

# Nuclear Materials Letters

(2016年9月)

(部会ホームページ <http://www.aesj.or.jp/~material/>)

## 目次

I.	巻頭言.....	1
	第15代 材料部会長 北海道大学 鶴飼 重治	
II.	2016年 春の大会 企画セッション報告.....	3
	「福島事故後の原子炉圧力容器の健全性評価技術の方向性」の報告	
	原子力安全システム研究所 福谷 耕司	
	(1) 原子炉圧力容器の健全性評価と最近の動向 東京大学 吉村 忍	
	(2) マスターカーブによる破壊靱性評価 電力中央研究所 山本 真人	
	(3) 確率論的破壊力学評価の適用について 三菱重工業 廣田 貴俊	
III.	第15回材料部会夏期セミナー報告.....	39
	日本原子力研究開発機構 根本 義之	
	参加者の声	
IV.	関連する国際会議のリスト.....	43
V.	運営委員会 委員名簿.....	46
VI.	寄稿のお願い.....	47
VII.	編集後記.....	47

## I 巻頭言

第15代 材料部会長

北海道大学 鶴飼 重治

H28年度の材料部会長を務めています鶴飼重治です。福島第一原子力発電所の事故から5年以上が経過し、関係各位のご努力により、ようやく九州電力川内発電所1号炉、2号炉、四国電力伊方発電所の3号炉が再稼働しました。(関西電力高浜原発の3号炉、4号炉は大津地方裁判所の仮処分命令により停止中) また、廃炉作業も徐々にではありますが進みつつあります。材料技術面では、福島事故の教訓を踏まえて、MEXT、METI 支援の基に高温水蒸気との反応を大幅に抑えた事故耐性燃料被覆管の開発が着実に進展しています。



そのような中で、原子力材料研究開発の重点分野が福島事故以前から随分様変わりしてきたように思います。予算の付きやすい福島事故対応や軽水炉の安全に係わる材料技術開発に技術者・予算が投入され、その先の次世代炉開発を見据えた材料基盤研究が弱体化しつつあることを危惧しています。具体的には、従来の金属学会秋期講演大会の原子力材料セッションでは、1.5日～2日間かけて討論していましたが、本年は1日で済むまでに発表件数が減少しています。また、私は今年1月から Journal of Nuclear Materials の Structural Materials 分野の Senior Editor 業務に携わっていますが(他に Basic 分野と Fuel 分野がある)、1月から6月末までに Structural Materials 分野に投稿された論文総数は182件で(ちょうど1件/日の投稿数)、国別でみると、中国(73)、米国(28)、インド(16)、韓国(8)、フランス(7)、イギリス(7)、日本(6)、ドイツ(4)、ロシア(4)の順になっています。投稿論文数は中国が断トツで、日本はインドや韓国よりも少ない状況です。これらのデータから明らかなように、我が国における原子力材料研究のアクティビティが急激に低下しています。中国やインド、韓国では次世代炉の開発も進められており、この状態が続くと、日本の原子力材料の技術力はこれらの国に追い抜かれること必定です。原子力開発の最大の課題は人材を通して高度な技術を繋いで行くことであり、これは原子力材料技術についても然りです。材料技術は原子炉の安全性・信頼性を支えなくてはならない基盤です。部会員の皆さまにおかれては、原子力材料研究の活性化とこれを通して次代を担う若手研究者・技術者の育成に配慮いただくよう、お願い申し上げます。

2016年8月25日

## II. 2016年 春の大会 企画セッション報告

原子力安全システム研究所 福谷 耕司

原子炉圧力容器は原子炉における圧力バウンダリ機器であり、その健全性は原子力発電所の安全性を確保する上での最重要項目のひとつです。圧力容器の主要な劣化要因は中性子の照射による靱性値の低下（照射脆化）であり、照射脆化は原子力発電所の高経年化技術評価や、福島第一原子力発電所の事故後の2012年に定められた運転期間延長認可制度における特別点検でも最重要事項のひとつとして取り上げられています。照射脆化の生じた圧力容器の健全性を適切な破壊靱性評価に基づき評価・確保することは、福島の事故後の現在において、原子力発電所の安全確保・向上のためにこれまで以上に重要であり、材料研究者・技術者にとっても健全性評価の視点がより重要となっています。

最近では、照射脆化予測、破壊靱性評価、圧力容器健全性評価に関して技術的な進展があり、それぞれ高照射量データに基づく予測式の高度化、小型試験片とマスターカーブ法の適用、確率論的破壊評価が検討され、すでに一部は日本電気協会の規格として取り入れられています。

材料部会では2016年春の年会の企画として、軽水炉圧力容器の健全性について現在どのような評価技術が進展しつつあるのかを材料技術者が理解する機会を提供するため、(1) 原子炉圧力容器の健全性評価と最近の動向、(2) マスターカーブによる破壊靱性評価、(3) 確率論的破壊力学評価、の3テーマについて、日本電気協会等で中心となってこの分野で技術活動をされている講師の方に講演をお願いし議論を行いました。ここでは当日出席できなかった部会員も含めて情報を提供するため、講演資料（一部抜粋）を掲載することで概要をご報告いたします。講演いただいた先生方の厚意に感謝いたします。なお、著作権等の関係で一部資料は抜けた形になっておりますがご理解ください。

材料部会企画セッション

# 福島事故後の原子炉压力容器の健全性評価技術の方向性

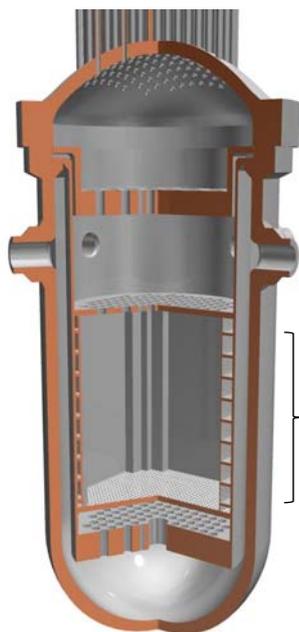
## (1)原子炉压力容器の健全性評価と最近の動向

吉村 忍

東京大学大学院工学系研究科

(1)原子炉压力容器の健全性評価と最近の動向 2/24

## 健全性評価の必要性

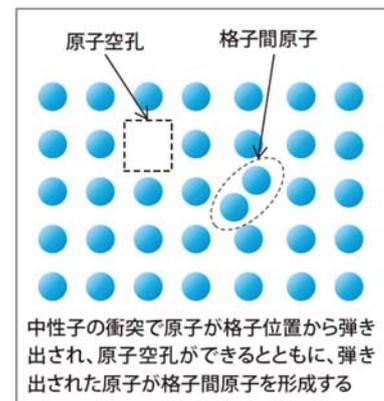
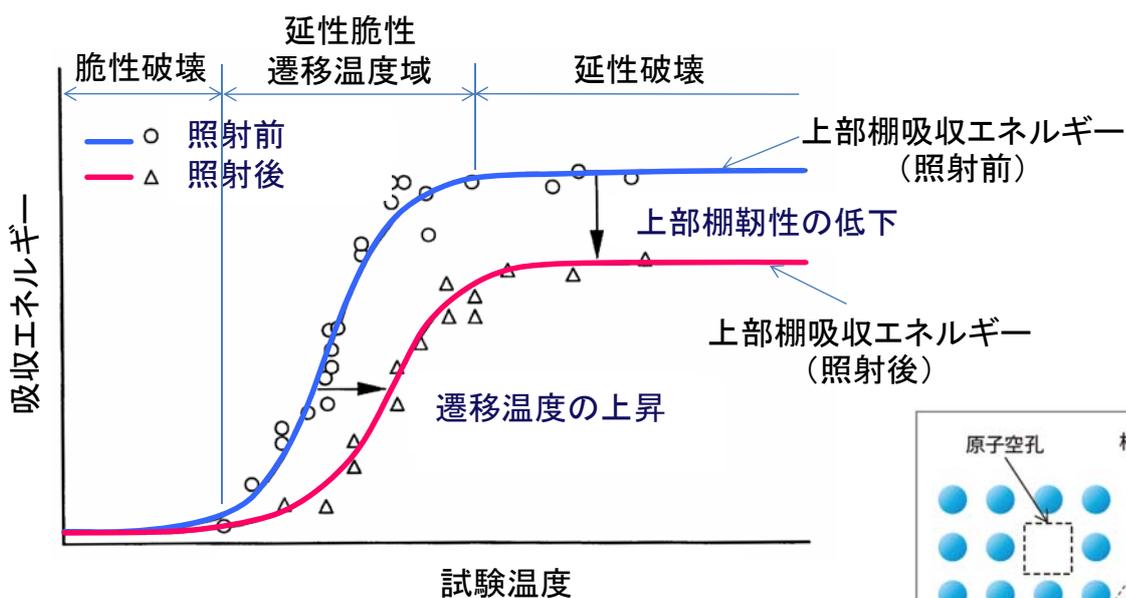


PWR压力容器

- 原子炉压力容器(RPV)は高度な安全性が要求される原子力発電所の主要機器
- 中性子照射に伴う脆化を考慮した健全性の確保と維持管理が必要
- 原子炉を高い信頼性で運転できる適切な期間を判断するため、精緻な評価が求められている

# 照射脆化とその監視

## RPV鋼の照射脆化



- 中性子照射による格子欠陥の発生
- 延性脆性遷移温度の上昇と上部棚吸収エネルギーの低下

# 監視試験プログラム

## 日本電気協会の技術規定 JEAC4201-2007

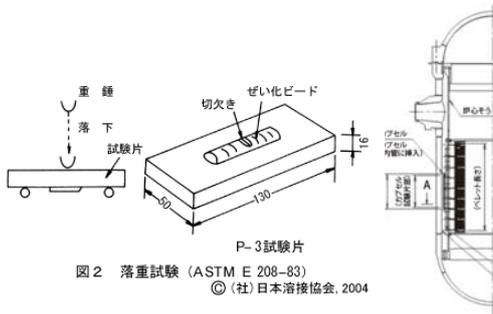
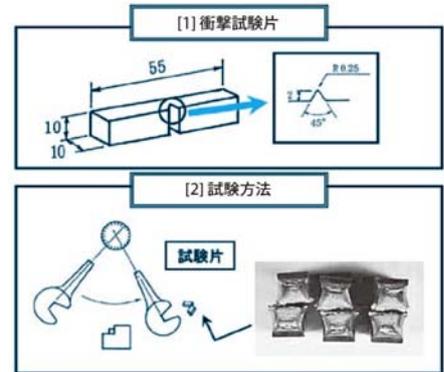
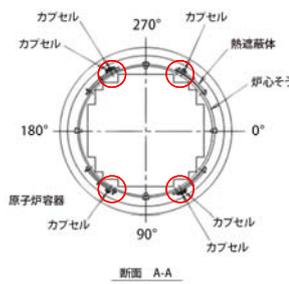
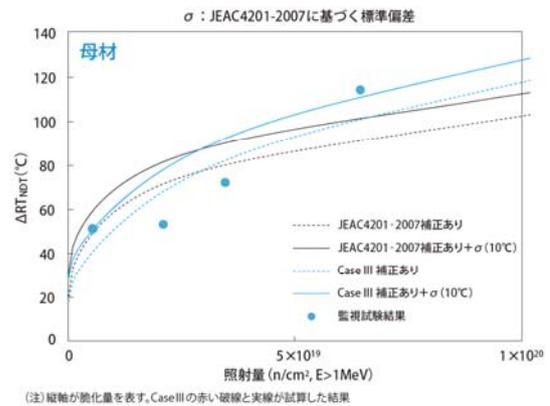


図2 落重試験 (ASTM E 208-83)  
© (社) 日本溶接協会, 2004



- 原子炉圧力容器内に試験片カプセルを設置し、計画的に取り出して試験を行い、脆化の進行を監視する。
- 実験的に得られる初期および照射後特性と、照射メカニズムを考慮した脆化予測式\*1で運転期間経過後の破壊靱性を予測

\*1 数理的には、膨大な試験データから係数を決めた一種の非線形の内挿+外挿

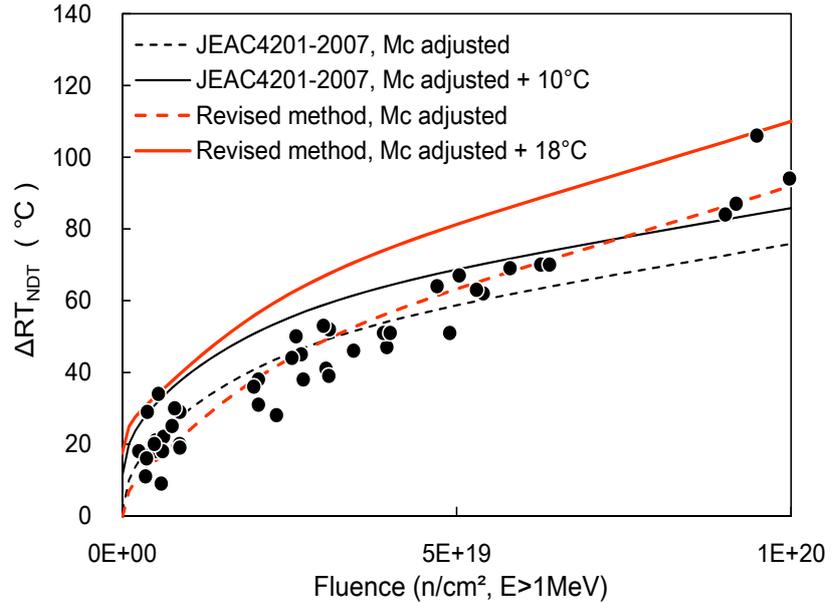
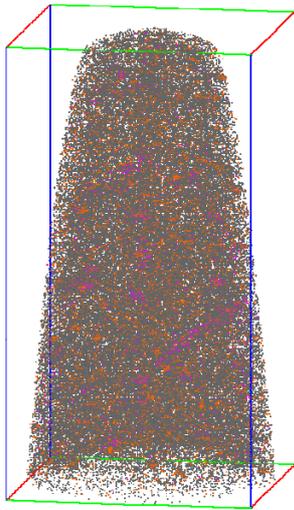


# 監視試験片の取り出し回数

相当運転期間	8	16	24	32		
取り出しタイミングの規定 (JEAC 4201)	$\Delta RT_{NDT} \leq 28$	1	2	3		
	$28 < \Delta RT_{NDT} \leq 56$	1	2	3		
	$56 < \Delta RT_{NDT} \leq 111$	1	2	3	4	
	$111 < \Delta RT_{NDT}$ @32EFPY	1	2	3	4	5

- 中性子照射量に応じた相当運転時間(EFPY)を指標とする取り出し回数と取り出しスケジュールが規定されている。

# 脆化予測法の動向



1. 照射メカニズムに関する新たな知見の反映
2. 拡充されたデータに基づく予測性\*1の向上

## JEAC4201-2007 (2013年追補)

\* 1 数理的には、膨大な試験データから係数を決めた一種の非線形の内挿+外挿

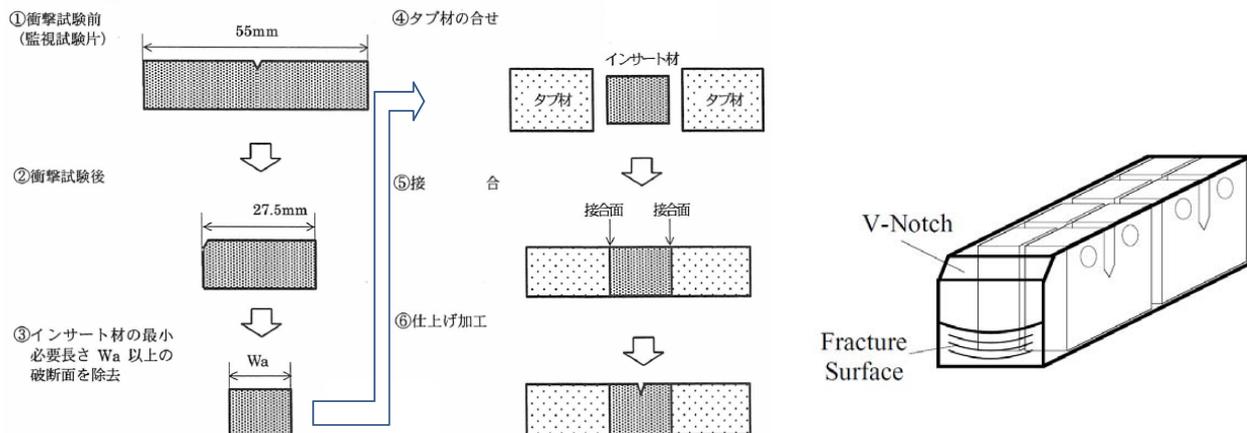
# 長期運転と監視試験

相当運転期間	8	16	24	32		
Present Surveillance program (JEAC 4201)		1	2	3	$\Delta RT_{NDT} \leq 28$ $28 < \Delta RT_{NDT} \leq 56$ $56 < \Delta RT_{NDT} \leq 111$ $111 < \Delta RT_{NDT} @32\text{EFPY}$	
		1	2	3		
	1	2	3	4		
	1 2	3	4	5		

運転期間	10	20	30	40	50	60
運転期間延長に伴う特別点検				Special 1 40年を超えない時期に一回	Special 2 40年から50年に一回	
規制委員会のJEAC4201-2013エンドースに伴う追加要求					Additional 1 40年から50年に一回	Additional 2 50年から60年に一回

- 追加の監視試験要求に応えるため、多くの試験片が必要

# 試験片の追加要求に応える技術



• 試験片の再生

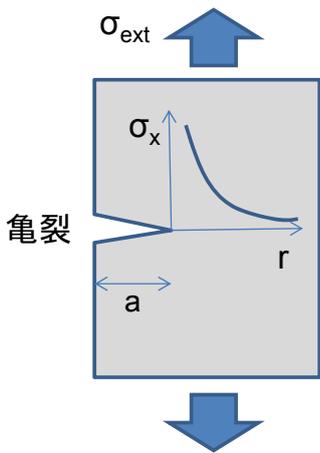
• 超小型試験片による評価



次の山本真人氏による講演「マスターカーブによる破壊靱性評価」参照

## 健全性評価

# 健全性評価の方法



原子炉压力容器の評価部位、想定する負荷条件下において、仮想亀裂の応力拡大係数が材料の破壊靱性を上回らないことを評価する。

- $K_I$  : 応力拡大係数  
亀裂を有する構造物に負荷された荷重に応じ、亀裂先端に生ずる応力分布の特異性の強さ
- $K_{Ic}$  : 破壊靱性  
材料固有の亀裂進展開始に対する抵抗性

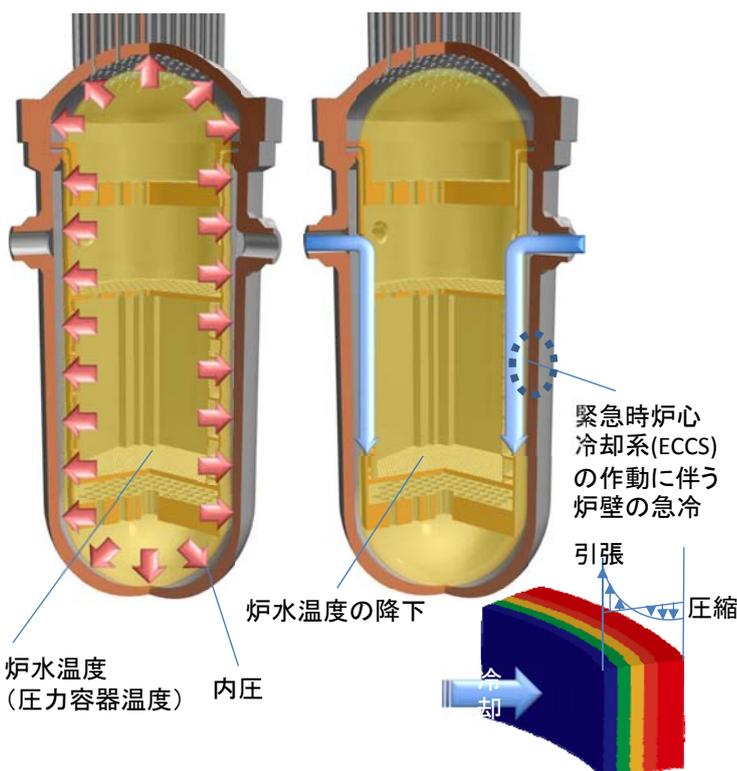
$$\sigma_x = \frac{\alpha \cdot K_I}{\sqrt{r}}$$

$$K_I > K_{Ic}$$

$$K_I \propto \sigma_{ext} \sqrt{a}$$

压力容器の健全性評価では、落重試験とシャルピー衝撃試験から求まる $RT_{NDT}$ を指標として破壊靱性を評価する。

# RPVの健全性評価



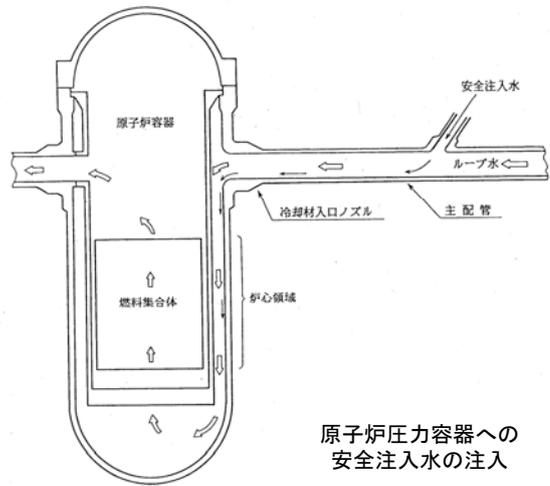
想定する3つの事象

1. PWRの加圧熱衝撃事象(PTS)
2. 起動停止時の加熱・冷却事象
3. 定期検査時の耐圧・漏洩試験

いずれにおいても、想定した大きな亀裂から進展し始めないことを評価する。

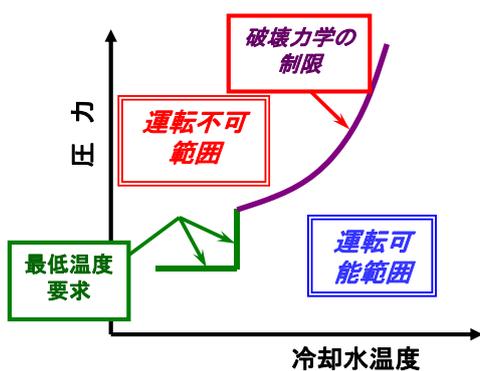
# PTS事象に対する健全性評価

- 加圧熱衝撃(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。
- 容器の破壊靱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附属書C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。



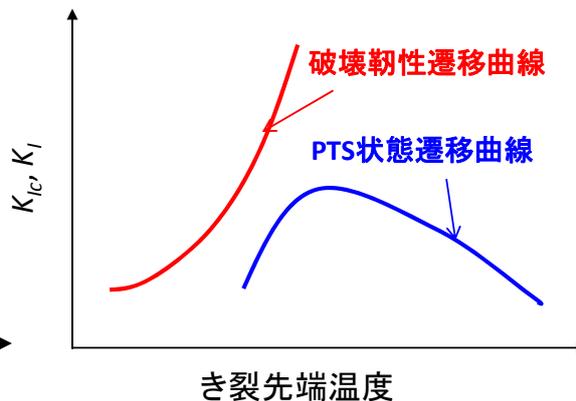
(1) 原子炉圧力容器の健全性評価と最近の動向 14/24

## 健全性評価に用いる線図



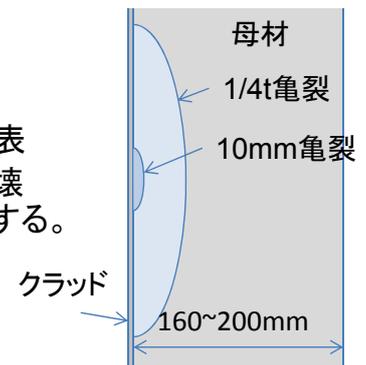
起動停止時の加熱・冷却事象  
定期検査時の耐圧・漏洩試験

想定した板厚の1/4の半楕円表面亀裂が進展を開始しないよう、温度に対して圧力を制限する。



PTS事象

想定した深さ10mmの半楕円表面亀裂の応力拡大係数が破壊靱性を上回らないことを評価する。



# 健全性評価の高度化

- 脆化予測法の高度化
- 破壊靱性予測の高度化
  - マスターカーブ法で破壊靱性のばらつきを理論的に考慮
  - 超小型試験片による破壊靱性の直接評価
- 健全性評価手法の高度化
  - 決定論的手法の高度化
    - 溶接やクラッドによる溶接残留応力の考慮
    - 想定亀裂の考慮
    - 監視試験による破壊靱性推定手順の高度化  
(マスターカーブ法の知見に基づく改良)
    - 高温予荷重(Warm Pre Stress[WPS])効果の考慮
  - 確率論的手法(確率論的破壊力学[PFM])による評価

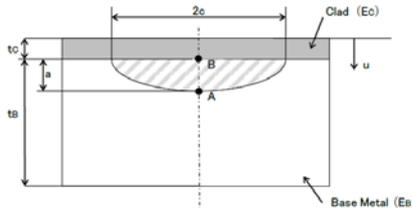
# 健全性評価の高度化

- 脆化予測法の高度化
- 破壊靱性予測の高度化  山本真人氏の講演
  - マスターカーブ法で破壊靱性のばらつきを理論的に考慮
  - 超小型試験片による破壊靱性の直接評価
- 健全性評価手法の高度化
  - 決定論的手法の高度化
    - 溶接やクラッドによる溶接残留応力の考慮
    - 想定亀裂の考慮
    - 監視試験による破壊靱性推定手順の高度化  
(マスターカーブ法の知見に基づく改良)
    - 高温予荷重効果の考慮
  - 確率論的手法による評価  廣田貴俊氏の講演

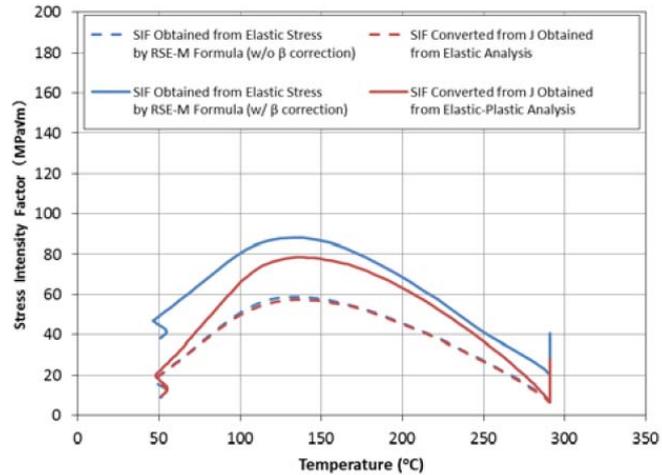
## 健全性評価の高度化のための技術：決定論的手法の高度化

従来のクラッドを考慮しない表面欠陥から、クラッドを考慮したクラッド下の欠陥に対する応力拡大係数に変更

- (1)クラッド下の最大仮想欠陥に対応するK値式として仏RSE-Mの式及びクラッドの効果を補正するためのβ補正によるK値算出式を規定する。
- (2)最大仮想欠陥をモデル化したFEM解析により、直接K値を求めることも可能とする。



- Hirota T., Sakamoto H., Ogawa N., "Proposal for Update on Evaluation Procedure for Reactor Pressure Vessels Against Pressurized Thermal Shock Events in Japan," Proc. the ASME 2014 PVP Division Conf., PVP 2014-28392, July 20-24, Anaheim, California.



大LOCA時のクラッド下の半楕円欠陥に対する応力拡大係数評価例(RSE-M及びFEM)

## 健全性評価の高度化のための技術：決定論的手法の高度化

監視試験で取得された照射後の破壊靱性データベースに基づき、マスターカーブの考え方を取り入れた評価用破壊靱性カーブを取り込む

$$K_{Jc} = 25.2 + 36.6 \exp[0.019(T - (T_{r30} + \Delta T_t))]$$

$$T_{r30} = T_{r30 \text{ 初期値}} + \Delta RT_{NDT \text{ 計算値}} + M_c + M_k$$

$$\Delta T_t: -15^\circ\text{C (圧延材)}, 8^\circ\text{C (鍛鋼品)}, 14^\circ\text{C (溶金)}$$

$$\Delta RT_{NDT \text{ 計算値}} + M_c: \text{JEAC4201 脆化予測法により算出}$$

$$M_k: \text{脆化予測を伴う際のマージン } 3^\circ\text{C}$$

注)  $T_{r30}$ : 衝撃試験において、41J(30ft·lb)の吸収エネルギーを示す遷移温度

- 圧延材、鍛鋼品、溶接金属に対する破壊靱性カーブを設定
- 実機評価の観点から重要となる高照射領域( $5 \times 10^{19} \text{n/cm}^2$ 以上)の監視試験破壊靱性データより設定

- Yoshimoto K., Hirota T., Sakamoto H., "Applicability of Fracture Toughness Curves Developed for Japanese Pressure Vessel Steels to Structural Integrity Evaluation," Proc. ASME 2015 PVP. Division Conf., PVP 2015-45275, July 19-23, Boston, Massachusetts.

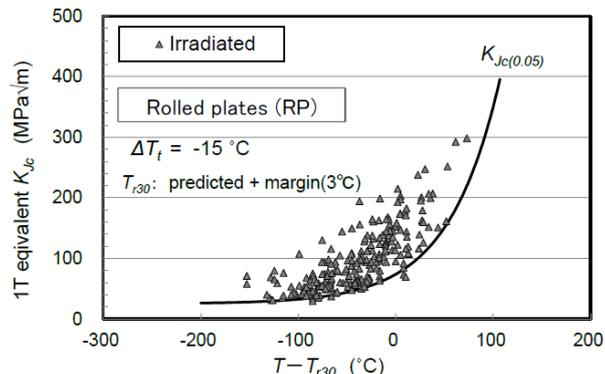


Fig. 10 Fracture toughness data indexed by predicted  $T_{r30}$  with margin 3 °C, along with the developed curve for RP [2].

圧延材の照射後破壊靱性データと評価用破壊靱性カーブの比較

# 健全性評価の高度化のための技術: 決定論的手法の高度化

- (1) 「K値が単調減少する場合は非延性破壊が生じない」とする**高温予荷重(WPS)効果**の一般的法則を取込む。
- (2) 非延性破壊の発生後、亀裂が容器の外面まで伝播する前に途中で停止するかを亀裂伝播停止破壊靱性 $K_{Ia}$ カーブを用いて判定する**亀裂伝播停止評価**を取込む。

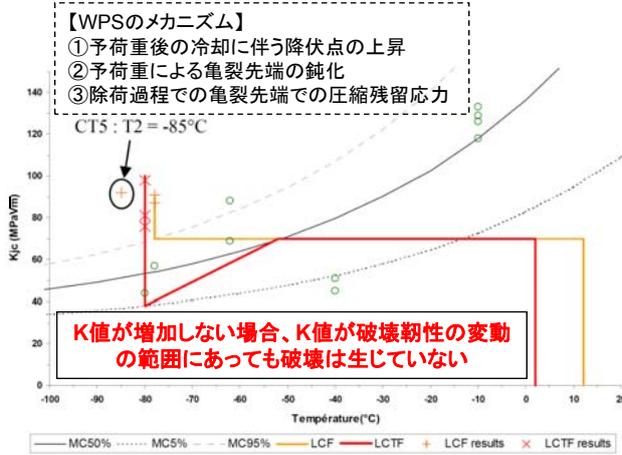
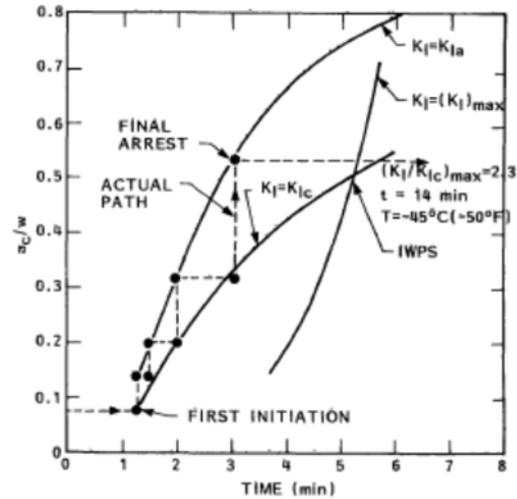


Figure 14. Plant 2 WPS results  
照射材を用いた仏EDFの  
WPS試験結果の例



米ORNLのHSSTプログラムの熱衝撃試験における亀裂発生・亀裂伝播停止の実験と解析の比較

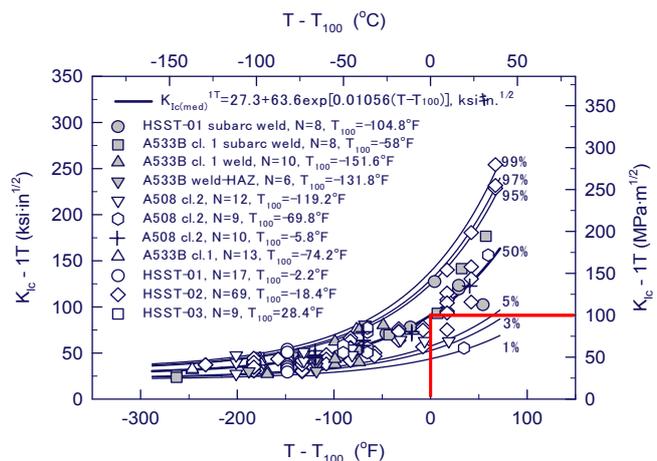
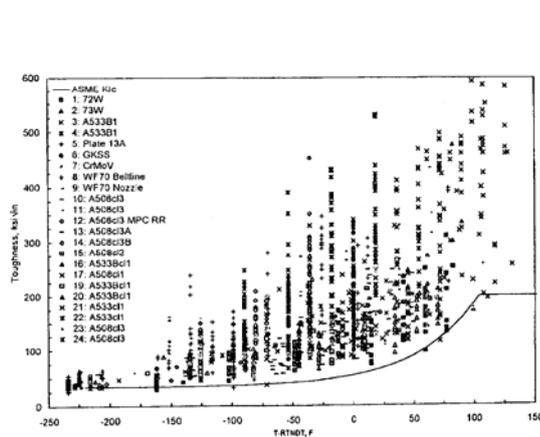
- Chas, G. et al., "Fracture toughness of a highly irradiated pressure vessel steel in warm pre-stress loading conditions(WPS)", Proc. ASME 2011 PVP Division Conf., July 17-21, 2011, Baltimore, Maryland, USA, PVP2011- 58029.
- 浦部吉雄, 欧米における原子炉加圧熱衝撃およびその関連研究の動向 - 破壊力学的研究を中心として - , 圧力技術 第24巻第4号, 1986.

(1) 原子炉圧力容器の健全性評価と最近の動向 20/24

## 健全性評価の高度化

- 脆化予測法の高度化
- 破壊靱性予測の高度化
  - マスターカーブ法で破壊靱性のばらつきを理論的に考慮
  - 超小型試験片による破壊靱性の直接評価
- 健全性評価手法の高度化
  - 決定論的手法の高度化
    - 溶接やクラッドによる溶接残留応力の考慮
    - 想定亀裂の考慮
    - 監視試験による破壊靱性推定手順の高度化 (マスターカーブ法の知見に基づく改良)
    - 高温予荷重効果の考慮
  - 確率論的手法による評価

# 健全性評価の高度化のための技術 マスターカーブ法



- 従来の方法(帰納法)に基づく破壊靱性
- 様々な形状・寸法の試験片による破壊靱性の下限包絡線により破壊靱性を規定
- 従来より少ない試験片数で破壊靱性を推定可能
- 破壊靱性のばらつきを理論的に与えられる。
- 超小型試験片との組み合わせにより、物量の限られた監視試験でも破壊靱性の直接評価が可能
- マスターカーブ法による破壊靱性
- 破壊靱性のばらつきが特定のワイブル分布に従うと仮定して破壊靱性を規定

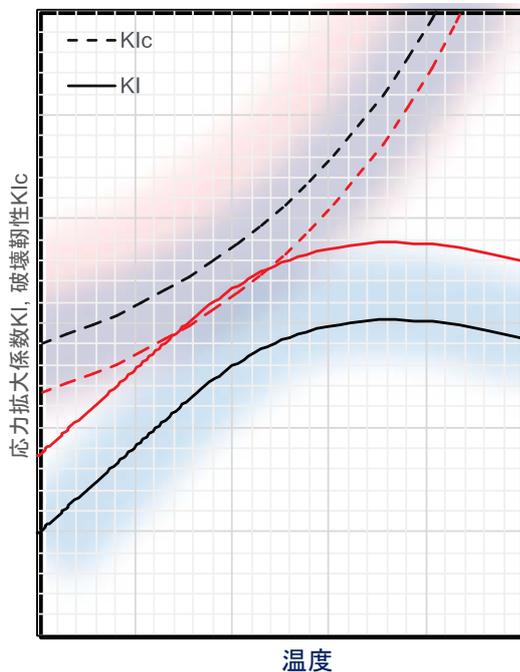


(1)原子炉圧力容器の健全性評価と最近の動向 22/24

## 健全性評価の高度化

- 脆化予測法の高度化
- 破壊靱性予測の高度化
  - マスターカーブ法で破壊靱性のばらつきを理論的に考慮
  - 超小型試験片による破壊靱性の直接評価
- **健全性評価手法の高度化**
  - 決定論的手法の高度化
    - 溶接やクラッドによる溶接残留応力の考慮
    - 想定亀裂の考慮
    - 監視試験による破壊靱性推定手順の高度化 (マスターカーブ法の知見に基づく改良)
    - 高温予荷重効果の考慮
  - **確率論的手法による評価**

# 健全性評価のための技術 確率論的破壊力学



PTS事象時の温度と応力拡大係数(破壊靱性)の関係

## ■ 決定論

- ✓ 黒線: 応力拡大係数, 破壊靱性の平均的な値
- ✓ 赤線: 保守的な算出法による応力拡大係数, 安全率を考慮した破壊靱性

## ◆ 赤実線と赤破線が交われば亀裂が進展する

## ■ 確率論

- ✓ 破壊靱性に関する統計的分布
- ✓ 亀裂寸法や形状に関する統計的分布

## ◆ 統計分布特性に応じた亀裂の発生確率が計算される(発生確率の高低で許容の可否を論ずることが可能)

(1)原子炉圧力容器の健全性評価と最近の動向 24/24

## まとめ

最新の研究知見を取り入れて関連規格の改訂を進めることにより、原子炉圧力容器の構造健全性に対する信頼の向上を図っている。

- 脆化予測法の高度化: JEAC4201
- 破壊靱性予測の高度化: JEAC4216
- 健全性評価手法の高度化: JEAC4206

# 材料部会企画セッション 「福島事故後の原子炉圧力容器の 健全性評価技術の方向性」

## (2) マスターカーブによる破壊靱性評価

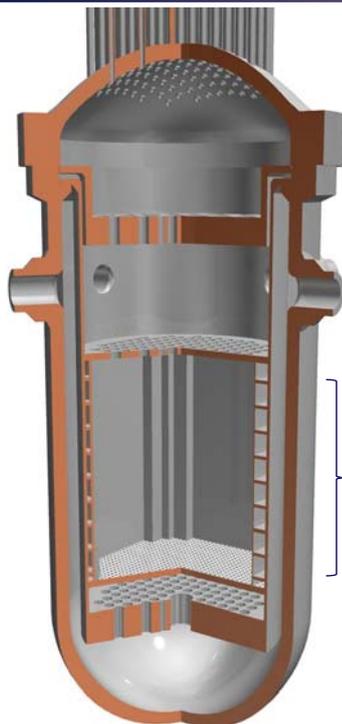
日本原子力学会 春の年会  
電力中央研究所 山本真人  
2016年3月27日



© CRIEPI

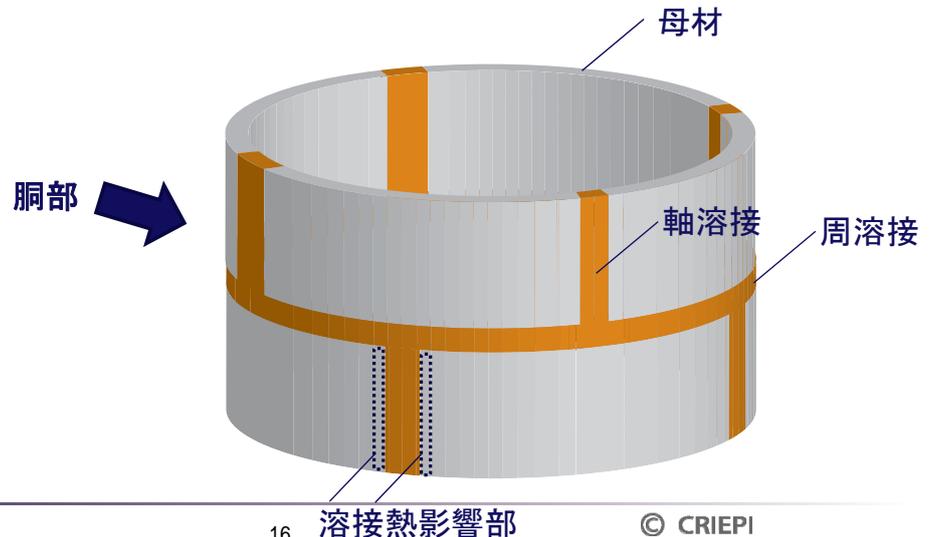


## 原子炉圧力容器の破壊靱性評価

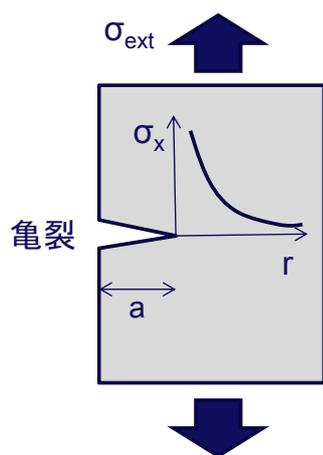


PWR圧力容器

- ◆ 原子炉圧力容器胴部(供用期間中に中性子照射を受ける部位)の母材、溶接金属、溶接熱影響部
- ◆ 供用中の照射脆化を考慮し、**監視試験に基づいて照射脆化を予測した上で**、PTS(加圧熱衝撃事象)や起動停止時の構造健全性を評価



# 圧力容器の破壊靱性評価(健全性評価)とは



原子炉圧力容器の評価部位、想定する負荷条件下において、仮想亀裂の**応力拡大係数**が**材料の破壊靱性**を上回らないことを評価する。

- $K_I$  : 応力拡大係数  
亀裂を有する構造物に負荷された荷重に応じ、亀裂先端に生ずる応力分布の特異性の強さ
- $K_{Ic}$  : 破壊靱性  
材料固有の亀裂進展開始に対する抵抗性

$$K_I < K_{Ic}$$

圧力容器の健全性評価では、落重試験とシャルピー衝撃試験から求まる $RT_{NDT}$ を指標として破壊靱性を評価する。

$$\sigma_x = \frac{\alpha \cdot K_I}{\sqrt{r}}$$

$$K_I \propto \sigma_{ext} \sqrt{a}$$

## 現行評価法(JEAC4201-2007, JEAC4206-2007)とマスターカーブ法

# 破壊靱性のばらつきと寸法依存性

## ◆ 最弱リンクモデル

- 様々な強度のリンクが繋がった鎖のうち、最も弱いものが全体の強度を支配する。
- 鎖によって強度が異なる→ばらつき
- 長い鎖のほうが弱いリンクが入る可能性が高い→寸法依存性

## ◆ ワイブル分布に従う

$$F(x) = 1 - \exp\left[-\left(\frac{1-B}{A}\right)^C\right]$$

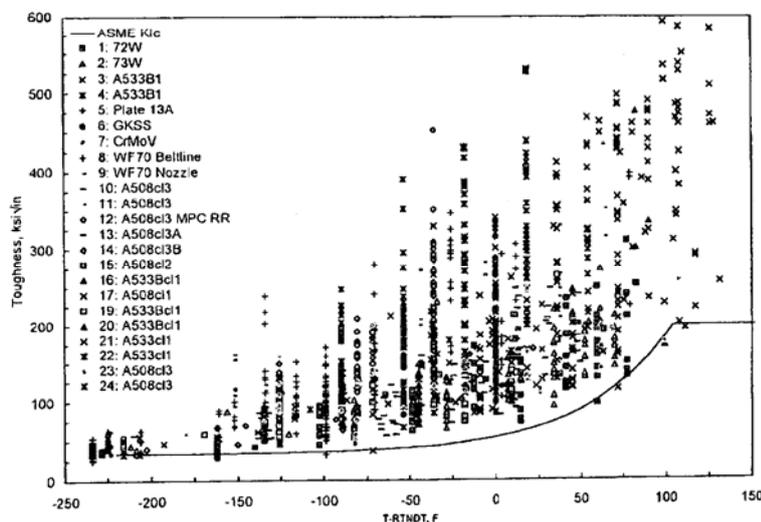
- A: スケールパラメータ: ばらつきの大きさ
- B: 位置パラメータ: 分布の位置 (破壊靱性の高さ)
- C: 形状パラメータ: 分布の形状



# 帰納法に基づく破壊靱性曲線

## ◆ 破壊靱性値の下限包絡線を利用

- ◆ 大きな試験片、多くの試験片による下限値の推定
  - 材料の違いをRT<sub>NDT</sub>などの指標を用いて評価する
  - 照射脆化の影響は指標となる温度のシフトで考慮する



# 破壊靱性試験片、シャルピー試験片

- ◆破壊靱性は予亀裂を入れた破壊靱性試験片で評価するが、下限値を知るためには大きな試験片が必要
- ◆監視試験においてはシャルピー試験片で破壊靱性のシフトを推定



2016/3/27

© CRIEPI

## 監視試験における $RT_{NDT}$ の導出

### ◆試験方法

- **落重試験**: 試験片幅方向に貫通する亀裂が入るか、入らない(停止する)か、の試験結果により、初期特性を測定
- **衝撃試験**: 照射後の監視試験が破断する際の特性で脆化量を測定

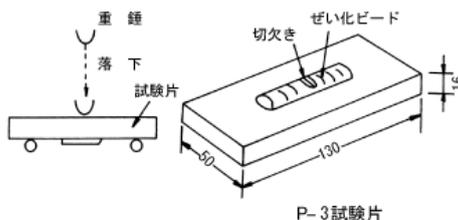


図2 落重試験 (ASTM E 208-83)  
 © (社)日本溶接協会, 2004

脆化ビードの反対側から重錘を落とし、亀裂を導入する。



### シャルピー試験

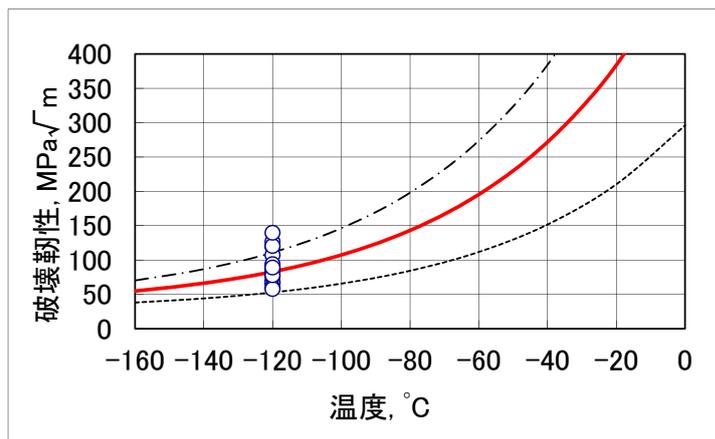
吸収エネルギー、延性破面率、横膨出量から、 $v_{Tr30}$ 、 $v_{Tr50}$ 、 $v_{Tr35M}$ 、 $v_{TrS}$ を決定

吸収エネルギー41J      横膨出0.90mm      破面率50%  
 吸収エネルギー68J      © CRIEPI

2016/3/27

## マスターカーブ法の理論

1. 圧力容器鋼などのフェライト鋼のへき開破壊靱性値の分布は**3母数のうち2母数を固定した特定のワイブル分布**によって記述できる.
2. 破壊靱性値の温度依存性は単一の**マスターカーブ**によって記述できる.



2016/3/27

© CRIEPI

## へき開破壊靱性値のワイブル分布

- ◆ある温度におけるへき開破壊靱性値の分布は、ワイブル分布によって近似できる.

$$P_f = 1 - \exp \left\{ - \frac{B}{B_o} \left( \frac{K_I - 20}{K_o - 20} \right)^4 \right\}$$

- ◆この統計分布は、最弱リンクモデルが成立するフェライト系材料に対して成り立つ.
- ◆形状パラメータが4となることから、試験片寸法は板厚の1/4乗によって補正できる.
  - **小型試験片の使用が可能**

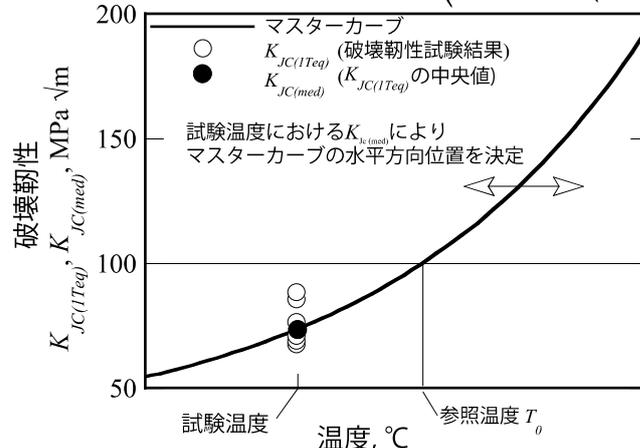
2016/3/27

© CRIEPI

# 破壊靱性値の温度依存性

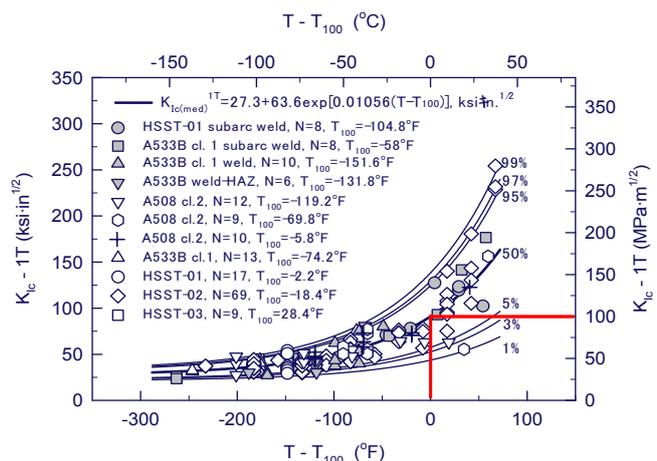
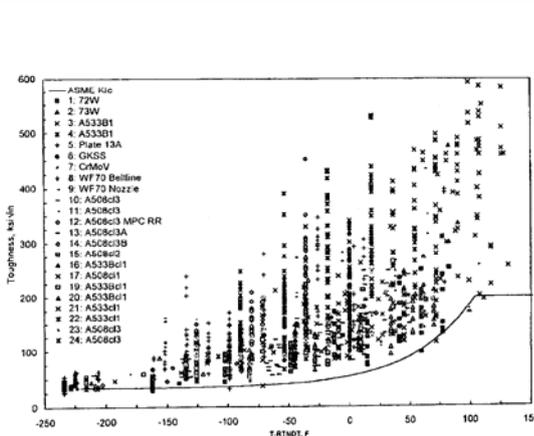
- ◆ 参照温度( $T_0$ )を基準とした破壊靱性値の温度依存性は、1つの共通の曲線(マスターカーブ)によって記述される。

$$K_{Jc(1Teq)} = 30 + 70 \exp(0.019(T - T_0))$$



$T_0$  参照温度: 1インチ厚さ試験片相当に換算した破壊靱性のマスターカーブ上で破壊靱性が100MPa $\sqrt{m}$ となるときの温度(°C)

# 従来手法とマスターカーブ法



- ◆ 従来方法(帰納法)に基づく破壊靱性
- ◆ 様々な形状・寸法の試験片による破壊靱性の下限包絡線により破壊靱性を規定
- ◆ マスターカーブ法による破壊靱性
- ◆ 破壊靱性のばらつきが特定のワイブル分布に従うと仮定して破壊靱性を規定

- 従来より少ない試験片数で破壊靱性を推定可能
- 破壊靱性のばらつきを理論的に与えられる。
- 超小型試験片との組み合わせにより、物量の限られた監視試験でも破壊靱性の直接評価が可能



# 米国における動き

## ◆ ASTM E1921

マスターカーブ法による破壊靱性の試験および評価方法を規定

## ◆ ASME Sec. XI (維持規格)

破壊靱性評価におけるマスターカーブ法の採用  
マスターカーブにおける5%信頼下限を従来の破壊靱性曲線の代わりに用いることを規定

➤ Code case N-629

➤ Code case N-830

# JEAC4216-2011について(1)

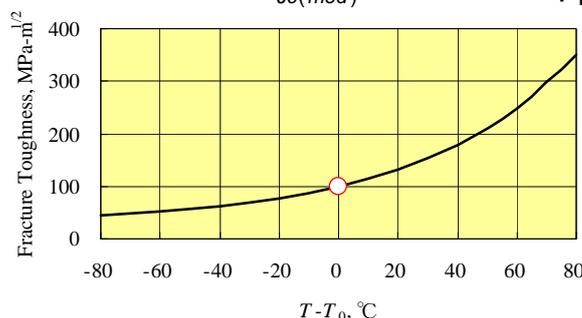
## ◆ 日本電気協会 電気技術規程

フェライト鋼の破壊靱性参照温度 $T_0$ 決定のための試験方法

## ◆ 本方法は、マスターカーブ法による破壊靱性評価を取り入れたものである。

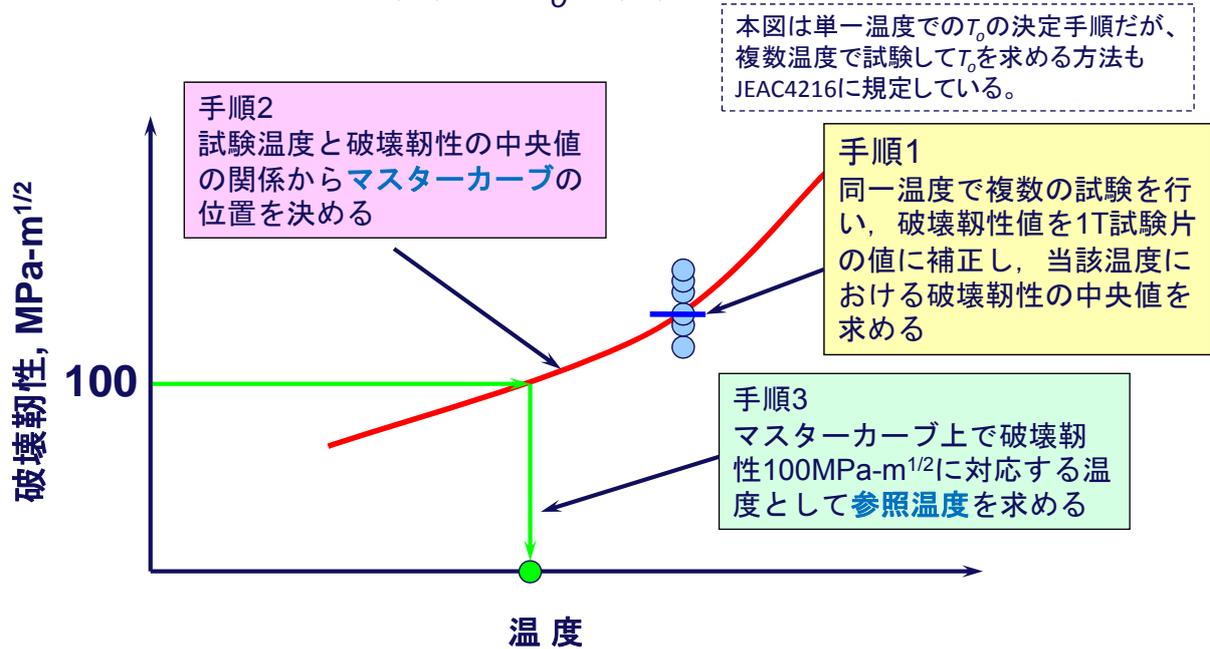
- 遷移温度域での破壊靱性中央値と温度の関係
  - 鋼種によらず一定の形状
  - 試験片寸法効果の補正式を規定
  - 参照温度 $T_0$ を唯一の指標として破壊靱性を規定
- 多くの国内RPV鋼に対し適用性実証済み

1T試験片に対するマスターカーブ:  $K_{Jc(med)} = 30 + 70 \exp[0.019(T - T_0)]$ , MPa



# JEAC4216-2011について(2)

- マスターカーブの決定 =  $T_0$ の決定

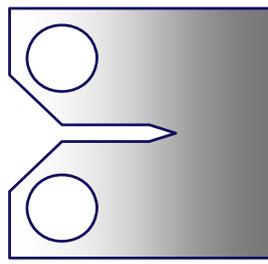


2016/3/27

© CRIEPI

## マスターカーブ法および超小型試験片による破壊靱性評価 (超小型試験片による試験と評価)

# 小型試験片を用いた破壊靱性評価



4T-C(T)  
 厚さ 100 mm  
 体積比 64



2T-C(T)  
 厚さ 50 mm  
 体積比 8



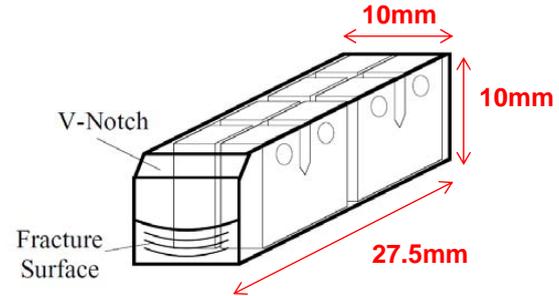
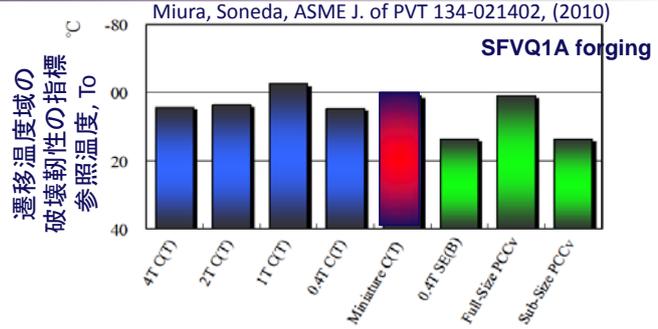
1T-C(T), 厚さ 25 mm  
 体積比 1



0.4T-C(T), 厚さ 10 mm  
 体積比 0.064



超小型のC(T)試験片  
 (Mini-C(T)), 厚さ 4 mm  
 体積比 0.004



Mini-CT試験技術の確証および試験規格としての体系化

# 超小型試験片によるMC法活用の意義

◆ 圧力容器の破壊靱性値の実力値を評価できる。

➤ シャルピー衝撃試験による破壊靱性のシフト量の間接評価から、照射後の材料の破壊靱性の直接評価へ

◆ 監視試験カプセルの不足に対応できる。

➤ シャルピー衝撃試験の破断材から試験片の加工が可能

# 長期運転に伴う監視試験片の追加要求

EFPY	8	16	24	32	
Present Surveillance program (JEAC 4201)		1	2	3	$\Delta RT_{NDT} \leq 28$
	1	2	3	4	$28 < \Delta RT_{NDT} \leq 56$
	1 2	3	4	5	$56 < \Delta RT_{NDT} \leq 111$
	1 2 3	4	5	6	$111 < \Delta RT_{NDT} @32\text{EFPY}$

Operating year	10	20	30	40	50	60
Special Inspection for 60yrs' operation				Special 1 Once before but close to 40yrs	Special 2 Once between 40 to 50 yrs	
					Additional 1 Once between 40 to 50 yrs	Additional 2 Once between 50 to 60 yrs
Additional requirement by draft NRA review document for JEAC4201-2013						

2016/3/27

© CRIEPI

# Mini-C(T) マスターカーブ試験および評価技術の開発



	適用性の確認	ラウンドロビン試験	試験法・評価法の規格化	監視試験への採用
非照射材母材	PVT2012, vol. 134, 021402 (2012)	ASTM STP1576, STP157620140020 (2015)	Revision of ASTM E1921 (2015) and JEAC4216(2015)	(2016~?)
非照射材溶接部・HAZ	PVP2015-45545 (2015) PVP2016-63762 (2016)	Small RR among HZDR, SCK/CEN, EPRI, CRIEPI		
照射材母材	JAEA project (2015?) 経産省project (2015~2018) 米国産業界project	米国産業界project		
照射材溶接部・HAZ	JAEA project METI project	米国産業界project		

Finished, In progress, Planning

2016/3/27

25

© CRIEPI

# MCラウンドロビン試験

## ◆ 目的

- ▶ 超小型試験片によるMC法の妥当性を検証し、国際規格 (ASTM) および国内規格 (JEAC) に反映する。

## ◆ 参加機関

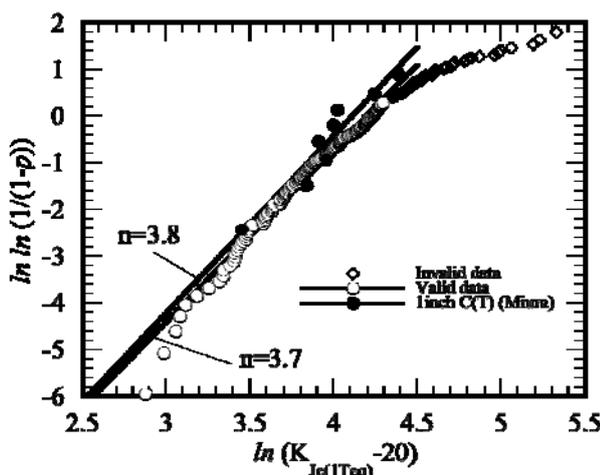
- ▶ 国内 京大、JAEA、東芝・日立GE・NFD、MHI・NDC、電中研(主催)
- ▶ 国外 ORNL(米)、EPRI(米)、Westinghouse(米)、VTT(フィンランド)、UJV(チェコ)、HZDR(ドイツ) SCK・CEN(ベルギー)

## ◆ 実施内容: 電中研から支給するMini-C(T)試験片(RPV鋼母材) に対する試験および評価の実施

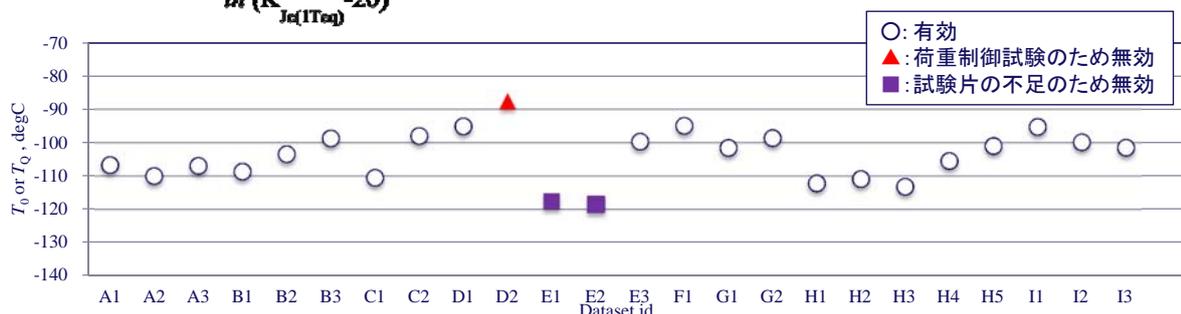
2016/3/27

© CRIEPI

## Mini-C(T)試験片を用いたラウンドロビン試験結果



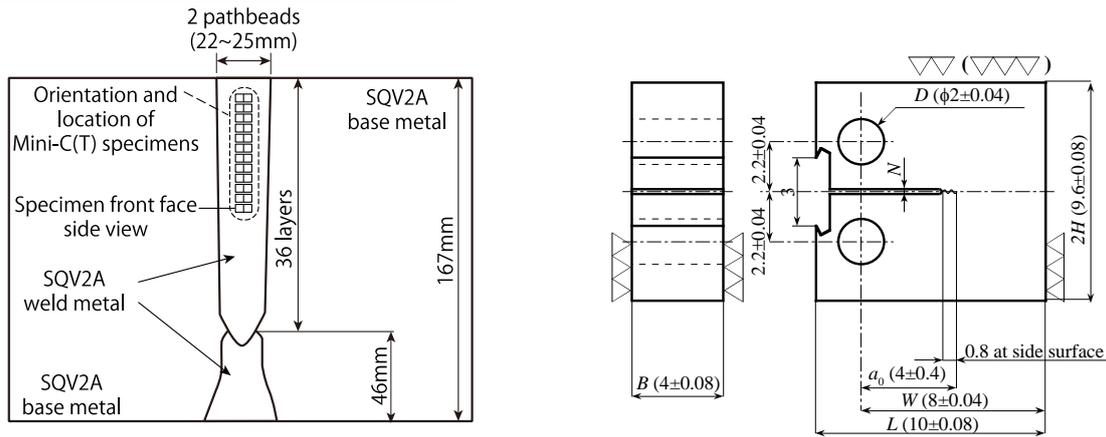
- ◆ ワイブル分布は1T-C(T)試験片とMini-C(T)試験片で同等
- ◆ 多くの機関で同等の評価を実施可能



2016/3/27

© CRIEPI

# 溶接金属に対する適用性の確認



Specimen location and orientation in weld metal

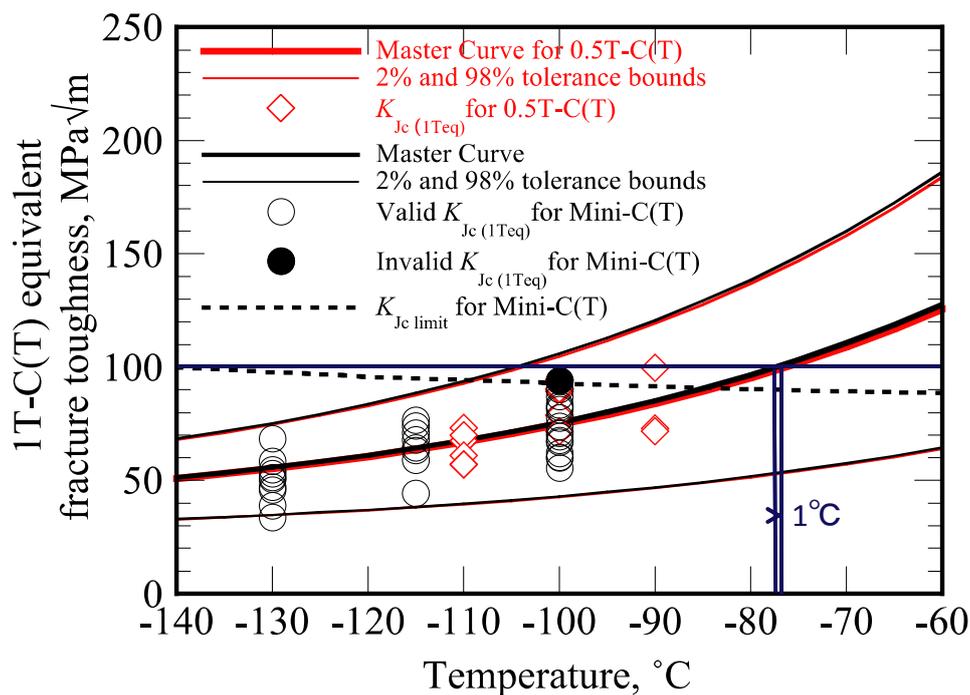
Geometry of Mini-C(T) specimen

Material (unit in Wt%)		C	Si	Mn	P	S	Ni	Cr	Mo
SQV2A weld metal	Target value	~ 0.10	0.15~0.40	1.20~1.90	~ 0.025	~ 0.025	0.60 ~ 1.00	-	0.40 ~ 0.50
	Product value	0.08	0.22	1.57	0.006	0.001	0.75	0.05	0.46
SQV2A base metal (Low S)	Target value	~ 0.25	0.15~0.40	1.15~1.50	~ 0.030	~ 0.030	0.40 ~ 0.70	-	0.45 ~ 0.60
	Product value	0.17	0.26	1.40	0.003	0.002	0.65	0.10	0.50
SQV2A base metal (Mid S)	Target value	~ 0.25	0.15~0.40	1.15~1.50	~ 0.030	~ 0.030	0.40 ~ 0.70	-	0.45 ~ 0.60
	Product value	0.16	0.23	1.43	0.004	0.005	0.64	0.09	0.52

2016/3/27

© CRIEPI

# 溶接金属に対するマスターカーブ 0.5T-C(T)とMini-C(T)の比較



2016/3/27

© CRIEPI

# マスターカーブ法規格への反映

## ◆ASTM E1921

- ASTM E08コードミーティング (E1921を審議する会議) にて Mini-C(T) 試験片を使えるようにするための議論を開始 (2015.11~)

## ◆JEAC 4216

- Mini-C(T) 試験片の適用を盛り込んだ改訂を実施 JEAC4216-2015として審議を終了し出版準備中

## まとめ

- ◆ マスターカーブ法は、破壊靱性のばらつきを定量評価できる方法として活用が始まっている。試験技術や破壊靱性曲線が規格化されている。(定量評価によりPFMにも活用可能)
- ◆ Mini-C(T)試験片により、大型試験片と同等に破壊靱性を直接評価できる。
  - 試験技術と評価法へのコンセンサスが得られつつあり、Mini-C(T)試験片による試験規格が作られつつある。
  - 照射材に対する適用性や再現性の確認が現在の課題。
- ◆ 長期運転に対応する監視試験技術として、Mini-C(T)試験片によるマスターカーブ法評価が期待される。

# 福島事故後の原子炉圧力容器の 健全性評価技術の方向性

## (3) 確率論的破壊力学評価の適用について

三菱重工業(株)

廣田貴俊

2016年3月27日

日本原子力学会 2016年春の年会  
@東北大学 川内キャンパス

三菱重工業株式会社

© 2016 MITSUBISHI HEAVY INDUSTRIES, LTD. All Rights Reserved.



### 発表概要

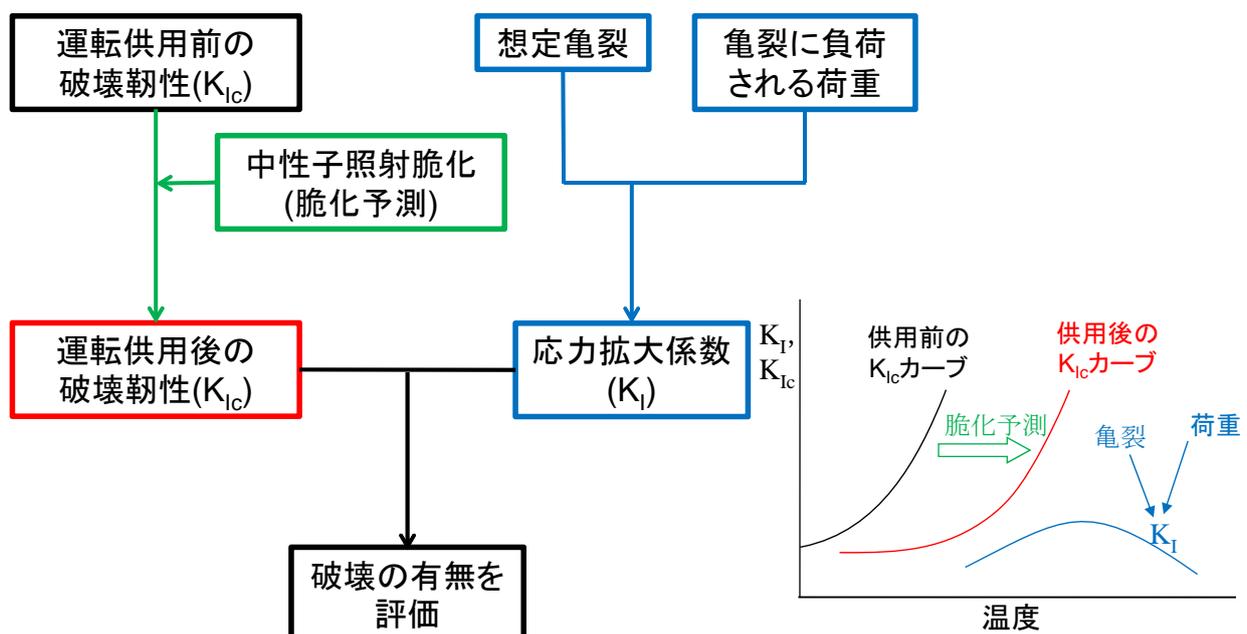


- はじめに
- PFM適用の状況
- PFM適用の今後の方向性
- 結言

- 現行規格に規定される機器の破壊に対する健全性評価手法は、欠陥、過渡、破壊靱性等を保守的に設定して評価する**決定論的破壊力学評価**に基づいている。
- 破壊現象に影響するこれらの種々のパラメータに確率的な分布を与えて、破壊を評価する**確率論的破壊力学(PFM: Probabilistic Fracture Mechanics)**が安全裕度を定量的に評価するための手法として活用が期待されている
- ここでは、国内外で比較的検討が進んでいる**原子炉圧力容器**に対するPFMの適用の状況と今後の方向性について述べる。

## 【決定論的破壊力学評価】

亀裂・過渡、破壊靱性等を保守的に設定し、破壊が発生するか否かを評価

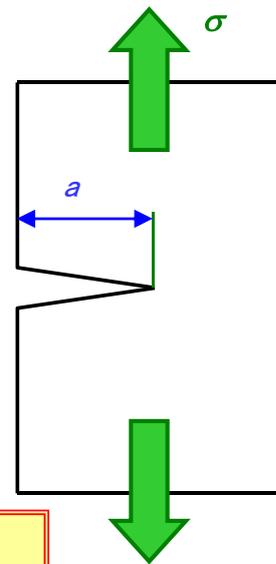


## 線形破壊力学アプローチ

$K_I$  : 応力拡大係数

➤  $\sigma$  : 応力

➤  $a$  : き裂深さ



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

## 破壊靱性データの取得(例)

[1] 試験片

Compact Tension (CT) 試験片

[3] 試験結果

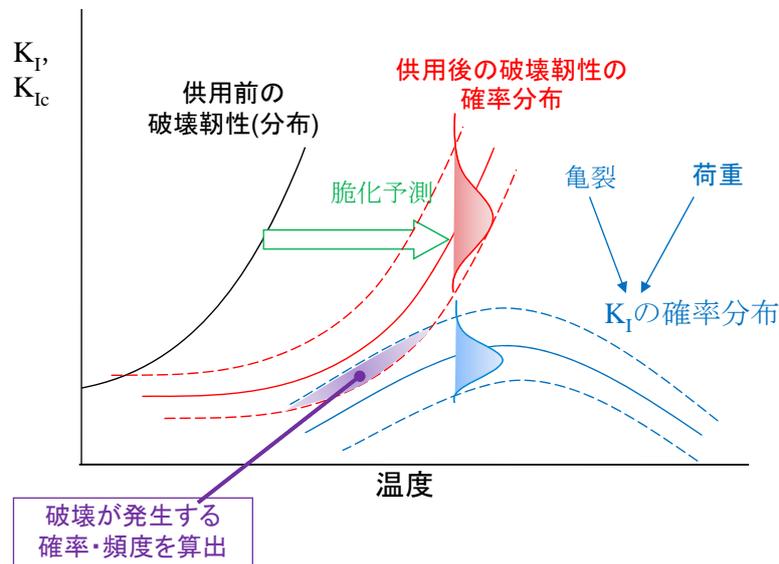
$K_{IC}$  : 静的  
 $K_{ID}$  : 動的

[2] 試験方法

静的・動的破壊靱性試験

## 【確率論的破壊力学評価】

破壊現象に影響する種々のパラメータに確率的な分布を与えて、破壊が発生する確率・頻度を求める



## PFMの適用の状況

## 【米国の規制への活用】

## ◆ 米国NRC PTS規則: 10CFR50.61(1985)

- ✓ 照射脆化を考慮した関連温度の予測値( $RT_{PTS}$ )に対するスクリーニング限度
- ✓ スクリーニング限度を超えると予測される場合、以下により運転継続が認められる
  - 中性子照射量低減対策
  - 焼鈍による破壊靱性の回復措置
  - **PFM評価(安全評価)⇒亀裂貫通頻度が $5 \times 10^{-6}$ /炉・年以下**
- 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.

### 【米国の規制への活用】

#### ◆ 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PFM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
- ✓ **亀裂貫通頻度が $1 \times 10^{-6}$ /炉年以下**との条件に基づいたスクリーニング限度を設定
- 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," February 2010.

### 【PFMによるスクリーニング限度設定の概要】

## 【米国のPFM解析コード】

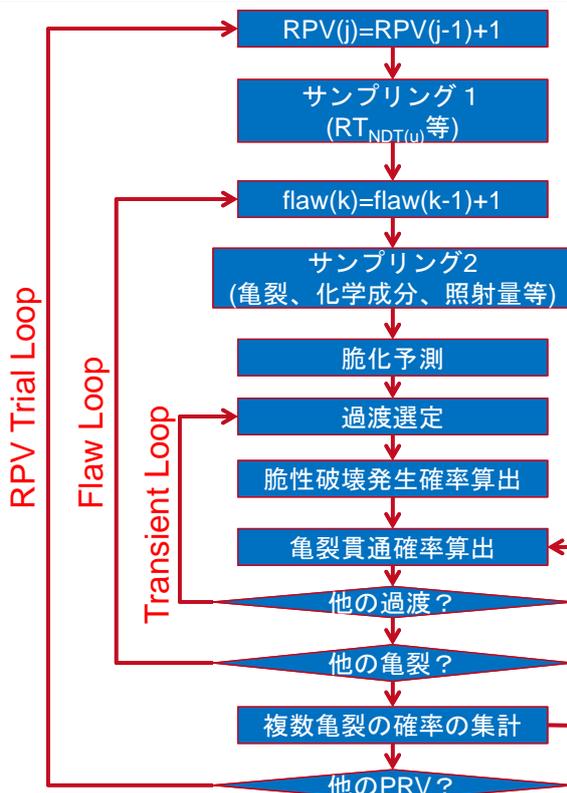
### ◆ オークリッジ国立研究所(ORNL) FAVOR

(Fracture Analysis of Vessels: Oak Ridge)

✓ PTS再評価プロジェクトにおけるPFM解析に使用

- Williams, P. T., Dickson, T. L., and Yin, S., Fracture Analysis of Vessels – Oak Ridge, FAVOR, v12.1, Computer Code: Theory and Implementation of Algorithms, Methods, and Correlations, Oak Ridge National Laboratory, ORNL/TM-2012/567, November, 2012, United States Nuclear Regulatory Commission ADAMs number ML13008A015.
- Dickson, T. L., Williams, P. T., and Yin, S., Fracture Analysis of Vessels – Oak Ridge, FAVOR, v012.1, Computer Code: User's Guide, Oak Ridge National Laboratory, ORNL/TM-2012/566, November, 2012, United States Nuclear Regulatory Commission ADAMs number ML13008A016.

# PFMの適用の状況



### 【FAVPFMのフロー】

- 化学成分、照射量等の脆化予測に関わる因子や関連温度、欠陥位置・形状寸法の確率分布からサンプリング
- 想定する個数のRPVについて、破壊靱性のパラツキを考慮し、過渡が発生した場合の条件付脆性破壊発生確率及び条件付亀裂貫通確率を算出
- その後、FAVPOSTIにおいて、過渡の発生頻度を考慮した脆性破壊発生頻度及び亀裂貫通頻度を算出

・亀裂深さ<板厚の0.9倍  
・塑性崩壊基準  
・延性亀裂の再発生

過渡が発生した場合の  
・条件付脆性破壊発生確率  
・条件付亀裂貫通確率

• Williams, P. T., Dickson, T. L., and Yin, S., Fracture Analysis of Vessels – Oak Ridge, FAVOR, v12.1, Computer Code: Theory and Implementation of Algorithms, Methods, and Correlations, Oak Ridge National Laboratory, ORNL/TM-2012/567, November, 2012, United States Nuclear Regulatory Commission ADAMs number ML13008A015.

## 【亀裂分布】

キャンセル炉の調査結果等に基づき設定

## 【脆性破壊発生確率の算出】

破壊靱性のバラツキから $K_I$ に対応する脆性破壊発生確率を算出 [cpi] ある過渡における条件付脆性破壊発生確率  
Conditional Probability of crack Initiation

[\*]

想定する亀裂深さと亀裂密度の関係

[\*] 1982年英国圧力容器の健全性に関する研究グループ(議長:Marshall)で  
纏められたレポートにおける欠陥分布

- Simonen, F.A., Schuster, G.J., Heasler, P.G., "A Generalized Procedure for Generating Flaw-Related Inputs for the FAVOR Code," NUREG/CR-6817, PNNL-14268, Pacific Northwest National Laboratory, March 2004.
- Williams, P. T., Dickson, T. L., and Yin, S., Fracture Analysis of Vessels – Oak Ridge, FAVOR, v12.1, Computer Code: Theory and Implementation of Algorithms, Methods, and Correlations, Oak Ridge National Laboratory, ORNL/TM-2012/567, November, 2012, United States Nuclear Regulatory Commission ADAMS number ML13008A015.

想定する亀裂深さと亀裂密度の関係

時刻歴の $K_I$ と破壊靱性のバラツキ

## 【FAVORによる評価結果の例】

旧規定で使用されたTWCF許容値

10CFR50.61aで使用されたTWCF許容値

米国PWRプラントの48EFPY時点でのMax  $RT_{AW}$  のヒストグラム

溶接金属の関連温度に対する亀裂貫通頻度(TWCF)

溶接金属と板材の関連温度( $RT_{MAX-AW}$ 、 $RT_{MAX-PL}$ )と亀裂貫通頻度(TWCF)及び60年時点のプラントの関連温度の関係

- Mark T Erickson Kirk, Terry L. Dickson, "Recommended Screening Limits for Pressurized Thermal Shock (PTS)," NUREG-1874, U.S. Nuclear Regulatory Commission, March 2010.

- 新規規制基準適合性の審査では、重大事故等対策の有効性評価において想定する事故シーケンスグループの選定に、**確率論的リスク評価(PRA: Probabilistic Risk Assessment)**から得られる知見を活用することが取り入れられた。
- 原子力施設の安全性の向上を目に見えるかたちにするための仕組みとして、安全性向上評価を実施することが設置者に義務付けられ、その中でPRAの実施が求められている。

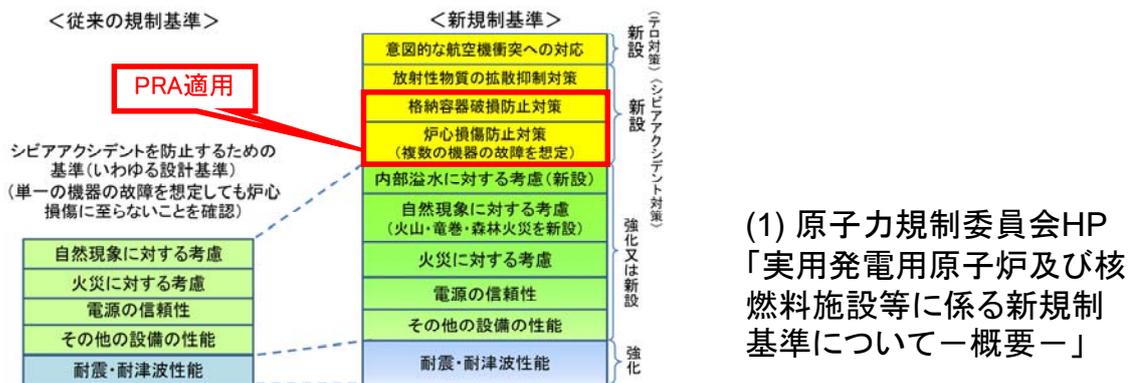


Figure 1 Comparison of regulatory requirements (1)

## 【確率論的リスク評価(PRA)】

- プラントを取り巻く各種ハザードを要因として、発生する可能性のある事象(起因事象)から炉心損傷事故や格納容器破損事故等に至る頻度等を、**プラントシステムの安全性に対するリスクとして定量的に評価する手法**。
- **プラントにどの程度のリスクがあるのか、何が強くリスクに寄与しているか**を知ることができる。
- 安全性を効率的に高めるための設計や保全の検討に役立てることが期待されている。⇒**リスク情報の活用**

- 原子炉圧力容器の健全性評価には多くの評価条件が必要.  
脆化予測に用いる材料の化学成分, 中性子照射量, 破壊靱性, 欠陥の寸法(深さ, 長さ)・位置, 過渡条件等
- 決定論的破壊力学評価では、これら評価条件をそれぞれ保守的に設定
- PFMは, プラント全体の安全性への影響, すなわち, 原子炉圧力容器の破損頻度の観点から見ることができ, 安全裕度の定量化に繋げることが可能と考えられる.
- その他のPFMの活用例
  - ✓ 決定論的破壊力学評価の各パラメータの保守性  
(例) 関連温度等のパラメータに対する感度解析
  - ✓ 保全に伴う安全性向上の程度  
(例) 供用期間中検査の実績を反映した欠陥分布

## 【国内のPFMに関する検討】

- ◆ (一社)日本溶接協会のPFM小委員会  
PFMに関する調査や応用研究の活動
- ◆ 原子力規制庁 高経年化技術評価高度化事業  
**JAEA 原子炉圧力容器健全性研究専門部会**  
JAEA開発PFM解析コードPASCALの適用を念頭に, PFMの適用性・標準化に関する検討
- ◆ 日本電気協会 構造分科会 破壊靱性検討会  
原子炉圧力容器のPFM評価要領の規格への取り込み検討を開始

- 米国の規制への活用状況等も踏まえて、国内でも原子炉圧力容器に対するPFM適用の検討が進められつつある。
- PFMはプラントの安全性向上に有益となる情報を得ることができ、リスク情報の活用の観点から、国内においても今後PFMの活用が進むことが期待される。

ご清聴ありがとうございました。

### III. 第15回 材料部会 夏期セミナー報告

日本原子力研究開発機構 根本 義之

2016年の夏期セミナーは、7月4日から6日の日程で、北海道の大滝セミナーハウスにて開催された。最終日は(株)日本製鋼所の室蘭製作所見学を実施した。参加人数は延べ40名であり、そのうち学生が20名であった。

1日目はセミナーの幹事を務めた材料部会の鶴飼部会長の開会の挨拶から始まり、基調講演として、原子力損害賠償・廃炉等支援機構の野村理事より「原子力よもやま話、原子力事故と材料問題」と題する講演を頂いた。夜の懇親会も盛り上がり、深夜まで活発な情報交換、議論が行われた。

2日目の午前は「軽水炉構造材料の課題」のセッションが行われ、「炉内構造材料の諸問題」、「压力容器鋼の照射脆化」、「原子炉压力容器の製造と諸特性」の3講演が行われ、質疑応答では学生からも様々な質問が出され、活発な議論が行われた。午後は「安全性向上に向けての課題」のセッションが行われ、「再稼働に向けての新規制基準対応」、「燃料プール事故解析手法の高度化」、「軽水炉用事故耐性 FeCrAl-ODS 鋼の開発」の3講演が行われた。部会からの要望に応え、各講演では原子炉システムや材料の基礎から実際の最新研究成果に至るまでの詳細な講義が行われ、学生の理解も深まり、また専門家同士の議論の場としても有意義なものとなった。2日目夕刻には、学生によるポスターセッションが企画され、10件の研究発表について大変活発な質疑応答がなされた。厳正な審査の結果、最優秀ポスター賞1名、優秀ポスター賞2名が表彰された。表彰式はポスターセッション後の屋外でのバーベキュー大会席上で行われ、受賞者には賞状と賞品が授与された。バーベキュー大会終了後も会場を屋内に移しての懇親会が続けられ、大いに盛り上がった。

3日目は(株)日本製鋼所の室蘭製作所の見学会を行い、17名が参加した。原子炉压力容器の製造工程の実際を学び、また各部材の実物を間近に見ることが出来たことは極めて有意義な体験であったと思われる。また製鋼所内の鍛刀所で伝統的な日本刀の製作工程を実際の刀鍛冶の方から説明頂いたことは非常に興味深い経験であったと思われる。

最後に今回の夏期セミナーが成功裏に終了したことについて、ご尽力いただいた委員、講師、その他の皆様と、参加者の皆様に心からお礼を申し上げて、本セミナーの報告とする。



2016年 第15回 材料部会 夏期セミナー

日程：2016年7月4～6日

場所：北海道 大滝セミナーハウス（〒052-0317 北海道伊達市大滝区優徳町 32）

参加者： 40名（学生20名）

最優秀ポスター賞： 柴田 博紀（北海道大学）

「事故耐性セリア分散 FeCrAl-ODS 鋼の開発」

優秀ポスター賞： 上川 亮磨（北海道大学）

「軽水炉事故時における FeCrAl-ODS 鋼の高温変形機構」

金野 杏彩（北海道大学）

「Ni 基 ODS 合金のイオン照射による He キャビティ偏析評価」



受賞者の皆さん；左から、柴田博紀さん、上川亮磨さん、金野杏彩さんと、鵜飼部会長.

【第 15 回材料部会夏期セミナー 参加者の声】

北海道大学 大学院工学院 材料科学専攻 エネルギー材料分野  
鶴飼・大野研究室 柴田 博紀

原子力学会・夏期セミナーに参加させて頂いたことで、これまでは知識でしかなかった軽水炉の諸問題に関して、実際に研究者の方々からお話をお聞きすることで実感がわき、更に知見を深めることができました。現在、大学院で研究を行っている ATF（事故耐性燃料）に関しても、まだまだ勉強不足であることを痛感し、知識を深めていかなければならないと感じました。また、ポスターセッションを通して、様々な視点からのアドバイスを頂くことで、広い視野を持って研究に取り組むことの重要性に気付かされました。そして、最優秀ポスター賞を頂くことができたことをうれしく思い、感謝いたします。今後は、軽水炉に関する研究に携わりたいと思っており、今回のセミナーはその大きなモチベーションとなりました。

今回、懇親会の際にも楽しく、かつ真剣にお話頂きました皆様、またこのような機会を設けてくださった皆様に、この場を借りてお礼申し上げます。ありがとうございました。そして、今後もどうぞよろしく願いいたします。

北海道大学 工学院 材料科学専攻  
機能材料学研究室 修士 1 年 鈴木裕太

今回初めて夏期セミナーに参加させていただきました。原子炉材料分野の最先端の研究を知ることができたのはもちろんのこと、それらの研究の背景や基礎知識なども学ぶことができました。特に、ステンレス鋼が照射により及ぼす影響は、照射の影響だけではなく、応力腐食割れなど様々な現象が複雑に作用しており、詳しい調査が必要であり、自分の研究においても、様々な角度から材料を評価しなければならないと気付くことができ、大変有意義でありました。また、講演以外の時間でも、先生方とお酒を交えながら、普段聴くことのできないような貴重なお話を伺うことができ、これからの就職活動や研究への意欲が高まりました。

ポスターセッションにおいては、様々な先生からアドバイスを頂くことができ、これからのように研究を進めていくべきかという方針を決めることができました。

今回の 3 日間のセミナーを通して、得ることのできた知識を生かして、これからの研究に取り組んでいきたいと考えております。最後になりますが、このような機会を設けてくださった、皆様に感謝いたします。ありがとうございました。

今回初めて夏期セミナーに参加させていただきました。私の研究分野は事故耐性向上を目的とした材料開発に関連するものであり、実際に企業や研究機関で原子力関連の研究・業務に携わっている方々のお話を聞きたく、今回のセミナーに参加しました。原子力に関連する基礎的な内容から、実際に原発で発生した事故や材料の劣化事象のメカニズムについて、知見を深めることができたと感じております。

原子力関連材料特有の劣化事象である中性子照射脆化のメカニズムとその知見、実際に原子炉容器部材を製造する上で生じる水素欠陥や偏析等の問題に対応した造塊技術や、内部欠陥を最小限にとどめ高い等方性を維持する機械加工といった製造技術について特に強く印象に残りました。また、既存の事故や不具合の防止・対応策の確立に関わる研究や議論についても学ぶ機会を得ました。事故・不具合は、材料の経年劣化や災害が主な要因ですが、劣化の兆候に気付きながら見過ごしたことや、事故発生後の対応の遅れによる被害拡大といった人的要因が深く関わっていたことを知りました。

材料開発と安全対策、どちらの研究も既存の知識や事故の教訓から成り立っており、研究を進めていくうえで、既存の知識・教訓を継承していくこと、乏しい事象やメカニズムに対しての知見を蓄積し理解を深めていくことが重要であると強く感じ、今回のセミナーで聞き、学んだことを今後の自身の研究に活かしていきたいと考えています。

今回のセミナーを通して、企業や研究機関で実際に原子力に関する業務・研究を行っている方々から貴重なお話を伺うことができました。また、他校の学生との懇親会、お酒を交えながらの交流や、スポーツを通しての交流を深めることができ、とても良い経験となりました。お忙しい中、貴重なお時間を割いてこのような機会を設けてくださった皆様に心より感謝致します。ありがとうございました。

#### IV. 関連する国際会議のリスト

##### (1) TopFuel 2016

会期：September 11-16, 2016

場所：Boise, Idaho, USA

ホームページ：<http://www5vip.inl.gov/topfuel2016/>

申込締切：受付終了

軽水炉燃料に関する国際会議であるが、被覆管に関する材料課題も多く議論される会議です。最近では事故耐性燃料被覆管の開発に関する材料課題の報告もあります。

##### (2) 20th NPC International Conference (NPC 2016)

会期：October 2-7, 2016

場所：Brighton, UK

ホームページ：<http://www.npc2016.net/>

申込締切：受付終了

1977年以降、数年毎に開催されている水化学分野の最も権威のある国際会議です。

##### (3) 8th Multiscale Materials Modeling (MMM2016)

会期：October 9-14, 2016

場所：Dijon, France

ホームページ：<http://mmm2016.iop.org/home>

申込締切：受付終了

材料のモデリングに関する国際会議です。数値計算研究が多く報告されます。

##### (4) NuMat2016: The Nuclear Materials Conference

会期：November 7-10, 2016

場所：Le Corum, Montpellier, France

申込締切：受付終了

ホームページ：<http://www.nuclearmaterialsconference.com/>

2年に一回の頻度で開催されている原子力材料に関する国際会議です。最近では特に、事故時の材料挙動や事故耐性燃料が主要なテーマになっています。

##### (5) 2016 MRS Fall Meeting & Exhibit

会期：November 27 – December 2, 2016

場所：Boston, Massachusetts, USA

申込締切：受付終了

ホームページ：<http://mrs.org/fall2016/>

米国材料学会主催の定期大会という位置付けで、年に2回北米で開催される会合（春：西海岸、

秋：ボストン）で、米国外からの研究者も多く参加する会議です。

(6) 41st International Conference and Expo on Advanced Ceramics and Composites (ICACC '17)

会期：January 22-27, 2017

場所：Daytona Beach, FL, USA

ホームページ：<http://ceramics.org/meetings/acers-meetings>

申込締切：受付終了

セラミックス及びセラミックス複合材料に関する最新成果が報告される国際会議です。最近では、事故耐性燃料の被覆管材料に関するセッションが設けられております。

(7) TMS 2017 146th Annual Meeting & Exhibition

会期：February 26- March 2, 2017

場所：San Diego, California, USA

ホームページ：<http://www.tms.org/meetings/annual-17/AM17home.aspx>

申込締切：受付終了

TMS の定期大会で、広範な材料、現象の研究成果が報告される会議です。

(8) 2017 MRS Spring Meeting & Exhibit

会期：April 17 - 21, 2017

場所：Phoenix Arizona, USA

ホームページ：<http://www.mrs.org/spring2017/>

申込締切：October 13, 2016

米国材料学会主催の定期大会という位置付けで、年に 2 回北米で開催される会合（春：西海岸、秋：ボストン）で、米国外からの研究者も多く参加する会議です。

(9) 2017 ASME Pressure Vessels & Piping Conference

会期：July 16 -20, 2017

場所：Hilton Waikoloa, Hawaii, USA.

ホームページ：<http://www.asmeconferences.org/PVP2017/>

申込締切：November 7, 2016

米国機械学会（ASME）が主催する圧力容器と配管に関わる国際会議です。

(10) 18<sup>th</sup> International Conference on Environmental Degradation of Materials in Nuclear Power Systems

会期：August 13 -17, 2017

場所：Portland, Oregon, USA.

ホームページ : [http://www.tms.org/meetings/2017/EnvDeg2017/home.aspx#.V5\\_ucxKfa78](http://www.tms.org/meetings/2017/EnvDeg2017/home.aspx#.V5_ucxKfa78)

申込締切 : November 28, 2016

軽水炉環境での環境助長割れに関する最新成果が報告される国際会議です。

(11) 18<sup>th</sup> International Conference On Fusion Reactor Materials

会期 : November 5 -10, 2017

場所 : 青森, 日本

ホームページ : 準備中

申込締切 : TBA

核融合炉材料をテーマに、材料製造技術や照射効果等に関する最新成果が報告される国際会議です。

(12) 2017 MRS Fall Meeting & Exhibit

会期 : November 26 – December 1, 2017

場所 : Boston , Massachusetts, USA

ホームページ : <http://mrs.org/fall2017/>

申込締切 : TBA

米国材料学会主催の定期大会という位置付けで、年に 2 回北米で開催される会合（春：西海岸、秋：ボストン）で、米国外からの研究者も多く参加する会議です。

## V. 運営委員会 委員名簿

部会長	鵜飼 重治	(北海道大学)
副部会長	加治 芳行	(日本原子力研究開発機構)
財務小委員長	茶谷 一宏	(日本核燃料開発株式会社)
編集小委員長	近藤 創介	(京都大学)
編集小委員会委員	近田 拓未	(静岡大学)
広報小委員長	阿部 陽介	(日本原子力研究開発機構)
広報小委員会委員	中里 直史	(室蘭工業大学)
国内学術小委員長	根本 義之	(日本原子力研究開発機構)
国内学術小委員会委員	柴山 環樹	(北海道大学)
国際学術小委員長	山下真一郎	(日本原子力研究開発機構)
国際学術小委員会委員	藤井 克彦	(原子力安全システム研究所)
庶務幹事	外山 健	(東北大学)
庶務幹事	矢野 康英	(日本原子力研究開発機構)
庶務幹事	叶野 翔	(東京大学)
庶務幹事	石寄 貴大	(日立製作所)

## VI. 寄稿のお願い

材料部会では、部会員の皆さまのご寄稿を歓迎いたします。原子力関連材料についての最近の研究や研究機関・施設・研究会の紹介、会議の案内や報告、国際交流など、気楽に話題提供をお願いいたします。以下の電子メールアドレスあるいはお近くの運営委員までご連絡ください。

○材料部会運営委員会宛メールアドレス

[material-sc@material-aesj.sakura.ne.jp](mailto:material-sc@material-aesj.sakura.ne.jp)

## VII. 編集後記

本年度 1 報目の材料部会報をお届けいたします。部会報発行にあたり、さまざまな先生方のご支援・ご協力いただき大変ありがとうございました。今後も年 2 回の発行を目標に、材料部会のアクティビティを報告していきたいと思っております。

部会報に対するご意見、ご要望など、どのような事でも結構ですのでお寄せ頂ければ幸いです。

