

<u>a</u>	
	 PTS評価手法について
· · · · · · · · · · · · · · · · · · ·	JEAC4206 PTS評価手法改定の経緯(最新知見の例)
Þ	PTS評価手法の主な改定項目
×	JEAC4206-2016のPTS評価手法
$\checkmark$	JEAC4206-2016の策定に際しての検討内容
	✓ 応力拡大係数の評価手法
	(最大仮想欠陥の設定、負荷される応力の算出、応力拡大係数の算出)
	✓ 破壊靭性の評価手法
	✓ 健全性評価手法(高温予荷重効果、亀裂伝播停止評価)
$\succ$	PTS評価手法の評価フローの比較
$\succ$	健全性評価に関する保守性
~~>	まとめ



加圧熱衝撃(Pressurized Thermal Shock: PTS)事象は、加圧下の原子炉 圧力容器で、供用状態C、Dに該当する 緊急炉心冷却系(ECCS)の作動に伴う 安全注入水の注入等により容器内の急 激な冷却が起こると、内圧による膜応力 と重畳して高い引張応力が容器内面に 発生する現象。

容器の破壊靭性が中性子照射と急激な 冷却により相当低下し、しかも亀裂のような欠陥が予め内面近傍に存在する場 合には、PTS事象によって発生する内 面引張応力がある限度を超えると、亀 裂が進展して原子炉圧力容器が損傷す るおそれがあるとされているものである。

JEAC4206では、このようなPTS事象に おける原子炉圧力容器の損傷防止のた め、破壊力学に基づく健全性評価手法 を規定している。





IAEA-T	ECDOC-1627は、IAEAがスポンサーとなっている原子炉圧力容器の一連
連係した確	研究プロジェクト(Coordinated Research Project, CRP)のうち、9番目のフ
ジェクトC	RP-9で得られた成果をハンドフックとしてまとめたものである。
研究目的	:決定論的評価手法によりベンチマーク計算を行い、健全性評価への各
	因于の影響評価を行うとともに、PIS評価手法に関してGood Practice
<b>奓</b> 加懱眹	: 9万国 14(筬)(AREVA(独), CEA,EDF(14), FINS(74777F), KEKI(小小)(III) NRI(チェコ) OKR(露) SNERDI(由) //IIIE(70 $^{+}$ キャ)
	KINS, SKKU, KAIST, KAERI, KOPEC(韓))
実施内容	· CRP-9における活動内容は、主として以下の3つに分類できる。
•Phase1:-	ー般的なPWR及びWWER設計に対するベンチマーク解析
•Phase2:	PTSに対するRPVの決定論的健全性評価に関するGood Practiceのハンドブック
•Phase3:-	ー連のIAEAテクニカルレポートに対するPTS評価の総括
IAEA, "Pres	surized Thermal Shock in Nuclear Power Plants : Good Practices for Assessment", IAEA-

	→ → → → → → → → → → → → → → → → → → →
	✓ 照射脆化を考慮した関連温度の予測値(RT <sub>PTS</sub> )に対するスクリーニング限度
•	▶ 米国NRC PTS代替規定:10CFR50.61a(2010)
	✓ 過度の保守性を低減して合理的な基準とする等の目的から、NRCによる
	PTS再評価プロジェクトが開始
	✓ 代表プラントに対する確率論的破壊力学評価の検討に基づいて,
	10CFR50.61の代替規定として10CFR50.61aが発行
	✓ 亀裂貫通頻度の条件に基づいたスクリーニング限度を設定
	<ul> <li>10CFR50.61: U.S. Nuclear Regulatory Commission Regulations: Title 10, Code of Federal Regulations, Part 50, Section 50.61, "Fracture Toughness Requirements for Protection against Pressurized Thermal Shock Events," 1985.</li> <li>10CFR50.61a: U.S. Nuclear Regulatory Commission Regulations: Title 10, Code of Federal Regulations, Part 50, Section 50.61a, "Alternative Fracture Toughness Requirements for Protection against Pressurized Thermal Shock Events," Section 50.61a, "Alternative Fracture Toughness Requirements for Protection against Pressurized Thermal Shock Events," 1000 - 1000</li></ul>













# 応力拡大係数の評価手法 (PTS状態遷移曲線)

PTS事象時の応力拡大係数と想定欠陥位置での温度の時間推移(PTS状態遷移曲線)は、 以下のフローで求める。各手順についての検討結果を順に示す。











## 破壊靭性の評価手法

### 【2007年版】

- (1)照射前後の破壊靭性実測値を脆化予測法により評価時期まで温度軸方向に移行 させ、下限包絡するよう破壊靭性遷移曲線を設定する。
- ⇒ 以下のような近年の状況を踏まえて、破壊靭性の評価手法の見直しが必要
  ・国内PWR監視試験で照射後の破壊靭性データが多数蓄積された
  - ・破壊靭性のばらつき等に関する知見が拡充され、国内外でマスターカーブ法の 適用性が確認され、海外等で広く用いられるようになった

#### 【検討結果】

- 国内PWR監視試験で取得した照射後の破壊靭性データの傾向分析。
- ・ 照射による破壊靭性のシフトとシャルピーのシフト(ΔT<sub>r30</sub>)の関係の確認。
- 破壊靭性のばらつきや信頼性を定量的に考慮できる手法の取込み。

上記を検討の上、以下の規定を取り込んだ。

(1) T<sub>r30</sub>を指標とした5%信頼下限のマスターカーブを破壊靭性遷移曲線に設定。
 (2) T<sub>o</sub>が取得されている場合にはT<sub>o</sub>から直接設定した5%信頼下限のマスターカーブによる評価も可能とする。

17













【2007: (1)PTS ⇒非延	F版】 状態遷移曲線と破壊 生破壊の発生有無を評	羽性遷移曲線が 平価	交差しなければ健	全と評価する
【検討約 (1)一般 準と 有無 (2)詳細 (3)是正 例示	課 評価では、過渡解析を して、大LOCA(ステップ を評価。 評価では、より精緻な さし、WPSを考慮したま 措置として、中性子束・	伴わずに保守的 状の温度変化) 評価条件のもと 非延性破壊の発 低減策、安全注	りに判定可能なス を対象とし、非延快 、大LOCA、小LO 生及び亀裂伝播( 入水の温度上昇・	クリーニング 生破壊の発生 CA、MSLBを 亭止を評価。 さ流量低減を







	健主性許10	
	ー般評価 (保守的なスクリーニング基準)	詳細評価 (より精緻な評価条件)
想定欠陥	母材あるいは溶接金属の内面に深さ10mm、長さ 60mmの半楕円欠陥(クラッド下)を想定。クラッドに よる残留応力を考慮。(ただし、欠陥寸法について は非破壊検査結果に応じて設定可能とする。)	同左
	大破断LOCAを保守的に想定し、原子炉圧力容器 内面がECCSの水温に瞬時に冷却されるとの条件 でPTS状態遷移曲線を評価。	同左 ただし、原子炉圧力容器内面がECCSの水温 瞬時に冷却されるとの条件は規定しない。
想定過渡	_	小破断LOCA、MSLBの過渡解析を実施し、そ ぞれPTS状態遷移曲線を評価。 入口管台直下の最も温度低下が大きい位置 温度過渡を評価し、その温度が原子炉圧力容 内面の全面に晒される状態を想定
照射量	対象とする部材の最大の照射量(深さ10mm位置) を想定	同左
破壊靭性	表面から1/4T位置で採取した拘束の強いCT試験 片等破壊靭性試験片で測定した破壊靭性値を ベースに破壊靭性カーブを設定 なお、評価に使用する破壊靭性カーブは、破壊靭 性データのばらつきを考慮し、5%信頼下限(95%の 破壊靭性データを包絡)のカーブとする。	同左
判定基準	PTS状態遷移曲線と破壊靭性曲線が交差しないこと。 高温予荷重効果・亀裂伝播停止を考慮しない	各想定過渡において、亀裂が原子炉圧力容器 貫通しないこと。 高温予荷重効果・亀裂伝播停止を考慮して半



### 健全性評価に関する保守性(1/3)



	健全性評価に関する保守性(2/3)
【破地	
(1)	周方向の照射量分布 - 原子炉圧力容器が受ける照射量(中性子束)には周方向の分布が存在するが、対象と する部材で最も照射量(中性子束)の高い位置に欠陥があるものと想定して評価してい る。
(2) 材	反厚内の破壊靭性分布 - 母材の破壊靭性データを取得する試験片の採取位置は表面から1/4T位置であるが、 想定欠陥深さの位置(最大でも母材表面から10mm)では、より焼き入れ効果が高いため 破壊靭性は高い。
	<ul> <li>向東効果</li> <li>破壊靭性の測定には、亀裂の深さが相対的に深く亀裂先端の拘束が大きい試験片を 使用しているが、実機の原子炉圧力容器で想定する深さ10mm程度の浅い亀裂では亀 裂先端の拘束は小さく、実機では試験片よりも破壊に対して裕度がある。</li> </ul>

	健全性評価に関する保守性(3/3)
【判5	
(1)	<ul> <li>高温予荷重効果</li> <li>高温予荷重効果が成立することが実験的に確認されているが、一般評価では非延性破壊の発生の判定基準に取り込んでいない。</li> <li>再負荷過程の高温予荷重効果も実験的に確認されているが、詳細評価では再負荷過程での非延性破壊の判定基準に取込んでいない。</li> </ul>
(2) 1	<ul> <li>         ・製伝播停止評価     </li> <li>         ・非延性破壊の発生有無で評価することとしており、亀裂伝播停止評価を取り込んでいな         いが、外面に伝播する亀裂は貫通するまでに停止する可能性を有していることから、一         般評価は保守性を有している。     </li> </ul>
	<ul> <li>未定論的評価</li> <li>決定論的評価では、欠陥、過渡事象、破壊靭性等各因子個別に保守的に設定して評価 することから、評価手法全体として必ずしも各因子の依存関係が考慮された適切な保守 性が設定されているわけではなく、結果的に過度に厳しい評価手法となっている可能性 がある。</li> <li>各因子の依存関係も考慮した破損に対するリスクを定量的に評価するためには、確率論 的評価を実施し、合理的な評価手法となるよう検討を進める必要がある。</li> </ul>

