

柏崎刈羽原子力発電所 7号機 原子炉建屋内水素挙動解析モデル設定誤りについて

東京電力ホールディングス株式会社

枠囲みの内容は、機密事項に属しますので公開できません。

TEPCO

- 7号機 設工認 補足説明資料※(2019年10月 ご提出済)のR/B局所エリア水素挙動解析において、受注者にて実施した解析モデルの設定に誤りがあることを確認した。
- いずれも、実際よりも局所エリアから水素が抜けやすくなる方向の誤りであった。
- 保安規定 補足説明資料にてご説明済のR/B局所エリア水素挙動解析においても、設工認 補足説明資料と同じ解析モデルを用いている。

※:設工認の申請書類ではなく、ヒアリング時の説明資料にあたるもの

【7号機 設工認 補足説明資料(R/B局所エリア水素挙動解析)の経緯】

- 重大事故時に原子炉格納容器から漏れ出た水素が、原子炉建屋内の局所エリアで水素濃度の可燃限界に至らないことを解析により確認するため、委託により解析を依頼。
- 解析のモデル化は、図面から読み取りにより実施すると共に、図面から読み取れない寸法について現場調査にて計測して実施。(当社、受注者の合同調査)

＜当該作業の時系列＞

- ・2018.11:契約
- ・2018.12:現場確認資料(計画書)【受注者作成・発行⇒当社受領】
- ・2019.1:現場調査実施【当社及び受注者合同調査】
- ・2019.1:現場確認資料(報告書)【受注者作成・発行⇒当社受領】
- ・2019.1:モデル化等解析作業開始【受注者】
- ・2019.7:解析結果受領【受注者作成・発行⇒当社受領】
- ・2019.8:解析実施状況調査【受注者に対し当社が調査実施】
- ・2019.10:K7設工認補足説明資料としてNRA提出【当社】

(1) 空調系の給気ダクト・排気ダクトの設置高さ誤り

(1)-1 【上部D/W機器搬入用ハッチ室】 排気ダクト設置高さ設定誤り（実際より400mm高い位置に設定）

- ・水素排出経路となる排気ダクトの設置高さを [] とすべきところ、 [] と誤った値に設定して解析モデルを作成。（図1）

(1)-2 【S/C出入口室】 排気ダクト設置高さ設定誤り（実際より225mm高い位置に設定）

- ・水素排出経路となる排気ダクトの設置高さを [] とすべきところ、 [] と誤った値に設定して解析モデルを作成。（図2）



図1 上部D/W機器搬入用ハッチ室 モデル概略図

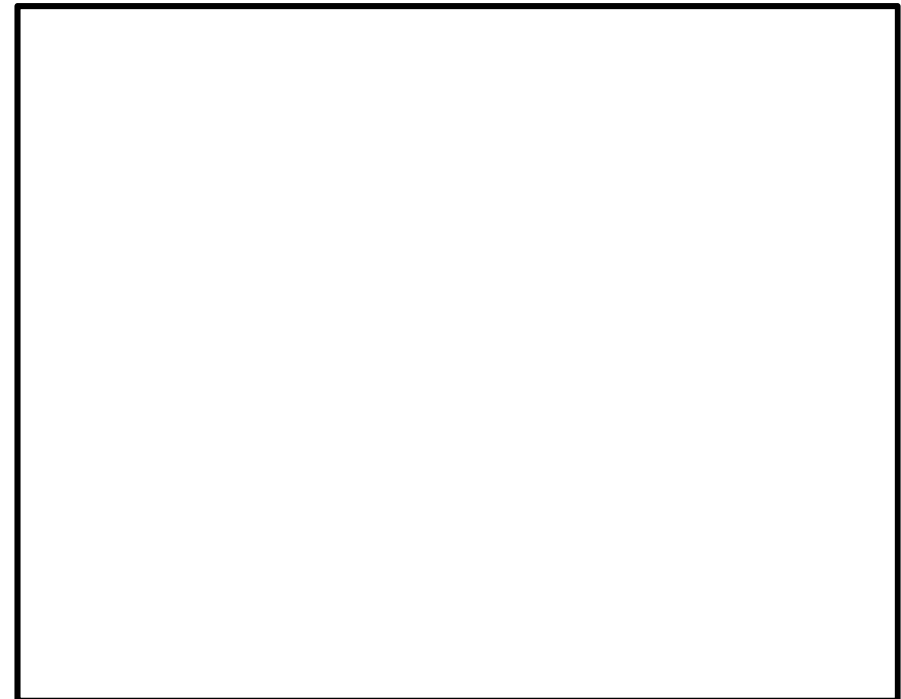


図2 S/C出入口室 モデル概略図

(1)-3 【全局所エリア】 横向きダクト設置高さ誤り（横向きダクト:実際よりダクト高さの半分, 高い位置に設定）

- ・水素排出経路となる給気ダクト・排気ダクトについて、ダクト図に記載の設置高さはダクトセンター位置を表していたが、ダクト下端位置と誤認して解析モデルを作成。

(2) 【上部D/W所員用エアロック室】天井高さ設定誤り

- ・床-天井間の寸法を、現場計測結果から mmと設定して解析モデルを作成。しかし、当該寸法を改めて現場計測したところ、 mmであることを確認。(図3)
- ・この天井には、水素排出経路となる給気ダクトも設置されているため、給気ダクトも実際よりも320mm高い位置に設定。

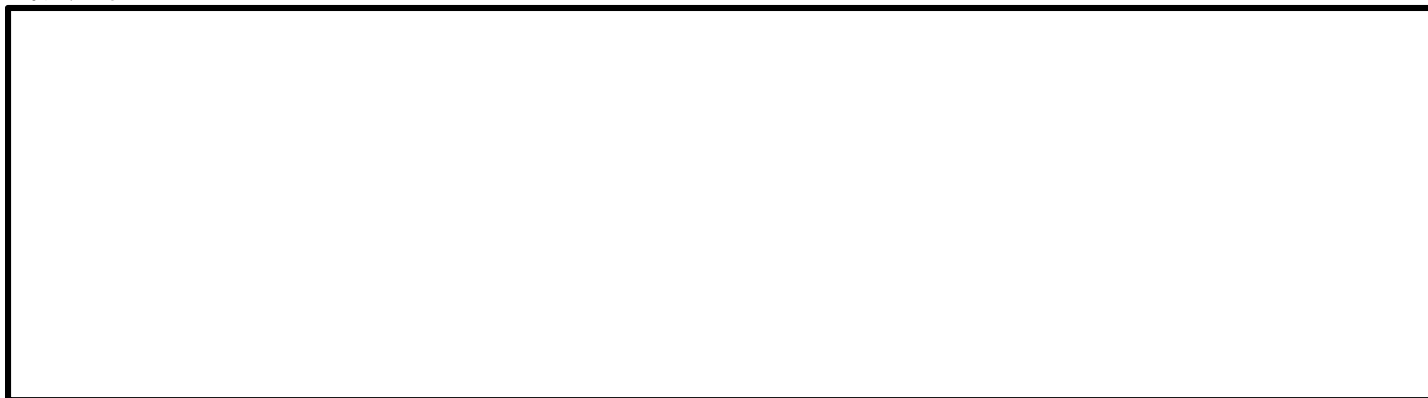


図3 上部D/W所員用エアロック室 床-天井寸法再計測結果

- 以上(1)(2)により、解析モデルを適正にするための給気ダクト・排気ダクトの高さ修正量は表1の通りとなる。
- ダクト修正量が最大となるのは、上部D/W機器搬入用ハッチ室であった。このエリアは、保安規定 補足説明資料において、水素濃度が最も厳しい代表箇所として選定しているエリアとなる。

表1 ダクト高さ修正量一覧

局所エリア	ダクト種類	ダクト設置向き	ダクト高【m】	(1)-1による修正量【mm】	(1)-2による修正量【mm】	(1)-3による修正量【mm】	(2)による修正量【mm】	合計修正量【mm】
上部D/W機器搬入用ハッチ室	排気ダクト	横	0.2	-400	-	-100	-	-500
上部D/W所員用エアロック室	給気ダクト	たて	0.4	-	-	-	-320	-320
	排気ダクト	横	0.3	-	-	-150	-	-150
S/C出入口室	給気ダクト	横	0.15	-	-	-75	-	-75
	排気ダクト	横	0.15	-	-225	-75	-	-300
下部D/W機器搬入用ハッチ室	排気ダクト	横	0.2	-	-	-100	-	-100
下部D/W所員用エアロック室	給気ダクト	横	0.15	-	-	-75	-	-75
	給気ダクト	横	0.15	-	-	-75	-	-75
	給気ダクト	横	0.15	-	-	-75	-	-75
	排気ダクト	横	0.2	-	-	-100	-	-100

修正量最大



(3)【下部D/W機器搬入用ハッチ室】遮蔽扉-躯体隙間寸法設定誤り

- ・遮蔽扉－躯体間の隙間寸法を誤って150 mmと設定して解析モデルを作成。
- ・現場計測の結果、扉が開いた状態において、最小の隙間寸法は7 mmであった。
- ・実際の事故時は、遮蔽扉は閉じた状態である。そのため、遮蔽扉を閉じて再度現場計測したところ、局所的に隙間が狭い箇所があり、最小の隙間寸法は2 mmであった。*

※上部D/W機器搬入用ハッチ室にも遮蔽扉があり、現状、遮蔽扉-躯体の隙間寸法は4 mmとして解析モデルを作成。今回、遮蔽扉を閉じた状態で再度現場計測を実施したが、最小の隙間寸法は変わらず4 mmであった。そのため、上部D/W機器搬入用ハッチ室の遮蔽扉-躯体の隙間寸法については、解析モデルの修正は不要。

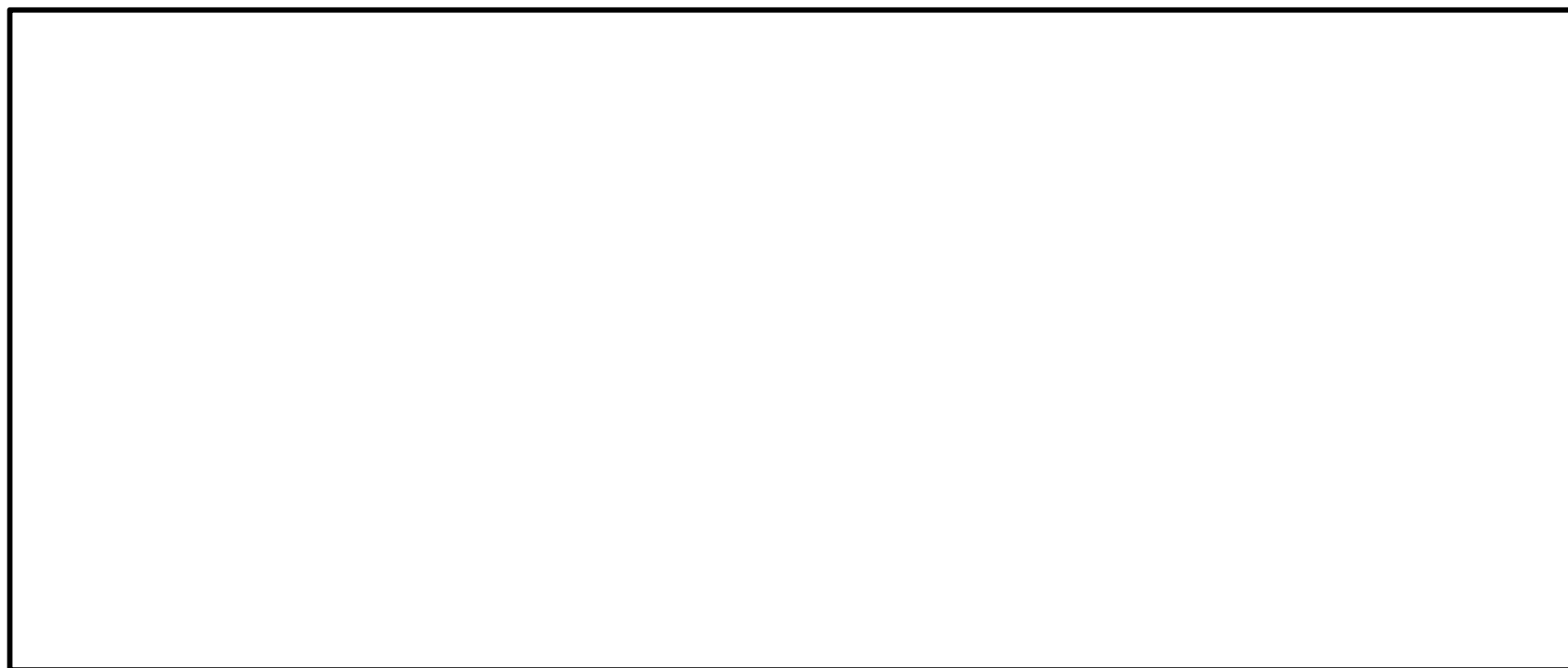


図4 下部D/W機器搬入用ハッチ室 モデル概略図

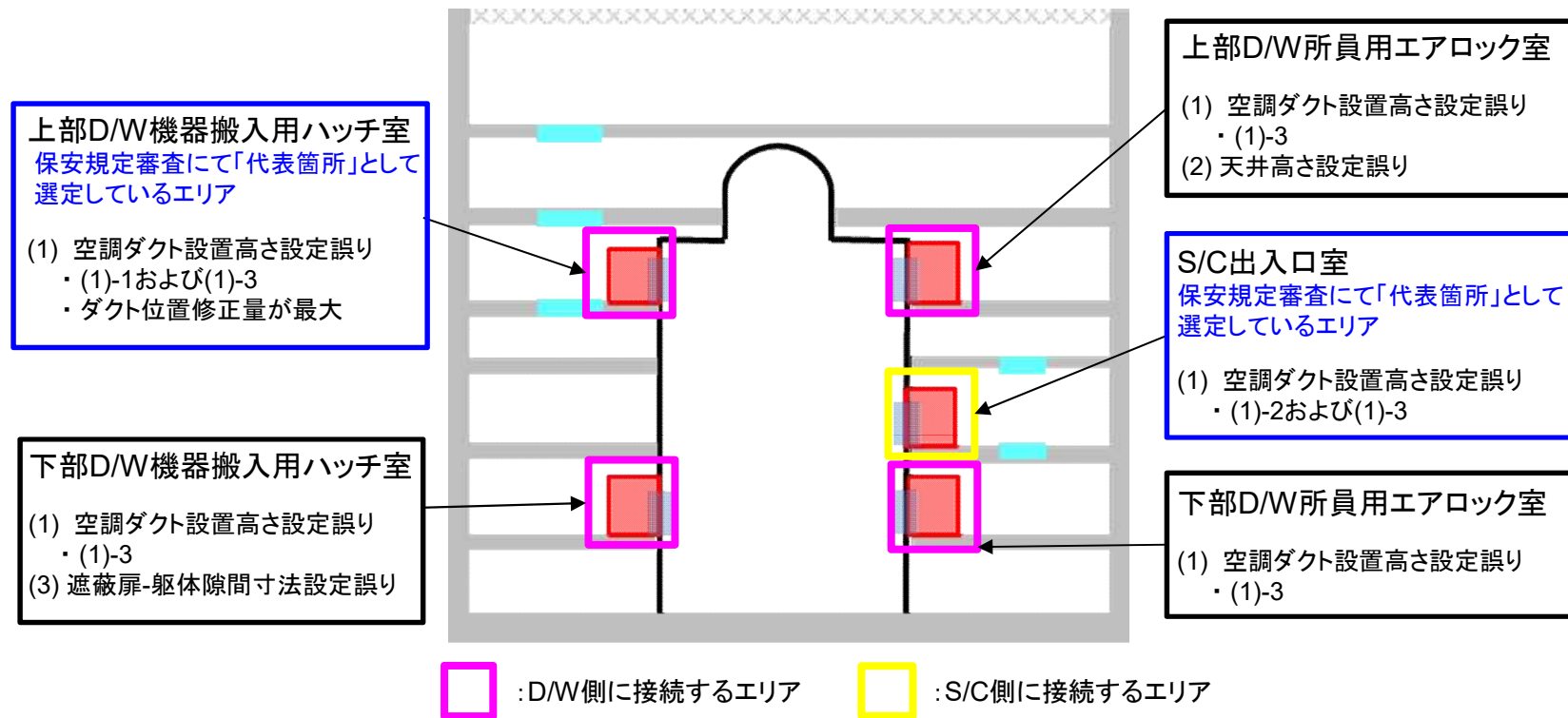


図5 各局所エリアの配置, 解析モデル誤りの状況

- 保安規定審査においては、設工認 補足説明資料の局所エリア水素挙動解析結果から、最も水素濃度の最大値が大きい局所エリア(D/W側:上部D/W機器搬入用ハッチ室, S/C側:S/C出入口室)を代表箇所として選定し、これら代表箇所に対して、水素発生量を2倍相当とした保守的な条件においても、局所エリア内の水素濃度が可燃限界未満となることをご説明している。
- 今回の解析モデル誤りにより、代表箇所が入れ替わることがないか確認する。

(1)「空調ダクト設置高さ誤り」による影響

【D/W側に接続されるエリア】

・もともと代表箇所となっていた上部D/W機器搬入用ハッチ室が、最もダクト設置位置の修正量が多いことから、ダクト位置修正による影響が最も大きい。そのため、この誤りにより代表箇所が入れ替わることはない。

【S/C側に接続されるエリア】

・S/C側に接続されるエリアはS/C出入口室のみであることから、必然的に代表箇所となる。

(再掲)表1 ダクト高さ修正量一覧

局所エリア	ダクト種類	ダクト設置向き	ダクト高さ【m】	(1)-1による修正量【mm】	(1)-2による修正量【mm】	(1)-3による修正量【mm】	(2)による修正量【mm】	合計修正量【mm】
上部D/W機器搬入用ハッチ室	排気ダクト	横	0.2	-400	-	-100	-	-500
上部D/W所員用エアロック室	給気ダクト	たて	0.4	-	-	-	-320	-320
	排気ダクト	横	0.3	-	-	-150	-	-150
S/C出入口室	給気ダクト	横	0.15	-	-	-75	-	-75
	排気ダクト	横	0.15	-	-225	-75	-	-300
下部D/W機器搬入用ハッチ室	排気ダクト	横	0.2	-	-	-100	-	-100
下部D/W所員用エアロック室	給気ダクト	横	0.15	-	-	-75	-	-75
	給気ダクト	横	0.15	-	-	-75	-	-75
	給気ダクト	横	0.15	-	-	-75	-	-75
	排気ダクト	横	0.2	-	-	-100	-	-100

修正量最大



(2)「天井高さ設定誤り」による影響

- ・ (2)の影響を受ける上部D/W所員用エアロック室ならびに、代表箇所である上部D/W機器搬入用ハッチ室について解析モデルを修正した後、再度解析を実施した。
- ・ 結果は、図6, 7に示す通りであり、代表箇所である上部D/W機器搬入用ハッチ室の方が水素濃度の最大値が大きいことには変わりはないことから、この誤りにより代表箇所が入れ替わることはない。

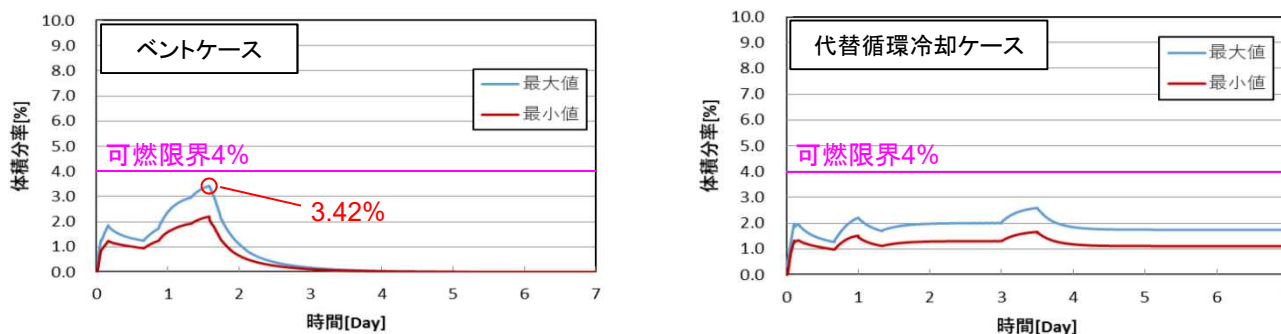


図6 【解析モデル修正後(設工認条件)】 上部D/W所員用エアロック室 水素体積分率時間推移

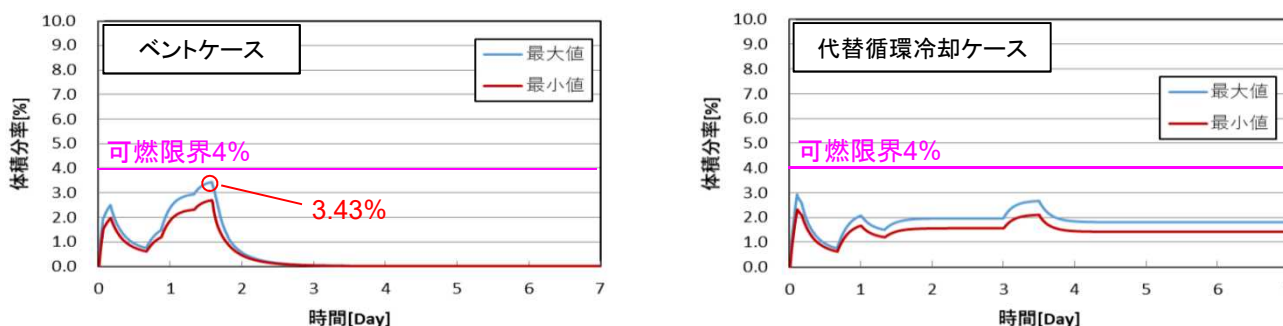


図7 【解析モデル修正後(設工認条件)】 上部D/W機器搬入用ハッチ室 水素体積分率時間推移

(3) 「遮蔽扉-躯体隙間寸法設定誤り」による影響

- 下部D/W機器搬入用ハッチ室の遮蔽扉-躯体隙間寸法について、2 mmとして解析モデルを修正した後、再解析を実施した。
- 結果は、図7, 8に示す通りであり、代表箇所である上部D/W機器搬入用ハッチ室の方が水素濃度の最大値が大きいことには変わりはないことから、この誤りにより代表箇所が入れ替わることはない。

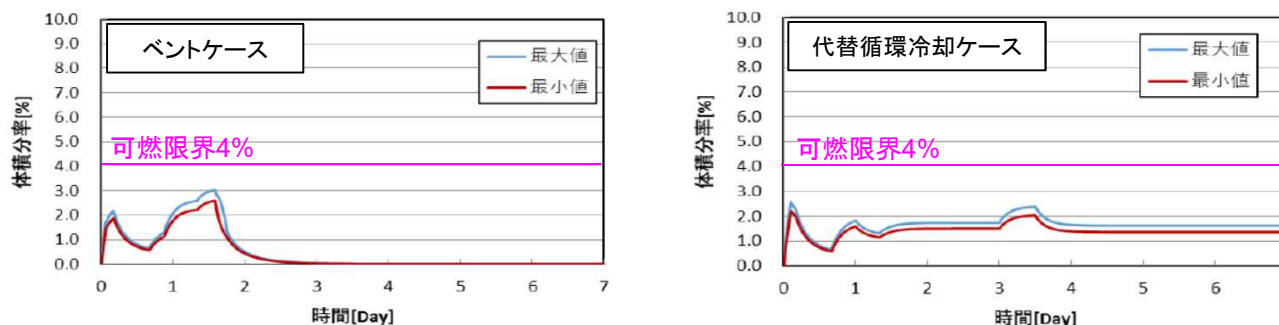
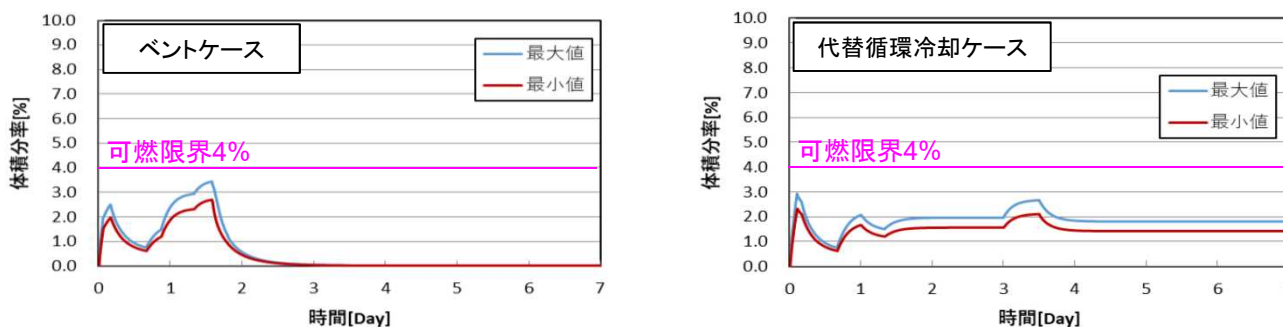


図8 【解析モデル修正後(設工認条件)】 下部D/W機器搬入用ハッチ室 水素体積分率時間推移



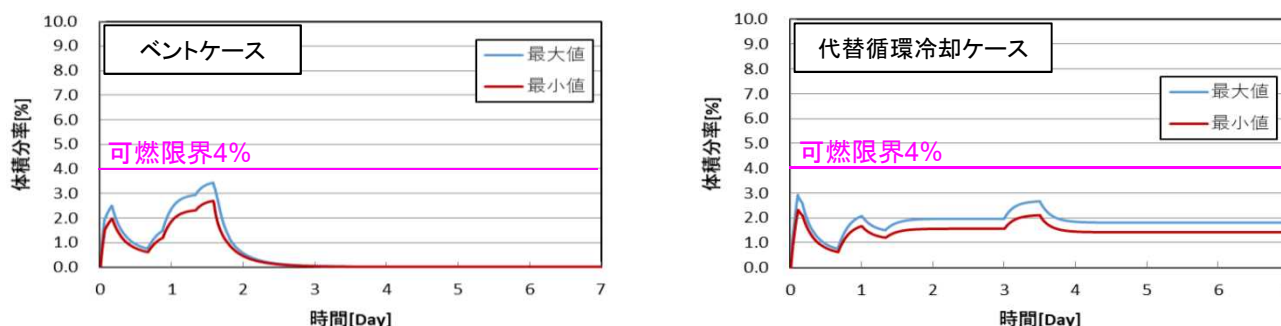
(再掲)図7 【解析モデル修正後(設工認条件)】 上部D/W機器搬入用ハッチ室 水素体積分率時間推移

■ 以上より、今回の解析モデル設定誤りにより、保安規定 補足説明資料において設定した代表箇所が入れ替わることはない。

- 代表箇所である，上部D/W機器搬入用ハッチ室とS/C出入口室について，解析モデル修正後，再度解析を実施した。

【設工認 補足説明資料の条件】

- 『設工認 補足説明資料の条件』による結果を図7，9に示す。これらより，水素濃度の最大値は，いずれのケースにおいても可燃限界である4%を超えないことを確認した。
- その他の局所エリアについても，水素濃度の最大値は可燃限界である4%を超えないことを確認した。(後述の表2)
- そのため，今回の解析モデル誤りにより，局所エリアにおける水素濃度は可燃限界未満になるという，設工認における説明内容に変更は生じない。



(再掲)図7 【解析モデル修正後(設工認条件)】 上部D/W機器搬入用ハッチ室 水素体積分率時間推移

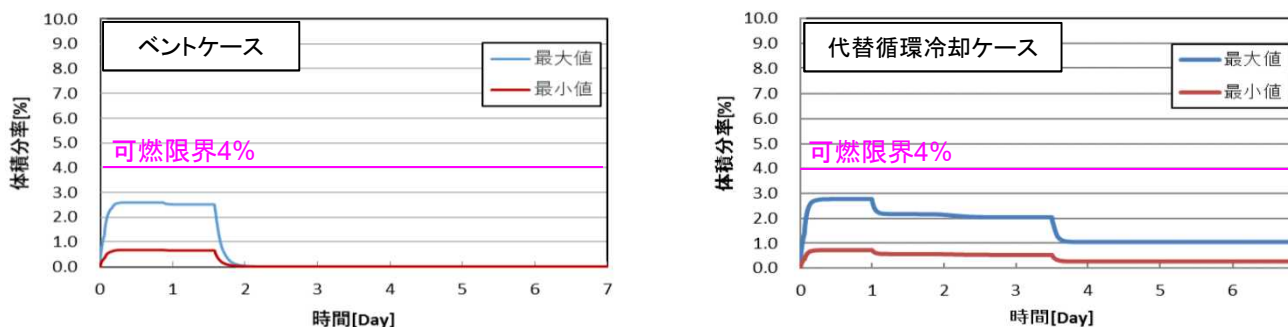


図9 【解析モデル修正後(設工認条件)】 S/C出入口室 水素体積分率時間推移



【保安規定 補足説明資料の条件】

- 『保安規定 補足説明資料等の条件(水素発生量が有効性評価の2倍相当)』による結果を図10, 11に示す。これらより，水素濃度の最大値は，いずれのケースにおいても可燃限界である4%を超えないことを確認した。
- そのため，今回の解析モデル誤りにより，水素発生量が有効性評価の2倍相当という厳しい条件においても，局所エリアの水素濃度は可燃限界未満になるという，保安規定審査における説明内容に変更は生じない。

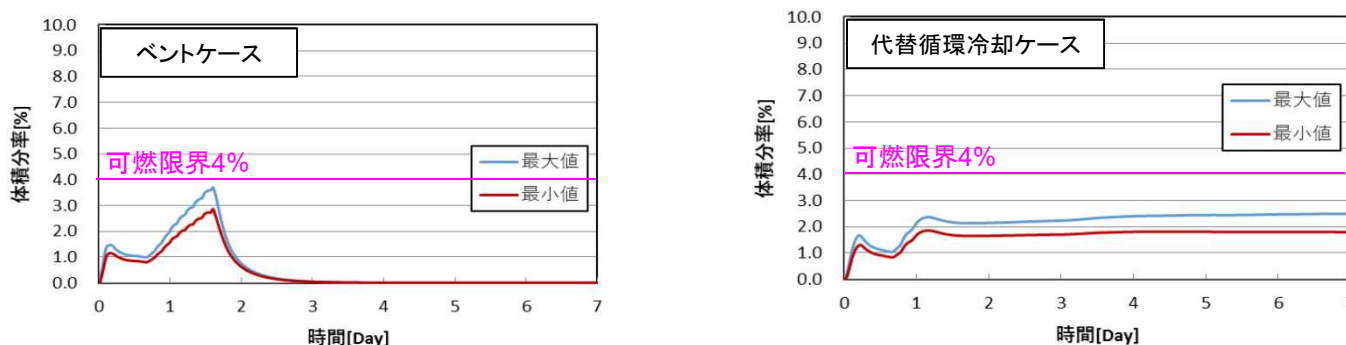


図10 【解析モデル修正後(保安規定条件)】 上部D/W機器搬入用ハッチ室 水素体積分率時間推移

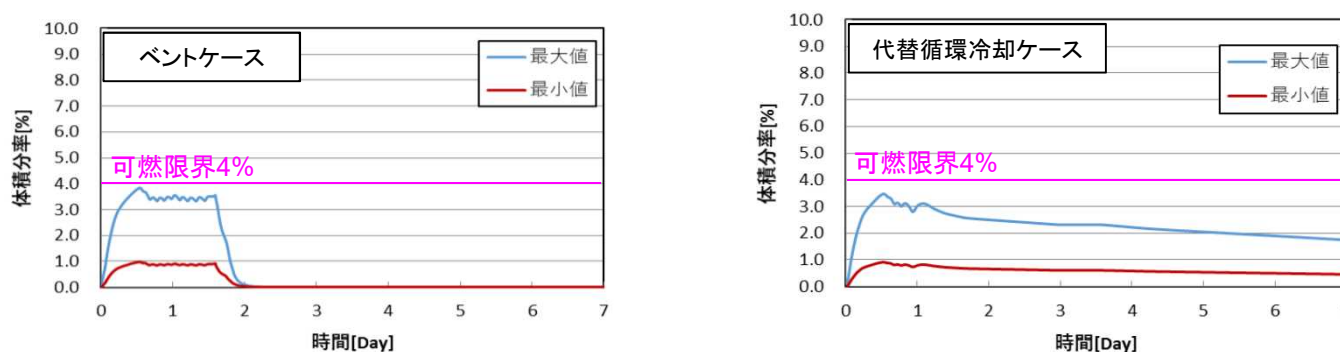


図11 【解析モデル修正後(保安規定条件)】 S/C出入口室 水素体積分率時間推移

- 設工認, ならびに保安規定申請において, 今回の解析モデルの誤りにより, 従前の説明内容に変更が生じることはないことを確認した。
- 各局所エリアの解析モデル修正前後の水素濃度最大値を表2の通りまとめる。

表2 解析モデル修正前/後 最大水素濃度比較

(最大水素濃度[%])

解析条件		上部D/W機器搬入用 ハッチ室 【D/W側 代表箇所】		S/C出入口室 【S/C側 代表箇所】		上部D/W所員用 エアロック室		下部D/W機器搬入用 ハッチ室		下部D/W所員用 エアロック室	
		モデル 修正前	モデル 修正後	モデル 修正前	モデル 修正後	モデル 修正前	モデル 修正後	モデル 修正前	モデル 修正後	モデル 修正前	モデル 修正後
設工認 条件	ベントケース	3.18	3.43	2.54	2.58	2.95	3.42	0.79	3.03	1.14	1.15
	代替循環 冷却ケース	2.87	2.94	2.74	2.79	2.26	2.60	0.83	2.58	1.16	1.17
保安規定 条件	ベントケース	3.42	3.69	3.68	3.83	—	—	—	—	—	—
	代替循環 冷却ケース	2.30	2.49	3.36	3.48	—	—	—	—	—	—

- 誤りの原因は, 以下の通り。
 - ・図面から必要な情報を読み取る際の読み取り誤り。[誤り事象(1)]
 - ・現場計測した値の誤記又は測定誤り(推定)。[誤り事象(2)(3)]
 今後, 社内不適合処置において, 原因を踏まえ再発防止を図ることとする。

5. 原子炉建屋水素濃度に基づくベント基準の妥当性確認

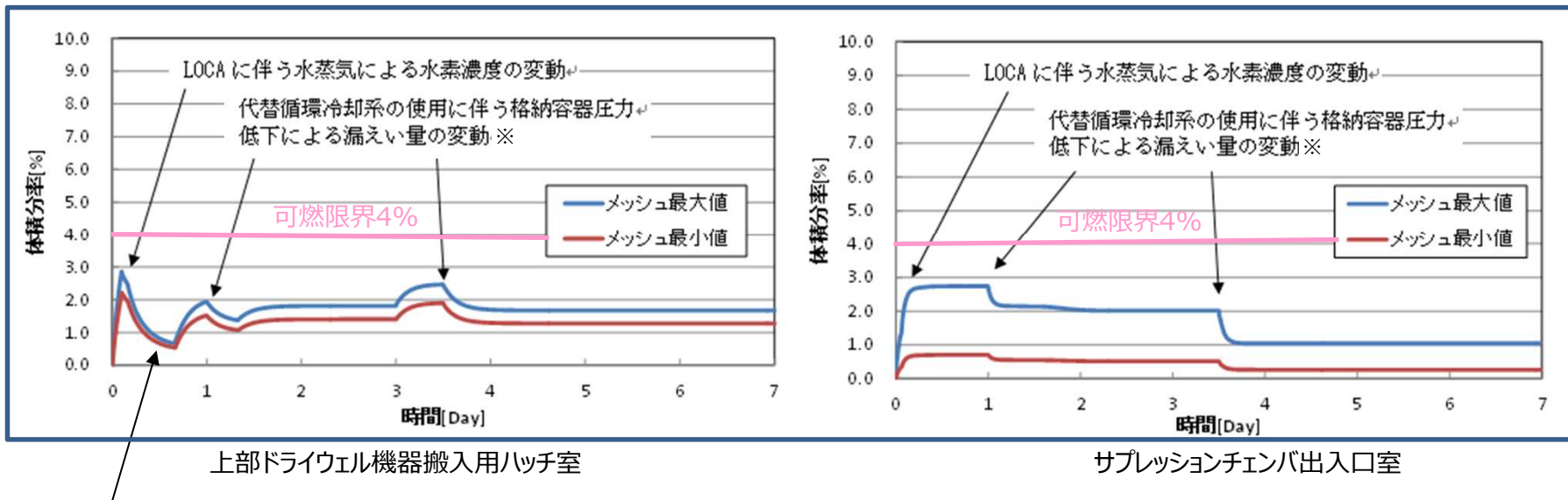
5. 1 適合性審査を踏まえた確認事項

【参考】前回審査会合資料における修正必要箇所（資料1-2 P.23）

局所エリアの水素濃度を確認するために実施した解析ケース（代替循環冷却系） <評価結果>

水素挙動解析モデル設定誤りを踏まえ、修正が必要となる箇所

※ 有効性評価（MAAP評価）包絡条件とするために、格納容器条件を矩形入力しているため、急激なパラメータ変化が生じる



ドライウェルの水素濃度は、炉心再冠水による水蒸気発生により低下する。その後、格納容器スプレイによってドライウェル圧力が低下し、サブプレッション・チェンバの気体がドライウェルに流入するため、ドライウェルの水素濃度は上昇する。
 上記のドライウェル水素濃度変化による変動。

■ 想定する全ての局所エリアで、水素濃度が可燃限界（4.0vol%）未満であることを確認。



5. 原子炉建屋水素濃度に基づくベント基準の妥当性確認

5. 1 適合性審査を踏まえた確認事項

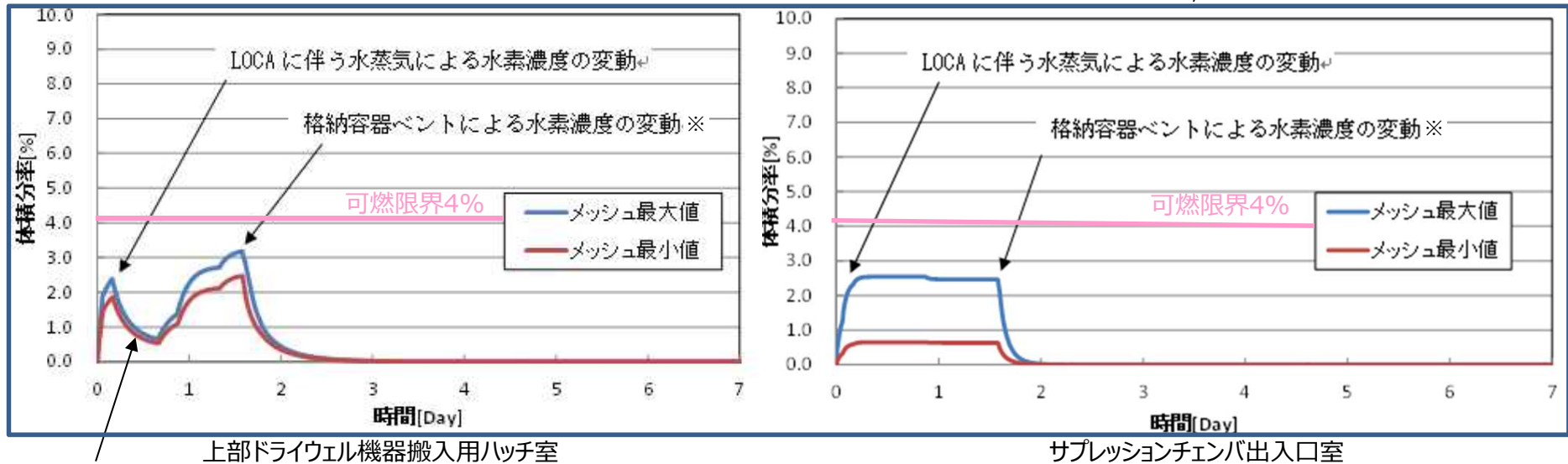
【参考】前回審査会合資料における修正必要箇所（資料1-2 P.25）

局所エリアの水素濃度を確認するために実施した解析ケース（格納容器ベント）

<評価結果>

水素挙動解析モデル設定誤りを踏まえ、修正が必要となる箇所

※ 有効性評価（MAAP評価）包絡条件とするために、格納容器条件を矩形入力としているため、急激なパラメータ変化が生じる



ドライウエルの水素濃度は、炉心再冠水による水蒸気発生により低下する。その後、格納容器スプレイによってドライウエル圧力が低下し、サブプレッション・チェンバの気体がドライウエルに流入するため、ドライウエルの水素濃度は上昇する。
上記のドライウエル水素濃度変化による変動。

■ 想定する全ての局所エリアで、水素濃度が可燃限界（4.0vol%）未満であることを確認。



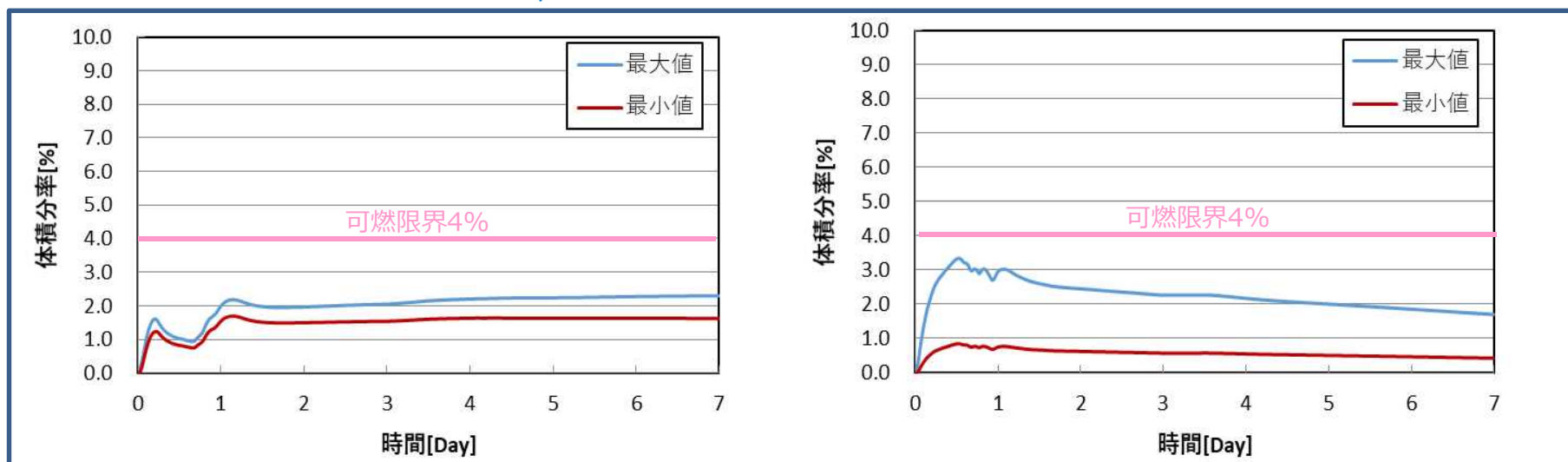
5. 原子炉建屋水素濃度に基づくベント基準の妥当性確認

5. 1 適合性審査を踏まえた確認事項

【参考】前回審査会合資料における修正必要箇所（資料1-2 P.27）

局所エリアにおける可燃限界に対する裕度について（代替循環冷却系）
＜評価結果＞

水素挙動解析モデル設定誤りを踏まえ、修正が必要となる箇所



上部ドライウェル機器搬入用ハッチ室

サブプレッションチェンバ出入口室

■ 想定する全ての局所エリアで、水素濃度が可燃限界（4.0vol%）未満であることを確認。

5. 原子炉建屋水素濃度に基づくベント基準の妥当性確認

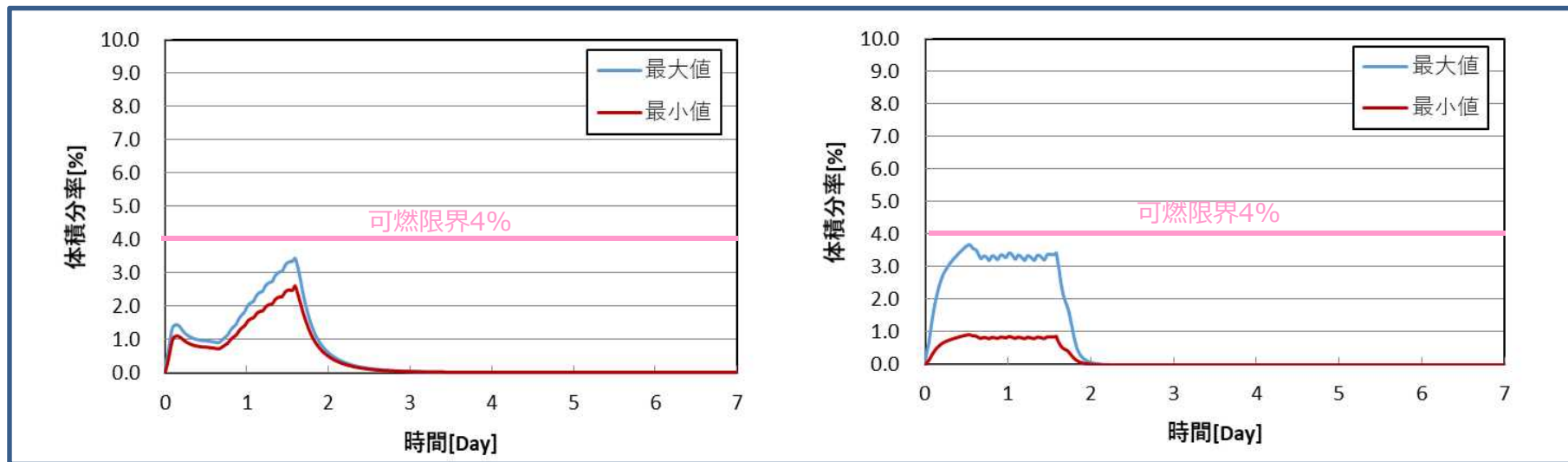
5. 1 適合性審査を踏まえた確認事項

【参考】前回審査会合資料における修正必要箇所（資料1-2 P.29）

局所エリアにおける可燃限界に対する裕度について（格納容器ベント）

＜評価結果＞

水素挙動解析モデル設定誤りを踏まえ、修正が必要となる箇所



上部ドライウェル機器搬入用ハッチ室

サブプレッションチェンバ出入口室

■ 想定する全ての局所エリアで、水素濃度が可燃限界（4.0vol%）未満であることを確認。