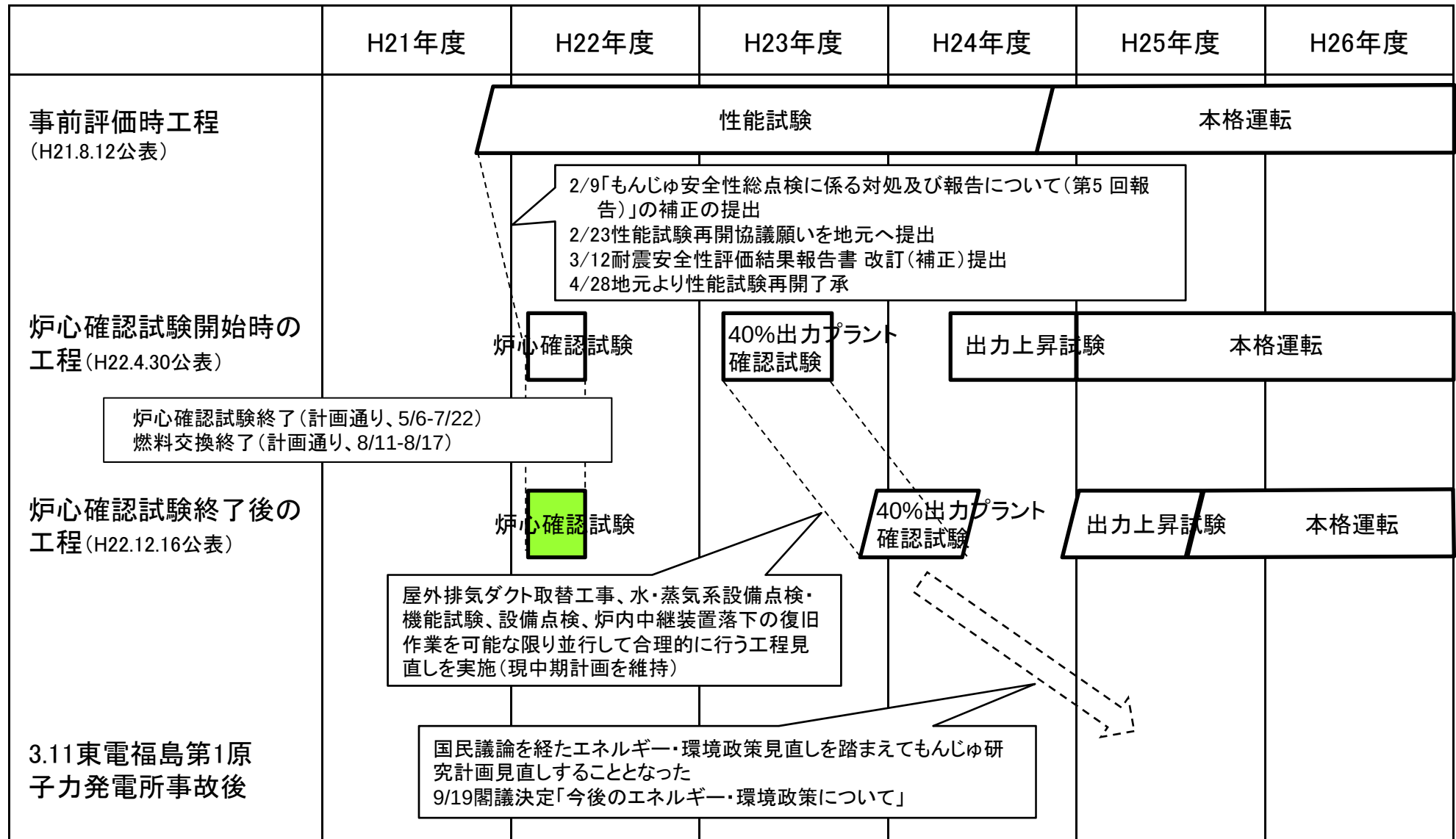


IV. 過去のマイルストーンでの 計画達成度及び変更に係る評価

過去のマイルストーンでの計画達成度



過去のマイルストーンでの計画変更に係る評価

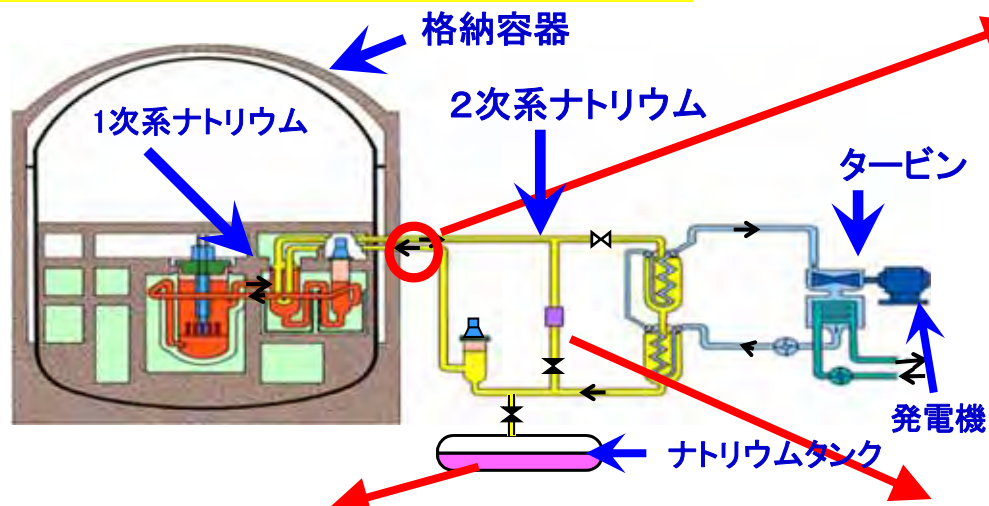
達成度	評価	今後の対応方針
炉心確認試験は、当初計画より2ヶ月程度遅れて開始した。 (平成21年度内⇒平成22年5月6日)	- 安全確認の実施に時間を要した(2/9 安全性総点検報告(第5回報告)(補正)提出) - 耐震安全性評価の実施に時間を要した(3/12 報告書 改訂(補正)提出) - 性能試験再開の地元了承(2/23協議 願い提出、4/28了承)	- 性能試験開始(原子炉起動)にあたって、安全性総合評価の確実な実施 - 今後原子力安全規制委員会にて策定される再稼働にあたっての基準への確実な対応
炉心確認試験を計画通り実施した。 (平成22年5月～7月) その後の燃料交換を計画通り実施した。(平成22年8月)	- 試験の段階ごとにホールドポイントを設け、安全確認及び評価を実施した上で次の段階に進んだ。 - 評価結果や試験の進捗状況について適時公表し、透明性を確保した。	各ホールドポイントでの安全確認(評価会議)など試験中の運営管理にかかるノウハウなど、炉心確認試験での経験を踏まえた取り組みに加え、水・蒸気系設備の運転に向けて摘出した取り組みを現在、実施中。
40%出力プラント確認試験は、未着手。 (平成23年度実施 ⇒(もんじゅの研究開発計画議論 踏まえて決定していく))	屋外排気ダクト取替工事、水・蒸気系設備点検・機能試験、設備点検、炉内中継装置落下の復旧作業を可能な限り並行して合理的に実施するため、開始時期を変更(現中期計画を維持)	- 設備の安全確認、健全性確認の実施。 ⇒水・蒸気系設備やナトリウム系設備の十全な点検と試運転の実施 - 想定されるトラブルへの事前の対応
	炉内中継装置復旧作業対応途上で発生した東電福島第一原子力発電所事故を踏まえた原子力政策議論を踏まえ、「もんじゅ」の研究計画を見直し中	—

V. これまでに「もんじゅ」で発生した
主な事故・トラブル時に取られた対策・得られた成果、
プロジェクト遂行に関して取られた対応・得られた成果

1. ナトリウム漏えい事故を受けた「もんじゅ」の改造工事の概要
2. 信頼性向上に係る改造(例: 蒸気発生器の水漏えい検出機能の強化)
3. トラブル事例: 接触型ナトリウム漏えい検出器(CLD)の漏えい警報発報
4. CLDトラブルにおける「もんじゅ」の特別な保安検査と行動計画
5. トラブル事例: 屋外排気ダクトの腐食孔の発生
6. 平成22年に実施した炉心確認試験の実施方針と実施結果
7. トラブル事例: 非常用ディーゼル発電機C号機シリンダライナのひび割れ
8. トラブル事例: 炉内中継装置(燃料交換設備の一部)の落下
9. 炉内中継装置落下に伴う保全品質保証体制の改善
10. 得られた成果

1. ナトリウム漏えい事故を受けた「もんじゅ」の改造工事の概要

平成19年5月23日 本体工事終了

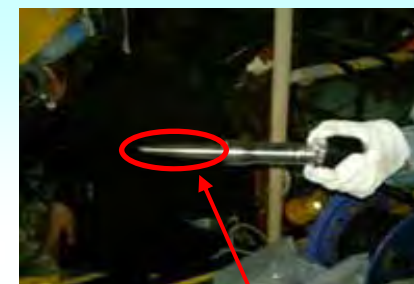


温度計の交換・撤去

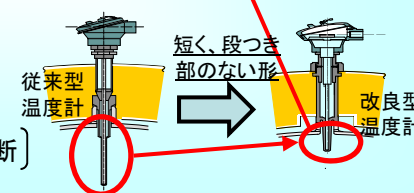
○短く、段つき部のない形の温度計に交換し、流力振動を防止する



〔事故のあった部分の配管を交換のため切断〕



〔改良型温度計〕



ナトリウム漏えい対策に係る改造

○ナトリウム漏えいを早期に検出して、速くナトリウムを抜き取り、漏えいを止める



〔ナトリウム抜き取り(ドレン)配管の追加設置〕



〔総合漏えい監視システムの追加設置〕
既存のナトリウム漏えい検出器に加え、2次系の各部屋に監視カメラを新設し、その映像も含め、中央制御室にナトリウム漏えいに関する情報を一括して自動的に表示

漏えいナトリウムによる影響の抑制に係る改造

○窒素ガス注入設備の設置、壁・天井への断熱材の設置、換気空調設備の改造等により、ナトリウム漏えい時の施設への影響を抑制する



窒素ガス
貯蔵タンク

〔窒素ガス充填設備の設置工事〕

2次冷却系においてナトリウム漏えい時に漏えいをした部屋に窒素を注入

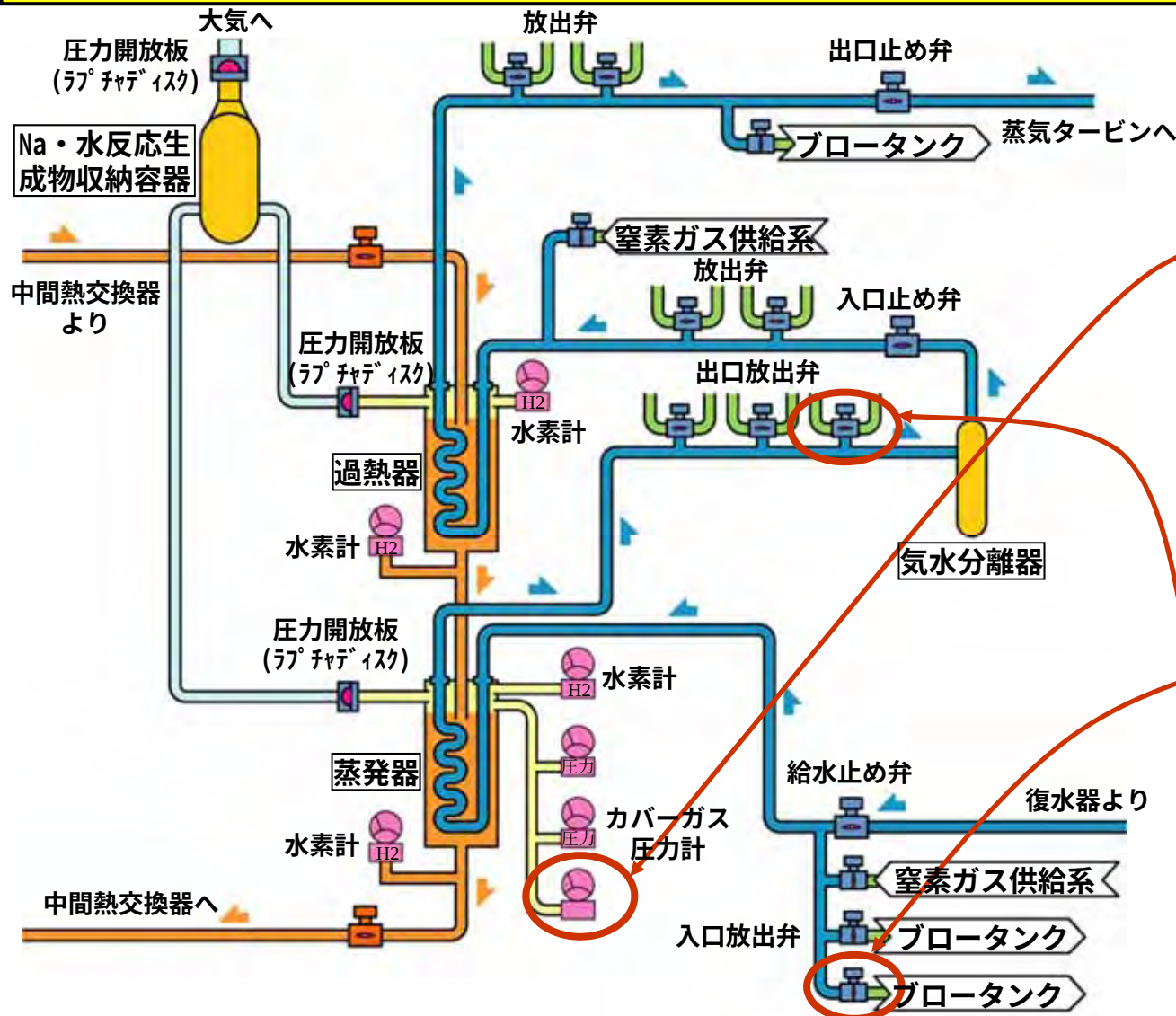


〔断熱材の取付工事〕

コンクリートは100℃を超えると、保有している水分が急激に放出されるので、壁・天井に断熱材を設置しコンクリートの温度上昇を抑制

2. 信頼性向上に係る改造(例: 蒸気発生器の水漏えい検出機能の強化)

水漏えい起きた時、現設備で高温ラプチャ型伝熱管破損が発生するものではないが、信頼性を向上するため、より早期に確実に水漏えいを停止する改造を行った。



水漏えい検出機能の信頼性向上

水漏えいを確実に検出するため、カバーガス圧力計を2個/ループから3個/ループに増設し、警報・インタロックの動作条件を 2 out of 2 から 2 out of 3 に変更した。また警報・インタロックの設定値を約170から約150 (kPa[*gauge*])に変更した。

ブローダウン性能の強化

水漏えい起きたとき、蒸発器中水・蒸気のブローダウンをより早期に完了するため、蒸発器入口放出弁を1個/ループから2個/ループに、出口放出弁を2個/ループから3個/ループにそれぞれ増設した。

高温ラプチャ:

蒸気発生器の伝熱管が破損して、ナトリウム・水反応が生じた場合、その反応による高温の反応熱のために、破損伝熱管に隣接する他の健全な伝熱管が破損するメカニズムの一つ。

3. トラブル事例：接触型ナトリウム漏えい検出器（CLD）の漏えい警報発報

発生状況

平成20年3月26日23時07分、1次系Bループの主冷却系配管室（窒素雰囲気）の1次メンテナンス冷却系（原子炉容器入口1次止め弁）に取り付けられている接触式ナトリウム漏えい検出器（CLD）の漏えい警報が発報

原因

- ・シーラント型CLDを弁に取り付けた際、CLDが過挿入になり、その先端が弁棒に当たり電極の変形が発生。
- ・弁の開閉により電極と弁棒が電氣的に接触し警報が発報。
- ・当該CLDの過挿入は、シーラントが確実に固定されていなかったことによるものと推定

対策

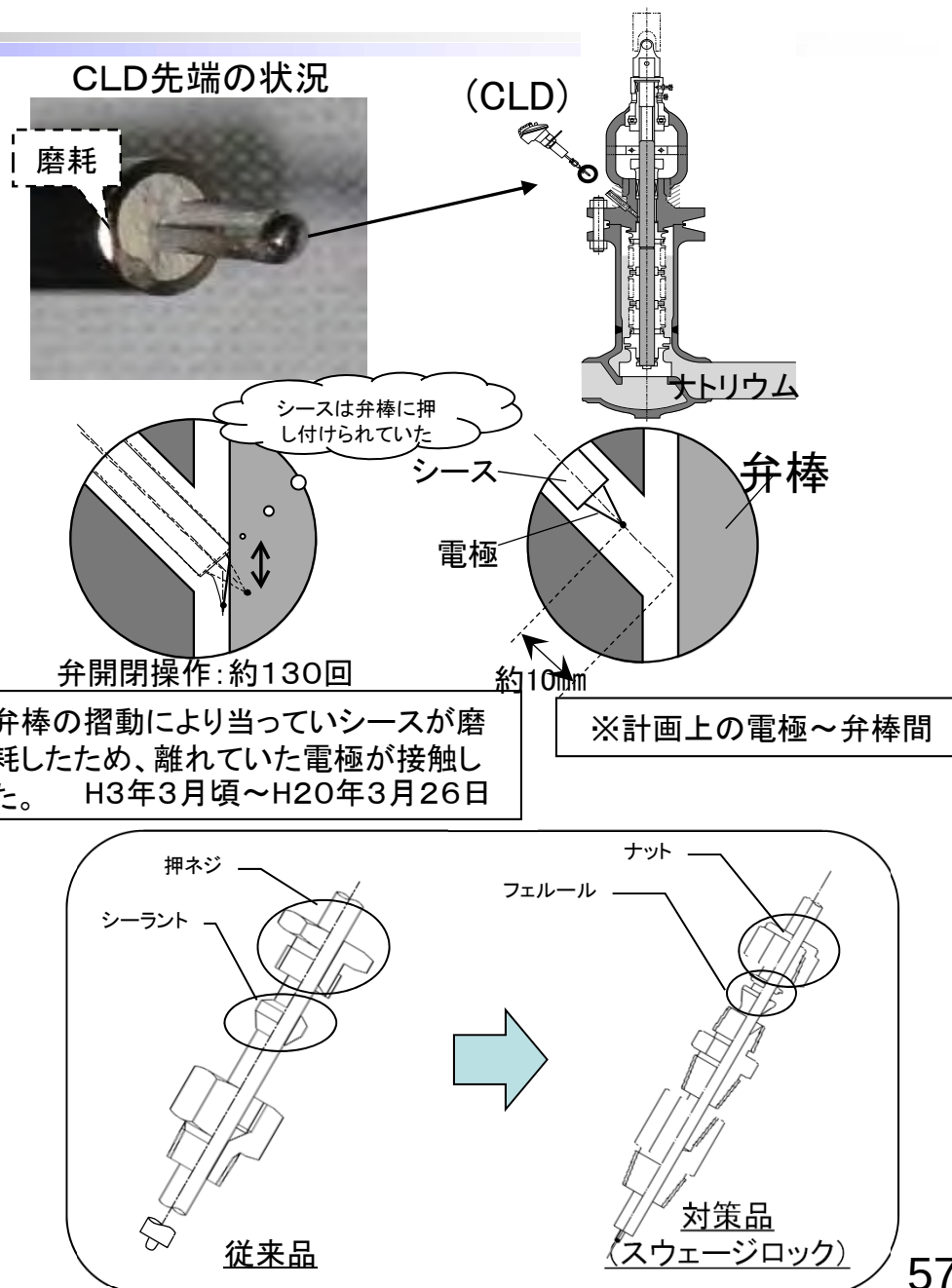
- ・同タイプのCLD全数は、締付け量が確認できるスウェッジロックタイプに変更
- ・挿入量、締付け量を記録し、管理

水平展開

- ・差し込み構造のナトリウム漏えい検出器を検査記録により健全を確認
- ・抜き取りにより状態確認を実施



原子力安全・保安院（現規制庁）より、漏えい検出器の不具合への対応状況、通報連絡遅れに対する改善状況、品質保証・安全文化の状況等に対する指摘を受け、行動計画を策定し、改善活動に取り組んだ。





4. CLDトラブルにおける「もんじゅ」の特別な保安検査と行動計画

【特別な保安検査に係る経緯】

平成20年3月26日

1次メンテナンス冷却系ナトリウム漏えい検出器(CLD)の警報発報。その際、漏えい検出器の不具合、不適切な通報連絡等の問題が生じた。

平成20年5月19日～6月13日

原子力安全・保安院による「特別な保安検査」(1回目)の受検。

平成20年7月31日

特別な保安検査における指摘事項に対応するための『行動計画』を原子力安全・保安院へ提出。



【行動計画に基づく改善状況の確認】

「特別な保安検査」の様子

平成20年9月1日～30日: 特別な保安検査(2回目)

平成20年11月26日～12月19日: 特別な保安検査(3回目)

平成21年3月2日～27日: 特別な保安検査(4回目)

平成21年6月3日～30日: 特別な保安検査(5回目)

【特別な保安検査(5回目)の結果概要】

特別な保安検査において**達成を確認すべき目標は達成していると評価**。特別な保安検査終了

炉心確認試験の実施へ

行動計画(「高速増殖原型炉もんじゅに係る特別な保安検査における指摘に対する改善のための行動計画」)

次の5項目の対応方針を柱として42項目の具体的な行動計画を策定。(平成20年7月31日)

1. 経営の現場への関与の強化
 - ・もんじゅをプロジェクトの最重要事項として位置付け
 - ・もんじゅへの経営資源の重点化(組織変更、人員の強化)
2. 品質保証の強化
3. 安全文化の醸成及びコンプライアンスの徹底
4. 業務の透明性の向上
5. 外部からのチェック機能の強化

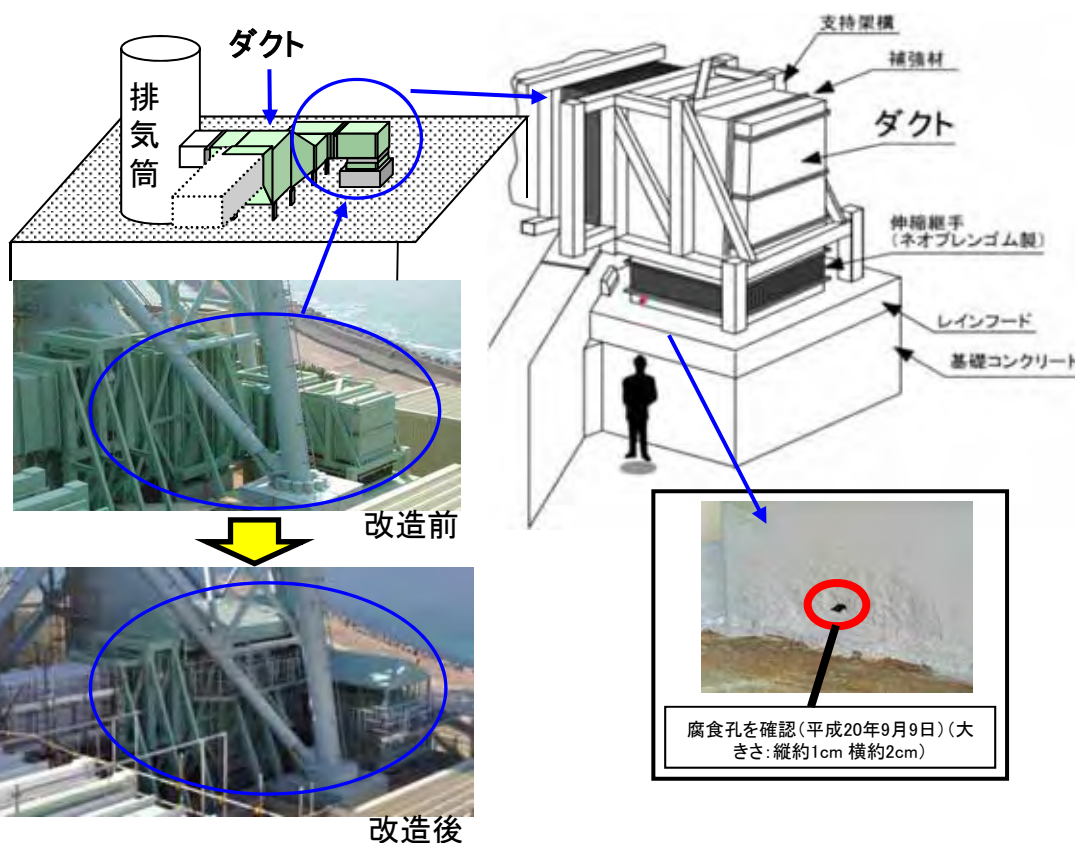
特別な保安検査の**ポイント**とその**対応への評価**

- ①**行動計画の拡充・実施による自律的な品質保証体制の確立状況**
→ 自律的なPDCAサイクルが回り始めている。
- ②**長期停止プラント設備健全性確認計画に基づく点検の妥当性確認**
→ これまでに発生した不具合を踏まえて、設備健全性確認の対象、点検方法など設備健全性確認のやり方が妥当である。
- ③**ナトリウム漏えい確認に係る対応策の実施状況**
→ ナトリウム漏えい検出器の不具合の対策工事が進められ、保守管理手法、ナトリウム漏えいに係る警報発報時及びLCO逸脱時の手順が明確にされている。
- ④**保全プログラムに基づく保守管理の実施状況**
→ 保全プログラムが、もんじゅの特徴を踏まえるとともにこれまでの点検実績を反映して策定されている。

5. トラブル事例：屋外排気ダクトの腐食孔の発生

発生状況

- 平成20年9月9日、屋外排気ダクトの計画的な補修のため、当該ダクトの塗装などの作業を行っていたところ、当該ダクトに腐食孔（縦約1cm、横約2cm）を確認した。
- 腐食孔部を切り出したサンプル調査の結果、外面から減肉しており、減肉部の表面に塩素及び酸化物が認められた。



発生原因

- 屋外排気ダクトの腐食孔（原因調査でさらに1箇所を確認。計2箇所）の周辺は、塩害腐食の発生しやすい環境に加え、構造上雨水が停滞しやすく、極めて長時間湿潤雰囲気さらされる環境となり、腐食が進行したものである。
- 平成2年設置後、平成11年に全面補修塗装した以降、平成19年12月まで計画的な点検は実施していなかった。
- 巡視点検の対象としていなかった。
- 平成19年12月に点検を実施しているが、腐食孔部の肉厚測定を実施していなかった。

対策

- 当該ダクトの全面取替えを実施した。（平成23年10月）

水平展開

- 安全上重要な設備のうち、排気筒、原子炉補機冷却海水系については腐食部位の肉厚測定を実施し、健全性を確認
- 屋外機器で炭素鋼を使用している設備の点検項目、点検周期を保全計画に定め、屋外機器の保全活動の向上を実施

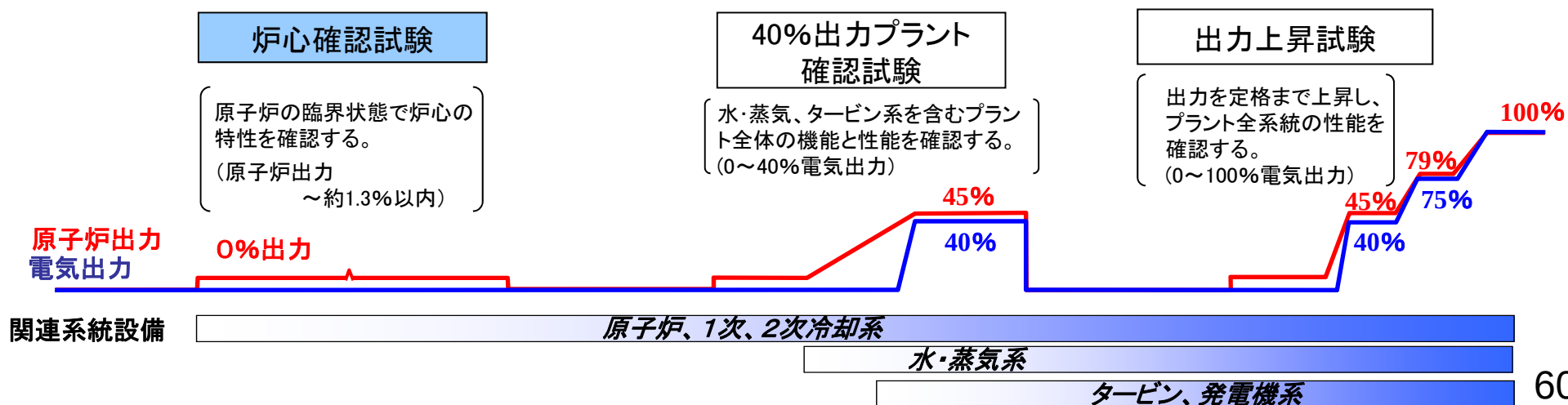
保全プログラムによる保守管理の強化に反映

炉心確認試験とは

- (1) 性能試験は、プラントが長期停止していたことを踏まえ、より慎重な手順を踏んで三段階に分けて行う。炉心確認試験は、三段階に分けて行う性能試験の第一段階である。
- (2) 原子炉を臨界状態にして、炉心の安全特性を確認するため、炉物理データの取得等を行う。
具体的には、安全上の核的制限値である過剰反応度及び反応度停止余裕を確認するための測定を行うとともに、使用前検査を受検する。
- (3) その後、研究開発目的のための炉物理特性の把握やプラント系統設備の機能及び性能の確認を目的とした試験を行う。

実施方針

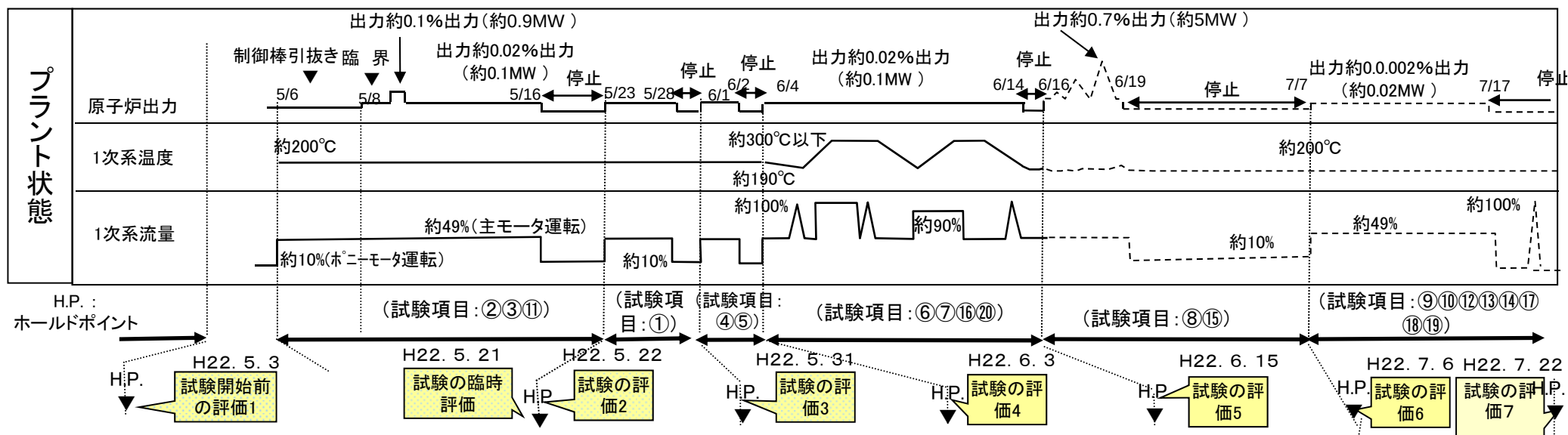
- (1) 炉心確認試験の実施に当たっては、試験の段階ごとにホールドポイントを設け、安全確認及び評価を実施して、問題ないことを確認した上で次の段階に進める。
- (2) 評価結果や試験の進捗状況について適時公表し、透明性を確保しつつ取り組んでいく。



6. 平成22年に実施した炉心確認試験の実施方針と実施結果(2/2)

炉心確認試験は、平成22年5月6日に開始し、平成22年7月22日に計画どおり終了。

- 実施方針に従い、各ホールドポイントでの安全確認など、安全最優先のもと性能試験(炉心確認試験)を順調に進め、20項目の試験を全て終了した。
- 発生した不具合事象、並びに想定していない警報発報等について公表し、透明性の確保に努めた。発生した不具合事象については、原因究明、対策、水平展開など必要な取り組みを実施した。
- 炉心確認試験を通じて、試験中の運営管理にかかるノウハウなどを蓄積した。



(1) プラント運転操作を伴う試験

(a) 炉心の安全性確認に係る試験(核的制限値の確認)

- | | |
|-------------|--------------------------|
| ① 制御棒値確認 | ④ 過剰反応度測定試験 (使用前検査に対応) |
| ② 中性子計装特性確認 | ⑤ 反応度停止余裕測定試験 (使用前検査に対応) |
| ③ 核出力校正確認 | |

(b) 研究開発目的で炉心及びプラントのデータを取得する試験

- | | |
|----------------|-------------------------|
| ⑥ 流量係数評価 | ⑨ 1次主冷却系循環ポンプコストダウン特性確認 |
| ⑦ 温度係数評価 | ⑩ 未臨界度測定法適用性評価 |
| ⑧ フィードバック反応度評価 | |

(2) プラント運転操作を伴わない試験

- | | |
|---------------|------------------|
| ⑪ 空間線量当量率確認 | ⑯ 新型ナトリウム温度計特性評価 |
| ⑫ ナトリウム純度確認 | ⑰ 圧力損失変化評価 |
| ⑬ ナトリウム放射化量評価 | ⑱ 燃焼係数評価 |
| ⑭ アルゴンガス純度確認 | ⑲ 炉内中性子源効果評価 |
| ⑮ 放出放射性物質挙動評価 | ⑳ 崩壊熱評価 |

7. トラブル事例：非常用ディーゼル発電機C号機シリンダライナのひび割れ

概要

平成22年12月28日(火)、ディーゼル発電機C号機の点検後の負荷試験を実施していたところ、10時52分頃、同発電機から異音と排ガスの漏えいを確認するとともに、10時55分頃、点検対象であったNo.8シリンダのシリンダライナーにひび割れを確認した。No.8シリンダライナーのひび割れは13本あり、シリンダライナー上部(つば)が円周方向に本体から外れ6片に割れていることを確認した。

推定原因

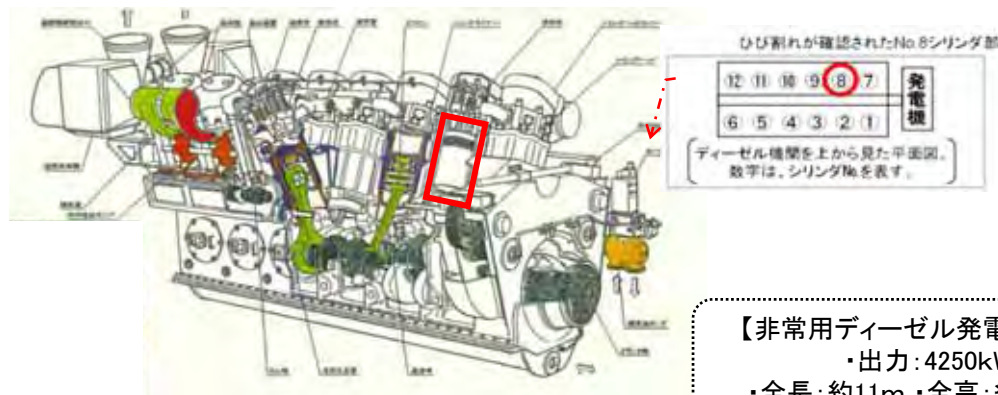
シリンダライナーを取り外す際に、油圧計を取り付けず、油圧管理を適切に行わなかったことから、シリンダライナーに過大な応力をかけたことにより、ひび割れが発生し、破損に至ったものと推定

対策

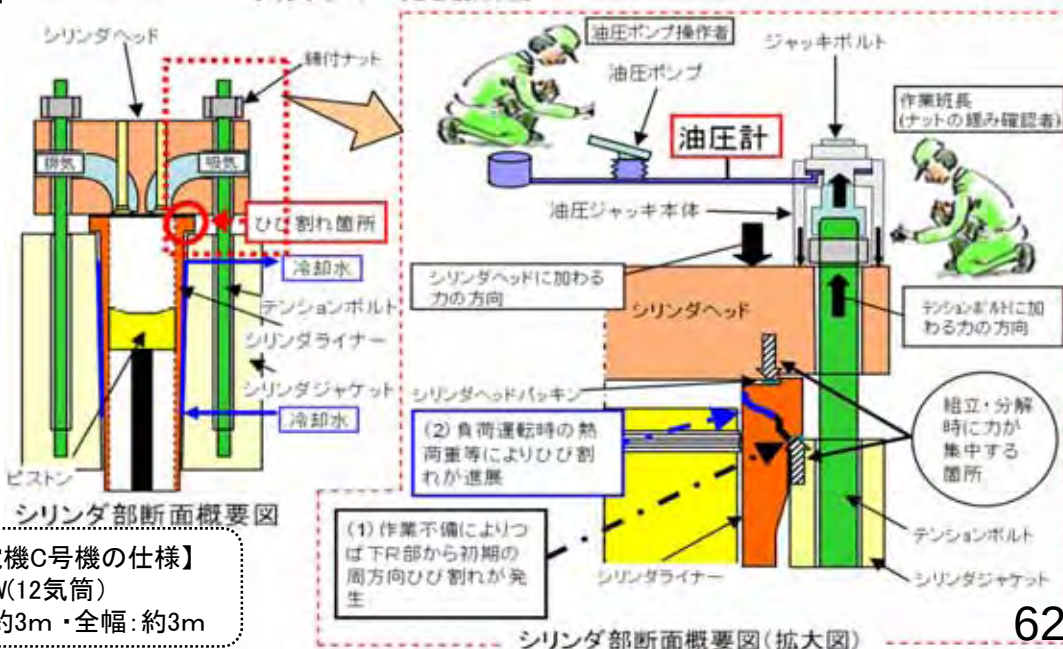
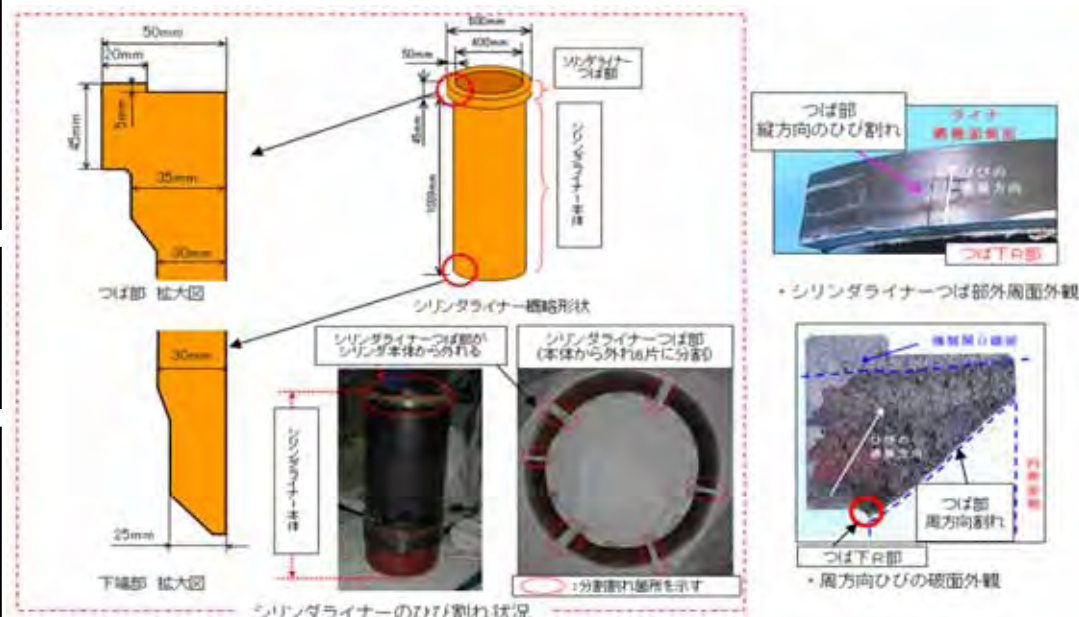
- ・C号機はひび割れたNo.8シリンダライナーの他、12個全て新品に交換実施
- ・作業要領書に油圧ジャッキ等の作業手順を定め、油圧計の指示値確認を記載
- ・A、B号機のシリンダライナーは、強度が低いものについては、新品と交換実施

水平展開

- ・安全上重要な機器に対する分解点検において、機器に過大な力が負荷される作業を調査し、作業要領書に過大な負荷を与えないことの明確化
- ・シリンダライナーと同じ材質の片上黒鉛鋳鉄を使用している機器で、機械的強度が要求されているものを調査し、該当機器がないことを確認



【非常用ディーゼル発電機C号機の仕様】
 ・出力：4250kW(12気筒)
 ・全長：約11m・全高：約3m・全幅：約3m



8. トラブル事例：炉内中継装置（燃料交換設備の一部）の落下

【概要】

平成22年8月26日、燃料交換に使用した炉内中継装置を原子炉容器の所定の位置から引き抜く作業をしていたところ、所定の位置より約2m位吊り上げた時点で、炉内中継装置が吊り上げ設備（原子炉機器輸送ケーシング）のつかみ装置（グリッパ）から外れ、落下した。

【落下、復旧に係る経緯】

燃料交換終了後の炉内中継装置取出しを実施

H22.8.26：炉内中継装置が落下

11.9：接続部のギャップが変化していることを確認

H23.6.24：燃料出入孔スリーブとの一体引抜き作業完了

11.11：原子炉上部における復旧作業終了

【落下の直接原因】炉内中継装置を吊るグリッパの平板形状の爪開閉ロッドが回転したため、爪が正常に開かない状態となった。

【再発防止対策】グリッパを、爪開閉ロッドが回らない構造へ改良、グリッパの爪開閉状態目視用点検窓設置

【水平展開】

グリッパ機構を有する設備、安全上重要な機器を吊る設備の点検

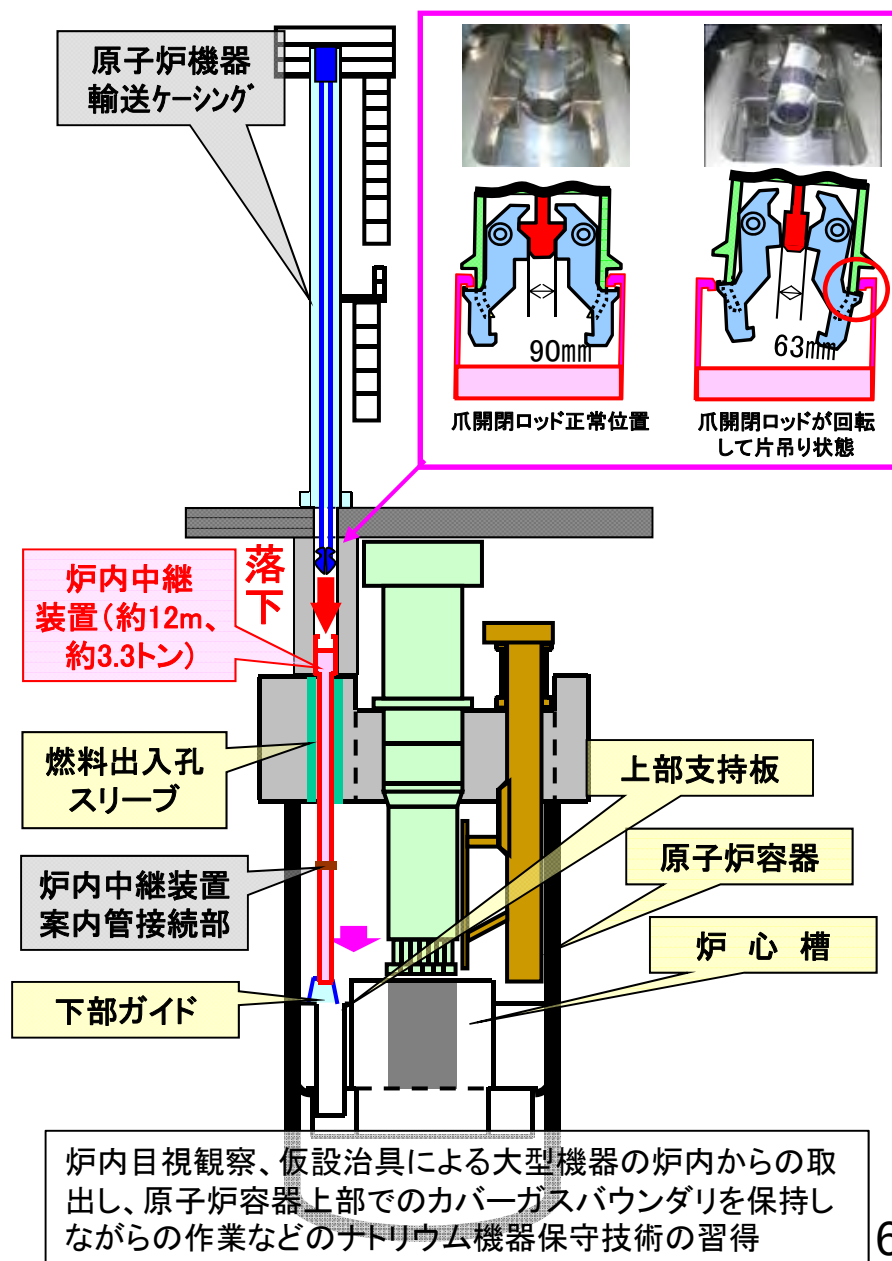
H24.4.2 保安院よりさらなる根本分析実施の指示

6.15 根本原因分析の報告書を保安院に提出

6.21 新規製作の炉内中継装置の使用前検査合格

8.8 炉内中継装置の落下に係る復旧完了

「自立した保全品質保証体制の確立」に向けた計画を策定し、着実な日常保全の改善を展開中





9. 炉内中継装置落下に伴う保全品質保証体制の改善

- 平成22年8月に発生した炉内中継装置の落下による変形に係る原子力安全・保安院（現規制庁）への報告において、設計製作段階での技術検討や製造事業者に対する技術レビューが不十分であったことを報告
- 原子力機構による根本原因分析(RCA)並びに保安院からの指示によるRCAの拡充を実施し、そこから得られた要因に対する対策については、計画を策定し、実施中



「自立した保全品質保証体制の確立」に向けた計画 6項目の内容

- (1) 設計審査プロセスの仕組みの改善 【RCA拡充対策】
 - ・安全上重要な設備に影響を与える機器等の設計管理の仕組みなど
- (2) 保全プログラムの推進
 - ・要求機能を満足させるための適切な保全の確認など
- (3) 調達管理の改善
 - ・メーカ、協力会社等における保守管理の継続的改善
 - ・メーカの品質確保に向けた調達管理の改善
- (4) 保全技術の向上 【RCA拡充対策】
 - ・保全部員に対する設計審査能力、保守管理技術の向上
- (5) 保全品質向上のための体制の整備
 - ・保全技術の蓄積、継承が行える体制の整備
- (6) 保全安全風土の醸成 【RCA拡充対策】
 - ・機構自らが課題を発見し、解決する組織風土の醸成



一過性の対策ではなく、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につなげることを目指し、必要に応じて適宜見直ししながら進めていく。

10. 得られた成果

- 「もんじゅ」は、2次主冷却系ナトリウム漏えい事故以降、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熔融塩型腐食等の腐食損傷に関する知見などを得た。
- ナトリウム漏えい検出器不具合を起点とする行動計画では、「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。
- 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。
- 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うことができた。
- 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。

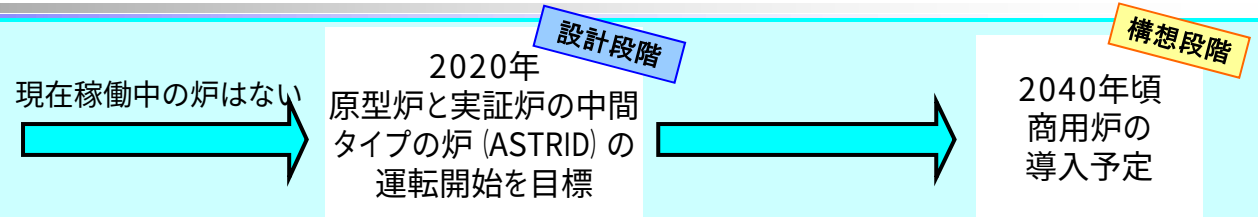
VI. 海外高速炉との比較 (もんじゅの特徴)



各国の高速炉開発の状況

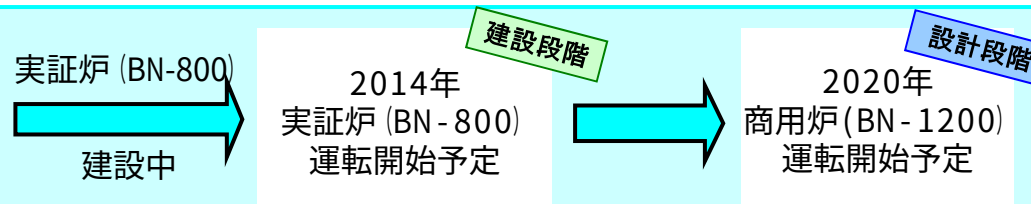
フランス

- ・高速増殖原型炉 (フェニックス) ・実証炉 (スーパーフェニックス) の運転経験があり、増殖性は確認済み
- ・現在は、放射性廃棄物対策を主眼に開発



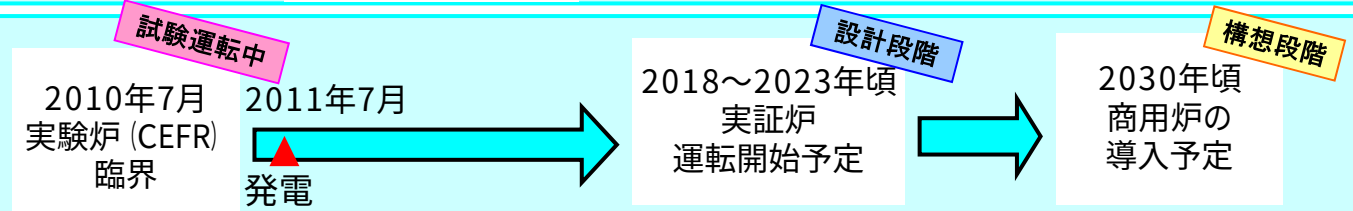
ロシア

- ・原型炉運転中 (BN-600) : 豊富な運転経験
- ・解体核からのPuがあり、現時点で増殖は選択せず
- ・商用炉から増殖させる計画を持つ



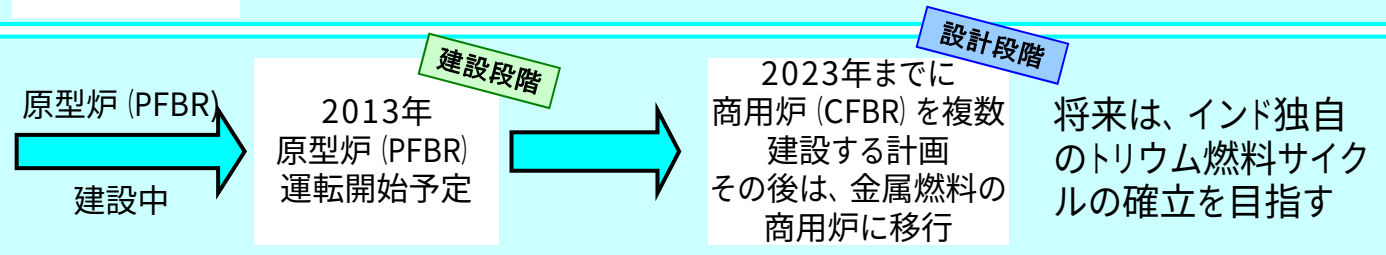
中国

- ・原型炉を作らず、ロシアの技術を借り、実証炉を建設予定。自主技術路線も併用
- ・実証炉から増殖させる計画を持つ



インド

- ・実験炉 (FBTR) 運転中
- ・電力需要の急伸への対応のため、当面は高速増殖炉技術の獲得を目指す
- ・原型炉から増殖させる計画を持つ



韓国

- ・高速炉開発を国家長期研究計画に位置付け、2028年頃の高速原型炉の導入を予定。

アメリカ

- ・実験炉 (EBR-1、EBR-2、Fermi炉など) の運転経験があり、原型炉 (CRBR) を建設していたが、1977年政権交代において、既存の増殖炉計画を改め、その商業化を延期する骨子の原子力政策を発表
- ・現在は、基礎的研究開発を実施中

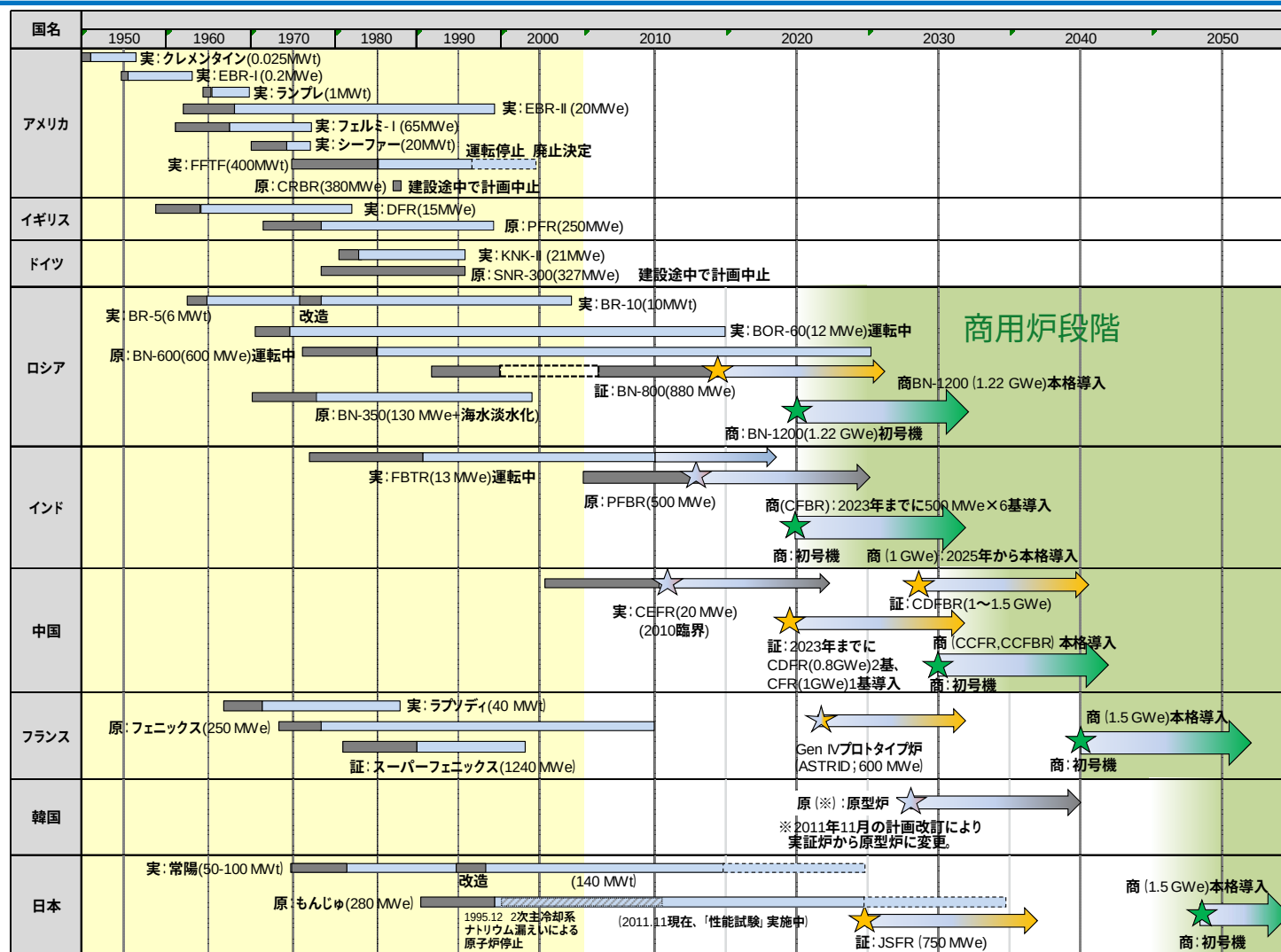
イギリス ドイツ

- ・実験炉 (DFR) ・原型炉 (PFR) の運転経験があるが、北海油田の発見もあり、経済・産業政策のため高速炉計画は中止
- ・実験炉 (KNK-II) の運転経験があるが、原型炉 (SNR-300) は建設中に政策議論や財政難のため中止。



世界の高速炉開発の歴史と今後の開発計画

- 世界の2011年現在までの高速炉の累積運転年数は、約400炉・年。
- 米国は多くの実験炉の建設・運転経験を蓄積後、原子力政策再考により原型炉開発を中断。フランス、英国、ロシアは原型炉の豊富な運転経験を既に蓄積。
- 日本は、実験炉「常陽」の豊富な運転経験の蓄積と共に、原型炉「もんじゅ」の設計・建設、及び実用化に向けた研究開発を着実に推進。



実: 実験炉
原: 原型炉
証: 実証炉
商: 商用炉
MWe/GWe: 電気出力
MWt: 熱出力
■: 建設
■: 運転 (初臨界以降)
☆: 運転開始予定

海外炉と「もんじゅ」の比較

- 「もんじゅ」は、仏国フェニックス炉や英国PFRとほぼ同等の出力規模を持つ典型的なFBR原型炉。
- フェニックス炉、PFR、露国BN-600炉はタンク型炉。
「もんじゅ」はメンテナンス性や耐震性で優位な面を持つループ型炉。
(米 (CRBR) 独 (SNR-300) が開発を中止した後、「もんじゅ」がループ型の実証に唯一貢献)
- 「もんじゅ」の炉心・燃料は、均質2領域炉心、MOX焼結ペレット燃料、オーステナイト系被覆管であり、他の海外炉と比しても標準的。
- 長期炉停止中にPu-241の崩壊により蓄積したAm-241を、炉心平均で約1.5wt%程度含有する点は、世界的にも前例が無い。
- 日本のような耐震設計の厳しい国や地域においてもFBRにおける耐震設計の成立性を実証。
- ナトリウム漏えい事故を受けた対策工事の実施により、ナトリウム安全技術の向上を図った。
- 海外炉は、いずれも20年間以上の運転実績を有し、燃料の照射実績や機器の経年特性データ等、運転・保守経験を有している。

「もんじゅ」への海外からの期待



- ・ フランスは、2020年までに新型ナトリウム冷却高速炉のプロトタイプ炉ASTRIDを建設する予定である。高速原型炉フェニックスの運転停止以降、「もんじゅ」は高速炉における唯一の研究用照射場としてその重要な役割を負うべきである。(フランス原子力・代替エネルギー庁ジャック・ブシャルル長官付顧問)、「世界の高速炉開発」講演会(2012)。



- ・ 世界中でも数少ない運転中、あるいはすぐに運転可能なナトリウム冷却高速炉(SFR)として、「もんじゅ」はSFR技術開発の重要な役割を果たすだろう。この観点から、「もんじゅ」は日本だけでなく世界が必要とする特長ある貴重な施設である。(米国アルゴンヌ国立研究所ジャスティン・トーマス), IAEA 高速炉国際熱流動ワークショップ(2012)。



- ・ もんじゅの性能試験に関連する共同研究プロジェクトに参加することにより、(インドの)安全解析コードとして採用されている1次元の系統レベルモデルの妥当性の検証に今後、役立てることができる。(インド、インディラガンジー原子力研究センター, カルパナベルサミー), IAEA 高速炉国際熱流動ワークショップ(2012)。



- ・ もんじゅは、ループ型の貴重なSFRであり、安全性、信頼性、経済性及び保守性に関わる貴重な経験を提供する。また、マイナーアクチニドを含む燃料を照射し開発していくための強力な施設である。もんじゅは、日本だけでなく世界にとっても貴重な高速炉である。(中国原子能科学研究院シュー・ミー総工師)第6回敦賀国際エネルギーフォーラム(2008)。



- ・ 放射性廃棄物の低減や資源の有効利用のため、ナトリウム冷却高速炉の開発を進めようとしている。この分野の世界的リーダーである日本が開発を継続することは、世界的な貢献につながる。(韓国原子力研究所 ドヒーハーン副理事長), GLOBAL2011 敦賀セッション(2011)。



- ・ もんじゅが大規模な試験ができる世界で唯一の高速炉であるという点から、もんじゅの炉上部プレナムでのナトリウムの自然対流に関するベンチマーク解析のIAEA CRP結果に関するワークショップに参加した研究機関は、もんじゅの運転再開を望んでいる。(IAEA 高速炉国際熱流動ワークショップ共同声明文), (2012)。

VII. 海外高速炉における代表的なトラブル事例と 「もんじゅ」への反映

安全総点検時の調査

国内外のトラブル事例調査(約960件)

海外高速炉 「常陽」「ふげん」 国内軽水炉 海外軽水炉火災

事例抽出・分類、事例の整理(該当設備の有無、構造の相違等による整理)

点検結果 (58項目の改善項目⇒平成19年度までに改善完了)

- 海外高速炉のトラブルにおいて設備の改善が必要な事例
 - ・配管合流部でのナトリウム温度差に起因する配管溶接部の損傷

もんじゅの過渡・事故事象の再検証(34事象)

安全解析全34事象に対して、最新の物理データ、評価モデル等に基づき保守性を確認

点検結果

- 最新のデータ、評価モデルで改善を要する事例
 - ・蒸気発生器伝熱管破損事故における高温ラプチャ現象の詳細検討が必要

安全総点検以降の最新技術情報の収集とその対応(システムを構築し、対応)

国内外の事故・故障情報(約1350件)

海外原子カプラント 機構内事例 国内軽水炉

信頼性向上対策検討会

研究開発成果情報(約1840件)

機構の技術報告書 データベース情報((独)科学技術振興機構等) 安全研究成果報告書

最新技術情報評価検討会

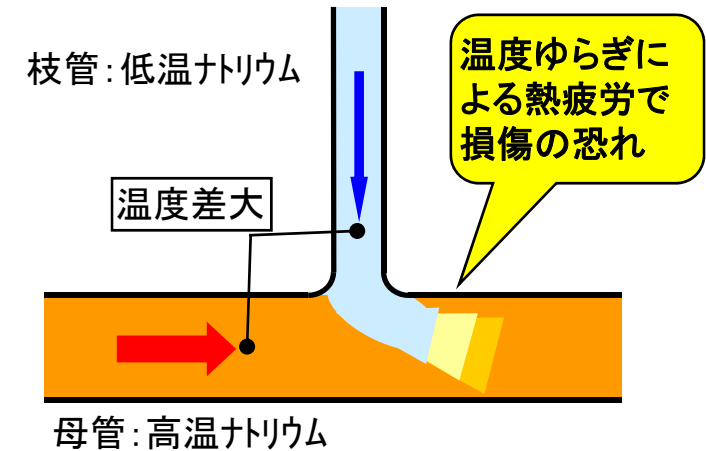
対応状況

- 海外高速炉トラブル事例は、既に安全総点検で同種事例が抽出されており、設備対応がなされていることを確認

ー フェニックス^{*1}の配管合流部でのナトリウム温度差に起因する配管溶接部の損傷ー

【事象の概要】 事象発生:1992年～1993年

- ・ 枝管(小流量のナトリウムを分流させた後、再び母管に合流させるための小口径の配管)と母管との接合部下流の配管溶接部にき裂が生じ、少量のナトリウムが漏えいした。
- ・ 枝管側で高温に加熱されたナトリウムが母管側の低温ナトリウムに合流し、その下流近傍の配管内表面に大きな温度ゆらぎが発生。この温度ゆらぎのため、配管内外面の温度差による配管壁内の力の増減が繰り返される熱疲労現象によって割れが発生、その後進展して配管壁を貫通した。



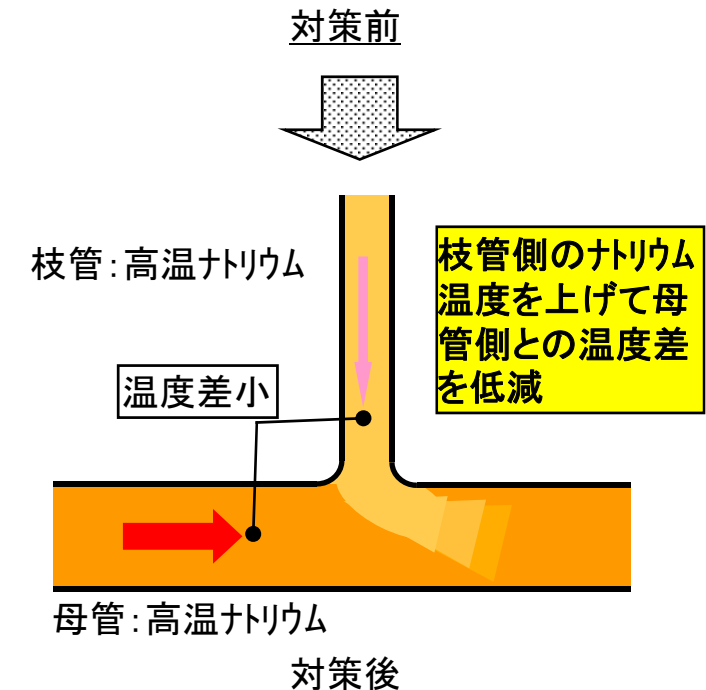
【「もんじゅ」での対応状況と反映事項】

○ 当初の設計・設備での対応状況

- ・ 温度差が大きくなる主系統の合流部には、熱疲労による損傷を防止するための構造(ミキシングティー構造)を当初設計から採用している。
- ・ 温度差の対策が行われていない合流部で、熱疲労の問題が生じるような温度差があるところがないか点検した。
- ・ 2次純化系プラグング計戻り合流部の温度差が大きくなることから、予防保全の観点から当該部の設備改善を行うこととした。

○ 反映事項

- ・ 当該部は、枝管側の放熱によって降温した低温のナトリウムが合流する部分であったため、枝管側の予熱ヒータの温度制御の改善を図り、母管側と温度差がつかないようにした。



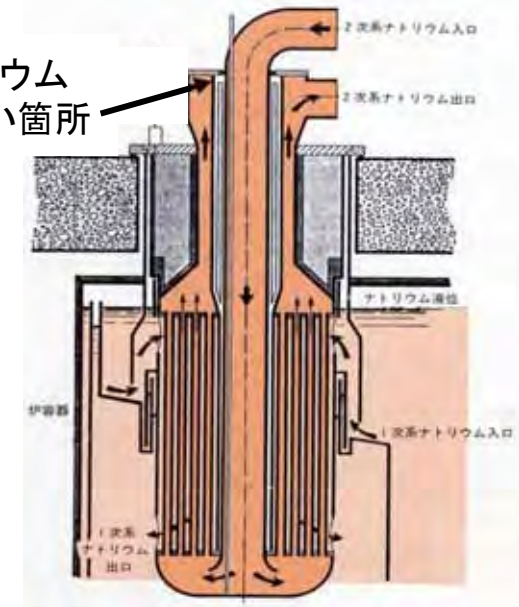
*1: 仏国的高速原型炉

ー フェニックス^{*1}の中間熱交換器からのナトリウム漏えい ー

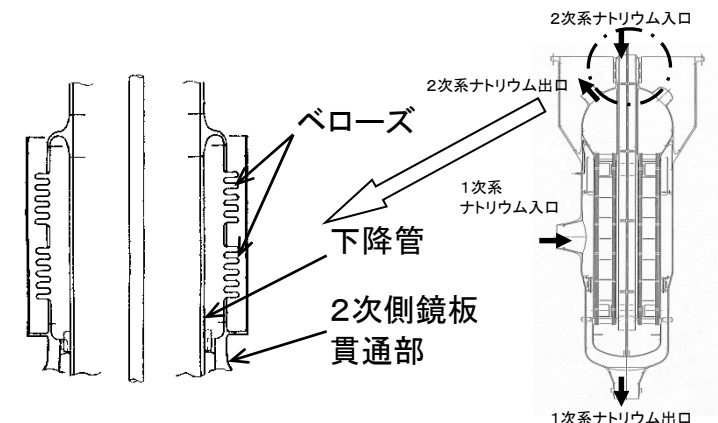
【事象の概要】 事象発生: 1976年7月

- ・ 中間熱交換器の頂部から2次系ナトリウムが漏えいし、小火災が発生した。
- ・ これは、2次系ナトリウム入口の二重壁の下降管部と2次系ナトリウム出口部の上部プレート間に亀裂が発生し、漏えいに至ったものである。
- ・ 亀裂は、下降管と中間熱交換器胴との間に予想を上回る熱膨張が発生したことにより生じたものである。

ナトリウム
漏えい箇所



フェニックスの中間熱交換器



もんじゅの中間熱交換器

【「もんじゅ」での対応状況と反映事項】

○当初の設計・設備での対応状況

- ・ 「もんじゅ」の中間熱交換器では、下降管と2次側出口内壁との熱膨張による変位を拘束しないよう、上部に伸縮継手(ベローズ)を設けている。
- ・ 上部ベローズについては、想定される熱膨張差に対する強度計算を実施し、構造健全性上問題のないことを確認している。

○反映事項

- ・ 上記の対応状況を確認し、同様の事象に対する防止対策は講じられていると判断した。

* 1: 仏国の高速原型炉

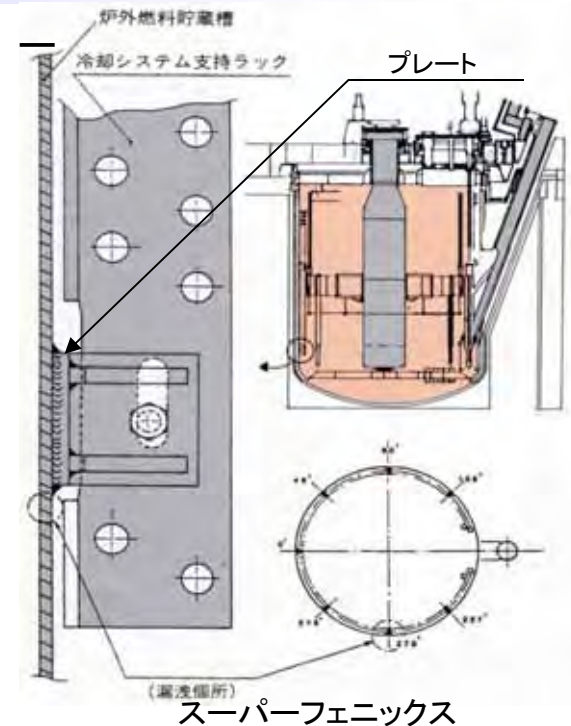
ー スーパーフェニックス^{*1}の炉外燃料貯蔵槽からのナトリウム漏えい ー

【事象の概要】 事象発生: 1987年3月

- ・ 炉外燃料貯蔵槽から約20トンのナトリウムが漏えいした。
- ・ 検査の結果、漏えい箇所は、炉外燃料貯蔵槽内の冷却用の配管を支えるプレート溶接部であり、水素割れ^{*1}により破損したものと推定された。
- ・ 水素割れの要因となった水素の混入、応力発生の原因は、以下のとおり。
 - ・ 炉外燃料貯蔵槽の材料に炭素鋼（SB450相当）を用いていることから、製造・保管中に錆が発生。この錆とナトリウムとの反応により水素が生じた。また、水圧試験時の水分残留もナトリウムとの反応による水素の発生原因となった。
 - ・ 溶接部に大型のプレートを用いたこと、溶接後の熱処理を実施していなかったことから、大きな残留応力^{*2}が存在していた。

*1：水素の吸収によって金属が脆くなる現象を水素脆化といい、これによって割れが生じることを水素割れという。脆化の機構は金属の種類によって異なる。

*2：溶接時には、局部的に急激な昇温と降温とが繰り返されるため、温度差（熱膨張差）によって金属内部で伸びようとする部分と縮もうとする部分とが及ぼしあう力が発生し、それが溶接完了後にも残る。これを溶接による残留応力という。



【「もんじゅ」での対応状況と反映事項】

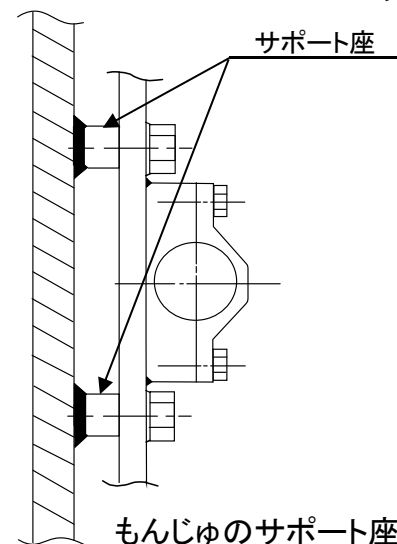
○ 当初の設計・設備での対応状況

- ・ もんじゅの炉外燃料貯蔵槽の材料は錆びにくいステンレス鋼（SUS304）を用いている。また、施工は十分に清浄度管理がなされた区域で実施し、錆の発生を防止しており、錆とナトリウムの反応による水素発生はない。
- ・ 製造時の耐圧試験は窒素ガスにて実施しているため、水分の残留による水素の発生はない。
- ・ 配管を支持するサポート座はできるだけ小さなものとし、残留応力を低減している。

○ 反映事項

- ・ 上記の対応状況を確認し、同様の事象に対する防止対策は講じられていると判断した。

*1：仏国の高速実証炉



安全総点検で摘出された海外高速炉でのトラブル事例(4)

－ PFR^{*1}蒸気発生器(過熱器)の伝熱管破損による水漏えい －

【事象の概要】 事象発生: 1987年2月

- ・ 蒸気発生器(過熱器)の伝熱管から水漏えいが発生した。検査の結果、40本の伝熱管が破損し、70本の伝熱管が損傷していた。
- ・ 原因は、内筒仕切板の隙間から流れ出たナトリウムによって、伝熱管が振動し、内筒仕切板と接触することとなり、伝熱管が摩耗、減肉していた。その後、破損し、水漏えいに至った。
- ・ この状態で1本の伝熱管から水漏えいが発生していたが、水素検出器(水漏えい検出器)が故障していたため、小規模の水漏えいを検出することが出来なかった。
- ・ さらに、高圧蒸気を急速に排出する放出弁が設置されていなかった。

【「もんじゅ」での対応状況と反映事項】

○当初の設計・設備での対応状況

- ・ 蒸気発生器(蒸発器、過熱器)の内筒は溶接による管構造で隙間が無く、内筒から伝熱管側へナトリウムが流れ出ることはない。
- ・ ナトリウム中水素計、カバーガス中水素計を設置することにより、水漏えいを初期段階で検出し、異常の拡大を防止する設計となっている。
- ・ 高圧蒸気を急速に排出する放出弁を設置することにより、事故の拡大を防止している。

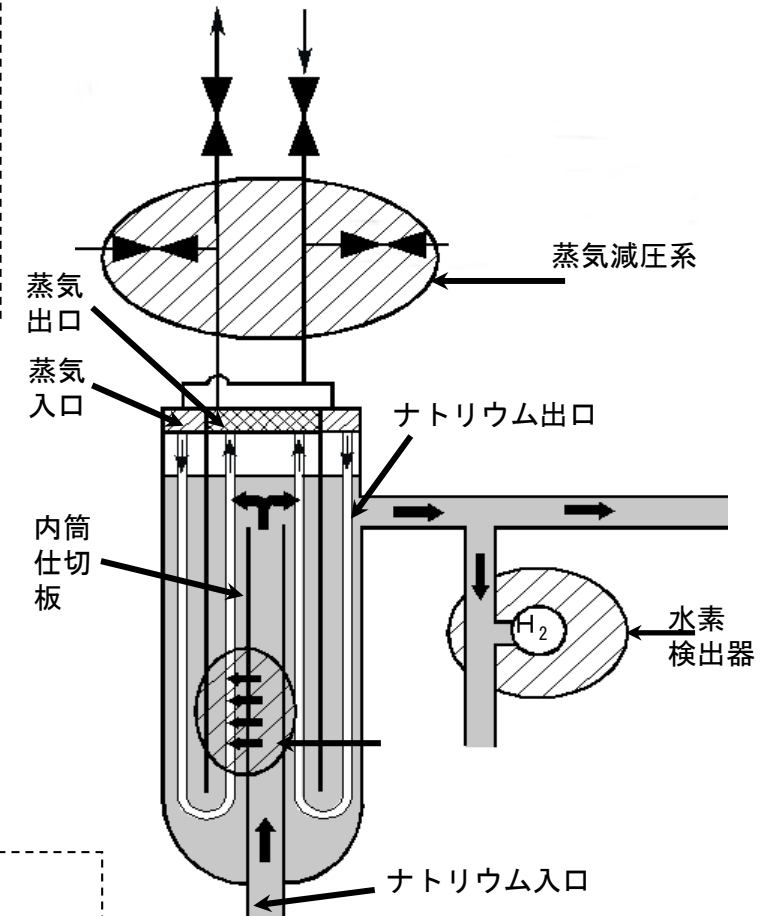
○反映事項

- ・ 上記の対応状況を確認し、同様の事象に対する防止対策は講じられていると判断した。

なお、蒸気発生器伝熱管破損に対する信頼性向上のための改造を実施した。

- ・ 水漏えいをより確実に検出するためのカバーガス圧力計を追加 (2個→3個)
- ・ 蒸気排出性能をより強化するための蒸気放出弁を追加 (入口側: 1個→2個、出口側: 2個→3個)

また、原子炉施設保安規定の中で、蒸気発生器に給水されている期間は、水漏えいの監視を連続して行うことを明確化した。



PFR蒸気発生器(過熱器)

* 1: 英国の高速原型炉

○ トラブル事例の対応状況の確認

事象	トラブル事例			安全総点検での同種事例		確認の結果
	発生年月	プラント名	部位	発生年月	プラント名	
ナトリウム漏えい	2003年5月	フェニックス *1	電磁ポンプ (Na中水漏えい 検出設備)	1964年4月	EBR-II *2	安全総点検で同種事例が摘出され、トラブル防止のための設備対応がなされていることを確認した。
	2008年2月			1972年1月	BN-350 *3	
	2000年11月	フェニックス	中間熱交換器	1976年7月	フェニックス	
SG伝熱管水漏えい	2003年9月	フェニックス	蒸気発生器 (再熱器) 伝熱管	1982年4月	フェニックス	
				1987年2月	PFR *4	

* 1: 仏国の高速原型炉、* 2: 米国の高速実験炉、* 3: ロシアの高速原型炉、* 4: 英国の高速原型炉

參考資料

従来の高速増殖炉の意義と「もんじゅ」の役割

(1) 高速増殖炉実用化に向けた原型炉としての役割

「もんじゅ」は実証炉・実用炉の設計、運転保守に不可欠

- 発電プラントとしての信頼性実証
- 運転経験を通じたナトリウム取扱技術の確立
- 高速増殖炉実用化に向けた研究開発等の場としての活用・利用(炉心・燃料に係る高度化技術実証)

(2) 高速増殖炉の国際協力における役割

「もんじゅ」を用いた先導的国際プロジェクト

- 例:「もんじゅ」を利用した「包括的アクチノイドサイクル国際実証」プロジェクト※

※日仏米共同研究(実施中)

高速増殖炉発電所の
国内技術の確立



「もんじゅ」

運転・保守経験

実証炉

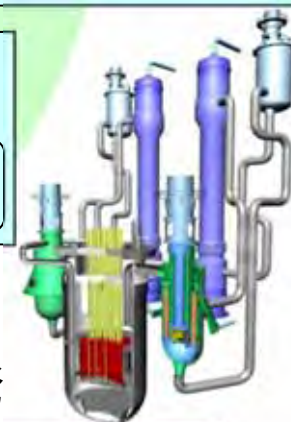
2025年頃の実現

経済性を含む革新的技術の実証
高い稼働率の運転

商業炉(実用炉)

2050年より前の開発

高い経済性
安定運転



研究開発

実用化研究開発
(FaCTプロジェクト)

革新的な技術の研究開発

(3) 高速増殖炉研究開発の中核としての役割(立地地域への貢献)

「もんじゅ」及び周辺地域を国際的な研究開発の中核として整備

- 海外・国内研究機関、地域企業等と連携して研究開発を推進

高速増殖炉の意義:

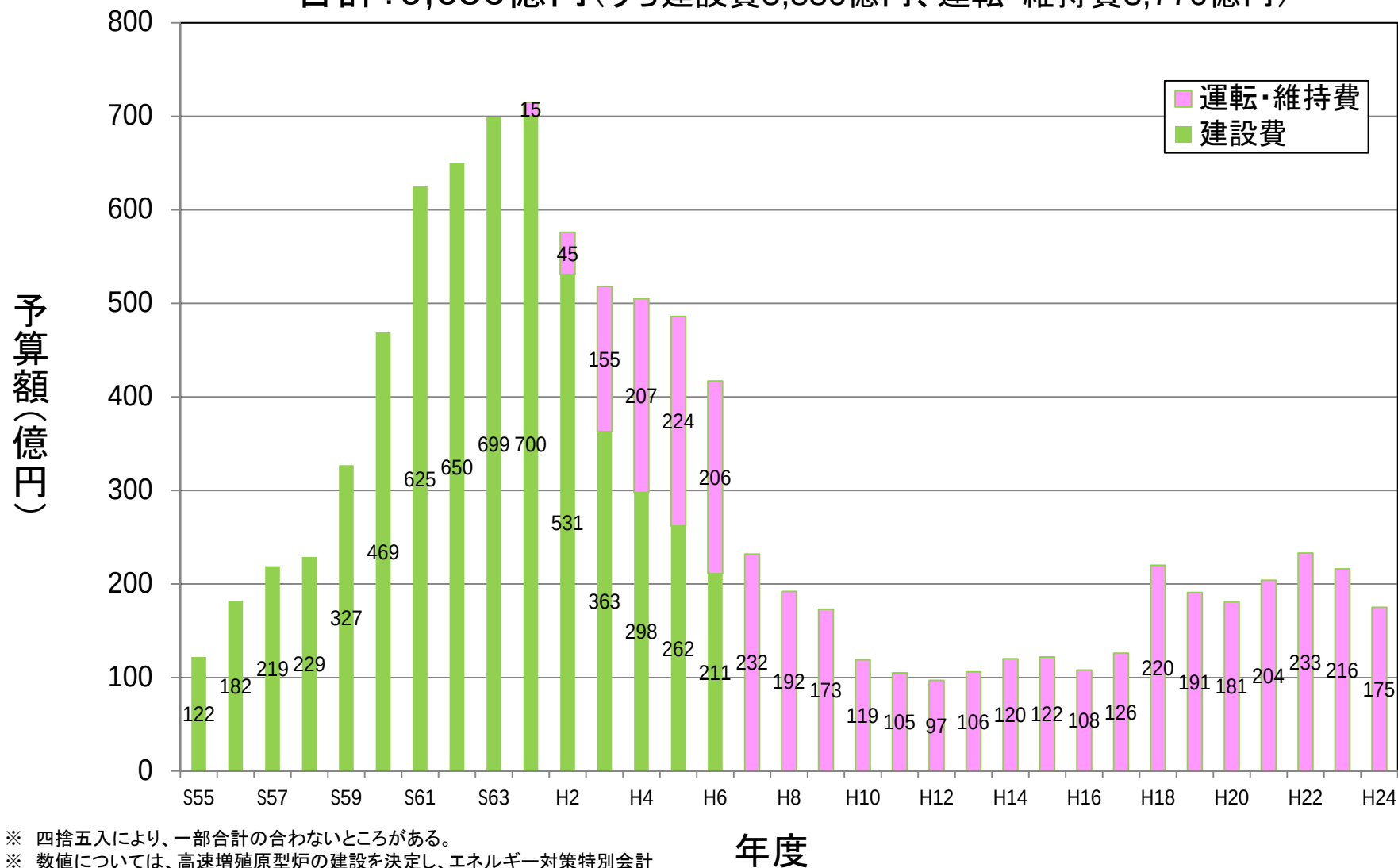
- ・ 発電しながら消費した以上の燃料を生産
⇒ エネルギー安定供給に大きく貢献
- ・ 放射性廃棄物中のマイナーアクチノイドを燃料として再利用
⇒ 環境負荷を低減
- ・ 長期かつ持続的に温室効果ガス排出が十分小さい発電が可能
⇒ 温暖化抑制

高速増殖炉は次世代発電炉の本命



高速増殖原型炉もんじゅの事業費(予算額)の推移

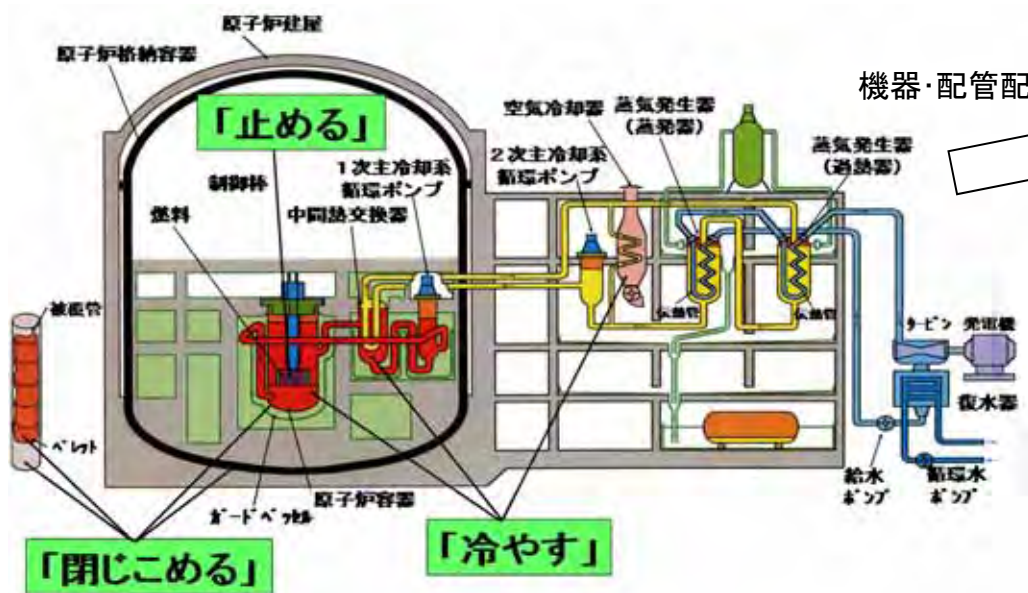
合計: 9,656億円 (うち建設費5,886億円、運転・維持費3,770億円)



- ※ 四捨五入により、一部合計の合わないところがある。
- ※ 数値については、高速増殖原型炉の建設を決定し、エネルギー対策特別会計において原型炉建設費が設置された昭和55年度以降の建設費及び運転・維持費をもとに計上。
- ※ 平成17年度以降は運営費交付金推計値を含む。

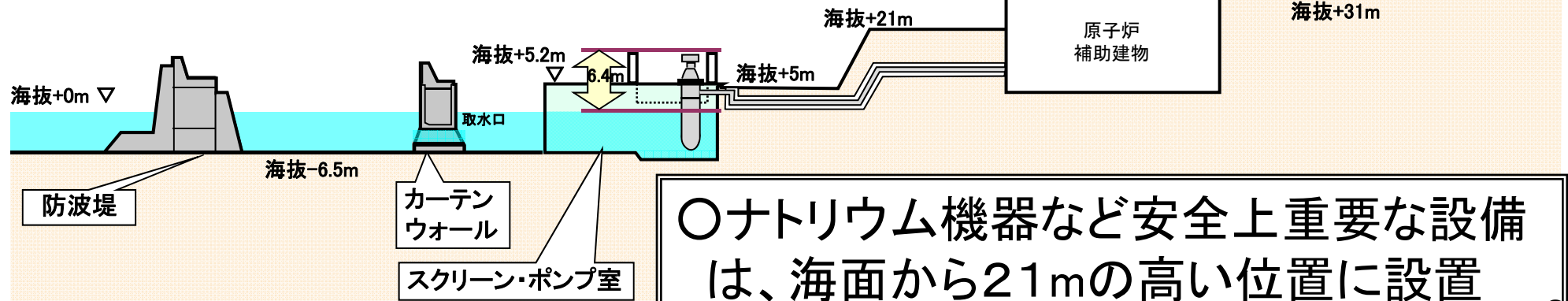
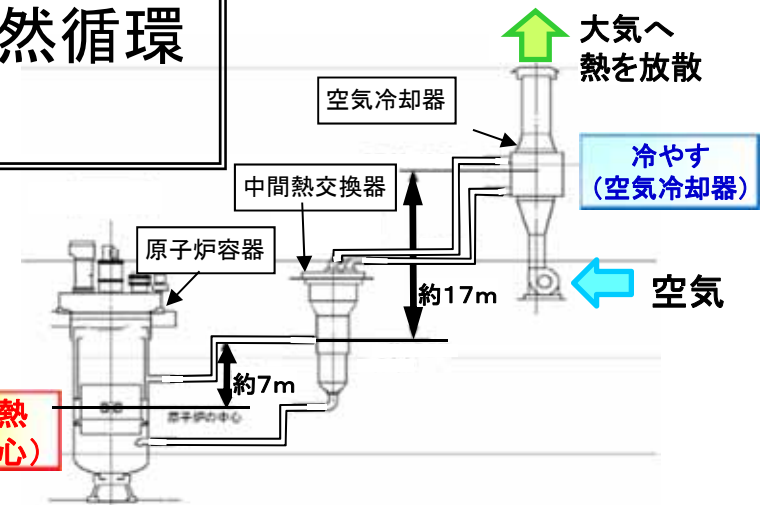
「もんじゅ」の安全性の特徴

○原子炉停止後は、自然循環による空気冷却



機器・配管配置に工夫

発熱
(炉心)



○ナトリウム機器など安全上重要な設備は、海面から21mの高い位置に設置

「もんじゅ」における安全対策の進捗状況（平成24年10月現在）

□ : 実施済 □ : 対策対応中

冷却機能の確保

○炉心冷却に関わる機器や設備の健全性確認

【平成23年3月実施済】

○炉心、炉外燃料貯蔵槽の自然循環冷却の再確認

【平成23年3月実施済】

○全交流電源喪失時の冷却機能に関する再確認解析

【平成23年7月27日確認済】

炉心、炉外燃料貯蔵槽ともに自然循環阻害要因はなく、自然循環冷却で崩壊熱を除去できることをシビアアクシデント等検討委員会（7/27、9/30）で報告、確認した。

【平成23年9月30日確認済】

○止める、冷やす、閉じ込める機能に関わる設備の安全機能確認

【平成23年度実施済、ただし閉じ込め機能については原子炉起動前に実施予定】

緊急時対応体制の強化

緊急時の燃料池の冷却確保※

○消防車等による燃料池への給水手順の作成

【平成23年3月実施済】

※燃料池が沸騰することはない。蒸発による水量の減少を防ぐ



○緊急時対応体制の強化（危機管理室設置）

【平成23年10月1日実施済】

○津波対応体制の確立（電源車対応体制の確立）

【平成23年5月実施済】

○運転シミュレータを用いた全交流電源喪失の訓練実施

【平成23年5月実施済】

シビアアクシデント対応

シビアアクシデント対応

○PHS、無線機、衛星電話、ヘッドライト等を配備

【平成23年6月実施済】

円滑な事故対応作業、復旧作業を可能とするため、全交流電源喪失時における通信手段及び照明機材を確保

○中央制御室の作業環境の確保

【平成23年8月実施済】

中央制御室空調の事故時循環運転

○水素爆発防止対策

【平成24年8月実施済】

「もんじゅ」では、水素が発生し蓄積する可能性は極めて小さいが、原子炉補助建物屋上ハッチに排気口を設置した。

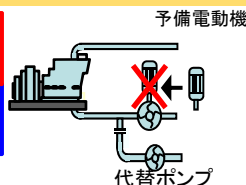
電源の確保

○補機冷却海水ポンプ代替ポンプの配備

【平成24年2月末実施済】

○補機冷却海水ポンプ予備電動機の配備

【平成25年3月末完了予定】



海水冷却機能復旧対策の実施し、非常用ディーゼル発電機の迅速な復旧を果たす

○海水浸入経路の調査実施

【平成23年3月実施】

○海水浸入経路の止水対策の実施

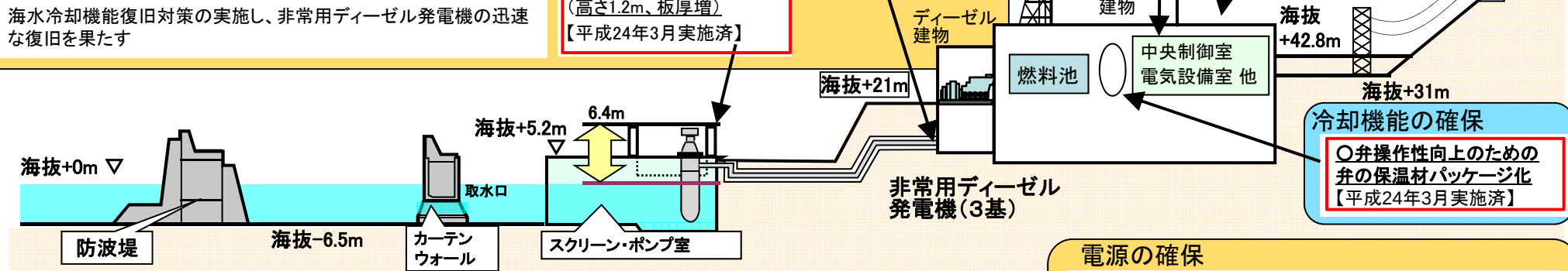
【平成23年10月実施済】

※非常用ディーゼル発電機水没の可能性から

○防水壁の補強

（高さ1.2m、板厚増）

【平成24年3月実施済】



冷却機能の確保

○弁操作性向上のための弁の保温材パッケージ化

【平成24年3月実施済】

シビアアクシデント対応

○高線量対応防護服（応急処置として鉛エプロンを配備）の確保

【平成23年6月実施済】

○個人線量計の確保

【平成23年6月実施済】

○放射線管理体制の強化

【平成23年6月実施済】



○ホイールローダ（1台）の配備

【平成23年12月実施済】

津波来襲後の所内アクセスルートを確認するため、がれき処理用の重機を配備



電源の確保

○電源車及電源ケーブルの配置

【平成23年8月配備】300kVA電源車を2台

○電源接続盤の設置

【平成24年5月末実施済】

○非常用ディーゼル発電機代替空冷電源設備の設置

【平成25年3月末完了予定】

→電源車の電源容量に加え1ループ強制循環による炉心冷却を行う電源容量を想定