

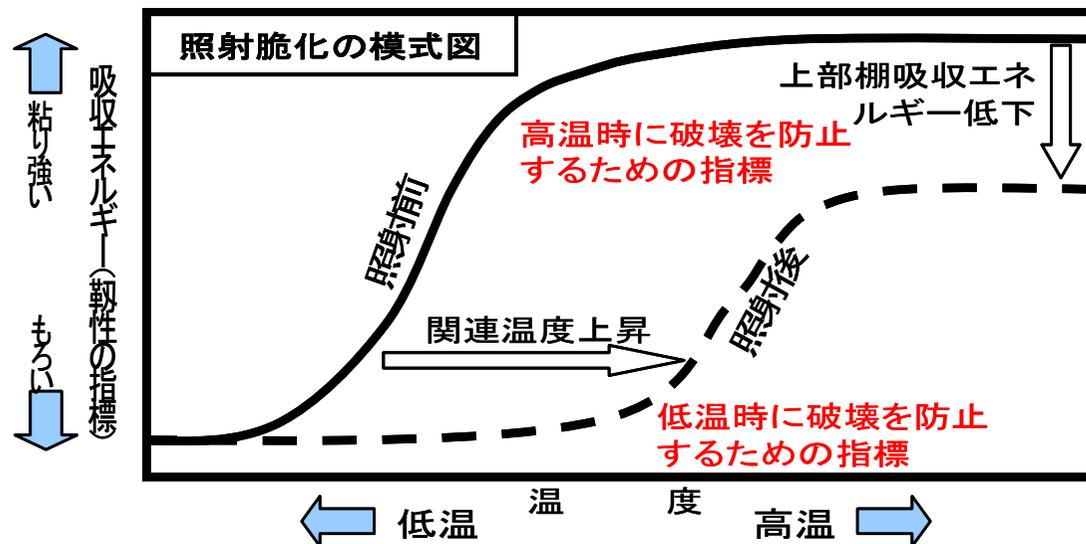
原子炉压力容器の中性子照射脆化について

平成24年1月23日
原子力安全・保安院

1. 原子炉圧力容器の中性子照射脆化について

一般的に材料は中性子の照射を受けると非常に微少な欠陥が生じ、破壊に対する抵抗の低下(粘り強さを失い脆くなる)が生じる事が知られており、これを中性子照射脆化という。原子炉圧力容器の胴部(炉心領域部)においては、中性子照射脆化によって脆性遷移温度(関連温度)の上昇と、上部棚吸収エネルギーが低下することは広く知られており、JEAC4201及び4206に評価手法や基準が定められている。

このため、運転開始当初から原子炉圧力容器と同じ材料の監視試験片を炉内に装荷し、定期的に取り出し、材料の劣化の度合いを事前に把握している。



2. 中性子照射脆化に係る評価手法と規格基準

○中性子照射脆化に係る評価手法

(1) 脆性遷移温度(関連温度)

関連温度を基に、原子炉の耐圧試験や起動・停止等の管理を実施するよう規制を実施。

耐圧試験については、「発電用原子力設備に関する技術基準を定める省令」(以下、「省令」という。)第11条(耐圧試験等)に定められており、「発電用原子力設備に関する技術基準を定める省令の解釈について」(以下、「解釈」という。)において、JEAC4201, JEAC4206に適合することを求めている。

原子炉の起動・停止に関する運転管理については、「核原料物質、核燃料物質及び原子炉の規制に関する法律」第37条(保安規定)において、関連温度を評価し、適切な運転を行うことを求めている。

○JEAC4201

- 関連温度の移行量の予測方法を規定。
- 監視試験片の実測値が予測値を上回る場合には、実測値を包含するマージンを設定。
- 関連温度に制限値はない。

○JEAC4206

- 原子炉の耐圧漏えい試験や起動・停止に関する温度・圧力曲線の制限を規定。
- 温度・圧力曲線の制限のパラメータに関連温度を使用。

2. 中性子照射脆化に係る評価手法と規格基準

○中性子照射脆化に係る評価手法

(2) 上部棚吸収エネルギー

原子炉圧力容器の粘り強さを評価するよう規制を実施。

上部棚吸収エネルギーの評価については、省令第12条(監視試験片)に定めており、解釈において、評価の際はJEAC4201に基づき実施することを求めている。

○JEAC4201

上部棚吸収エネルギーの減少率の予測方法を規定。

○JEAC4206

- 上部棚吸収エネルギーの予測値は、68J(スクリーニング値)以上であること。
- 68Jを下回る場合の詳細評価手法を規定。

2. 中性子照射脆化に係る評価手法と規格基準

○中性子照射脆化に係る評価手法

(3) 加圧熱衝撃

非常用炉心冷却装置が作動した場合に、原子炉圧力容器が健全かどうかを評価するよう規制を実施。

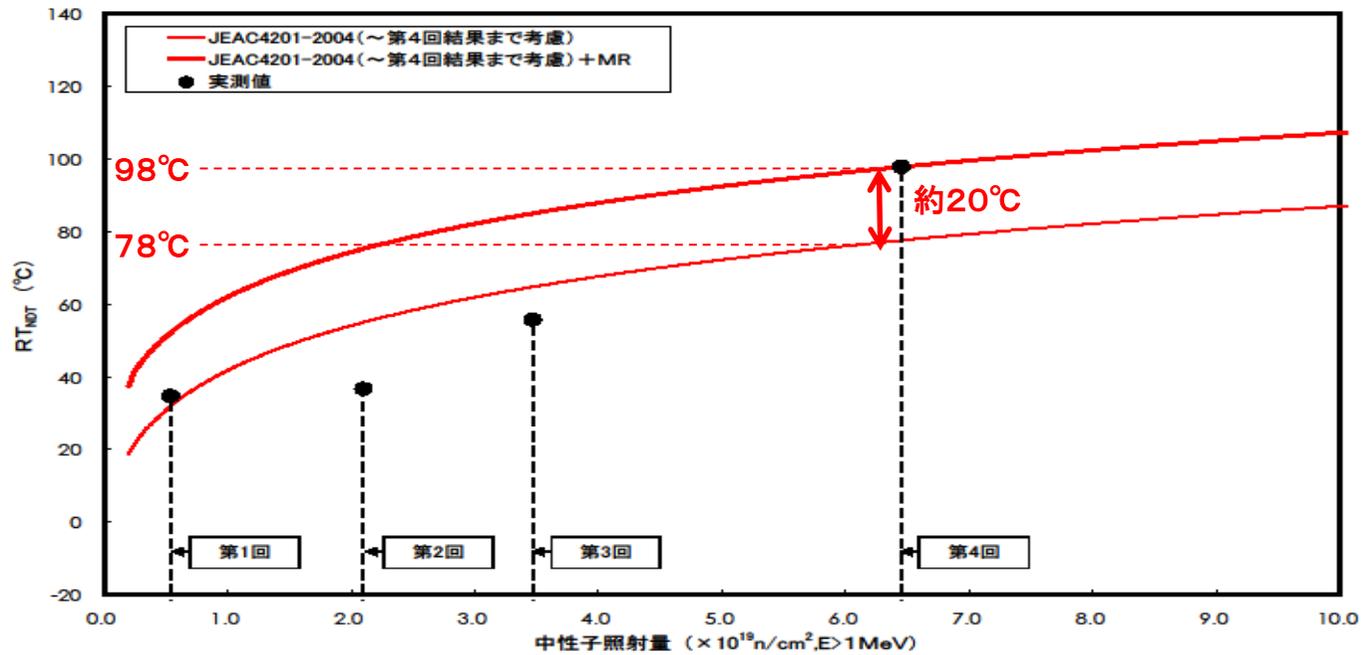
加圧熱衝撃の評価については、省令第8条の2(安全設備)に定めており、解釈において、評価の際はJEAC4206に基づき実施することを求めている。

○JEAC4206

- 加圧水型原子炉圧力容器の炉心領域部の非延性破壊防止のための評価方法を規定。
- 原子炉圧力容器に仮想欠陥を想定して評価を実施。
- 「静的平面ひずみ破壊靱性値 $>$ 応力拡大係数」であること。

3. 玄海1号機の関連温度の予測

JEAC4201-2004による予測

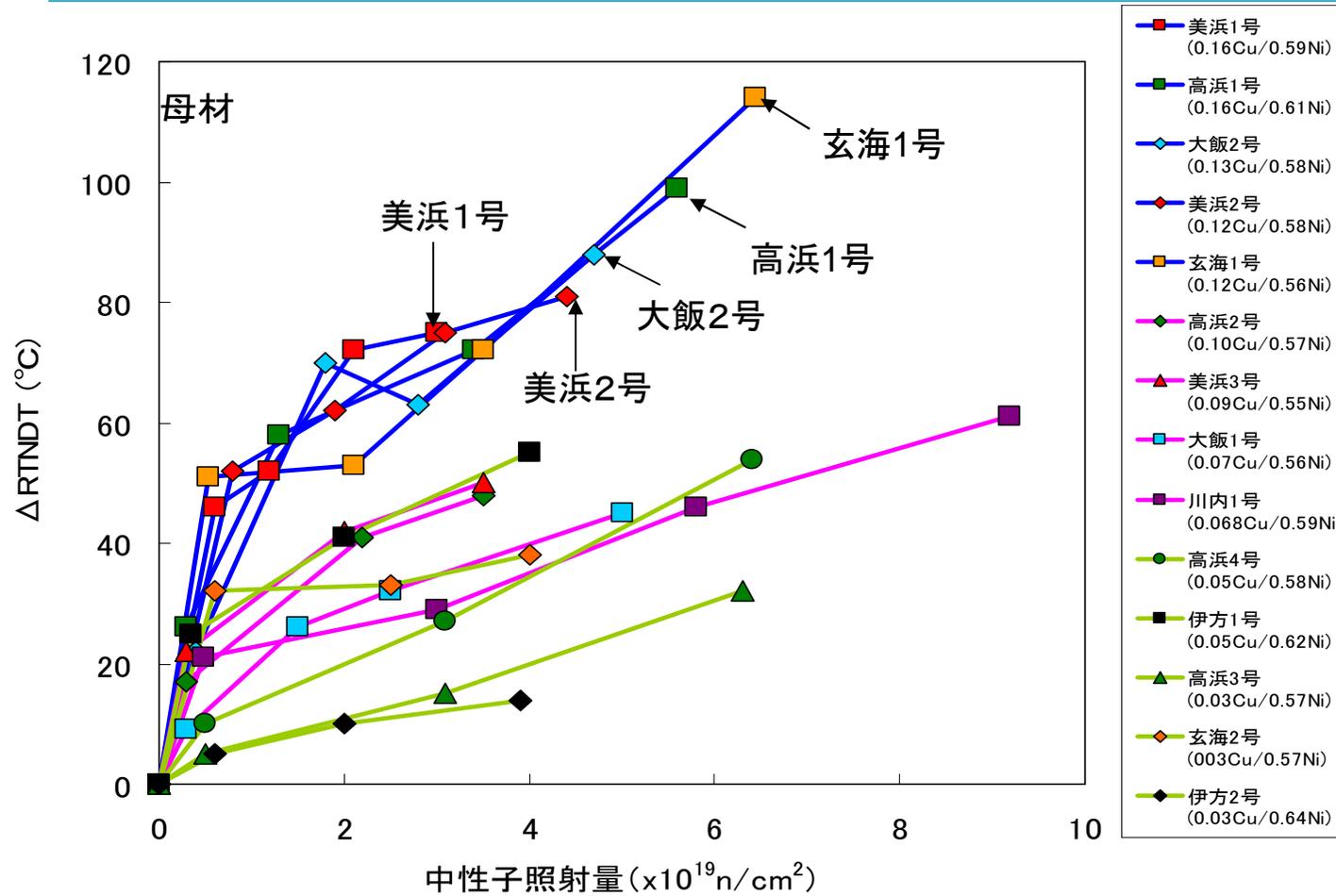


玄海1号機 原子炉容器のRT_{NDT}の予測と実測値(母材)

- ✓JEAC4201-2007の予測式は、照射脆化メカニズムに基づき策定されたものであり、中性子照射量、化学成分(銅含有量等)、中性子束、照射温度を入力することにより関連温度の予測カーブが決まる。
- ✓監視試験片の実測値が予測値を上回る場合には、実測値を包含するマージンを設定。

	1回目	2回目	3回目	4回目
取り出し時期	昭和51年 11月	昭和55年 4月	平成5年 2月	平成21年 4月
原子炉容器の 相当運転年数 (将来予測値)	昭和57年 頃	平成15年 頃	平成31年 頃	平成72年 頃
関連温度(注)	35°C	37°C	56°C	98°C

4. 照射脆化に係る他プラントとの比較(1)

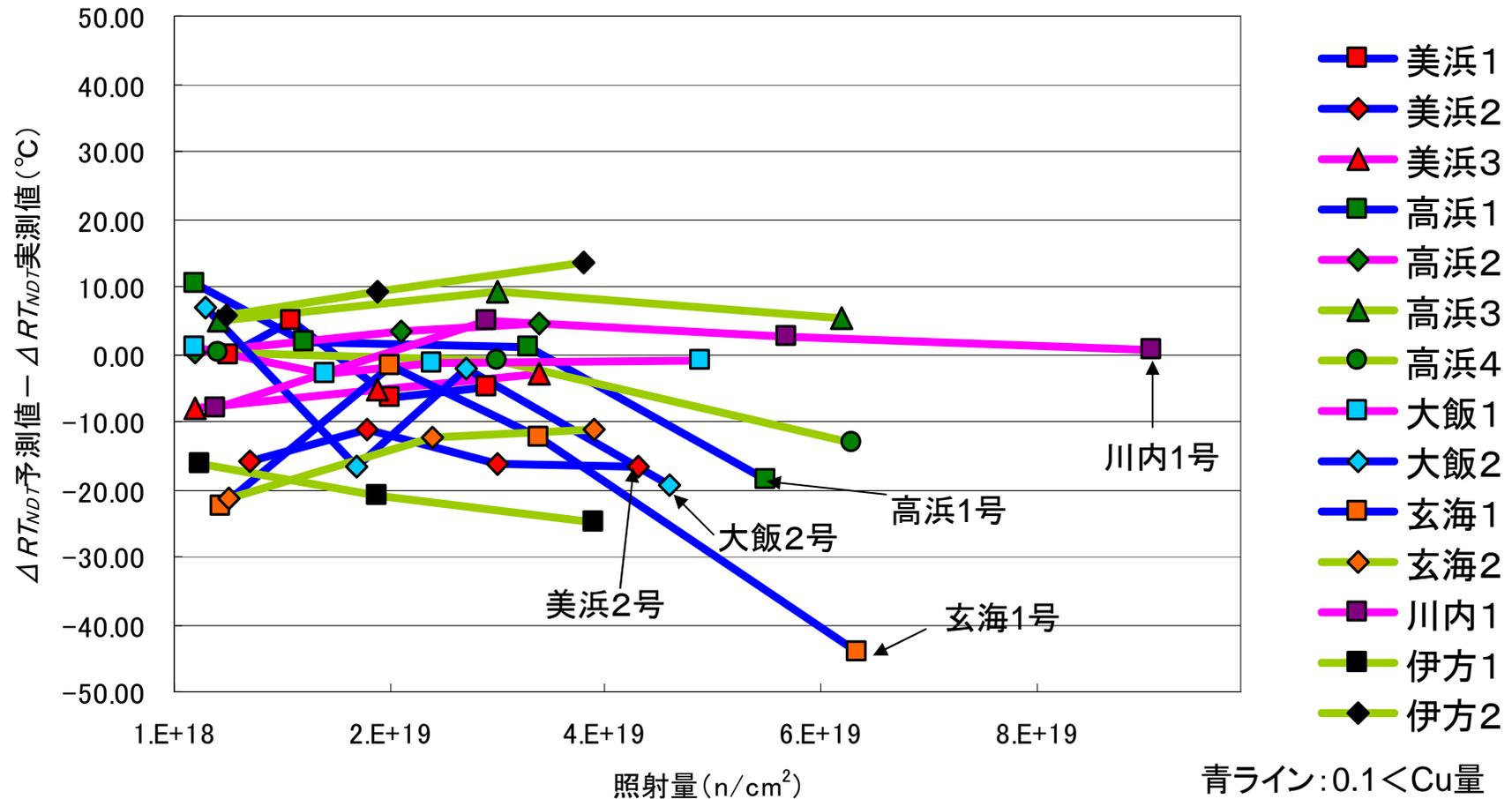


	母材	Cu	Ni
1	美浜1号	0.16	0.59
	高浜1号	0.16	0.61
	大飯2号	0.13	0.58
	美浜2号	0.12	0.58
	玄海1号	0.12	0.56
2	高浜2号	0.1	0.57
	美浜3号	0.09	0.55
	大飯1号	0.07	0.56
	川内1号	0.068	0.59
3	高浜4号	0.05	0.58
	伊方1号	0.05	0.62
	高浜3号	0.03	0.57
	玄海2号	0.03	0.57
	伊方2号	0.03	0.64

青ライン: 0.1 < Cu量
 桃ライン: 0.05 < Cu量 ≤ 0.1
 緑ライン: Cu量 ≤ 0.05

✓ 玄海1号と同程度のCu量を持つ他プラントの脆性遷移温度の上昇(上グラフの青線)と比較しても、同程度の脆化進展傾向を示しているのではないかと。

4. 照射脆化に係る他プラントとの比較(2)



✓ 予測値と試験結果の差(下グラフ)に着目すると、右肩下がり(照射量が増えるにつれて、予測値よりも実測値が高くなる)の傾向が見受けられるのではないかと。

青ライン: $0.1 < \text{Cu量}$
 桃ライン: $0.05 < \text{Cu量} \leq 0.1$
 緑ライン: $\text{Cu量} \leq 0.05$

5. 検討内容

本日の意見聴取会での議論の論点

- 予測値を超える上昇が生じた要因
材料の異常劣化か。予測式の問題か。その他。
- 玄海1号機の原子炉圧力容器の健全性
玄海1号機の原子炉圧力容器の健全性が確保されているか。
- 規制の見直しの必要性の有無について
直ちに現行規制*の見直しが必要か。

現行規制: JEAC4201に基づく脆化予測及びJEAC4206に基づく
PTS評価等

JEAC4201-2007は、原子炉圧力容器の監視試験片の試験計画(材料、形状、数量、照射条件など)、試験方法、試験結果の記録に関する事項を規定している

1. 監視試験片の再生(SA-2240及び附属書C)

再生監視試験片を試験片として適用する規定と、再生監視試験片の仕様に関する規定。

2. 試験用カプセルの取り出し時期(SA-2360)

監視試験片の取り出しスケジュールの規定。

3. 監視試験方法(SA-3000)

監視試験の実施要領、及び監視試験データからの関連温度調整値と上部棚吸収エネルギーの評価要領の規定。

4. 中性子照射による関連温度移行量及び上部棚吸収エネルギー減少率の予測(附属書B)

監視試験データから評価した関連温度移行量、及び上部棚吸収エネルギーの評価値と予測式を用いて、これらの値の将来予測をする要領を規定。

JEAC4206-2007は、原子炉圧力容器を含む機器について、非延性破壊を防止するための材料の破壊靱性の妥当性を確認しなければならない範囲、試験方法、及び合格基準等について規定している

1. 原子炉圧力容器に対する供用期間中の破壊靱性要求 (FB-4000 附属書E)

供用期間中の耐圧・漏えい試験及び運転条件の制限、非延性破壊防止、延性破壊の防止に関する規定。

2. 供用状態A,Bの供用期間中の破壊靱性要求 (附属書A)

1. の要求への適合性を評価するための規定。

3. 供用状態C,Dにおける加圧水型原子炉圧力容器の炉心領域部に対する非延性破壊防止のための評価法 (附属書C)

加圧熱衝撃 (PTS) 時において、1. の要求への適合性を評価するための規定。

4. 上部棚吸収エネルギーが68Jを下回る原子炉圧力容器の健全性評価法 (附属書G)

延性破壊の防止について詳細評価を実施する場合の、上部棚破壊靱性評価要領、最大仮想欠陥、過渡条件、健全性評価の判定基準の規定。