資料１－３
科学技術・学術審議会 研究計画・評価分科会
原子力科学技術委員会もんじゅ研究計画作業部会（第４回）
Ｈ２４．１１．３０

「もんじゅ」における
事故・故障等への継続的対応から得られる知見の集積

平成24年11月30日

日本原子力研究開発機構

「もんじゅ」における
事故・故障等への継続的対応から得られる知見の集積(1/2)

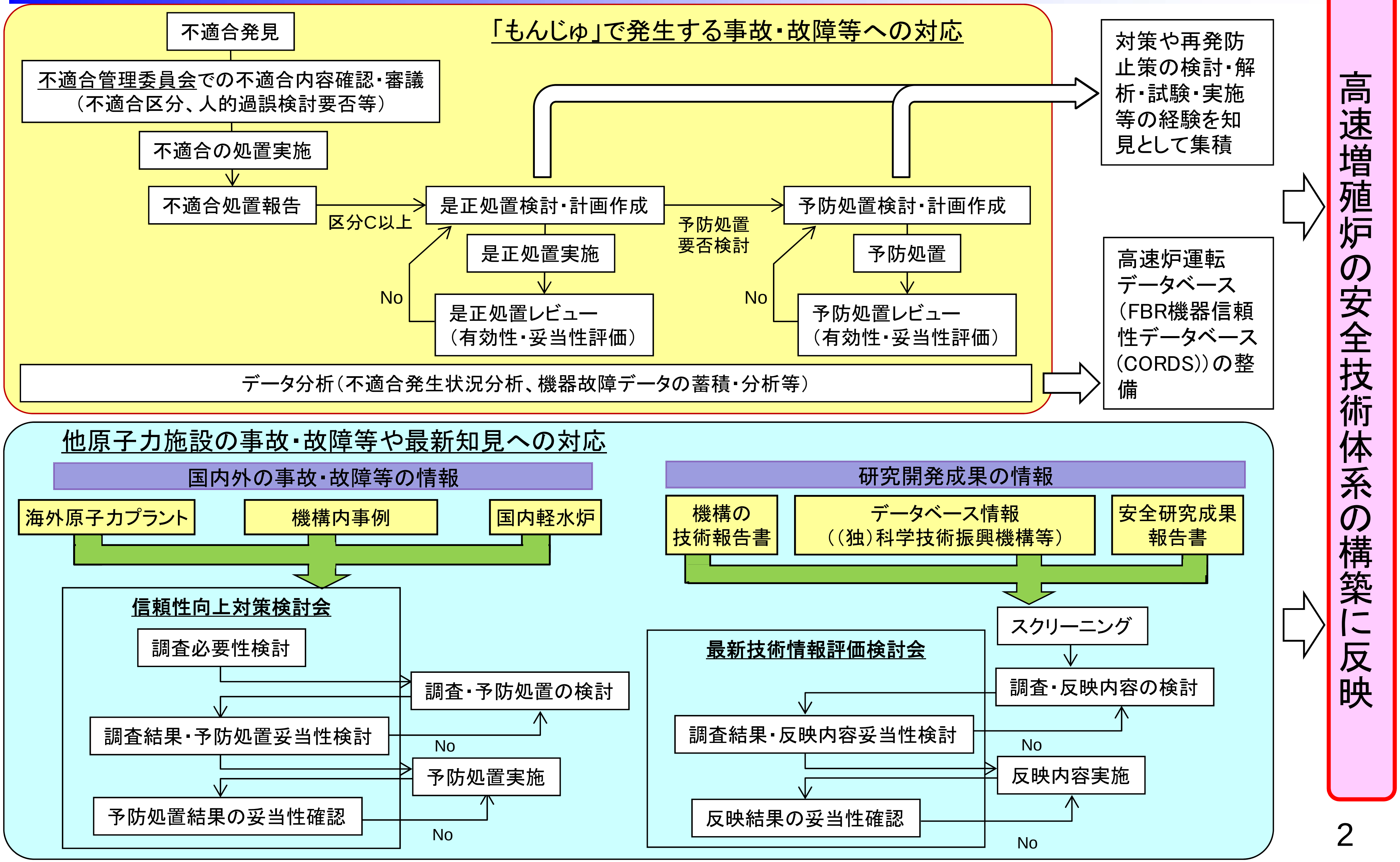
「もんじゅ」においては、

- 自プラントのみならず他プラントで発生した事故・故障等に対する原因分析、対策立案のための検討・解析・試験と実機への反映等を実施し、それらの有効性と妥当性を評価
- これらの経験を研究開発と捉え、知見を集積する仕組みを構築している

  - 「もんじゅ」自身における事故・故障等については、不適合管理により対応
    当該案件の是正処置を行うとともに、「もんじゅ」内での情報共有を図り、同様な事故・故障等の発生を未然に防ぐよう予防処置を実施
    さらに各処置の実施結果についてのレビューを行い、有効性と妥当性を評価
  - 他プラント(国内外、機構内)における事故・故障等については、「もんじゅ」の「信頼性向上対策検討会」で、事例調査・予防処置検討(要否含む)・処置結果妥当性評価を実施
  - 高速増殖炉の運転や研究開発等の機構内外の技術報告書等の研究開発成果については、「もんじゅ」の「最新技術情報評価検討会」で、事例調査・反映内容検討(要否含む)・反映結果の妥当性評価を実施

今後とも、「もんじゅ」の運転を通じて、この仕組みの運用を継続することにより、更に新たな知見を集積し、高速増殖炉の安全技術体系の構築(設計手法・規格基準・運転保守等)に反映していく。

「もんじゅ」における
事故・故障等への継続的対応から得られる知見の集積（2/2）



参考資料

「もんじゅ」における事故・故障等の未然防止への取組み（1/2）
「もんじゅ」で発生する事故・故障等への対応

① 不適合管理による予防措置

- ナトリウム漏えい事故当時は、「もんじゅ」における不適合管理の適用基準が明確ではなかった。安全性総点検後、適用基準の明確化を行った。その後も継続的に基準の見直しを図り、平成17年度からは4つのグレードに分類している。
- 更に、不適合管理による是正処置（再発防止対策）、予防処置（水平展開対策）の取り組みの強化として、平成20年6月から不適合管理委員会を設置、「要求事項を満足しないものは“不適合”」との考えにより、些細な不適合（”不適合“ではないかと思われるものを含む）も、不適合管理委員会に報告させ、改善を図っている。
- 「もんじゅ」で発生した不適合は全て不適合管理委員会に諮られる。不適合には設備の故障等によって発行された保修票についても、含まれている。保修票の内容により、是正処置が必要と判断された場合は、是正処置が行われ、他の設備・系統に水平展開が必要と判断された場合は、予防処置を行う仕組みを構築している。
- 不適合管理による予防処置の一例として、「もんじゅ」で発生した屋外排気ダクトの腐食孔（平成20年9月）について、是正処置としてアニュラス屋外排気ダクトの全体取り替えを実施したが、予防処置としては、屋外機器で炭素鋼を使用している設備（アルゴンガス供給系、窒素ガス供給系、ナトリウム・水反応生成物収容設備及び蒸気タービン附属設備）の点検項目及び点検周期をQMS文書に明確にし、保全プログラムに反映することで、適切な保守管理を実施することとし、他設備の事故故障未然防止を図っている。

「もんじゅ」における事故・故障等の未然防止への取組み(2/2)

他プラント(国内外、機構内)で発生する事故故障等最新技術情報

② 信頼性向上対策検討会・最新技術情報評価検討会

- ナトリウム漏えい事故後、安全総点検では、海外高速炉【FBR】の事故故障事例や試運転経験及び軽水炉事故故障事例(約960件)について点検を行い、設備改善事項(58項目)を摘出。全てについて平成19年度までに、改善を完了。
- 安全総点検以降の最新技術情報の収集とその対応は、信頼性向上対策検討会・最新技術情報評価検討会にて情報収集し対応。
- <u>信頼性向上対策検討会</u>
  - 国内外の原子炉施設(国内外の軽水炉、海外高速炉【FBR】、機構内の「もんじゅ」以外の原子炉施設)の事故故障事例の調査・検討については、「もんじゅ」に設置した信頼性向上対策検討会にて実施している。
  - 安全性総点検後の海外高速炉【FBR】事故故障事例について、信頼性向上対策検討会にて調査・検討を行った結果、摘出された事例は既に安全総点検で同種事例が摘出されており、設備対応がなされていることを確認している。
- <u>最新技術情報評価検討会</u>
  - 研究開発成果情報(機構発行の技術文書、(独)科学技術振興機構がデータベース化している技術情報、国の安全研究成果報告書)については、「もんじゅ」に設置した最新技術情報評価検討会の検討に先立ち、情報を「炉心・燃料」「安全」「機器・構造システム」の技術分野ごとに社内有識者のスクリーニングを行っている。
  - これまでの研究開発成果情報の反映の一例として、急加熱による円筒の内圧破断に関する構造健全性評価手法の研究から高温ラプチャに対する安全裕度拡大方策として設備改造(検出機能の信頼性向上、ブローダウン性能の強化等)を実施している。

これまでの事故・故障の克服経験等から得られた知見

〇2次主冷却系ナトリウム漏えい事故後、原因究明・対策検討・安全総点検及びその対応を通して安全性を向上させるとともに、配管内円柱流力振動の知見、ナトリウム燃焼解析や床ライナ健全性評価に関する知見、漏えいナトリウムによる溶融塩型腐食等の腐食損傷に関する知見などを得て、設計手法や機械学会の「流力振動評価指針」等に反映した。

〇平成20年3月発生したナトリウム漏えい検出器不具合を起点とする一連の対応における行動計画では、「もんじゅ」の組織体制、品質保証活動、保守管理活動の抜本的見直しを行い、自律的なPDCAサイクル活動の定着を図った。

〇平成22年5月の炉心確認試験時は、各ホールドポイントでの安全確認など試験中の運営管理にかかるノウハウを蓄積した。40%出力プラント確認試験実施に向けて、炉心確認試験での経験を踏まえた取組みに加え、水・蒸気系設備の運転に向けた取組みを摘出・追加し、実施中である。

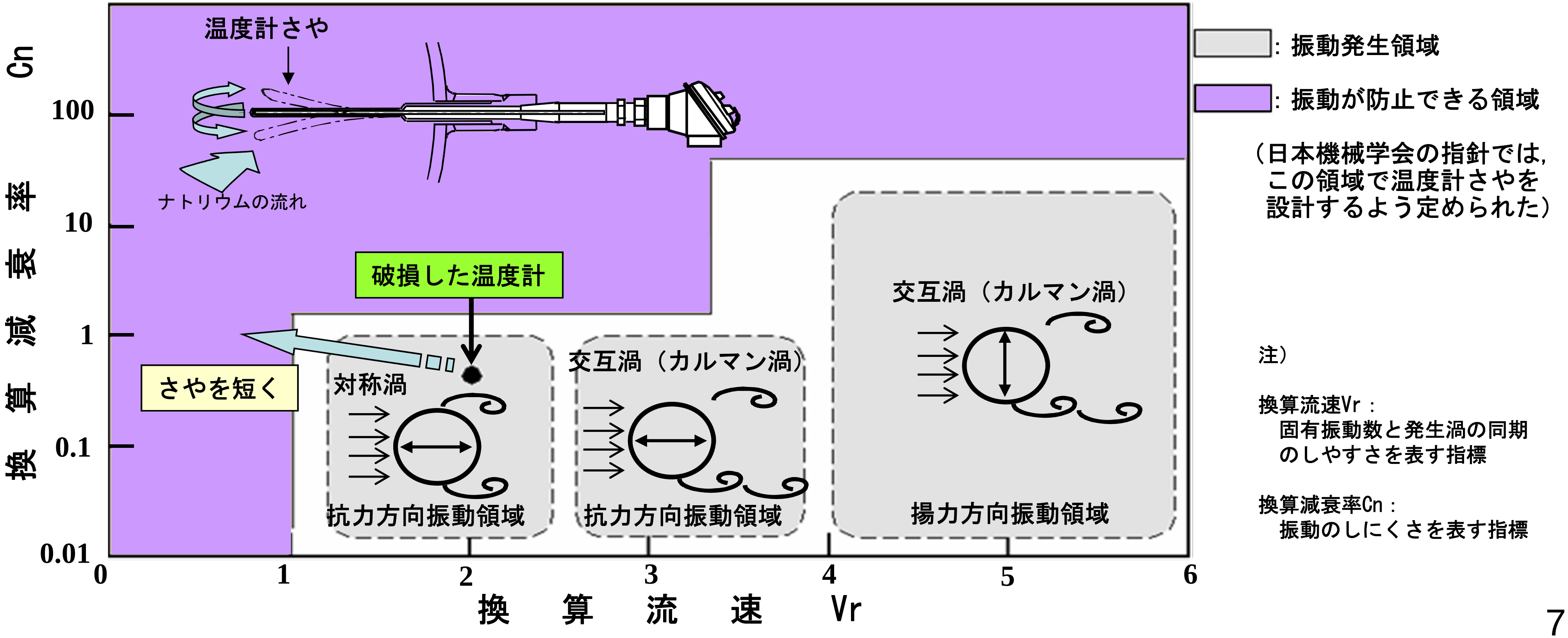
〇平成22年8月発生した炉内中継装置落下に対する復旧工事においては、炉内目視観察、仮設治具による大型機器の炉内からの取出し、原子炉容器上部でのカバーガスバウンダリを保持しながらの作業など、ナトリウム機器の保守管理技術の蓄積を行った。

〇炉内中継装置落下に対する根本原因分析を行い、日常の保全活動に根ざした着実な改善活動の継続と、それによる管理の仕組み、職員の技量及び意識の絶えざる向上を目指した計画を策定し、実行している。

ナトリウム漏えい事故から得られた知見の例（１／３）

「もんじゅ」の2次主冷却系配管に設置されていた温度計破損の原因究明において、一様流中に置かれた円柱構造物の流れによって励起される振動に対する評価法の研究開発を実施した。

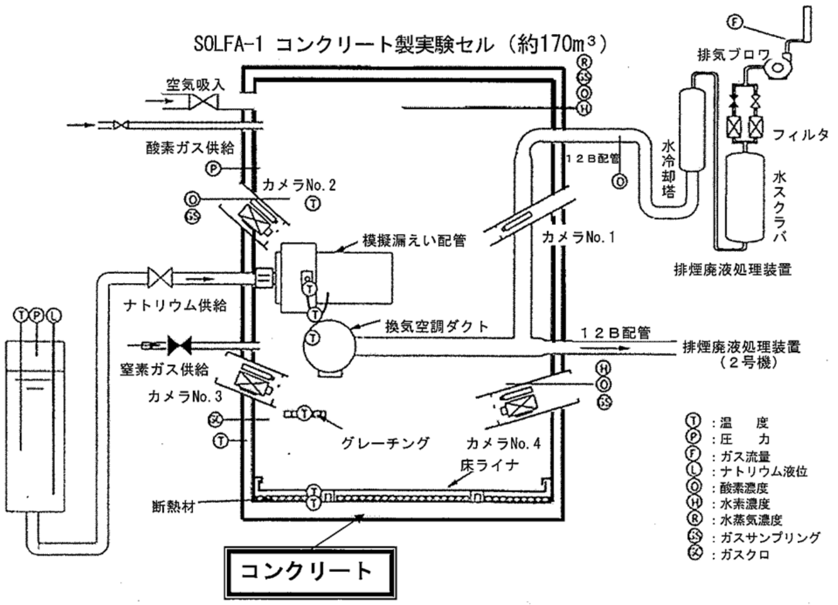
その結果は、日本機械学会基準「配管内円柱状構造物の流力振動評価指針（JSME S012-1998）」として発行された。この指針は日本機械学会「発電用原子力設備規格設計・建設規格」で引用され、原子力設備においては本指針に基づき評価することとなっている。

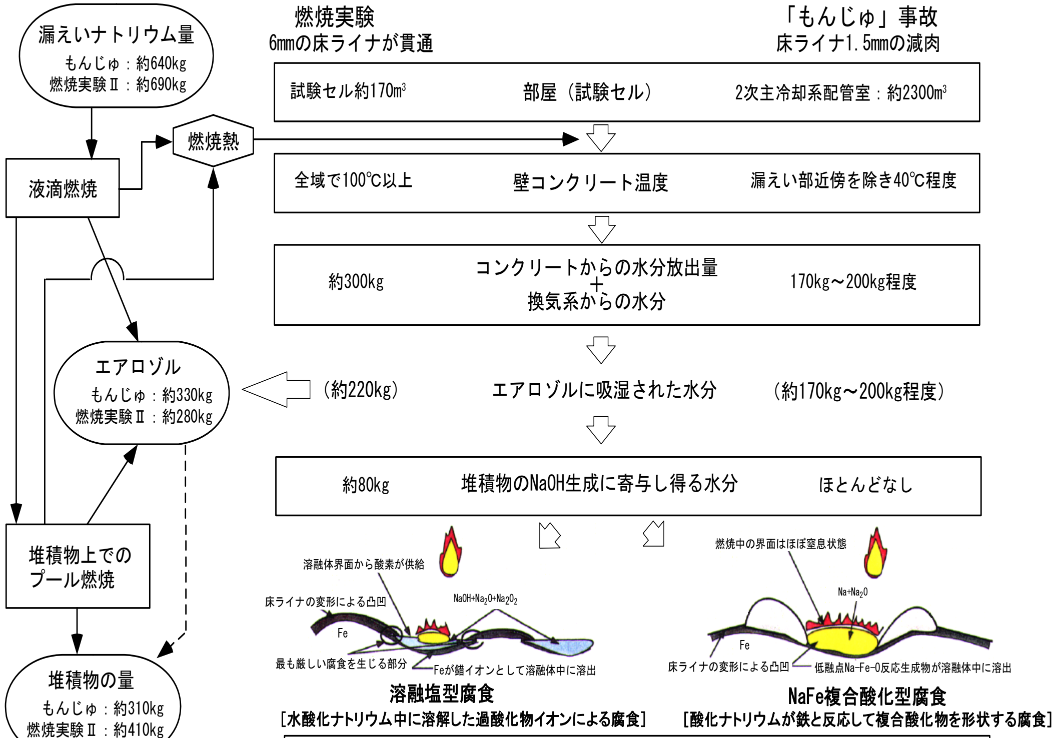


ナトリウム漏えい事故から得られた知見の例（2／3）

○ ナトリウム漏えい事故後、漏えい部の構造や配置を模擬した試験体による総合的な事故現象の把握を目的として，温度計，配管構造全体，支持金具，換気ダクト，グレーチング，床ライナ構造，コンクリート構造を模擬したコンクリートセル内での漏えい燃焼実験を行った。

○ 実験では，漏えいの初期のナトリウム落下は液滴状であり，換気ダクトで跳ね返り広範囲に飛散したことが確認できた。また，換気ダクト温度は600℃～700℃で推移し，グレーチングの最高温度は1000℃程度，床ライナ温度は800℃～850℃で推移した。実験後の調査では，黒いナトリウム化合物(水酸化ナトリウムが主成分)が広く分布して堆積していたほか，床ライナに破損孔が発生するなど，もんじゅ事故とは異なった事象が発生したことが推定された。





全く異なった腐食機構が作用していたことが判明

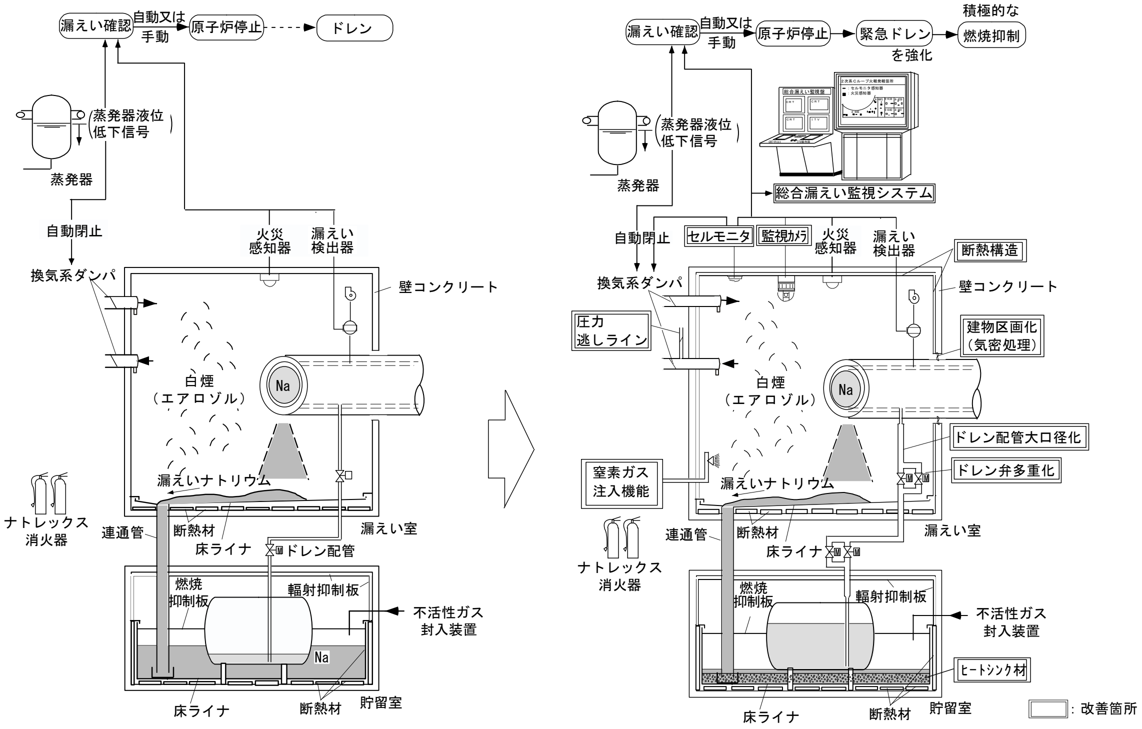
○ 大洗工学センターにおける研究開発により、ナトリウム漏えい燃焼環境下で床ライナ等の鋼材に影響を及ぼす2種類の腐食機構（NaFe複合酸化型腐食及び溶融塩型腐食）の存在が明らかになった。

○ ナトリウム漏えい燃焼実験では，もんじゅ事故とは異なり，実験室内温度の上昇に伴って壁コンクリート等から多量の水分が放出されたことにより，主に溶融塩型腐食機構により床ライナに腐食孔が生じたものと推定した。

ナトリウム漏えい事故から得られた知見の例（3／3）

○ 2種類の腐食機構（NaFe複合酸化型腐食及び溶融塩型腐食）の存在が明らかになったことにより、ナトリウム漏えい時の床ライナの腐食減肉量の評価手法を整備し、「もんじゅ」において床ライナ腐食減肉の抑制を目的とした、ナトリウム漏えい対策設備の改善を行うことができた。

○ ナトリウム漏えいの早期発見と系統内ナトリウムの早期ドレン（漏えい停止）により、床ライナが高温状態である時間を短縮し、床ライナの腐食減肉を抑制することとした。



2次ナトリウム漏えいに対する従来の概念

2次ナトリウム漏えいに対する設備改善の概念

もんじゅナトリウム漏えい対策設備の改善

床ライナの腐食原因究明

○溶融塩型腐食
水酸化ナトリウム中に溶融した過酸化物イオンによる腐食。
NaFe複合酸化型腐食に比べ、腐食速度が５倍程度早い

○NaFe複合酸化型腐食
酸化ナトリウムと反応して複合酸化物を作る腐食

異なる腐食機構の存在が判明

⇩

床ライナへの影響（腐食減肉量）の評価手法の整備

ナトリウム漏えい環境下での床ライナ腐食に関する研究

腐食速度の知見

・溶融塩型腐食の腐食速度により保守的に評価できる

床ライナの腐食抑制策（基本的考え方）

・最高温度の抑制
・高温状態の持続時間の短縮
・雰囲気中の湿分上昇の抑制

ナトリウム燃焼解析コードの整備

床ライナ温度の保守的な評価ができる

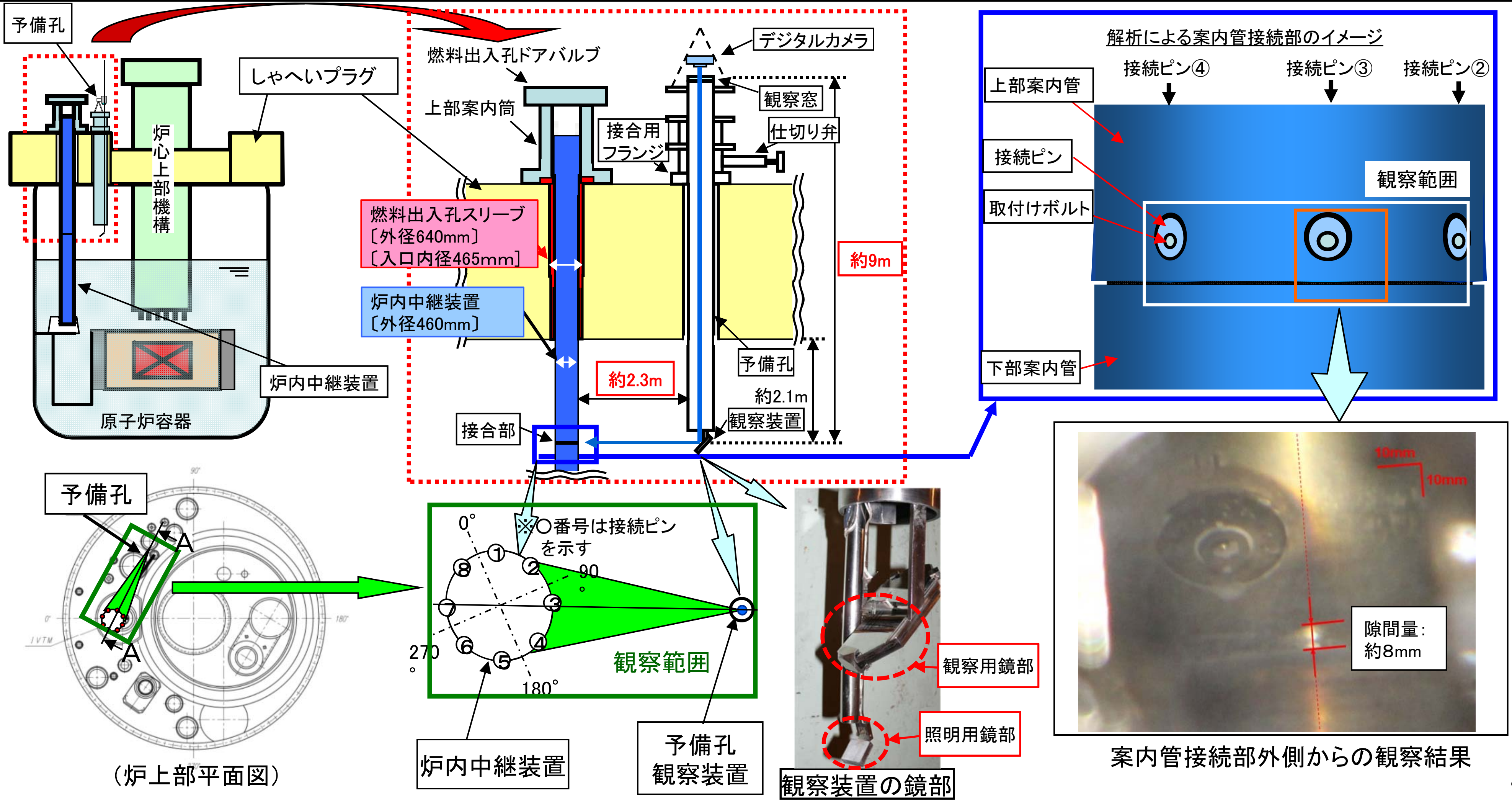
⇩

床ライナ腐食減肉の抑制のためのナトリウム漏えい対策設備の改善

（基本方針）
系統内ナトリウムを早期にドレン（漏えいを停止）する
↓
床ライナ上でナトリウムが燃えつきる
↓
高温状態持続時間を短縮し、床ライナの腐食減肉を抑制

炉内中継装置落下対応から得られた知見の例（1／2）

炉内中継装置落下に対する復旧工事においては、ナトリウム機器の保守管理技術の蓄積を行うことができた。
<u>①炉内の目視観察技術</u>
予め観察条件、取扱方法等の最適化のため炉内状態を模擬したモックアップ試験を実施し、観察用鏡部へナトリウムベーパ付着対策用ヒータの取付け、炉内での乱反射防止のため照明光は光束が細い光源を選定、映像ノイズ低減のためのカメラ設定の最適化等の工夫をし、炉内へ挿入、高温アルゴンガス、ナトリウムベーパ雰囲気下での目視観察を完遂した。



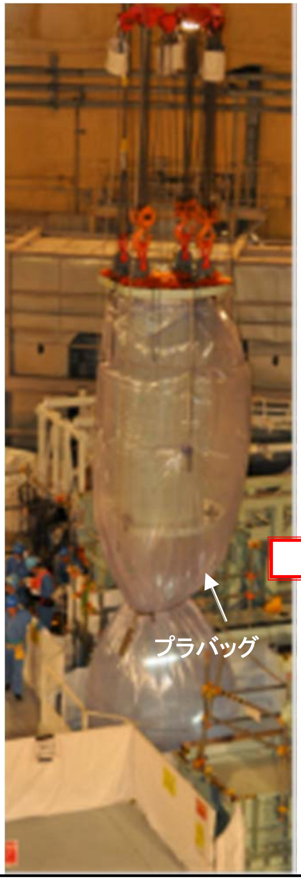
（炉上部平面図）

案内管接続部外側からの観察結果

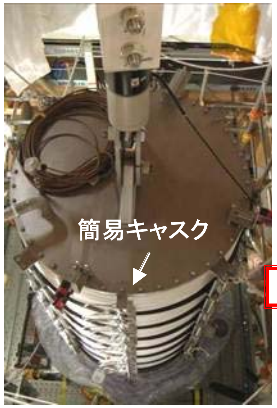
炉内中継装置落下対応から得られた知見の例（２／２）

②仮設制御装置による原子炉カバーガス圧力制御技術

簡易キャスクやプラバッグを使用することから、停止時の原子炉カバーガス圧力よりも更に低い圧力（微正圧）に保持する必要があるため、仮設制御装置を使用

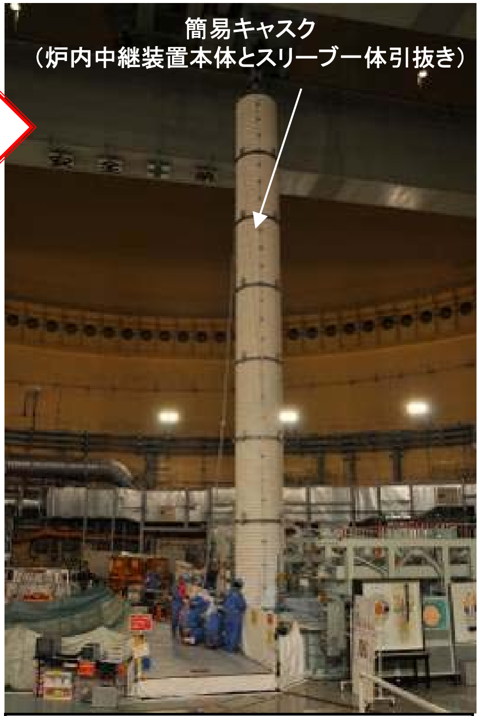


プラバッグ（塩ビシート）を使用し炉上部大型機器を取外した



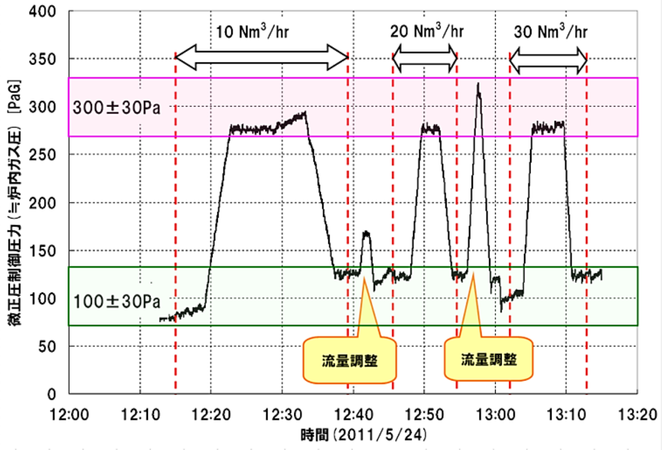
引抜き作業前の状態

仮設治具によって作業中のカバーガスバウンダリを確保した



簡易キャスク（耐熱性）を使用し落下した炉内中継装置本体と燃料出入孔スリーブを一体で引き抜いた

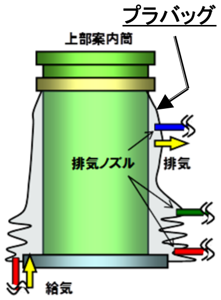
- 原子炉カバーガス圧の変動幅は100-300Paとし、各流量（10,20,30Nm³/h） に対し圧力制御によるオーバー／アンダーシュートがないことを確認した。
- 以上より、微正圧制御装置による原子炉カバーガス圧の制御は十分可能であることがわかった。

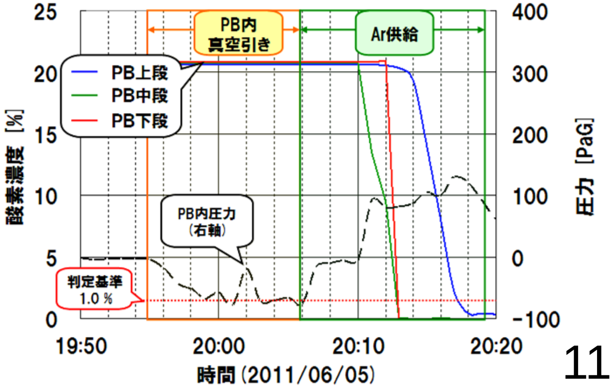


③大型プラバッグのアルゴンガス置換技術

作業時アルゴンガス雰囲気を保持するためのプラバッグ内のガス置換方法の最適化、作業時間短縮方法等を構築

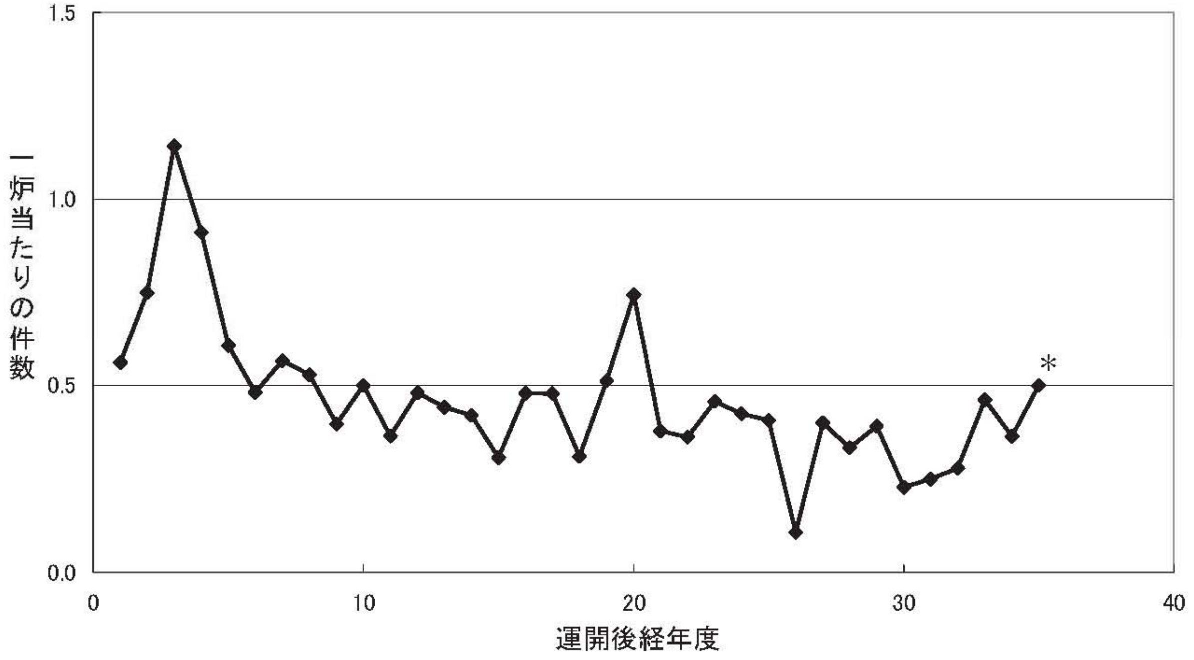
- プラバッグには上中下3段の排気ノズルが接続されており、それぞれに酸素濃度計を設置。
- プラバッグ下方から比重の高いアルゴンを給気し、上方から空気を排気する方法で置換を実施。
- 下段、中段はほぼ同じレベルにあり、同等の時間で酸素濃度1.0%程度まで低下。
- 置換開始からおよそ30分で上段の酸素濃度計が1.0%以下となり、アルゴンガス置換を終了。





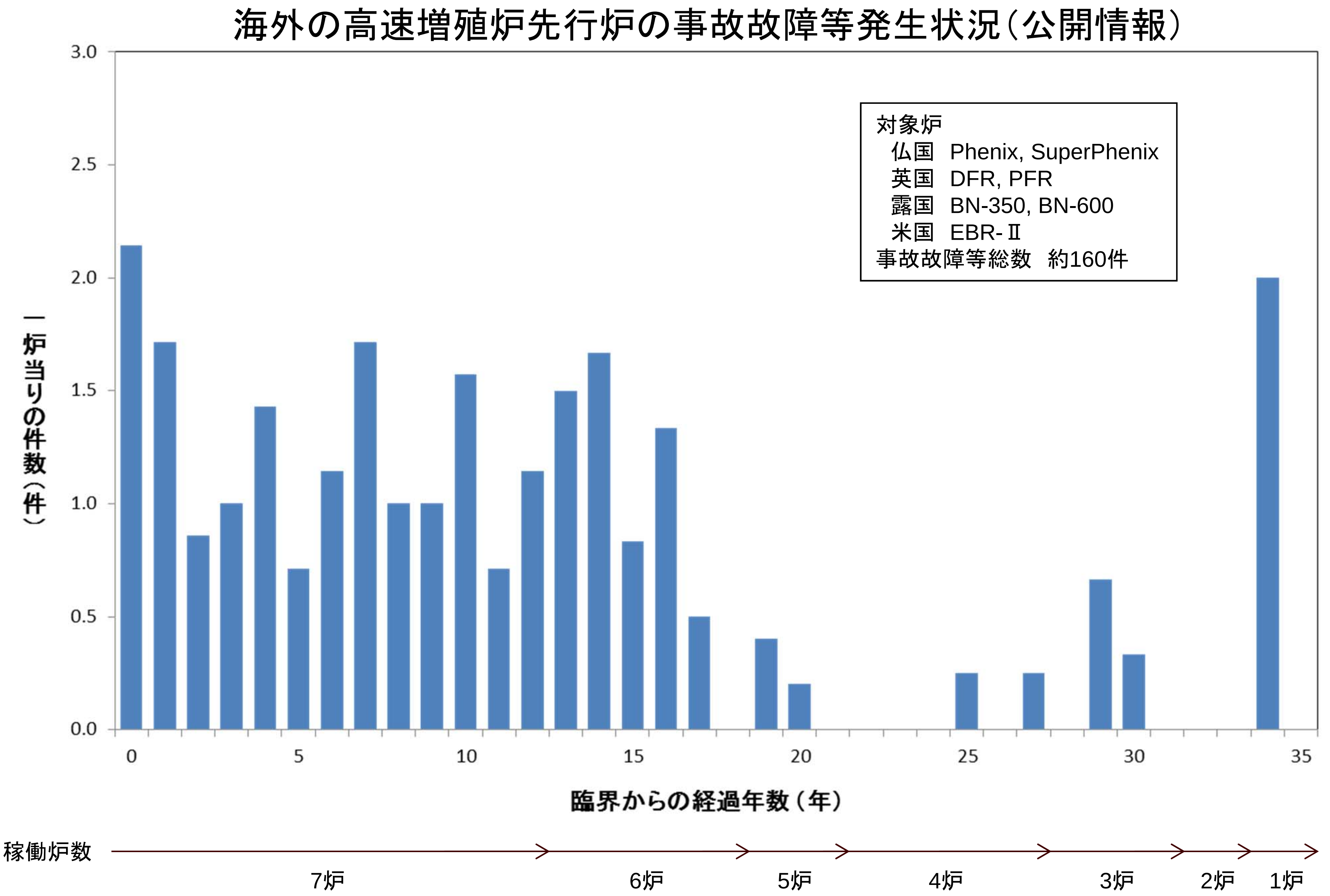
軽水炉の事故故障等の情報

図XIV-1-3　原子力発電所における運開後経年度別報告件数の推移



＊数値の信頼性の観点から基数が 10 以上のものをグラフ化した。

✓ 我が国の事故故障等の傾向を分析してみると初期に導入したプラントに初期故障が多く、運転開始後3年目に事故故障等発生件数のピークがあり、その後減少している。

出典：独立行政法人 原子力安全基盤機構　原子力施設運転管理年報 平成22年版(平成21年度実績) P.401,
http://www.jnes.go.jp/kouhou/unkan/index.html

高速増殖炉の事故故障等の情報