

2022/10/20

【連続オンライン学習会】

40年廃炉訴訟で明らかとなった
中性子照射脆化の審査の問題点

1

弁護士 小島寛司

名古屋訴訟の概要

提訴：2016年4月14日

対象：高浜1・2号機、美浜3号機

訴訟形式：行政訴訟

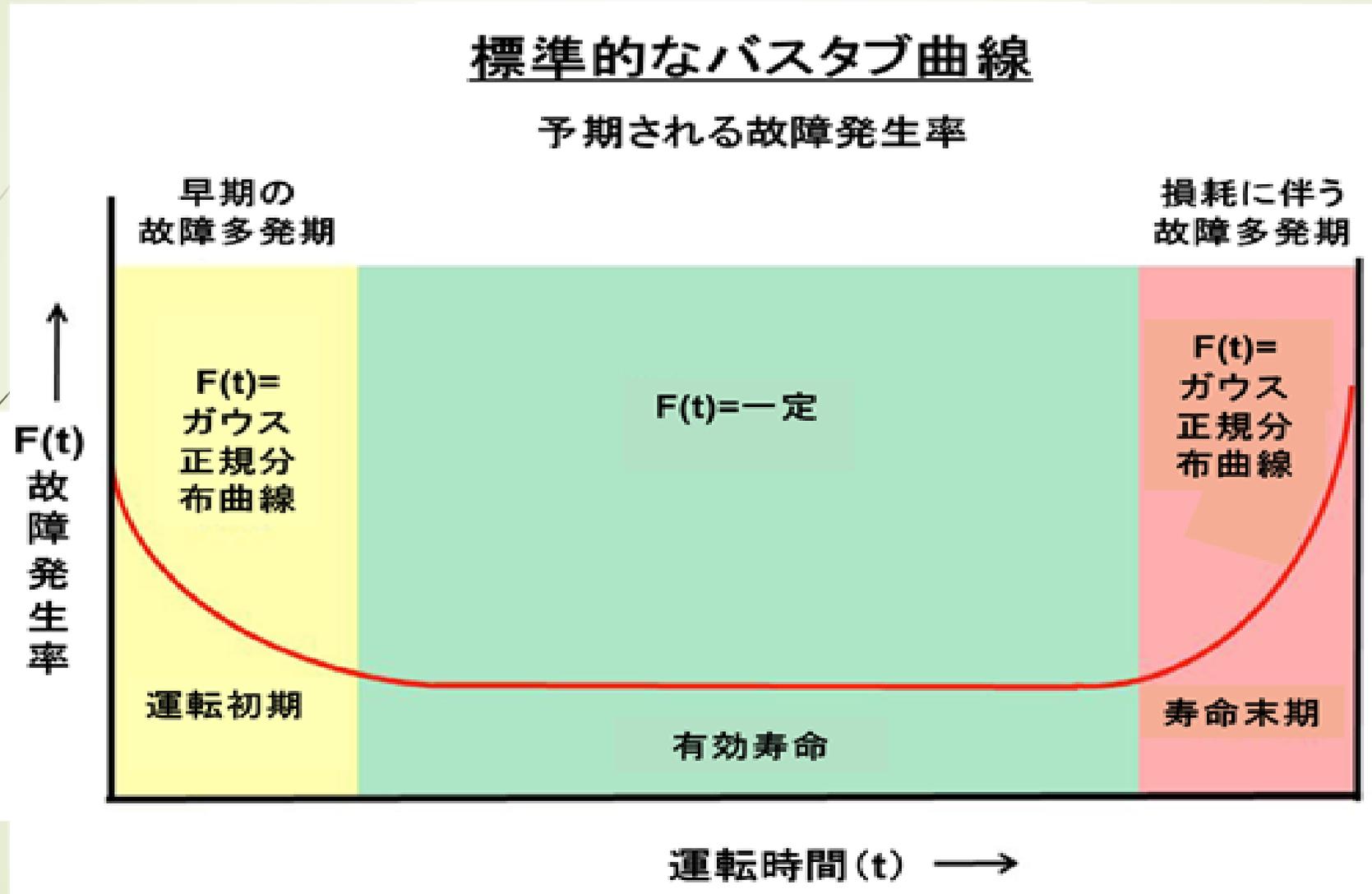
名古屋地方裁判所民事9部（行政専門
部）に係属中

2

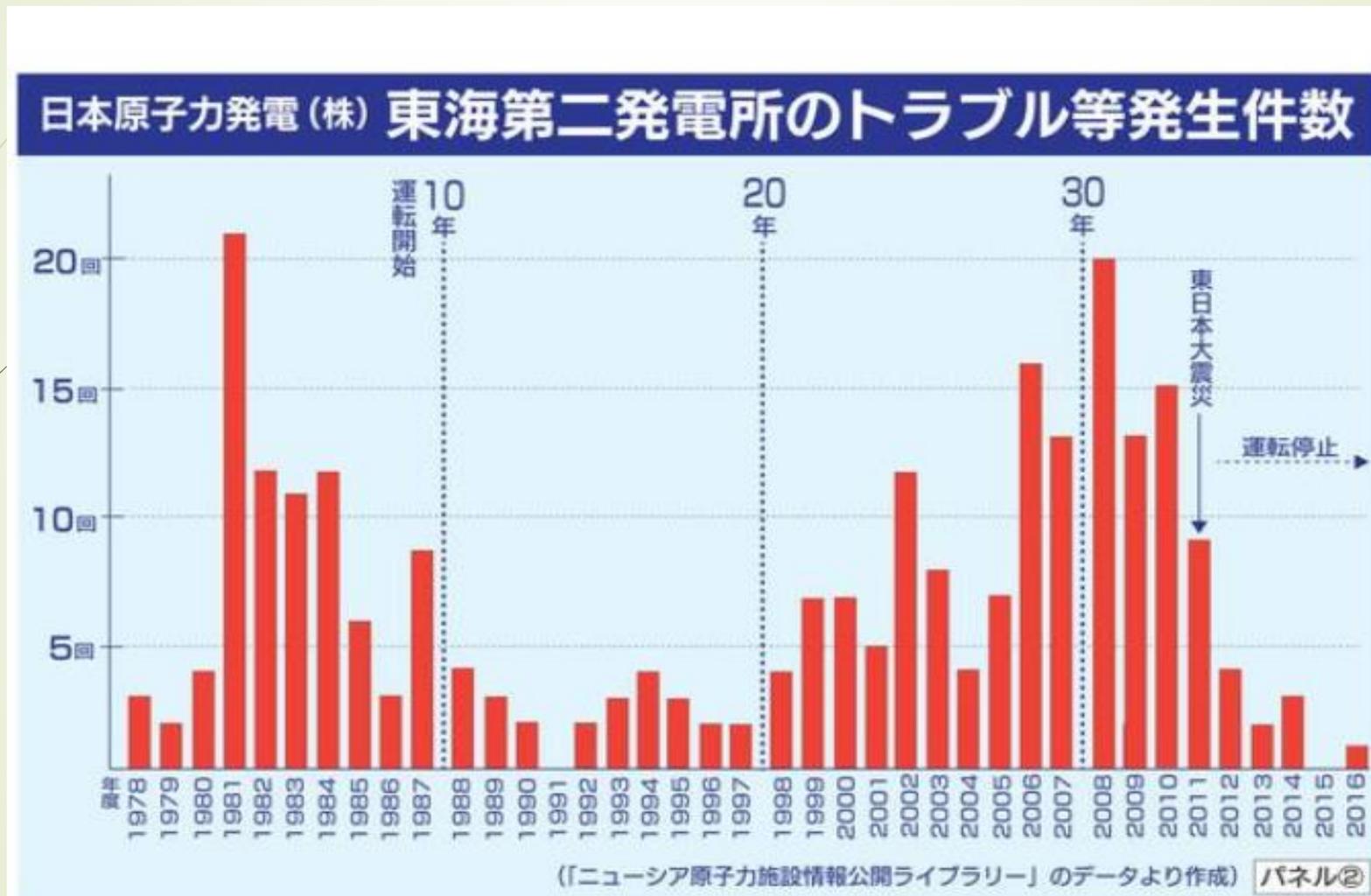
ホームページ：<http://toold-40-takahama.com/>

原発は過酷な環境化（高
温・高圧力・**高放射線量**）
におかれている

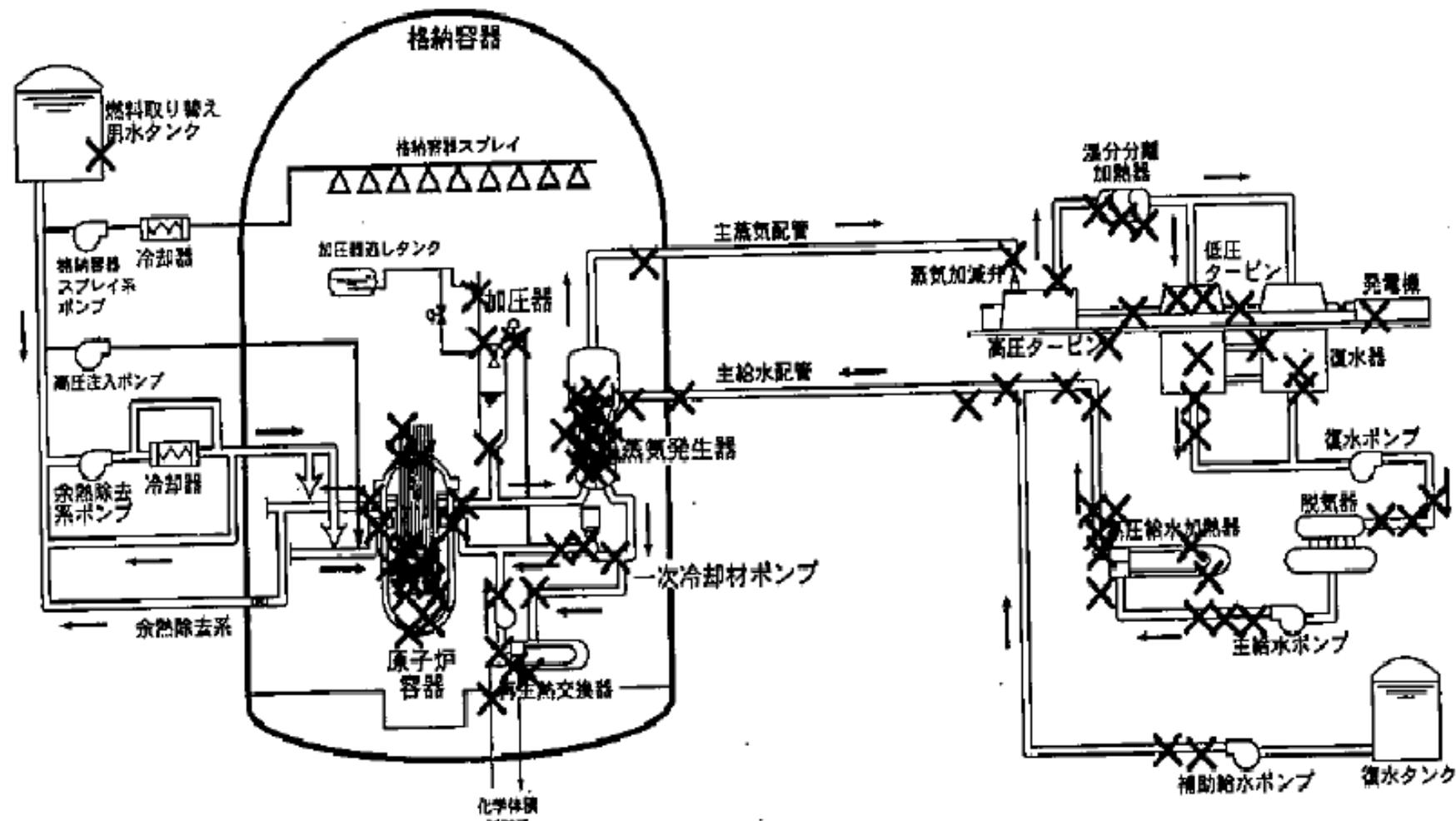
①経年劣化により生じる問題



①経年劣化により生じる問題



①経年劣化により生じる問題



①経年劣化により生じる問題

老朽化により重大な事故が生じうる

・ 想定しうる経年劣化を共通起因とした**重大事故**

⇒ Ex. 経年劣化+地震により過酷事故発生
(佐藤意見書・甲E30)

・ 美浜原発3号機による**作業員5名死亡**・

6名重傷という重大事故 (平成16年8月9日発生)

⇒ 金属材料の劣化という老朽化により発生した事故。(甲E33)

②型が旧（ふる）いことによる問題

➡設計の旧（ふる）さ

例えば、福島第一原発事故では...

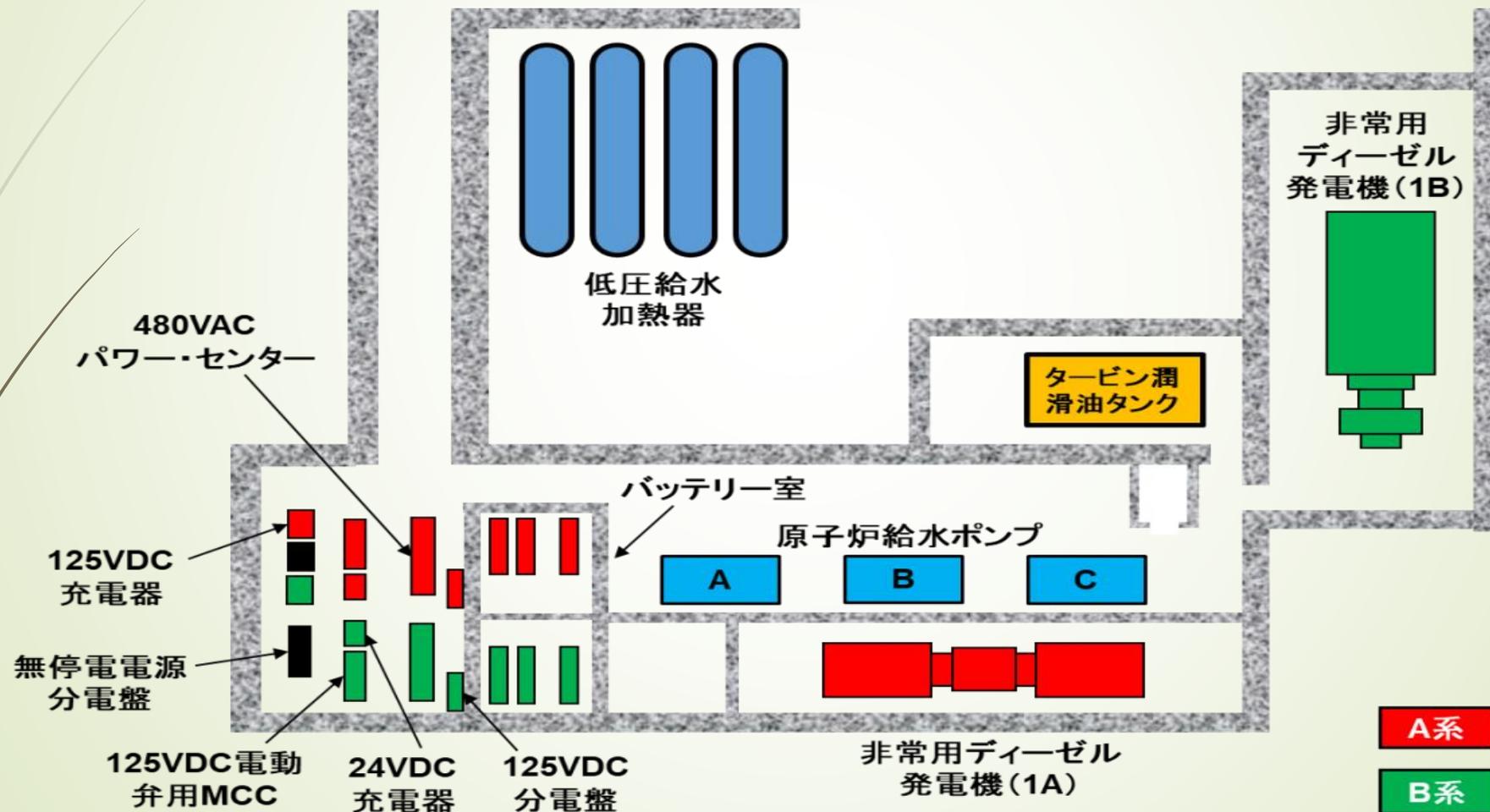
- ・内部電源喪失
- ・外部電源喪失
- ・非常用ディーゼル発電機からの非常用電源喪失
- ・バッテリーからの直流電源喪失

非常用配電盤の
同時機能喪失が
主要な原因

全電源
喪失

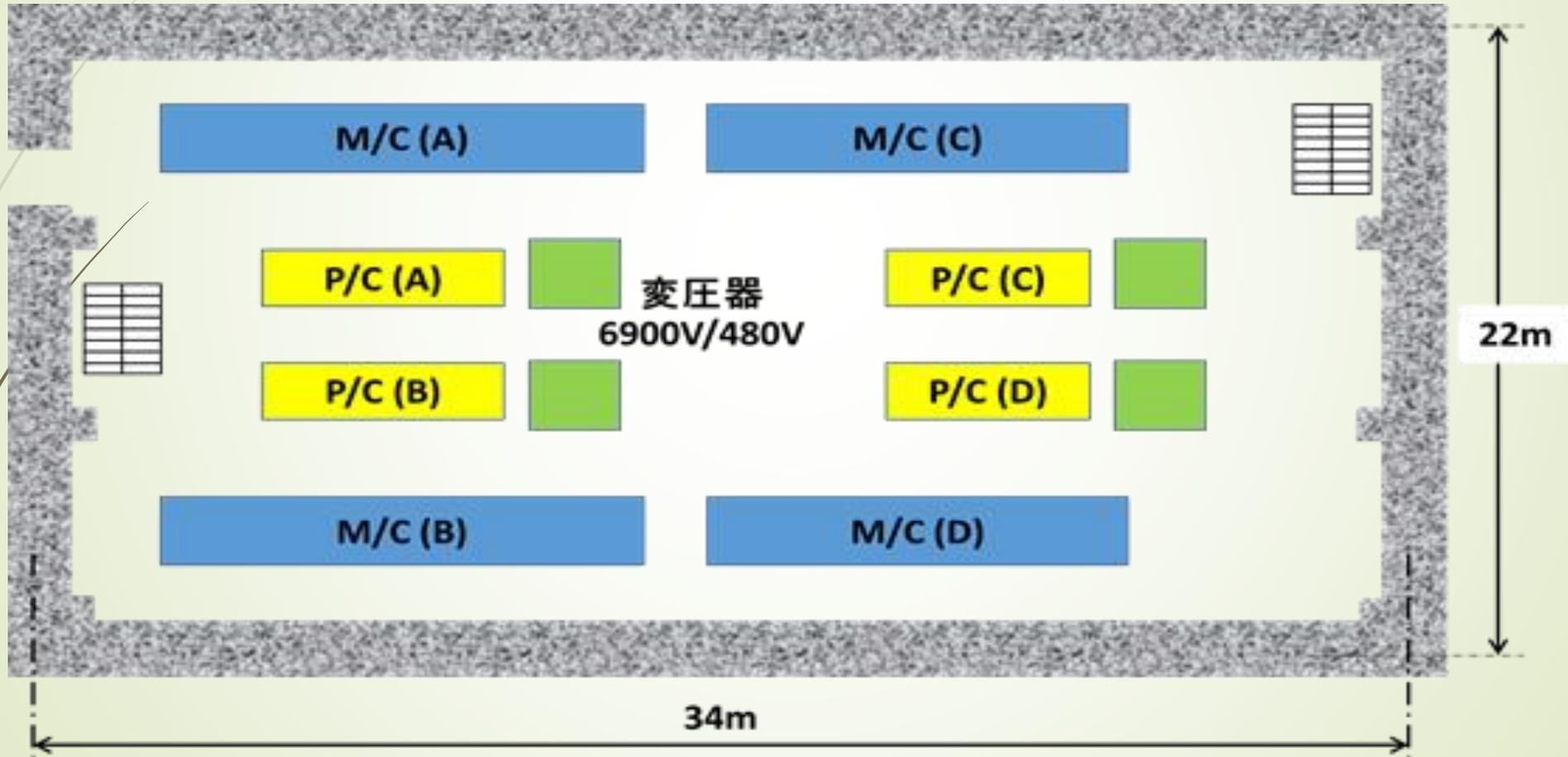
②型が旧（ふる）いことによる問題

■福島第一原子力発電所1号機の電源盤（交流、直流）の配置



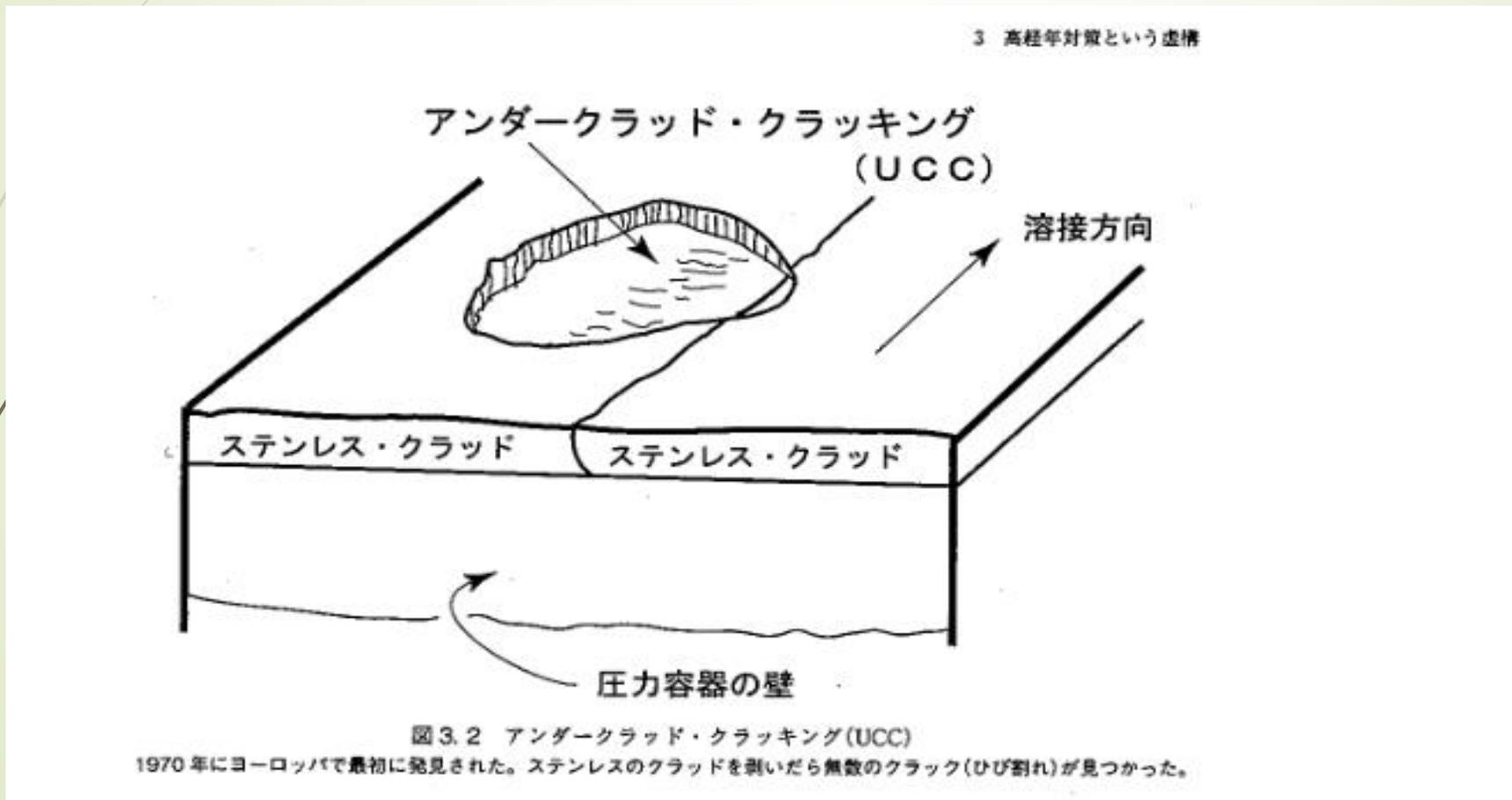
②型が旧（ふる）いことによる問題

■福島第一原子力発電所3号機の電源盤（M/C、P/C）の配置



②型が旧（ふる）いことによる問題

➡ 施工・検査技術の旧さ



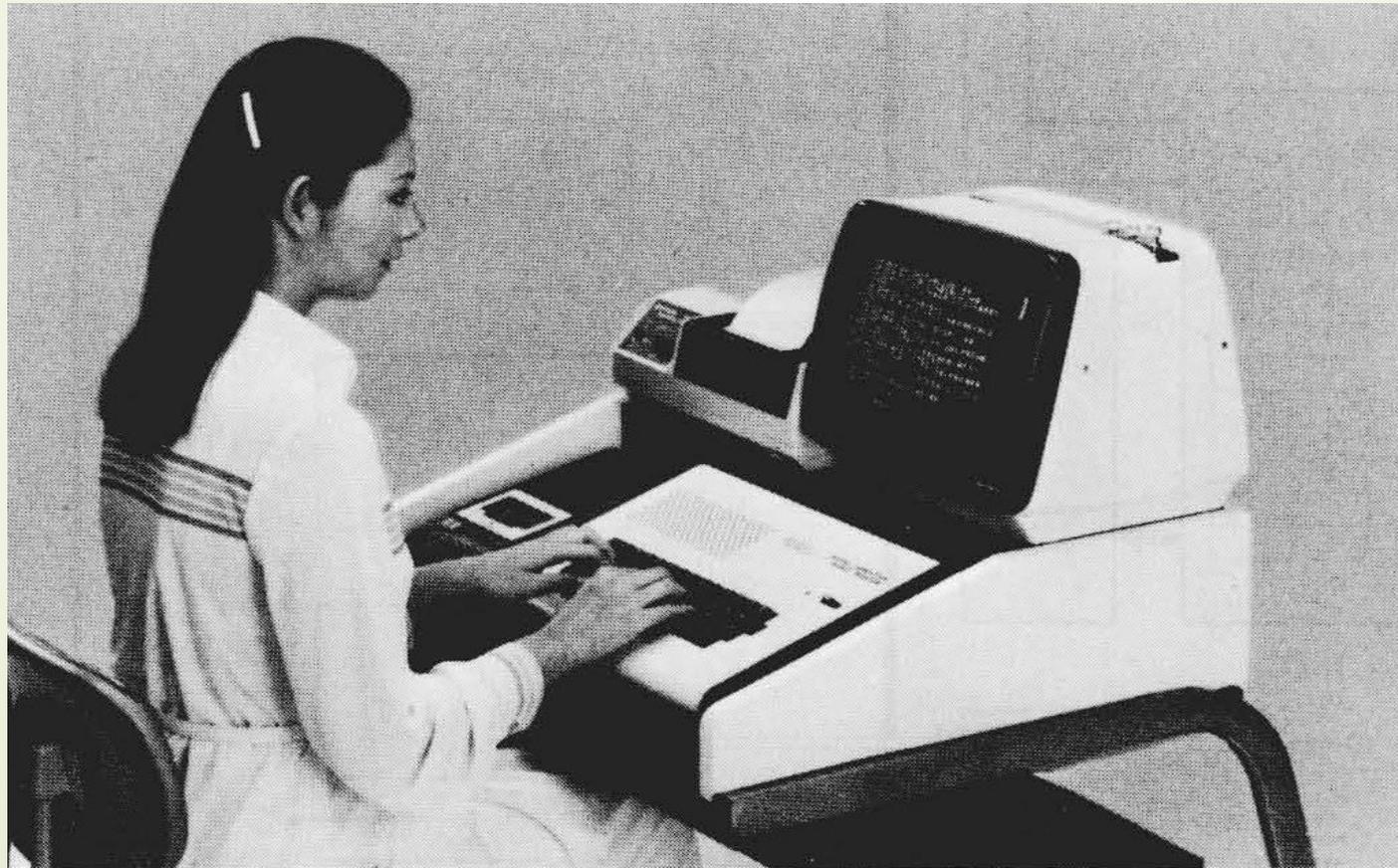
②型が旧（ふる）いことによる問題

12

更田豊志・規制委員会委員（当時）

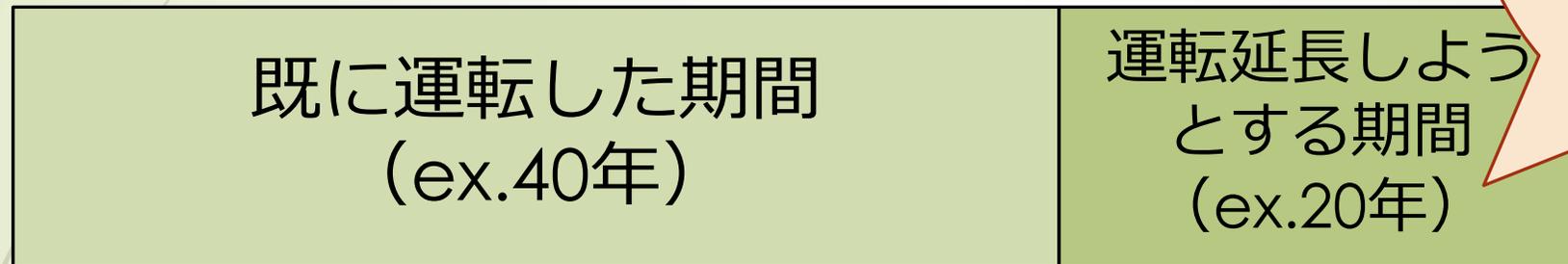
「先ほど委員長が、40年はころ合
いじゃないかということをおっ
しゃったのも、それは、材料の劣化
であるとか、機器の劣化というより
も、**そもそも型が古い**というか、**そ
のことが今の基準に照らしてどうか
という判断がある**と思っ
ています。」（甲B6）

40年前の科学技術水準のものがい まだに使われている



1978年、日立製
作所が発売した国産
第一号のパソコン
「ベーシックマス
ター」

運転期間延長に際しての審査



不確実性・不
確定性の大き
い予測となら
ざるを得ない

現在の劣化状況を前提として…
延長しようとする期間経過後の状況を
予測する

「原則40年（+20年）ルール」が定められた経緯

15

安全を志向する
諸外国の法規制
に遅れた**陳腐化**
したもの

日本の法規制は実際
に発生した事故のみ
を踏まえた**対症療法的、
パッチワーク的**
対応

規制当局が事
業者の「**虜**」
となっており、
結果招来され
た「人災」

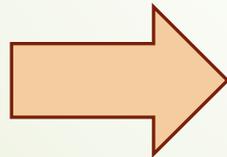
保安規定変更認可における
高経年化対策制度
(10年毎)

事業者の自主
性に委ねる面
が大きかった



運転延長認可制度
(40年+20年ルール)

福島第一原発事故
(2011.3.11)



運転延長ルールは「例外中の例外」

16

①原子炉の設置・稼働

→ 一般的に禁止される **【例外】**

②延長

→ 一回限り「最長20年」認める
【例外中の例外】

運転延長ルールは「例外中の例外」

17

細野豪志・環境大臣（当時）

国会答弁

「個別のいわゆる脆化という素材としての問題についても、また設備の機器の全体のシステムということに関しても、**40年**というのが**1つ**の**そもそも目安として原発**というのは**造られている**」（甲B7）

運転延長ルールは「例外中の例外」

18

細野豪志・環境大臣（当時）

国会答弁

「最新の技術的知見を踏まえた基準を満たすことが求められることから、実際の延長が認められるのは**例外的な場合に限られる**と考えております」（甲B7）

従って、運転期間延長に際しての規制委員会の審査には

より慎重かつ厳格な
審査が求められる

司法審査としても...

基準の合理性や判断過程
の過誤・欠落は、慎重か
つ厳格に審査されるべき

原告は「運転延長認可」の要件の中でも最も重要な問題のひとつとして取り上げている

中性子照射脆化問題

中性子照射による原子炉容器の脆化

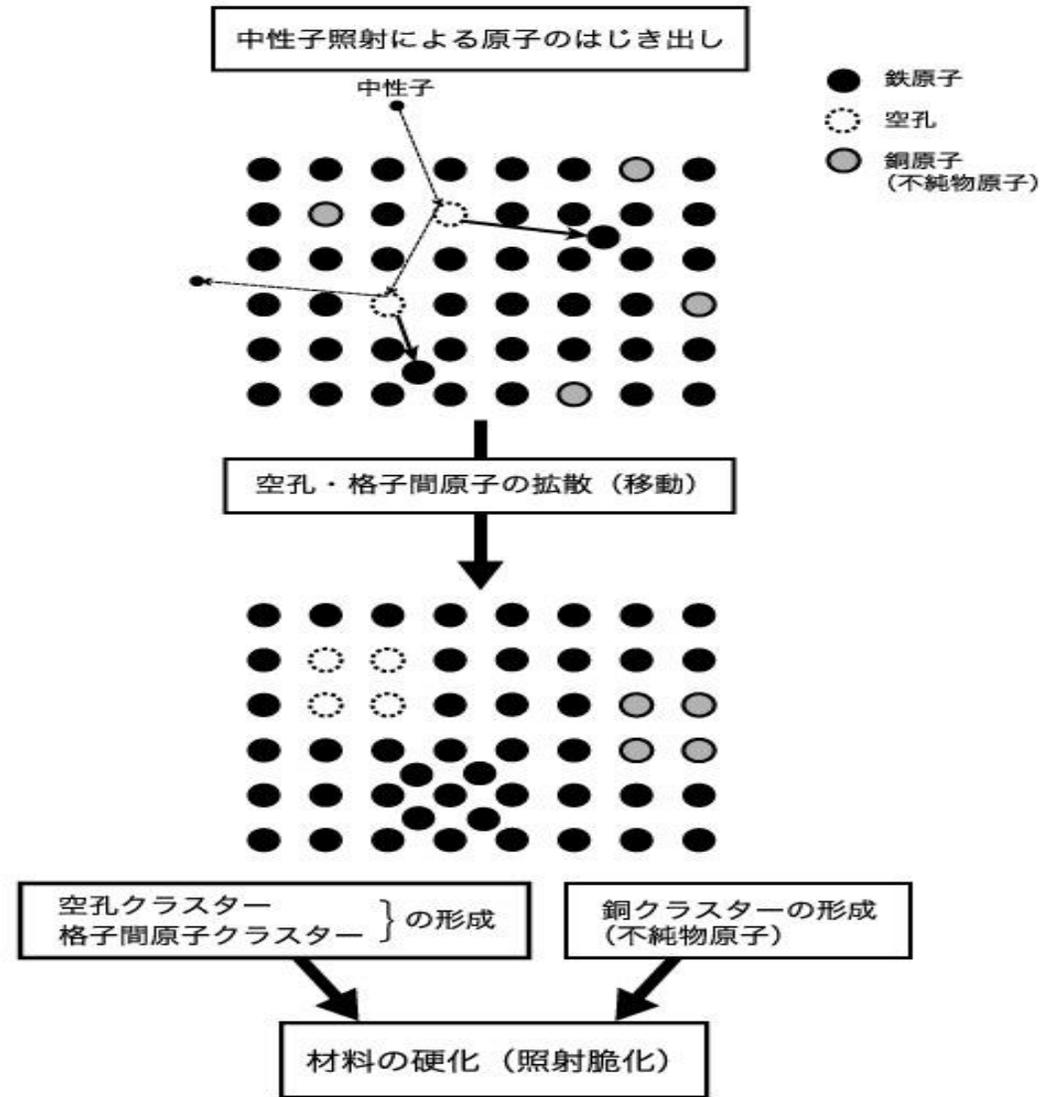


図 1 中性子による照射のメカニズム

脆性破壊とは

低温下などで、金属などの材料が、本来もっている粘りを失って、より小さな力でもろくも壊れてしまうこと。



タイタニック号
氷山に衝突し沈没

原子炉容器が脆化する

24



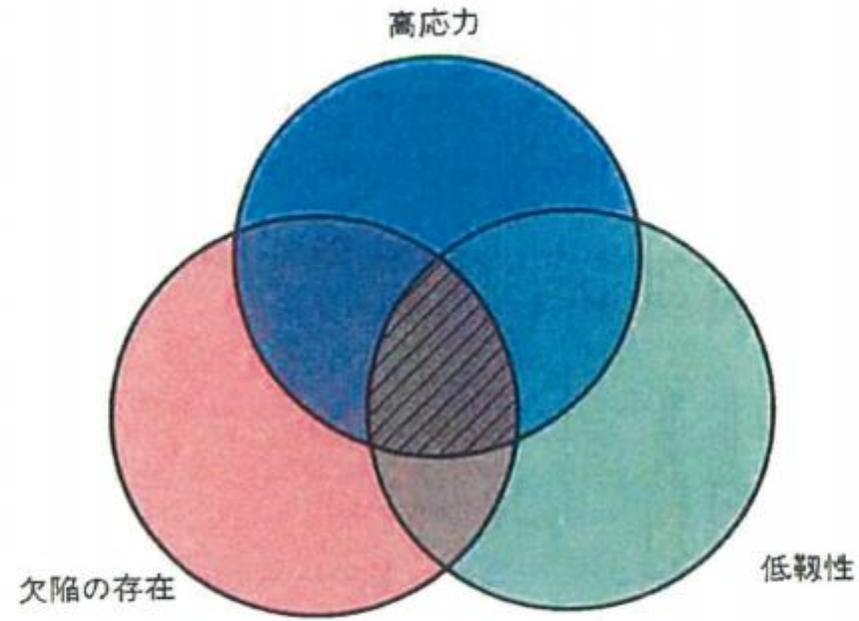
甲F111 0:00 ~ 5:00

原子炉圧力容器が瞬時に破損し、その破片が格納容器を突き破って、大量の放射能が外部に放出されてしまう危険性がある。

圧力容器が健全性を保てなければ福島第一原発事故よりも破滅的な事故となる可能性が高い



脆性破壊発生 の 3 つの要因



(丙 E 2, 2 頁)

【図表 3 脆性破壊発生 の 3 つの要因のイメージ図】

法は原子炉容器に

① 亀裂があること

施工技術の旧さからUCCなどの亀裂の可能性が否定できない

② 「加圧熱衝撃」が発生すること

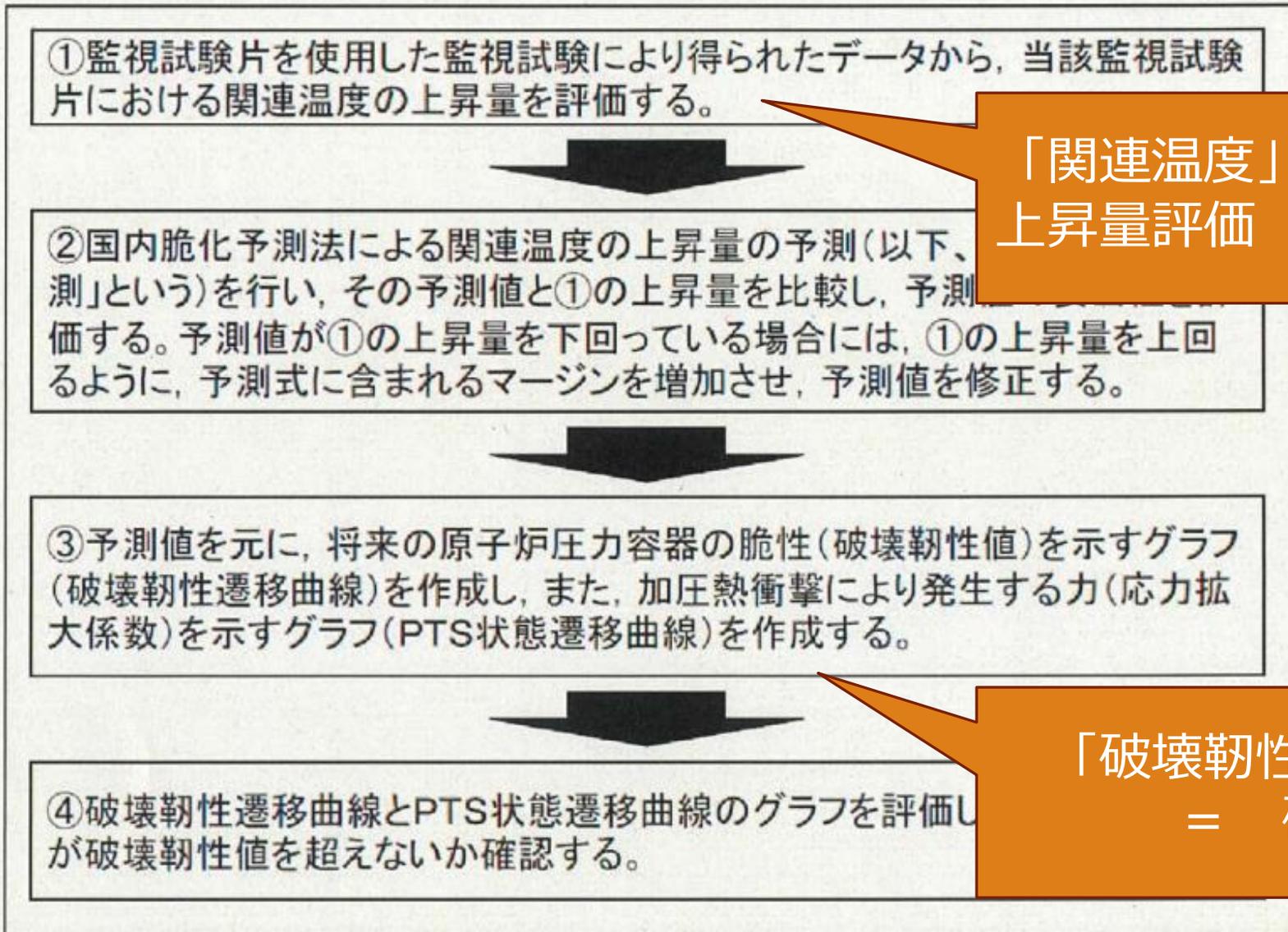
があったとしても、

注水 → 加圧熱
衝撃は様々な原因
で発生しうる

そのような場合でも

原子炉容器が壊れないことを求めている。

被告による加圧熱衝撃評価に係る評価手法の流れ



「関連温度」(脆性遷移温度)の上昇量評価 = シャルピー試験

「破壊靱性遷移曲線」の作成 = 破壊靱性試験

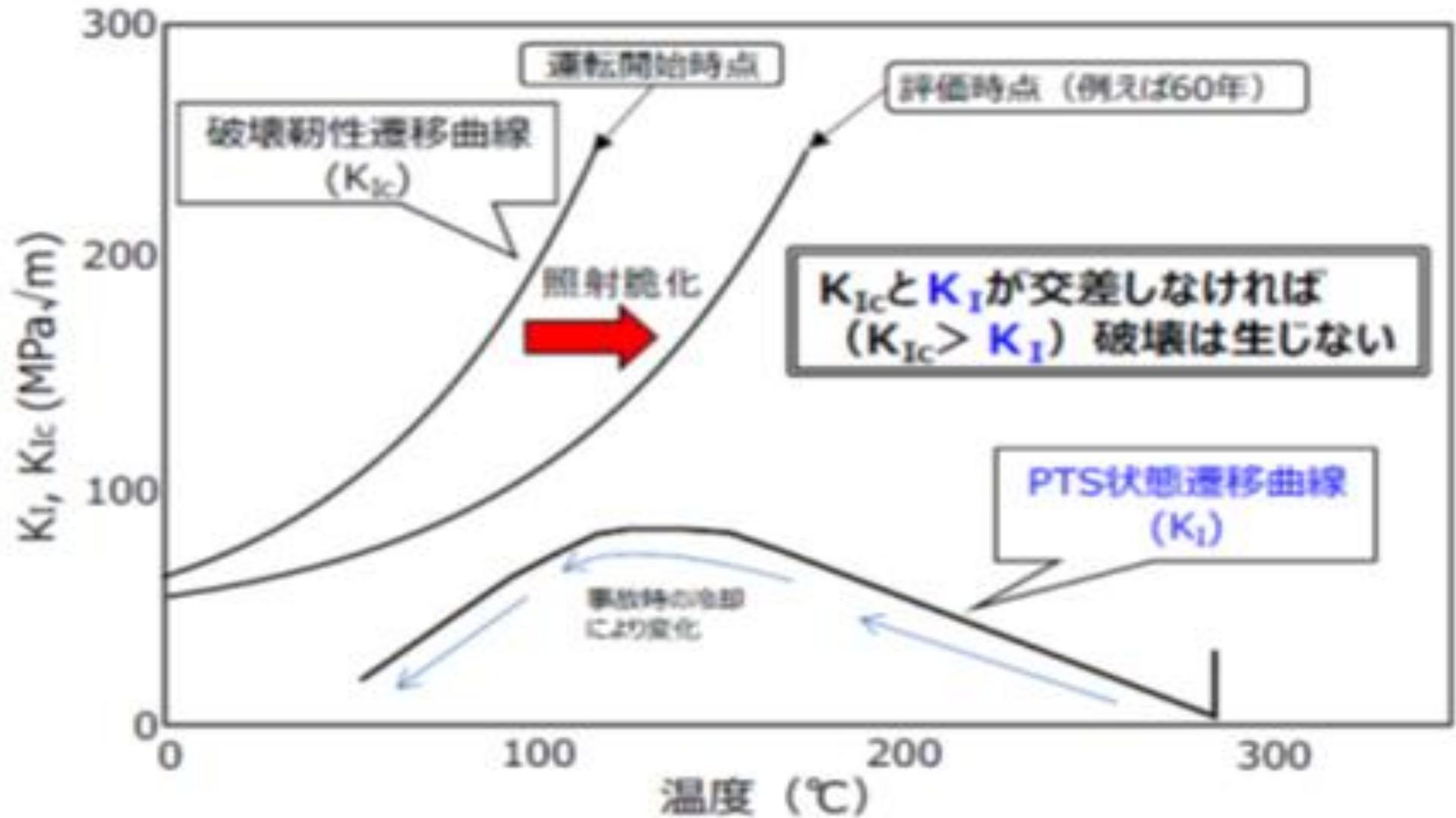


図 3.2.2 (2)-9 PTS 事象に対する健全性評価の模式図

き裂に対する材料の強さ: K_{IC}
破壊靱性遷移曲線

応力拡大係数 K_I
破壊靱性値 K_{IC}

圧力の単位
($\text{Mpa}\sqrt{\text{m}}$)

シフト量はシャルピー試験と
• JEAC 4201で決まる

原データから正しく
評価されているか?

シフト量の評価方
法が過小評価では
ないか?

加圧熱衝撃
(PTS) のシ
ミュレー
ション

原子炉の耐久性

PTSのシミュレー
ションは適切か?

PTS状態遷移曲線
を進展させる力: K_I

PTS

「シフト量」の評価方法の問題点

- 評価式自体に理論的な誤りが存在すること
- 式を理論式ではなく、経験式として考えたとしても適切な式とはいえないこと

理論的に検討すると・・・

➡ (1) 式: $d C_{S_c} / d t = a C_{C_u} \cdot D \cdot C_{M_D} + b (C_{C_u} \cdot D)^2$

物理現象を支配する方程式の各項の次元は同じでなければならない」という次元一致の原理に反する。

簡単にいうと、

面積と長さをそのまま足すようなことをしている状態

この誤りに対しては…



小岩昌宏氏

J E A C 4 2 0 1 - 2 0 0 7 脆化
予測モデルの反応式に

初歩的な誤り

がある。



原子力規制庁



石野栞氏



シンポジウムの主宰者
Jeremy Busby氏

この誤りに対しては・・・



小岩昌宏氏

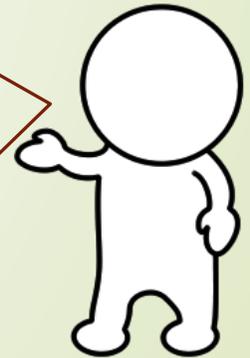


原子力規制庁

この種の現象を扱う際に**広く用いられているものと異なるやり方**で原論文の方程式が展開されていることに疑問を提起しているのは当然である



石野栞氏



シンポジウムの主宰者
Jeremy Busby氏

この誤りに対しては…



小岩昌宏氏



原子力規制庁

(2乗することが正しいのかどうかに関して)

議論を重ねたが**結論には至らなかった。**



石野栞氏



シンポジウムの主宰者
Jeremy Busby氏

この誤りに対しては…



小岩昌宏氏

「複雑な現象を簡略化した
荒い近似式にもとづくもので
物理的な厳密性はもともとない」



石野栞氏

(2乗に比例するとしたことにつ
いて、共著者である)
「曽根田(直樹)君の
勇み足だった」



原子力規制庁



シンポジウムの主宰者

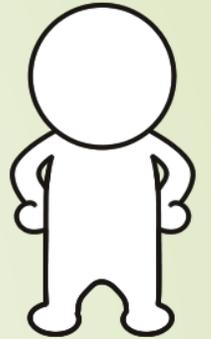
**理論式として誤りがある。
少なくとも
正確なものではない。**

経験式としてみても…

反応速度式などに含まれる19個という未知のパラメータ数は常識をはるかに超えて多い。

パラメータ数が多いと以下のような問題がある。

- ・パラメータの一意性が成り立っていない可能性
- ・推定値の間の独立性が失われる可能性
- ・あてはめすぎ現象で予測式の妥当性が失われる可能性



吉村功氏

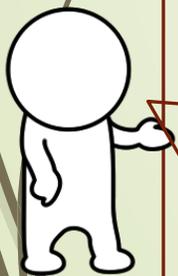
経験式としてみても…

日本電気協会に対して、

今後得られる監視試験データの 予測式への影響等

の報告を要求する意見が複数

19のパラメータの物理的意味とか、
私にもとても理解できないような式
になっている。



田中俊一委員長（当時）



原子力規制委員会の審議

経験式としてみても…

**実態を正しく導き出すもの
となっていない。**

実際，高浜原発 1 号炉では・・・

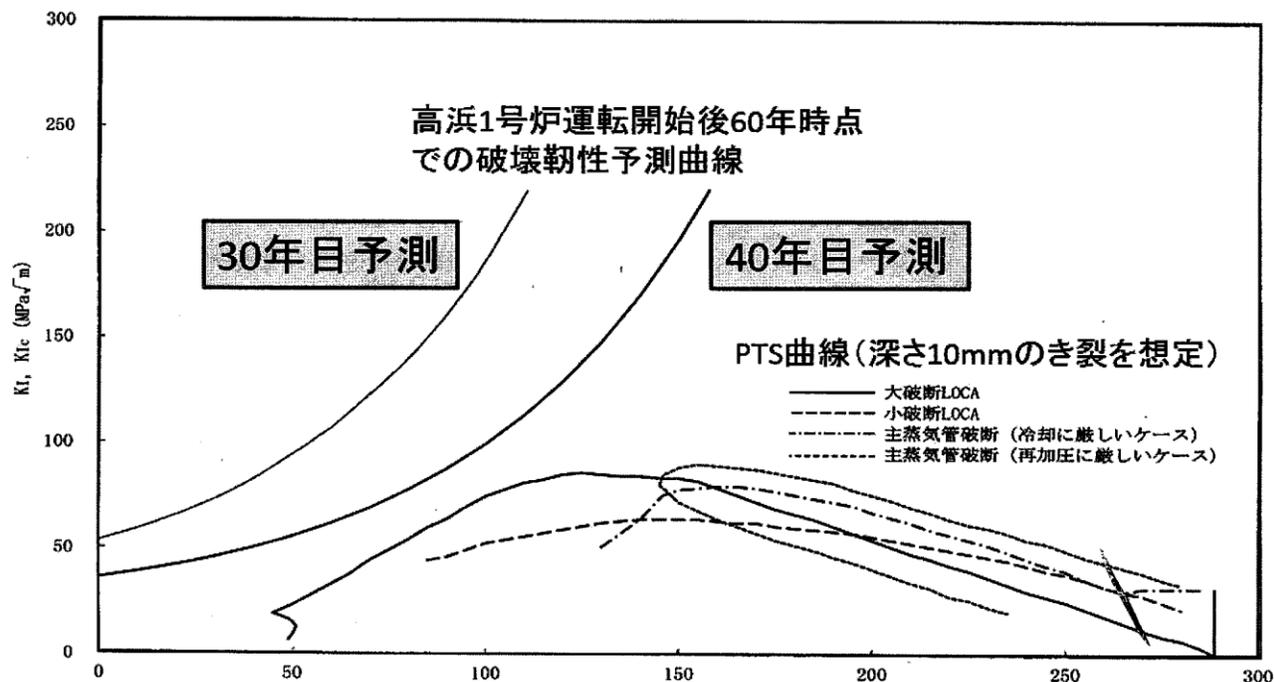
➡ 高経年化技術評価書（30年）

+30年 = 60年時点予測

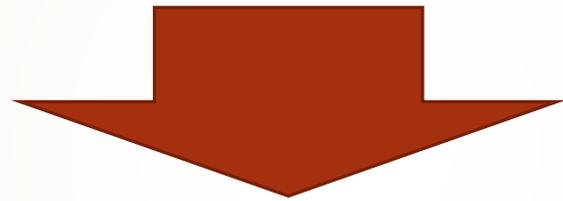
➡ 高経年化技術評価書（40年）

+20年 = 60年時点予測

**同じ
「60年時点予測」
なのに余裕が
大幅に減少
(曲線が近接)**



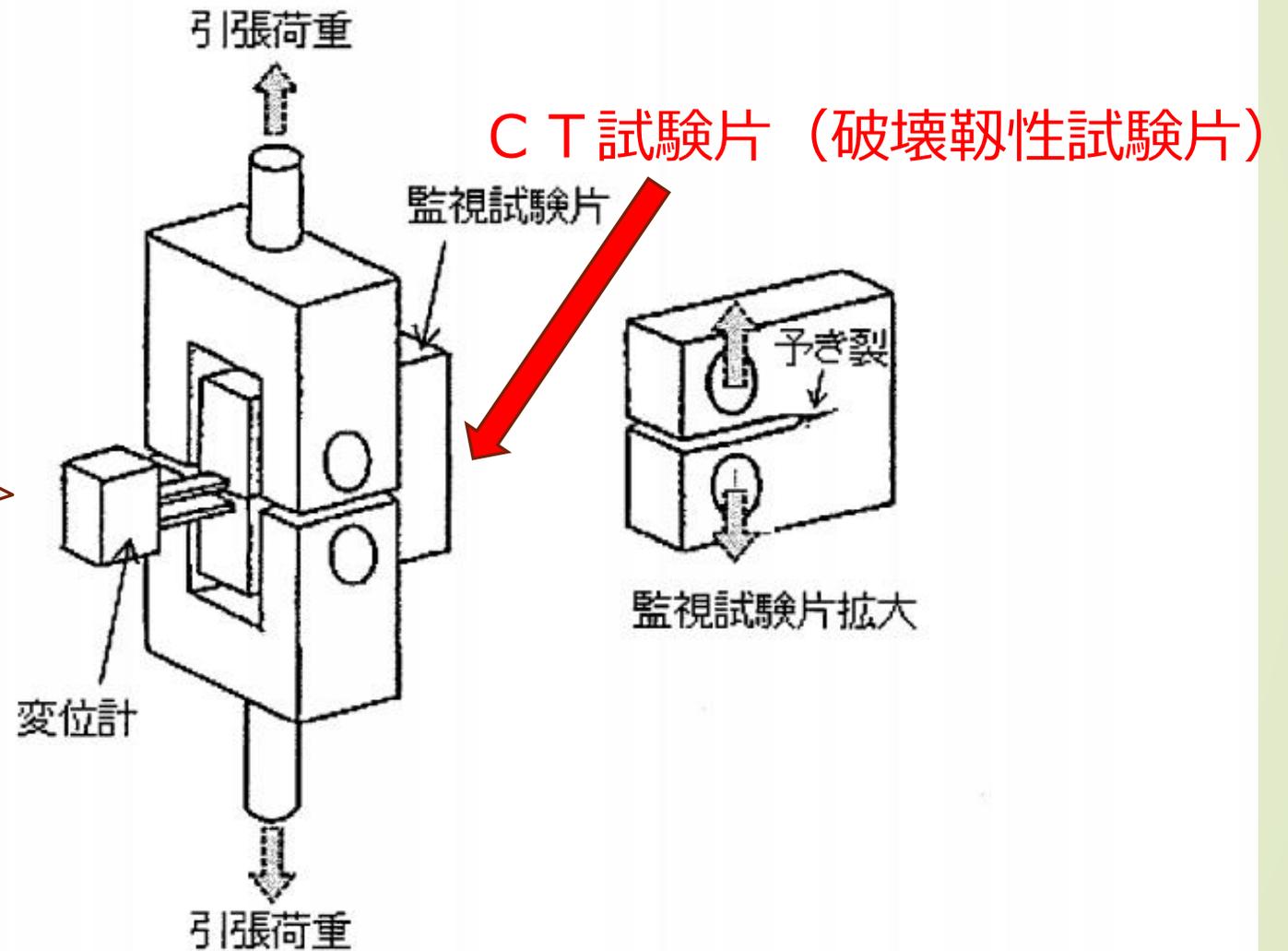
高浜1号機のように、30年目と40年目の脆化予測曲線が大きく変化...



脆化予測曲線（左上の曲線）が正しいデータに基づき正しく作成されているのかという**正確性に疑義**が生じる。

CT試験片による試験結果（破壊靱性値）

一回の試験回次
あたり4体



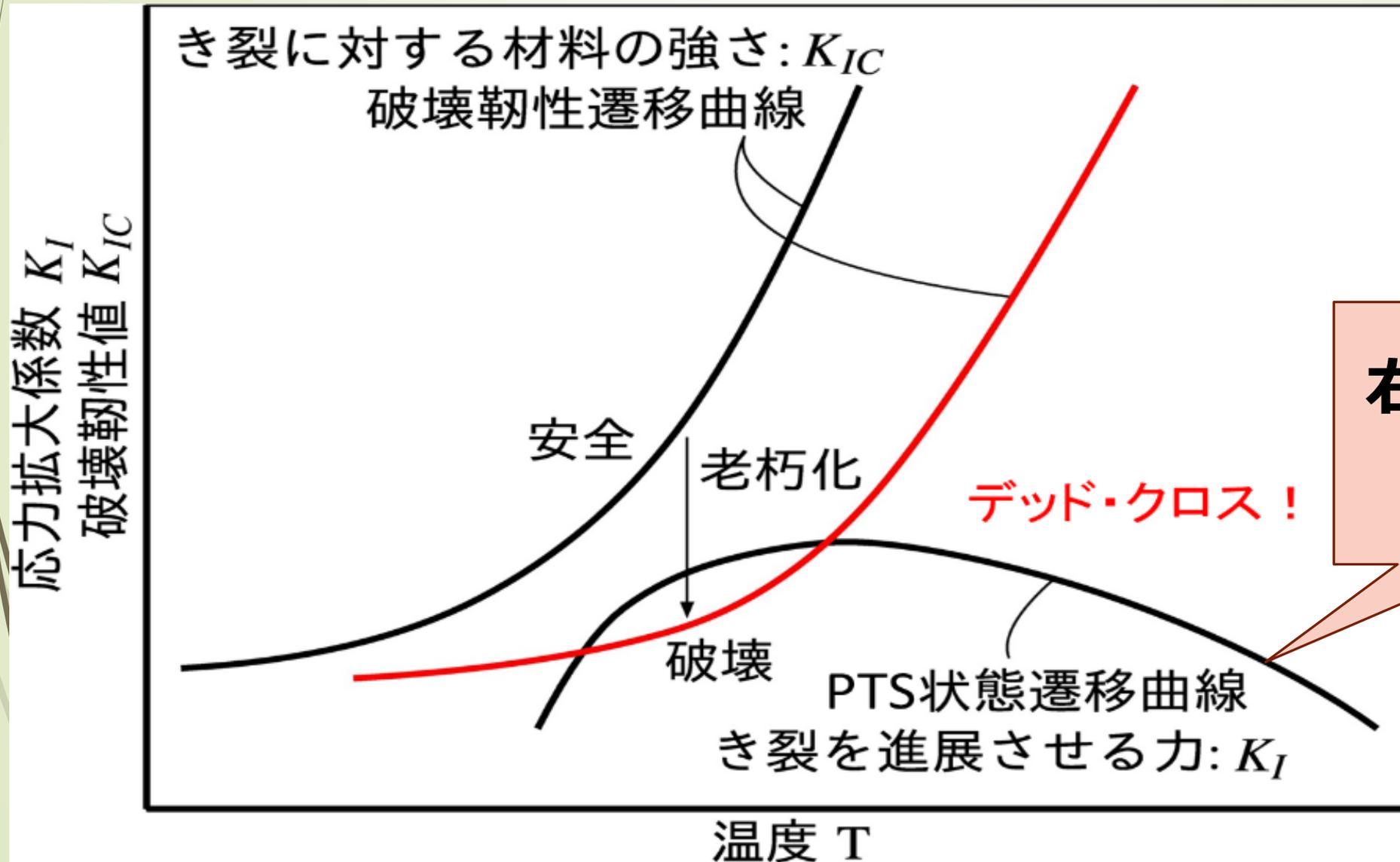
【図表6 破壊靱性試験のイメージ図】

CT試験片による試験結果（破壊靱性値）

監視試験 回次	区分	試験温度 (°C)	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
		11	適切なデータが得られた
		-140	適切なデータが得られた
2	溶接金属	22	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
		-70	適切なデータが得られた
3	母材	100	①延性破壊
		12	適切なデータが得られた
		-20	適切なデータが得られた
4	溶接金属	-50	適切なデータが得られた
		-100	適切なデータが得られた
		200	①延性破壊
		-5	適切なデータが得られた

【図表9 破壊靱性試験結果】

加圧熱衝撃のシミュレーションについて



右下の曲線
について

右下の曲線の決め方

- ▶ 注水などにより原子炉が急激に冷やされた時、その時間に応じた圧力の変化を表すものが右下の曲線（**P T S**状態遷移曲線）



電力会社が、各原子炉の諸条件を想定して独自に計算。

中でも「**熱伝達率**」が重要な要素

PTS評価の不合理性

- (1) 熱伝達率の評価式そのものが不合理**
- (2) 沸騰が想定されていない**
- (3) 時間の経過による熱伝達率の変化が考慮されていない**
- (4) 「ブルーム」 (ムラ) が考慮されていない**

(1) 評価式そのものが不合理であること

48

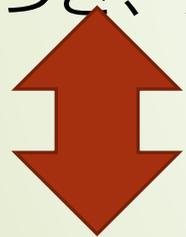
「...上向き of 自然対流と下向き of 強制対流が共存するケースの熱伝達率は、以下に示す **Jackson-Fewster式** で評価する

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

.....(3) 」

【ZE25 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。**

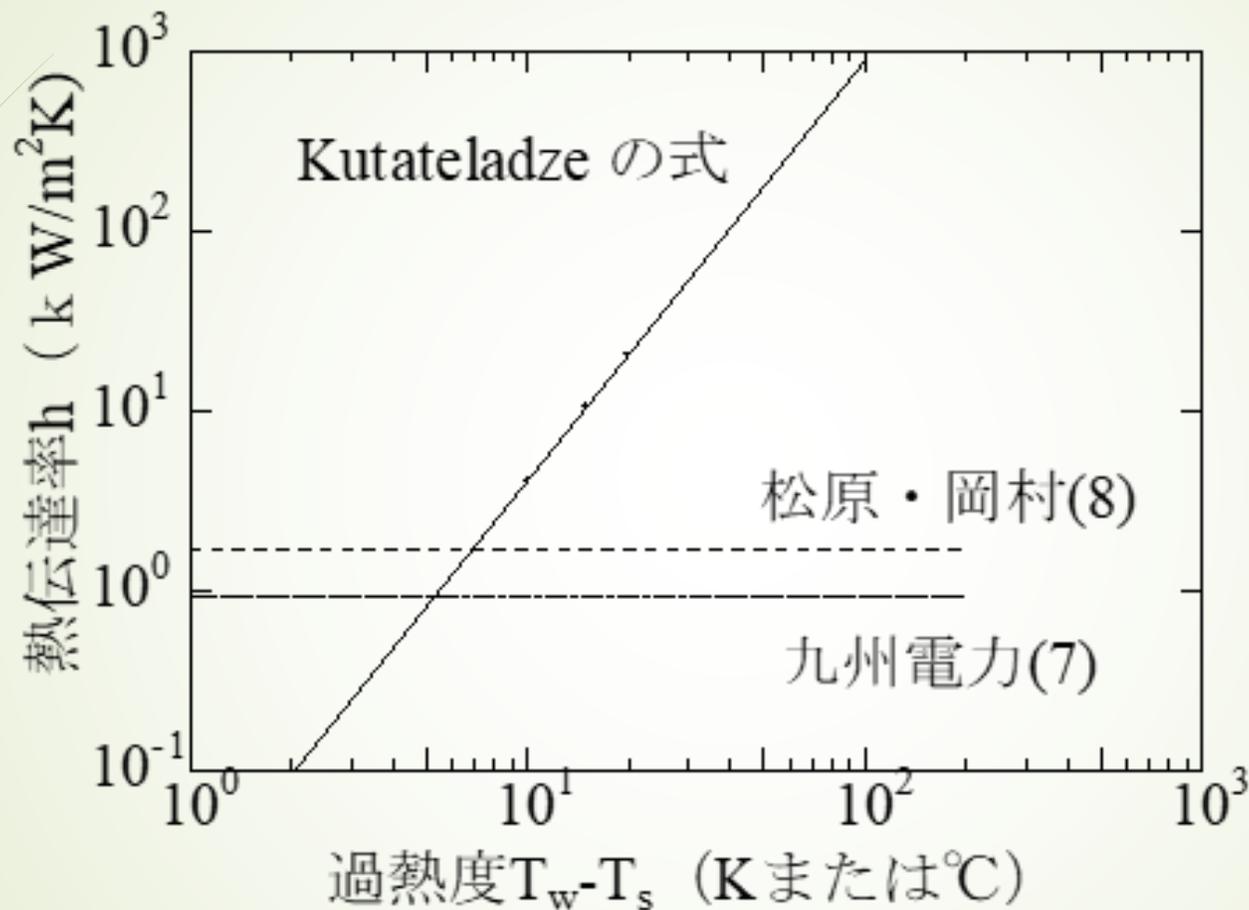


想定している形状がまるで異なる。 Jackson-Fewster式を用いるのは、不合理。

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) 沸騰が想定されていない

→ 冷却の初期段階で必ず沸騰が生じる



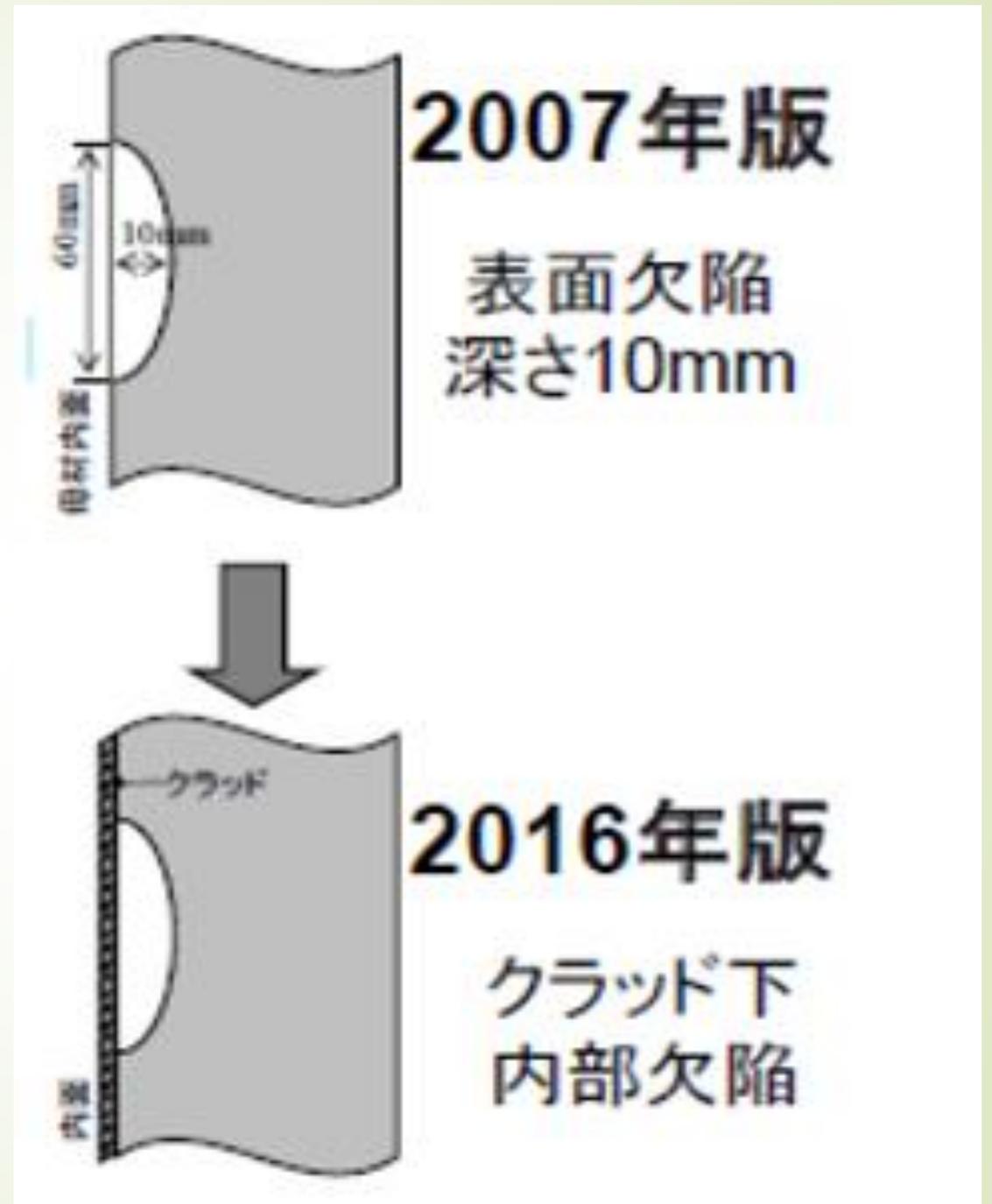
【甲美E6、7頁脚注16】

九州電力の評価では、 $0.92 \text{ kW/m}^2\text{K}$ 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。

クラッドを考慮している問題点

50

クラッド
=コーティング



(1) PTSの解析において、
クラッドについての記載がない

(2) **クラッドは図に記載されていない**

JEAC4206-2007にはクラッドが一切考慮されていないこと

52

(3) 最大仮想欠陥においては、「半楕円表面欠陥」としている

表 4.1.9-1 供用状態 C、D の仮想欠陥に関する変更内容

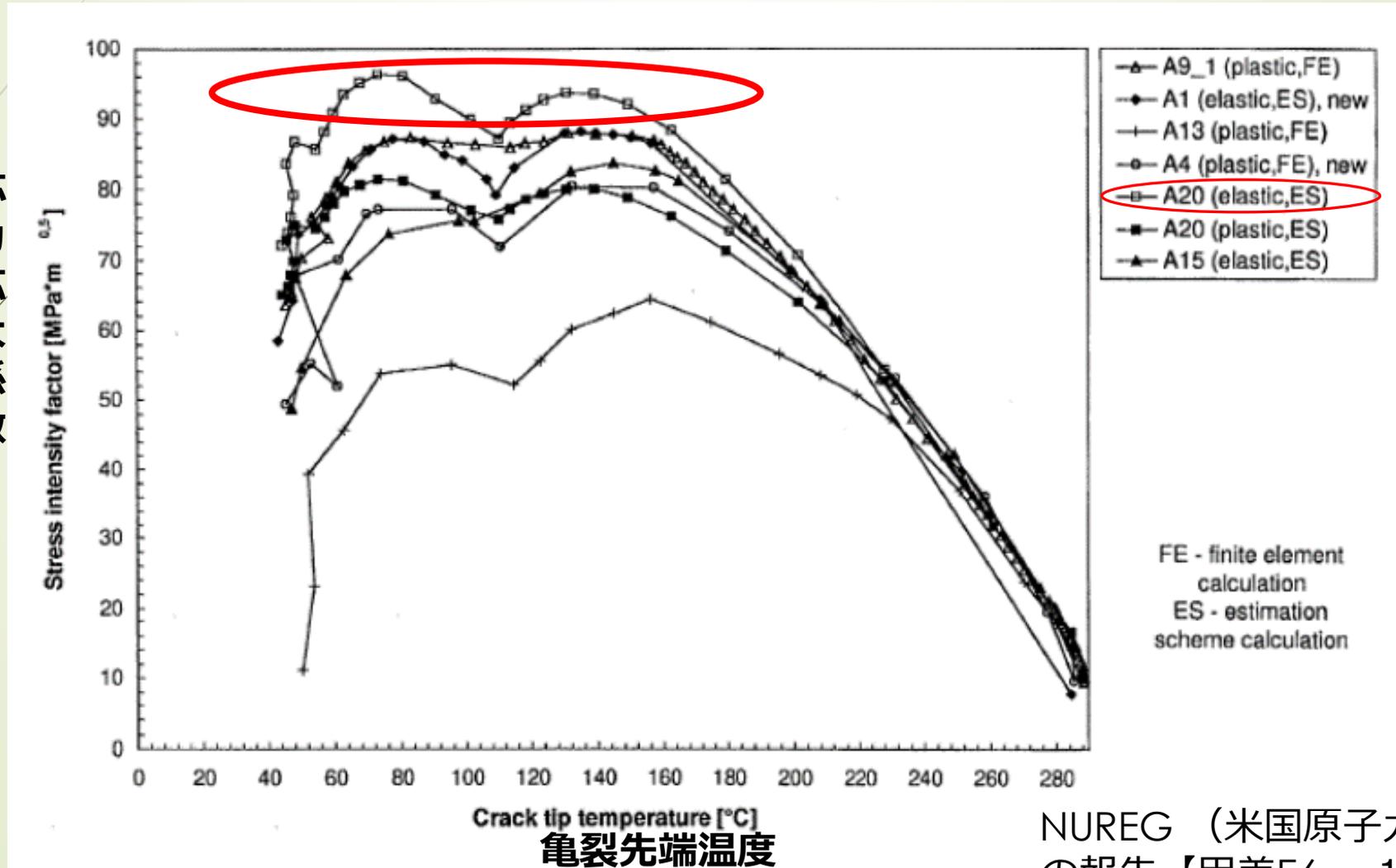
最大仮想欠陥		破壊靱性確認方法 2016	破壊靱性確認方法 2007
一般評価	形状	半楕円欠陥	—
	大きさ	深さ 10mm、長さ 60mm (非破壊試験結果を反映可能)	—
	場所	炉心領域内面クラッド下	—
	方向	軸方向	—
詳細評価	形状	半楕円欠陥	半楕円表面欠陥
	大きさ	深さ 10mm、長さ 60mm (非破壊試験結果を反映可能)	深さ 10mm、長さ 60mm
	場所	炉心領域内面クラッド下	炉心領域内表面
	方向	母材に対して軸方向，溶接金属に対して溶接線方向	軸方向

JEAC4206-2016とは、
JEAC4206-2007の改訂版

… 技術評価の結果、
JEAC4206-2016は**不採用**

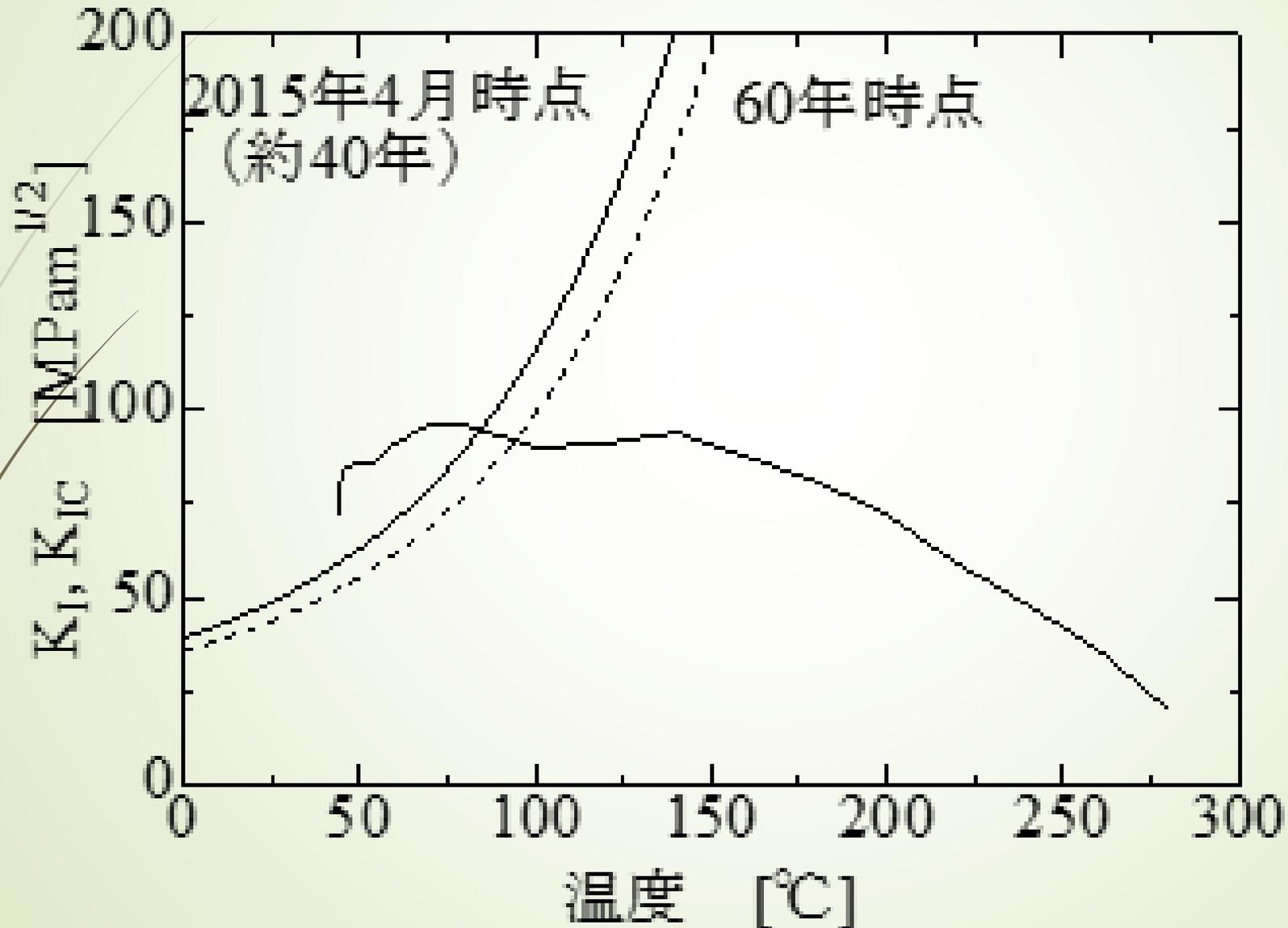
(3) 冷却期間中における熱伝達率の変動が考慮されていない

応力拡大係数



NUREG (米国原子力規制委員会の規制の報告【甲美E6、13頁脚注27】)

(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



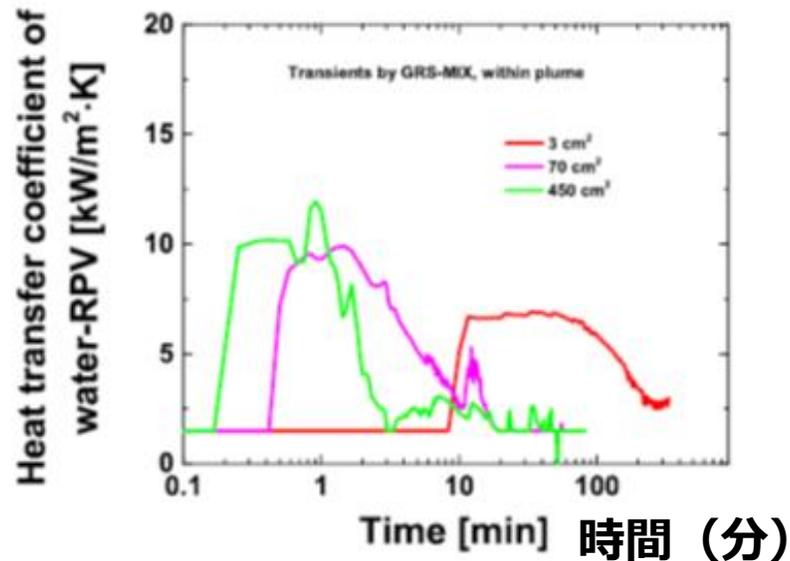
熱伝達率の変動を考慮した上のA20 (erastic, ES) を高浜1号機の破壊靱性遷移曲線にプロットした図

(4) プルームが考慮されていないこと

※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

Qian et alの計算例【甲美E6、17頁脚注3】

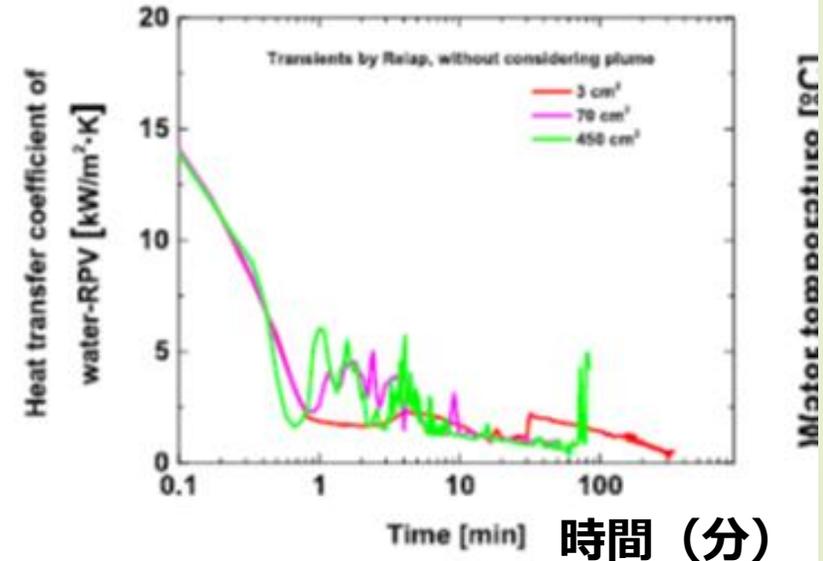
熱伝達率



(E) Heat transfer coefficient history of the studied transients calculated with GRS-MIX.

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

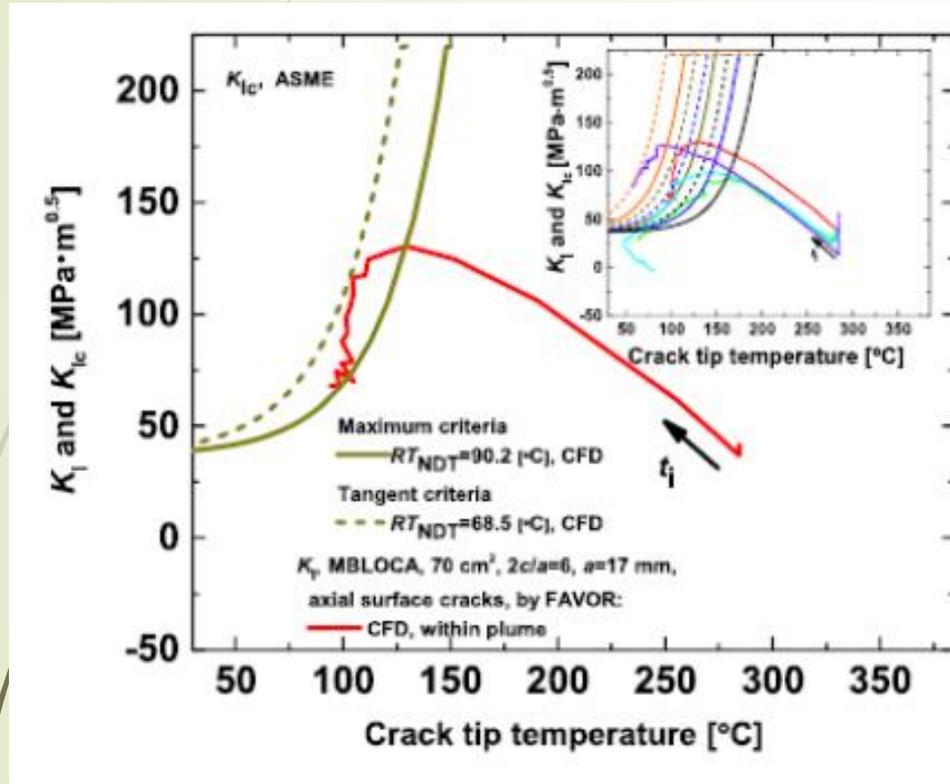


(C) HTC in the downcomer for various hot leg break sizes (cm^2) calculated with RELAP5.

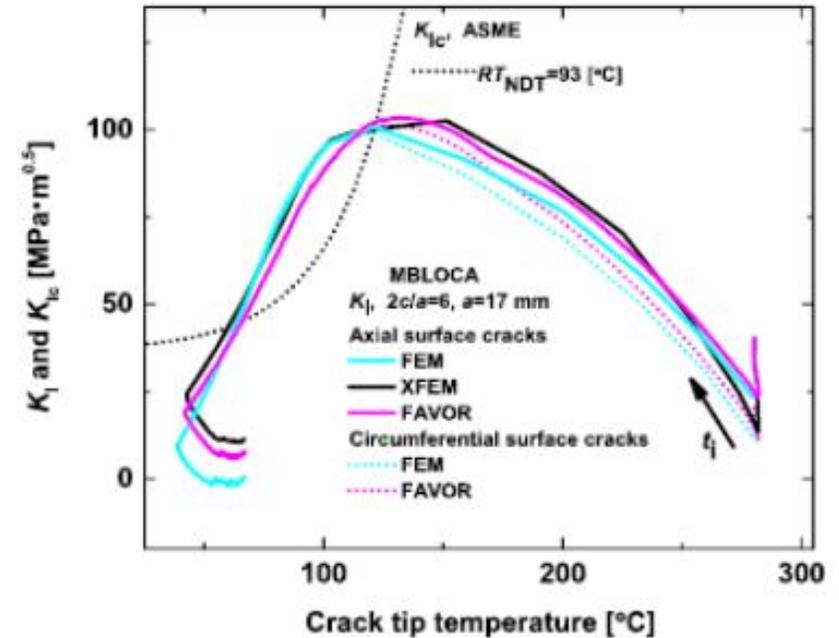
プルームを考慮しない
RELAP5コードによる熱伝達率

(4) プルームが考慮されていないこと

Qian et alの計算例【甲美E6、17頁脚注28】



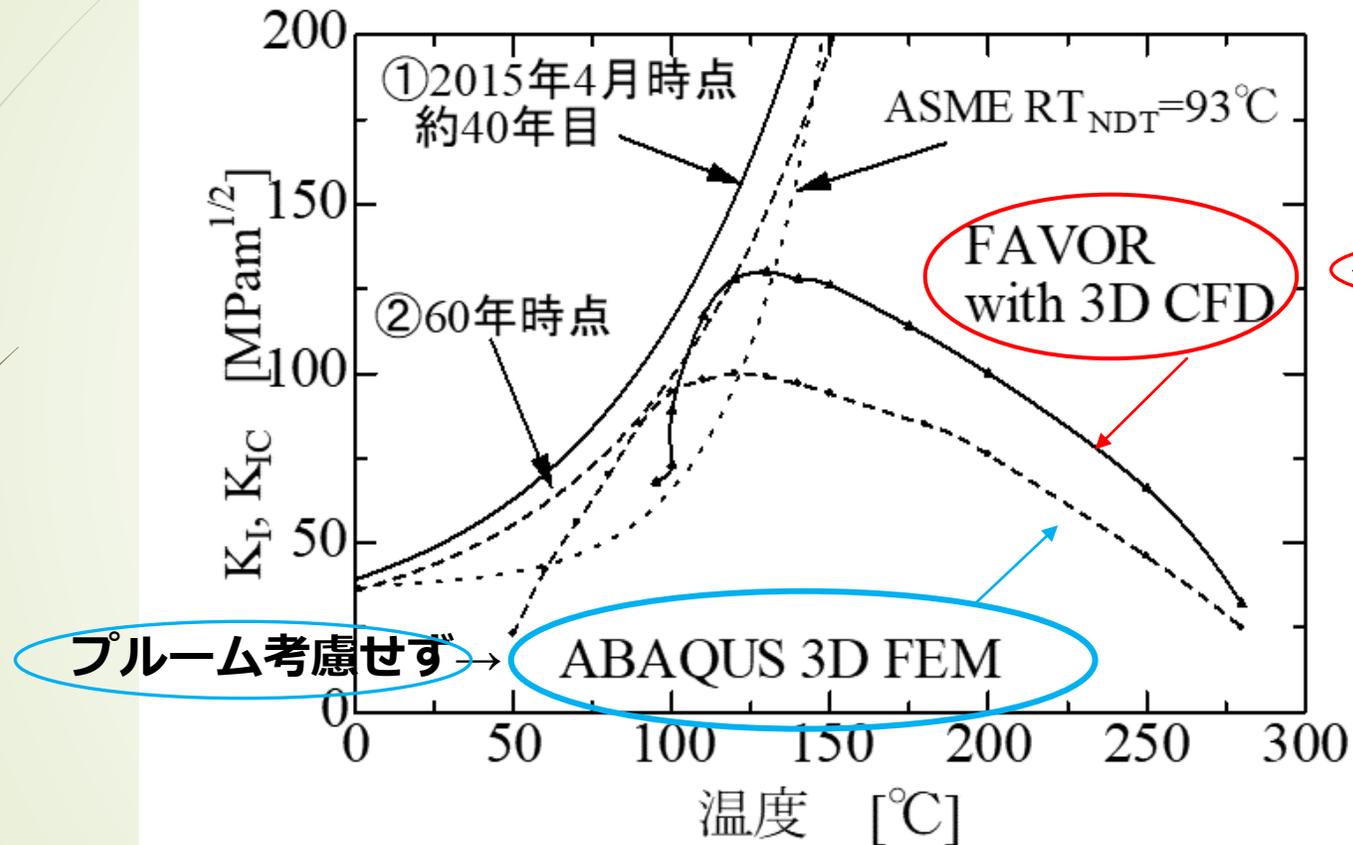
中規模LOCA時のPTS評価結果
(プルームを考慮した解析)



(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



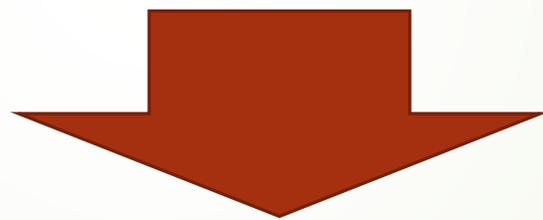
プルーム考慮した
PTS曲線を高浜1
号機の破壊靱性遷
移曲線にプロット
した

【甲美E6、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

P T S 状態遷移曲線は

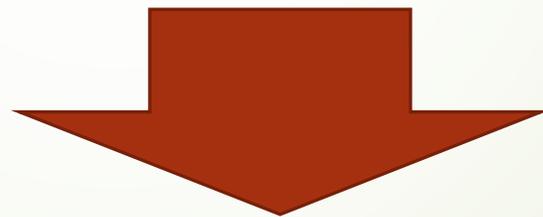
電力会社による恣意的な設定が可能
「**熱伝達率**」において**当然想定すべき要素**
を無視あるいは軽視している



安全性の評価基準として不合理

P T S 状態遷移曲線は

「熱伝達率」において**当然想定すべき要素を
無視または軽視している**
また、それを適切に想定すれば
「デッドクロス」が生じる可能性がある



適合性判断の過程に過誤・欠落がある

被告（規制委）は

- ・ **監視試験のデータ**

（シフト量を決めるシャルピー試験結果、破壊靱性値の詳細）

- ・ **加圧衝撃評価における熱伝達率**

⇒ **確認せず**

しかし・・・

- ・ 事業者は常に許認可を得るために要する期間を短縮し、かつ、要する費用を低減させる方向への経済合理性に基づく動機を有している
- ・ 福島第一原発事故国会事故調査報告書が「規制当局は電力事業者の『虜（とりこ）』となっていた」
... 監視・監督機能が働かなくなっていたことを指摘したことを思い起こすべき

- ・ 中性子により脆化した原子炉の健全性が維持できなければ**原子炉容器自体の破壊**という**極めて重大な事故**が生じる
- ・ 40年超の原発における**中性子照射脆化自体が未知の領域**であり**予測式の策定が難しい**
- ・ 先行する**米国でも**各原発が**想定より脆化が進んでおり**、規定が**変更された** (甲E30・19頁)

- ・ 監視試験の結果 → 大きくばらつく
測定の信頼度は俗に「倍・半分」。特に高照射領域（甲高E3・4頁）
- ・ 平成25年度原子力規制委員会第一回会議・資料
「一定の誤差の範囲内で脆化傾向を評価できていることが確認されているものの、高照射領域における精度等、評価における不確実さが存在する」
「（そのため）実測データに基づいた評価を行うとともに、他の方法による評価を併せて実施する」

原告らの主張（原データ確認の必要性）

規制サイドは常に当該原発について脆化の度合いが想定よりも進んでいないか、**慎重の上にも慎重を期して審査を行わなければならない**というべき