

柏崎刈羽原子力発電所3号機  
定期検査中における制御棒1本の予期せぬ動作について

平成22年12月

東京電力株式会社

## 目 次

1. 件名	1
2. 事象発生の日時	1
3. 事象発生 of 電気工作物	1
4. 事象発生時の運転状況	1
5. 事象の概要	1
6. 事象発生時の状況	1
7. 原因調査結果	3
8. 事象発生 of 推定メカニズム	11
9. 推定メカニズム of 確証確認	11
10. 推定原因	12
11. 再発防止対策	12
添付資料	14

## 1. 件名

柏崎刈羽原子力発電所3号機  
定期検査中における制御棒1本の予期せぬ動作について

## 2. 事象発生の日時

平成22年12月1日 17時45分  
(操作していない制御棒が動作したと判断)

## 3. 事象発生の電気工作物

計測制御系統設備 制御材駆動装置 制御棒駆動機構

## 4. 事象発生時の運転状況

第10回定期検査中

## 5. 事象の概要

柏崎刈羽原子力発電所3号機(沸騰水型、定格電気出力110万kW)は第10回定期検査中のところ、平成22年12月1日、燃料装荷に伴う制御棒駆動水圧系水圧制御ユニット(以下、「HCU」という。)の復旧作業の一環として、現場運転員が制御棒駆動水に関連する弁を操作した際、14時48分、中央制御室において「制御棒ドリフト」警報が発生した。

中央制御室の運転員は直ちに制御棒の位置表示を確認したところ、185本ある制御棒のうちの1本(38-59)について、本来全引抜位置「48」ポジションにあるべきところ、一時的に「46」ポジションに変わり、その後全引抜位置「48」ポジションとなったことを確認した。また、当該制御棒ドリフト表示灯が点灯していることを確認した。

その後、当該制御棒の位置表示装置の機能に異常のないことが確認されたことから、17時45分、事故・故障等検討委員会にて当該制御棒が実際に全引抜位置から一時的に「46」ポジションに動作(2ポジションで1ノッチ=約15cm移動)したと判断し、操作していない制御棒の挿入動作による、実用発電用原子炉の設置、運転に関する規則第19条の17第十三号に該当するものと判断した。

なお、本事象による外部への放射能の影響はなかった。

(添付資料-1~5)

## 6. 事象発生時の状況

(1) 12月1日、運転員はHCU隔離解除のため中央制御室にてTBM-KY\*を行き、1時29分より以下の体制で燃料装荷作業を開始した。

- a. 中央制御室の監視：運転員1名
- b. 現場での隔離解除監視：運転員1名
- c. 現場での隔離解除操作：運転員1名

※ TBM-KY：作業前に関係者が集まって行う、当日の作業内容や作業に伴う人身災害の予防等に関する打合せ。

(2) 同日13時50分～13時57分にかけて、制御棒挿入セルにダブルブレードカイド（以下、「DBG」という。）を移動した。

(3) 同日14時45分より、現場運転員2名は制御棒（42-59）よりHCU隔離解除操作を行い、その後制御棒（38-59）のHCU隔離解除操作を開始した。HCU隔離解除操作は以下のとおり。

・制御棒（42-59）

手順① 引抜配管止弁（102弁） 全閉 → 全開

手順② 挿入配管止弁（101弁） 全閉 → 全開

手順③ 駆動水配管止弁（103弁） 全閉 → 全開

手順④ 排水配管止弁（105弁） 全閉 → 全開

・制御棒（38-59）

手順① 引抜配管止弁（102弁） 全閉 → 全開

手順② 挿入配管止弁（101弁） 全閉 → 全開

手順③ 駆動水配管止弁（103弁） 全閉 → 全開

※排水配管止弁（105弁）の全開操作については、「制御棒ドリフト」警報が発生したことから、中央制御室運転員の指示により操作を中止。

(4) 14時48分、中央制御室に「制御棒ドリフト」警報が発生。直ちに中央制御室運転員は当該制御棒の位置ポジションをプラント表示装置（以下、「液晶画面」という。）にて確認したところ、制御棒（38-59）が一時的に表示が「46」となり、その直後「99」※<sup>1</sup>→「\*」※<sup>2</sup>に表示が変わったことを確認した。また、中央制御室制御盤の全制御棒炉心表示ユニットにて当該制御棒のドリフトを示す表示灯が点灯していることを確認した。さらに、中央制御室制御盤の液晶画面等で、当該制御棒位置が全引抜位置（「48」ポジション）にあることを確認した。

なお中央制御室運転員は「制御棒ドリフト」警報の発信を受け、直ちに現場運転員へHCU隔離解除操作を中止するよう指示した。

現場運転員は中央制御室運転員からの制御棒（38-59）のHCU隔離解除操作中止の指示により、HCU隔離解除操作手順④を実施せず手順③で作業を中断した。

※1：制御棒の位置がラッチ位置にないことを示す表示

※2：制御棒が全引抜位置にある場合、液晶画面表示上「48」ポジションは「\*」と表示

(5) 15時04分、中央制御室運転員はドリフトリセット操作を行い、中央制御室制御盤の全制御棒炉心表示ユニットにて当該制御棒ドリフト表示灯が消灯すること、および「制御棒ドリフト」警報の復帰を確認した。

(6) 保全箇所により制御棒手動制御系（RMC S）、制御棒位置指示系（R P I S）の状況を確認した結果、RMC S/R P I S盤にはエラー表示が出ておらず、故

障を示す警報は発生していないこと、またRMCS/RPIS盤の故障で特定の制御棒のみドリフトを発生させる不具合モードは考え難いことから、17時45分、本事象は当該制御棒が実際に全引抜位置から一時的に「46」ポジションに動作し、その後、元の全引抜位置に戻ったものと判断した。

(7) 事象発生時の制御棒駆動系の状態は、以下のとおりであった。

- ・原子炉水頭圧：約0.2MPa（原子炉水位とHCU間での水頭圧）
- ・充填水圧力：アキュムレータの水側は、ほぼ大気圧（アキュムレータの水側圧力はブロー済。なお、充填水ヘッド圧力は約1.3MPa）
- ・駆動水圧力：約0.33MPa（事象発生時、制御棒を動作させていなかったため、駆動水圧力は低めに調整）
- ・冷却水圧力：約0.22MPa
- ・排出ヘッド圧力：排出ヘッドは冷却水ヘッドに接続されているため、冷却水圧力と同じ（約0.22MPa）

（添付資料－6）

## 7. 原因調査結果

(1) 当該制御棒の動作事象発生に関する原因調査結果

当該制御棒の動作事象に関して、要因分析表に基づき調査を行った。

（添付資料－7）

a. HCU構成機器の調査

(a) スクラム弁の異常

①アキュムレータが充填された状態でスクラム入口弁（126弁）がシートリーク（または開状態）し、さらにアキュムレータ充填水入口弁（113弁）がシートリーク（または開状態）していた場合、挿入配管止弁（101弁）の開操作により充填水圧力が制御棒を押し上げる方向（挿入側）に作用し、今回の事象が発生する可能性があるが、スクラム入口弁（126弁）の漏えい確認を行った結果、シートリークがなかったことから今回の事象の要因とはならない。

（添付資料7 - 添付 - 1）

②スクラム出口弁（127弁）がシートリーク（または開状態）していた場合、引抜配管止弁（102弁）の開操作により制御棒駆動系（以下、「CRD」という。）ピストン上部圧力が減圧されCRDピストン下部に原子炉の水頭圧が加わることで制御棒を押し上げる方向（挿入側）に作用し、今回の事象が発生する可能性があるが、スクラム排出止弁（112弁）が全閉状態であったことから今回の事象の要因とはならない。仮にスクラム出口弁（127弁）が開状態でスクラム排出止弁（112弁）がシートリークしていた場合であっても、事象発生時の原子炉の水頭圧は0.2MPa程度であり、制御棒の押し上げに必要な圧力（約0.4MPa以上）を下回っていた。

（添付資料7 - 添付 - 2 図1）

(b) 方向制御弁の異常

①引抜側方向制御弁（120弁）がシートリーク（または開状態）し、さらに排水配管止弁（105弁）がシートリーク（または開状態）していた場合、挿入配管止弁（101弁）の開操作により冷却水が逆流し制御棒を押し上げる方向（挿入側）に作用するため、今回の事象が発生する可能性があるが、事象発生時の冷却水圧力は約0.22MPaであったことから、仮に排水配管止弁（105弁）がシートリーク（または開状態）していたとしても制御棒の押し上げに必要な圧力（約0.4MPa以上）を下回っていたことから今回の事象の要因とはならない。

（添付資料7 - 添付 - 2 図2）

②挿入側方向制御弁（121弁）がシートリーク（または開状態）し、さらに排水配管止弁（105弁）がシートリーク（または開状態）していた場合、排出ヘッダ圧力が原子炉圧力より低いと、引抜配管止弁（102弁）の開操作により原子炉水が逆流し、制御棒を押し上げる方向（挿入側）に作用するため、今回の事象が発生する可能性があるが、排出ヘッダに接続された冷却水ヘッダの圧力は事象発生時約0.22MPaであり、原子炉の水頭圧（約0.2MPa）を上回っていたことから、仮に排水配管止弁（105弁）がシートリーク（または開状態）していた場合、冷却水が逆流し制御棒を下げる方向（引抜側）に作用するため今回の事象の要因とはならない。

（添付資料7 - 添付 - 2 図3）

③引抜側方向制御弁（122弁）がシートリーク（または開状態）していた場合、引抜配管止弁（102弁）と駆動水配管止弁（103弁）の開操作により駆動水圧力（約0.33MPa）が制御棒を下げる方向（引抜側）に作用するが、制御棒を押し上げる方向（挿入側）に作用しないため今回の事象の要因とはならない。

④挿入側方向制御弁（123弁）がシートリーク（または開状態）していた場合、挿入配管止弁（101弁）と駆動水配管止弁（103弁）の開操作により駆動水圧力（約0.33MPa）が制御棒を押し上げる方向（挿入側）に作用し、今回の事象が発生する可能性があるが、事象発生時の駆動水圧力は0.33MPa程度に調整されており、制御棒の押し上げに必要な圧力（約0.4MPa以上）を下回っていたことから今回の事象の要因とはならない。なお、挿入側方向制御弁（123弁）と引抜側方向制御弁（122弁）間の漏えい確認を行った結果、漏えい量は許容漏えい量（2cc/min）を下回る約0.5cc/minであった。また、挿入側方向制御弁（123弁）の分解点検を行った結果、異常は認められなかったことから、異物等の混入による影響はなかった。

（添付資料7 - 添付 - 2 図4, 添付 - 3）

(c) HCU配管内の異常

HCU内の配管にエア等が混入し、圧縮された状態で隔離されていた場合、挿入配管止弁（101弁）の開操作によりエア等の蓄圧が開放されることで制御棒

を押し上げる方向（挿入側）に作用し、今回の事象が発生する可能性がある。

また、運転員への聞き取りからも、挿入配管止弁（101弁）の開操作時に若干の流水音が確認されたことから、CRDへの挿入駆動圧が存在していた可能性がある。

HCU配管内に滞留するエアについては入念にベントを実施しているものの若干のエアが残留する可能性はあり、この場合に残留エアを圧縮する加圧源となりうる各弁（駆動水配管止弁（103弁）、冷却水配管止弁（104弁）、排水配管止弁（105弁）、アキュムレータ充填水入口弁（113弁））についてシートリークの有無を確認した結果、シートリークは認められなかった。

アキュムレータ充填入口弁（113弁）のシートリーク確認時にアキュムレータドレン弁（107弁）を開操作したところ、当該ドレン弁より気体が流出した。このため、アキュムレータの窒素（以下「N<sub>2</sub>」という。）側が8.4MPaで封入された状態、充填水側が大気圧状態での漏えい確認を行った結果、0.1cc/min程度の漏えいが認められた。

これらのことから、HCU配管に混入したエア等に、アキュムレータ内から漏れたN<sub>2</sub>が混入し、蓄圧した可能性があることが分かった。

（添付資料7 - 添付 - 4, 7）

(d) スクラムパイロット弁の異常

スクラムパイロット弁（139弁）が開し、スクラム出入口弁（126弁、127弁）が開状態となった場合、挿入配管止弁（101弁）の開操作によりアキュムレータの圧力がスクラム入口弁（126弁）を経由して制御棒を押し上げる方向（挿入側）に作用し、今回の事象が発生する可能性があるが、事象発生直後スクラム出入口弁（126弁、127弁）が閉していたことを中央制御室運転員が全制御棒炉心表示ユニットにて確認したことから今回の事象の要因とはならない。

（添付資料7 - 添付 - 6, 7）

(e) パイロット空気配管等の異常

スクラムパイロット弁（139弁）駆動用のエア配管継手部やダイヤフラムからエアが漏れ、当該弁がフェール動作（弁が開方向に動作）し、スクラム出入口弁（126弁、127弁）が開状態となった場合、挿入配管止弁（101弁）の開操作によりアキュムレータの圧力がスクラム入口弁（126弁）を経由して制御棒を押し上げる方向（挿入側）に作用し、今回の事象が発生する可能性があるが、事象発生直後スクラム出入口（126弁、127弁）が閉していることを中央制御室運転員が全制御棒炉心表示ユニットにて確認したことから今回の事象の要因とはならない。

（添付資料7 - 添付 - 6, 7）

(f) ベント弁の異常

①挿入側配管ベント弁（F501弁）がシートリーク（または開状態）していた場合、CRDピストン下部圧力は減圧されるため原子炉の水頭圧が制御棒を下

げる方向（引抜側）に作用するが、制御棒を押し上げる方向（挿入側）に作用しないことから今回の事象の要因とはならない。

- ②引抜側配管ベント弁（F502弁）がシートリーク（または開状態）していた場合、CRDピストン上部圧力は減圧され原子炉の水頭圧が制御棒を押し上げる方向（挿入側）に作用し、今回の事象が発生する可能性があるが、引抜側配管ベント弁（F502弁）下流のホース接続部で漏えい確認を行った結果、漏えいはなかった。また、事象発生時に原子炉の水頭圧は0.2MPa程度であり制御棒の押し上げに必要な圧力（約0.4MPa以上）を下回っていたことから今回の事象の要因とはならない。

（添付資料7 - 添付 - 2 図5, 添付 - 5）

（g）冷却水配管止弁の異常

冷却水配管止弁（104弁）がシートリーク（または開状態）していた場合、挿入配管止弁（101弁）の開操作により冷却水圧力が制御棒を押し上げる側（挿入側）に作用し、今回の事象が発生する可能性があるが、事象発生時の冷却水圧力は約0.22MPaであり、制御棒の押し上げに必要な圧力（約0.4MPa以上）を下回っていたことから今回の事象の要因とはならない。

（添付資料7 - 添付 - 2 図6）

b. CRD系統の異常

（a）CRD駆動水差圧変動（上昇）の調査

挿入側方向制御弁（123弁）がシートリーク（または開状態）していた場合、駆動水圧力の変動（上昇）により駆動水圧力が制御棒を押し上げる方向（挿入側）に作用し、今回の事象が発生する可能性があるが、事象発生時の駆動水差圧は0.33MPa程度に調整されており制御棒の押し上げに必要な圧力（約0.4MPa以上）を下回っていた。また、挿入側方向制御弁（123弁）を取外して単体での漏えい確認により漏えいはなかったこと、分解点検の結果シートパスの痕跡も見られなかったことから、異物等の混入による影響はなく、今回の事象の要因とはならない。

（添付資料7 - 添付 - 2 図4）

（b）CRD冷却水差圧変動（上昇）の調査

冷却水圧力の変動（上昇）により冷却水配管止弁（104弁）のシート機能が低下（またはシートリーク）した場合、挿入配管止弁（101弁）の開操作により冷却水圧力が制御棒を押し上げる側（挿入側）に作用し、今回の事象が発生する可能性があるが、冷却水差圧の変動は確認されておらず、冷却水差圧低警報（設定値：0.082MPa以下）が継続していたことから今回の事象の要因とはならない。なお、定期検査中で制御棒への冷却水が必要とされないときは、冷却水圧力は低く調整しており、通常、冷却水差圧低警報は継続している。

（添付資料7 - 添付 - 2 図6, 添付 - 7）

(c) リターンラインの構成不備による冷却水差圧上昇の調査

リターンラインの構成不備により冷却水差圧が上昇して冷却水配管止弁（104弁）のシート機能が低下（またはシートリーク）した場合、挿入配管止弁（101弁）の開操作により冷却水圧力が制御棒を押し上げる側（挿入側）に作用し、今回の事象が発生する可能性があるが、事象発生前からリターンラインに系統構成を行っており冷却水圧力が上昇する可能性はないこと、冷却水差圧低警報（設定値：0.082MPa以下）が継続していたことから今回の事象の要因とはならない。

（添付資料7 - 添付 - 2 図6, 添付 - 7）

c. HCU隔離解除の誤操作の調査

(a) 手順書の不備の調査

HCU隔離解除操作手順に不備がある場合、誤った手順に従って操作することによって制御棒が挿入側に動作し、今回の事象が発生する可能性があるが、これまで実績のある手順書を使用していたこと、制御棒（38-59）のHCU隔離解除操作前に制御棒（42-59）のHCUの隔離解除操作を行った際に問題がなかったことから今回の事象の要因とはならない。

（添付資料7 - 添付 - 7）

(b) 弁操作順序の間違いの調査

手順どおりにHCU隔離解除操作を行わない場合、制御棒が挿入側に動作し、今回の事象が発生する可能性があるが、運転員への聞き取り調査の結果、HCU隔離解除操作は中操からの指示者に加え、現場では2名一組で手順書およびチェックシートを使用して操作しており、操作順序の間違いはなかったことから今回の事象の要因とはならない。

（添付資料7 - 添付 - 7）

(2) HCU点検・操作実績調査

a. 今回の定期検査におけるHCUの点検・操作実績の調査

(1)の原因調査結果より、HCU配管内に混入したエア等にアキュムレータ内から漏れた $N_2$ が混入し、蓄圧した可能性があることから、充填水ライン（スクラム入口（126弁）～アキュムレータ間）へのエア等の混入の可能性、アキュムレータ内から漏れた $N_2$ がエア等に混入（以下、「 $N_2$ ・エア」という。）し蓄圧した可能性、さらに充填水ラインに蓄圧した $N_2$ ・エアが挿入配管元弁（101弁）側に移動し挿入配管止弁（101弁）の開操作により $N_2$ ・エアの蓄圧が開放される可能性について検討するため、今回の定期検査における当該HCUの点検・操作実績について調査した。

その結果、HCU点検のためにアキュムレータの充填水をブローした際（平成19年7月27日）、およびスクラム弁リーク試験時（平成20年7月23日）に、充填水ライン内にエア（合計約20cc）が溜まる可能性があった。その後、平成2

1年9月7日にアキュムレータの充填水側が大気圧の状態で $N_2$ を約8.8MPaまで加圧していることから、この時点より、アキュムレータからHCU配管内へ $N_2$ が漏れ出て、充填水ライン内に溜まったエアに $N_2$ が混入し、蓄圧されてきた可能性がある。

また、平成22年10月26日のCRDベント・動作確認後の平成22年11月15・16日にスクラム入口弁（126弁）を定期事業者検査／原子炉保護系インターロック機能検査にて10分～20分程度開しており、挿入配管止弁（101弁）入口側に $N_2$ ・エアが移動した可能性があることが確認された。

なお、今回、充填水ラインに溜まったエア（大気圧で20cc）にアキュムレータから漏れ込んだ $N_2$ が混入し、約8.4MPa程度に蓄圧された状態（ $N_2$ ・エア20cc）となり、これが挿入配管止弁（101弁）開操作時に制御棒を押し上げるために必要な駆動圧（約0.4MPa以上）まで体積膨張すると、 $N_2$ ・エアの体積は400ccとなる。これは、制御棒を1ノッチ駆動する際の制御棒駆動機構内のピストン下部の体積変化分（約400cc（ピストン下部面積： $26.3 \times 10^{-4} m^2 \times 1$ ノッチ分の高さ：約15cm））と同等であることから、今回蓄圧された $N_2$ ・エアが1ノッチ程度制御棒を押し上げる可能性があることが評価結果より得られた。

なお、本事象発生前に実施した中越沖地震後の設備点検では、当該制御棒の駆動機構に異常のないことを確認している。

（添付資料7－添付4、添付資料－8）

#### b. 過去の定期検査におけるHCUの点検・復旧工程の調査

今回の定期検査は中越沖地震後の対応を伴うものであるが、中越沖地震以前の3号機の一般的な定期検査では今回と同様の事象は発生していないことから、今回の定期検査におけるHCU点検・復旧工程と、過去の一般的な定期検査におけるHCU点検・復旧工程について比較調査を行った。

その結果、今回の定期検査では、燃料装荷時に保安規定上動作可能であることが要求される原子炉保護系計装の確認に加えて、中越沖地震後の系統機能試験として、通常定期検査では燃料装荷後に実施する原子炉保護系インターロック機能検査（本検査ではスクラム入口弁（126弁）を実際に開動作させる）を、燃料装荷前に実施していた。これにより、蓄圧した $N_2$ ・エアが挿入配管止弁（101弁）側に移動し、その後のHCU隔離解除時に挿入配管止弁（101弁）の開操作により $N_2$ ・エアの蓄圧が開放され、制御棒が挿入した可能性が考えられる。

一方、中越沖地震以前の定期検査では、原子炉保護系インターロック機能検査は燃料装荷後の原子炉復旧から系統構成までの間に実施するため、燃料装荷前までにスクラム入口弁（126弁）を開することがなく、燃料装荷のためのHCU隔離解除前に $N_2$ ・エアが挿入配管止弁（101側）に移動することはないことから、今回のような事象は発生しない。なお、スクラム入口弁（126弁）は燃料装荷後のスクラム試験時に開し、このときHCU配管内の $N_2$ ・エアが排出されるが、この

ときは制御棒を実動作（実際に挿入）させることから、問題とはならない。

（添付資料 7－添付 4）

### c. 中越沖地震後に起動した 1 号機及び 5 号機の調査

今回の 3 号機と同様、中越沖地震後の対応として、燃料装荷のための HCU 隔離解除前に原子炉保護系インターロック機能検査を実施した 1 号機及び 5 号機の HCU 点検・復旧工程と今回の 3 号機の HCU 点検・復旧工程について比較調査を行った。

#### （a）1 号機の調査結果

1 号機第 15 回定期検査においては、燃料装荷のための HCU 隔離解除前に原子炉保護系インターロック機能検査を実施していることから、今回の定期検査における HCU 点検・復旧工程と、1 号機第 15 回定期検査における HCU 点検・復旧工程について比較調査を行った。

その結果、1 号機第 15 回定期検査においては、原子炉保護系インターロック機能検査前に、挿入配管元弁（101 弁）～スクラム入口弁（126 弁）間は水抜きされており、原子炉保護系インターロック機能検査後に挿入配管元弁（101 弁）～スクラム入口弁（126 弁）間を水張りして CRD ベント・動作確認を行うこととしていたことから、アキュムレータからスクラム入口弁（126 弁）間の HCU 配管内に  $N_2$ ・エアが混入していても、原子炉保護系インターロック機能検査に伴いスクラム入口弁（126 弁）が開いた際に  $N_2$ ・エアが膨張し、蓄圧が開放され、さらにその後の CRD ベント時に膨張した  $N_2$ ・エアが排出されたと考えられる。そのため、今回のような事象は発生していない。

（添付資料 7－添付 4）

#### （b）5 号機の調査結果

1、3 号機と同様、5 号機においても、燃料装荷のための HCU 隔離解除前に原子炉保護系インターロック機能検査を実施していることから、今回の定期検査における HCU 点検・復旧工程と、5 号機第 12 回定期検査における HCU 点検・復旧工程について比較調査を行った。

その結果、5 号機の HCU 点検・復旧工程と今回の 3 号機の点検・復旧工程は同様であり、類似事象の有無を確認したところ、2 件の類似事象が確認された。当該事象は、全燃料取出し状態において、原子炉保護系インターロック機能検査後の CRD ベント・動作確認（原子炉保護系インターロック機能検査前の CRD ベント・動作確認から期間が開いたため実施）のための HCU の隔離解除操作の際に、2 体の制御棒において「制御棒ドリフト」警報\*が発生したものである。

※ 全燃料取出し状態において発生した事象であるため、実用発電用原子炉の設置、運転に関する規則第 19 条の 17 第十三号には該当しない。

以下に 5 号機でのそれぞれの事象の概要、調査結果を示す。

#### ○ 制御棒（10－39）

平成 21 年 12 月 21 日、燃料装荷前の CRD ベント・動作確認のため、制御棒（10－39）の HCU 隔離解除操作を行ったところ、「制御棒ドリフト」警報が発生すると共に、中央制御室 CRT 上の制御棒位置ポジションが一時的

に全引抜位置（「48」ポジション）から表示が「??」※に変わり、中央制御室制御盤の全制御棒炉心表示ユニットにてドリフトを示す表示が点灯していた。その後、制御棒は元の全引抜位置（「48」ポジション）に復帰した。

要因分析に基づき、挿入側方向制御弁（123弁）、駆動水配管止弁（103弁）のシートパス、HCU配管内の残圧の可能性について調査した結果、挿入側方向制御弁（123弁）、駆動水配管止弁（103弁）にシートパスはなかった。また、HCU配管内の残圧の可能性が否定できないことから、HCU内の残圧を確認するため再現性確認を行ったが、再現はなかった。

※ 制御棒の位置がラッチ位置にないことを示す。

#### ○ 制御棒（46-35）

平成22年1月6日、燃料装荷前のCRDベント・動作確認のため、制御棒（46-35）のHCU隔離解除操作を行ったところ、「制御棒ドリフト」警報が発生すると共に、中央制御室CRT上の制御棒位置ポジションが一時的に全引抜位置（「48」ポジション）から表示が「??」に変わり、中央制御室制御盤の全制御棒炉心表示ユニットにてドリフトを示す表示が点灯していた。その後、制御棒は元の全引抜位置（「48」ポジション）に復帰した。

要因分析に基づき、挿入側方向制御弁（123弁）、駆動水配管止弁（103弁）のシートパス、HCU配管内の残圧の可能性について調査した結果、挿入側方向制御弁（123弁）、駆動水配管止弁（103弁）にシートパスはなかった。また、HCU配管内の残圧の可能性が否定できないことから、HCU内の残圧を確認するため再現性確認を行ったが、再現はなかった。

5号機での2件の事象は、いずれも挿入側方向制御棒（123弁）ならびにCRDの分解点検を行い異常は認められなかったものの、挿入側方向制御弁（123弁）の許容漏えい量程度での駆動水の漏れ込みにより、制御棒挿入配管内に残留していたエアが圧縮され、挿入配管止弁（101弁）の開操作時にエアが膨張して制御棒を挿入側に動作させた可能性があるかと推定した。

当該事象の対策として、地震後の復旧プラントにおいては燃料装荷前に全CRDについてベント・動作確認を実施しエア抜きすることとした。

3号機においては、燃料装荷前の平成22年10月16～30日にかけてCRD全数のベント・動作確認をもって、当該事象への対策は完了とした（今回事象が発生した制御棒（38-59）については10月26日に実施）。なお、CRDベント・動作確認後に実施した原子炉保護系インターロック機能検査時にスクラム弁（126弁）が開することで、蓄圧したエアがHCU配管内で挿入配管止弁（101弁）入口側へ移動する可能性についてはこれまで経験がなかったことから、今回の事象の防止にはつながらなかった。今後は、本事例の教訓を日常の保安活動に反映していく。

（添付資料7-添付4）

## 8. 事象発生 の 推定メカニズム

原因調査結果等から、当該制御棒の挿入事象発生 のメカニズムは以下のとおりであると推定した。

- (1) アキュムレータブロー時、およびスクラム弁リーク試験時に、アキュムレータからスクラム入口弁（126弁）間にエア溜まりが発生する。
- (2) アキュムレータに封入されたN<sub>2</sub>がアキュムレータより微少漏えいしスクラム入口弁（126弁）側に移動しエア溜まりを加圧した。
- (3) スクラム入口弁（126弁）の入口側に蓄積したN<sub>2</sub>・エアは、原子炉保護系インターロック機能検査に伴うスクラム入口弁（126弁）開により、挿入配管止弁（101弁）入口側に移動した。
- (4) 挿入配管止弁（101弁）入口側で蓄圧されたN<sub>2</sub>・エアは、平成22年12月1日、HCU隔離解除作業で挿入配管止弁（101弁）を開操作した際に蓄圧が開放され体積膨張した。
- (5) これに伴い、挿入配管止弁（101弁）から配管内の水に流れを生じさせ、一時的に制御棒を動作させる圧力がCRDピストン下部に加わることで、約1ノッチCRDを挿入側に動作させ、「制御棒ドリフト」警報を発生させた。
- (6) 一方、CRDピストン下部に流入した水はCRD内を通じて原子炉へ流れるため、挿入配管止弁（101弁）から下流側の圧力は減圧され、約1ノッチ挿入後、制御棒およびCRDの自重により全引抜位置まで戻った。

## 9. 推定メカニズムの確証確認

アキュムレータからの漏えいを確認するため、平成22年12月6日、サンプリング的にアキュムレータ10体についてアキュムレータ漏えい確認（充填水側が大気圧の状態 でN<sub>2</sub>を約8.4～8.6MPa）を行った結果、5体で微少な漏えい（最大0.18cc/min程度）が認められた。

また、全燃料を取り出した上で制御棒全数のHCU隔離解除を行った際に挿入側に動作するか確認したところ、12月8日、以下の制御棒2本が挿入側に動作した。

### ○制御棒（10-51）

制御棒の位置が全引抜位置（「48」ポジション）から表示が「99」に変わり、挿入側に動作した後、元の全引抜位置（「48」ポジション）に戻った。その際「制御棒ドリフト」警報が発生したこと、当該制御棒ドリフト表示灯が点灯していることを確認した。

### ○制御棒（42-51）

制御棒の位置が全引抜位置（「48」ポジション）から表示が「99」→「46」に変わり、制御棒は「46」ポジションでラッチした。その後、12月9日に当該制御棒を全引抜位置（「48」ポジション）に戻した。

その際「制御棒ドリフト」警報が発生したこと、当該制御棒ドリフト表示灯が点灯していることを確認した。

その後、動作した2本の制御棒についてアキュムレータの漏えい確認を行ったところ、制御棒（10-51）で0.23cc/min、制御棒（42-51）で0.18cc/minのN<sub>2</sub>の漏えいが認められた。加えて、挿入側配管ベント弁（F501弁）を開操作し気体の流出の有無を確認した結果、挿入側配管ベント弁（F501弁）より気体が流出したことが認められた。

以上の確認結果より、今事象は推定メカニズム通りの現象であったと考えられた。  
(添付資料-9)

## 10. 推定原因

今回の制御棒挿入事象が発生した原因は、以下のとおり推定された。

- (1) アキュムレータブロー時およびスクラム弁リーク試験時に、アキュムレータからスクラム入口弁（126弁）間にエア溜まりが発生した。
- (2) アキュムレータに充填されたN<sub>2</sub>がアキュムレータより微少漏えいし、スクラム入口弁（126弁）側に移動し加圧した。
- (3) 原子炉保護系インターロック機能検査に伴ってスクラム入口弁（126弁）を開したことにより、挿入配管止弁（101弁）入口側に移動した。
- (4) HCU隔離解除に伴い挿入配管止弁（101弁）を開操作した際、蓄圧したN<sub>2</sub>・エアが体積膨張することで挿入配管止弁（101弁）から下流側の水が流れ、CRDピストン下部に一時的に制御棒を動作させる圧力が発生し、当該制御棒が挿入側に動作した。

なお、アキュムレータをN<sub>2</sub>のみで加圧している場合の微少漏えいは設備上の異常ではないが、アキュムレータから漏れ出たN<sub>2</sub>が点検時に漏れ込んだ空気に混入し蓄圧され、スクラム入口弁（126弁）の開閉タイミングによっては、スクラム入口弁（126弁）入口側に蓄積したN<sub>2</sub>・エアが挿入配管止弁（101弁）入口側に移動し、HCU隔離解除に伴い挿入配管止弁（101弁）を開操作した際に蓄圧したN<sub>2</sub>・エアが体積膨張することにより制御棒が挿入されることはこれまで気付かず、新たに分かったものである。

## 11. 再発防止対策

- (1) HCUアキュムレータに水が充填される前にあつては、充填水ラインの加圧を防止するとともに、HCUアキュムレータに水が充填された後にあつては、HCU隔離解除（挿入配管止弁（101弁）、引抜配管止弁（102弁）、駆動水配管止弁（103弁）、排水配管止弁（105弁）各々を開操作）前に蓄圧箇所の圧抜きを実施する。
  - a. スクラム機能が要求されない場合（アキュムレータ充填前）

アキュムレータに水を充填する前まで、アキュムレータドレン弁（107弁）を開操作し、充填水ライン（スクラム入口弁（126弁）～アキュムレータドレン弁（107弁）間）圧力を大気圧に維持することによって、アキュムレータか

らN<sub>2</sub>が漏えいしている場合でも充填水ラインの加圧を防止する。なお、アキュムレータ充填前に充填水ラインに漏れ込んだN<sub>2</sub>・エアについては、以下の「b.」によりガス抜きされる。

b. スクラム機能が要求される場合（アキュムレータ充填後）

アキュムレータに水を充填した後、HCUの隔離解除前に、排水配管止弁（105弁）を開操作、及び制御棒「引抜」ボタンを押下して引抜方向制御弁（120弁、122弁）を開動作させることにより、挿入配管止弁（101弁）～スクラム入口弁（126弁）の圧力を抜く。

また、HCU隔離解除操作時に挿入配管ベント弁（F501弁）を開することによって、挿入配管止弁（101弁）入口側に残留していた気体を排出させる。

なお、アキュムレータ充填後には充填水圧力がN<sub>2</sub>圧力を上回り、アキュムレータからのN<sub>2</sub>の漏えいはないため、蓄圧源とならない。

(2) 上記の対策を行うための圧抜き手順書を運転マニュアルに反映する。

(添付資料-10)

以 上

## 添 付 資 料

- 添付資料－ 1 : 時系列
- 添付資料－ 2 : 制御棒・燃料配置図
- 添付資料－ 3 : アラームタイプ印字記録 (事象発生時)
- 添付資料－ 4 : 制御棒駆動水圧系系統概略図
- 添付資料－ 5 : 水圧制御ユニット構造図
- 添付資料－ 6 : 事象発生時のCRD系状態概略図
- 添付資料－ 7 : 制御棒 (38-59) の予期せぬ動作の要因分析表
  - 添付－1 : スクラム入口弁 (126弁) の漏えい確認結果
  - 添付－2 : 事象発生時の系統状態における制御棒押し上げの可能性評価
  - 添付－3 : 挿入側方向制御弁 (123弁) の漏えい等の調査結果
  - 添付－4 : HCU内部配管の蓄圧による制御棒押し上げの可能性評価
  - 添付－5 : 引抜側配管ベント弁の漏えい確認結果
  - 添付－6 : スクラムパイロット弁の動作概略図
  - 添付－7 : 制御棒駆動水圧装置 (HCU) 隔離解除時の操作内容
- 添付資料－ 8 : 中越沖地震後の設備点検に関する調査
- 添付資料－ 9 : 推定メカニズムの確証確認
  - 添付－1 : HCU隔離解除時にドリフト事象が確認された制御棒位置
  - 添付－2 : アラームタイプ印字記録 (確証確認時)
- 添付資料－ 10 : 再発防止対策の手順

## 時 系 列

平成19年7月27日

HCU全数隔離／アキュムレータブロー

平成20年7月22日～平成20年7月24日

スクラム弁分解前リーク試験 (38-59実施日 平成20年7月23日)

平成20年7月23日～平成20年7月24日

CRD水抜き作業 (充填水, 駆動水, 冷却水各ヘッダ水抜き含む)

平成20年10月17日～平成20年10月31日

制御棒 (38-59) HCU内機器点検

- ・挿入配管止弁 (101弁), 引抜配管止弁 (102弁) 点検
- ・マニホールドフィルタ点検

平成21年8月4日～平成21年8月20日

制御棒 (38-59) 方向制御弁 (120弁, 121弁, 122弁, 123弁)  
分解点検

平成21年9月7日～

HCUアキュムレータ全数 N<sub>2</sub>封入作業

平成22年10月14日

駆動水ヘッダ, 冷却水ヘッダ水張り

平成22年10月16日～平成22年10月30日

燃料装荷前 CRDベント・動作確認

(平成22年10月26日: 制御棒 (38-59) 動作試験)

- ・CRD内部エアベント 連続挿入・引抜操作3回実施
- ・CRD動作試験 連続挿入・引抜操作2回実施
- ・CRD1ノッチ動作確認 (1ノッチ操作にて全挿入・全引抜1回)

平成22年11月15日, 16日

原子炉保護系インターロック機能検査 (その1) でスクラム出入口弁 (126弁, 127弁) 動作

平成２２年１１月２２日

CRD充填水ライン水張り（アキュムレータ充填水入口弁（１１３弁）まで）

平成２２年１２月１日

０１：２９ 燃料装荷作業 開始

１３：５０ 制御棒（３８－５９）挿入セルへDBG移動（ステップ５６）開始

１３：５７ 制御棒（３８－５９）挿入セルへDBG移動（ステップ５６）終了

１４：４５ 手順書に基づき、制御棒（４２－５９）用HCU隔離解除操作を実施

手順① 引抜配管止弁（１０２）弁「閉」→「開」

手順② 挿入配管止弁（１０１）弁「閉」→「開」

手順③ 駆動水配管止弁（１０３）弁「閉」→「開」

手順④ 排水配管止弁（１０５）弁「閉」→「開」

※ HCU隔離解除操作前、当該制御棒が全引抜状態であることを確認している。

その後、手順書に基づき、制御棒（３８－５９）用HCU隔離解除操作を実施

上記手順①→②→③まで実施

※ HCU隔離解除操作前、当該制御棒が全引抜状態であることを確認している。

※ 手順①、②操作時、若干水の流れる音を確認。

※ 手順④は、下記警報発生のため未実施。

１４：４８ 「制御棒ドリフト」警報発生

警報発生直後、プラント表示装置にて制御棒位置を確認したところ、制御棒（３８－５９）の表示が以下のとおり変化したことを確認。

「４６」→「９９」→「\*\*」

※ 制御棒位置「９９」：制御棒の位置がラッチ位置にない場合に表示

※ 制御棒位置「\*\*」：制御棒が全引抜である場合「４８」ポジションで表示

※ 「４６」、「９９」表示は約２秒程度の点滅表示

１４：５０ 当直長は、「制御棒ドリフト」警報発生を運転管理部長に報告

１４：５０ 燃料装荷中断（ステップ６２終了にて）

１４：５６ 事故・故障等検討委員会招集・開催

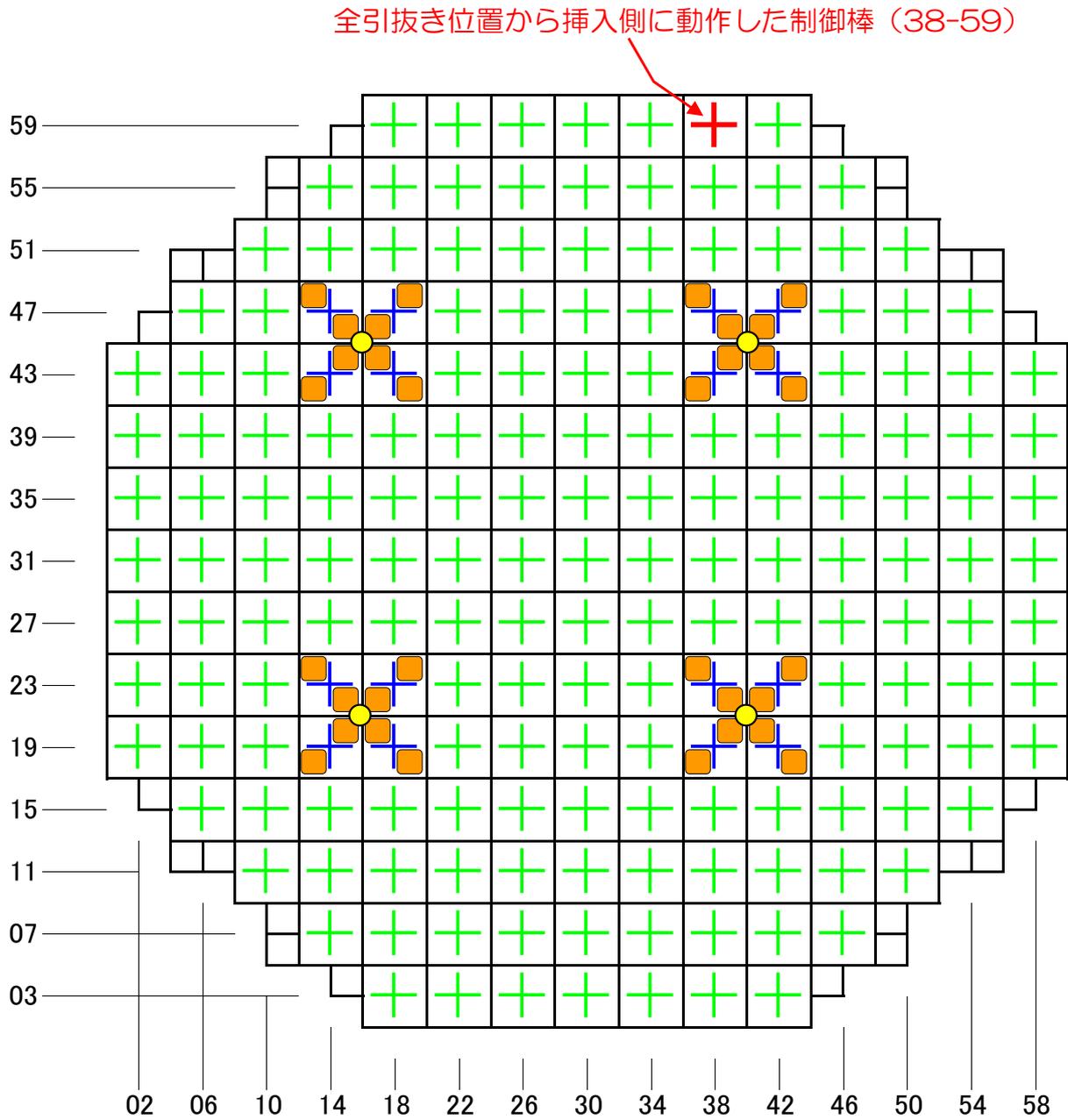
１５：０４ 「制御棒ドリフト」警報リセット

その後、運転管理部長は事故・故障等検討委員会にて、原子炉GM、計測制御GMに今回の事象の原因調査・対応措置を指示。あわせて、今回の事象について所長及び原子炉主任技術者に報告。

計測制御GMは制御棒手動制御系・制御棒位置指示系の異常の有無を確認。その結果、制御棒手動制御系・制御棒位置指示系の盤にはエラー表示が出ておらず、故障を表示する警報も発生していないことから、制御棒手動制御系・制御棒位置指示系に異常はないと考えられた。

- 17：45 事故・故障等検討委員会にて、制御棒手動制御系・制御棒位置指示系に異常がないことから、制御棒が実際に動作したものと判断
- 19：31 制御棒（38－59）、（42－59）用HCU再隔離実施

以 上



- + : 全引抜き位置の制御棒
- + : 全挿入位置の制御棒
- : 中性子源領域モニタ検出器
- : 事象発生時装荷されていた燃料集合体

制御棒・燃料配置図

柏崎刈羽原子力発電所 第3号機 2010年12月01日 14:54

アラーム印字

* 2010/12/01 14:47	CD125	MSIV	原子炉水位低 (L-2) B1	トリップ	✓
* 2010/12/01 14:47	CD157	MSIV閉	トリップ論理 B1	トリップ	
* 2010/12/01 14:48	CA312	CUW	F/D (B) 出口導電率	0.934 > 0.100 μS/cm	
2010/12/01 14:48	CA315	FPC	F/D (B) 出口導電率	0.000 μS/cm	正常復帰
* 2010/12/01 14:48	TA048	キタービン第 6軸受メタル温度 (10度)	143.1 > 107.0 °C		
* 2010/12/01 14:47	R P I S	制御棒ドリフト	制御棒座標 38-59 位置=#4d 状態=#04		
2010/12/01 14:48	CD356	制御棒	ドリフト	ON	
2010/12/01 14:47	R P I S	制御棒座標 38-59	正常復帰 位置=#2e		
2010/12/01 14:48	CD363	RWM	挿入	許可エコー OFF	
2010/12/01 14:48	CD362	RWM	引抜	許可エコー OFF	
2010/12/01 14:48	CD362	RWM	引抜	許可エコー ON	
2010/12/01 14:48	CD363	RWM	挿入	許可エコー ON	
* 2010/12/01 14:48	R P I S	制御棒ドリフト	制御棒座標 38-59 位置=#4d 状態=#04		
2010/12/01 14:48	R P I S	制御棒座標 38-59	正常復帰 位置=#30		
2010/12/01 14:48	CD363	RWM	挿入	許可エコー OFF	
2010/12/01 14:48	CD362	RWM	引抜	許可エコー OFF	
2010/12/01 14:48	CD362	RWM	引抜	許可エコー ON	

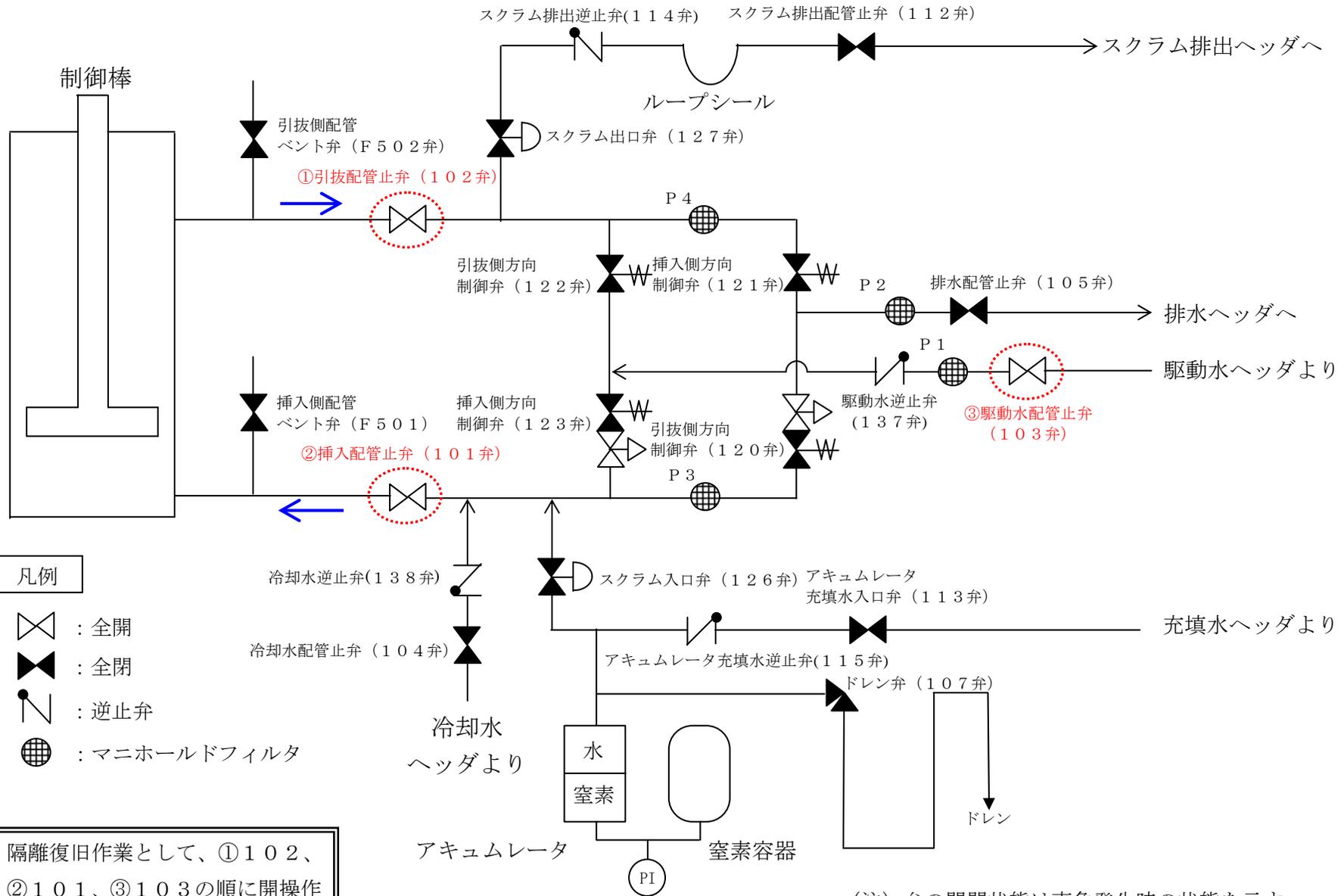
「制御棒ドリフト」  
警報発生

(中 略)

* 2010/12/01 15:04	AA111	LPRM	32-25 B	レベル 入力不良	
* 2010/12/01 15:04	AA051	LPRM	16-09 B	レベル 入力不良	
* 2010/12/01 15:04	AA067	LPRM	48-09 B	レベル 入力不良	
* 2010/12/01 15:04	AA209	LPRM	16-57 D	レベル 入力不良	
* 2010/12/01 15:04	AA169	LPRM	32-41 D	レベル 入力不良	
* 2010/12/01 15:04	AA105	LPRM	16-25 D	レベル 入力不良	
* 2010/12/01 15:04	AA121	LPRM	48-25 D	レベル 入力不良	
* 2010/12/01 15:04	AA061	LPRM	32-09 D	レベル 入力不良	
2010/12/01 15:04	ZD943	計算機 検出器故障		ON	
2010/12/01 15:04	CD356	制御棒	ドリフト	OFF	
* 2010/12/01 15:04	TA039	主タービン第 7軸受メタル温度 (30度)	RL上限逸脱		
2010/12/01 15:04	TC085	主タービン 軸受メタル温度 (最大)	17.4 °C		
* 2010/12/01 15:04	TC019	TB軸受 メタル温度変化率 7 (30度)	判定不能		
2010/12/01 15:06	TA039	主タービン第 7軸受メタル温度 (30度)	27.8 °C		正常復帰
2010/12/01 15:06	TC019	TB軸受 メタル温度変化率 7 (30度)	-0.0 °C/min		正常復帰
2010/12/01 15:09	ED004	低起動変圧器 3SA1 遮断器	投入	ON	
2010/12/01 15:09	UD085	P723-3 U2130S04故障		OFF	正常復帰

「制御棒ドリフト」  
警報クリア

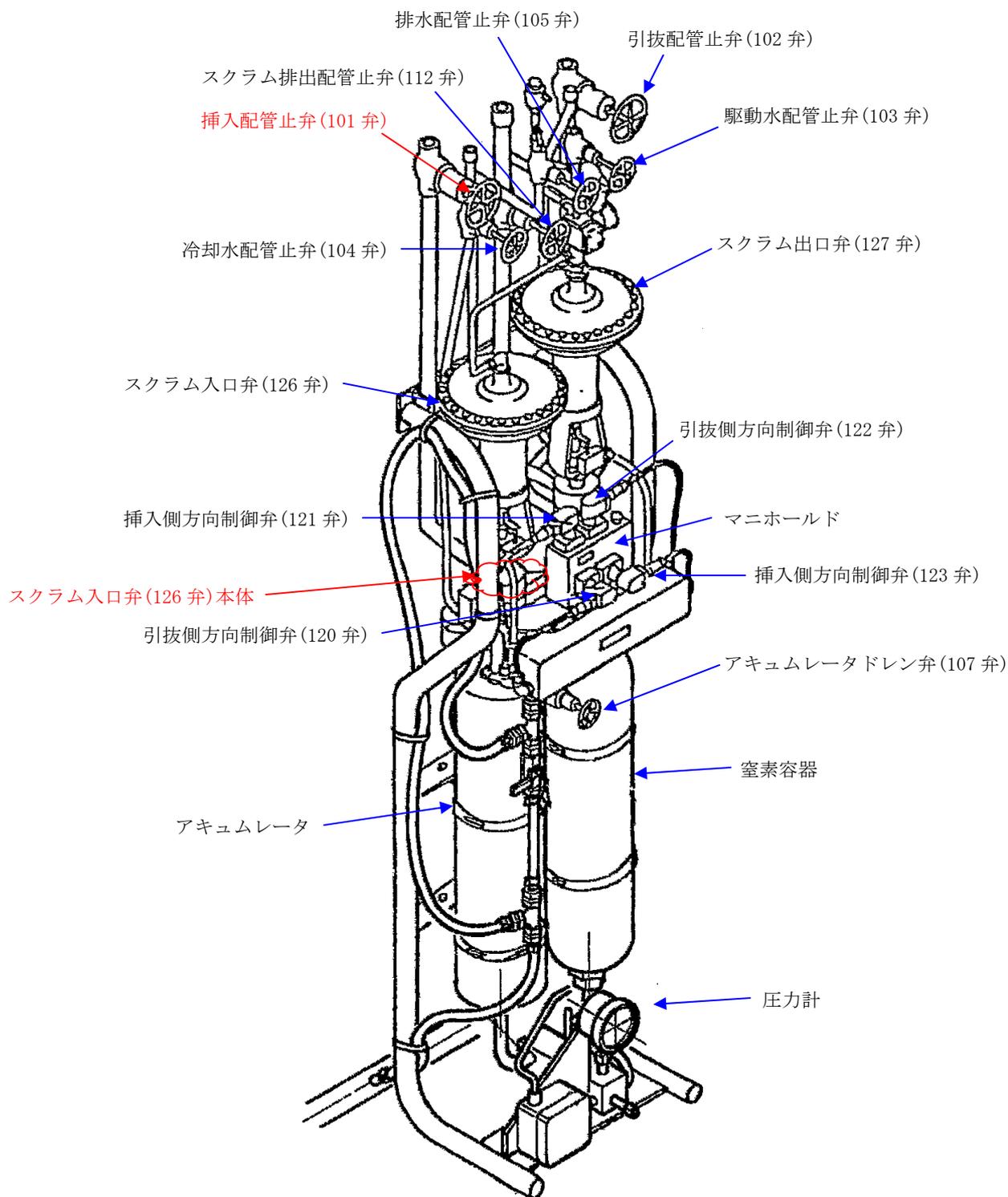
アラームタイパ印字記録 (事象発生時)



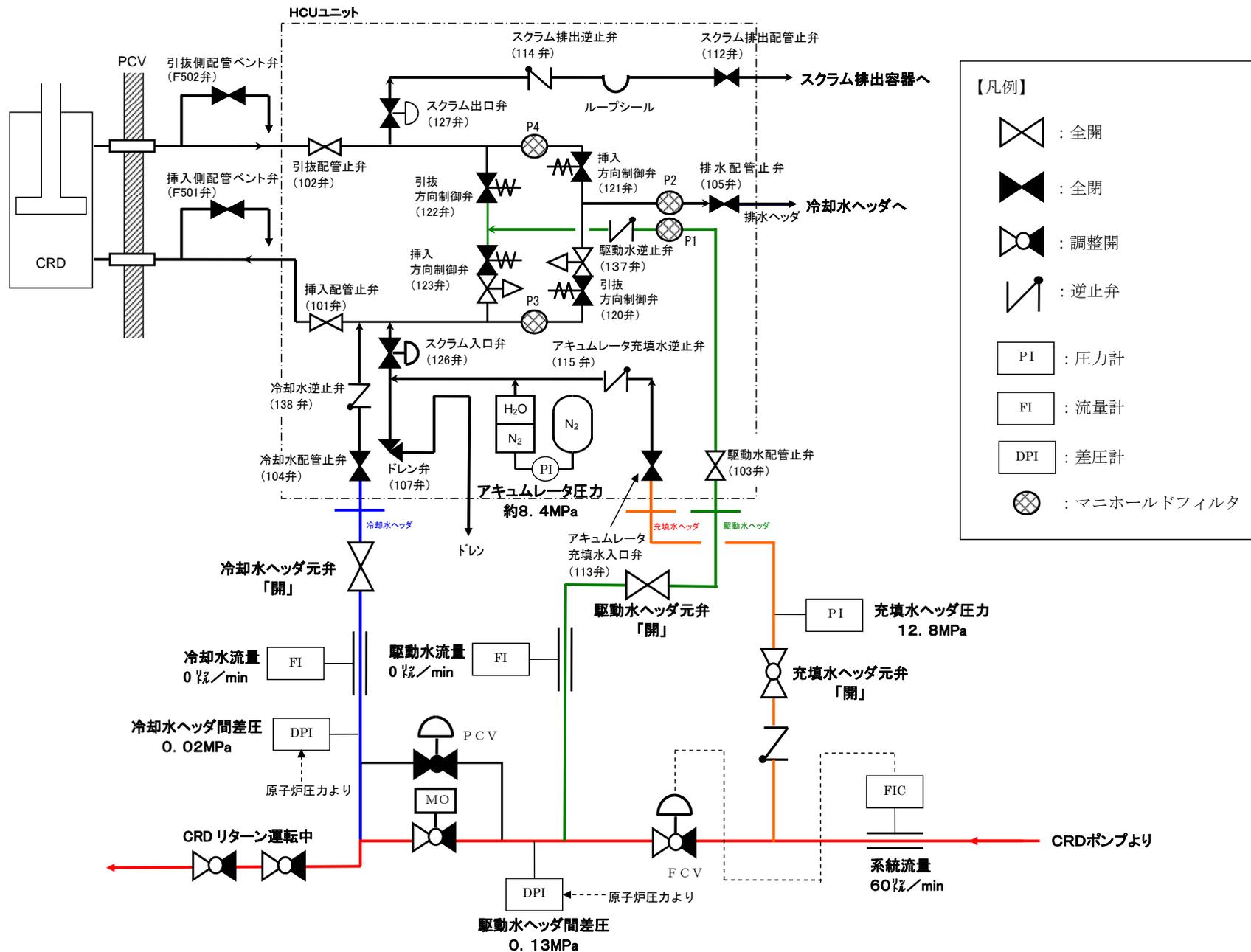
隔離復旧作業として、①102、  
②101、③103の順に開操作  
を実施中、事象が発生。

(注) 弁の開閉状態は事象発生時の状態を示す

制御棒駆動水圧系系統概略図



水圧制御ユニット構造図



事象発生時のCRD系状態概略図

制御棒（38－59）の予期せぬ動作の要因分析表

○：可能性が高い △：可能性がある ×：可能性は無い

発生事象	発生要因	調査項目	調査結果	添付資料				
当該制御棒の動作	HCU構成機器異常	スクラム弁異常	スクラム入口弁（126弁）異常	アクムレータが充填された状態で126弁がシートリーク（または開状態）し、さらにアクムレータ充填水入口弁（113弁）がシートリーク（または開状態）していた場合、挿入配管止弁（101弁）の開操作により充填水圧力が制御棒を押し上げる方向（挿入側）に作用し、今回の事象が発生する可能性がある。	126弁の漏えい確認	×	126弁の漏えい確認を行った結果、シートリークがなかったことから、今回の事象の要因とはならない。	添付－1
		スクラム出口弁（127弁）異常	127弁がシートリーク（または開状態）し、さらにスクラム排出配管止弁（112弁）がシートリーク（または開状態）していた場合、引抜配管止弁（102弁）の開操作によりCRDピストン上部が減圧されCRDピストン下部に原子炉の水頭圧が加わることで制御棒を押し上げる方向（挿入側）に作用し、今回の事象が発生する可能性がある。	原子炉の水頭圧による制御棒押し上げの可能性評価	×	事象発生時、112弁は全閉状態であったことから、今回の事象の要因とはならない。仮に127弁が開状態であっても、事象発生時の原子炉の水頭圧は約0.2MPaであり、制御棒の押し上げに必要な圧力（約0.4MPa以上）を下回っていたことから、今回の事象の要因とはならない。	添付－2（図1）	
		方向制御弁異常	引抜側方向制御弁（120弁）異常	120弁がシートリーク（または開状態）し、さらに排水配管止弁（105弁）がシートリーク（または開状態）していた場合、101弁の開操作により冷却水が逆流して制御棒を押し上げる方向（挿入側）に作用し、今回の事象が発生する可能性がある。	冷却水ヘッダ圧力による制御棒押し上げの可能性評価	×	事象発生時の冷却水圧力は約0.2MPaであったことから、仮に105弁がシートリーク（または開状態）していたとしても制御棒の押し上げに必要な圧力（約0.4MPa以上）を下回っていたことから、今回の事象の要因とはならない。	添付－2（図2）
			挿入側方向制御弁（121弁）異常	121弁がシートリーク（または開状態）し、さらに105弁がシートリーク（または開状態）していた場合、排水ヘッダ圧力が原子炉圧力より低いと、102弁の開操作により原子炉水が逆流して制御棒を押し上げる方向（挿入側）に作用し、今回の事象が発生する可能性がある。	原子炉の水頭圧による制御棒押し上げの可能性評価	×	排水ヘッダに接続された冷却水ヘッダの圧力は事象発生時約0.2MPaであり、原子炉の水頭圧（約0.2MPa）を上回っていたことから、仮に105弁がシートリーク（または開状態）していた場合でも、冷却水が逆流し制御棒を下げる方向（引抜側）に作用するため、今回の事象の要因とはならない。	添付－2（図3）
			引抜側方向制御弁（122弁）異常	122弁がシートリーク（または開状態）していた場合、駆動水配管止弁（103弁）及び102弁開操作により駆動水圧力が制御棒を下げる方向（引抜側）に作用するが、制御棒を押し上げる方向（挿入側）に作用しないため、今回の事象の要因とはならない。				
			挿入側方向制御弁（123弁）異常	123弁がシートリーク（または開状態）していた場合、101弁及び103弁開操作により駆動水圧力が制御棒を押し上げる方向（挿入側）に作用し、今回の事象が発生する可能性がある。	123弁の漏えい等の確認 駆動水圧力による制御棒押し上げの可能性評価	×	123弁と122弁間の漏えい確認を行った結果、漏えい量は許容漏えい量（2cc/min）を下回る約0.5cc/minであった。また、123弁の分解点検を行った結果、異常は認められなかったことから、異物等による混入の影響はなかった。なお、事象発生時の駆動水圧力は0.3MPa程度に調整されており、制御棒の押し上げに必要な圧力（約0.4MPa以上）を下回っていたことから、今回の事象の要因とはならない。	添付－2（図4） 添付－3
		配管内の異常	HCU内部配管（挿入側配管）の蓄圧	HCU内部配管（挿入側配管）にエア等が混入し、圧縮された状態で隔離されていた場合、101弁の開操作によりエア等の蓄圧が開放されることで、制御棒を押し上げる方向（挿入側）に作用し、今回の事象が発生する可能性がある。	101、102弁開操作時の状況 加圧源の調査	△	運転員への聞き取りから、101弁の開操作時に若干の流水音が確認されたことから、CRDへの挿入駆動圧が存在していた可能性がある。なお、HCU配管内に滞留するエアについては入念にベントを実施しているものの若干のエアが滞留する可能性はあり、この場合に残留エアを圧縮する加圧源となりうる各弁（103弁、104弁、105弁、113弁）についてシートリークの有無を確認した結果、シートリークは認められなかった。なお、113弁のシートリーク確認時にアクムレータドレン弁（107弁）を開操作したところ、気体が当該ドレン弁より流出した。このため、アクムレータ（N2が通常圧の約8.4MPaで封入された状態）の漏えい確認を行った結果、0.1cc/min程度の漏えいが認められた。	添付－4 添付－7
				スクラムパイロット弁異常	スクラムパイロット弁（139弁）が開し、スクラム出入口弁（126弁、127弁）が開状態となった場合、101弁の開操作によりアクムレータの圧力が126弁を経由して制御棒を押し上げる方向（挿入側）に作用し、今回の事象が発生する可能性がある。（127弁開状態となった場合については、「スクラム出口弁（127弁）異常」に対する調査結果参照）	事象発生時の系統状態の確認	×	事象発生後、スクラム出入口弁（126弁、127弁）が閉していたことを中操運転員が全制御棒炉心表示ユニットにて確認したことから、今回の事象の要因とはならない。
		パイロット空気配管等の異常	スクラムパイロット弁（139弁）駆動用の空気配管継手やダイヤフラム弁からエアが漏れ、当該弁がフェール動作（弁が開方向に動作）し、スクラム出入口弁（126弁、127弁）が開状態となった場合、101弁の開操作によりアクムレータの圧力が126弁を経由して制御棒を押し上げる方向（挿入側）に作用し、今回の事象が発生する可能性がある。（127弁開状態となった場合については、「スクラム出口弁（127弁）異常」に対する調査結果参照）	スクラムパイロット弁（139弁）駆動用の空気配管継手やダイヤフラム弁からエアが漏れ、当該弁がフェール動作（弁が開方向に動作）し、スクラム出入口弁（126弁、127弁）が開状態となった場合、101弁の開操作によりアクムレータの圧力が126弁を経由して制御棒を押し上げる方向（挿入側）に作用し、今回の事象が発生する可能性がある。（127弁開状態となった場合については、「スクラム出口弁（127弁）異常」に対する調査結果参照）	事象発生時の系統状態の確認	×	事象発生後、スクラム出入口弁（126弁、127弁）が閉していることを中操運転員が全制御棒炉心表示ユニットにて確認していることから、今回の事象の要因とはならない。	添付－6 添付－7
				ベント弁異常	挿入側配管ベント弁（F501弁）異常	F501弁がシートリーク（または開状態）していた場合、CRDピストン下部圧力は減圧されるため原子炉の水頭圧が制御棒を下げる方向（引抜側）に作用するが、制御棒を押し上げる方向（挿入側）に作用する可能性はないため、今回の事象は発生しない。なお、当該ベント弁の操作は、HCUの隔離解除操作手順に含まれておらず関連性はない。		
	引抜側配管ベント弁（F502弁）異常	F502弁がシートリーク（または開状態）していた場合、CRDピストン上部圧力が減圧され原子炉の水頭圧が制御棒を押し上げる方向（挿入側）に作用し、今回の事象が発生する可能性がある。なお、当該ベント弁の操作は、HCUの隔離解除操作手順に含まれておらず関連性はない。	F502弁の漏えい確認 原子炉の水頭圧による制御棒押し上げの可能性評価		×	F502からの漏えいは確認されなかった。また、事象発生時に原子炉の水頭圧は約0.2MPa程度であり、制御棒の押し上げに必要な圧力（約0.4MPa以上）に満たないことから、今回の事象の要因とはならない。	添付－2（図5） 添付－5	
	冷却水配管止弁（104）異常	冷却水配管止弁（104）異常	104弁がシートリーク（または開状態）していた場合、101弁開操作により冷却水圧力が制御棒を押し上げる側（挿入側）に作用し、今回の事象が発生する可能性がある。	冷却水圧力による制御棒押し上げの可能性評価	×	事象発生時の冷却水圧力は約0.2MPaであり、制御棒の押し上げに必要な圧力（約0.4MPa以上）を下回っていることから、今回の事象の要因とはならない。	添付－2（図6）	
			CRD駆動水差圧変動（上昇）	123弁がシートリーク（または開状態）していた場合、駆動水圧力の変動（上昇）により駆動水圧力が制御棒を押し上げる方向（挿入側）に作用し、今回の事象が発生する可能性がある。	事象発生時の駆動水差圧調整の有無の確認 123弁の漏えい等の確認 駆動水圧力による制御棒押し上げの可能性評価	×	事象発生時の駆動水差圧は0.3MPa程度に調整されており制御棒の押し上げに必要な圧力（約0.4MPa以上）を下回っていた。また、123弁を取り外して単体での漏えい確認により漏えいはなかったこと、分解点検の結果シートパスの痕跡も見られなかったことから、異物等の混入による影響はなく、今回の事象の要因とはならない。	添付－2（図4）
			CRD冷却水差圧変動（上昇）	冷却水圧力の変動（上昇）により104弁のシート機能が低下（またはシートリーク）した場合、101弁の開操作により冷却水圧力が制御棒を押し上げる側（挿入側）に作用し、今回の事象が発生する可能性がある。	事象発生時の系統状態の確認 警報発生状態の確認	×	冷却水差圧の変動は確認されておらず、冷却水差圧低警報（設定値：0.082MPa）が継続していたことから、今回の事象の要因とはならない。	添付－2（図6） 添付－7
			リターンラインの構成不備による冷却水差圧上昇	リターンラインの構成不備により冷却水差圧が上昇して104弁のシート機能が低下（またはシートリーク）した場合、101弁の開操作により冷却水圧力が制御棒を押し上げる側（挿入側）に作用し、今回の事象が発生する可能性がある。	事象発生時の系統状態の確認 警報発生状態の確認	×	事象発生時からリターンラインに系統構成を行っており冷却水圧力が上昇する可能性はないこと、冷却水差圧低警報（設定値：設定値：0.082MPa）が継続して発生していたことから、今回の事象の要因とはならない。	添付－2（図6） 添付－7
	HCU隔離復旧操作の誤操作	手順書の不備	HCU隔離復旧操作手順に不備がある場合、誤った手順に従って操作することによって、制御棒が挿入側に動作し、今回の事象が発生する可能性がある。	他のHCU隔離復旧操作手順との相違	×	他のHCU隔離復旧手順を確認したところ、同じ様式の手順を使用しており、他のHCU復旧操作時には問題がなかったことから、今回の事象の要因とはならない。	添付－7	
			弁操作順序の間違い	手順どおりにHCU隔離復旧操作を行わない場合、制御棒が挿入側に動作し、今回の事象が発生する可能性がある。	HCU隔離復旧操作を行った操作員への聞き取り調査	×	運転員への聞き取り調査の結果、HCU隔離復旧操作は中操からの指示者に加え、現場操作は2名一組で、手順書及びチェックシートを使用して操作しており、操作順序の間違いはなかったことから、今回の事象の要因とはならない。	添付－7

## スクラム入口弁（126弁）の漏えい確認結果

## 1. 目的

アキュムレータが充填された状態でスクラム入口弁（126弁）がシートリークし、さらにアキュムレータ充填水入口弁（113弁）がシートリークしていた場合、挿入配管止弁（101弁）の開操作により充填水圧力が制御棒を押し上げる方向（挿入側）に作用し、今回の事象が発生する可能性があることから、当該弁の漏えい確認を行う。

## 2. 確認方法

通常の点検と同様の手順により、アキュムレータドレン弁（107弁）から15.2MPaまで加圧し、P3接続口にて漏えい量を1分間測定する。（図1参照）

## 3. 確認結果

1分間の測定において漏えいは0cc/minであり、126弁のシートリークがないことを確認した。

## 4. 考察

126弁の漏えい確認の結果、シートリークは確認されなかったことから、今回の事象の要因とはならない。

以上

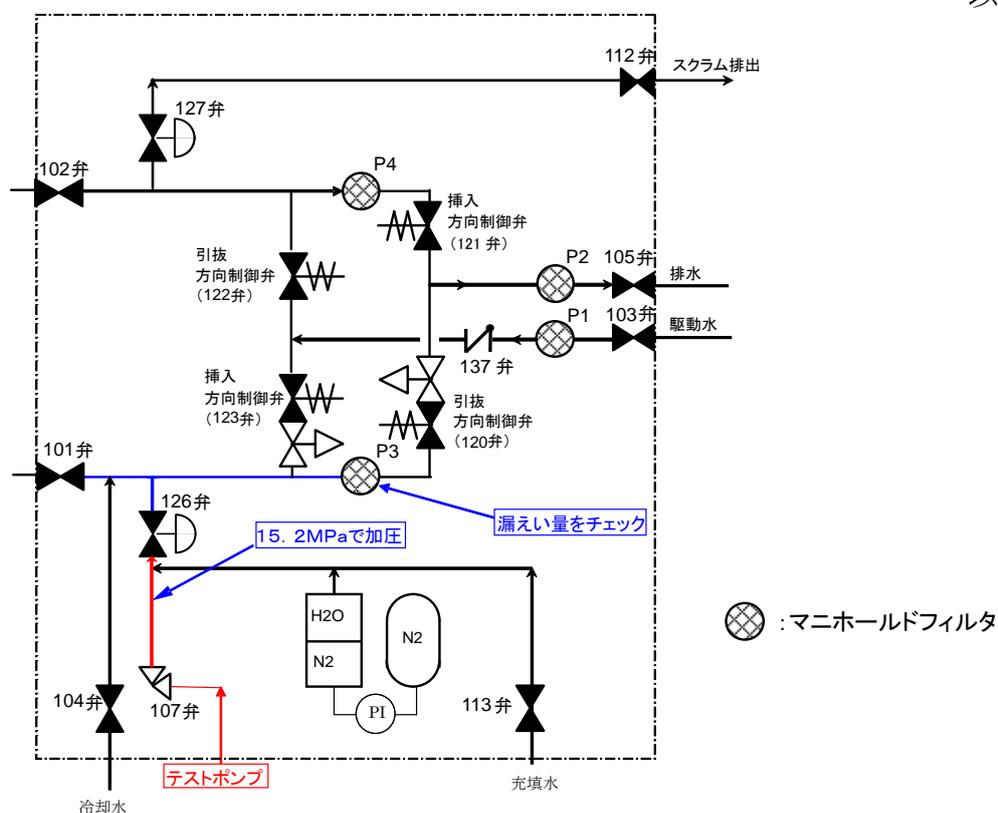


図1.スクラム入口弁（126弁）の漏えい量確認時における系統図

## 事象発生時の系統状態における制御棒押し上げの可能性評価

### 1. 目的

事象発生時の系統状態を確認し、制御棒の押し上げ方向（挿入側）への動作に必要な圧力を算定する。また、事象発生時に制御棒に作用した可能性のある圧力について、制御棒を押し上げる可能性を評価する。

### 2. 事象発生時の系統構成（添付資料－ 6 参照）

事象発生時の当該系統の状態及び関連パラメータについては、添付資料－ 6 参照。  
なお、事象発生時の系統構成は、全HCU隔離による冷却水圧力上昇（系統加圧）防止の観点から、原子炉への戻りライン（CRDリターンライン）をインサービスしている。

### 3. 制御棒押し上げに必要な圧力の算定

制御棒の押し上げ方向（挿入側）のみが加圧された状態において、制御棒が押し上げられる圧力を以下に示す。

#### （1）算出条件

- 制御棒の押し上げ方向（挿入側）のみ駆動圧が加わった状態を考える。
- 制御棒（CR）及び制御棒駆動部の重量は水中における質量を適用する。
- 保守側に、駆動時のフリクション（制御棒駆動機構内部等での摩擦抵抗）は考慮しないものとする。

#### （2）算出方法

図－ 1 に示す計算モデルによる荷重バランスから、制御棒が挿入側に駆動する圧力 F を算出する。

W : 制御棒(CR)・制御棒駆動機構(CRD)可動部の水中における質量  
= 109kg (79(CR) + 30(CRD))

A1 : インデックスチューブ下側受圧面積 =  $26.3 \times 10^{-4} \text{ m}^2$

F : 駆動圧 Pa

g : 重力加速度 =  $9.80665 \text{ m/s}^2$

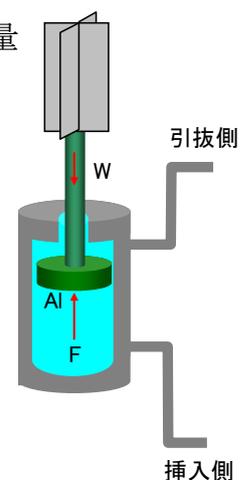
$$F \cdot A1 - W \cdot G = 0$$

$$F = W \cdot g / A1$$

$$= 109 \times 9.80665 / 26.3 \times 10^{-4}$$

$$= \underline{0.406 \text{ MPa}}$$

以上より、挿入側に 0.4MPa 以上が加わることで制御棒が押し上げられる可能性がある。



図－ 1 計算モデル

#### 4. 今回の事象発生可能性の評価（図1～6参照）

事象発生時の制御棒駆動系の状態（添付資料－6参照）を考慮すると、充填水圧力が作用しない限り、制御棒が押し上げられる（挿入側に動作する）可能性はないものと評価される。

- ・ 原子炉水頭圧：約 0.2MPa（原子炉水位と HCU 間での水頭圧）
- ・ 充填水圧力：アキュムレータの水側は、ほぼ大気圧（アキュムレータの水側圧力はブロー済。なお、充填水ヘッド圧力は約 0.33 MPa）
- ・ 駆動水圧力：原子炉圧力（水頭圧）＋ 0.13MPa ＝ 約 0.33MPa
- ・ 冷却水圧力：原子炉圧力（水頭圧）＋ 0.02MPa ＝ 約 0.22MPa
- ・ 排出ヘッド圧力：排出ヘッドは冷却水ヘッドに接続されているため、冷却水圧力と同じ（約 0.22MPa）

以 上

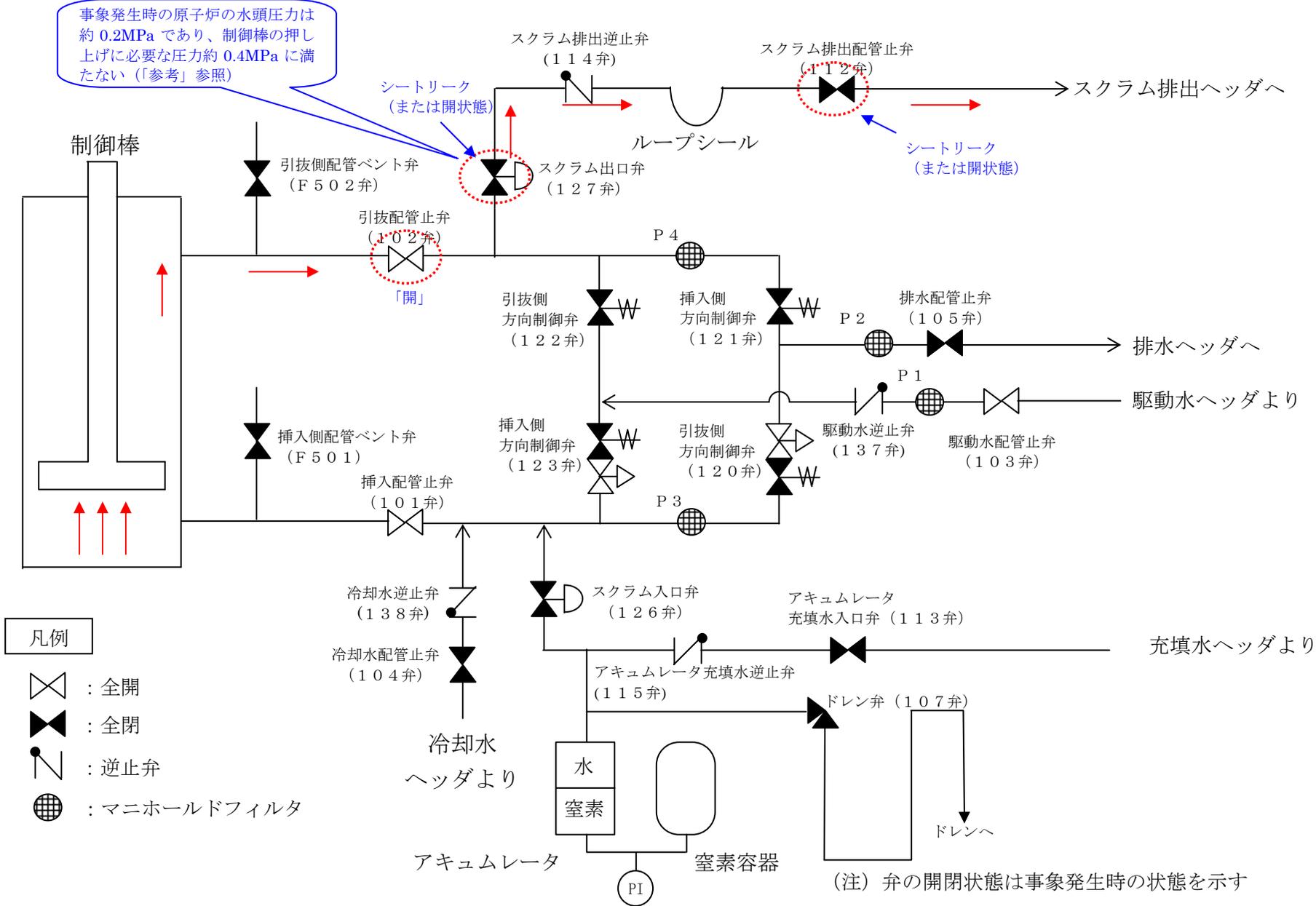


図1 制御棒駆動水圧系系統概略図

(スクラム出口弁 (127弁) のシートルークにより原子炉の水頭圧が制御棒挿入に作用する可能性について)

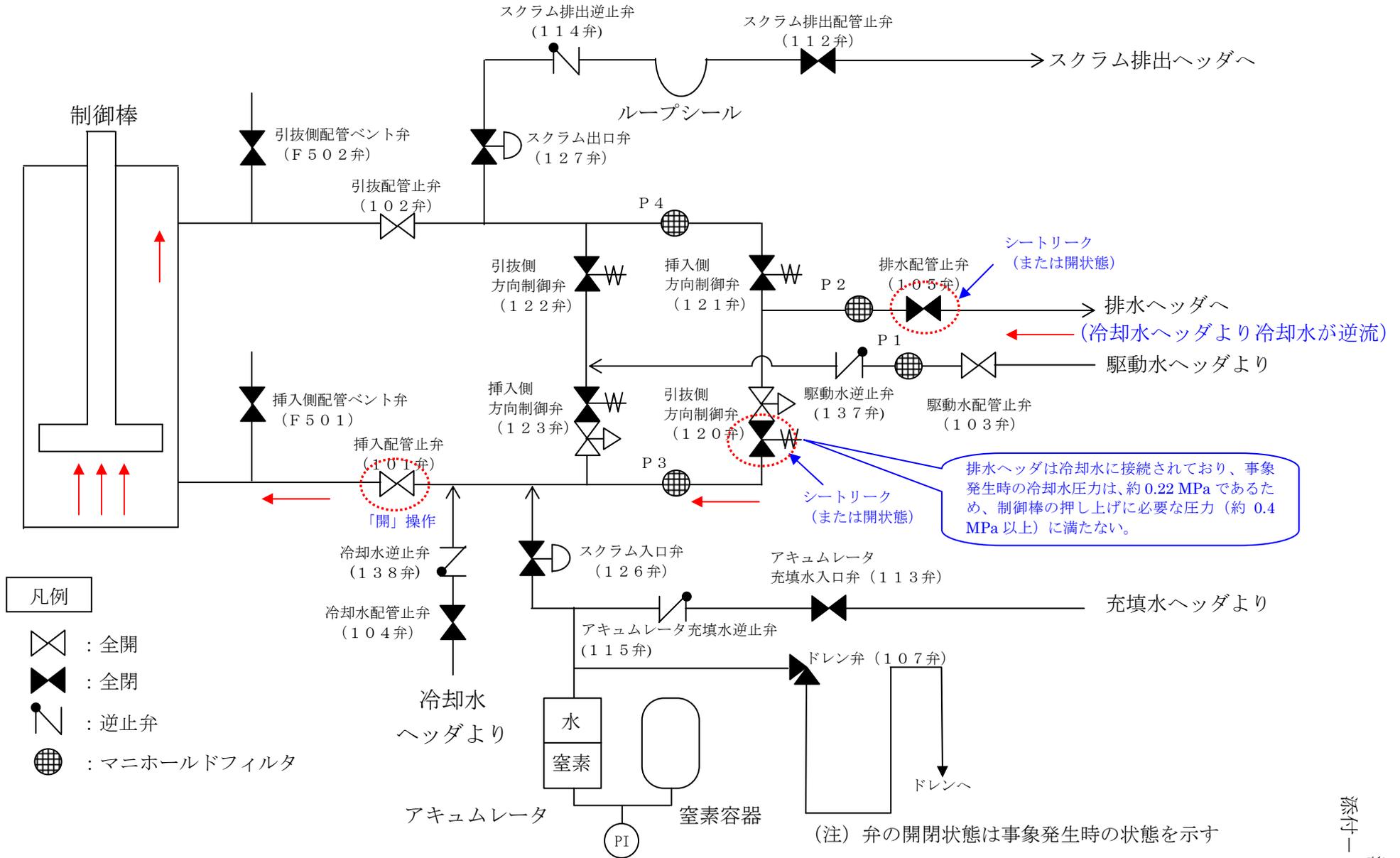


図2 制御棒駆動水圧系系統概略図  
(引抜側方向制御弁 (120弁) のシートリークにより原子炉の水頭圧が制御棒挿入に作用する可能性について)

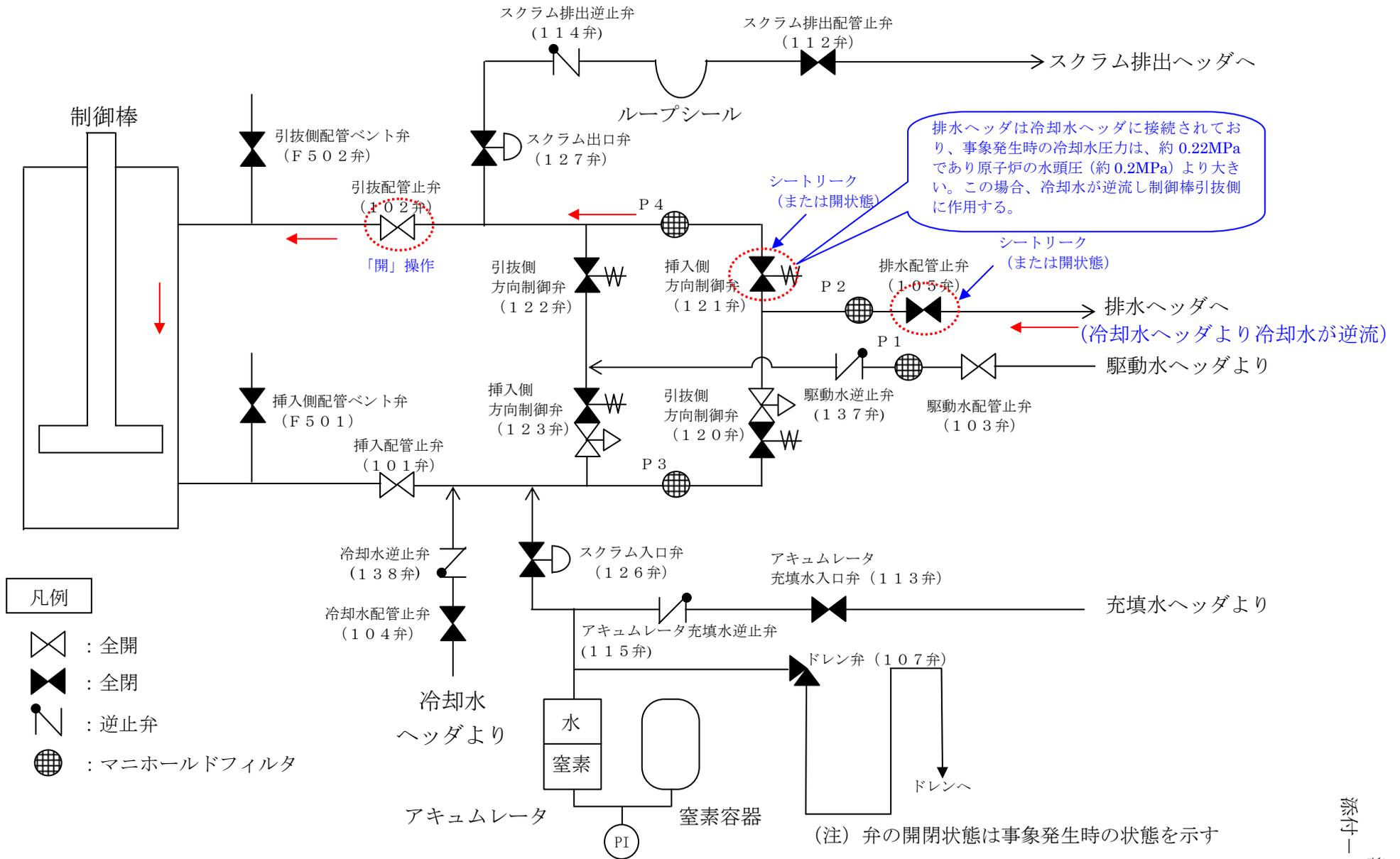


図3 制御棒駆動水圧系系統概略図  
(挿入側方向制御弁 (1 2 1 弁) のシートリークによる制御棒引抜に作用する可能性について)

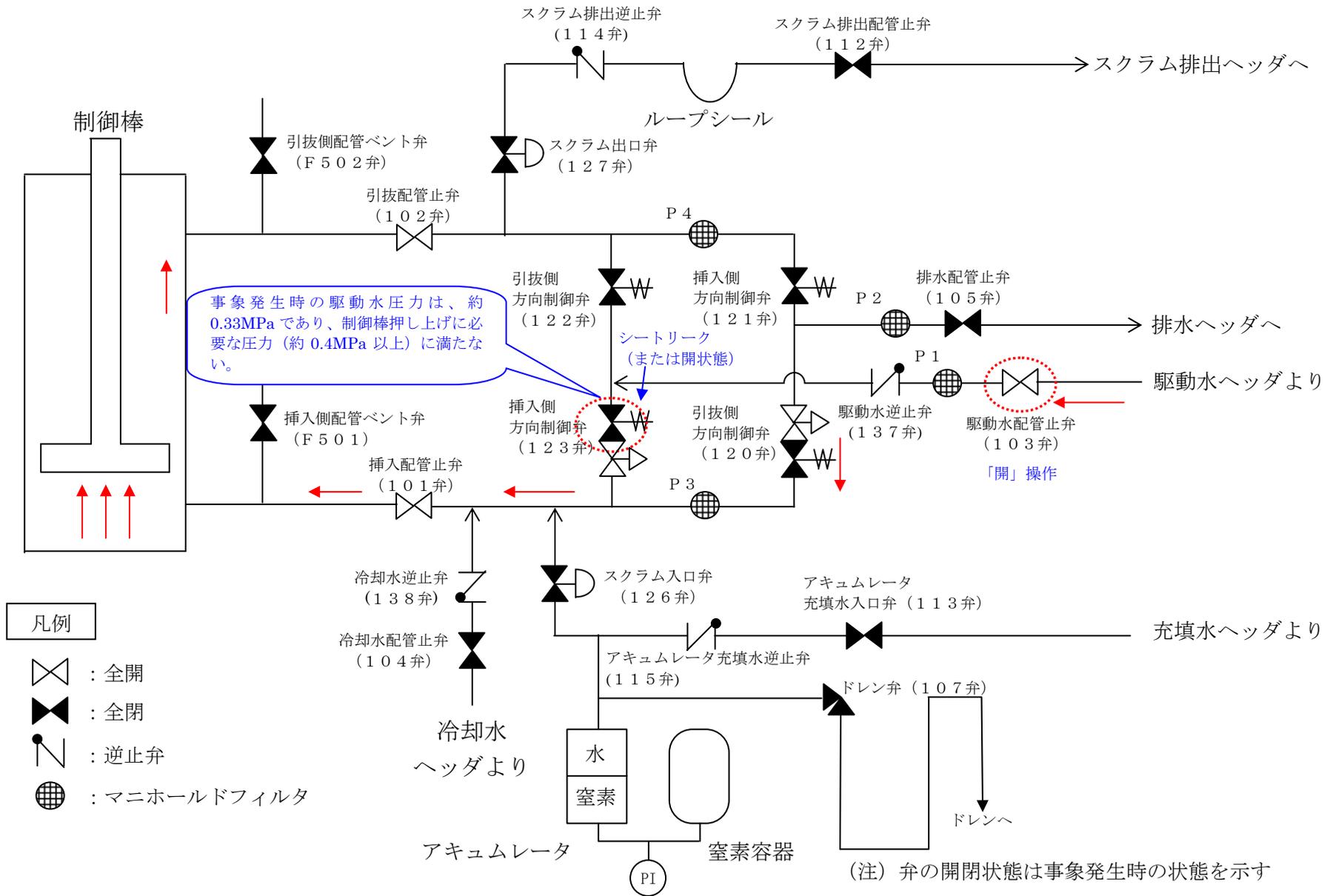


図4 制御棒駆動水圧系系統概略図

(挿入側方向制御弁 (123弁) のシートリークにより原子炉の水頭圧が制御棒挿入に作用する可能性について)

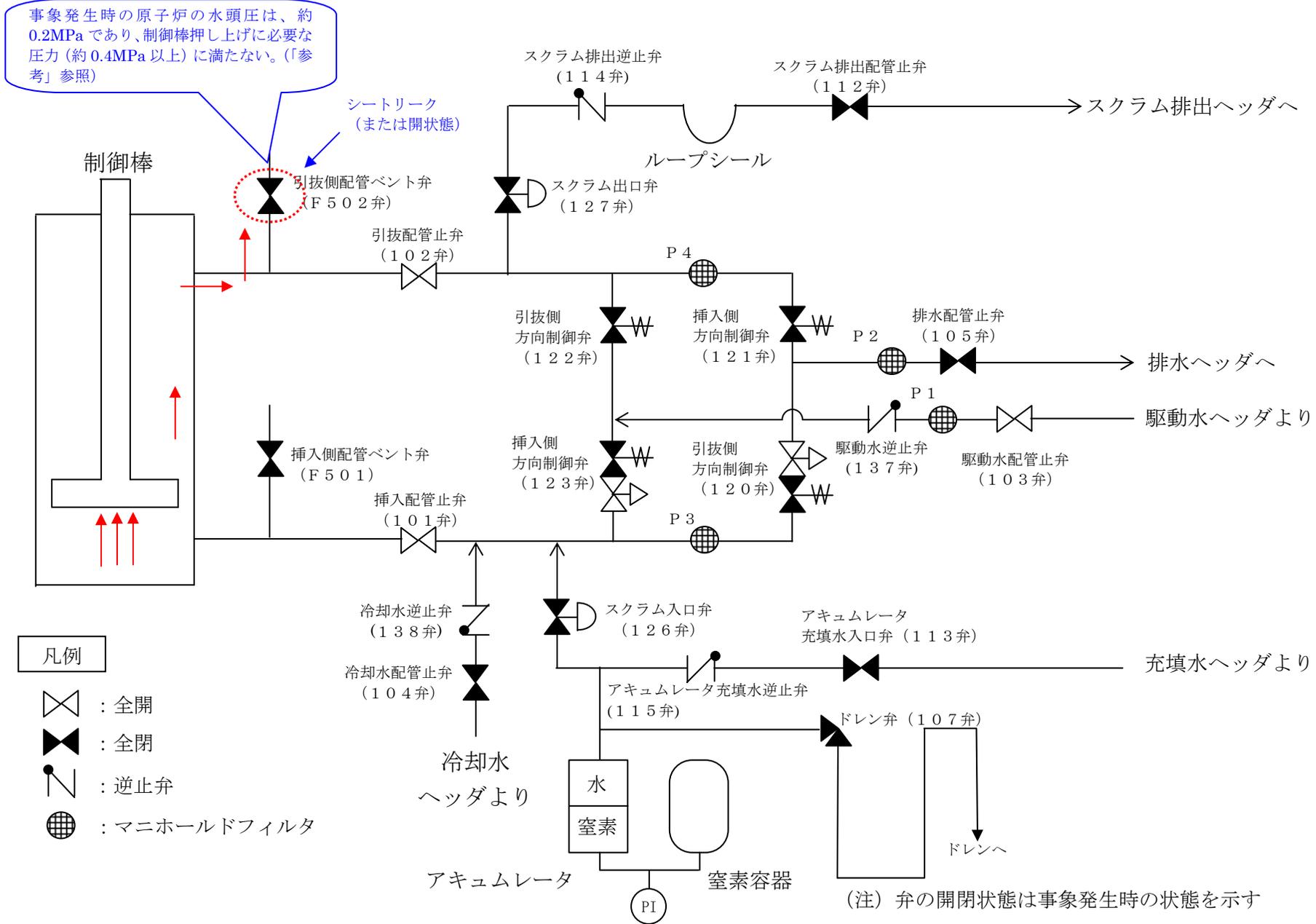


図5 制御棒駆動水圧系系統概略図

(引抜側ベント弁 (F 5 0 2 弁) のシートリークにより原子炉の水頭圧が制御棒挿入に作用する可能性について)

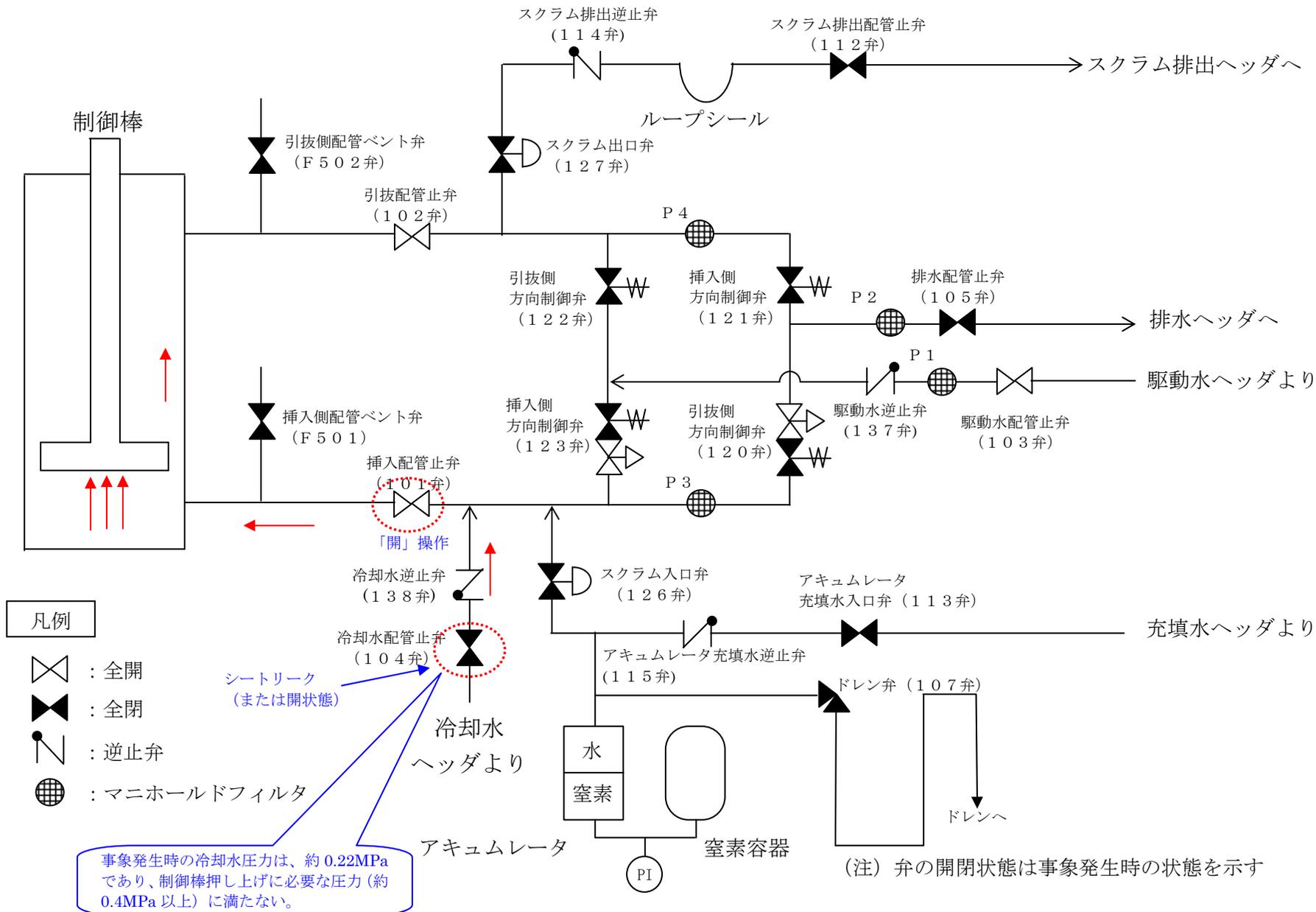
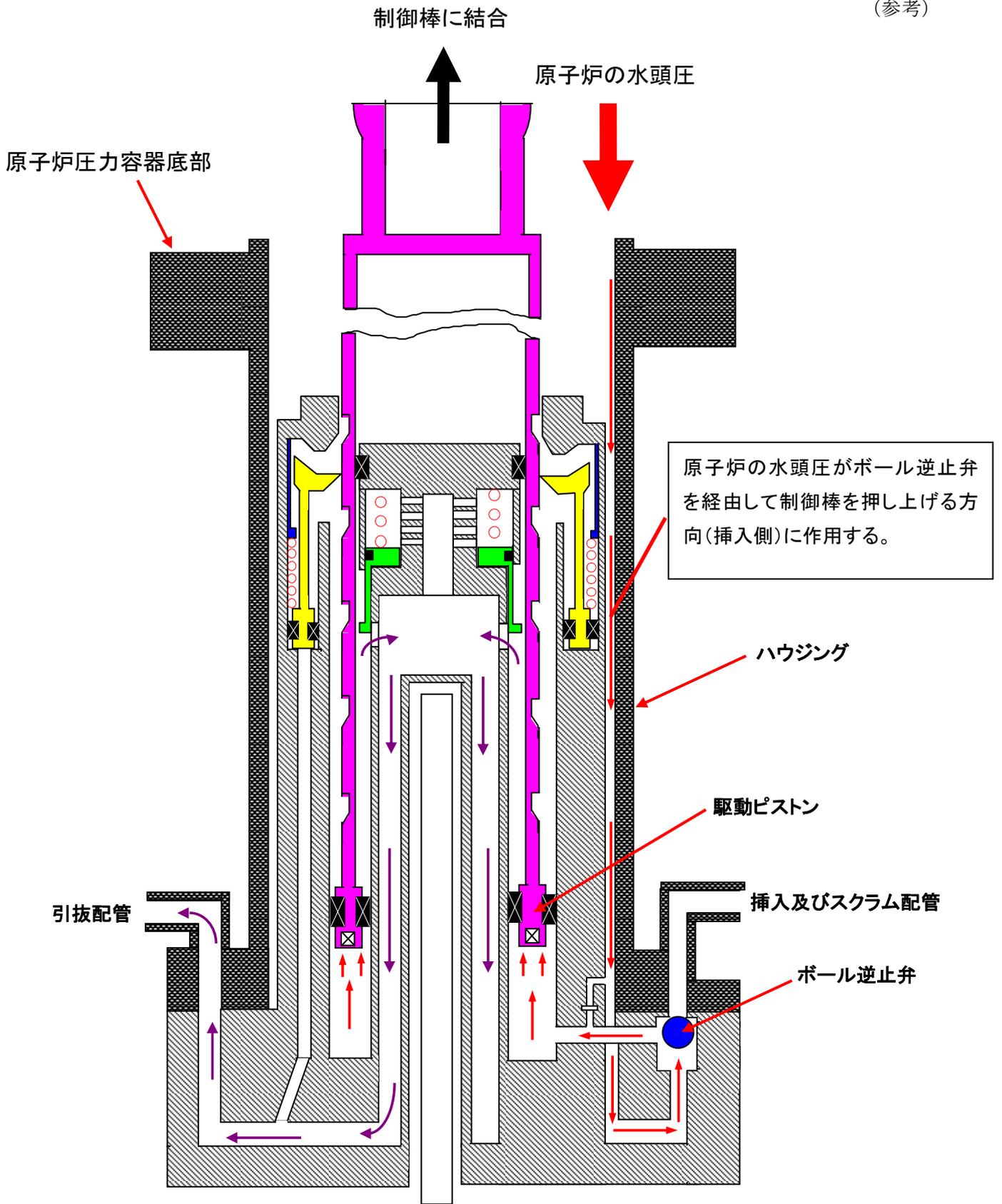


図6 制御棒駆動水圧系系統概略図

(冷却水配管止弁 (1 0 4 弁) のシートリークにより原子炉の水頭圧が制御棒挿入に作用する可能性について)



原子炉の水頭圧による  
制御棒挿入の概要

## 挿入側方向制御弁（123弁）の漏えい等の調査結果

### 1. 目的

挿入側方向制御弁（123弁）がシートリーク（または開状態）していた場合、駆動水配管止弁（103弁）開操作により駆動水圧力が制御棒を押し上げる方向（挿入側）に作用し、今回の事象が発生する可能性があることから、当該弁の漏えい確認を行う。また、異物の混入により方向制御弁にシートリークが発生する可能性があることから、方向制御弁内部、マニホールドフィルタの分解点検（異物の有無確認等）を行う。

### 2. 確認方法

通常の点検と同様の手順により、以下についての確認を行う。

#### （1）方向制御弁の漏えい確認（方向制御弁取付状態での複数同時試験）

リークテスト装置により、マニホールドフィルタP1プラグから弁入口側に水圧（2.5MPa以上）をかけ、マニホールドフィルタP2に接続したメスシリンダにより弁出口側への漏えい量を確認する。（図1参照）

#### （2）方向制御弁の漏えい確認（方向制御弁取外状態での単品試験）

方向制御弁を取り外してリークテスト装置を用いて弁入口側に水圧（2.45MPa以上）をかけ、弁出口側からの漏えい量を確認する。

#### （3）方向制御弁の分解点検

方向制御弁を分解し、弁体・弁座のシート部における傷等の異常の有無、各部の外観、内部における異物の有無を確認する。

#### （4）マニホールドフィルタの点検

フィルタ（P1、P2、P3、P4）の外観、捕捉されている異物の有無について確認を行う。また、フィルタ取外し時の排水内の異物の有無についても確認を行う。

### 3. 確認結果

#### （1）方向制御弁の漏えい確認（方向制御弁取付状態での複数同時試験）

方向制御弁の漏えい確認を行った結果、122弁・123弁間に水圧をかけた状態で約0.5cc/minの漏えいが認められた（判定基準：2cc/min以下）。また、120弁・121弁は漏えいは認められなかった。

#### （2）方向制御弁の漏えい確認（方向制御弁取外状態での単品試験）

方向制御弁の単品での漏えい確認を行った結果、漏えいは認められなかった。

なお、122弁・123弁間に水圧をかけた状態での漏えい試験では漏えいが認められたが、これは漏えい確認時の弁の着座状況のわずかな相違によるものと推定される。<sup>（注）</sup>

#### （3）方向制御弁の分解点検

各部いずれも外観に異常はなかった。また異物等も確認されなかった。（弁座及びシート面については図2、3参照）

(4) マニホールドフィルタの点検

マニホールドフィルタ (P1、P2、P3、P4) の外観に異常はなかった (図4参照)。また、フィルタ内部、フィルタ取外し時の排水内に異物は確認されなかった。

以上

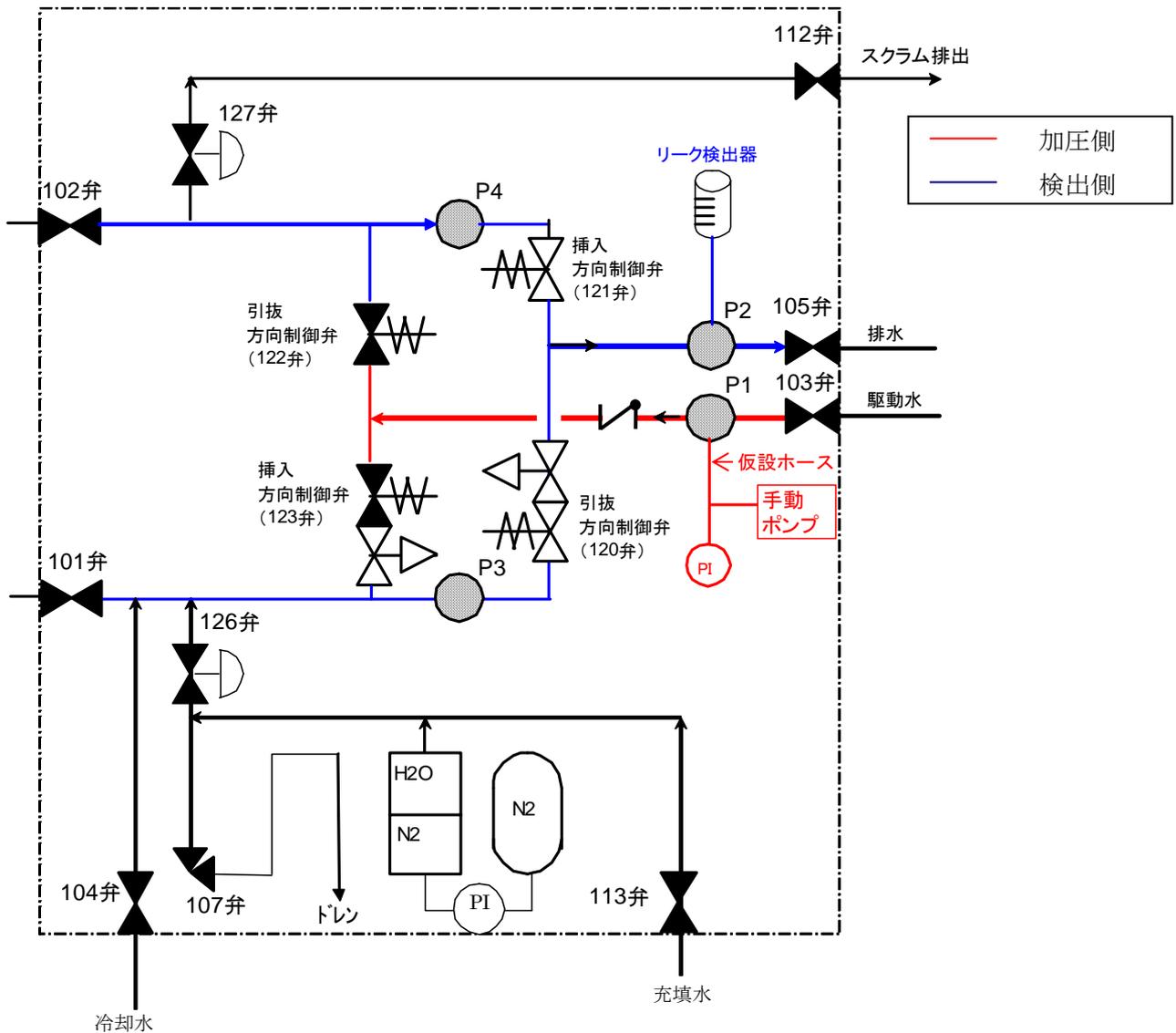


図1. 123弁、122弁のL/T時における系統図

(注) 単品での漏えい試験は、HCUより取り外した方向制御弁を試験装置に取り付け、弁内部の水張りのため弁の開閉をした後、試験を実施していることから、弁間の漏えい試験時と弁の着座状況にわずかな違いが発生したものと推定される。

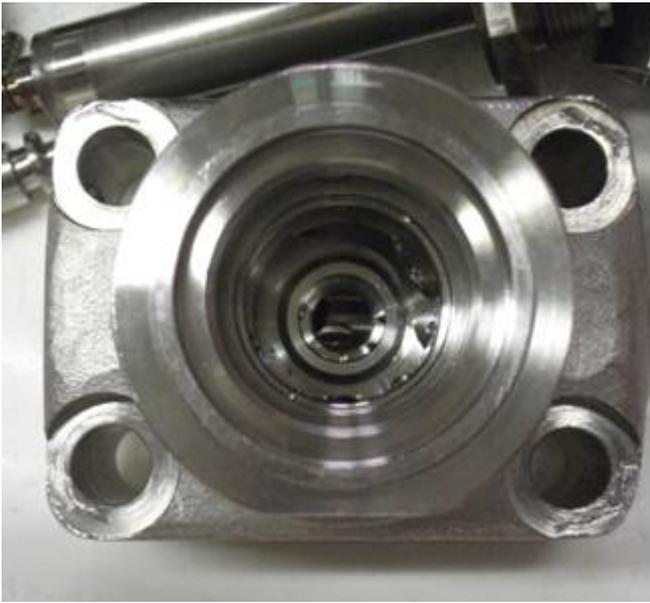


図2. 弁座外観 (1 2 3 弁)



図3. 弁体シート面 (1 2 3 弁)



図4. マニホールドフィルタ外観

## HCU内部配管の蓄圧による制御棒押し上げの可能性評価

### 1. 目的

HCU内部配管（制御棒挿入側配管）に空気等が混入し、蓄圧された状態で隔離されていた場合、挿入配管止弁（101弁）の開操作により空気等が開放され、制御棒を押し上げる方向（挿入側）に作用し、今回の事象が発生する可能性があるため、評価を行う。

### 2. HCU内部配管の蓄圧源の調査

#### (1) 駆動水配管（103弁）からの漏れ込み

マニホールドフィルタ（P1）を取り外したところ、フィルタへの系統水の流入がなかったことから、103弁からの漏れ込みはなかった。

#### (2) 冷却水配管（104弁）からの漏れ込み

マニホールドフィルタ（P3）を取り外したところ、フィルタへの系統水の流入がなかったことから、104弁からの漏れ込みはなかった。

#### (3) 排水配管（105弁）からの漏れ込み

マニホールドフィルタ（P2）を取り外したところ、フィルタへの系統水の流入がなかったことから、105弁からの漏れ込みはなかった。

#### (4) 充填水配管（113弁）からの漏れ込み

ドレン弁（107弁）を開操作したところ、配管内の残水が排出され、以降、水の流出はなかった。

なお、ドレン弁開操作時に、配管内に残圧があり、微少のN<sub>2</sub>が漏れ出てくることが確認された。

### 3. アクキュムレータの点検

#### (1) アクキュムレータ（ピストンシール部）の漏えい確認

アクキュムレータに窒素が封入（8.4MPa）された状態でN<sub>2</sub>リーク量を測定した結果、0.1cc/min程度の微少漏えいが認められた。また、アクキュムレータを取り外し、通常の点検時と同様の手順によりアクキュムレータピストン下部を加圧（0.98MPa）して漏えい確認を行った結果、漏えいは認められなかった。

(2) アキュムレータの分解点検

アキュムレータを分解して、シリンダ内面、ピストンに傷等の異常の無いことを確認した。また、ピストンシールリングについても、傷・変形等の異常のないことを確認した。

4. 内部配管蓄圧による挿入可能性評価

(1) N<sub>2</sub>によるアキュムレータ～スクラム入口弁 ( 1 2 6 弁 ) 間の蓄圧

アキュムレータのN<sub>2</sub>はH 2 1年9月7日に封入し、以降約1 4ヶ月間圧力を保持している状態であった。

一方、停止期間中のアキュムレータブロー時、及びスクラム弁リークテスト時のテスト装置接続の際にエアが混入する可能性がある。これにより、アキュムレータブロー時またはスクラム弁リークテストに伴いアキュムレータ～スクラム弁 ( 1 2 6 弁 ) 間にエアが混入しN<sub>2</sub>が漏れ込む空間が確保され、その後N<sub>2</sub>封入状態を長期間保持したことにより、漏れ込んだN<sub>2</sub>が蓄圧された状態となる可能性がある。

(2) 挿入配管 ( 1 2 3 弁～1 0 1 弁間 ) の蓄圧

HCU内部配管の取り回し ( 高低差 ) を考慮すると、アキュムレータ～スクラム入口弁 ( 1 2 6 弁 ) 間が蓄圧された状態、かつHCUが隔離された状態において、スクラム入口弁 ( 1 2 6 弁 ) のシートリークがある場合あるいはスクラム入口弁 ( 1 2 6 弁 ) の開動作を行った場合、圧縮されたN<sub>2</sub>は挿入配管 ( 1 2 3 弁～1 0 1 弁間 ) に移動する可能性がある。

スクラム入口弁の漏えい確認及びスクラム入口弁の開動作実績調査を行ったところ、スクラム弁の漏えいは確認されなかったが、至近のHCU隔離～今回の隔離解除の間に系統機能試験として実施した原子炉保護系インターロック機能検査 ( その1 ) 時 ( H 2 2年1 1月1 5～1 6日 ) にスクラム入口弁が開動作していたことが確認された。

(3) N<sub>2</sub>蓄圧による制御棒挿入可能性

アキュムレータから漏れ込んだN<sub>2</sub>が、アキュムレータと同圧 ( 8 . 4 M P a ) から制御棒駆動に必要な圧力 ( 0 . 4 M P a ) まで膨張した場合、以下のとおり、制御棒を押し上げる可能性があることがわかった。

- ・ 制御棒を1 ノッチ駆動する際の制御棒駆動機構内のピストン下部の体積変化は約4 0 0 c c
- ・ HCUへのエア混入量は配管等の位置関係の評価より約2 0 c c であり、これが膨張した場合の体積変化は約4 0 0 c c。

#### 4. 考察

$N_2$ を封入した状態でアキュムレータ～スクラム弁（126弁）間に $N_2$ ・エアが約8.4MPa程度まで蓄圧され、HCU隔離状態でスクラム弁の開動作を伴う試験を行った際に制御棒挿入配管に移動・蓄圧されたことが本事象の要因であると推定される。

以 上

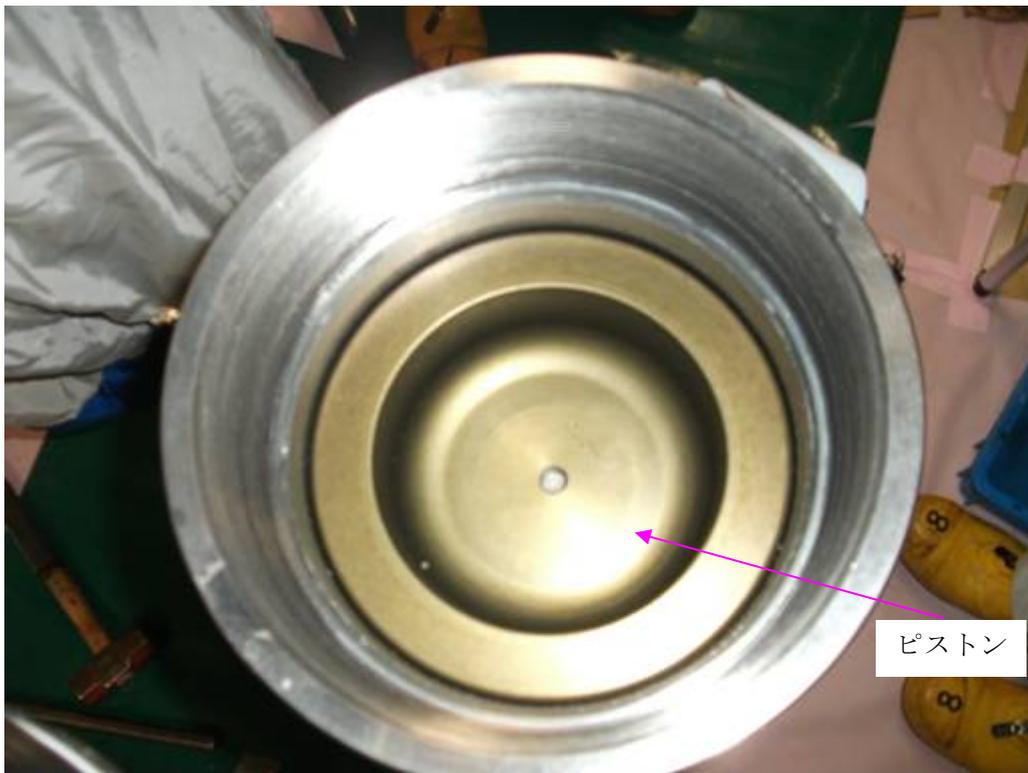


図1. アキュムレータピストン内部

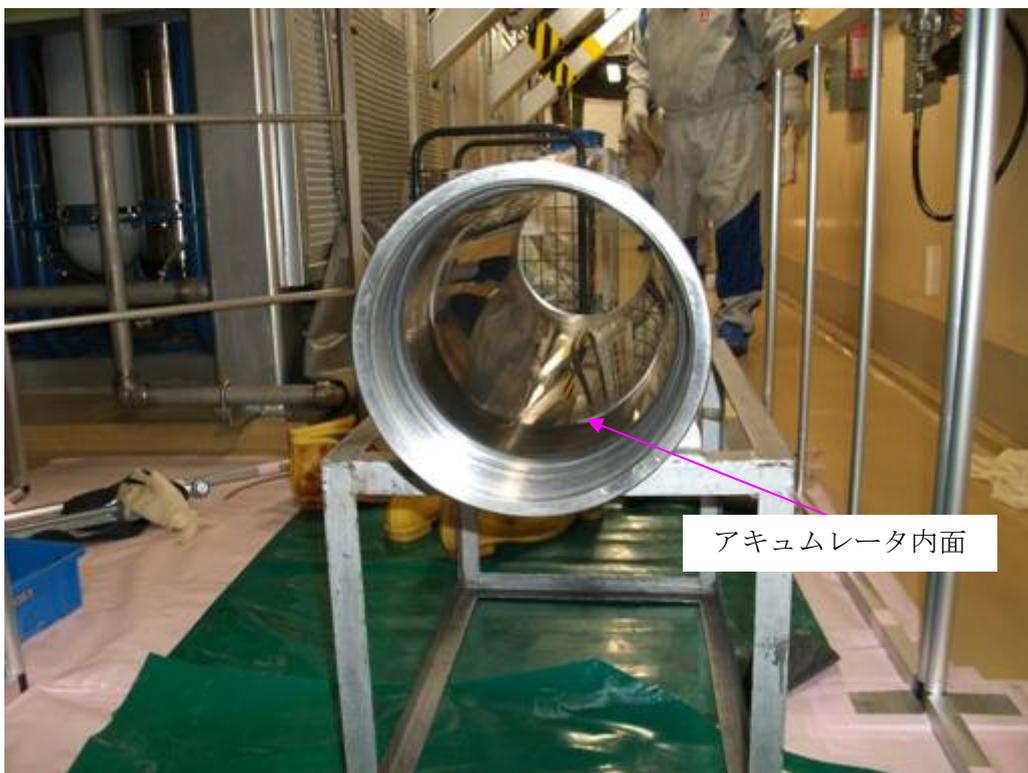
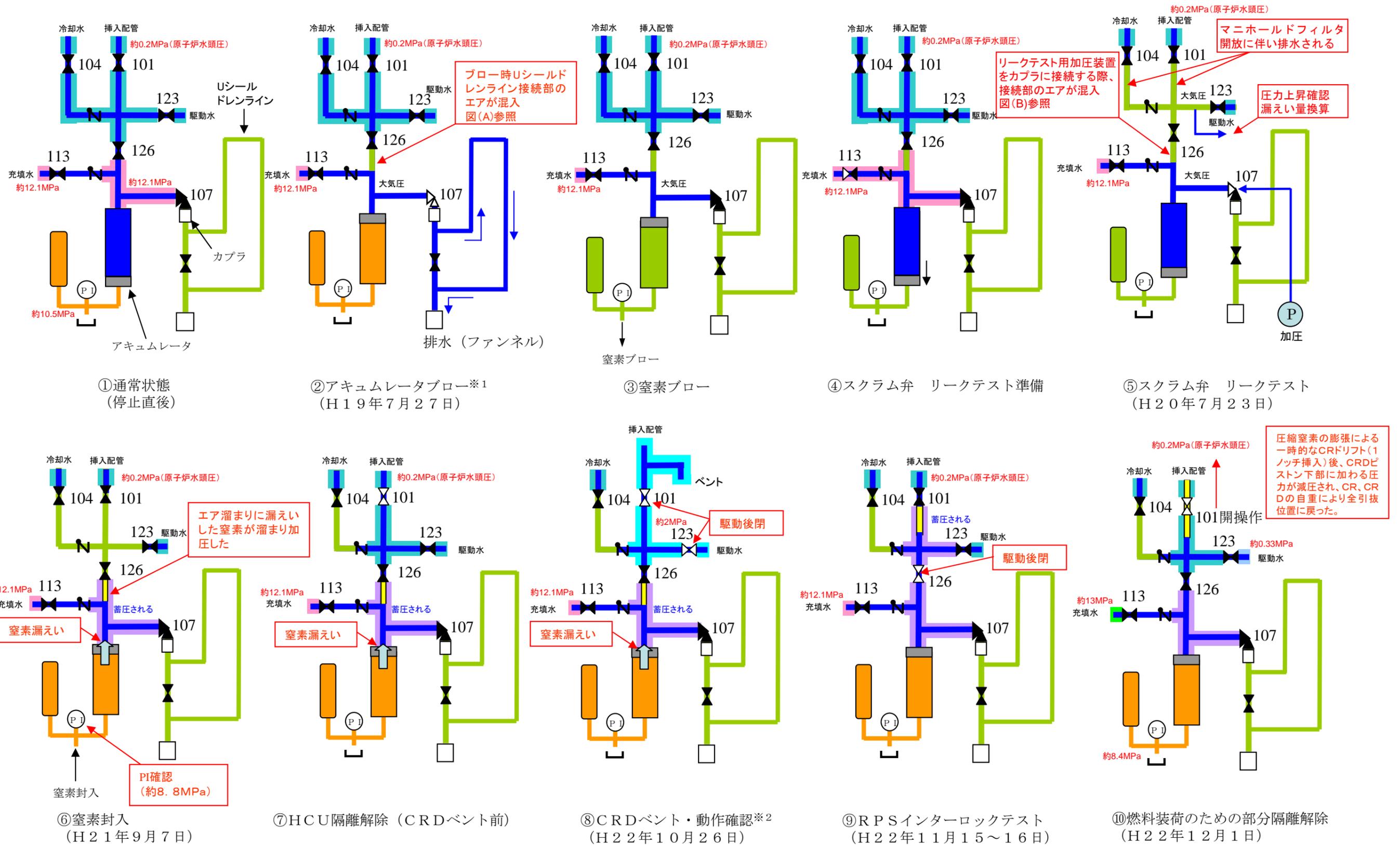


図2. アキュムレータ内面

- 【凡例】
- : 充填水
  - : 蓄圧された気体
  - : 窒素
  - : 空気



注) この推定メカニズムは、点検・復旧の中で本事象のポイントとなる状態だけを簡易的に示している。

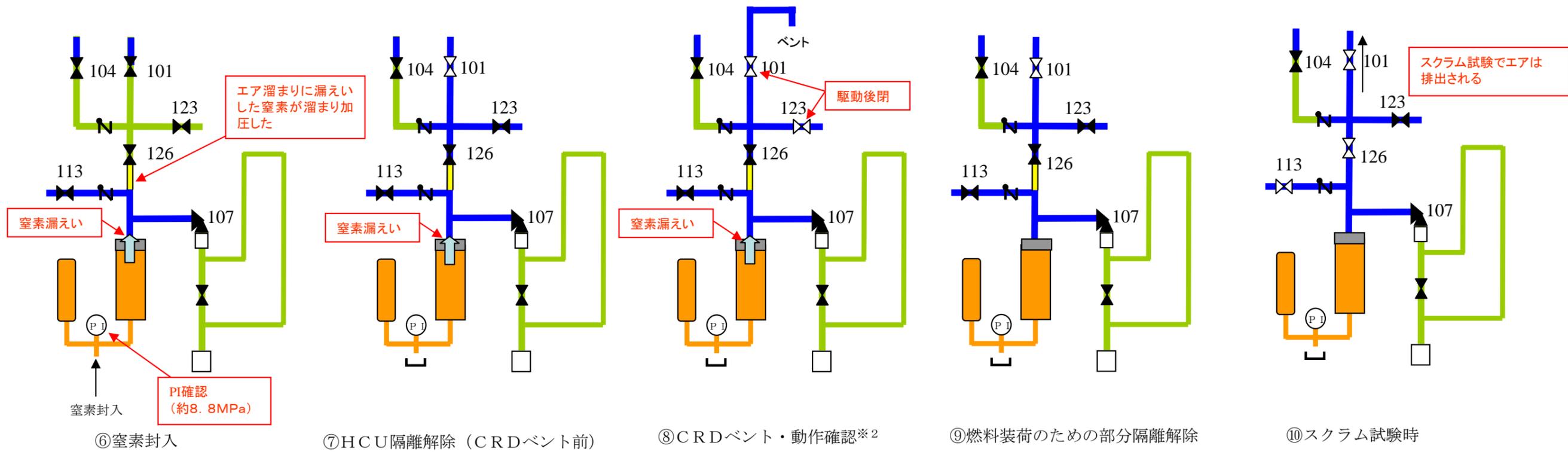
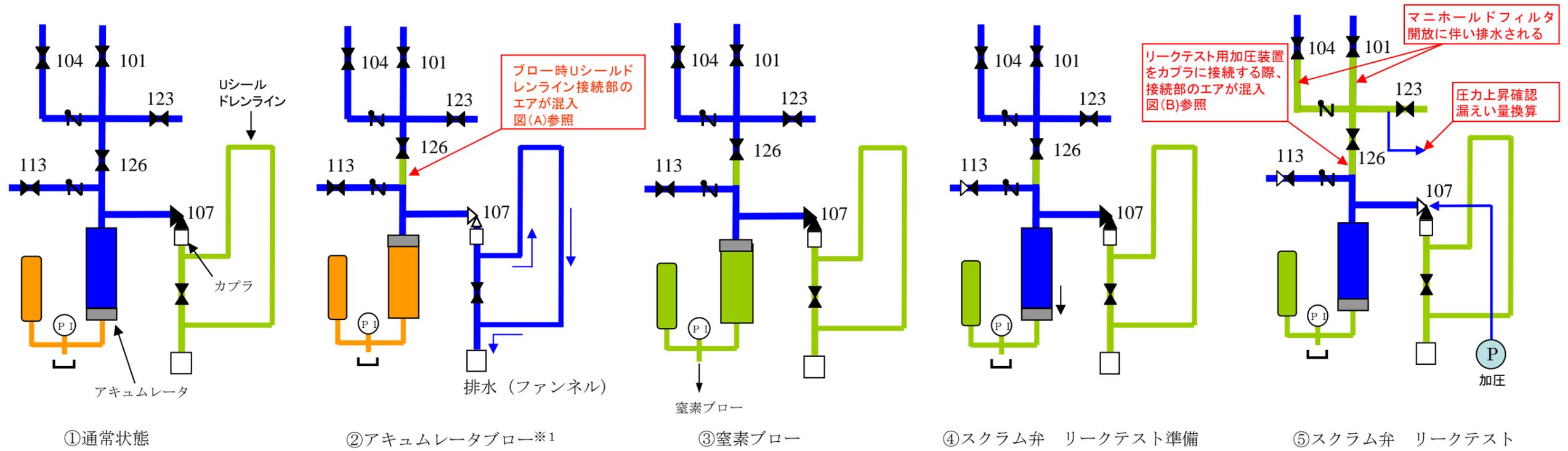
注) 図(A)(B)については、次ページ参照

※1 アキュムレータの水をブロー

※2 5号機における制御棒ドリフト事象の対策として全HCUで実施

制御棒の予期せぬ挿入 推定メカニズム(3号機 第10回定期検査時)

- 【凡例】
- : 充填水
  - : 蓄圧された気体
  - : 窒素
  - : 空気



注) この推定メカニズムは、点検・復旧の中で本事象のポイントとなる状態だけを簡易的に示している。

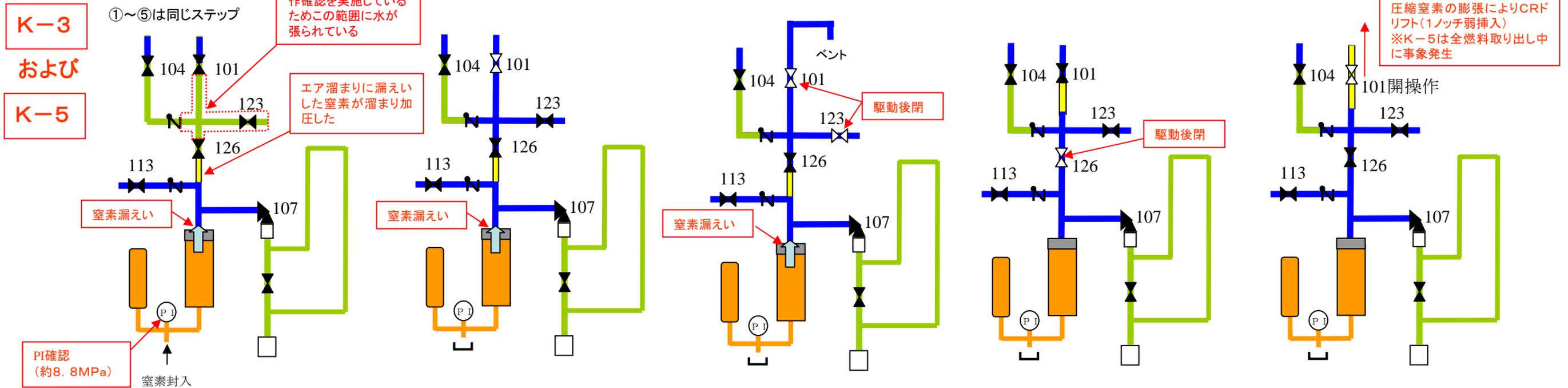
注) 図(A)(B)については、次ページ参照

※1 アキュムレータの水をブロー

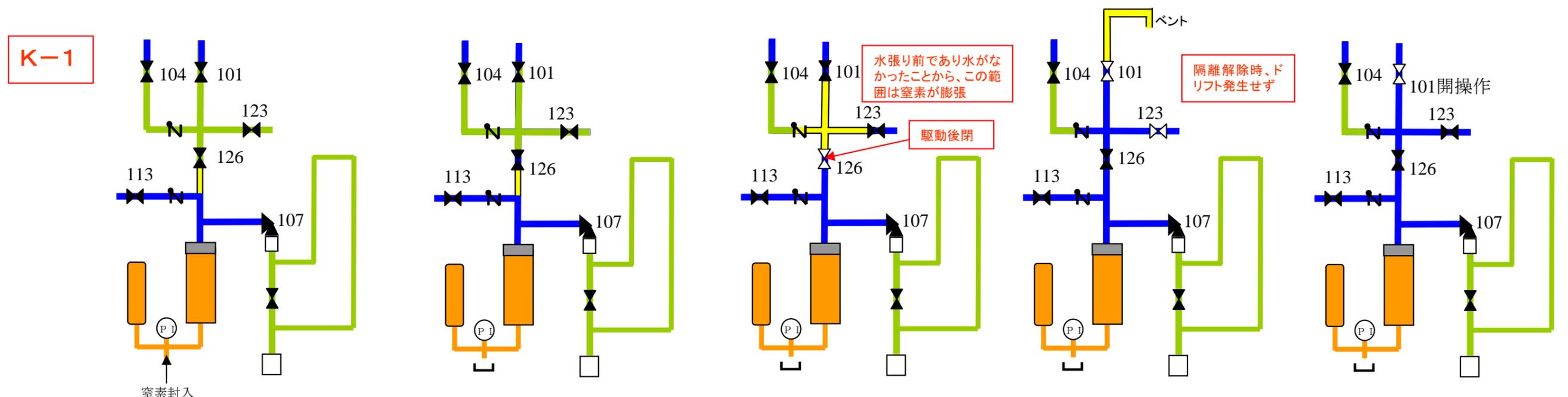
※2 動作確認は分解点検を実施したCRDIについて実施

【凡例】

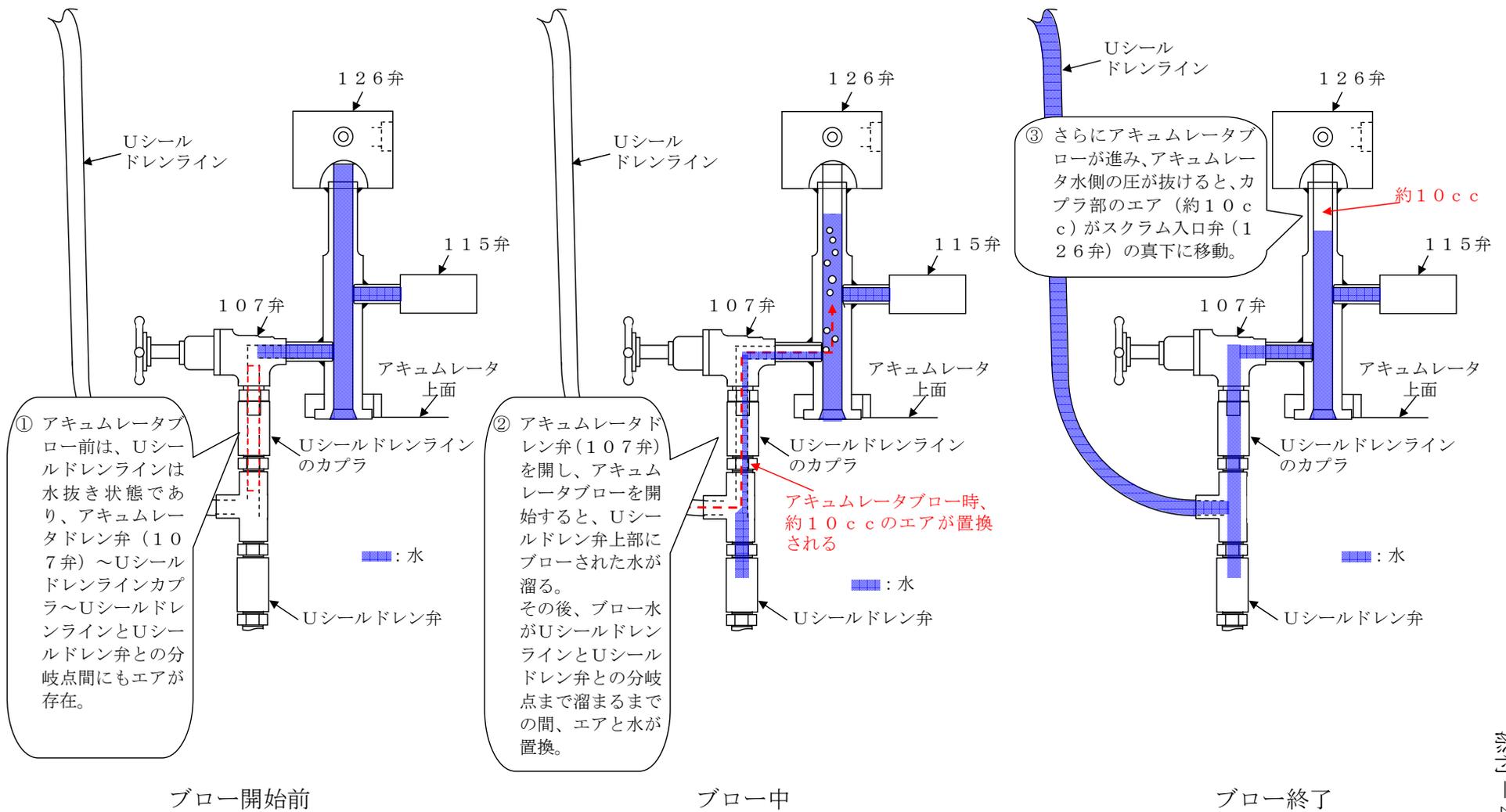
- : 充填水
- : 蓄圧された気体
- : 窒素
- : 空気



K-3	⑥窒素封入 (H21年9月7日)	⑦HCU隔離解除 (ベント・動作確認前)	⑧CRDベント・動作確認 (H22年10月26日)	⑨RPSインターロックテスト (H22年11月15~16日)	⑩燃料装荷のための部分隔離解除 (H22年12月1日)
K-5	⑥窒素封入 (H21年3月2~6日)	「⑥窒素封入」の前に実施		⑦RPSインターロックテスト (H21年11月16日)	⑧CRDベント・動作確認 (前回動作から期間が開いたため) (H21年12月18日~H22年1月7日)

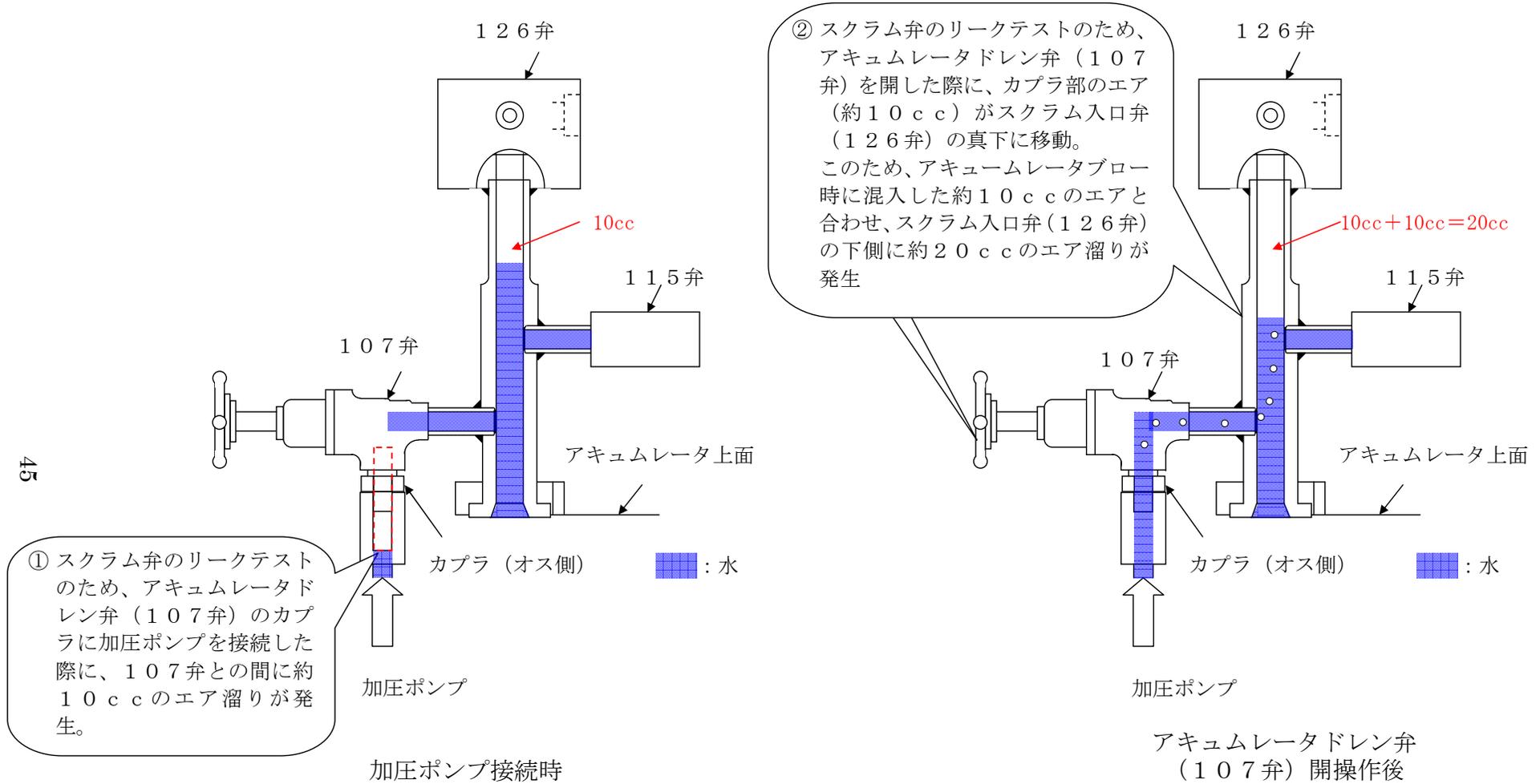


K-1	⑥窒素封入 (H21年2月19~23日)	⑦RPSインターロックテスト前	⑧RPSインターロックテスト (H21年11月27日)	⑨CRDベント・動作確認 (H21年11月27~12月6, 10日)	⑩燃料装荷のための部分隔離解除
-----	----------------------	-----------------	-----------------------------	------------------------------------	-----------------



図（A） 充填水ラインへの空気混入メカニズム（1/2）

（アキュムレータブロー時（平成19年7月27日））



図（B） 充填水ラインへの空気混入メカニズム（2/2）  
（カプラ接続時（平成20年7月23日））

## 引抜側配管ベント弁の漏えい確認結果

### 1. 目的

引抜側配管ベント弁（F502弁）がシートリーク（または開状態）していた場合、原子炉の水頭圧が制御棒を押し上げる方向（挿入側）に作用し、今回の事象が発生する可能性があることから、当該弁の漏えい確認を行う。  
（図1参照）

### 2. 確認方法

F502弁下流のホース接続部からの漏えいの有無を目視により確認する。また、周囲の漏えいの痕跡の有無についても目視により確認を行う。  
（図2参照）

### 3. 確認結果

F502弁下流のホース接続部からの漏えいは確認されなかった。また、周囲に漏えいの痕跡も確認されなかった。

### 4. 考察

引抜側配管ベント弁（F502弁）からの漏えいは確認されなかったことから、今回の事象の要因とはならない。

以 上

ドレン弁のリークにより圧力低下の可能性

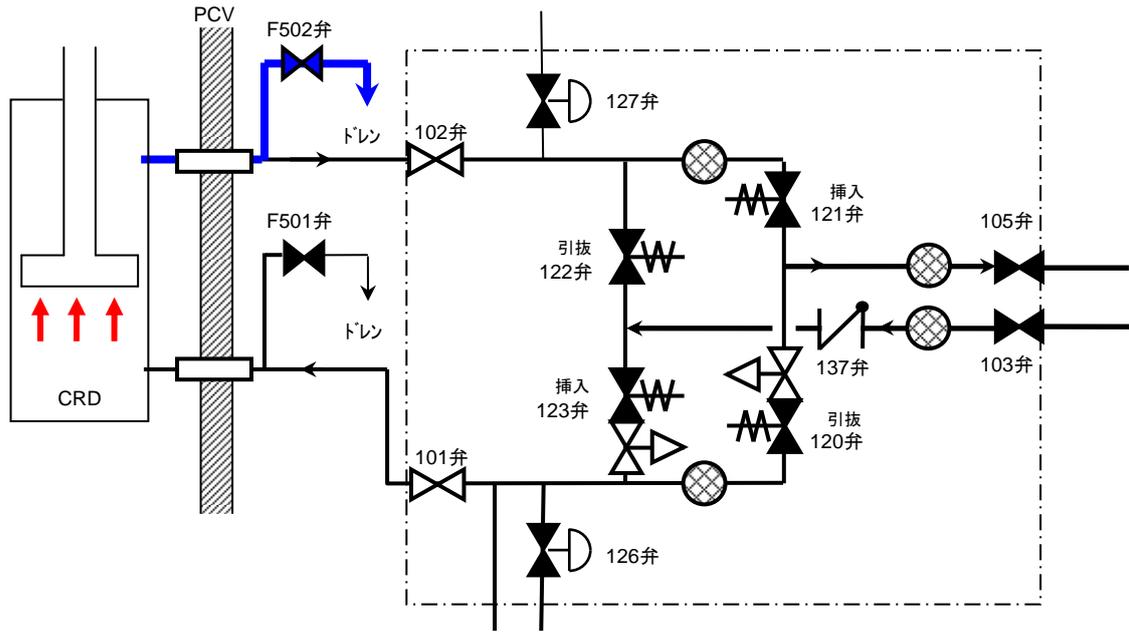


図1. F502弁の系統内における配置

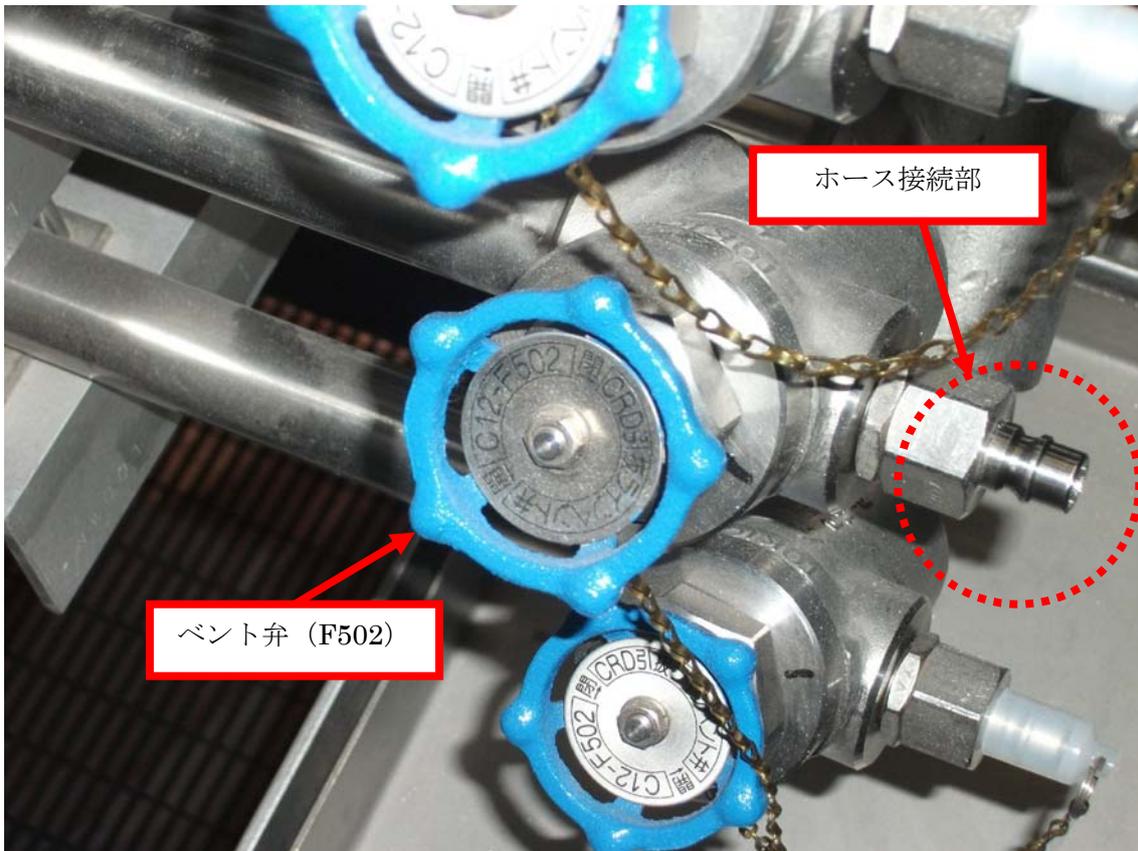
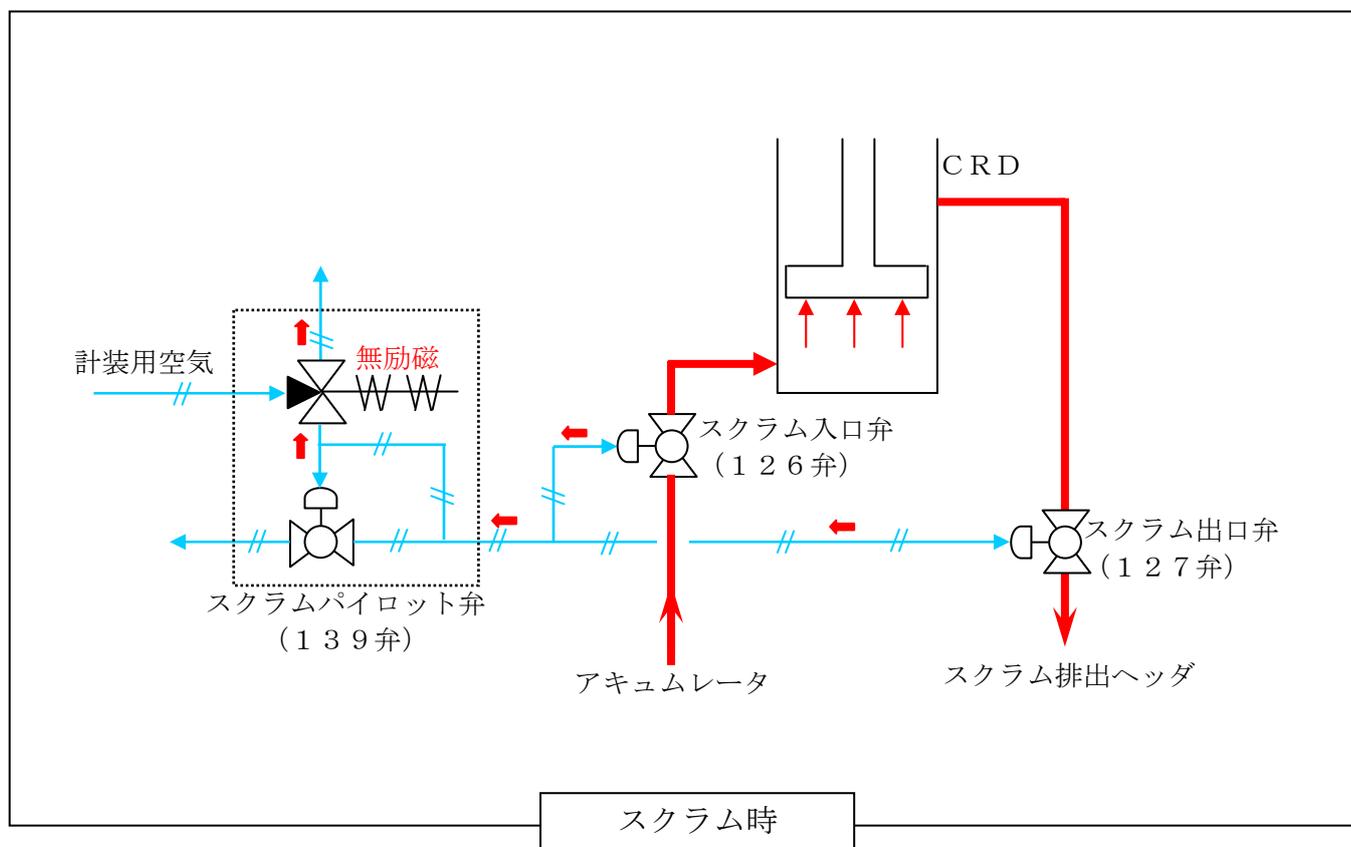
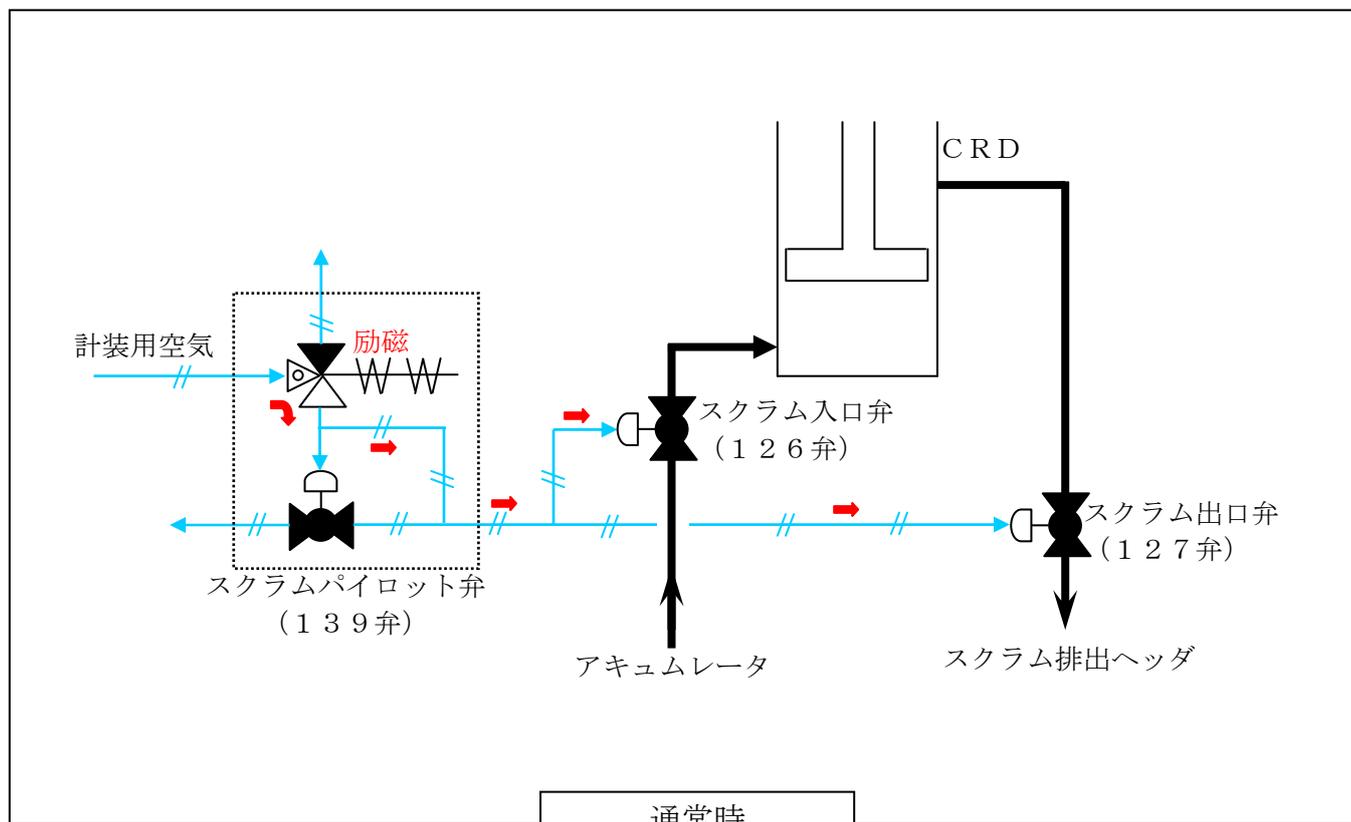


図2. F502弁の現場写真



スクラムパイロット弁の動作概略図

制御棒駆動水圧装置 (HCU) 隔離解除時の操作内容

1. 体制

中央制御室運転員 : HCU隔離解除監視者

現場運転員 : 現場隔離解除監視者、現場隔離解除操作者

\* 2名の現場運転員については、HCU隔離解除の操作経験が複数回あり。

2. 操作手順

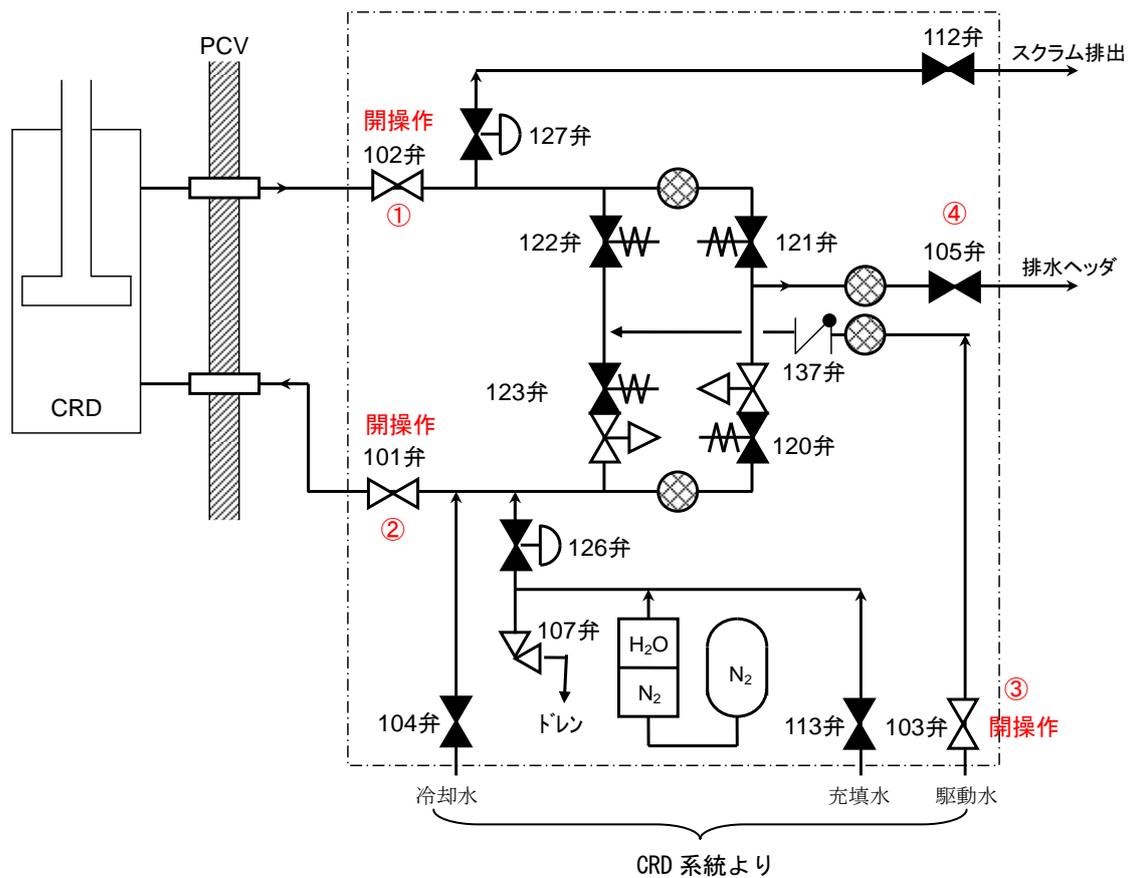
3号機設備別操作手順書(制御棒駆動水圧装置全数完全隔離からの部分復旧)に従い、操作前の確認項目を確認した後、現場運転員は以下の手順により制御棒(38-59)のHCU隔離解除操作を開始した。

①引抜配管止弁 (102弁) 全閉→全開

②挿入配管止弁 (101弁) 全閉→全開

③駆動水配管止弁 (103弁) 全閉→全開

④排水配管止弁 (105弁) 全閉→全開 ←③操作時、中操からの指示で操作中止したため④は実施せず。



(HCU 38-59)

### 3. 操作状況

2名の現場運転員は、中央制御室監視者からの指示を受け手順書とチェックシートに従い弁のHCU隔離解除操作を開始した。

現場運転員は2人一組で隔離解除操作を実施し、操作手順書およびチェックシートに従い、隔離解除操作者が弁操作、隔離解除監視者が操作のチェックを行った。

また、本事象発生時のHCU隔離解除対象は10体予定されており、制御棒（38－59）のHCU隔離解除は2体目の操作であった。

なお、1体目のHCU隔離解除操作時には、操作手順書及びチェックシートにより操作を行い、その時は「制御棒ドリフト」警報は発生しなかった。

### 4. 聞き取り調査結果（12月1日）

（1）HCU操作前、リターン運転とし、冷却水差圧低警報が継続していた状態であることを確認していた。

（2）現場運転員は操作手順を確認後、弁操作順序に従い当該HCU隔離解除のための弁操作を行った。

弁操作順序（①102弁（閉→開）→②101弁（閉→開）→③103弁（閉→開））は間違いなく行われていた。

さらに、弁操作に当たっては、監視者と操作者間で、弁銘板を確認しながらの指差呼称を実践し、操作を行った。

（3）中央制御室より「制御棒ドリフト」警報発生との連絡があったため、現場運転員は弁操作を中断した。なお、連絡を受け、103弁の全開操作実施までで中断し、105弁は全閉のまま操作しなかった。また、警報発生時、中央制御室運転員は、全制御棒炉心表示ユニットに「スクラム」表示が点灯していないことから、スクラムパイロット弁が動作していないことを確認した。

（4）102弁→101弁→103弁の操作について、現場運転員は同時操作を行っておらず、各々の弁操作を約10秒間隔で行っていた。

### 5. 考察（操作の妥当性評価）

操作手順書およびチェックシートの確認、ならびに操作員からの聞き取り結果を評価すると、今回のHCU隔離解除に関して問題になる操作は認められなかった。また、1体目のHCU隔離解除操作実施時には異常が認められなかったことから、手順書の内容についても問題は無いと判断できる。

以上のことから、本事象における操作については妥当と評価される。

制御棒駆動水圧装置部分復旧操作に関わる運転操作手順書

NM-51-5・KK-F1-538、3号機 設備別操作手順書 第1編  
2010年10月20日(199)

4-4項 制御棒駆動水圧装置全数完全隔離からの部分復旧

目的	制御棒駆動水圧装置 (HCU) を隔離状態から、制御棒操作を必要とする作業等がある場合に復旧する。
----	---

[参考事項]

- (1) CRD充填水圧力高/低 警報設定値  
[C12-PS609] H: 13.7MPa L: 11.4MPa
- (2) CRDアキュムレータ圧力低/水位高 警報設定値  
[C12-PS130] 10.64MPa [C12-LDS129] 45cc
- (3) CRD冷却水/RPV差圧高 警報設定値  
[C12-DPS608A] H: 0.36Pa
- (4) CRD冷却水/RPV差圧低 警報設定値  
[C12-DPS608A] L: 0.082MPa
- (5) CRD冷却水/RPV差圧高高 警報設定値  
[C12-DPS608A, B, C] HH: 0.51MPa

**TBM-KY実施**

指差呼称	3Way	事例紹介
STAR	念押し	ノウハウ
HOLD-P	報連相	ルール遵守

\* CR引抜け防止インターロック許可位置で、CRDポンプトリップに至る。

操作概要	<ol style="list-style-type: none"> <li>(1) CRD系がリターンラインにて運転中であることを確認する。</li> <li>(2) 復旧する対象のHCUであることを確認する。</li> <li>(3) 引抜配管止弁[102]を「全開」する。</li> <li>(4) 挿入配管止弁[101]を「全開」する。</li> <li>(5) 駆動水配管止弁[103]を「全開」する。</li> <li>(6) 排水配管止弁[105]を「全開」する。</li> </ol>
------	--

注意事項	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ HCU隔離復旧操作に関して以下の事項を遵守すること。              &lt;&lt;当社における原子炉停止中の制御棒引抜け事象に鑑みた対策(指示事項)&gt;&gt;              ①制御棒駆動水圧装置の隔離を解除するときは、CRD系がリターンラインにて運転していることを確認して実施する。              (CRDポンプの吐出圧力が、直接冷却水ラインより制御棒駆動機構に掛かり、ラッチ外れによるCRDのドリフト、もしくは、制御棒駆動機構の損傷が考えられるため、リターンラインを構成して、CRD系の系統圧力が直接制御棒駆動機構に掛かることを防止する。)</li> <li>②隔離復旧操作は1体(ユニット)ずつ実施することとし、操作中のユニットが完了しないうちに次のユニットには着手しないこと。なお、同時に複数人での隔離復旧操作も可とするが、HCU1体ずつ隔離復旧操作を実施すること。</li> <li>③CRD系がノンリターン運転中にHCUの隔離復旧操作を行う必要がある場合は、複数人(チーム)による平行しての隔離復旧操作を禁止する。(1体HCU操作中は残りの184体を操作してはならない。)              また、1体の隔離復旧操作が終了する都度、進捗状況の確認を実施すること。</li> <li>・ 個々のHCU操作にあたっては、「HCU隔離・復旧操作時チェックシート」を手順書に代えて使用できるものとし、必要事項を記入する。</li> <li>・ HCU隔離復旧操作後に、「HCU弁確認用タグ」(作業依頼票及び作業票運用要領による)を使用して弁状態を再確認し必要事項を記入する。              (K-1「HCU50-27チェックシート記載漏れ」不適合、及び2F-3「HCU再隔離忘れによるLCO逸脱」事例の対策)</li> </ul>
------	---

1A-4-4-1

知的財産 取扱注意 社内関係者限り 第一運転管理部

NM-51-5・KK-F1-538、3号機 設備別操作手順書 第1編  
2010年10月20日(199)

4-4項 制御棒駆動水圧装置全数完全隔離からの部分復旧

操作手順	操作内容	確認事項	操作場所	確認日	確認者
1	(1) CRD系がリターンラインにて運転中であることを確認する。	「CR引抜け防止インターロック許可位置」警報発生中	H11-P700	12/1	[REDACTED]
	a. CR引抜け防止インターロック許可/解除選択「許可」位置確認				
	b. CRD駆動水CUW戻りライン止め弁[C12-F016]「全開」(L.O)確認				
	c. CUW系CRDリターンライン止め弁[G31-F106]「全開」(L.O)確認				
	(2) ページング・PHS等の通信手段により、中操⇄現場間の連絡が速やかに取れることを事前に確認する。				
(3) HCU操作員毎に「HCU隔離・復旧操作時チェックシート」を準備、確認する。					
(4) HCU操作後弁状態確認のため、対象HCUに「HCU弁確認用タグ」が準備されている事を確認する。					
2	中操へ部分復旧開始連絡をし、対象のHCUを復旧する。 ・個々のHCU操作にあたっては、「HCU隔離・復旧操作時チェックシート」を手順書に代えて使用できるものとし、必要事項を記入する。				
	(1) 引抜配管止弁[102]を「全開」。		R/B B1F HCUエリア		
	(2) 挿入配管止弁[101]を「全開」。		R/B B1F HCUエリア		
	(3) 駆動水配管止弁[103]を「全開」。		R/B B1F HCUエリア		
	(4) 排水配管止弁[105]を「全開」。		R/B B1F HCUエリア		
3	弁状態を再確認するとともに「HCU弁確認用タグ」に必要事項を記入する。 異常のない事を確認、部分復旧操作完了を中操へ連絡する。		R/B B1F HCUエリア		

1A-4-4-2/E

知的財産 取扱注意 社内関係者限り 第一運転管理部

NM-51-5・KK-F1-538、3号機 設備別操作手順書 第1編  
2009年10月23日(193)

4-9項 添付資料

(1) HCU隔離・復旧操作時チェックシート

実施日 2010年12月 1日

実施者 XXXXXXXXXX

\* 記入はロケーションNo. を記入し、実施した操作完了欄をレ点チェックする。該当しない完了欄は「-」とする。

○=全開 x=全閉 △=微開

隔離手順	105「X」→104「X」→103「X」→101「X」→102「X」 →112「X」					
ブロー手順	113「X」→Uシール「X」→107「△」→107「X」→Uシール「O」 →116「X」(必要により)					
部分復旧	102「O」→101「O」→103「O」→105「O」					
部分復旧状態からの再隔離	105「X」→103「X」→101「X」→102「X」					
チャージ手順	116「O」→113「O」→Uシール「X」→107「△」→107「X」 →Uシール「O」					
復旧手順	112「O」→102「O」→101「O」→103「O」→104「O」 →105「O」					
ロケーション	隔離完了	ブロー完了	部分復旧完了	再隔離完了	チャージ完了	復旧完了
65 42-59	-	-	✓		-	-
38-59	-	-			-	-
34-59	-	-			-	-
46-55	-	-			-	-
42-55	-	-			-	-
38-55	-	-			-	-
34-55	-	-			-	-
30-55	-	-			-	-
50-51	-	-			-	-
74 46-51	-	-			-	-
-						
-						
-						
-						
-						
-						
-						

14'45'

○

1A-4-9-1/E

知的財産 取扱注意 社内関係者限り 第一運転管理部

以上

## 中越沖地震後の設備点検に関する調査

本事象発生前に実施した中越沖地震後の設備点検では、制御棒（38－59）の制御棒駆動機構、方向制御弁並びにアキュムレータ等の目視点検の結果、変形等の損傷は確認されておらず、大気圧状態でのCRD動作確認の結果、異常のないことを確認している。

また、本事象により実施した方向制御弁、アキュムレータの分解点検の結果においても、各部に変形等の損傷は確認されなかった。よって本事象は、地震によるものではないと考えている。

設備点検として、今後、全数の制御棒について、運転圧によるスクラム試験および常駆動試験を実施する。

以 上

## 推定メカニズムの検証確認

## 1. 目的

制御棒（38－59）の予期せぬ動作事象のメカニズムとして、挿入配管止弁（101弁）、挿入側方向制御弁（123弁）間にアキュムレータの $N_2$ 圧力により蓄圧された $N_2$ ・エアが滞留しているものと推定したが、他のHCUについても同様に101弁、123弁間に蓄圧された $N_2$ ・エアが滞留している可能性があることから、他のHCUの101弁、123弁間の $N_2$ ・エア蓄積の有無を確認することにより、推定メカニズムの検証を行う。

## 2. 実施方法

## (1) アキュムレータの漏えい確認

10体のアキュムレータについて、アキュムレータドレン弁（107弁）下流にマンメータを設置し、 $N_2$ 漏えい量を測定する。

## (2) HCU隔離解除によるCRDのドリフト傾向確認

隔離解除されていないHCUについて、全燃料を取り出した上で事象発生時と同等の系統状態（流量、圧力）、同一の手順（通常時のHCU隔離解除手順）で隔離解除を行い、CRDの動作有無を確認する。

## (3) 挿入側配管ベント確認

HCU隔離解除後、挿入側配管ベント弁（F501弁）を開操作し、エアの吹き出しの有無を確認する。なお、原子炉保護系インターロック機能試験前に実施したCRD動作確認の際に、全HCUの挿入配管はベントを実施済みである。

## 3. 実施結果

## (1) アキュムレータの漏えい確認

10体中5体のアキュムレータで微少な漏えいが確認された（最大0.18 cc/min程度）。

（表－1参照）

## (2) HCU隔離解除によるCRDのドリフト傾向確認

当該CRDを除く184体のHCUの隔離解除を行ったところ、制御棒（10－51）、制御棒（42－51）の2体のCRDでドリフト事象が確認された。

この2体のCRDについて、アキュムレータの漏えい確認を追加で実施したところ、制御棒（10－51）のCRDで0.23 cc/min、制御棒（42－51）

のCRDで0.18cc/minの漏えい量が測定された。

（添付－1、2参照）

（3）挿入側配管ベント確認

隔離解除を行ったすべての挿入側配管ベント弁（F501弁）において気体が排出された。

4. 考 察

（1）アキュムレータ圧力と制御棒挿入側動作について

微少な漏えいが確認されたアキュムレータがあったこと、事象発生時と同等の系統状態、同一の隔離解除手順によりドリフトが発生したこと、また、挿入配管ベント弁（F501弁）から気体の排出があったことから、挿入配管止弁（101弁）入口側の蓄圧された $N_2$ ・エアが、隔離解除操作（101弁開）に伴い体積膨張し、下流側の水を押し出すという、推定メカニズムとおりの現象が発生したものと考えられる。

なお、比較的多い漏えい量が測定されたアキュムレータに接続されるCRDであってもドリフトは発生しなかったが、これは、アキュムレータ～スクラム弁間で窒素が蓄圧された状態での圧力値、圧縮窒素が挿入配管側に移行した後の101弁・123弁・120弁のシール性、CRD内部のシール性、CRD内部の摩擦抵抗、窒素の膨張速度（101弁の開操作度合い）など、CRDドリフト発生に影響する因子が個々に異なるためと推定される。

（2）アキュムレータピストン部のシール性について

a. アキュムレータピストンシール部の構造とシール機能（図1～3）

HCUアキュムレータピストンにはシール部品としてTリングとその両側にバックアップリング（以下、Tリング）を使用し、窒素ガス（ $N_2$ ）及び充填水のシールをする構造を採用している。バックアップリングは、Tリングが片方向から圧力が印加された場合におけるピストンとアキュムレータ内壁間での巻き込み等による破損を防止するために配置されており、Tリングに変形・傷等の異常が発生しにくい構造となっている。

本Tリングは圧縮された状態で取りつけられ、圧縮復元力による初期の接触圧力と、圧力が作用した場合には、これに応じて接触圧力を増しシール機能（セルフシール）を維持する。

シール性能については、図2に示すように流体による圧力が作用した場合、Tリングのシール面圧は流体圧力Pより大きくなるため、原理的にはリークは生じ難い。

HCUアキュムレータについては、通常運転においてピストン上面は充填水圧

が、ピストン下面はN<sub>2</sub>圧力が負荷されており、Tリングが上／下面より圧力を受けることにより、セルフシール性を高めていると考える。（図3参照）

b. 今回のN<sub>2</sub>漏えい原因

原因調査の過程において、当該事象が発生したCRD（38－59）HCUアキュムレータのピストンシール部より、ピストン下部に封入されたN<sub>2</sub>がわずかに漏れ出ていることが確認されている（確証確認においても、10体中5体のアキュムレータで微少な漏えいが確認されている（表－1参照））。

N<sub>2</sub>リークが発生した際のHCUアキュムレータの状態は、充填水側が大気圧でありTリングの充填水側の圧力が低い一方、N<sub>2</sub>側が高圧（約8MPa）のためセルフシール性能が通常運転時より低下していたため、N<sub>2</sub>が充填水側へリーク（水マノメータによる測定で0.1cc/min程度）したものと推定した。

制御棒が予期せぬ動作をしたHCU（38－59）アキュムレータについて、通常の保全データとの比較のために通常点検時と同様の方法（N<sub>2</sub>側を0.98MPaで加圧・保持、充填水側が大気圧の状態、圧力降下法による漏えい量測定）で測定したところ、漏えい量は0cc/min（通常点検時の判定値：0.1cc/min）であった。

さらに、アキュムレータを分解してシリンダ内面、ピストン及びシール部材の目視点検を行ったが、Tリングに傷、変形等の異常は確認されなかった。

したがって、アキュムレータのN<sub>2</sub>側のみ圧力がかかった状態において、Tリングからの漏えいは発生する可能性が高まるものの、Tリングにバックアップリングを配することで破損しにくい構造となっていることから、本事象は設備的な異常ではないと判断した。

なお、漏えいが確認された5体のアキュムレータについても微少な漏えいは想定されるものであり、設備的な異常はなく、分解点検で確認する必要はないと判断した。

c. 結論

N<sub>2</sub>のみにより加圧した場合にわずかに漏えいを生じることは、シール材の傷、変形によるものではなく、シール材であるTリングの構造上発生しうるものである。また、通常運転状態（充填水：約12MPa、N<sub>2</sub>：約12MPa）において、Tリングのセルフシール性はより高まり漏えいを防止していると考えられる。

なお、スクラム機能が求められる状態（アキュムレータがチャージされた状態）において、万一ピストン下面への水の漏れ込みがあったとしても、漏れ量を常時監視しており、スクラム機能を担保した状態を管理することが可能である。

また、以上のことから、アキュムレータをN<sub>2</sub>のみで加圧している場合の微少

漏えいは設備上の異常ではなく、スクラム入口弁（126弁）の開閉タイミングによっては、スクラム入口弁（126弁）入口側に蓄積したN<sub>2</sub>・エアの影響により制御棒が挿入されることが分かった。

以上

表-1 アキュムレータ漏えい確認結果

制御棒番号 (L/N)	漏えい量 cc/min	点検 時期	備考
42-59	0.00	10 回定検*	当該制御棒（38-59） のアキュムレータは第8 回定検で点検を実施
34-43	0.01	9 回定検	
34-31	0.01	3 回定検	
38-23	0.09	4 回定検	
34-03	0.18	6 回定検	
30-07	0.00	6 回定検	
26-55	0.01	5 回定検	
18-59	0.00	10 回定検*	
18-27	0.00	7 回定検	
30-03	0.00	10 回定検	

※：地震後の設備健全性確認における予めの追加点検対象

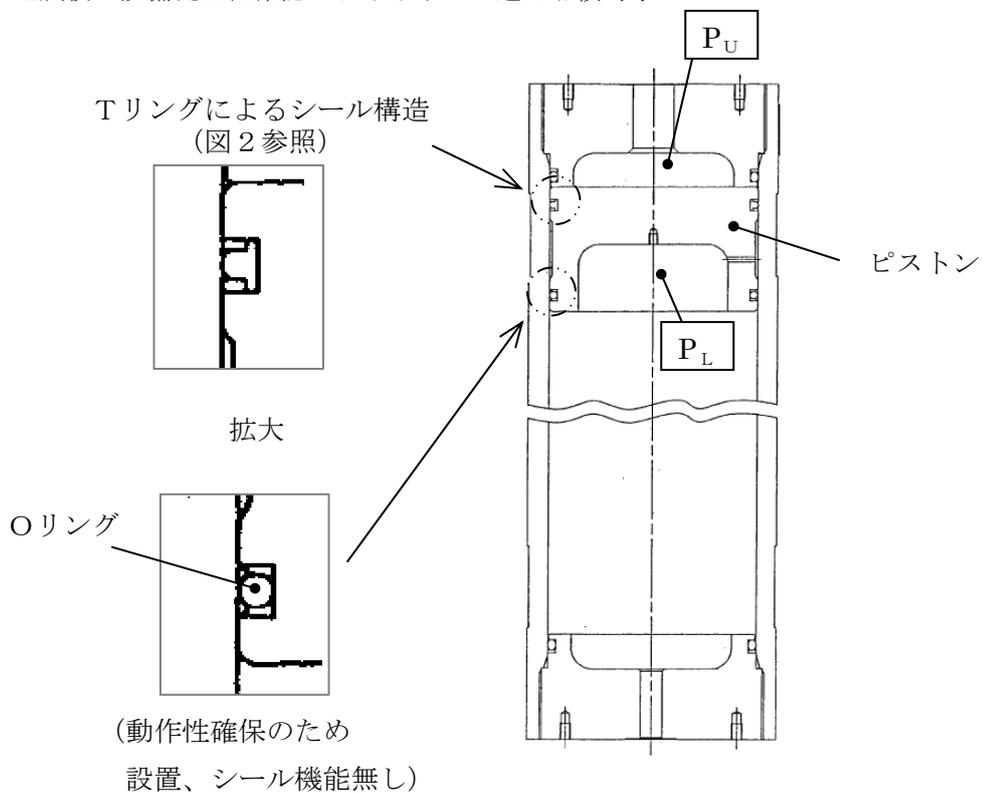


図1. アキュムレータ構造

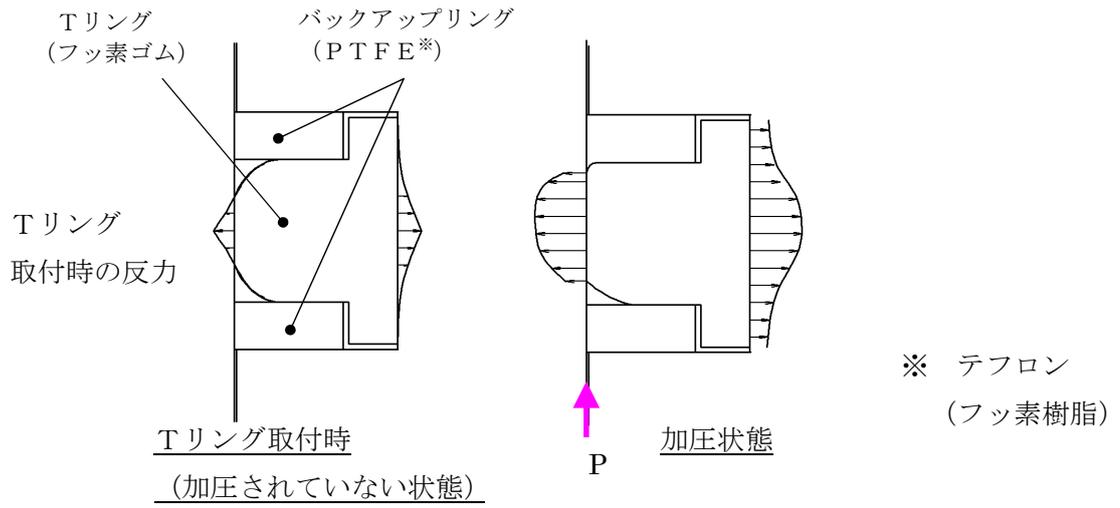


図2. Tリングの構造及びシールの原理

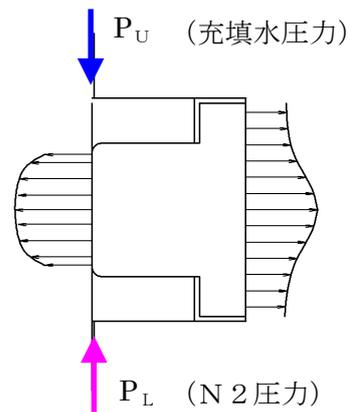
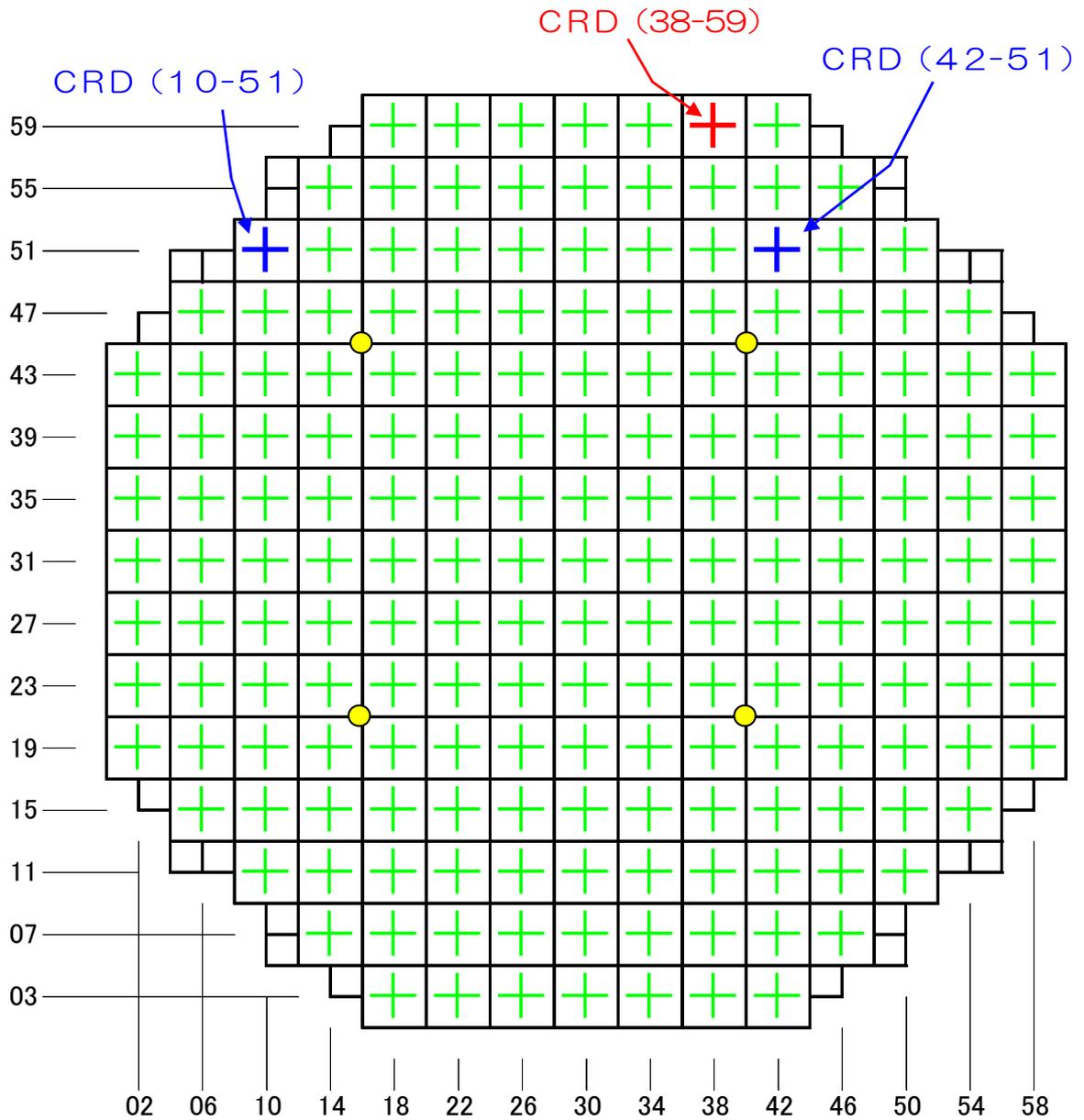


図3. 充填水及びN<sub>2</sub>ガスによる加圧状態



- + : 全引抜き位置の制御棒
- + (blue) : ドリフト事象が確認された制御棒
- (yellow) : 中性子源領域モニタ検出器

HCU隔離解除時にドリフト事象が確認された制御棒位置

柏崎刈羽原子力発電所 第3号機 2010年12月07日 13:35

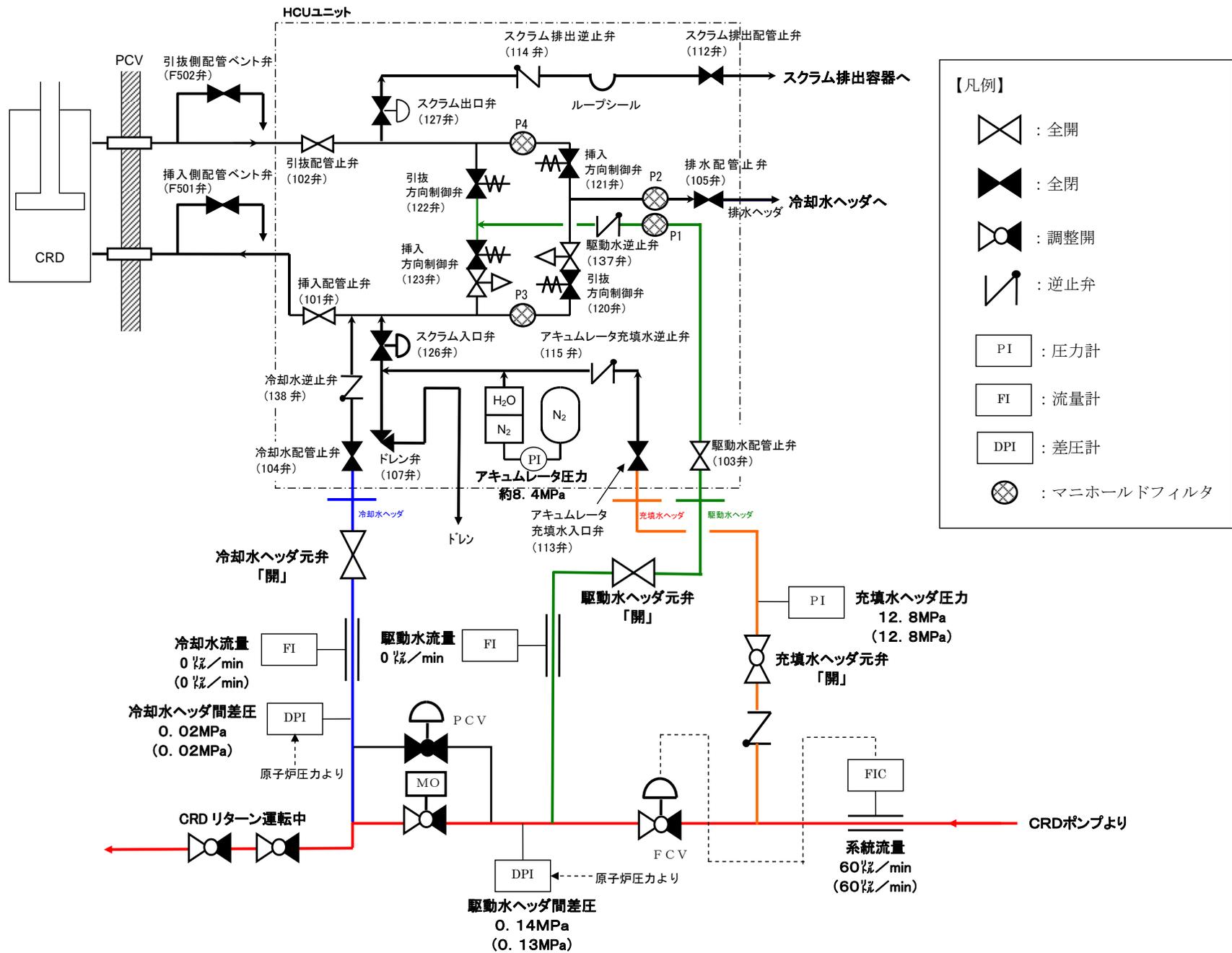
## アラーム印字

* 2010/12/07 11:11	TA086	低压タービン (B) 排気室	温度-1	RL下限逸脱			
2010/12/07 11:11	TC085	主タービン 軸受メタル温度	(最大)	19.6 °C			正常復帰
2010/12/07 11:12	TA086	低压タービン (B) 排気室	温度-1	-25.0 °C			正常復帰
* 2010/12/07 11:12	TA089	低压タービン (B) 排気室	温度-2	195.4 >	80.0 °C		
2010/12/07 11:12	TA037	主タービン第 5軸受メタル温度 (30度)		0.5 °C			正常復帰
* 2010/12/07 11:12	TC086	低压タービン 排気室温度	(最大)	195.5 >	80.0 °C		
* 2010/12/07 11:12	TA089	低压タービン (B) 排気室	温度-2	RL下限逸脱			
2010/12/07 11:12	TC086	低压タービン 排気室温度	(最大)	17.5 °C			正常復帰
2010/12/07 11:13	ZA250	R/B 基準温度	30	101.8 °C			正常復帰
* 2010/12/07 11:12	R P I S	制御棒ドリフト 制御棒座標	10-51	位置=#4d	状態=#04		
2010/12/07 11:13	CD356	制御棒	ドリフト	ON			「制御棒ドリフト」 警報発生
2010/12/07 11:13	TA089	低压タービン (B) 排気室	温度-2	28.0 °C			
* 2010/12/07 11:13	TC085	主タービン 軸受メタル温度	(最大)	112.8 >	107.0 °C		
2010/12/07 11:13	R P I S	制御棒座標	10-51	正常復帰	位置=#30		
2010/12/07 11:14	TA051	発電機 第 9軸受メタル温度 (10度)		19.0 °C			正常復帰
2010/12/07 11:14	TA052	発電機 第10軸受メタル温度 (10度)		19.4 °C			正常復帰
* 2010/12/07 11:14	TA037	主タービン第 5軸受メタル温度 (30度)		112.8 >	107.0 °C		
2010/12/07 11:14	TC022	T B軸受 メタル温度変化率 9 (10度)		-0.0 °C/min			正常復帰
2010/12/07 11:14	TC024	T B軸受 メタル温度変化率 10 (10度)		-0.0 °C/min			正常復帰
* 2010/12/07 11:15	TA037	主タービン第 5軸受メタル温度 (30度)		RL上限逸脱			
2010/12/07 11:15	TC085	主タービン 軸受メタル温度	(最大)	31.7 °C			正常復帰

(中 略)

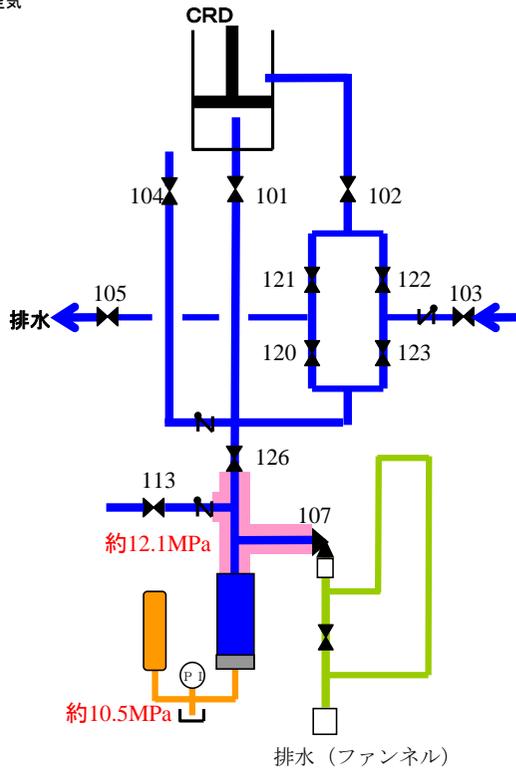
* 2010/12/07 11:23	TA047	主タービン第 5軸受メタル温度 (10度)		RL上限逸脱			
2010/12/07 11:23	TA047	主タービン第 5軸受メタル温度 (10度)		16.0 °C			正常復帰
2010/12/07 11:23	TC085	主タービン 軸受メタル温度	(最大)	19.4 °C			正常復帰
* 2010/12/07 11:48	R P I S	制御棒ドリフト 制御棒座標	42-51	位置=#4d	状態=#04		
2010/12/07 11:48	R P I S	制御棒座標	42-51	正常復帰	位置=#2e		
2010/12/07 11:48	CD356	制御棒	ドリフト	ON			「制御棒ドリフト」 警報発生
2010/12/07 11:51	CD356	制御棒	ドリフト	OFF			
2010/12/07 12:54	LD397	H X/B 海水SDサンプポンプ	運転中	ON			
2010/12/07 13:04	LD397	H X/B 海水SDサンプポンプ	運転中	OFF			「制御棒ドリフト」 警報クリア
2010/12/07 13:09	RD183	R F P-T (A) 軽故障速度要求信号1異常		OFF (M3)			1E 正常復帰
2010/12/07 13:09	RD184	R F P-T (A) 軽故障速度要求信号2異常		OFF (M3)			1E 正常復帰
2010/12/07 13:09	RD185	R F P-T (A) 軽故障速度要求信号3異常		OFF (M3)			1E 正常復帰

アラームタイプ印字記録 (確証確認時)

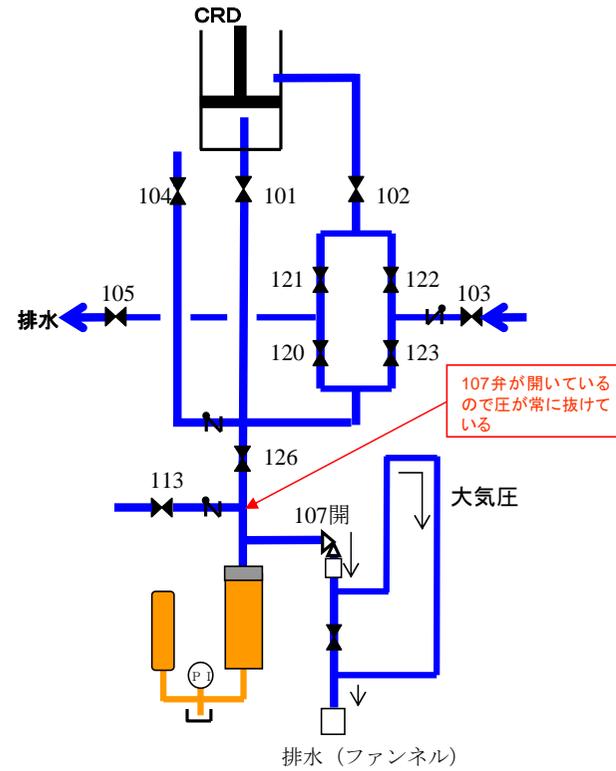


メカニズム検証時のCRD系状態概略図

【凡例】  
■ : 充填水  
■ : 窒素  
■ : 空気



通常状態  
(停止直後)



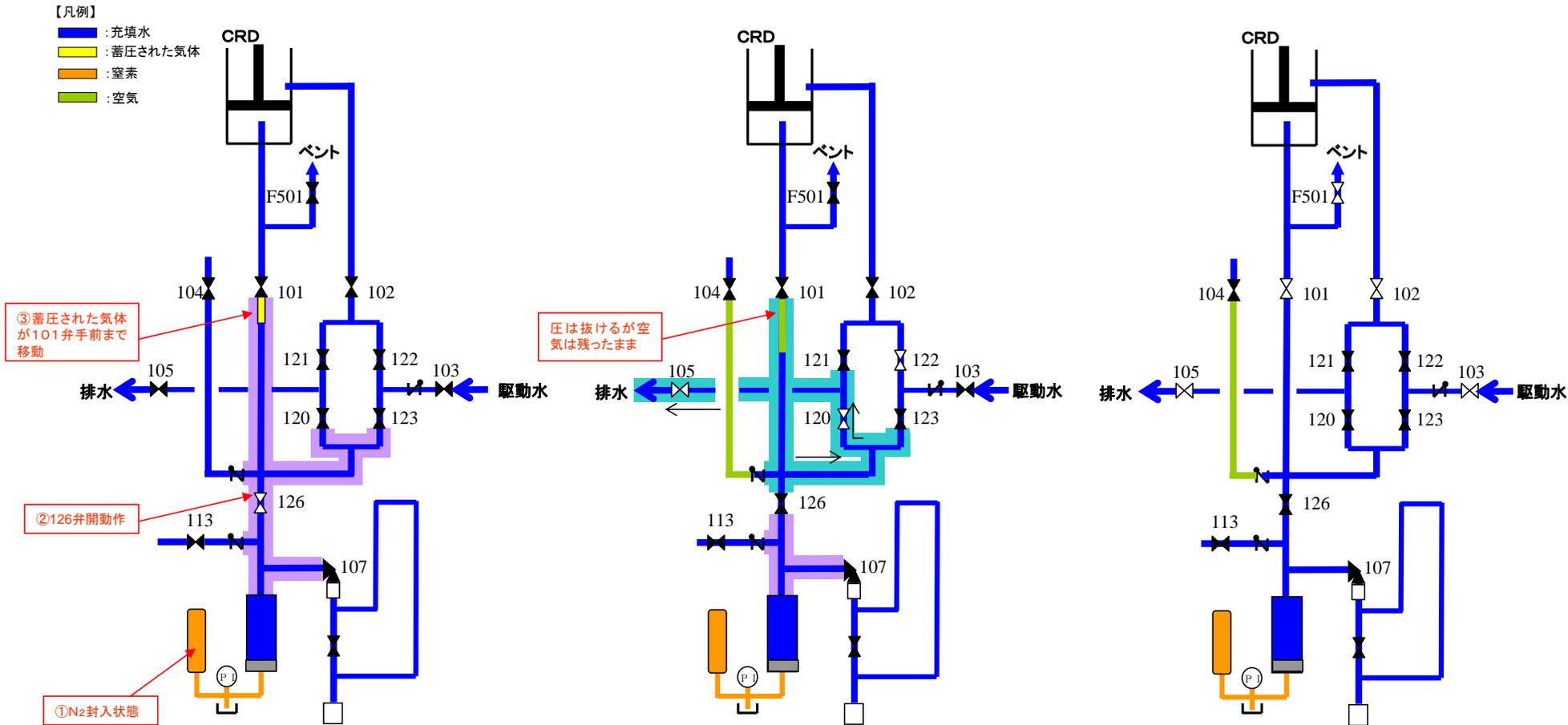
アキュムレータブロー  
(アキュムレータ～126弁の圧が抜ける)

アキュムレータブロー後も107弁を開のままとし、アキュムレータ～126弁間の圧が常に抜ける状態を維持する。

## 再発防止対策の手順 <アキュムレータ充填前>

【凡例】

- : 充填水
- : 蓄圧された気体
- : 窒素
- : 空気



③蓄圧された気体が101弁手前まで移動

圧は抜けるが空気は残ったまま

②126弁開動作

①N<sub>2</sub>封入状態

対策を行う必要のある状態

HCU隔離解除前 制御棒引抜操作  
(101弁～126弁間の圧抜き)

HCU隔離解除時 ベント操作

アキュムレータに窒素が封入された状態で126弁が開動作した場合、蓄圧された気体が101弁～126弁間に移動する

HCU隔離解除前に105弁を開けた後、制御棒引抜操作を実施して120弁が開動作することにより101弁～126弁間の圧抜きを実施(空気は残ったまま)

HCU隔離解除時に101弁を開けた後、F501弁を開けてベントを実施し残っていた空気を抜く

## 再発防止対策の手順 ＜アキュムレータ充填後＞