



材料劣化・高経年化対策技術に関する研究

平成22年1月27日

第7回安全研究審議会

日本原子力研究開発機構

安全研究センター

(説明者: 鬼沢邦雄)

重点安全研究計画の課題

- き裂進展評価法やき裂のサイジング技術等に関する最新の知見の整備、経年変化現象の解明とその予測評価手法の整備、き裂や劣化の検出・測定法の開発整備、構造信頼性評価手法の整備等が重要。

原子力機構に期待する安全研究 (H17.6)

- 材料劣化現象の解明と評価手法の開発
 - 放射線場における材料劣化の機構論的な評価手法の高度化
 - 圧力バウンダリ配管等の高経年化を考慮した地震時信頼性評価手法の高精度化
 - 確率論的破壊力学(PFM)解析に基づく構造信頼性評価手法の確立
 - 監視試験片による原子炉圧力容器の破壊靱性評価手法の高精度化
- 上記成果を基にした高経年化に対する安全規制手法の提案(定期安全レビュー、リスク評価等)

安全研究年次計画総合評価での指摘事項

- (原子力安全委員会 原子力安全研究専門部会資料 H19.3)
- 照射誘起応力腐食割れ(IASCC)の発生メカニズム解明に関する研究の更なる進展に期待

現行中期計画(平成17年度～21年度)

【研究目的】

- 経年機器の構造信頼性評価のため確率論的破壊力学解析手法を整備するとともに、放射線による材料劣化挙動についての照射試験を通して機構論的な経年変化の予測手法及び検出手法の整備や、照射誘起応力腐食割れ(IASCC)に関する照射後試験データの取得を行い、高経年化機器の健全性確認に資する。

【研究内容】

- (イ) 確率論的破壊力学解析手法に関する研究
- (ロ) 経年変化の予測手法及び検出手法に関する研究
- (ハ) 照射誘起応力腐食割れに関する研究
- (ニ) 3次元仮想振動台の開発・適用研究

- ✓ 上記研究には原子力安全・保安院及び(独)原子力安全基盤機構からの受託事業を含む。

【原子力の重点安全研究計画(第2期)における課題】

- 材料劣化現象の把握とトラブル原因の解明、長期予測と対応技術の開発・実証、形状が複雑な箇所等の健全性評価技術、経年劣化を考慮した確率論的破壊力学解析手法等に基づく構造信頼性評価手法及び長期保全評価手法に関する技術基盤の整備等が必要である。
- 原子力施設の材料劣化等の経年変化及び健全性評価に関して、原子力機構には以下のような研究の実施が期待されている。
 - ✓ JMTR等を用いた放射線、高温水に起因する原子炉材料の経年劣化に対する予測評価法の高度化の研究
 - ✓ 確率論的破壊力学(PFM)解析手法を導入した検査や保全手法に関わる構造信頼性評価手法に関する研究
 - ✓ 設備の健全性評価や材料劣化に関わるシミュレーション技術に関する研究
(再処理施設機器材料の高経年化評価手法の研究・・・核燃料サイクル施設の安全研究において対応)

【次期中期計画(案)】

- 原子炉機器における放射線や水環境下での材料劣化に関して実験データを取得し予測精度の向上を図るとともに、高経年化に対応した確率論的手法等による構造健全性高度評価手法及び保全技術の有効性評価手法を整備する。

【平成17～20年度の主な成果】(受託事業の成果を含む)

- 原子炉圧力容器及び配管に対する経年劣化やき裂進展評価等の確率論的評価手法を整備し、PFM解析コードに反映。国際ラウンドロビンによる妥当性の確認。
→日本原子力学会賞(平成18年度技術賞・特賞、平成19年度技術賞)
- 原子炉圧力容器(RPV)鋼の中性子照射脆化に関して、国際協力を通して破壊靱性マスターカーブ法整備に貢献するとともに、粒界脆化の発生可能性や評価法に関する知見を取得。
- RPV鋼溶接熱影響部の照射脆化挙動評価に必要な破壊靱性等のデータを取得。
- ケーブル劣化に関するメカニズム及び非破壊診断手法に関する知見を取得。
- 照射誘起応力腐食割れ(IASCC)に関して、JMTR照射材の照射後き裂進展試験データを取得し、IASCC評価ガイド策定に貢献。
- 3次元仮想振動台の解析結果を実振動データと比較し、応答解析精度を検証することにより、実プラントデータによる地震応答解析技術を実証。

【成果活用に向けた進行中の取り組み】

- RPV鋼の破壊靱性評価手法としての破壊靱性マスターカーブ法試験法に関して、日本電気協会技術規程(JEAC)の策定または改定に対して、データ等を技術的根拠として提供予定
- PFM解析コードの検証を踏まえ、供用期間中検査・保全技術や、高経年化技術評価審査マニュアル等への確率論的評価法導入のための技術基盤として提供予定

【国内外の動向及び研究ニーズ】

- ✓ 国内における初期軽水型原子力発電所の供用年数は40年を経過し、発電所の3割強がすでに30年以上運転している状況であり、これらの発電所に対する高経年化技術評価が実施されている。
- ✓ IAEAやOECD/NEAでも経年劣化管理に関する取り組みが進捗。米国では60年を超えて80年運転対応の検討を開始。
- ✓ 高経年化対策に関して、産学官・学協会の連携による高経年化対応技術戦略マップが策定され毎年見直しが行われるとともに、国は高経年化対策の充実も考慮して、2009年から保全プログラムに基づく新検査制度を導入している。
- ✓ 今後も30年、40年を超えた供用となる発電所が増加し、50年目の技術評価への対応が必要なことから、よりの確な安全規制を実施するに当たっては、原子力施設の材料劣化に関する知見や、高経年化対策技術の一層の高度化が必要である。

●高経年化対応シナリオ <高経年化対応技術戦略マップ2009から>

- ✓ 今後の研究のポイントとして、長期間運転したプラントの照射材、熱時効材、ケーブル、コンクリート等の実機材を用いた安全基盤研究の推進等が挙げられている。

	現行中期計画期間					次期中期計画期間					2015~
	H17	H18	H19	H20	H21	H22	H23	H24	H25	H26	H27~
供用年数 対応方針	初期発電所が供用40年を迎える ↑ 基盤の整備(制度面、技術面)					初期発電所が40年を超えて50年を迎える ↑ 運用による高度化(知見の反映、運用による検証)					
主な技術戦略	高経年化対応研究、保全最適化の推進 規格基準、ガイドライン類の整備					実機供用材利用研究、加速試験妥当性検証 リスク情報活用による保全高度化、基準類整備					➡

- 方針：JMTR等の施設基盤を活用し、機構論的観点から放射線、水環境等の原子力特有の環境に起因する材料劣化に関する研究や、高経年化対策をより合理的に評価するために必要な健全性評価・材料劣化の高度なシミュレーション技術の整備及び確率論的評価手法の導入に向けた研究に取り組む。また、実機供用材として「ふげん」の機器材料を用いた研究にも取り組む。

【研究の方針】

●長期供用に対応した材料劣化予測評価の高度化

⇒データ等に基づく知見の高経年化技術評価審査マニュアル等への反映

- ◆放射線に起因する原子炉材料の経年劣化に対する予測評価法に関して、JMTR等を活用し、長期供用時の実機条件下における劣化機構に着目し、新たな分析評価技術や試験技術を適用し、劣化予測評価法の精度向上を図る。

- ✓原子炉圧力容器鋼の中性子照射脆化について、JMTR等を活用し、これまで十分に取組まれていない溶接熱影響部等の非均質性や超高照射量域の脆化機構に着目し、ナノ微細組織から破壊靱性における寸法効果までマルチスケールでの試験・シミュレーションにより、脆化予測精度向上に資するデータを取得する。
- ✓炉内構造材の照射環境下での応力腐食割れについて、JMTRに整備を進めている照射下試験設備等を活用して、材料、放射線及び水環境の相互作用に着目したデータを取得する。
- ✓ケーブル絶縁劣化等の高経年化対策上重要な原子炉材料の劣化評価法や、制御棒用ハフニウムの照射成長等の予測精度向上に必要なデータを取得する。

【研究の方針】(続き)

●構造健全性評価手法の高度化及び保全技術の有効性評価手法の整備

⇒解析・評価手法の規格基準類の高度化への活用

◆現行中期計画で整備している確率論的破壊力学解析ツールの改良を進め、高経年化技術評価に関する判断基準等の高度化に対する科学的・合理的根拠を提示する。

✓破壊力学的な構造健全性解析手法の高度化、構造信頼性評価手法の適用性検証を行い、高経年化対策に関連する規制・基準の策定に必要な知見を提示するなど、構造健全性評価に関わる安全規制の技術基盤の整備を進める。

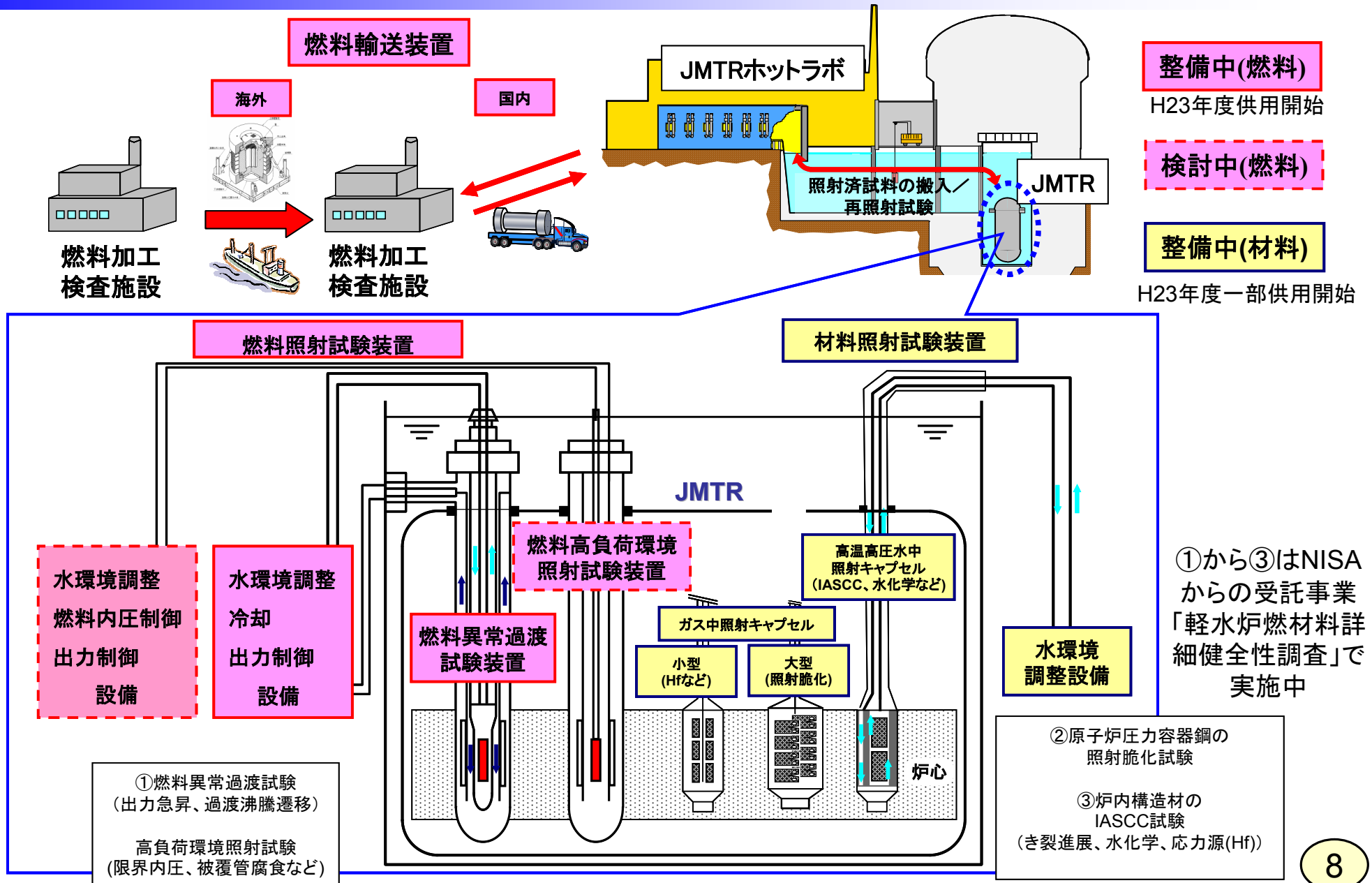
✓「ふげん」において長期間供用された材料等を用いる研究に取り組むことにより、従来の高経年化対策技術の妥当性の検証に資するデータを取得するとともに、長期保全技術の適用性や有効性の評価手法を整備する。

✓3次元仮想振動台の非弾性解析技術等の研究開発を行い、3次元仮想振動台を高機能化し、構造健全性評価手法の高度化に資する。

参考資料 目次

1. JMTRにおいて整備・検討中の照射試験施設
2. 確率論的破壊力学(PFM)解析手法に関する研究成果-1
3. 確率論的破壊力学(PFM)解析手法に関する研究成果-2
4. 放射線場における材料劣化の予測・検出に関する研究成果
5. 「ふげん」を利用した高経年化研究
6. 高経年化対策基盤研究におけるJAEAの活動

JMTRにおいて整備・検討中の照射試験施設

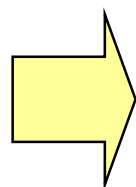


確率論的破壊力学(PFM)解析手法に関する研究成果-1

【主な成果】

● PFM解析コードの整備と活用方策の検討

- 原子炉压力容器(炉心領域部)・・・PASCAL2
- 圧力バウンダリ配管(溶接部)・・・PASCAL-SP
- Ni合金溶接部(容器貫通部)・・・PASCAL-NP
(整備中)

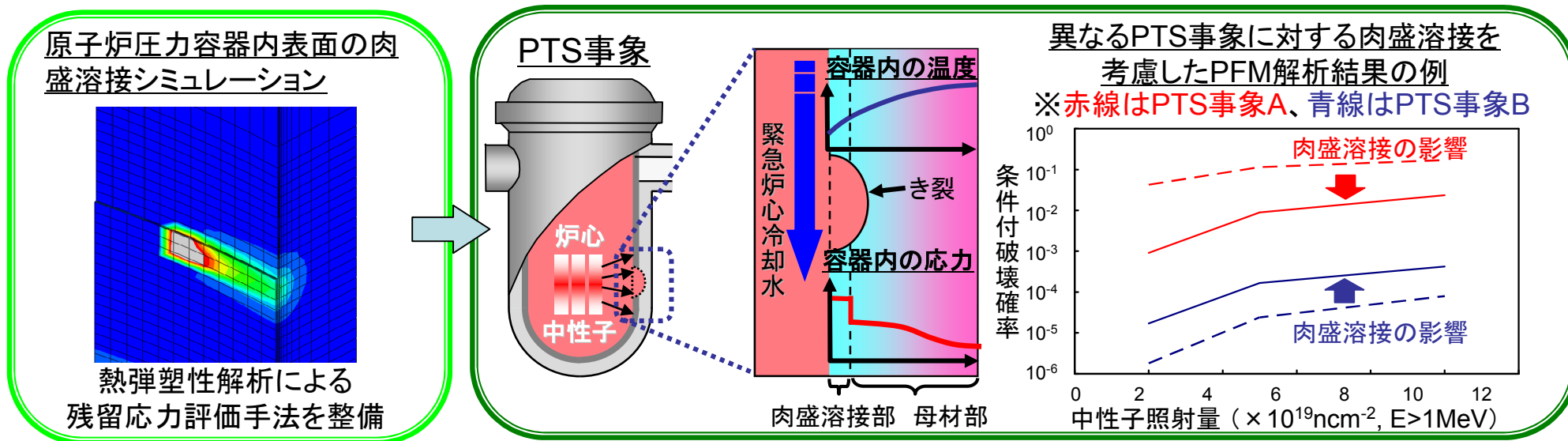


モンテカルロ法に基づくPFM解析コード(PASCALシリーズ)
対象とする事象と評価項目

- ・加圧熱衝撃(PTS)事象時の原子炉容器の破壊確率
- ・IGSCC・疲労による圧力バウンダリ配管溶接部の破損確率
- ・PWSCC/NiSCCによるNi基合金溶接部等の破損確率

● 原子炉容器肉盛溶接部の残留応力解析と構造健全性への影響評価

- 肉盛溶接部(溶接残留応力や非破壊検査への影響)を考慮する必要性を示唆
- PASCAL2の整備と現行規程の安全余裕を定量的に評価予定

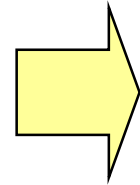


確率論的破壊力学(PFM)解析手法に関する研究成果-2

【主な成果】

● PFM解析コードの整備と活用方策の検討

- 原子炉压力容器(炉心領域部)・・・PASCAL2
- 圧力バウンダリ配管(溶接部)・・・PASCAL-SP
- Ni合金溶接部(容器貫通部)・・・PASCAL-NP
(整備中)



モンテカルロ法に基づくPFM解析コード(PASCALシリーズ)
対象とする事象と評価項目

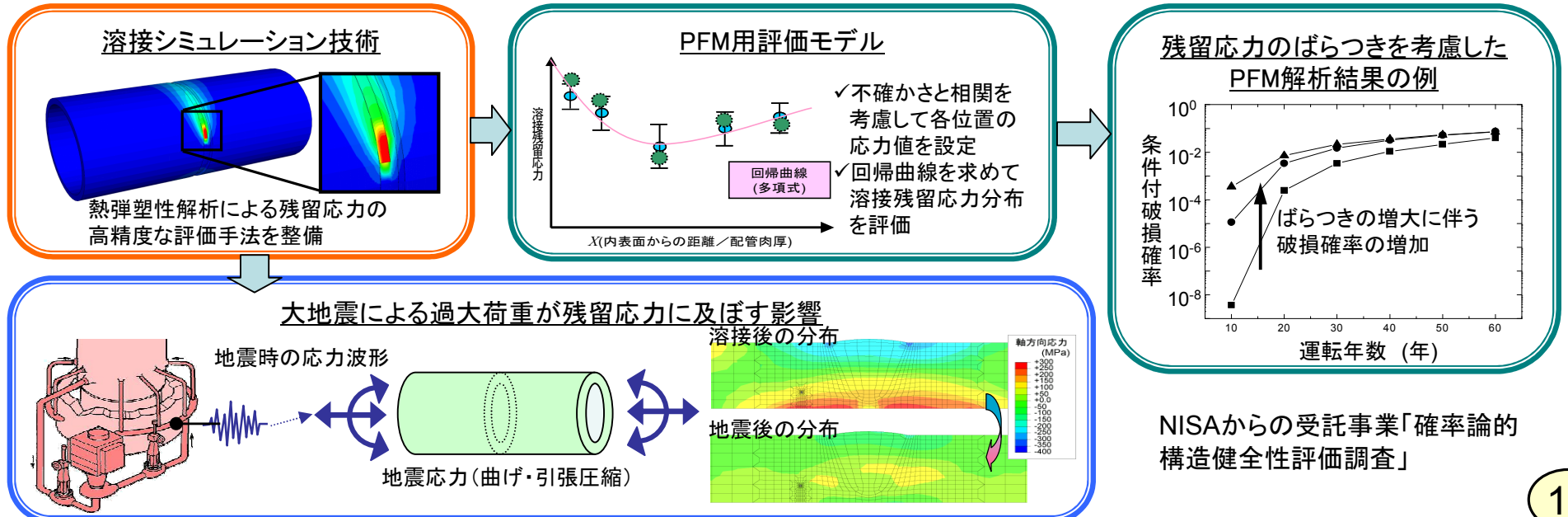
- ・加圧熱衝撃(PTS)事象時の原子炉容器の破壊確率
- ・IGSCC・疲労による圧力バウンダリ配管溶接部の破損確率
- ・PWSCC/NiSCCによるNi基合金溶接部等の破損確率

● 配管溶接部残留応力評価モデル・データベース化

- FEMによる溶接解析手法とPFM解析用残留応力DBを開発整備し、配管破損確率に及ぼす影響を評価

● 過大荷重を受ける配管のき裂進展評価手法

- 溶接残留応力の緩和挙動を評価。き裂進展挙動への影響を確率論的に評価し、耐震裕度の評価に貢献予定



NISAからの受託事業「確率論的構造健全性評価調査」

放射線場における材料劣化の予測・検出に関する研究成果

【主な成果】

● 原子炉圧力容器鋼の中性子照射脆化機構の解明

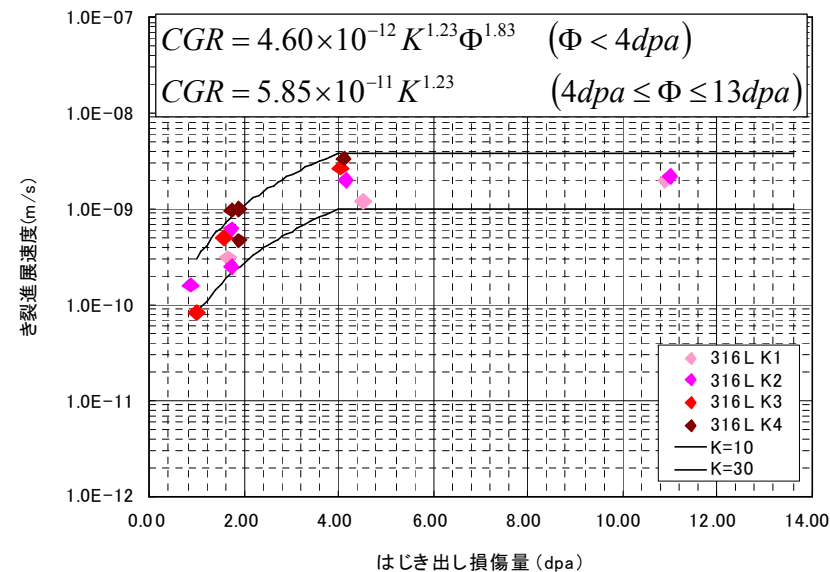
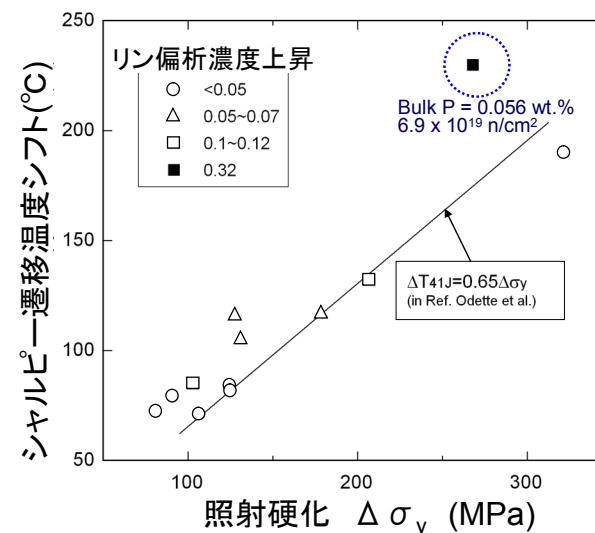
- 高照射量領域における不純物の粒界偏析に関するデータ及び粒界脆化発生可能性に関する知見を取得
- 国内鋼材のリン粒界偏析濃度上昇程度(0.12未満)であれば、粒界脆化は顕著ではなく、照射脆化の予測評価は可能(右上図) (JNES受託「高照射量領域の脆化予測」)

● 破壊靱性評価手法の整備

- 試験片寸法効果や粒界脆化材への適用性等の破壊靱性マスターカーブ法に関するデータ取得し、国内における規格化に向けて技術的根拠を提供

● 原子炉圧力容器鋼溶接熱影響部の照射脆化評価法の整備 (NISA受託「高経年化対策強化基盤整備事業」)

- 溶接熱影響部のミクロ組織や破壊靱性の特徴付け
- 非均質材の破壊力学評価手法を整備
- 照射誘起応力腐食割れに関する研究
 - JMTR照射済み試験片を用いて、BWR条件を模擬した高温水中におけるSCCき裂進展試験を、高溶存酸素濃度(DO)および低DO水質中で実施し、SCCき裂進展速度データを取得。
 - これらのデータに基づき、き裂進展速度式として、K値と中性子照射量の関数式を提案(右下図:IASCC評価ガイド(ドラフト))。 (JNES受託「IASCC評価研究」)



CGR: き裂進展速度(m/s), K: 応力拡大係数($\text{MPa}\sqrt{\text{m}}$)
 Φ : 中性子照射量(n/m^2)

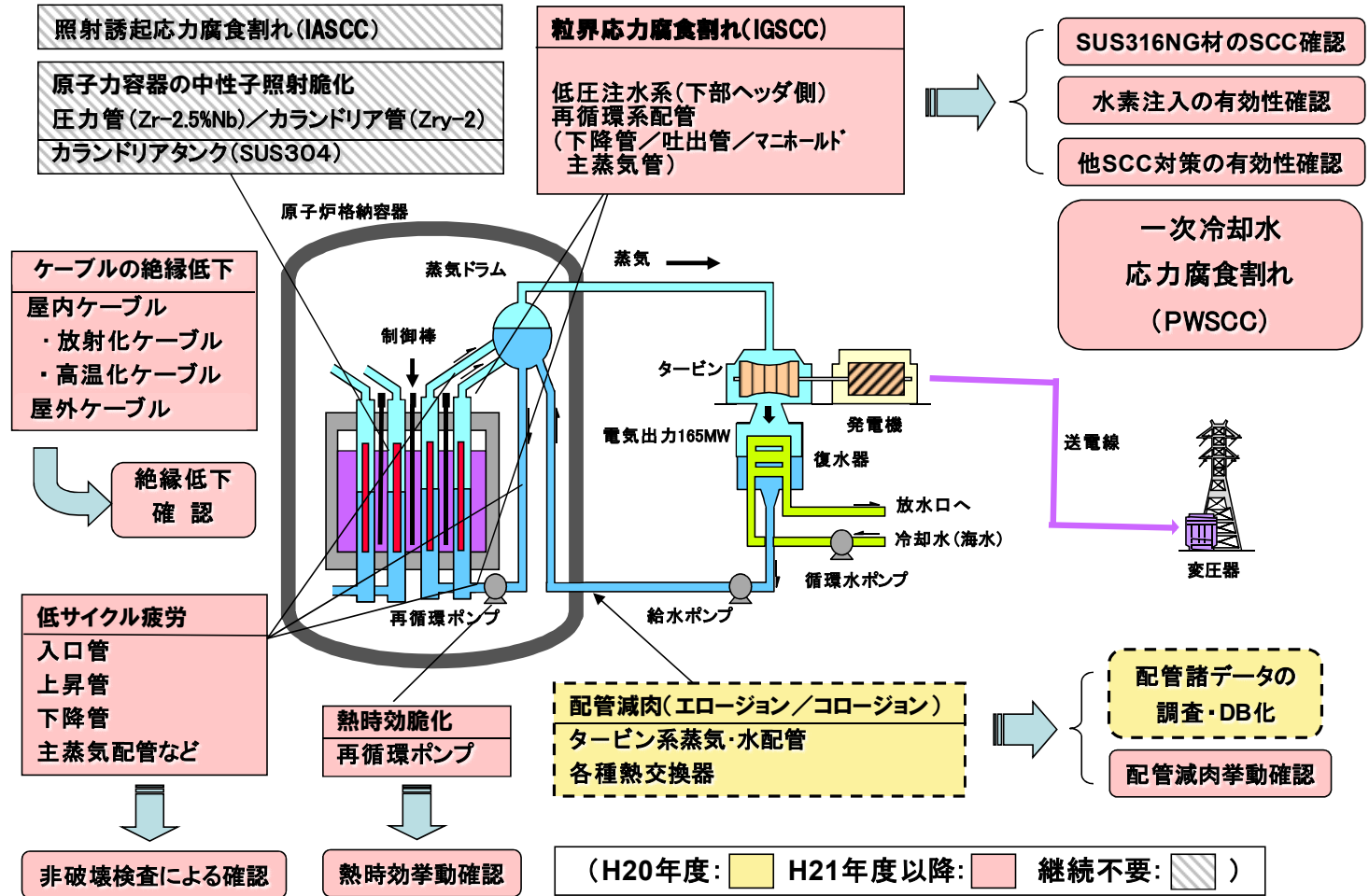
「ふげん」を利用した高経年化研究

【目的】

現在、廃止措置工事が進捗中である「ふげん発電所」の実機材料等を用いて、原子力発電所の高経年化対策の充実を目的とする調査研究を、長期運転プラントや研究機関等が集積する福井県下で実施する。

- 高経年化対策技術の妥当性の検証
- 長期保全技術の適用性や有効性の評価手法の整備

ふげん実機材で確認できる試験項目



高経年化対策基盤研究におけるJAEAの活動

