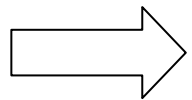


2. 運転経験を通じた ナトリウム取扱技術の確立

2) プラント保全技術の確立

2. 2) プラント保全技術の確立

- 「もんじゅ」の原子炉容器、一次主冷却系配管、SG(蒸気発生器)伝熱管の供用期間中検査(ISI)技術について、第1回定期検査までに整備を終了した上で、保全プログラムに従い「もんじゅ」に適用し、高温・高放射線環境などを特徴とする高速炉機器のISI技術を実証する。
- 安全確保の充実とより合理的な保全活動達成の確立の観点から、高速増殖炉機器の検査・モニタリング技術、劣化診断技術および補修技術、評価技術の開発を行い、「もんじゅ」を用いて有効性を検証する。



水系を持っている「もんじゅ」の運転で取得できる保全技術を通して、実証炉以降の保全技術基盤を構築する。

2. 2) プラント保全技術の確立

「もんじゅ」用供用期間中検査 (ISI) 技術開発

目 的

原子炉施設の安全上重要な機器に対して計画的に試験あるいは監視を行うことにより、供用期間を通じて原子炉施設の安全性を確保する。

Na冷却型高速炉の特徴

使用条件

- ・冷却材: Na (沸点高い)
- ・内 圧: 低圧
- ・材 料: 延性に優れた
オーステナイト系ステンレス鋼

破損形態:
漏えい先行型

ISIの方法

I . 連続漏えい監視

- (1) Na漏えい監視
- (2) 放射性カバーガスモニタ

II . 肉眼試験

III . 体積試験

IV . 材料監視

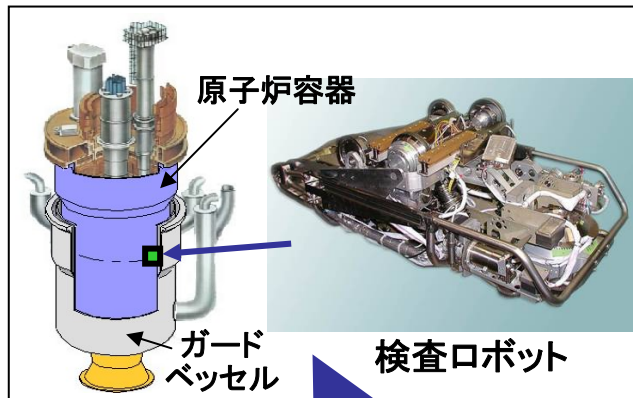
2. 2) プラント保全技術の確立

機器	対象部分	試験等の方法
原子炉容器	ガードベッセルに囲まれた部分	肉眼、Na漏えい監視、材料監視
	ガードベッセル外	Na漏えい監視、放射性ガースモニタ
しゃへいプラグ	原子炉カバーガス等のバウンダリ	放射性ガースモニタ
1次主冷却系循環ポンプ	外ケーシング	肉眼、Na漏えい監視、放射性ガースモニタ
1次主冷却系中間熱交換器	胴体	肉眼、Na漏えい監視
	伝熱管	漏えい監視
1次主冷却系配管	配管	肉眼、Na漏えい監視、体積
1次主冷却系逆止弁	弁箱	Na漏えい監視
炉心支持構造物	炉心支持板、炉心槽	材料監視
ガードベッセル	胴体	肉眼、（材料監視）
1次補助Na系配管	配管	Na漏えい監視
2次主冷却系循環ポンプ	外ケーシング	肉眼、Na漏えい監視
蒸気発生器	胴体	肉眼、Na漏えい監視
	伝熱管	体積
2次主冷却系配管	配管	肉眼、Na漏えい監視、体積
補助冷却設備 空気冷却器	伝熱管	Na漏えい監視
炉外燃料貯蔵設備	Naバウンダリ	Na漏えい監視

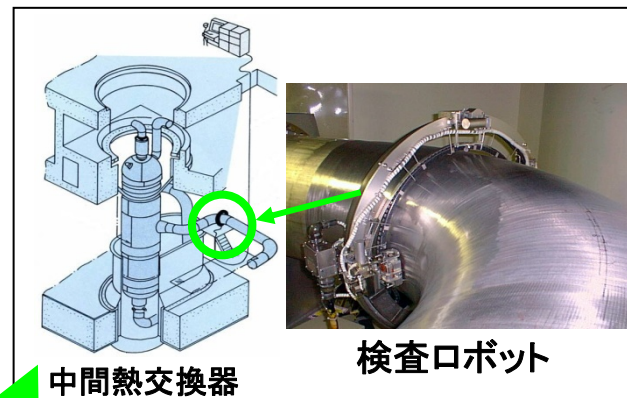
もんじゅ用ISI装置を継続して開発

2. 2) プラント保全技術の確立

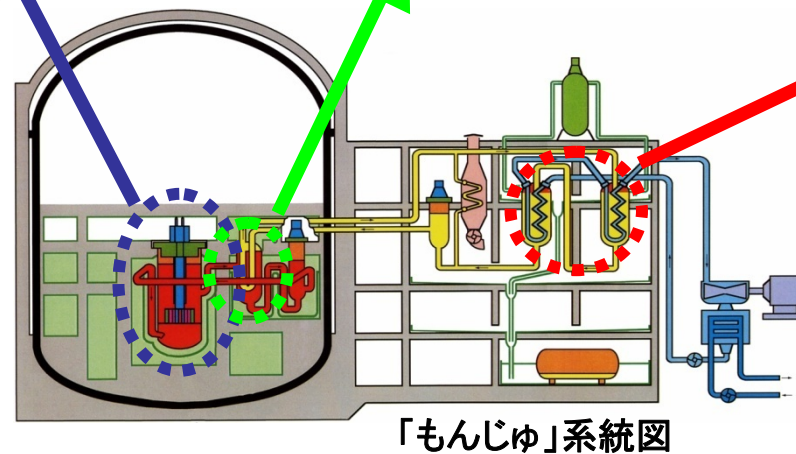
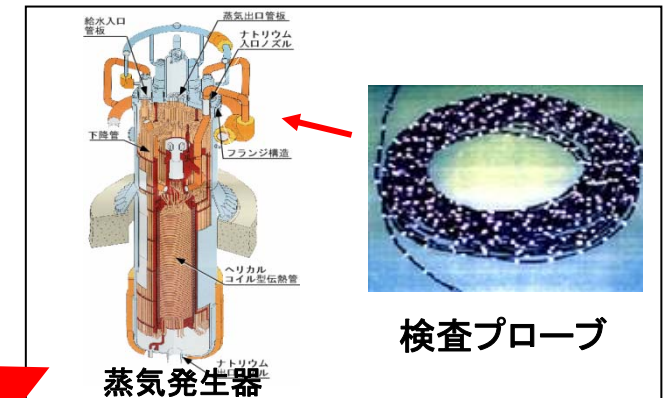
① 原子炉容器廻り検査装置



② 1次主冷却系配管検査装置



③ 蒸気発生器伝熱管検査装置



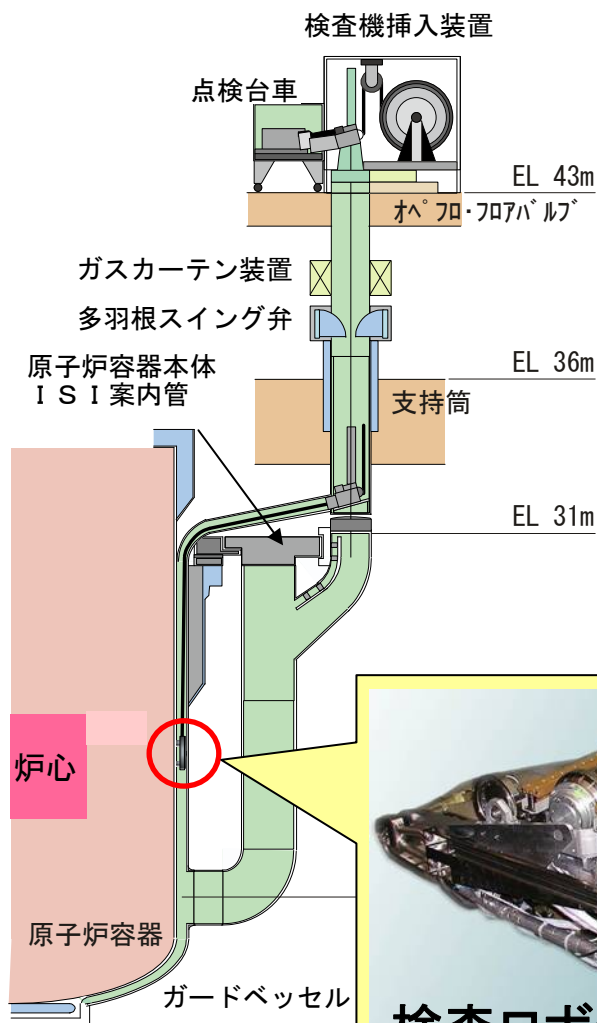
開発経緯

- ・要素技術開発: 昭和47年頃～
- ・システム開発: 昭和62年頃～
- ・総合機能試験(SKS)
/ 供用前検査(PSI): 平成3・4年
- ・開発/整備: 平成13年～

2. 2) プラント保全技術の確立

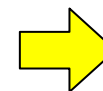
① 原子炉容器廻り検査装置

原子炉容器・ガードベッセルの健全性確認
⇒ 溶接部の肉眼検査、クリアランス測定



開発の条件(軽水炉との違い)

- ・高温雰囲気(約200℃)
- ・高放射線環境(最大10Sv/hr)
- ・禁水区域(冷却水等使用不可) など



耐熱・耐放射線性部品
(モーター、タイヤ、センサー等)
N₂ガス冷却システム

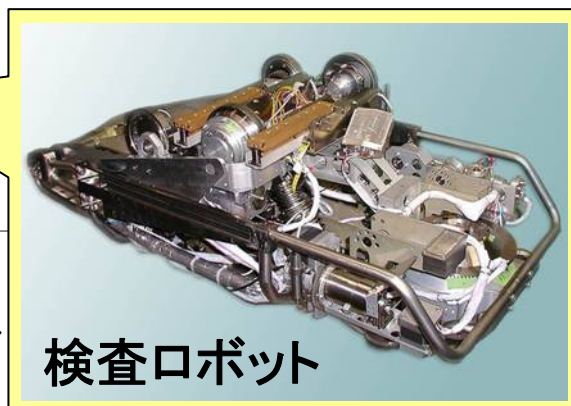
2015年までの計画

検査システムとしての性能実証

- ・耐熱・耐放射線性部品の耐久性、信頼性実証
- ・N₂ガス冷却システムの性能実証
- ・SKS/PSI時の課題克服(狭隘部や段差の走破性など)

2015年以降の計画

- ・検査性能向上: 肉眼検査性能(解像度)の向上
体積検査機能の実用化
- ・信頼性向上: システム多重化(バックアップ機能)
操作支援機能(ソフト)の充実
- ・検査期間短縮: 検査準備を含む手順・システムの合理化



検査ロボット

2. 2) プラント保全技術の確立

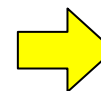
② 1次主冷却系配管検査装置

1次主冷却系配管の健全性確認

⇒ 代表箇所(ホットレグエルボ)の超音波探傷

開発の条件(軽水炉との違い)

- ・エルボ部の走行/検査
- ・高放射線環境(作業時間5分以内)
- ・禁水区域(水:カプラント使用不可) など



ロボット位置・姿勢制御技術
軽量化・着脱の容易さ
ハンカプラント タイヤ型探触子

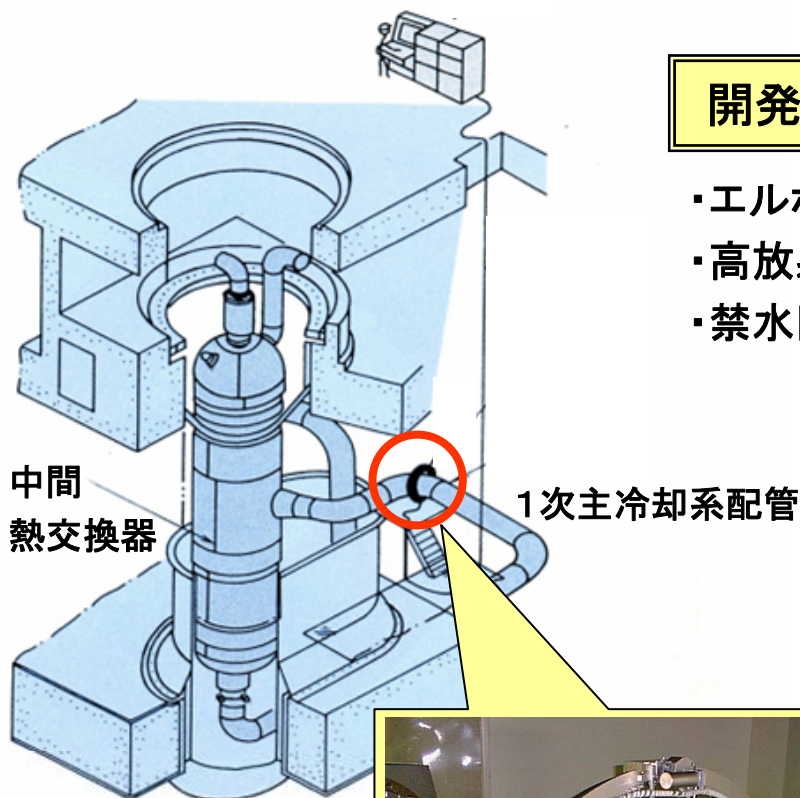
2015年までの計画

検査システムとしての性能実証

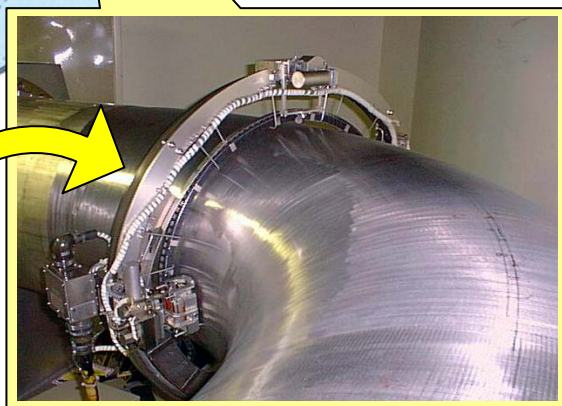
- ・欠陥検出性(割れ、減肉)
- ・ロボットの取り扱い性(着脱時間)
- ・SKS/PSI時の課題克服(制御精度、板厚測定など)

2015年以降の計画

- ・検査性能向上: 欠陥定量(深さ)評価技術
- ・取扱性向上: 検査ロボットの軽量化(新素材等)
- ・検査期間短縮: ロボット制御技術の高度化 など



検査ロボット



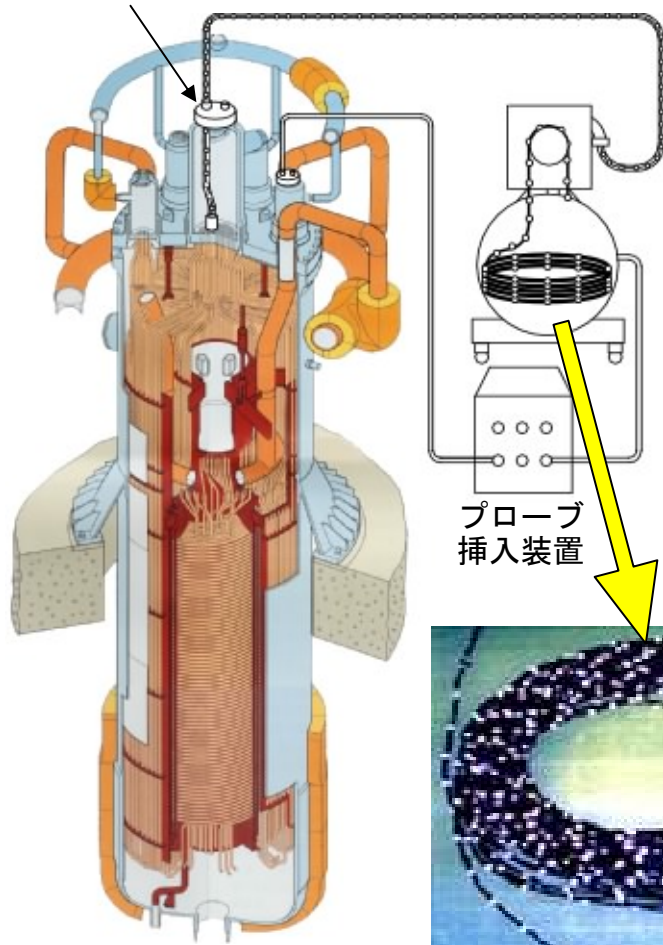
2. 2) プラント保全技術の確立

③ 蒸気発生器伝熱管検査装置

蒸気発生器伝熱管の健全性確認

⇒ 伝熱管全数・全長の渦電流探傷(ECT)

管板位置決め装置



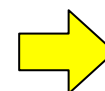
プローブ
挿入装置



検査プローブ
(渦電流探傷用)

開発の条件(軽水炉との違い)

- ・強磁性体材料(蒸発器)
- ・長尺(約90m)、厚肉(3.5mm以上)
- ・複雑形状(曲り部、溶接部)



RF(リモートフィールド)ECT技術
ガス圧送式プローブ挿入技術

2015年までの計画

検査システムとしての性能実証

- ・欠陥検出性
- ・検査プローブの挿入性
- ・SKS/PSI時の課題克服(ノイズ低減、管板位置決めなど)

2015年以降の計画

- ・検査性能向上: 微小欠陥の検出性向上(マルチコイル型)
欠陥定量(深さ)評価技術
- ・検査期間短縮: 複数本同時探傷
プローブ挿入速度の向上 など

「もんじゅ」
蒸気発生器

2. 2) プラント保全技術の確立

高温環境下でのモニタリング技術開発

耐熱FBGによる高温機器健全性モニタリング技術の開発

研究概要

新しい保全法である予知・予防保全を実現するために、
耐熱FBGと耐熱FBGを利用した高温機器健全性モニタ
リングシステムの開発を行っている

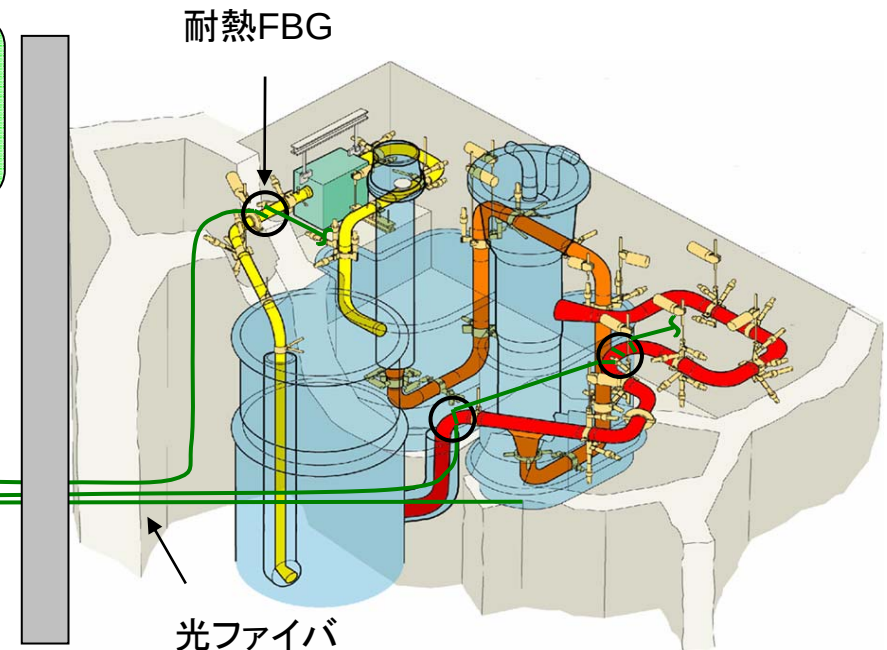
ひずみ、温度、振動などの
物理量を耐熱FBGで計測

↓
耐熱FBGの反射波長を解析

↓
予知保全・予防保全の実施



反射波長
解析装置

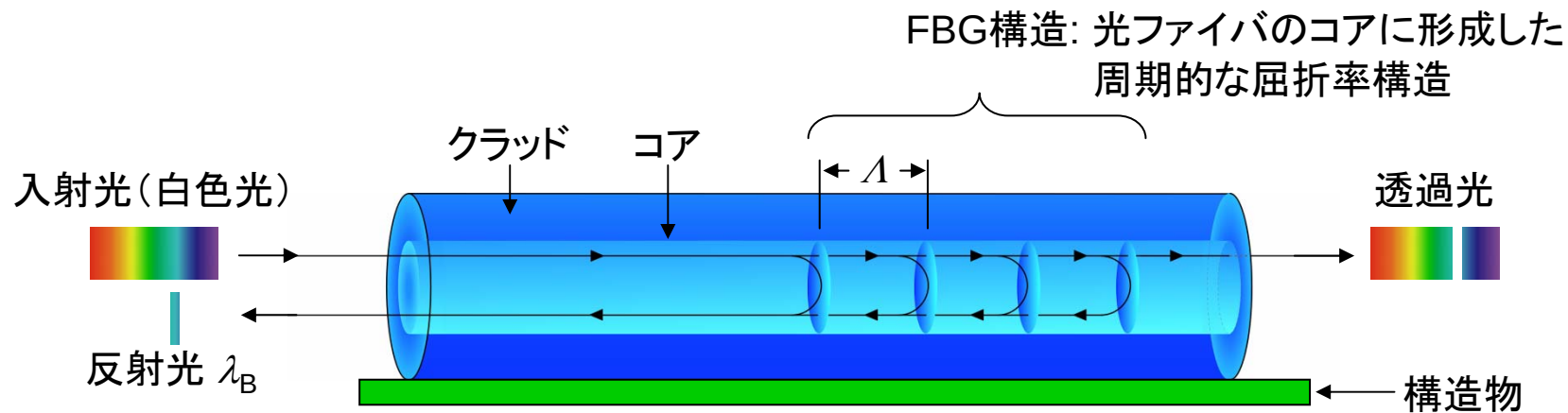


2. 2) プラント保全技術の確立

高温環境下でのモニタリング技術開発

耐熱FBGによる高温機器健全性モニタリング技術の開発

FBG (Fiber Bragg Grating) と計測原理



入射光のうち周期 Λ とマッチングする波長 λ_B を持つ光だけが反射する

$$\lambda_B = 2 n_{\text{eff}} \Lambda \quad n_{\text{eff}} : \text{コアの実効屈折率}$$

構造物の変形

光ファイバの伸縮

周期 Λ の変化

反射波長 λ_B の変化

λ_B の変化量 $\propto$ 構造物の変形量

2. 2) プラント保全技術の確立

高温環境下でのモニタリング技術開発

耐熱FBGによる高温機器健全性モニタリング技術の開発

技術課題

- × 従来型FBGの周期的屈折率構造は熱で消失 → 高温環境に適用不可能
- × 550℃にもなる高速炉のモニタリングシステムは実現されていない

研究目的・目標

- フェムト秒レーザの非熱的な作用を利用した耐熱FBG製作技術の確立
- 耐熱FBGによる高温機器健全性モニタリングシステムの開発

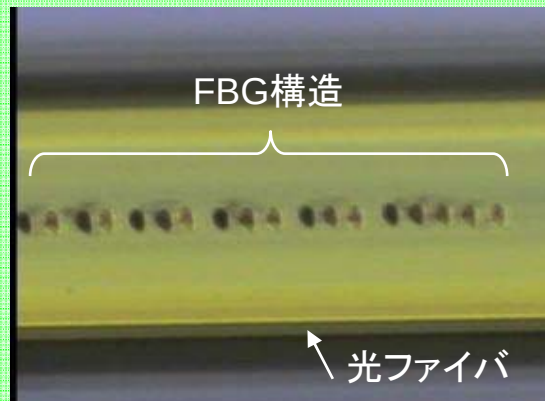
2. 2) プラント保全技術の確立

高温環境下でのモニタリング技術開発

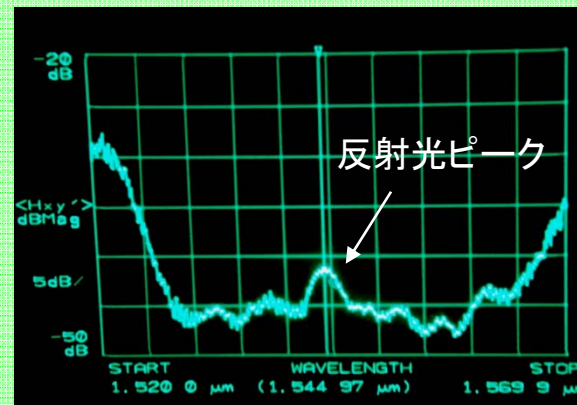
耐熱FBGによる高温機器健全性モニタリング技術の開発

実施状況

- 耐熱FBGの製作と反射スペクトル及び耐熱性能の評価
- 従来型FBGの4点曲げ法によるひずみ計測実験(比較用データの収集)



耐熱FBGの位相差顕微鏡写真



耐熱FBGの反射スペクトル
縦軸: 光強度、横軸: 波長



ひずみ計測実験装置

2. 2) プラント保全技術の確立

機器損傷挙動評価手法の開発

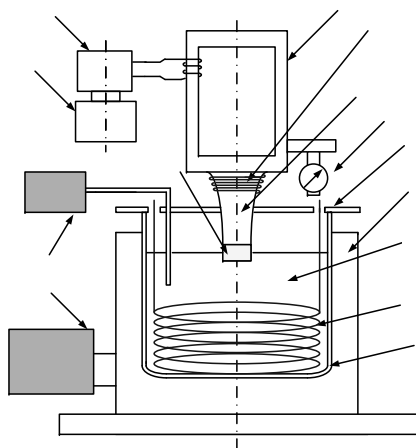
液体金属中キャビテーション壊食に関する研究

目的: 液体金属中キャビテーションによる減肉量評価

目標: Na中エロージョン検討に資する

技術課題と現状: 液体金属流のキャビテーション壊食は、極めて特殊なケースであるためほとんど研究が行われていない。液体金属流れ系におけるキャビテーションによる減肉量評価手法の開発中。

磁わい振動壊食試験装置



噴流型壊食試験装置



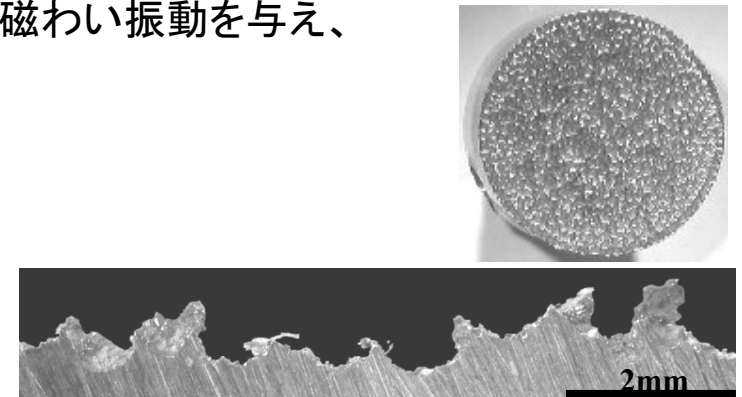
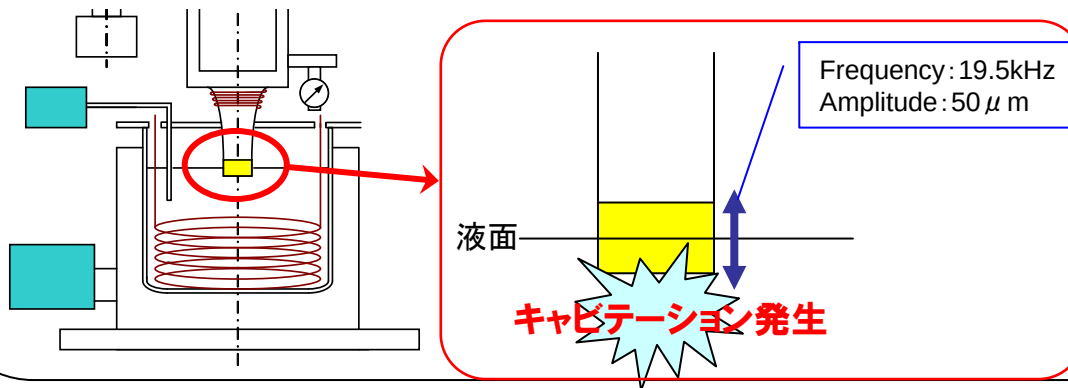
2. 2) プラント保全技術の確立

機器損傷挙動評価手法の開発

液体金属中キャビテーション壊食に関する研究(補足説明1)

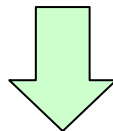
磁わい振動壊食試験装置

試験装置に取り付けた試験片に周波数19.5kHz、振幅50 μm の磁わい振動を与え、液中でキャビテーションを発生させる装置。(ASTMG32-03)

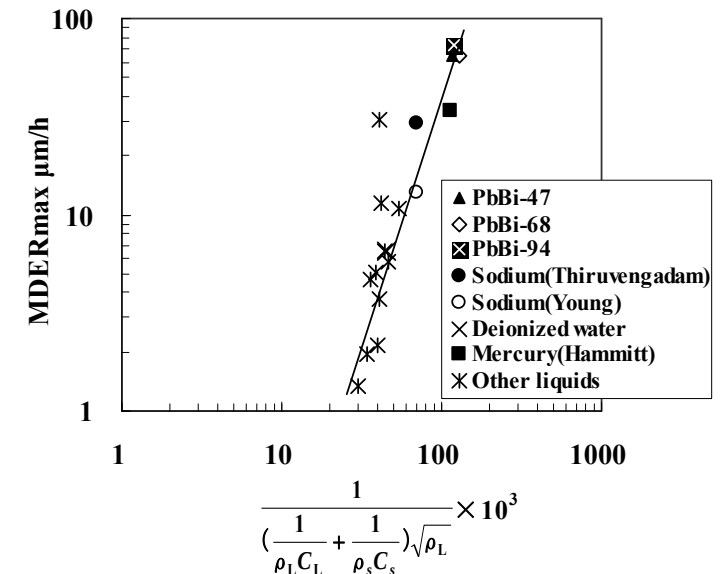


磁わい振動装置による壊食試験結果 (PbBi-68、100°C、8h)

磁わい振動壊食試験を水、各種Pb-Bi合金を用いて実施。
(Na, Hg, その他のデータについては文献より引用)



液体の相対温度が同じであれば、**平均壊食深さ速度のピーク値 (MDERmax)**は、液体及び固体の物性値(密度、音速)により定義される**関係式により整理可能**。



物性値とMDERmaxの関係

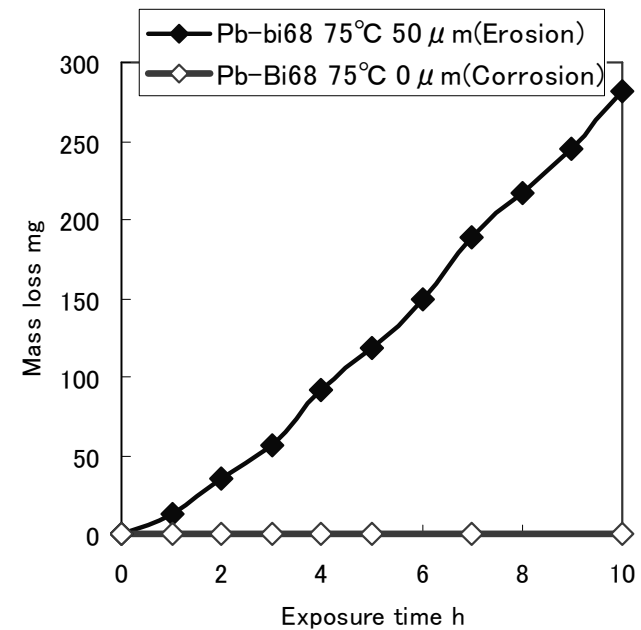
2. 2) プラント保全技術の確立

機器損傷挙動評価手法の開発

液体金属中キャビテーション壊食に関する研究(補足説明2)

Pb-Bi中におけるキャビテーション壊食(erosion)と腐食(corrosion)の違い

本研究では液体金属にPb-Biを使用している。
Pb-Biはステンレス鋼を腐食させることから腐食による
試験片の質量減少量を測定。
10時間の腐食試験では質量の減少は見られなかった。
(右図)



2. 2) プラント保全技術の確立

機器経年特性評価手法の開発

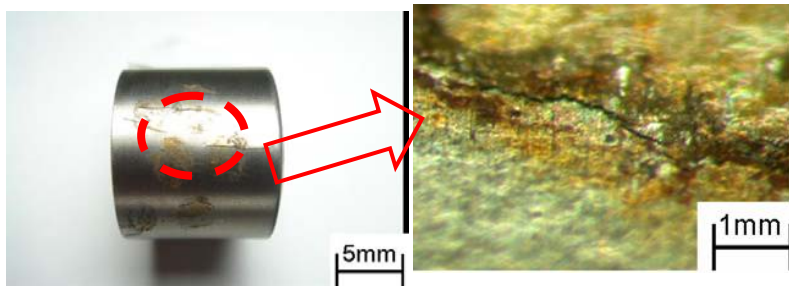
海塩による外面応力腐食割れ(ESCC)損傷機構の解明とキャビテーションによる材料強化に関する研究

目的: 海塩ESCC損傷機構解明と防止技術の開発

目標: 合理的な管理方法の確立

技術課題と現状: 付着塩分量の管理目標値は経験に基づく値であり、海塩ESCCの検討はほとんど行われていない。海塩ESCC損傷機構の解明と材料強化による損傷防止技術を研究。

応力腐食割れ試験



キャビテーションを付加した洗浄ノズル



◆キャビテーションの圧力による海塩粒子除去率の向上

◆キャビテーションにより圧縮残留応力を付加し、SCCの発生を防止

2. 2) プラント保全技術の確立

機器経年特性評価手法の開発

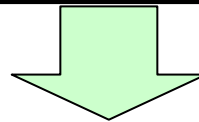
海塩による外面応力腐食割れ(ESCC)損傷機構の解明とキャビテーションによる材料強化に関する研究

現状と課題

- ・ 付着塩分量の管理目標値は経験に基づく値。
- ・ 海塩ESCCの検討は湿度について検討されているが、その他の因子(海塩濃度、材料の鋭敏化度、応力等)についてはほとんど検討されていない。
- ・ 現在においても、ESCCによるトラブルが起きている。

近年の事例: H20.3 伊方2号機、H19.4 美浜1号機、H16.7 大飯1号機、H16.1 美浜1号機 他

(原子力施設情報公開ライブラリー「NUCIA」より)



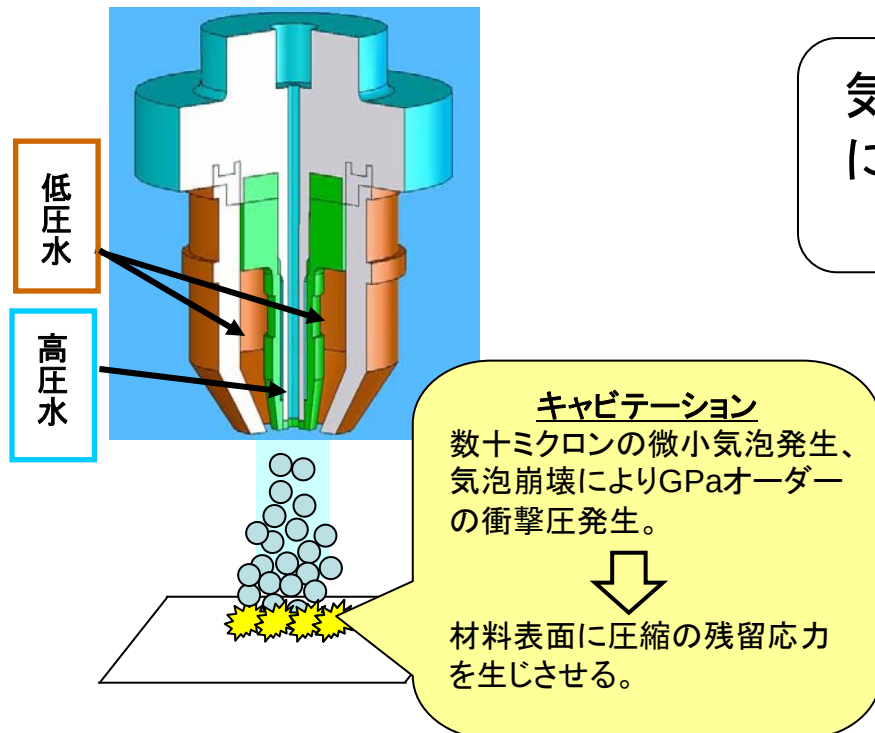
研究の目的

- ・ 付着塩化物濃度、鋭敏化度、応力状態、時間をパラメータとして、応力腐食割れ試験を実施し、各種パラメータの影響を定量的に評価。現在の管理目標値に合理的根拠を与える。
- ・ キャビテーションを用いた効果的な洗浄、耐SCC性の向上方法の提案。

2. 2) プラント保全技術の確立

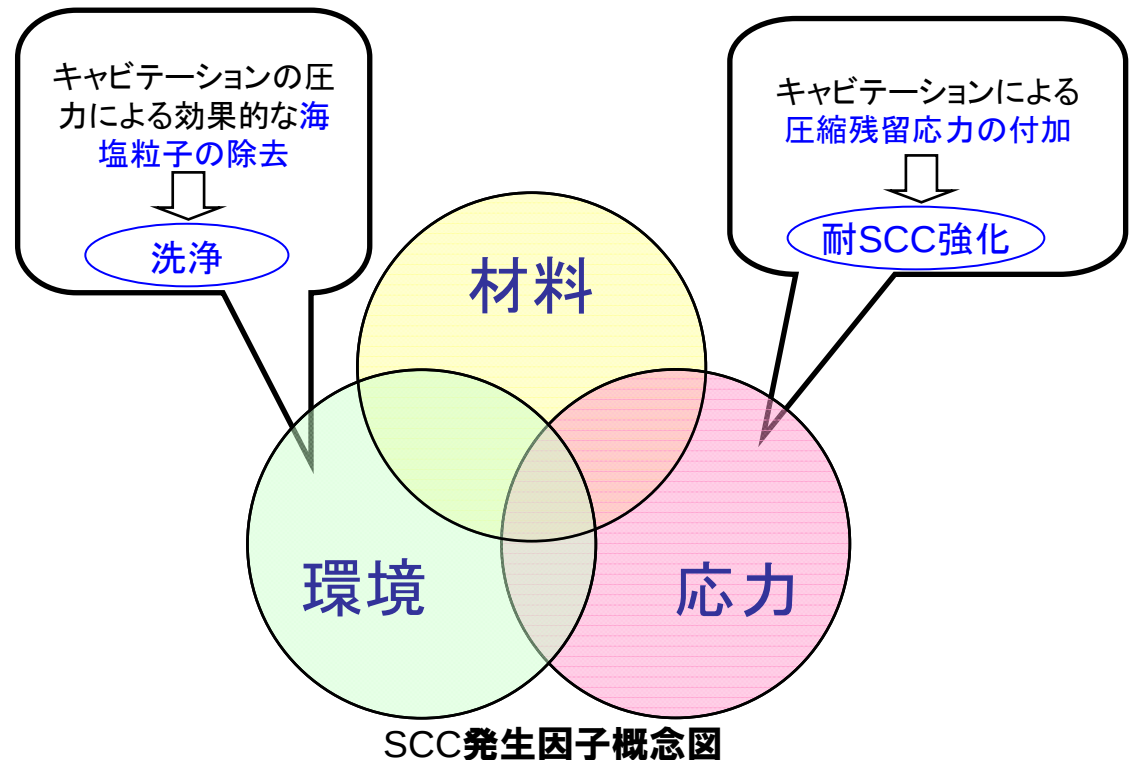
機器経年特性評価手法の開発

海塩による外面応力腐食割れ (ESCC) 損傷機構の解明とキャビテーションによる材料強化に関する研究



気中キャビテーション発生ノズル
による材料強化概念

気中でキャビテーションを発生させて洗浄を行うことにより、付着塩化物を除去し、更に母材に圧縮残留応力を付加することによりSCCの発生を防止。



2. 2) プラント保全技術の確立

保全関係技術の調査・分析、有望保全技術の開発

