

平成28年（行ウ）第49号、第134号、第157号

高浜原子力発電所1号機及び2号機運転期間延長認可処分等取消請求事件

2019年（令和元年）7月11日 口頭弁論期日 名古屋地方裁判所

原告ら準備書面（44） （PTS評価計算の不合理性）



要旨の陳述

2 PTS状態遷移曲線とは

1

- ①緊急炉心冷却装置（ECCS）が作動することにより、予備の冷却水が送り込まれる。
- ②圧力容器の内面は冷却冷水によって一気に冷やされ収縮し、外面のとの温度差によって強い引張り応力生じる。
→「加圧熱衝撃」PTS（Pressurized Thermal Shock）
- ③亀裂にかかる力に対応する応力拡大係数 K_I の時間変化を温度軸上にプロット
→「PTS状態遷移曲線」

2 PTS状態遷移曲線とは

2

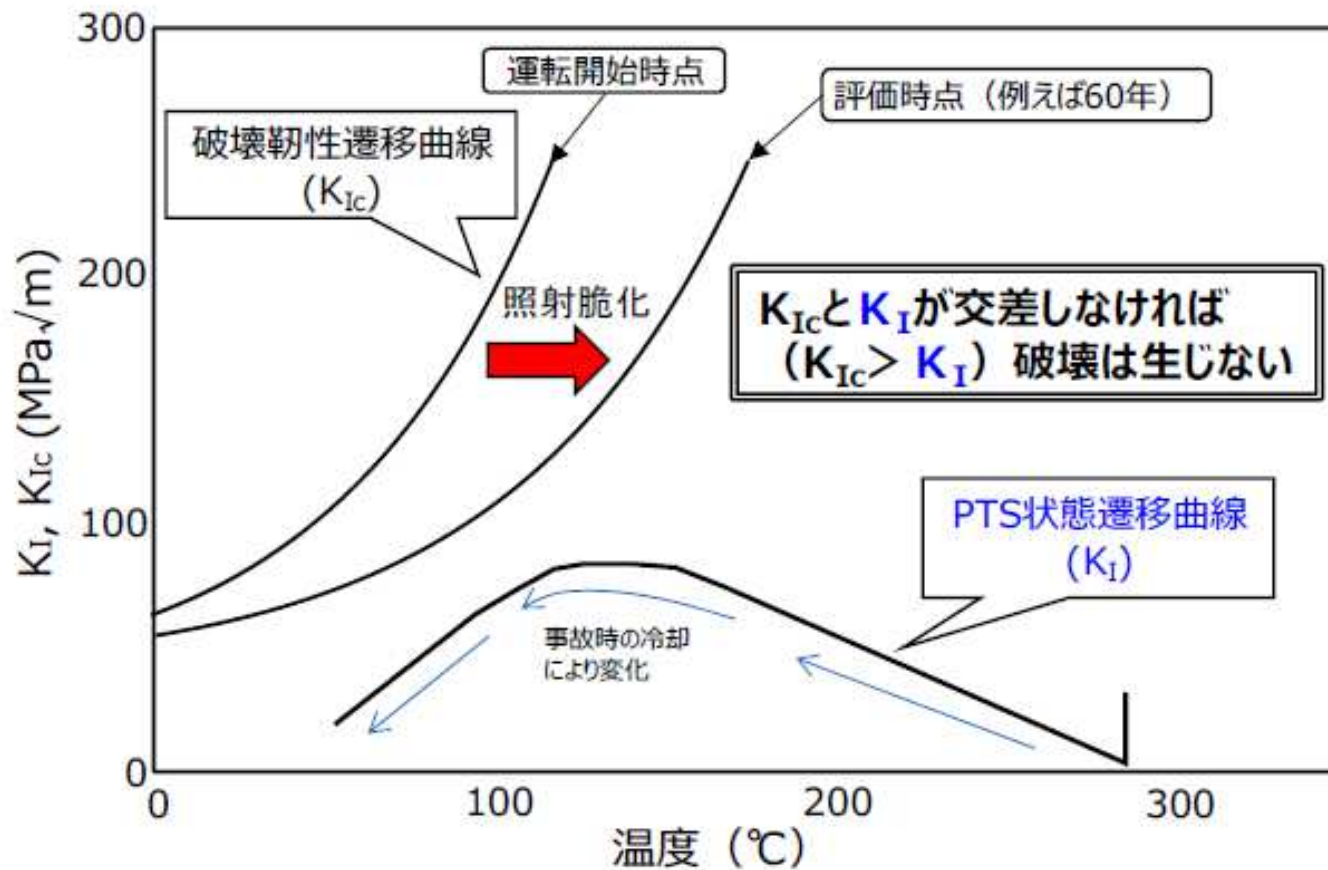


図 3.2.2 (2)-9 PTS 事象に対する健全性評価の模式図

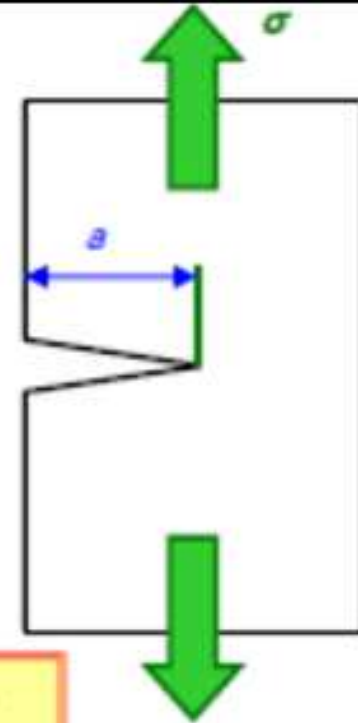
2 PTS状態遷移曲線とは

3

K_I : 応力拡大係数

➤ σ : 応力

➤ a : き裂深さ



$$K_I = [\text{形状による係数}] \times \sigma \sqrt{\pi a}$$

2 PTS状態遷移曲線とは

4

熱応力とは、同じ物体内の温度分布が不均一な時に生じるひずみに対応する応力であり、温度差が大きければ大きいほど強い応力が生じることとなる。

熱応力の大きさは、圧力容器の内面と外面の温度分布（**内外の表面の温度差**）に依存し、この温度分布（**内外の表面の温度差**）は、「**熱伝達率**」の大きさによって変化する。

→PTS評価計算においては、「**熱伝達率**」をどのように設定するかが、重要となる。

3 関西電力株式会社のPTS評価

5

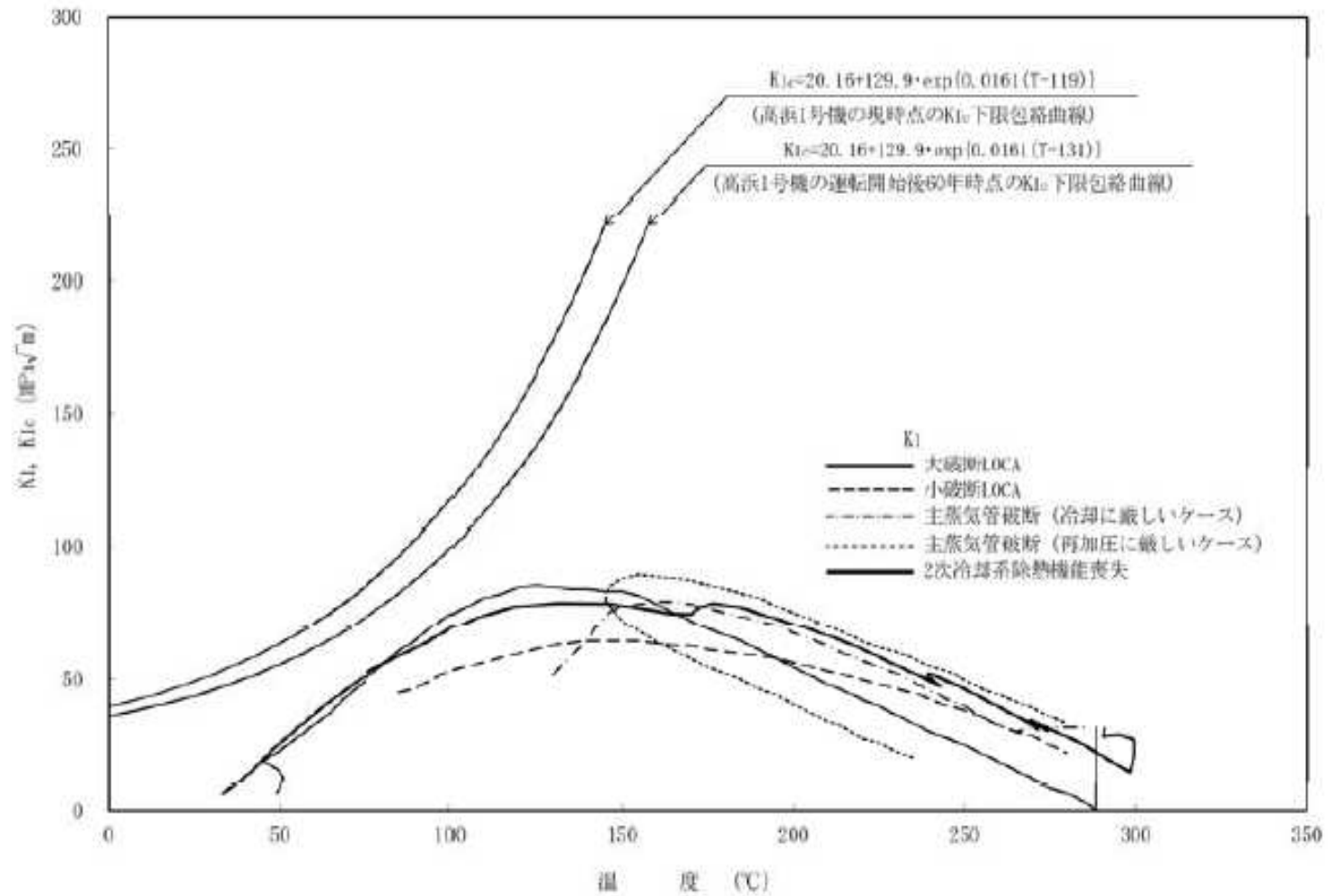


図4 高浜1号炉 PTS評価結果【深さ10mmの想定き裂を用いた評価】

4 JEAC4206-2007の不合理性

6

- ① JEAC4206-2007の熱伝達率の評価式そのものが不合理であること
- ② 九州電力及びJEACが想定している過渡条件では、冷却初期段階で核沸騰が生じはらずであるが、これが想定されておらず熱伝達率の値が低すぎるものになっていること
- ③ JEAC4206-2007は熱伝達率が時間の冷却開始から時間の経過によっても一定値であることを前提に計算しているものと思われるが、実際には熱伝達率とは冷却期間中に激しく変動しているものであり、このこと考慮されていないこと
- ④ 熱伝達率はプルームの考慮の有無によりその値が異なるが、JEAC4206-2007はプルームによる熱伝達率の値の変化を考慮していないこと

(1) JEAC4206-2007の熱伝達率の評価式そのものが不合理であること

7

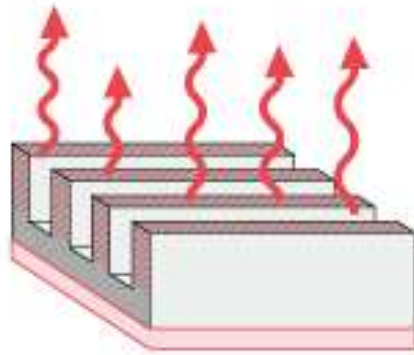
「...上向き of 自然対流と下向き of 強制対流が共存するケースの熱伝達率は、以下に示す Jackson-Fewster式で評価する

$$Nu \quad [Nu]_{0} = [1 + (4500(Gr)^{-1}) / ([Re]^{2.625} [Pr]^{0.5})]^{0.31} \quad \dots\dots\dots (3) \quad]$$

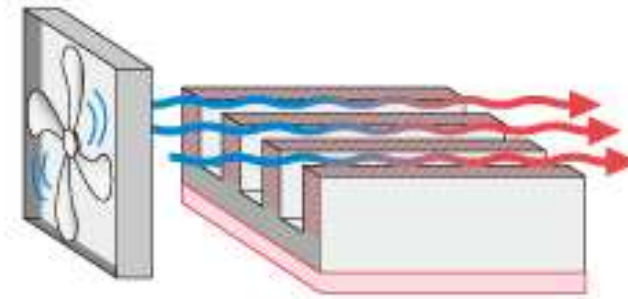
【ZE2 5 附C-3】

(1) JEAC4206-2007の熱伝達率の評価式そのものが不合理であること

8



(a) 自然対流



(b) 強制対流

(1) JEAC4206-2007の熱伝達率の評価式そのものが不合理であること

9

「...上向きの自然対流と下向き~~の強制対流~~が共存するケースの熱伝達率は、以下に示すJackson-Fewster式で評価する
$$Nu/ [Nu]_{0} = [1 + (4500(Gr)^{-1}) / ([Re]^{2.625} [Pr]^{0.5})]^{0.31} \dots\dots\dots (3) \quad]$$

【乙E25 附C-3】

自然対流と強制対流が共存する場合、自然対流の影響を考慮しなければいけないのは、下降流あるいは上向きの強制対流に対して浮力による上昇流が無視できなくなる範囲

自然対流を考慮する場合、考慮しない場合を場合分けしなければならない。その上で、強制対流のみの計算式も設定しなければならない。

- i 自然対流を考慮する場合、しない場合の場合分けがなされていない。
- ii 自然対流を考慮しない強制対流のみの評価がなされていない。

→評価式そのものが不合理

(1) JEAC4206-2007の熱伝達率の評価式そのものが不合理であること

10

「...上向き of 自然対流と下向き of 強制対流が共存するケースの熱伝達率は、以下に示す Jackson-Fewster式で評価する

$$\frac{Nu}{[Nu]_0} = [1 + (4500(Gr)^{-1}) / ([Re]^{2.625} [Pr]^{0.5})]^{0.31} \dots\dots\dots (3) \quad]$$

【ZE25 附C-3】

(Nu) = ヌセルト数

(Gr)⁻¹ = 平均グラスホフ数

(Re) = レイノルズ数

→これらは、無次元数である。

設定される代表長さによって、熱伝達率を導く式も異なることになるのであり、適切な熱伝達率を導くためには代表長さの設定が必要不可欠。

これらの無次元数について、代表長さが設定されていない。

→代表長さ設定がなされていないことは、不合理である。

(1) JEAC4206-2007の熱伝達率の評価式そのものが不合理であること

11

「...上向き of 自然対流と下向き of 強制対流が共存するケースの熱伝達率は、以下に示す **Jackson-Fewster式** で評価する

$$Nu / [Nu]_0 = [1 + (4500(Gr)^{-1}) / ([Re]^{2.625} [Pr]^{0.5})]^{0.31} \dots\dots\dots (3) \quad]$$

【乙E25 附C-3】

Jackson-Fewster式は、**内径98.4mmおよび全長7000mmの細長い垂直加熱円管を用いて、水を下向流として行った熱伝達実験の結果に基づき、共存対流領域の熱伝達相関式として提案されたものである。**

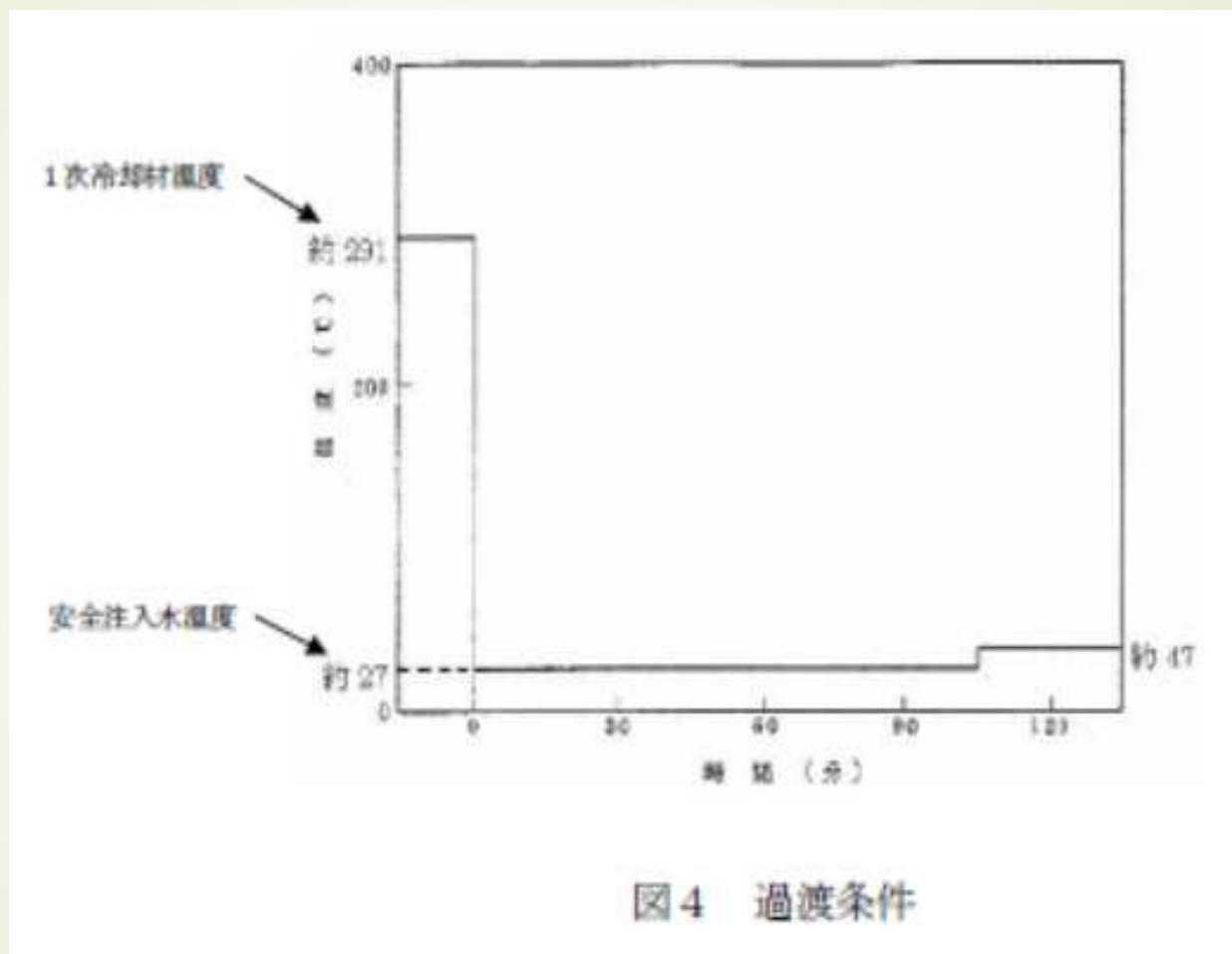


想定している形状がまるで異なる。 **Jackson-Fewster式を用いるのは、不合理。**

圧力容器のダウンカマの円環部分の環状流路における圧力容器**内径（4メートル程度）**と下方に流れ下る**流路長さ（7メートル程度）**は**同じオーダー（桁数）**

(2) 過渡条件において核沸騰が想定されていないこと

12

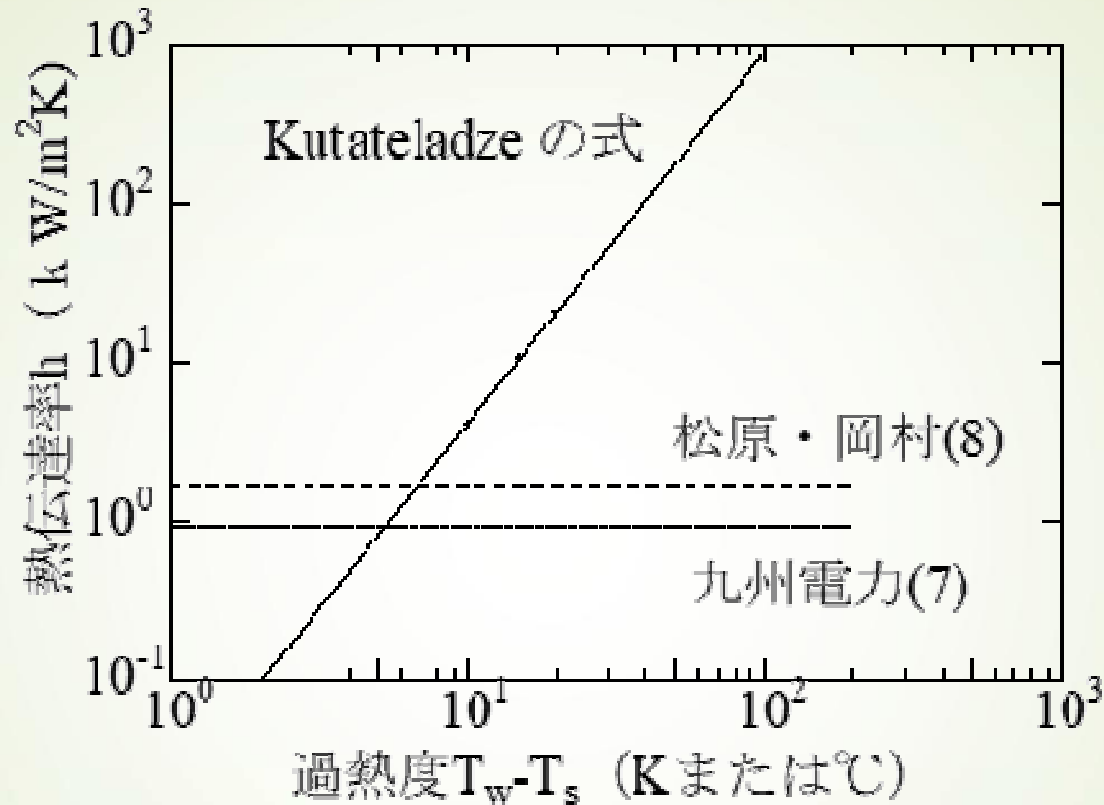


【甲高E4脚注1】

→冷却の初期段階で必ず核沸騰が生じる

(2) 過渡条件において核沸騰が想定されていないこと

13



【甲高E4、7頁脚注16】

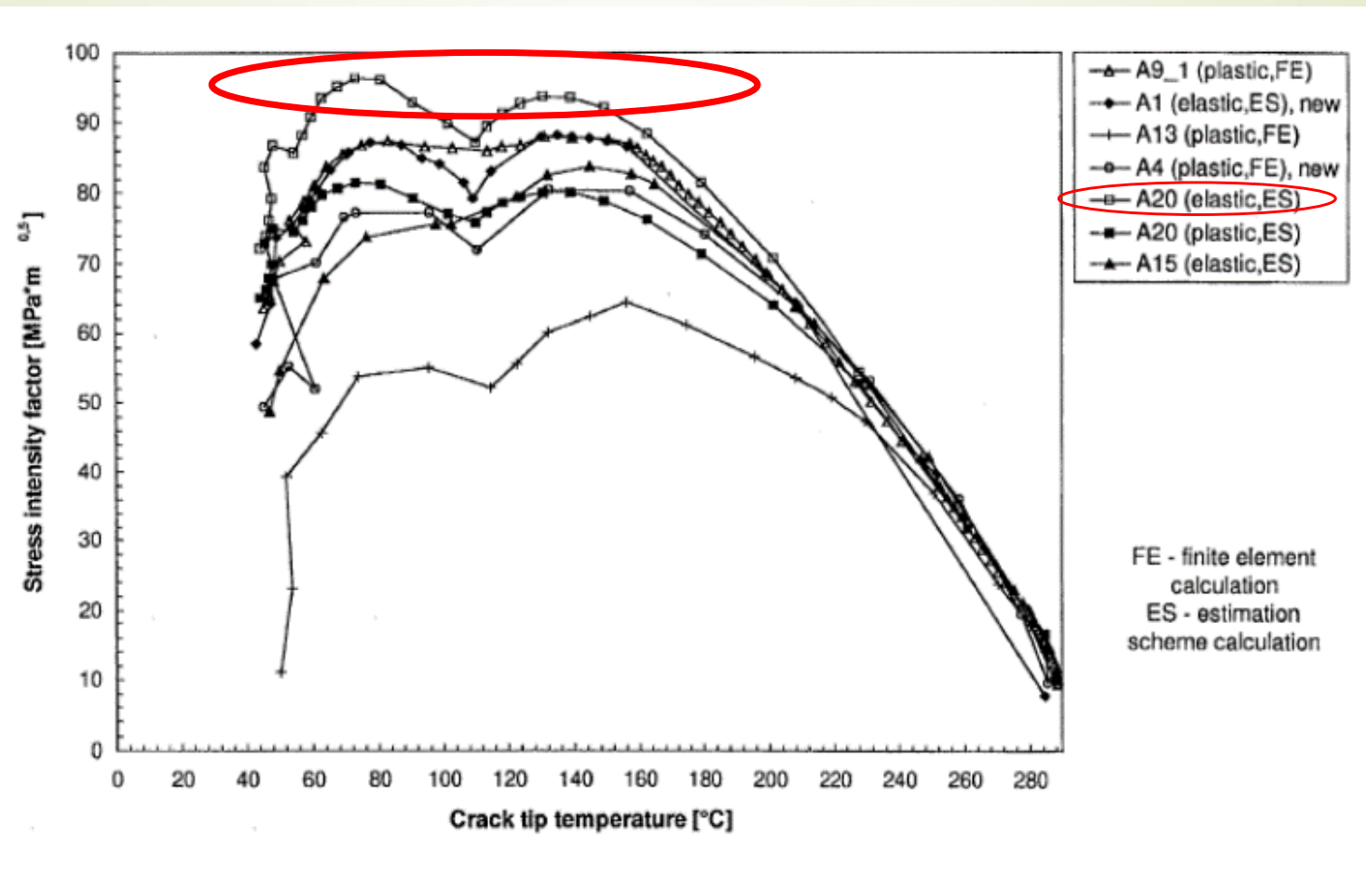
九州電力の評価では、 $0.92 \text{ kW}/\text{m}^2\text{K}$ という一定値。
これに対し、核沸騰時の熱伝達率は一桁から二桁以上も大きいものが生じる。

(3) 冷却期間中における熱伝達率の変動が考慮されていないこと

14

NUREG (米国原子力規制委員会の規制) の報告【甲高E4、13頁脚注27】

応力拡大係数



亀裂先端温度

(3) 冷却期間中における熱伝達率の変動が考慮されていないこと

NUREG (米国原子力規制委員会の規制) の報告【甲高E4、13頁脚注27】

15

熱伝達率

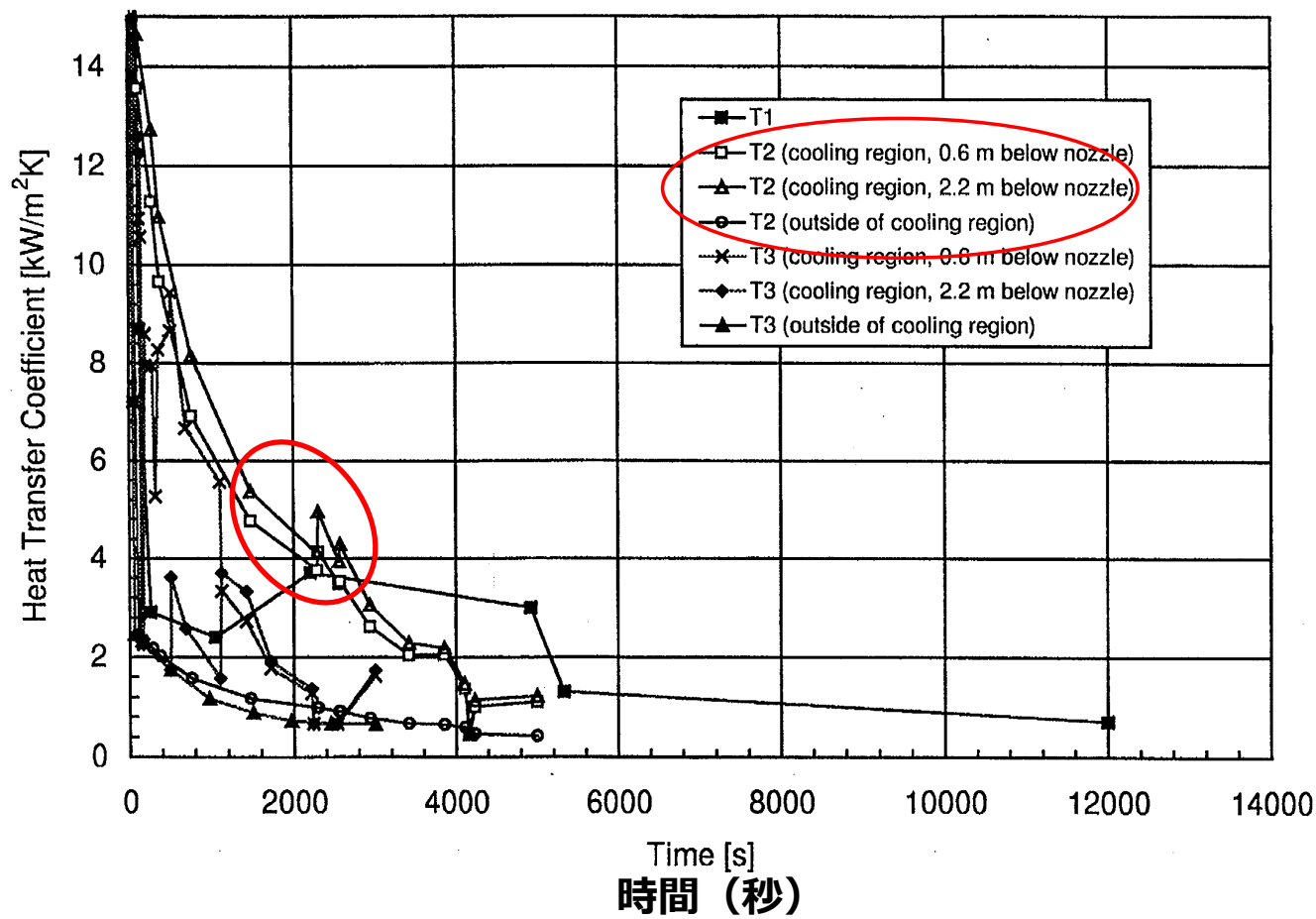
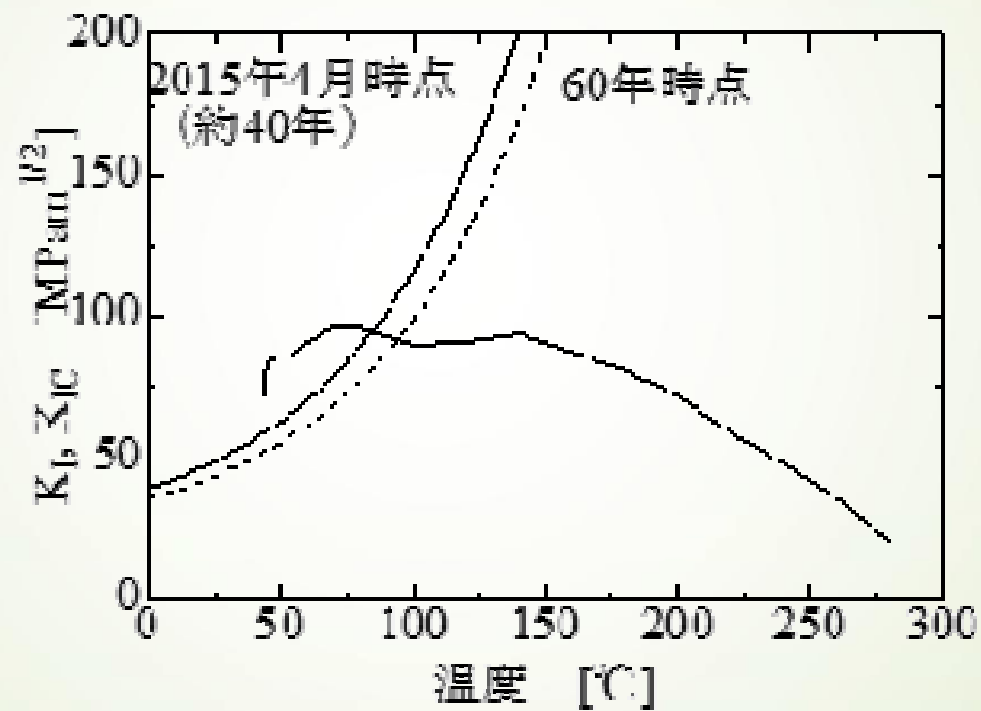


Figure 5.1.3 Time history of heat transfer coefficients for LOCA transients T1, T2, and T3

(3) 冷却期間中における熱伝達率の変動が考慮されていないこと

16

試しに、A20 (erastic, ES) を高浜1・2号機の破壊靱性遷移曲線にプロットしてみる。
なお、A20 (erastic, ES) はT2の破損面積が 50cm^2 で亀裂形状は $a/w=0.07$ 、圧力容器厚さ $w=243\text{mm}$ 、亀裂深さ $a=17\text{mm}$ 、亀裂長さ $2c=48\text{mm}$ と設定された解析例



(3) 冷却期間中における熱伝達率の変動が考慮されていないこと

17

熱伝達率とは、
常に一定値をとるものではない。
時間の経過とともに激しく変動するものである。

JEAC4206-2007における熱伝達率の評価においては、このような時間経過に伴う熱伝達率の変動について一切考慮していない。

→ JEAC4206-2007は基準として不合理。

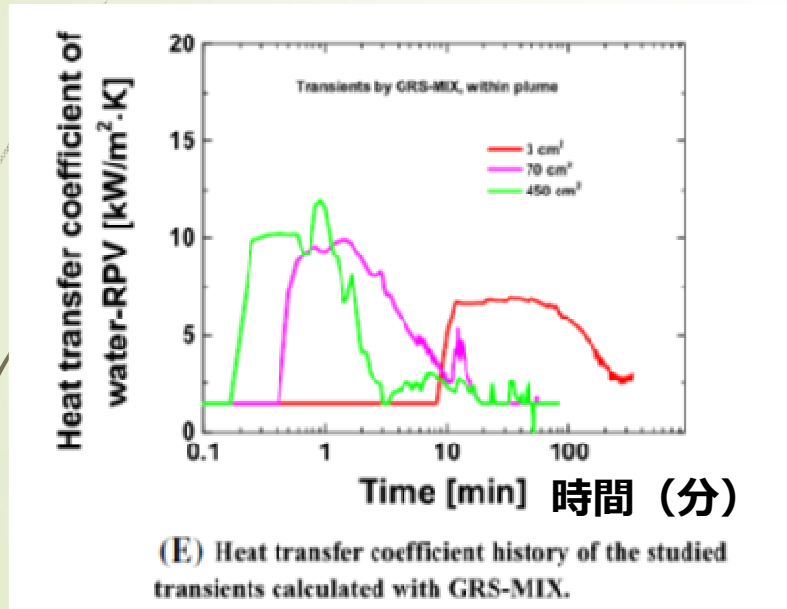
(4) プルームが考慮されていないこと

Qian et alの計算例【甲高E4、17頁脚注33】

18

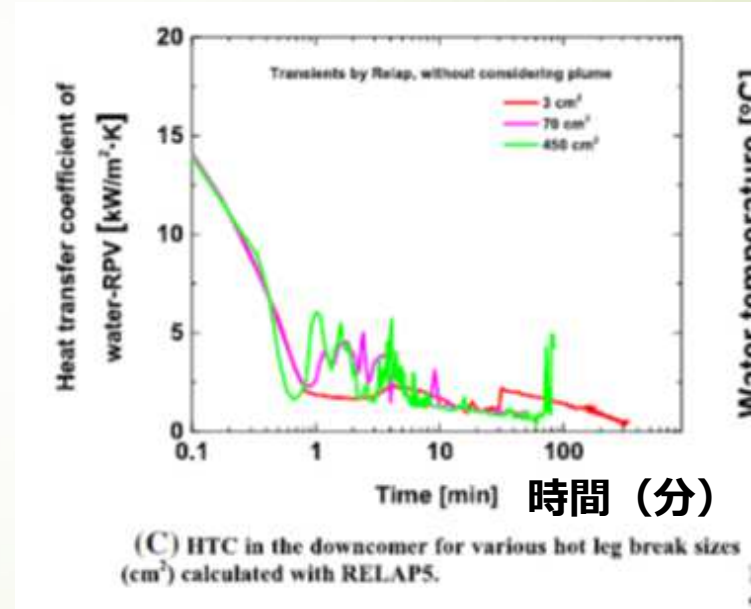
プルームとは、冷却時に生じる冷却温度の不均一さのこと

熱伝達率



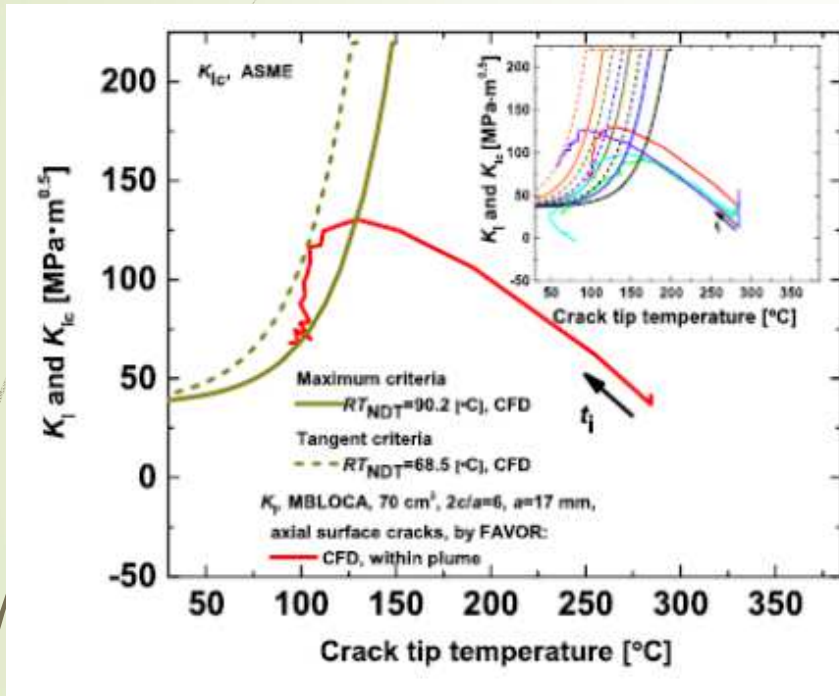
プルームを考慮したCFDによる
GRS-MIXコードによる熱伝達率

熱伝達率

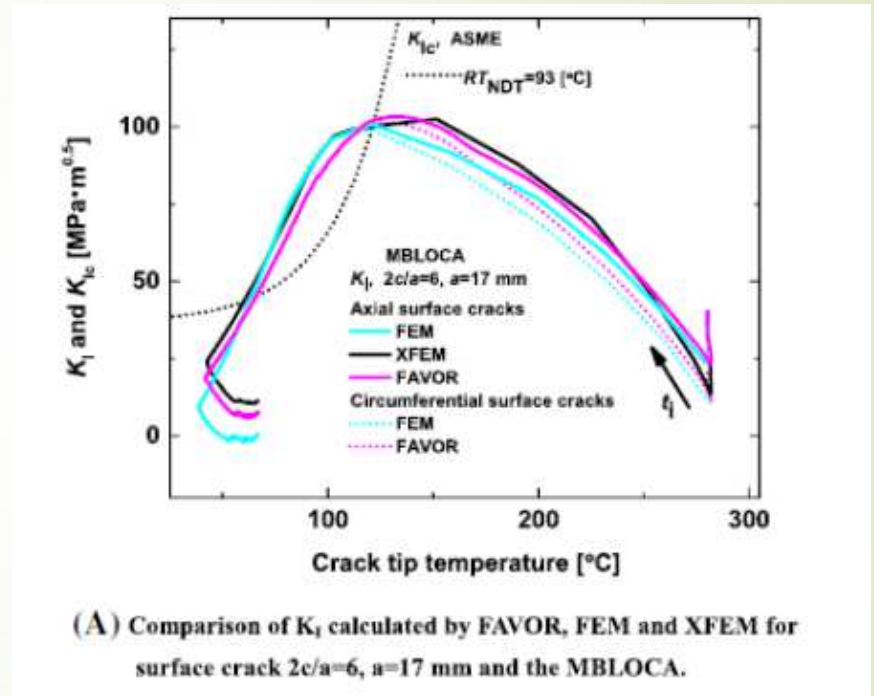


プルームを考慮しない
RELAP5コードによる熱伝達率

(4) プルームが考慮されていないこと



中規模LOCA時のPTS評価結果
(プルームを考慮した解析)



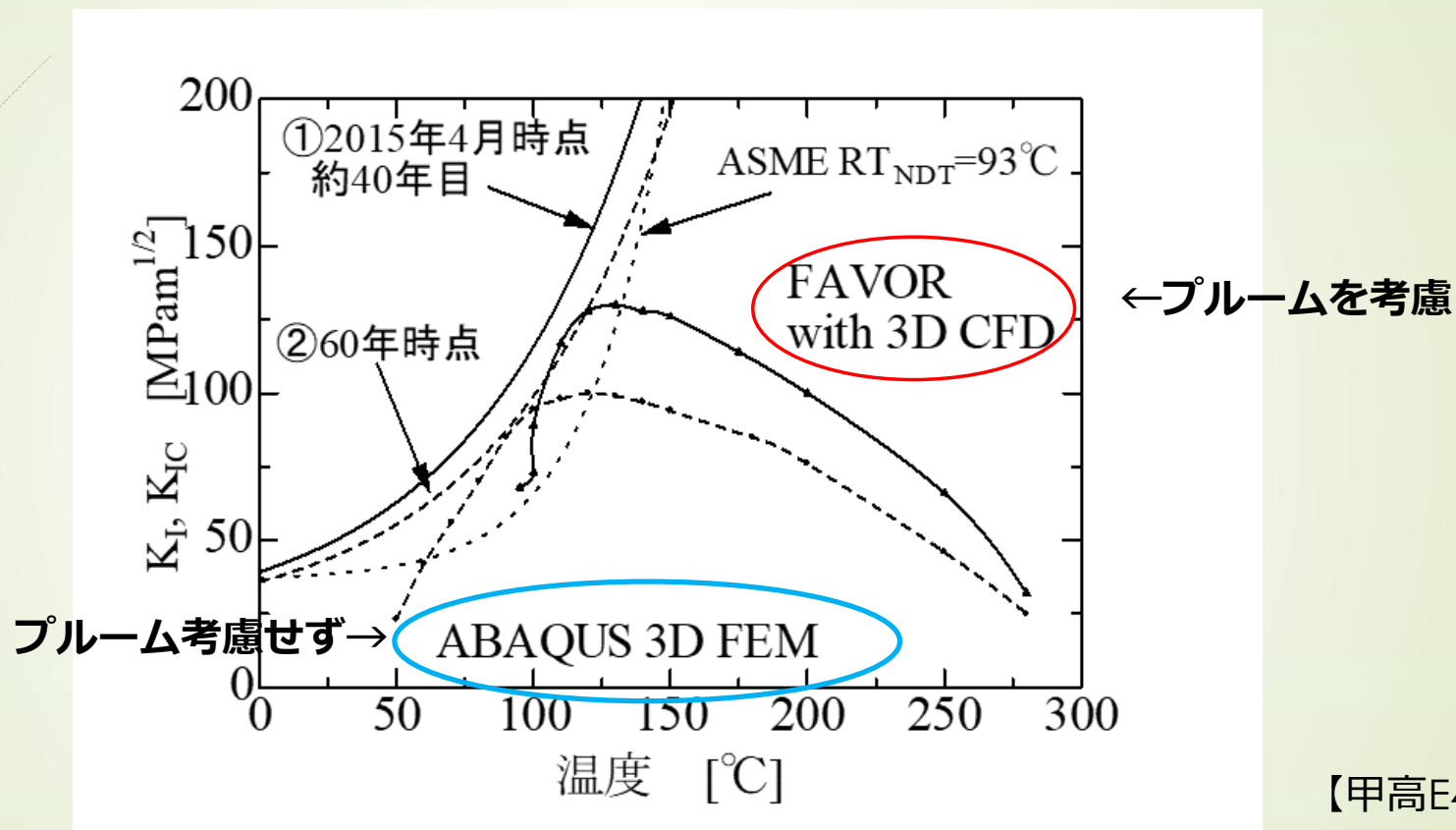
(A) Comparison of K_I calculated by FAVOR, FEM and XFEM for surface crack $2c/a=6$, $a=17$ mm and the MBLOCA.

中規模LOCA時のPTS評価結果
(プルームを考慮しない解析)

(4) プルームが考慮されていないこと

20

試しに、プルーム考慮した高浜1・2号機の破壊靱性遷移曲線にプロットしてみる。



【甲高E4、16頁】

なお、圧力容器厚さ (w) は、 $w=170\text{ mm}$ 、軸方向の亀裂の場合で、クラック深さ $a=17\text{ mm}$ 、 $a/w=0.10$ 、アスペクト比 $2c/a=6$ の時(亀裂長さ $c=51\text{ mm}$)を前提条件とする解析結果

(4) プルームが考慮されていないこと

21

プルームの考慮の有無により、熱伝達率の評価が異なる。

その結果、応力拡大係数は大きく変化することが明らかになった。
特にプルームを考慮する場合、考慮しない場合に比べ、応力拡大係数が大きくなる。

→ JEAC4206-2007は基準として不合理。

まとめ

熱伝達率の評価は、PTS状態遷移曲線 (K_I) の評価に大きく影響を与えるものである

22

JEAC4206-2007においては、

- ①熱伝達率の評価式そのものが不合理であること
- ②想定している過渡条件では、冷却初期段階で核沸騰が生じはざであるが、核沸騰が想定されておらず、熱伝達率の値が低すぎるものになっていること
- ③熱伝達率が時間の冷却開始から時間の経過によつても一定値であることを前提に計算しているものと思われるが、実際には熱伝達率とは冷却期間中激しく変動しているのであり、このことが一切考慮されていないこと
- ④熱伝達率はプルームの考慮の有無によりその値が異なるが、プルームによる熱伝達率の値の変化を考慮していないこと

→ ・ JEAC4206-2007は基準として不合理（基準の不合理性）

・ 熱伝達率が適切に評価されていない結果、破壊靱性遷移曲線とPTS状態遷移曲線 (K_I : 応力拡大係数) が重なる、すなわち破壊靱性値が応力拡大係数を上回る可能性があり得ることから、原子炉等規制法43条の3の32第5項・実用発電用原子炉の設置、運転等に関する規則第114条の審査基準を満たしているとはいえず、適合性判断の過程に過誤・欠落がある。