

# 照射脆化した原子炉圧力容器 －その不適切な監視規程－

井野博満（原発老朽化問題研究会）  
20230731、CNICオンラインウェビナー

# FoEウェビナー20230722で話した項目

- (1) 主要6事象の管理では抜け落ちる劣化事象がある
- (2) 「監視規程の古さ」も問題にすべきだ
- (3) 暦年ではなく、中性子照射量に応じて監視試験をおこなうという管理計画は妥当か。運転停止期間は除外できるのか
- (4) BWRの加速照射監視試験データは使えるのか
- (5) PWRの監視試験データは先読みに使えるのか
- (6) 監視試験片が足りないという問題

## (2) 「監視規程の古さ」も問題にすべきだ

規制庁は、経年劣化を

1. 物理的経年劣化事象
2. 非物理的劣化事象 = 設計の古さ

に分けて説明した（7月18日、規制庁ヒアリング）。

それ以上に問題なのは、

3. 非物理的劣化事象 = 監視規程の古さ

ではないか。この古くなった規程で原子炉の監視 = 安全性の評価を行えるのか？

# 日本電気協会のJEAC4201 とJEAC4206

- 「原子炉構造材の監視試験方法」 JEAC4201-2007

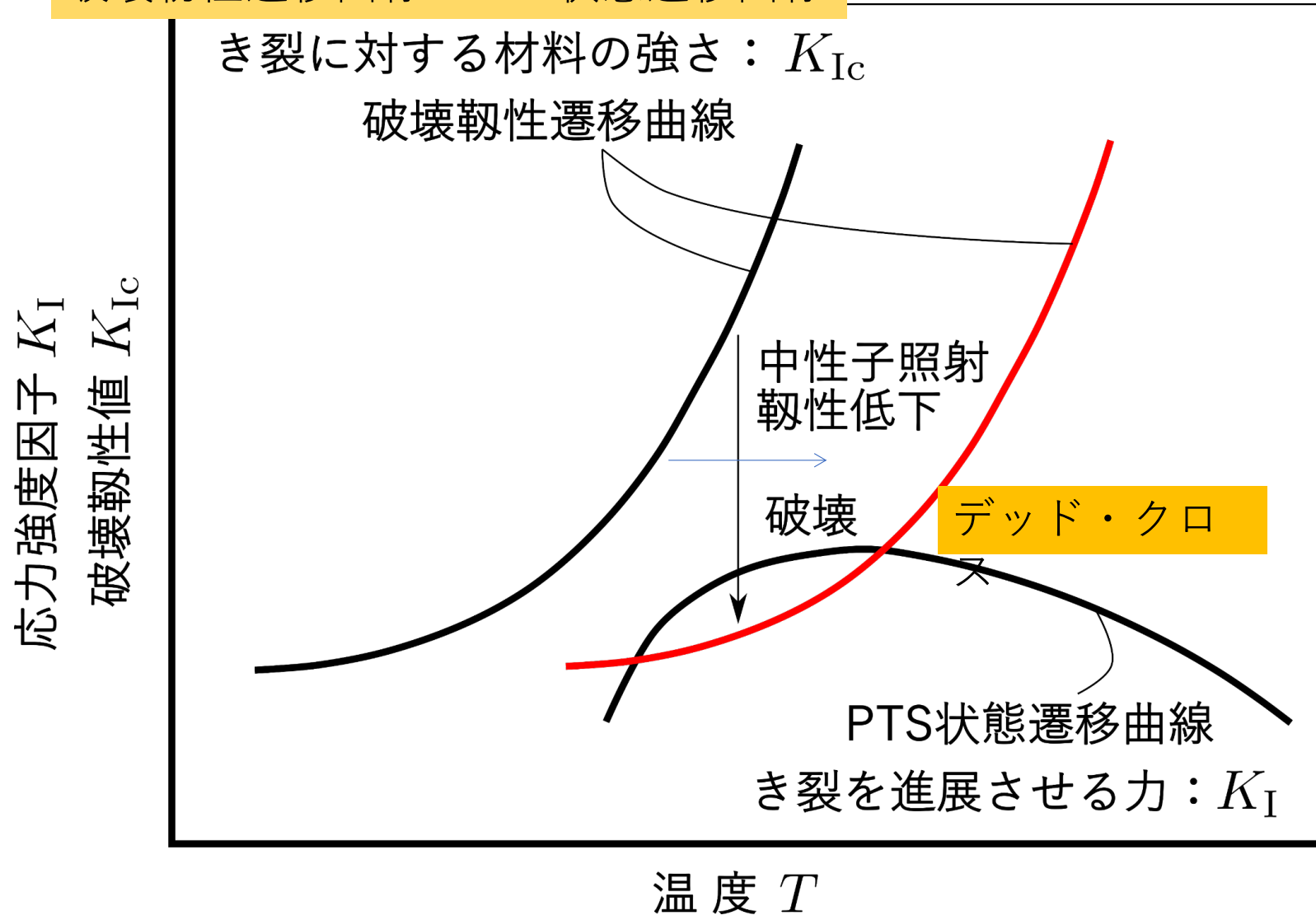
原子炉内に装着する監視試験片の数・種類

シャルピー試験や脆化予測式から脆性遷移温度を求める

- 「原子力発電所用機器に対する破壊靱性の確認試験方法」  
JEAC4206-2007

破壊靱性試験（CT試験）をもとに破壊靱性遷移曲線を求め、熱衝撃（PTS）遷移曲線と比較して、圧力容器の健全性を評価する

破壊靱性遷移曲線とPTS状態遷移曲線

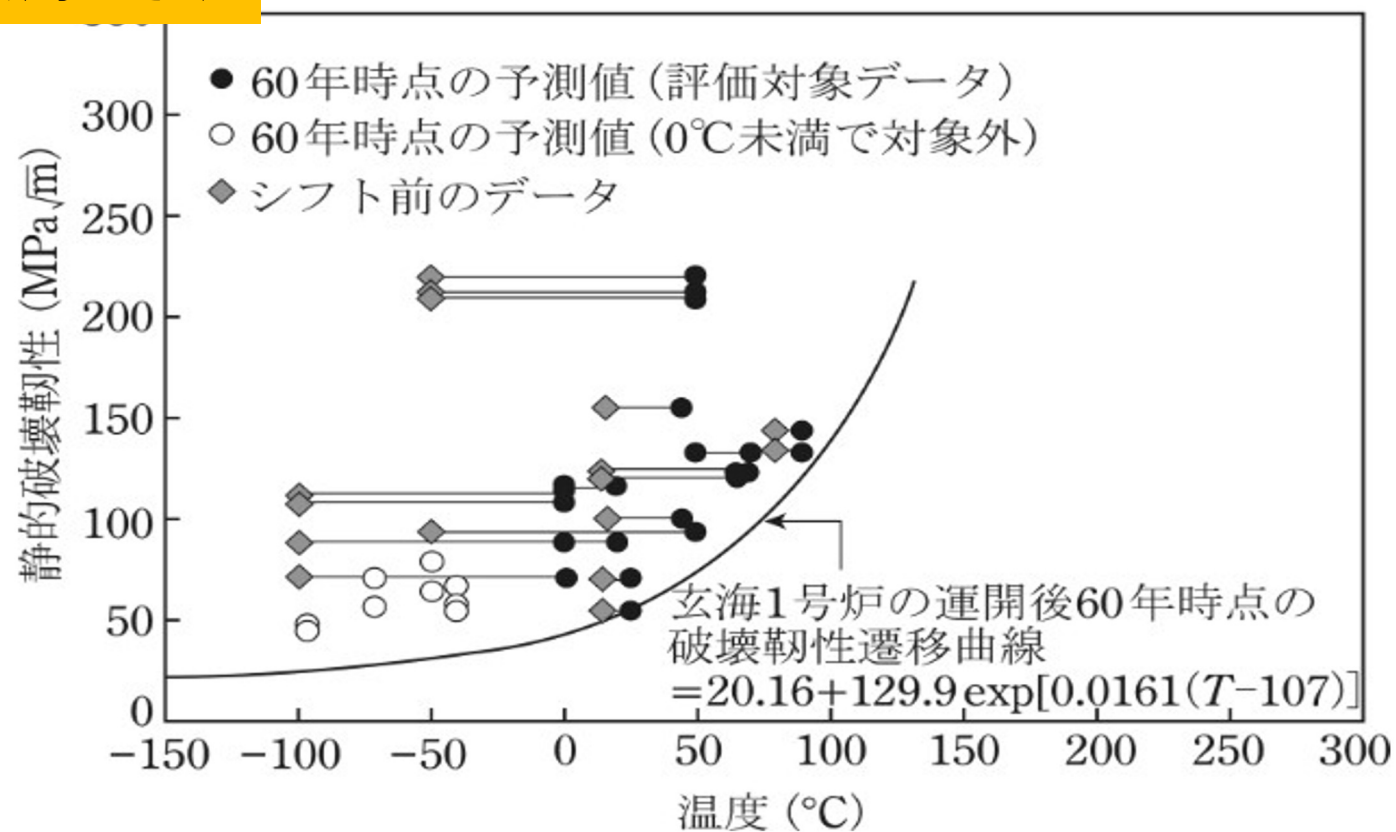


# 破壊靱性曲線導出の問題点

破壊靱性試験の数が少ない。照射量の違う条件のデータを温度シフトして使う「裏技」を使っている。

- 裏技とは・・・シャルピー試験で求まる脆性遷移温度のシフト量が、破壊靱性試験でも同じだろうとして温度シフトする方法
- この「裏技」は、30年以上前の国プロ（「溶接部等熱影響部信頼性実証試験調査報告書、発電設備技術検査協会、1992）の実験が根拠になっているが、その後の研究（NRCやHure et al.）が反映されていない。（規程の経年劣化）

## 玄海1号炉



破壊靱性試験データの温度シフト事例

## 阿部とも子さん主宰の規制庁ヒアリング（7月18日） を受けての追加質問（阿部知子議員事務所から）

- 7. 原子力規制委員会がエンドースする民間規格JEACについて
- 規制庁は、ヒアリングでの説明に際し、経年劣化事象として「物理的な経年劣化」のほかに、「非物理的経年劣化」があるとし、「設計の古さ」を挙げた。加えて、「規制基準の古さ」も俎上に挙げるべきではないのか。監視試験のやり方を定めている電気技術規定JEAC4201-2007やJEAC4206-2007には、2000年代以降の新しい知見が十分反映されていない。このまま、これらの規程に基づいての規制を続けてよいと考えているのか。
- 
- 回答を整理中



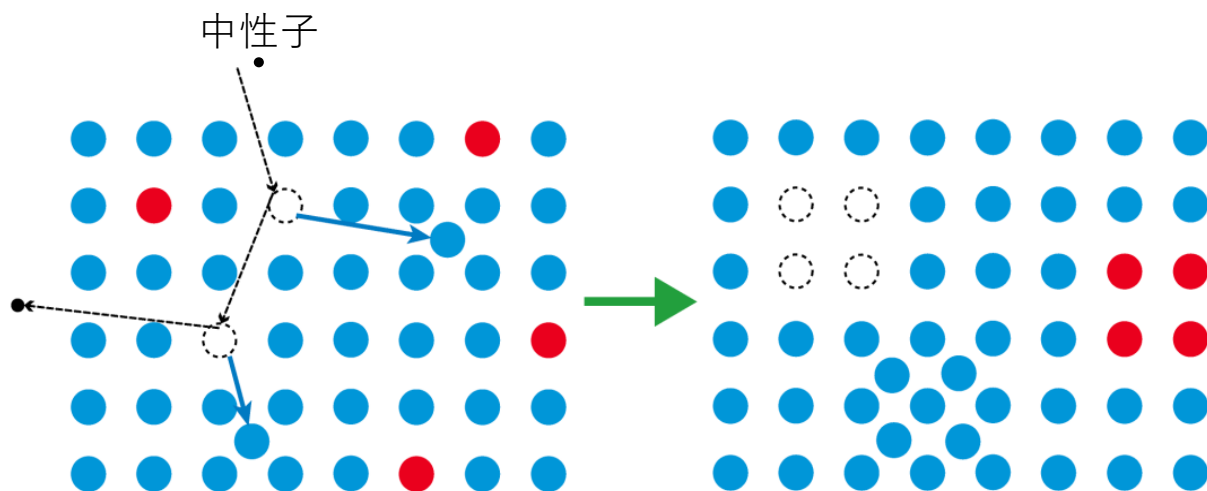
### (3) 暦年ではなく中性子照射量に応じて監視試験をおこなうのは妥当か。運転停止期間は除外できるのか

- 中性子照射による鋼材の脆化は、連続する二つのプロセス：
  - ①照射による格子欠陥（空孔など）の生成、
  - ②その欠陥が結晶中を動いてクラスターなどの塑性変形の障害物を作る過程によって起こると考えられる。
- 運転停止によって①の過程が止まっても、②の進行がまったく起こらないという保証はない。
- モデルでは考慮されていない低温でも動きやすい小さな炭素原子なども多数存在していて、空孔などと相互作用する可能性もある

# ■ 中性子照射により金属が脆化するメカニズム

中性子照射による原子のはじき出し

空孔・格子間原子の拡散（移動）



空孔  
クラスター  
格子間原子  
クラスター } の形成

銅クラスターの形成  
(不純物原子)

材料の硬化  
(照射脆化)

- 鉄原子
- 空孔
- 銅原子(不純物原子)

## 阿部とも子さん主宰の規制庁ヒアリング（7月18日） を受けての追加質問（阿部知子議員事務所から）

### 5. 停止期間中に劣化が進展しない証拠について

- 「高経年化した発電用原子炉の安全規制に関する検討チーム」第3回会合（2023年3月23日）に原子力エネルギー協議会が提出した資料1に、「RPVにおいては、「運転中のような燃料の核分裂反応が起こらないプラントの停止期間中には、中性子の照射による劣化の進展・進行を考慮する必要はない」ことは明らかであり、原子力規制委員会も同様の見解を発出されていると認識している。」（p.7）と記載されている。「」内の記載が事実であるという実験的証拠（evidence）は得られているのか、事業者にその証拠となる文献の提示を求めている。また、「原子力規制委員会も同様の見解を発出されている」のであれば、その文書を示されたい。

（答）

- 中性子照射脆化は中性子の照射によって材料が劣化する事象であるため、中性子が発生しない停止期間中は劣化は進展しません。また、中性子が照射されない場合に中性子照射脆化が進展するような実験的証拠も得られていないと認識しています。
- 上記の考え方を念頭に、原子力規制委員会は令和2年7月29日に「運転期間延長認可の審査と長期停止期間中の発電用原子炉施設の経年劣化との関係に関する見解」を取りまとめました。

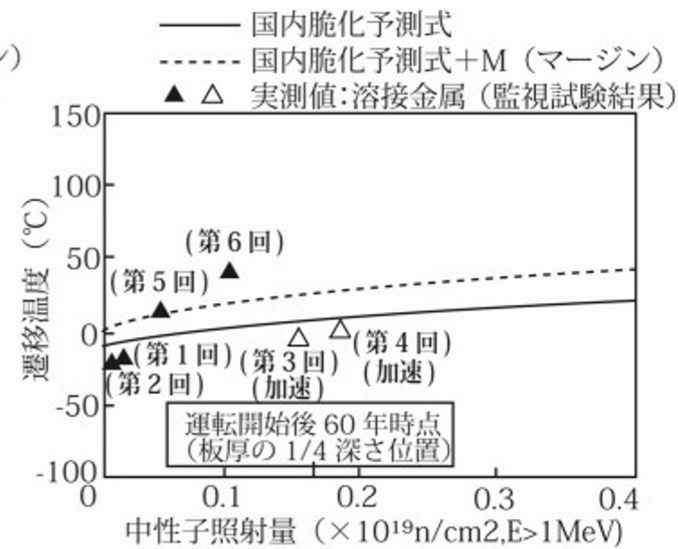
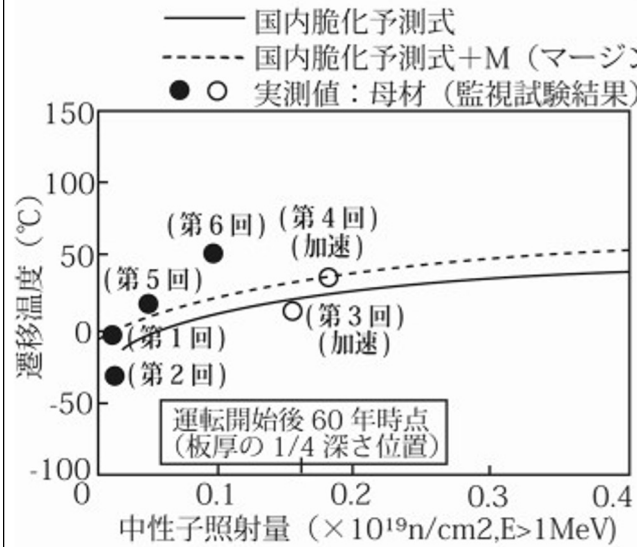
## (4) BWRの加速照射監視試験データは使えるのか

結論：加速照射データは、圧力容器の脆化を低く見積もるので使ってはならない

母材

溶接金属

敦賀1号炉



●印と▲印は通常照射 (炉壁に近い位置に置かれた監視試験片) によるデータ  
 ○印と△印は加速照射 (炉心に近づけて置かれた試験片) によるデータ  
 曲線はJEAC4201-2004にもとづく脆化予測曲線。実線は計算式、破線は+マージン

## 規制庁ヒアリングを受けての追加質問 (阿部知子議員事務所から)

- 3. BWRの中性子照射脆化の試験について
  - (1) 「高経年化した発電用原子炉の安全規制に関する検討チーム」第3回資料1で事業者側(ATENA)が示したレポートにおいて、「BWRプラントで想定される照射量はPWRに比べて $10^2$ 程度小さく想定される運転期間における照射量の領域において十分なデータが取得されている」としているが、規制委・規制庁はどのような認識か。
  - (2) 取得されているというデータには加速照射データも含まれているか。
  - (3) 敦賀1号炉や福島第一原発の監視試験では、加速照射データが通常照射データにくらべ著しく低い値を示しており、同列に扱うことはできないのではないか。
  -
- 回答を整理中

## (5) PWRの監視試験データは先読みに使えるのか

- 原子力規制委員会山中伸介委員長は、60年を超える照射脆化のデータが既にあると辻元清美議員への答弁で述べた。川内原発の監視試験データが念頭にあったと思われる
- 九州電力「川内原発1, 2号炉の劣化状況評価（中性子照射脆化）」（2022年12月23日）によると、川内1号炉の第5回監視試験結果（2019年8月）での中性子照射量が $12.4 \times 10^{19} \text{n/cm}^2$ で、内面から板厚1/4位置深さに換算すると114EFPY（Effective Full Power Year）に該当するとしている。（2号炉についてもほぼ同様。）
- この時点での圧力容器の照射量は、 $3.0 \times 10^{19} \text{n/cm}^2$ なので、4倍以上の加速照射の結果とみることができる。しかし、加速照射が過小評価になることは、敦賀1号炉などで明らかになっており、「60年を超える運転において圧力容器が受ける照射量に相当する監視試験データが既に得られている」などということはいえない

## 規制庁ヒアリングを受けての追加質問 (阿部知子議員事務所から)

### • 4. PWRの中性子照射脆化の試験について

- (1) 九州電力「川内原発1, 2号炉の劣化状況評価(中性子照射脆化)」(2022年12月23日)によると、川内1号炉の第5回監視試験結果(2019年8月)での中性子照射量が $12.4 \times 10^{19} \text{n/cm}^2$ で、内面から板厚1/4位置深さに換算すると114EFPYに該当するとしている。(2号炉についてもほぼ同様)この時点での圧力容器の照射量は、 $3.0 \times 10^{19} \text{n/cm}^2$ なので、4倍以上の加速照射の結果とみることができる。しかし、加速照射が過小評価になることは、理屈上も実際上も明らかになっており、「60年を超える運転において圧力容器が受ける照射量に相当する監視試験データが既に得られている」などということとはできないのではないかと。

### • 回答を整理中



## (6) 監視試験片が足りないという問題

原発の運転期間を40年と想定して設計していたので、それ以上の試験片は装着していない

⇒再生試験片で補う

- ・溶接熱影響部（HAZ）の試験片作製が困難
- ・ミニCT試験片は低温領域での試験しかできない

CT試験片はサイズが大きく、カプセル内に入れていた本数が少なかった

⇒破壊靱性曲線の信頼性が低い

1. 高浜1号機

監視試験 回次	区分	試験温度 (℃)	適切なデータが得られなかった理由
1	母材	288	①延性破壊
		100	①延性破壊
		19	適切なデータが得られた
		-100	適切なデータが得られた
2	溶接金属	288	①延性破壊
		150	①延性破壊
		24	適切なデータが得られた
		-50	適切なデータが得られた
3	母材	288	①延性破壊
		80	適切なデータが得られた
		50	適切なデータが得られた
		19	適切なデータが得られた
4	溶接金属	288	①延性破壊
		200	①延性破壊
		75	適切なデータが得られた
		0	適切なデータが得られた

2. 高浜2号機

監視試験 回次	区分	試験温度 (℃)	適切なデータが得られなかった理由
1	母材	288	①延性破壊
		100	①延性破壊
		14	適切なデータが得られた
		-100	適切なデータが得られた
2	溶接金属	100	①延性破壊
		60	②試験装置の故障
		14	適切なデータが得られた
		-30	適切なデータが得られた
3	母材	288	①延性破壊
		20	適切なデータが得られた
		-10	適切なデータが得られた
		-40	適切なデータが得られた
4	溶接金属	288	①延性破壊
		-10	適切なデータが得られた
		-45	適切なデータが得られた
		-80	適切なデータが得られた

