資料No.２－１

「もんじゅ」の工事確認試験の結果とプラント確認試験の内容

平成19年9月7日

独立行政法人日本原子力研究開発機構

「もんじゅ」の確認試験の概要

工事確認試験

・改造工事に対する系統としての機能・性能の確認
　新たに追加された設備の試験
　改造設備と改造により影響を受ける設備の試験

86項目

主要試験項目⇒

改良型温度計の確認
ナトリウム漏えい対策に係る機能確認
蒸発器ブロー動作確認試験

プラント確認試験

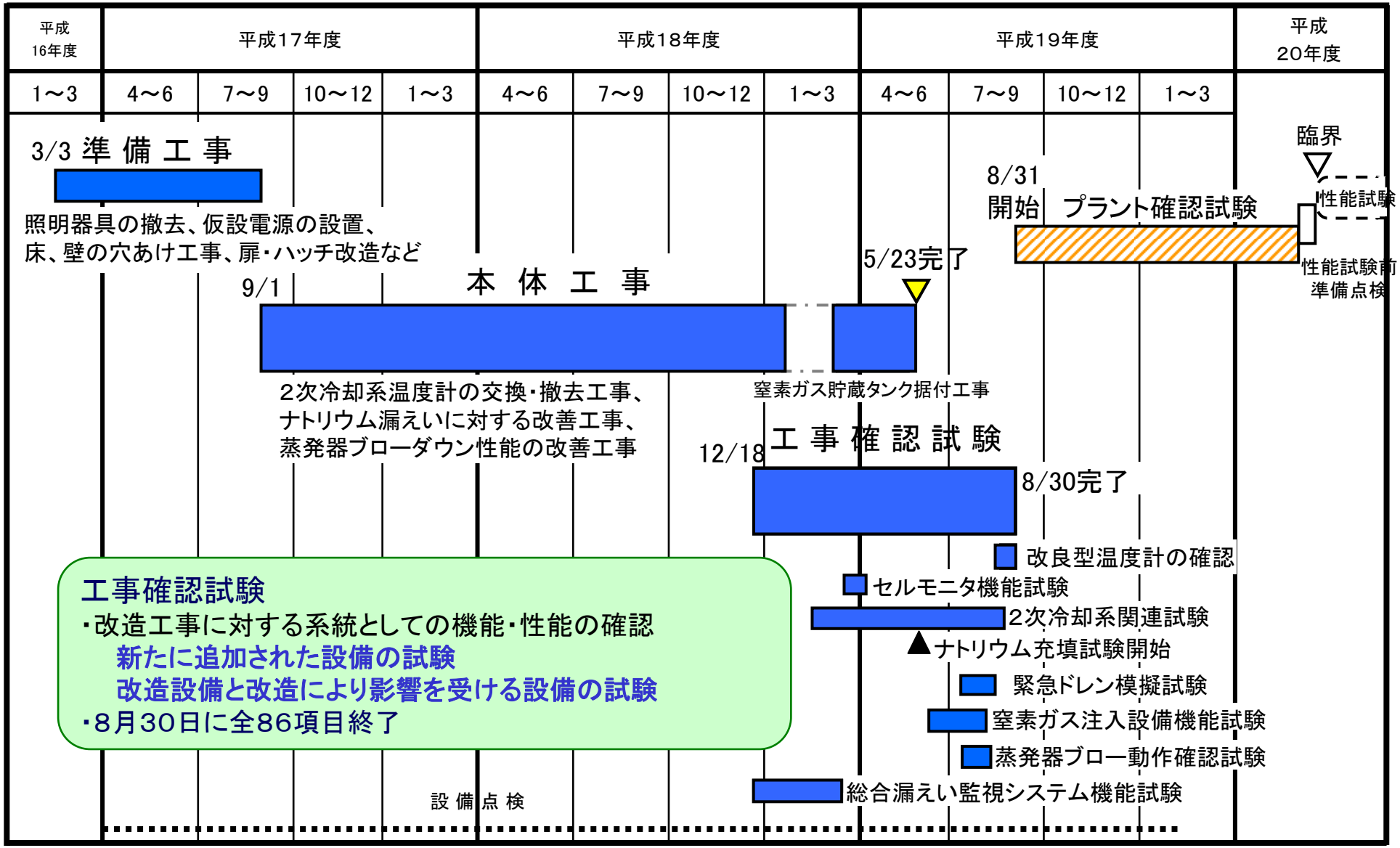
・系統レベルでの機能・性能の確認
　改造設備を除いた停止中・運転中設備の試験
・改造設備も含めたプラントレベルでの機能・性能の確認

141項目

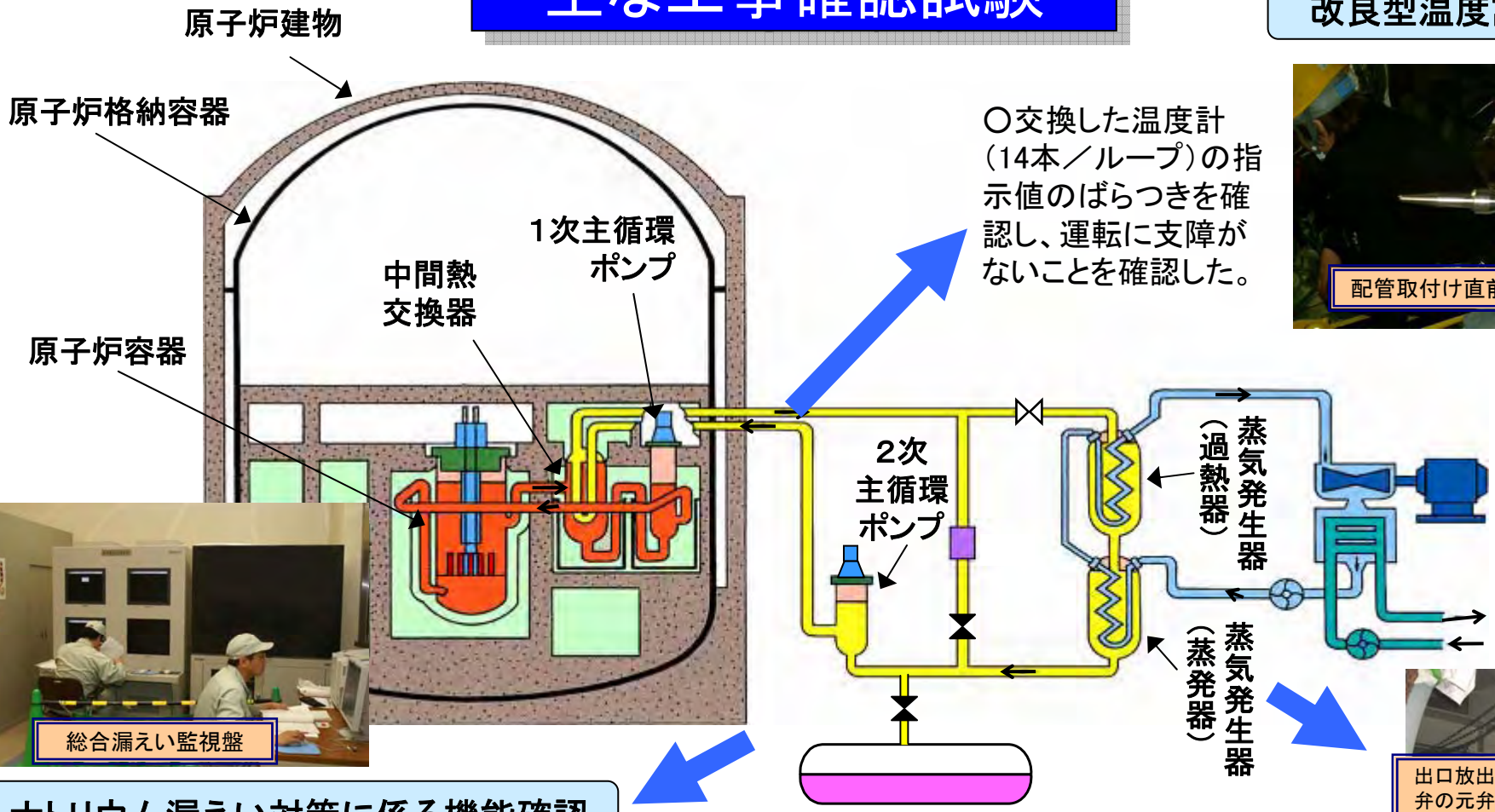
主要試験項目⇒

1次主循環ポンプ運転試験
制御棒駆動系機能確認試験
蒸気発生器伝熱管健全性確認試験（伝熱管全数のECT）
燃料交換後炉心流量確認　など

「もんじゅ」主要工程（工事確認試験）



主な工事確認試験



改良型温度計の確認

○交換した温度計（14本／ループ）の指示値のばらつきを確認し、運転に支障がないことを確認した。

配管取付け直前の温度計

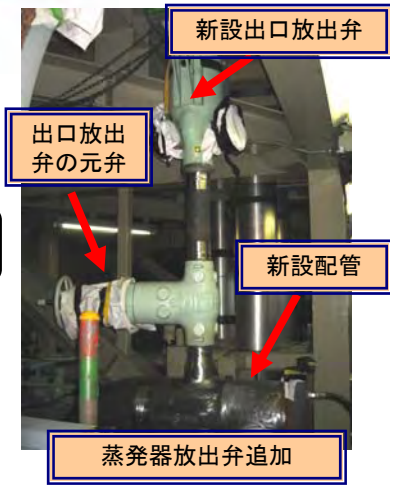
総合漏えい監視盤

ナトリウム漏えい対策に係る機能確認

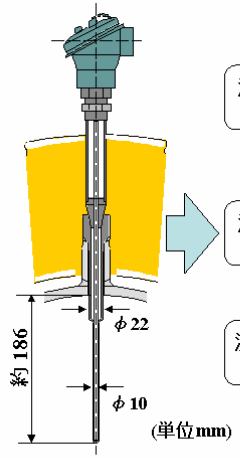
○総合漏えい監視システム機能試験
　ナトリウム漏えいに関する模擬信号を入力し、漏えいの有無、規模、場所等を、モニタに表示することを確認した。
○2次主冷却系ナトリウム緊急ドレン模擬試験
　緊急ドレン一括スイッチにより、25分以内にナトリウムの抜取りが行えることを確認した。
○窒素ガス注入設備機能試験
　対象区画に対し窒素ガスが注入でき、酸素濃度が低下することを確認した。

蒸発器ブロー動作確認試験

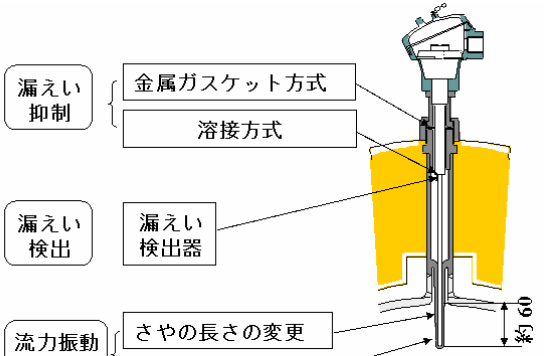
○水漏えい模擬信号を入力することにより、水漏えい発生時の動作が計画通り進行することを確認した。



1. 改良型温度計の確認



従来の温度計

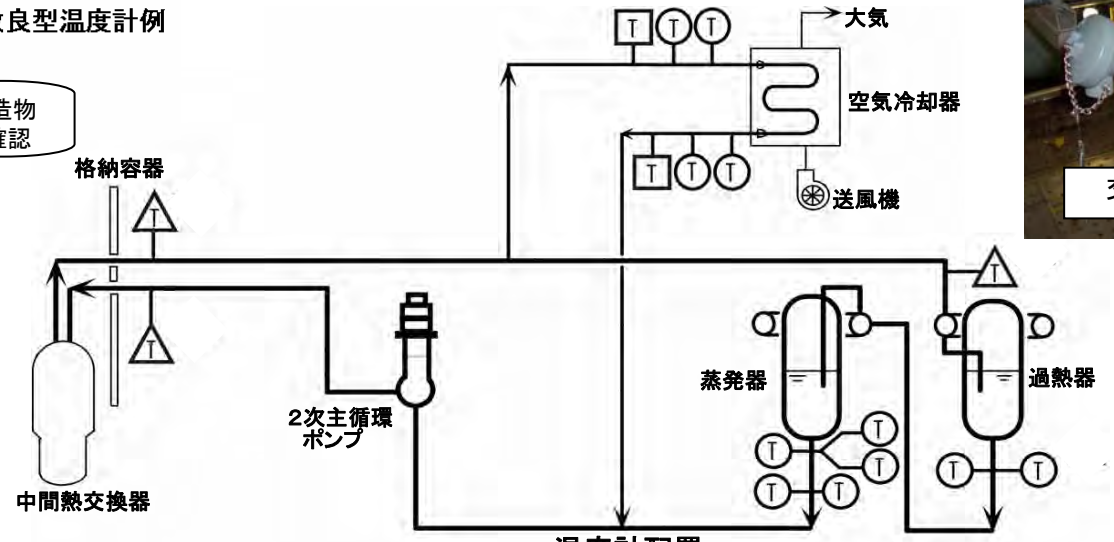


改良型温度計例

日本機械学会「配管内円柱構造物の流力振動評価指針」により確認

改良型温度計の構造

温度計交換にあたって、材料検査、外観検査、寸法検査、据付検査、耐圧漏えい検査を行い、確実に温度計さやが取付けられていることを確認している。



交換した温度計（14本／ループ）の指示値のばらつきを確認し、運転に支障がないことを確認した。

凡例
- T：交換する温度計（制御用）（配管内への突出し長さ：110mm）
- T：交換する温度計（監視用）（配管内への突出し長さ：60mm）
- T：撤去する温度計

試験期間：平成19年8月29日～8月30日

2. ナトリウム漏えい対策に係る機能確認

セルモニタ

漏えいに伴う
煙や熱を感知

ナトリウム漏えい検出器（既設）

漏えい配管を特定

監視カメラ

漏えい箇所の映像

継電器盤

セルモニタ
監視盤

中央計算機

換気空調設備
停止信号

**セルモニタ
機能確認試験**

模擬信号入力により、
空調設備自動停止機
能を確認。

総合漏えい監視システム
（中央制御室）

漏えい箇所、漏えいの程度等を
踏まえ対応を決定

**総合漏えい監視システム
機能試験**

中央計算機への模擬信
号入力により、漏えい情
報監視機能を確認。

総合漏えい監視シス
テムと組み合わせた、
映像表示機能を確認。

原子炉手動停止

Na緊急ドレン

2次冷却系ドレン配管
（多重化、大口径化）

**2次主冷却系ナトリウム
緊急ドレン模擬試験**

緊急ドレン一括スイッチにより、所定の時間で、ナトリウムがドレンできることを確認。

窒素ガス注入

窒素ガス注入
設備

**窒素ガス注入設備
機能試験**

窒素注入を行い、所定の
時間内に所定の量を注入
できることを確認。

【改善策】

事故時の情報の確実かつ
速やかな情報収集

ナトリウム漏えい量の抑制

漏えいナトリウムによる影
響抑制

2．1　総合漏えい監視システム機能試験

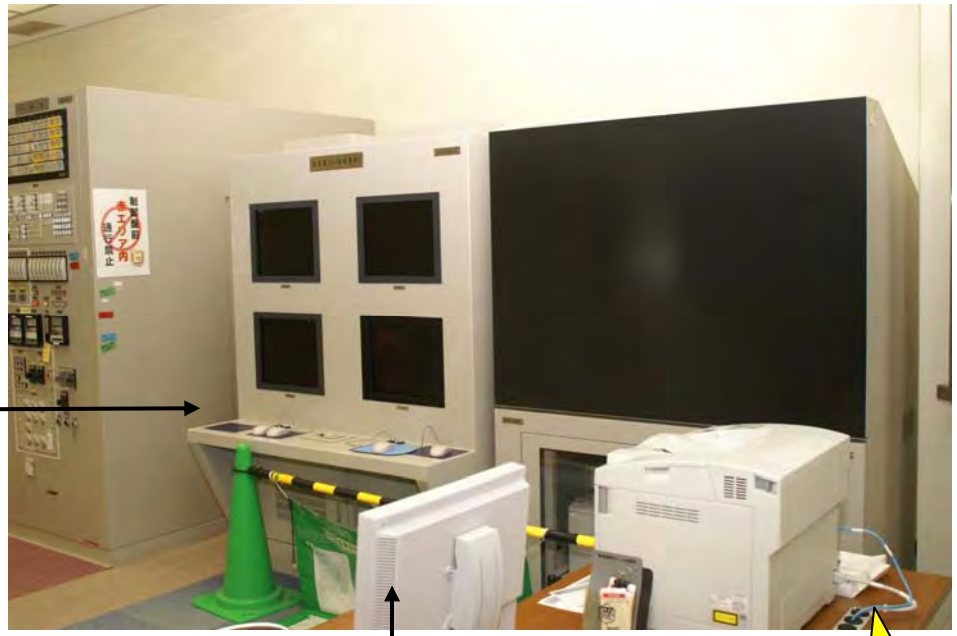
中央計算機より模擬信号を入力し、総合漏えい監視システム側にて正しく受信されることを確認した。

漏えい情報
・漏えい検出器
・セルモニタ

プロセス情報
・ナトリウム液位
など

火災情報
・火災感知器

中央計算機



ITV制御盤

・監視カメラ映像
（空気雰囲気室：180台）

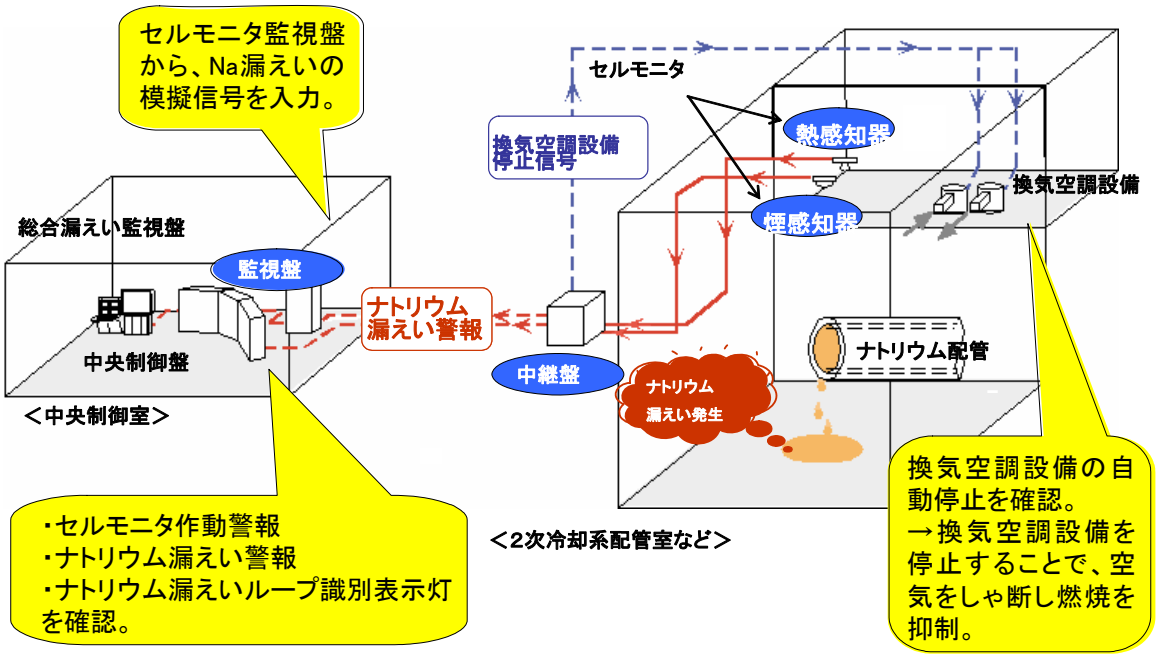
映像

ITV映像の事故時自動切替機能、通常時の表示機能が正常であることを確認した。

中央計算機等より模擬信号を入力し、総合漏えい監視設備にて、漏えい場所・漏えい規模の判定、及び適切な操作ガイドが表示されることを確認した。

試験期間：平成18年12月19日～平成19年3月13日

２．２　セルモニタ機能確認試験



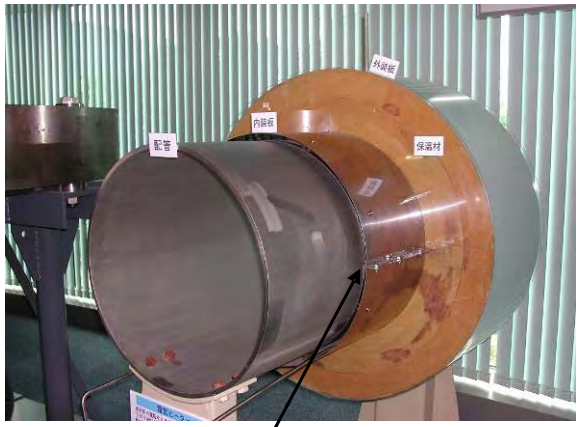
セルモニタ
セルモニタは、火災警報器と同じ原理の煙感知器と熱感知器からなるナトリウム漏えい検知システム。

確認試験実施状況
（中央制御室での警報確認）

試験期間　　：平成19年3月26日～4月9日
試験概況：
セルモニタ(約500点)からのナトリウム漏えい検出模擬信号を入力し、警報・表示灯類の発報、点灯や換気空調設備停止等が正常に作動することを確認するとともに、併せて発報や作動までの時間が10秒以内となることを確認した。

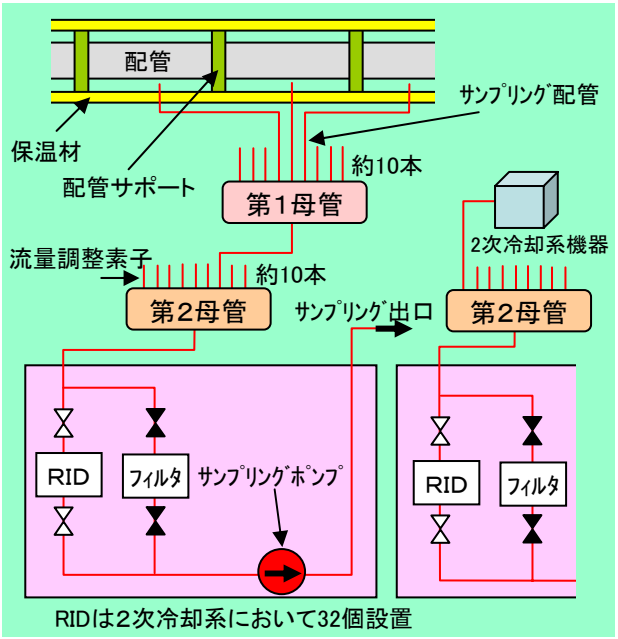
2．3　2次主冷却系ナトリウム漏えい検出装置確認試験

追加・改造を行ったナトリウムの抜取り配管にガスサンプリング型(RID)のナトリウム漏えい検出器を設置した。
又、コールドトラップ＊下部に接触型ナトリウム漏えい検出器を追設した。



配管と内装板との間にあるすき間の空気を常時監視して、微少なナトリウム漏えいを検出する。

ガスサンプリング型漏えい検出器



サンプリングの仕組み

2次系コールドトラップ＊下部での設置状況

＊：ナトリウム中の不純物を除去する装置。

漏れたナトリウムで電極が通電することにより、漏えいを検知する装置で、タンク底部，弁近傍，配管の下部に取り付けられている。

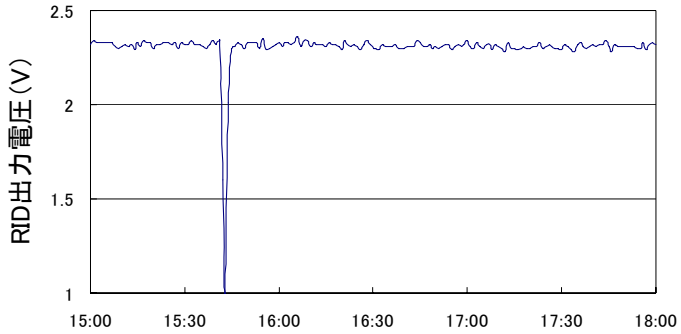
接触型漏えい検出器

試験期間：平成19年4月10日～5月22日（接触型及びガスサンプリング型）
試験概況：
- ナトリウムが漏えいしたことを模擬した信号を入力し、漏えい警報が発報することを確認した。
- 各ラインにおいて所定のサンプリング流量が確保できることなどを確認した。

ナトリウム漏えい検出装置（RID）の誤警報発報について

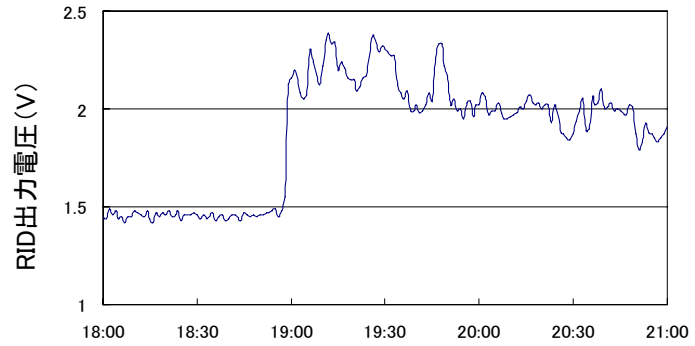
発生日時：平成19年8月7日
発生箇所：Cループ　HD-8
（主としてCループの2次系主循環ポンプの入口配管を監視）

概要：
RID電圧が2.3Vからスケールダウンし、3分後、2.3Vに復旧したことにより警報が発生した。
なお、当該RIDは、翌日の12時50分からスケールダウンが継続し、故障と判断して交換した。



発生日時：平成19年8月28日
発生箇所：Aループ　HD-4
（主としてAループの過熱器入口配管を監視）

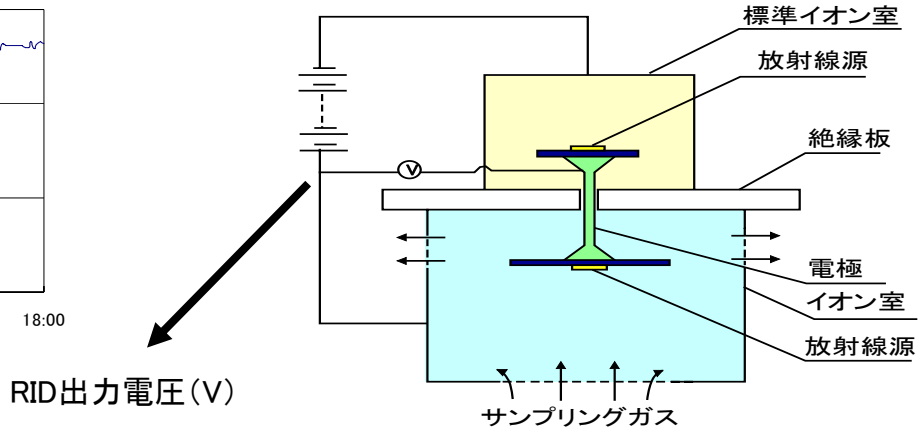
概要：
RID電圧が1.4Vから2.2Vに上昇したことからフィルタに通気し、漏えいがないことを確認した後も、上昇前に比べて変動幅が大きいことから、検出器の故障と判断して交換した。



RIDの原理

RIDは、1m^{3}の空気中に0．1mg以上のナトリウム濃度を検出するものである。

放射線イオン化式検出器（RID）



RID:Radiative Ionization Detector

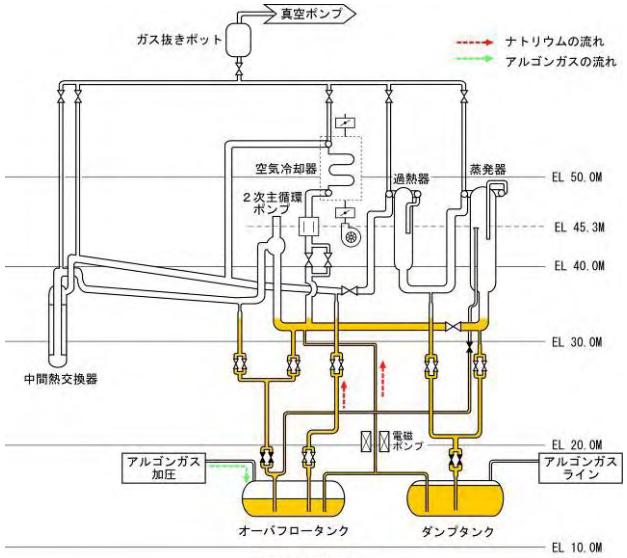
サンプリングガスを導くイオン室と密封された構造の標準イオン室がある。各々のイオン室にはイオン化源であるAm-241を設置している。イオン室にはサンプリングガスを導く構造となっており、ナトリウムエアロゾルが混入するとイオン室内の内部抵抗が増加する。この結果イオン室と標準イオン室間の電圧分担が変化することで、この電圧変化を監視することにより、ナトリウムリークを検知する。

２．４　２次主冷却系ナトリウム充填試験（1/2）

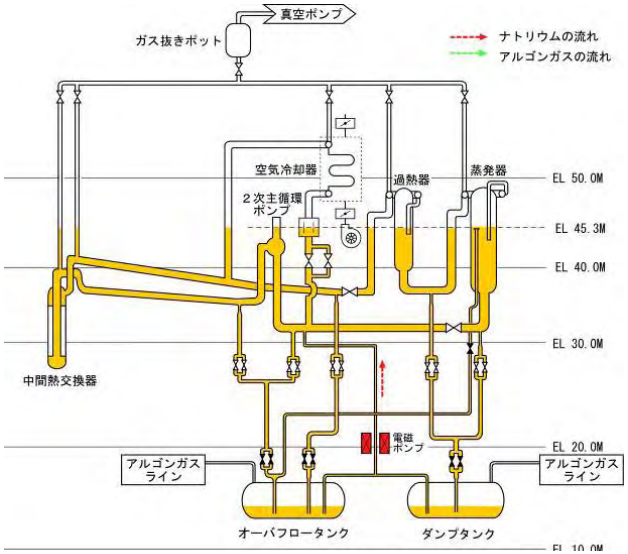
充填試験の概要

２次主冷却系のナトリウム漏えい対策であるナトリウムドレン配管の追加・大口径化、ドレン弁の電動化・多重化等の改造を踏まえた充填手順に従い、ナトリウム充填が手順どおり行えることを確認する。
ナトリウム充填手順は、以下の通りである。

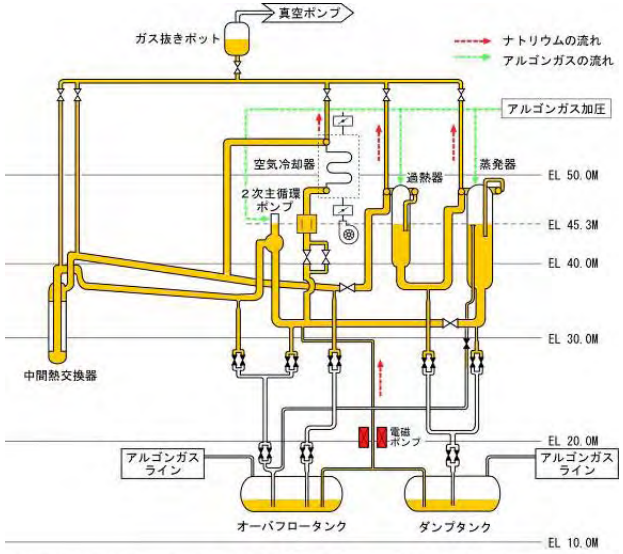
①系統全体（タンク含む）の真空引き後、タンクへのアルゴンガス加圧による加圧充填
②純化系電磁ポンプによる汲み上げ充填
③真空引きと電磁ポンプ運転による高所部の空気冷却器及び蒸気発生器リングヘッダへの充填



①タンクへのアルゴンガス加圧による加圧充填



②純化系電磁ポンプによる汲み上げ充填



③高所部の空気冷却器及び蒸気発生器リングヘッダへの充填

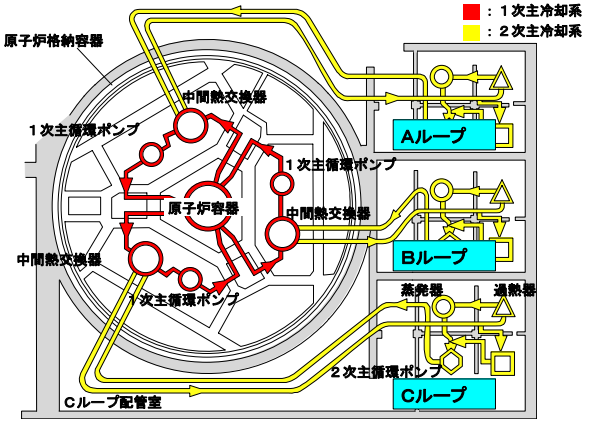
2．4　2次主冷却系ナトリウム充填試験 (2/2)

試験期間：平成19年5月23日～6月6日

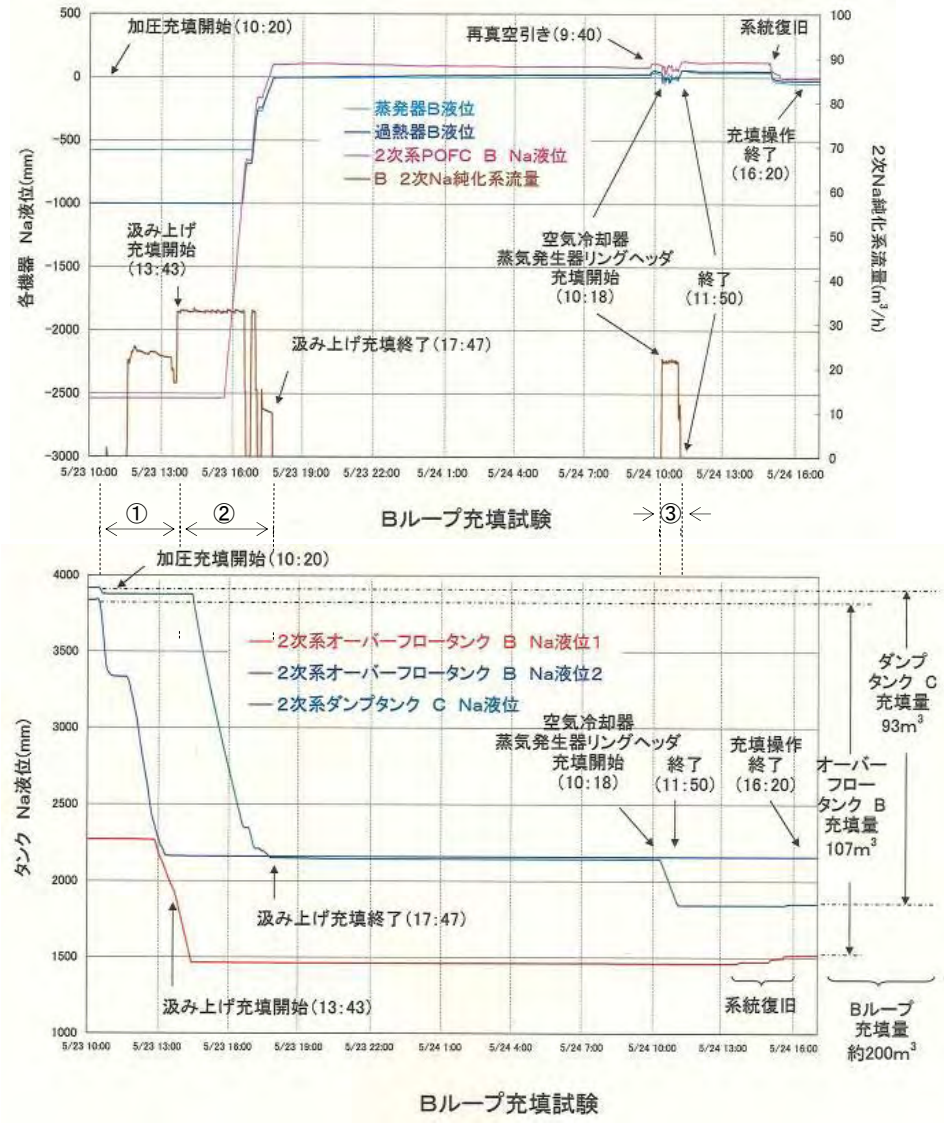
2次主冷却系のナトリウム漏えい対策であるナトリウムドレン配管の追加・大口径化、ドレン弁の電動化・多重化の改造を踏まえた充填手順に従い、ナトリウム充填が問題なく行えることを確認した。

・Aループ充填量：約227m^3
・Bループ充填量：約200m^3
（トレンドデータはBループを示す。）
・Cループ充填量：約228m^3

注：①～③の説明
①タンクへのアルゴンガス加圧による加圧充填
②電磁ポンプによる汲み上げ充填
③真空ポンプと電磁ポンプの連動による高所部の空気冷却器及び蒸気発生器リングヘッダへの充填



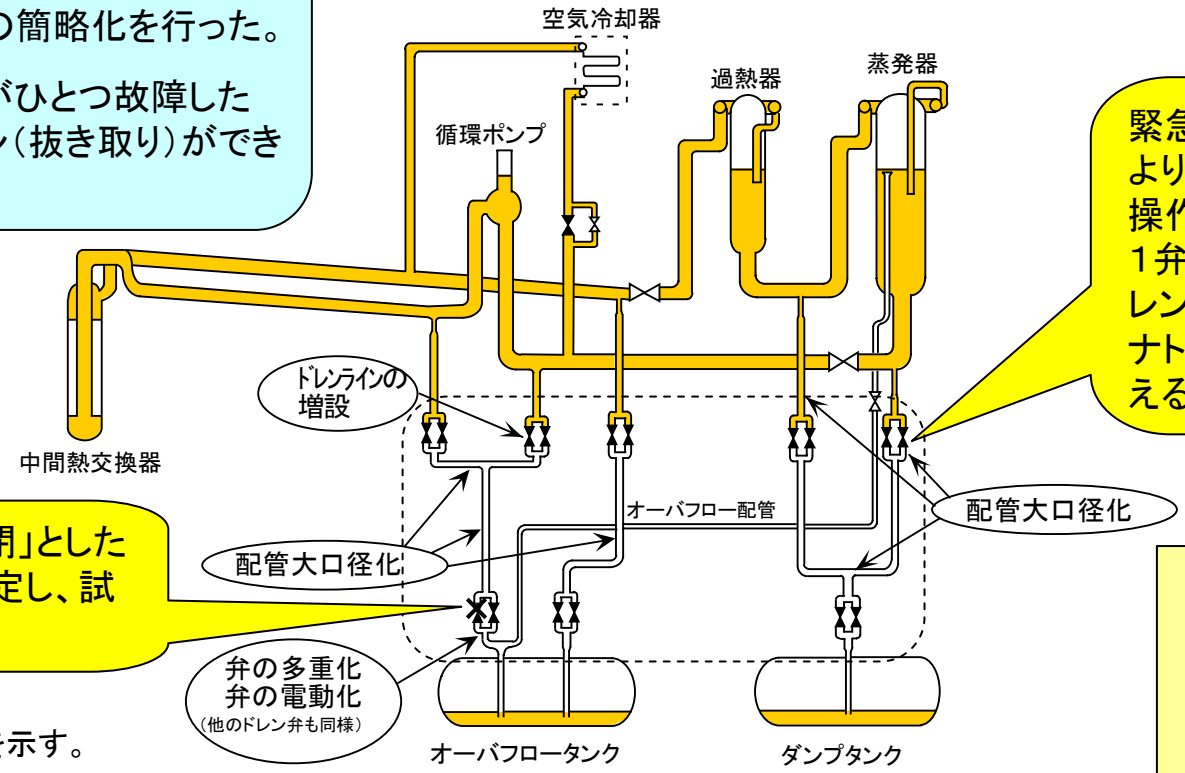
冷却系統の配置



２．５　２次主冷却系ナトリウム緊急ドレン模擬試験

ナトリウムを抜き取る時間を短縮するため、配管の大口径化と抜き取り配管の増設、抜き取り操作の簡略化を行った。

弁を多重化して、弁がひとつ故障した場合でも確実にドレン（抜き取り）ができるようにした。



緊急ドレン一括スイッチにより、緊急ドレン（抜取り）操作を行い、ドレン弁が１弁故障した場合でも、ドレン開始から25分以内で、ナトリウムの抜取りが行えることを確認した。

・ひとつの弁を「閉」とした状態で故障を想定し、試験を実施した。

本図は、Cループを示す。

配管を大口径化

約9～11cm
↓
約11～17cm

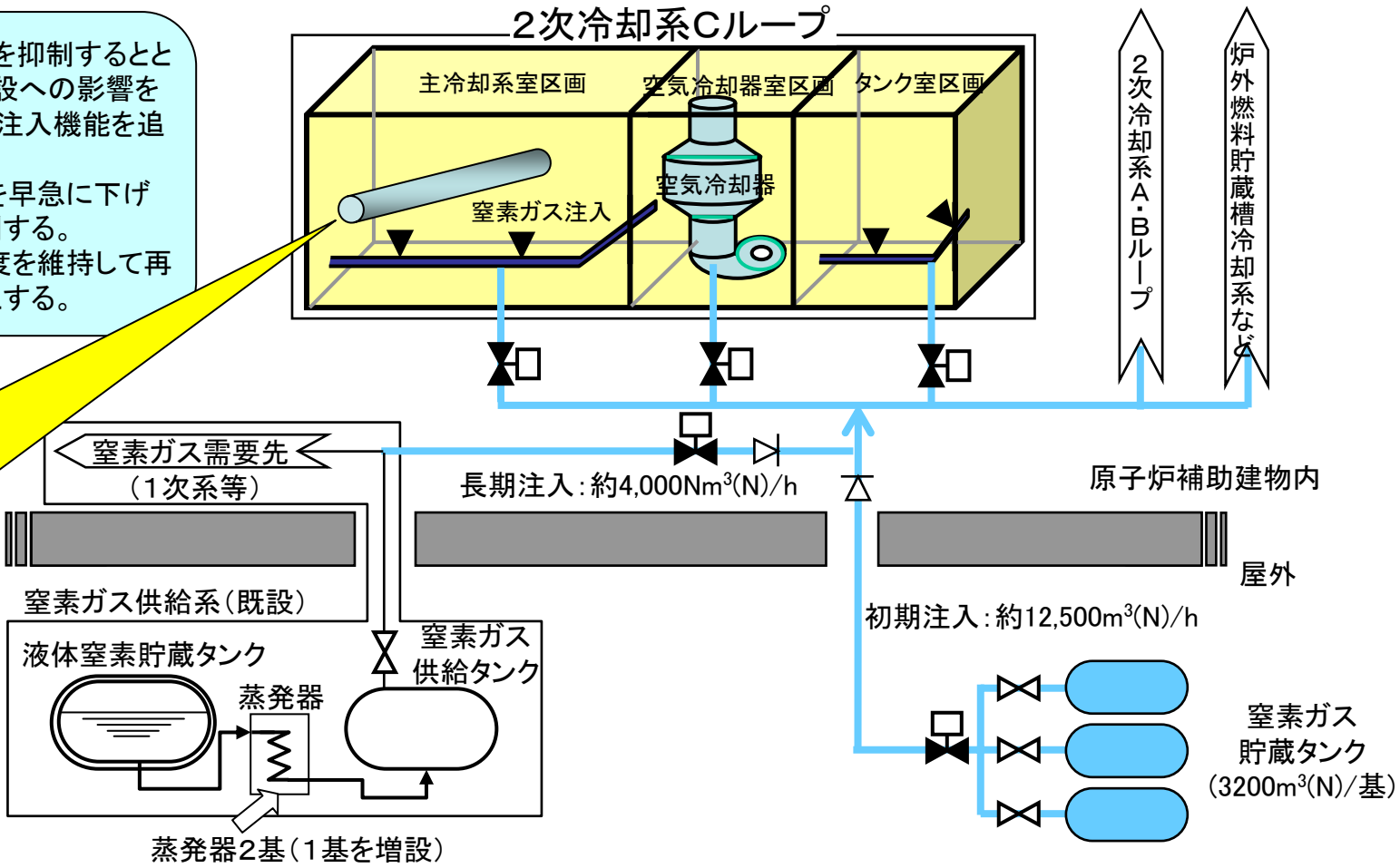
試験期間：平成19年5月18日～平成19年8月14日
試験概況：緊急ドレン操作を行い、ドレン弁がひとつ故障した場合でも、25分以内でナトリウムが抜き取れることを確認した。

＜１弁故障を模擬した場合のドレン時間＞
Aループ　約22分
Bループ　約20分
Cループ　約22分

2．6　窒素ガス注入設備機能試験

漏えいナトリウムの燃焼を抑制するとともに再燃焼を防止し、施設への影響を抑制するため、窒素ガス注入機能を追加した。
・初期注入･･･酸素濃度を早急に下げ燃焼を抑制する。
・長期注入･･･低酸素濃度を維持して再燃焼を防止する。

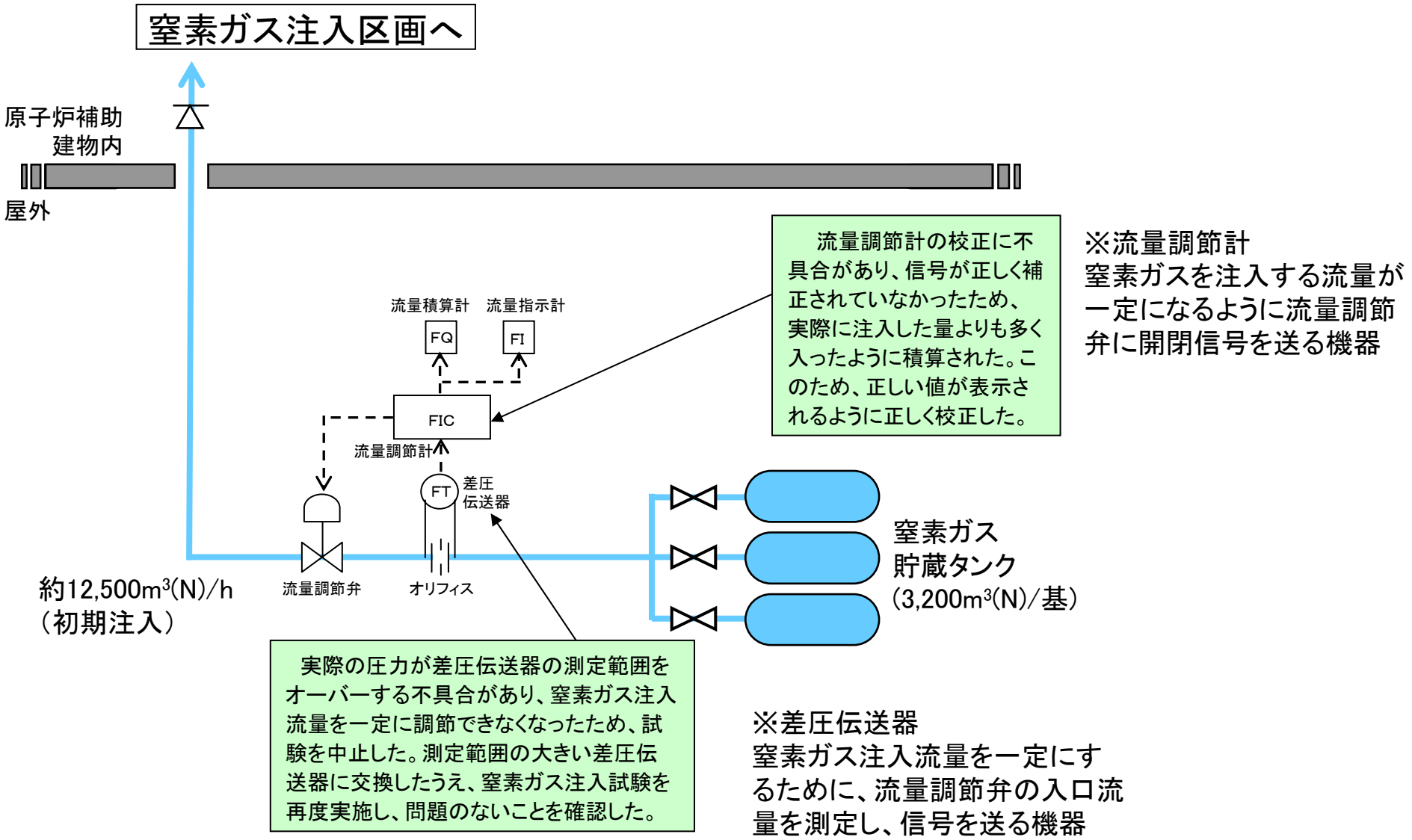
・初期注入において、約9,400m³(N)　の窒素ガスが注入でき、約45分で長期注入に切り替わること。
・区画内で窒素ガスが有効に混合し、酸素濃度が低下すること。
・初期注入及び長期注入において、適切に流量制御が行われること。



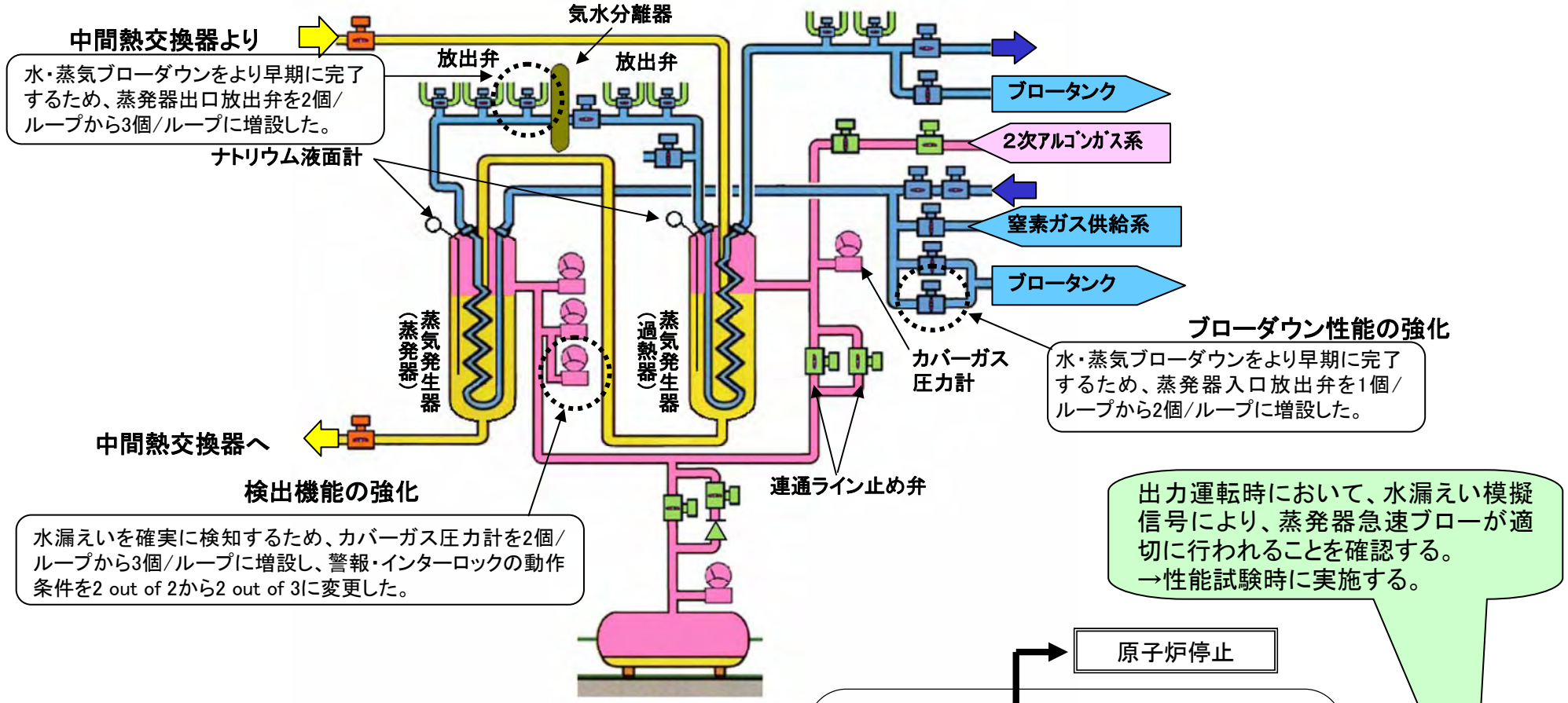
試験期間：平成19年6月20日～8月1日
試験状況：

・2次系ナトリウム配管を設置した区画へ約48分で約9,900m³(N)の窒素ガスが初期注入できることを確認した。
・窒素ガスの注入流量に問題がなく、初期注入から長期注入への切替えが正常に行われることを確認した。
・長期注入への切替え時点での酸素計の平均濃度は、A、Cループ主冷却室区画で約5%、Bループ主冷却室区画で約3%であった。

窒素ガス注入設備機能試験における流量計の不具合

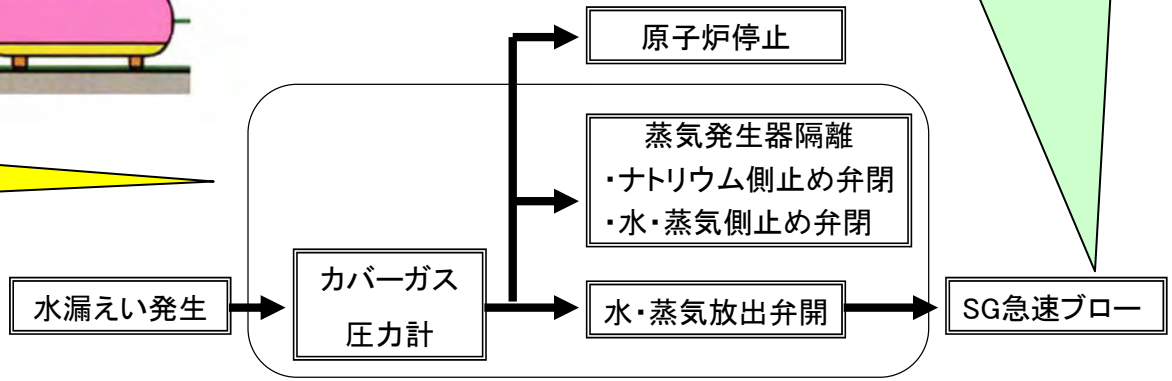


3. 蒸発器ブロー動作確認試験



出力運転時において、水漏えい模擬信号により、蒸発器急速ブローが適切に行われることを確認する。
→性能試験時に実施する。

水漏えい模擬信号を入力し、水漏えい発生時の動作が計画通り進行することを確認した。



試験期間：平成19年7月12日～8月13日

水漏えい発生時の動作

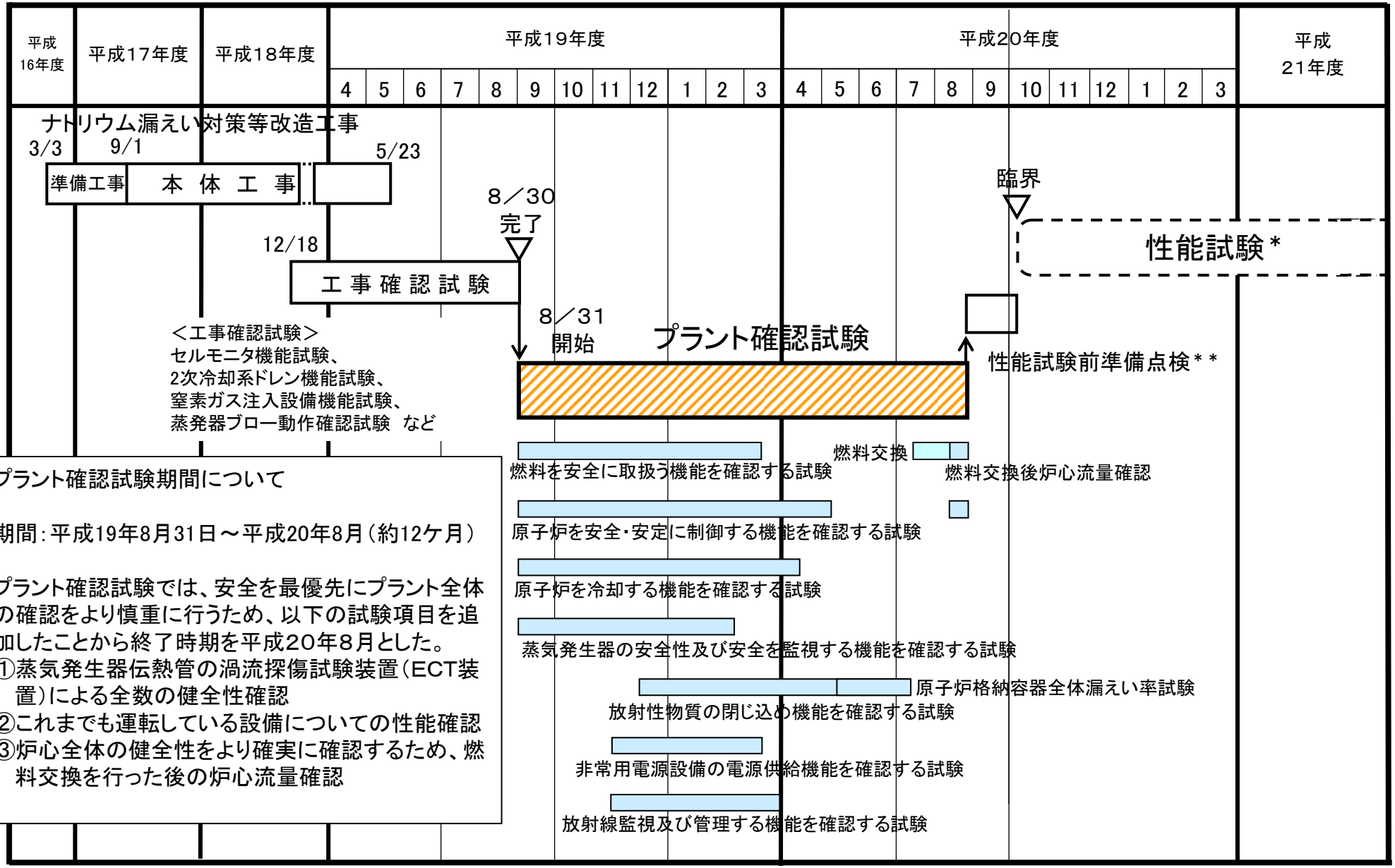
工事確認試験結果

- 窒素ガス注入試験において、流量調節計の密度補正と差圧伝送器の測定レンジの不具合があったが、窒素ガス注入試験をやり直し、所定の性能を確認することができた。

- ナトリウム仮設タンクから2次系へのナトリウム移送確認にあたって、ナトリウム仮設タンク出口弁の動作不良があったが、出口弁を交換することにより、ナトリウムの移送を順調に実施することができた。

- その他、2次主冷却系室の気密性を高めた結果、換気系の風量調整などに苦労した点があったが、全体として、ほぼ計画通りに工事確認試験を終了することができた。

「もんじゅ」主要工程（プラント確認試験）



プラント確認試験期間について

期間：平成19年8月31日～平成20年8月（約12ケ月）

プラント確認試験では、安全を最優先にプラント全体の確認をより慎重に行うため、以下の試験項目を追加したことから終了時期を平成20年8月とした。

①蒸気発生器伝熱管の渦流探傷試験装置（ECT装置）による全数の健全性確認
②これまでも運転している設備についての性能確認
③炉心全体の健全性をより確実に確認するため、燃料交換を行った後の炉心流量確認

＊　性能試験は、地元のご理解を得て実施する。その期間は約2年半を予定している。
＊＊　性能試験前準備点検とは、制御棒駆動機構の作動確認や系統別の弁や電源等の状況の確認。

プラント確認試験

○プラント確認試験は、改造設備を除いた停止中設備、運転中設備の系統レベルでの機能・性能を確認する試験及び改造設備も含めたプラントレベルの機能・性能を確認するための試験である。
○プラント確認試験の項目は、プラントを安全に運転するという視点から選定した。即ち、燃料を安全に取扱う機能の確認、原子炉を安全・安定に制御する機能の確認、原子炉を冷却する機能の確認等の観点から試験項目を設定した。
○試験項目数：141項目

放射性物質を閉じ込める機能を確認する試験

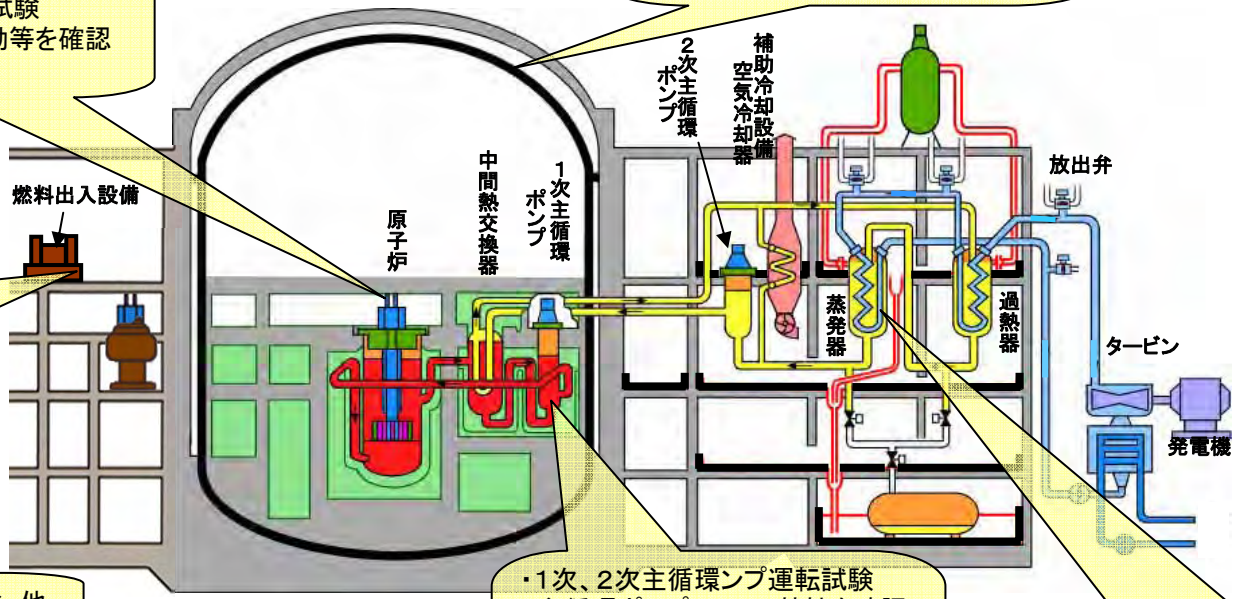
・原子炉格納容器全体漏えい率試験
原子炉格納容器の漏えい率を測定
他

原子炉を安全・安定に制御する機能を確認する試験

・制御棒駆動系機能確認試験
挿入・引抜、スクラム作動等を確認
他

燃料を安全に取扱う機能を確認する試験

・燃料取扱設備運転試験
長期間停止していた燃料取扱設備の機能を確認
・燃料交換後炉心流量確認
燃料集合体に適切に冷却材が流れることを確認
他



・放射線監視装置機能確認試験　他

放射線監視及び管理する機能を確認する試験

・ディーゼル発電機自動負荷確認試験　他

非常用電源設備の電源供給機能を確認する試験

・1次、2次主循環ンプ運転試験
主循環ポンプA～Cの特性を確認
・運転中設備の性能確認
冷却系統に関するインターロック等を確認
他

原子炉を冷却する機能を確認する試験

・蒸気発生器伝熱管健全性確認試験
蒸気発生器の伝熱管の検査を実施
他

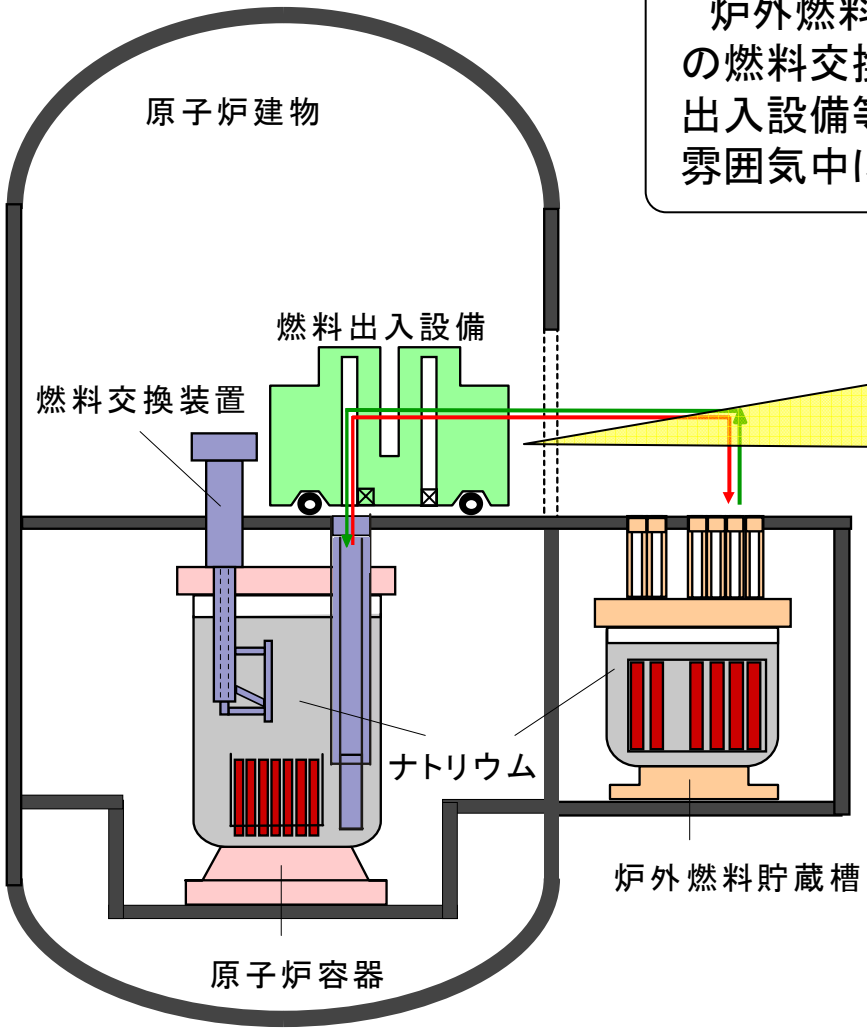
蒸気発生器の安全性及び安全を監視する機能を確認する試験

1　燃料取扱設備運転試験

燃料を安全に取扱う機能を確認する試験（1）

＜設備概要＞

炉外燃料貯蔵設備から炉心までの燃料移送を行い、炉内の燃料交換を行うための設備であり、燃料交換装置、燃料出入設備等から構成される。炉内の燃料交換はナトリウム雰囲気中にて行われる。



・炉心と炉外燃料貯蔵設備との間で試験用炉心構成要素の移送を行い、燃料交換作業が正常に行なわれることをCRTの表示及び補助盤の指示計にて確認する。また、動力電源喪失時における燃料取扱設備の燃料保持機能を確認する。

2　燃料交換後炉心流量確認

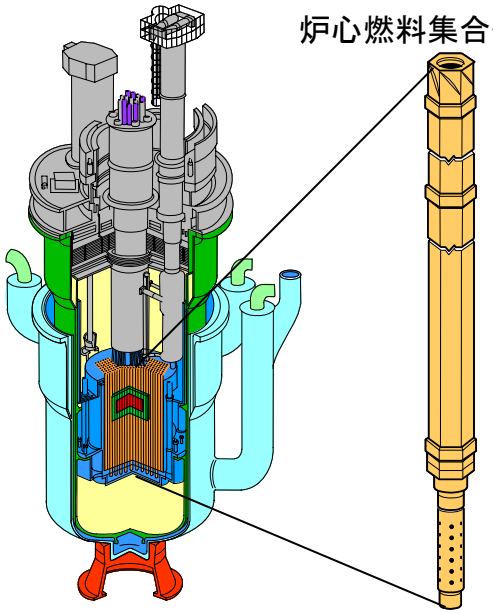
燃料を安全に取扱う機能を確認する試験（2）

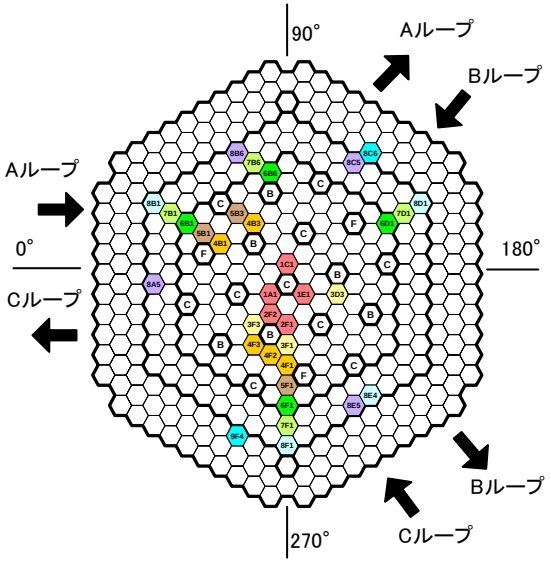
＜目 的＞

保管状態にある燃料集合体は、経年的な影響を考慮してもその機械的健全性に影響を及ぼすことはないと考えるが、機械的健全性評価を補足するための位置付けとして、燃料交換後炉心流量確認を行う。

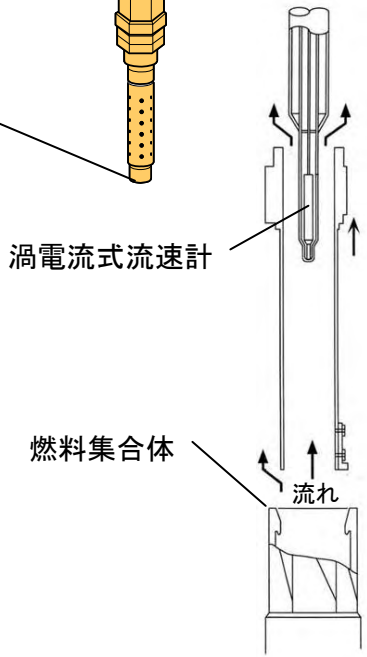
＜試験概要＞

冷却材流量を段階的に変え、既設の燃料集合体出口流速計を用いて出口流速の変化を測定し、燃料交換前の出口流速と比較することによって、新旧の燃料集合体に適切に冷却材が流れることを確認する。





渦電流式流速計設置箇所



○ 燃料集合体出口流速計
燃料集合体出口部分に設置されている渦電流式流速計

３　制御棒駆動系機能確認試験

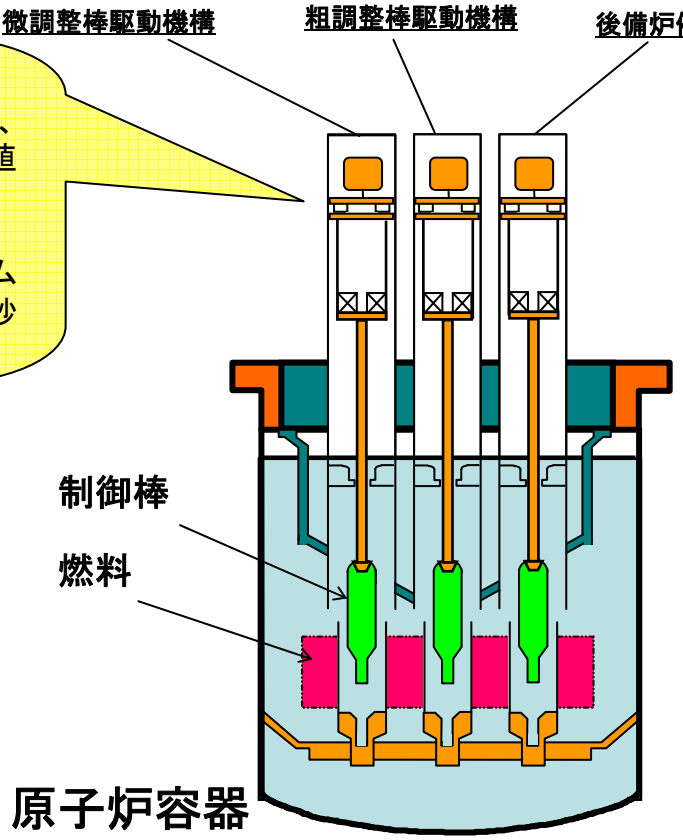
原子炉を安全･安定に制御する機能を確認する試験

＜設備概要＞

制御棒駆動機構は、炉心の反応度を制御（燃焼補償、出力調整、炉停止など）するために制御棒を挿入・引抜させるものであり、主炉停止系の微調整棒駆動機構（3基）及び粗調整棒駆動機構（10基）並びに後備炉停止系の後備炉停止棒駆動機構（6基）の3機種全19基からなっている。

・駆動試験
　各制御棒を上限～下限位置間で駆動させ、正常に駆動すること及び駆動速度が規定値内であることを確認する。
・スクラム特性試験
　各制御棒について、上限位置からスクラム動作させ、全ストロークの85％挿入が1.2秒以内にできることを確認する。

微調整棒
・原子炉出力が変化した時の反応度変化を制御する制御棒
粗調整棒
・原子炉を起動させ、定格出力まで出力を上昇させる制御棒
後備炉停止棒
・万一、調整棒による原子炉停止ができない場合、代わって原子炉を停止する制御棒



制御棒駆動機構の点検状況

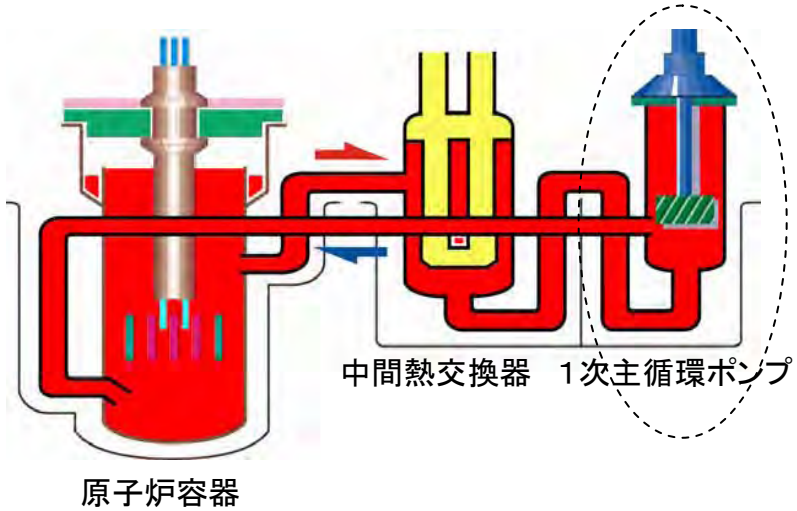
4　1次、2次主循環ポンプ運転試験

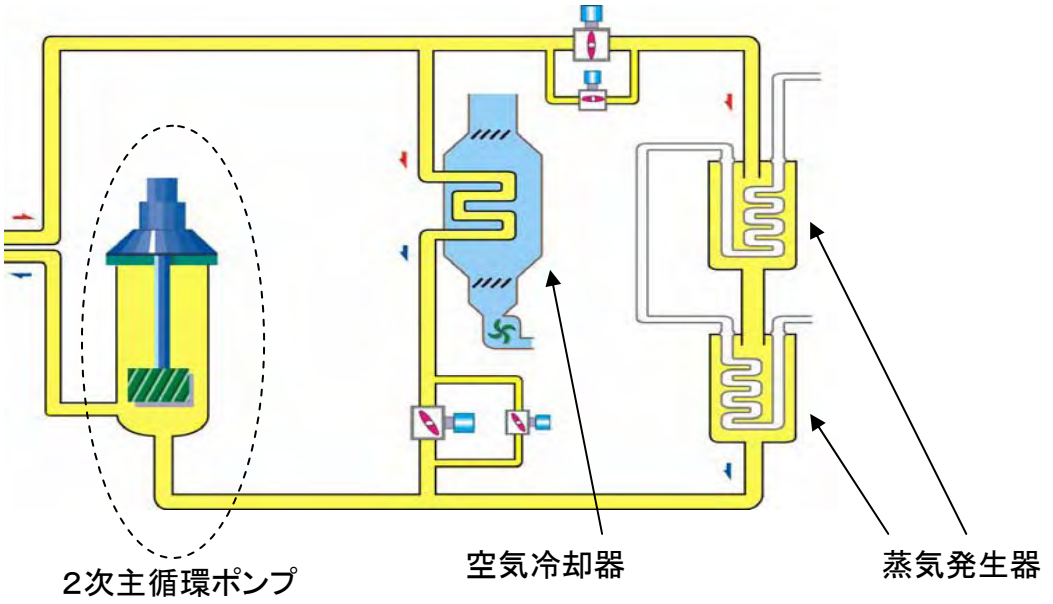
原子炉を冷却する機能を確認する試験（1）

＜設備概要＞

1次、2次主循環ポンプは、冷却材の循環用として使用され、プラント出力運転時の炉心冷却、及び低温停止時や事故時の炉心崩壊熱除去に必要な流量を炉心に供給するためものであり、ループ当たり1基、計3基設置している。

・ポニーモータ運転試験
　主循環ポンプをポニーモータにて運転し、問題なく運転できることを確認する。
・起動試験
　主循環ポンプを主モータにて起動し、ポンプ回転数について、円滑に昇速していくことを確認する。
　なお、8月31日から2次主循環ポンプ（C）の試験を開始し、ポンプが問題なく起動し、37%流量、約1,500m^3/hまで昇速できることを確認した。
　現在も順調に試験を継続している。



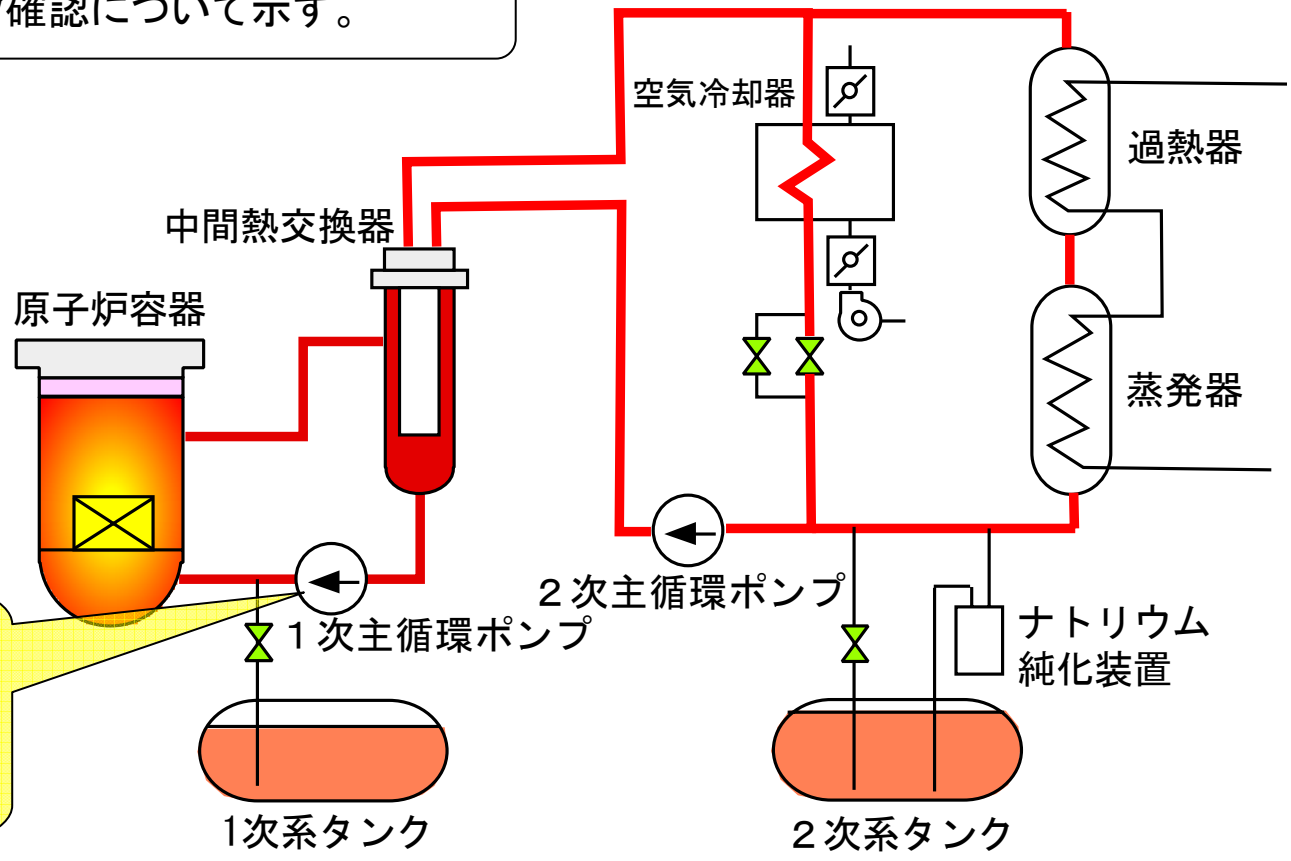


５　運転中設備の性能確認（１次主冷却系設備インターロック確認）

原子炉を冷却する機能を確認する試験（2）

＜試験の背景＞

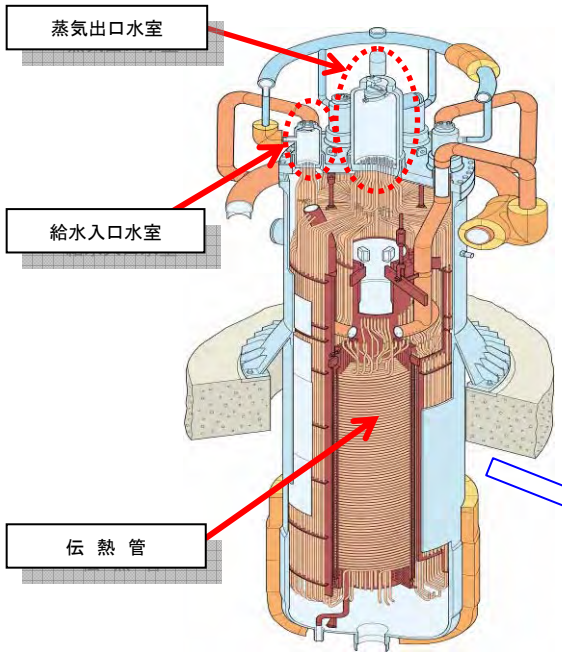
「運転中設備の性能確認」とは、健全性の確認を慎重に行うという観点から、現在運転中の設備についても改めて性能確認を行うこととしたものである。本試験項目の例として、１次主冷却系設備インターロック確認について示す。



・警報試験
　模擬信号を入力し、回転数高などが発報することを確認する。
・インターロック試験
　模擬信号を入力し、ポンプの自動停止やポニーモータによる自動起動を確認する。

6　蒸気発生器伝熱管健全性確認試験

蒸気発生器の安全性及び安全を監視する機能を確認する試験



蒸発器鳥瞰図

※過熱器も同様の確認を実施する。
蒸気発生器の伝熱管材料は蒸発器が低合金鋼で、過熱器はステンレス鋼。

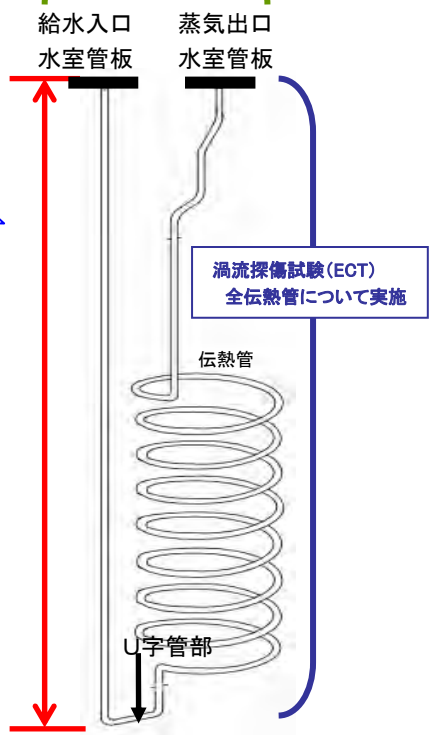
伝熱管本数
・蒸発器：140本
・過熱器：147本

＜設備概要＞

2次主冷却系の熱を、水・蒸気系に伝えるための設備であり、蒸発器と過熱器とから構成される。蒸発器では水を蒸気にし、過熱器はその蒸気をより温度の高い過熱蒸気にする。

試験・検査対象箇所

アルゴンガスリーク試験
全伝熱管について実施
（給水入口水室から蒸気出口水室）



目視検査（CCDカメラ使用）
代表伝熱管について、実施。
検査対象部位は、給水入口管板～U字管部
（CCDカメラが挿入可能な範囲）

健全性確認のための試験・検査の計画

目視検査
CCDカメラにより伝熱管内に著しい腐食減肉、浸食がないことの確認

渦流探傷試験（ECT）
伝熱管内面に腐食減肉がないことの確認

アルゴンガスリーク試験
胴側（アルゴンガス）から伝熱管（窒素ガス）へのアルゴンガス漏れ量を測定し、微小な貫通欠陥がないことを確認

⇩

蒸気発生器伝熱管の健全性確認
上記3項目の試験・検査結果を総合的に評価し、
蒸気発生器伝熱管の健全性を確認
（使用前検査の判定基準を満足していることを評価）

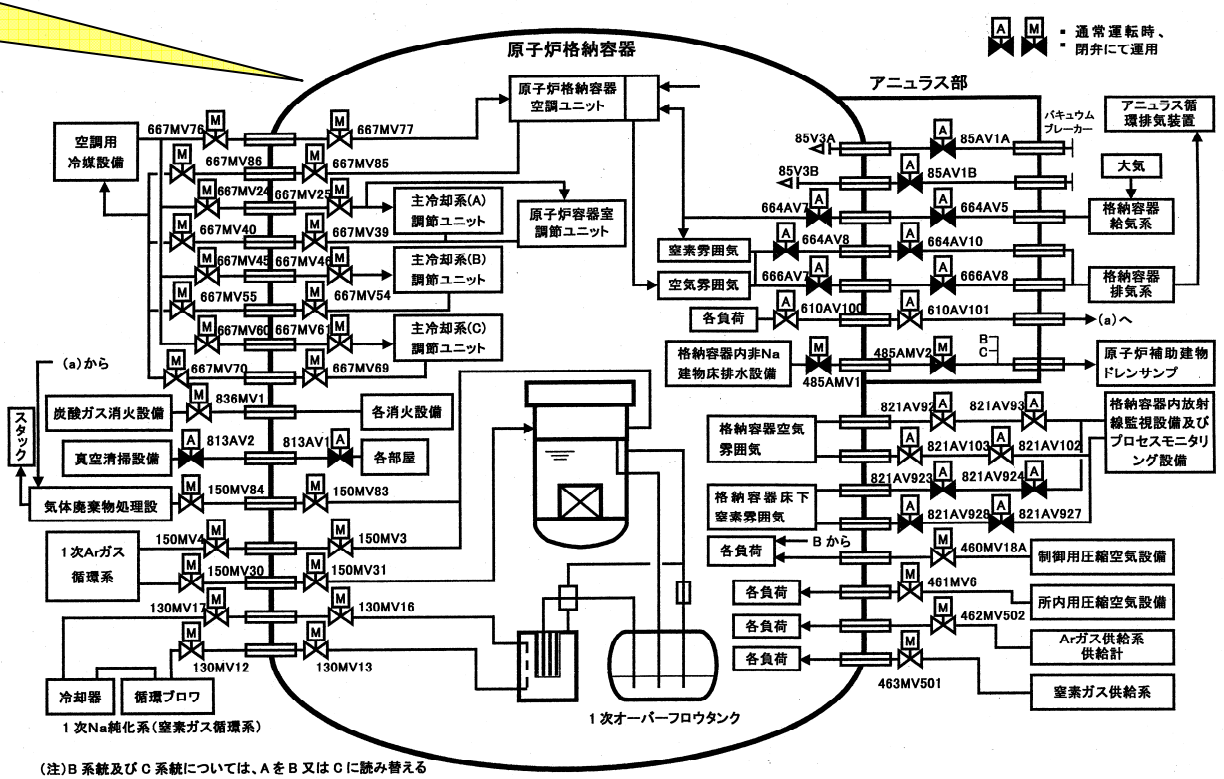
7　原子炉格納容器全体漏えい率試験

放射性物質を閉じ込める機能を確認する試験

＜設備概要＞

原子炉格納容器は事故時に原子炉からの放射性物質の放散を防止するものであり、格納容器本体とその付属設備であるエアロック、機器搬入口、配管貫通部、電線貫通部及び隔離弁等からなる鋼製容器である。

・原子炉格納容器の漏えい率が許容値以下であることを確認する。



原子炉格納容器隔離弁一覧

８　ディーゼル発電機自動負荷確認試験

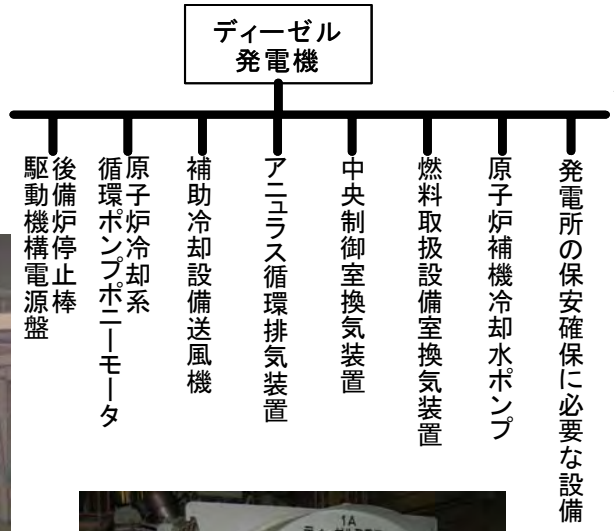
非常用電源設備の電源供給機能を確認する試験

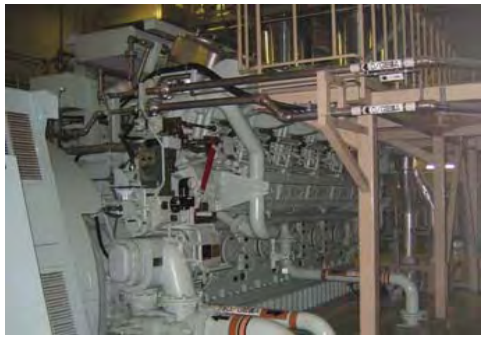
＜設備概要＞

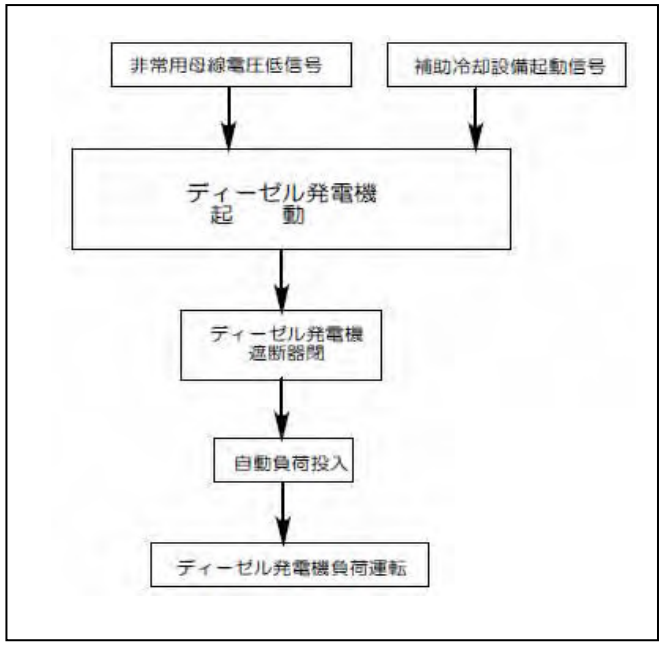
外部の電源がなくなった時に発電所の保安を確保し、安全に係る施設が動作するための電源を供給する設備である。各非常用高圧母線に対応して、計3台設置されている。

・外部の電源がなくなった状態を模擬して、ディーゼル発電機が自動起動し、保安上必要とされる負荷が順次投入されることを確認する。

主要負荷 図







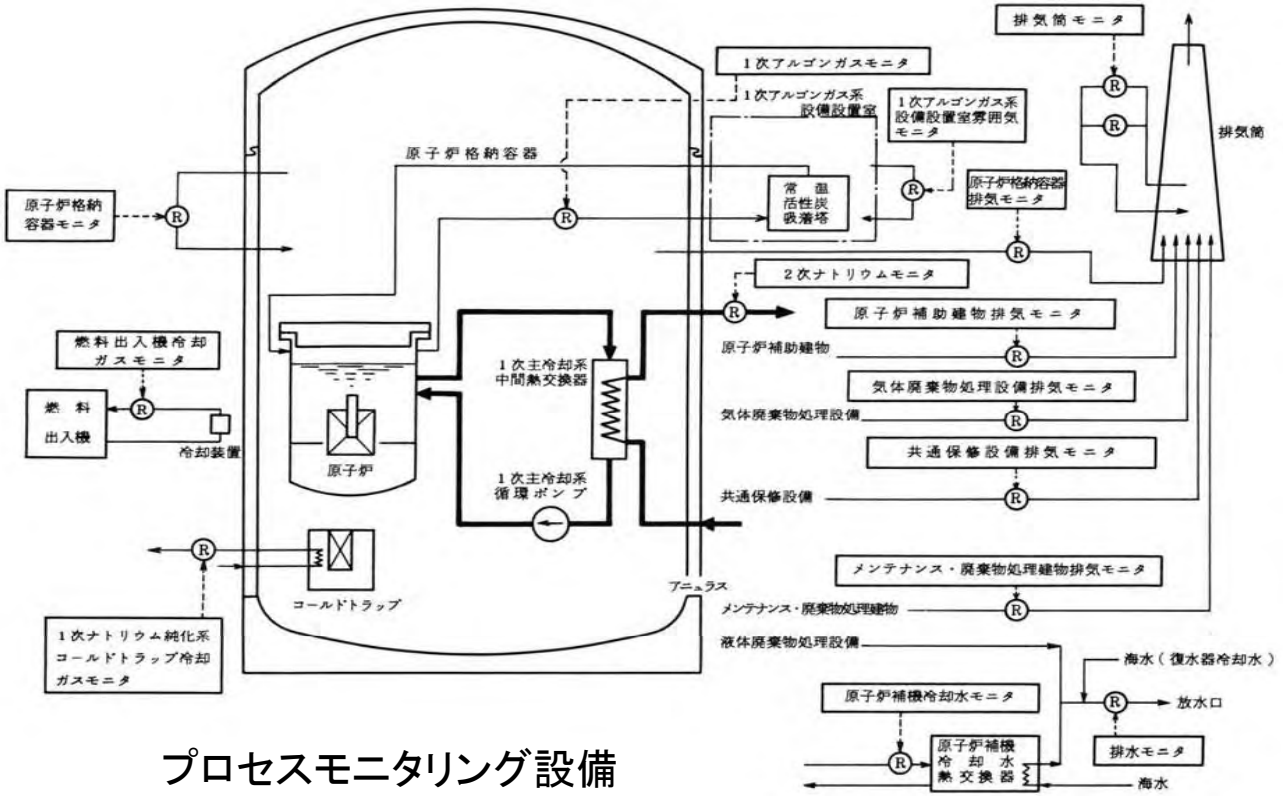
９　放射線監視装置機能確認試験

放射線監視及び管理する機能を確認する試験

＜設備概要＞

放射線監視装置（プロセスモニタリング設備、エリアモニタリング設備、固定モニタリング設備）は、発電所の通常運転時、運転時の異常な過渡変化時及び事故時において、発電所敷地周辺の放射線監視を行うとともに、操作員、作業員等が管理区域に立ち入る際の線量管理を行うための設備である。

模擬信号を入力し、警報が正常に動作することを確認する。



プロセスモニタリング設備

ま と め

・平成18年12月18日から工事確認試験を開始し、8月30日に、全86項目を終了しました。

・引き続いて8月31日よりプラント確認試験を開始しました。今後も安全の確保を最優先に、確実にプラント確認試験を進め、より安全な施設になったことを確認した上で、運転再開を目指します。

・試験を通して得られる各種データを踏まえ、「もんじゅ」の安全な運転に努めていくとともに、今後のFBR開発に反映させていきます。