

東海第二発電所  
新規制基準への適合性に係る  
主な変更点について  
(コメント回答)

平成30年5月29日  
日本原子力発電株式会社

本資料のうち、 は営業秘密又は防護上の観点から公開できません。

# 説明項目及び審査会合における指摘事項

## 説明項目

分類	No.	説明項目	関連条文	頁
有効性 評価	1	コリウムシールド高さを超えた場合の影響について	37条	P1
設備・ 手順	2	原子炉格納容器内の原子炉冷却材の漏えいの検出方法の明確化について	51条, 技術的能力1.8	P10
報告	3	審査資料における原子炉格納容器内床ドレンサンプへの流入量の単位の記載について	—	P12

## 審査会合における指摘事項

No	指摘月日	指摘事項
1	2018/5/15	【コリウムシールド高さの妥当性について】 ・デブリ堆積高さの最確条件を示すこと。 ・最確条件ケースと感度ケースについて条件を整理し、評価を示すこと。
2	2018/5/15	【原子炉格納容器内の原子炉冷却材の漏えいの検出方法の明確化について】 改造によって床ドレンサンプの面積が大きくなると感度誤差の影響が考えられるが、LOCA判断の0.23m <sup>3</sup> /hの運用等の変更はないのか明確にすること。

# 1. コリウムシールド高さを超えた場合の影響について(1/9)

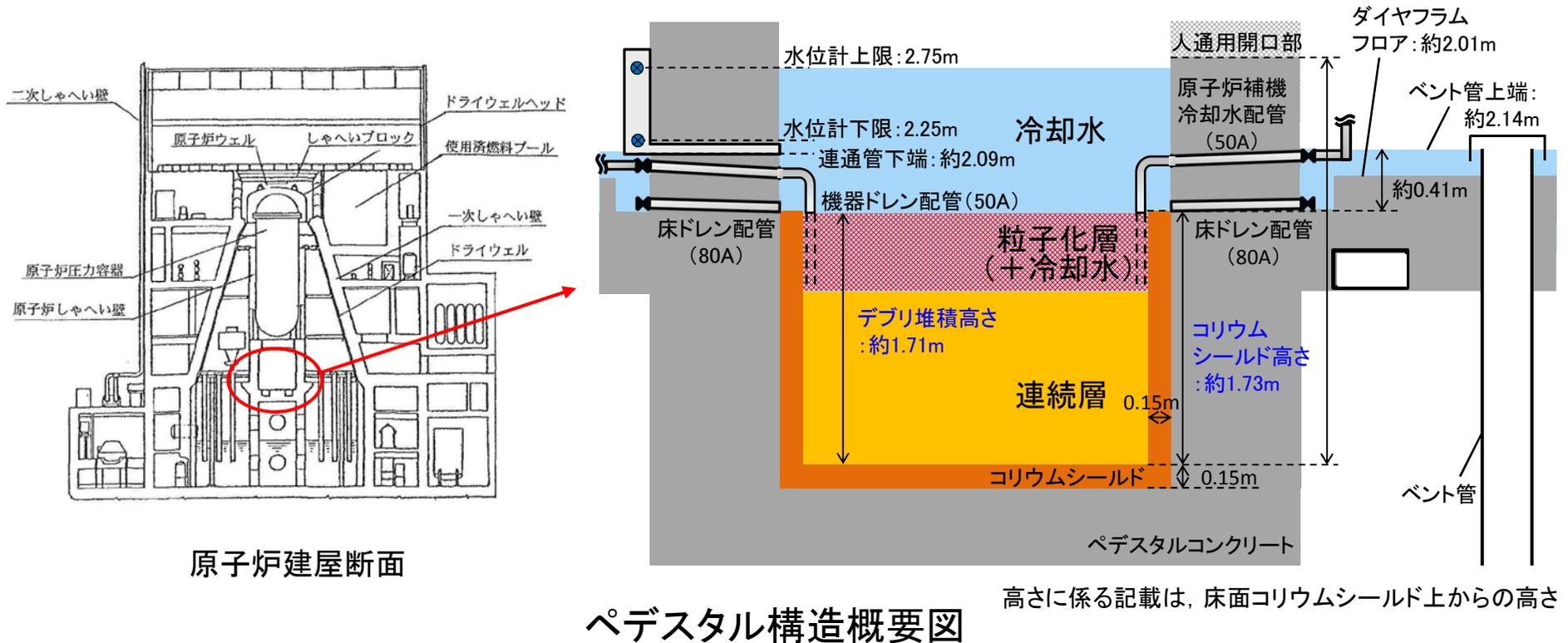
## (1) 審査会合(2018年5月15日)での指摘事項及び回答事項

### ● 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を示すこと。
- ・最確条件ケースと感度ケースについて条件を整理し、評価を示すこと。

### ● 回答事項

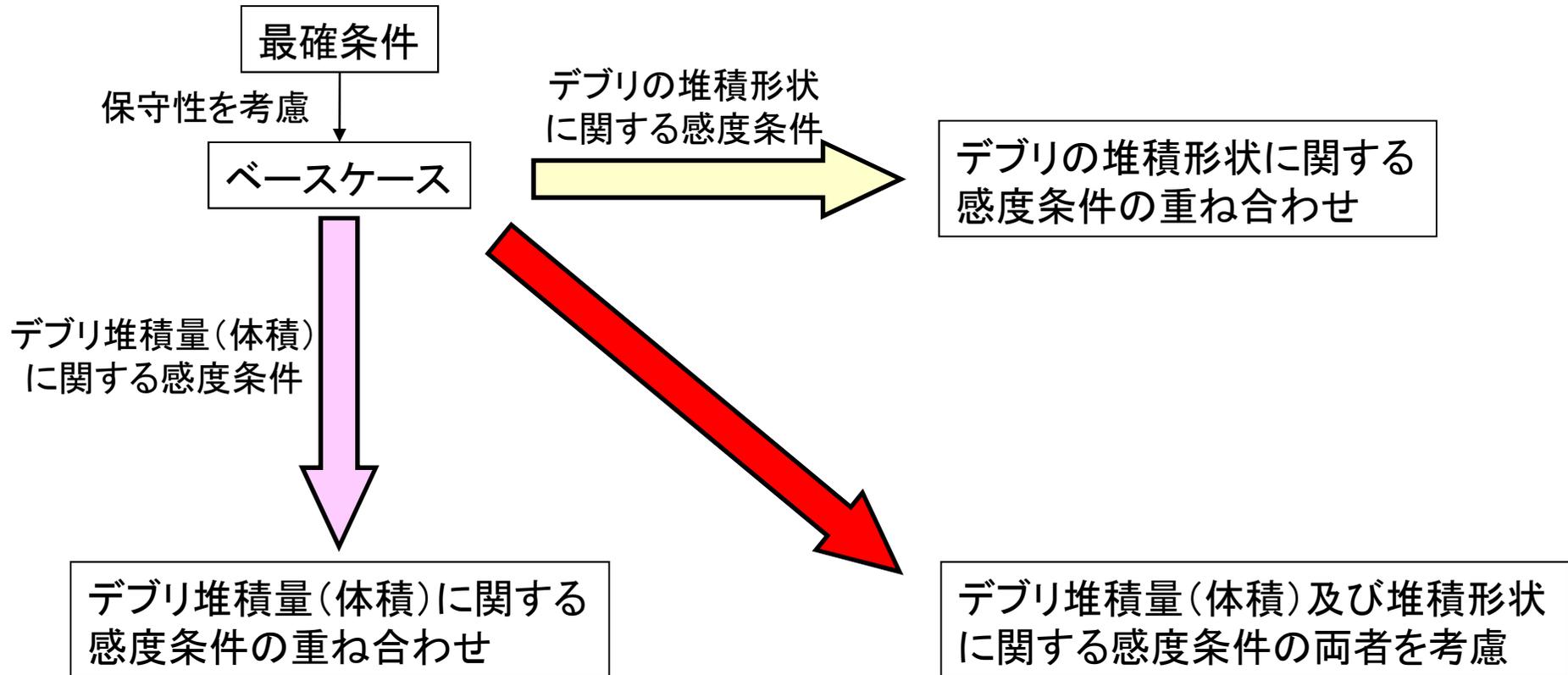
- ・原子炉圧力容器(以下「RPV」という。)破損時のデブリ流出状況の推測を踏まえ、デブリ堆積高さの最確条件を設定し、感度ケース等を含め、各パラメータの条件設定の考え方及び各ケースの評価結果について整理
- ・コリウムシールド高さを超えるような極端なデブリ堆積高さを想定し、この場合の影響について整理



# 1. コリウムシールド高さを超えた場合の影響について(2/9)

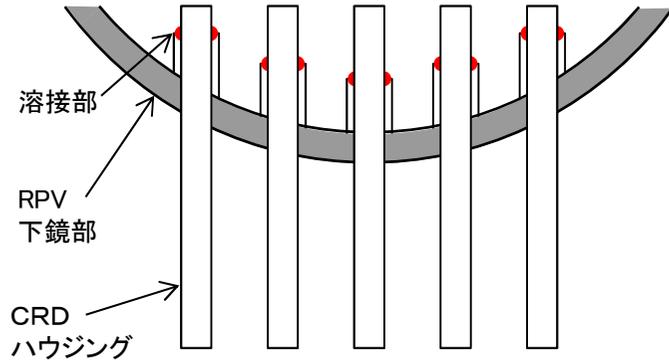
## (2) デブリ堆積高さの評価方針

- ・RPV破損時のデブリ流出状況の推測などを踏まえ、最確条件／ベースケースを設定
- ・ベースケースに対してデブリ堆積量(体積)に関する感度条件を設定し、デブリ堆積高さを評価
- ・デブリの堆積形状に関する感度条件も考慮し、デブリ堆積高さを評価
- ・粒子化層がコリウムシールドを超える場合は、その影響を評価



# 1. コリウムシールド高さを超えた場合の影響について(3/9)

## (3)RPV破損時のデブリ流出状況の推測

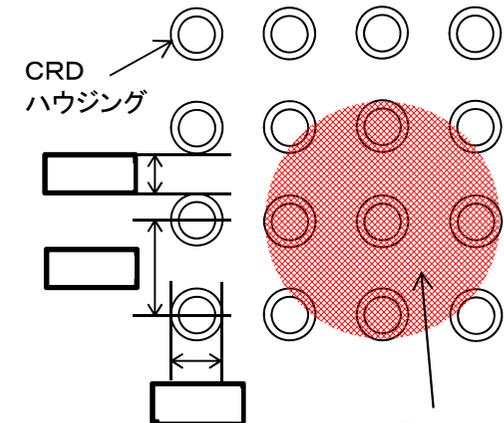
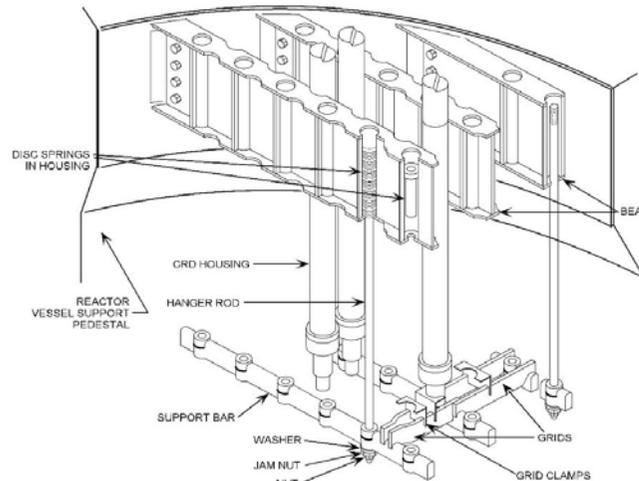
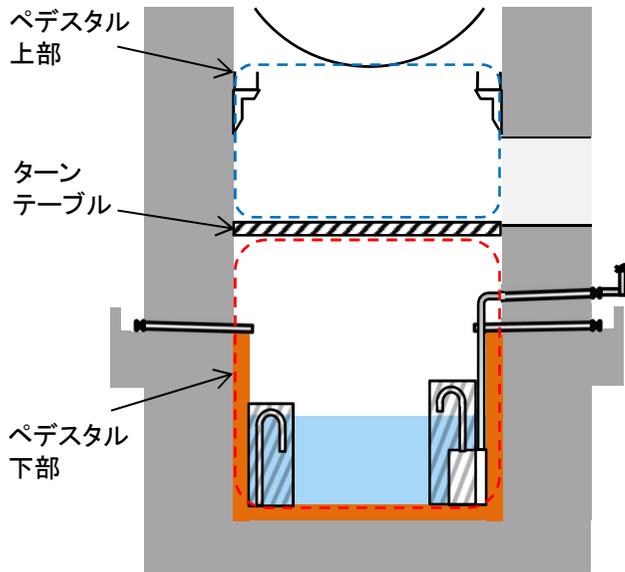


### RPVの破損形態・RPVから落下する溶融物量

- ・炉心位置に存在する構造物は一部溶け残る可能性もあるが、不確かさ有  
⇒炉心位置に存在する構造物は、MAAP解析に基づき全量溶融を想定
- ・デブリ流出箇所はCRDや核計装の溶接部を想定。複数個所の可能性有
- ・ハウジングサポートによりCRDハウジングの逸出を防止する設計
- ・CRDハウジングは水を内包するが、デブリ流出までに一部は溶融  
⇒CRD等の溶融量は、MAAP解析に基づきRPV下部中心位置における複数の炉内外のCRDハウジング完全逸出相当で代表させ評価(添付1)  
(最確条件:CRD6本分, ベースケース:CRD9本分)

### ペDESTAL内構造物の溶融物量

- ・ペDESTAL上部の内壁付近の構造物はデブリと接触し難い  
⇒最確条件では、デブリとの接触の可能性を考慮し約2.2m<sup>3</sup>  
ベースケースでは、ペDESTAL内全ての構造物量を考慮し3m<sup>3</sup>



RPV破損口径 最大約76cm

<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

## 1. コリウムシールド高さを超えた場合の影響について(4/9)

### (4) デブリ堆積高さの評価条件及び評価結果

#### ● デブリ堆積高さの評価条件(デブリ堆積量(体積)に関する感度条件)

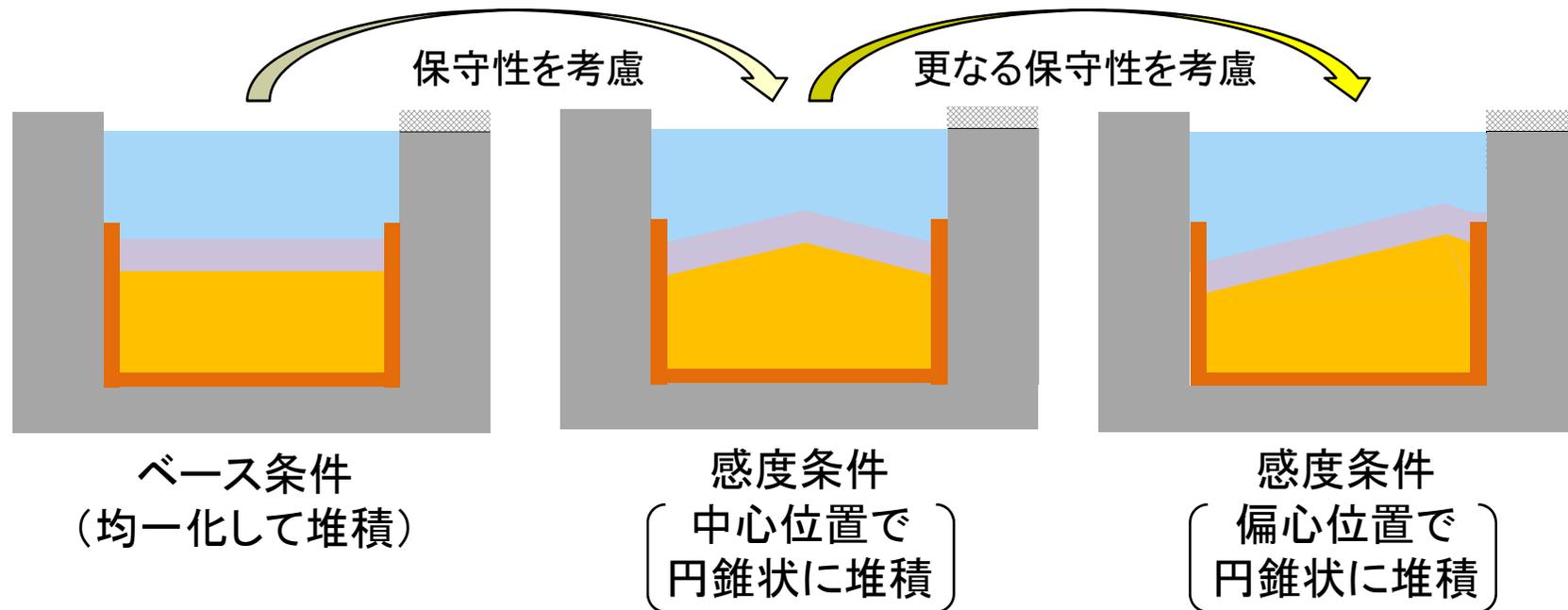
- ・最確条件の溶融物量に対して、保守性を見込んだベース条件を設定
- ・ベースケースの各条件に対して、感度条件を設定
- ・全ての感度条件の重畳についても考慮し、更なる保守性を考慮

ケース	溶融物量	粒子化層の体積	
		粒子化割合(添付2)	ポロシティ(添付3)
最確条件	<p>約2.2m<sup>3</sup></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・CRD6本分の範囲</li> <li>・ターンテーブルより下の構造物</li> </ul>	<p>17.3%</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・エントレインメント係数 <input type="text"/></li> <li>(MAAP推奨範囲の最確値)</li> </ul>	<p>0.35</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・各種実験に基づく値</li> </ul>
ベース条件	<p>3m<sup>3</sup></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・CRD9本分の範囲</li> <li>・ペデスタル内の全ての構造物</li> </ul>	<p>22.7%</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・エントレインメント係数 <input type="text"/></li> <li>(MAAP推奨範囲の最大値)</li> </ul>	<p>0.50</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・保守性を考慮</li> </ul>
感度条件	<p>4m<sup>3</sup></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・更なる保守性を考慮</li> </ul>	<p>22.7%</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・エントレインメント係数 <input type="text"/></li> <li>(MAAP推奨範囲の最大値)</li> </ul>	<p>0.50</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・保守性を考慮</li> </ul>

## 1. コリウムシールド高さを超えた場合の影響について(5/9)

### ● デブリ堆積高さの評価条件(デブリの堆積形状に関する感度条件)

- ・ 中心位置で円錐状に堆積した場合(PULiMSの知見を保守的に採用し、アスペクト比1:16を採用。添付4)を評価
- ・ 偏心位置で円錐状に堆積した場合(保守的にデブリ全量が偏心位置から落下)も評価(添付5)



# 1. コリウムシールド高さを超えた場合の影響について(6/9)

## ● 評価結果

保守性(厳しいアスペクト比を適用)

更なる保守性(偏心位置からのデブリ全量落下)

保守性(感度条件の考慮)

更なる保守性(全ての感度条件の重畳)

形状	形状のベース条件 (均一して堆積)	中心位置で円錐状に堆積 円錐部分のアスペクト比1:16	偏心位置で円錐状に堆積 コリウムシールド壁面から0.6m内側
<b>デブリ体積</b> 体積のベース条件 (最確条件を基に保守的な設定) ・溶融物量 炉内: 36m <sup>3</sup> 炉外: 3m <sup>3</sup> ・粒子化割合: 17.3% ・ポロシティ: 0.35	ベースケース 		
<b>感度条件①</b> ・溶融物量 炉外: 4m <sup>3</sup>	-	-	-
<b>感度条件②</b> ・粒子化割合: 22.7%	-	-	-
<b>感度条件③</b> ・ポロシティ: 0.50	-	-	-
<b>コリウムシールド高さ、厚さ設定条件 (感度条件①+③)</b> ・溶融物量 炉内: 36m <sup>3</sup> 炉外: 4m <sup>3</sup> ・粒子化割合: 17.3% ・ポロシティ: 0.50			
<b>感度条件 ①+②+③</b> ・溶融物量 炉内: 36m <sup>3</sup> 炉外: 4m <sup>3</sup> ・粒子化割合: 22.7% ・ポロシティ: 0.50			

最も厳しいケースとして、コリウムシールドを超えた場合の影響を評価

# 1. コリウムシールド高さを超えた場合の影響について(7/9)

## (5) デブリがコリウムシールドを超えた場合の影響

### ● 粒子状デブリがコリウムシールドを超えた場合の影響(添付6)

#### ➤ 側壁コンクリートの侵食量

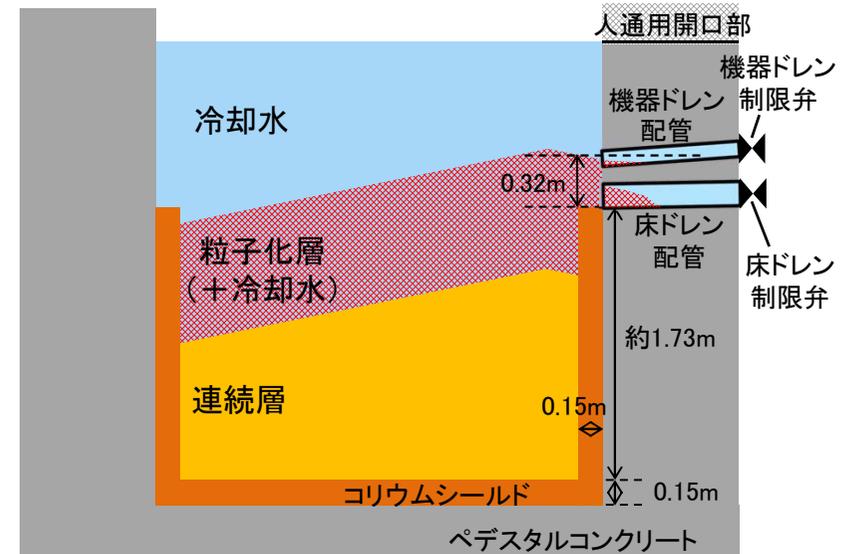
- ・粒子状デブリは水により固相線温度以下に急速に冷却されるが、保守的に固相線温度(約    °C)とした場合でも、MAAPコードによる侵食量の解析結果は0mm

主な解析条件	設定
粒子状デブリモデル	・コリウムシールド超過分の粒子化デブリ量を包絡する, 0.1m均一堆積
崩壊熱	・0.1m堆積した粒子状デブリ(ポロシティ0.35)による崩壊熱 ・事象進展の早い大LOCAにおけるRPV破損時を想定
冷却水への熱流束	・1.4MW/m <sup>2</sup> (Lipinski-0Dモデルでのポロシティ0.35における熱流束)

#### ➤ 床ドレン/機器ドレン配管及び制限弁の影響

- ・水により粒子状デブリが急速に冷却されるため、配管の温度は融点まで到達しない
- ・なお、デブリの駆動力は小さく配管への流入は限定的なため、制限弁までの到達はないと考えられる

以上より、ペDESTALの構造健全性に影響ないことを確認



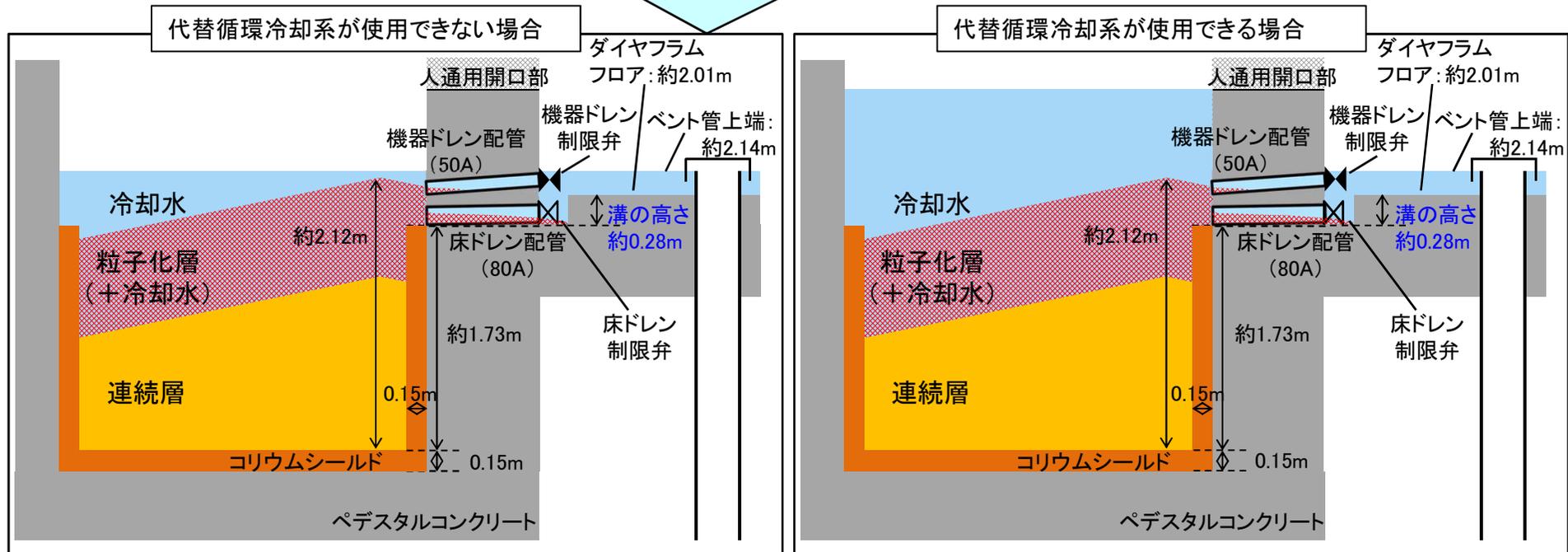
デブリ堆積イメージ

# 1. コリウムシールド高さを超えた場合の影響について(8/9)

## 【参考】床ドレン制限弁の損傷を仮想した場合の影響

- ・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粒子状デブリは留まる
- ・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するため、代替循環冷却系が使用できない場合でも、ペDESTAL内水位はベント管上端高さとなり、粒子化層の頂部は冠水維持
- ・代替循環冷却系が使用できる場合は、床ドレン制限弁2個損傷時にも、人通用開口部下端水位を維持(添付7)

・ベント管上端 : 約2.14m ⇔ 0.02m冠水を維持  
 ・粒子化層頂部: 約2.12m



床ドレン制限弁損傷時のイメージ

## 1. コリウムシールド高さを超えた場合の影響について(9/9)

---

### (6)まとめ

- ・RPV破損時のデブリ流出状況の推測等を踏まえ最確条件を設定するとともに、各ケースの条件を整理し、保守性を考慮した感度ケース等のデブリ堆積高さを評価
- ・保守性を重ね、デブリ堆積高さがコリウムシールドを超える場合を想定し影響を評価した結果、ペDESTALの構造健全性に影響がないことを確認
- ・さらに、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

## 2. 原子炉格納容器内の原子炉冷却材の漏えいの検出方法の明確化について(1/2) 赤字が前回からの修正箇所

### (1) 概要

- 溶融炉心・コンクリート相互作用(以下「MCCI」という。)によるペDESTAL構造への影響を考慮し格納容器床ドレン系を改造するため、原子炉冷却材圧力バウンダリからの原子炉冷却材の漏えいを検出※1する方法を明確化する。

※1 実用発電用原子炉及びその附属施設の位置、構造及び設備の基準に関する規則 第17条 4項「原子炉冷却材圧力バウンダリからの原子炉冷却材の漏えいを検出する装置を有するものとする。」に係る、原子炉施設保安規定で規定する原子炉格納容器内の原子炉冷却材の漏えい率の検出。

### (2) 原子炉格納容器内の原子炉冷却材の漏えいの検出について

- 格納容器床ドレン系の設計は以下のとおりであり、通常運転時の床ドレンサンプ水位は改造前と異なるが原子炉冷却材の漏えいの検出方法は改造前から変更はない。
  - 床ドレンサンプはドライウェル床面に設置する。
  - 通常運転時に発生するドライウェル内ガス冷却装置からの凝縮水※2及び漏えい位置を特定できない格納容器内の漏えい水は同サンプへ流入する設計とする。
  - 床ドレンサンプの排水管※3の入口(スワンネック)高さを同サンプ床面から約1mに設定※4し、サンプへの流入水はスワンネックから原子炉建屋原子炉棟床ドレンサンプ設備へ常時全量が排水される設計とする。  
(常時、スワンネックからオーバーフローし、排水されることについて「格納容器床ドレン水位の維持について」に示す。)
  - 漏えい位置を特定できない漏えい水量(ドライウェル内ガス冷却装置からの凝縮水量を含む)は、床ドレンサンプ流量計により確認できる設計とする。
  - 改造後、サンプからの蒸発量は増加するが除湿量も増え、凝縮水としてサンプに戻るのでサンプ水位高さは約1mに維持が可能である。

※2 通常運転時(漏えい位置が特定できない漏えいがない状態)のドライウェル内ガス冷却装置からの凝縮水量は約0.2~6.8L/h(2004年4月30日~2011年3月11日実測値)

※3 サンプからの排水配管(スワンネックを含む)は、重大事故等対処設備として耐震性及び強度を確保する設計とする。

※4 サンプ水位約1mは、床ドレンサンプ流量計にて流量が検出されていることで確認する。

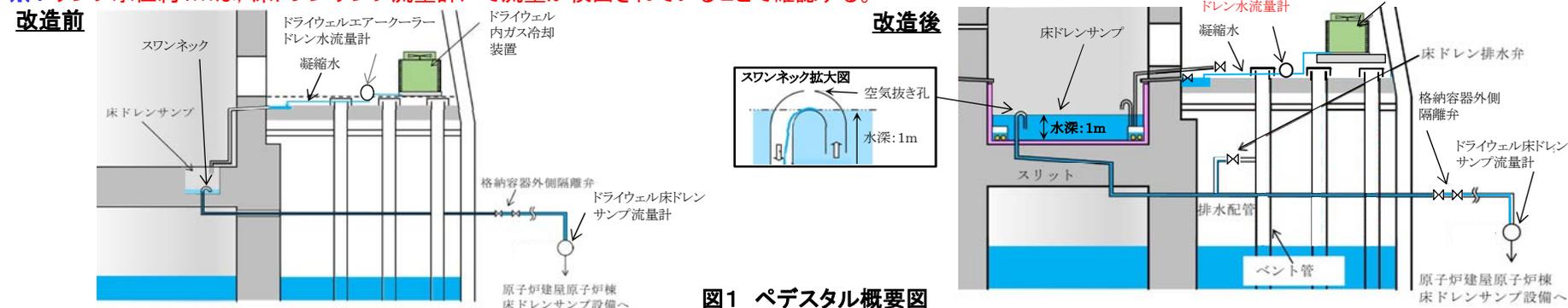


図1 ペDESTAL概要図

### (3) 記載箇所

- 技術的能力 1. 8「原子炉格納容器下部の溶融炉心を冷却するための手順等」

## 2. 原子炉格納容器内の原子炉冷却材の漏えいの検出方法の明確化について(2/2)

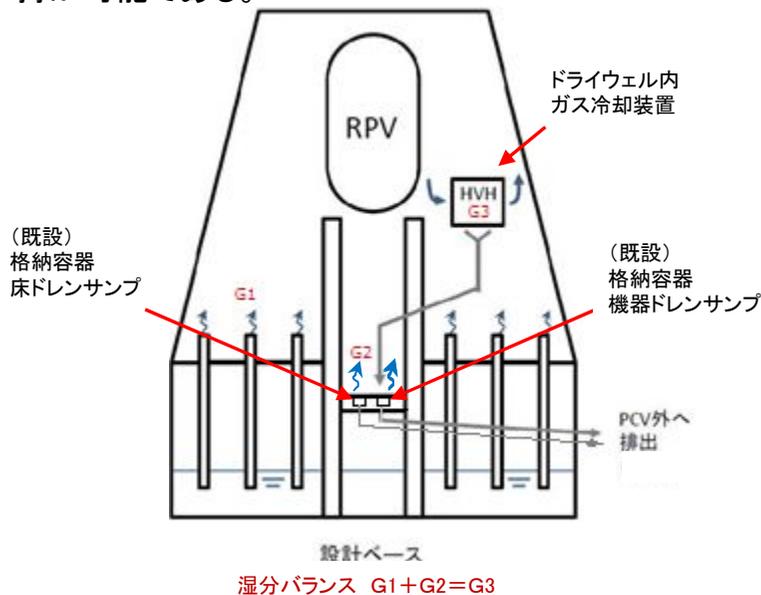
### 【参考】格納容器床ドレンサンプ水位の維持について

格納容器床ドレンサンプの水位は、ドライウェル内ガス冷却装置からの凝縮水の流入により、常時スワンネックのオーバーフロー高さに維持する設計とする。

(改造前)

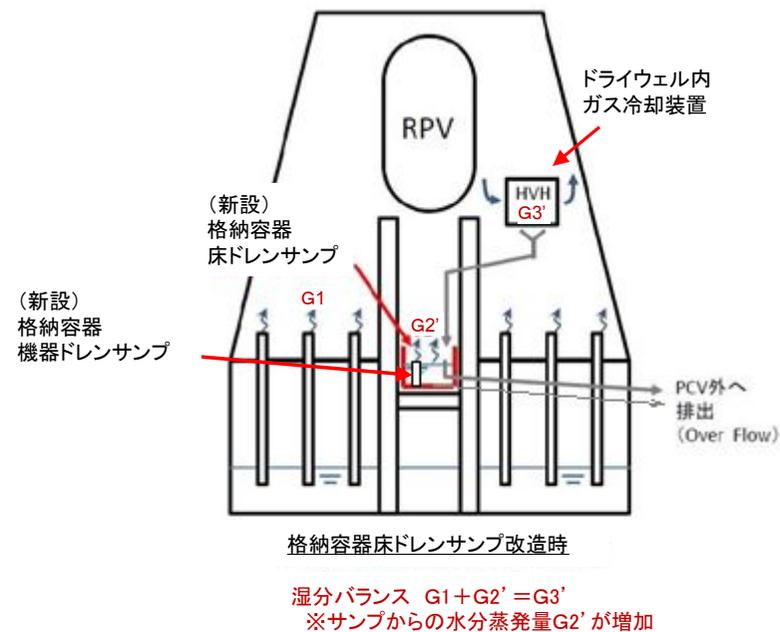
・格納容器内の湿度(露点温度)を一定に保つ設計としているため、格納容器内での蒸発量としては、サプレッション・プールからの蒸発量(G1)とサンプ(格納容器床ドレン、格納容器機器ドレン)からの蒸発量(G2)が、ドライウェル内ガス冷却装置の除湿コイルでの除湿量(G3)とバランスする。

運転中、格納容器床ドレンサンプに流入するドライウェル内ガス冷却装置の凝縮水により、格納容器床ドレンサンプの水位は常にスワンネックのオーバーフロー高さに維持が可能である。



(改造後)

・改造後の格納容器内での蒸発量としては、サンプ(格納容器床ドレン、格納容器機器ドレン)からの蒸発量(G2')が増加することになるが、ドライウェル内ガス冷却装置の除湿コイルでの除湿量(G3')も増加し、蒸発量(G1+G2')と除湿量(G3')はバランスする。  
 運転中、サンプ(格納容器床ドレン、格納容器機器ドレン)からの蒸発量(G2')は、ドライウェル内ガス冷却装置により凝縮水となり、格納容器床ドレンサンプに戻る。したがって、格納容器床ドレンサンプの水位は、常にスワンネックのオーバーフロー高さ(床面から1m)に維持が可能である。



### 3. 審査資料における原子炉格納容器内床ドレンサンプへの流入量の単位の記載について(1/3)

#### 1. 事象

設置変更許可申請書の審査会合資料(5/15)及び関連する審査資料(技術的能力1.8)において、原子炉格納容器内床ドレンサンプ流入量の単位が、本来と異なることを確認した。【現記載: $m^3/h \Rightarrow$  本来の記載: $L/h$ 】

#### 2. 当該箇所の記載の経緯と原因

技術的能力1.8(本審査資料)の作成に先立って、格納容器内床ドレンサンプへの流入量を $[L/h]$ を単位とする実測値の集約表を作成した。その後、当該数値を本審査資料に保安規定の記載単位 $[m^3/h]$ と合わせて記載することとしたが、その際に、単位のみを $[m^3/h]$ と記載した。

本審査資料の確認は、上記資料の作成に携わった者と同じの者が実施した。確認にあたっては、上記の作成の経緯より当該箇所の単位は $[m^3/h]$ であることを知っていたため、エビデンス確認(流入量実測値の集約表との照合)では、単位は正しく記載されているためデジタル値に注意すればよいと思い込み、物理量(数値と単位)の妥当性を確認できていなかった。

#### 3. 是正処置

- ①本来と異なる単位が記載されていることを確認した以下の資料について記載を適正化する。
  - ・審査資料:技術的能力1.8「原子炉格納容器下部の熔融炉心を冷却するための手順等」  
添付資料1.8.7 及び 添付資料1.8.9
  - ・審査資料:有効性評価3.2「高圧熔融物放出／格納容器雰囲気直接加熱」  
添付資料3.2.3
  - ・第571回審査会合資料1-1のうち「6.原子炉格納容器内の原子炉冷却材の漏えいの検出方法の明確化について」

#### 4. 水平展開

##### (1)他資料の数値記載の確認要領

全ての審査資料について、単位付きの数値がエビデンスから適正に引用されていることを、以下の観点で確認した。審査資料の確認にあたっては、先入観を排除するためこれまで資料作成に直接に携わっていない者(技術的に判断できる者)を含めて実施した。

- ・数値及び単位の両方がエビデンスと整合していること
- ・数値と単位について併せて見た時に技術的に妥当であること

### 3. 審査資料における原子炉格納容器内床ドレンサンプへの流入量の単位の記載について(2/3)

#### (2) 確認結果

- ① 本事案と同様の要因による、数値及び単位の記載に係る修正が必要な箇所は、以下の5件であった。いずれの記載も審査資料の記載上の修正であり、審査資料に記載した評価及び対策の有効性に影響しないことを確認した。
- ・有効性評価 添付資料1.5.1 幾何形状等データにおける湿度データの表記
  - ・有効性評価 添付資料1.5.1 幾何形状等データにおけるベント管外径の単位
  - ・6条(火山)別添資料1 参考資料9 降下火砕物の除去に要する作業量評価の人工単位
  - ・6条(竜巻)別添資料1 添付資料5 竜巻影響エリアの面積の単位
  - ・技術的能力1.0 添付1.0.6 サプレッション・チェンバ圧力の単位
- ② 本事案と同様の要因ではないが、数値の修正が必要な箇所は以下のとおり。なお、その他に、単位の符号漏れ、図中の単位記載漏れ等があった。

分類	数値修正	評価及び対策の有効性への影響
・簡易な計算間違い	1件	計算結果は評価内容に関係するものではないため、影響はない。
・一部修正漏れ、図中の数値の記載間違い	16件※1	正しい数値を用いて評価・対策を検討していることから、影響はない。
・エビデンスからの転記漏れ・転記間違い	12件	正しい数値を用いて評価・対策を記載していることから、影響はない。

※1 16件のうち2件は、「燃料有効長頂部寸法の記載不備に係る事案」の水平展開において、適正化する箇所として抽出したが、その数値の修正ができなかったもの。

※1に記載した2件については、作成に携わった担当者及び責任者が修正作業を行ったことから、修正作業の中で当該抽出箇所の修正が終わったと思い込んでしまったためと考えられる。

今回の事案の水平展開として実施した、資料作成に直接携わっていない者を加えたエビデンス確認は、思い込みを排除し、より客観的に数値の妥当性を確認できるため、有効な確認手段と考える。

本事案の水平展開により、これまでに実施した水平展開において抽出された箇所の修正漏れを改めて抽出したことから、これをチェックリストに整理したうえで、そのチェックリストを用いて確実に修正する。

### 3. 審査資料における原子炉格納容器内床ドレンサンプへの流入量の単位の記載について(3/3)

---

#### (3) 確認結果に対する対応

上記(2)で確認した記載について修正する。

### 5. 再発防止対策

- ① 今回の事象を踏まえ、今後、審査資料の確認において、今回の水平展開の実施要領である、
  - ・審査資料の確認には、先入観を排除するためこれまで資料作成に直接携わっていない者(技術的に判断できる者)を含めて実施すること
  - ・チェックリストを用いて確実に修正したことを確認することを社内規程とし、確認作業に取り組む。
- ② 今回の事象を関係者に定期的に周知し、確認作業の重要性を改めて意識付ける。