

島根原子力発電所保安規定審査資料	
資料番号	TS-91 (改02)
提出年月日	2023年11月9日

島根原子力発電所2号炉

テストタンクを水源とした

残留熱代替除去系の確認運転について

2023年11月
中国電力株式会社

本資料のうち、枠囲みの内容は機密に係る事項のため公開できません。

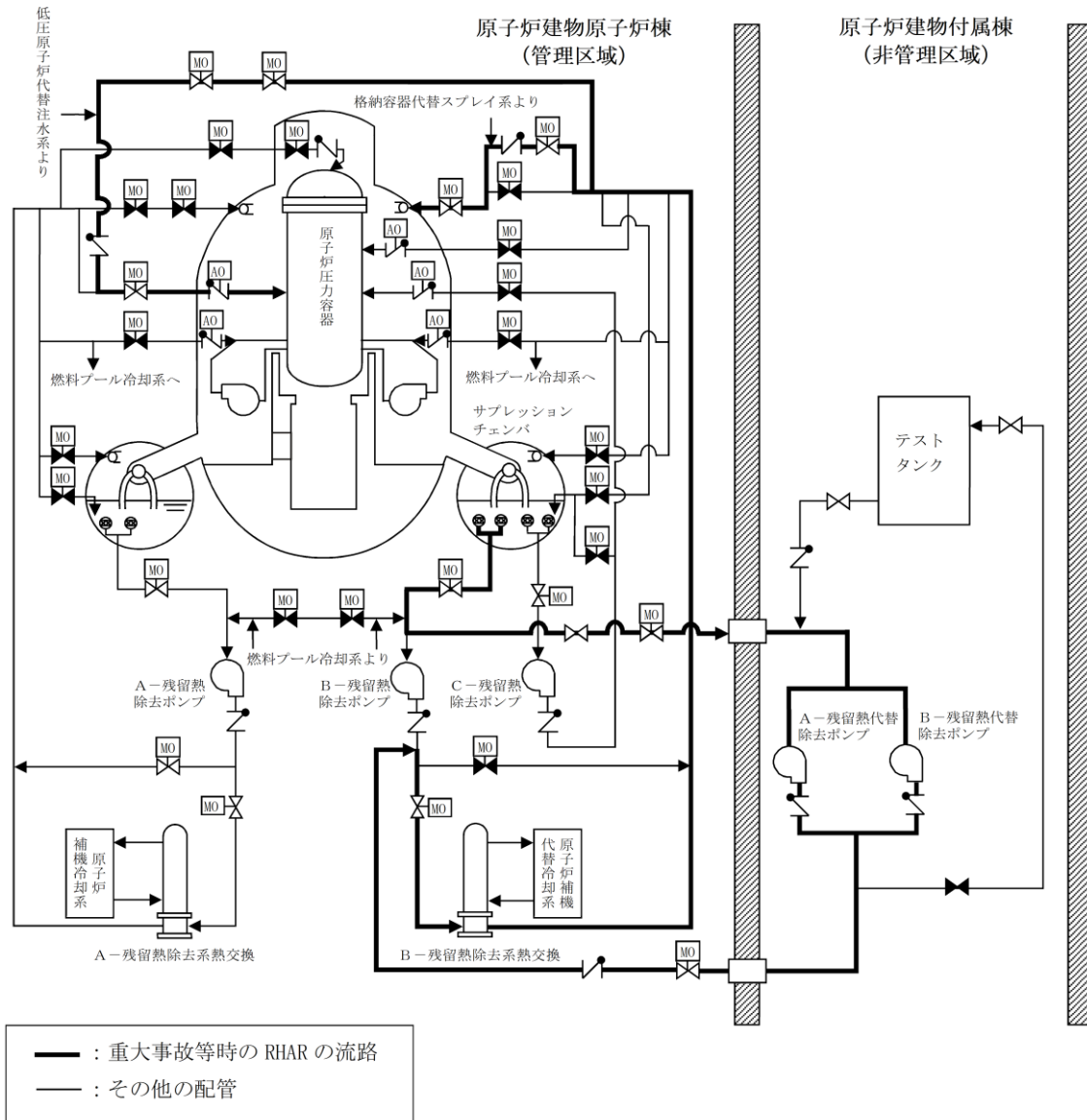
1. はじめに

残留熱代替除去系（以下「RHAR」という。）の水源はサプレッションチェンバであるが、残留熱代替除去ポンプ（以下「RHAR ポンプ」という。）が非管理区域に設置されていることから、定事検および月例点検では、専用のテストタンクを水源とした確認運転を実施する。以下に考え方を示す。

2. 残留熱代替除去系の概要

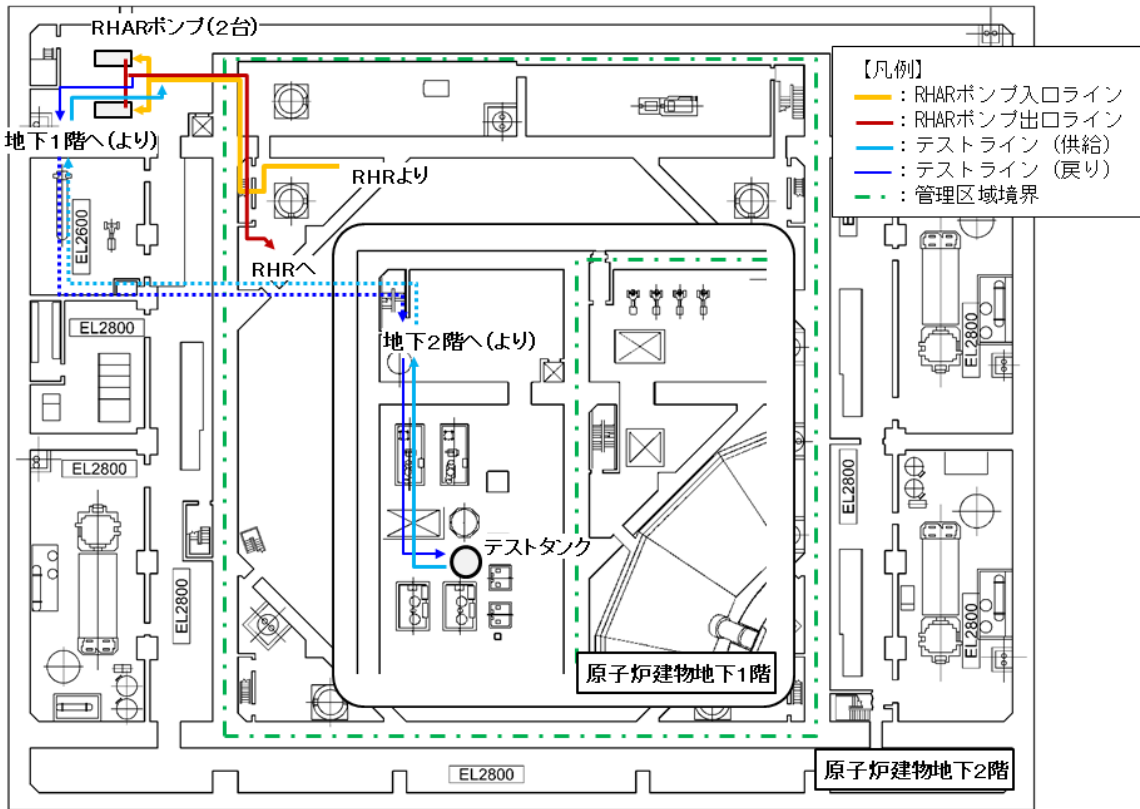
RHAR の系統概要を第 2-1 図に示す。RHAR ポンプは、重大事故等時においてサプレッションチェンバを水源として、残留熱除去系（以下「RHR」という。）等を経由して原子炉压力容器へ注水するとともに、原子炉格納容器内へスプレイすることで、原子炉格納容器バウンダリを維持しながら原子炉格納容器内の圧力及び温度を低下できる設計としている。

RHAR ポンプは、サプレッションチェンバを水源とした有効吸込水頭を確保するため、原子炉建物地下 2 階に設置する必要がある。原子炉建物地下 2 階のうち管理区域には設置スペースを確保できないため、原子炉建物地下 2 階のうち非管理区域に RHAR ポンプを設置している。第 2-2 図に RHAR ポンプ等の機器配置を示す。



注：弁の開閉状態は、重大事故等時に原子炉压力容器への注水及び原子炉格納容器へのスプレイを同時に実施する場合を示す。

第 2-1 図 RHAR 系統概要



第 2-2 図 機器配置概要

3. サーベイランス方法

RHAR ポンプのサーベイランスは、非管理区域においてテストタンクを用いた循環運転により RHAR ポンプの確認運転を行うこととする。サブプレッションチェンバを水源とした RHAR ポンプの確認運転が困難な理由を以下に示す。

- ・RHAR ポンプは非管理区域の通路上に設置されており、非管理区域の機器へのアクセスを阻害するため、RHAR ポンプ設置エリアを管理区域として設定することは、原子力安全上困難である。
- ・サブプレッションチェンバを水源として RHAR ポンプの確認運転を実施した場合、確認運転後に非管理区域の機器への通水による除染を行ったとしても、弁やポンプは複雑な構造であり、軸封部等の狭隘な部位や部材表面の凹凸に粒子状の放射性物質が入り込むことで、内部の水の流れが少ない部分に滞留した放射性物質を取り除けない可能性がある。また、配管内部に付着した放射性物質が通水により取り除けない場合、配管は溶接により接続された長尺物であることから、分解による配管内部の除染は構造上困難である。このため、サブプレッションチェンバ内部水を非管理区域の機器へ通水することは放射線防護上困難である。
- ・分解および組立に起因したシール部の漏えい等の不具合が生じる機会が増えるため、ポンプ等の除染を目的として分解および組立回数を増やすことは、原子力安全上困難である。なお、RHAR ポンプ 1 台の分解点検周期は 130M で計画している。

なお、サブプレッションチェンバを水源とした場合における放射性物質の付着について参考資料 1 に示す。

RHAR ポンプの確認運転にテストタンクを使用する場合においても、重大事故等時の条件において RHAR が必要な機能が発揮できるかどうかを確認(以下「実条件性能確認」という。)するため、RHAR のサーベイランスは以下の方法により実施する。

3.1 定事検停止時

サプレッションチェンバを水源とした RHAR ポンプの確認運転を行う場合、3.に記載した通り、RHAR ポンプ設置エリアを管理区域として設定することは非管理区域の機器へのアクセスを阻害するため原子力安全上困難であること、ポンプ等の内部に滞留した放射性物質を取り除けない可能性があるためサプレッションチェンバ内部水を非管理区域の機器へ通水することは放射線防護上困難であること、分解および組立に起因した不具合が生じる機会が増えるためポンプ等の除染を目的として分解回数を増やすことは原子力安全上困難であることから、テストタンクを用いた循環運転により RHAR ポンプの確認運転を行うこととする。

また、サプレッションチェンバを水源としたポンプの確認運転として残留熱除去ポンプ（以下「RHR ポンプ」という。）の確認運転を行うとともに、テストラインに含まれない RHAR ポンプ使用時の主要な流路の通水確認を行う。

(1) ポンプの性能確認

テストタンクを水源とした RHAR ポンプの確認運転時のテストラインを第 3.1-1 図に示す。RHAR ポンプの確認運転では、重大事故等時に必要な流量及び揚程として、RHAR ポンプ 1 台で流量が \square m³/h 以上、揚程が \square m 以上であることを確認する。ここで、確認する揚程については、重大事故等時に必要な揚程として、静水頭 \square m 及びポンプ運転時の配管・機器圧力損失 \square m の合計を上回る揚程としている。

なお、サプレッションチェンバから RHAR ポンプまでの流路の圧力損失については、ポンプの有効吸込水頭（有効 NPSH）評価において考慮されている（水源の液面に作用する圧力や静水頭の合計値から水源から、ポンプまでの流路の圧力損失等を差し引いた値として算出した有効 NPSH が、必要有効吸込水頭（必要 NPSH）以上であることを確認している）。

以上の通り、テストタンクを用いた循環運転を行う場合においても、RHAR 使用時の流路の圧力損失は、ポンプの必要揚程および有効 NPSH 評価において考慮している。

また、揚程はポンプの入口側および出口側の圧力を用いて計算されるため、水源によらず揚程の確認が可能である。性能確認方法の概要を以下に示す。

- ・ RHAR テストライン流量調節弁により流量 \square m³/h に調節する。
- ・ RHAR ポンプの入口側及び出口側の圧力の測定結果から、以下の計算により揚程 \square m 以上であることを確認する。

$$H = ((P_2 - P_1) / \rho g) + ((U_2^2 - U_1^2) / 2g) + h$$

ここで、

H : ポンプ揚程 (m)

P₁ : ポンプ入口側圧力 (MPa)

P₂ : ポンプ出口側圧力 (MPa)

ρ : 水の密度 (kg/m³)

g : 重力加速度 (m/s²) (=9.80665)

U_1 : ポンプ入口側平均流速 (m/s)

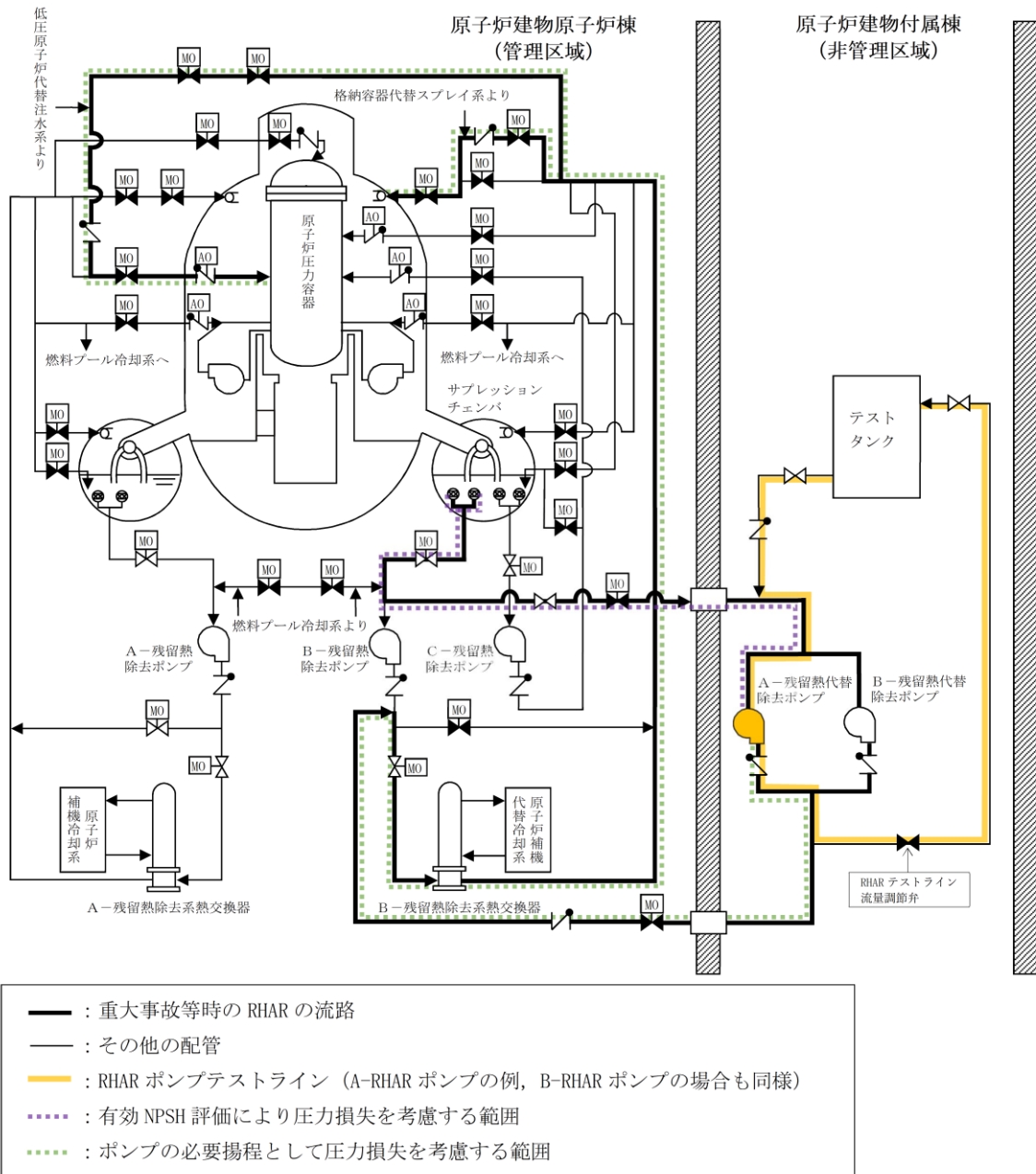
U_2 : ポンプ出口側平均流速 (m/s)

$$U_i = Q / A_i$$

Q : ポンプ流量 (m^3/s)

A_i : 配管断面積 (m^2)

h : 入口側と出口側の圧力計の高低差 (m)



注：通常運転時の弁の開閉状態を示す。

第 3.1-1 図 RHAR ポンプテストライン (テストタンク水源)

(テストタンクについて)

テストタンクは EL8.8m に設置された開放タンクであり、サブプレッションチェンバの通常時高水位 (EL5.66m) よりも高い位置に設置している。仮に RHAR ポンプ入口側の管理区域・非管理区域間の境界に設置された電動弁に漏えいが生じた場合においても、テストタンクは内部水を保有した状態で保管しており、テストタンクの静水頭が加わることで非管理区域側の圧力の方が管理区域側の圧力よりも高いことから、サブプレッションチェンバからの水が非管理区域側へ漏えいしない設計としている。

テストタンクの容量 (3m³) は、ポンプの軸動力が全て水の温度上昇に用いられることを仮定し、ポンプが 1 時間運転可能である容量*に余裕を考慮して設定している。テストタンクを用いた循環運転時は、テストラインの配管は満水状態でポンプの運転を開始するため、テストタンクからポンプへ水が吸込まれた直後にポンプからテストタンクに水が戻されることからテストタンク水位の変動は小さく、テストタンクの容量が小さくとも循環運転における問題は無い。なお、循環運転を行わず、テストタンク以外へ水を排出する場合は、定格流量において 分程度運転が可能な容量である (3m³ ÷ m³/h (= m³/min) = min)。

注記* : ここでは水温が 50℃未満で維持される容量を想定している。

(管理区域・非管理区域境界の配管内部水について)

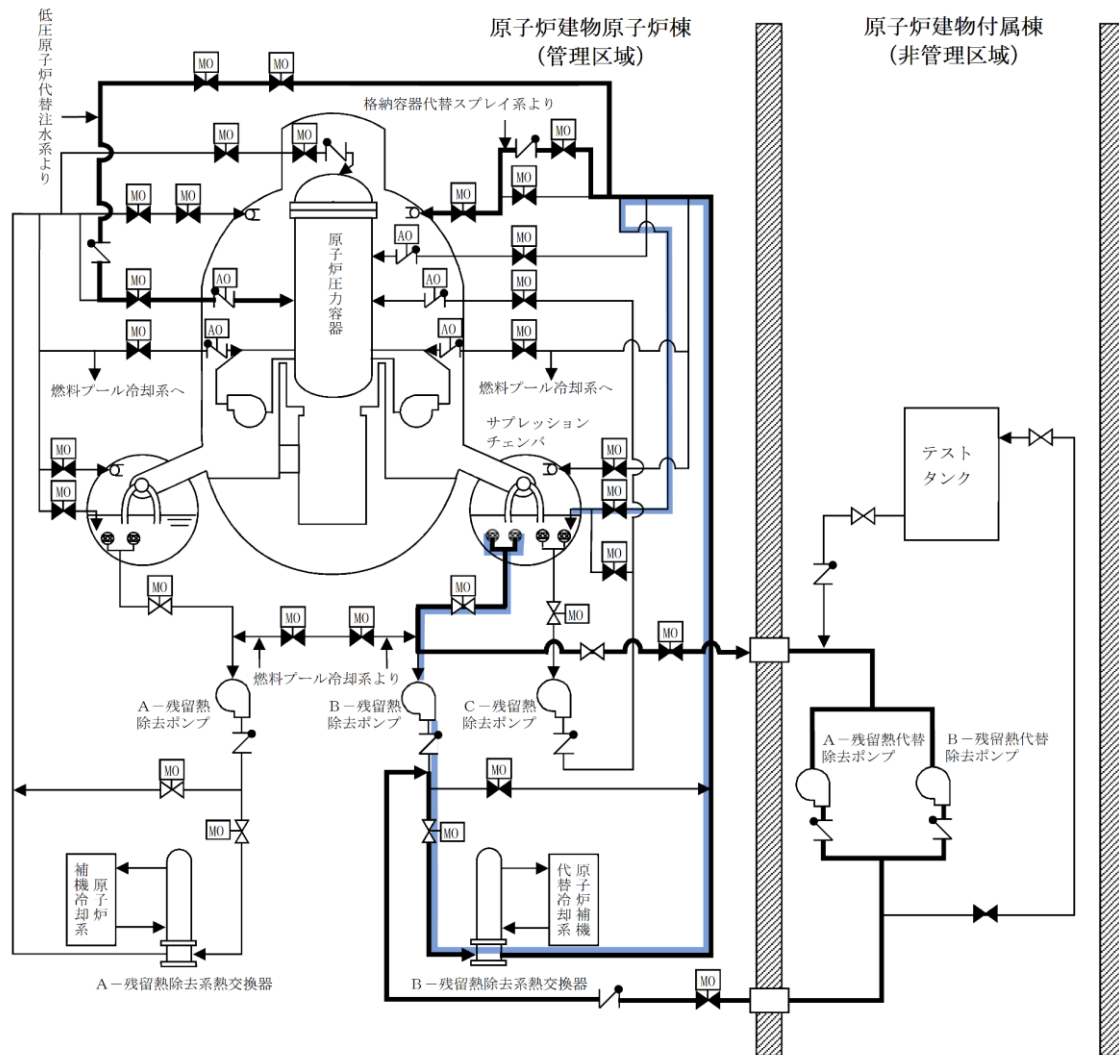
管理区域・非管理区域境界の配管には、弁を閉止した状態で非管理区域側から水張りを行う。RHAR ポンプ入口側はテストタンクの静水頭により非管理区域側の圧力が高いこと、RHAR ポンプ出口側は残留熱除去系との合流部より手前に逆止弁が設置されていることから、仮に管理区域・非管理区域境界の電動弁に漏えいが生じた場合においても、非管理区域側の配管へ放射性物質を含む水の漏えいの恐れは無い。テストタンクを用いた RHAR ポンプの循環運転時は、非管理区域側の配管の方が管理区域側よりも高圧であることから、非管理区域側の配管へ放射性物質を含む水の漏えいの恐れは無い。

電動弁から非管理区域までの範囲の配管は、RHAR ポンプの循環運転の流路に含まれないため、この範囲の配管内部水は非管理区域側へほとんど流れないものと考えられるが、仮にこの範囲の配管内部水が非管理区域側に流れたとしても、放射性物質は含まれていないことから問題は無い。なお、管理区域から非管理区域への放射性物質を含まない水の通水は、原子炉補機冷却系で行われている。

(2) サプレッションチェンバを水源としたポンプの確認運転

重大事故等時においてサプレッションチェンバを水源としたポンプの運転が可能であることは、RHR ポンプの確認運転により確認する。RHR ポンプの確認運転時のテストラインを第 3.1-2 図に示す。

RHR ポンプの確認運転は、RHAR ポンプ運転時の流量 \square m³/h を上回る流量 \square m³/h 以上で実施する。



注：通常運転時の弁の開閉状態を示す。

第 3.1-2 図 RHR ポンプテストライン

(3) 流路の健全性確認

RHAR ポンプ使用時の流路のうち、(1)および(2)に含まれない流路について、第 3.1-1 表に示す方法により通水確認を行う。また、第 3.1-1 表における通水確認範囲を第 3.1-3 図に示す。ここで、第 3.1-1 表に示す通水確認が困難な範囲について、実条件性能評価における考え方は 4. において示す。

第 3.1-1 表 通水確認による健全性確認範囲および通水方法

No.	健全性確認範囲	通水方法			通水が困難な範囲
		水源	送水先	送水圧力	
1	サプレッションチェンバ～RHAR ポンプ入口ライン (管理区域)	サプレッションチェンバ	ドレンファンネル	静水頭	無し
2	RHAR ポンプ入口ライン (管理区域～非管理区域)	RHAR テストタンク	ドレンファンネル	静水頭	無し
3	RHAR ポンプ入口ライン (非管理区域)～RHAR ポンプ出口ライン (非理区域～管理区域)	RHAR テストタンク	RHR フラッシュ用タンク	静水頭	無し
4	RHAR ポンプ出口ライン (管理区域)～B-RHR 合流部	サプレッションチェンバ	RHR フラッシュ用タンク	静水頭	無し
5	原子炉注水・ドライウェルスプレイライン分岐部～B-ドライウェルスプレイ管	復水輸送系	ドレンファンネル	復水輸送系運転圧力	ドレンライン分岐部～B-ドライウェルスプレイ管 (被水によるドライウェル機器の破損の恐れがあるため、原子力安全上困難)
6	RHAR 原子炉注水ライン分岐部～原子炉圧力容器	復水輸送系	ドレンファンネル	復水輸送系運転圧力	低圧原子炉代替注水系合流部～原子炉圧力容器 (原子炉出力の変動、原子炉水位の変動、原子炉圧力容器への異物混入の恐れがあるため、原子力安全上困難)

3.2 月例点検時

サブプレッションチェンバを水源とした RHAR ポンプの確認運転を行う場合、3. に記載した通り、RHAR ポンプ設置エリアを管理区域として設定することは非管理区域の機器へのアクセスを阻害するため原子力安全上困難であること、ポンプ等の内部に滞留した放射性物質を取り除けない可能性があるためサブプレッションチェンバ内部水を非管理区域の機器へ通水することは放射線防護上困難であること、分解および組立に起因した不具合が生じる機会が増えるためポンプ等の除染を目的として分解回数を増やすことは原子力安全上困難であることから、テストタンクを用いた循環運転により RHAR ポンプの確認運転を行うこととする。

また、サブプレッションチェンバを水源としたポンプの確認運転として RHR ポンプの確認運転を行うとともに、テストラインに含まれない RHAR ポンプ使用時の流路上に配置される弁の動作確認を行う。

3.1(3)に示す流路の健全性確認については、必要な系統構成に伴う B-RHR ポンプ運転の阻害により事故対応操作が遅れることにより、原子力安全上困難であることから実施しない。

(1) ポンプの動作確認

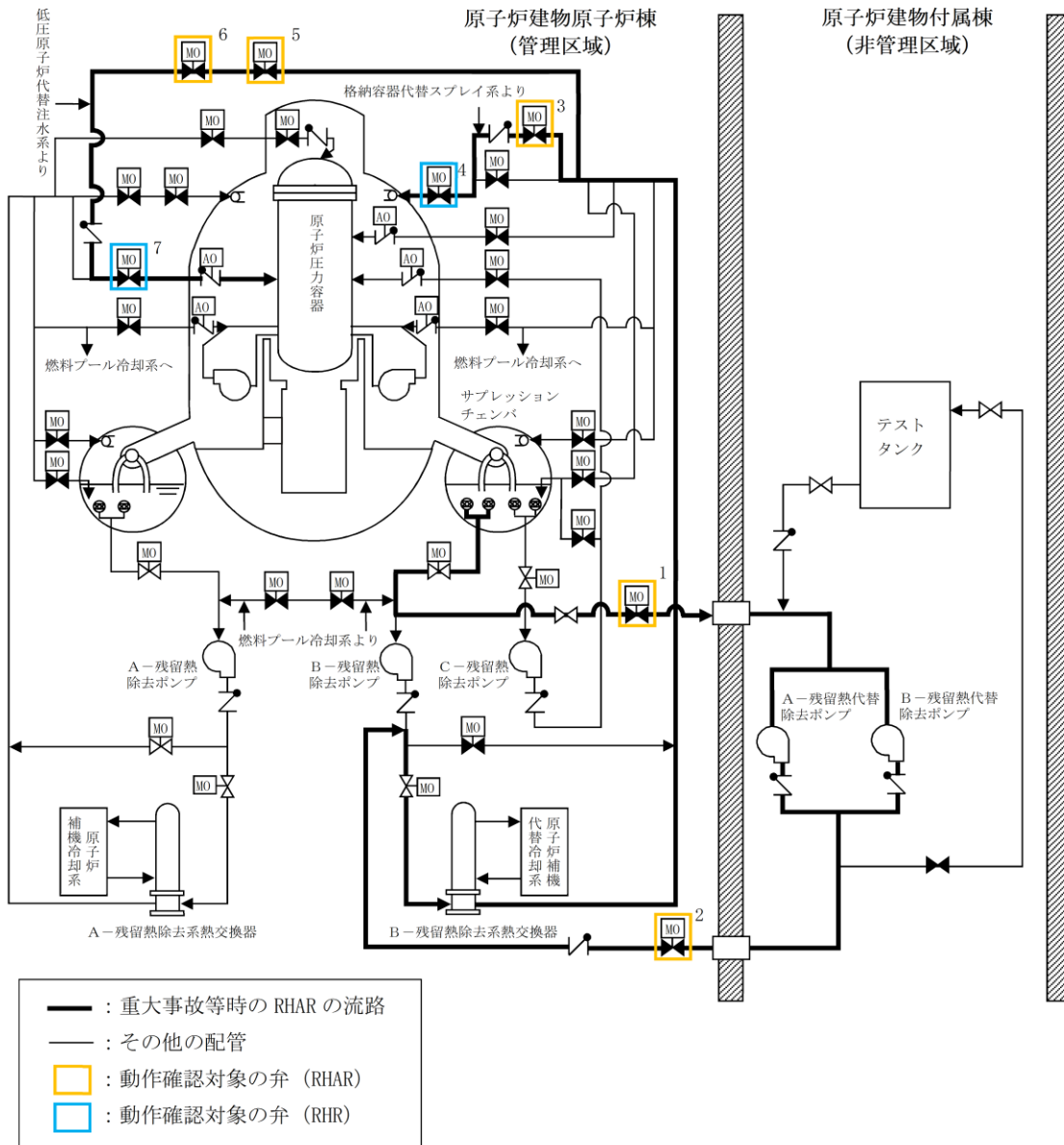
3.1(1)で示した流路により、RHAR ポンプの動作確認を行う。

(2) サプレッションチェンバを水源としたポンプの確認運転

3.1(2)で示した流路により RHR ポンプの動作確認を行うことで、サブプレッションチェンバを水源としたポンプの確認運転を行う。

(3) 弁の動作確認

重大事故等時における RHAR の流路の弁の健全性の確認のため、重大事故等時に開閉操作が必要な弁の動作確認を行う。確認対象の弁を第 3.2-1 図に示す。



No.	弁名称
1	RHR RHAR ライン入口止め弁
2	RHAR ライン流量調節弁
3	RHR PCV スプレィ連絡ライン流量調節弁
4	B-RHR ドライウェル第2 スプレィ弁
5	RHR A-FLSR 連絡ライン止め弁
6	RHR A-FLSR 連絡ライン流量調節弁
7	A-RHR 注水弁

第 3.2-1 図 動作確認対象弁

4. 実条件性能評価

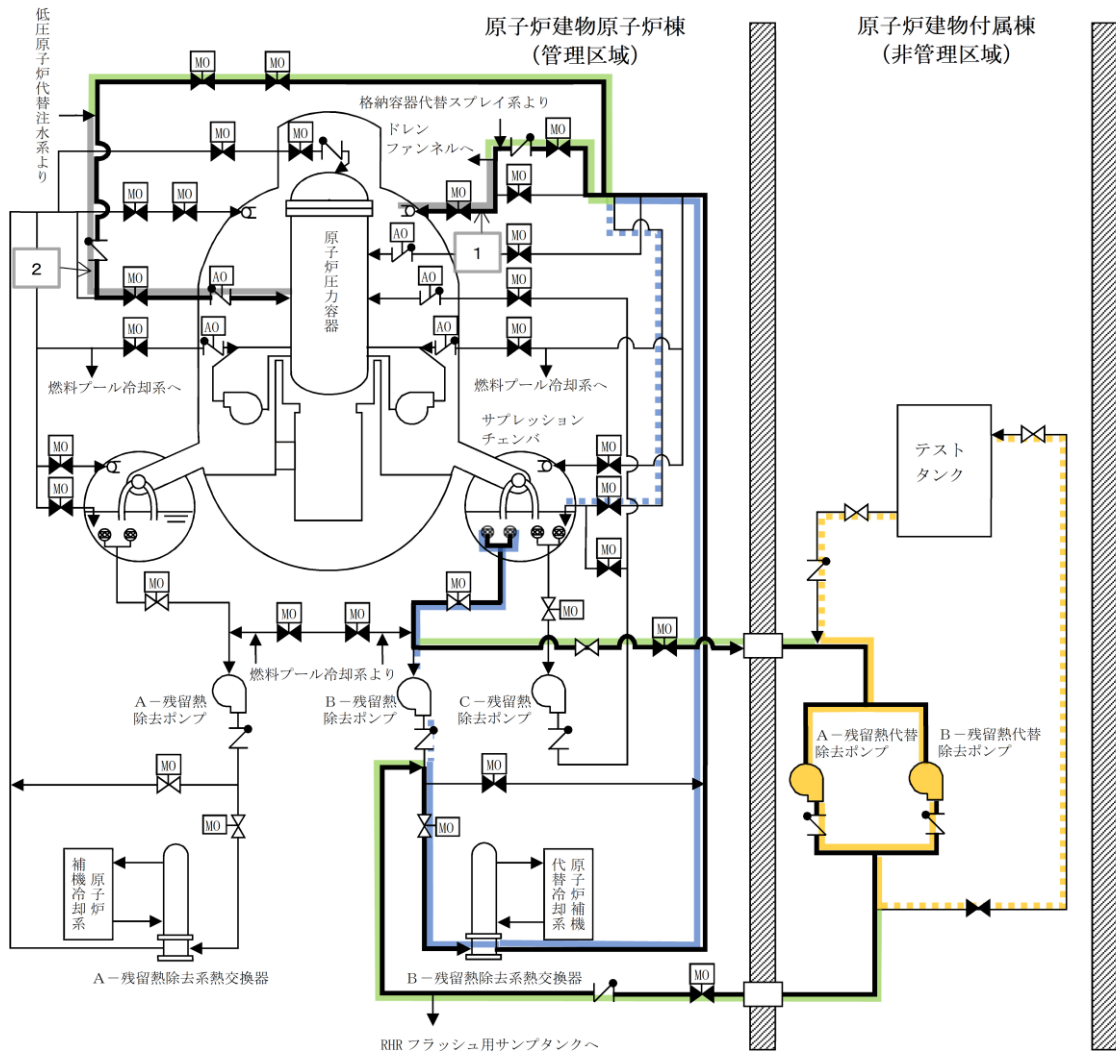
3. に示したサーベイランスの内容について整理した結果を第 4-1, 2 図に示す。

第 4-1 図では、定事検停止時において、RHAR ポンプはテストタンク水源による確認運転を行うものの、RHR ポンプの確認運転および通水確認を合わせて実施することにより、RHAR ポンプ使用時の主な流路の健全性の確認が可能であることを示している。

第 4-2 図では、月例点検時において、流路の健全性確認が困難な範囲はあるものの、弁の動作確認により系統構成が適切になされること、ポンプが動作可能であることの確認が可能であることを示している。

第 4-1, 2 図に示すサーベイランス方法について、RHAR における実条件とサーベイランス条件を比較し、実条件性能評価の考え方を整理した結果を第 4-1 表に示す。

第 4-1 表に示す通り、テストタンクを水源とした RHAR ポンプの確認運転を行う場合において実条件との差異のある項目についても、RHR ポンプの確認運転等を組み合わせて行うことにより、実条件と同等の条件による試験が可能である。

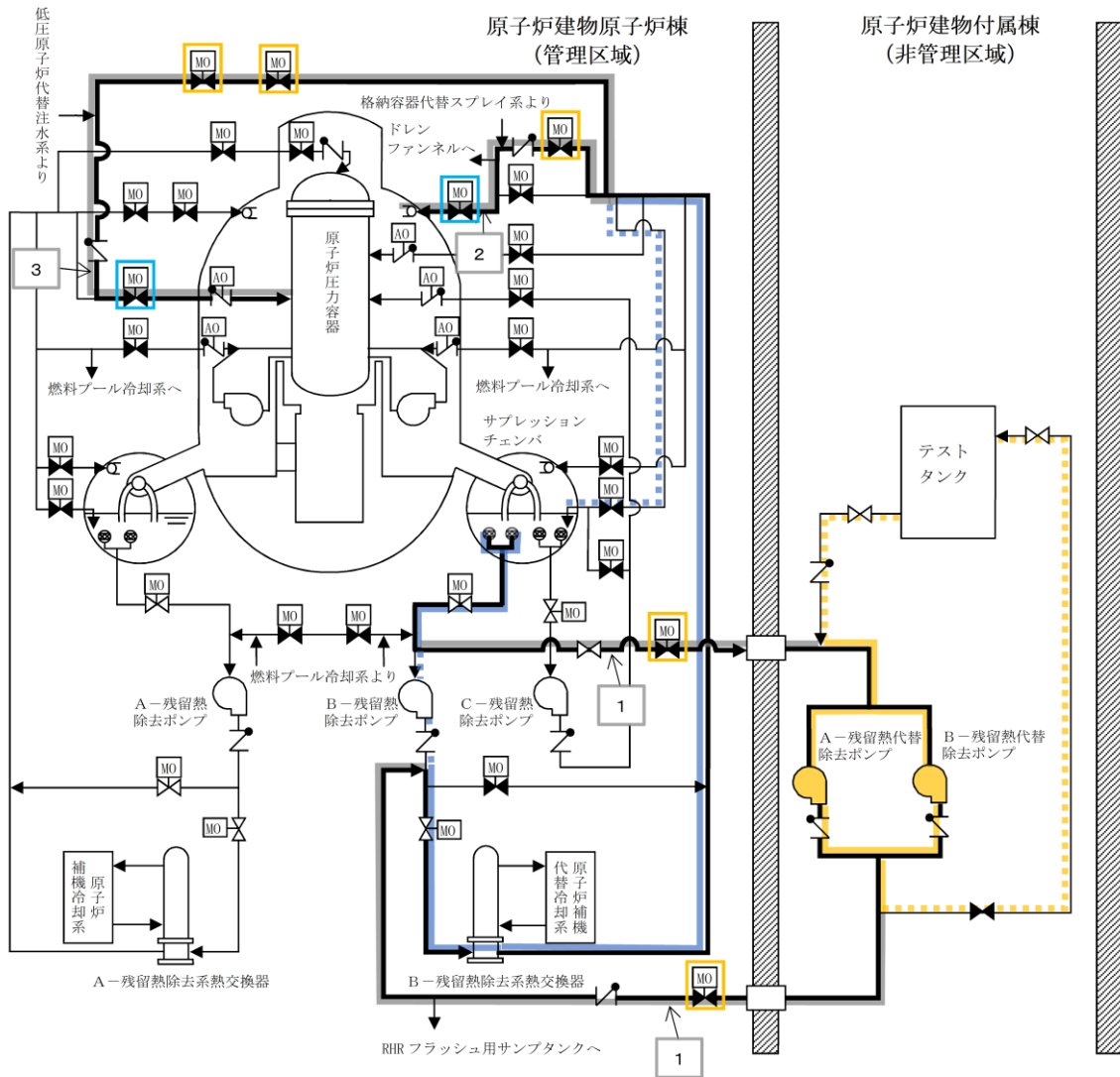


— (黒) : 重大事故等時の RHAR の流路	— (緑) : 通水確認を行う範囲
— (黒) : その他の配管	— (黒) : 以下の理由により通水確認が困難な範囲
— (黄) : RHAR 確認運転における流路	1 : 被水によるドライウェル機器の破損防止
— (青) : RHR 確認運転における流路	2 : 原子炉出力の変動, 原子炉水位の変動, 原子炉圧力容器への異物混入の防止

注 1 : 通常運転時の弁の開閉状態を示す。

注 2 : 重大事故等時の RHAR の流路以外のポンプ確認運転の流路を点線で示す。

第 4-1 図 サーベイランス内容の整理結果 (定事検停止時)



— (thick black line): 重大事故等時の RHAR の流路	— (grey line): 以下の理由により通水確認が困難な範囲
— (thin black line): その他の配管	1: サプレッションチェンバ水源を使用することによる放射性物質の管理区域外への放出防止
□ (yellow): 動作確認対象の弁 (RHAR)	2: 被水によるドライウェル機器の破損防止
□ (blue): 動作確認対象の弁 (RHR)	3: 原子炉出力の変動, 原子炉水位の変動, 原子炉圧力容器への異物混入の防止
— (yellow line): RHAR 確認運転における流路	
— (blue line): RHR 確認運転における流路	

注 1 : 通常運転時の弁の開閉状態を示す。

注 2 : 重大事故等時の RHAR の流路以外のポンプ確認運転の流路を点線で示す。

第 4-2 図 サーベイランス内容の整理結果 (月例点検時)

第1表 RHARにおける実条件とサーベイランス条件の比較

項目*1	条件の比較		実条件性能適合性の考え方		
	実条件	サーベイランス条件*1	実条件との差異	実条件性能評価	
ポンプ性能	流量	□ m ³ /h	□ m ³ /h	差異無し	—
	揚程	□ m	□ m	差異無し	—
	吸込側流路の圧力損失	サブプレッションチェンバ～RHARポンプ	テストタンク～RHARポンプ	差異有り（①の理由により困難*2）	有効NPSH評価において圧力損失を考慮
	吐出側流路の圧力損失	RHARポンプ～ドライウエルまたは原子炉圧力容器	RHARポンプ～テストタンク	差異有り（②の理由により困難*2）	必要揚程として圧力損失を考慮
	流路	サブプレッションチェンバ～ドライウエルまたは原子炉圧力容器	テストタンク～テストタンク	差異有り（①および②の理由により困難*2）	<ul style="list-style-type: none"> ・RHARポンプの起動試験により、必要な流量・揚程を満足することを確認 ・RHRポンプの確認運転により、RHRの流路の通水確認を実施 ・電動弁の開閉試験により、系統構成が適切になされることを月例点検時に確認 ・主な流路の通水確認を定事検停止時に実施
水源	サブプレッションチェンバ	テストタンク	差異有り（①の理由により困難*2）	RHRポンプの確認運転において、サブプレッションチェンバを水源としたポンプの運転が可能なことを確認	

注記*1：テストタンクを用いたRHARポンプの確認運転時の内容を示す。

*2：実条件と同等の条件によりサーベイランスが実施できない理由を以下に示す。

- ①：確認運転後に非管理区域の機器の除染を行ったとしても内部に滞留した放射性物質を取り除けない可能性があるため放射線防護上困難
- ②：被水によるドライウエル機器の破損の恐れがあること、原子炉出力および原子炉水位の変動により原子炉の安定運転に影響を与えること、注水に伴う原子炉水質の悪化により燃料および炉内機器の健全性に影響を与えることならびに放射性物質の増加につながることから、原子炉への送水は原子力安全上困難

5. まとめ

RHAR ポンプは非管理区域に設置されているため、RHAR ポンプ設置エリアを管理区域として設定することは非管理区域の機器へのアクセスを阻害するため原子力安全上困難であること、ポンプ等の内部に滞留した放射性物質を取り除けない可能性があるためサプレッションチェンバ内部水を非管理区域の機器へ通水することは放射線防護上困難であること、分解および組立に起因した不具合が生じる機会が増えるためポンプ等の除染を目的として分解回数を増やすことは原子力安全上困難であることから、本来の水源であるサプレッションチェンバを水源とした確認運転は実施せず、非管理区域に設置したテストタンクを用いた確認運転を実施することとしているが、複数の試験を組み合わせて実施することにより、実条件性能確認が可能であることを確認した。

【保安規定記載事項】

6 5 - 5 - 4 残留熱代替除去系

(中略)

(2) 確認事項

項 目	頻 度	担 当
1. 残留熱代替除去ポンプの揚程が <input type="text"/> m以上で、流量が <input type="text"/> m ³ /h 以上であることを確認する。	定事検停止時	課長(原子炉)
2. 原子炉の状態が運転、起動および高温停止において、残留熱代替除去ポンプを起動し、動作可能であることを確認する。	1箇月に1回	当直長
3. 原子炉の状態が運転、起動および高温停止において、RHR RHARライン入口止め弁、RHARライン流量調節弁、RHR PCVスプレイ連絡ライン流量調節弁、RHR A-F L S R連絡ライン止め弁、RHR A-F L S R連絡ライン流量調節弁、A-RHR注水弁およびB-RHRドライウエル第2スプレイ弁が動作可能であることを確認する。また、動作確認後、動作確認に際して作動した弁の開閉状態を確認する。	1箇月に1回	当直長