

島根原子力発電所2号炉 審査資料	
資料番号	EP-060改44(説8)
提出年月日	令和2年5月14日

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 (コメント回答)

令和2年5月
中国電力株式会社

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
7	令和2年2月6日	水素が建屋内でどのように流れるかを踏まえて、P A Rの設置場所の考え方について説明すること。	2～5
8	令和2年2月6日	各サブボリュームに設置されているP A Rの設置箇所には、設置個数の偏りがあるため、設置箇所及び解析モデルの妥当性について、検討過程を含めて説明すること。	2～5
9	令和2年2月6日	局所漏えいを考慮して設置するとしている原子炉建屋水素濃度計について、サプレッションチェンバ・アクセスハッチに設置しない考え方を説明すること。	6
10	令和2年2月6日	反応阻害物質ファクタの評価について、格納容器から漏えいする粒子状放射性物質や一酸化炭素等による触媒性能への影響も含めて整理すること。	7～8
11	令和2年2月6日	自主対策であるB O P開放の目的、想定外の水素濃度上昇に対する自主対策を整理して説明すること。	9
12	令和2年2月6日	原子炉棟3階の水素濃度が上昇継続しているが、その後の事象収束について整理して説明すること。	10

■ 指摘事項 (第832回審査会合 令和2年2月6日)

- 水素が建屋内でどのように流れるかを踏まえて、P A Rの設置場所の考え方について説明すること。
- 各サブボリュームに設置されているP A Rの設置箇所には、設置個数の偏りがあるため、設置箇所及び解析モデルの妥当性について、検討過程を含めて説明すること。

■ 回答

(1) P A R設置箇所の考え方 (階層)

- 原子炉格納容器の各ハッチ等から漏えいした水素を含む高温のガスは、図7-1に示すとおり、原子炉建物4階(燃料取替階)に上昇すると考えられることから、燃料取替階にP A Rを設置する。

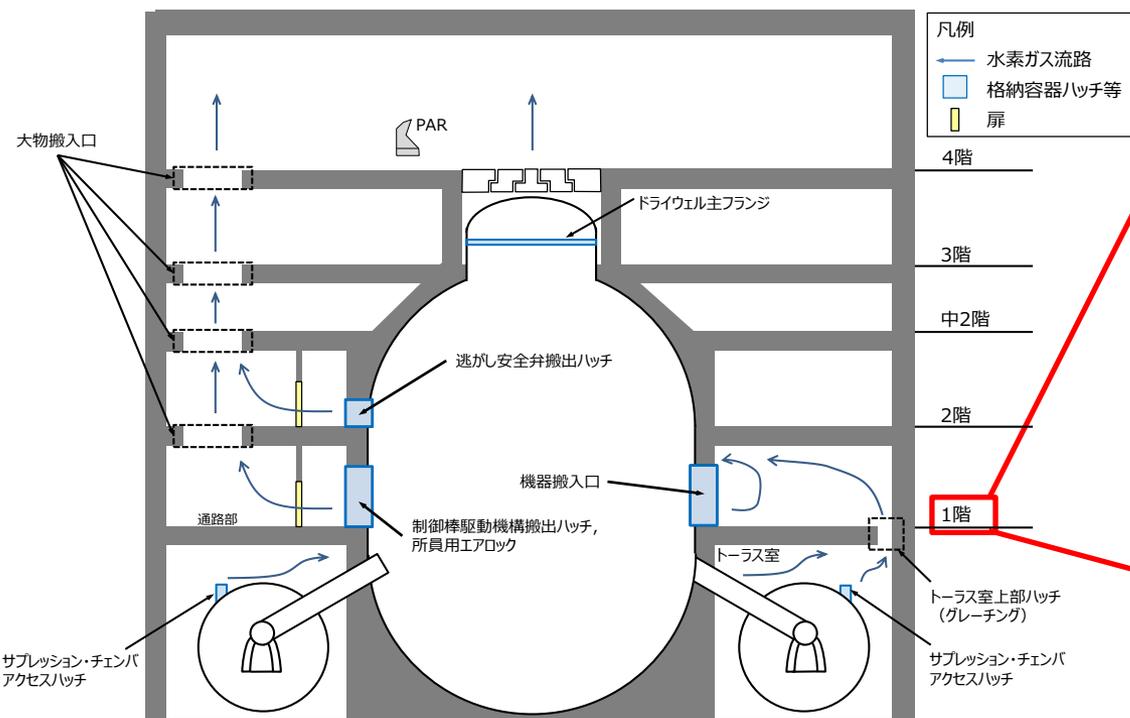


図7-1 水素ガス流路のイメージ図 (原子炉建物 (断面図))



図7-2 水素ガス流路のイメージ図 (原子炉建物1階 平面図)

■ 回答 (続き)

(2) P A R設置箇所の考え方 (高さ方向)

- 電共研※において、P A Rを燃料取替階の下層部に設置した場合と上層部に設置した場合の解析を実施している。解析モデル及び解析結果を図7-3に示す。
- 図中(1)に示すとおり、P A Rを下層部に設置した場合、原子炉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及び側壁にて冷却されることで発生する下降流により、燃料取替階の雰囲気全体を混合する自然循環流が生じ、水素濃度がほぼ均一になっていることがわかる。
- 一方、P A Rを上層部に設置した場合は、図中(2)に示すとおり、P A Rの再結合処理に伴う排気による上昇流は天井までの移動距離が短くなり、燃料取替階の自然循環流が弱まるため、高温かつ水素濃度の低いP A Rの排気ガスが天井付近に蓄積し、温度成層効果により原子炉格納容器から漏えいした水素の上昇が抑制され、P A R下端レベルより下側に高濃度の水素が蓄積する結果となっていることがわかる。
- 以上のことから、高さ方向のP A Rの設置箇所は、より自然循環流が発生しやすい燃料取替階の下層部へ設置することとする。

※電共研「シビアアクシデント時の水素処理技術の開発」(平成26年3月)

■ 回答 (続き)

(3) P A R設置箇所の考え方 (水平方向)

- 燃料取替階の下層部について、現場調査した結果、図7-4に示す着色部については下記①～③の理由で、設置困難箇所であることを確認した。

<設置困難箇所の理由>

① 定期検査等において、通行や他設備の点検作業の支障となる。(図中 部)

② 水素濃度、放射線量の監視の支障となる。(図中 部)

③ 冷却機等の既存設備に干渉する。(図中 部)

- 設置困難箇所以外から、P A Rの点検スペースが比較的確保しやすい箇所を抽出した上で、燃料取替エリアと原子炉補助エリアの空間容積比を考慮した台数のP A Rを可能な範囲で分散配置させるように設置箇所を選定した。

<凡例>

- : P A R設置箇所
- : P A Rの点検スペースが比較的確保しやすい箇所
- : P A Rの点検スペースが確保しにくい箇所

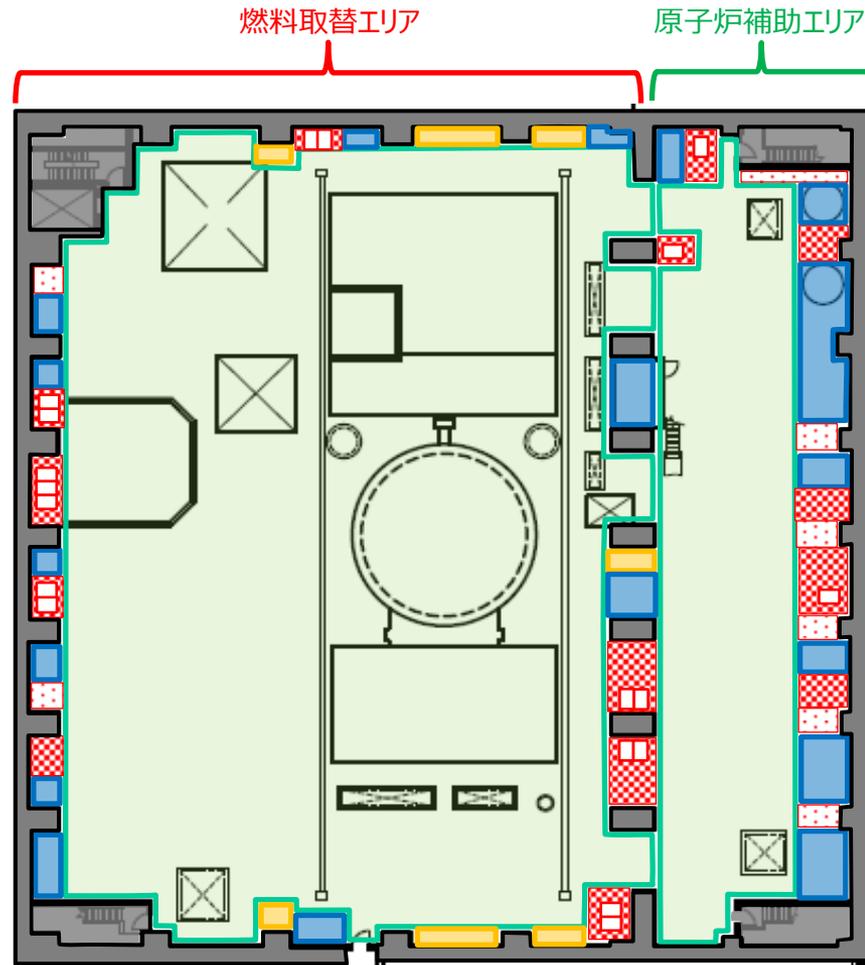


図7-4 現場調査結果 (燃料取替階)

■ 回答 (続き)

(4) 解析モデル設定の考え方

- 燃料取替階の形状を踏まえたサブボリュームの分割の考え方を表7-1に示す。また、表7-1の考え方に基づき設定した解析モデルを図7-5に示す。

表7-1 サブボリューム分割の考え方

水平方向 (第1,2層)	高さ方向 (断面図)



図7-5 解析モデル

上記(1)～(3)に基づきP A Rを設置し、(4)の解析モデルに基づき水素濃度解析を実施した結果、燃料取替階における水素濃度は可燃限界未満になることを確認したことから、P A R設置箇所は妥当であると考える。

- 指摘事項（第832回審査会合 令和2年2月6日）
局所漏えいを考慮して設置するとしている原子炉建屋水素濃度計について、サブプレッションチェンバ・アクセスハッチに設置しない考え方を説明すること。
- 回答
- トーラス室上部ハッチ（グレーチング）は常時開口しており、トーラス室の雰囲気は原子炉建物の上階に流れ水素が滞留することはない、上階の局所エリア以外と同様、最終的に原子炉建物4階に到達することから、トーラス室は局所エリアとみなさず水素濃度計を設置しない設計としていた。
- トーラス室の水素濃度は可燃限界未満となることは解析でも確認しているものの、PCVから漏えいした水素ガスを早期検知することは、水素爆発による原子炉建物の損傷を防止するために有益な情報となることから、サブプレッション・チェンバアクセスハッチが設置されているトーラス室にも水素濃度計を設置し、事故時の監視機能を向上させる設計に変更する。
- トーラス室の水素ガスの挙動としては、原子炉格納容器から漏えいした高温の気体による上昇流と、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、トーラス室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と考えられるため、計器配置上の制約はない。ただし、影響は小さいもののトーラス室上部ハッチの近傍は開口部での対流により水素濃度の低い上階雰囲気の流入が考えられるため、図9-1に示す開口部の対角位置に水素濃度計を1台設置する。

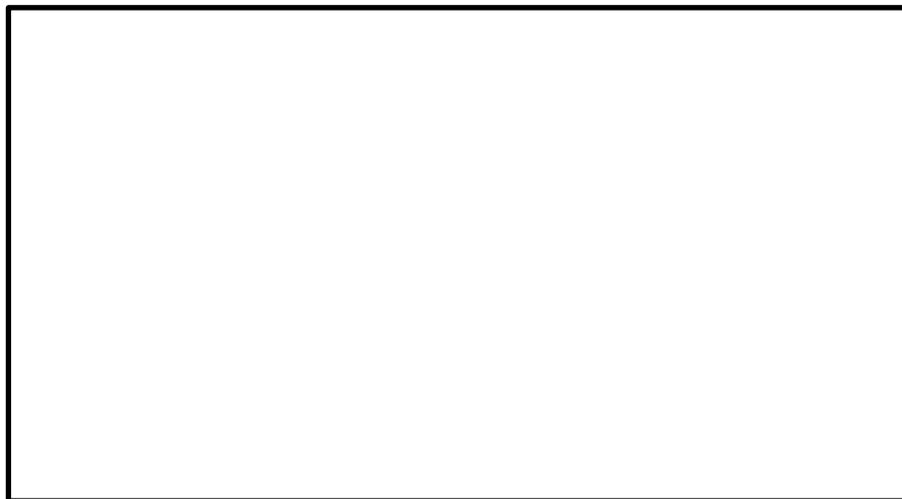


図9-1 トーラス室水素濃度計の設置場所

■ 指摘事項 (第832回審査会合 令和2年2月6日)

- 反応阻害物質ファクタの評価について、格納容器から漏えいする粒子状放射性物質や一酸化炭素等による触媒性能への影響も含めて整理すること。

■ 回答

- 炉心損傷を伴う重大事故等時において、原子炉格納容器内に一酸化炭素、よう化セシウム等の粒子状物質、ガス状よう素等が発生する。これらが原子炉棟へ漏えいした場合、P A Rの触媒性能に影響を与える可能性があるため、影響評価を行った。
- 以下のとおり、ガス状よう素等による触媒性能への影響は小さいと考えるが、ガス状よう素による触媒の性能低下に余裕を考慮し、反応阻害物質ファクタを0.5 (50%のP A R性能低下) と設定している。

(1) 一酸化炭素

- ・ M C C Iにより発生する一酸化炭素は、燃料取替階に全量漏えいすることは考え難いが、仮にP A Rの触媒に対して最も厳しい条件である燃料取替階へ全量漏えいしたとした場合、一酸化炭素濃度は 約 $1.5 \times 10^{-4} \text{kg/m}^3$ である。
- ・ S N E 試験※では、一酸化炭素濃度 で触媒性能への影響を確認しており、P A R性能低下は であることを確認している。
- ・ 試験条件と比べて、島根2号炉で想定される一酸化炭素濃度は十分に低く、触媒性能への影響は小さいと考える。

※Southern Nuclear Engineering試験

■ 回答 (続き)

(2) ガス状よう素

- ・ ガス状よう素は、原子炉格納容器内での沈着や原子炉格納容器スプレイにより除去されることから、原子炉棟への漏えい量は少なく、燃料取替階に全量漏えいすることは考え難いが、仮にP A Rの触媒に対して最も厳しい条件である燃料取替階へ全量漏えいとした場合、ガス状よう素濃度は、約11mg/m³となる。
- ・ よう素による触媒性能への影響を確認したBattelle MC試験※は、ガス状よう素濃度 約300mg/m³ で実施しており、P A Rの性能が 約25% 低下していることを確認している。
- ・ 試験条件と比べて、島根2号炉で想定されるガス状よう素濃度は十分に低く、触媒性能への影響は小さいと考える。

※Battelle Model Containment試験

(3) 粒子状物質

- ・ 粒子状物質は、原子炉格納容器内での沈着や原子炉格納容器スプレイによりほぼ除去されることから、原子炉棟への漏えい量はごく少量と考えられる。また、触媒の性能低下は、粒子状物質によるパラジウムの物理的閉塞により発生するものであり、以下2点の理由により、触媒性能への影響は小さいと考える。

(図10-1参照)

- ① P A R内部 (カートリッジ間) に発生する上昇気流により、P A Rの下部から上部へ運ばれる粒子状物質は、触媒カートリッジを鉛直に設置することで、拡散しやすいガス状物質とは異なり、触媒面への付着 (触媒性能低下) が抑制される。
- ② カートリッジ内部には触媒を充填しているため、水素及び酸素に比べて粒径が大きい粒子状物質は、開口部近傍の触媒面に付着するが、粒径が小さい水素及び酸素は、より内側の触媒面にて反応するため、触媒性能は低下しにくい構造となっている。

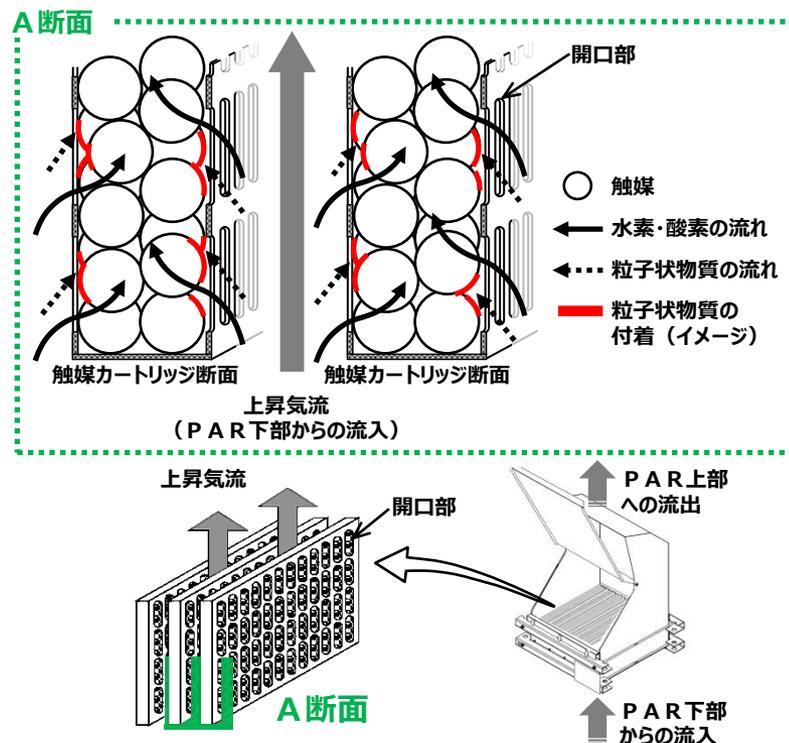


図10-1 触媒カートリッジへの流入概略図

審査会合での指摘事項に対する回答(No.11)

- 指摘事項（第832回審査会合 令和2年2月6日）
自主対策であるBOP開放の目的，想定外の水素濃度上昇に対する自主対策を整理して説明すること。

■ 回答

- 原子炉建物燃料取替階ブローアウトパネル（以下、「BOP」という）開放は，図11-1に示すとおり，PARによる水素処理および格納容器ベントを実施してもなお，水素濃度が低下しない場合に実施し，更なる水素濃度の低減を図る目的で実施する。
- 図11-2にBOP開放による燃料取替階の水素濃度の時間変化を示す。格納容器ベントの判断基準である水素濃度2.5%から，BOP開放の判断及び準備時間を踏まえても，可燃限界到達までには十分に時間的余裕があることから，BOPの開放操作は可能であり，BOP開放後は燃料取替階の水素濃度の低減が期待できる。

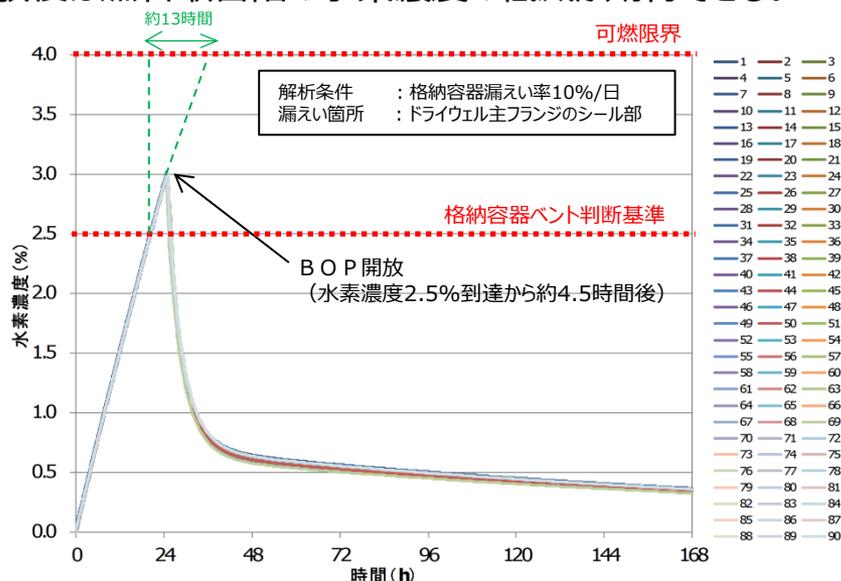


図11-2 BOP開放による水素濃度の時間変化
(PAR及び格納容器ベント不作動時)

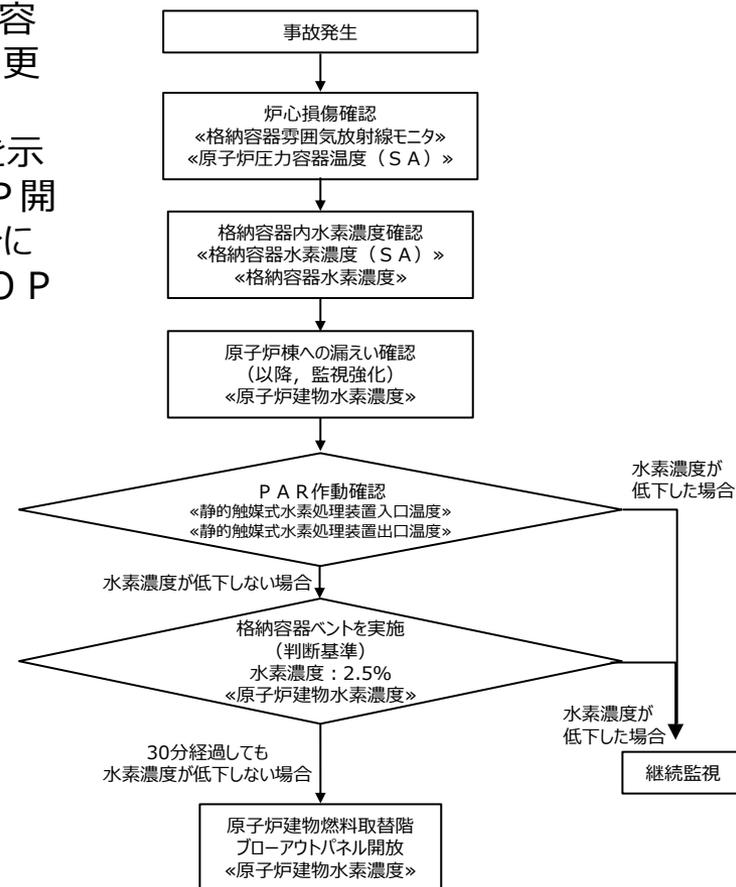


図11-1 水素漏えい時の対策フロー

- 指摘事項 (第832回審査会合 令和2年2月6日)
原子炉棟3階の水素濃度が上昇継続しているが、その後の事象収束について整理して説明すること。

- 回答

- 168時間以降の解析結果を追加した各フロアの水素濃度の時間変化を図12-1に示す。原子炉建物3階の水素濃度について、事象発生から約192時間までは水素濃度が上昇傾向を示しているが、約192時間以降は上昇傾向が緩やかになり、水素濃度はほぼ一定に推移することを確認している。

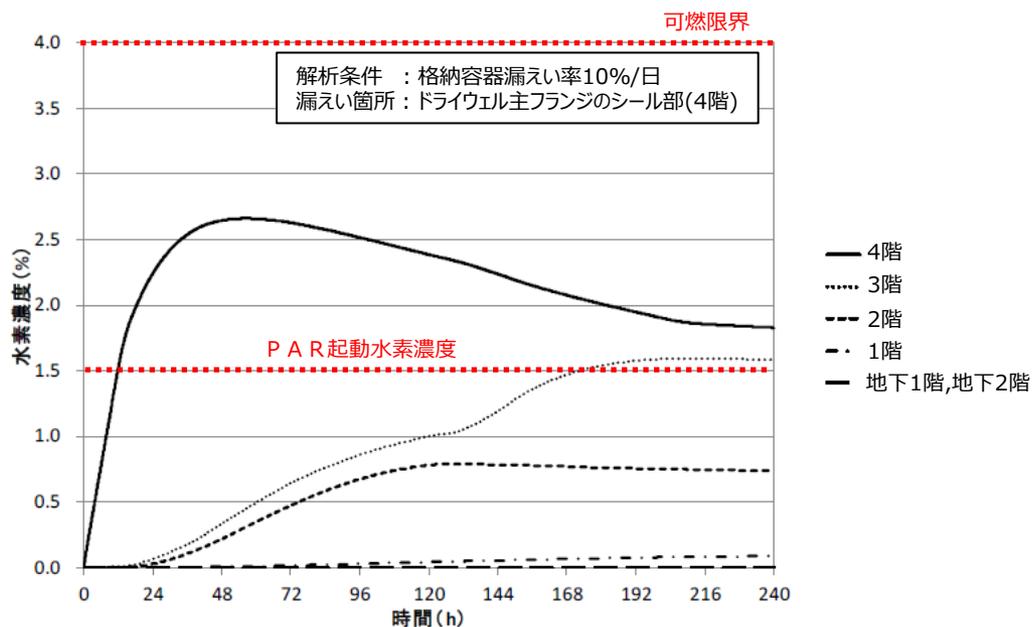


図12-1 各フロアの水素濃度の時間変化