

原子炉格納容器に接続される系統の健全性について

1. はじめに

200℃、2Pd の条件下において、原子炉格納容器に接続される系統の健全性が維持できることを以下のとおり確認した。

2. 格納容器破損対策に使用される系統について

格納容器破損防止対策としては、下記条項に係る系統設備が使用され、各々発生する事象に応じて使用される系統、設備が異なる。

第 49 条（原子炉格納容器内の冷却等のための設備）

対策：代替格納容器スプレイ系（常設及び可搬型）により、残留熱除去系の格納容器スプレイ機能が喪失した場合でも、格納容器内雰囲気冷却・減圧・放射性物質の低減機能を維持する。

第 50 条（原子炉格納容器の過圧破損を防止するための設備）

対策：格納容器圧力逃がし装置により、格納容器内の圧力及び温度を低下させることで、残留熱除去系が機能喪失した場合でも、格納容器の過圧破損を防止する。

第 51 条（原子炉格納容器下部の熔融炉心を冷却するための設備）

対策：格納容器下部注水系（常設及び可搬型）により、格納容器下部に落下した熔融炉心を冷却する。

第 52 条（水素爆発による原子炉格納容器の破損を防止するための設備）

対策：格納容器内の不活性化、水素濃度計による格納容器内水素

濃度の監視及び格納容器圧力逃がし装置による水素ガスの格納容器外への排出により，格納容器内の水素爆発を防止する。

上記のうち，第 49 条，第 51 条，第 52 条に関連する系統については原子炉格納容器バウンダリ外より冷却水や不活性ガスをバウンダリ内へ注入する（押し込む）対策がとられるのに対し，第 50 条ではバウンダリ外へ内包ガスを放出，あるいは同バウンダリを跨いで系統を構成（PCVバウンダリを拡大）し，原子炉格納容器内包流体を循環させる対応がとられる。

ここでは，第 50 条関連系統設備（原子炉格納容器の過圧破損を防止するための設備）について 200℃，0.62MPa (2Pd) 環境下での使用における影響を検討する。

2. 原子炉格納容器の過圧破損を防止するための設備（第50条）の健全性について

2.1 格納容器圧力逃がし装置

格納容器圧力逃がし装置については、新設の系統設備であり、系統を構成するフィルタ装置や弁・配管等については、いずれも最高使用温度 200℃、最高使用圧力 0.62MPa [gage] (2Pd) で設計することとしている。したがって、原子炉格納容器が 200℃、2Pd の環境にあっても、系統設備の健全性に問題はない。

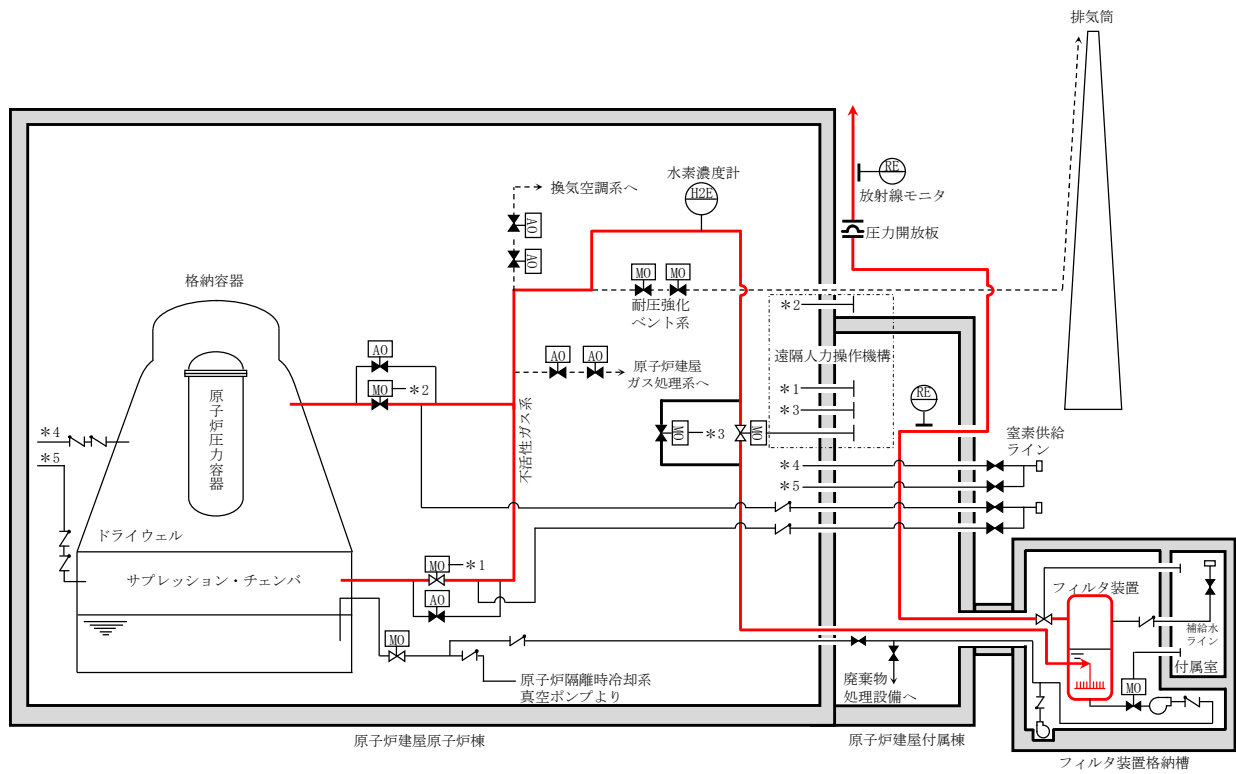


図 2.1 格納容器圧力逃がし装置 概要

2. 2 代替循環冷却系

本系統は、サプレッション・プールを水源とし、代替循環冷却系ポンプ、緊急用海水ポンプ及び残留熱除去系熱交換器を使用し、原子炉圧力容器へ注水するとともに、格納容器内にあるスプレイヘッドよりドライウエル内に水をスプレイするものである。

2. 2. 1 主要機器の仕様

(1) 代替循環冷却系ポンプ

種 類	: うず巻形
容 量	: 約250m ³ /h
全 揚 程	: 約120m
最高使用圧力	: 3.45MPa[gage]
最高使用温度	: 77℃
個 数	: 1
取 付 箇 所	: 原子炉建屋原子炉棟地下2階
原 動 機 出 力	: 約140kW

(2) 緊急用海水ポンプ

種 類	: ターボ型
容 量	: 約844m ³ /h
全 揚 程	: 約130m
最高使用圧力	: 2.45MPa[gage]
最高使用温度	: 38℃
個 数	: 1 (予備1)
取 付 箇 所	: 地下格納槽
電 動 機 出 力	: 約510kW

(3) 残留熱除去系熱交換器 A

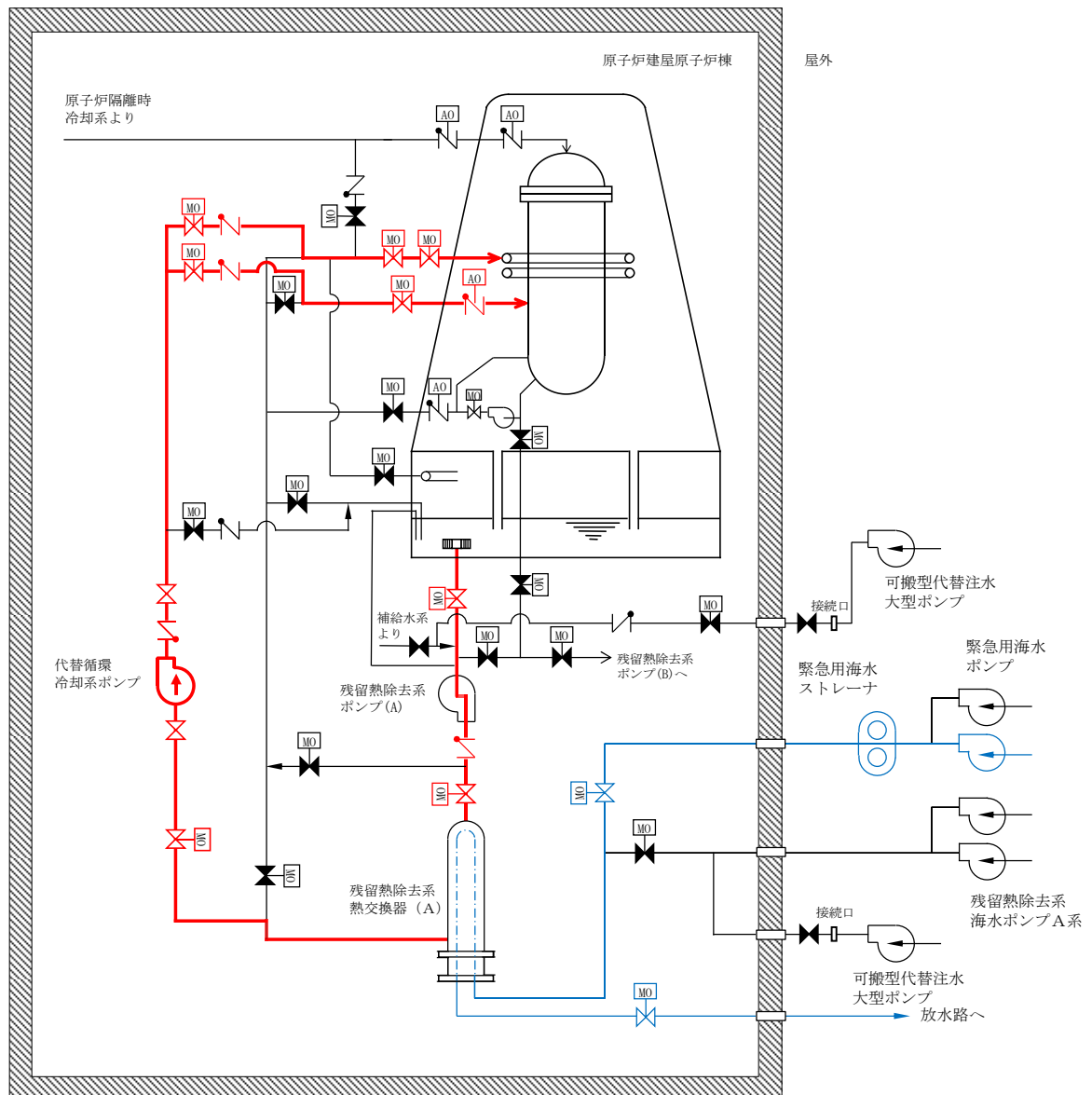
個 数 : 1

最高使用圧力 : 3.45MPa [gage]

最高使用温度 : 249°C

伝熱容量 : 19.4×10^3 kW

取付箇所 : 原子炉建屋原子炉棟地下2階



緊急用海水系使用時の図を示す。

図2.2 代替循環冷却系 概要図

2. 2. 2 代替循環冷却系の健全性

代替循環冷却系の健全性について、「代替循環冷却系ポンプの健全性」、「残留熱除去系ポンプの健全性」、「シール材の信頼性」の観点から評価する。なお、余熱除去冷却器については、最高使用温度が249℃で設計されているため、健全性に問題はない。

①代替循環冷却系ポンプの健全性

2Pdにおいては、サプレッション・プール水の温度は0.62MPa (2PD) における飽和温度167℃となる。サプレッション・プール水は余熱除去冷却系ポンプを経由し、緊急用海水ポンプからの海水を用いて残留熱除去冷却器にて冷却後、代替循環冷却系ポンプにて原子炉及びドライウエルに注水を行う。ここでは、余熱除去冷却器において冷却したサプレッション・プール水の温度が、代替循環冷却系ポンプの最高使用温度77℃を超えないことを確認する。評価条件は以下のとおり。

緊急用海水ポンプ流量 : 844m³/h

代替循環冷却系ポンプ流量 : 250m³/h

海水温度 : 32℃

サプレッション・プール水温度 : 167℃

上記の条件で残留熱除去系熱交換器出口温度を評価した結果、出口温度は約70℃と評価され、代替循環冷却系ポンプの最高使用温度77℃を下回る。

したがって、2PDの条件下においても、代替循環冷却系ポンプの健全性については問題ない。

② 残留熱除去系ポンプの健全性

代替循環冷却系については、残留熱除去系ポンプ（最高使用圧力：3.51MPa，最高使用温度：182℃）を流路として使用する。

系統概要図（図 2.2）に示すとおり、代替循環冷却系は代替循環冷却系ポンプでサブレーション・プールの水を循環させる系統構成となっており、残留熱除去系が機能喪失している前提で使用する設備であるため、残留熱除去系ポンプは、停止している状態でポンプ内を系統水が流れることとなる。残留熱除去系ポンプの軸封部はメカニカルシールで構成されており、ポンプ吐出側から分岐して送水される冷却水により温度上昇を抑える設計としている。（図 2.3）

ポンプ停止時に系統水が流れる状態においては、通常どおりメカニカルシールに冷却水が送水されないことが考えられるため、その際のシール機能への影響について確認した。

残留熱除去系ポンプのメカニカルシールは、スプリングによって摺動部を押さえつける形でシールする構造となっている。（図 2.4）代替循環冷却系運転時には残留熱除去系ポンプが停止している状態であるため、通常のポンプ運転時のようにフラッシング水が封水ラインを通じてメカニカルシール部に通水されないことが想定されるが、上述のとおり、フラッシング水はメカニカルシールの温度上昇を抑えるためのものであり、ポンプが停止している状態では冷却の必要がなく、特にメカニカルシールの機能に影響はない。

したがって、代替循環冷却系運転時において系統水の著しい漏えいはないと考えられる。

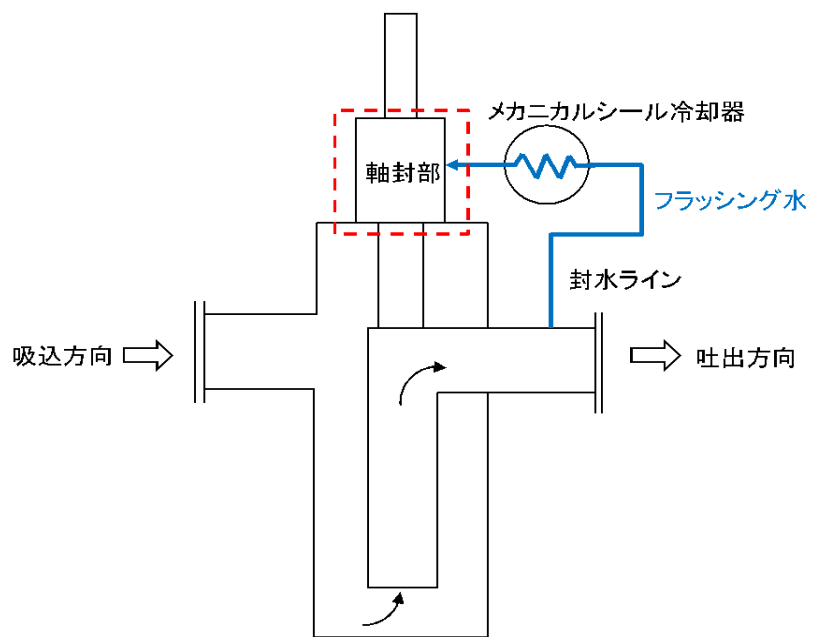


図 2.3 残留熱除去系ポンプ 概要図

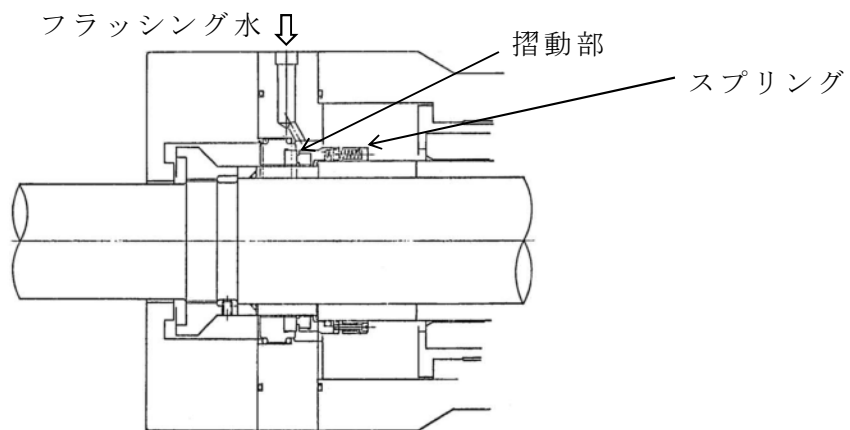


図 2.4 残留熱除去系ポンプメカニカルシール 構造図

③ シール材の健全性について

代替循環冷却系を使用する場合に、系統内の弁、配管及びポンプのバウンダリに使用されているシール材について放射線影響や化学影響によって材料が劣化し漏えいが生じる可能性がある。これらの影響について下記のとおり評価を行った。

(1) 放射線による影響

代替循環冷却系では、重大事故時に炉心損傷した状況で系統を使用することとなる。このため、系統内を高放射能の流体が流れることとなり、放射線による劣化が懸念される。

上記(1)に示す部材のうち、配管フランジガスケット及び弁グランドシールには膨張黒鉛もしくはステンレス等の金属材料が用いられている。これらは無機材料であり、高放射線下においても劣化の影響はないか極めて小さい。このため、これらについては放射線による影響はないか、耐放射線性能が確認されたシール材を用いることにより、シール性能が維持されるものとする。

残留熱除去系ポンプのバウンダリを構成する部材（メカニカルシール、ケーシングシール等）のシール材には、エチレンプロピレンゴム（EPDM）やフッ素ゴムが用いられており、放射線による影響を受けて劣化することが考えられるため、今後、耐放射線性に優れたエチレンプロピレンゴム（改良EPDM）のシール材への取り替えを行うことにより、耐放射線性を確保する。

また、代替循環冷却系ポンプのバウンダリを構成する部材（メカニカルシール、ケーシングシール等）のシール材につ

いても同様に、耐放射線性に優れた材料を選定する。

(2) 化学種による影響

炉心損傷時に発生する核分裂生成物の中で化学的な影響を及ぼす可能性がある物質として、アルカリ金属であるセシウム及びハロゲン元素であるよう素が存在する。このうち、アルカリ金属のセシウムについては、水中でセシウムイオンとして存在しアルカリ環境の形成に寄与するが、膨張黒鉛ガスケットや金属ガスケットはアルカリ環境において劣化の影響はなく、また、EPDMについても耐アルカリ性を有する材料である。このため、セシウムによる化学影響はないものと考ええる。

一方、ハロゲン元素のよう素については、無機材料である膨張黒鉛ガスケットや金属ガスケットでは影響がないが、有機材料であるEPDMでは影響を生じる可能性がある。このうち、今後、設備での使用を考慮している改良EPDMについては、自社研究による影響の確認を行っており、炉心損傷時に想定されるよう素濃度（約 $450\text{mg}/\text{m}^3$ ）よりも高濃度のよう素環境下（約 $1,000\text{mg}/\text{m}^3$ ）においても、圧縮永久歪み等のシール材としての性状に大きな変化がないことを確認している。このように、よう素に対する性能が確認された材料を用いることにより、漏えい等の影響が生じることはないものと考ええる。

3. まとめ

原子炉格納容器の過圧破損を防止するための設備（第50条）につい

て、200℃、2Pd の条件における設備の健全性について評価した。

フィルタベント設備については、200℃、2Pd を系統の設計温度、設計圧力とするため、設備上の問題はない。

代替循環冷却系については、代替循環冷却系ポンプの最高使用温度は77℃であるが、残留熱除去冷却器によりサプレッション・プール水は代替循環冷却系ポンプの最高使用温度を超えないと評価されている。また、ガスケットやシール材については、黒鉛系ガスケット等を用いており、200℃、2Pd の条件下であっても健全性は維持可能であると評価された。

以上