東海第二発電所

ペデスタルでの物理現象発生に対する対応方針

平成29年4月27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。

目次

１．対象とする評価 ・・・ 3
２．東海第二発電所（Mark−Ⅱ型格納容器）の特徴 ・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・ 4
３．RPV破損後の事象進展 ・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・ 5
４．RPV破損後のペデスタルに要求される機能 ・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・ 6
５．格納容器・ペデスタル機能確保のための対応方針 ・・・・・・・・・・・・・・・・・ 7
６．対応方針の具体化 ・・・ 9
７．まとめ ・・・ 16

1. 対象とする評価

（1）溶融炉心・コンクリート相互作用（Molten Core Concrete Interaction：MCCI）

「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の解釈」（以下「規則の解釈」）第３７条［重大事故等の拡大の防止等］で，「溶融炉心・コンクリート相互作用」の評価要求

⇒ コンクリート侵食を考慮したペデスタルの健全性を評価

（2）溶融燃料－冷却材相互作用（Fuel Coolant Interaction：FCI）

「規則の解釈」第37条［重大事故等の拡大の防止等］で，「原子炉圧力容器外の溶融燃料－冷却材相互作用」の評価要求

⇒ 水蒸気発生（溶融炉心－冷却材接触に起因）による急激な圧力上昇（圧力スパイク）に対し，格納容器健全性確保を評価（有効性評価で実施）

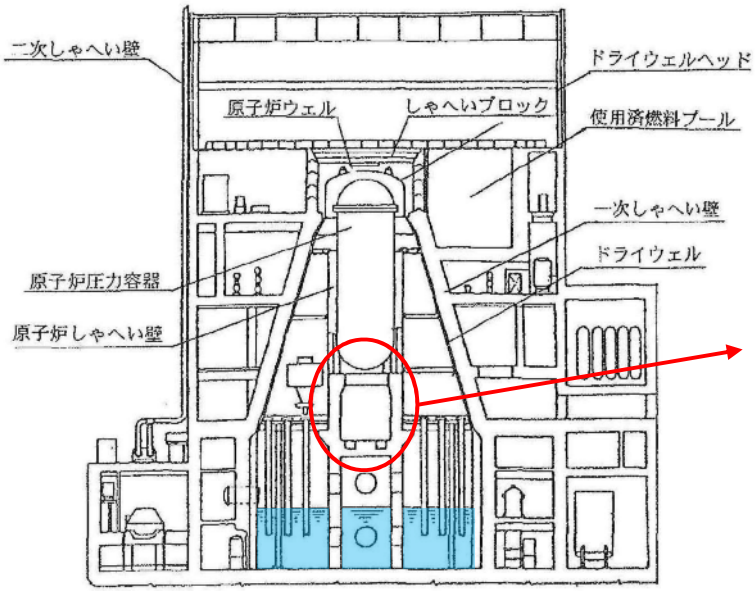
⇒ 実機では，原子炉圧力容器（以下「RPV」）外での大規模な水蒸気爆発（Steam Explosion：SE）の発生可能性は十分に小さいが【添付1】，BWRは，ペデスタルのRPV支持機能喪失が格納容器健全性に影響するため，SEの発生を想定したペデスタル健全性を評価

2. 東海第二発電所(Mark-Ⅱ型格納容器)の特徴

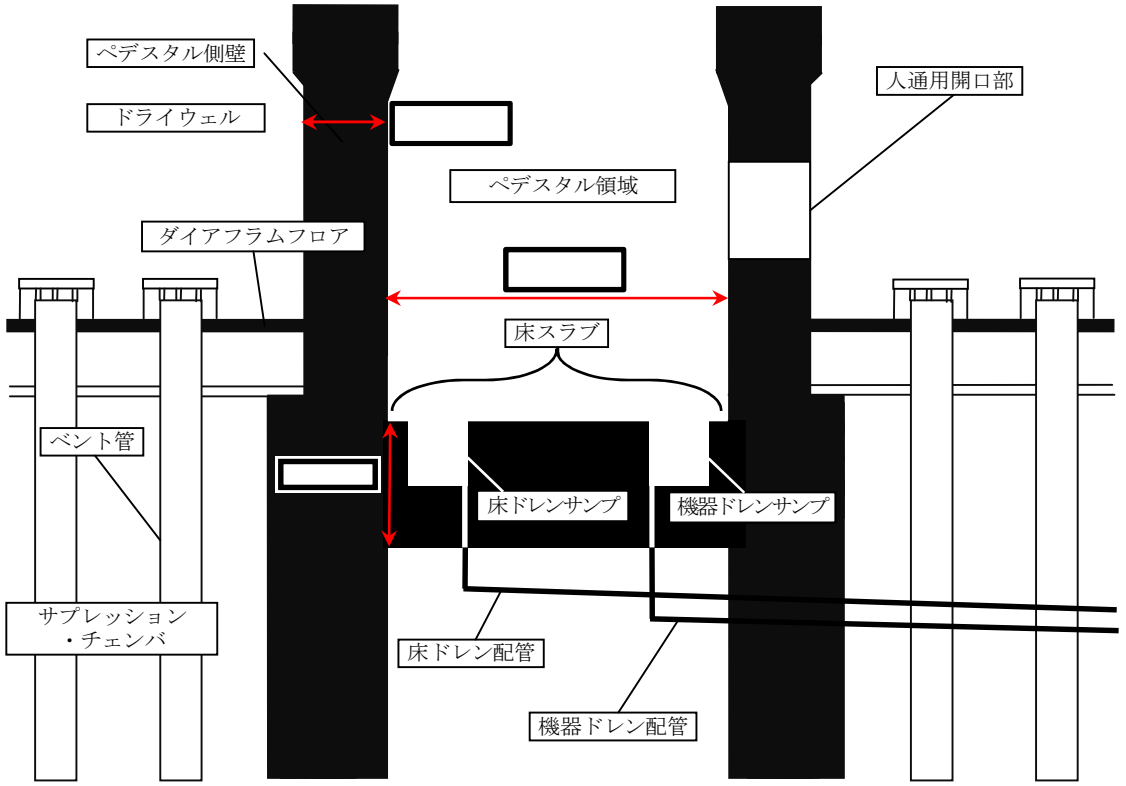
・ペデスタルの床スラブ及びダイアフラムフロアの下部に，サプレッション・プール（以下「S／P」）を内包するサプレション・チェンバが存在

・床スラブにドレンサンプが存在

・ペデスタル側壁，床スラブが鉄筋コンクリート製



原子炉建屋断面



ペデスタル構造概要図

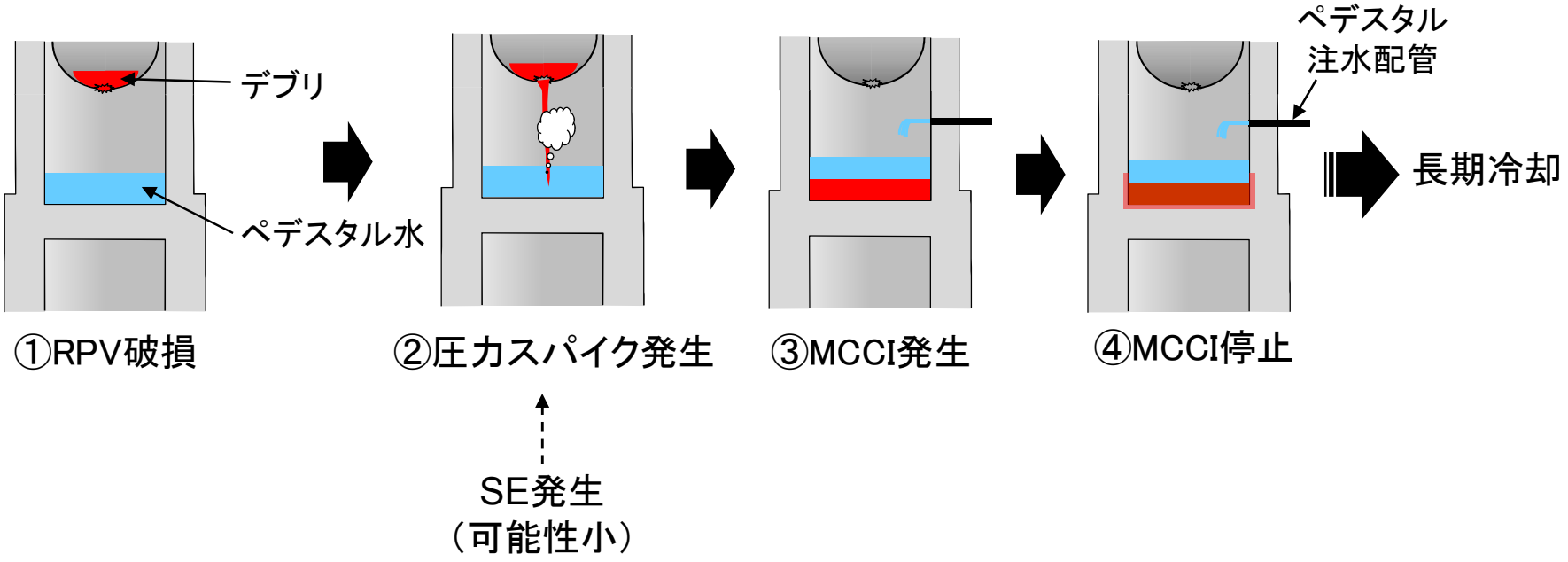
3. RPV破損後の事象進展

①設計基準事故対処設備に加え，重大事故等対処設備による原子炉注水機能喪失を仮定すると，RPV破損

②RPV破損後，ペデスタル水とデブリ接触による圧力スパイク発生
SE発生の可能性小

③デブリは床スラブ上に堆積し，ペデスタル側壁，床スラブのコンクリートを侵食

④ペデスタルへの注水継続によりデブリは冷却され，MCCI停止



4. RPV破損後のペデスタルに要求される機能

「規則の解釈」第37条[重大事故等の拡大の防止等]2－3で,「(i) 溶融炉心による侵食によって,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及び溶融炉心が適切に冷却されること」の要求

＜要求される機能＞

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

デブリによるコンクリートの侵食,熱影響によりRPV支持機能が喪失

→RPVが転倒し格納容器本体へ接触する等,格納容器健全性に影響を及ぼす可能性

⇒ **RPV支持機能の要求**

② 溶融炉心が適切に冷却されること

デブリが床スラブを貫通しS／Pに落下

→格納容器の冷却を行うS／P水源の系統(残留熱除去系,代替循環冷却系等)に影響を及ぼす可能性

⇒ **床スラブでのデブリ保持機能の要求**

床スラブでのデブリ保持機能確保により,デブリがS／Pに落下した場合の下記影響も防止可能

- ベント実施時のS／Pにおけるスクラビング効果への影響
- S／P底部のライナ損傷に伴う,格納容器の閉じ込め機能の健全性への影響

5. 格納容器・ペデスタルの機能確保のための対応方針

ペデスタルでの物理現象を踏まえ，格納容器・ペデスタルの機能を確保するうえで重要となるRPV破損時のペデスタル水位（以下「初期水位」）に着目

（1）RPV破損時の初期水位設定に係る基本的考え方

①格納容器への熱的負荷

格納容器への熱的負荷を低減させ，事故収束の確実性が向上する初期水位を設定

②MCCI/SE

MCCI，SE発生時のペデスタル機能確保に当たっては，初期水位が重要な因子

要求される機能	初期水位に対する要求	
	MCCIの影響抑制 （デブリ冷却，侵食等の抑制）	SEの影響抑制 （発生エネルギ等の抑制）
RPV保持/ 床スラブのデブリ保持	初期水位高の要求 （下限設定）	初期水位低の要求 （上限設定）

MCCI及びSEの影響抑制の両立のため，

・MCCIの影響を抑制するための設備対策（コリウムシールド）を採用

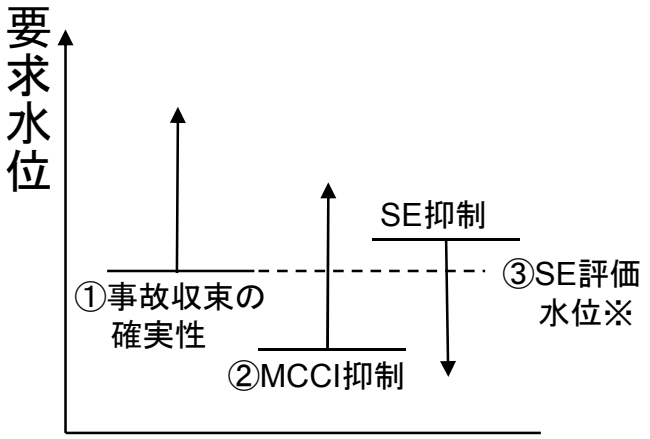
・コリウムシールド採用に伴う初期水位低下により，SEの影響を抑制

5. 格納容器・ペデスタル機能確保のための対応方針

（2）対応方針

①事故収束の確実性

RPV破損後の格納容器の健全性確保のため，格納容器への熱的負荷が低減され，事故収束の確実性が向上する初期水位（下限）を設定



＜水位決定イメージ＞

※：SE評価の不確かさが大きいことを考慮し，①，②で許容可能な下限水位にて評価

②MCCIの影響抑制

・MCCI影響抑制のため，ペデスタルにコリウムシールドを設置

・コリウムシールド等の設備対策を前提に，MCCI時にペデスタルの機能を確保できる初期水位（下限）を設定

③SEの影響抑制

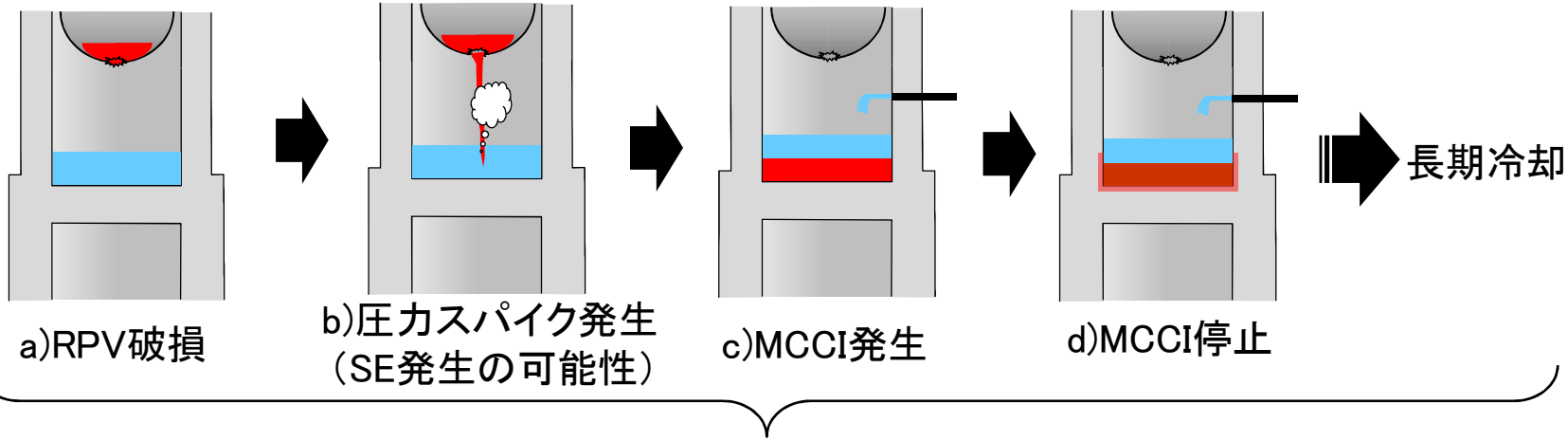
・①②を満足する最低水位において，ペデスタルの機能確保を確認

・ペデスタルの機能が確保されない場合は，設備対策を採用【添付2】

6. 対応方針の具体化

(1)事故収束の確実性向上

目的: RPV破損後の格納容器への負荷低減



格納容器への熱的負荷を低減し，SA時の事故収束の確実性を向上するため，
RPV破損後のデブリの冠水状態を維持

＜低減できる格納容器への負荷＞
デブリ露出による過温(高温ガス発生，輻射熱等)，デブリヒートアップによる過温，
注水開始の不確かさによる過温

対応方針

デブリ落下～注水開始:デブリ落下前に一定の初期水位を確保し，デブリの冠水状態を維持
注水開始～　　:ペデスタル注水によりデブリの冠水状態を維持

6. 対応方針の具体化

RPV破損後の事象の流れ

7分間

一定量の水位→デブリ落下→RPV破損判断→デブリへ注水→デブリ冠水継続
（デブリ落下検知）

① ②

① デブリ落下～注水開始

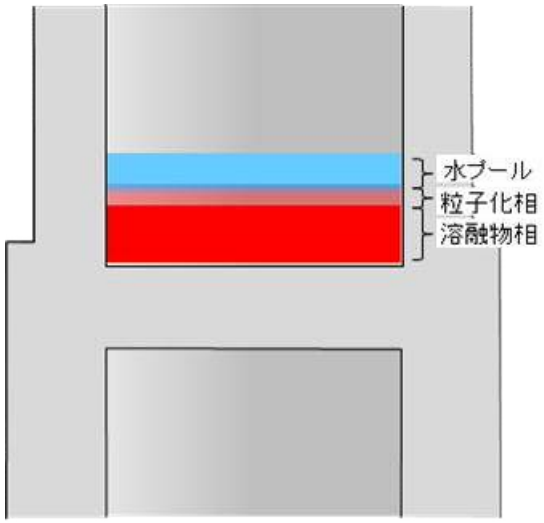
- デブリ落下～デブリへの注水開始まで：7分（RPV破損認知：5分，注水操作：2分）【添付3】
- 水深1mの場合，7分間の水位低下を考慮してもデブリ冠水維持。注水開始の不確かさを考慮しても，約20分間冠水維持可能と評価【添付4】

⇩

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）

② 注水開始～

- デブリ冠水を維持可能なペデスタル注水流量を確保

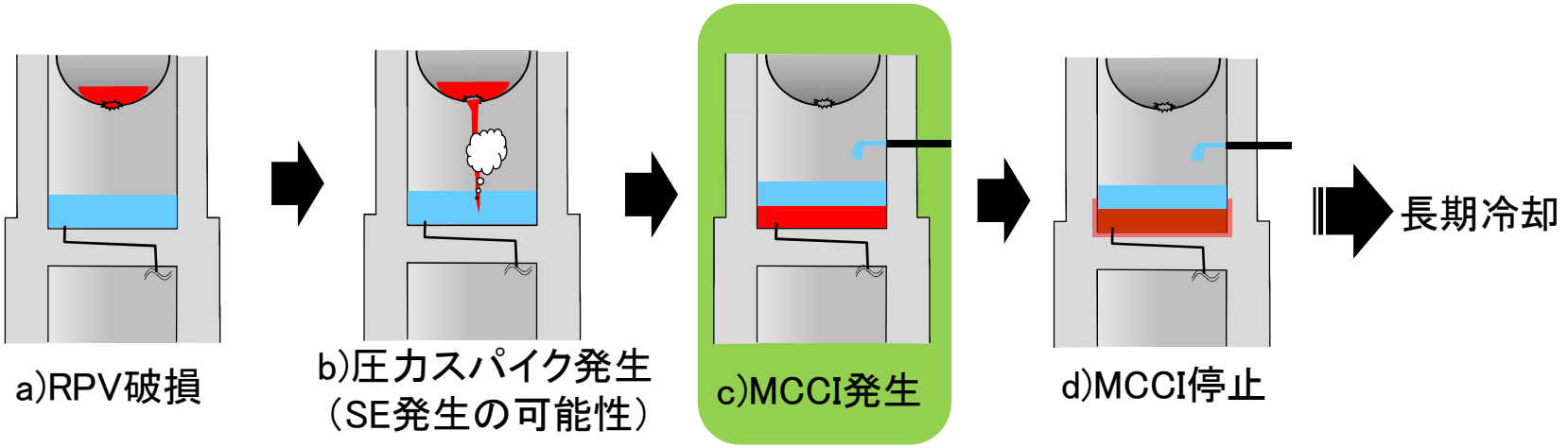


デブリ堆積と水プールの状態

6. 対応方針の具体化

(2)MCCIの影響抑制

目的:MCCI時のペデスタルのRPV支持機能・床スラブでのデブリ保持機能の確保



対応方針

＜RPV支持機能＞
・側壁の侵食抑制
・側壁への熱影響抑制

＜床スラブでのデブリ保持機能＞
・床スラブの侵食抑制
・床スラブへの熱影響抑制
⇨ 耐侵食性を有する コリウムシールド設置

・床スラブの局所的な侵食抑制
⇨ 床スラブ平坦化

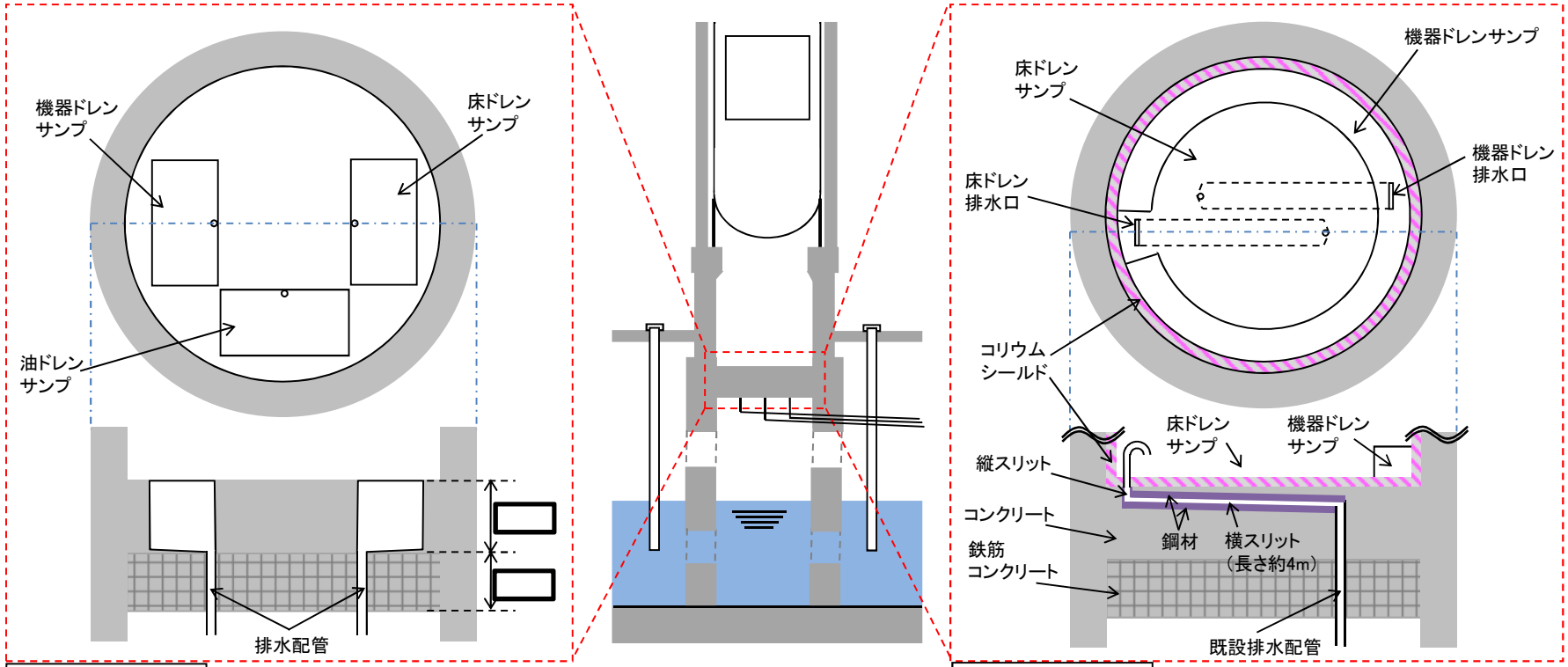
・ペデスタル内サンプからS/P へのデブリ移行防止
⇨ デブリ凝固のための 排水流路形状変更

6. 対応方針の具体化

＜コリウムシールド設置＞
ペデスタル内に耐侵食性に優れた[ジルコニア（ZrO_2）製コリウムシールドを設置]【添付5,6,7】

＜床スラブ平坦化＞
[床スラブを平坦化]し，平坦化した床スラブ上に鋼製の床・機器ドレンサンプ設置

＜デブリ凝固のための排水流路形状変更＞
サンプの排水流路を鋼材による[スリット形状に変更]



6. 対応方針の具体化

＜ペデスタルの侵食量，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）

・ペデスタル注水：RPV破損7分後から80m^3／h

・デブリから水への限界熱流束：800kW／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℃【添付6】

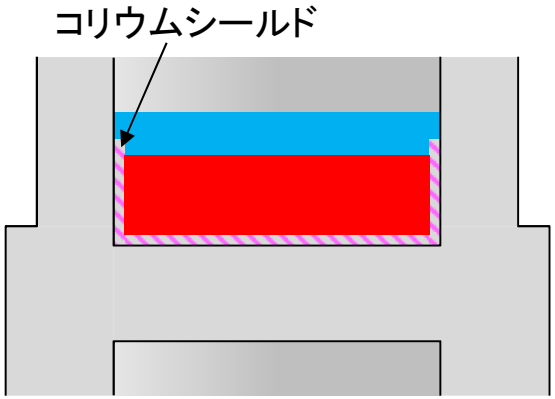
➢ 評価結果

・コリウムシールド，ペデスタル：侵食なし

・ペデスタル表面の最高温度：約470℃
（コリウムシールドなしの場合に比して700℃以上低減）

＜排水流路内でのデブリ凝固評価＞

排水流路内で，デブリは凝固【添付8】



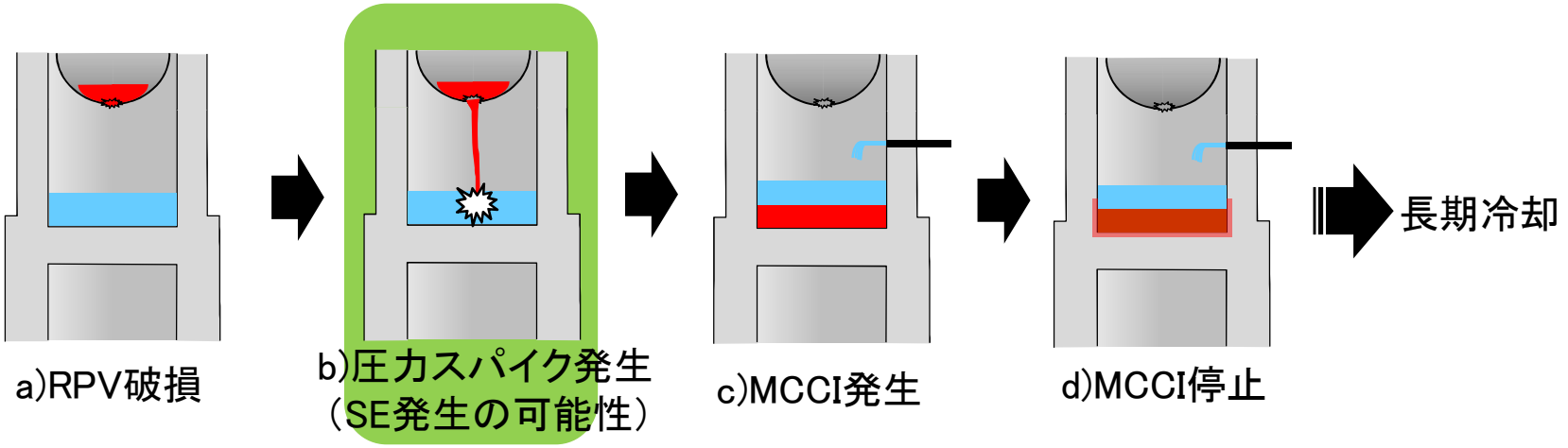
コリウムシールド設置概念

・コリウムシールド設置，床スラブ平坦化により，初期水位を低減
・排水流路のスリット化により，流路内でデブリ凝固
・今後，ペデスタルへの熱影響等を評価し，コリウムシールド厚さを決定する

6. 対応方針の具体化

（3）SEの影響抑制

目的：SE発生を想定した場合のペデスタルのRPV支持機能・床スラブでのデブリ保持機能の確保



対応方針

＜RPV支持機能・床スラブでのデブリ保持機能＞

・SE発生を想定した場合のペデスタル構造物への影響を抑制

事故収束の確実性向上，MCCIの影響抑制の要求を満足する最低水位に設定

・水位低減を考慮してもペデスタルの機能が確保されない場合は，機能確保のための設備対策を採用

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時のペデスタルの構造応答を解析【添付10，11】

＜ペデスタル機能確保評価＞

ペデスタル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(3000μ)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(5000μ)を超えない	約184μ	○
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（3000μ）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（5000μ)を超えない	約364μ	○

7. まとめ

RPV破損後の事故収束の確実性向上，MCCI及びSE時のRPV支持機能並びに床スラブでのデブリ保持機能確保の観点から，以下の具体的対応を行う方針とする

（1）MCCIの影響抑制を目的として，以下の設備対策を実施

- ペデスタルにZrO_2製コリウムシールドを設置
- ペデスタルの床スラブを平坦化
- ペデスタル排水流路をスリット形状に変更

今後，MCCI時のペデスタルへの熱影響等を評価し，コリウムシールド厚さを決定する

（2）RPV破損時のペデスタル水位を1mと設定

格納容器への熱的負荷の低減，MCCI及びSEの影響抑制が可能な水位