

研究計画（案）説明資料

実機材料等を活用した経年劣化評価・検証に係る研究 事前評価 説明資料

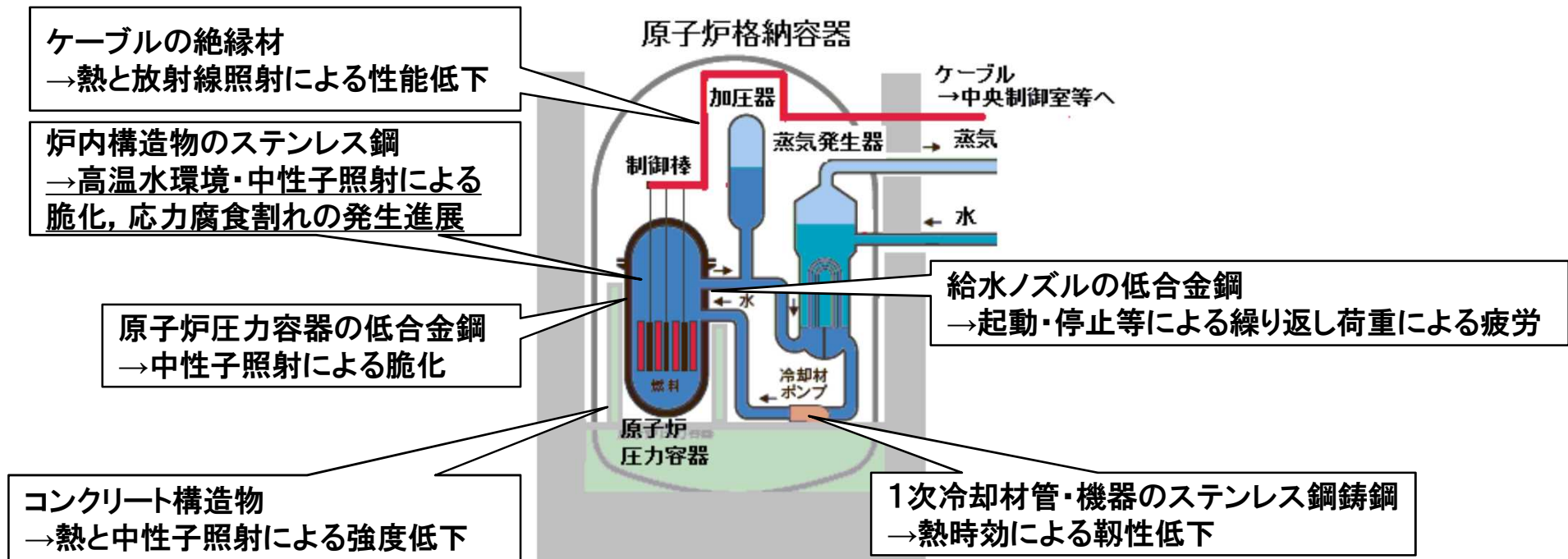
令和元年10月
原子力規制庁長官官房技術基盤グループ
システム安全研究部門

目次

1. 背景
2. 目的
3. 研究概要
 - 3.1 原子炉圧力容器の健全性評価に係る研究
 - 3.2 電気・計装設備の健全性評価に関する研究
 - 3.3 炉内構造物の健全性評価に係る研究
 - 3.4 ステンレス鋼製機器の健全性評価に係る研究
4. 研究計画(行程表)

1. 背景

- これまで、材料研究では、主に模擬材料の加速劣化試験により材料の特性を評価してきた。
- 加速劣化試験結果に基づく材料の経年劣化予測評価について、実機環境における実際の材料劣化挙動と比較することによる加速劣化試験手法の保守性の検証は行われていない。



主な機器・構造物と想定される劣化事象の例(PWR)

2. 目的

加速劣化試験結果に基づく材料の経年劣化予測評価について、実機環境における経年劣化挙動に対する保守性の検証等を実施し、代表的な以下の機器、構造物の健全性評価に関する知見を拡充。

- (1)原子炉圧力容器
- (2)電気・計装設備
- (3)炉内構造物
- (4)ステンレス鋼製機器

知見の活用先

高経年化技術評価及び運転期間延長の審査に資するとともに、関連する民間規格の技術評価に資する。

3. 研究概要

3.1 原子炉圧力容器の健全性評価に係る研究

原子炉圧力容器の健全性評価

原子炉圧力容器(以下「RPV」という。)が中性子の照射を受け、材料が靱性(粘り強さ)が低下する現象を中性子照射脆化(以下「照射脆化」という。)という。

RPVの健全性評価は、RPV内に設置されている監視試験片から取得される試験データに基づき行われている。

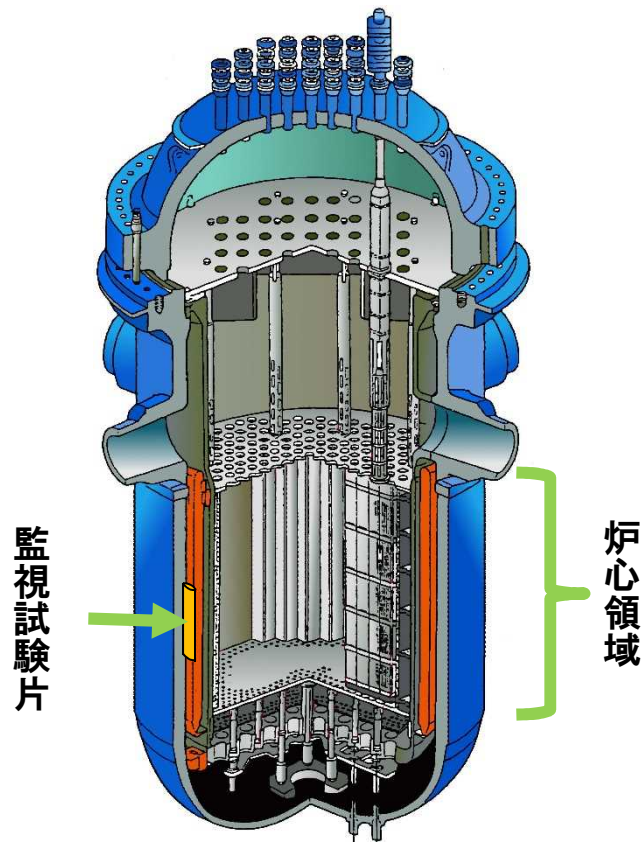


図1 原子炉容器炉心領域

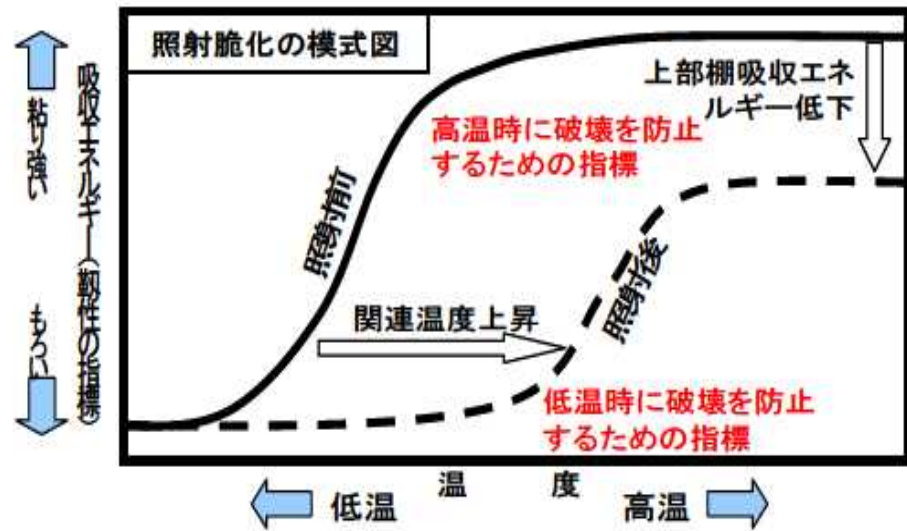


図2 照射による材料変化

3. 研究概要

3.1 原子炉圧力容器の健全性評価に係る研究(つづき)

RPVの健全性評価

加圧熱衝撃事象を想定しても、RPVの破壊が生じないことを確認する必要がある。

具体的には、照射脆化予測を考慮した破壊靱性遷移曲線を設定し、一方で、加圧熱衝撃事象時における仮想欠陥の応力拡大係数の時刻歴を評価した上で、前者が後者より常に大きいことにより、RPVが破壊しないことを確認する。(図3)

破壊靱性遷移曲線は、「 ΔT_{41J} が中性子照射による破壊靱性の遷移温度の変化量に等しい」(図5)という考え方に基づいて、監視試験片で得られた評価時期の脆化量に相当する ΔT_{41J} (図4)だけ破壊靱性曲線を移動させて設定される。

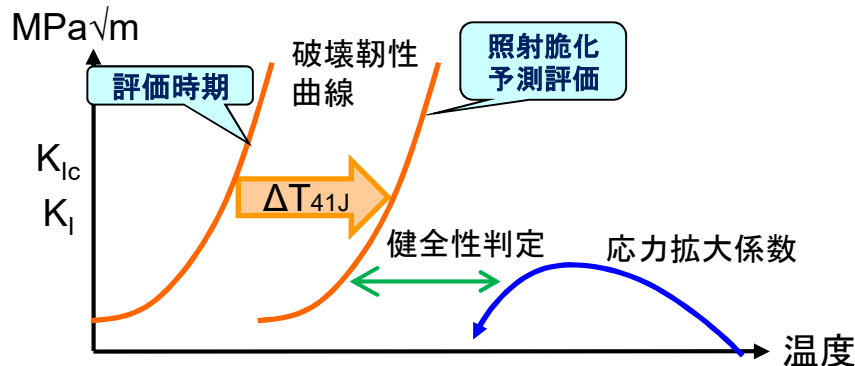


図3 加圧熱衝撃事象に対する健全性評価

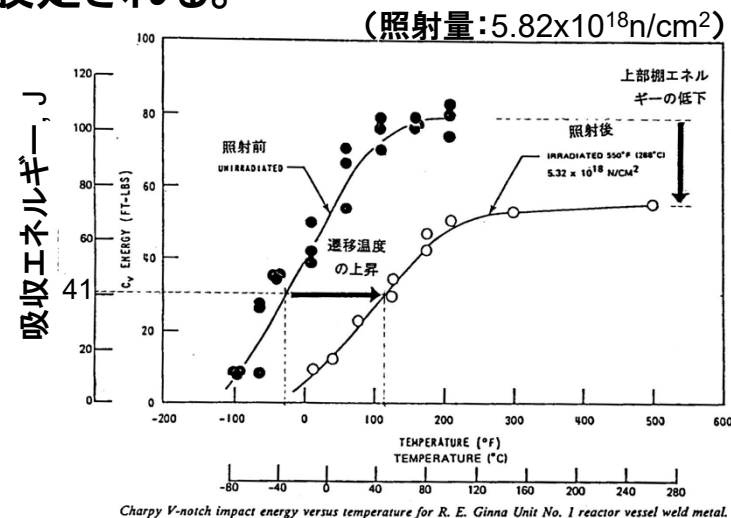


図4 遷移温度上昇(ΔT_{41J})の例(シャルピー衝撃試験)

T.R.Mager他、ASTM STP 784、p151(1983)

3. 研究概要

3.1 原子炉圧力容器の健全性評価に係る研究(つづき)

a. RPV健全性評価法の保守性に係る研究

本研究では、実機材料等を用いて ΔT_{41J} と破壊靱性遷移温度を比較し、データを拡充することで、現状の評価方法が保守的であることを検証する。

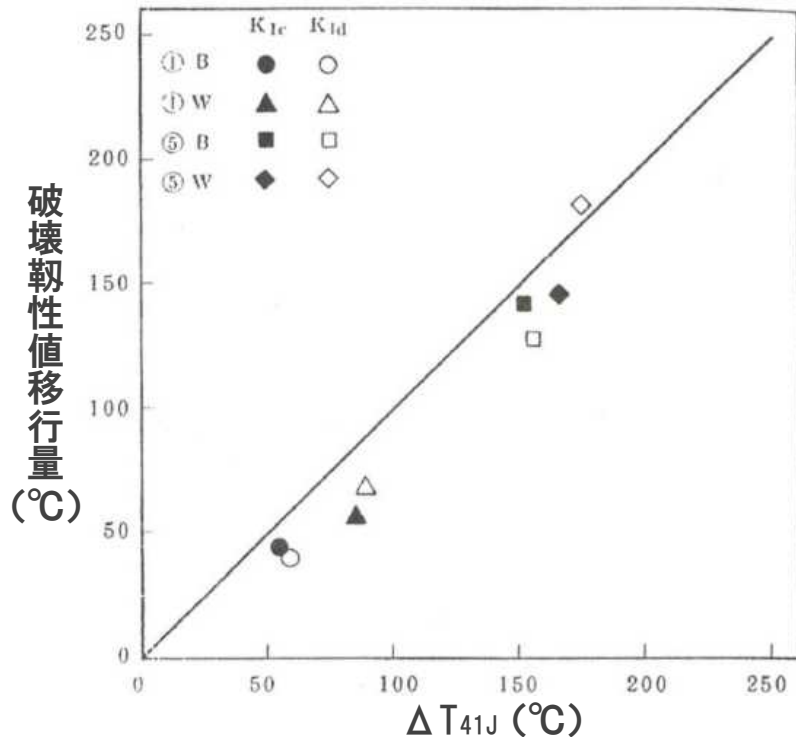
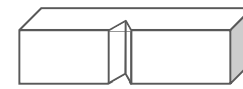
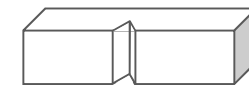


図5 破壊靱性値移行量と ΔT_{41J} の関係

シャルピー衝撃試験

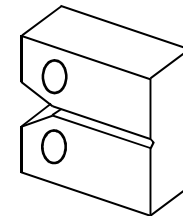


照射前

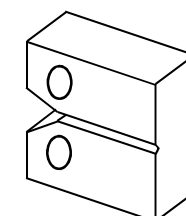


実機材料等

破壊靱性試験(C(T)試験)



照射前



実機材料等



図6 試験概要(一例)

溶接部等熱影響部信頼性評価実証試験に関する調査報告書[原子炉圧力容器加熱熱衝撃試験]
[総まとめ版]、p50、平成4年3月 財団法人 発電設備技術検査協会

3. 研究概要

3.1 原子炉圧力容器の健全性評価に係る研究(つづき)

a. RPV健全性評価法の保守性に係る研究(つづき)

仮想欠陥の形状は半楕円亀裂であり、実際のRPVにおいては、加圧熱衝撃事象時に軸方向と周方向での2軸方向の力が加わることから、1軸方向に力が加わる監視試験片による破壊靱性試験とは、亀裂先端に掛かる力の状態が異なる。

実機と同様に2軸方向の力が加わる破壊試験の破壊挙動と、1軸方向に力が加わる破壊靱性試験結果を比較することで、現状の評価方法の保守性を検証する。

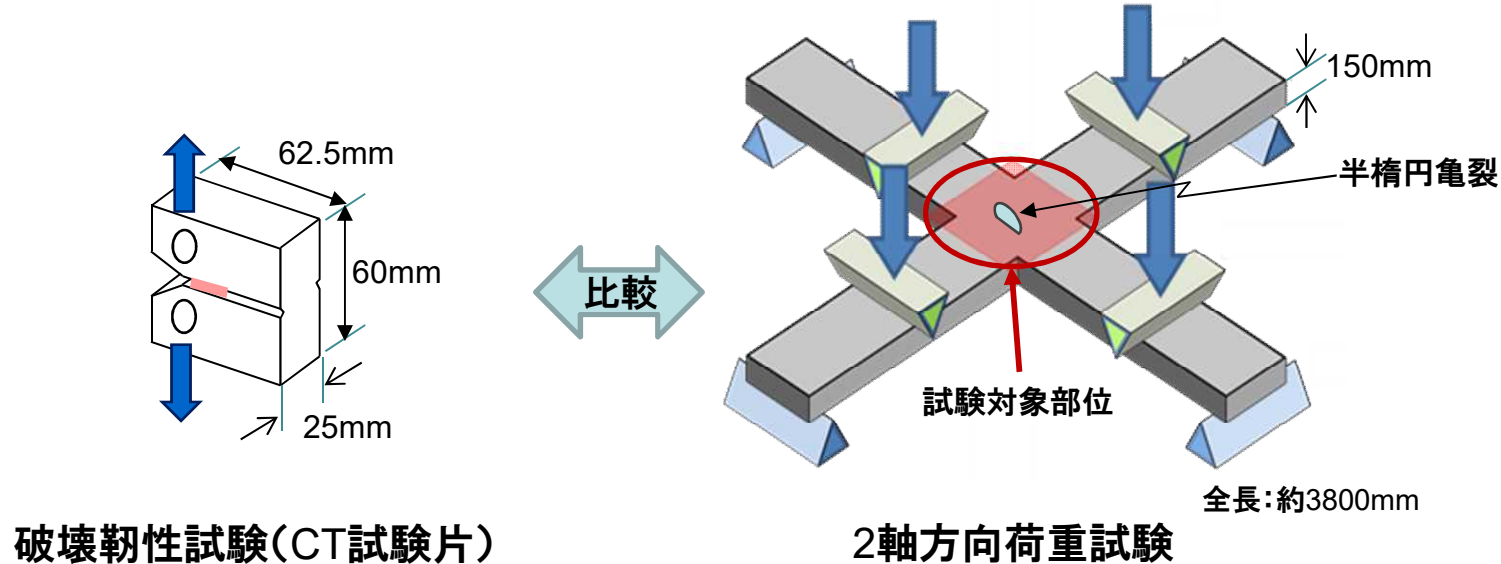


図7 試験概要(一例)

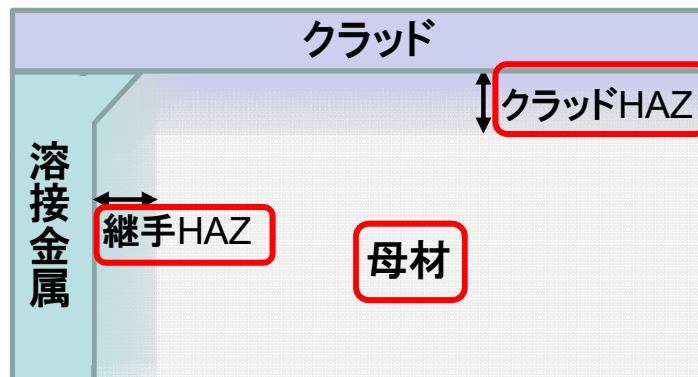
3. 研究概要

3.1 原子炉圧力容器の健全性評価に係る研究(つづき)

b. RPV健全性評価対象部位の代表性に係る研究

RPVの健全性評価は、母材及び溶接金属で行われている。溶接熱影響部(以下「HAZ」という。)の破壊靱性(未照射材)は母材と比較しても同等以上であり、また、シャルピー遷移温度移行量も母材と同等であると考えられているため、供用中のHAZの破壊靱性は確認されていない。

本研究では、実機材料等を活用し、HAZの T_{41J} と破壊靱性の相関について確認し、母材データの代表性について評価することで、現状の評価方法の保守性を検証する。



: 本研究対象部位

図8 熱影響部の一例

3. 研究概要及び実施計画

3.2 電気・計装設備の健全性評価に関する研究

◆原子力発電所の安全系電気・計装設備

安全上重要な電気・計装設備(ケーブル、電気ペネトレーション(以下「電気ペネ」という。)等)には、供用期間末期でも設計基準事故時に原子炉を安全に停止し、外部に放射能が漏れないように対処するための安全機能が要求されている

電気・計装設備に使用される高分子材料

通常運転時の熱・放射線等により徐々に劣化が進行

事故時環境(高放射線及び高温水蒸気)下で急激に劣化が進行



耐環境性能試験により長期健全性を検証

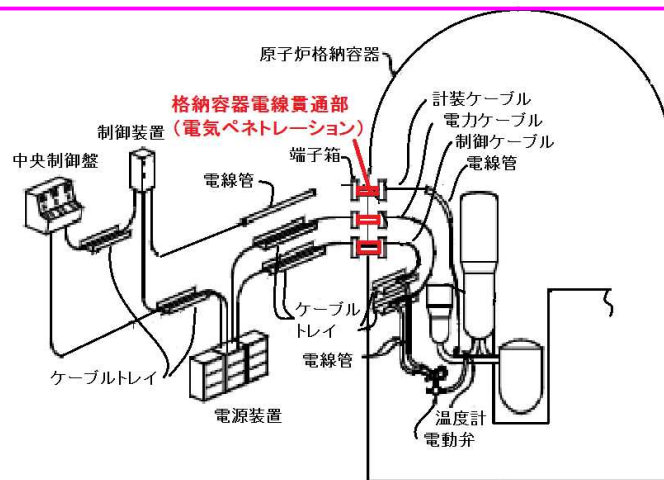


図9 原子力プラントの電気・計装設備設置概略

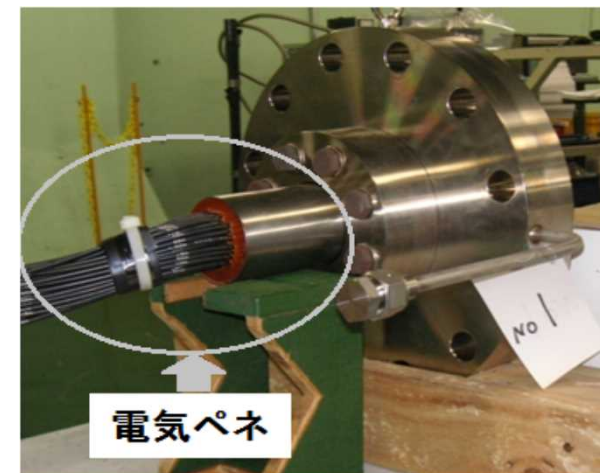


図10 電気ペネトレーション

3. 研究概要

3.2 電気・計装設備の健全性評価に関する研究(つづき)

○実施概要

- ・耐環境性能試験において通常運転時の経年劣化を模擬的に付与するために行っている加速劣化手法による評価の保守性を検証する。
- ・実機材料を用いて事故時環境下における絶縁性能に係るデータを取得する。
- ・高圧ケーブルについては、実機材料における劣化状況を分析し、劣化評価のために過去に実施された絶縁診断の結果と比較し、絶縁診断の劣化評価の保守性を検証する。

* 実機材料の評価

プラントから取得した評価対象設備(実機材料)の絶縁性能の評価、並びに設備を構成している絶縁体の構造分析、電気特性、機械的特性の2面から評価を実施

* 評価対象設備の絶縁体

(電気ペネの場合)

電気ペネ内部の絶縁体
(ポットイング材)及び電気ペネに
接続しているケーブルの絶縁体
(ケーブル絶縁材)から構成されている

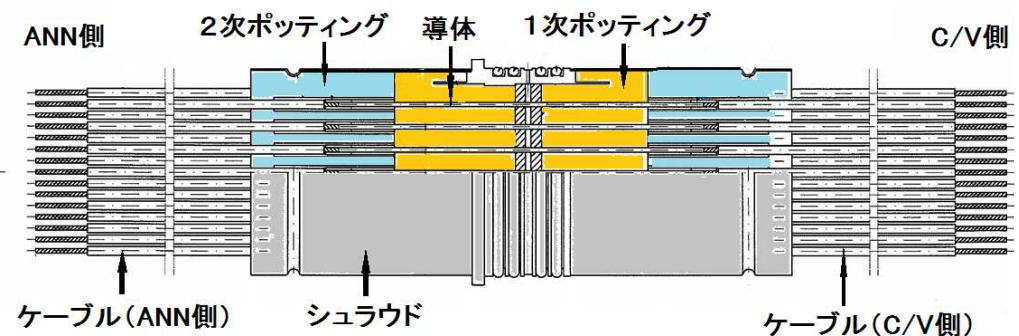
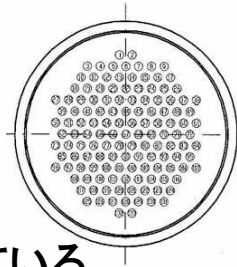


図11 電気ペネトレーションの構造

3. 研究概要

3.2 電気・計装設備の健全性評価に関する研究(つづき)

a. 評価対象設備の選定、使用絶縁体及び環境条件調査

- ・高圧・低圧ケーブル、電気ペネ、弁駆動部を対象
- ・絶縁体として用いられている高分子材料の特定
- ・使用環境条件の調査

b. 実機材料及びその絶縁体の劣化特性評価試験

- ・実機材料の絶縁性能、高分子絶縁体の構造変化、機械的特性、電気特性を評価
- ・高圧ケーブルの実機材料については、絶縁破壊電圧等の絶縁性能を評価
- ・調査した環境条件を基に熱と放射線の逐次劣化又は熱・放射線同時照射で加速劣化した供試体と実機材料で、劣化状態に差異があるかを評価

c. 事故時環境模擬試験

- ・実機材料及び加速劣化供試体を用いて、DBA時環境模擬試験又はSA時環境模擬試験を実施
- ・設備としての絶縁性能の評価と高分子絶縁体の劣化状態を評価



図12 ケーブルのSA時環境模擬試験

3. 研究概要

3.3 炉内構造物の健全性評価に係る研究

a. 炉内構造物の靱性低下に係る研究

【背景】

- 高経年化技術評価等においては、炉内構造物の破壊靱性評価を行い、亀裂等が生じた場合に不安定破壊しないことを確認。
- 中性子照射により破壊靱性が低下する可能性があるため、靱性低下の評価については、(一社)日本機械学会維持規格の破壊力学的評価に基づき実施。



【本研究】

実機材料を用いて、破壊靱性試験を実施し、評価式の保守性を検証。

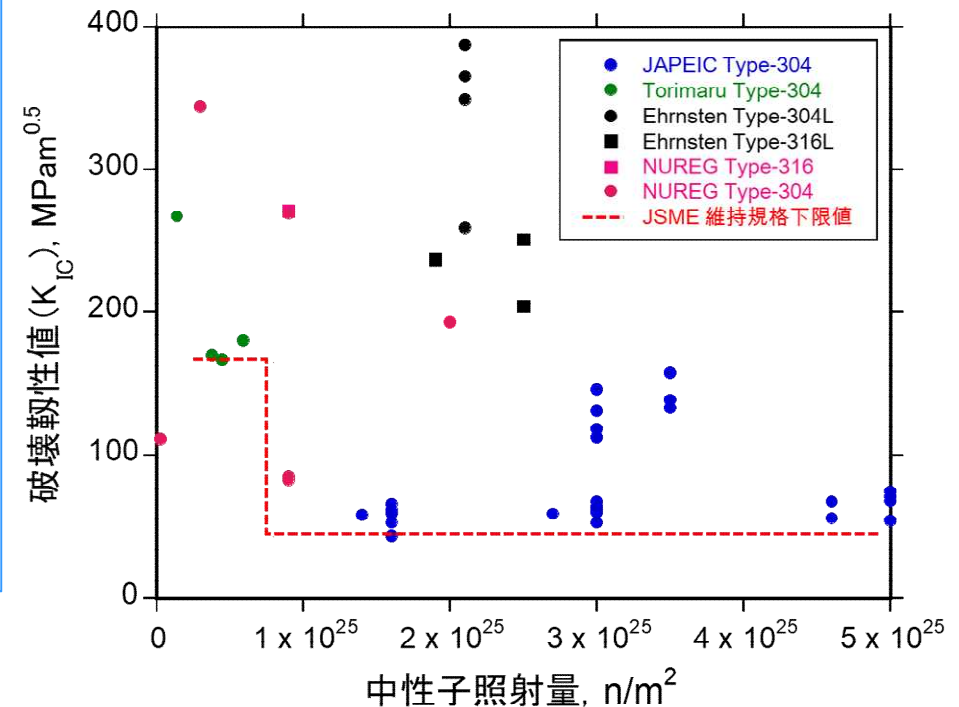


図13 オーステナイト系ステンレス鋼の照射量と破壊靱性値の関係

((国研)日本原子力研究開発機構 JAEA-Review 2018-12, pp.63-72のうちSUS304, SUS304L, SUS316及びSUS316Lの J_{IC} 及び K_{IC} についてプロット。 J_{IC} はJSME S 001 弾塑性破壊靱性 J_{IC} 試験方法増補 1992, p.22の換算式により K_{IC} に換算。一部の照射量データは「1dpa=7.1×10²⁴ n/m²」として換算。)

3. 研究概要

3.3 炉内構造物の健全性評価に係る研究(つづき) b. 予防保全対策技術の保守性に係る研究

【背景】

- ・BWRプラントの応力腐食割れ(SCC)について、発生を低減するために予防保全対策を実施。
- ・予防保全対策を実施した場合、「予防保全実施時期を供用開始時期」とすることができ、結果として、予防保全対策施工部位は検査頻度が緩和される(機械学会維持規格検査要求より)。
- ・一方、ピーニング施工後、熱時効により、ピーニング施工の効果が緩和されるという知見が有る。

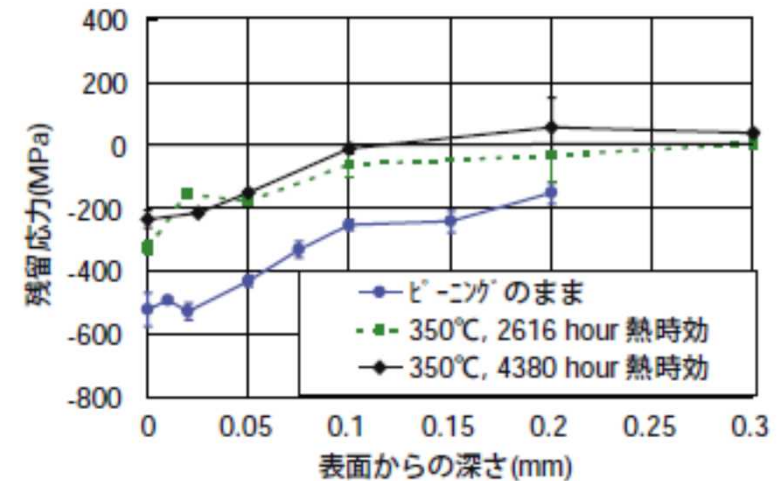
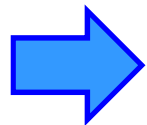


図14 ピーニング施工後の熱時効による残留応力分布
出典: 西川聡、(財)発電設備技術検査協会溶接・非破壊検査技術センター 技術レビュー Vol.4(2008), p.28



【本研究】

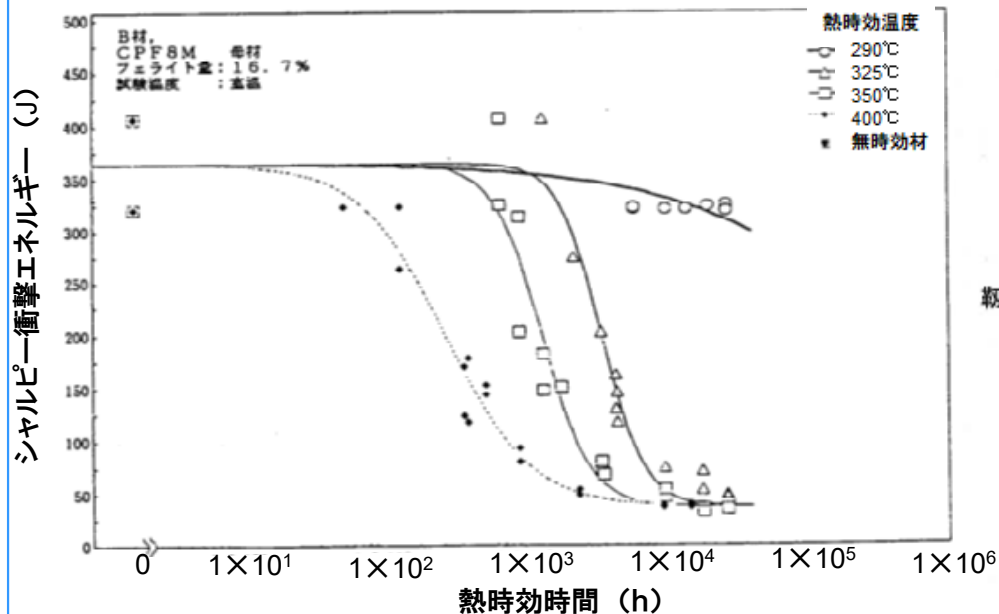
実機材料(炉心シュラウド)を用いて、事業者が実施した予防保全対策施工箇所における長期間の予防保全対策技術の保守性を検証。

3. 研究概要

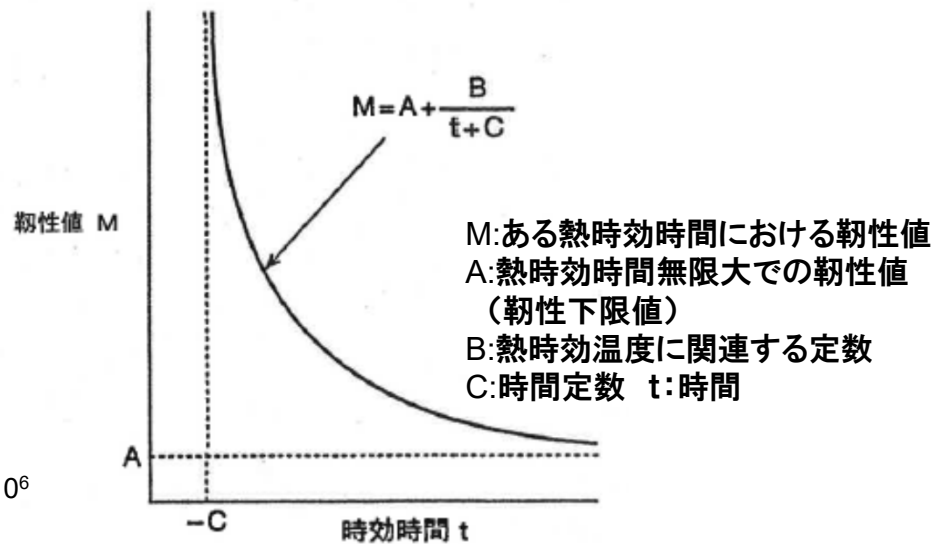
3.4 ステンレス鋼製機器の健全性評価に係る研究

【背景】

- ・ステンレス鋼鋳鋼の熱時効による靱性低下試験データは主に高温の加速試験で取得



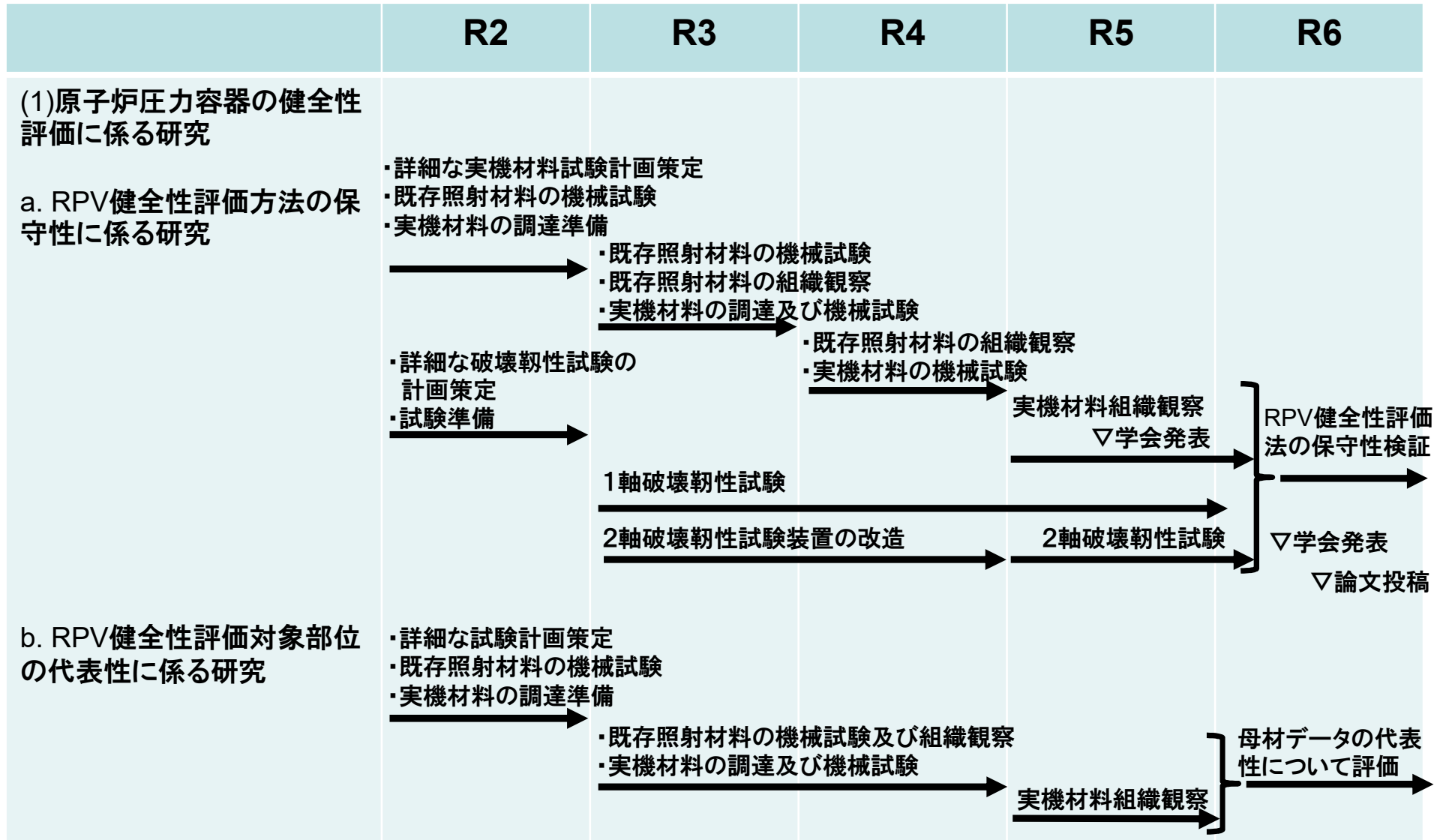
- ・高経年化技術評価等における靱性の低下挙動評価は予測モデル(以下「H3Tモデル」という。)を用いて実施
- ・H3Tモデルは、主に加速試験によるデータに基づき策定



【本研究】

実機材料(再循環ポンプ)を用いて、H3Tモデルによる靱性の低下挙動評価手法の保守性を検証。

4. 研究計画(行程表 1/3)



4. 研究計画(行程表 2/3)

	R2	R3	R4	R5	R6
(2) 電気・計装設備の健全性評価に係る研究					
a. 評価対象設備の選定、使用絶縁体及び環境条件調査	<ul style="list-style-type: none"> ・実機材料の調査 ・実機材料試験計画策定 ・通常運転時環境調査 ・事故時環境調査 			▽学会発表	
b. 実機材料及び高分子絶縁体の劣化特性評価試験	<ul style="list-style-type: none"> ・実機材料の各種特性評価 ・新品供試体作製 ・加速劣化供試体作製 				▽学会発表
c. 事故時環境模擬試験	<ul style="list-style-type: none"> ・電気ペネの実機材料及び加速劣化供試体の事故時模擬環境下の絶縁性能評価 ・ケーブル供試体の化学スプレー噴霧下絶縁性能の評価 				実機材料の各種特性評価 加速劣化手法の保守性評価
					事故時環境時の電気・計装設備の絶縁性能評価
					▽学会発表 ▽論文投稿

4. 研究計画(行程表 3/3)

	R2	R3	R4	R5	R6
(3)炉内構造物の健全性評価に係る研究					
a. 靱性低下に係る研究	詳細計画を検討 →	実機材料の試験方法検討 →	試験装置の整備 →	実機材料の移送方法の調査 →	・実機材料の研究施設への移送 ・試験準備 →
b. 予防保全対策技術の保守性に係る研究	<ul style="list-style-type: none"> ・評価方法確立のための非照射材料試験の詳細計画検討 ・実機材料の調査/試験詳細計画検討 →	<ul style="list-style-type: none"> ・非照射材料試験の試験体作製 ・実機材料試験準備 →	<ul style="list-style-type: none"> ・非照射材料試験 ・実機材料採取方法検討 ・実機材料試験準備 →	▽学会発表	▽論文投稿
				実機材料の移送計画策定 →	・実機材料移送 ・試験準備 →
(4) ステンレス鋼製機器の健全性評価に係る研究		<ul style="list-style-type: none"> ・詳細試験計画策定 ・実機材料の調査 →	<ul style="list-style-type: none"> ・実機材料の試験方法及び移送方法調査及び検討 →	実機材料移送 →	<ul style="list-style-type: none"> ・試験片作製 ・試験の準備 →