

老朽化研究会 4月9日 衆院第一議員会館

【高浜原発1・2号機寿命延長問題】

～原子炉容器の老朽化、その判断根拠を問う～

原子炉容器の 照射脆化とは何か

元原子力プラント設計技術者
NPO法人【APAST】理事長

博士(工学) 後藤 政志

内 容

1. 原発の老朽化とは
2. 原子炉圧力容器が古くなると・・・
3. 過去に起きた“脆性破壊”の例
4. ECCS(緊急冷却装置)が作動すると原子炉容器が割れる！　—最悪の原発破壊—

1. 原発の老朽化とは

◆原発の設計寿命と寿命延長

一般的に30年を超えると経年劣化が懸念されてくる。
現在、「40年を越えて運転はできない」としている。

例外として、事業者が40年を超えて運転するには、

①「経年劣化の評価」

②「保全を遂行する技術的能力」

を審査し問題がないものに限り運転延長を承認する。

⇒すべて検査ができる訳ではない。

◆老朽化に伴う様々なリスク増大

—代表的なものを示す。実際は膨大なチェック項目がある—

- * **原子炉容器の中性子脆化** (ほか炉内構造物の劣化)
- * 腐食、疲労、減肉、応力腐食割れ(SCC)・・・容器・配管
- * エロージョン・コロージョン・・・配管
- * ケーブルの劣化
- * 鉄筋コンクリートの劣化・・・特に、鉄筋の腐食 原子炉建屋
- * **埋め込み金物の非破壊検査**・・・原子炉基礎や格納容器
下部のコンクリートに埋め込まれた基礎ボルトなど
- * 再循環ポンプ、冷却材ポンプなどの疲労
- * タービンほか大型回転機械の軸受け部 など

2. 原子炉圧力容器が古くなると・・・

◆中性子照射脆化とは

高速中性子照射を 10^{20} n/cm²程度受けると鋼材が脆くなる。

照射脆化すると“強度”は上がるが、“靱性”が落ちる。

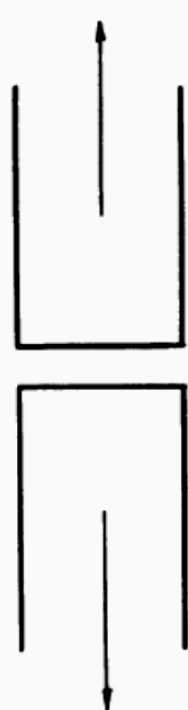
◆鋼材の壊れ方(破壊モード)

◆延性破壊と脆性破壊

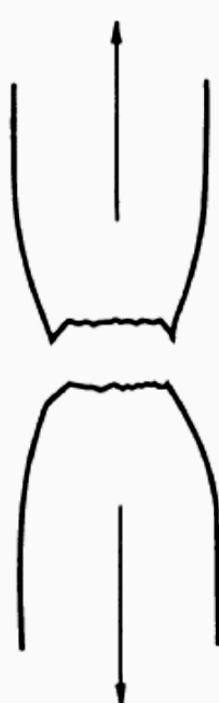
◆脆性遷移温度の上昇

◆脆性破壊の発生条件

鋼材の引張り破壊モード(壊れ方)



脆性破壊



カップアンド
コーン型



二重カップ型



のみの
刃先型



せん断型

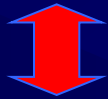
脆性(もろい)



延性(のびる)

鋼材の各種破壊モード(壊れ方)

◆**延性破壊** : 十分塑性変形した後の破壊
最も一般的な破壊



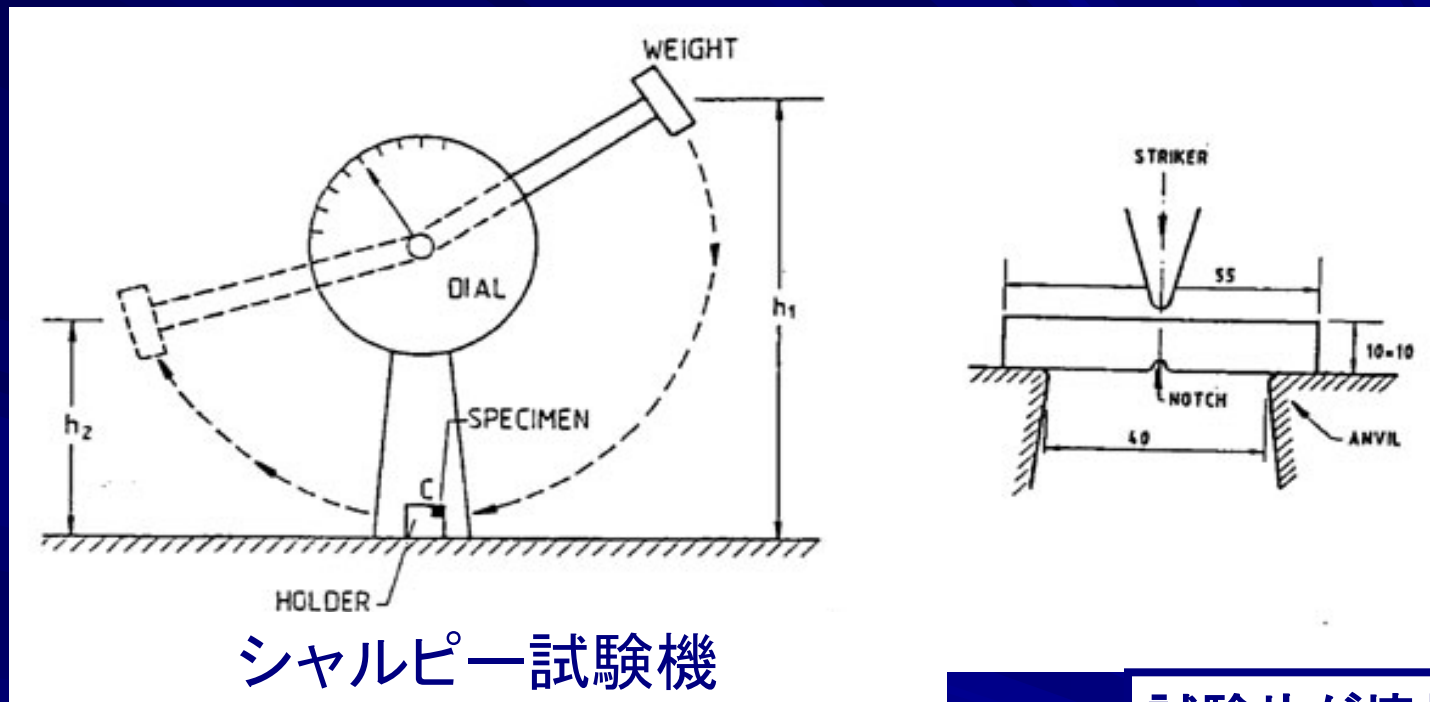
◆**脆性破壊** : ほとんど塑性変形せずに破壊
小さな応力でも発生する極めて急激な破壊
低温・切欠き・衝撃・溶接による脆化等で発生

【照射脆化】⇒原子炉では、中性子があたると脆くなる

その他破壊モード

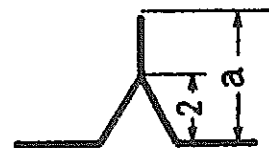
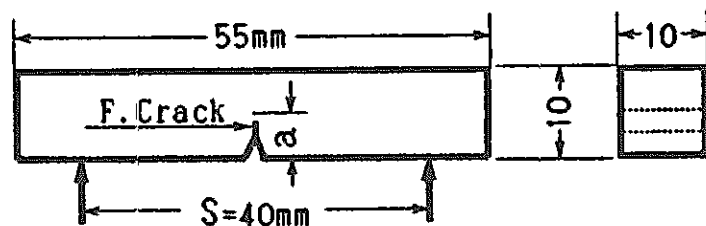
- 疲労破壊 : 繰り返し荷重により亀裂が発生・進展しやがて破断する。
- 応力腐食割れ : ステンレス鋼等が、腐食環境下で静的応力下で割れを発生する。
- クリープ破壊 : 高温になると一定の荷重においても、時間と共に変形が進む減少。

『ものが破壊する時の消費されるエネルギー』を測る！



試験片が壊れる時
吸収されるエネルギーを計測する。

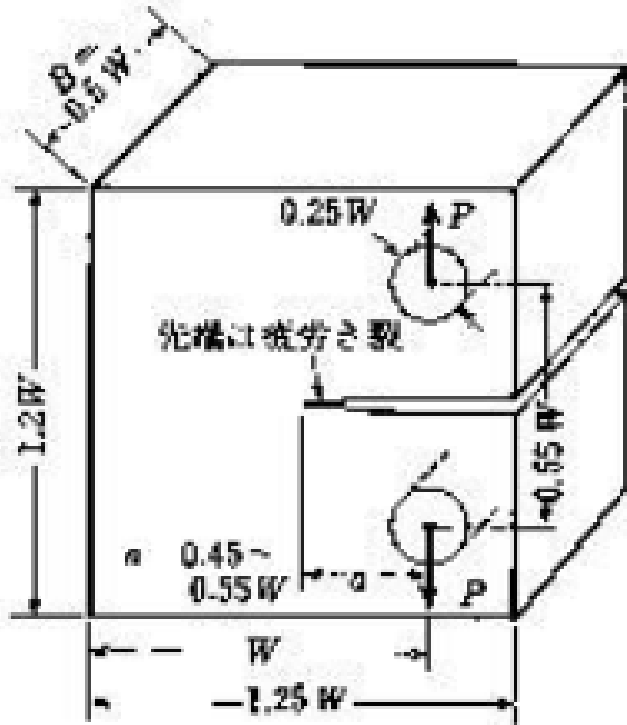
この吸収エネルギー
が大きいほど破壊し
にくい！



シャルピー試験片

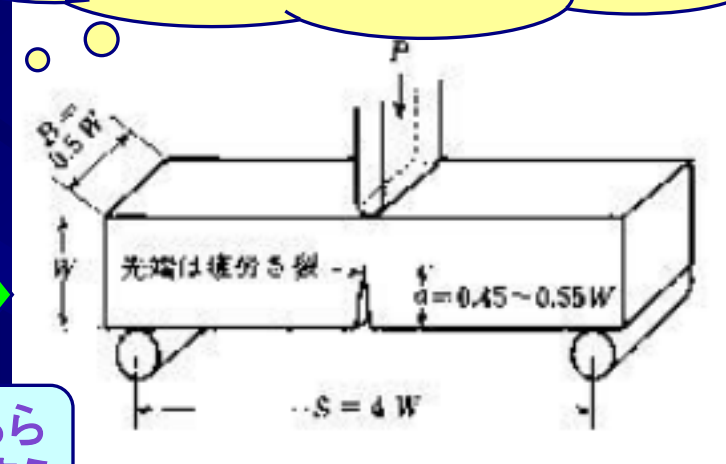
破壊靱性試験

破壊靱性とは、亀裂の発生、伝播、停止を評価すること！



コンパクト(CT)試験片

衝撃で材料が破壊するかしないか調べる



どちらか使う

3点曲げ試験片

亀裂が進展(破壊)しない条件

$$K_I \geq K_{Ic}$$

亀裂の計算で求める

K_I : き裂の応力拡大係数,

K_{Ic} : 材料の破壊靱性値

3. 過去に起きた脆性破壊事例

- ◆ヨーロッパで鋼製橋梁の脆性破壊
- ◆ボイラー等圧力容器の脆性破壊
- ◆タイタニック号の氷山衝突時の破壊(1912)
- ◆米国の戦時標準船の脆性破壊(～1945)

【脆性破壊】
【破壊力学】
の研究以前

-
- ◆兵庫県南部地震による橋梁・建物の極厚鋼製柱の脆性破壊(1995)

解決されたと思われた脆性破壊が起きた！

大型構造物では、大事故になることが多い

⇒脆性破壊は影響する因子が多いので不確定性が高い。

十分な脆性破壊防止策を！

⇒脆性破壊は、構造設計上最も避けねばならない破壊だ！

タイタニック号沈没 1912年



◆太西洋で氷山に衝突、“浮沈船”が沈没！

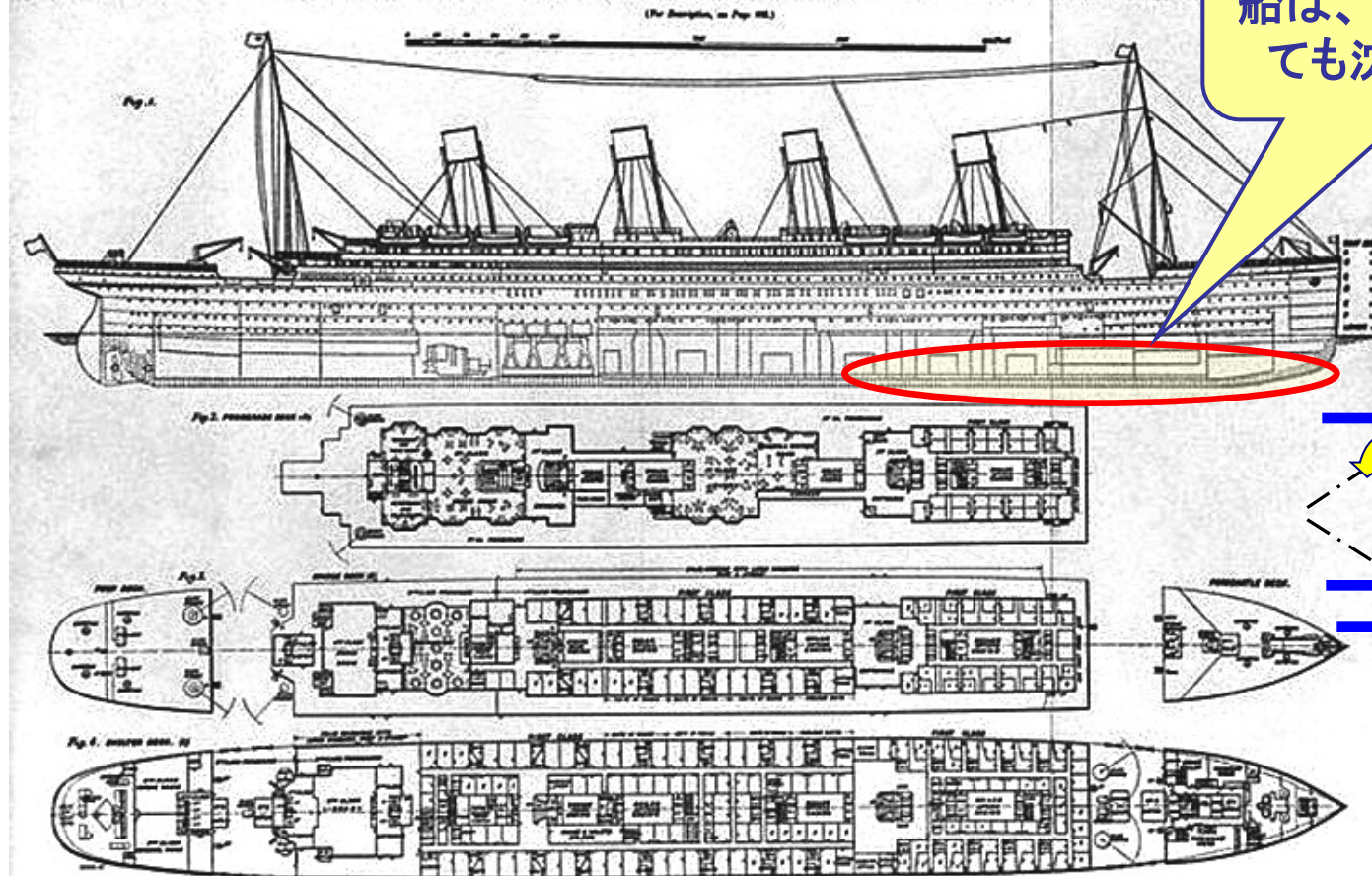
◆一度に多数の区画が浸水

◆船体鋼板とリベットがもろく “脆性破壊” 水温 - 2°C。

(“脆性破壊”でなくとも沈没した可能性はあるが、材料が脆かったことは事実)

タイタニック号

INQUIRY INTO THE LOSS OF THE "TITANIC;" LONGITUDINAL SECTION AND PLANS SHOWING BULKHEADS, MEANS OF EGRESS FR
(For Description, see Page 102.)



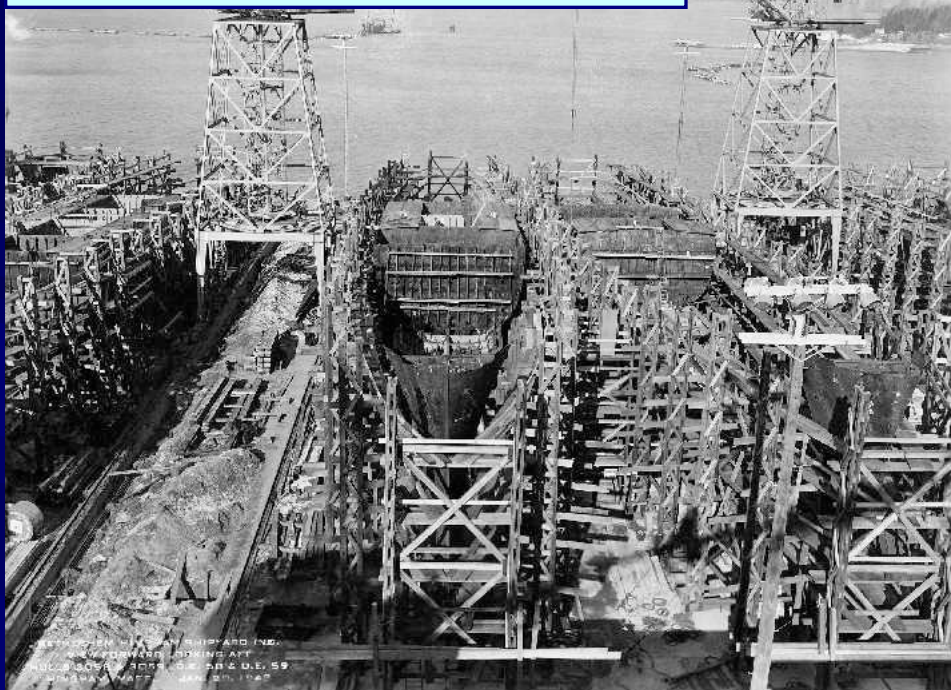
6区画が破れた？
船は、1、2区画破れ
ても沈没しない！

次々と浸水

◆15ある横隔壁の上部が水密でなかった。

リバティ船の連続建造と脆性破壊

ベツレヘム・ヒンガム造船所



【リバティ船】 戦時標準船
米国、第二次世界大戦中
積載重量11,000トン
全溶接船、ブロック建造法
1939～1945年

⇒ 2,708隻建造

⇒ 1,031損傷件数(？)

◆リバティ船の損傷数:1,289隻 ・沈没or使用不能:233隻

⇒ 損傷・事故の大半は『脆性破壊』

⇒ 冬季の静かな海で、合計7隻が瞬時に折損事故

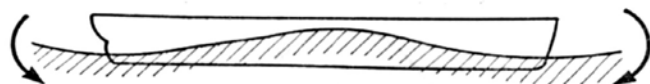
◆リバティー船(輸送船)と同様に戦時標準船として【T2タンカー】約500隻建造

静かな海で突然船体が真二つに！

T2タンカー
スケネクタディ号

典型的な脆性破壊

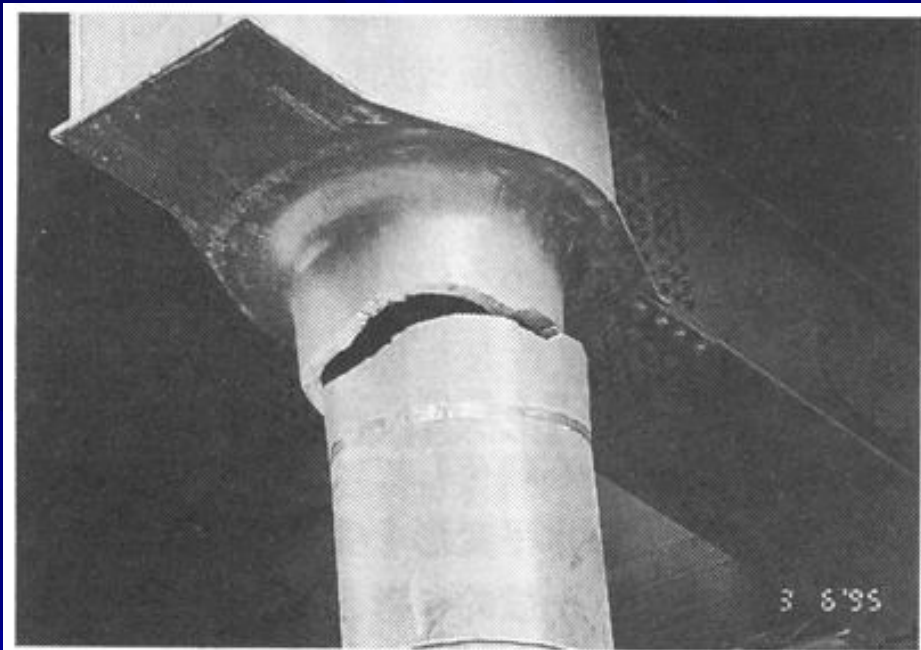
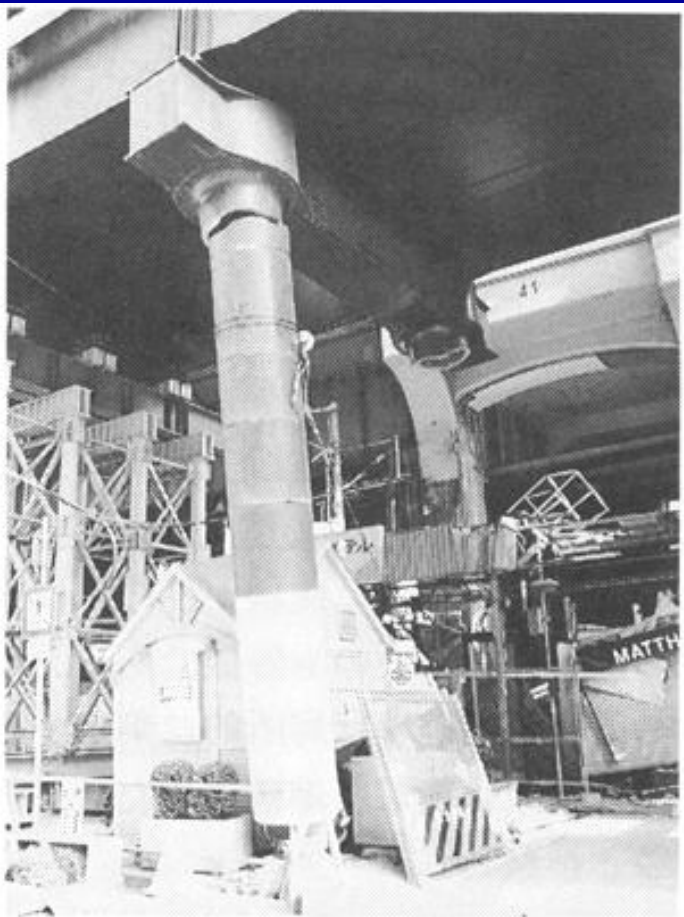
- ◆波のない穏やかな海で発生！
- ◆波浪による設計荷重の数分の一の力で破壊



曲げモーメント

- ◆大音響と共に瞬時に破断
- ◆脆性破壊：溶接欠陥から亀裂が音速レベルの速度で進む！

兵庫県南部地震(1995)における脆性破壊



- ◆低温
- ◆厚板
- ◆衝撃荷重
- ◆欠陥
- ◆材質
- ◆大規模構造

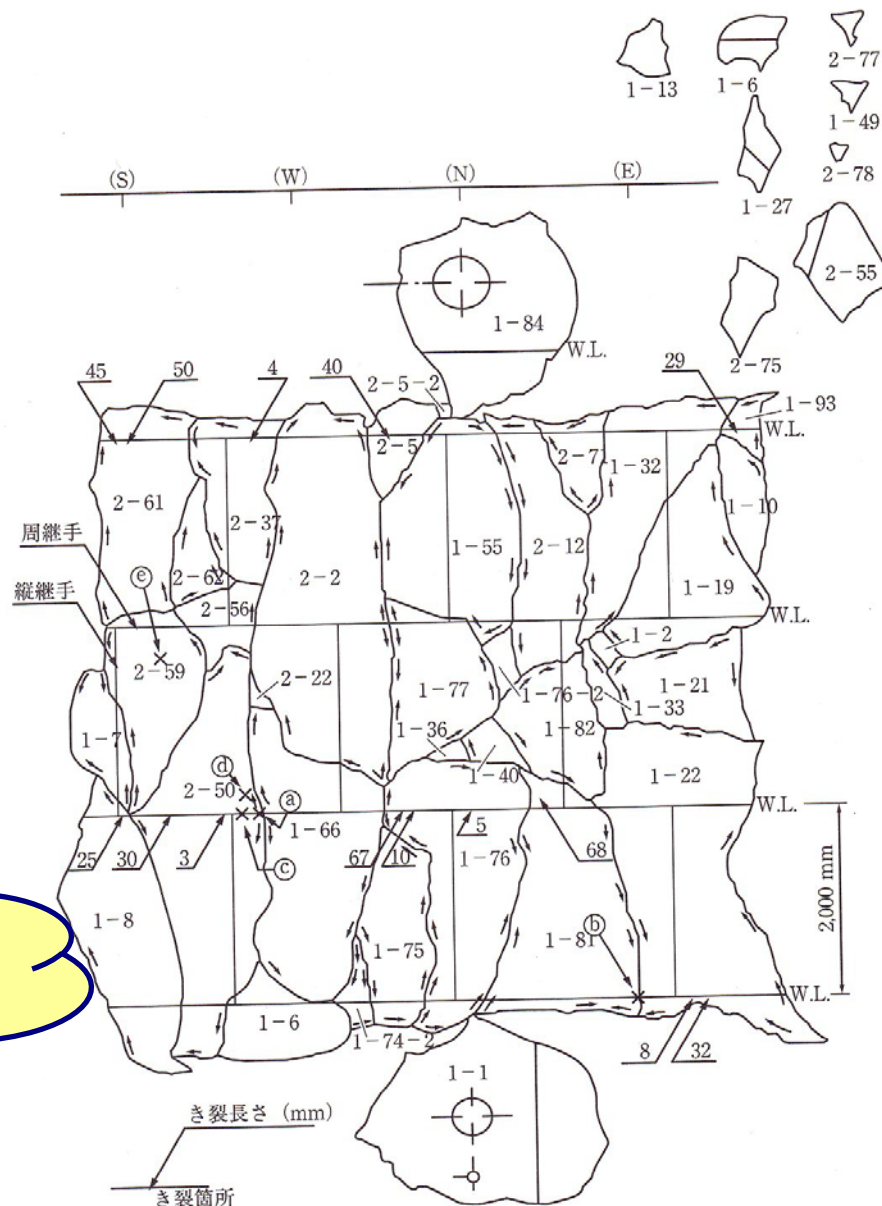
◆地震による『脆性破壊』はめずらしい！ ⇒ひずみ速度(衝撃)
⇒延性亀裂から脆性亀裂へ ⇒繰り返し荷重で硬化 等

【脆性破壊の例】

水添脱硫装置の 反応塔

破壊は欠陥から発生した
亀裂が瞬時に伝播し爆発
的に破片を飛散させた。

容器の脆性破壊は破片
が爆発的に飛び散る



破片の状況

4. 原子炉容器を冷やすと急激に割れる！ —最悪の原発破壊事故—

- ◆原子炉圧力容器の中性子照射による脆化

- ◆遷移温度の上昇

- ◆上部棚吸収エネルギーの低下

⇒結果として、『靱性値低下』割れ易くなる！

- ◆冷却材喪失事故が発生

⇒緊急炉心冷却系(ECCS)作動、冷水が原子炉へ

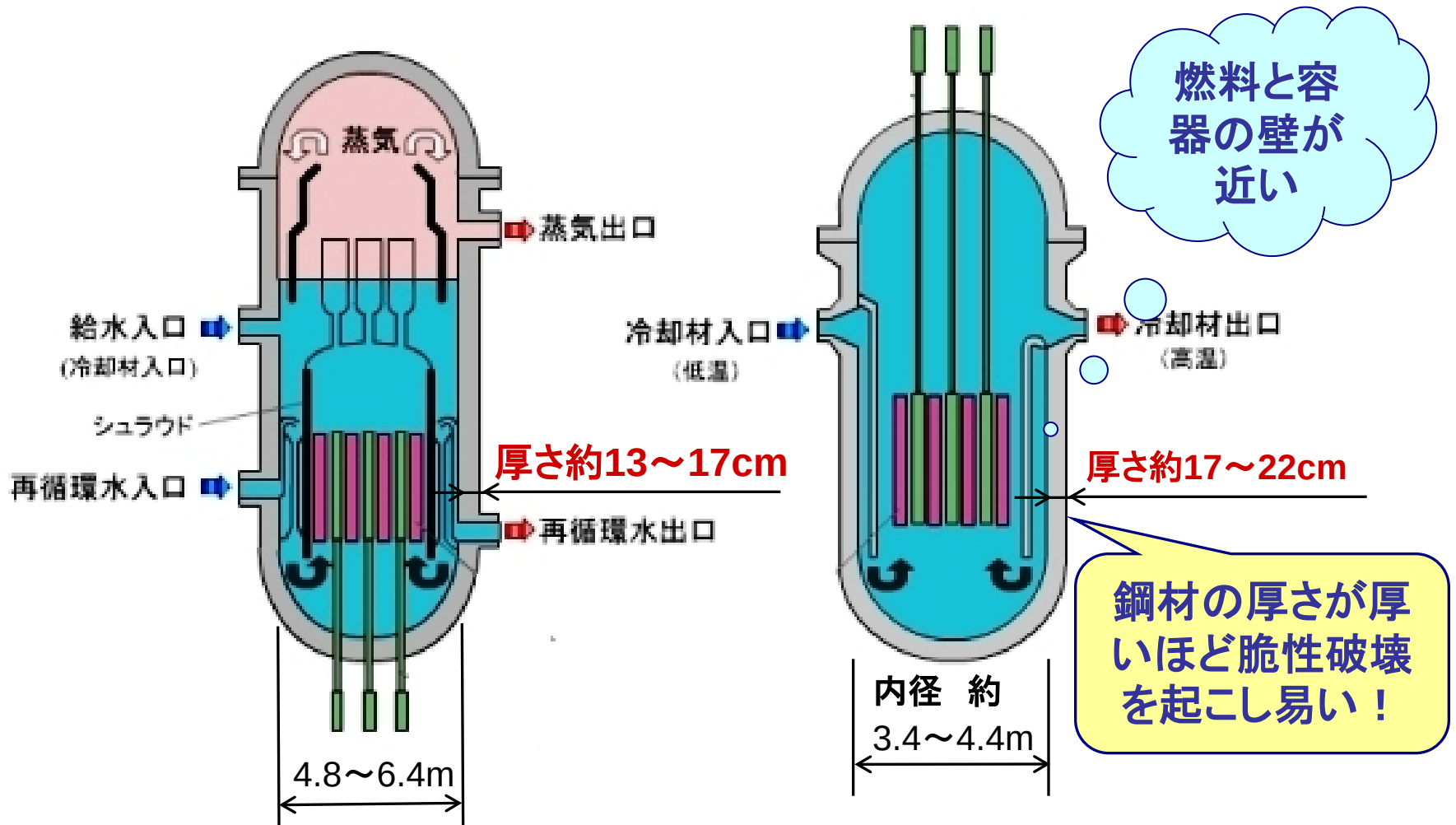
- ◆原子炉容器の鋼板が引張り衝撃荷重で割れる！

- ◆原子炉容器がバラバラにミサイルになって格納容

器を突き破る！・・・もはや、冷却などできない！避難も無理！

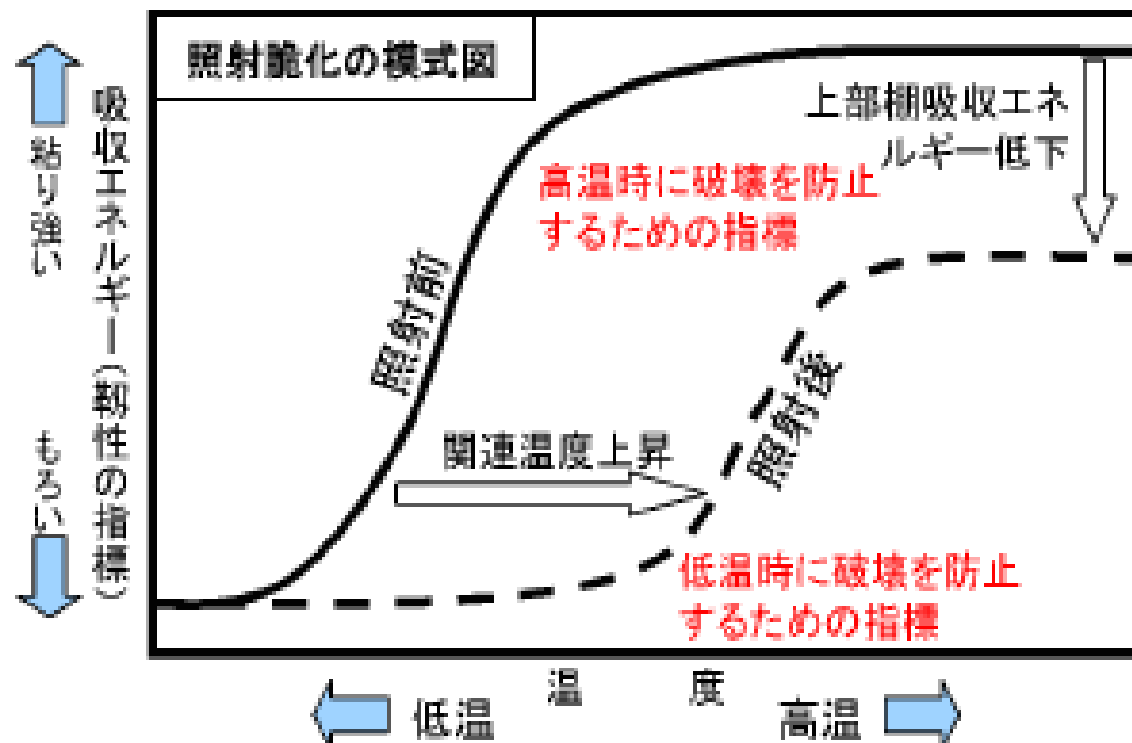
BWR(沸騰水型)

PWR(加圧水型)



◆照射脆化はPWRの方が厳しいがBWRも問題がないわけではない！

【照射脆化とは】

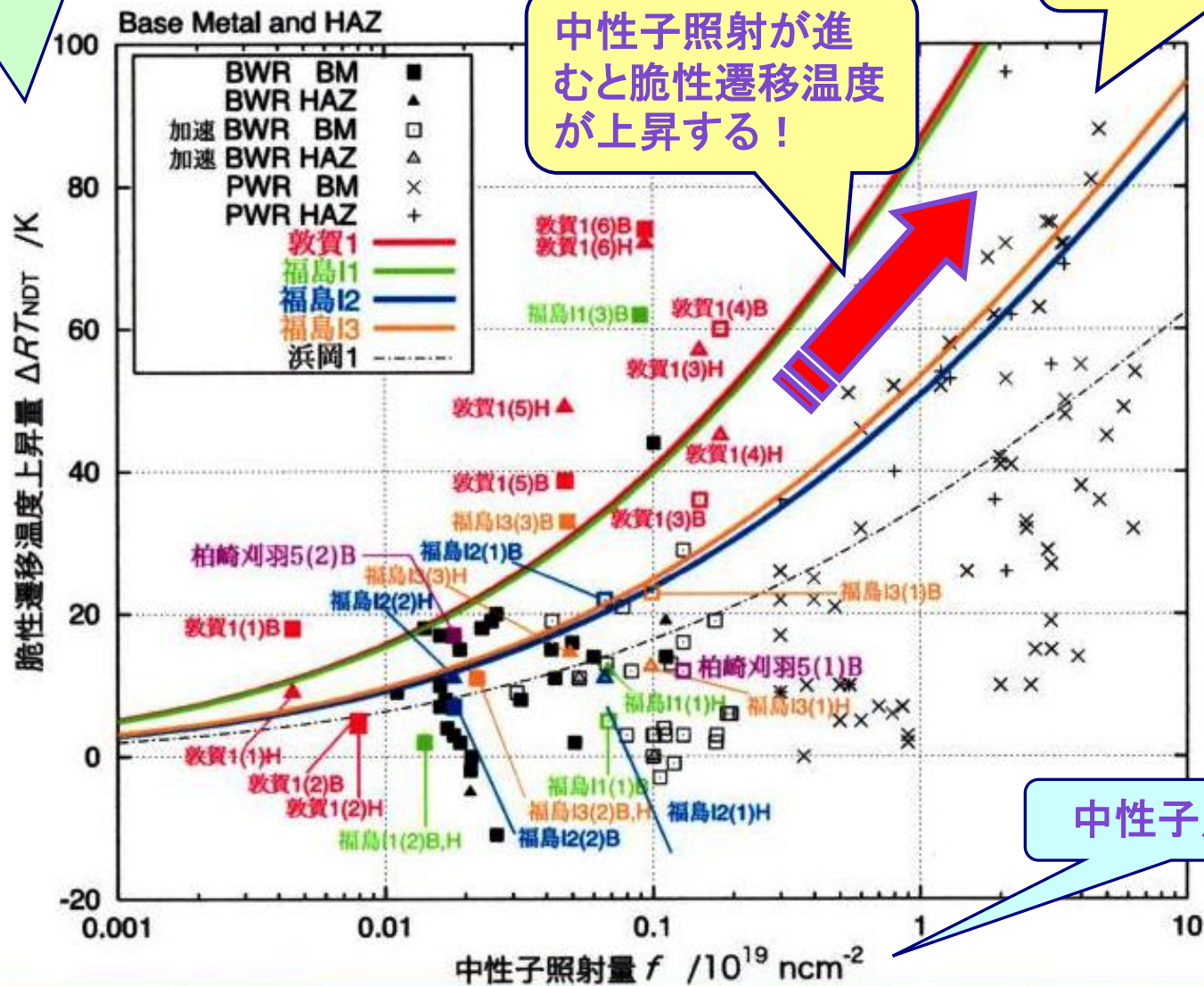


照射脆化：中性子は高いエネルギーを持っているため、原子炉容器を構成する鋼材に中性子が衝突すると、原子の配列に乱れが生じ、この結果、鋼材の破壊に対する粘り強さ（破壊靱性）が低下するなど特性が変わる現象をいう。

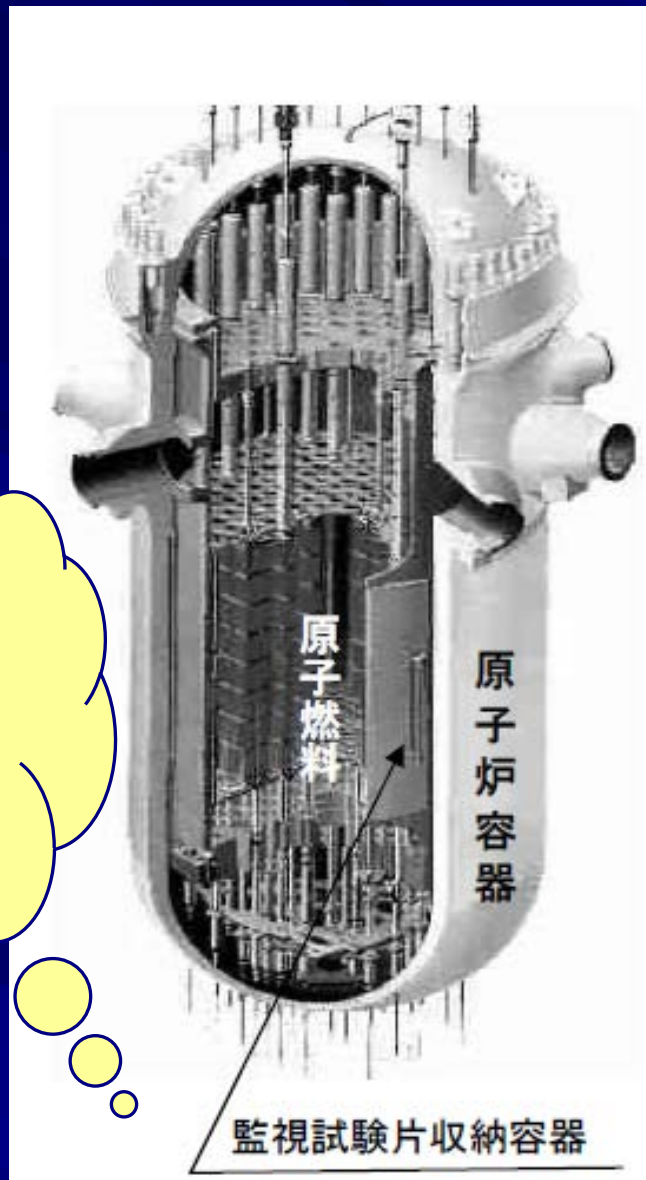
脆性遷移温度上昇量 ΔRT_{NDT} vs 照射量 f (母材と熱影響部)

脆性遷移温度上昇量

脆性遷移温度の上昇はばらつく！

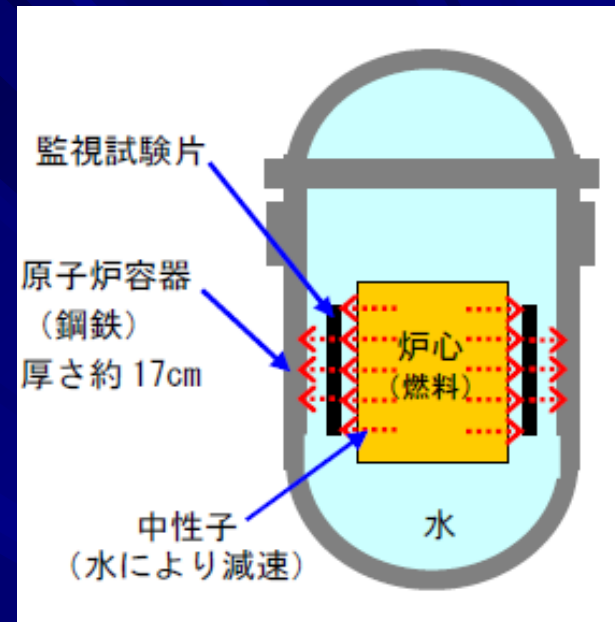


監視試験片による検査



試験片の数が
足りない
プラントがあ
る。

寿命延長な
ど大丈夫々

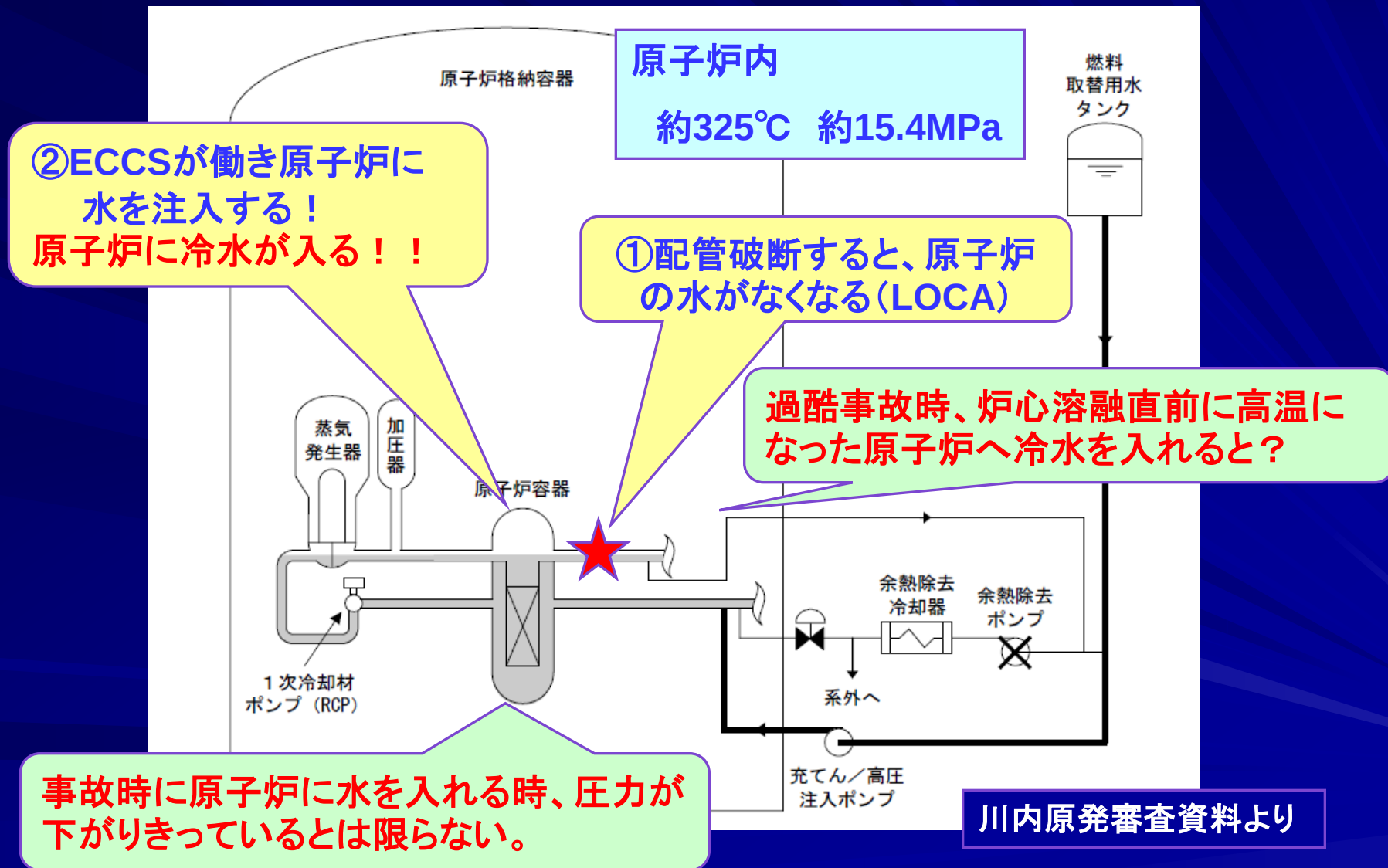


定期点検の時に監視試験
片を取り出してシャルピー
試験を実施する。

脆性遷移温度が上昇！

脆性破壊を起こさないか
確認する！

配管破断や一次系の漏れでECCSが作動する！

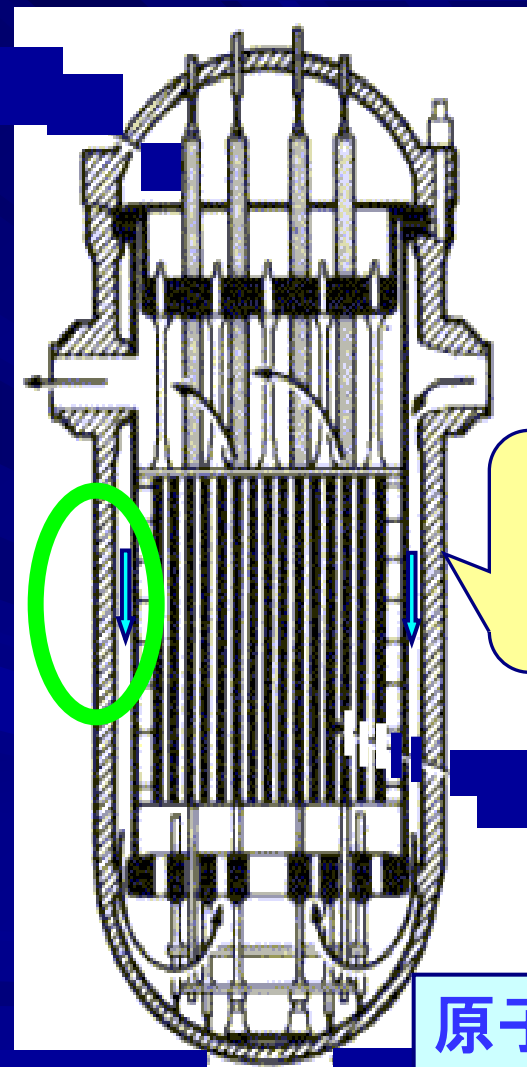
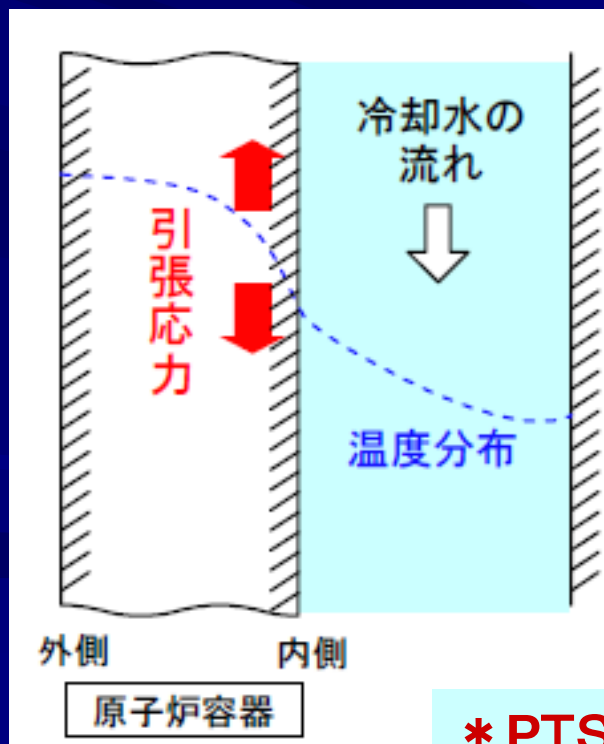


冷却材喪失事故発生（配管破断等）

加圧熱衝撃＊）

急激に冷水が入る（ECCS作動）

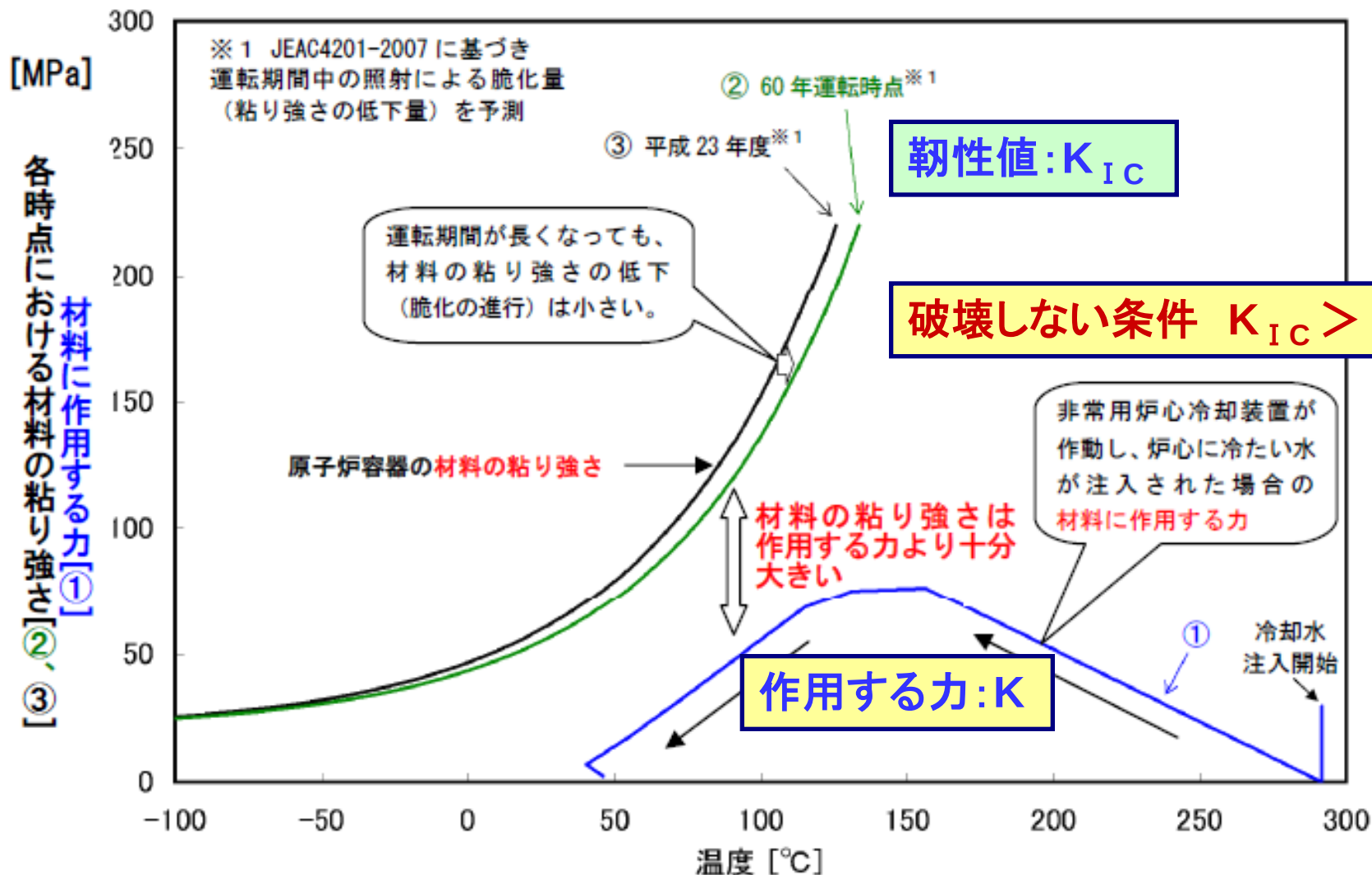
脆性破壊
（引張応力で割れる）



中性子照射
でもろくなっ
ている！

原子炉容器

＊ PTS: Pressurized Thermal Shock



【原子炉容器の温度と材料に作用する力、材料の粘り強さの関係】

九州電力の計算結果

PTSによる原子炉容器破壊は格納容器も同時に破壊する最悪の事故！

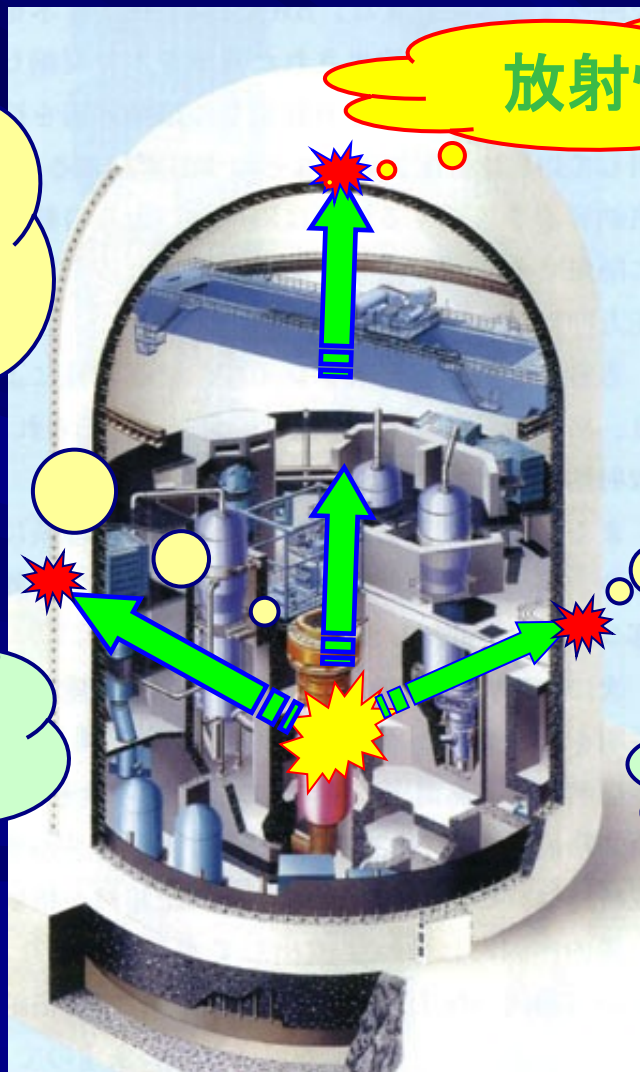
原子炉が破壊したので、核燃料もバラバラになり、冷却などできない！

この時、多層防護は何ができるのか？

放射性プルーム放出

事故発生と同時に格納容器も破壊されると...

避難する時間があるだろうか？



照射脆化・脆性破壊まとめ

- ◆脆性破壊はパラメータが非常に多く、最も厳しい評価を特定することが難しい！
(破壊靱性値/PTS評価)
- ◆バラツキが大きいので通常の構造設計上の強度評価(例えば降伏)にくらべ、十分な余裕が必要。
- ◆兵庫県南部地震のように、従来考えていなかった『衝撃荷重』や『繰り返しによる脆化』など、過去の経験だけで判断しては、安全は担保できない！
- ◆LOCA(冷却材喪失事故)が起きた時に、“原子炉が割れる”ことなど、絶対にあってはならない!!

ご清聴

ありがとうございました

【私見(後藤)】

原子力規制委員会は、『福島事故以前と似たような原子力業界の虜』になってきている危惧を覚える。福島事故の要因のひとつは、提起されている技術的な問題を逃げずに独立した立場でひとつひとつ正面から向き合うことをしてこなかったからだ！**照射脆化問題は最重要課題**のひとつであり、間違いを訂正すらできないのであれば、規制機関失格である。

恣意的なデータや論文を基にひたすら“基準にあっているか”だけを“形式的に”審査している今の姿勢では、原子力規制機関としての信頼を得られるとは思えない。技術的な検討・対策をしても、必ずしも安全が確保できるとは限らないが、その努力すらせずに、ただひたすら今のまま審査をすすめることは国民に対する裏切り行為だと考える。再考を願う。