

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<中性子照射脆化>

資料2

2023年8月23日 九州電力㈱

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2日	中性子照射脆化 劣化状況評価 補足説明資料	別紙6 6-1	Trpの式について転記ミスがあったが、計算において代入した値も間違った値を入れていないか改めて確認すること。また、他に転記ミス等がないか確認すること。	Trpの計算過程及び算出結果(1号p6-1~3)並びに加熱冷却曲線の適用時間(2号p7-3,4)について、値の修正を行った。また、劣化状況評価書と値の桁数を合わせる等の記載の適正化を行った。 [補足説明資料 1号炉 劣化状況評価(中性子照射脆化)] [補足説明資料 2号炉 劣化状況評価(中性子照射脆化)]	2023.4.21	2023.5.19
2	1/2号機	5月19日	資料-2-1 中性子照射脆化	23	特別点検のUTの結果から加圧熱衝撃評価に用いた評価手法が妥当であることを、分かりやすく説明できるよう記載を見直すこと。	特別点検のUTの結果から加圧熱衝撃評価に用いた評価手法が妥当であることを分かりやすい説明となるよう記載を見直した。 [スライド p.23] また、回答資料 川内1, 2号炉-中性子照射脆化-2のとおり、当該箇所は劣化状況評価書のうち「劣化状況評価で追加する評価に係る技術評価書」に同様の記載があるため、上記対応を踏まえた修正を実施した。 本内容については、別途評価書の補正時に反映する。 [川内1号炉劣化状況評価書 劣化状況評価で追加する評価に係る技術評価書 p.9] [川内2号炉劣化状況評価書 劣化状況評価で追加する評価に係る技術評価書 p.9]	2023.6.8	2023.6.15
3	1/2号機	5月19日	川内1, 2号炉 原子炉容器の技術評価書	25,33	評価書においてL方向及びT方向についての注記を追記すること。(注記の記載内容についてはコメント反映整理表にて調整)	回答資料 川内1, 2号炉-中性子照射脆化-3のとおり、母材における上部棚吸収エネルギーの予測値については、JEAC4206-2007に基づきT方向の試験片にて評価しているため、T方向の試験片にて評価したことがわかるような注記を記載した。 本内容については、別途評価書の補正時に反映する。 [川内1号炉劣化状況評価書 原子炉容器の技術評価書 p.25] [川内2号炉劣化状況評価書 原子炉容器の技術評価書 p.25] なお、1号炉の原子炉容器の技術評価書 p.33(2号炉p.33)においては、川内1, 2号炉の30年評価時より、参考としてL方向も記載していたため、40年評価においてもそれを踏襲しL方向の値も記載している。	2023.6.8	2023.6.15
4	1/2号機	5月19日	補足説明資料(中性子照射脆化)	11	Tr30の値を求める際の近似曲線について、どのような近似式をいつから用いているのか確認すること。 また、近似を行う際のパラメータの条件についても確認すること。	回答資料 川内1, 2号炉-中性子照射脆化-4, 6のとおり。	2023.6.8	2023.6.15
5	1/2号機	5月19日	補足説明資料(中性子照射脆化)	11	Tr30の計算に使用した温度、吸収エネルギーの値は提出されている報告書の値と一致しているのか確認すること。	Tr30の計算にあたっては、シャルピー衝撃試験の試験温度及びその温度での吸収エネルギーの値を用いて導出する。 それらの値については、メーカ報告書の値を用いているため一致している。	2023.6.8	2023.6.15
6	1/2号機	5月19日	補足説明資料(中性子照射脆化)	11	Tr30の値について、小数点以下の処理をどのように行っているのか示すこと。	回答資料 川内1, 2号炉-中性子照射脆化-4, 6のとおり。	2023.6.8	2023.6.15
7	1/2号機	5月19日	資料-2-1 中性子照射脆化	23~ 26	「8 経年劣化の傾向評価」及び「9 長期施設管理方針の有効性評価」の内容が劣化状況評価書又は補足説明資料に記載された内容が確認し、記載がなければ、補足説明資料への反映を検討すること。	「8 経年劣化の傾向評価」及び「9 長期施設管理方針の有効性評価」の内容が劣化状況評価書のうち「劣化状況評価で追加する評価に係る技術評価書」に記載されているため、補足説明資料への反映は不要とした。	2023.6.8	2023.6.15
8	1/2号機	5月19日	補足説明資料(中性子照射脆化)	13	原子炉容器の厚さについては公開情報と認識しているが、マスキングが必要か確認すること。	川内1/2号炉の固有の原子炉容器の厚さについては、メーカの商業機密情報であるため非公開としている。 なお、メーカのHPに原子炉容器の厚さが記載してあるが、これは代表的な数値を参考として記載しているものである。	2023.6.8	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<中性子照射脆化>

2023年8月23日 九州電力㈱

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
9	1/2号機	6月15日	ヒアリング資料 中性子照射脆化	14, 15	耐圧漏えい試験時の加熱・冷却制限曲線の図中に試験時の最低使用温度を追記すること。 また補足説明資料(別紙7)にも追記すること。	耐圧漏えい試験時の加熱・冷却制限曲線の図中に試験時の最低使用温度を追記した。 [スライド p14,15] [補足説明資料 1号炉 劣化状況評価(中性子照射脆化) 別紙7 7-4] [補足説明資料 2号炉 劣化状況評価(中性子照射脆化) 別紙7 7-4]	2023.7.5	2023.7.5
10	1/2号機	6月15日	ヒアリング資料 中性子照射脆化	14, 15	試験時の加熱・冷却制限曲線の設定時期ついて、説明すること。	①監視試験片の取出し時、②関連基準及び規制要求の変更時、③EFPY算出時等に、次サイクルに適用する加熱・冷却制限曲線を検討し、必要に応じて変更を行う。 ①監視試験片の取出し時 →取り出した監視試験片の評価結果を踏まえて、加熱・冷却制限曲線の変更及び時期を検討する。 ②関連基準及び規制要求の変更時 →関連基準及び規制要求が変更となった場合は、その変更内容を踏まえて、加熱・冷却制限曲線の変更及び時期を検討する。 ③EFPY算出時 →一次サイクルの運転計画が決定した時点(燃料取替実施計画(燃料装荷)の決定後)に、運転実績を踏まえたEFPYを算出する。また、次サイクルの期間における予想EFPYを算出する。EFPY算出後、次サイクル中における加熱・冷却制限曲線の適用時期の妥当性を確認及び加熱・冷却制限曲線の変更予定時期を検討する。	2023.7.5	2023.7.5
11	1/2号機	6月15日	ヒアリング資料 中性子照射脆化	16, 24	USEの予測法における中性子照射量の適用範囲及び予測に用いた監視試験結果の回次の関係について記載すること。	USEの予測法における中性子照射量の適用範囲及び予測に用いた監視試験結果の回次の関係について記載した。 [スライド p16]	2023.7.5	2023.7.5
12	1/2号機	6月15日	ヒアリング資料 中性子照射脆化	16, 24	USE実測値とJEAC4206で要求されている68Jとの関係について、説明を追記すること。	USE実測値とJEAC4206で要求されている68Jとの関係について、説明を追記した。 [スライド p24]	2023.7.5	2023.7.5
13	1/2号機	6月15日	ヒアリング資料 中性子照射脆化	22	「7 高経年化への対応」のうち、計画的な監視試験の実施に関して、JEACの規格番号を正しく記載すること。	「7 高経年化への対応」のうち、計画的な監視試験の実施に関して、JEACの規格番号を正しく記載した。 [スライド p22]	2023.7.5	2023.7.5
14	1/2号機	6月15日	補足説明資料 中性子照射脆化	別紙6 6-1	破壊靱性試験の実施に係る規格及びCT試験片の種類について、説明すること。 また、当該内容を補足説明資料に追記すること。	【破壊靱性試験の実施に係る規格】 脆性破壊が生じる温度では ASTM E399に準じて実施している。脆性破壊が生じるがASTM E399 の有効条件を満たさない場合又は脆性破壊が生じない場合には ASTM E1820 に準じて実施している。 【CT試験片の種類について】 ASTM E399のANNEXに定められる、板厚Bが0.5インチのCT試験片を用いている。 当該内容を補足説明資料に追記した。 [補足説明資料 1号炉 劣化状況評価(中性子照射脆化) 別紙6 6-1] [補足説明資料 2号炉 劣化状況評価(中性子照射脆化) 別紙6 6-1]	2023.7.5	2023.7.5
15	1/2号機	6月15日	補足説明資料 中性子照射脆化	—	過去に行ったシャルピー衝撃試験も含め、実測データのプロットとTr30の関係を示した図を補足説明資料に追加すること。	過去に行ったシャルピー衝撃試験も含め、実測データのプロットとTr30の関係を示した図を補足説明資料に追加した。 [補足説明資料 1号炉 劣化状況評価(中性子照射脆化) 別紙2 2-6.2-7] [補足説明資料 2号炉 劣化状況評価(中性子照射脆化) 別紙2 2-6.2-7]	2023.7.5	2023.7.5
16	1/2号機	6月15日	補足説明資料 中性子照射脆化	別紙6 6-5	シャルピー衝撃試験結果について、延性破壊以外のデータを記載していることがわかるように記載を見直すこと。	シャルピー衝撃試験結果について、延性破壊以外のデータを記載していることがわかるように記載を見直した。 [補足説明資料 1号炉 劣化状況評価(中性子照射脆化) 別紙6 6-6] [補足説明資料 2号炉 劣化状況評価(中性子照射脆化) 別紙6 6-6]	2023.7.5	2023.7.5

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<中性子照射脆化>

2023年8月23日 九州電力㈱

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
17	1/2号機	6月15日	補足説明資料 中性子照射脆化	全般	PTSの条件やNo.8の原子炉容器の厚さについて、他電力では公開情報である。再度マスキング要否について検討すること。	マスキング要否について検討した結果、一部のマスキング箇所を公開とした。 [補足説明資料 1号炉 劣化状況評価(中性子照射脆化) 別紙5 5-1] [補足説明資料 2号炉 劣化状況評価(中性子照射脆化) 別紙5 5-1]	2023.7.5	2023.7.5
18	1/2号機	6月15日	補足説明資料 中性子照射脆化	5-2	PTS評価の応力解析において適用する熱伝達率及びその条件・導出式について、補足説明資料に追記すること。	PTS評価の応力解析において適用する熱伝達率及びその条件・導出式について、補足説明資料に追記した。 [補足説明資料 1号炉 劣化状況評価(中性子照射脆化) 別紙5 5-2] [補足説明資料 2号炉 劣化状況評価(中性子照射脆化) 別紙5 5-2]	2023.7.5	2023.7.5
19	1/2号機	6月15日	ヒアリング資料 中性子照射脆化	6	原子炉容器内面で $1 \times 10^{17}n/cm^2$ を超える範囲の上部胴、出入口管台について、保全内容を記載すること。	原子炉容器内面で $1 \times 10^{17}n/cm^2$ を超える範囲の上部胴、出入口管台について、保全内容を記載した。 [スライド p21]	2023.7.5	2023.7.5
20	1/2号機	6月15日	川内1, 2号炉—中性子照射脆化—4, 6	—	シャルピーカーブの近似曲線を求める際の、回帰係数の導出過程について説明すること。	シャルピー衝撃試験により得られたデータのプロットと、 $R = A + B \cdot \tan h[(T - T_0) / C]$ (JEAC4201-2007(解説-SA-3120-2)適用式)との残差平方和が最小となるように回帰係数を算出している。	2023.7.5	2023.7.5
21	1/2号機	6月27日	劣化状況評価 補足説明資料 (中性子照射脆化)	別紙6	添付1のTp算出結果の表の「 K_{IC} 」について、監視試験報告書のそれぞれのK値(K_J 、 $K_{IC(U)}$ 、 K_{JC} 、 $K_{IC(d)}$)のうちどのK値を用いたか補足説明資料に記載すること。	添付1のTp算出結果の表の「 K_{IC} 」について、監視試験報告書のそれぞれのK値(K_J 、 $K_{IC(U)}$ 、 K_{JC} 、 $K_{IC(d)}$)のうちどのK値を用いたか補足説明資料に記載した。 [補足説明資料 1号炉 劣化状況評価(中性子照射脆化) 別紙6] [補足説明資料 2号炉 劣化状況評価(中性子照射脆化) 別紙6]	2023.8.17	2023.8.17
22	1/2号機	7月5日	補足説明資料 中性子照射脆化	別紙7	試験時の加熱制限曲線は計測誤差を見込んだグラフであるのならば、記載の適正化を行うこと。	試験時の加熱制限曲線は計測誤差を見込んだグラフであるため、記載の適正化を行った。 [補足説明資料 1号炉 劣化状況評価(中性子照射脆化) 別紙7 7-4] [補足説明資料 2号炉 劣化状況評価(中性子照射脆化) 別紙7 7-4]	2023.8.17	2023.8.17
23	1/2号機	7月5日	補足説明資料 中性子照射脆化	別紙2	シャルピー衝撃試験結果のグラフは、プロットのばらつきについて言及しているものではないため、表題の記載を見直すこと。	シャルピー衝撃試験結果のグラフは、プロットのばらつきについて言及しているものではないため、表題の記載を見直した。 [補足説明資料 1号炉 劣化状況評価(中性子照射脆化) 別紙2 2-6] [補足説明資料 2号炉 劣化状況評価(中性子照射脆化) 別紙2 2-6]	2023.8.17	2023.8.17
24	1/2号機	7月5日	ヒアリング資料 中性子照射脆化	21	原子炉容器内面で $1 \times 10^{17}n/cm^2$ を超える範囲の上部胴、出入口管台の現状保全内容を補足説明資料「4.6現状保全」に追記すること。	原子炉容器内面で $1 \times 10^{17}n/cm^2$ を超える範囲の上部胴、出入口管台の現状保全内容を補足説明資料「4.6現状保全」に追記した。 [補足説明資料 1号炉 劣化状況評価(中性子照射脆化) P.20] [補足説明資料 2号炉 劣化状況評価(中性子照射脆化) P.20]	2023.8.17	2023.8.17
25	1/2号機	7月5日	ヒアリング資料 中性子照射脆化	23	川内においては、JEAC4206-2007附属書Cに基づき、PTS評価における想定欠陥を10mmとしているため、記載の見直し内容が妥当か再度確認すること。	川内においては、30年目及び40年目の評価ではJEAC4206-2007附属書Cに基づき深さ10mmの想定欠陥を用いた加圧熱衝撃評価を実施し、原子炉容器の60年時点の健全性を確認している。 また、運転期間延長認可申請に際して実施した特別点検において、表面近傍の深さ5mm程度の欠陥が検出可能なUTにより原子炉容器胴部炉心領域の母材部・溶接部全面の探傷を実施した結果、脆性破壊の起点となるような有意な欠陥がないことを確認している。 以上のとおり、JEAC4206-2007附属書Cに基づき実施した加圧熱衝撃評価の想定欠陥に対し、十分な検出性を持った方法にて特別点検を実施し、問題ないことを確認していることを記載しているため、記載内容の見直しは不要と考える。	2023.8.17	2023.8.17

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<中性子照射脆化>

2023年8月23日 九州電力㈱

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
26	1/2号機	8月2日	審査会合コメント回答資料 (中性子照射脆化)	8	1号炉と同様に、2号炉のPTS評価についても、PLM30とPLM40の評価結果の比較を示すこと。また、PTS評価結果のグラフに、比較結果の概要を追記すること。	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.7,11~13]	2023.8.17	2023.8.17
27	1/2号機	8月2日	審査会合コメント回答資料 (中性子照射脆化)	6~9	PLM30とPLM40の比較については、より定量的に示し(PTS評価に用いる定数Tpの違いなど)、補足説明資料及び審査会合コメント回答資料に反映すること。	左記内容について、補足説明資料及び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.6~13] [補足説明資料 1号炉 劣化状況評価(中性子照射脆化) 別紙9] [補足説明資料 2号炉 劣化状況評価(中性子照射脆化) 別紙9]	2023.8.17	2023.8.17
28	1/2号機	8月17日	審査会合コメント回答資料 (中性子照射脆化)	9	3段落目のお書きにて、適用した規格により下限となる監視試験片が変わることが記載されているが、本記載は評価手法の影響に関するものではなく、規格の影響に関するものであるため、記載箇所を見直すこと。 同様の内容を補足説明資料に記載しているのであれば併せて見直すこと。	左記内容について、補足説明資料及び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.8] [補足説明資料 1号炉 劣化状況評価(中性子照射脆化) 別紙9] [補足説明資料 2号炉 劣化状況評価(中性子照射脆化) 別紙9]		
29	1/2号機	8月17日	審査会合コメント回答資料 (中性子照射脆化)	14	規格の変遷に伴い国内脆化予測法が改善された内容も踏まえて、関連温度予測値の比較内容を記載すること。 同様の内容を補足説明資料に記載しているのであれば併せて見直すこと。	左記内容について、補足説明資料及び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.14] [補足説明資料 1号炉 劣化状況評価(中性子照射脆化) 別紙9] [補足説明資料 2号炉 劣化状況評価(中性子照射脆化) 別紙9]		

川内原子力発電所 1 号炉
劣化状況評価
(中性子照射脆化)

補足説明資料

2023年8月23日
九州電力株式会社

＜PLM30 と PLM40 の評価結果の比較について＞

1. 関連温度における PLM30 と PLM40 の比較について

PLM30 と PLM40 における運転開始後 60 年時点の中性子照射量予測値と、JEAC4201-2007[2010 年追補版]（以下「[2010 年追補版]」という。）及び JEAC4201-2007[2013 年追補版]（以下「[2013 年追補版]」という。）のそれぞれの国内脆化予測法で算出した関連温度予測値を整理した結果（PLM30 と PLM40 の比較）を表 9-1 に示す。

関連温度予測値は、 ΔRT_{DBT} 計算値（中性子照射量、Cu 及び Ni 含有量等より算出）や、監視試験の実測値で補正する場合に用いるマージン Mc 等をもとに算出する。主な項目については以下のとおり。

- ・ Mc については、PLM30[2010 年追補版]と PLM40[2013 年追補版]とで大きな差はなかった。
- ・ 中性子照射量は、最新の監視試験結果に加え、評価後の稼働率を 100%と保守的に設定し、運転開始後 60 年時点の予測値を算出している。このため、PLM30 の中性子照射量予測値は、PLM40 よりもより保守的に運転時間を設定していることから高い値となる。以上より、関連温度予測値は、PLM30[2010 年追補版] > PLM40[2013 年追補版]となる。これは、運転開始後 60 年時点での中性子照射量予測値の差が関連温度予測値の差として表れていると考えられる。

また、PLM30 の関連温度予測値において、[2010 年追補版]と[2013 年追補版]を比較した結果、脆化予測法の改善により、[2013 年追補版]の方が高くなる。

表 9-1 運転開始後 60 年時点の関連温度予測値及び中性子照射量予測値

部 位	運転開始後 60 年時点の予測値		
	PLM30		PLM40
	[2010 年追補版] (PLM30 記載値)	[2013 年追補版]	[2013 年追補版] (PLM30 記載値)
胴部（母材）	35℃	45℃	40℃
胴部（溶接金属）	-8℃	-2℃	-7℃
胴部（熱影響部）	20℃	30℃	29℃
中性子照射量 予測値 ^{*1} [$\times 10^{19}$ n/cm ²]	6.23		5.56

※1 各評価実施時期から運転開始後 60 年まで稼働率 100%で運転すると仮定して、内表面から板厚 t の 1/4t 深さ位置での中性子照射量を算出

2. PTS 評価における PLM30 と PLM40 の比較について

深さ 10mm の想定き裂を用いた PTS 評価のうち、運転開始後 60 年時点の破壊靱性遷移曲線 (K_{Ic} 下限包絡曲線) について、

- ① PLM30 時点の評価
- ② PLM30 時点の評価に対し[2013 年追補版]を適用した評価
- ③ PLM40 時点の評価において第 4 回監視試験片*¹の破壊靱性データを適用した評価
- ④ PLM40 時点の評価

に対し評価した。

評価に用いた各条件の整理結果を表 9-2 に、①～④の PTS 評価結果を図 9-1 に示す。

表 9-2 運転開始後 60 年時点の PTS 評価に用いた各条件の整理結果

No.	分類	中性子照射量 予測値 ^{※2} [$\times 10^{19}$ n/cm ²]	適用規格 及びマージン M_R	評価対象とした 監視試験片回次	T_p
①	PLM30	9.92	[2010 年追補版] $M_R=10^\circ\text{C}$	第 4 回	66 $^\circ\text{C}$
②			[2013 年追補版] $M_R=18^\circ\text{C}$	第 3 回	96 $^\circ\text{C}$
③	PLM40	8.85	[2013 年追補版] $M_R=18^\circ\text{C}$	第 4 回	68 $^\circ\text{C}$
④			[2013 年追補版] $M_R=18^\circ\text{C}$	第 3 回	89 $^\circ\text{C}$

※2 各評価実施時期から運転開始後 60 年まで稼働率 100%で運転すると仮定して、原子炉容器内表面位置の中性子照射量を算出。

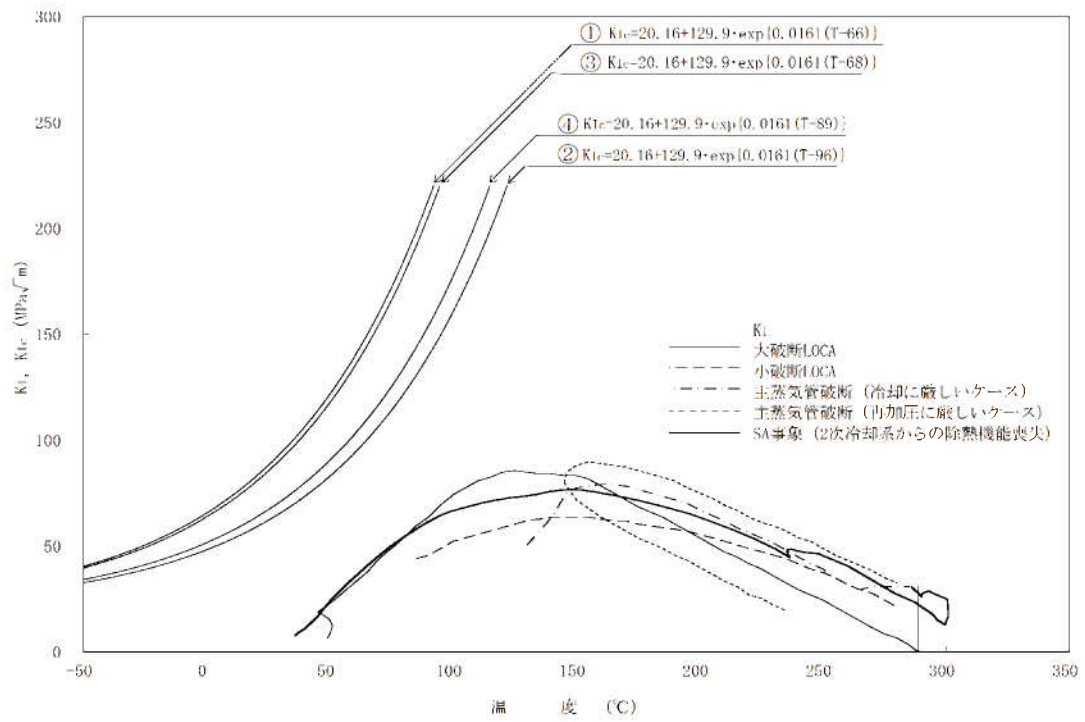


図9-1 PTS 評価結果の比較

(1) PLM30 時点の評価における適用規格 (JEAC4201) の年度版の影響

適用規格の年度版による影響を確認するため、「PLM30 時点の評価【①】」と「PLM30 時点の評価に対し PLM40 の適用規格である [2013 年追補版] を適用した評価【②】」を比較した結果、評価【②】の T_p 値は、評価【①】に比べ 30°C 増加している。

(予測破壊靱性 K_{Ic} ①>②)

これは、PLM40 の適用規格 [2013 年追補版] が、PLM30 の適用規格 [2010 年追補版] に比べ、以下の理由等により脆化予測法が改善したことが要因である。

- ・高照射領域にて、より関連温度が高いデータを拡充
- ・脆化予測のばらつきを考慮するためのマージン M_R の見直し

表 9-3 PLM30 時点の評価における適用規格 (JEAC4201) の年度版の影響

項目	PLM30 時点の評価【①】	PLM30 時点の評価に 2013 年追補版を適用した評価【②】	差
破壊靱性値のシフト量 (マージン M_R を除く)	3°C [2010 年追補版] $9.18^{*3} \rightarrow 9.92 \times 10^{19}$ [n/cm ²] [内表面]	26°C [2013 年追補版] $5.80^{*4} \rightarrow 9.92 \times 10^{19}$ [n/cm ²] [内表面]	+23°C
マージン M_R	10°C	18°C	+8°C
T_p	66°C (PLM30 記載値)	96°C	+30°C ^{*5}

※3 PLM30 において運転開始後 60 年時点の PTS 評価で下限となった第 4 回監視試験の照射量

※4 PLM30 時点に 2013 年追補版を適用した評価において運転開始後 60 年時点の PTS 評価で下限となった第 3 回監視試験の照射量

※5 下限となる試験片の監視試験回次が異なるため、破壊靱性値のシフト量とマージン M_R の合計とはならない。

なお、[2010 年追補版] では第 4 回監視試験片データ、[2013 年追補版] では第 3 回監視試験片データを選定しているが、これは、[2010 年追補版] では、破壊靱性遷移曲線の設定において第 3 回監視試験片の $\Delta T_{K_{Ic}}$ 移行後の温度が 0°C 未満となり評価対象外となったが、[2013 年追補版] では、脆化予測法の改善により第 3 回監視試験片が評価対象となったためである。

(2) 同一監視試験データにおける評価手法の影響

PLM30 と PLM40 の評価手法の違いを確認するため、「PLM30 時点の評価【①】」と「PLM40 時点の評価において第4回監視試験片の破壊靱性データを適用した評価【③】」を比較した結果、評価【③】の T_p 値は、評価【①】に比べ 3°C 増加している。(予測破壊靱性 K_{Ic} ①>③)

このことから、PLM40 の評価手法は、PLM30 の評価手法に比べ改善され保守的となったと考える。

なお、PLM30 では第4回監視試験片データ、PLM40 では第3回監視試験片データを選定しているが、これは、PLM30[2010年追補版]では、破壊靱性遷移曲線の設定において第3回監視試験片の $\Delta T_{K_{Ic}}$ 移行後が 0°C 未満となり評価対象外となったが、PLM40[2013年追補版]では、脆化予測法の改善により第3回監視試験片が評価対象となったためである。

表 9-4 同一監視試験データにおける評価手法の影響

項目	PLM30 時点の評価【①】	第4回監視試験データに対する PLM40 の評価【③】	差
破壊靱性値 のシフト量 (マージン M_R を除く)	3°C [2010年追補版] $9.18^{+6} \rightarrow 9.92 \times 10^{19}$ [n/cm ²] [内表面]	-2°C [2013年追補版] $9.18^{+6} \rightarrow 8.85 \times 10^{19}$ [n/cm ²] [内表面]	-5°C
マージン M_R	10°C	18°C	$+8^{\circ}\text{C}$
T_p	66°C (PLM30 記載値)	68°C	$+3^{\circ}\text{C}^{*7}$

※6 PLM30 において運転開始後 60 年時点の PTS 評価で下限となった第4回監視試験の照射量

※7 小数点第1位までの値を用いて算出した値 ($67.72^{\circ}\text{C} - 65.2^{\circ}\text{C} = 2.52^{\circ}\text{C} \approx 3^{\circ}\text{C}$)

後述の(3)に示す PLM30 と PLM40 の T_p 値の差 $89^{\circ}\text{C} - 66^{\circ}\text{C} = 23^{\circ}\text{C}$ のうち、表 9-4 に示す脆化予測法の改善に伴う増分 3°C を除いた 20°C は、PLM30 で選定されなかった第3回監視試験片による増分である。

(3) PLM30 時点と PLM40 時点の評価結果の比較

「PLM30 時点の評価結果【①】」と「PLM40 時点の評価結果【④】」を比較した結果、PLM40 のTp 値は、PLM30 に比べ 23℃増加している。(予測破壊靱性 K_{Ic} ①>④)

これは、PLM30 の中性子照射量予測値が PLM40 よりも高いものの、適用規格の年度版の影響が大きいことが要因である (以下参照)。

- ・ PLM30 と PLM40 における中性子照射量は、最新の監視試験結果に加え、評価後の稼働率を 100%と保守的に設定し、運転開始後 60 年時点の予測値を算出している。このため、PLM30 の中性子照射量予測値は、PLM40 よりもより保守的に運転時間を設定していることから高い値となる。
- ・ (1)、(2) で示したように、PLM40 の適用規格 [2013 年追補版]は、PLM30 の適用規格 [2010 年追補版]よりも脆化予測法が改善されている。

表 9-5 PLM30 時点と PLM40 時点の評価結果の比較

項目	PLM30 時点の評価【①】	PLM40 時点の評価【④】	差
破壊靱性値 のシフト量 (マージン M_R を除く)	3℃ 〔2010 年追補版〕 〔 $9.18^{※8} \rightarrow 9.92 \times 10^{19}$ [n/cm ²] [内表面]〕	20℃ 〔2013 年追補版〕 〔 $5.80^{※9} \rightarrow 8.85 \times 10^{19}$ [n/cm ²] [内表面]〕	+17℃
マージン M_R	10℃	18℃	+8℃
Tp	66℃ (PLM30 記載値)	89℃ (PLM40 記載値)	+23℃ ^{※10}

※8 PLM30 において運転開始後 60 年時点の PTS 評価で下限となった第 4 回監視試験の照射量

※9 PLM40 において運転開始後 60 年時点の PTS 評価で下限となった第 3 回監視試験の照射量

※10 PLM30 と PLM40 とでは、下限となる監視試験片回次が異なるため、破壊靱性値のシフト量とマージン M_R の合計とはならない。

(1) ~ (3) の結果より、[2013 年追補版]を適用することで脆化予測法が改善していることがわかる。これは、国内の脆化管理のスキーム (計画的に監視試験を実施し、これらの試験結果によりデータを拡充していくと共に、予測法を継続的に改善していく取り組み) に基づき、より確実に脆化傾向を把握していることを示している。

(4) その他

PLM40 の PTS 評価では、原子炉容器内表面位置において運転開始後約 80 年時点の照射量に相当する第 5 回監視試験結果も評価対象に含め、60 年時点までの照射量増分及びマージン 18℃を考慮して PTS 評価を行なっている。また、本評価には特別点検において確認したき裂想定の保守性を始め、十分な評価余裕が備わっている。

以上のことから、川内 1 号炉の中性子照射脆化が運転延長期間中の原子炉容器の健全性に影響を及ぼす可能性はない。

さらに、原子炉容器胴部（炉心領域部）の中性子照射脆化については、今後の原子炉の運転サイクル・照射量を勘案して第 6 回監視試験を実施する。

川内原子力発電所 2 号炉
劣化状況評価
(中性子照射脆化)

補足説明資料

2023年8月23日
九州電力株式会社

＜PLM30 と PLM40 の評価結果の比較について＞

1. 関連温度における PLM30 と PLM40 の比較について

PLM30 と PLM40 における運転開始後 60 年時点の中性子照射量予測値で算出した関連温度予測値を整理した結果（PLM30 と PLM40 の比較）を表 9-1 に示す。

関連温度予測値は、 ΔRT_{TOT} 計算値（中性子照射量、Cu 及び Ni 含有量等より算出）や、監視試験の実測値で補正する場合に用いるマージン Mc 等をもとに算出する。主な項目については以下のとおり。

- ・ Mc については、PLM30 と PLM40 とで大きな差はなかった。
 - ・ 中性子照射量は、最新の監視試験結果に加え、評価後の稼働率を 100%と保守的に設定し、運転開始後 60 年時点の予測値を算出している。このため、PLM30 の中性子照射量予測値は、PLM40 よりもより保守的に運転時間を設定していることから高い値となる。
- 以上より、関連温度予測値は、PLM30 > PLM40 となる。これは、運転開始後 60 年時点での中性子照射量予測値の差が関連温度予測値の差として表れていると考えられる。

表 9-1 運転開始後 60 年時点の関連温度予測値及び中性子照射量予測値

部位	運転開始後 60 年時点の予測値	
	PLM30	PLM40
	JEAC4201-2007 [2013 年追補版]	
胴部（母材）	30°C	24°C
胴部（溶接金属）	7°C	2°C
胴部（熱影響部）	11°C	7°C
中性子照射量 予測値*1 [$\times 10^{19}n/cm^2$]	6.18	5.59

※ 1 各評価実施時期から運転開始後 60 年まで稼働率 100%で運転すると仮定して、内表面から板厚 t の 1/4t 深さ位置での中性子照射量を算出。

2. PTS 評価における PLM30 と PLM40 の比較について

深さ 10mm の想定き裂を用いた PTS 評価のうち、運転開始後 60 年時点の破壊靱性遷移曲線 (K_{Ic} 下限包絡曲線) について、

- ① PLM30 時点の評価
- ② PLM40 時点の評価

に対し評価した。

評価に用いた各条件の整理結果を表 9-2 に、①と②の PTS 評価結果を図 9-1 に示す。

表 9-2 運転開始後 60 年時点の PTS 評価に用いた各条件の整理結果

No.	分類	中性子照射量 予測値 ^{※2} [$\times 10^{19}$ n/cm ²]	適用規格 及びマージン M_R	評価対象とした 監視試験片回次	T_p
①	PLM30	9.85	JEAC4201-2007 [2013 年追補版] $M_R=18^\circ\text{C}$	第 3 回	101°C
②	PLM40	8.91		第 3 回	95°C

※2 各評価実施時期から運転開始後 60 年まで稼働率 100%で運転すると仮定して、原子炉容器内表面位置の中性子照射量を算出。

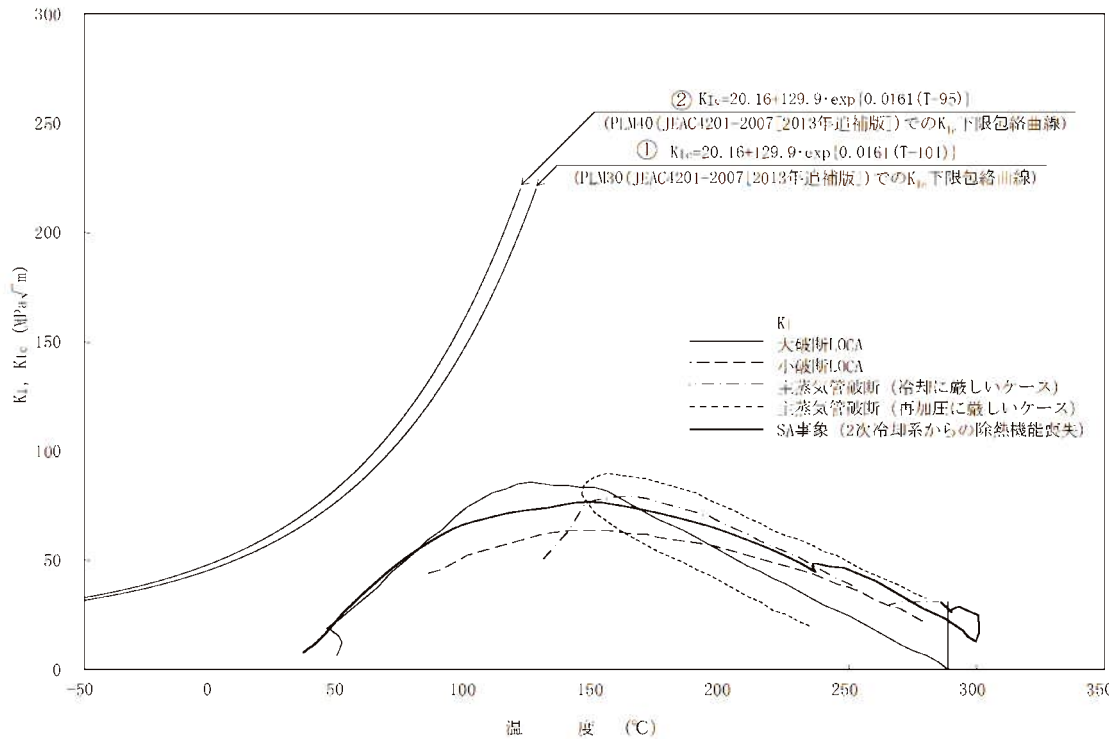


図 9-1 PTS 評価結果の比較

(1) PLM30 時点と PLM40 時点の評価結果の比較

「PLM30 時点の評価結果【①】」と「PLM40 時点の評価結果【②】」を比較した。

PLM30 と PLM40 においては、PLM40 に比べ PLM30 の方が中性子照射量予測値が高いため、Tp 値に 6°C の差が現れている。(予測破壊靱性 K_{IIc} ②>①)

表 9-3 PLM30 時点と PLM40 時点の評価結果の比較

項目	PLM30 時点の評価【①】	PLM40 時点の評価【②】	差
破壊靱性値 のシフト量 (マージン M_R を除く)	2°C JEAC4201-[2013 年追補版] 9.49 ^{※3} →9.85×10 ¹⁹ [n/cm ²] [内表面]	-4°C JEAC4201-[2013 年追補版] 9.49 ^{※3} →8.91×10 ¹⁹ [n/cm ²] [内表面]	-6°C
マージン M_R	18°C	18°C	0°C
Tp	101°C (PLM30 記載値)	95°C (PLM40 記載値)	-6°C

※3 PLM30 及び PLM40 において運転開始後 60 年時点の PTS 評価で下限となった第 3 回
監視試験の照射量

(2) その他

PLM40 の PTS 評価では、原子炉容器内表面位置において運転開始後約 80 年時点の照射量に相当する第 4 回監視試験結果も評価対象に含め、60 年時点までの照射量増分及びマージン 18℃を考慮して PTS 評価を行なっている。また、本評価には特別点検において確認したき裂想定の保守性を始め、十分な評価余裕が備わっている。

以上のことから、川内 2 号炉の中性子照射脆化が運転延長期間中の原子炉容器の健全性に影響を及ぼす可能性はない。

さらに、原子炉容器胴部（炉心領域部）の中性子照射脆化については、今後の原子炉の運転サイクル・照射量を勘案して第 5 回監視試験を実施する。