参考

平成２５年７月１６日
四国電力株式会社

伊方発電所１号機　原子炉容器の監視試験の結果について

国内他プラントで関連温度*1（一般的に「脆性遷移温度」という。）の実測値が急上昇したことを踏まえ、平成２３年８月に愛媛県知事より当社に対し、伊方１号機の監視試験片の取り出しを前倒しし、脆化度合いを確認するよう要請があった。
これを受け、当社は、平成２８年頃に予定していた伊方１号機第４回目の監視試験片の取り出しを平成２３年１０月に前倒しし、試験を実施した。この試験の結果は次のとおりであった。

*1：関連温度（RT_{NDT}）
鋼材は、その材料固有の温度以下になると、材料の粘り強さ（靭性）が小さくなり、脆くなる。その靭性の程度を表す材料固有の温度のこと
また、関連温度は原子炉容器では中性子照射を受けることにより、脆化が進行し、これに伴って上昇することが知られている。

１．中性子照射脆化

原子炉容器の中性子照射脆化とは、鋼材に中性子が照射されることにより、微小な組織変化が生じ、下図のように、関連温度が高温側にシフトするとともに、上部棚吸収エネルギー*2が低下する現象である。

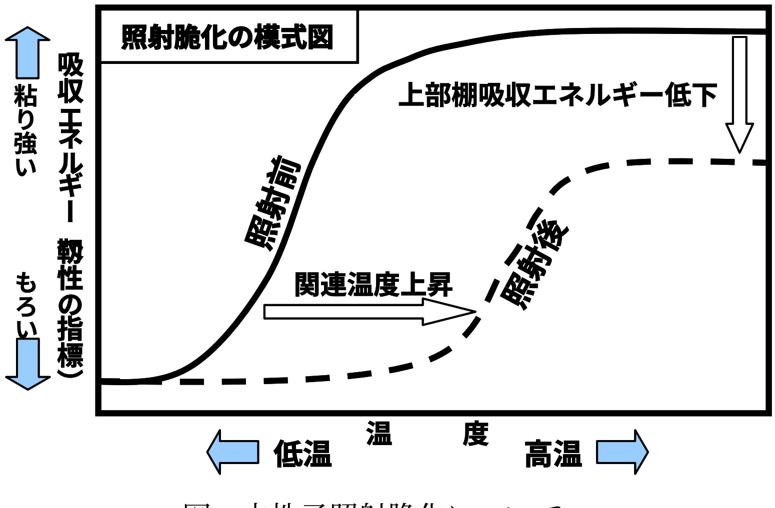


図　中性子照射脆化について

*2：上部棚吸収エネルギー
高温時における鋼材の粘り強さ（靭性）の程度を表す指標であり、原子炉容器が中性子の照射を受け脆化が進むと低下する。

２．関連温度

２．１　関連温度の予測

関連温度は、原子炉の耐圧・漏えい試験時や起動停止時の温度圧力制限を定めるための指標であり、国は関連温度を基にした原子炉（１次）冷却材の温度・圧力管理の実施を求めている。

関連温度の予測は、監視試験の都度、関連温度の上昇量を実測し（ΔRT_{NDT}実測値）、この結果をふまえ、JEAC4201-2007/2010「原子炉構造材の監視試験方法」に示される国内脆化予測法（以下、「JEAC4201-2007」という。）に基づき、関連温度の予測値を求める。求めた予測値を用い、原子炉容器の脆化傾向を把握する。

ここで、関連温度の予測値は関連温度の計算値（関連温度の初期値＋ΔRT_{NDT}計算値）にこれまでの監視試験の実測値補正およびマージン（M_R＝10℃）を加えて求める値となる。

なお、関連温度の実測値がM_R＝10℃とした予測値を上回った場合は、実測値を包絡するようにM_Rを定めなおすと規定されている。

２．２　基準

関連温度に対しては直接の制限値はない。

２．３　結果

関連温度の試験結果を次に示す。また、JEAC4201-2007による予測と監視試験結果の関係を図－１、２に示す。

図－１より、監視試験結果（関連温度の実測値）は、第４回目までの監視試験結果に基づき算出した関連温度の予測値（M_R＝10℃とした場合）を超えておらず、JEAC4201-2007での脆化予測法で予測する脆化傾向と乖離する傾向は認められなかった。

なお、国内他プラントにおいて、関連温度の実測値が関連温度の予測値（M_R＝10℃とした場合）を約14℃超え、その要因等について、国の意見聴取会で検討が行われたが、伊方１号機においてその様な傾向は認められなかった。

監視試験	中性子照射量 (×10^{19}n/cm^2) ［E＞１MeV］	関連温度（℃）
		母材
初期値	0	-25
第１回	0.4 ［約３EFPY］*3	0
第２回	2.0 ［約20EFPY］*3	16
第３回	4.0 ［約39EFPY］*3	30
第４回	7.5 ［約73EFPY］*3	45

*3：内面から板厚の1/4深さでのEFPY。EFPYとは、定格負荷相当年数であり、定格出力で連続運転したと仮定して計算した年数を示す。

３．上部棚吸収エネルギー

３．１　基準

上部棚吸収エネルギーのスクリーニング基準値は、JEAC4206-2007において、68J以上とされており、68Jを下回る場合には規格に基づく詳細解析評価を行い、十分な強度を有することの確認を求めている。

３．２　結果

上部棚吸収エネルギーの試験結果を次に示す。

監視試験	中性子照射量 （$\times 10^{19}$n/cm^2） ［Ｅ＞１MeV］	上部棚吸収ｴﾈﾙｷﾞｰ（Ｊ）
		母材
初期値	0	209
第４回	7.5 ［約73EFPY］*4	200

*4：内面から板厚の1/4深さでのEFPY。EFPYとは、定格負荷相当年数であり、定格出力で連続運転したと仮定して計算した年数を示す。

３．３　評価

上部棚吸収エネルギーは、68J を上回っており、問題ない。

４．原子炉の健全性評価（ＰＴＳ評価）

４．１　ＰＴＳ評価

ＰＴＳ（Pressurized Thermal Shock：加圧熱衝撃事象）評価とは、万一事故などにより、加圧された原子炉容器に冷却水が注入され急冷された場合でも原子炉容器が健全であることを確認するものである。

健全性の確認として、K_{IC}というパラメータを用いて評価する。ここで、K_{IC}とは、破壊に対する抵抗力を表すパラメータであり、監視試験により求める温度T(℃)の関数である。

４．２　基準

JEAC4206-2007「原子力発電所用機器に対する破壊靭性の確認試験方法」（以下、「JEAC4206-2007」という。）に基づき、評価時期（３２ＥＦＰＹ：運転開始後４０年時点）の破壊靭性値（K_{IC}）が、以下に示すK_{IC}評価式を上回っていることをもって確認する。ここで、K_{IC}評価式に示されているK_{IC}以上の破壊靭性値があれば、ＰＴＳ事象に対して健全であることが規格で定められている。

（プラント評価時期のK_{IC}）＞ $20.16+129.9\cdot\exp[0.0161(T-125)]$

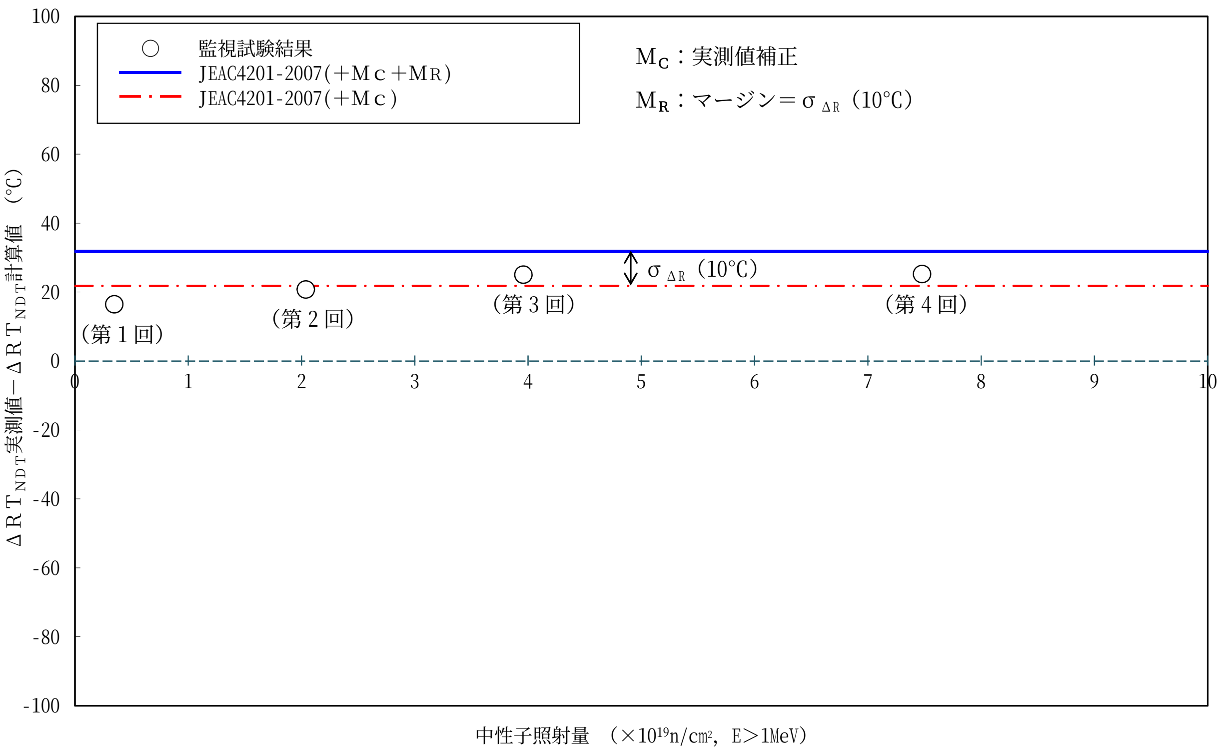
４．３　結果

図－３に、３２ＥＦＰＹ時点のK_{IC}と、K_{IC}評価式を示す。

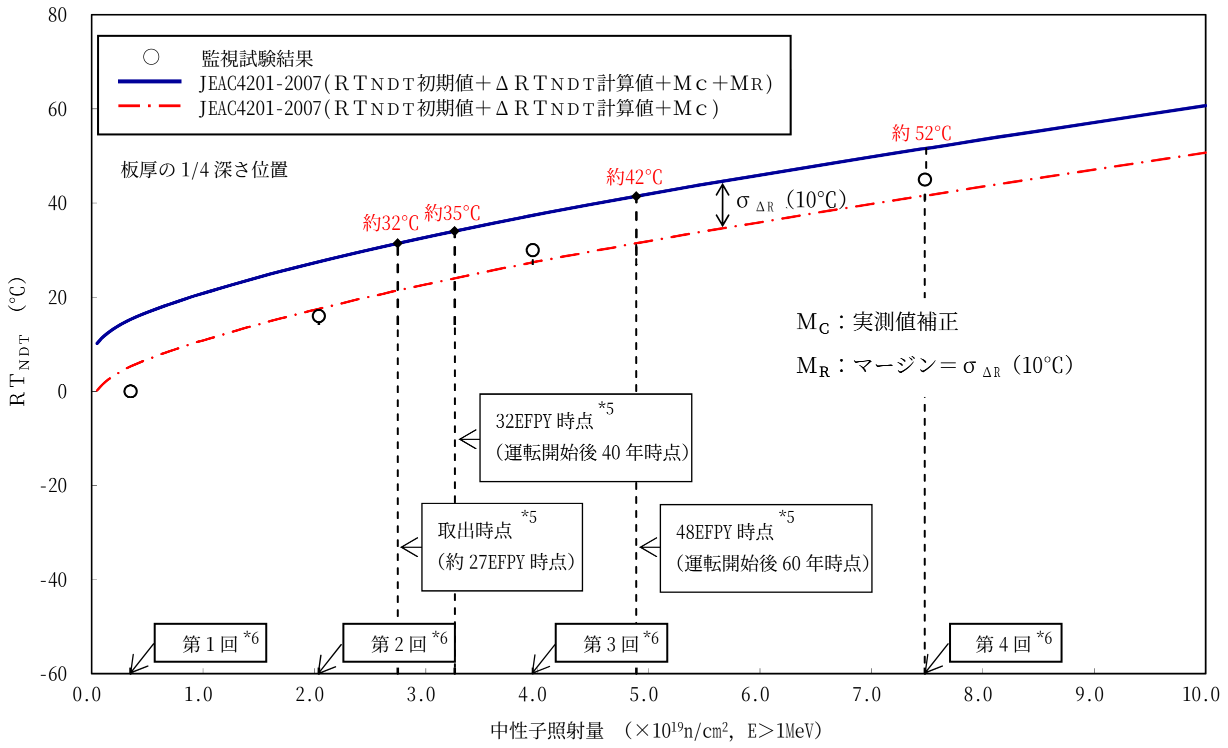
４．４　評価

３２ＥＦＰＹ時点のK_{IC}はK_{IC}評価式を上回ることから、３２ＥＦＰＹまでの原子炉容器の健全性に問題のないことが確認された。

以　上



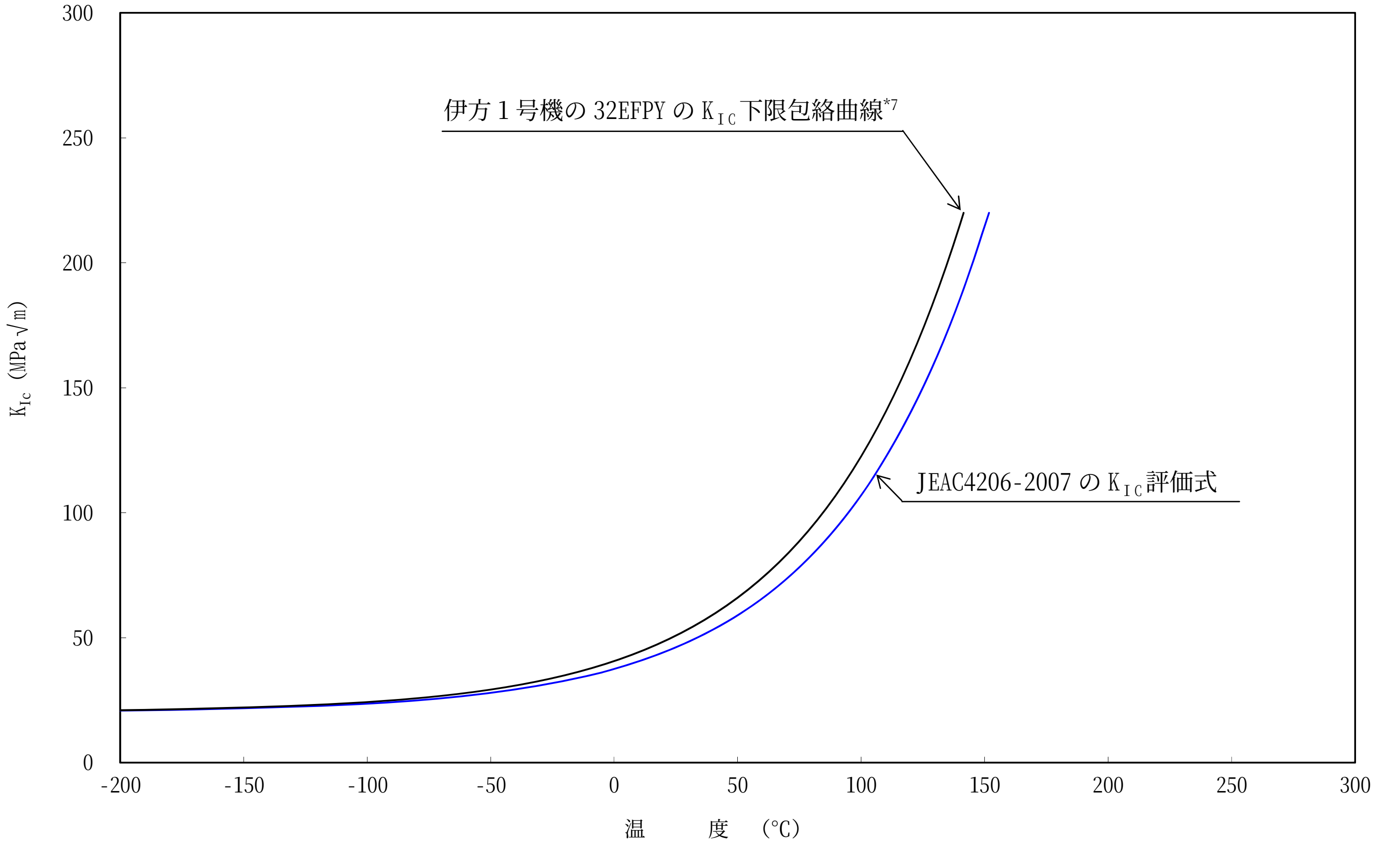
図－1　監視試験片の関連温度（RT_{NDT}）の予測値と実測値の差（母材）



図－2　原子炉容器の関連温度（RT_{NDT}）の予測値（母材）
（参考として、監視試験結果を追記）

*5：原子炉容器の内面から1/4深さ（原子炉容器の板厚の1/4の距離）位置における中性子照射量

*6：監視試験片位置（原子炉容器より炉心に近い位置に配置）における中性子照射量。



図－３　中性子照射脆化に対するＰＴＳ評価結果

*7：複数の監視試験片の試験結果を基に、求めた下限包絡曲線（温度の関数）である。