

## 美浜 1 号機圧力容器監視試験データについての意見

2012 年 10 月 13 日 井野博満、青野雄太

平成 24 年 6 月 22 日主張書面において開示された美浜 1 号機圧力容器監視試験データについて意見を述べる。

## I 「表 1 シャルピー衝撃試験結果」について

データを解析した結果は、すでに「美浜 1 号機高経年化技術評価書 容器 2.3.2」に述べられている。その結果について、改めて、以下の 3 点を指摘する。

(1) 母材脆性遷移温度（関連温度）がチャージ番号によって大きく違うのはなぜか

表 2.3-5 によれば、チャージ番号 B3702-1（以下、試料 1 と呼ぶ）の脆性遷移温度（関連温度）は、他の二つの試料（チャージ番号 B3702-2、チャージ番号 B3702-3. 以下、試料 2、試料 3 と呼ぶ）の脆性遷移温度にくらべて、監視試験の各回とも 20 ないし 40℃も低く、しかも回を追ってその差が広がる傾向を示している。これらの測定データを同一図上にプロットすると図 1 のようになる。

試料 1 のみ、このように低くなる理由は何か？熱影響部も同様に低い傾向を示すが、これは溶接時の熱履歴の影響がよるものという説明が可能である。しかし、母材ではそういうことは考えられない。明確な説明を求める。

このように、母材の採取位置（チャージ番号）によって脆性遷移温度の値が大きく変化する原因として、母材の材質が不均質であること、すなわち、採取位置によって不純物含有量や材料組織（結晶粒度など）が異なることが考えられる。鋼材中のこのような材質の違いは、本来あってはならないものであって、圧力容器鋼材にそのような違いがあれば、欠陥圧力容器と言わざるを得ない。

美浜 1 号機高経年化技術評価書容器評価書の表 2.1-2 の化学成分表をみると、銅の含有量が試料 1 では 0.11%、試料 2 では 0.16%、試料 3 では 0.14%とばらついている。とくに、試料 1 では著しく低く、分析誤差の範囲を超えていると考えられる。シリコンや炭素の含有量も試料 1 では他の二つの試料と差がある。このようなばらつきがなぜ生じたのか、製造工程などにさかのぼって、各工程での分析値を調査するなどし、原因を解明すべきである。

玄海 1 号機では、第 3 回監視試験の脆性遷移温度測定値が 56℃であったのに対し、第 4 回監視試験測定値が 98℃に急上昇し、その原因が明らかになっていない。高経年化意見聴取会において、私は、材質が不均質なのではないかと指摘したが、九州電力の分析値の調査及び電力中央研究所のマイクロ組織解析によ

れば、両者の化学成分や材料組織に差はないとされた。しかし、十分なデータは示されておらず、この問題は未解決のままである。美浜 1 号機の場合は、少なくとも化学成分に差があるので、材質が不均質であることは疑いないと考えられる。圧力容器の健全性確認のためには、徹底した原因解明が必要である。

材質の不均質性があるとどういうことになるか？圧力容器と同じ材質の監視試験片を用いて圧力容器の脆化を監視するはずの監視試験が役立たないということになる。材質にばらつきがあれば、採取場所によっては、今得られている脆性遷移温度よりも高い値が観測されることが起こりうるので、監視試験での値は危険側評価につながる。

## (2) 溶接金属における異常な脆性遷移温度上昇

第 4 回監視試験での溶接金属の脆性遷移温度は 81℃と測定され、母材よりも高い。加えて、照射前の初期値が -50℃と低いことから、その差である脆性遷移温度の上昇量は 131℃に達し、異常に高い値である。このように高い上昇量を示す原発は、日本では他にない。

高経年化技術評価書容器評価書の表 2.1-2 によれば、溶接金属の銅含有量は 0.19%、ニッケル含有量は 1.08%である。これは母材の 0.16%Cu 以下、0.68% Ni 以下に比べてもいちじるしく高い。銅、ニッケルとも脆性遷移温度を上昇させる金属元素として知られており、とくに銅の影響が顕著である。このような高い銅含有量の溶接金属は日本には他にないと考えられ、大変悪い溶接金属が美浜 1 号機では使われたと言わざるを得ない。溶接作業中に銅が混入したことも考えられ、そうだとすると、溶接部位ごとに銅含有量も違っており、場所によってはさらに高い脆化を示す可能性も示唆される。溶接金属の銅含有量の複数個所での分析値が必要であり、また、製造・溶接工程についてのチェックが必要である。

## (3) 加圧熱衝撃 (PTS) 評価において使う圧力容器内表面での中性子照射量を表示すべきである

高経年化技術評価書の表 2.3-7 には、第 23 回定期検査時点および運転開始後 60 年時点の中性子照射量として、 $1.45 \times 10^{19} \text{n/cm}^2$  および  $2.89 \times 10^{19} \text{n/cm}^2$  が記されているが、これは容器内表面から板厚  $t$  の  $1/4 t$  深さでの値である。PTS (加圧熱衝撃) 評価では内表面のき裂先端での応力解析をおこなうので、対応する破壊靱性値の推定も内表面での照射量を用いて行われている。内表面での照射量は、内表面から  $1/4 t$  深さまでの減衰比である 0.672 ( $t = 168 \text{mm}$  として計算) で上記数値を割った値となる。逆に言えば、内表面での照射量が  $2.89 \times 10^{19} \text{n/cm}^2$  に達するのは、運転開始後 60 年時点ではなく、それに 0.672 を掛

けた 40.3 年後である。つまり、運転開始後 60 年時点として表 2.3-7 に示されている関連温度は、内表面の照射量に関しては 40.3 年時点での関連温度ということになる。監視試験片は圧力容器より内側に置かれており、圧力容器の照射脆化を先読みできるとされているが、第 4 回監視試験での照射量は  $3.0 \times 10^{19} \text{n/cm}^2$  とされており、内表面での値に換算すると 41.8 年時点となる。その程度の先読みしかできていない。また、監視試験片と圧力容器とでは照射速度も違うのでその違いも考慮する必要がある。いずれにせよ、第 4 回の監視試験を実施した 2001 年 5 月からは 11 年以上経っているので、監視試験を早急を実施する必要がある。玄海 1 号機のように、脆性遷移温度の予想外の上昇が生じている可能性も考えられる。

## II 「表 3 静的破壊靱性試験結果」について

図 2 から図 5 は、開示されたデータに基づき、筆者らが作成した美浜 1 号機圧力容器の破壊靱性遷移曲線 ( $K_{IC}$  曲線) を示したものである。これらの図には、JEAC4206-2007 附属書 C の方式に従って、破壊靱性測定値を脆性遷移温度の移行分だけ横軸に平行にデータ点をシフトさせてプロットした破壊靱性遷移曲線 ( $K_{IC}$  曲線) が描かれている。また、これらの図には、美浜 1 号機高経年化技術評価書 (2009 年) 原子炉容器：図 2.3-4 に描かれている PTS 遷移曲線 ( $K_I$  曲線) をあわせて示してある。すべての温度において、 $K_{IC} > K_I$  であることが脆性破壊を起こさない条件であり、 $K_{IC}$  曲線は十分余裕をもって  $K_I$  曲線の上方になければならない。

これらの図は、運転開始後 60 年時点とされる中性子照射量  $2.89 \times 10^{19} \text{n/cm}^2$  に対応する圧力容器破壊靱性遷移曲線 ( $K_{IC}$  曲線) を描いたものである。しかしながら、I (3) で述べたように、この中性子照射量は、PTS 評価においては 40.3 年時点の  $K_{IC}$  曲線と読み替えるべきものである。図 2 から図 4 は母材、図 5 は溶接金属の結果である。ここで母材の  $K_{IC}$  曲線が 3 組ずつあるのは、母材のチャージ番号 B3702-1 から-3 (試料 1 から 3) に対応している。これら母材の図は、高経年化技術評価書 (2009 年) の図 2.3-4 に対応するものである。溶接金属に対応する図は、高経年化技術評価書 (2009 年) には掲載されていない。

これらの図から分かることは、データ点が少ないこと ( $K_I$  曲線とのデッドクロスが懸念される  $50 \sim 100^\circ\text{C}$  付近の温度における監視試験のデータが特に少ない)、遷移温度域の試験が少なくデータのばらつきが小さいこと、データ点の下限包絡曲線である (C8) 式が、最後の第 4 回監視試験データ (図中の□印) によって決まっていること、などである。

データのばらつきが小さいことは、よいデータであるように思えるがそうではない。破壊靱性測定値は本来ばらつきが大きいものなので(とくに遷移温度域

において)、さらに測定を重ねれば、より小さい値を示すデータが得られると予想される。それゆえ、現在得られているデータから決めた  $K_{IC}$  曲線が下限を示すものと言うことには疑問がある。また、第 4 回監視試験データ (図中の□印) によって下限包絡曲線が決まり、それ以前に観測されたデータ点はその曲線よりも上方にあるという傾向は、玄海 1 号機や美浜 2 号機の結果と同様である。このことは、JEAC4206-2007 附属書 C の方式による温度シフトが不十分であることを強く示唆しており、同規程による監視方法に疑問を呈さざるを得ない。

このことについては、高経年化意見聴取会で意見を述べた。その本質的な問題点は、そこで述べたように\*、破壊靱性値の温度シフト  $\Delta T_{KIC}$  が脆性遷移温度  $\Delta T_{NDT}$  に等しいという仮定が正しくないのではないかという疑問である。

\*経済産業省原子力安全・保安院第 17 回高経年化意見聴取会当日配布資料(資料 13)の表 1 および (10) 項を参照のこと

特に、今回開示された溶接金属についての監視試験結果は、信頼に値せず、安全性に大きな疑問を生じさせるものである。図 5 にはデータが 2 点しかなく、たった 2 つのデータ点から下限包絡曲線を引き、溶接金属の破壊靱性値を示すことは無理と言わざるを得ない。よりデータ点が増えれば、さらに下方の破壊靱性測定値が観測されることが強く推定されるからである。しかも、この 2 点から仮に求めた下限包絡曲線は、図 5 に見られるように、応力拡大係数  $K_I$  を示す PTS 遷移曲線 ( $K_I$  曲線) に接近している。さらにデータ点が増えれば、両曲線が重なるというデッドクロスを生じることが推定される。

破壊靱性の測定データがないときは、附属書 C に記載された方法によるのではなく、附属書 A に記載された方法によって脆性遷移温度から破壊靱性曲線を求めることになっている。これが (A7) 式で、ASME  $K_{IC}$  曲線と呼ばれている式である。(A7) 式にもとづく破壊靱性曲線を図 2 から図 5 中に合わせて描き入れた。その結果を見ると、母材においても両曲線は接近するが、溶接金属においてはデッドクロスを起こしている。このことは、压力容器が特に溶接部から破壊される危険性が高いことを表している。美浜 1 号機压力容器は、はなはだ危険な状態にあると言わざるを得ない。

注目していただきたいことは、この図 2 から図 5 に示した解析の元になる中性子照射量は、運転開始後 60 年時点という将来の状態ではなく、1970 年 11 月から 40.3 年経過した状態、すなわち、すでに到達した 2011 年の状態に対応したものであるということである。現在がすでにそうなっているということである。

なお、今回開示されたのは、監視試験データのみであって、PTS 遷移曲線 ( $K_I$  曲線) を求める際の諸条件と計算方法については開示されていない。引き続き開示すべきであると考え。

また、今年になって、高浜 1 号機において、95℃という高い脆性遷移温度が観測されている。美浜 1 号機のみならず、高浜 1 号機を含む関西電力の全原発の監視試験の生データおよび PTS 遷移曲線（K<sub>t</sub> 曲線）の計算を開示すべきであると考えます。

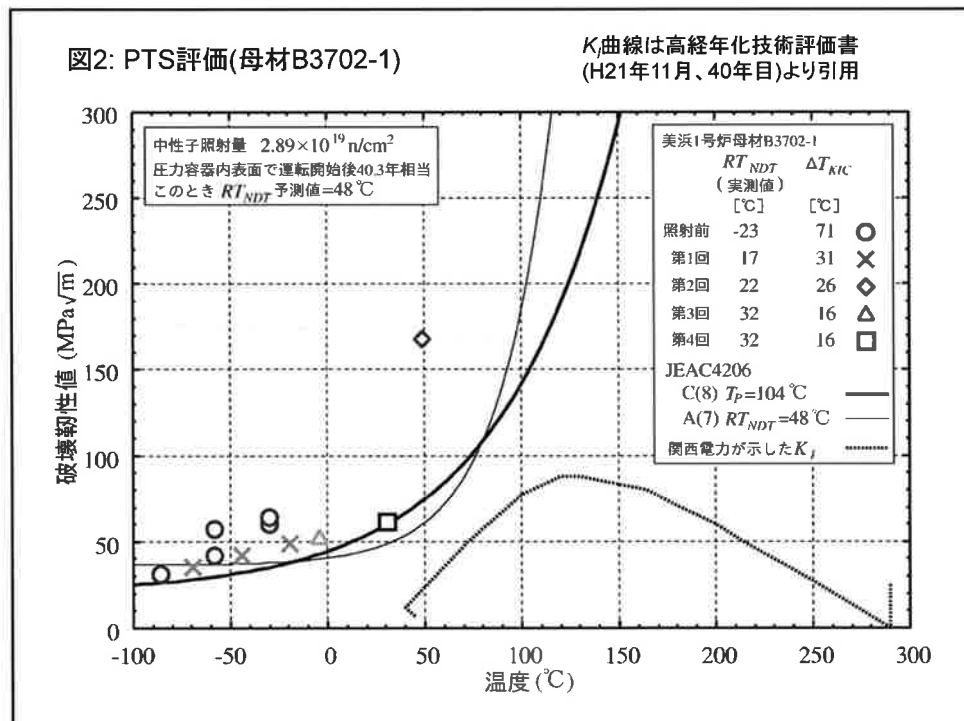
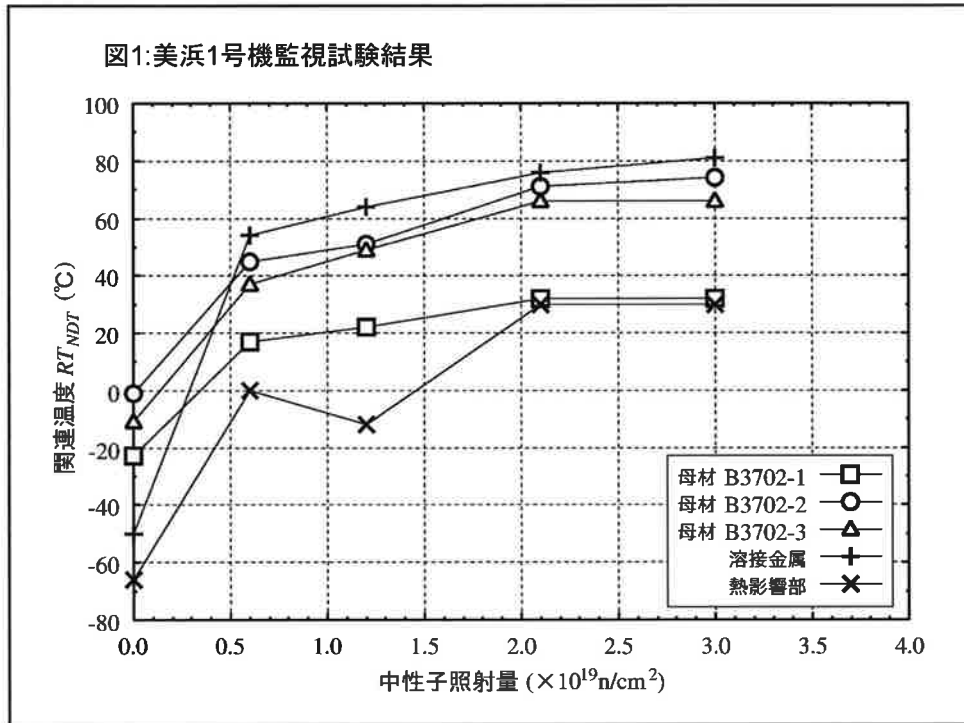


図3: PTS評価(母材B3702-2)

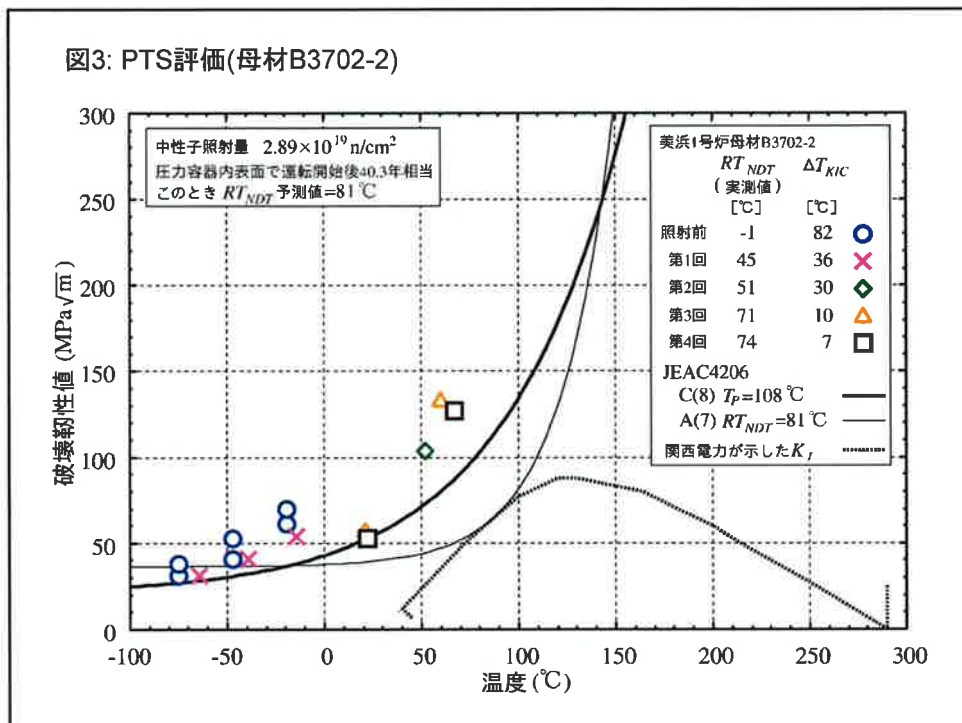


図4: PTS評価(母材B3702-3)

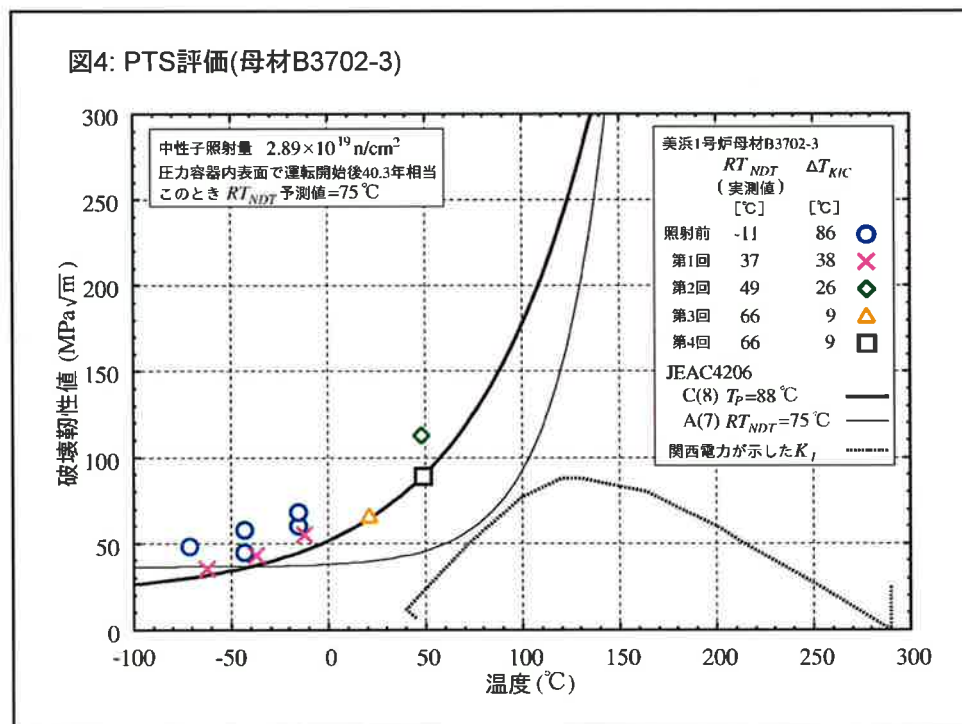


図5: PTS評価(溶接金属)

