

デブリ堆積高さの評価について

1. 評価条件

東海第二のデブリ堆積高さの評価条件について、柏崎刈羽におけるコリウムシールドを超える場合の評価（補足37）の評価条件との比較を示す。

各条件に対する考察は以下のとおり。

- 炉内の溶融物量

MAAP コードの解析結果に基づいて炉内構造物の溶融を考慮しており、両者で同様の設定。

- 炉外の溶融物量（ペDESTAL内構造物量）

ペDESTAL内構造物量のうちCRDについて、柏崎刈羽では全CRDに対してスタブチューブ上部（RPV内に存在する範囲）の溶融を想定した評価を実施し、東海第二ではRPV底部破損口径を考慮し9本分の全量落下を考慮した評価を実施しており、保守性の考え方は異なるが、ペDESTAL内構造物量の評価結果は同程度となり、同等の保守性を確保している。

- エントレインメント係数

ノミナル条件を設定しており両者で同じ。

- ポロシティ

柏崎刈羽では立方格子の堆積形状を踏まえた感度解析として、ポロシティを考慮している。東海第二では包絡値として、柏崎刈羽よりも大きなポロシティ0.5を設定しており保守的な設定。

第1表 評価条件の比較

パラメータ	東海第二	東海第二のペDESTAL内構造物の評価を柏崎刈羽と同様の保守性の考え方で算定した場合	柏崎刈羽6号	柏崎刈羽7号	備考
型式	BWR5, Mark-II	←	ABWR	←	
床面積	約 27m ²	←	約 62m ²	約 75.7m ²	コリウムシールドを考慮した面積
水深	1m	←	2m	←	粒子化割合に寄与
コリウムシールド高さ	約 1.73m (床面コリウムシールド表面からの高さ)	←			
コリウムシールド厚さ	15cm	←			
溶融物量	36m ³	←			
ペDESTAL内構造物	CRD	CRDハウジング: [] CRD本体: [] CRDハウジングサポート: [] RPV底部破損口径を考慮し9本分の全量落下を考慮	全 CRD に対してスタブチューブ上部 (RPV内に存在する範囲) の溶融を想定した評価 (全 185 本)	全 CRD に対してスタブチューブ上部 (RPV内に存在する範囲) の溶融を想定した評価 (全 205 本)	←
	CRD 交換機	撤去のため未考慮	←		
	その他	既設分: [] 新設分: [] サポート, ケーブル, 配管等の溶融を考慮	計装管等 []	計装管等: []	←
	合計	約 4m ³ (約 32,000kg*) 合計値 [] を包絡する保守的な値として設定	[] 東海第二の保守性の考え方で算定した場合に包絡される		
粒子化割合 (エンベロップメント係数)	0.173	←	約 0.63	←	水深に依存
ポロシティ	0.5 (0.48 を包絡)	←	0.26~0.48	←	東海第二ではより保守的に設定
デブリ堆積高さ	約 1.71m (ペDESTAL内構造物は落下後の溶融を仮定するため連続層として考慮)	約 1.66m (ペDESTAL内構造物は炉内での溶融を仮定するため粒子化層として考慮)	コリウムシールド高さを超える	←	

※SUS 密度 7,920kg/m³ として換算

2. 感度評価

コリウムシールド設置高さの妥当性確認として、以下の感度評価を実施する。

(1) デブリ体積の感度評価

ペDESTAL内構造物は保守的に設定しているが、物量が増加すると連続層が高くなることから、コリウムシールド設置高さの妥当性を確認するための想定として、追加で以下の構造物の溶融を考慮する。

①制御棒駆動機構ハウジング及び制御棒駆動機構について、落下を想定する9本以外の176本について、CRDハウジングとRPV下鏡板の間の溶接部からのデブリ流出を想定し、流出に伴い溶融する部材を追加

②核計装管について、保守的な想定として炉内外の全核計装管を追加上記を考慮した結果、追加のデブリ量は約 2.3m^3 となる。デブリ全量が連続層として堆積する場合を想定しても、堆積高さは約1.57mとなることから、連続層の堆積高さはコリウムシールドの高さを超えない(第2表)。

粒子化層を考慮した堆積高さは約1.80m(第2表)となり、第1図に示すとおりコリウムシールド高さを超過する結果となる。

(2) エントレインメント係数の感度評価

エントレインメント係数をMAAP推奨範囲の最大値とした場合の評価結果を第3表に示す。

堆積高さは約1.78mとなり、第1図に示すとおりコリウムシールド高さを超過する結果となる。

(3) 粒子化層がコリウムシールド高さを超過することによる影響

以下の観点からペDESTAL構造健全性等への影響はないと考えられる。

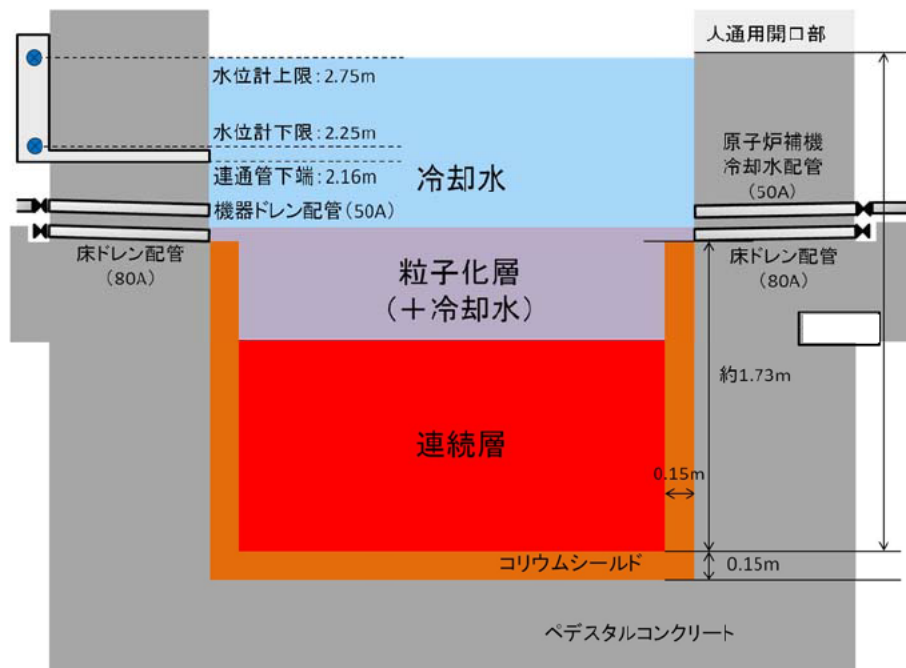
- ・粒子化割合が大きくポロシティも大きい場合には、デブリ粒子の間隙に存在する冷却水による除熱が促進されること、さらに上部の冷却水によっても粒子化層の除熱が促進されることから、粒子化したデブリの温度は速やかに低下する。したがって、最厳ケースでは床ドレン配管高さまでデブリが到達することとなるが、床ドレン配管に設置する制限弁によりデブリがドライウェルへ流出することはないと考えられる。
- ・粒子化割合が大きくなると連続層が減少するため、MCCIの観点でも緩和される。

第2表 感度解析結果 (デブリ体積)

ケース	デブリ体積	デブリ堆積高さ	
		全て連続層	粒子化考慮
ベース	溶融物：36m ³ ペDESTAL内 構造物：4m ³	約 1.48m	約 1.71m 連続層：約 1.25m 粒子化層：約 0.46m
感度	溶融物：36m ³ 追加溶融物：2.3m ³ ペDESTAL内 構造物：4m ³	約 1.57m	約 1.80m 連続層：約 1.32m 粒子化層：約 0.48m

第3表 感度解析結果 (エントレインメント係数)

ケース	デブリ体積	エントレインメント 係数	ポロシティ	デブリ 堆積高さ
ベース	総量：40m ³ 溶融物：36m ³ ペDESTAL内 構造物：4m ³	<input type="text"/> (粒子化割合： 0.173)	0.50	約 1.71m 連続層：約 1.25m 粒子化層：約 0.46m
感度	総量：40m ³ 溶融物：36m ³ ペDESTAL内 構造物：4m ³	<input type="text"/> (粒子化割合： 0.227)	0.50	約 1.78m 連続層：約 1.18m 粒子化層：約 0.60m



第1図 デブリ堆積イメージ図

3. 東京電力 福島第一原子力発電所の知見を踏まえた考察

「福島第一原子力発電所 2号機原子炉格納容器内部調査結果について（平成30年4月26日，東京電力ホールディングス株式会社）」では，以下の知見が報告されている。

(1) 報告内容

①CRDハウジング周辺

- ・ CRDハウジングサポートの脱落は見られなかった
- ・ 付着物により TIP案内管，TIPケーブル，LPRMケーブルが確認できない箇所がある
- ・ 当該部位の真下のグレーチングは脱落している

②ペDESTAL内

- ・ ペDESTAL内の構造物に大きな変形や損傷が無い
- ・ 小石状，粘土状の堆積物が底部全体に堆積
- ・ ケーブルトレイ（ステンレス製，厚さ4mm）が変形していない
- ・ 堆積高さは40cm～50cm，一部では70cmを超えると想定される
- ・ 燃料集合体の一部（上部タイプレート）などの落下物が確認されている
- ・ 部分的に堆積物が高い位置があり，落下経路が複数ある可能性がある
- ・ ペDESTAL内壁面の塗装の剥がれや表面の荒れのような状態は見られるが，大規模な破損・変形は見られない。
- ・ 堆積物は中心付近が高くなっており，中心から離れるほど低くなっている。
- ・ 堆積物が高くなっている原因として，堆積物の下に CRD交換機等の構造物が存在する可能性がある。

(2) 考察

- ・ 核計装管やグレーチングの破損状況，ペDESTAL内で発見された燃料集合体の一部などから，少なくとも燃料集合体の上部タイプレートが落下する程度の破損口は存在している。
- ・ ただし，CRDハウジングサポートの脱落は見られていないことから，CRDハウジングが全量落下するような状況ではなく，逸出により部分的に開口部が生じた，或いは，特定の位置のCRDのみが損傷したと想定される。
- ・ 複数の落下経路が想定されているが，グレーチング等の脱落状況，ペDESTAL堆積高さが40cm～50cm程度であることを踏まえると，大規模な破損口ではない可能性が高い。

(3) 東海第二のデブリ堆積高さに対する影響

- ・知見では CRD ハウジングサポートは健全であり、CRD ハウジングが大量に落下するような状況ではないと考えられるが、東海第二では RPV 底部の破損口のアブレーションを考慮した本数として CRD9 本分を考慮しており、保守的な設定と考える。
- ・仮に CRD のうち最外周のものが破損する場合、コリウムシールド近傍に堆積することとなるが、溶融物の落下想定位置（最外周の CRD 設置位置）からコリウムシールドまでは 60cm 程度あるため距離がある。
- ・また、粒子状のデブリが山状に堆積した場合においても、セルフレベリングの効果によってデブリは均一に広がる方向となること、CRD のうち最外周のものが破損する場合には RPV 底部にデブリが残存するため堆積高さが高くなること、残存したデブリが落下した場合にはセルフレベリング効果による均一化や溶融デブリ落下により堆積した粒子状デブリが攪拌される影響などで堆積形状はより均一化されると考えられる。

4. まとめ

デブリ堆積高さについて柏崎刈羽との比較を行い、感度解析を実施した。また、福島第一発電所 2 号機の知見を踏まえた考察を行った。その結果、連続層はコリウムシールド内に保有可能であり、粒子状デブリが仮にコリウムシールド高さを超える場合にも影響はないことから、コリウムシールド高さの設定は妥当であると考えられる。