

No.	高浜 2 - 熱時効 - 5 rev2	事象 : 2相ステンレス鋼の熱時効
質 問	<p>(別冊-5配管-4 1 次冷却材管-14, 15頁)</p> <p>母管の熱時効に係る健全性評価について、重大事故等時(原子炉停止機能喪失)におけるプラント条件(ピーク温度360℃、ピーク圧力18.5MPa)を考慮しても、配管は不安定破壊することはないとした考え方及び具体的根拠を提示すること。</p>	
回 答	<p>重大事故等時のプラント条件を考慮した 1 次冷却材管に係る健全性評価の具体的評価内容を添付-1 に示します。</p> <p>重大事故等時における健全性評価への入力条件としては、プラント条件が最も厳しくなるピーク温度360℃、ピーク圧力18.5MPaとしており、地震荷重はS s 地震動による荷重としております。</p> <p>なお、通常運転時の条件から温度、圧力が異なっておりますが、重大事故等時の条件においても従来評価方法が問題なく適用できると判断しており、評価結果として配管は不安定破壊することはないことを確認しております。</p> <p>添付-1 の評価は過去の電共研で得られたデータに基づき、き裂進展抵抗 (J_{mat}) とき裂進展力 (J_{app}) を算出していますが、材料データ採取時の試験温度と、重大事故等時のプラント条件の温度とは差があります。温度差を考慮しても健全性評価結果に影響がないことを添付-2 に示します。</p>	

1. 代表点の抽出

重大事故等時の健全性を確認するにあたっては、評価対象部位の中で応力が最大であり、通常運転時の評価における評価点となっているホットレグ直管、エルボの曲率部で応力が大きく評価の厳しくなるSG出口40° エルボを代表点とする。

なお、重大事故等時の入力条件において応力最大部位に変更がないことを確認するため、通常運転時の応力が3番目に高いSG入口50° エルボについても重大事故等時の応力を算出し、評価部位における応力の大小関係に逆転が無いことを確認している。

評価部位	フェライト量 [%]	使用温度 [°C]	通常運転時 (参考) ※	重大事故等時※
			応力 [MPa]	応力 [MPa]
ホットレグ直管	約 12.3	322.8	約 173	約 183
SG入口50° エルボ	約 13.8	322.8	約 128	約 135
SG出口40° エルボ	約 11.9	288.6	約 155	約 161

※小数点第1位切り上げ

2. フェライト量の算出

フェライト量は、ミルシートの化学成分から、ASTM A800に基づき算出している。

評価部位	化学成分 (溶鋼分析) %								Cre/Nie (注1)	フェライト量 (注2)
	C	Si	Mn	Cr	Ni	Mo	Cb(Nb)	N		F%
ホットレグ直管										約12.3
SG出口40° エルボ										約11.9

(注1) ASTM A800の7.1.2参照

(注2) ASTM A800のFig. X1.1参照

3. 評価用Jmatの決定

き裂進展抵抗値 (Jmat値) は、電共研で改良された脆化予測モデル (H3Tモデル: Hyperbolic-Time, Temperature Toughness) を用いて、評価部位のフェライト量を基に求める。

なお、重大事故等時の温度条件(360°C)と[]の温度条件で採取されたデータの下限值 (H3Tモデルの下限線) には温度条件の違いがあるが、過去に実施した破壊靱性試験の結果から、[]のJ値と[]のJ値に大きな差が認められず、それぞれのJ値はH3Tモデルの下限線以上であることから、360°CのJ値をH3Tモデルの下限線として想定する現在の評価は重大事故時の条件においても適用でき、妥当であると判断している。

JmatのJ_{1c}、J₆の値は以下のとおりである。

き裂進展抵抗 (Jmat)	J _{1c} (kJ/m ²)	J ₆ (kJ/m ²)
ホットレグ直管	[]	
SG出口40° エルボ		

[]内は商業機密に属しますので公開できません

4. 評価部位の応力

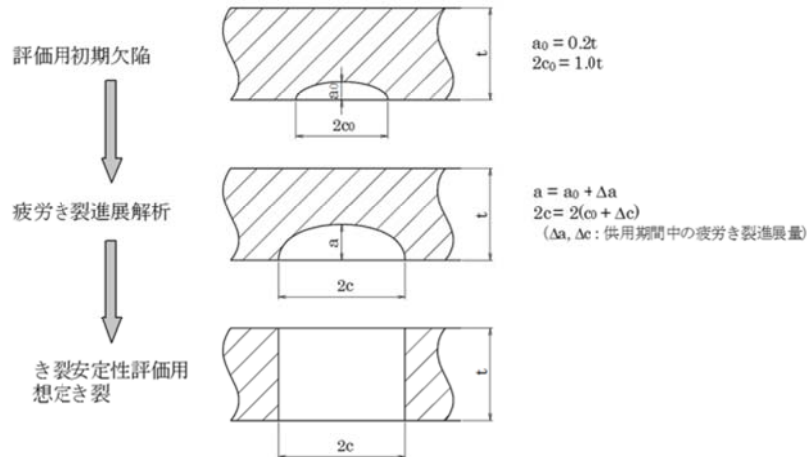
重大事故等時の内圧，自重，熱膨張及び地震荷重を考慮した応力値を示す。

評価部位	評価条件	内圧による 応力 (MPa)	曲げ応力				軸力による応力				合算値 (MPa) (小数点第1位 切り上げ)
			自重 (%)	熱 (%)	地震 (Ss) (%)	合計 (MPa)	自重 (%)	熱 (%)	地震 (Ss) (%)	合計 (MPa)	
ホットレグ 直管	重大事故等時										約183
	通常運転時 (参考)		約173								
SG出口40° エルボ	重大事故等時		約161								
	通常運転時 (参考)		約155								

5. Jappの決定

(1) 評価用き裂

き裂安定性評価を保守的に行うために評価用き裂を貫通き裂とする。



評価部位	内径 (mm)	初期き裂 (mm)	き裂進展解析 (mm)	評価用き裂 (mm)
ホットレグ 直管				
SG出口40° エルボ				

(2) FEM解析

評価用き裂と表 1 に示す評価条件を入力条件として、FEM (有限要素法) 解析により、破壊力 (Japp値) を求める。

Japp の算出には、作用荷重と材料物性 (応力-歪関係) を使用する。また、材料物性 (応力-歪関係) には、通常運転時の評価では、保守的な条件としてフェライト量が小さく、時効していない材料の応力-ひずみ関係を使用しているが、重大事故時等条件を考慮した評価においても同じものを使用している。重大事故時等条件

(360℃) を考慮した場合の応力-ひずみ関係はフェライト量、温度条件、時効劣化の有無の影響を総合すると、通常運転時の評価に使用する応力-ひずみ関係より大きくなるため、今回の評価で使用した応力-ひずみ関係は保守的な評価条件となる。

なお、各き裂長さにおける J_{app} は以下のとおり。

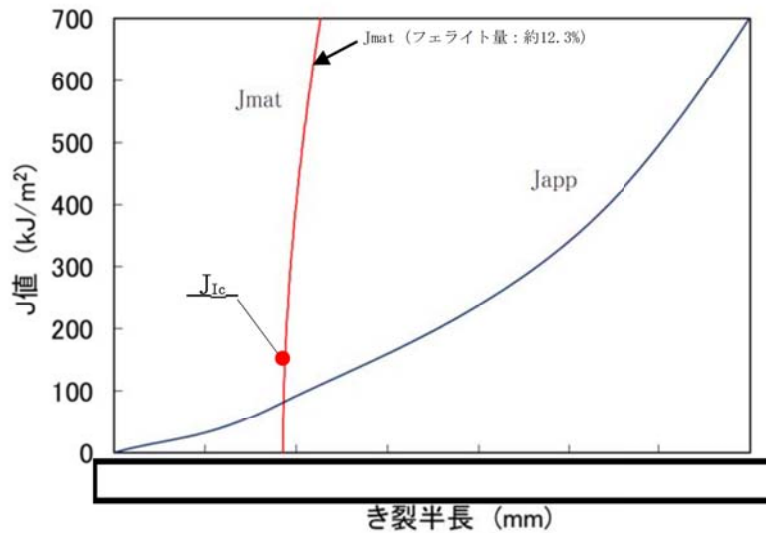
き裂長さ	1t	3t	5t
ホットレグ直管 (kJ/m ²)	[Redacted]		
SG出口40° エルボ (kJ/m ²)			

6. き裂安定性評価

重大事故等時のホットレグ直管およびSG出口40° エルボにおけるき裂安定性評価結果を下図に示す。

重大事故等時においても、き裂進展抵抗がき裂進展力を上回ること、およびき裂進展抵抗とき裂進展力の交点で、き裂進展抵抗の傾きがき裂進展力の傾きを上回っていることから、配管は不安定破壊することなく、重大事故等時のプラント条件を考慮しても健全であることが判断できる。

ホットレグ直管のき裂安定性評価結果



SG出口40° エルボのき裂安定性評価結果

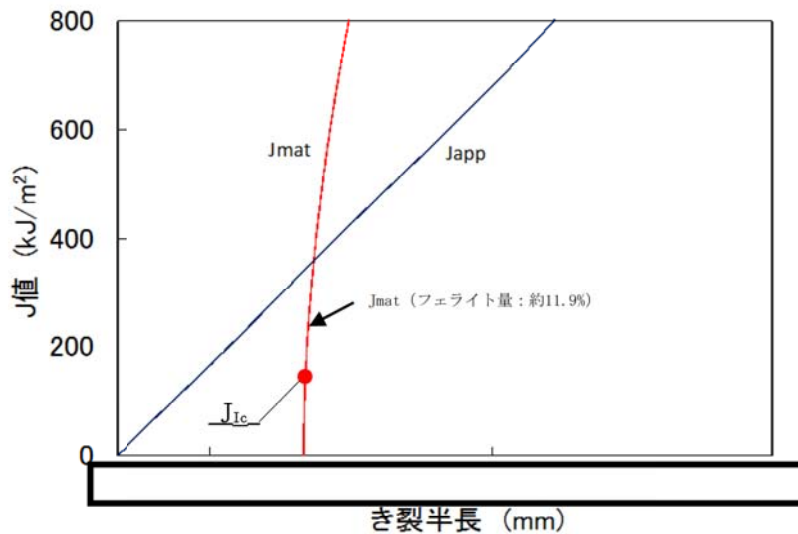


表1 評価条件

	ホットレグ直管		SG出口40° エルボ																														
内径 [mm]																																	
外径 [mm]																																	
き裂形状	周方向貫通き裂(き裂長さ: 1t、3t、5t の3種類)																																
荷重																																	
内圧 [MPa]																																	
軸力 [kN]	自重	地震	合計	自重	熱	地震	合計																										
曲げモーメント [kN・m]	自重	地震	合計	自重	熱	地震	合計																										
	My	Mz	My	Mz	My	Mz	My	Mz																									
物性値																																	
ヤング率 [MPa]																																	
ポアソン比	$\nu=0.3$ (弾性域)、 $\nu=0.5$ (塑性域)																																
応力-ひずみ関係	<p>フェライト量が低い非時効材の応力-ひずみ線図を用いる。本評価データは電共研「1次冷却材管の時効劣化に関する研究 (STEP1)」で得られた知見を参考にしている。本電共研では2つの試験片について引張り試験を実施し、結果がほぼ同等であったことから1つの試験片のデータを用いて応力-ひずみ線図を導出した。Japp 値は応力-ひずみ線図の下部の面積に比例するため、強度が低い非時効材を用いることはより安全側の評価となります。</p>																																
	公称応力 [MPa]		公称ひずみ [%]		非時効材のフェライト量																												
	ひずみ [%]	応力 [MPa]			<table border="1"> <tr> <td colspan="5">化学成分 (詳細分析) %</td> <td>フェライト量</td> </tr> <tr> <td>C</td> <td>Si</td> <td>Mn</td> <td>Cr</td> <td>Ni</td> <td>MO</td> <td>Cb (Nb)</td> <td>N</td> <td>Cre/Nie</td> <td>P%</td> </tr> <tr> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> </table>			化学成分 (詳細分析) %					フェライト量	C	Si	Mn	Cr	Ni	MO	Cb (Nb)	N	Cre/Nie	P%										
化学成分 (詳細分析) %					フェライト量																												
C	Si	Mn	Cr	Ni	MO	Cb (Nb)	N	Cre/Nie	P%																								

内は商業機密に属しますので公開できません。

重大事故等時の条件を考慮した一次冷却材管の熱時効に対する健全性評価について

高浜2号炉の一次冷却材管（主冷却材管及び蓄圧注入系管台等）について、重大事故等時の温度、圧力条件を考慮した熱時効に対する健全性評価への影響の評価を以下に示す。

1. Jappの算出（応力-ひずみ関係）における重大事故等時条件（360℃）の考慮について

Jappの算出には、作用荷重と材料物性（応力-歪関係）を使用する。そのうち、作用荷重には重大事故等時条件（360℃）を考慮している。

また、材料物性（応力-ひずみ関係）には、通常運転時 の評価では、保守的な条件としてフェライト量が小さく、時効していない材料の における応力-ひずみ関係を使用しているが、重大事故等時条件を考慮した評価においても同じものを使用している。

なお、重大事故等時条件（360℃）を考慮した場合の時効後の応力-ひずみ関係は図1に示す通り、通常運転時 の評価に使用する応力-ひずみ関係（非時効）より大きくなるため、今回の評価で使用した応力-ひずみ関係は保守的な評価条件となる。



図1. 通常運転時 の評価に使用する応力-ひずみ関係と時効した360℃における応力-ひずみ関係

また、応力-ひずみ関係は、通常運転時の評価を目的とするため、 におけるデータしか取得していないため、360℃における応力-ひずみ関係は次頁の方法にて予想している。

(1) 熱時効により強度は上昇する。電共研において時効条件（時効温度・時間）と強度上昇の関係が整理されており、時効していない材料の耐力（ σ_{y0} ）と [] にて時効した後の耐力の比を図2に示す。高浜2号炉の運転時間は約22万時間であり、約22万時間時効した材料の強度は時効前と比べて [] 上昇することがわかる。

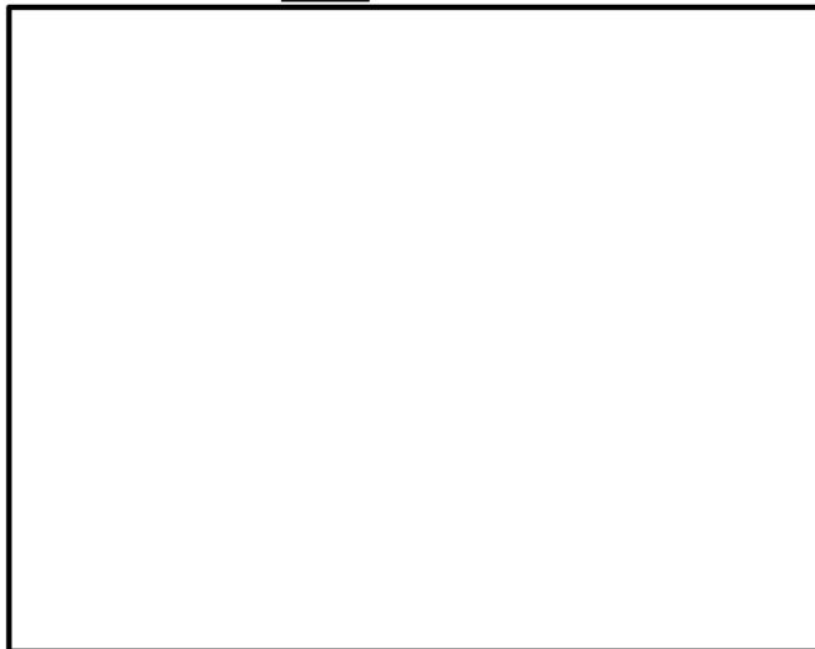


図2 時効時間と強度上昇の関係

(出典：電共研「1次冷却材管等の時効劣化に関する研究（STEPⅢ）（その2）（平成10年度）」）

(2) 温度上昇により強度は低下する。JSME 設計・建設規格において各温度における設計降伏点応力（ S_y ）がまとめられており、図3に [] における強度と各温度における強度の比を示す。360℃における降伏点応力は [] に比べて [] 低下することがわかる。

(3) (1) 及び(2)の関係から応力-ひずみ関係は、熱時効により [] 上昇し、温度上昇により [] 低下することから、 [] 上昇すると考えられる。なお、高浜2号炉ホットレグ直管のフェライト量は約12.3%、SG出口40°エルボのフェライト量は約11.9%であり、応力-ひずみ関係には依然保守性が含まれる。

表1. 各応力-ひずみ関係の条件

条件	評価条件	実機の 重大事故等時条件	備考
熱時効の有無			
温度		360℃	
フェライト量		約12.3%(ホットレグ直管) 約11.9%(SG出口40°エルボ)	

[] 内は商業機密に属しますので公開できません



図3. 材料強度と温度の関係

(出典：JSME S NC1 - 2005/2007「設計・建設規格」(日本機械学会))

2. Jmatの算出(破壊靱性値)における重大事故等時条件(360℃)の考慮について

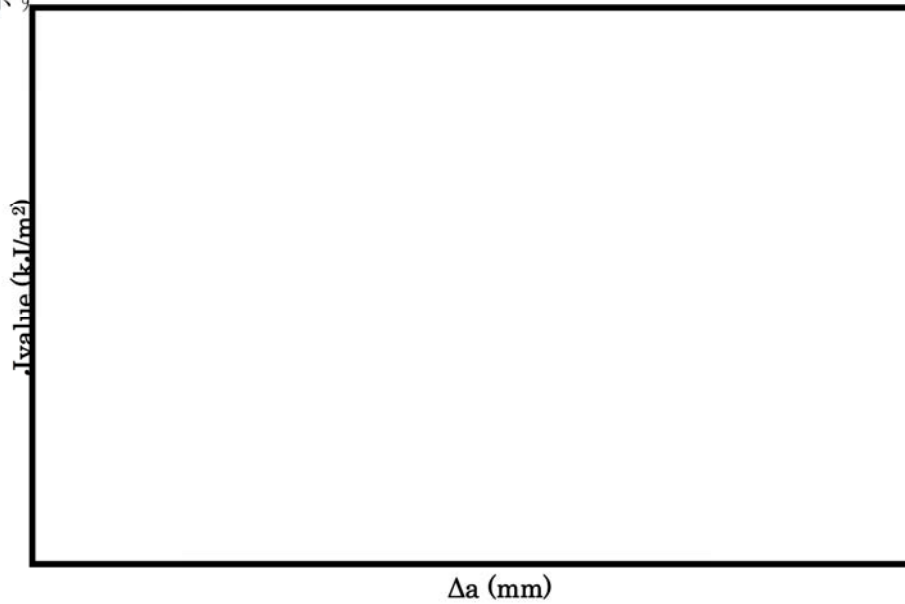
Jmatについては、の温度条件で採取されたデータの下限值(H3Tモデルの下限線)を用いて設定しているが、重大事故等時の条件(360℃)を考慮した評価において、で求めたJmatを用いることの妥当性を確認するため、以下のとおり破壊靱性試験を行った。

(1) 供試材

(2) 試験内容

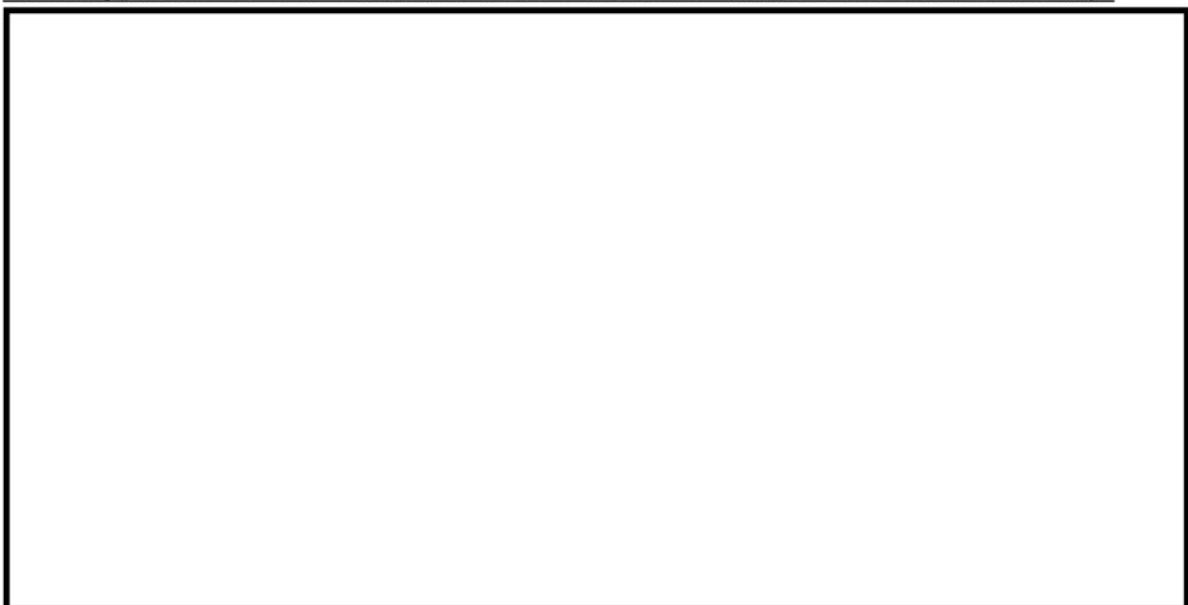
(3) 試験結果

今回の試験で採取された破壊靱性試験結果のプロットと J_{Ic} 試験の結果、 J_Q 値を以下に示す



試験温度	試験片番号	J_{Ic} 試験結果	$J_Q(J_{Ic})$

以上の結果より、のJ値とのJ値に大きな差は認められない。また、今回取得されたのJ値およびのJ値はH3Tモデルの下限線以上であることから、360℃のJ値をH3Tモデルの下限線として想定する現在の評価は妥当であると判断できる。



No.	高浜 2－熱時効－ 6 rev2	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、定期的に行っ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"> ①容器と各管との溶接継手 ②構造不連続部の継手 <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>選定箇所および検査部位は、社内文書（添付1）にて決定しており、具体的には添付2に示します。</p> <p>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> <p>なお、供用期間中検査（超音波探傷検査）にて実施している内容については、プラント建設当時における検査や改造等後での検査内容と一部異なる箇所があります。</p>	

決裁確認
課長 係長

方針 原々No. 56



件名

高浜2号機 JSME S NA1-2002「発電用原子力設備規格(2002年改訂版)」の導入に伴う第1種機器供用期間中検査他の検査対象箇所を選定について

所管 原子炉保修課

課長 係長 班長 作業長 係長

所長
[Redacted]

[Redacted]

副所長(技術系)
[Redacted]

標記については、高浜2号機第22回定検からのJSME S NA1-2002(以下「維持規格」という。)の導入に伴い、第1種機器供用期間中検査(ISI)他の検査対象箇所を選定したので上申します。

記

技術次長(1, 2u)
[Redacted]

1. 結論
第1種、第3種ISI他の検査について維持規格に基づき選定した検査対象箇所(10年計画)により定期事業者検査を実施する(添付資料-1)。

品質・安全統括室長
[Redacted]

2. 検査箇所選定の根拠
維持規格では、供用期間中検査について検査間隔 [Redacted] (第1種機器の容器・管・ポンプ・弁については第4検査間隔以降 [Redacted]) における検査箇所の選定は、想定される経年変化事象に応じて代表性のある箇所を選定し、その選定について検査を次の検査間隔においても継続的に行うこととしており、この考え方に基づき選定した。

保全計画課長
[Redacted]

尚、検査箇所毎の選定根拠については、添付資料-2参照。

ボイラー・タービン主任技術者
[Redacted]

3. その他
今回選定した検査対象箇所については、今後、新しい情報や知見、現場の施工性、改造等を踏まえ、必要に応じ見直しを実施していくこととする。

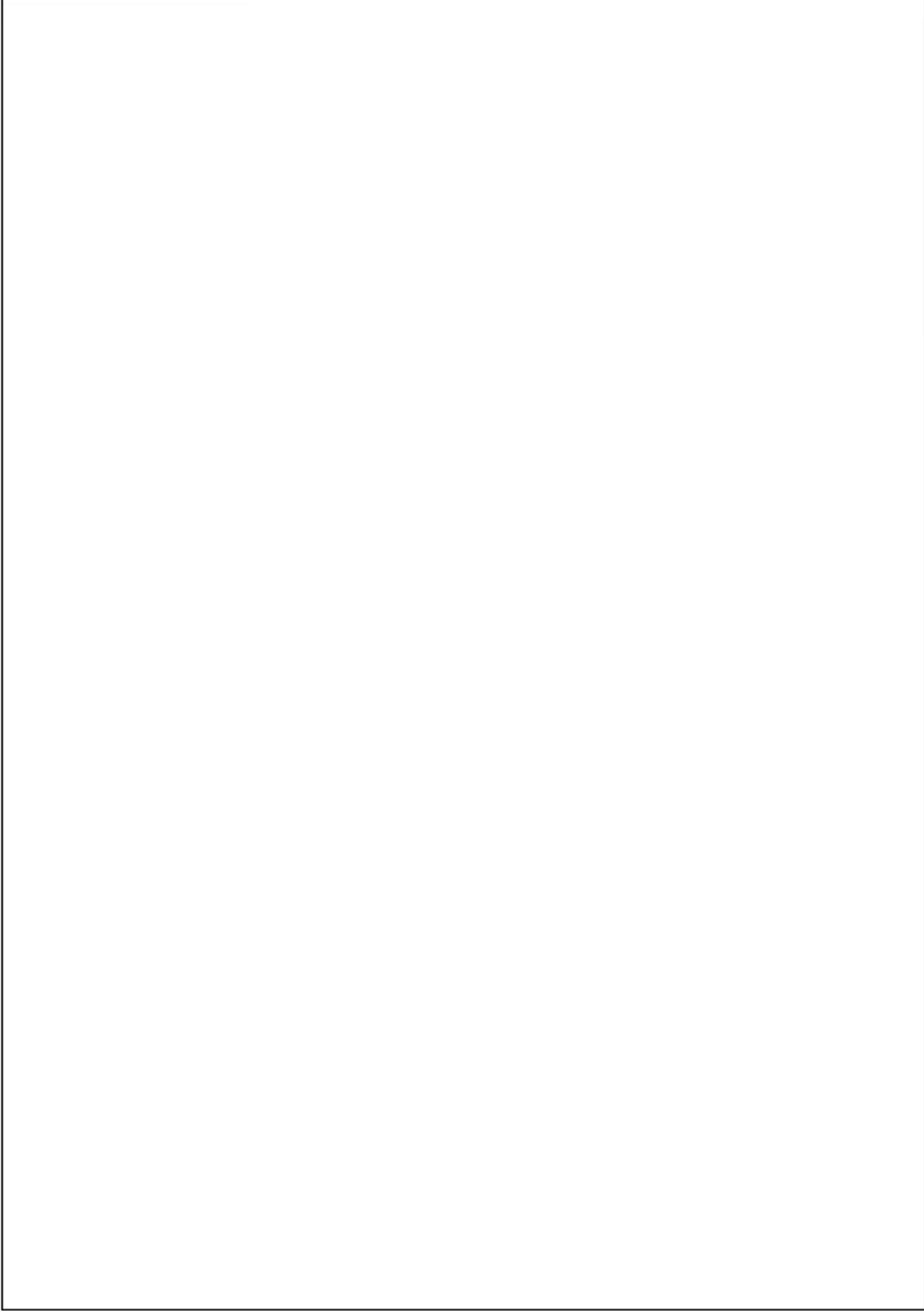
以上

品質保証所達 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

添付資料-1: 高浜2号機 第22回定検 第1種供用期間中検査他の10年計画表
-2: 高浜2号機 第22回定検 第1種供用期間中検査他の定点選定理由表

関西電力株式会社
36 庶文通達 17*28*20090310

[Redacted] 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-12	事象：保全実績の評価
質 問	<p>(別冊-18 40年目追加評価-保全実績の評価-25頁)</p> <p>①経年劣化傾向の評価のp20の日常劣化管理事象で、配管の腐食については日常の点検により傾向管理しているとあるが、②保全実績の評価の2.2次系配管肉厚測定結果の事故・トラブル情報として、30年目の高経年化評価結果、経年劣化に関する保全が有効でなかったとして抽出されている。同様の対象事例がないか、また現状の保全管理が妥当かを説明すること。</p>	
回 答	<p>高浜2号炉の劣化状況評価で追加する評価に係る技術評価書の②保全実績の評価「2.2次系配管肉厚測定結果」に記載の通り、高浜発電所2号炉第23回定期検査において、美浜発電所3号炉事故を踏まえ、2次系配管1321箇所について超音波検査(肉厚測定)等を実施した結果、計算必要厚さを下回っている箇所が1箇所(タービンランド蒸気管)確認されました。</p> <p>これは、30年目の高経年化技術評価時点では、「2次系配管肉厚の管理指針*」で規定された減肉管理対象部位について、母管の内面からの腐食(エロージョン・コロージョン)を考慮すべき経年劣化事象として抽出、評価していましたが、美浜3号炉2次系配管破損事故(2004年8月)を受けて、当該指針を改正し検査を実施したため、計算必要厚さを下回っている箇所が発見されることとなったものです。</p> <p>*：「原子力設備2次系配管肉厚の管理指針(PWR)」(平成2年5月)に従い、社内管理方法を定めたもの。</p> <p>なお、美浜3号炉2次系配管破損事故以降は、保安院指示文書(平成20・12・22 原院第4号 NISA-163c-08-5)や日本機械学会の規格(加圧水型原子力発電所配管減肉管理に関する技術規格(JSME S NG1-2006))に定められた内容に従い、対象系統および部位や実施時期等の考え方を「2次系配管肉厚の管理指針」に反映し、これに基づき配管減肉の管理を実施しています。</p> <p>したがって、高浜2号炉の劣化状況評価で追加する評価に係る技術評価書の①経年劣化傾向の評価のp21の日常劣化管理事象では、美浜3号炉2次系配管破損事故以降の対応を踏まえた「2次系配管肉厚の管理指針」に基づき配管減肉の管理を実施していることを確認したものです。</p> <p>なお、同様の事例は他にありません。また、日本機械学会規格等の最新知見に基づき、対象系統および部位や実施時期等の考え方を「2次系配管肉厚の管理指針」に反映し、これに基づき配管減肉の管理を実施していることから現状の保全管理は妥当であると考えます。</p>	