

東海第二発電所

重大事故等対策の有効性評価 審査会合における指摘事項の回答

平成30年5月18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の観点から公開できません

1. 審査会合(2018年5月15日)での指摘事項及び回答事項
2. デブリ堆積高さの評価条件及び評価結果
3. デブリがコリウムシールド高さを超えた場合の影響
4. まとめ

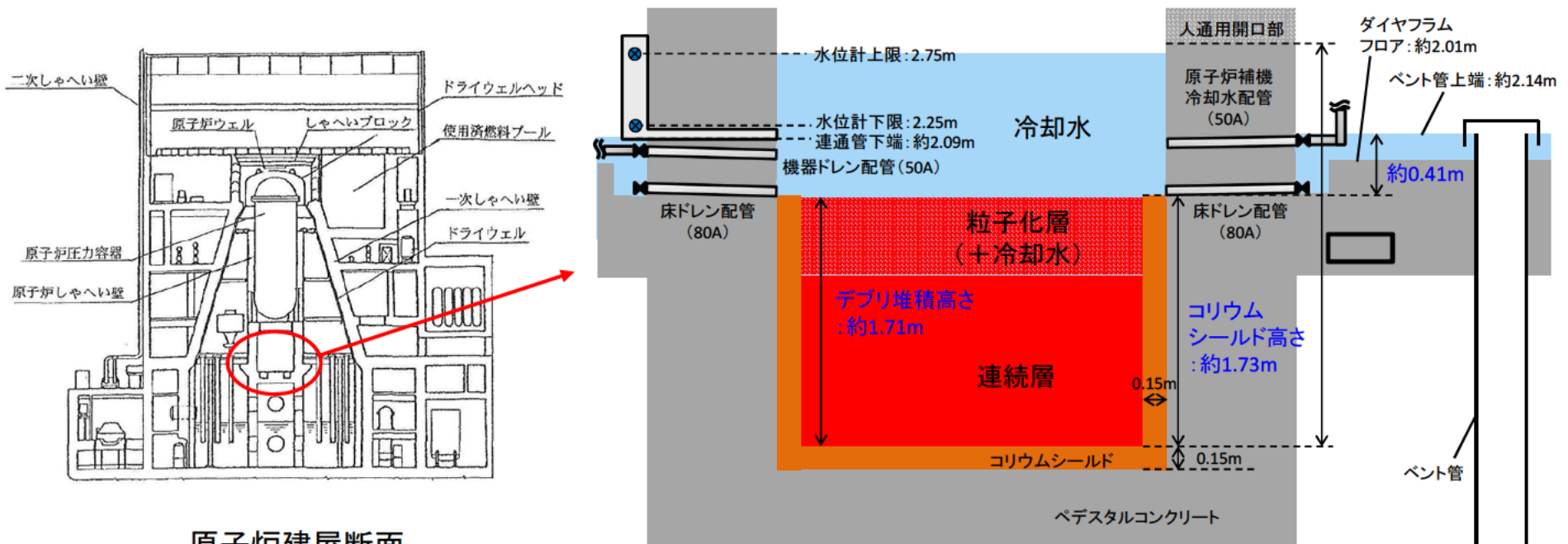
1. 審査会合(2018年5月15日)での指摘事項及び回答事項

●審査会合(2018年5月15日)での指摘事項

- デブリ堆積高さの最確条件ケースと感度ケースについて、各ケースの条件を含め整理すること。

●回答事項

- デブリ堆積高さ評価のための最確条件と感度条件について、各パラメータの条件設定の考え方及び各ケースの評価結果について整理しました。
- 感度条件ケースの評価結果を踏まえ、コリウムシールド高さ、厚さを設定するケースの条件設定の考え方について整理しました。



原子炉建屋断面

ペDESTAL構造概要図

高さに係る記載は、床面コリウムシールド上からの高さ

2. デブリ堆積高さの評価条件及び評価結果(1/5)

(1)最確条件の考え方

- デブリ体積**:原子炉圧力容器(以下「RPV」という。)から落下する溶融炉心 36m^3 (MAAP解析結果)
+ペDESTAL内構造物 3m^3 (表参照)

表 デブリ体積として考慮するペDESTAL内構造物

構造物	考え方
制御棒駆動機構(以下「CRD」) ハウジング(9本)	MAAP解析においてRPV破損後にアブレーションにより広がる最大口径:約0.76mの範囲に含まれる本数 (添付1)
CRD(9本)	
CRDハウジングサポート	溶融炉心の落下部及びその周囲のみが溶融しデブリに加わると考えられるため、評価においては一辺1mの正方形の範囲が溶融すると想定
ターンテーブル	
その他 (ケーブル, サポート, 配管等の 構造物)	位置的には溶融炉心に巻き込まれにくい構造物についても考慮(今後撤去予定のペDESTAL内構造物を除く)
格納容器下部水位等の新設設備	新設設備(計器, スワンネック, サポート等)を考慮
合計	合計: <input type="text"/> m^3 に対し、最確条件は 3m^3 と設定

2. デブリ堆積高さの評価条件及び評価結果(2/5)

(1)最確条件の考え方(続き)

▶ CRDハウジング, CRD, CRDハウジングサポート及びターンテーブルの想定

- ・CRDハウジング, CRDについては, CRDハウジングサポートにより逸出しない構造であり(図1), RPVからのデブリ流出箇所としては, 溶接部(図2)の溶融により生じる隙間と考えられる
- ・デブリ流出のタイミングで, 破損個所以外のCRDハウジング及びCRDは, CRDハウジング内の冷却水により, 全て溶融する可能性は低いと考えられる。また, デブリは流れ落ちる過程で他の構造部材から冷却され, CRDハウジングサポート全てを溶融する可能性は低いと考えられる
- ・ただし, これらの構造物がどの程度溶融するか特定することは難しいため, RPV破損時にアブレーションにより拡がる範囲(約0.76m)に含まれるCRDハウジング:9本, CRD:9本は, 全て溶融することを想定する
- ・また, CRDハウジングサポート, ターンテーブルについては, 約0.76mを超える一辺1mの正方形の範囲が溶融することを想定する
- ・実機におけるRPVの破損個所は, 複数の場合が考えられるが, CRDハウジングサポートによりCRDハウジングの逸出が防止され, 小規模な漏洩の可能性が高いと考えられ, 上記想定は破損個所が複数になった場合を包絡する設定と考える

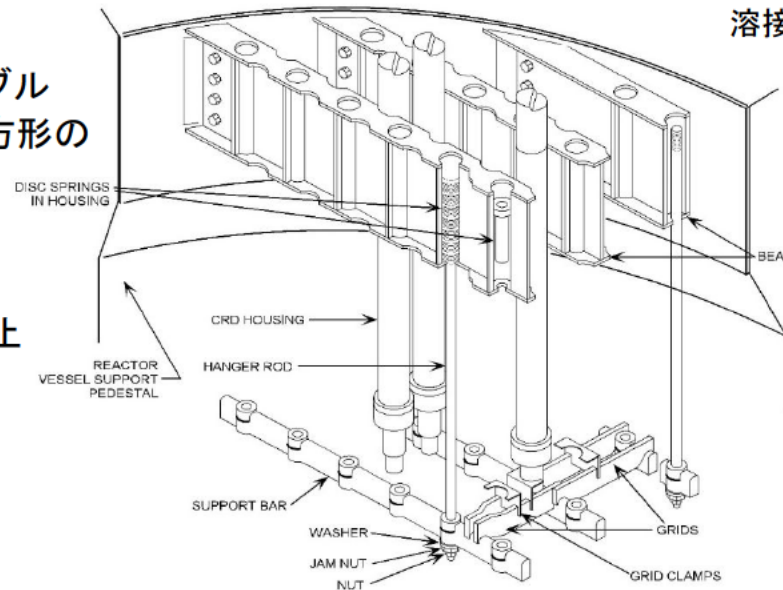


図1 CRDハウジングサポート構造俯瞰図

〔出典: General Electric Systems Technology Manual Chapter 2.1 Reactor Vessel System, USNRC HRTD, Rev 09/11〕

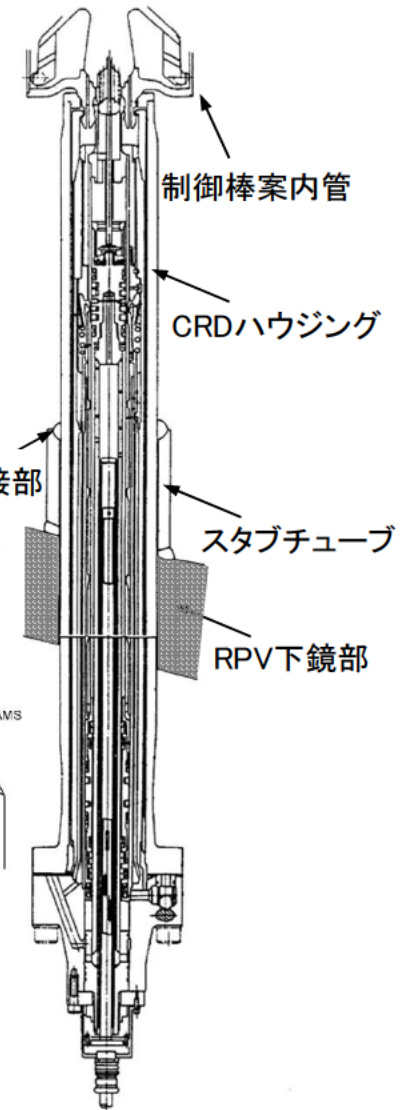


図2 CRD概要図

2. デブリ堆積高さの評価条件及び評価結果(3/5)

(1)最確条件の考え方(続き)

➤ その他(ケーブル, サポート, 配管等の構造物)及び格納容器下部水位等の新設設備の想定

- ・位置的には溶融炉心に巻き込まれにくい構造物においても, RPVの破損個所が複数の場合にはデブリに取り込まれる可能性あり
- ・したがって, その他(ケーブル, サポート, 配管等の構造物)及び格納容器下部水位等の新設設備については, RPVより下部に存在するペDESTAL(ドライウェル部)内の構造物全てが溶融することを想定する



ペDESTAL内構造物については, RPV破損時の溶融箇所の特定が難しいため, CRDハウジング:9本, CRD:9本等, 溶融する可能性のある範囲の全ての構造物がデブリになると想定し, デブリ体積の過少評価を回避

●粒子化層の堆積高さ

➤ デブリの粒子化割合:17.3%(添付2)

- ・MAAP推奨範囲の最確値のエントレインメント係数 による粒子化割合を, 最確条件と設定

➤ 粒子化層のポロシティ:0.32(添付3)

- ・体心立方格子のポロシティ(0.32), ドライアウト熱流束に係る実験※のポロシティ(0.327~0.368)及びPULiMS実験のポロシティ(0.29~0.37)及びを踏まえ, 0.32を最確条件と設定

※: Miyazaki, K. et al. "Dryout heat flux for core debris bed. (II) Effects of particle size mixing and coolant flow" Journal of NUCLEAR SCIENCE and TECHNOLOGY, 23[9], pp. 769-778 (September 1986).

2. デブリ堆積高さの評価条件及び評価結果(4/5)

(2)感度条件の考え方

最確条件のうち、不確かさの存在する以下の条件を対象に感度条件を設定し、それぞれ感度解析を実施

●デブリ体積

・ペDESTAL内構造物については、デブリ体積の保守性の確保のため 4m^3 と設定【感度条件①】

●粒子化層の堆積高さ

➤ デブリの粒子化割合:22.7%(添付2)

・MAAP推奨範囲の最大値のエントレインメント係数 による粒子化割合を、感度条件と設定【感度条件②】

➤ 粒子化層のポロシティ:0.50(添付3)

・単純立方格子のポロシティ(0.48)及びPULiMS実験のポロシティ(0.29~0.37)等を包絡する、0.50を感度条件と設定【感度条件③】

(3)コリウムシールド高さ、厚さ設定条件の考え方

デブリ堆積高さの想定に十分保守性を確保した上で、デブリ堆積高さがコリウムシールドを超えない範囲でコリウムシールドを厚くし、コンクリートへの熱負荷を軽減する設計方針であり、条件設定の考え方は以下

・「デブリ体積」及び「粒子化層の堆積高さ」それぞれに感度条件を設定した場合のデブリ堆積高さを考慮

・デブリ体積については、感度条件①(デブリ体積: 4m^3)を設定

・「粒子化層の堆積高さ」については、感度条件②(粒子化割合:22.7%)よりも感度の大きい感度条件③(ポロシティ:0.50)を設定

2. デブリ堆積高さの評価条件及び評価結果(5/5)

(4)各ケースの評価条件及び評価結果

ケース	デブリ体積	粒子化層の堆積高さ		条件設定の考え方	堆積高さ	評価
		粒子化割合 (エントレインメント 係数)	ポロシティ			
最確条件	炉内: 36m ³ 炉外: 3m ³	17.3% □	0.32	ノミナル条件	約1.55m 連続層: 約1.22m 粒子化層: 約0.34m	堆積高さは、コリウムシールド範囲内(コリウムシールド頂部より0.28m下)
感度条件① (デブリ 体積関連)	炉内: 36m ³ 炉外: 4m ³	17.3% □	0.32	デブリ体積の保守性の確保のため、炉外構造物量を追加	約1.59m 連続層: 約1.25m 粒子化層: 約0.34m	堆積高さは、コリウムシールド範囲内(コリウムシールド頂部より0.24m下)
感度条件② (粒子化層の 堆積高さ関連)	炉内: 36m ³ 炉外: 3m ³	22.7% □	0.32	エントレインメント係数をMAAP推奨範囲の最大値に変更	約1.59m 連続層: 約1.14m 粒子化層: 約0.45m	
感度条件③ (粒子化層の 堆積高さ関連)	炉内: 36m ³ 炉外: 3m ³	17.3% □	0.50	単純立方格子等を包絡するポロシティとして設定	約1.68m 連続層: 約1.22m 粒子化層: 約0.46m	堆積高さは、コリウムシールド範囲内(コリウムシールド頂部より0.15m下)
コリウムシールド高さ、厚さ設定条件(①+③)	炉内: 36m ³ 炉外: 4m ³	17.3% □	0.50	「デブリ体積」及び「粒子化層の堆積高さ」それぞれに感度条件を設定 「粒子化層の堆積高さ」については、ポロシティ: 0.50を設定	約1.71m 連続層: 約1.25m 粒子化層: 約0.46m	堆積高さは、コリウムシールド範囲内(コリウムシールド頂部より0.02m下)

赤字: 感度条件

青字: コリウムシールド頂部までの余裕

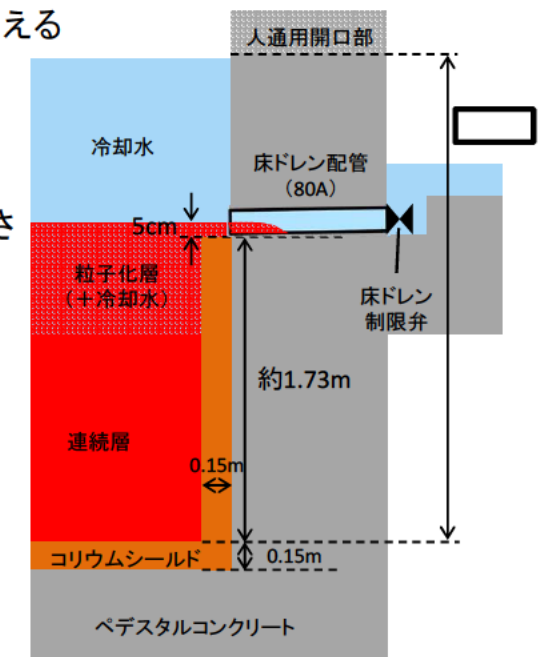
3. デブリがコリウムシールド高さを超えた場合の影響(1/4)

(1)デブリ影響評価条件の考え方について

- コリウムシールド高さの設定に当たっては、「デブリ体積」及び「粒子化層の堆積高さ」それぞれに感度条件を設定した場合のデブリ堆積高さを考慮しており、十分保守的な設定
- ただし、東海第二発電所のペDESTAL構造のデブリ影響に対する耐力を確認する観点から、デブリ堆積高さがコリウムシールドを超える条件を仮想的に設定し、影響評価を実施
- 具体的には、感度条件①～③を全てを考慮

(2)コリウムシールドを超えたデブリによる影響評価

- 感度条件①～③を全てを考慮すると、コリウムシールド高さ(約1.73m)を粒子化層が5cm超える
- 床ドレン配管は、以下のとおり現実的には粒子化デブリの流入は少ないと考えられるが、側壁コンクリートと合わせて粒子化デブリによる侵食量を評価
 - ・床ドレン配管は、ほぼ水平(約1度の傾斜)であり、配管内には冷却水が侵入
 - ・配管内の粒子化デブリは連続層から発生した蒸気の影響を受けないことに加え、堆積高さが低くセルフベリング等の駆動力は小さいため、水で満たされた配管内への粒子化デブリの流入は少ないと考える



コリウムシールド高さを粒子化層が5cm超えた場合のデブリ堆積イメージ

3. デブリがコリウムシールド高さを超えた場合の影響(2/4)

(2)コリウムシールドを超えたデブリによる影響評価(続き)

主な共通条件

- ・崩壊熱: 事象進展の早い大破断LOCAにおけるRPV破損時の崩壊熱
- ・粒子化デブリ初期温度: 最確条件では固相線温度(°C), 感度条件では連続層を含む全デブリの平均温度(約 °C)

側壁コンクリート

- ・熱流束: 粒子化デブリのポロシティを考慮し1.75MW/m²(Lipinski-0Dモデルにより設定)

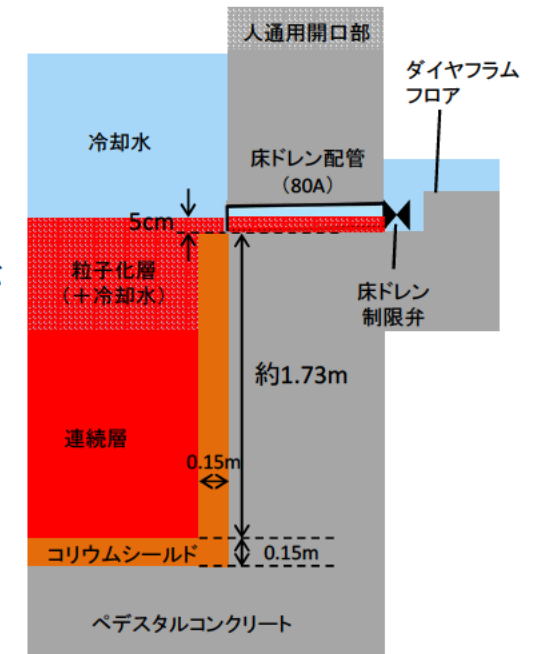
床ドレン配管等

- ・保守的に、床ドレン配管内に一様にコリウムシールド高さ+5cmまで粒子化デブリが堆積することを想定
- ・粒子化デブリの温度から床ドレン配管の融点までの除熱量が、配管に加わった場合の侵食量を評価(保守的に、冷却水による除熱を考慮せず)

評価結果

- ・側壁コンクリートの侵食量は、最確条件及び感度条件ともに0cm
- ・床ドレン配管等の侵食量は、感度条件にて約5.1mm侵食しているが、配管及び制限弁は貫通しない。また、粒子化デブリ初期温度、デブリ堆積の想定等に大きな保守性があり、実際の侵食量は最確条件よりも少なくなる。さらに、ダイヤフラムフロアにはスプレイ水等が存在し、制限弁を冷却する効果も存在することから、配管及び制限弁が損傷することはないと考えられる

	側壁コンクリート侵食量 (側壁コンクリート厚さ: 約 <input type="text"/> m)	床ドレン配管等の侵食量 (床ドレン配管厚さ: 約7.6mm 床ドレン制限弁の弁体厚さ: 約18mm)
最確条件	0cm	約1.1mm
感度条件	0cm	約5.1mm



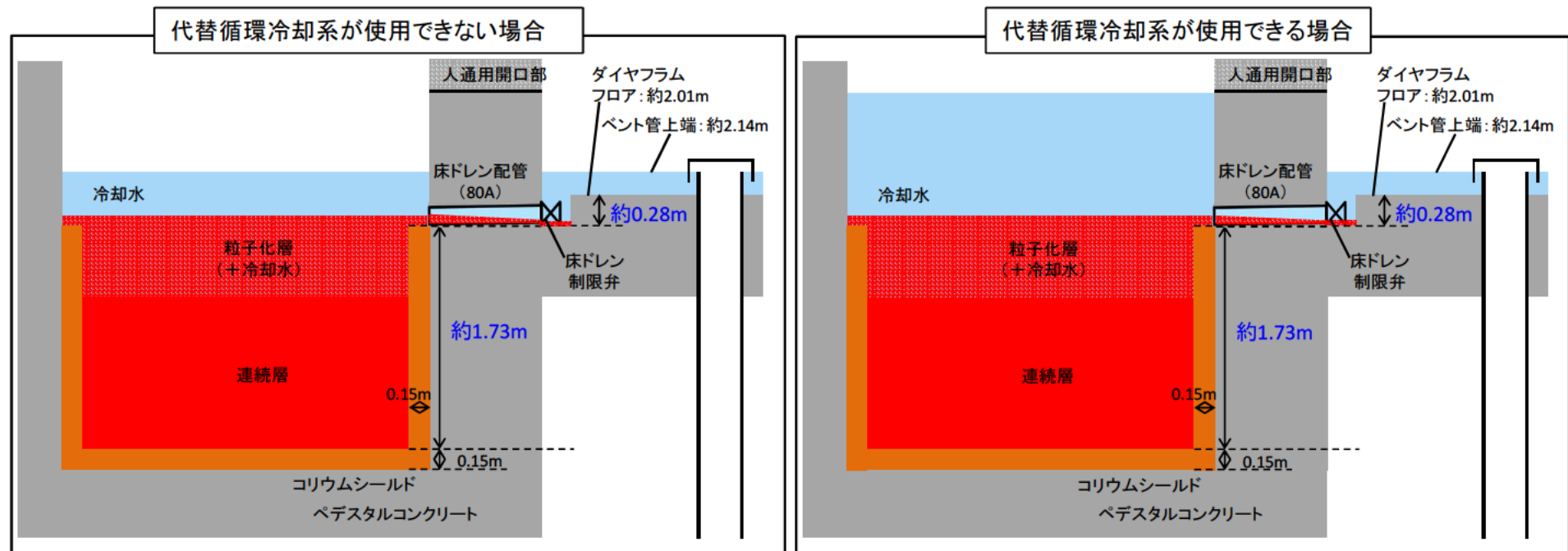
デブリ影響評価条件での
デブリ堆積イメージ

3. デブリがコリウムシールド高さを超えた場合の影響(3/4)

(2)コリウムシールドを超えたデブリによる影響評価(続き)

▶ 床ドレン制限弁の損傷を仮想した場合の影響評価

- ・流入した粒子化デブリが床ドレン配管の奥まで流入し、制限弁を損傷させることを更に仮想した場合にも、粒子化層の堆積高さはダイヤフラムフロアの床ドレンが集積する溝の高さの範囲内にとどまる
- ・ダイヤフラムフロア上には、ベント管上端高さまでスプレイ水等が存在し(コリウムシールド上端から約0.41m)、流出した粒子化デブリの冷却は維持される
- ・床ドレン制限弁は180° 方向に2弁設置される。制限弁が損傷した場合には、ベント管上端高さまで水位が下がる可能性がある。ただし、代替循環冷却系が使用できる場合には、制限弁2弁がともに損傷した場合でも、ペDESTAL内に供給される冷却水により、ペDESTAL内の水位は人通用開口部維持され、一部の冷却水は人通用開口部よりドライウェル側に流出する(添付6)



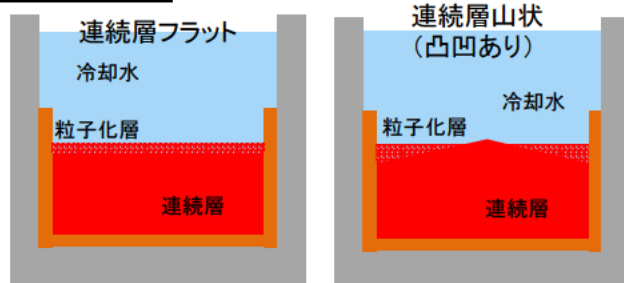
床ドレン制限弁損傷時の系統イメージ

3. デブリがコリウムシールド高さを超えた場合の影響(4/4)

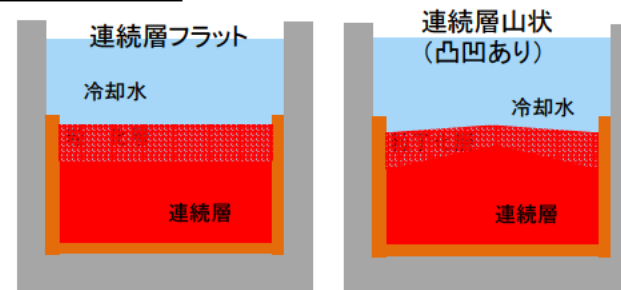
▶ ペDESTAL内水位が下がった場合のデブリ冠水の確認

- PULiMSは溶融物の拡がりを確認したものであり、実機より厳しい条件でもアスペクト比が1:16程度(添付7)
- 粒子化層は、より均一に拡がりやすく、実機で最も考え得る状態は、アスペクト比1:16より緩やかな凹凸のある連続層(溶融物)に粒子化層が被さった状態と考えられる
- 粒子化層は山状の連続層の裾野に溜まりやすく、堆積デブリ全体をフラット化させる性質があると考えられる

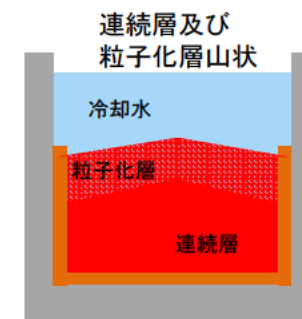
粒子化層が薄い場合



粒子化層が厚い場合



- しかしながら、ペDESTAL内水位がベント管高さまで下がった場合のデブリ冠水の確認は、以下の保守的な条件で実施
 - ✓ 十分保守的な条件である「コリウムシールド高さ、厚さ設定条件」をベース
 - ✓ さらに、本来は均一化する傾向にある粒子化層にも、PULiMSのアスペクト比1:16を設定



- その結果、粒子化層のデブリ堆積高さ(頂部)は、コリウムシールド床面から1.96mとなり、ベント管高さ上端の2.14m以下
- このため、床ドレン制限弁の損傷を仮想した場合であっても、デブリの冠水及び冷却は維持される
- なお、代替循環冷却系が健全な場合には、ペDESTAL内水位は人通用開口部に維持され、ベント管上端まで下がることはない

4. まとめ

- ・東海第二発電所では、最悪条件に十分な保守性を考慮したデブリ堆積高さをコリウムシールドの高さ、厚さの設計条件として設定
- ・東海第二発電所のペDESTAL構造のデブリ影響に対する耐力を確認する観点から、デブリ堆積高さがコリウムシールドを超える場合を仮想的に設定し、コリウムシールドを超えたデブリの侵食による影響が小さいことを確認
- ・コリウムシールドを超えたデブリによる床ドレン制限弁の損傷を仮想した場合にも、デブリの冷却及び冠水は維持されることを確認



以上より、東海第二発電所のコリウムシールドの高さ、厚さの設定は妥当性であり、デブリ堆積高さがコリウムシールドを超える場合を仮想しても、デブリの冷却及び冠水の維持等に影響はないことを確認した