

高浜発電所安全審査資料
-------------

1-1
-----

平成28年4月13日一式提出
----------------

高浜1号炉及び2号炉（3号炉及び4号炉）  
設置許可基準等への適合状況について  
（設計基準対象施設等）

平成28年4月

関西電力株式会社

高浜 3 号炉及び 4 号炉  
重大事故等対策の有効性評価

## 熔融炉心・コンクリート相互作用による水素の発生を考慮した場合の原子炉格納容器内水素濃度について

### 1. はじめに

熔融炉心・コンクリート相互作用（以下、「MCCI」という。）によるコンクリート侵食及びそれに伴う水素の追加発生を考慮した場合、原子炉格納容器内の水素濃度が上昇し、有効性評価で示す評価結果を上回る可能性があると考えられる。

したがって、以下のとおり **MCCI** の現象の不確かさを考察した上で、原子炉下部キャビティ床面での熔融炉心の拡がり面積を小さく設定した極端な解析条件における感度解析を実施し、有効性評価結果への影響を確認した。

その結果、ドライ条件に換算した水素濃度は、有効性評価において約 11.5vol%以下であるのに対して、MCCIによる追加水素を考慮した場合においても、約 12.3vol%以下となり、評価項目となるパラメータに与える影響は小さいことを確認した。

### 2. MCCI の現象の不確かさについて

コンクリート侵食に至る過程は、

- ① 熔融炉心の原子炉下部キャビティへの堆積過程
- ② 熔融炉心の冷却過程
- ③ コンクリートの侵食過程

のように段階的に進展する。それぞれの現象の不確かさによる影響と、解析上の取り扱いは、以下のとおりである。

#### ① 熔融炉心の原子炉下部キャビティへの堆積過程

熔融炉心の拡がり面積により、水・コンクリートへの伝熱面積に影響が生じる。

解析上の熔融炉心の拡がり面積は、PULiMS 実験により得られた知見に基づいて設定している。

実機条件においては、熔融炉心の落下過程において細粒化する熔融炉心の量はわずかであるため、相当量の熔融炉心が固化されないまま原子炉下部キャビティ床に堆積する。このため、PULiMS 実験による知見から、実機条件においては熔融炉心の拡がり面積は大きくなると考えられるが、MCCI の観点で厳しくなるように拡がり面積を極端に小さく設定した場合の感度解析を3項において実施する。

#### ② 熔融炉心の冷却過程

水-熔融炉心間の冷却により、コンクリートへの伝熱量に影響が生じる。

実現象としては、クラスト表面に亀裂が生じることによるクラストへの浸水及びクラストの表面形状の凹凸による伝熱面積の増加により、熔融炉心の冷却は促進されるが、解析上は、これらの現象を取り扱っていない保守的なモデルとなっており、発熱体を平板状と模擬し、Kutateladze の相関式によって伝熱量を評価したモデルとなっ

ている。

3項において、水-熔融炉心間の熱流束の影響を考慮した条件も組み合わせて感度解析を実施する。

### ③ コンクリートの侵食過程

については、コンクリートの侵食により、追加水素の発生量に影響が生じる。

熔融炉心とコンクリートの伝熱については、実現象としては、熔融炉心の表面形状により発熱体とコンクリートの接触面積の不確かさが存在するが、解析上は、平板状の発熱体がコンクリートと密着した保守的なモデルになっている。

また、熔融炉心からの伝熱によるコンクリート侵食量については、コンクリートの組成、融点等の物性値が把握されていることから、評価上の不確かさは存在しない。さらに、コンクリート熔融により発生する水蒸気等のガスの全量が、熔融炉心に侵入するように保守的なモデルとなっており、熔融炉心内におけるガスと金属との化学反応による水素発生量を化学平衡計算により評価している。

## 3. 追加水素発生による影響評価

格納容器破損モード「水素燃焼」における評価事故シーケンス「大破断LOCA時に低圧注入機能及び高圧注入機能が喪失する事故(AEI)」は、原子炉下部キャビティ水位が高く、かつ、水温が低くキャビティ水の密度が大きいことから、熔融炉心の冷却が促進され、MCCIの観点では厳しくならない。

一方、MCCIの観点で厳しい評価事故シーケンスは、「大破断LOCA時に低圧注入機能、高圧注入機能及び格納容器スプレイ機能が喪失する事故(AED)」である。

このため、水素濃度をより厳しい条件で評価する観点から、表1のとおり、AEDにおいて原子炉下部キャビティ床面での熔融炉心の拡がり小さく、局所的に熔融炉心が堆積するような極端な条件で感度解析を実施し、そこで得られた水素発生量をAEIによる水素濃度評価に足し合わせることで原子炉格納容器内水素濃度評価を実施した。

感度解析の結果を図1及び図2に示す。約19cmのコンクリート侵食が生じ、水素が生成されるが、コンクリート侵食の停止に伴い水素の発生が停止している。水素発生量は表2のとおり、ジルコニウムに起因するものであり、全炉心内のジルコニウム量の約6%が反応している。

このMCCIによる追加水素発生量を加えた場合においても、図3に示すとおり、ドライ条件に換算した水素濃度は約12.3vol%以下となり、13vol%を下回ることを確認した。

以上

表1 感度ケースの解析条件

項目	パラメータ	設定値	設定根拠
基本 ケース	格納容器代替 スプレイ作動	炉心熔融後 30 分	運転員操作余裕時間として設定
	エントレイン メント係数	□	当該変数推奨範囲の最確値
	熔融炉心の 拡がり面積	キャビティ 床面積の 1/1	キャビティ区画床全面とする
	Kutateladze 係数	0.1 (0.8 MW/m <sup>2</sup> 相当 (注))	水による冷却を伴ったデブリと コンクリートの相互作用に関する 実験に基づく値
感度 ケース	格納容器代替 スプレイ作動	炉心熔融後 30 分	運転員操作余裕時間として設定
	エントレイン メント係数	□	当該変数推奨範囲の最大値
	熔融炉心の 拡がり面積	キャビティ床面積の約 1/10 から 落下量に応じて拡大	落下時に細粒化などにより冷却 が進む
	Kutateladze 係数	溶融物存在時 0.1 (0.8 MW/m <sup>2</sup> 相当 (注)) 全体固化時 0.0625 (0.5 MW/m <sup>2</sup> 相当 (注)) コンクリート 15%混入時 0.015625 (0.125 MW/m <sup>2</sup> 相当 (注))	CCI 実験、SSWICS 実験に基づ く熱流束を設定

(注) 大気圧条件

表2 MCCI による水素発生量の推移

時刻		RV 破損前	RV 破損後 30 分	RV 破損後後期
		1.5 時間	2.0 時間	10 時間
MCCI	ジルコニウム	0.0kg (0.0%)	47.5kg (5.4%)	53.0kg (6.0%)
	ステンレス	0.0kg (0.0%)	0.0kg (0.0%)	0.0kg (0.0%)
	小 計	0.0kg (0.0%)	47.5kg (5.4%)	53.0kg (6.0%)

※ ( ) 内は全炉心ジルコニウム量の 100%が反応した場合の水素発生量に対する割合

枠囲いの内容は、機密に属しますので公開できません。

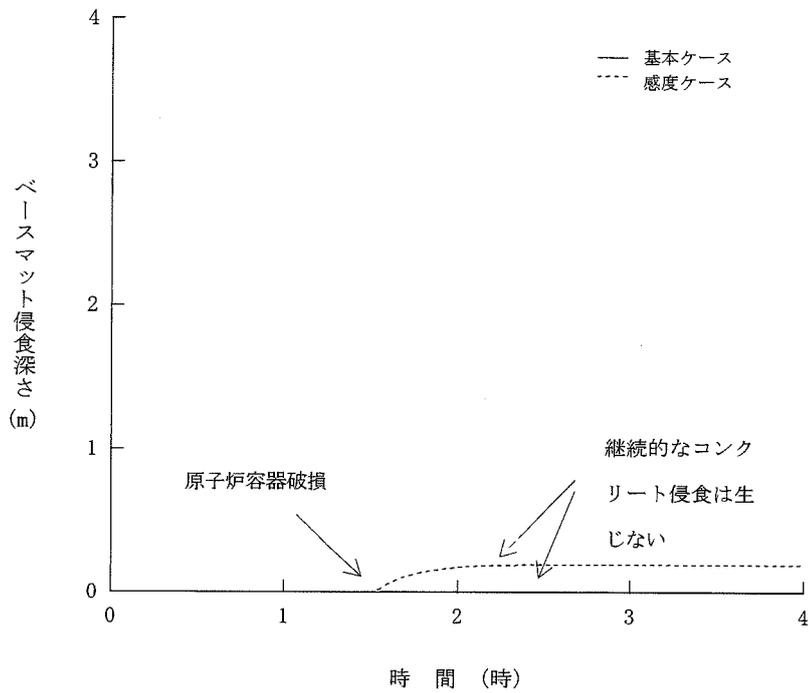


図1 ベースマット侵食深さの推移  
(感度ケースにおける追加水素発生量)

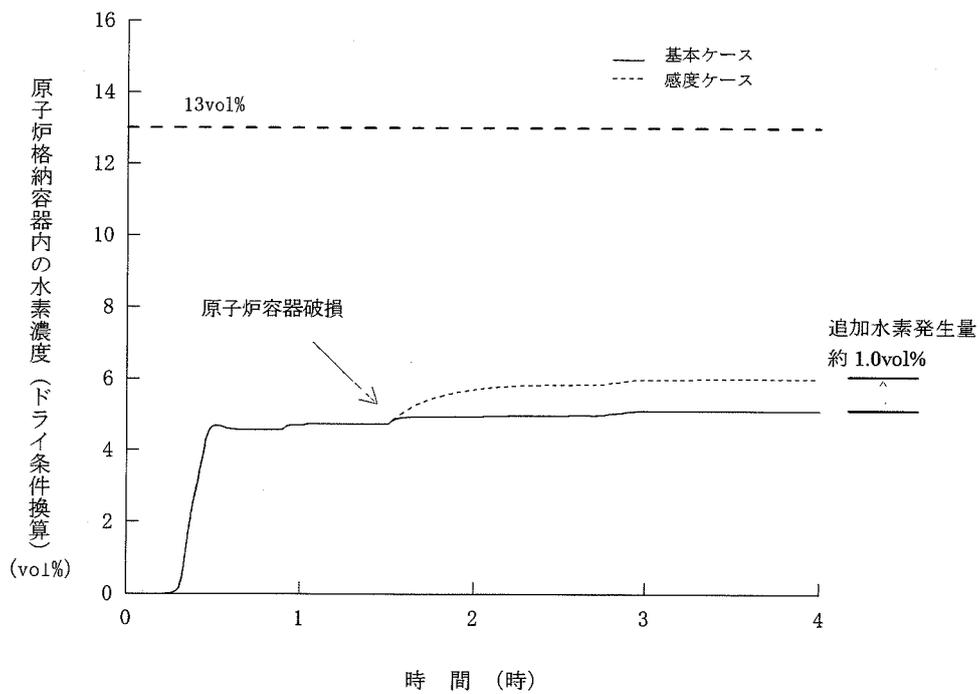


図2 原子炉格納容器内の平均水素濃度 (ドライ) の推移  
(感度ケースにおける追加水素発生量)

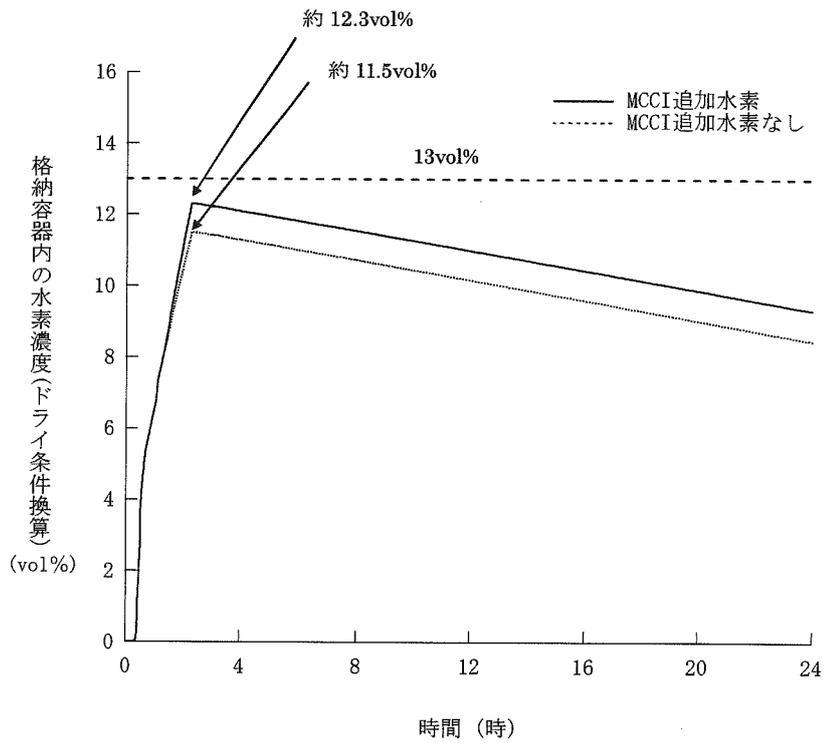


図3 原子炉格納容器内の平均水素濃度（ドライ）の推移

※保守的に、MCCIによる追加発生分に対する水素処理は考慮していない。