

川内原子力発電所1, 2号炉 運転期間延長認可申請に係るヒアリング
コメント反映整理表<熱時効>

資料5

2023年8月23日 九州電力株

No	対象号機	日付	資料名	該当ページ	コメント内容	コメント対応	回答日	完了日
1	1/2号機	2月3日	熱時効 劣化状況評価 補足説明資料	10	表3の機械設備のフェライト量及び発生応力のマスキング理由について確認すること。(1, 2号)	フェライト量及び発生応力は、メーカーの設計ノウハウとして非公開情報としていたが、先行プラントの状況を踏まえメーカーと調整した結果、公開情報とすることとし、補足説明資料の当該箇所を修正する。	2023.3.2	2023.3.3
2	1/2号機	2月3日	熱時効 劣化状況評価 補足説明資料	10	表3のスイング逆止弁のフェライト量が1, 2号で大きく異なる理由について説明すること。	回答資料 川内1, 2号炉-熱時効-1のとおり。	2023.3.2	2023.3.3
3	1/2号機	2月3日	熱時効 劣化状況評価 補足説明資料	12	エルボ部の評価箇所について、エルボ部のどの部分か具体的に示すこと。	回答資料 川内1, 2号炉-熱時効-2のとおり。	2023.3.2	2023.3.3
4	1/2号機	2月3日	熱時効 劣化状況評価 補足説明資料	12	エルボ、直管の応力について、算出方法を別途示すこと。(表4)	回答資料 川内1, 2号炉-熱時効-3のとおり。	2023.3.2	2023.3.3
5	1/2号機	3月6日	ヒアリング資料 劣化状況評価 (熱時効)	11	破壊評価による健全性評価結果について、補足説明資料に合わせて、JICのプロットを追記すること。	JICのプロットを追記した評価結果に修正する。 [スライド p.11,12]	2023.4.14	2023.5.16
6	1/2号機	3月6日	ヒアリング資料 劣化状況評価 (熱時効)	11	破壊評価による健全性評価結果について、補足説明資料に合わせて、グラフの説明を記載すること。	健全性評価結果の説明について、追記する。 [スライド p.11,12]	2023.4.14	2023.5.16
7	1/2号機	3月6日	ヒアリング資料 劣化状況評価 (熱時効)	資料全般	亀裂不安定性評価等、同一の意味の文言については記載を統一すること。また申請書で使用している場合には、申請書の文言を使用すること。	審査基準の記載に合わせ、「亀裂不安定性評価」で統一する。 なお申請書においては、本用語を用いている箇所はない。 [スライド p.10]	2023.4.14	2023.5.16
8	1/2号機	5月16日	川内1, 2号炉 劣化状況評価 2層ステンレス鋼の熱時効	14	30年目と40年目で評価部位が異なる部位についてはその理由を説明資料に明記すること。	評価部位の相違理由について、追記する。 [スライド p.14]	2023.6.15	2023.6.15
9	1/2号機	5月16日	川内1, 2号炉-熱時効-4	12	エルボ部の形状を考慮した応力の算出方法を示すこと。	回答資料 川内1, 2号炉-熱時効-9のとおり。	2023.6.15	2023.6.15
10	1/2号機	5月16日	川内1, 2号炉 劣化状況評価 2層ステンレス鋼の熱時効	7	H3Tモデル用いたJmatの算出過程について示すこと。	回答資料 川内1, 2号炉-熱時効-10のとおり。	2023.6.15	2023.6.15

川内原子力発電所1, 2号炉 運転期間延長認可申請に係るヒアリング
コメント反映整理表<熱時効>

2023年8月23日 九州電力株

No	対象 号機	日付	資料名	該当 ページ	コメント内容	コメント対応	回答日	完了日
11	1/2号機	6月15日	ヒアリング資料 (熱時効)	11,12	亀裂不安定評価のグラフ縦軸の単位を追記すること。	それぞれグラフ縦軸に単位を追加した。 [スライドp.13,14]	2023.07.05	2023.07.05
12	1/2号機	6月15日	ヒアリング資料 (熱時効)	—	2相ステンレス鋼、2相ステンレス鋳鋼など語句の統一をすること。	「2相ステンレス鋼」に語句を統一した。 [スライドp.2,4]	2023.07.05	2023.07.05
13	1/2号機	6月15日	ヒアリング資料 (熱時効)	—	破壊評価において基準地震動Ssを考慮している旨記載を追記すること。	破壊評価において、基準地震動Ssを考慮している旨を追加した。 [スライドp.13]	2023.07.05	2023.07.05
14	1/2号機	6月15日	ヒアリング資料 (熱時効)	5	「※1」の記載を適正化すること。	「※1」の記載を適正化した。 [スライドp.7]	2023.07.05	2023.07.05
15	1/2号機	6月15日	ヒアリング資料 (熱時効)	10	誤記を修正すること。 誤:5.2項 正:5.1項(2)	左記の通り、記載を適正化した。 [スライドp.12]	2023.07.05	2023.07.05
16	1/2号機	6月15日	ヒアリング資料 (熱時効)	-	他の事象とあわせ、代表機器以外の評価結果を追加すること。	代表機器以外の評価結果を追加した。 [スライドp.5,6]	2023.07.05	2023.07.05
17	1/2号機	6月15日	ヒアリング資料 (熱時効)	10	亀裂進展量の評価において、1/3Sdを用いる理由を説明すること。	回答資料 川内1, 2号炉-熱時効-17のとおり。	2023.07.05	2023.07.05
18	1/2号機	6月15日	コメント回答資料(熱時効) No.9,10	—	コメント回答資料No.9, 10の内容を補足説明資料に追加すること。	左記の内容を、補足説明資料-別紙に追加する。 (反映版については、コメントNo.19, 20の内容を踏まえて提示する。) それぞれ以下の箇所に追加した。 ○コメント回答資料No. 9: 補足説明資料 本文p.13(p.13) ○コメント回答資料No.10: 別紙11(別紙12) ()内は2号炉の追加箇所)		
19	1/2号機	6月15日	コメント回答資料(熱時効) No.9	—	()内の曲がり部の形状を考慮した応力値の説明を追記すること。	回答資料 川内1, 2号炉-熱時効-17のとおり。	2023.07.05	2023.07.05
20	1/2号機	6月27日	コメント回答資料(熱時効) No.10	—	σ_y 、 σ_u の関係式について、出典元を記載すること。	回答資料 川内1, 2号炉-熱時効-20のとおり。	2023.07.05	2023.07.05
21	1/2号機	7月5日	コメント回答資料(熱時効) No.19	12	エルボにおける2方向(面外方向、面内方向)の曲げモーメントについて、SG入口50° エルボでは、面外方向がより大きくなることだが、一般的にどのエルボも面内より面外が大きくなるのか確認すること。	ASME B&PV Code Sec.Ⅲ NB-3685 に記載の算出方法を用いて、面内曲げ応力と面外曲げ応力の最大値を比較すると、エルボの形状に依らず、面外曲げ応力の方が面内曲げ応力より大きくなることから、一般的に面外曲げ応力が大きくなると考えられる。		
22	1/2号機	8月2日	審査会合コメント回答資料 (熱時効)	15	フェライト量最大箇所の選定の考え方について、補足説明資料に追加すること。	左記内容を、補足説明資料に追記した。 [補足説明資料 本文 p.12]		

川内原子力発電所1, 2号炉 運転期間延長認可申請に係るヒアリング
コメント反映整理表<熱時効>

2023年8月23日 九州電力株

No	対象号機	日付	資料名	該当ページ	コメント内容	コメント対応	回答日	完了日
23	1/2号機	8月2日	審査会合コメント回答資料 (熱時効)	16	「蓄圧タンク出口第2逆止弁」に係る記載について、適正化すべき箇所の有無を確認すること。	回答資料 川内1, 2号炉-熱時効-23のとおり。		
24	1/2号機	8月2日	審査会合コメント回答資料 (熱時効)	18	「川内2号炉 補足説明資料(2相ステンレス鋼の熱時効)別紙13」の修正案について、別途送付すること。	コメントNo.25の修正内容を反映の上、添付にて送付する。		
25	1/2号機	8月2日	審査会合コメント回答資料 (熱時効)	18	SGR前後のループ解析モデルの変更箇所について、現状の記載内容の適正化及び詳細な説明を追記すること。	左記内容を、補足説明資料に追記した。なお、審査会合コメント回答の記載内容については、記載内容を確認し、適正化は不要であった。 [1号炉:補足説明資料 別紙12 2号炉:補足説明資料 別紙13]		
26	1/2号機	8月2日	審査会合コメント回答資料 (熱時効)	15	「フェライト量(化学成分)」、「小数点第1位まで丸めた」の箇所について、表現を見直すこと。	左記内容について、審査会合コメント回答資料に反映した。 [審査会合コメント回答資料 p.20]		

川内原子力発電所 2 号炉
劣化状況評価
(2相ステンレス鋼の熱時効)

補足説明資料

2023年8月23日
九州電力株式会社

表4 1次冷却材管構成品のフェライト量および応力一覧

	部位	使用温度 (°C)	フェライト量 (%) ※1, 2	応力 (MPa) ※2, 3	選定
①	ホットレグ直管	321.1	約 17.3 ^{※5}	149	○
②	SG 入口 50° エルボ	321.1	約 16.2	115 ^{※4}	○
③	SG 出口 40° エルボ	283.6	約 16.7	69	
④	クロスオーバーレグ直管(垂直管)	283.6	約 17.3 ^{※5}	65	
⑤	クロスオーバーレグ SG 側 90° エルボ	283.6	約 16.0	61	
⑥	クロスオーバーレグ直管 (水平管)	283.6	約 17.3 ^{※5}	59	
⑦	クロスオーバーレグ RCP 側 90° エルボ	283.6	約 16.7	67	
⑧	コールドレグ直管	283.6	約 17.2	104	
⑨	RV 入口 32° エルボ	283.6	約 15.2	89	
⑩	蓄圧タンク注入管台	283.6	約 16.2	127	

※1：フェライト量算出にあたっては、製造時の材料成分を用いて「ASTM A800」に示される線図により算出した。

※2：対象機器が系統毎に複数ある場合、同一機能を持った機器が複数ある場合は、最も値の大きい機器を記載している。

※3：応力は供用状態A、Bでの内圧、自重、熱膨張荷重、地震荷重(S s)を用いて算出した。なお、重大事故等時の応力条件でも選定結果が変わらないことを確認している。

※4：直管形状の応力を示す。曲がり部の応力は113MPa。

※5：小数点第2位までを比較し、「ホットレグ直管」を最大部位として選定した。(ホットレグ直管：17.26%、クロスオーバーレグ直管(垂直管)：17.22%、クロスオーバーレグ直管(水平管)：17.22%)

熱時効の代表評価点は、応力及びフェライト量が最も大きい部位としてホットレグ直管を選定した。また、エルボで応力が高くなると考えられるSG入口50°エルボについても評価部位として選定した。なお、SG入口50°エルボの代表評価点は直管形状部(応力：115MPa)ではなく、曲がり部(応力：113MPa)とする。

各部位の詳細な応力値を表5に、フェライト量算出に用いた材料成分を表6に示す。フェライト量は、「ASTM A800」に基づき表6に示す材料成分表および図4により算出した。

なお、ASTM A800の他にフェライト量の算出方法として「Estimation of Fracture Toughness of Cast Stainless Steels during Thermal Aging in LWR Systems (NUREG/CR-4513, ANL-15/08, Revision2)」(以下、「NUREG/CR-4513R2」という。)で紹介されているHullの等価係数を用いた算出式(以下、「Hull式」という。)による方法があるが、Hull式により算出したフェライト量を用いた亀裂進展抵抗(J_{crit})を参照しても次項で実施する亀裂安定性評価結果に影響はないことを確認している。

川内原子力発電所 1 号炉
劣化状況評価
(2相ステンレス鋼の熱時効)

補足説明資料

2023年8月23日
九州電力株式会社

別紙 12. 経年劣化傾向の評価

2相ステンレス鋼の熱時効については、30年目、40年目でそれぞれ選定した評価部位に対し、運転開始後60年時点までの疲労亀裂に通常運転状態又は重大事故等時の状態で働く荷重に加えて地震発生時の荷重を考慮しても、配管は不安定破壊することはなく、健全性評価上問題とならないこと、及び定期的に超音波探傷検査を実施し、有意な欠陥のないことを確認できていることから、30年目で実施した評価内容及びそれ以降の保全が有効であったと考える。

30年目及び40年目の評価部位について、表1に示す。(参考に2号炉の評価部位の比較についても記載する。)

表1 30年目及び40年目の評価部位

号炉	30年目	40年目
1号炉	○ホットレグ直管 ○コールドレグ直管	○ホットレグ直管 ○コールドレグ直管 ○蓄圧タンク注入管台* ¹ ○SG入口50°エルボ* ²
2号炉 (参考)	○ホットレグ直管 ○蓄圧タンク注入管台* ³	○ホットレグ直管 ○SG入口50°エルボ* ²

※1 応力とフェライト量の組み合わせを考慮して選定した評価部位

※2 形状を考慮して選定した評価部位 (エルボ部)

※3 30年目の評価においては、応力が最大の箇所として選定していたが、設備の変更(蒸気発生器取替工事)を反映した結果、「ホットレグ直管」が応力最大の箇所となったため、40年目の評価においては選定せず。

なお、蒸気発生器取替工事に係る工事計画認可申請時に用いた、ループ解析モデルの主な変更点の例については以下の通りであり、質量や材料物性の変更により、算出される外荷重が異なっている。

<ループ解析モデルの主な変更点>

○新設の蒸気発生器の仕様(形状寸法及び材料等)の反映

(変更例) 蒸気発生器本体：全高：約500mm 長尺化

質量：約22t 増

中間胴 形状材料：SQV1A 相当から SQV2B へと変更

寸法：肉厚77.0mm から 85.0mm へと変更

○新設の支持構造物の仕様(形状寸法及び材料等)の反映

(変更例) 下部支持構造物のサポート端のブロックの仕様を変更

・材料：SM490B から SFVQ1A へと変更

・構造変更：ボックス形状から中実ブロックへと変更

以上

川内原子力発電所 2 号炉
劣化状況評価
(2相ステンレス鋼の熱時効)

補足説明資料

2023年8月23日
九州電力株式会社

別紙 13. 経年劣化傾向の評価

2相ステンレス鋼の熱時効については、30年目、40年目でそれぞれ選定した評価部位に対し、運転開始後60年時点までの疲労亀裂に通常運転状態又は重大事故等時の状態で働く荷重に加えて地震発生時の荷重を考慮しても、配管は不安定破壊することはなく、健全性評価上問題とならないこと、及び定期的に超音波探傷検査を実施し、有意な欠陥のないことを確認できていることから、30年目で実施した評価内容及びそれ以降の保全が有効であったと考える。

30年目及び40年目の評価部位について、表1に示す。(参考に1号炉の比較についても記載する。)

表1 30年目及び40年目の評価部位

号炉	30年目	40年目
2号炉	○ホットレグ直管 ○蓄圧タンク注入管台*1	○ホットレグ直管 ○SG入口50°エルボ*2
1号炉 (参考)	○ホットレグ直管 ○コールドレグ直管	○ホットレグ直管 ○コールドレグ直管 ○蓄圧タンク注入管台*3 ○SG入口50°エルボ*2

※1 30年目の評価においては、応力が最大の箇所として選定していたが、設備の変更(蒸気発生器取替工事)を反映しループ解析を再度実施した結果、「ホットレグ直管」が応力最大の箇所となったため、40年目の評価においては選定せず。なお、蒸気発生器取替工事に係る工事計画認可申請時に用いた、ループ解析モデルの主な変更点の例については以下の通りであり、質量や材料物性の変更により、算出される外荷重が異なっている。

<ループ解析モデルの主な変更点>

○新設の蒸気発生器の仕様(形状寸法及び材料等)の反映

(変更例) 蒸気発生器本体: 全高: 約500mm 長尺化

質量: 約22t 増

中間胴 形状材料: SQV1A 相当から SQV2B へと変更

寸法: 肉厚77.0mm から 85.0mm へと変更

○新設の支持構造物の仕様(形状寸法及び材料等)の反映

(変更例) 下部支持構造物のサポート端のブロックの仕様を変更

・材料: SM490B から SFVQ1A へと変更

・構造変更: ボックス形状から中実ブロックへと変更

※2 形状を考慮して選定した評価部位(エルボ部)

※3 応力とフェライト量の組み合わせを考慮して選定した評価部位

以上

川内1, 2号炉—熱時効—23

タイトル	「蓄圧タンク出口第2逆止弁」に係る記載について、適正化すべき箇所の有無を確認すること。
説明	<p>川内2号炉の「1.5 スイング逆止弁」のうち、「弁箱の熱時効（蓄圧タンク出口第2逆止弁）」に係る記載について、添付の通り修正する。</p> <p style="text-align: right;">以上</p>

1. 5 スイング逆止弁

[対象機器]

- ① 1次冷却材系統スイング逆止弁
- ② 化学体積制御系統スイング逆止弁
- ③ 使用済燃料ピット浄化冷却系統スイング逆止弁
- ④ 燃料取替用水系統スイング逆止弁
- ⑤ 原子炉補機冷却水系統スイング逆止弁
- ⑥ 原子炉補機冷却海水系統スイング逆止弁
- ⑦ 原子炉格納容器真空逃がし系統スイング逆止弁
- ⑧ 換気空調系統スイング逆止弁
- ⑨ 空調用冷水系統スイング逆止弁
- ⑩ 安全注入系統スイング逆止弁
- ⑪ 余热除去系統スイング逆止弁
- ⑫ 原子炉格納容器スプレイ系統スイング逆止弁
- ⑬ 主蒸気系統スイング逆止弁
- ⑭ 抽気系統スイング逆止弁
- ⑮ 2次系復水系統スイング逆止弁
- ⑯ 2次系ドレン系統スイング逆止弁
- ⑰ 主給水系統スイング逆止弁
- ⑱ 補助給水系統スイング逆止弁
- ⑲ 非常用ディーゼル発電機系統スイング逆止弁
- ⑳ 制御用空気系統スイング逆止弁
- ㉑ 補助蒸気系統スイング逆止弁
- ㉒ 消火系統スイング逆止弁
- ㉓ 潤滑・制御油系統スイング逆止弁

(3) 弁箱、弁蓋等の腐食（異種金属接触腐食）〔海水ポンプ出口逆止弁〕

弁箱、弁蓋及び弁体は炭素鋼鋳鋼、炭素鋼又は鋳鉄であるため、海水接液面にはライニングを施しているが、ライニングのはく離等により海水が接液した場合、弁棒がステンレス鋼であるため、炭素鋼鋳鋼、炭素鋼又は鋳鉄部位に異種金属接触腐食が想定される。

しかしながら、分解点検時の目視によりライニングのはく離等がないことを確認し、必要に応じて適切に対処することにより、機器の健全性を維持している。

したがって、今後も機能の維持は可能であることから、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない。

(4) 弁箱、弁蓋（外面）の腐食（全面腐食）

〔主蒸気隔離弁、主給水逆止弁、CCWポンプ出口逆止弁、海水ポンプ出口逆止弁〕

弁箱及び弁蓋は炭素鋼又は炭素鋼鋳鋼であり、腐食が想定される。

しかしながら、大気接触部は塗装等により腐食を防止しており、塗装等が健全であれば腐食進行の可能性は小さい。

また、巡視点検等で目視により塗装等の状態を確認し、はく離等が認められた場合には必要に応じて補修することにより、機器の健全性を維持している。

したがって、今後も機能の維持は可能であることから、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない。

(5) 弁箱の熱時効〔蓄圧タンク出口第2逆止弁〕

弁箱はステンレス鋼鋳鋼であり、かつ使用温度が約284℃と高いため熱時効により材料特性が変化する可能性があるが、熱時効は材質変化に加え、欠陥が存在し、かつ高い応力が存在する場合について検討が必要となる。

しかしながら、製造時の非破壊検査で有意な欠陥がないことを確認しており、熱時効評価上の健全性が確認されている1次冷却材管（ホットレグの直管部等）と比較して応力及び使用温度が小さく、熱時効による不安定破壊は起こらない。

したがって、今後も機能の維持は可能であることから、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない。

なお、分解点検時の目視確認により、機器の健全性を確認している。