

## 1. PTS 評価に用いる破壊靱性遷移曲線に関する技術評価案

### 1. 1 第1回会合において説明を依頼した事項について

- (1) 2007年版の「破壊靱性遷移曲線の設定」に係る規定 C3220～C3240 の削除 ( $K_{Ic} = 20.16 + 129.9 \exp[0.0161(T - T_p)]$  の削除)

「高経年化技術評価に関する意見聴取会」（平成23年11月～平成24年6月、原子力安全・保安院）では、玄海1号機の原子炉圧力容器の健全性を中心に中性子照射脆化に関する様々な議論があり、PWR<sup>1</sup>プラントを対象としたPTS<sup>2</sup>評価方法に関しても多くの議論がなされ、「原子炉圧力容器の中性子照射脆化について」（原子力安全・保安院、平成24年8月）がまとめられた。その中で、「現行の中性子照射脆化に関する規制は、温度圧力制限に関すること、上部棚吸収エネルギーに関すること及び加圧熱衝撃に関することについて規制しており、（中略）我が国の規制項目に過不足は無いと考える」としており、規制の見直しの必要性及び方向性として「加圧熱衝撃の評価には、想定事象、応力拡大係数の評価、判定基準に関しても世界的にも知見の拡充が行われていること（IAEA TECDOC-1627<sup>3</sup>等）に鑑み、国際的な整合性にも留意しつつ、適宜最新知見を反映することが望ましく、引き続き、学協会の取り組みを期待する」としている。また、破壊靱性測定値のばらつきについては、「今後は、下限線が応力拡大係数に近接する場合も考えられるので、保守性や精度向上の観点から試験個数や試験片データのばらつきを考慮した下限線の評価手法などを規定しておくことが必要」としている。

日本電気協会は、2007年版はPTS評価手法として静的平面ひずみ破壊靱性 $K_{Ic}$ に基づく破壊靱性遷移曲線の設定を規定していたが、PTS評価手法に関連する調査・研究成果が蓄積され、評価手法の更なる精緻化が可能となっていることから、上記指摘を踏まえて見直しを行い、2016年版は弾塑性破壊靱性 $K_{Jc}$ に基づく破壊靱性遷移曲線の設定を規定したとしている<sup>4</sup>。

- 2007年版の評価手法は否定されるものではなく、継続使用が可能ではないか。

<sup>1</sup> 加圧水型原子炉

<sup>2</sup> 加圧熱衝撃

<sup>3</sup> Pressurized Thermal Shock in Nuclear Power Plants: Good Practices for Assessment Deterministic Evaluation for the Integrity of Reactor Pressure Vessel

<sup>4</sup> 資料2-2 第1回会合 資料1-3 別添 「原子炉圧力容器に対する供用期間中の破壊靱性の確認方法等の技術評価に関する検討チーム 第2回会合における日本電気協会への説明依頼事項」に対する回答（以下単に「資料2-2」という。）2p

(2) 2016年版の「RF-4222 破壊靱性遷移曲線の設定」に係る規定の追加 ( $K_{Jc} = 25.2 + 36.6 \exp[0.019\{T - (T_r + 30 + \Delta T_t)\}]$  及び  $K_{Jc} = 25.2 + 36.6 \exp[0.019\{T - (T_o + \Delta RT_{NDT} \text{計算値}(d) + M_k)\}]$  の追加)

従来のPTS評価はプラント毎の監視試験で求められた破壊靱性データを包絡するように温度軸を変更した破壊靱性遷移曲線を用いていたが、マスターカーブ法に関する研究の進展に伴い、マスターカーブ法の考え方に基づいて設定した破壊靱性遷移曲線を用いるように変更している。マスターカーブ法については、国際的に活用されつつある式であると認識している<sup>5</sup>。

日本電気協会は、2007年版から2016年版への変更に伴う実プラントでの値の変化を比較するために、破壊靱性遷移曲線のうち、PTS状態遷移曲線  $K_I$  に接する付近の  $K_{Jc} = 70 \text{ MPa}\sqrt{\text{m}}$  での遷移温度  $T_{70}$  を比較し、大部分のプラントで2016年版による  $T_{70}$  の方が高い値となっており、保守的であることを確認しているとしている。

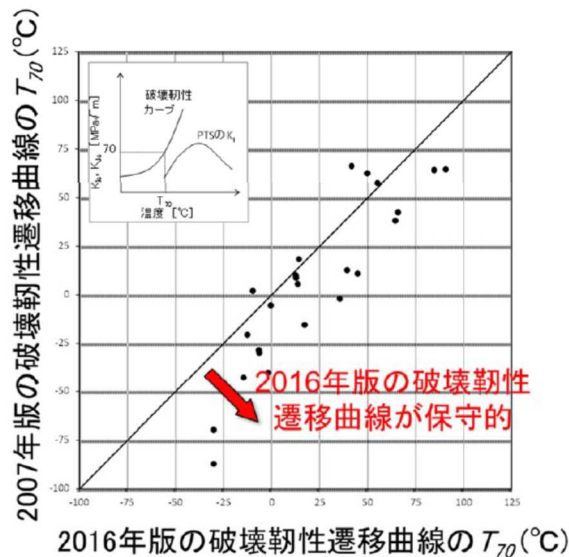


図1-2 国内PWRプラントの32EFPY時点の破壊靱性遷移曲線の遷移温度  $T_{70}$  の比較[2] ※ 資料2-2より抜粋

- 5プラントについては非保守的な評価となっており、大部分が保守的であることをもって妥当と判断するのは難しいのではないか。

日本電気協会は、マスターカーブ法が中性子照射された材料についても適用できるかについて、EPRI<sup>6</sup>の文献<sup>7</sup>に基づき、マスターカーブ法の破壊靱性遷移曲線の形状は理論的に中性子照射によって変化しないこと、及び様々な寸法の照射試験片に対し適用できることが実験により確認されているとしている。また、これに関し、米国NRCによる検

<sup>5</sup> ASTM E1921 Standard Test Method for Determination of Reference Temperature,  $T_0$ , for Ferritic Steels in the Transition Range, ASME Sec. XI ARTICLE A-4000 Material Properties A-4200 Fracture Toughness

<sup>6</sup> 米国電力研究所

<sup>7</sup> Hardin, T., "Technical Basis for ASME Code Case N-830, Revision 1 (MRP-418): Direct Use of Master Curve Fracture Toughness Curve for Pressure-Retaining Materials of Class 1 Vessels, Section XI." EPRI, Palo Alto, CA: 2017. 3002010332.

証<sup>8</sup>が行われているとしている<sup>9</sup>。

- 米国 NRC による検証としている文献については、NRC の規制文書ではなく、マスターカーブ法の適用の可否については、検討が必要ではないか。
- なお、2016 年版の式は、シャルピーから得られた指標とコンパクトテンション型破壊靱性試験 (CT 試験) から得られた指標を足し合わせているが、シャルピーから得られた指標と CT 試験から得られた指標の中性子照射による変化量を同等と考えてよいかについては、国による研究<sup>10</sup>において検証されている (次図参照)。

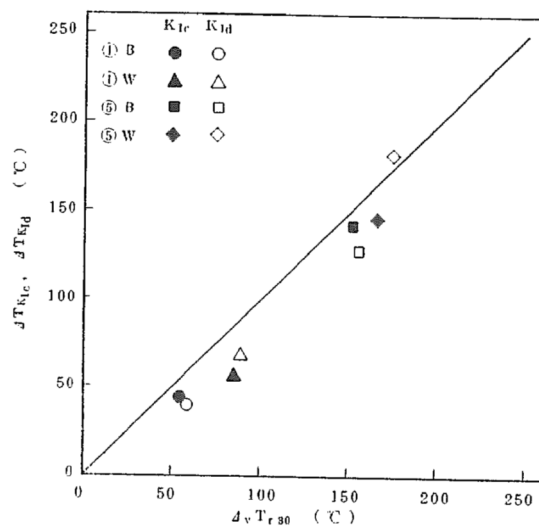


図 3.2-24  $\Delta T_{KIC}$ 、 $\Delta T_{KId}$ 、と  $\Delta vT_{r30}$  の関係

<sup>8</sup> Kirk, M., "The Technical Basis for Application of the Master Curve to the Assessment of Nuclear Reactor Pressure Vessel Integrity," Report No. ADAMS ML093540004. United States Nuclear Regulatory Commission, Washington DC, 2002.

<sup>9</sup> 資料 2-2 5~7p

<sup>10</sup> 溶接部等熱影響部信頼性評価実証試験に関する調査報告書 [原子炉圧力容器加熱熱衝撃試験] [総まとめ版] 平成 4 年 3 月 財団法人 発電設備技術検査協会

(3) 2007年版の式 ( $K_{Ic}$ ) は、データの下限包絡線であったのに対し、2016年版の式 ( $K_{Jc}$ ) は確率分布の信頼下限 5%としていること、及び 5%を下回るデータの取扱いについて

日本電気協会は、2007年版の式の基になった ASME の  $K_{Ic}$  曲線と 5%信頼下限マスターカーブについて、ASME  $K_{Ic}$  曲線開発時のオリジナルデータを対象として破壊靱性カーブに対する各破壊靱性データの温度裕度と破壊靱性曲線を下回る確率の評価が実施されており、次表に示す結果から両者は同等と評価されている<sup>11</sup>としている。

表 3-1 ASME  $K_{Ic}$  カーブと 5%信頼下限のマスターカーブの安全レベルの比較

	温度裕度の平均	下回る確率
ASME $K_{Ic}$ 曲線	$2\sigma$	2.5%
5%マスターカーブ	$2.2\sigma$	1.5%

※ 資料 2-2 より抜粋

また、現時点で 2016 年版の破壊靱性遷移曲線を下回っているデータについては、Lower tail データの累積破損確率の傾向から大きく外れるものは無く、特段適用性に疑義を投げかけるようなデータではないと評価している。

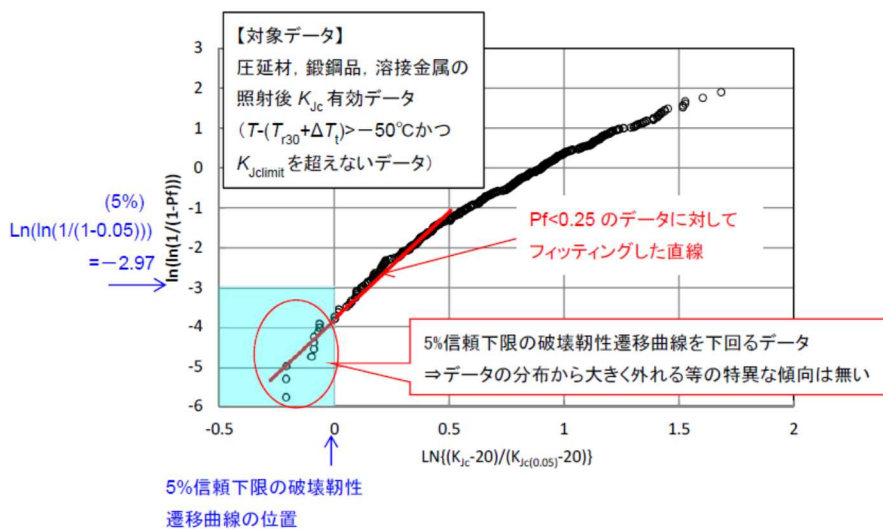


図 3-2 照射後破壊靱性データ(圧延材、鍛鋼品、溶接金属)のワイブルプロット

※ 資料 2-2 より抜粋

- 資料 2-2 の図 3-2 は、データがワイブル分布に従うことを前提に、破壊靱性値と累積確率の指数を示したものである。母集団がワイブル分布に従う場合データは直線状に分布するが、図 3-2 は、なだらかに上に凸の形状をしている。これは、ワイブル分布の位置パラメータ等に補正されるべき値が存在することを示唆しているのではないかと（参考参照）。
- 日本電気協会は、ワイブルプロットの直線性ではなく、 $Pf < 0.25$  のデータに対

<sup>11</sup> Wallin et al., "Statistical re-evaluation of the ASME KIC and KIR fracture toughness reference curves", Nuclear Engineering and Design 193 (1999) 317-326

する直線近似に対して、特異な傾向はないとしているが、Pf<0.25 のデータに対する直線近似ではなく、ワイブルプロットの直線性で評価するのではないか。

<参考>

ワイブル分布の確率密度関数は次式で与えられる。

$$f(K_{Jc}) = \frac{b}{K_0 - K_{min}} \left( \frac{K_{Jc} - K_{min}}{K_0 - K_{min}} \right)^{b-1} \exp \left[ - \left( \frac{K_{Jc} - K_{min}}{K_0 - K_{min}} \right)^b \right]$$

ここで、b、K<sub>0</sub>及びK<sub>min</sub>はそれぞれワイブル分布の指数パラメータ、尺度パラメータ及び位置パラメータである。

- ΔT<sub>t</sub>の算出は圧延材、鍛鋼品、溶接金属で分けて鋼種ごとに実施していることから、鋼種ごとにワイブルプロットを確認する必要があるのではないか。
- 資料2-1「PTS 評価用破壊靱性遷移曲線について」（以下単に「資料2-1」という。）12~14pに示された照射後破壊靱性データを使用したWallin<sup>11</sup>の評価方法を用いた評価結果では、母材（圧延材）における破損確率（下回る確率）は4.1%となっており、ASME K<sub>IC</sub>曲線の2.5%<sup>12</sup>よりも大きな値となっている。提示された技術的根拠では、K<sub>Jc</sub>の確率分布の5%信頼下限の妥当性を判断することはできないのではないか。

評価用破壊靱性遷移曲線の信頼性評価結果

破壊靱性遷移曲線		対象データ*1		遷移曲線を上回る確率 (%)	Wallinの評価方法
材料	ΔT <sub>t</sub> (°C)	全データ	遷移曲線を上回るデータ数		破損確率(%)
母材(圧延材)	-15	230	223	97.0	4.1
母材(鍛鋼品)	8	259	257	99.2	0.9
溶接金属	14	117	116	99.1	0.9

※ 資料2-2より抜粋

<sup>12</sup> 資料2-1添付3

5%マスターカーブの安全レベルは、ASME  $K_{Ic}$  カーブと同等以上  
 ⇒5%信頼下限のマスターカーブで代用可能

	温度裕度の平均	安全レベル (カーブを下回る確率)
ASME $K_{Ic}$ カーブ	$2\sigma$	2.5%
5%マスターカーブ	$2.2\sigma$	1.5%

注)  $\sigma$ は温度裕度の標準偏差。温度裕度を正規分布に従うと仮定して安全裕度(カーブを下回る確率)を算出。

オリジナルASME  $K_{Ic}$ データに対するASMEカーブと5%マスターカーブの安全レベルの評価結果

Wallin et al., "Statistical re-evaluation of the ASME  $K_{Ic}$  and  $K_{IS}$  fracture toughness reference curves", Nuclear Engineering and Design 193 (1999) 317-326

25※ 資料2-2より抜粋

(4) 2016年版の式を決める際に用いたデータについて

日本電気協会は、破壊靱性遷移曲線の設定に用いる破壊靱性データは、2013年までに国内 PWR プラントの監視試験で得られたデータを対象としたとしている<sup>13</sup>。また、マスターカーブの適用範囲に基づき、遷移領域外の低温側 ( $T-T_0 < -50$  °C) のデータ及び拘束が弱い  $K_{Jc}$  が  $K_{Jc(limit)}$  を超えるデータはカーブの設定対象から除外したとしている<sup>14</sup>。

表 4-1 破壊靱性遷移曲線のデータベース ※ 資料 2-2 より抜粋

材料	未照射 データ数	照射後 データ数	Cu の範囲 (wt%)	最大照射量 ( $\times 10^{19}n/cm^2$ E>1MeV)	$T_{r30}$ の範囲 (°C)
圧延材	147	230 (38)	0.03~0.16 (0.03~0.12)	10.0 (5.0~10.0)	-94~95 (-24~95)
鍛鋼品	175	259 (70)	0.02~0.04 (0.04)	7.2 (5.0~7.2)	-68~-8 (-23~-8)
溶接 金属	92	117 (17)	0.01~0.19 (0.01~0.14)	10.0 (5.0~10.0)	-77~59 (-16~58)

注：( ) 内の値は  $\Delta T_t$  の算出にあたり最終的に使用したデータを示す。

- $\Delta T_t$  の決定に使用したデータ数が、少ないのではないか。

<sup>13</sup> 資料 2-2 11p

<sup>14</sup> 資料 2-1 6p

- (5) 「RF-4222 破壊靱性曲線の設定」の(8)式（「マスターカーブ法」をもとに、国内プラント用に策定した $[T_{r30}]$ を用いた式）と(10)式（「マスターカーブ法」をもとに、国内プラント用に策定した $[T_o]$ を用いた式）の差異について

(8)及び(10)式はともに原子炉容器鋼の破壊靱性値がマスターカーブ法と同様にワイブル分布に従うことを前提とした式である。日本電気協会は、(8)式はマスターカーブ法の式の形を用い $T_o$ を $Tr_{30}$ に代えて破壊靱性曲線を設定し、これまでに得られている監視試験の破壊靱性データがその曲線を下回る確率が十分小さくなるように鋼種毎に温度余裕 $\Delta T_t$ を追加したとしている。一方、(10)式は、マスターカーブ法の指標 $T_o$ を用いて破壊靱性曲線を設定し、試験や $\Delta RT_{NDT}$ 計算値<sup>15</sup>の誤差に起因する温度裕度 $M_k$ を追加したものである。

日本電気協会は、公開文献<sup>16,17,18</sup>のPWR監視試験片（鍛鋼品 SFVQ1A）及び試験炉照射材（圧延材（ASTM A533B Class 1））の材料データを使った評価結果から、(8)式及び(10)式ともほぼ同等の破壊靱性曲線が得られるとしている。

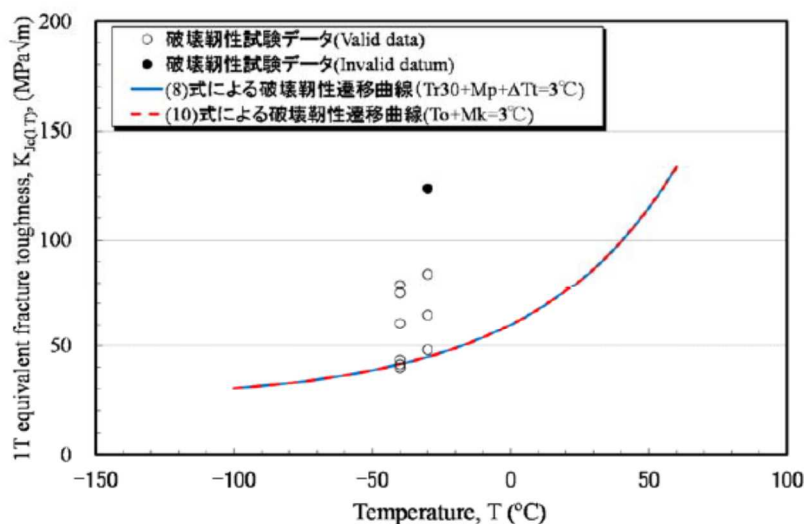


図 5-1 PWR プラント監視試験片の破壊靱性データ[19]と(8)式及び(10)式による破壊靱性遷移曲線の比較

※ 資料 2-2 より抜粋

<sup>15</sup> JEAC4201 で計算される遷移温度移行量

<sup>16</sup> Sugihara, T., et. al., “Applicability of Miniature C(T) Specimen to Fracture Toughness Evaluation for the Irradiated Japanese Reactor Pressure Vessel Steel,” ASME PVP2017-66206.

<sup>17</sup> 平成 29 年 1 月 30 日、敦賀発電所原子炉施設保安規定変更認可申請（2 号炉の高経年化技術評価等）に関する事業者ヒアリング資料 6、「敦賀発電所 2 号炉 高経年化技術評価（原子炉容器の中性子照射脆化）補足説明資料」.

<sup>18</sup> Ha, Y., “Fracture Toughness Evaluation of Neutron-irradiated Reactor Pressure Vessel Steel using Miniature-C(T) Specimens,” ASME PVP2017-65568.



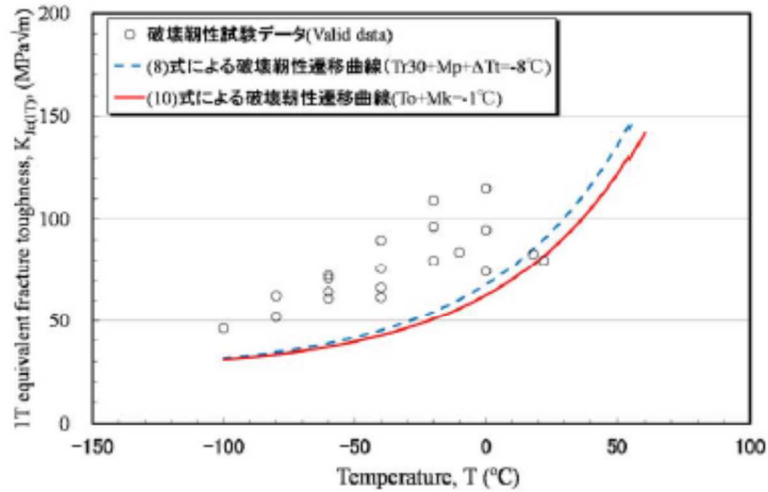


図 5-2 PWR プラント監視試験片2の破壊靱性データ[21]と(8)式及び(10)式による破壊靱性遷移曲線の比較

※ 資料 2-2 より抜粋

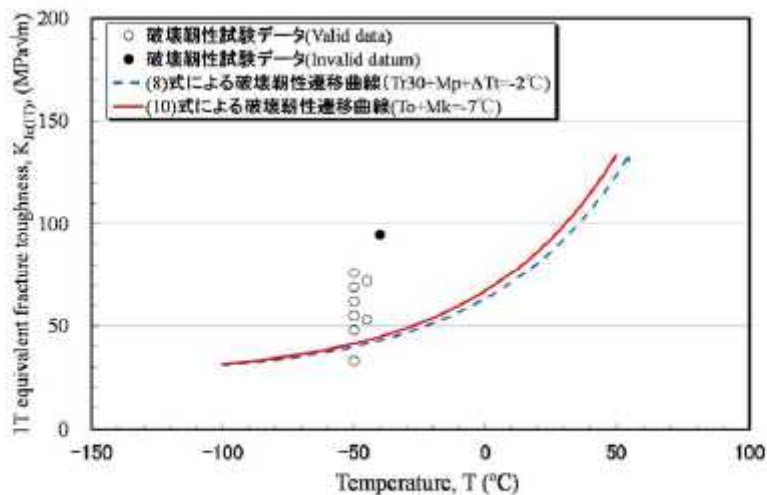


図 5-3 試験炉照射材の破壊靱性データ[22]と(8)式及び(10)式による破壊靱性遷移曲線の比較

※ 資料 2-2 より抜粋

- 実用炉照射の鍛鋼品 2 鋼材と試験炉照射の圧延材 1 鋼材のデータでは、代表性があるかを判断できない。 $T_{r30}$  を用いた (8) 式はこれまでの監視試験の破壊靱性データを用いて温度裕度  $\Delta T_t$  を設定しているが、 $T_0$  を用いた (10) 式では  $T_0$  を直接評価することから、鋼種ごとの温度裕度は設定していない。どちらがよいかという判定はできないことから、いずれの式を用いても同等の結果になることを確認することになるのではないかと。
- $T_0$  を用いた (10) 式では  $T_0$  を未照射材で取得したのものに対しても  $\Delta RT_{NDT}$  計算値 (d) を与えることで評価時期の破壊靱性曲線を設定できることになる。未照射材で

取得した  $T_0$  を用いて評価時期の破壊靱性曲線を設定できる場合、(8) 式の  $\Delta T_t$  のような補正方法を考える必要はないのか。

(6) 供用状態 C, D の評価に用いる式として、マスターカーブ法をもとにした式を導入し、供用状態 A, B には導入しなかった点について

日本電気協会は、供用状態 A, B については、ニーズが低かったことから変更していないとしている。また、今後、供用状態 A, B に関しても、マスターカーブを用いることを継続して検討していきたいとしている。

- 妥当性は判断しないこととしたい。

## 1. 2 質問していない部分についての技術評価案

- (7) RF-4222(1)の(8)(9)式において、 $T_{r30}$ に基づく破壊靱性遷移曲線の設定に使用する補正温度  $\Delta T_t$ は、母材(圧延材)で $-15^{\circ}\text{C}$ 、母材(鍛鋼品)で $8^{\circ}\text{C}$ 、溶接金属で $14^{\circ}\text{C}$ 、中性子照射による破壊靱性の低下量を予測する際のマージン  $M_p$ は、 $3^{\circ}\text{C}$ とした点について

JEAC4206-2016に取り込まれた評価用破壊靱性遷移曲線の検討内容は、日本機械学会論文集「マスターカーブの考え方を取り入れた原子炉圧力容器のPTS評価用の破壊靱性遷移曲線の設定について」に記載されている。破壊靱性データの傾向分析によれば、照射後データは照射前データに比べて高温側に位置していることから、評価用破壊靱性遷移曲線の補正温度  $\Delta T_t$ には照射後の破壊靱性データを用いることとし、圧延材、鍛鋼品及び溶接金属とも照射量 $>5 \times 10^{19}\text{n/cm}^2$ のデータを用いて最尤推定法で補正值(照射量による依存性は一定)を算出したとされている。

また、2016年1月26日の日本電気協会第69回破壊靱性検討会の議事録によれば、 $K_{Jc}$ の中央値を求めるのが目的であるので、下側(試験温度が $T_o - 50^{\circ}\text{C}$ を下回る $K_{Jc}$ )を切るのであれば上側( $T_o + 50^{\circ}\text{C}$ を上回る $K_{Jc}$ )も同様とした計算もあった方が良いとの意見に対して、今回の結果とほとんど変わらず、検証計算であったので、元の計算と同じデータセットで計算したと説明されている。なお、 $T_o + 50^{\circ}\text{C}$ を上回るデータを除外した結果は示されていない。

- 本件は、会合において議論する対象としないこととしたい。
- 検討プロセスの詳細の説明を、次回会合時に提示するよう日本電気協会に依頼することとしたい。

- (8) RF-4222(2)の(12)式において、 $\sigma_M$ は24°C、 $\sigma$ は9.5°Cとした点について、及び二乗和平方根から $\sigma_M$ を減じている点について

$$M_k = 1.65 \times \{ (\sigma_M^2 + \sigma_{T_0}^2 + \sigma^2)^{1/2} - \sigma_M \}$$

$T_0$ に基づく破壊靱性遷移曲線の設定において考慮するマージン $M_k$ は、破壊靱性のばらつきを温度方向のばらつきに換算した時の標準偏差 $\sigma_M$ 、 $T_0$ 決定にあたっての誤差の標準偏差 $\sigma_{T_0}$ 及びJEAC4201附属書Bの国内脆化予測法の予測誤差の標準偏差 $\sigma$ の二乗和平方根の値から $\sigma_M$ を除き、その値に正規分布での片側45%信頼幅の係数1.65を乗じた値としている。

$\sigma_M$ の値については、日本電気協会の審議資料によると、マスターカーブの温度軸方向の破壊靱性の確率密度分布を正規分布に置き換えて、高温側の累積確率が同等となる正規分布の標準偏差が24°Cであったことから、その値を採用したとのことである。

$\sigma$ の値については、「JEAC4201-2007(2013年追補版)原子炉構造材の監視試験方法」附属書Bの「(解説-SA-2120-1)RT<sub>NDT</sub>調整値」に記載する国内脆化予測法(Rev.2)の予測誤差の標準偏差(9.5°C)から引用したものである。

- 本件は、会合において議論する対象としないこととしたい。
- 検討プロセスの詳細の説明を、次回会合時に提示するよう日本電気協会に依頼することとしたい。

(9) 2007年版の「C-3210 中性子照射による破壊靱性低下量の推定方法」の削除

規程の「RF-4222(1) $T_{r30}$ に基づく破壊靱性遷移曲線の設定」において、「 $\Delta RT_{NDT}$ 計算値及び $M_c$ は、評価時期における最大仮想欠陥最深部の照射条件における値とし、JEAC4201の附属書Bにより求める。」と規定している。前記附属書Bでは、B-2100②e.の(7)式においてC-3210の(7)式と同じ式が記載されていることから、重複を避けたものであり、削除は妥当と判断される。

原子炉压力容器に対する供用期間中の破壊靱性の確認方法 2016 年版	原子力発電所用機器に対する破壊靱性の確認試験方法 2007 年版
(削除)	<p>C-3220 破壊靱性遷移曲線の設定</p> <p>(1) 対象とする原子炉压力容器の炉心領域材料について、評価時期における破壊靱性遷移曲線を設定する。</p> <p>(2) 対象とする原子炉压力容器炉心領域材料の破壊靱性データ（照射前後の <math>K_{Ic}</math> 実測値等）を、附属書図 C-3220-1 等に示すように温度軸に対して平行に移行させ、プラント評価時期における中性子照射による破壊靱性低下量を予測し、これらのデータを下限包絡する(8)式を設定する。ただし、原子炉压力容器の温度は <math>0^{\circ}\text{C}</math> 未満となることはないので、<math>0^{\circ}\text{C}</math> 以上の温度範囲の破壊靱性データを対象とすればよい。これが破壊靱性遷移曲線となる。</p> $K_{Ic} = 20.16 + 129.9\exp[0.0161(T - T_P)] \quad (8)$ <p>なお、破壊靱性 (<math>K_{Ic}</math>) データの移行量 (<math>\Delta TK_{Ic}</math>) は C-3230 及び C-3240 に示す手順で求める。</p> <p>C-3230 破壊靱性 (<math>K_{Ic}</math>) の実測値がある場合</p> <p>(1) 監視試験の回数が 1 回以下の場合</p> <p>(a) 未照射材の <math>K_{Ic}</math> データ（附属書図 C-3230-1 参照）</p> $\Delta TK_{Ic} = \Delta RT_{NDT} \text{ 計算値}(f_e) + 2\sigma_{\Delta} \quad (9)$ <p>(b) 照射材の <math>K_{Ic}</math> データ（附属書図 C-3230-2 参照）</p> $\Delta TK_{Ic} = \Delta RT_{NDT} \text{ 計算値}(f_e) - \Delta RT_{NDT} \text{ 計算値}(f_m) + 2\sigma_{\Delta} \quad (10)$ <p>(2) 監視試験の回数が 2 回以上の場合</p> <p>(a) 未照射材の <math>K_{Ic}</math> データ（附属書図 C-3230-3 参照）</p> $\Delta TK_{Ic} = \Delta RT_{NDT} \text{ 計算値}(f_e) + M_c + \sigma_{\Delta} \quad (11)$ <p>(b) 照射材の <math>K_{Ic}</math> データ（附属書図 C-3230-4 参照）</p> $\Delta TK_{Ic} = \Delta RT_{NDT} \text{ 計算値}(f_e) - \Delta RT_{NDT} \text{ 計算値}(f_m) + \sigma_{\Delta} \quad (12)$ <p>C-3240 破壊靱性 (<math>K_{Ic}</math>) の実測値がない場合</p> <p>破壊靱性 (<math>K_{Ic}</math>) の実測値がない場合は、その材料を代表する <math>K_{Ic}</math> 曲線により破壊靱性遷移曲線を設定する。</p> <p>例えば、附属書 A の A-3222 に与えられた <math>K_{Ic}</math> 曲線を用いる場合、下記に示す手順でプラント評価時期の <math>RT_{NDT}</math> を求めて破壊靱性遷移曲線</p>

	<p>を設定することができる。</p> $RT_{NDT} = \text{初期 } RT_{NDT} + \Delta RT_{NDT} \text{ 計算値}(fe) + 2\sigma_{\Delta} \quad (13)$
<p>RF-4222 破壊靱性遷移曲線の設定</p> <p>原子炉压力容器の炉心領域材料について、中性子照射の影響を考慮し、評価時期における破壊靱性遷移曲線を設定する。</p> <p>(1) <math>T_{r30}</math>に基づく破壊靱性遷移曲線の設定</p> <p>以下の式により評価時期における破壊靱性遷移曲線を設定する。</p> $K_{Jc} = 25.2 + 36.6 \exp[0.019\{T - (T_{r30} + \Delta T_t)\}] \quad (8)$ $T_{r30} = T_{r30} \text{ 初期値} + \Delta RT_{NDT} \text{ 計算値} + M_C + M_p \quad (9)$ <p>ここで、<math>\Delta T_t</math>は母材(圧延材)で<math>-15^{\circ}\text{C}</math>、母材(鍛鋼品)で<math>8^{\circ}\text{C}</math>、溶接金属で<math>14^{\circ}\text{C}</math>、<math>M_p</math>は<math>3^{\circ}\text{C}</math>とする。</p> <p><math>\Delta RT_{NDT}</math> 計算値及び <math>M_C</math> は、評価時期における最大仮想欠陥最深部の照射条件における値とし、JEAC 4201 の附属書 B により求める。ただし、2 個以上の監視試験による <math>\Delta RT_{NDT}</math> の実測値がない場合には、<math>M_C</math> を 0 とする。</p> <p>(2) <math>T_0</math>に基づく破壊靱性遷移曲線の設定</p> <p>JEAC 4216 に準拠した <math>T_0</math> が取得されている場合には、以下の式により破壊靱性遷移曲線を設定してもよい。複数の照射条件について <math>T_0</math> が取得されている場合には、高い照射量の <math>T_0</math> を使用すること。</p> $K_{Jc} = 25.2 + 36.6 \exp[0.019\{T - (T_0 + \Delta RT_{NDT} \text{ 計算値}(d) + M_k)\}] \quad (10)$ $\Delta RT_{NDT} \text{ 計算値}(d) = \Delta RT_{NDT} \text{ 計算値}(e) - \Delta RT_{NDT} \text{ 計算値}(m) \quad (11)$ $M_k = 1.65 \times \{(\sigma_M^2 + \sigma_{T_0}^2 + \sigma^2)^{1/2} - \sigma_M\} \quad (12)$ <p>ここで、(10)式の<math>\{\Delta RT_{NDT} \text{ 計算値}(d) + M_k\}</math>は <math>T_0</math> に基づく破壊靱性遷移曲線の中性子照射による温度移行量であり、この温度移行量の求め方を図-RF-4222-1～図-RF-4222-3 に示す。また、<math>\sigma_M</math>は<math>24^{\circ}\text{C}</math>、<math>\sigma</math>は<math>9.5^{\circ}\text{C}</math>、<math>\sigma_{T_0}</math>は(2)式に従って求める。(2)式の <math>K_{Jc(med)}</math> は、JEAC 4216 の単一試験温度法の場合、JEAC 4216 の MCT-5123 で算出される値とし、複数試験温度法による場合、(3)式により等価な <math>K_{Jc(med)}^{eq}</math> を算出すること。</p> <p><math>T_0</math> 決定に使用した試験片が受けた照射量以下の照射量に対して評価する場合には、<math>\Delta RT_{NDT}</math> 計算値(d) 及び <math>\sigma</math> は 0 としてもよい。」</p>	<p>(新設)</p>