



### 概要

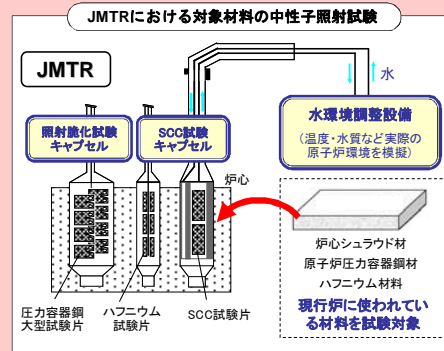
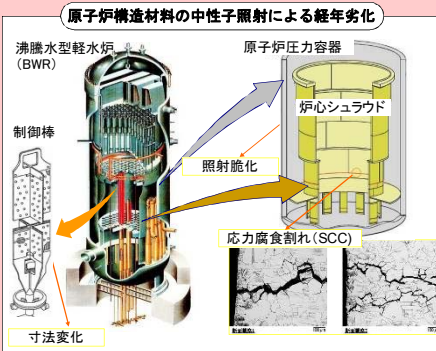
本研究グループでは、高経年化技術評価等における国の規制判断に必要な技術的知見を収集・整備することを目的として、平成24年度に再稼働する予定の材料試験炉(JMTR)を活用し、実機模擬環境での軽水炉材料の照射研究を実施する。

### 研究の必要性・目的

●「原子力安全基盤小委員会報告～原子力の安全基盤の強化について～」(平成19年10月)において「戦略的に重要な安全基盤研究施設」と位置づけられた材料試験炉(JMTR)に照射試験装置を整備して、高経年化対応技術戦略マップなどで整理された課題のうち、中性子照射試験が不可欠なものに関する研究を行い、民間規格などの妥当性評価を行うための技術基盤を得る。

●原子炉容器では脆化予測に基づき緊急炉心冷却時の脆性破壊を防止することが必要である。また、炉心シュラウド、制御棒では応力腐食割れが発生している。

●JMTRで原子炉圧力容器の照射脆化、炉心シュラウドの照射誘起応力腐食割れ(IASCC)等に関する照射試験を実施する。

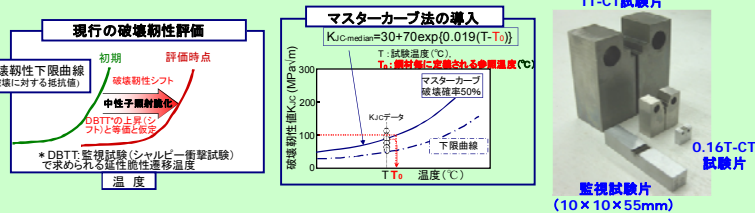


### 原子炉圧力容器鋼の照射脆化試験

原子炉圧力容器鋼の照射脆化<sup>※1)</sup>の評価手法における課題:

- 原子炉圧力容器の健全性評価に必要な破壊靭性評価法の適用性検証、高精度化
- 現行のシャルピー衝撃試験に基づく間接的な破壊靭性<sup>※2)</sup>評価手法の妥当性確認
- 直接的な破壊靭性評価手法であるマスターカーブ法の導入<sup>※3)</sup>

- ※1) 照射脆化: 中性子照射により材料が脆くなること
- ※2) 破壊靭性: 原子炉圧力容器の起動、停止、加圧熱衝撃による健全性評価に必要で、脆くなり破壊すること(脆性破壊)に対する抵抗値
- ※3) マスターカーブ法: 破壊靭性値のばらつきを最弱リンク説に基づくワイブル分布にあてはめ、その分布の温度依存性を一本の指数型曲線で表現する。一つの試験温度で数本の試験片で試験することにより、破壊靭性値の温度依存性が求められる。



### JMTRでの照射試験

試験済みの監視試験片から加工が可能なサイズの破壊靭性試験片(0.16インチ厚さコンパクトテンション型試験片(0.16T-CT)からマスターカーブ法での標準サイズである1インチ厚さの1T-CT試験片を用いて中性子照射試験を実施する。

○鋼材の化学成分と照射条件によって、国内鋼材で想定される脆化量をカバーできるようにする(試験用鋼材)

- 母材は、実機相当の厚板鋼材とする。1970年代初頭の鋼材成分Cu=0.1wt.%程度、Ni=0.6wt.%を基準として、3種類の鋼材を製作する。照射データが豊富な、既往研究の鋼材(PWR標準材)も利用する。
- 溶接金属の化学成分は、国内PWRプラント鋼材の上限値を目標として、高Cu(0.2wt.%)、高Ni(1.1wt.%)とする。

(照射条件、照射データ)

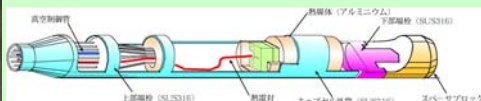
- 高照射量条件として、 $1 \times 10^{20} \text{ n/cm}^2$  ( $E > 1 \text{ MeV}$ ) 以上のデータを取得する。
- 破壊靭性試験に加えて硬さ試験、引張試験、シャルピー衝撃試験等により基本的な機械的性質に関するデータも取得する。

(脆化量)

- 上記の照射条件設定に当たっては、国内脆化予測式(JEAC4201-2007)を用いて脆化量を予測した結果、シャルピー遷移温度シフトで200℃程度までのデータを取得できる見込み



製作した鋼材の一部 (板厚200mm)



1T-CT試験片を装荷するキャプセルの模式図

### 期待される成果

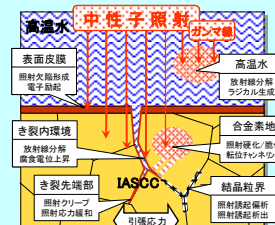
破壊靭性試験用の試験片形状・寸法効果を明らかにし、高脆化材で現行のシャルピー衝撃試験による延性脆性遷移温度(DBTT)による間接的な破壊靭性評価手法の妥当性を確認する。また、マスターカーブ法の導入に向け、高脆化材でマスターカーブの形状、すなわち破壊靭性値の温度依存性に関するデータも取得し、監視試験片を利用した小型破壊靭性試験片による破壊靭性評価手法の妥当性を判断するために必要な技術的根拠を得る。

### BWR炉内構造材料の応力腐食割れ(SCC)試験

BWR炉内構造材料の照射誘起応力腐食割れ(IASCC)<sup>※4)</sup>の評価手法における課題:

炉内構造物(炉心シュラウド等)の健全性評価に必要なき裂進展速度評価法の検証、高精度化

- 照射材の炉外での試験(照射後試験(PIE))で得られた知見に基づく評価手法の保守性の確認
- 照射下での水質評価のための腐食電位(ECP)の安定な測定と、実測データを活用した解析コードの検証



- ※4) 照射誘起応力腐食割れ(Irradiation-Assisted Stress Corrosion Cracking; IASCC): 高温高圧水中の腐食環境に置かれた材料に引張応力が掛かることにより、ひび割れが発生して進む応力腐食割れ(SCC)が、材料の中性子照射により加速される現象

### JMTRでの照射試験<sup>1)</sup>

BWR炉心シュラウドの供用期間を考慮して予備照射した鋼材を用いて、照射下でSCC進展試験を実施する。

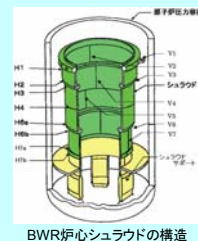
○0.5T-CT試験片(板厚12.7mm)の使用

- 破壊力学的validityを満足する条件の試験で、環境の影響を評価

○照射下でECPを実測しながら、き裂長さをモニター

○試験パラメータ

- 材質: 国内BWR炉心シュラウドに使用されているSUS316L鋼(母材/溶接熱影響部(HAZ))
- 中性子照射量:  $3 \times 10^{24} \sim 3 \times 10^{25} \text{ n/m}^2$  ( $E > 1 \text{ MeV}$ )
- 水質(ECP):  $-100 \text{ mV}_{\text{SHE}}$  以下  $\sim 100 \text{ mV}_{\text{SHE}}$  以上
- 応力拡大係数(K値):  $10 \sim 30 \text{ MPa}\sqrt{\text{m}}$

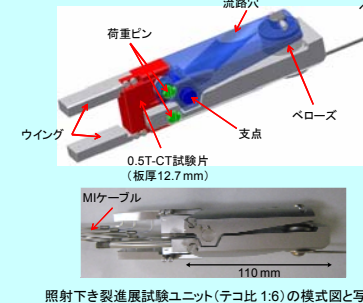


BWR炉心シュラウドの構造

### 照射下試験のための技術開発

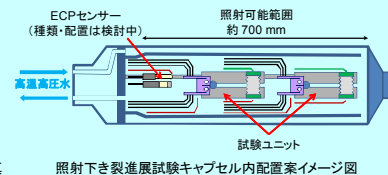
○開発目標: BWR炉水環境(約288℃の高温高圧水)を模擬した照射キャプセル(φ44mm)内で

- 0.5T-CT試験片に負荷できるように(応力拡大係数  $K=10 \sim 30 \text{ MPa}\sqrt{\text{m}}$ )
- 炉内照射環境下で、0.5T-CT試験片のき裂長さを電位差法(PDM)によりモニターできること



照射下き裂進展試験ユニット(テコ比1:6)の模式図と写真

テコ方式及びペローズ(水圧とガス圧との差圧)を利用した荷重付加機構  
ホットラポセル内での遠隔操作性を考慮したウイング付き試験片を用いたPDM計測  
照射キャプセル内に試験ユニットを2セットまで装荷可能



照射下き裂進展試験キャプセル内配置イメージ図

### 期待される成果

- 中性子照射を受けた材料について、炉内と炉外でのき裂進展速度及び酸化皮膜性状等の相違を把握することにより、現行のIASCC健全性評価手法の保守性確認に寄与する。
- 照射環境下でのECPを実測し、き裂進展速度へのECPの影響を把握することにより、炉内水質評価の高精度化に寄与するとともに、材料の照射量に応じた炉内での環境緩和効果の有効性を確認する。

### スケジュール

年度	H23	H24	H25	H26	H27	H28
装置整備	■	■				
技術開発	■	■	■			
照射準備						
照射試験						
						JMTR再稼働

### 進捗状況

- 鋼材・試験片・照射キャプセル準備、非照射材試験を実施中
- 照射下試験技術の炉外での基本動作確認は概ね完了

### 参考文献

1) Y.Chimi, S.Kasahara, H.Ise, Y.Kawaguchi, J.Nakano, Y.Nishiyama, "In-pile Tests for IASCC Growth Behavior of Irradiated 316L Stainless Steel under Simulated BWR Condition in JMTR", Proc. 15th Int. Conf. Environmental Degradation of Materials in Nuclear Power Systems - Water Reactors (Colorado Springs, U.S.A., Aug. 7-11, 2011), to be published.

# 材料試験炉（JMTR）を用いた軽水炉材料の照射研究

日本原子力研究開発機構 安全研究センター 高度化軽水炉燃材料研究グループ

## 1 概要

本研究グループでは、高経年化技術評価等における国の規制判断に必要な技術的知見を収集・整備することを目的として、平成 25 年度に再稼働する予定の材料試験炉（JMTR）を活用し、実機模擬環境での軽水炉材料の照射研究を実施する。

## 2 研究の必要性・目的

「原子力安全基盤小委員会報告～原子力の安全基盤の強化について～」(平成 19 年 10 月)において「戦略的に重要な安全基盤研究施設」と位置づけられた材料試験炉（JMTR）に照射試験装置を整備して、高経年化対応技術戦略マップなどで整理された課題のうち、中性子照射試験が不可欠なものに関する研究を行い、民間規格などの妥当性評価を行うための技術基盤を得ることを目的とする。

原子炉容器では脆化予測に基づき緊急炉心冷却時の脆性破壊を防止することが必要であり、また、沸騰水型軽水炉（BWR）の炉心シュラウドや制御棒では応力腐食割れが発生している。このような実機の状況を踏まえて、JMTR で原子炉圧力容器の照射脆化、炉心シュラウドの照射誘起応力腐食割れ（IASCC）等に関する照射試験を実施する。

## 3 研究の内容

### 3.1 原子炉圧力容器鋼の照射脆化

原子炉圧力容器に使用されている低合金鋼を対象に、監視試験片サイズの小型試験片、マスターカーブ法の標準サイズである大型試験片（1T-CT 試験片）により、高照射量までの中性子照射材の破壊靱性試験を実施し、現行の監視試験片による間接的な破壊靱性評価手法の妥当性を確認する。

### 3.2 BWR 炉内構造材料の応力腐食割れ（SCC）

BWR 炉心シュラウドに使用されている SUS316L 鋼を対象に、炉内模擬環境（水、放射線）における照射下 SCC 進展試験を実施し、照射後試験（PIE）との比較により、IASCC 進展挙動への照射環境の影響を明らかにする。これにより、現行の IASCC 健全性評価手法の保守性確認、及び炉内水質評価の高精度化に寄与するとともに、材料の照射量に応じた炉内での環境緩和効果の有効性を確認する。

## 4 研究の進捗状況

東日本大震災等の影響により JMTR 再稼働時期が延期となった。現在、再稼働後すぐに照射試験を開始できるように準備を進めている。

### 4.1 原子炉圧力容器鋼の照射脆化

試験マトリクスの検討、大型試験片用照射孔の準備を完了し、鋼材・溶接継手の調達と非照射材を用いた材料特性試験、照射用試験片及び照射キャプセルの製作を実施している。

### 4.2 BWR 炉内構造材料の応力腐食割れ（SCC）

試験マトリクスの検討、鋼材・溶接継手の調達と非照射材を用いた材料特性試験、照射用試験片及び照射キャプセルの製作を実施するとともに、照射下試験に必要な技術開発を進め、炉外試験による基本動作確認が完了している。JMTR 再稼働後はまず炉内での試験技術の確認を実施する予定である。

本報告は、経済産業省 原子力安全・保安院からの受託事業「軽水炉燃材料詳細健全性調査」の成果の一部である。