

東海第二発電所 審査資料	
資料番号	PS-2-10 改1
提出年月日	平成29年5月16日

東海第二発電所

ペDESTALでの物理現象発生に

対する対応方針

(添付資料)

平成29年5月

日本原子力発電株式会社

本資料のうち、は商業機密又は核物質防護上の観点から公開できません。

目 次

下線部：今回提出資料

- 添付 1. 原子炉圧力容器外の溶融燃料－冷却材相互作用（炉外 F C I）に関する知見の整理について…………… 添付 1-1
- 添付 2. S E の影響を緩和／防止するための設備対策案…………… 添付 2-1
- 添付 3. R P V 破損後の注水開始時間について…………… 添付 3-1
- 添付 4. R P V 破損時のデブリの冠水評価について…………… 添付 4-1
- 別添 1 デブリとして考慮するペDESTAL 内構造物について…………… 添付 4-5
- 別添 2 粒子化割合の算出…………… 添付 4-7
- 別添 3 デブリの拡がりに関する不確かさについて…………… 添付 4-8
- 別紙 1 PDS 実験について…………… 添付 4-16
- 別紙 2 主要解析条件…………… 添付 4-20
- 添付 5. コリウムシールド材料の選定について…………… 添付 5-1
- 添付 6. Z r O₂ 耐熱材の侵食開始温度の設定について…………… 添付 6-1
- 添付 7. ペDESTAL の侵食抑制及び温度影響抑制対策の成立性について…………… 添付 7-1
- 添付 8. 溶融デブリの排水流路内での凝固停止評価について…………… 添付 8-1
- 別添 Flemings モデルの適用性について…………… 添付 8-18
- 添付 9. 水位管理方法について…………… 添付 9-1
- 添付 10. J A S M I N E 解析について…………… 添付 10-1
- 添付 11. 水蒸気爆発評価の解析モデルについて…………… 添付 11-1
- 別添 運動エネルギーから圧力として伝わる時の考え方について…………… 添付 11-17
- 添付 12. S E の発生を想定した場合の格納容器の健全性への影響評価…………… 添付 12-1

別添 1	側壁の終局面外せん断応力度	添付 12-11
別添 2	床スラブの終局面外せん断応力度	添付 12-14
別添 3	S E 発生時の面外せん断応力度の算定方法	添付 12-17
別添 4	S E 後のコンクリートの残留ひび割れの影響 (参考)	
	添付 12-24
参考 1	コリウムシールドを設置しない場合のMCCI 評価	
	参考 1-1
別紙 1	デブリからの熱影響評価	参考 1-10
別紙 2	ペDESTAL側壁コンクリートのRPV 支持に必要な壁厚評価	
	参考 1-19
別紙 3	デブリ保持に必要な床スラブ厚さ評価	参考 1-24
別紙 4	床スラブ鉄筋のデブリ保持に必要な鉄筋量評価	参考 1-26
参考 2	S E 時のコリウムシールドへの影響	参考 2-1
別紙	ジルコニアの圧縮強度について	参考 2-3

添付 3. R P V 破損後の注水開始時間について

1. R P V 破損判断パラメータについて

R P V 破損の判断は、非常時運転手順書Ⅲ及びアクシデントマネジメントガイドに従い、中央制御室において監視できるパラメータを用いることとし、下記の判断基準を用いる。

以下の複数のパラメータの変化傾向を確認することにより判断する。

① 過渡事象

【破損徴候パラメータ（破損の徴候を検知するパラメータ）】

- ・原子炉水位の「低下（喪失）」
- ・制御棒位置の指示値の「喪失数増加」
- ・R P V 下鏡部温度の指示値の「喪失数増加」

【破損判断パラメータ（破損により変化するパラメータ）】

- ・ペDESTAL 水温の「上昇」又は「指示喪失」
- ・原子炉圧力の「低下」
- ・ドライウエル圧力の「上昇」
- ・ペDESTAL 雰囲気温度の「上昇」
- ・ドライウエル雰囲気温度の「上昇」

【破損判断の参考パラメータ（破損の可能性を示すパラメータ）】

- ・サプレッション・プール水温の「上昇」
- ・ドライウエル水素濃度の「低下」

② L O C A 事象

【破損徴候パラメータ（破損の徴候を検知するパラメータ）】

- ・原子炉水位の「低下（喪失）」

- ・制御棒位置の指示値の「喪失数増加」
- ・RPV下鏡部温度の指示値の「喪失数増加」

【破損判断パラメータ（破損により変化するパラメータ）】

- ・ペDESTAL水温の「上昇」又は「指示喪失」
- ・ペDESTAL雰囲気温度の「上昇」
- ・ドライウエル雰囲気温度の「上昇」

【破損判断の参考パラメータ（破損の可能性を示すパラメータ）】

- ・原子炉圧力の「上昇」
- ・ドライウエル圧力の「上昇」
- ・サプレッション・プール水温の「上昇」
- ・ドライウエル水素濃度の「低下」

それぞれのパラメータは次の理由により選定している。

- ・破損徴候パラメータ（破損の徴候を検知するパラメータ）は、RPV破損前の徴候として確認できる可能性があるパラメータを選定
- ・破損判断パラメータ（破損により変化するパラメータ）は、RPV破損時の変化が顕著で、破損判断の確実性が高いと考えられるパラメータを選定
- ・破損判断の参考パラメータ（破損の可能性を示すパラメータ）は、RPV破損時のあるパラメータの副次的な変化として確認されるパラメータやRPV破損時の変化幅が小さいパラメータ等を選定

2. 破損徴候パラメータによるRPV破損徴候の検知について

炉心損傷時には、原子炉水位の低下による炉心露出が発生し、その後、熔融炉心のRPV下部プレナム部への移行が起こる。「破損徴候パラメータ」は、それらを踏まえたパラメータとして設定されている。

R P V下部プレナム部に溶融炉心が移行すると、R P V下鏡部温度の指示値は上昇し、その後、溶融炉心からの熱影響により徐々に指示値の喪失が発生するものと考えられる。また、制御棒位置の指示値についても同様に、溶融炉心からの熱影響により徐々に指示値が喪失してくるものと考えられる。

このようなR P V下部プレナム部に移行した溶融炉心による影響の拡大について、運転員は「破損徴候パラメータ」に基づき継続的に監視していくこととなる。

3. R P V破損の判断時間について

運転員は、「破損徴候パラメータ」によりR P V下部プレナムへの溶融炉心への移行・影響拡大を検知した後は、「破損判断パラメータ」及び「破損判断の参考パラメータ」により、R P Vの健全性を継続的に監視していくこととなる。このため、R P V破損発生時には、これらの監視パラメータの変化により速やかにR P V破損を判断することが可能であり、この判断に大幅な時間遅れはないと考えられる。

以上を考慮し、有効性評価においては、1.に示すR P V破損判断に必要なパラメータに基づくR P V破損の認知に係る時間として、R P V破損後のパラメータ確認開始までの時間遅れを考慮せず、各パラメータの確認に必要な時間を保守的に積み上げ、5分と想定している。さらに、代替格納容器スプレイ冷却系（常設）の操作時間1分、格納容器下部注水系（常設）の操作時間1分を加え、原子炉圧力容器破損から7分後にペDESTALへの注水を開始する設定としている。

なお、東海第二発電所では、デブリ冠水維持の観点でR P V破損の認知が重要であることに鑑み、ペDESTAL内に水温計を設置しR P V破損判断パラメータと位置付けることで、R P V破損の認知に係る信頼性を向上し、デブ

リ冠水維持の確実性を向上させることとする。

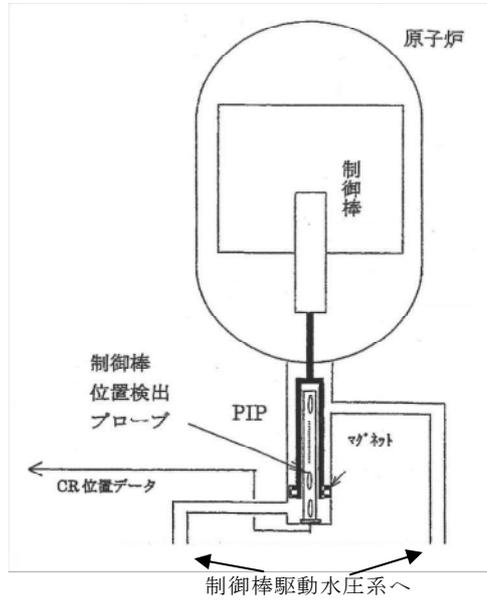
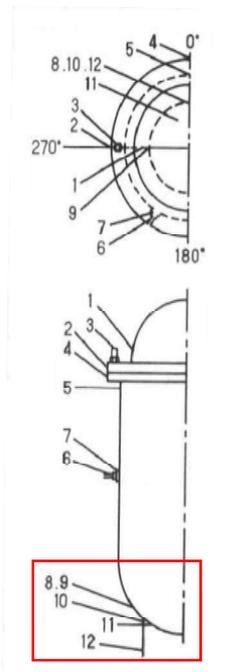


図 1 制御棒位置検出器概要図



No	測定名称
1	VESSEL TOP HEAD ADJAC FLANGE (B22-N028B)
2	VESSEL TOP HEAD FLANGE (B22-N028D)
3	VESSEL HEAD STUD (B22-N029B)
4	VESSEL FLANGE (B22-N050A)
5	VESSEL WALL ADJ. TO FLANGE (B22-N030A)
6	FEEDWATER NOZZLE (B22-N030F)
7	FEEDWATER NOZZLE (B22-N030G)
8	VESSL BOTTOM ABOVE SKTJCT (B22-N030H)
9	VESSL BOTTOM ABOVE SKTJCT (B22-N030K)
10	SUPPORT SKIRT TOP (B22-N030L)
11	VESSEL BOTTOM HEAD (B22-N030P)
12	SUPPORT SKIRT AT MTG FLANGE (B22-N030T)

図 2 R P V 下鏡温度計検出位置

事象進展を踏まえた R P V 破損判断の成立性

1. はじめに

R P V 破損判断に用いる各パラメータは、R P V 破損以外の事象進展においても変動しうるため、想定される事象進展とそれに伴う R P V 破損判断への影響について整理し、R P V 破損判断の成立性を示す。

2. 事象進展

2.1 過渡事象

格納容器破損防止対策の有効性評価の代表シーケンスである「給水流量の全喪失＋全交流動力電源喪失」を想定する。プラント挙動に影響を与える事象進展は「逃がし安全弁開」「リロケーション」「R P V 破損」である。なお、これらの事象進展は他の事故シーケンスについても同様の傾向を示すと考えられる。

2.2 L O C A

格納容器破損防止対策の有効性評価の代表シーケンスである「大破断 L O C A＋注水機能喪失」を想定する。プラント挙動に影響を与える事象進展は「破断口からの蒸気流出」「リロケーション」「R P V 破損」である。なお、これらの事象進展は他の事故シーケンスについても同様の傾向を示すと考えられる。

3. 事象進展とパラメータ変動の関係

各シーケンスにおいて、事象進展とパラメータ変動の関係をまとめた結果を表1及び表2に示す。同様の傾向を示すパラメータはあるものの、R P V破損時特有の挙動を示すパラメータがあること、また、R P V破損時にはこれらのパラメータが同時に変動するという特徴があることから、プラント挙動に影響を与える事象進展時のパラメータ変動を考慮しても、R P V破損判断の成立性に影響はない。

なお、表1及び表2に示すパラメータについて、制御棒位置を除く全てのパラメータは重大事故等対処設備により計測されるため、重大事故時にパラメータ変動が確認可能である。制御棒位置の指示については、S B O時等、重大事故時にパラメータ変動が確認できない可能性はあるが、その他の破損徴候パラメータ（原子炉水位及びR P V下鏡部温度）によりR P V破損の徴候が確認できれば、その後運転員はR P Vの健全性を継続的に監視していくこととなる。したがって、重大事故時に制御棒位置の指示が確認でない場合でも、R P V破損判断の成立性に与える影響はない。

以上より、重大事故時の事象進展等考慮しても、R P V破損の判断は可能と考えられる。

表1 事象進展とパラメータ変動（過渡事象）

パラメータ※	逃がし安全弁開	リロケーション	R P V破損	判 断
【破損徴候パラメータ（破損の徴候を検知するパラメータ）】				
<u>原子炉水位</u>	低下	低下	低下（喪失）	傾向は同様であるが、R P V破損に近い方がより水位が低下した状態である可能性が高い
制御棒位置	—	—	喪失数増加	下部プレナムに熔融炉心が落下してから発生する事象であり、R P V破損時のみ該当
<u>R P V下鏡部温度</u>	—	—	喪失数増加	下部プレナムに熔融炉心が落下してから発生する事象であり、R P V破損時のみ該当
【破損判断パラメータ（破損により変化するパラメータ）】				
<u>ペDESTAL水温</u>	有意な変化なし	有意な変化なし	上昇又は喪失	ペDESTAL水温指示の喪失により確実にR P V破損を検知可能
<u>原子炉圧力</u>	有意な変化なし	上昇	低下	低下を示すのはR P V破損時のみ
<u>D/W圧力</u>	有意な変化なし	有意な変化なし	上昇	R P V破損前の発生蒸気は逃がし安全弁からS/P経路で排出されるためD/W圧力に有意な変化はない
<u>ペDESTAL雰囲気温度</u>	有意な変化なし	有意な変化なし	上昇	ペDESTAL内にデブリが落下する前には有意な変化はない
<u>D/W雰囲気温度</u>	有意な変化なし	有意な変化なし	上昇	R P V破損前の発生蒸気は逃がし安全弁からS/P経路で排出されるためD/W雰囲気温度に有意な変化はない
【破損判断の参考パラメータ（破損の可能性を示すパラメータ）】				
<u>S/P水温</u>	上昇	上昇	上昇	傾向は同様であるがR P V破損時の変化は軽微
<u>D/W水素濃度</u>	有意な変化なし	有意な変化なし	低下	R P V破損前の発生蒸気は逃がし安全弁からS/P経路で排出されるためD/W水素濃度に有意な変化はない

※下線は主要パラメータ（重大事故等対処設備），それ以外は補助パラメータ

表2 事象進展とパラメータ変動（LOCA）

パラメータ※	破断口からの蒸気流出	リロケーション	R P V破損	判 断
【破損徴候パラメータ（破損の徴候を検知するパラメータ）】				
<u>原子炉水位</u>	低下	低下	低下（喪失）	傾向は同様であるが、R P V破損に近い方がより水位が低下した状態である可能性が高い
制御棒位置	－	－	喪失数増加	下部プレナムに溶融炉心が落下してから発生する事象であり、R P V破損時のみ該当
<u>R P V下鏡部温度</u>	－	－	喪失数増加	下部プレナムに溶融炉心が落下してから発生する事象であり、R P V破損時のみ該当
【破損判断パラメータ（破損により変化するパラメータ）】				
<u>ペDESTAL水温</u>	有意な変化なし	有意な変化なし	上昇又は喪失	ペDESTAL水温指示の喪失により確実にR P V破損を検知可能
<u>ペDESTAL雰囲気温度</u>	上昇	上昇	上昇	同様の傾向を示すが、R P V破損後は溶融炉心からの放熱影響により雰囲気温度の上昇がより顕著であると考えられる
<u>D/W雰囲気温度</u>	上昇	上昇	上昇	同様の傾向を示す
【破損判断の参考パラメータ（破損の可能性を示すパラメータ）】				
原子炉圧力	低下	上昇	上昇	破断口からの蒸気流出時は低下するが、それ以降は原子炉圧力とD/W圧力はほぼ同様の傾向を示す
<u>D/W圧力</u>	上昇	上昇	上昇	同様の傾向を示す
<u>S/P水温</u>	上昇	上昇	上昇	同様の傾向を示す
<u>D/W水素濃度</u>	低下	低下	低下	同様の傾向を示す

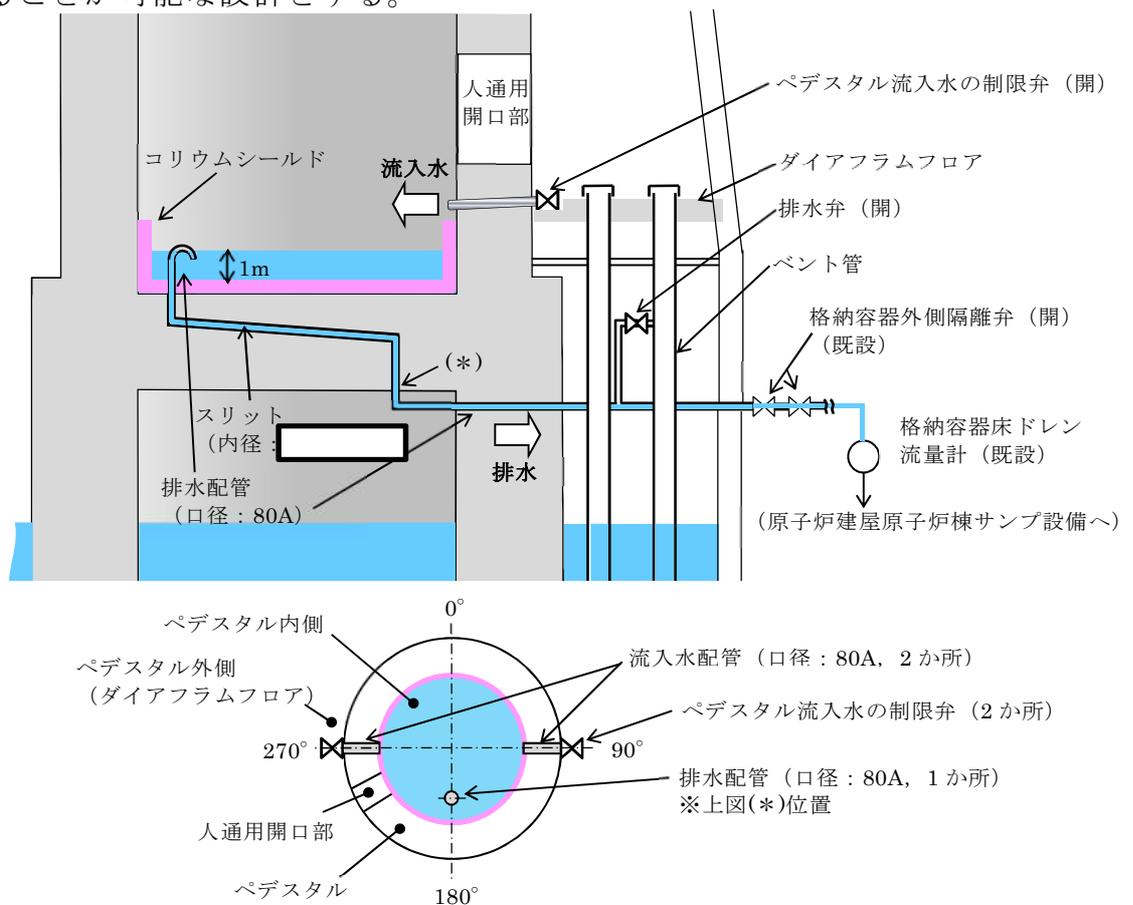
※下線は主要パラメータ（重大事故等対処設備），それ以外は補助パラメータ

添付 9. ペDESTAL内の水位管理方法について

東海第二発電所における，FCI及びMCCIの影響抑制を考慮したペDESTAL内水位管理対策の内容を以下に示す。

① 通常運転時

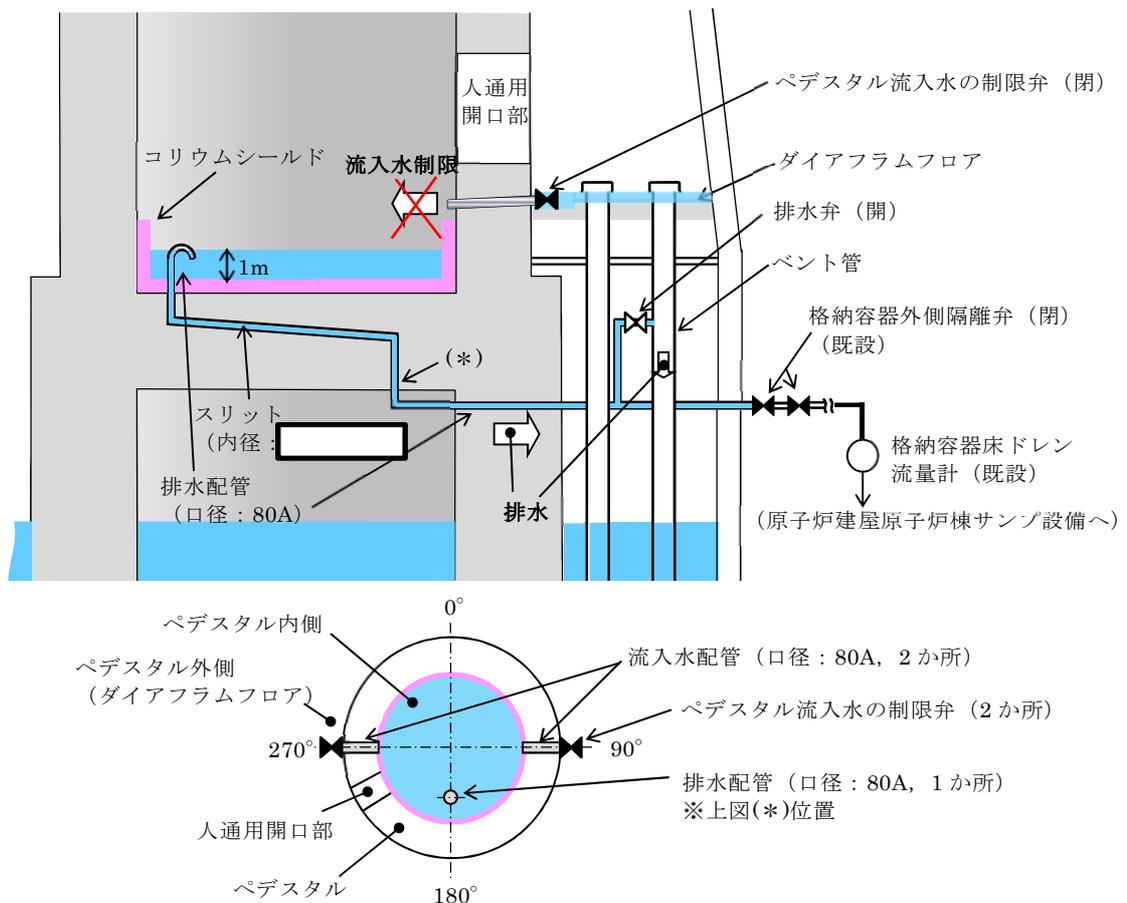
- ・ペDESTAL床ドレンサンプの機能として排水配管から 1m の水深を超えた流入水を原子炉建屋原子炉棟のサンプ設備へ排水する設計とする。
- ・漏えい位置を特定できない格納容器内の漏えい水（流入水）は，1m に立ち上げた排水配管から原子炉棟のサンプ設備へ排水する経路に設置されている格納容器床ドレン流量計により， $0.23\text{m}^3/\text{h}$ の漏えい量を検出することが可能な設計とする。



第 1 図 ペDESTAL床ドレンサンプの通常運転時流入水及び排水経路図

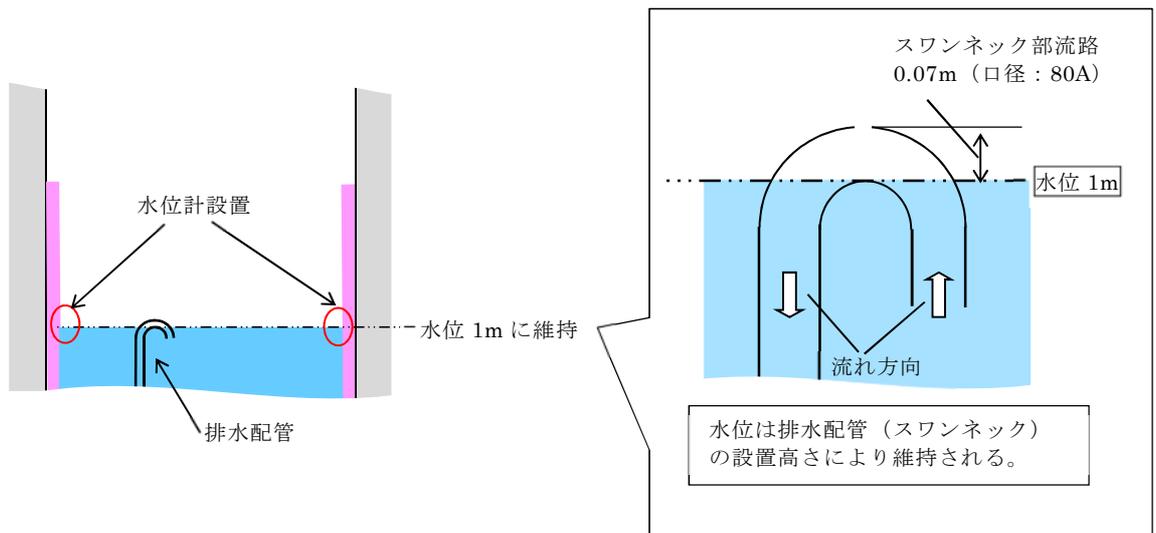
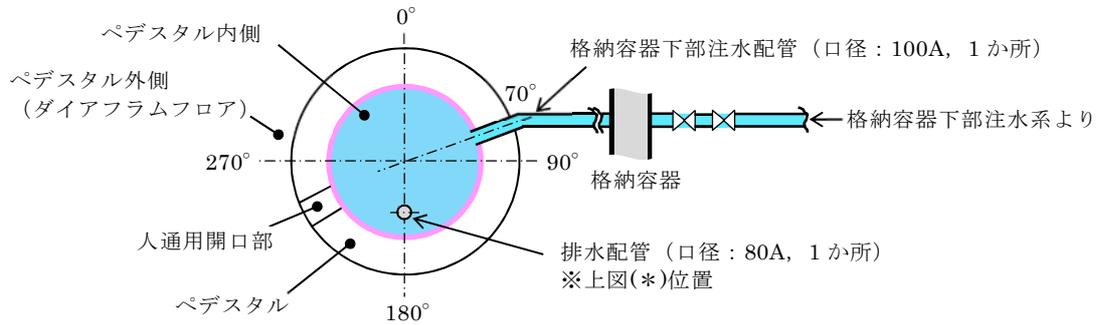
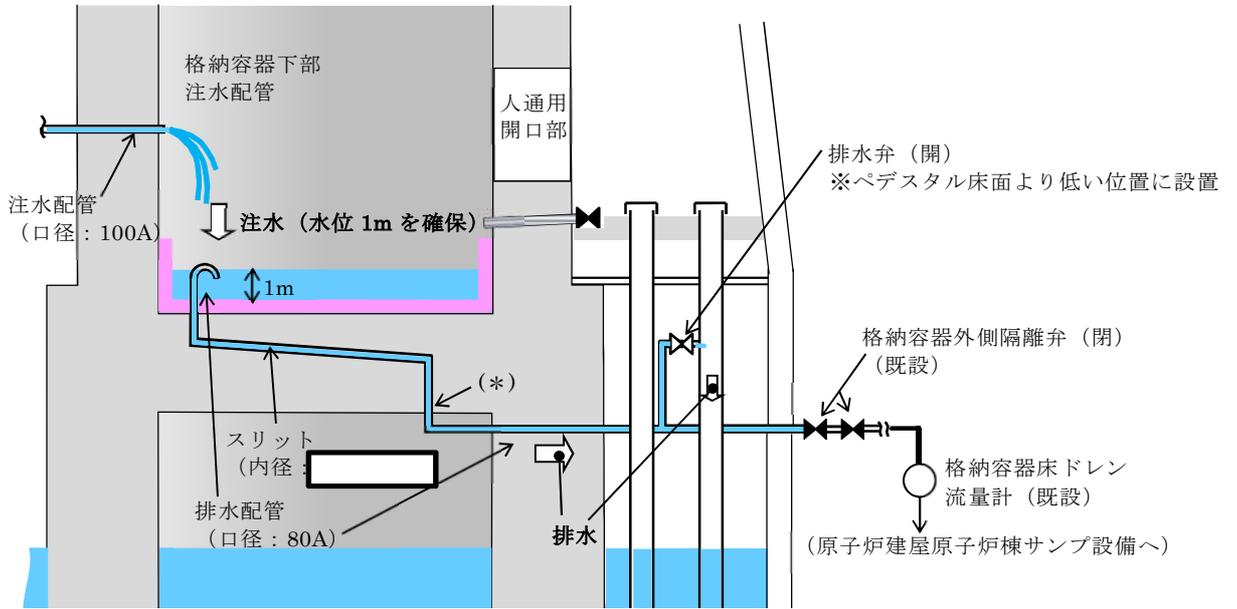
② 事故発生からRPV破損まで

- ・ 床ドレンサンプ排水配管下流の格納容器外側隔離弁（既設）は、格納容器隔離信号により閉止される（機器ドレンサンプも同様）設計とする。
- ・ ドライウェルからペデスタル内への水の流入は、ペデスタル流入水の制限弁を事故発生直後の格納容器隔離と同時に閉とすることにより、制限する設計とする。
- ・ ペデスタル流入水の制限弁が閉となる前のドライウェルからの流入水及びペデスタル内のボトムドレン配管破断時の流入水は、ベント管に接続された排水配管及び排水弁を経由してサプレッション・プールへ排水され、RPV破損までにペデスタル内水位は1mまで低下する設計とする（別添1）。



第2図 ペデスタル床ドレンサンプ流入水・排水経路図

- ・事故が発生し炉心が損傷した場合、格納容器下部注水配管から水位 1m を超過するまで注水を実施し、その後排水することにより、R P V 破損までに水位を 1m とする設計とする。

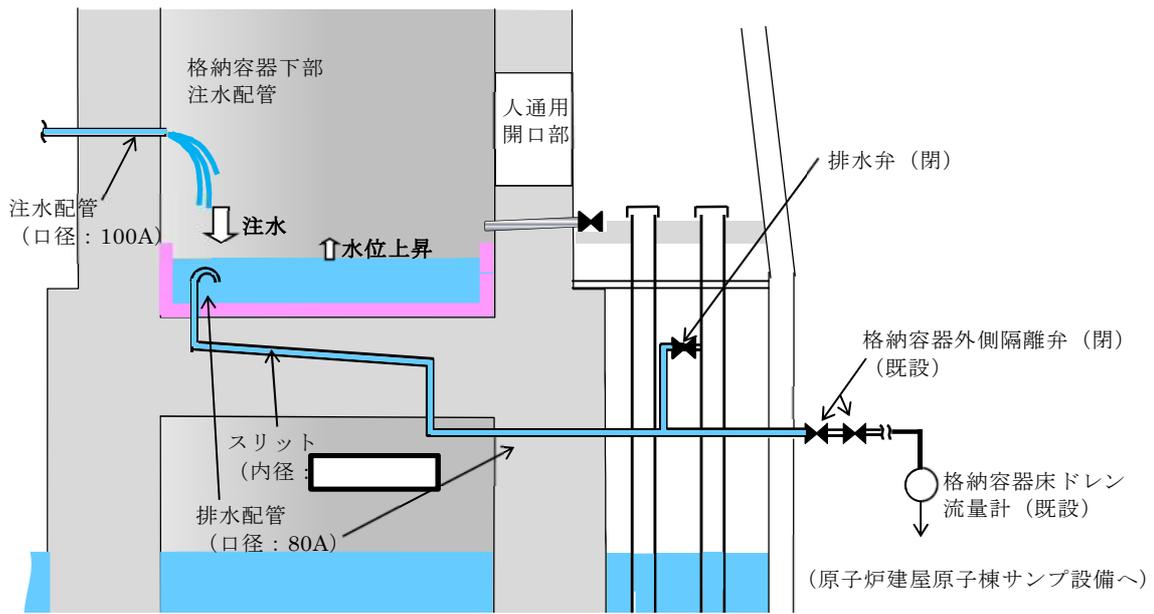


第 3 図 ペDESTAL床ドレンサンプ注水図 (水位 1m 維持)

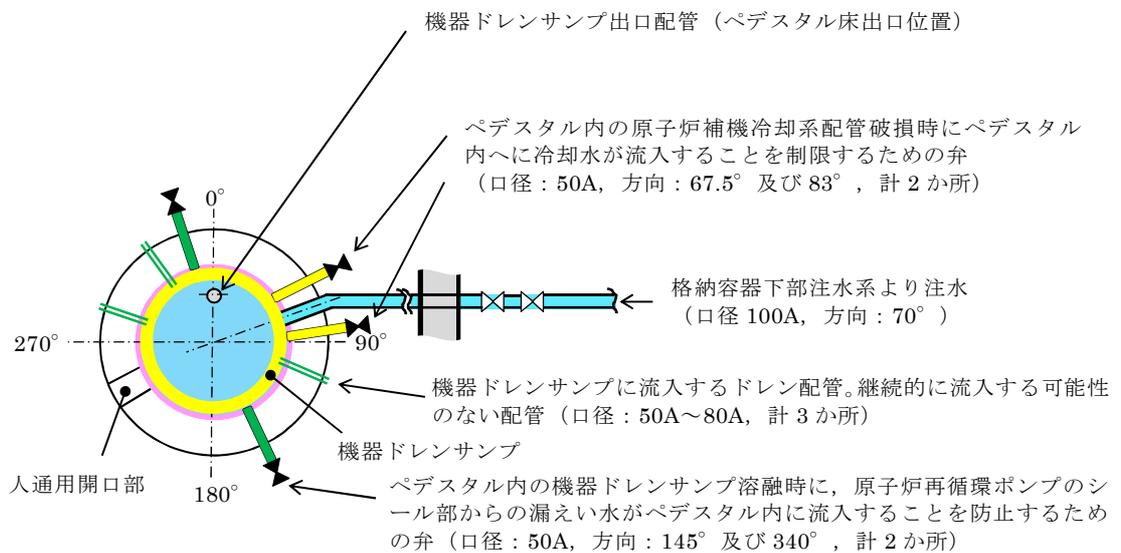
③ R P V破損後

- R P V破損を検知した場合には，格納容器下部注水配管からの注水を実施し，R P Vから落下したデブリを冷却する設計とする（別添2）。
- ペDESTALへの注水開始後に排水弁を閉とし，ペDESTAL水のサブプレッショ^ン・プールへの流出を防止する設計とする。
- ペDESTAL内の機器ドレンサンプには，原子炉再循環ポンプのシール部からの漏えい水が流入してくる配管が存在するため，ペDESTALに落下したデブリによりこの配管が溶融した場合には，ペDESTAL水位が上昇する。このため，R P V破損検知後の格納容器下部注水配管からの注水時に，当該配管のペDESTAL外側に設置する弁を閉にし，ペDESTAL内への流入を防止する設計とする。
- ペDESTAL内には機器ドレン水を冷却するための冷却水配管（原子炉補機冷却系）が存在するため，ペDESTALに落下したデブリにより冷却水配管が溶融した場合には，ペDESTAL水位が上昇する。このため，R P V破損検知後の格納容器下部注水配管からの注水時に，当該配管のペDESTAL外側に設置された弁を閉にし，ペDESTAL内への流入を防止する設計とする。

また，上記①～③の水位管理対策のためにペDESTAL内に設置する計器類について，その配置及び動作原理等を別添3に示す。



第4図 ペDESTAL注水図 (R P V破損後)



機器ドレンサンブには、通常運転時に機器等から流入する可能性のある高温のドレン水を冷却するための冷却配管 (原子炉補機冷却系) が設置される。機器からのドレン水と冷却水が直接接触しないように冷却水は専用の配管内を流れる構造。原子炉補機冷却系は、機器ドレンサンブの他に、格納容器内で原子炉再循環ポンプや空調機などにも冷却水を供給する。

第5図 ペDESTAL床ドレンサンブ流入経路 (機器ドレンサンブ)

事故発生から R P V 破損までのペDESTAL流入水の排水評価について

R P V 破損までに、ペDESTAL内への流入水を排水配管からベント管を介してサプレッション・プールに排水可能であることを示す。

① 評価条件

- ・ペDESTAL流入水の制御弁を事故後早期に閉止することから、ドライウエルでの L O C A 時はペDESTAL内への水の流入は制限されるが、ペDESTAL内のボトムドレン配管破断事象時には、ペDESTAL内への水の流入により水位は人通用開口部下端まで上昇する可能性がある。人通用開口部下端よりも水位が上昇すると開口部を通じて水はドライウエルへ流出するため、ペDESTAL内の水位の最大水位は、人通用開口部下端とする。
- ・排水評価は人通用開口部下端から水位 1m までの水量（必要排水量）とする。また、設備対策より配置されるコリウムシールド等の構造物については、評価上その体積を除外し保守的な評価とする。
- ・排水量を評価する上では、ドライウエル及びサプレッション・プール内圧は考慮しない。（排水配管はドライウエル気相部に接続され、圧力差はない）
- ・排水配管の口径は 80A とし、流路となるスリット等の圧力損失及び排水中に刻々と変化する水位を考慮する。

② 評価結果

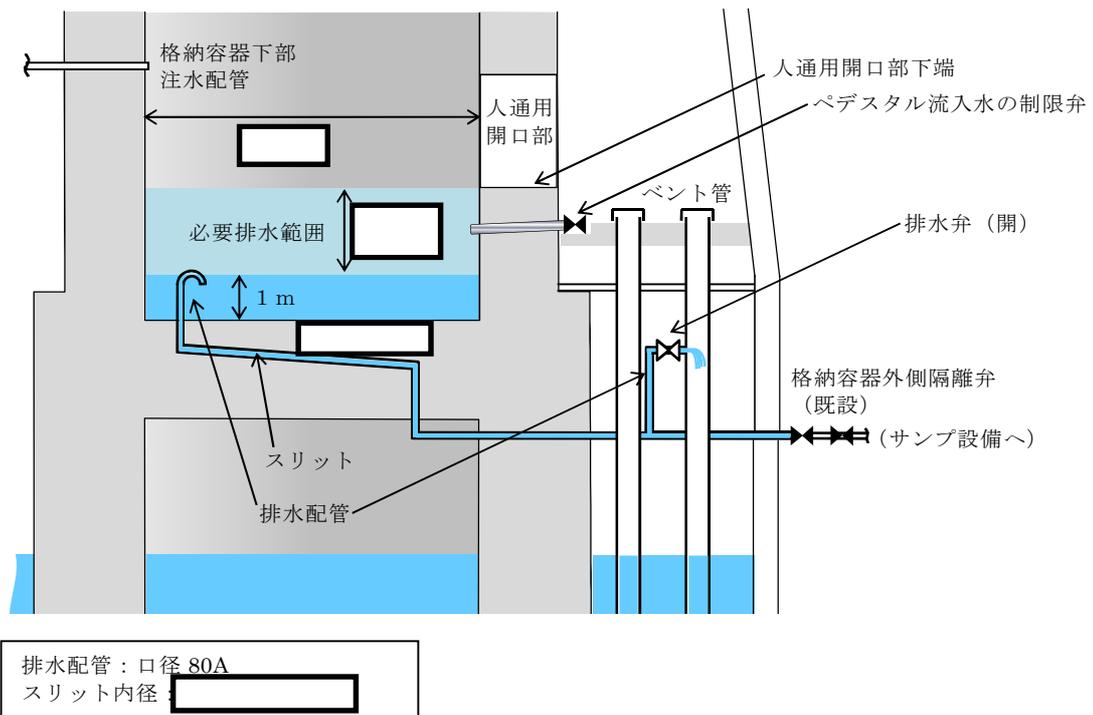
評価結果は以下のとおりであり、ペDESTAL内のボトムドレン配管破断時に流入した水を、R P V からペDESTALへの流入停止（事象発生後約 0.3 時

間) から R P V 破損 (事象発生後約 3 時間) までの約 2.7 時間以内に, 水位 1m まで排水可能である。

表 1 必要排水量と排水時間

項目	評価結果
必要排水量	約 59m ³ ※
排水時間	約 2.3 時間

※: 必要排水範囲の水量 (内径 , 高さ の水の体積)



第 1 図 ペデスタル水位制限対策案 (排水範囲図)

③ 評価結果に対する裕度

- ・必要排水量

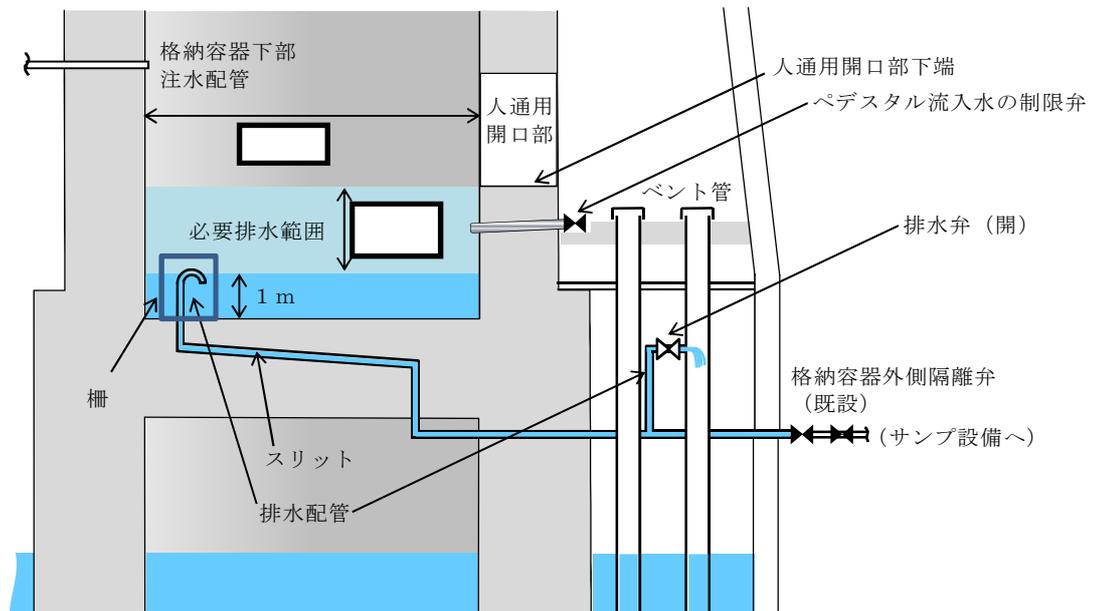
必要排水量はコリウムシールド等の内部構造物を考慮していないことから、必要排水量としては内部構造物の堆積分保守的な評価としているが、現実的にコリウムシールド等の構造物の体積を考慮すれば、排水する必要のある水の量が少なくなる。

- ・排水時間

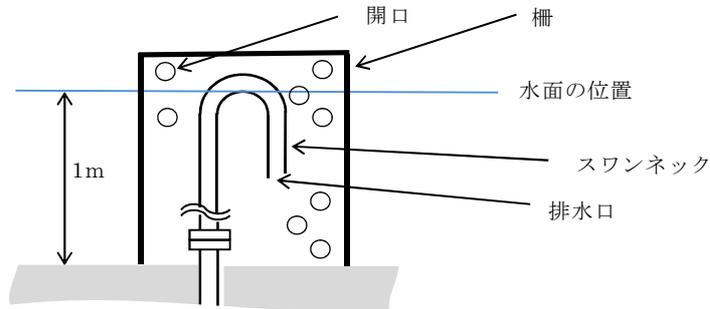
排水時間については、排水に伴って低下する水位並びに流路の形状及び長さ等を考慮して計算した排水流量を基に評価を行っている。なお、排水流量の計算にあたっては、「L：エルボや弁等に相当する長さ」及び「L：配管長さ」に余裕を持たせた圧力損失を考慮しており、この場合においても、平均の必要排水流量：約 22m³/h（評価上の容量：約 59m³に対して、約 2.7 時間で排水）に対して平均排水流量の計算結果は約 25m³/h である。

- ・異物による影響

ペDESTAL内に流入し、排水性に悪影響を与える可能性のある異物は、ケーブル及びサポート等の鋼材が考えられる。ケーブル及びサポート等の鋼材は水に沈むことから、排水口の形状をスワンネックにすることにより、排水性に悪影響を与える異物が排水口から排水配管内に流入することを防止する設計とする。また、異物がスワンネック入口付近に局所的に堆積し、排水性に悪影響を与えることを防止するため、柵をペDESTAL内の排水配管の周囲に設置し、更に異物による影響に配慮した設計とする（第2図）。



排水配管：口径 80A
 スリット内径



【柵の設置】
 通常運転中の漏えい水の検知及びR P V破損後デブリ落下前に必要な排水量に悪影響を与えない大きさの開口部を有する柵をペDESTAL内の排水配管の周囲に設置する設計とする。(開口の大きさ：スリット内径の短辺 よりも小さい)
 ・材質：ステンレス製

【スワンネックの採用】
 沈下物を排水配管内に持ち込ませないように水面位置と床面位置の間の位置にスワンネックの排水口を設定する設計とする。

第 2 図 異物対策図

ペDESTAL注水開始後のSE発生の可能性について

1. はじめに

東海第二発電所では、SEによるペDESTAL構造への影響抑制のため、RPV破損時のペDESTAL水位を1mと設定し、SE影響評価を実施している。しかし、RPVの破損を判断した場合には、格納容器下部注水系（常設）によるペDESTAL注水を実施する手順としており、注水開始後には1mを超える水位がペDESTAL内に形成されることとなり、SE影響評価の想定を上回る規模のSEが発生する可能性がある。

これに対して、RPV破損及びペDESTAL注水開始後のペDESTAL内の状況を推定し、SE発生の可能性及びこれを考慮した水位管理について検討した。以下に検討の内容を示す。

2. RPV破損時のデブリ落下挙動

有効性評価における損傷炉心冷却に失敗しRPVが破損するシーケンスにおいては、SA設備を含む全ての原子炉注水機能が使用できないものと仮定しRPV破損に至るものとしている。この際、RPVの破損形態としては、FCIやMCCIによるPCVへの負荷を厳しく評価する観点から、CRD案内管の逸出を想定している。この場合、RPV破損口はアブレーションにより拡大しながら、RPVの内圧及びデブリの堆積ヘッドにより、約300tonの溶融デブリが約30秒間でペDESTALへ全量落下する結果となっている。

実際の事故時には、CRD案内管の逸出の他にも種々のRPV破損形態が考えられるが、RPVが破損するような状況においては、有効性評価における想定と同様に原子炉注水機能が喪失していることが考えられる。このよう

な場合には、R P V破損までにデブリの大部分が下部ヘッドに堆積しており、R P V破損時には、アブレーションによる破損口の拡大を伴いながら全量のデブリが短時間でペDESTALに落下するものと考えられる。

万一、破損口が拡大せず、その破損口よりデブリが堆積した自重のみにより落下することを仮定しても、その落下速度は 2ton/min 程度^{※1}（以下、低落下速度という）となる。

※1：最外周のC R D案内管貫通部におけるR P V破損を想定し、下部ブレナム内でのデブリ堆積ヘッドをもとに計算。破損口径は、サンディア国立研究所のR P V下部ヘッド破損を模擬したL H F試験結果を参考に 10cm²を想定。

3. R P V破損後のペDESTAL内の水の状態とS E発生可能性について

ペDESTAL内の初期水量及びペDESTAL注水量と、R P Vから落下するデブリの保有熱の関係より、ペDESTAL内の水が飽和温度に到達する条件を評価し、その結果よりS E発生の可能性について検討した。表1及び表2に、評価条件を示す。

まず、R P V破損時にペDESTAL内に存在する水量（水深 1m）は であり、この水量を飽和温度まで昇温するために必要なデブリ量は、約 11ton と評価される。これは、デブリ全体に対して 4%未満の落下量であり、2. で示した低落下速度でデブリが落下したとしても、5分程度で約 11ton のデブリ量が落下することとなる。

次に、R P V破損後のペDESTAL注水は 80m³/h にて実施するため、1分当たり約 1.33m³の流量でペDESTALに流入する。この水量を飽和温度まで昇温するために必要なデブリ量は約 520kg/min（デブリ全量の 0.2%/min 未満）となる。これは、2で示したデブリの低落下速度の 1/4 程度であり、80m

m^3/h で注水した水は速やかに飽和状態に至ると考えられる。

なお、デブリからペDESTAL水への伝熱速度の観点からは、熱流束を $800\text{kW}/\text{m}^2$ 一定^{※2}、伝熱面積をデブリ拡がり面積である とすると、 $180\text{m}^3/\text{h}$ 以上の水を飽和温度まで昇温する熱移行率となる。

以上より、RPV破損後にデブリが継続的に落下する場合には、ペDESTAL内の水は速やかに飽和状態に至り、その後の注水過程でも、ペDESTAL内の水は飽和状態に保持されるため、SEは発生しないと考えられる。

※2：MAAPコードを用いた有効性評価においてデブリから上面水への限界熱流束として小さめに設定している値

表1 デブリの評価条件

項目	値	備考
デブリ密度 (kg/m^3)	<input type="text"/>	MAAP計算結果 (RPV破損時の値) を、デブリ保有熱が小さくなるように丸めた値
デブリ比熱 (J/kgK)		
デブリ溶融潜熱 (J/kg)		
デブリ初期温度 ($^{\circ}\text{C}$)		
デブリ冷却後温度 ($^{\circ}\text{C}$)	500	デブリ保有熱を小さめに評価する観点から、高めに設定

表2 ペDESTAL水の評価条件

項目	値	備考
ペDESTAL水密度 (kg/m^3)	1,000	概略値を使用
ペDESTAL水比熱 (J/kgK)	4,180	
ペDESTAL水初期温度 ($^{\circ}\text{C}$)	35	外部水源温度
ペDESTAL水飽和温度 ($^{\circ}\text{C}$)	135	RPV破損時のD/W圧力の包絡値 (0.3MPa) における飽和温度
ペDESTAL水半径 (m)	<input type="text"/>	コリウムシールド厚さを <input type="text"/> とした場合の、コリウムシールド内半径

4. ペデスタル内への計器設置及び水位管理について

上記のとおり、原子炉注水機能が喪失しR P V破損に至るような状況においては、デブリが継続的に落下することによりペデスタル内の水は飽和状態となりS Eは発生しないと考えられ、このような状態では確実なデブリ冠水のために人通用開口部まで注水する。

一方、R P V破損前に原子炉注水機能が復旧した場合等、一部のデブリがペデスタルに落下し、残りはR P V内に保持といったデブリ落下挙動の不確かさが存在する。この場合のペデスタル注水によるS E発生の可能性を考慮し、以下のようにペデスタルに計器を設置するとともに、ペデスタル内の水位管理を行うこととする。第1図に、ペデスタル内計器設置及びペデスタル水位管理の概念図を示す。

これにより、ペデスタル注水開始後においても水深及びサブクール度の大きい水プールの形成を防止し、S E発生を防止できると考えられる。

(a) R P V破損前

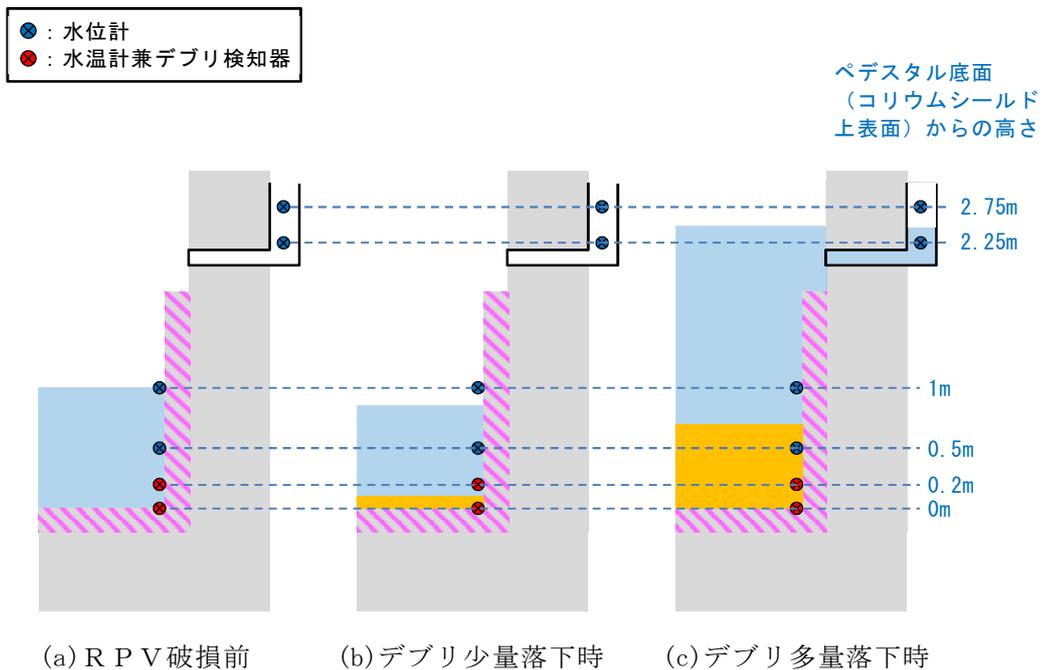
ペデスタルへの事前注水及び排水配管からの排水により、水位は1mに維持される。

(b) デブリ少量落下時（デブリ堆積高さ $<0.2\text{m}$ ）

ペデスタル満水（水深 \square ，約81ton）の水を飽和温度に到達させるデブリ量は約31ton（全体の約11%）であり、その堆積高さは約0.15mとなる。これより、R P V破損判断後においても0.2m高さのデブリ検知器にてデブリ堆積が検知されない場合には、0.5m及び1m高さの水位計を用いて水位0.5m未満を検知した場合に水位1mまでペデスタルへ注水する間欠注水を実施し、1m以上の水深形成を防止する。

(c) デブリ多量落下時（デブリ堆積高さ $\geq 0.2\text{m}$ ）

R P V破損判断後, 0.2m 高さのデブリ検知器にてデブリ堆積が検知された場合には, 水位 2.75m まで注水を実施する。その後は, 2.25m 及び 2.75m 高さの水位計を用いて水位 2.25m 未満を検知した場合に水位 2.75m までペDESTALへ注水する間欠注水を実施し, サブクール度を小さく保ち S E 発生を防止する。



第 1 図 ペDESTAL水位管理の概念図

ペDESTAL内に設置する計器について

ペDESTAL内の水位管理のために設置する計器について、概要及び設置位置を表 1 及び第 1 図にそれぞれ示す。また、各計器の設置目的等を以下に示す。

(1) R P V破損前までの水位管理

①高さ 1m 超水位計

ペDESTAL底面 1m 超の水位を検知できるよう、測定誤差を考慮した高さに水位計を設置し、炉心損傷後は当該水位計設置高さまで事前注水を実施する。注水停止後は、排水配管等により R P V破損までに 1m 水位まで排水される。

約 180° 間隔で計 2 個設置し、1 個以上がこの高さ以上の水位を検知した場合に水張り完了及び注水停止を判断する。

(2) R P V破損及びデブリ落下・堆積検知

②高さ 0m 位置水温計兼デブリ検知器

ペDESTAL底部に温度計を設置し、指示値の上昇又は喪失により、その他のパラメータ挙動と併せて R P V破損検知に用いる。測温抵抗体式温度計を採用することにより、デブリ接触により溶融した場合にダウンスケールする特性を利用し、R P Vからのデブリ落下検知が可能である。

デブリの落下、堆積挙動の不確かさを考慮して等間隔で計 5 個（予備 1 個含む）設置し、R P V破損の早期判断の観点から、2 個以上が上昇傾向又はダウンスケールとなった場合に、その他のパラメータ挙動と併せて R P V破損を判断する。

③高さ 0.2m 位置水温計兼デブリ検知器

ペDESTAL底面から 0.2m の高さに測温抵抗体式温度計を設置し、指示値

の上昇又は喪失により，その他のパラメータ挙動と併せてR P V破損検知に用いる。また，0.2m以上のデブリ堆積有無を検知しペDESTAL満水までの注水可否を判断する。

デブリの落下，堆積挙動の不確かさを考慮して等間隔で計5個（予備1個含む）設置し，十分な量のデブリ堆積検知の観点から，3個以上がダウンスケールした場合にペDESTAL満水までの注水を判断する。

(3) デブリ少量落下時（デブリ堆積高さ<0.2m）水位管理

④高さ0.5m水位計

ペDESTAL底面から0.5mの高さに水位計を設置し，デブリの少量落下時（堆積高さ0.2m未満）においてペDESTAL水位を0.5m～1mの範囲に維持するため，水位0.5m未満を検知しペDESTAL注水開始を判断する。

約180°間隔で計2個（予備1個含む）設置し，1個以上が水位0.5m未満を検知した場合に注水開始を判断する。

⑤高さ1m未満水位計

ペDESTAL底面より1mの高さから測定誤差を差し引いた高さに水位計を設置し，デブリの少量落下時（堆積高さ0.2m未満）においてペDESTAL水位を0.5m～1mの範囲に維持するため，水位1m到達を検知しペDESTAL注水停止を判断する。

約180°間隔で計2個（予備1個含む）設置し，1個以上が水位1m到達を検知した場合に注水停止を判断する。

(4) デブリ多量落下時（デブリ堆積高さ \geq 0.2m）水位管理

⑥満水管理水位計

ペDESTAL底面から2.25m及び2.75mの高さに水位計を設置し，デブリの多量落下時（堆積高さ0.2m以上）においてペDESTAL水位を2.25m～2.75mの範囲に維持するため，各高さにおける水位の有無を検知しペDESTAL注水

開始及び停止を判断する。

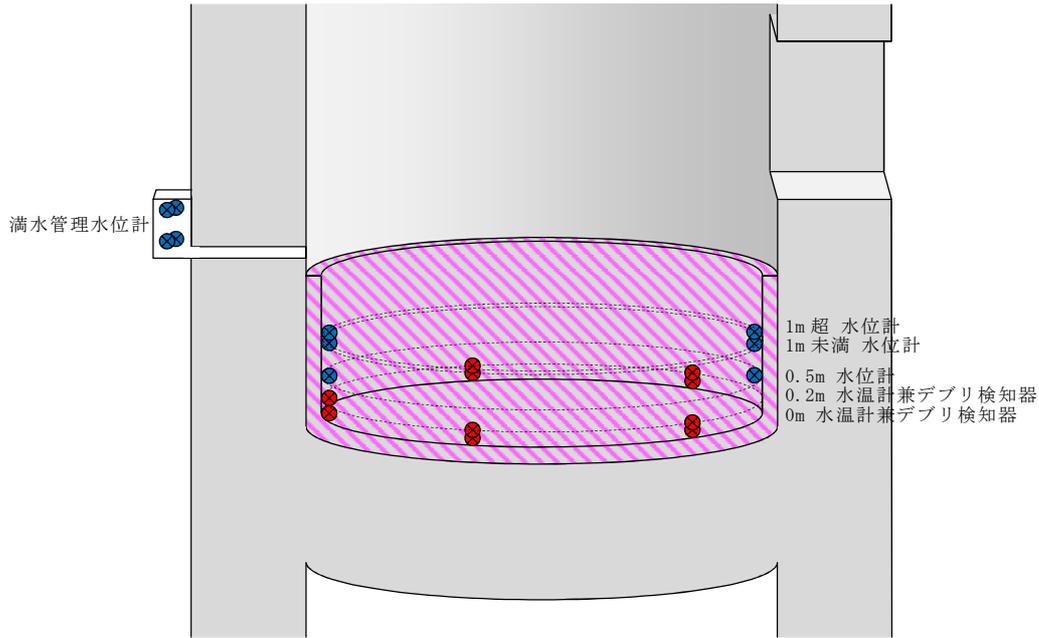
ペDESTAL側壁の貫通孔を通じたペDESTAL外側のボックス内に、各高さに2個の水位計（予備1個含む）を設置し、1個以上が2.25m未満を検知した場合にペDESTAL注水開始、2.75m到達を検知した場合にペDESTAL注水停止を判断する。

表1 ペDESTAL内計器の概要

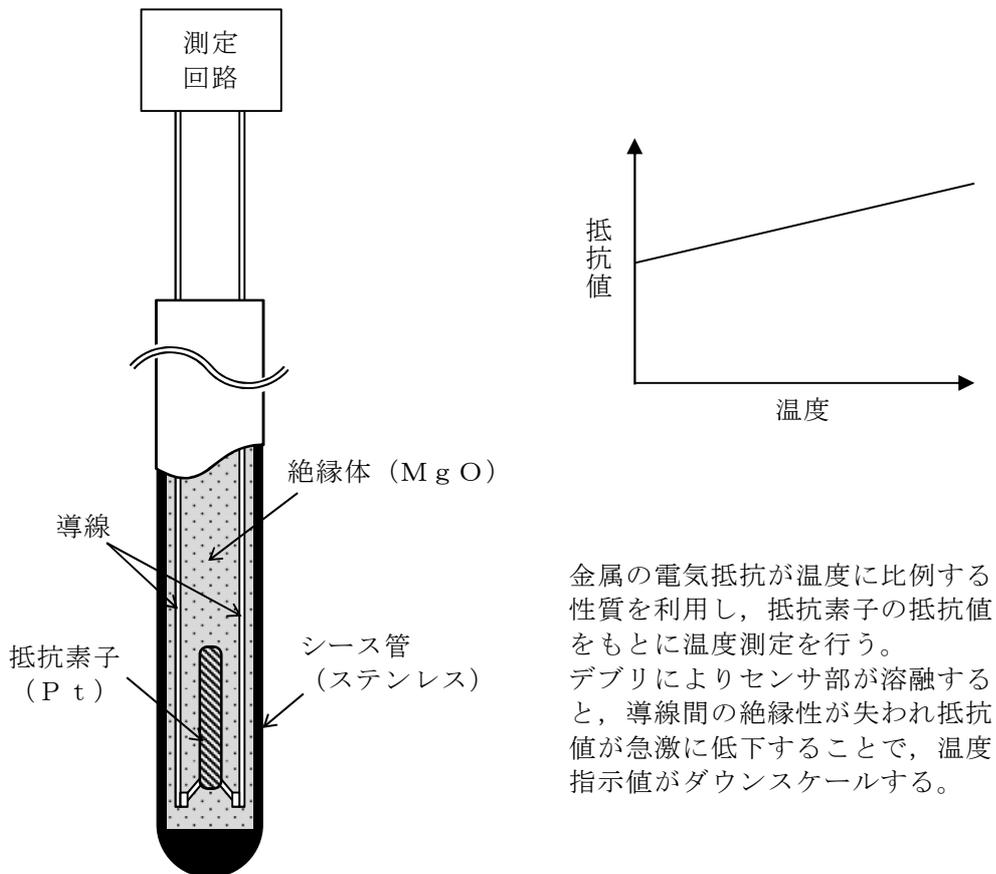
	設置高さ※ ¹	設置数	計器種別
0m 水温計兼 デブリ検知器	0m	各高さに5個	測温抵抗体式 温度計※ ²
0.2m 水温計兼 デブリ検知器	0.2m		
0.5m 水位計	0.5m	各高さに2個	電極式 水位計※ ²
1m 未満水位計	1m－測定誤差		
1m 超水位計	1m＋測定誤差		
満水管理水位計	2.25m 2.75m		

※1：ペDESTAL底面（コリウムシールド上表面）からの高さ

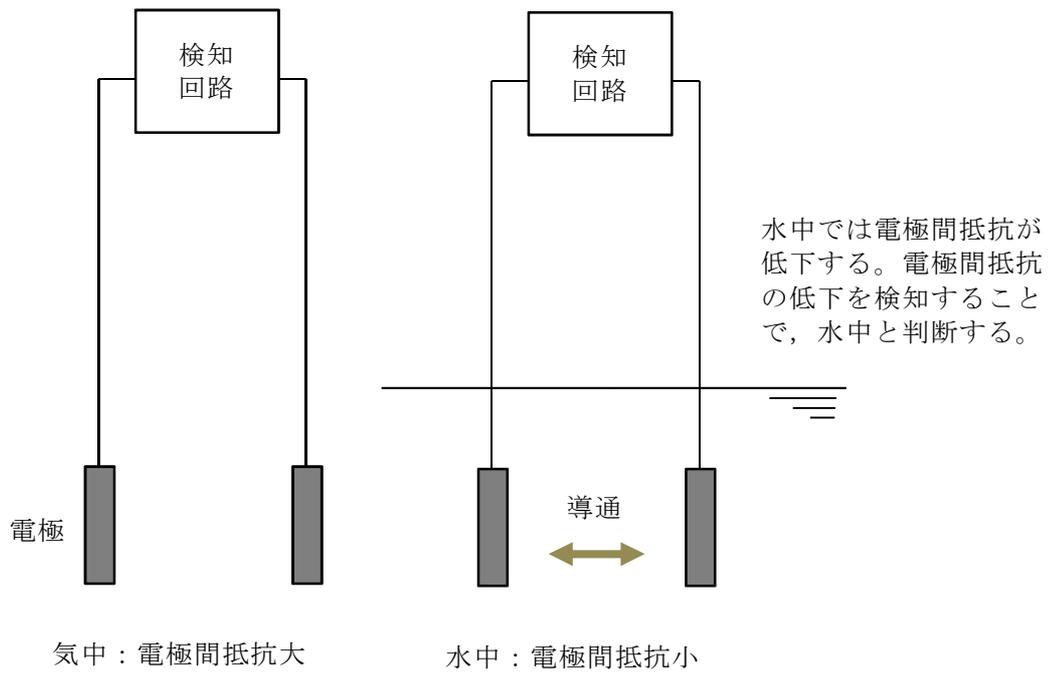
※2：各計器の動作原理は第2図及び第3図参照



第1図 ペデスタル内の計器設置図



第2図 測温抵抗体式温度計の動作原理



第3図 電極式水位計の動作原理