

# 島根原子力発電所 2 号炉 水素爆発による原子炉建屋等の損傷を 防止するための設備について

---

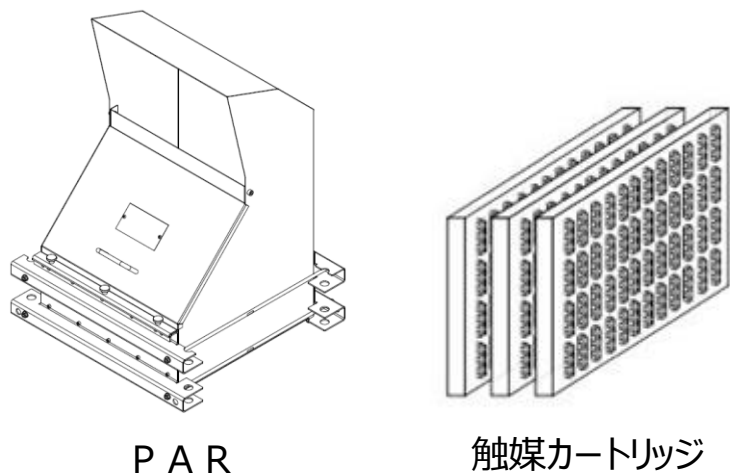
令和 2 年 2 月  
中国電力株式会社

1. 水素爆発による原子炉建屋等の損傷を防止するための設備
2. 前回審査会合時からの変更点
3. 審査会合での指摘事項に対する回答

# 1. 水素爆発による原子炉建屋等の損傷を防止するための設備 (水素濃度制御設備 (1 / 2))

炉心の著しい損傷が発生した場合において、原子炉建物の水素爆発による損傷を防止するため、水素濃度制御設備として静的触媒式水素処理装置（P A R）を設置する。

- P A Rは原子炉格納容器から原子炉棟内に漏えいした水素ガスを触媒反応によって酸素ガスと再結合させる設備。
- P A Rは起動時に運転員による操作の必要が無く、電源が不要。



P A R                      触媒カートリッジ

図1 P A R概要図

表1 P A R設計仕様

項目	仕様
水素処理性能 (kg/h/個)	0.5*
設置個数 (個)	18
最高使用温度 (°C)	300

\*水素濃度4.0vol%, 100°C, 大気圧において

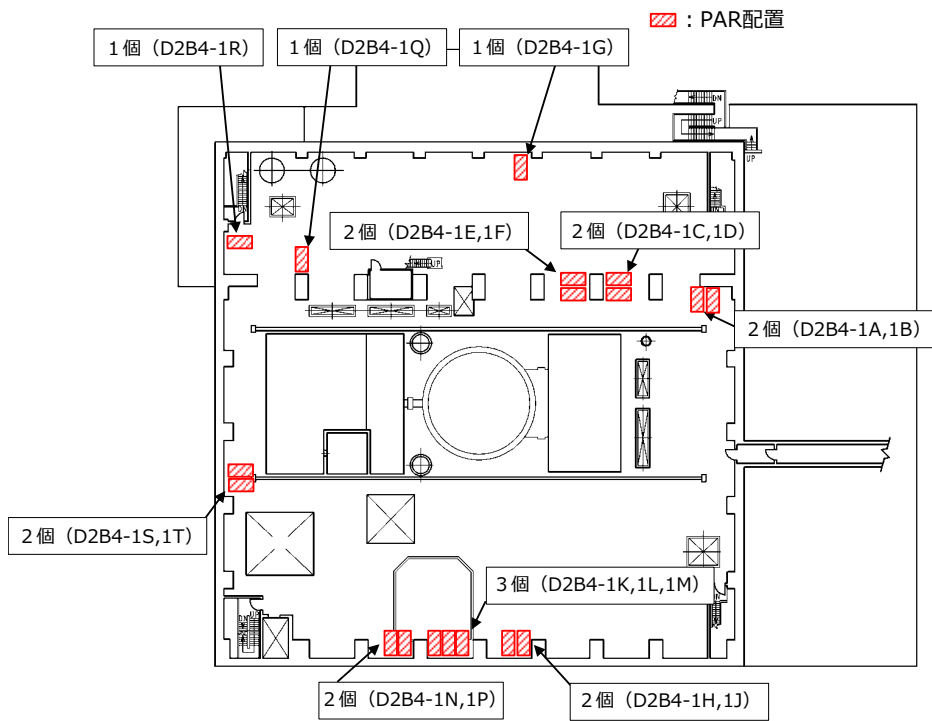


図2 P A R配置図

# 1. 水素爆発による原子炉建屋等の損傷を防止するための設備 (水素濃度制御設備 (2 / 2))

P A Rの作動状態を確認するため、P A R入口温度計及び出口温度計を設置する。

- P A Rの入口側及び出口側の温度計により、P A Rの作動状態を中央制御室から監視可能な設計とする。
- 常設代替直流電源設備又は可搬型直流電源設備から給電が可能な設計とする。
- 18個のP A Rのうち位置的分散を考慮した2個※のP A Rの入口及び出口に熱電対の温度計を設置する。

※ P A R 4 個に設置する予定から2 個に変更

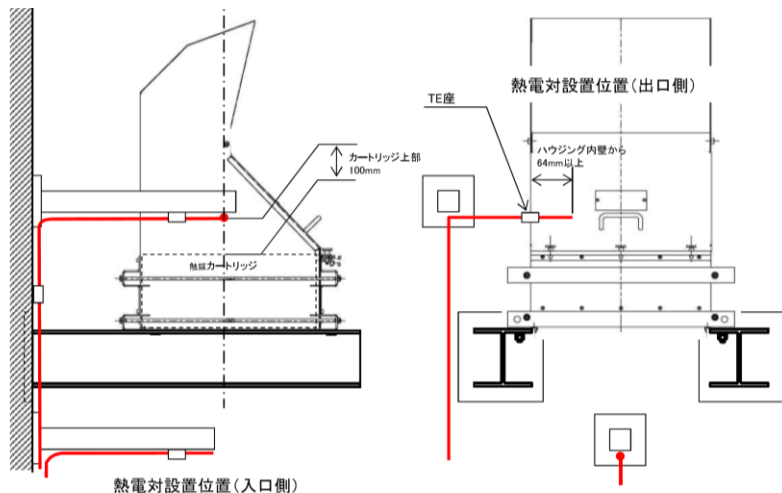


図3 温度計の取付位置概要図

表2 P A R入口温度計及び出口温度計 主要仕様

項目	仕様	
	P A R入口温度	P A R出口温度
検出器の種類	熱電対	
設置個数 (個)	2	2
計測範囲 (℃)	0 ~ 100	0 ~ 400

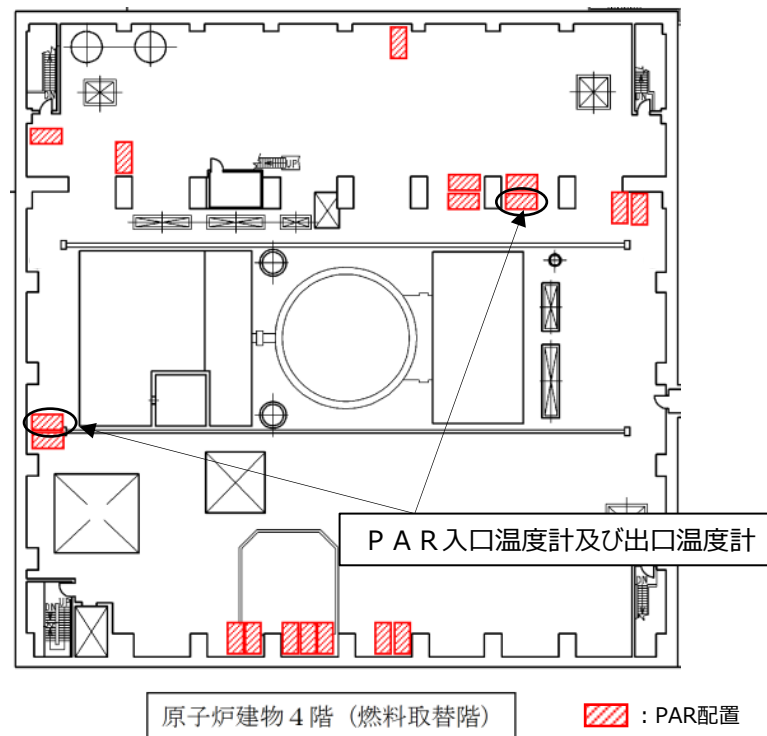


図4 P A R入口温度計及び出口温度計の配置図

# 1. 水素爆発による原子炉建屋等の損傷を防止するための設備 (水素濃度監視設備)

炉心の著しい損傷が発生した場合において、水素濃度が変動する可能性のある範囲で水素濃度を監視することを目的として、原子炉棟内に水素濃度計を設置する。

- 原子炉建物 4 階（燃料取替階）に 2 個設置し、そのうち 1 個は天井付近に設置する。
- 局所エリアに漏えいした水素ガスを計測するため、原子炉建物 1 階、2 階の局所エリア毎に設置する。
- 原子炉建物水素濃度は、中央制御室において連続監視可能な設計とする。
- 常設代替交流電源設備又は可搬型代替交流電源設備から給電が可能な設計とする。

表3 水素濃度計 主要仕様

項目	仕様	
	触媒式	熱伝導式
個数 (個)	1	5
計測範囲 (vol%)	0~10	0~20
設置場所※	原子炉建物 4 階(1)	原子炉建物 4 階 (1) 原子炉建物 2 階 (2) 原子炉建物 1 階 (2)

※ ( ) 内は個数を示す

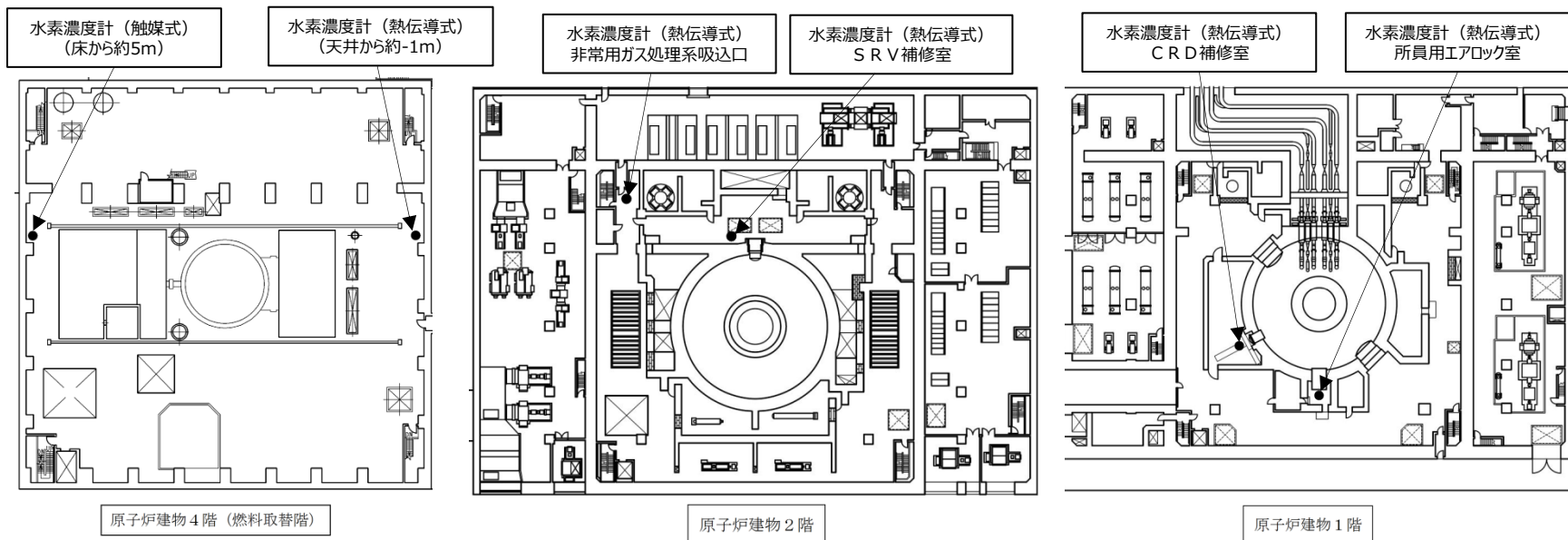


図5 水素濃度計の配置図

## 2. 前回審査会合時からの変更点

- 前回審査会合（第258回（平成27年8月4日））からの主な変更点は以下のとおり。

項目	変更概要
残留熱代替除去系の設置に伴う 水素濃度解析の追加	<p>➤ 有効性評価のうち格納容器過圧・過温破損（大LOCAシナリオ）において、格納容器フィルタベント系を使用する場合に加え、残留熱代替除去系を使用する場合の水素濃度解析を実施した。なお、当該解析の結果、可燃限界未満であることを確認した。</p>
計装設備に関する変更	<p>➤ 燃料取替階（天井付近）及び局所エリアに設置する水素濃度計の位置づけを自主対策設備から重大事故等対処設備に変更した。</p>

### 3. 審査会合での指摘事項に対する回答

No.	審査会合日	指摘事項の内容	回答頁
1	平成27年8月4日	開維持とする機器ハッチについて、開状態の維持が可能であることと、工認対象とするかを含めて整理すること。	7
2	平成27年8月4日	P A R 設置時の検査として、触媒の重量検査だけで性能が担保されるのか説明すること。	8
3	平成27年8月4日	P A R の触媒の活性が失われないことを説明すること。	9
4	平成27年8月4日	設置台数の算出根拠について、整理して説明すること。	10～13
5	平成27年8月4日	GOTHICコードを用いた水素挙動解析に係る原子炉建屋の解析モデルにおいて、ウェル注水していることの考慮の必要性について説明すること（水蒸気の影響等）。	14
6	平成27年8月4日	自主的設備を含めた水素漏えい時の対策の全体像を説明すること。	15

### 3. 審査会合での指摘事項に対する回答(No. 1)

#### ■ 指摘事項（審査会合 平成27年8月4日）

開維持とする機器ハッチについて，開状態の維持が可能であることと，工認対象とするかを含めて整理すること。

#### ■ 回答

➤ 島根2号炉において，水素の流路となる機器ハッチとしては，原子炉建物大物搬入口及びトラス室上部ハッチが該当するが，ハッチをグレーチングとしているため，通常運転中に地震が発生しても閉鎖しない。

なお，原子炉建物大物搬入口及びトラス室上部ハッチに係る記載については，詳細設計段階において検討する。



図1-1 原子炉建物大物搬入口



図1-2 トラス室上部ハッチ



### 3. 審査会合での指摘事項に対する回答(No. 2)

- 指摘事項（審査会合 平成27年8月4日）  
P A R 設置時の検査として，触媒の重量検査だけで性能が担保されるのか説明すること。
- 回答
  - 静的触媒式水素処理装置（P A R）の水素処理性能は，触媒性能，触媒の接触面積及び内部を通過するガス流量によって決まるため，設置時において性能確保に必要となる項目を確認する。

表2-1 P A Rの性能確保に必要な確認項目

性能因子	確認項目	確認方法
触媒性能	触媒製造時の品質管理 触媒の劣化	<ul style="list-style-type: none"> <li>・封入される触媒の粒径，触媒表面積および材料成分の確認</li> <li>・検査装置による水素処理機能検査 (水素処理量に応じた温度上昇率の確認)</li> </ul>
触媒の 接触面積	触媒カートリッジの寸法，配置	<ul style="list-style-type: none"> <li>・カートリッジ寸法，配置が設計通りであることを確認</li> </ul>
	触媒に接触する実効的な流路長さ	<ul style="list-style-type: none"> <li>・外観上，触媒粒がカートリッジ満杯であることを確認</li> <li>・封入される触媒重量の確認</li> </ul>
内部を通過 するガス流量	ハウジング形状	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ハウジング形状が設計通りであることを確認</li> </ul>

### 3. 審査会合での指摘事項に対する回答(No. 3)

- 指摘事項（審査会合 平成27年8月4日）  
P A Rの触媒の活性が失われないことを説明すること。
- 回答
  - 供用開始後において、P A Rを設置する原子炉建物4階（燃料取替階）内の雰囲気環境は空気、室温条件であり、化学薬剤等の触媒活性を低下させるような要因はなく、雰囲気環境は触媒にとって良好であり、触媒活性の低下は無いものとする。
  - なお、以下に示す専用の検査装置にて触媒活性の健全性を定期的に確認する。

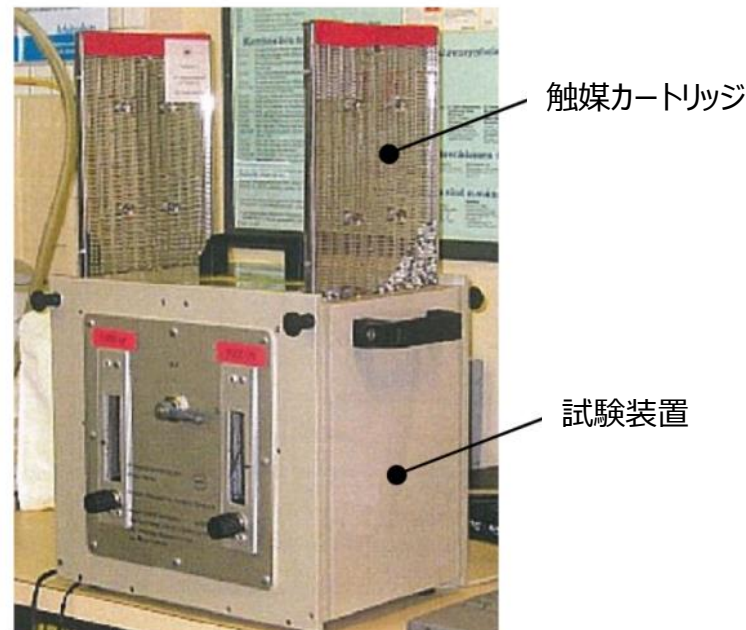


図3-1 検査装置外観

### 3. 審査会合での指摘事項に対する回答(No.4)(1/4)

- 指摘事項（審査会合 平成27年8月4日）  
設置台数の算出根拠について，整理して説明すること。

- 回答

- P A Rの設置個数は，原子炉格納容器からの水素ガス漏えい量に対して，P A Rの水素処理容量が上回るように仮設定し，その設置個数及び設置箇所において，水素濃度解析（GOTHIC解析）を実施し，「原子炉棟内で水素濃度が可燃限界未満となること」及び「水素濃度に偏りが無いこと」を確認し，P A Rの設置個数及び設置箇所を決定している。

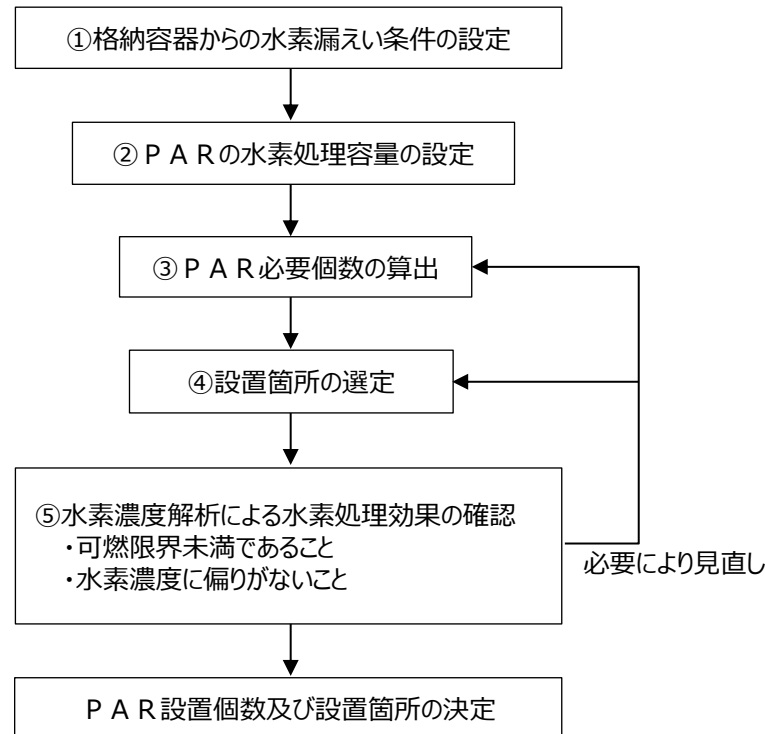


図4-1 P A Rの設計フロー図

### 3. 審査会合での指摘事項に対する回答(No.4)(2/4)

■ 回答 (つづき)

➤ P A Rの設計フロー図の各ステップにおける具体的な考え方は以下のとおり。

表4-1 必要個数評価条件

フロー図のステップ	項目	評価条件	設定理由
① 格納容器からの水素漏えい条件の設定	水素発生量	1,000kg	有効性評価における水素ガス発生量を包絡する値として設定 (燃料有効部被覆管100%のジルコニウム全量のジルコニウム-水反応により発生する水素量)
	格納容器漏えい率	10%/日	2Pdにおける原子炉格納容器漏えい率約1.3%/日に余裕を考慮して設定
② P A Rの水素処理容量の設定	設計水素処理容量	0.25kg/h/個	性能評価式より算出

【性能評価式】

$$DR = A \cdot \left( \frac{C_{H_2}}{100} \right)^{1.307} \cdot \frac{P}{T} \cdot 3,600 \cdot SF \cdot F_i$$

DR : 水素処理容量 (kg/h/個)

A : 定数

C<sub>H2</sub> : P A R入口水素濃度 (vol%)

P : 圧力 (10<sup>5</sup>Pa)

T : 温度 (K)

SF : スケールファクタ (-)

F<sub>i</sub> : 反応阻害物質ファクタ (-)

③ P A R必要個数の算出

$$= \text{水素発生量} \times \text{格納容器漏えい率} / 24(\text{h/日}) / \text{設計水素処理容量}$$

$$= 1,000(\text{kg}) \times 10(\%/日) / 24(\text{h/日}) / 0.25(\text{kg/h/個}) = 16.7\text{個}$$

①～③より, P A Rの必要個数は17個以上となり, 余裕を考慮して設置個数を18個と仮設定する。

#### ■ 回答（つづき）

#### ④ P A R 設置場所

##### 【基本的な考え方】

- 原子炉棟内に漏えいした水素は、比重の関係で原子炉建物4階（燃料取替階）に上昇する。
- 原子炉建物4階（燃料取替階）の水素挙動としては、格納容器から漏えいした高温の気体及びP A Rの再結合処理に伴う高温の排気による上昇流と、上昇した気体が天井および側壁にて冷却されることで発生する下降流により、原子炉建物4階（燃料取替階）の雰囲気全体を混合する自然循環流が生じ、水素濃度はほぼ均一になる。
- P A Rを天井付近に設置した場合、床面付近にP A Rを設置した場合と比較して、再結合処理に伴う排気による上昇流の天井までの移動距離が短くなるため、原子炉建物4階（燃料取替階）の自然循環流が弱まる。その結果、高温の排気が天井付近に留まりやすくなることが予想され、さらに高温の排気がP A R設置レベルまで到達すると、P A R周辺の水素濃度が低くなるため、再結合処理量が低下する可能性がある。

以上より、原子炉建物4階（燃料取替階）の比較的下層部へP A Rを設置する方がより確実に再結合処理を行えるものとし、以下の考慮事項も踏まえ、P A Rの設置場所を選定する。

##### 【考慮事項】

- 支持構造物に十分な強度をもって固定できること
- P A Rの給排気に十分な空間があること
- 結合反応時に発生する熱の影響により周囲に安全機能を損なう設備が無いこと
- 通行や点検作業の支障とならないこと

# 3. 審査会合での指摘事項に対する回答(No.4)(4/4)

## ■ 回答 (つづき)

### ⑤ 水素濃度解析 (GOTHIC解析) による水素処理効果の確認

①～④を基に, 原子炉棟内における水素濃度解析を行った結果, 原子炉棟内の水素濃度が可燃限界 (4%) 未満になること及び原子炉建物 4 階 (燃料取替階) の水素濃度に偏りが無いことを確認した。

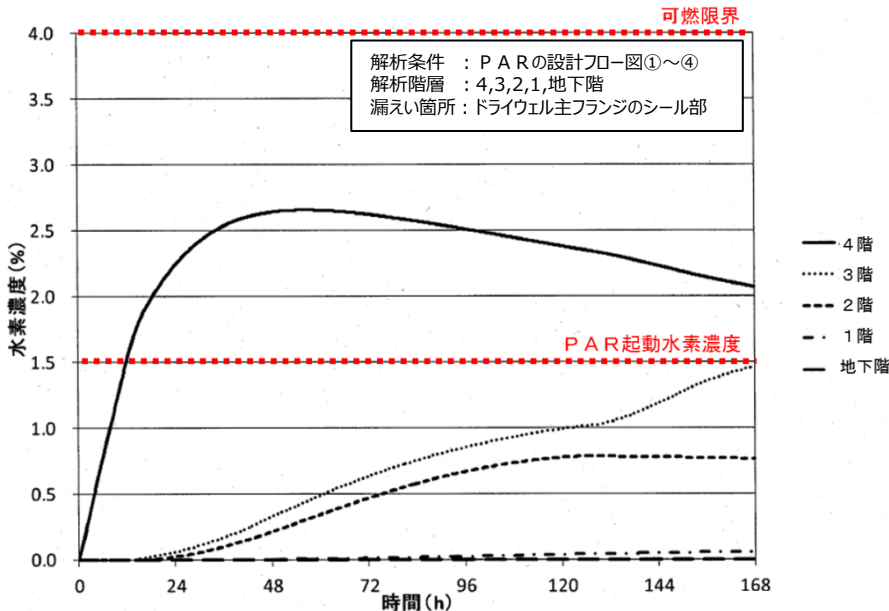


図4-2 各フロアの水素濃度の時間変化

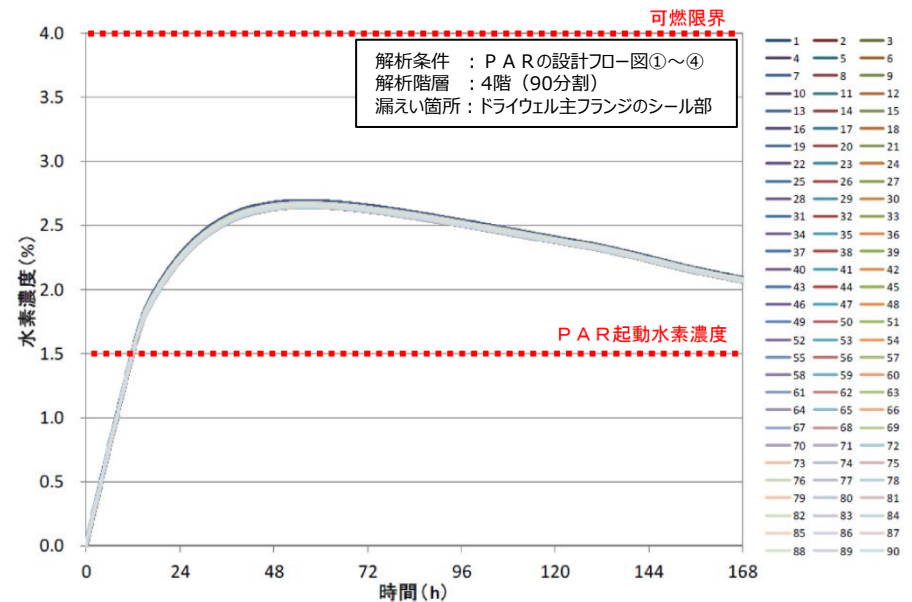


図4-3 原子炉建物 4 階 (燃料取替階) の水素濃度の時間変化

以上の①～⑤結果より, P A R の設置個数 ( 1 8 個) 及び設置箇所を決定している。

### 3. 審査会合での指摘事項に対する回答(No. 5)

#### ■ 指摘事項（審査会合 平成27年8月4日）

GOTHICコードを用いた水素挙動解析に係る原子炉建屋の解析モデルにおいて、ウェル注水していることの考慮の必要性について説明すること（水蒸気の影響等）。

#### ■ 回答

- 原子炉ウェルへの注水に伴い、原子炉ウェルに溜まった水が蒸発し、原子炉建物4階（燃料取替階）へ水蒸気が発生する場合の水素濃度解析を実施した。
- 原子炉ウェルの水が蒸発し、水蒸気が発生したことで、下層階に漏えいした水素ガスの原子炉建物4階（燃料取替階）への流入が緩やかになる一方で、下層階は水素濃度が上昇するが、いずれの階層も可燃限界未満となることを確認した。

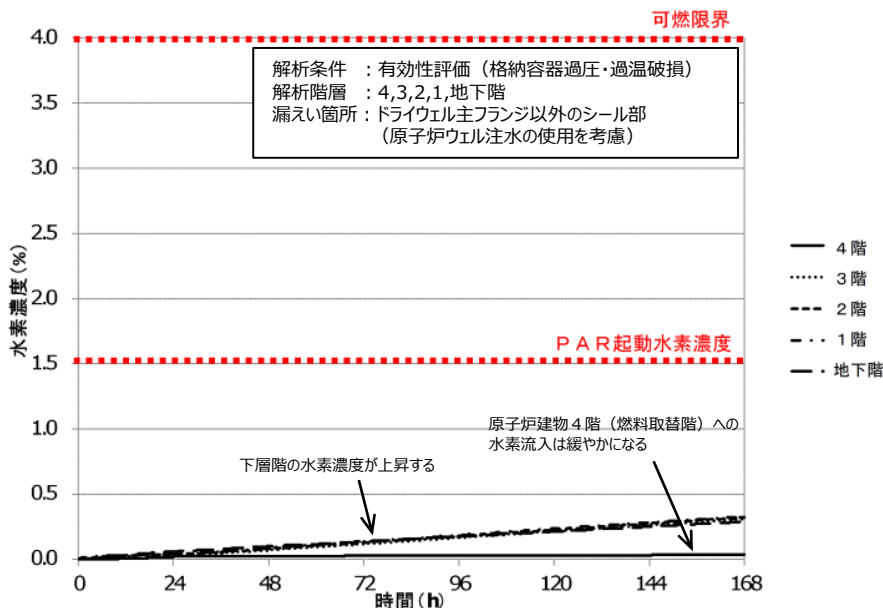


図5-1 各フロアの水素濃度の時間変化  
(残留熱代替除去系を使用する場合)

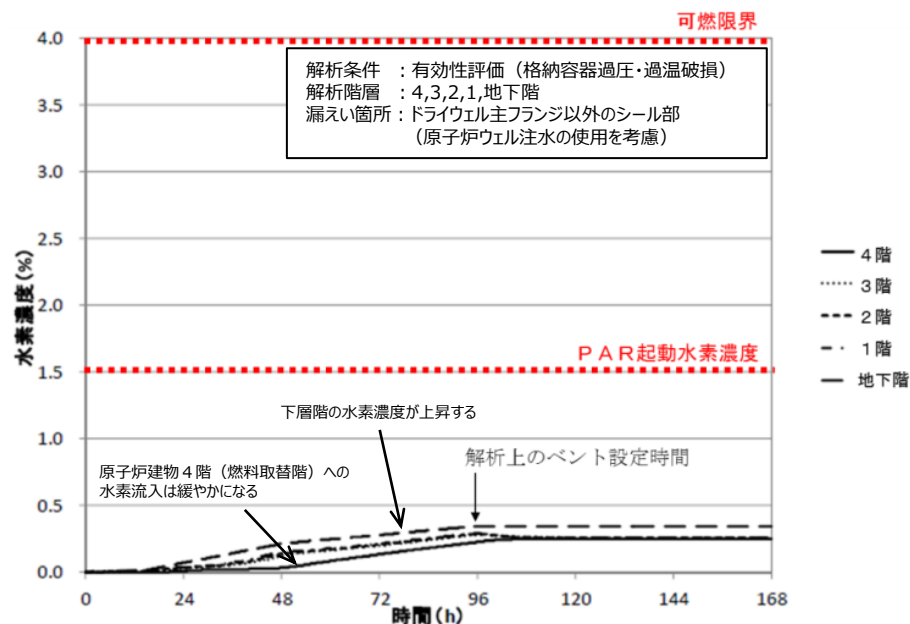


図5-2 各フロアの水素濃度の時間変化  
(残留熱代替除去系を使用しない場合)

### 3. 審査会合での指摘事項に対する回答(No. 6)

- 指摘事項（審査会合 平成27年 8月4日）  
自主的設備を含めた水素漏えい時の対策の全体像を説明すること。

- 回答

- 原子炉格納容器内で発生した水素ガスが原子炉棟内に漏えいした場合に備え、下図に示すフローのとおり対策を実施する。また、各対策の概要は以下のとおりである。

① 静的触媒式水素処理装置（P A R）

原子炉棟内に漏えいした水素ガス进行处理する。

② 格納容器フィルタベント系

原子炉格納容器からの異常な漏えいが発生した場合は、格納容器ベントを実施することで原子炉棟への水素ガス漏えいを抑制する。

③ 原子炉建物燃料取替階ブローアウトパネル（自主対策設備）

格納容器ベント実施後、原子炉建物内の水素濃度が低下しない場合は、原子炉建物ブローアウトパネルを開放することで水素濃度の上昇を抑制する。

④ 原子炉ウエル代替注水系（自主対策設備）

原子炉ウエルに注水し、格納容器外側からドライウエル主フランジを冷却することで水素ガス漏えいを抑制する。

⑤ 非常用ガス処理系の停止

非常用ガス処理系吸込口付近の水素濃度が上昇した場合は、非常用ガス処理系を停止することで系統内での水素爆発を防止する。

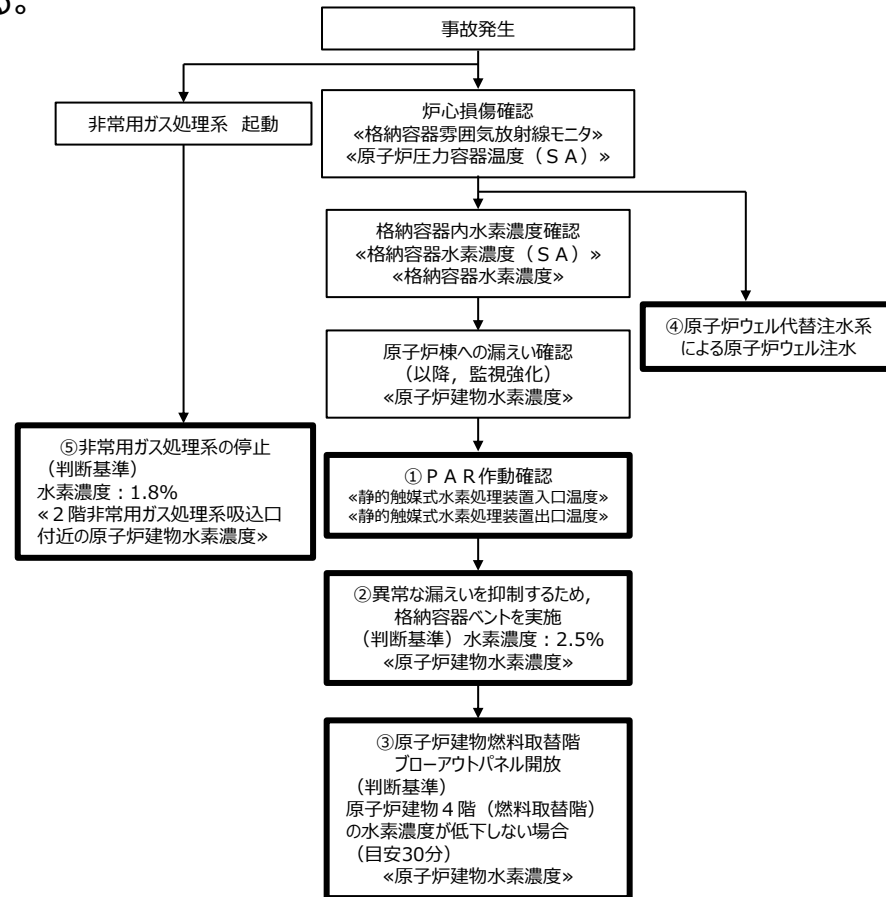


図6-1 水素漏えい時の対策