

東海第二発電所
ペDESTALでの物理現象発生を想定した場合の
格納容器の健全性について
(審査会合における指摘事項の回答)

平成29年6月2日

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。

4/27審査会合での説明概要

1. RPV破損後のペDESTALに要求される機能を整理(規則の解釈 第37条)

- (1)原子炉格納容器の構造部材の支持機能が喪失しないこと ⇒ RPV支持機能
- (2)溶融炉心が適切に冷却されること ⇒ 床スラブでのデブリ保持機能

2. 格納容器・ペDESTAL機能確保のための対応方針

事故収束の確実性(デブリの冠水維持), MCCIの影響抑制, SEの影響抑制の観点から、対応方針を策定

- (1)MCCIの影響抑制のため、**コリウムシールド**(ZrO₂製)等の設備対策を実施
- (2)RPV破損時の**ペDESTAL水位を1m**と設定

3. 対応方針の具体化

上記対策について、MCCI影響抑制、SEの影響抑制効果を評価

- (1)コリウムシールド□とした場合、MCCI時にコリウムシールドの侵食なし
今後、ペDESTALへの熱影響評価を実施し、コリウムシールド厚さを決定
⇒会合後、デブリ堆積の不確かさを考慮しても、それを受け止める容積を確保する観点から、シールド厚さを□と設定【添付6】

- (2)ペDESTAL水位を1mとした場合、SE時においてペDESTALの機能を確保可能

審査会合での指摘事項の回答【No.0427-1】

・指摘事項(デブリ冠水の観点)

RPV破損時のデブリの冠水評価におけるデブリの堆積の不確かさについて、実験結果から実機への適用について、整理した資料を提示すること。

・指摘部分抜粋

6. 対応方針の具体化

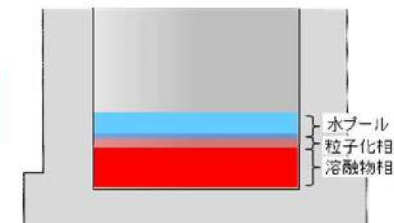


① デブリ落下～注水開始

- ・デブリ落下～デブリへの注水開始まで: 7分(RPV破損認知: 5分, 注水操作: 2分)【添付3】
- ・水深1mの場合, 7分間の水位低下を考慮してもデブリ冠水維持。注水開始の不確かさを考慮しても, 約20分間冠水維持可能と評価【添付4】



デブリ冠水を維持できる初期水位: 約1m以上
(デブリ水中に落下時の粒子化による冷却促進効果も期待可能)



・回答

PULiMS実験条件と実機条件を比較し、実験結果の実機への適用について整理した。【添付2】

審査会合での指摘事項の回答【No.0427-2-1】 【RPV破損検知】

・指摘事項(デブリ冠水の観点)

RPV破損の判断基準について、当該パラメータの変動を伴う他の事象も考えられることから、それらの事象を整理し、その上で、確実にRPV破損が判断できることを整理した資料を提示すること。

・指摘部分抜粋

6. 対応方針の具体化



① デブリ落下～注水開始

- ・デブリ落下～デブリへの注水開始まで: 7分(RPV破損認知:5分、注水操作:2分)【添付3】
- ・水深1mの場合、7分間の水位低下を考慮してもデブリ冠水維持。注水開始の不確かさを考慮しても、約20分間冠水維持可能と評価【添付4】

・回答

パラメータ変化の傾向から、他の事象と区別して、確実にRPV破損を判断できることを確認した。【添付3】

審査会合での指摘事項の回答【No.0427-3】 【RPV破損検知】

・指摘事項(デブリ冠水の観点)

SA発生時のプラント状態や中央制御室の状態を踏まえても、確実にRPV破損の判断ができ、ペDESTAL注水が実施できることを整理した資料を提示すること。

・指摘部分抜粋

6. 対応方針の具体化



① デブリ落下～注水開始

- ・デブリ落下～デブリへの注水開始まで: 7分(RPV破損認知:5分、注水操作:2分)【添付3】
- ・水深1mの場合、7分間の水位低下を考慮してもデブリ冠水維持。注水開始の不確かさを考慮しても、約20分間冠水維持可能と評価【添付4】

・回答

格納容器破損防止対策の有効性評価において説明。

審査会合での指摘事項の回答(No.0427-4) 【水位管理】

・指摘事項(デブリ冠水の観点)

ペDESTAL水位管理について、水位が1mを下回っている場合等、その検知及び対応について整理した資料を提示すること。また、検知で用いる水位計の動作原理について整理した資料を提示すること。

・指摘部分抜粋

6. 対応方針の具体化

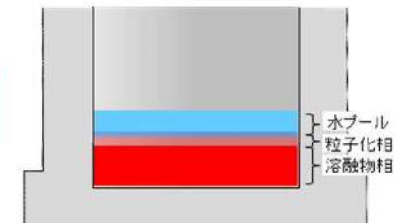


① デブリ落下～注水開始

- ・デブリ落下～デブリへの注水開始まで: 7分(RPV破損認知: 5分,注水操作: 2分)【添付3】
- ・水深1mの場合, 7分間の水位低下を考慮してもデブリ冠水維持。注水開始の不確かさを考慮しても, 約20分間冠水維持可能と評価【添付4】



デブリ冠水を維持できる初期水位: 約1m以上
(デブリ水中に落下時の粒子化による冷却促進効果も期待可能)



・回答

RPV破損前に、1m超まで水張りを行った上で排水により1m水位とすることとし、その際に用いる電極式水位計の動作原理について整理した。【添付7】

審査会合での指摘事項の回答【No.0427-5】 【水位管理】

・指摘事項（SE影響抑制の観点）

ペDESTAL水位管理について、通常運転時、事故時からデブリ落下までにおいて、ペDESTALへの流入する可能性のある流入水の種類や経路、排出経路の配管・弁等を含めて、1mに維持することができることを整理した資料を提示すること。また、排出経路の配管・弁等については、圧損等を考慮しても、確実に排出することができる配管勾配や口径等を整理した資料を提示すること。また、排出経路の閉塞の可能性について整理した資料を提示すること。

・指摘部分抜粋 6. 対応方針の具体化

<SEの影響評価方法>

- ・事故収束の確実性向上、MCCIの影響抑制の観点を踏まえ、RPV破損時の水位を1mと設定【添付9】
- ・SE解析コードJASMINE及び汎用有限要素解析コードLS-DYNAにより、SE時のペDESTALの構造応答を解析【添付10、11】

<ペDESTAL機能確保評価>

ペDESTAL機能確保に関して評価すべき項目について、判断基準を満足【添付12】

機能	部位	評価項目	判断基準	解析結果	評価
RPV支持機能	コンクリート	変位	変位が増大せず、SE後の進行性の崩壊がない	変位は増大しない	○
		圧縮ひずみ	機能に影響を及ぼす範囲の圧壊(3000 μ)が発生しない	圧壊は側壁に発生しない	○
		面外せん断	終局面外せん断応力度(上部:3.09N/mm ² 、下部:2.65N/mm ²)を超えない	上部:約0.93N/mm ² 下部:約0.77N/mm ²	○
	鉄筋	引張ひずみ	引張ひずみ(5000 μ)を超えない	約184 μ	○
デブリ保持機能	コンクリート	変位	変位が増大せず、SE後の進行性の崩壊がない	変位は増大しない	○
		圧縮ひずみ	機能に影響を及ぼす範囲の圧壊(3000 μ)が発生しない	圧壊は床スラブ上面の僅かな範囲にとどまる	○
		面外せん断	終局面外せん断応力度(4.33N/mm ²)を超えない	約3.70N/mm ²	○
	鉄筋	引張ひずみ	許容ひずみ(5000 μ)を超えない	約364 μ	○

・回答

ペDESTALへの水の流入経路を制限する弁を設置するとともに、制限できずにペDESTALに余剰に蓄積した水は、圧損等を考慮してもRPV破損までに裕度をもって排出でき、水深1mに維持できると評価した。排水口の工夫により排出経路の閉塞の可能性は低いですが、念のため排水口周囲に異物混入を防ぐ防護柵を設ける設計とする。【添付7】

審査会合での指摘事項の回答(No.0427-6) 【RPV破損検知】

・指摘事項(デブリ冠水の観点)

ペDESTAL内に設置するとしている水温計について、設置目的・位置・当該計器を用いた運用について整理した資料を提示すること。

・指摘部分抜粋

6. 対応方針の具体化

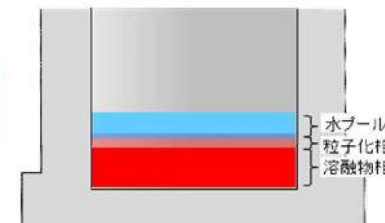


① デブリ落下～注水開始

- ・デブリ落下～デブリへの注水開始まで:7分(RPV破損認知:5分,注水操作:2分)【添付3】
- ・水深1mの場合、7分間の水位低下を考慮してもデブリ冠水維持。注水開始の不確かさを考慮しても、約20分間冠水維持可能と評価【添付4】



デブリ冠水を維持できる初期水位:約1m以上
(デブリ水中に落下時の粒子化による冷却促進効果も期待可能)



・回答

水温計は、デブリ落下時の水温上昇や指示喪失によるRPV破損判断及びデブリの堆積量把握を目的とし、高さの異なる2ヶ所に各5個ずつ設置し、ペDESTAL水位管理を行うこととする。【添付7】

審査会合での指摘事項の回答【No.0427-2-2】

【水位管理】

・指摘事項（SE影響抑制の観点）

デブリの落ち方の不確かさを踏まえ、SE防止の観点で、RPV破損の判断が適切にできることを整理した資料を提示すること。

・指摘部分抜粋

6. 対応方針の具体化



① デブリ落下～注水開始

- ・デブリ落下～デブリへの注水開始まで：7分（RPV破損認知：5分、注水操作：2分）【添付3】
- ・水深1mの場合、7分間の水位低下を考慮してもデブリ冠水維持。注水開始の不確かさを考慮しても、約20分間冠水維持可能と評価【添付4】

・回答

ペDESTAL内の適切な位置に水位計及び水温計兼デブリ検知器を配置し、デブリの落ち方の不確かさを考慮しても、RPV破損の判断及びSEの発生を抑制できる水位管理とする。【添付7】

審査会合での指摘事項の回答【No.0427-7】

・指摘事項 (MCCI影響抑制の観点)

コリウムシールドの侵食開始温度 $2,100^{\circ}\text{C}$ の設定の考え方について、化学反応の観点も含めて整理した資料を提示すること

・指摘部分抜粋

6. 対応方針の具体化

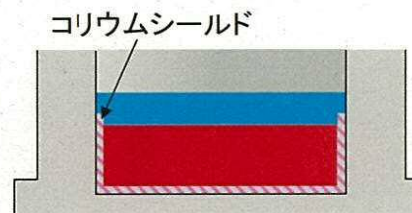
<ペDESTALの侵食量, 温度評価>

➤ 評価条件

- ・対象シーケンス: 過渡事象時に損傷炉心冷却に失敗し, RPV破損
- ・コリウムシールド厚さ:
- ・初期水位: 0m (コリウムシールドの効果を確認するため保守的に設定)
- ・ペDESTAL注水: RPV破損7分後から $80\text{m}^3/\text{h}$
- ・デブリから水への限界熱流束: $800\text{kW}/\text{m}^2$ 一定 (侵食の不均一性等の影響を考慮した保守的設定)
- ・コリウムシールドの侵食開始温度: 2100°C 【添付6】

➤ 評価結果

- ・コリウムシールド, ペDESTAL: 侵食なし
- ・ペDESTAL表面の最高温度: 約 470°C
(コリウムシールドなしの場合に比して 700°C 以上低減)



・回答

実機よりも厳しい100%Zrとの接触試験, 実機の組成を模擬したデブリとの接触試験から, 化学反応も考慮してコリウムシールドの侵食開始温度を 2100°C と設定。更に, 落下デブリ温度について, コリウムシールドの侵食開始温度を大きく上回る 2400°C が局所的に残存すると仮定しても, コリウムシールドが貫通に至らないことを確認した。【添付5】

審査会合での指摘事項の回答【No.0427-8】

・指摘事項（SE影響抑制の観点）

SE発生時、ペDESTAL中心部での爆発源圧力がペDESTAL側壁や床面までどのように減衰され、どの程度の圧力がかかるか整理した資料を提示すること。

・指摘部分抜粋 6. 対応方針の具体化

<SEの影響評価方法>

- ・事故収束の確実性向上、MCCIの影響抑制の観点を踏まえ、RPV破損時の水位を1mと設定【添付9】
- ・SE解析コードJASMINE及び汎用有限要素解析コードLS-DYNAにより、SE時のペDESTALの構造応答を解析【添付10, 11】

<ペDESTAL機能確保評価>

ペDESTAL機能確保に関して評価すべき項目について、判断基準を満足【添付12】

機能	部位	評価項目	判断基準	解析結果	評価
RPV支持機能	コンクリート	変位	変位が増大せず、SE後の進行性の崩壊がない	変位は増大しない	○
		圧縮ひずみ	機能に影響を及ぼす範囲の圧壊(3000 μ)が発生しない	圧壊は側壁に発生しない	○
		面外せん断	終局面外せん断応力度(上部:3.09N/mm ² , 下部:2.65N/mm ²)を超えない	上部:約0.93N/mm ² 下部:約0.77N/mm ²	○
	鉄筋	引張ひずみ	引張ひずみ(5000 μ)を超えない	約184 μ	○
デブリ保持機能	コンクリート	変位	変位が増大せず、SE後の進行性の崩壊がない	変位は増大しない	○
		圧縮ひずみ	機能に影響を及ぼす範囲の圧壊(3000 μ)が発生しない	圧壊は床スラブ上面の僅かな範囲にとどまる	○
		面外せん断	終局面外せん断応力度(4.33N/mm ²)を超えない	約3.70N/mm ²	○
	鉄筋	引張ひずみ	許容ひずみ(5000 μ)を超えない	約364 μ	○

・回答

ペDESTAL表面の代表部分について、圧力の時間的推移を整理し、圧力源からの減衰の程度を評価した。
【添付12】