 3.5
- 2.13 FINAS Ver. 20.1
- 2.14 MSAP PC版
- 2.15 MSAP (配管) PC 1.0
- 2.16 MSC MARC Ver. 2005r3
- 2.17 MSC MARC Ver. K6
- 2.18 MSC NASTRAN Ver. 2005.1
- 2.19 MSC NASTRAN Ver. 2005r3b
- 2.20 MSC NASTRAN Ver. 2011.1
- 2.21 M-RELAP5 Ver. 1 ←工認にあり
- 2.22 NX NASTRAN Ver. 7.0
- 2.23 RESP-T Ver. 5.1.7
- 2.24 SPAN2000 Ver. 4.0 Ver. 5.0 Ver. 6.0
- 2.25 制御棒挿入時間解析コード Ver. 1

1. はじめに

本資料は、解析コードについて説明するものである。

2. 解析コードの概要

2.1 ABAQUS Ver. 6.3-1

2.1.1 ABAQUS Ver. 6.3-1 の概要

対象：疲労評価、熱成層解析

項目	コード名
	ABAQUS
開発機関	ダッソー・システムズ株式会社
開発時期	1978年
使用したバージョン	Ver. 6.3-1
使用目的	2次元軸対称又は3次元有限要素法（ソリッド要素）による 応力解析
コードの概要	<p>米国 HKS (Hibbitt, Karlsson & Sorensen) 社によって開発され、現在はダッソーシステムズ（株）によって保守されている有限要素法による構造解析用汎用コードである。</p> <p>応力解析、熱応力解析、伝熱解析などを行うことができ、特に非線形解析が容易に行えることが特徴であり、多くの民間・国立研究所、大学及び産業界で利用されている実績を持つ。</p>
検証(Verification) 及び 妥当性確認(Validation)	<p>【検証(Verification)】</p> <p>本解析コードの検証の内容は、以下のとおりである。</p> <ul style="list-style-type: none">・ 材料力学分野における一般的知見により解を求めることができる体系について応力解析（2次元軸対称または3次元有限要素法（ソリッド要素）による線形解析機能による応力解析）を行い、解析解が理論モデルによる理論解と一致することを確認している。・ 本解析コードの運用環境について、開発機関から提示された要件を満足していることを確認している。 <p>【妥当性確認(Validation)】</p> <p>本解析コードの妥当性確認の内容は、以下のとおりである。</p> <ul style="list-style-type: none">・ 本解析コードは、自動車、航空宇宙、防衛、工業製品、学術研究などの様々な分野における使用実績を有しており、妥当性は十分に確認されている。・ 三菱重工業（株）が実施した配管ティー継手を対象とした3次

	<p>元有限要素法（ソリッド要素）を用いた応力解析の事例がある。 （PVP2012-78686 : COMPARISON BETWEEN PRESSURE TESTS AND SIMULATIONS FOR THICKNESS MANAGEMENT OF WALL THINNING T-JOINTS）</p> <ul style="list-style-type: none">・ 開発機関が提示するマニュアルにより、2次元軸対称または3次元有限要素法（ソリッド要素）による応力解析に本解析コードが適用できることを確認している。・ 検証の体系と本評価で使用する体系が同等であることから、解析解と理論解の一致をもって、解析機能の妥当性も確認できる。・ 本評価において使用するバージョンは、既工事計画において使用されているものと同じであることを確認している。・ 本評価における用途及び適用範囲が上述の妥当性確認の範囲内であることを確認している。
--	--

2.2 ABAQUS Ver. 6.7.1

2.2.1 ABAQUS Ver. 6.7.1 の概要

対象：疲労評価、応力解析

項目 \ コード名	ABAQUS
開発機関	ダッソー・システムズ株式会社
開発時期	1978 年
使用したバージョン	Ver. 6.7.1
使用目的	3次元有限要素法（ソリッド要素）による応力解析
コードの概要	<p>米国 HKS (Hibbitt, Karlsson & Sorensen) 社によって開発され、現在はダッソー・システムズ (株) によって保守されている有限要素法による構造解析用汎用コードである。</p> <p>応力解析、熱応力解析及び伝熱解析などを行うことができ、特に非線形解析が容易に行えることが特徴であり、多くの民間・国立研究所、大学及び産業界で利用されている実績を持つ。</p>
検証 (Verification) 及び 妥当性確認 (Validation)	<p>【検証 (Verification)】</p> <p>本解析コードの検証の内容は、以下のとおりである。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ 本評価で使用する解析機能は、材料力学分野における一般的知見により解を求めることができる体系について、3次元有限要素法（ソリッド要素）による応力解析を行い、解析解が理論解と一致することを確認している。 ・ 本解析コードの運用環境について、開発機関から提示された要件を満足していることを確認している。 <p>【妥当性確認 (Validation)】</p> <p>本解析コードの妥当性確認の内容は、以下のとおりである。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ 本解析コードは、自動車、航空宇宙、防衛、工業製品、学術研究などの様々な分野における使用実績を有しており、妥当性は十分に確認されている。 ・ 三菱重工業 (株) が実施した配管ティー継手を対象とした3次元有限要素法（ソリッド要素）を用いた応力解析の事例がある。 (PVP2012-78686 : COMPARISON BETWEEN PRESSURE TESTS AND SIMULATIONS FOR THICKNESS MANAGEMENT OF WALL THINNING T-

	<p>JOINTS)</p> <ul style="list-style-type: none">・ 開発機関が提示するマニュアルにより、本評価で使用する3次元有限要素法（ソリッド要素）による応力解析に本解析コードが適用できることを確認している。・ 検証の体系と本評価で使用する体系が同等であることから、解析解と理論解の一致をもって、解析機能の妥当性も確認できる。・ 本評価において使用するバージョンは、既工事計画において使用されているものと異なるが、バージョンの変更において解析機能に影響のある変更が行なわれていないことを確認している。・ 本評価における用途及び適用範囲が上述の妥当性確認の範囲内であることを確認している。
--	---

2.3 ABAQUS Ver. 6.8-1

2.3.1 ABAQUS Ver. 6.8-1 の概要

対象：疲労評価、応力解析

項目 \ コード名	ABAQUS
開発機関	ダッソー・システムズ株式会社
開発時期	1978 年
使用したバージョン	Ver. 6.8-1
使用目的	3次元有限要素法（ソリッド要素）による応力解析
コードの概要	<p>米国 HKS (Hibbitt, Karlsson & Sorensen) 社によって開発され、現在はダッソー・システムズ (株) によって保守されている有限要素法による構造解析用汎用コードである。</p> <p>応力解析、熱応力解析及び伝熱解析などを行うことができ、特に非線形解析が容易に行えることが特徴であり、多くの民間・国立研究所、大学及び産業界で利用されている実績を持つ。</p>
検証 (Verification) 及び 妥当性確認 (Validation)	<p>【検証 (Verification)】</p> <p>本解析コードの検証の内容は、以下のとおりである。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ 本評価で使用する解析機能は、材料力学分野における一般的知見により解を求めることができる体系について、3次元有限要素法（ソリッド要素）による応力解析を行い、解析解が理論解と一致することを確認している。 ・ 本解析コードの運用環境について、開発機関から提示された要件を満足していることを確認している。 <p>【妥当性確認 (Validation)】</p> <p>本解析コードの妥当性確認の内容は、以下のとおりである。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ 本解析コードは、自動車、航空宇宙、防衛、工業製品、学術研究などの様々な分野における使用実績を有しており、妥当性は十分に確認されている。 ・ 三菱重工業（株）が実施した一次冷却材ポンプの応力解析の事例がある。 ・ 開発機関が提示するマニュアルにより、本評価で使用する3次元有限要素法（ソリッド要素）による応力解析に本解析コード

	<p>が適用できることを確認している。</p> <ul style="list-style-type: none">・ 検証の体系と本評価で使用する体系が同等であることから、解析解と理論解の一致をもって、解析機能の妥当性も確認できる。・ 本評価において使用するバージョンは、既工事計画において使用されているものと同じであることを確認している。・ 本評価における用途及び適用範囲が上述の妥当性確認の範囲内であることを確認している。
--	--

2.4 ABAQUS Ver. 6.8-4

2.4.1 ABAQUS Ver. 6.8-4 の概要

対象：応力解析

項目 \ コード名	ABAQUS
開発機関	ダッソー・システムズ社
開発時期	1978 年
使用したバージョン	Version. 6.8-4
使用目的	有限要素法（軸対称ソリッド要素）による 応力解析
コードの概要	<p>米国 HKS 社によって開発され、現在はダッソー・システムズ（株）によって保守されている有限要素法による構造解析用汎用コードである。</p> <p>応力解析、熱応力解析及び伝熱解析などを行うことができ、特に非線形解析が容易に行えることが特徴であり、多くの民間・国立研究所、大学及び産業界で利用されている実績を持つ。</p>
検証(Verification) 及び 妥当性確認(Validation)	<p>【検証(Verification)】 本解析コードの検証の内容は以下の通りである。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ 材料力学分野における一般的知見により解を求めることができる体系について、適用機能（軸対称ソリッド要素）による応力解析を行い、解析解が理論モデルによる理論解と一致することを確認している。 ・ 本コードの運用環境について、開発機関から提示された要件を満足していることを確認している。 <p>【妥当性確認(Validation)】 本解析コードの妥当性確認の内容は以下の通りである。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ 本解析コードは、自動車、航空宇宙、防衛、工業製品、学術研究などの様々な分野における使用実績を有しており、妥当性は十分に確認されている。 ・ 今回の評価で行う解析と類似する三菱重工業（株）が実施した配管ティー継手を対象とした 3 次元有限要素法（ソリッド要素）を用いた応力解析の事例がある。 (PVP2012-78686 : COMPARISON BETWEEN PRESSURE TESTS)

AND SIMULATIONS FOR THICKNESS MANAGEMENT OF WALL THINNING T-JOINTS)

- 開発機関が提示するマニュアルにより、今回の申請で使用する有限要素法（軸対象ソリッド要素）による応力解析に本解析コードが適用できることを確認している。
- 検証の体系と今回の評価で使用する体系が同等であることから、解析解と理論解の一致をもって、解析機能の妥当性も確認できる。
- 今回の評価で行う軸対称ソリッド要素による応力解析の用途、適用範囲が、上述の妥当性確認内にあることを確認している。

2.5 ABAQUS Ver. 6.12-3

2.5.1 ABAQUS Ver. 6.12-3 の概要

対象：熱時効評価、応力解析

項目 \ コード名	ABAQUS
開発機関	ダッソー・システムズ株式会社
開発時期	1978 年
使用したバージョン	Ver. 6.12-3
使用目的	2次元軸対称有限要素法（ソリッド要素）による応力解析
コードの概要	<p>米国 HKS (Hibbitt, Karlsson & Sorensen) 社によって開発され、現在はダッソー・システムズ (株) によって保守されている有限要素法による構造解析用汎用コードである。</p> <p>応力解析、熱応力解析、伝熱解析などを行うことができ、特に非線形解析が容易に行えることが特徴であり、多くの民間・国立研究所、大学及び産業界で利用されている実績を持つ。</p>
検証 (Verification) 及び 妥当性確認 (Validation)	<p>【検証 (Verification)】</p> <p>本解析コードの検証の内容は、以下のとおりである。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ 材料力学分野における一般的知見により解を求めることができる体系について応力解析（2次元軸対称有限要素法（ソリッド要素）による線形解析機能による応力解析）を行い、解析解が理論モデルによる理論解と一致することを確認している。 ・ 本解析コードの運用環境について、開発機関から提示された要件を満足していることを確認している。 <p>【妥当性確認 (Validation)】</p> <p>本解析コードの妥当性確認の内容は、以下のとおりである。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ 本解析コードは、自動車、航空宇宙、防衛、工業製品、学術研究などの様々な分野における使用実績を有しており、妥当性は十分に確認されている。 ・ 三菱重工業（株）が実施した配管ティー継手を対象とした3次元有限要素法（ソリッド要素）を用いた応力解析の事例がある。 （PVP2012-78686 : COMPARISON BETWEEN PRESSURE TESTS AND SIMULATIONS FOR THICKNESS MANAGEMENT OF WALL THINNING T-

	<p>JOINTS)</p> <ul style="list-style-type: none">・ 開発機関が提示するマニュアルにより、本評価で使用する２次元軸対称有限要素法（ソリッド要素）による応力解析に本解析コードが適用できることを確認している。・ 検証の体系と本評価で使用する体系が同等であることから、解析解と理論解の一致をもって、解析機能の妥当性も確認できる。・ 本評価において使用するバージョンは、既工事計画において使用されているものと異なるが、バージョンの変更において今回使用している解析機能に影響のある変更が行なわれていないことを確認している。・ 本評価における用途及び適用範囲が上述の妥当性確認の範囲内であることを確認している。
--	--

2.6 ANISN (ANISN-W)

2.6.1 ANISN (ANISN-W)の概要

対象：放射線束分布解析

項目 \ コード名	ANISN
開発機関	米国オークリッジ国立研究所 (ORNL)
開発時期	1967 年
使用したバージョン	ANISN-W
使用目的	遮蔽解析 (コンクリート中の中性子及びガンマ線の放射線束分布解析)
コードの概要	<p>本解析コードは、米国オークリッジ国立研究所にて中性子の遮蔽計算を目的として開発されたコードである。</p> <p>1 次元ボルツマン輸送計算式による中性子及びガンマ線の放射線束分布の算出が可能である。</p>
検証 (Verification) 及び 妥当性確認 (Validation)	<p>【検証 (Verification)】</p> <p>本解析コードの検証の内容は以下のとおりである。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ 本解析コードの計算機能が適正であることは、後述する妥当性確認の中で確認している。本解析コードの運用環境について、開発機関から提示された要件を満足していることを確認している。 ・ ANISN は、中性子の放射線束分布解析を実施するコードであり、計算に必要な主な条件は線源条件、遮蔽体条件である。これら解析条件が与えられれば中性子の放射線束分布解析は可能であり、ANISN は 1 次遮蔽における中性子の放射線束分布解析に適用可能である。 <p>【妥当性確認 (Validation)】</p> <p>本解析コードの妥当性確認の内容は、以下のとおりである。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ 日本原子力学会の「中性子遮蔽設計ハンドブック 1993 年 4 月」において、遮蔽体 (コンクリート及び水) を通過した中性子スペクトルの実測値と ANISN による計算値を比較した結果、概ね一致しているこ

	<p>とを確認している。</p> <ul style="list-style-type: none">• 本評価で実施する中性子の放射線束分布解析の用途及び適用範囲が、上述の妥当性確認の範囲内にあることを確認している。• また、「原子力発電所放射線遮へい設計規程」(JEAC4615-2008)では、1次遮蔽のための輸送計算コードとして、ANISNが挙げられている。
--	--

2.7 ANSYS Ver. 5.7

2.7.1 ANSYS Ver. 5.7 の概要

対象：伝熱解析

項目 \ コード名	ANSYS
開発機関	ANSYS, Inc. (米国)
開発時期	1970年
使用したバージョン	Ver. 5.7
使用目的	有限要素法（ソリッド要素）による支持構造物及びコンクリートの定常伝熱解析
コードの概要	1970年に、米国 Swanson Analysis System Inc. (現 ANSYS, Inc.)により開発された有限要素法による汎用構造解析計算機コードである。線形/非線形の静解析及び動解析（固有値解析、応答解析等）を行うことができ、汎用有限要素法構造解析コードとして、産業界で幅広く利用されている実績を持つ。
検証 (Verification) 及び 妥当性確認 (Validation)	<p>【検証(Verification)】</p> <p>本解析コードの検証の内容は以下の通りである。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・理論解との比較による検証 <p>今回の使用内容である支持構造物及びコンクリートの定常伝熱解析は、支持構造物と支持構造物回りのコンクリートをソリッド要素でモデル化し温度を入力した定常伝熱解析であるため、定常熱伝導計算に該当する解析を検算し、一致することを確認している。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・定常熱伝導計算（ソリッド要素のモデルに温度を入力した解析結果と手計算による理論解との比較） <ul style="list-style-type: none"> ・本コードの運用環境について、開発機関から提示された要件を満足していることを確認している。 <p>【妥当性確認(Validation)】</p> <p>本解析コードの妥当性確認の内容は以下の通りである。</p>

	<ul style="list-style-type: none">• 本解析コードは、国内外の航空宇宙、自動車、機械、建築、土木などの様々な分野における使用実績を有しており、妥当性は十分に確認されている。• 今回の解析と類似する有限要素法（ソリッド要素）による定常伝熱解析の事例が、開発機関が提示するマニュアルに例題として掲載されている。• 開発機関が提示するマニュアルにより、本解析コードの適正な用途、適用範囲を確認している。• 今回行う有限要素法による支持構造物及びコンクリートの定常伝熱解析の用途、適用範囲が前述の検証及び上述の妥当性確認の範囲内にある事を確認している。
--	--

2.8 ANSYS Ver. 11.0

2.8.1 ANSYS Ver. 11.0 の概要

対象：応力解析

項目 \ コード名	ANSYS
開発機関	ANSYS, Inc. (米国)
開発時期	1970 年
使用したバージョン	Ver. 11.0
使用目的	2次元有限要素法（はり要素）による応力解析
コードの概要	<p>線形/非線形の静解析及び動解析（固有値解析、応力解析等）を行うことができる汎用有限要素法構造解析コードである。</p> <p>地震時の燃料集合体変形等を入力して、制御棒クラスタ各部（制御棒被覆管、制御棒接合部）に生じる荷重や応力を算出する。</p>
検証(Verification) 及び 妥当性確認(Validation)	<p>【検証(Verification)】</p> <p>本解析コードの検証の内容は、以下のとおりである。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ 材料力学分野における一般的な知見により解を求めることができる体系について、2次元有限要素法（はり要素）による応力解析に関する理論モデルによる理論解との比較を行い、解析解が理論モデルによる理論解と一致することを確認している。 ・ 本解析コードの運用環境について、開発機関から提示された要件を満足していることを確認している。 <p>【妥当性確認(Validation)】</p> <p>本解析コードの妥当性確認の内容は、以下のとおりである。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ 本解析コードは、航空宇宙、自動車などの様々な分野における使用実績を有しており、妥当性は十分に確認されている。 ・ 本評価で行う解析と類似する2次元有限要素法（はり要素）による応力解析の事例が、開発機関が提示するマニュアルに例題として掲載されている。 ・ 開発機関が提示するマニュアルにより、本評価で使用する2次元有限要素法（はり要素）による応力解析に本解析コードが適用できることを確認している。 ・ 検証の体系と本評価で使用する体系が同等であることから、解

	<p>析解と理論解の一致をもって、解析機能の妥当性も確認できる。</p> <ul style="list-style-type: none">• 実機炉内構造物（燃料集合体を含む）を模擬した実寸大供試体による「PWR炉内構造物耐震実証試験」や「機器耐力その2 PWR制御棒挿入性」の振動試験のシミュレーション解析をANSYSで実施しており、制御棒案内シンプル及び燃料棒の応力に対する試験結果との比較により、燃料集合体解析モデルの妥当性が検証されていることを確認している。• 詳細は、「原子力発電施設 信頼性実証試験の現状」（昭和61年、原子力工学試験センター）や「平成17年度 原子力発電施設等の耐震性評価技術に関する試験及び調査 機器耐力その2（PWR制御棒挿入性）に係る報告書」（平成18年、独立行政法人原子力安全基盤機構）に示されている。• 本評価において使用するバージョンは、既工事計画において使用されているものと同じであることを確認している。• 本評価における用途及び適用範囲が上述の妥当性確認の範囲内であることを確認している。
--	--

2.9 ANSYS Ver. 12.0

2.9.1 ANSYS Ver. 12.0 の概要

対象：環境疲労評価

項目 \ コード名	ANSYS
開発機関	ANSYS, Inc. (米国)
開発時期	1970 年
使用したバージョン	Ver. 12.0
使用目的	3次元有限要素法（ソリッド要素）による配管の応力解析
コードの概要	1970年に、米国 Swanson Analysis System Inc. (現 ANSYS, Inc.)により開発された有限要素法による汎用構造解析計算機コードである。線形/非線形の静解析及び動解析（固有値解析、応答解析等）を行うことができ、汎用有限要素法構造解析コードとして、産業界で幅広く利用されている実績を持つ。
検証 (Verification) 及び 妥当性確認 (Validation)	<p>【検証(Verification)】</p> <p>本解析コードの検証の内容は以下の通りである。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・材料力学分野において十分な実績のある他の解析コード、および、一般的な知見により解を求めることができる体系について、3次元有限要素法（ソリッド要素）による応力解析に関する理論モデルによる理論解との比較を行い、解析解が理論モデルによる理論解と一致することを確認している。 <p>具体的には、以下の項目である。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・非定常熱伝導解析 ・熱膨張解析 ・内圧解析 ・定常熱伝導解析 ・静的解析 <ul style="list-style-type: none"> ・本コードの運用環境について、開発機関から提示された要件を満足していることを確認している。

【妥当性確認(Validation)】

本解析コードの妥当性確認の内容は以下の通りである。

- 本解析コードは、国内外の航空宇宙、自動車、機械、建築、土木などの様々な分野における使用実績を有しており、妥当性は十分に確認されている。
- 今回の運転期間延長申請において使用するバージョンに対して、更新されたバージョンにおける機能等の改良による Ver. 12.0 への影響が無いことを確認している。
- 今回の運転期間延長申請で行う有限要素法による配管の応力解析の用途、適用範囲が前述の検証及び上述の妥当性確認の範囲内にある事を確認している。

2.10 AUTO PIPE Ver. 6.3

2.10.1 AUTO PIPE Ver. 6.3 の概要

対象：応力解析

項目	コード名 AUTO PIPE
開発機関	Bentley Systems 社
開発時期	1986 年（一般商業用リリース）
使用したバージョン	Ver. 6.3
使用目的	3次元有限要素法（はり要素）による静解析（応力解析）
コードの概要	<p>AutoPIPE は、米 Bentley Systems 社が開発した配管応力解析コードであり、発電、石油、ガス、原子力等の配管設計に広く利用されている実績がある。</p> <p>線形/非線形の静解析及び動解析（固有値解析、応力解析等）を行うことができる汎用有限要素法構造解析である。</p>
検証(Verification) 及び 妥当性確認(Validation)	<p>【検証(Verification)】</p> <p>本解析コードの検証の内容は、以下のとおりである。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ 3次元有限要素法による応力解析に関するAcceptance Test Setの検証例題について、AutoPIPE Ver. 6.3による解析解がAcceptance Test Setの記載値と一致することを確認している。 ・ 本解析コードの運用環境について、開発機関から提示された要件を満足していることを確認している。 <p>【妥当性確認(Validation)】</p> <p>本解析コードの妥当性確認の内容は、以下のとおりである。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ 本解析コードは、発電、石油、ガス、原子力などの様々な分野における使用実績を有しており、妥当性は十分に確認されている。 ・ 検証の体系と本評価で使用する体系が同等であることから、解析解と理論解の一致をもって、解析機能の妥当性も確認できる。 ・ 本評価における用途及び適用範囲が上述の妥当性確認の範囲内であることを確認している。

2.11 DORT Ver. 1.5.11

2.11.1 DORT Ver. 1.5.11 の概要

対象：放射線束分布解析

項目 \ コード名	DORT
開発機関	米国オークリッジ国立研究所 (ORNL)
開発時期	1987 年
使用したバージョン	Ver. 1.5.11
使用目的	遮蔽解析 (原子炉容器における中性子の放射線束分布解析)
コードの概要	本解析コードは、米国オークリッジ国立研究所にて中性子の遮蔽計算を目的として開発されたコードである。 2次元ボルツマン輸送計算式による中性子及びガンマ線の放射線束分布の算出が可能である。
検証(Verification) 及び 妥当性確認(Validation)	<p>【検証(Verification)】</p> <p>本解析コードの検証の内容は以下のとおりである。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ 本解析コードの計算機能が適正であることは、後述する妥当性確認の中で確認している。 ・ 本解析コードの運用環境について、開発機関から提示された要件を満足していることを確認している。 <p>【妥当性確認(Validation)】</p> <p>本解析コードの妥当性確認の内容は、以下のとおりである。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ 本解析コードは既工事計画において使用実績を有しており、妥当性は十分に確認されている。 ・ Reactor Dosimetry in the 21st Century (World Scientific) pp59-66 「Three Dimensional Radiation Transport Analyses in PWR with TORT and MCNP」 2002 における、サーベイランス試験片の実測放射能濃度と DORT コードによる解析結果との比較において、実測値に対する解析値の比が 0.98~1.05 と概ね一致しており、本解析コードが放射線束分布を適切に

	<p>模擬できていることを確認している。</p> <ul style="list-style-type: none">・ 本評価で実施する中性子の放射線束分布解析の用途及び適用範囲が、上述の妥当性確認の範囲内にあることを確認している。
--	---

2.12 DOT Ver. 3.5

2.12.1 DOT Ver. 3.5の概要

対象：放射線束分布解析

項目 \ コード名	DOT
開発機関	米国オークリッジ国立研究所 (ORNL)
開発時期	1976年
使用したバージョン	DOT-3.5
使用目的	遮蔽解析 (炉内構造物における中性子の放射線束分布解析)
コードの概要	<p>本解析コードは、米国オークリッジ国立研究所にて中性子の遮蔽計算を目的として開発されたコードである。</p> <p>2次元ボルツマン輸送計算式による中性子及びガンマ線の放射線束分布の算出が可能である。</p>
検証(Verification) 及び 妥当性確認(Validation)	<p>【検証(Verification)】</p> <p>本解析コードの検証の内容は以下のとおりである。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ 本解析コードの計算機能が適正であることは、後述する妥当性確認の中で確認している。 ・ 本解析コードの運用環境について、開発機関から提示された要件を満足していることを確認している。 <p>【妥当性確認(Validation)】</p> <p>本解析コードの妥当性確認の内容は、以下のとおりである。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ 本解析コードは既工事計画において使用実績を有しており、妥当性は十分に確認されている。 ・ 米国オークリッジ国立研究所の PCA-PV (Pool Critical Assembly - Pressure Vessel) 設備における軽水炉体系の中性子輸送計算の実証確認実験 (“LWR Pressure Vessel Surveillance Dosimetry Improvement Program: PCA Experiments and Blind Test,” NUREG/CR-1861, HEDL-TME 80-87, 1981) において、複数機関が実験結果と計算値の比較を実施し

	<p>ており、DOT-3.5 による計算結果も実験結果と概ね一致している。</p> <ul style="list-style-type: none">• 上記のベンチマークに対して、「PWR プラント原子炉容器最大中性子照射量算出法について」MAPI-1067（三菱原子力工業株式会社 昭和 58 年）において、PCA Blind Test 参加機関の計算結果と同程度の計算結果が得られていることを確認している。• 今回の中性子の放射線束分布解析は上記妥当性確認内容と合致している。
--	---

2.13 FINAS Ver. 20.1

2.13.1 FINAS Ver. 20.1 の概要

対象：振動応答解析

項目 \ コード名	FINAS
開発機関	伊藤忠テクノ ソリューションズ (株)
開発時期	1976 年
使用した バージョン	Ver. 20.1
使用目的	梁—質点モデルによる地震応答解析
コードの概要	<p>耐震計算で使用している解析コード FINAS は、科学技術庁（現文部科学省）の委託として動燃事業団（現独立行政法人日本原子力研究開発機構）が株式会社センチュリ リサーチ センタ（現株式会社伊藤忠テクノソリューションズ）と共同開発したコードである。FINAS は、静的解析、動的応答解析、熱伝導解析の機能を備えており、線形解析をはじめとして、非線形領域の構造解析シミュレーションを中心に幅広い解析機能を有している。</p> <p>加圧水型原子力発電設備 炉内構造物の建設及び取替工事の認可において、耐震計算書における静的解析、動的応答解析に FINAS を使用した実績がある。</p>
検証(Verification) 及び 妥当性確認(Validation)	<p>【検証(Verification)】</p> <p>本解析コードの検証の内容は以下の通りである。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・材料力学分野における一般的な知見より解を求めることができる体系について、適用機能(梁—質点モデル)に関する理論モデルによる理論解と解析との比較を行い、解析解が理論解と一致することを確認している。 ・本コードの運用環境について、開発機関から提示された要件を満足していることを確認している。 <p>【妥当性確認(Validation)】</p> <p>本解析コードの妥当性確認の内容は以下の通りである。</p>

	<ul style="list-style-type: none">• 本解析コードは、自動車、機械、建築などの様々な分野における使用実績を有しており、妥当性は十分に確認されている。• 今回の解析と類似する地震応答解析の事例が、開発機関が提示するマニュアルに掲載されている。• 開発機関が提示するマニュアルにより、今回使用する梁一質点モデルによる地震応答解析に本解析コードが適用できることを確認している。• 検証の体系と今回使用する体系が同等であることから、解析解と理論解の一致をもって、解析機能の妥当性も確認できる。• 今回行う、梁一質点モデルによる地震応答解析の用途、適用範囲が上述の妥当性確認範囲内にあることを確認している。
--	---

2.14 MSAP PC 版

2.14.1.1 MSAP PC 版の概要

対象：振動応答解析、地震応答解析

項目 \ コード名	MSAP
開発機関	三菱重工業株式会社
開発時期	1980 年
使用したバージョン	PC 版
使用目的	3次元はり要素による静的解析及び動的解析（地震応答解析）
コードの概要	強度及び耐震計算で使用している解析コードMSAPは、カリフォルニア大学のE. L. Wilson教授らによって開発された線形構造解析プログラムSAP Vをベースに、三菱重工業（株）で機器・配管系の耐震構造解析等に活用すべく改良・整備を行った汎用コードである。
検証(Verification)及び 妥当性確認(Validation)	<p>【検証(Verification)】</p> <p>本解析コードの検証の内容は、以下のとおりである。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ 開発のベースとなったSAP Vについて、開発元より発行されている例題集の中で、モデル要素ごとに静的及び動的解析の例題に対して、解析結果と理論モデルによる理論解または他の計算プログラムでの計算結果と概ね一致していることを確認している。また、サンプルモデルに対する固有値解析結果が、手計算と一致することを確認している。 ・ 本解析コードの運用環境について、動作環境を満足する計算機にインストールして用いていることを確認している。 <p>【妥当性確認(Validation)】</p> <p>本解析コードの妥当性確認の内容は、以下のとおりである。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ 加圧水型原子力発電設備における様々な機器・配管系の強度及び耐震設計に使用され、多くの使用実績を有している。 ・ JEAG4601-1987 6.5.2項の1次冷却ループの多質点3次元はり要素による解析の妥当性確認として、1次冷却ループを模擬した縮尺供試モデルを用いた試験を行い、振動特性（固有振動数、振動モード、減衰）及び地震応答量（加速度、荷重、応力）について、試験結果とMSAPコードによる解析結果（3次元はり要

	<p>素による地震応答解析結果)を比較しており、地震応答量において解析結果が試験結果を概ね上回っていることを確認している。上記試験は、「原子力発電施設耐震信頼性実証試験の概要」(2006年11月 独立行政法人 原子力安全基盤機構)、「原子力発電施設信頼性実証試験の現状」(平成元年 財団法人 原子力工学試験センター/財団法人 発電設備技術検査協会)に示されている。</p> <ul style="list-style-type: none">• 本解析コードの適用制限として使用節点数・要素数があるが、適用範囲内であることを確認している。• 本評価において使用するバージョンは、既工事計画において使用されているものと同じであることを確認している。• 本評価における用途及び適用範囲が上述の妥当性確認の範囲内であることを確認している。
--	--

2.14.2.1 MSAP PC版の概要

対象：外荷重条件、疲労評価、環境疲労評価、熱時効評価

項目 \ コード名	MSAP
開発機関	三菱重工業株式会社
開発時期	1980年
使用したバージョン	PC版
使用目的	部材力の算定（2次元はり要素による静的構造解析）
コードの概要	<p>強度及び耐震計算で使用している解析コードMSAPは、カリフォルニア大学のE. L. Wilson教授らによって開発された線形構造解析プログラムSAP Vをベースに、三菱重工業（株）社で機器・配管系の耐震構造解析等に活用すべく改良・整備を行った汎用コードである。</p> <p>加圧水型原子力発電設備における様々な機器・配管系の強度及び耐震設計に使用され、多くの使用実績を有している。</p>
検証(Verification) 及び 妥当性確認(Validation)	<p>【検証(Verification)】</p> <p>本解析コードの検証の内容は、以下のとおりである。</p> <ul style="list-style-type: none"> 開発のベースとなったSAP Vについて、開発元より発行されている例題集に重機器サポートの解析で使用するBeam要素についての静解析が含まれており、解析結果と理論モデルによる古典的理論解または他の計算プログラムでの計算結果を比較し一致していることを確認している。 本解析コードの運用環境について、動作環境を満足する計算機にインストールして用いていることを確認している。 <p>【妥当性確認(Validation)】</p> <p>本解析コードの妥当性確認の内容は、以下のとおりである。</p> <ul style="list-style-type: none"> 加圧水型原子力発電設備における様々な機器・配管系の強度及び耐震設計に使用され、多くの使用実績を有している。 MSAPのベースとなったSAP Vは航空宇宙、自動車、造船、機械、建築、土木などの様々な分野における使用実績を有した妥当性が十分に確認された解析プログラムであり、MSAPではSAP Vの解析基本ルーチンに変更していない。従って、重機器サポートの構造解析で使用しているはり要素による静的解析は十分に

	<p>実績のある解析機能である。</p> <ul style="list-style-type: none">• SAP Vは、理論モデルをそのまま解析コード化したものであり、理論モデルによる理論解と解析解を比較することで、妥当性を確認している。• 本解析コードの適用制限として使用節点数・要素数があるが、適用範囲内であることを確認している。• 本評価において使用するバージョンは、既工事計画において使用されているものと同じであることを確認している。• 本評価における用途及び適用範囲が上述の妥当性確認の範囲内であることを確認している。
--	---

2.15 MSAP（配管） PC 1.0

2.15.1 MSAP（配管） PC 1.0 の概要

対象：振動応答解析、応力解析

項目	コード名 MSAP（配管）
開発機関	三菱重工業株式会社
開発時期	1980 年
使用したバージョン	PC 1.0
使用目的	3次元有限要素法（はり要素）による 固有値解析、地震応答解析、応力算出
コードの概要	<p>強度及び耐震計算で使用している解析コードMSAPは、カリフォルニア大学のE. L. Wilson教授らによって開発された線形構造解析プログラムSAP Vをベースに、三菱重工業（株）で機器・配管系の耐震構造解析等に活用すべく改良・整備を行った汎用コードである。</p> <p>対話方式による入力及び構造解析の出力データを基に規格基準の算出式に従った評価が可能である。</p>
検証(Verification) 及び 妥当性確認(Validation)	<p>【検証(Verification)】</p> <p>本解析コードの検証の内容は、以下のとおりである。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ 開発のベースとなったSAP Vについて、開発元より発行されている例題集の中で、モデル要素ごとに静的及び動的解析の例題に対して、解析結果と理論モデルによる理論解又は他の計算プログラムでの計算結果と概ね一致していることを確認している。また、サンプルモデルに対する固有値解析結果が、手計算と一致することを確認している。 ・ 対話方式により入力されたデータはインプットファイルとして出力され、入力データと一致していることを確認している。 ・ 入力データが正しく構造解析に受け渡されていること、構造解析データが正しく規格計算に受け渡されていることをそれぞれ確認している。 ・ 構造解析結果として出力されたデータを規格基準に従い、発生応力、疲労累積係数を算出しており、その過程が理論解を再現できることを確認している。 ・ 地震動の組合せ処理は、本解析コード内で処理しており、アウ

トットファイルと手計算結果が一致していることを確認している。

- ・ 本解析コードの運用環境について、動作環境を満足する計算機にインストールして用いていることを確認している。

【妥当性確認(Validation)】

本解析コードの妥当性確認の内容は、以下のとおりである。

- ・ 加圧水型原子力発電設備における様々な機器・配管系の強度及び耐震設計に使用され、多くの使用実績を有している。
- ・ JEAG4601-1987 6.5.2項の1次冷却ループの多質点3次元はり要素による解析の妥当性確認として、1次冷却ループを模擬した縮尺供試モデルを用いた試験を行い、振動特性（固有振動数、振動モード、減衰）及び地震応答量（加速度、荷重、応力）について、試験結果とMSAPコードによる解析結果（3次元はり要素による地震応答解析結果）を比較しており、地震応答量において解析結果が試験結果を概ね上回っていることを確認している。上記試験は、「原子力発電施設耐震信頼性実証試験の概要」（2006年11月 独立行政法人 原子力安全基盤機構）、「原子力発電施設信頼性実証試験の現状」（平成元年 財団法人 原子力工学試験センター/財団法人 発電設備技術検査協会）に示されている。
- ・ 上記妥当性確認を行ったのは1次冷却ループの3次元はり要素であるが、1次冷却ループに含まれる1次冷却材管は今回解析する配管と幾何学的に類似しており、同様の3次元はり要素を用いてモデル化している。
- ・ 本解析コードの適用制限として使用節点数・要素数があるが、適用範囲内であることを確認している。
- ・ 本評価において使用するバージョンは、既工事計画において使用されているものと同じであることを確認している。
- ・ 本評価における用途及び適用範囲が上述の妥当性確認の範囲内であることを確認している。

2.16 MSC MARC Ver. 2005r3

2.16.1 MSC MARC Ver. 2005r3 の概要

対象：熱時効評価

項目	コード名
	MARC
開発機関	MSC Software Corporation
開発時期	1960 年代後半
使用したバージョン	Ver. 2005r3
使用目的	3次元有限要素法（ソリッド要素）によるJ積分解析
コードの概要	<p>有限要素法を用いた MSC MARC は、ロンドン大学とブラウン大学で12年以上にわたって研究教育機関に携わったペドロ・V・マサール博士によって開発され、現在は MSC Software によって保守されている有限要素法による構造解析汎用計算コードである。</p> <p>MSC MARC は応力解析、熱応力解析、伝熱解析、動的解析などを行うことができ、特に非線形解析、非定常解析が容易に行えることが特徴であり、多くの民間・国立研究所、大学及び産業界で利用されている実績を持つ。</p>
検証 (Verification) 及び 妥当性確認 (Validation)	<p>【検証 (Verification)】</p> <p>本解析コードの検証内容は、以下のとおりである。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・材料力学分野で一般的な知見により理論解を求めることができる簡素な体系で、理論モデルによる理論解と解析解の比較を行い、一致することを確認している。 ・本解析コードの運用環境について、開発機関から提示された要件を満足していることを確認している。 <p>【妥当性確認 (Validation)】</p> <p>本解析コードの妥当性確認の内容は、以下のとおりである。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・本解析コードは、航空宇宙、自動車、電機電子、建築、医療系などの様々な分野における使用実績を有しており、妥当性は十分に確認されている。 ・破壊力学パラメータを基に算出した破壊荷重は、配管

	<p>の破壊試験での破壊荷重と概ね合致した結果が得られることが確認されている。</p> <p>(ICPVT-9-J-028 : Four-Point Bending Tests of Aged Cast Duplex Stainless Steel Pipes)</p> <ul style="list-style-type: none">• 破壊力学パラメータを基に算出した応力拡大係数は、別の手法で算出した応力拡大係数と合致することを確認している。 <p>(JNES IAF プロジェクト 06 基材報-0008)</p>
--	---

2.17 MSC MARC Ver. K6

2.17.1 MSC MARC Ver. K6 の概要

対象：応力解析

項目 \ コード名	MARC
開発機関	MSC Software Corporation
開発時期	1960 年代後半
使用したバージョン	Ver. K6
使用目的	有限要素法（軸対称要素）による応力解析
コードの概要	<p>有限要素法を用いた MARC は、ロンドン大学とブラウン大学で 12 年以上にわたって研究教育機関に携わったペドロ・V・マサール博士によって開発され、現在は MSC Software によって保守されている有限要素法による構造解析汎用計算コードである。</p> <p>MARC は応力解析、熱応力解析、伝熱解析、動的解析などを行うことができ、特に非線形解析、非定常解析が容易に行えることが特徴であり、多くの民間・国立研究所、大学及び産業界で利用されている実績を持つ。</p>
検証 (Verification) 及び 妥当性確認 (Validation)	<p>【検証 (Verification)】</p> <p>本解析コードの検証内容は、以下のとおりである。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ 材料力学分野で一般的な知見により理論解を求めることができる簡素な体系で、理論モデルによる理論解と解析解の比較を行い、一致することを確認している。 ・ 本解析コードの運用環境について、開発機関から提示された要件を満足していることを確認している。 <p>【妥当性確認 (Validation)】</p> <p>本解析コードの妥当性確認の内容は、以下のとおりである。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ 本解析コードは、航空宇宙、自動車、電機電子、建築、医療系などの様々な分野における使用実績を有しており、妥当性は十分に確認されている。 ・ 検証の体系と今回の評価で使用する体系が同等である

	<p>ことから、解析解と理論解の一致をもって、解析機能の妥当性も確認できる。</p> <ul style="list-style-type: none">• 今回の評価で行う軸対称要素による応力解析の用途、適用範囲が、上述の妥当性確認内にあることを確認している。
--	---

2.18 MSC NASTRAN Ver.2005.1

2.18.1 MSC NASTRAN Ver.2005.1の概要

対象：応力解析

項目 \ コード名	MSC NASTRAN
開発機関	MSC Software Corporation
開発時期	1971年（一般商業用リリース）
使用したバージョン	Ver.2005.1
使用目的	3次元有限要素法（ソリッド要素）による静解析（応力解析）
コードの概要	<p>有限要素法を用いた MSC NASTRAN は、世界で圧倒的シェアを持つ汎用構造解析プログラムのスタンダードである。その誕生は 1965 年、現在の米国 MSC Software Corporation の前身である米国 The MacNeal-Schwendler Corporation の創設者、マクニール博士とシュウエンドラー博士が、当時 NASA（The National Aeronautics and Space Administration）で行われていた、航空機の機体強度をコンピュータ上で解析することをテーマとした「有限要素法プログラム作成プロジェクト」に参画したことに始まる。そこで作成されたプログラムは NASTRAN（NASA Structural Analysis Program）と命名され、1971 年に The MacNeal-Schwendler Corporation から MSC NASTRAN として一般商業用にリリースされた。</p> <p>以来、数多くの研究機関や企業において、航空宇宙、自動車、造船、機械、建築、土木などの様々な分野の構造解析に広く利用されている。また各分野からの高度な技術的要求とコンピュータの発展に対応するために、常にプログラムの改善と機能拡張を続けている。</p>
検証(Verification) 及び 妥当性確認(Validation)	<p>【検証(Verification)】</p> <p>本解析コードの検証の内容は、以下のとおりである。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ 材料力学分野における一般的知見により解を求めることができる体系について、3次元有限要素法（ソリッド要素）による応力解析を行い、解析解が理論モデルによる理論解と一致することを確認している。 ・ 本解析コードの運用環境について、開発機関から提示された要件を満足していることを確認している。

【妥当性確認 (Validation)】

本解析コードの妥当性確認の内容は、以下のとおりである。

- 本解析コードは、航空宇宙、自動車、造船、機械、建築、土木などの様々な分野における使用実績を有しており、妥当性は十分に確認されている。
- 開発機関が提示するマニュアルにより、本評価で使用する3次元有限要素法（ソリッド要素）による応力解析に本解析コードが適用できることを確認している。
- 検証の体系と本評価で使用する体系が同等であることから、解析解と理論解の一致をもって、解析機能の妥当性も確認できる。
- 本評価における用途及び適用範囲が上述の妥当性確認の範囲内であることを確認している。

2.19 MSC NASTRAN Ver.2005r3b

2.19.1 MSC NASTRAN Ver.2005r3b の概要

対象：疲労評価

項目 \ コード名	MSC NASTRAN
開発機関	MSC Software Corporation
開発時期	1971年（一般商業用リリース）
使用したバージョン	Ver.2005r3b
使用目的	3次元有限要素法（ソリッド要素、シェル要素及びはり要素）による応力解析
コードの概要	<p>有限要素法を用いたMSC NASTRANは、世界で圧倒的シェアを持つ汎用構造解析プログラムのスタンダードである。その誕生は1965年、現在の米国 MSC Software Corporation の前身である米国 The MacNeal-Schwendler Corporationの創設者、マクニール博士とシュウエンドラー博士が、当時NASA（The National Aeronautics and Space Administration）で行われていた、航空機の機体強度をコンピュータ上で解析することをテーマとした「有限要素法プログラム作成プロジェクト」に参画したことに始まる。そこで作成されたプログラムは NASTRAN（NASA Structural Analysis Program）と命名され、1971年にThe MacNeal-Schwendler CorporationからMSC NASTRANとして一般商業用にリリースされた。</p> <p>以来、数多くの研究機関や企業において、航空宇宙、自動車、造船、機械、建築、土木などの様々な分野の構造解析に広く利用されている。また各分野からの高度な技術的要求とコンピュータの発展に対応するために、常にプログラムの改善と機能拡張を続けている。</p>
検証(Verification) 及び 妥当性確認(Validation)	<p>【検証(Verification)】</p> <p>本解析コードの検証の内容は、以下のとおりである。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ 材料力学分野における一般的な知見により理論解を求めることができる体系について、適用機能（ソリッド要素、シェル要素及びはり要素）に関する理論モデルによる理論解と解析との比較を行い、解析解が理論解と一致することを確認している。 ・ 本解析コードの運用環境について、開発機関から提示された要件を満足していることを確認している。

【妥当性確認 (Validation)】

本解析コードの妥当性確認の内容は、以下のとおりである。

- 本解析コードは、航空宇宙、自動車、造船、機械、建築、土木などの様々な分野における使用実績を有しており、妥当性は十分に確認されている。
- 本評価で行う解析と類似する応力解析の事例が、開発機関が提示するマニュアルに掲載されている。
- 開発機関が提示するマニュアルにより、本評価で使用する3次元有限要素法（ソリッド要素、シェル要素及びはり要素）による応力解析に本解析コードが適用できることを確認している。
- 異種要素を混成させることについては、異種要素境界でのデータ伝達が適正に行われるように要素設定をしていることを確認している。
- 本評価において使用するバージョンは、既工事計画において使用されているものと同じであることを確認している。
- 本評価における用途及び適用範囲が上述の妥当性確認の範囲内であることを確認している。

2.20 MSC NASTRAN Ver.2011.1

2.20.1 MSC NASTRAN Ver.2011.1の概要

対象：応力解析

項目 \ コード名	MSC NASTRAN
開発機関	MSC Software Corporation
開発時期	1971年（一般商業用リリース）
使用したバージョン	Ver.2011.1
使用目的	3次元有限要素法（シェル及びはり要素）による固有値解析、 応力解析
コードの概要	<p>有限要素法を用いたMSC NASTRANは、世界で圧倒的シェアを持つ汎用構造解析プログラムのスタンダードである。その誕生は1965年、現在の米国 MSC Software Corporation の前身である米国 The MacNeal-Schwendler Corporationの創設者、マクニール博士とシュウエンドラー博士が、当時NASA（The National Aeronautics and Space Administration）で行われていた、航空機の機体強度をコンピュータ上で解析することをテーマとした「有限要素法プログラム作成プロジェクト」に参画したことに始まる。そこで作成されたプログラムは NASTRAN（NASA Structural Analysis Program）と命名され、1971年にThe MacNeal-Schwendler CorporationからMSC NASTRANとして一般商業用にリリースされた。</p> <p>以来、数多くの研究機関や企業において、航空宇宙、自動車、造船、機械、建築、土木などの様々な分野の構造解析に広く利用されている。また各分野からの高度な技術的要求とコンピュータの発展に対応するために、常にプログラムの改善と機能拡張を続けている。</p>
検証(Verification) 及び 妥当性確認(Validation)	<p>【検証(Verification)】</p> <p>本解析コードの検証の内容は、以下のとおりである。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ 材料力学分野における一般的な知見により理論解を求めることができる体系について、3次元有限要素法（シェル又ははり要素）による固有値解析及び応力解析（固有振動数、荷重及び応力）について理論モデルによる理論解と解析解との比較を行い、解析解が理論解に一致することを確認している。 ・ 本解析コードの運用環境について、開発機関から提示された要

件を満足していることを確認している。

【妥当性確認(Validation)】

本解析コードの妥当性確認の内容は、以下のとおりである。

- 本解析コードは、国内外の航空宇宙、自動車、造船、機械、建築、土木などの様々な分野における使用実績を有しており、妥当性は十分確認されている。
- 本評価で行う解析と類似するものとして、日本原子力研究開発機構（旧日本原子力研究所）が実施したプルトニウム用グローブボックスの固有値解析、応力解析の事例がある（JAERI-M92-206）。
- 開発機関が提示するマニュアルにより、本評価で使用する3次元有限要素法（シェル及びはり要素）による固有値解析、応力解析に本解析コードが適用できることを確認している。
- 異種要素を混成させることについては、異種要素境界でのデータ伝達が適正に行われるように接続していることを確認している。
- 本評価において使用するバージョンは、既工事計画において使用されているものと同じであることを確認している。
- 本評価における用途及び適用範囲が上述の妥当性確認の範囲内であることを確認している。

2.21 M-RELAP5 Ver.1

2.21.1 M-RELAP5 Ver.1の概要

対象：過渡解析

項目 \ コード名	M-RELAP5
開発機関	三菱重工業株式会社
開発時期	2007年
使用したバージョン	Ver. 1
使用目的	過渡解析（二流体モデルによる1次冷却設備の熱流動評価）
コードの概要	<p>M-RELAP5は米国エネルギー省 (DOE) 及びアイダホ国立研究所 (INL) により開発されたプラントシステム解析コードRELAP5-3Dを基に、PWRの中小破断LOCA解析に適用するため、10 CFR 50 Appendix K “ECCS Evaluation Models” (ECCS性能評価指針に相当する) にて要求されるモデルを付加したコードである。</p> <p>M-RELAP5は、制御系、熱水力、熱構造材、原子炉動特性等の計算機能を有し、原子炉の事故時の熱流動解析を行う汎用性の高い計算コードである。1次及び2次冷却系を複数のボリューム及びボリュームを接続するジャンクションで表し、気液各相の質量、運動量及びエネルギー保存式を独立に解き、各ボリュームの冷却材の圧力、温度、密度及びジャンクションの流量を各相について計算する。</p>
検証 (Verification) 及び 妥当性確認 (Validation)	<p>【検証 (Verification)】</p> <p>本解析コードの検証の内容は、以下のとおりである。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ 米国プラントの小破断LOCA事象に関する、RELAP5-3Dのユーザーズマニュアルの例題を実施して、解析解が開発元INLの結果を再現していることを確認している。 ・ RELAP5-3Dより追加したモデル・機能について、M-RELAP5の計算値と理論解が一致していることを確認している。 ・ 本解析コードの運用環境について、動作環境を満足する計算機にインストールして用いていることを確認している。 <p>【妥当性確認 (Validation)】</p> <p>本解析コードの妥当性確認の内容は、以下のとおりである。</p>

	<ul style="list-style-type: none">・ 事故時の1次系内の挙動について、ROSA、PKL実験データと比較し、実験解析にて妥当な結果が得られているため、事故時の1次系内の熱流動に関するモデルが妥当であることを確認している。・ 事故時の2次系を含む温度・圧力挙動について、LOFTの実験データと比較し、実験解析にて妥当な結果が得られているため、事故時の1次系、2次系の温度・圧力を評価するモデルが妥当であることを確認している。・ 事故時の1次系、2次系の全体挙動を妥当に模擬できることを確認しているため、M-RELAP5はシビアアクシデント時の1次冷却設備の熱流動評価に適用できる。・ 本評価において使用するバージョンは、既工事計画において使用されているものと同じであることを確認している。・ 本評価における用途及び適用範囲が上述の妥当性確認の範囲内であることを確認している。
--	--

2.22 NX NASTRAN Ver. 7.0

2.22.1 NX NASTRAN Ver. 7.0 の概要

対象：応力解析

項目 \ コード名	NX NASTRAN
開発機関	Siemens Product Lifecycle Management Software Inc.
開発時期	1971 年（一般商業用リリース）
使用したバージョン	Ver. 7.0
使用目的	3次元有限要素法（ソリッド要素）による静解析（応力解析）
コードの概要	<p>米国航空宇宙局（NASA）が開発した NASTRAN を 1971 年に The MacNeal-Schwendler Corporation（現 MSC. Software Corporation）から MSC. NASTRAN として一般商業用にリリースされ、この MSC. NASTRAN コードをベースに、UGS 社（現 Siemens Product Lifecycle Management Software Inc.）が継承して開発したプログラムで、MSC. NASTRAN と同じ機能を持つ汎用構造解析プログラムである。</p> <p>NX NASTRAN は自動車、航空宇宙、防衛、重機、造船などの製造分野で幅広く利用され、加圧水型原子力発電設備における様々な機器の耐震及び強度設計に使用され、多くの使用実績を有している。</p>
検証 (Verification) 及び 妥当性確認 (Validation)	<p>NX NASTRAN Ver. 7.0 は、耐震 C クラスの 2 次系配管の 3 次元有限要素法（ソリッド要素）による静解析（応力解析）に使用している。</p> <p>【検証 (Verification)】</p> <p>本解析コードの検証の内容は、以下のとおりである。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ 材料力学分野における一般的知見により解を求めることができる体系について、3次元有限要素法（ソリッド要素）による応力解析を行い、解析解が理論モデルによる理論解と一致することを確認している。 ・ 本解析コードの運用環境について、開発機関から提示された要件を満足していることを確認している。 <p>【妥当性確認 (Validation)】</p> <p>本解析コードの妥当性確認の内容は、以下のとおりである。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ 本解析コードは、航空宇宙、自動車、造船、機械、建築、土木などの様々な分野における使用実績を有しており、妥当性は十

	<p>分に確認されている。</p> <ul style="list-style-type: none">・ 開発機関が提示するマニュアルにより、本評価で使用する3次元有限要素法（ソリッド要素）による応力解析に本解析コードが適用できることを確認している。・ 検証の体系と本評価で使用する体系が同等であることから、解析解と理論解の一致をもって、解析機能の妥当性も確認できる。・ 本評価における用途及び適用範囲が上述の妥当性確認の範囲内であることを確認している。
--	--

2.23 RESP-T Ver. 5.1.7

2.23.1 RESP-T Ver. 5.1.7 の概要

対象：振動応答解析

項目	コード名
	RESP-T
開発機関	株式会社構造計画研究所
開発時期	1989 年
使用したバージョン	Ver. 5.1.7
使用目的	3次元はり要素による地震応答解析（建屋・ループ連成解析）
コードの概要	<p>（株）構造計画研究所によって開発され保守されている建築・土木構造物等の構造解析用の汎用市販コードである。</p> <p>建屋、機器及び配管を含む3次元構造物を、はり要素、配管要素、平面要素（面内要素）及びばね要素に置換して、静的・動的非線形解析（応答解析を含む）を行うものである。</p>
検証(Verification) 及び 妥当性確認(Validation)	<p>【検証(Verification)】</p> <p>本解析コードの検証の内容は、以下のとおりである。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ 本解析コードの計算機能が適正であることは、後述する妥当性確認の中で確認している。 ・ 本解析コードの運用環境について、開発機関から提示された要件を満足していることを確認している。 <p>【妥当性確認(Validation)】</p> <p>本解析コードの妥当性確認の内容は、以下のとおりである。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ 本解析コードは、建築、土木の分野における使用実績を有しており、妥当性は十分に確認されている。 ・ 原子炉格納施設を模擬した1次元はり要素部の地震応答解析について、既工事計画において実績のある他機関のコード（TDAPⅢ）による解析結果と、RESP-Tを用いた同一の諸元のモデルによる解析結果が一致することを確認している。 ・ 1次冷却設備を模擬した3次元はり要素部については、同一諸元のモデルによる固有値解析結果が既工事計画において実績のある他コード（MSAP）による解析結果と一致し、適切な振動モードを表現していることを確認している。

- ・ 本評価で行う解析と類似するものとして、首都高速道路公団が実施した3次元はり要素による地震応答解析の実例がある。
(土木学会地震工学論文集)
- ・ 開発機関が提示するマニュアルにより、本評価で使用する3次元はり要素による地震応答解析に本解析コードが適用できることを確認している。
- ・ 建屋ループ連成解析では、原子炉格納施設を模擬した1次元はり要素部の応答が、1次冷却設備を模擬した3次元はり要素部に入力される。上述の原子炉格納施設を模擬した1次元はり要素部及び1次冷却設備を模擬した3次元はり要素部のそれぞれに対する検証及び建屋からループへの応答の伝達について、既工事計画において建屋ループ連成解析の実績がある他コード(MSAP)による類似解析と照らして解析結果が概ね一致することを確認していることから、建屋ループ連成解析の妥当性を確認している。
- ・ 本解析コードの適用制限として使用節点数・要素数があるが、開発機関から提示された適用範囲内であることを確認している。
- ・ 本評価において使用するバージョンは、既工事計画において使用されているものと同じであることを確認している。
- ・ 本評価における用途及び適用範囲が上述の妥当性確認の範囲内であることを確認している。

2.24 SPAN2000 Ver. 6.0

2.24.1 SPAN2000 Ver. 6.0 の概要

対象：振動応答解析、応力解析

項目 \ コード名	SPAN2000
開発機関	三菱重工業株式会社
開発時期	2002 年
使用したバージョン	Ver. 6.0
使用目的	等分布質量連続はり要素による耐震最大支持間隔算出
コードの概要	<p>配管等の耐震設計に用いる目的として開発したメーカオリジナルの解析コードである。</p> <p>配管直管部（一般部）について、発生応力、固有振動数等が許容値や制限値を超えない範囲における最大長さを標準支持間隔として求めることが可能であり、加圧水型原子力発電設備において、多くの使用実績を有している。</p>
検証(Verification) 及び 妥当性確認(Validation)	<p>【検証(Verification)】</p> <p>本解析コードの検証の内容は、以下のとおりである。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ 等分布質量連続はり要素による配管直管部（一般部）の耐震最大支持間隔算出及びそれに発生する一次応力の算出について、入力データ（支持間隔、配管・物性値データ）に対する応力算出結果において、解析解と理論モデルによる理論解との比較を行い、解析解が理論解と一致することを確認している。また、固有振動数に関しても、上記検証において、解析解と理論解との比較を行い、解析解が理論解と一致することを確認している。 ・ 地震動の組合せ処理に関しては、本解析コード内で処理しており、アウトプットファイルと手計算結果が一致していることを確認している。 ・ 本解析コードの運用環境について、動作環境を満足する計算機にインストールして用いていることを確認している。 <p>【妥当性確認(Validation)】</p> <p>本解析コードの妥当性確認の内容は、以下のとおりである。</p>

	<ul style="list-style-type: none">・ 加圧水型原子力発電設備において、多くの使用実績を有している。・ 耐震最大支持間隔算出は、JEAG4601-1987の定ピッチスパン法に従い等分布質量連続はりにモデル化している。・ 本評価において使用するバージョンは、既工事計画において使用されているものと同じであることを確認している。・ 本評価における用途及び適用範囲が上述の妥当性確認の範囲内であることを確認している。
--	--

2.25 制御棒挿入時間解析コード Ver.1

2.25.1.1 制御棒挿入時間解析コード Ver.1 の概要

対象：制御棒挿入時間解析

項目	コード名 制御棒挿入時間解析コード
開発機関	三菱重工業株式会社
開発時期	1972年
使用したバージョン	Ver.1
使用目的	制御棒挿入距離および挿入時間算出（時刻歴手法）
コードの概要	<p>制御棒クラスタ及び駆動軸（以下「制御棒系」という。）が自重で落下する時に受ける各種の抗力を考慮して、制御棒系の落下速度を求め、最終的に制御棒系の挿入距離と挿入時間を求めるコードである。</p> <p>なお、地震時の挿入時間の算出においては、挿入経路機器である制御棒駆動装置、制御棒クラスタ案内管、燃料集合体の地震応答に対応する挿入抗力を考慮し、挿入時間を算出する。</p> <p>時刻歴手法では、挿入経路機器応答の時刻歴の変動に対応する挿入抗力を考慮する。</p>
検証(Verification) 及び 妥当性確認(Validation)	<p>【検証(Verification)】</p> <p>本解析コードの検証の内容は、以下のとおりである。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ 本解析コードの計算機能が適正であることは、後述する妥当性確認の中で確認している。 ・ 本解析コードの基本的な機能である各種抗力を考慮し挿入時間を算出する評価方法及び算出される制御棒クラスタ挿入時間については、開発時に妥当性が確認されており、時刻歴手法を適用する際に設定する抗力を含め、時刻歴手法による評価結果が適切であることは、後述する妥当性確認の中で確認している。 ・ 本解析コードの運用環境について、動作環境を満足する計算機にインストールして用いていることを確認している。 <p>【妥当性確認(Validation)】</p> <p>本解析コードの妥当性確認の内容は、以下のとおりである。</p>

- ・ 本解析コードに対しては、美浜発電所2号機を対象とした制御棒落下試験結果と試験条件に対するシミュレーション解析の比較検証が行われている。検証結果は美浜発電所2号機の工事計画認可申請書「地震時における制御棒挿入機能に係る報告書」として提出されており、通商産業省顧問会の機器部会において審議され、各種抗力を考慮し挿入時間を算出する評価方法及び算出される制御棒クラスタ挿入時間について妥当性が確認されている。
- ・ さらに、制御棒クラスタ挿入時間について、制御棒落下試験と本解析コードによる解析結果との比較検証により、制御棒の落下時間が適切に再現できていることを確認している。詳細は、「三菱PWR制御棒挿入時間評価について」(MHI-NES-1036 改1 平成21年5月三菱重工業(株)及び「地震時制御棒挿入性評価について」(MHI-NES-1051 改1 平成27年2月 三菱重工業(株))に示されている。
- ・ 通常時の制御棒クラスタ挿入時間に対し、炉外流水試験ループを用いた試験において、流量や温度をパラメータとした試験の制御棒系の落下時間と、解析コードによる計算結果との比較を行った。その結果、制御棒クラスタ落下時間は概ね一致しており、適切に模擬できていることを確認している。
- ・ 地震時の制御棒クラスタ挿入時間が適切に算出されていることの妥当性確認を目的として、メーカー試験やJNESにより実施された各挿入経路機器、又は全体を加振した条件下での制御棒落下試験における制御棒クラスタの落下時間を計測し、解析コードによる計算結果との比較を行った。その結果、時刻歴手法を適用した際の制御棒クラスタ落下時間は機器ごとに試験結果を、各機器に対する正弦波加振試験に対しては、傾向として再現し、また、全体を加振した試験に対しては、下回ることがないことを確認している。
- ・ 地震時の制御棒クラスタ挿入時間の算出に用いる機器応答に対応する抗力データは、種々の試験等により妥当性が確認された範囲で適用することとし、解析コードと合わせて管理してい

	<p>る。地震時の鉛直地震動が制御棒クラスタ挿入時間へ与える影響については、NUPECが実施した「PWR炉内構造物耐震実証試験」を基に検討を行い、挿入時間へ与える影響が軽微であることを確認している。</p> <ul style="list-style-type: none">• 本解析コードの使用制限（評価対象）について、開発時に想定された要件を満足していることを確認している。• 本評価において使用するバージョンは、既工事計画において使用されているものと同じであることを確認している。• 本評価における用途及び適用範囲が上述の妥当性確認の範囲内であることを確認している。
--	---

2.25.2.1 制御棒挿入時間解析コード Ver.1 の概要

対象：制御棒挿入時間解析

項目	コード名 制御棒挿入時間解析コード
開発機関	三菱重工業株式会社
開発時期	1972 年
使用したバージョン	Ver. 1
使用目的	制御棒挿入時間解析（静的手法）
コードの概要	<p>制御棒クラスタが自重で落下する時に受ける各種の抗力を考慮して、制御棒クラスタの落下速度を求め、最終的に制御棒クラスタの挿入距離と挿入時間を求めるコードである。</p> <p>なお、地震時の挿入時間の算出においては、制御棒挿入経路機器である制御棒クラスタ駆動装置、制御棒クラスタ案内管、燃料集合体（制御棒案内シンプル）の地震応答に対応する制御棒挿入抗力を考慮し、挿入時間を算出する。</p> <p>静的手法では、制御棒挿入中、挿入経路機器の地震応答の最大値に対応した制御棒挿入抗力を保守的に、一定として考慮する。</p>
検証(Verification) 及び 妥当性確認(Validation)	<p>【検証(Verification)】</p> <p>本解析コードの検証の内容は、以下のとおりである。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ 本解析コードの計算機能が適正であることは、後述する妥当性確認の中で確認している。 ・ 本解析コードの運用環境について、動作環境を満足する計算機にインストールして用いていることを確認している。 <p>【妥当性確認(Validation)】</p> <p>本解析コードの妥当性確認の内容は、以下のとおりである。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ 本解析コードに対しては、美浜発電所 2 号機を対象とした制御棒落下試験結果と試験条件に対するシミュレーション解析の比較検証が行われている。検証結果は美浜発電所 2 号機の工事計画認可申請書「地震時における制御棒挿入機能に係る報告書」として提出されており、通商産業省顧問会の機器部会にお

	<p>いて審議され、各種抗力を考慮し挿入時間を算出する評価方法及び算出される制御棒挿入時間について妥当性が確認されている。</p> <ul style="list-style-type: none">• さらに、制御棒挿入時間について、制御棒落下試験と本解析コードによる解析結果との比較検証により、制御棒の落下時間が適切に再現できていることを確認している。詳細は、「三菱PWR制御棒挿入時間評価について」（MHI-NES-1036 改1 平成21年5月 三菱重工業（株））に示されている。• 通常時の制御棒挿入時間に対し、炉外流水試験ループを用いた試験において、流量や温度をパラメータとした試験の制御棒クラスタの落下時間と解析コードによる計算結果との比較を行い、制御棒落下時間は概ね一致しており、適切に模擬できていることを確認している。• 地震時の制御棒挿入時間に対し、加振条件下での制御棒落下試験における制御棒クラスタの落下時間と解析コードによる計算結果との比較を行い、制御棒落下時間は概ね一致しており適切に模擬できていることを確認している。• 地震時の制御棒挿入時間の算出に用いる機器応答に対応する抗力データは、種々の試験等により妥当性が確認されており、解析コードと合わせて管理している。• 地震時の鉛直地震動が制御棒挿入時間へ与える影響については、NUPECが実施した「PWR炉内構造物耐震実証試験」を基に検討を行い、挿入時間へ与える影響が軽微であることを確認している。• 本解析コードの使用制限（評価対象）について、開発時に想定された要件を満足していることを確認している。• 本評価において使用するバージョンは、既工事計画において使用されているものと同じであることを確認している。• 本評価における用途及び適用範囲が上述の妥当性確認の範囲内であることを確認している。
--	--