

委員から頂いた質問事項への回答

(柏崎刈羽原子力発電所の安全対策の確認事項)
No.16 水素爆発対策

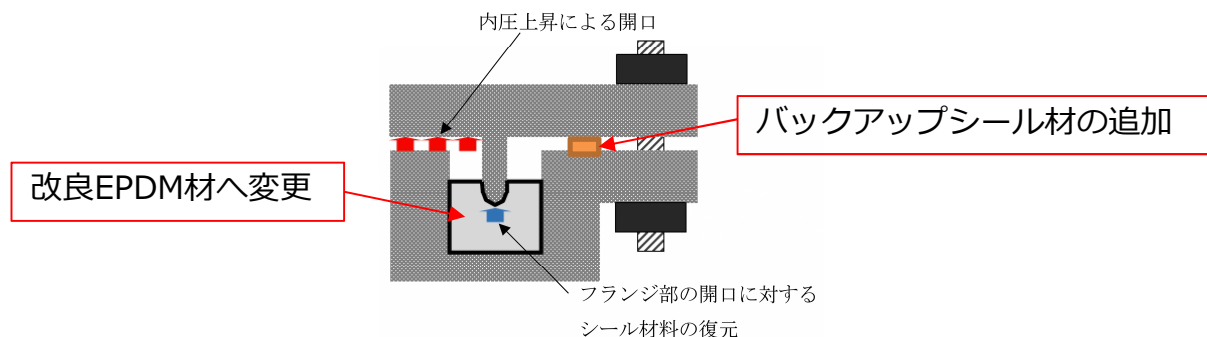
2023年6月2日
東京電力ホールディングス株式会社

事象初期の水素濃度差・フランジ近傍の水素濃度差

確認事項	水素爆発対策 (No.16)
ご質問に至る議論	<p>(令和3年度第2回技術委員会) 資料No.7-1 原子炉建屋最上階に設置している静的触媒式水素再結合器 (PAR) の有効性について、原子炉建屋の水素解析結果及び局所エリアの水素滞留対策を提示し説明。</p> <p>(令和3年度第4回技術委員会) 資料No.6-1 水素解析結果の妥当性を確認するため、解析条件の確認が必要とのご意見をいただき、原子炉建屋及び局所エリアの解析条件・解析結果を提示し説明。</p> <p>(令和4年度第3回技術委員会) 資料No.6-1 原子炉建屋及び局所エリアの解析におけるノード・メッシュ数および妥当性について説明。また、局所エリアの解析について、メッシュを更に細分化した場合、水素漏えい箇所であるPCVフランジ近傍のメッシュの水素濃度は漏えいするPCVガス組成値 (30vol%程度) に近づくと考えられることを説明。</p> <p>(令和4年度第4回技術委員会) 資料No.6-1 局所エリアの解析において、メッシュ幅を1/3mとすることの妥当性を示すため、メッシュ幅1/5mの解析結果を提示し、1/3mと1/5mの解析結果に有意な差がないことを説明。また、1m³における水素濃度の平均値について比較した結果を提示し、同様に1/3m、1/5mの解析結果に有意な差がないことを説明。</p>
ご質問 (藤澤委員)	<ul style="list-style-type: none"> ご回答で格子依存性について、解析結果を示していただきありがとうございました。格子依存性が飽和傾向にあることを理解しました。しかし、今後、この解像度での解析を進めるにあたり、同様の解析を水素濃度が大きい場合、例えば、サブプレッションチェンバー出入口でピークが可燃限界である4%程度になる場合についても、同様に格子依存性がないことを示していただけると助かります。 その理由は、今回の解析結果 (p 3の③排気ダクト近傍、時間0 h付近) にも見られますように、格子1/3と1/5で水素放出の初期時間で濃度の微妙な違いが見られる原因がわからないこと、1メッシュの結果比較 (p 4左図) においても濃度の相対値に思った以上の大きな違い (6倍にも及ぶ) があるからです。このようなメッシュごとの計算結果の違いがあると、水素濃度のピークが可燃限界である4%程度になる場合にも、問題はないかという疑問がでできます。

原子炉建屋水素爆発防止対策について

- 格納容器のハッチ等のフランジ部においては、耐環境性の高いシール材（改良EPDM材）への変更や、バックアップシール材の追加を実施することとしており、試験等により、過酷事故時に想定される放射線や温度、圧力等の条件下において、フランジ部からの漏えいは防止できることを確認。



- 原子炉建屋内の水素濃度解析においては、これら対策を実施しているにもかかわらず、格納容器のハッチ等のフランジ部から原子炉建屋内に水素が漏えいするという保守的な条件を設定。それでも原子炉建屋内各部の水素濃度は可燃限界に到達しないことを確認。
- 実機において、格納容器から原子炉建屋に水素が漏えいした場合には、静的触媒式水素再結合装置（PAR）により水素処理が可能。また、後段対策としてフィルタベント設備による格納容器内の水素排出、ブローアウトパネルや原子炉建屋トップベントによる原子炉建屋内の水素排出が可能。

【水素濃度制御設備】

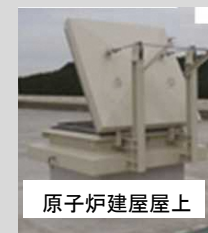


静的触媒式水素再結合装置(PAR)

【水素排出設備（自主対策）】



ブローアウトパネル

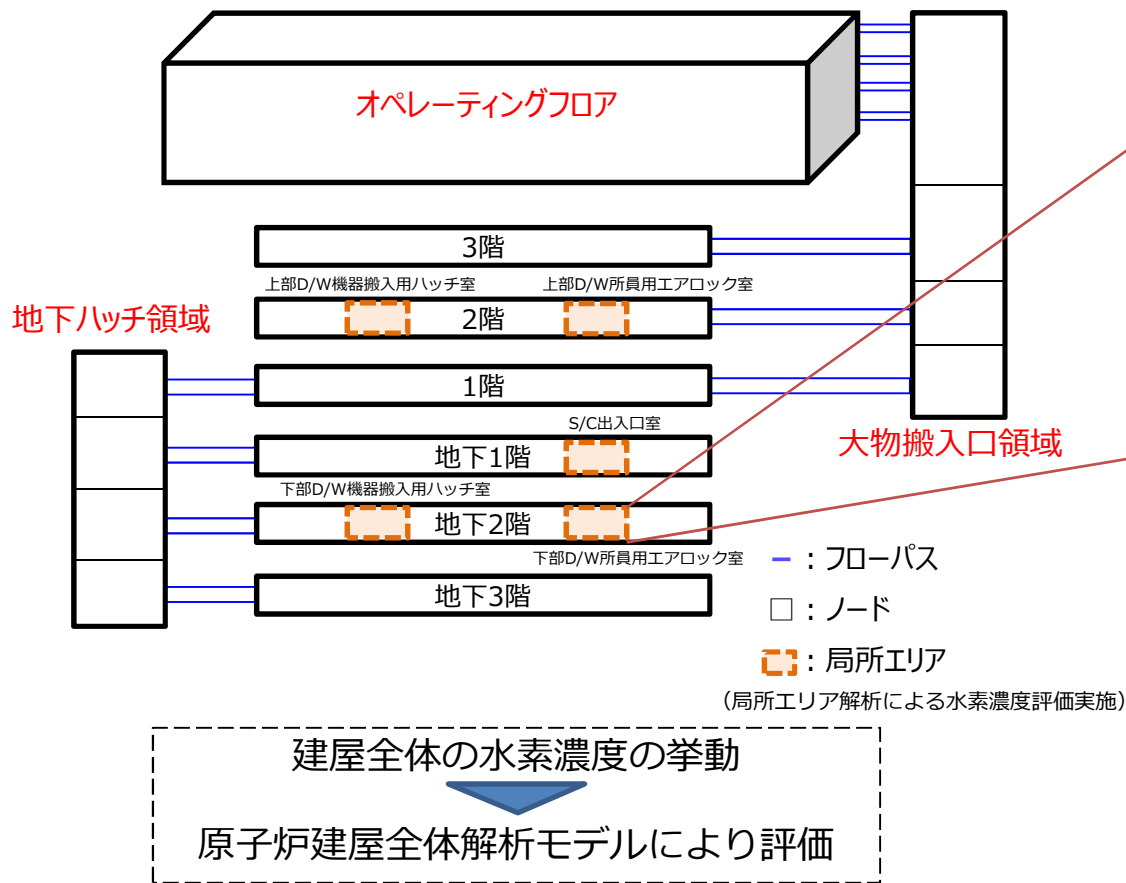


原子炉建屋屋上
原子炉建屋トップベント

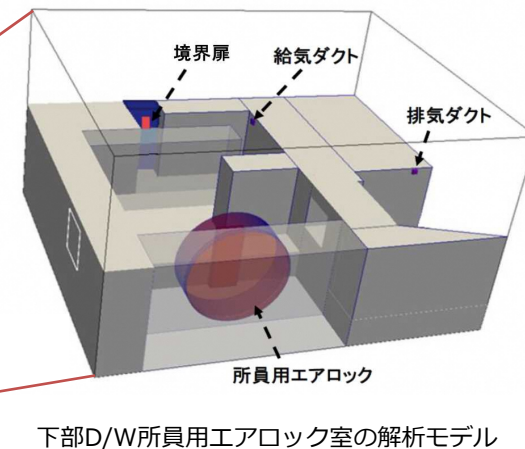
各解析の位置づけ

■ 原子炉建屋解析と局所エリア解析の位置づけのイメージを以下に示す。

原子炉建屋解析モデル



局所エリア解析モデル

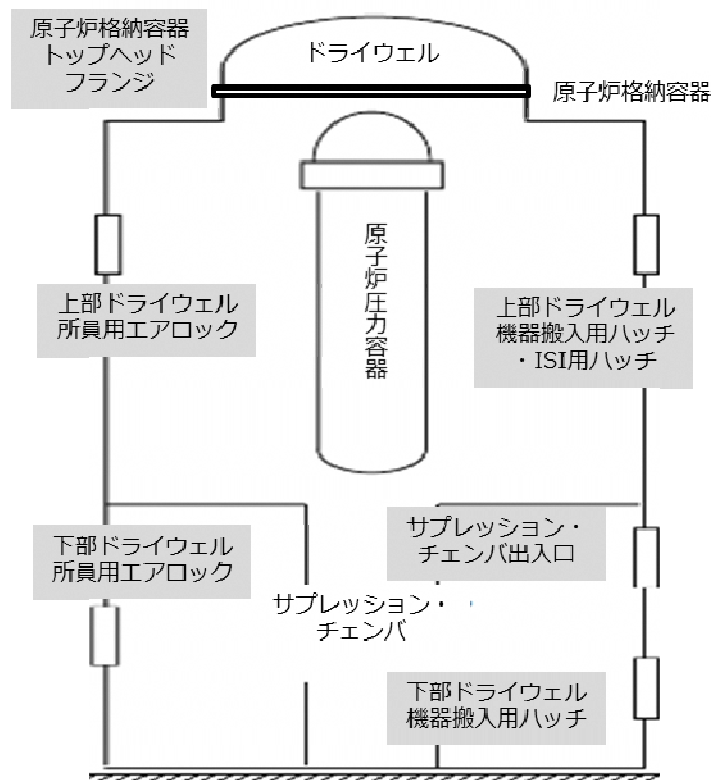


格納容器からの水素漏えい
による水素爆発リスクの高いエ
リアにおける水素濃度の挙動

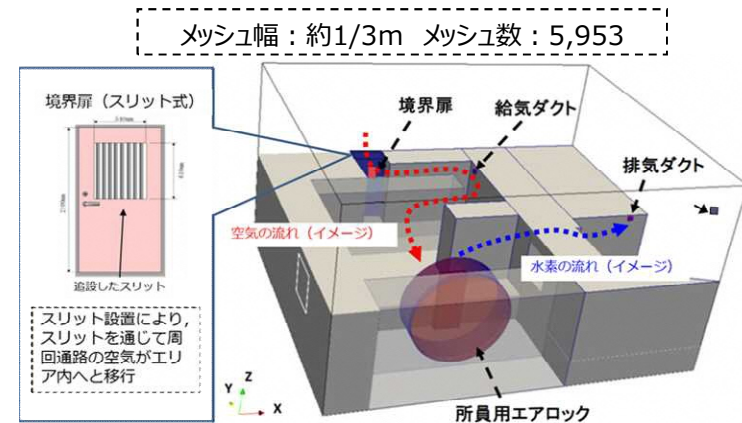
局所エリア解析モデル
により評価

局所エリア解析の目的と結果

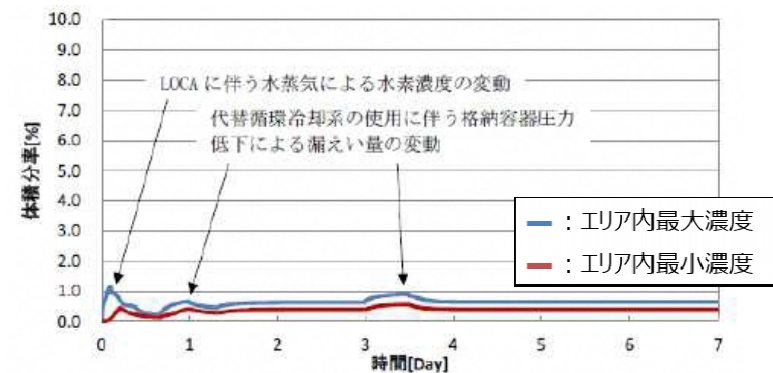
- 解析の目的は、格納容器からの水素漏えいによる水素爆発リスクの高い局所エリアについて、水素滞留対策の要否と対策の有効性(滞留が生じる場所がないこと)を確認すること。
- 解析から得られる水素濃度分布から、一部エリアに対しては滞留対策(スリット式扉など)を実施し、全エリアについて可燃限界(4%)を超えないことを確認。



解析における原子炉格納容器からの水素漏えい箇所



下部ドライウェル所員用エアロック室解析モデルイメージ/スリット式扉

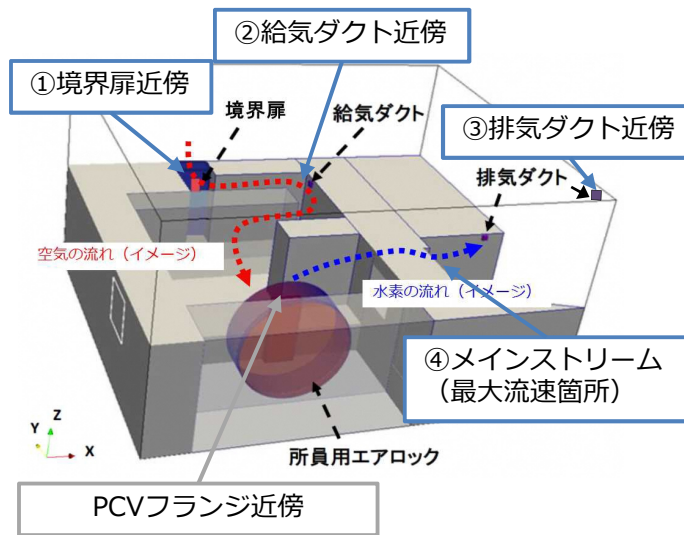


下部ドライウェル所員用エアロック室における水素濃度の時間変化

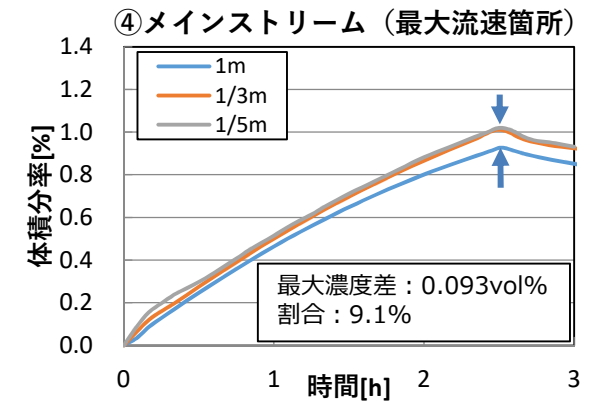
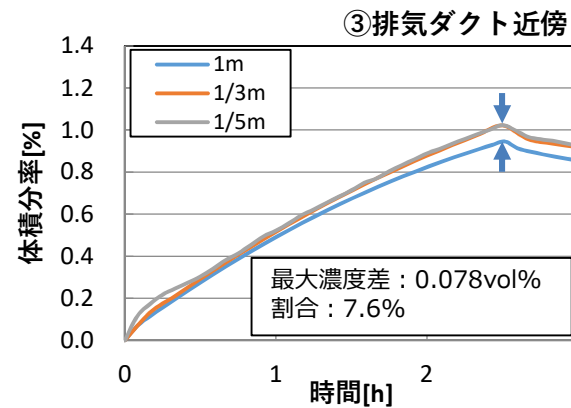
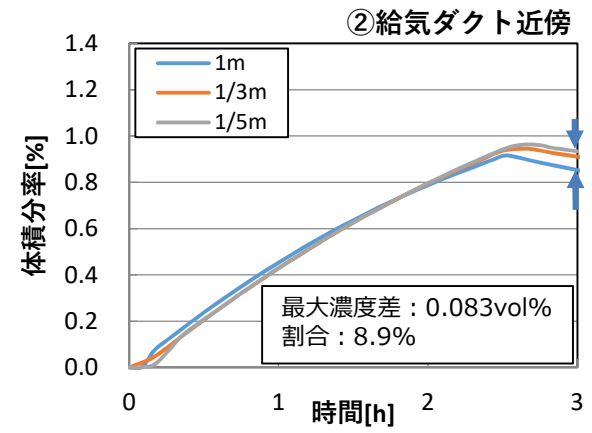
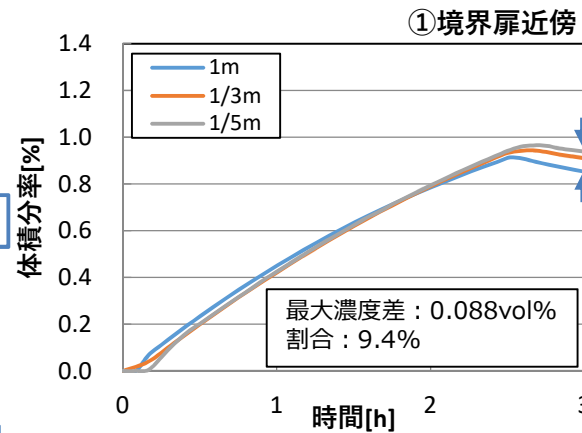
局所エリア解析におけるメッシュ幅1/3mの妥当性①

■ 下部D/W所員用エアロック室内の代表箇所4点（下図①～④）において、メッシュ幅1m、1/3m、1/5mの最大水素濃度差を比較し、メッシュ幅1/3mと1/5mの水素濃度に有意な差がなく、メッシュ依存性は飽和傾向であることを確認。

$$\text{割合} [\%] : (\text{最大濃度差} [\text{vol}\%]) \div (\text{当該時刻における最大水素濃度} [\text{vol}\%]) \times 100$$



下部ドライウェル所員用エアロック室解析モデル

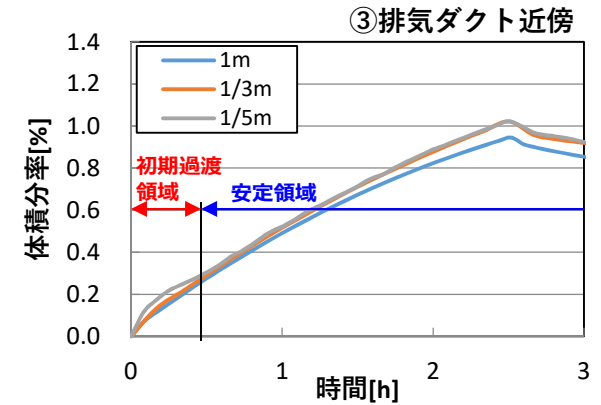


【ご指摘】事象初期の水素濃度差

【ご指摘】 今回の解析結果（p 3の③排気ダクト近傍、時間0 h付近）にも見られますように、格子1/3と1/5で水素放出の初期時間で濃度の微妙な違いが見られる原因がわからない。

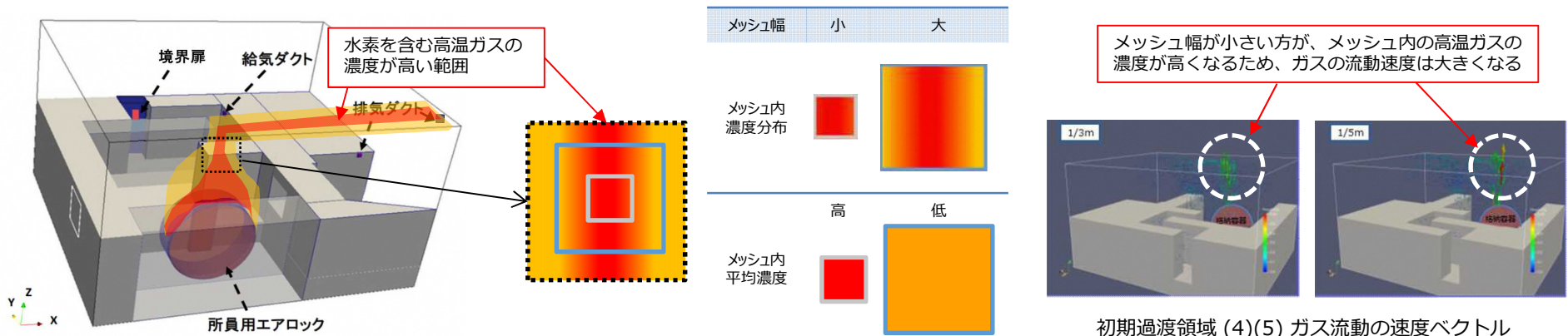
【事象初期から流れが安定するまでの変遷】

- 初期過渡領域
 - (1) 事象初期、常温の空気が満たされている部屋に、水素を含んだ高温ガスの噴き出しが開始される。
 - (2) 格納容器からの噴き出し部直上の狭い範囲に、水素を含む高温ガスが集中的に流れる領域が現れる。
 - (3) 流れ場が狭いことから、水素を含む高温ガスの濃度の濃淡がメッシュ幅により若干異なり、メッシュ幅が小さいほうが、その流れ場中心付近の濃度が若干高い状態となる。
 - (4) 水素を含んだ高温ガスの濃度が高いほど、部屋の中でガスを流動させる駆動力が大きくなる。
 - (5) 排気ダクト近傍を含むメインストリームにおいて、メッシュ幅が小さい方が水素を含む高温ガスの流量が若干大きくなり、水素濃度も若干高くなる。
- 安定領域
 - (6) 時間の経過により、水素を含む高温ガスが部屋全体に拡散され、濃度が均一化し、ガスの流れも安定する。
 - (7) ガスの流れが安定してしまうと、メッシュ幅が1/3mと1/5mでは水素濃度の差は解消される。



③排気ダクトにおけるメッシュ幅毎の水素濃度時刻歴

なお、事象初期から流れが安定するまでの時間は限定的であり、水素濃度がピークに到達する時刻においては流れは安定し、メッシュ幅が1/3mと1/5mでは水素濃度の差は解消されることから、局所エリアの安全対策の要否の判断に影響はない。



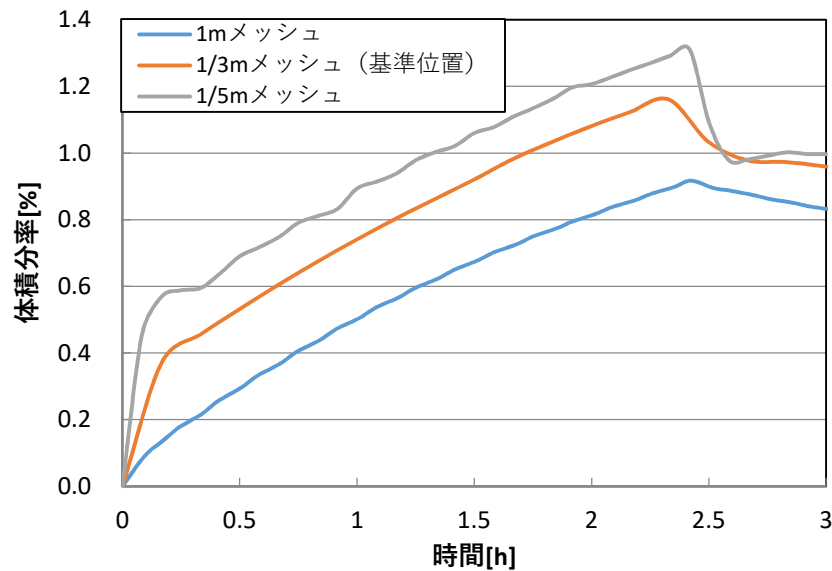
事象初期の水素を含む高温ガス濃度分布イメージ

初期過渡領域 (3) メッシュ幅による高温ガスの濃度差異

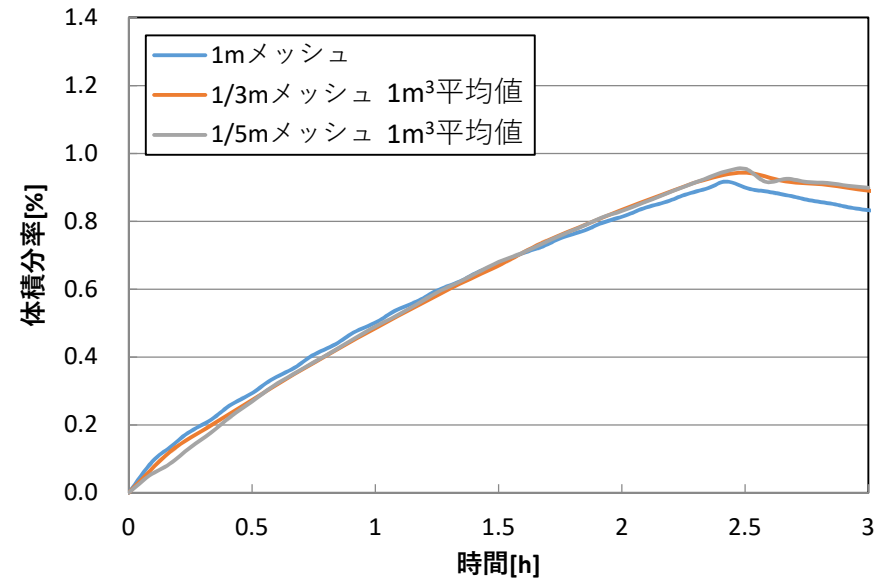
局所エリア解析におけるメッシュ幅1/3mの妥当性②

- メッシュ幅1/3mの水素濃度がエリア内で最大となるPCVフランジ近傍において、同位置を基準とした1m³における水素濃度の平均値を比較した結果、メッシュ幅1/3mと1/5mの水素濃度に有意な差がなく、メッシュ依存性は飽和傾向であることを確認。

1m³における水素濃度の平均値：メッシュ幅1/3mに対しては3×3×3=27メッシュ、メッシュ幅1/5mに対しては5×5×5=125メッシュのそれぞれ平均値



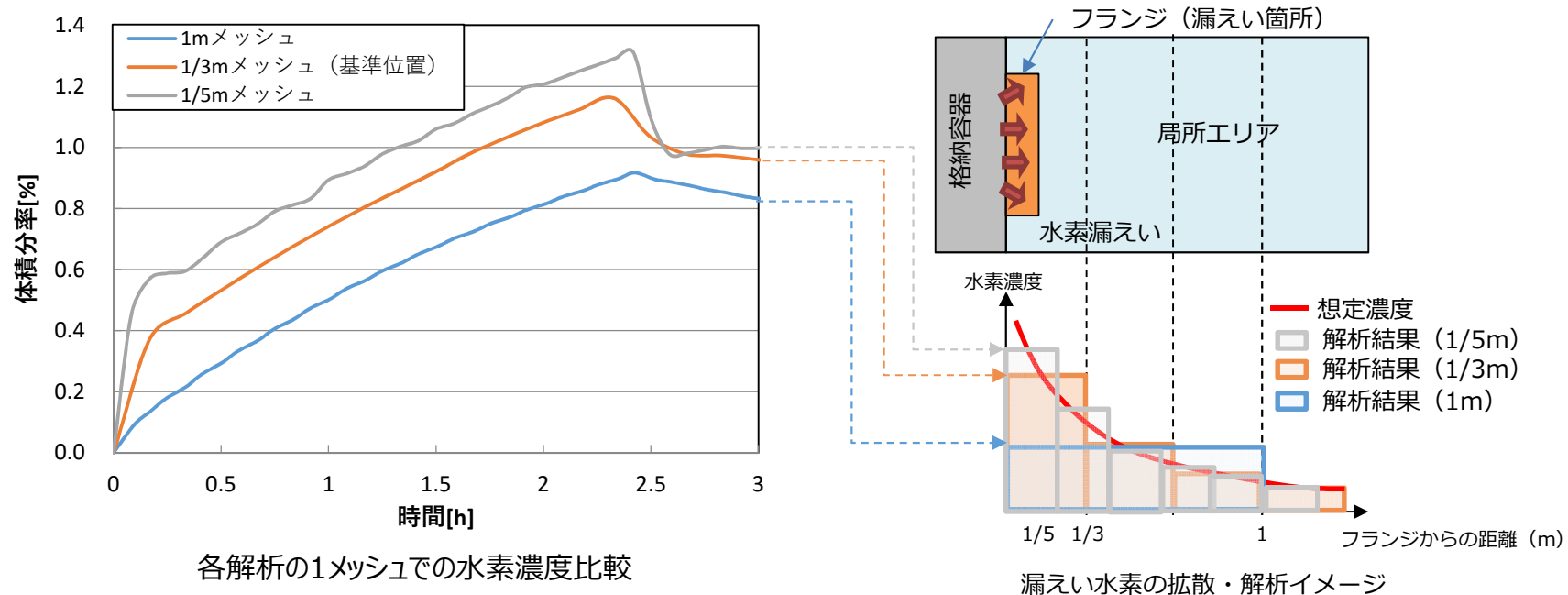
各解析の1メッシュでの水素濃度比較



各解析の体積1m³における水素濃度比較

【ご指摘】フランジ近傍（水素漏えい箇所）の水素濃度差

【ご指摘】1メッシュの結果比較（p 4 左図）においても濃度の相対値に思った以上の大きな違い（6倍にも及ぶ）がある。



（フランジ近傍（水素漏えい箇所）の水素濃度に差が生じている理由）

- 水素漏えい箇所のフランジ近傍の1メッシュの水素濃度は、メッシュ幅が小さくなるにつれて、漏えいする格納容器ガス組成値（30vol%程度）に漸近するため、1メッシュで比較すると、メッシュ幅が小さいほど濃度は高い傾向となる。
- そのため、フランジ近傍の同じ1m³の水素濃度について、メッシュ幅1/3mと1/5mの場合の解析結果を比較することで、メッシュ依存性について検証し、その結果、メッシュ幅1/3mと1/5mの水素濃度に有意な差がなく、メッシュ依存性は飽和傾向であることを確認した。