

---

# 「水素滞留・拡散挙動の評価手法構築・評価」 2025年度成果

2026年6月  
一般社団法人 原子力エネルギー協議会  
(ATENA)

1. 本検討の背景
2. 経緯・目的
3. 原子炉建屋内の水素拡散の詳細評価手法構築
  - 天井窪み部「類型D」における水素挙動評価
4. BOPによる水素防護対策の有効性評価
  - BOP開放による水素排出評価
5. 今後の進め方

- 原子炉建屋の水素防護対策としては、新規制基準対応の中で、格納容器からの漏洩箇所として想定しているハッチ等がある部屋（以下、「局所エリア」という。）や、滞留箇所として想定しているオペフロに対し、水素濃度計を設置して濃度を監視しつつ、PARによる処理を基本としているが、それでも建屋内の水素濃度が上昇した場合を考慮し、SGTS等による排気やフィルタベントにより格納容器から建屋への水素漏洩を抑制することとしている。さらに、局所エリアについては、扉スリット化、扉開放等の手順を整備し、オペフロについては、ブローアウトパネル、トップベント等の水素爆発防止対策を実施している。
- これらの水素濃度が上昇した場合の対策は、これまでの東京電力福島第一原子力発電所事故の調査・分析から得られた知見から、下層階に水素が滞留する可能性が示されたことを踏まえてのものである。これまでの新規制基準対応の中で水素防護対策も含めた数多くの安全対策を実施しており、水素爆発に至る可能性は極めて低いと考えられるが、更なるリスク低減を図るため、下層階の水素滞留への対策を検討することとした。
- 短期的対応では、下層階の水素滞留が懸念される場合に備えた対応として必要な時にHVACを活用できるようにするため、AMGの改定、手順の整備等を実施済。
- 中長期的対応として「下層階の水素滞留の可能性」がある箇所に対して対策要否を判断するため、まずは、実プラントのプラントウォークダウンを行い、水素滞留の可能性のある箇所として天井窪み部等を選定した。
- 次に、そもそも、格納容器から漏洩した水素は、新規制基準適合審査において局所エリア・下層階・搬入口を通じてオペフロに導かれることは確認しているものの（局所エリアおよびオペフロについては設備（水素濃度計等）・手順を整備し、水素防護対策を実施）、更なる安全性向上の観点から、下層階の天井窪み部等への水素滞留の可能性を確認する。そのために、天井窪み部における水素濃度の詳細評価手法を構築することで、SA環境において水素滞留の可能性のある条件を策定し、対策要否を検討している。
- また、設計上想定しているSAを超える状態における水素滞留の可能性についても、評価モデルを構築し、確認に取り組んでいる。

- 公表する研究成果：  
電中研報告NR25007「過酷事故時の沸騰水型原子炉建屋下層階における水素挙動評価 –ブローアウトパネルの有効性評価–」(2026/4/24公刊)
  - ✓ <https://criepi.denken.or.jp/hokokusho/pb/reportDetail?reportNoUkCode=NR25007>
- 本研究の目的：  
実プラントにおけるブローアウトパネル（以下、「BOP」という。）開放時を想定したSAを超える状態において、水素防護対策としてのBOPの有効性を確認する。さらに感度解析により、実プラントの設計条件を基にしたBOPの寸法・位置パラメータが、建屋内水素濃度に与える影響を評価する。
- 本研究のスコープ：  
既報（電中研報告NR24009）において構築した原子炉建屋の解析モデル体系に、国内プラントの平均的なBOP一枚と屋外空間を追加し、許認可解析のSAを超える状態で、PCVからオペフロおよび局所エリアを介した下層階への水素漏洩を想定して、下層階天井を含む原子炉建屋内の水素濃度を評価。
  - ✓ 上記報告では、下層階の天井窪み「6 類型」のうち、2024年度までの評価に含めなかった類型Dに対する評価も実施。

- 東京電力福島第一原子力発電所事故の調査・分析から得られた知見への対応として、水素防護対策に係るアクションプランを2022年11月に公表した。
- アクションプランでは短期的対応と中長期的対応に分けて検討を進めることとしており、「第4回東京電力福島第一原子力発電所事故に関する知見の規制への取り入れに関する作業チーム事業者意見聴取会合」（2023年6月21日開催）において、中長期的対応として位置付けた、「水素滞留・拡散挙動の評価手法構築・評価」の検討方針を示した。
- **水素滞留の可能性のある条件を策定すること**を目的として検討を進めており、2023年度実施分の中間報告として2024年10月31日に、評価対象とする原子炉建屋の下層階を含む解析モデル体系や、GOTHICコードを用いた感度解析結果として水素滞留への寄与が大きいパラメータ等についての研究成果を公表した。また、2024年度実施分として2025年6月17日に、**水素滞留の可能性のある条件**を、各プラントの下層階における漏洩気体等の条件から**簡易に抽出する手法**についての研究成果を公表した。
- 今般、昨年度から継続実施している水素滞留の可能性のある条件を、各プラントの下層階における漏洩気体等の条件から簡易に抽出する手法およびSAを超える状態におけるBOP開放時の水素排出に係る有効性評価に関する研究成果（2025年度実施分）が取り纏められたため、当該内容について公表する。

### ATENAの水素防護対策に係るアクションプラン

➤ 2024年度（水素滞留・拡散挙動の評価手法構築）

天井窪み部において水素が滞留し得る具体的な条件（クライテリア）の簡易評価

➤ 2025年度～（構築した評価手法による評価、BOP・トップベント開放による水素挙動の確認）

BOP・トップベント開放による原子炉建屋下層階を含めた水素挙動の確認、実機適用に向けた課題検討

実施項目	実施主体	2022年度	2023年度	2024年度 上期	2024年度 下期	2025年度	2026年度	2027年度 以降
実機による風速等の測定	ATENA-WG		試験の評価方法の立案検討	試験成立性・要否判断		解析条件検討・解析評価 (電中研研究と連携)	解析結果 (必要に応じて追加検討)	
水素滞留・拡散挙動の評価手法構築・評価	ATENA-WG			評価手法構築 (電中研研究と連携)		構築した評価手法による評価 (各電力)		

■ 今回の変更箇所

上記スケジュールは東京電力福島第一原子力発電所事故の調査・分析から得られた知見への対応 水素防護対策に係るアクションプラン見直し（2024年6月7日 ATENAホームページ公表）掲載資料「アクションプラン（建屋開放実験等の検討・実施）の見直しについて」より再掲

### ▶原子炉建屋内の水素拡散の詳細評価手法構築

□ 直方体の天井窪みを想定したモデル体系（以下、「簡易モデル体系」という。）を構築し、寸法形状や伝熱特性、漏洩気体の気体特性を整理し、天井窪み部の水素濃度に影響を与える物理的な要因を特定



8

□ 天井窪みを「6類型（類型A～F）」に分類し、類型D以外の天井窪み部を評価可能な簡易評価フローを構築



9

□ 類型Dに対する判断基準を設けるため、評価体系を構築・感度解析を実施し、体系内での水素濃度を確認



10 ~ 16

### ▶BOPによる水素防護対策の有効性評価

□ SAを超える状態を想定し、BOP開放時における下層階を含む原子炉建屋内の水素濃度を確認することで、対策の有効性を評価



17 ~ 26



: 2023年度成果



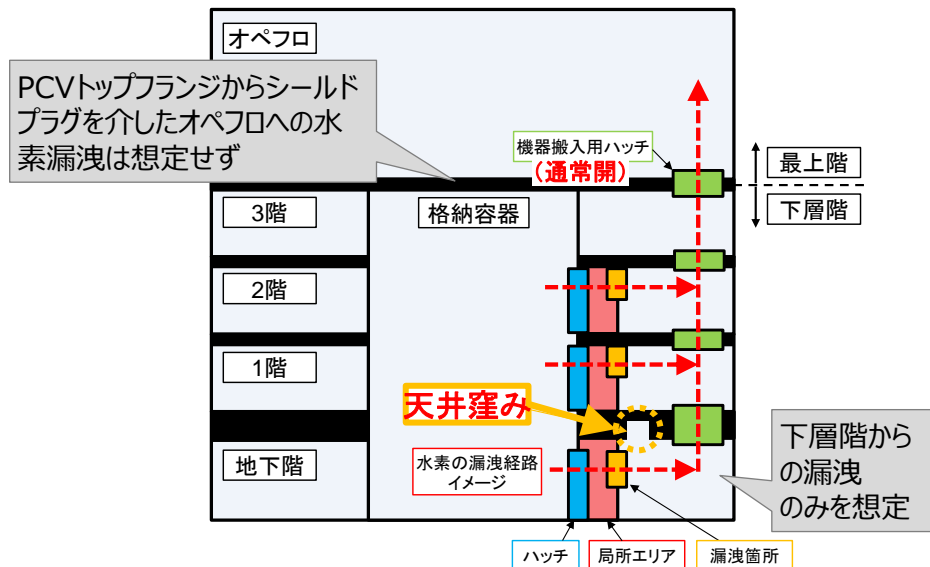
: 2024年度成果



: 2025年度成果

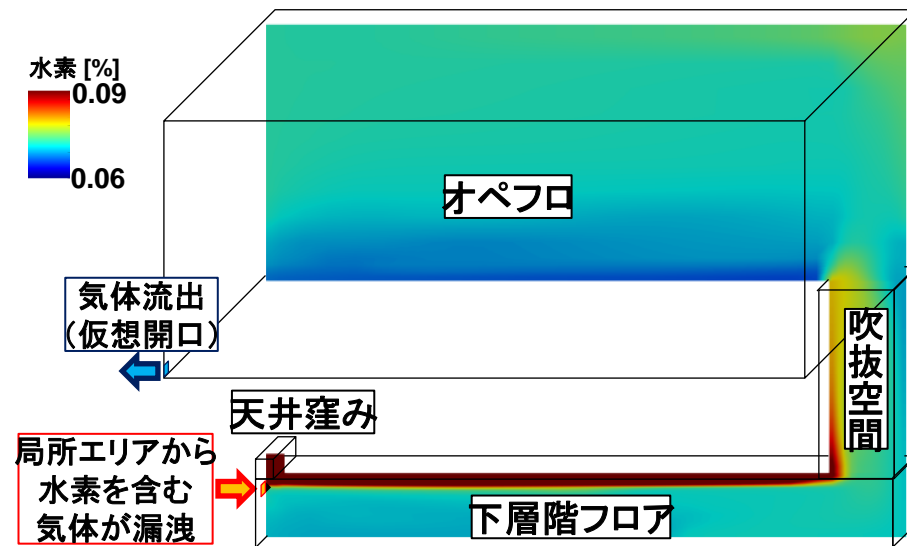
### 前々回報告時の概要

- 下層階から吹抜空間～オペフロまでモデル化（簡易モデル体系）したGOTHIC解析を実施
- 許認可解析のSA条件を参照した解析により以下の傾向を把握
  - ✓ 下層階に漏洩した水素は吹抜空間における自然対流により建屋内で循環して希釈される
  - ✓ 天井窪み部の体積が小さいほど水素濃度が高い
  - ✓ **漏洩箇所から天井窪みまでの距離が近いほど窪みにおける水素濃度が高い**
  - ✓ **天井窪みよりも上流側の天井付近の水素濃度が高い**



原子炉建屋下層階への水素漏洩時の流路イメージ

[電中研報告NR24003を引用し追記]

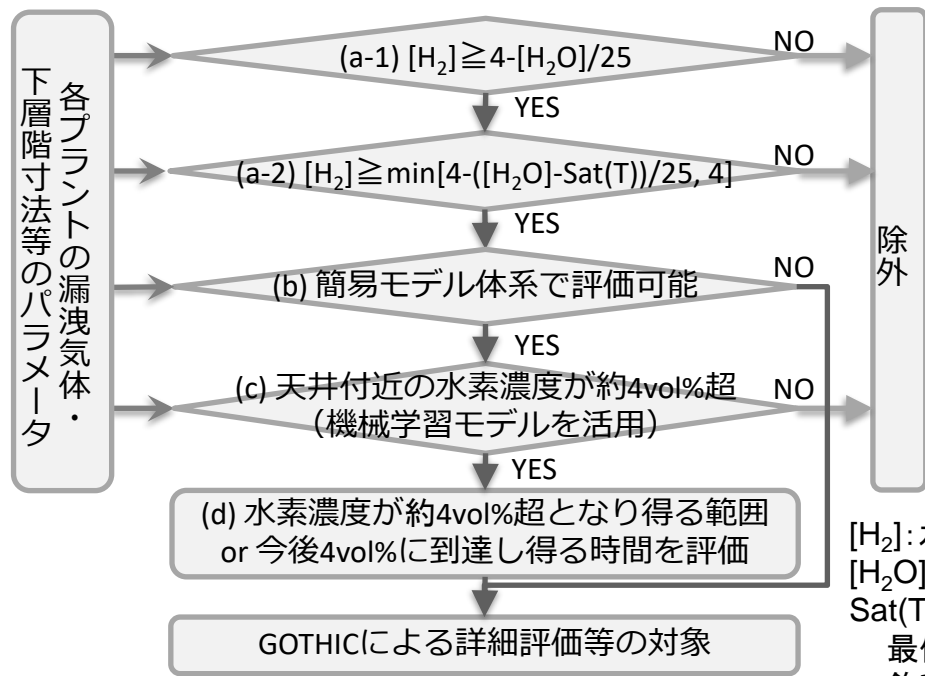


簡易モデル体系とGOTHIC解析例

[電中研報告NR24003を引用し追記]

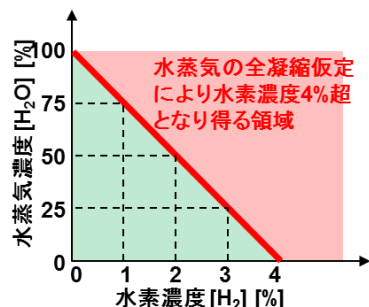
## 前回報告時の概要

- 原子炉建屋下層階の水素濃度が可燃限界（4vol%）を超え得ることに伴う詳細評価等の要否を効率的に判定可能な簡易評価フローを構築
  - ✓ 本フローの一要素として下層階天井付近の水素濃度分布予測のために機械学習モデルを開発
  - ✓ 天井窪み「6 類型」のうち、類型A・B・C・E・Fについては本フローで評価可能

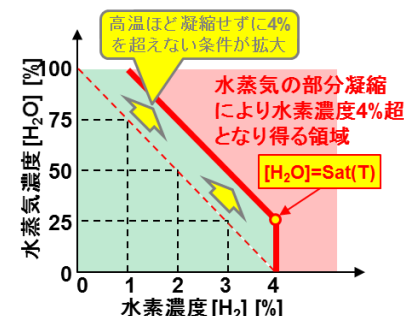


簡易評価フローの概要  
[電中研報告NR24009を引用し追記]

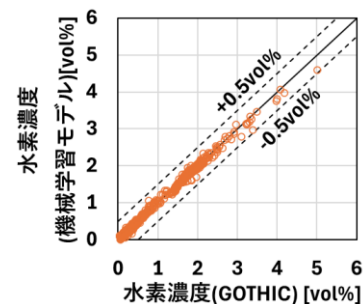
[H<sub>2</sub>]: 水素濃度(%)  
[H<sub>2</sub>O]: 水蒸気濃度(%)  
Sat(T): 下層階内の最低温度Tにおける飽和水蒸気濃度



(a-1) 漏洩気体中の水蒸気的全凝縮仮定により水素濃度が4%超となり得る条件 [電中研報告NR24009]



(a-2) 漏洩気体中の水蒸気の部分凝縮により水素濃度が4%超となり得る条件 [電中研報告NR24009]



下層階天井付近の水素濃度に対するGOTHIC解析値と機械学習モデル予測値の比較 [電中研報告NR24009を引用し追記]

## 小部屋からダクトを介して周回通路に繋がる類型D体系での解析を実施

- 国内BWRプラントに存在する「水素が滞留する可能性がある箇所」<sup>[1]</sup>を再整理
  - ✓ 類型A、B、C、E、Fは、簡易評価フローでの評価方法を2024年度に構築済<sup>[2]</sup>
  - ✓ 類型Dは小部屋からダクトを介してフロア領域に接続するという、他の類型と異なる体系であるため、2025年度に類型D体系での解析を実施する計画としていた

[類型A] デッキプレート	[類型B] 気体の移行を妨害する 天井の出張り	[類型C] 躯体の窪み
 <p>A</p> <p>青ハッチング</p>	 <p>B</p> <p>天井の出っ張り</p>	 <p>C</p>
[類型D] 空調ダクトの貫通孔が天井付近に設置されていない小部屋	[類型E] 壁・天井等で区切られて 生じた横穴（横穴部）	[類型F] 壁・天井により区切られた区 画（階段室）
 <p>D</p> <p>貫通孔</p>	 <p>E</p>	 <p>F</p>

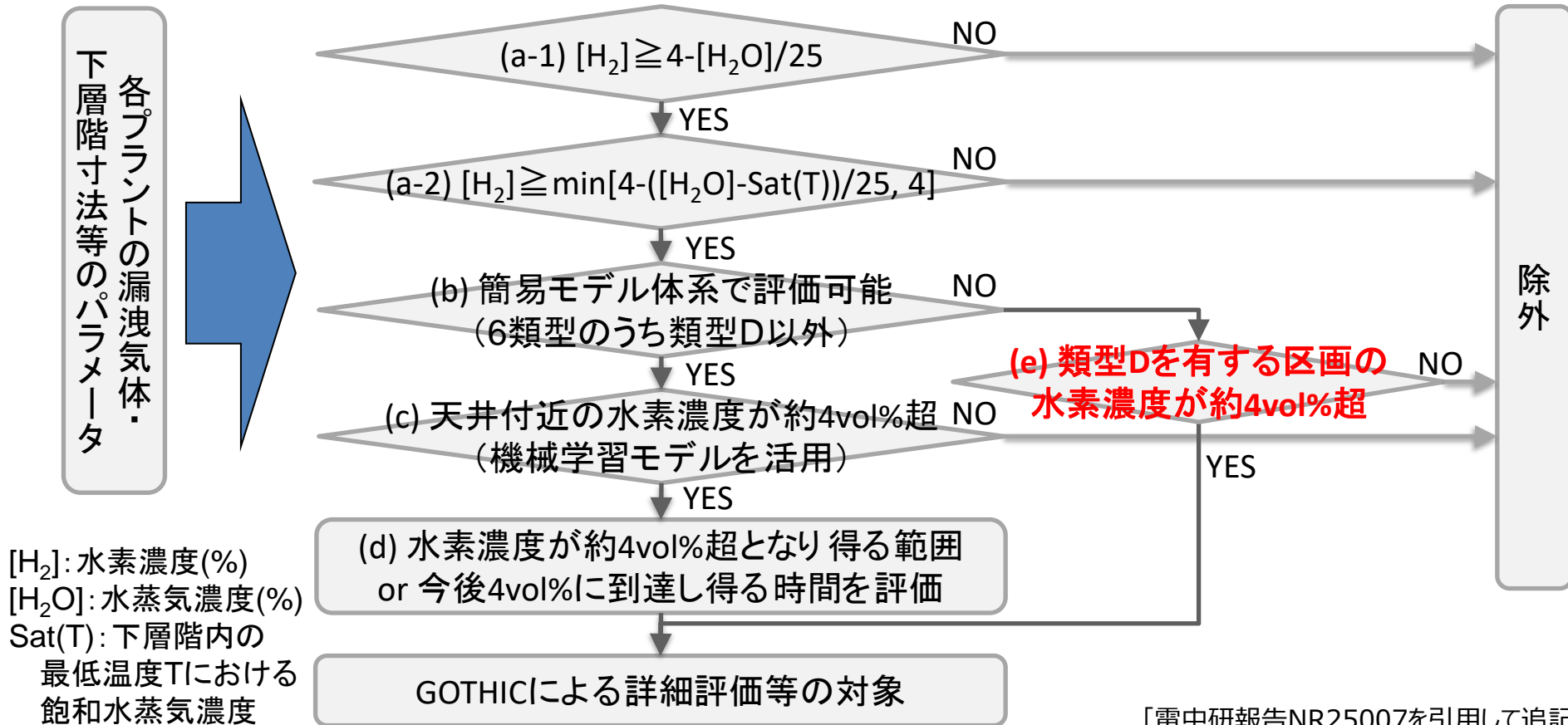
2024年度に  
構築済の簡易  
評価フローでの  
評価対象<sup>[2]</sup>

2025年度の  
研究での  
評価対象

[1] BWR事業者、ATENA  
、水素防護対策の取組状況  
について、2023年6月  
[2] 電中研報告 NR24009

### 類型Dの取扱いとして、簡易評価フローに判断項目(e)を追加

- 判断項目(e)における評価項目を以下の通り検討
  - ✓ 判断項目(a)でYESとなる、漏洩気体中の蒸気が凝縮し、水素が高濃度となる条件が前提
  - ✓ 判断項目(b)でNOとなった後に個別に可燃限界を超え得るか否かを判断

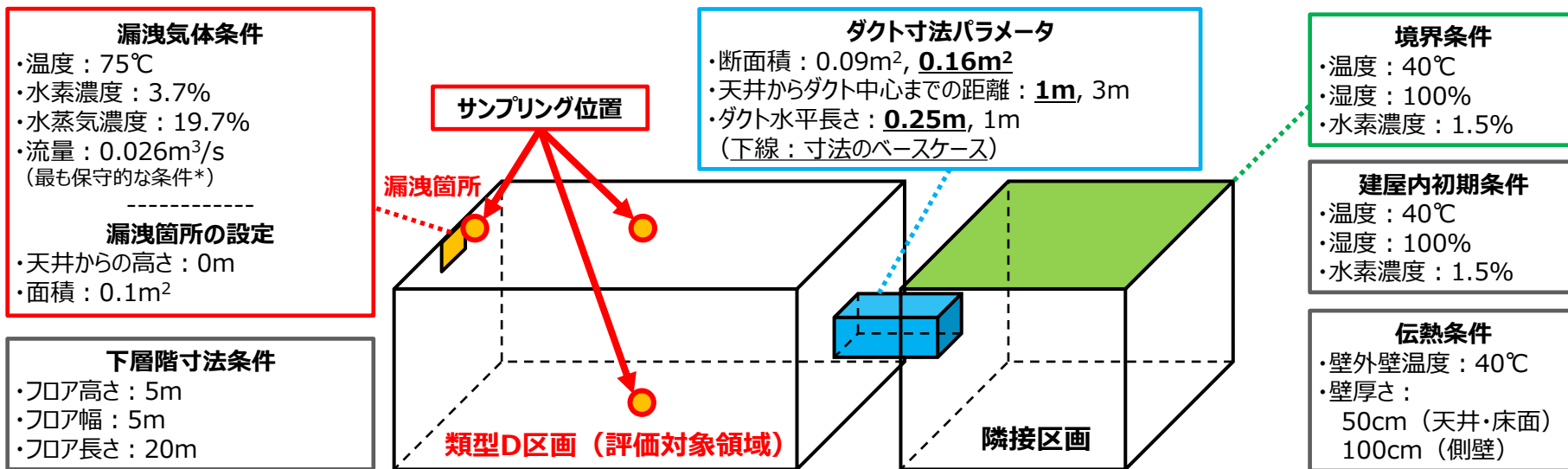


[電中研報告NR25007を引用して追記]

### 類型D体系における水素濃度を評価するための解析モデルを構築

- 漏洩箇所が存在する区画（以下、「類型D区画」という。）から、ダクトを通じて隣接区画へ接続される体系を構築し、各サンプリング位置における水素濃度を評価
- 感度解析として各ダクト寸法（ダクトの断面積・長さ・天井からダクト中心までの距離）を変更した場合の解析を1ケース実施

類型Dを含む下層階区画に対するGOTHIC解析モデルのイメージと評価条件

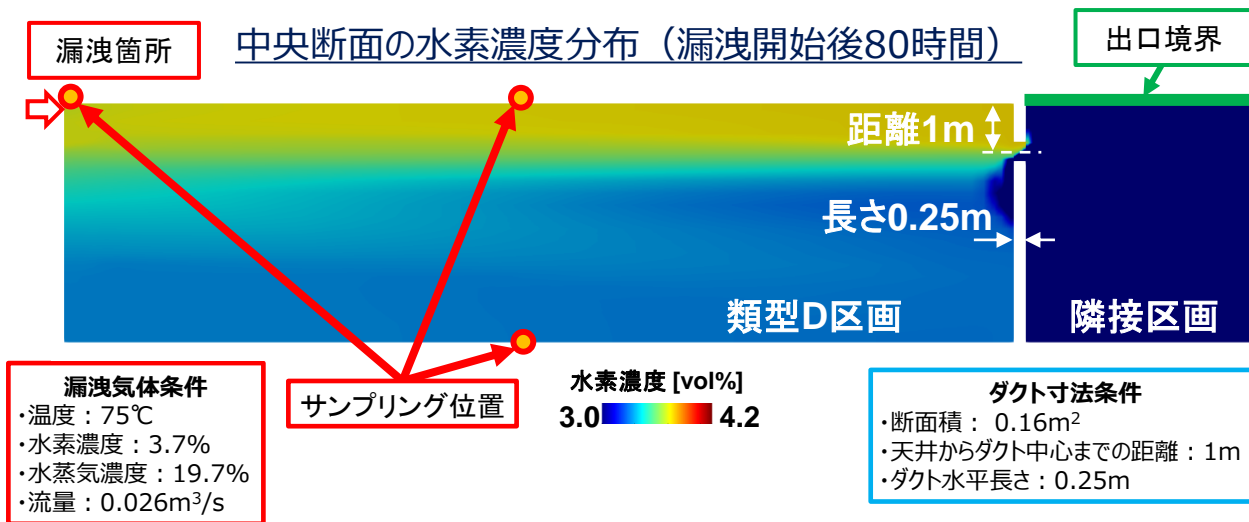
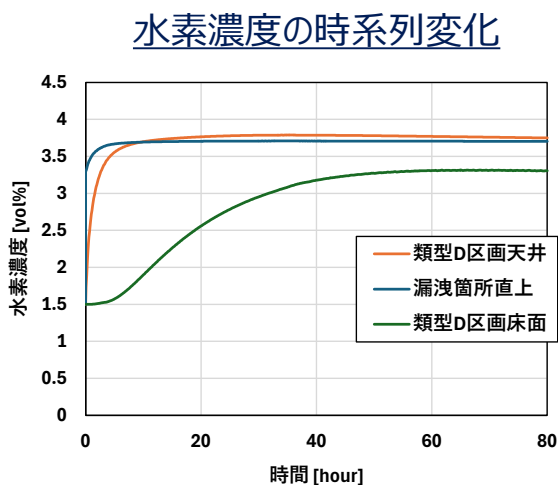


\*各社から収集した局所エリアからの漏洩気体条件より抽出

[電中研報告NR25007を引用して追記]

## 類型D区画内の水素濃度は、漏洩気体の濃度に収束する傾向

- 漏洩開始から約80時間かけて水素濃度は上昇し、区画内の水素濃度は漏洩気体の水素濃度(3.7vol%)にほぼ収束、区画天井において水素濃度が約3.8vol%
- ダクトにおいて類型D区画と隣接区画の間で対向流が生じており、隣接区画からダクトを介して水素濃度の低い気体が流入し希釈されることで、床面での水素濃度は若干低くなる



[電中研報告NR25007を引用して追記]

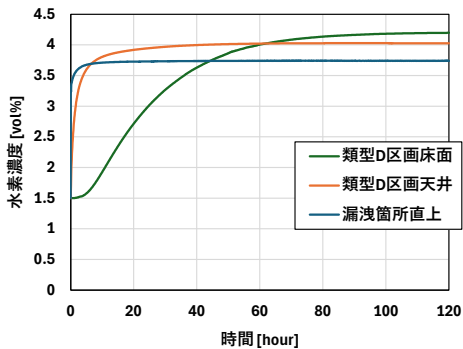
### 類型D区画の水素濃度に対するダクト寸法パラメータの影響を把握

- ダクトの断面積・天井からダクト中心までの距離が水素濃度に与える影響が大きい傾向
  - ✓ 隣接区画からのダクトを介した空気の流入が減少し、水素がダクトを通して隣接区画に抜けづらくなるため、水素濃度が増加しやすい

水素濃度に対するダクト寸法パラメータの影響

解析ケース		ベースケース	感度解析①	感度解析②	感度解析③
ダクト寸法 パラメータ	ダクト水平長さ	0.25m	1m	0.25m	0.25m
	天井からダクト中心までの距離	1m	1m	3m	1m
	断面積	0.16m <sup>2</sup>	0.16m <sup>2</sup>	0.16m <sup>2</sup>	0.09m <sup>2</sup>
水素濃度		3.750vol%	3.817vol%	4.064vol%	4.197vol%

断面積0.09m<sup>2</sup>における水素濃度の時系列変化

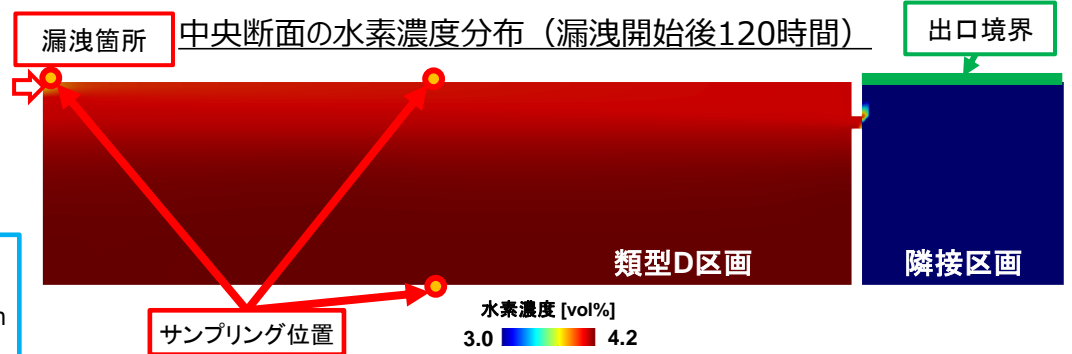


**漏洩気体条件**

- ・温度：75℃
- ・水素濃度：3.7%
- ・水蒸気濃度：19.7%
- ・流量：0.026m<sup>3</sup>/s

**ダクト寸法条件**

- ・断面積：0.09m<sup>2</sup>
- ・天井からダクト中心までの距離：1m
- ・ダクト水平長さ：0.25m



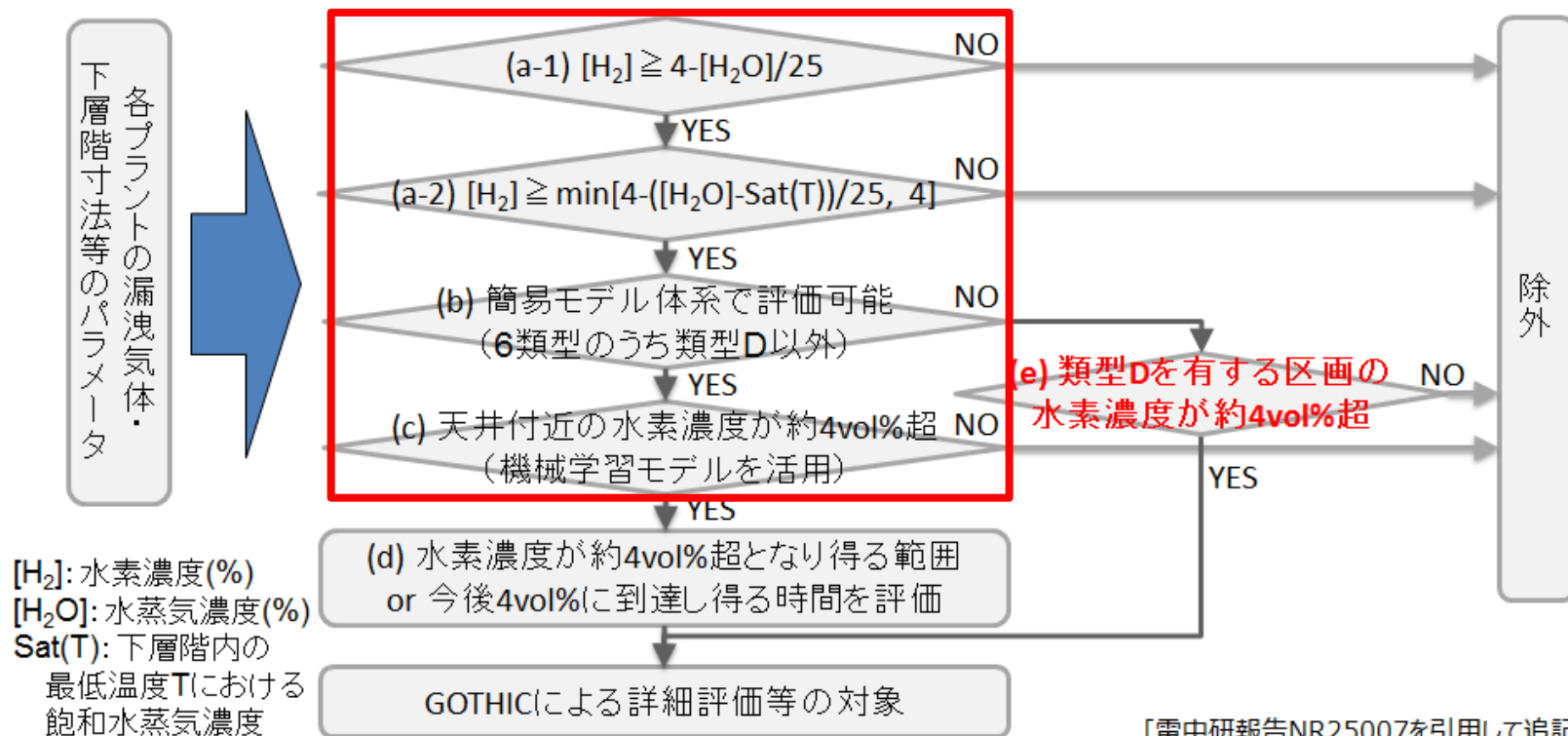
[電中研報告NR25007を引用して追記]

(解析例) ダクト断面積を0.09m<sup>2</sup>とした場合の水素濃度

- 類型D体系を評価するための解析モデルを構築し、ダクト寸法のパラメータに対する感度解析を実施
  - ✓ ダクト寸法のパラメータによっては可燃限界を超える可能性がある
  - ✓ 今回設定した漏洩気体条件・ダクト寸法パラメータのうち、可燃限界を超えない条件の場合には簡易評価フローで詳細評価の必要性なしと判定
  - ✓ 具体的には、漏洩気体条件が今回解析した条件より緩和されず、ダクトの断面積が $0.16\text{m}^2$ 以上、天井からダクト中心までの距離が $1\text{m}$ 以下、ダクト水平長さが $1\text{m}$ 以下の場合には詳細評価の必要性なしと判定
  - ✓ 一方、上記の条件を超えるような場合には各社で個別評価を実施
- この評価方法を簡易評価フローの判断項目(e)として用いることで、下層階に存在する6類型すべての天井窪みに対して簡易評価フローを適用することが可能となる

### 各社代表プラントにおいて簡易評価フローを用いた評価を実施

- 各社の代表プラントにおいて簡易評価フローを適用した評価の結果、判断項目(a-1)～(c)により除外可能であることを確認
- 今後、判断項目(e)に該当するプラントがあった場合には、今年度得られた知見を活用するとともに、必要に応じてGOTHIC解析を実施する



[電中研報告NR25007を引用して追記]

# 4. BOPによる水素防護対策の有効性評価

## 背景・目的・想定するプラント状態

### 【背景】

- 原子力規制委員会や東京電力福島第一原子力発電所における事故の分析に係る検討会等での議論を受けて、SAを超える状態におけるBOP開放時の気体の流れの確認や局所的な滞留等の可能性を考慮し、GOTHIC解析によるBOP開放の有効性を確認することとした。

### 【目的】

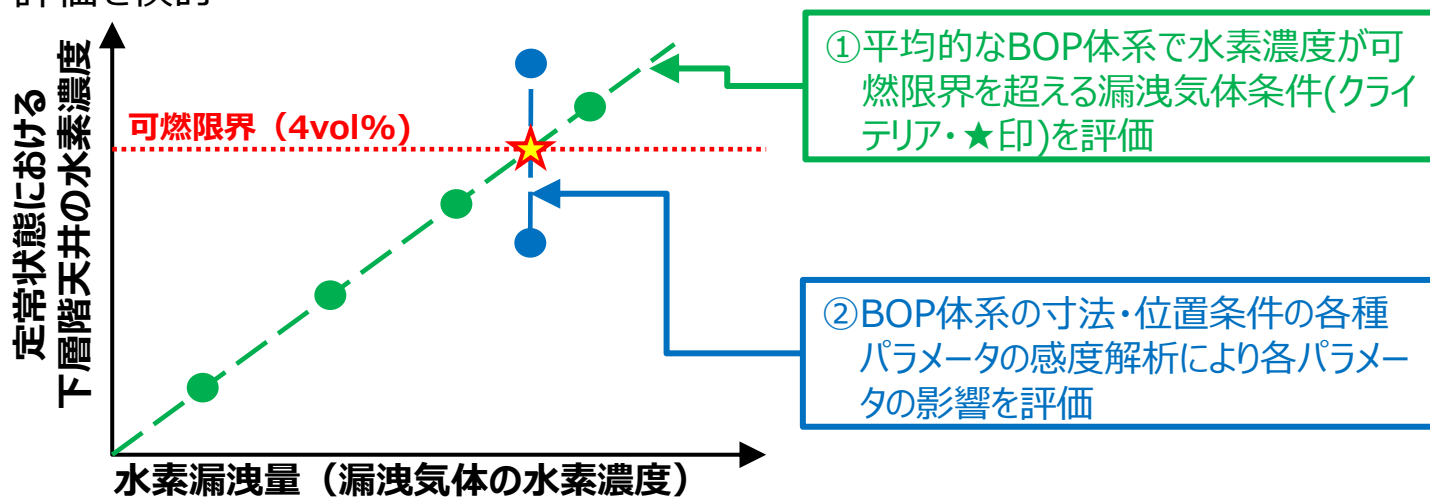
- 実プラントにおいてBOPを開放する状況下を想定したうえ、開放時におけるオペフロおよび下層階における水素濃度をGOTHIC解析により確認することで、BOP開放の有効性を確認する。

### 【想定するプラント状態】

- 水素排出設備としてのBOPは、非常用ガス処理系（SGTS）およびPARが作動し、PCVベントを実施したとしても原子炉建屋内の水素濃度が下がりきらない場合の自主対策設備として位置づけ
- そのため、ベントには成功（PCV内は水蒸気100vol%）するものの、建屋水素濃度が下がらない状況を想定し、BOP開放による水素排出効果を確認 ⇒ 「SA状態」
- 加えて、SAを超えた条件として、PCVベントの際、一部のガスのみ排出された状況を想定し、漏洩気体組成比（ $H_2:H_2O$ ）を変化させた場合のBOP開放による水素排出効果を確認 ⇒ 「SAを超える状態」

### 以下の通り、2ステップに分けて解析を実施

- ① BOPの寸法・位置パラメータのベースケース条件に対して、下層階の定常状態における水素濃度が可燃限界を超える漏洩気体条件（クライテリア）を評価
  - ベースケース条件は国内プラントのBOP1枚の平均的な寸法・位置パラメータを設定
  - 漏洩気体の水素濃度（格納容器内の水素濃度）を0vol%（SA状態）～33vol%（SAを超える状態）まで変化させ、その傾向を踏まえて上記の漏洩気体条件（クライテリア）を評価
- ② 上記①の下層階水素濃度が可燃限界を超える漏洩気体条件で、定常状態における下層階の水素濃度に対するBOPの寸法・位置パラメータの感度解析を実施
  - BOPの面積・設置高さや位置等の各パラメータの影響と、各プラントの構造・運用を踏まえて詳細な評価を検討



BOP体系の解析で得られるアウトプットのイメージ

[電中研報告NR25007を引用して追記]

# 4. BOPによる水素防護対策の有効性評価 各ステップにおける主要解析条件

## 以下の条件で各ステップにおける解析を実施

### 【ステップ①】

- 漏洩気体の水素濃度0vol%とした場合（SA状態）、5vol%/10vol%/33vol%とした場合（SAを超える状態）における下層階の水素濃度を評価
- 得られた傾向を踏まえ、下層階の定常状態における水素濃度が可燃限界を超える（4vol%となる）漏洩気体条件（クライテリア）を評価

### ステップ①における主要解析条件

[電中研報告NR25007を引用して追記]

パラメータ		設定	備考	
漏洩気体	オペフロ	温度	200℃	代表プラント条件
		組成比 (H <sub>2</sub> :H <sub>2</sub> O)	0:100(SA状態)~33:67(SAを超える状態)	代表プラント条件
	下層階	温度	200℃	オペフロと同等に設定
		組成比 (H <sub>2</sub> :H <sub>2</sub> O)	0:100(SA状態)~33:67(SAを超える状態)	オペフロと同等に設定
	PCV漏えい率		10%/day	PARの性能評価上の設計条件
	漏洩割合 (オペフロ : 下層階)		7.5:2.5	代表プラント条件
(初期) 建屋内	温度	40℃		
	湿度	100%		
	水素濃度	3%	BOP開放条件を包絡するよう設定	
(初期) 屋外	温度	40℃		
	湿度	60%		

# 4. BOPによる水素防護対策の有効性評価 各ステップにおける主要解析条件

## 【ステップ②】

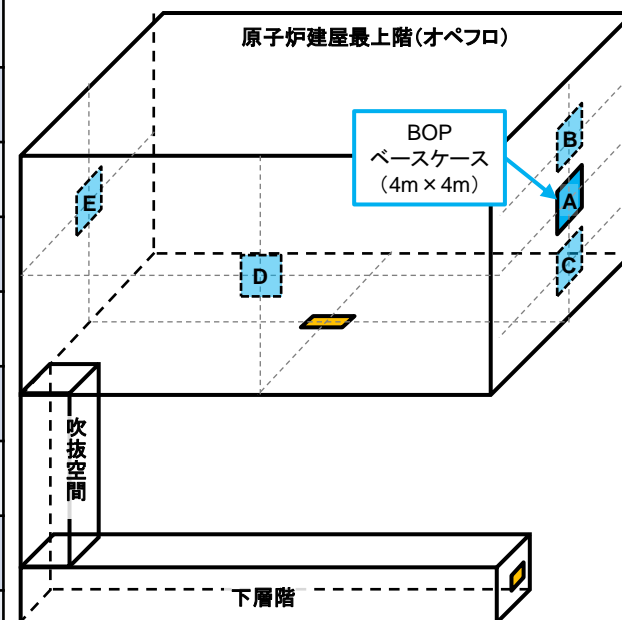
- ▶ クライテリアとなる漏洩気体条件において、BOP寸法・位置パラメータを変化させた場合の感度解析を実施することで、BOP設置条件による影響を評価

### ステップ②における主要解析条件

寸法・位置パラメータ					備考
縦横寸法	設置高さ (BOP中央)	設置壁面 (吹抜空間より)	設置枚数	面積	
4m×4m	中(10m)	遠い壁面	1	16m <sup>2</sup>	ベースケース (位置A)
3m×3m	中(10m)	遠い壁面	1	9m <sup>2</sup>	面積の影響評価 (位置A)
2m×2m	中(10m)	遠い壁面	1	4m <sup>2</sup>	面積の影響評価 (位置A)
4m×2m	中(10m)	遠い壁面	1	8m <sup>2</sup>	横寸法の影響評価 (位置A)
2m×4m	中(10m)	遠い壁面	1	8m <sup>2</sup>	縦寸法の影響評価 (位置A)
2m×8m	中(10m)	遠い壁面	1	16m <sup>2</sup>	アスペクト比の影響評価 (位置A)
4m×4m	高(15m)	遠い壁面	1	16m <sup>2</sup>	設置高さの影響評価 (位置B)
4m×4m	低(5m)	遠い壁面	1	16m <sup>2</sup>	設置高さの影響評価 (位置C)
4m×4m	中(10m)	側壁面	1	16m <sup>2</sup>	設置壁面の影響評価 (位置D)
4m×4m	中(10m)	近い壁面	1	16m <sup>2</sup>	設置壁面の影響評価 (位置E)

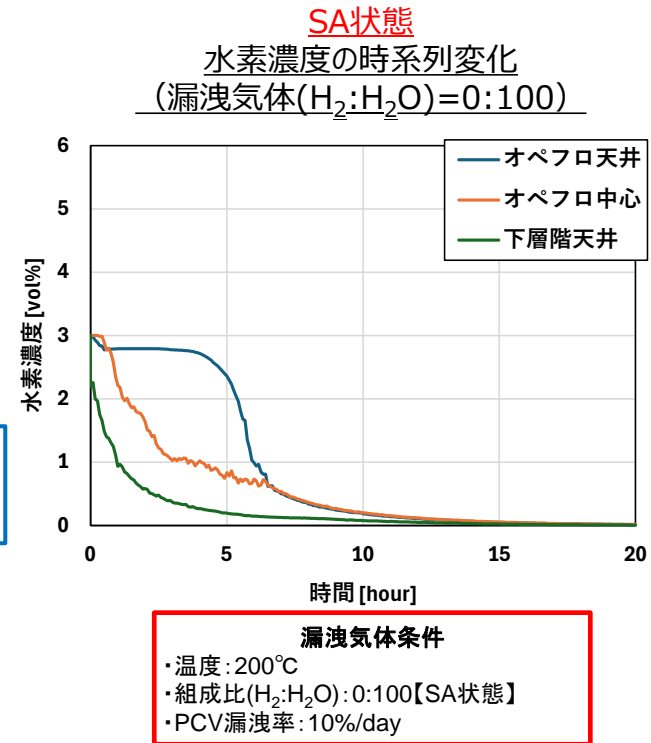
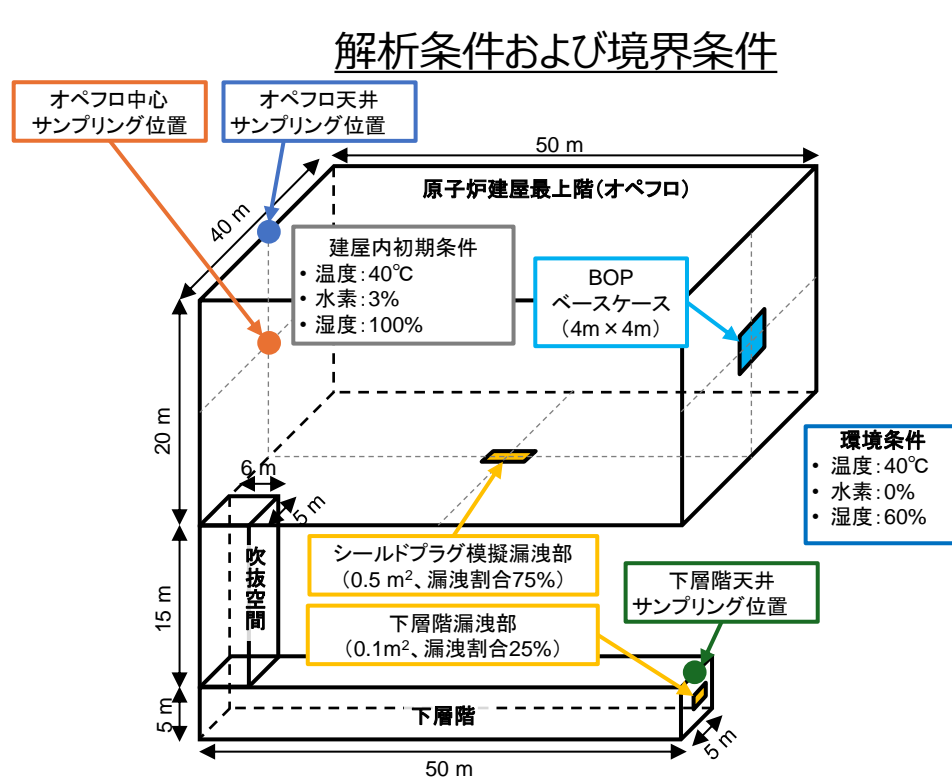
[電中研報告NR25007を引用して追記]

ステップ②における解析モデルイメージ図



### SA状態では水素濃度は0vol%に収束

- 下層階天井では、BOP開放直後から急激に水素濃度が減少し、0vol%に収束
- オペフロ天井では、漏洩気体と外から流入してくる気体の影響により、一時的に初期状態である約3vol%で維持されるが、約5時間後から急激に水素濃度が減少し、0vol%に収束



[電中研報告NR25007を引用して追記]

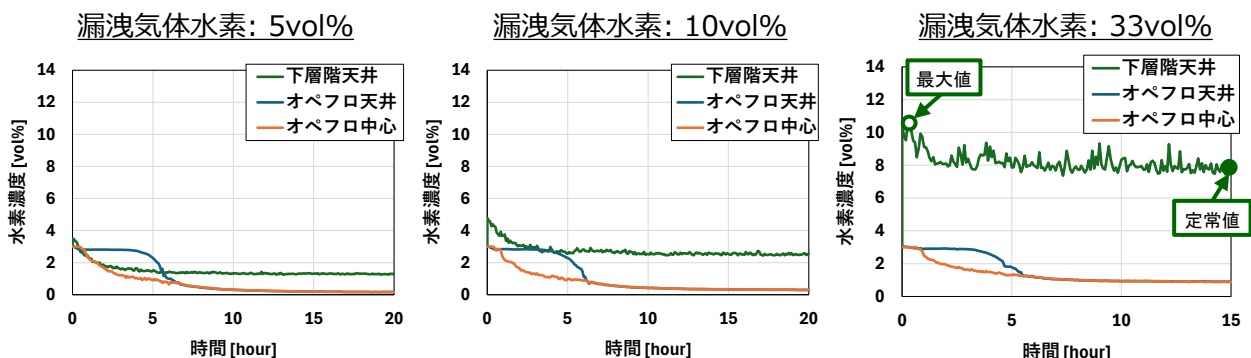
# 4. BOPによる水素防護対策の有効性評価

SAを超える状態における建屋内水素濃度変化（ステップ①）

## SAを超える状態においても、漏洩気体水素濃度約16.9%未満であれば可燃限界を超えない

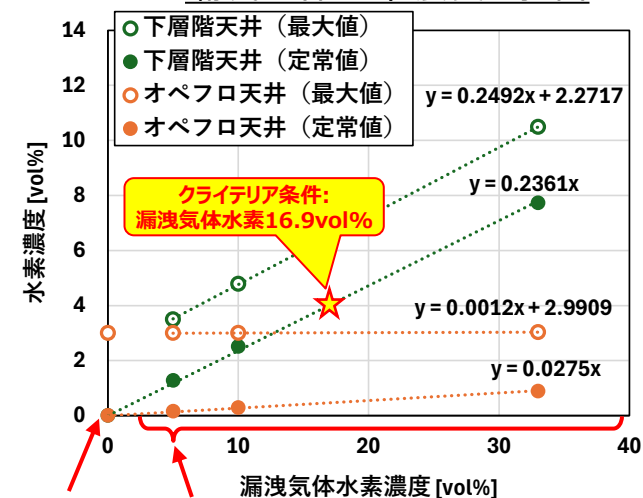
- BOP開放直後に水素濃度は最大値をとり、約10時間程度で定常値に収束
- 漏洩気体水素濃度を变化させた結果、建屋内の水素濃度は漏洩気体水素濃度に比例して上昇する傾向を確認
- 上記の傾向から、BOP開放後における下層階の水素濃度が定常的に可燃限界4vol%を超えるクライテリアは、漏洩気体の水素濃度が約16.9% (=4/0.2361)

SAを超える状態の水素濃度の時系列変化



※計算終了前1時間分の水素濃度の時間平均値を定常値と定義

建屋内の水素濃度に対する漏洩気体水素濃度の影響



[電中研報告NR25007を引用して追記]

# 4. BOPによる水素防護対策の有効性評価

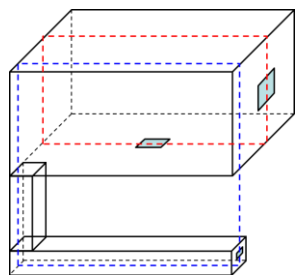
漏洩気体水素濃度33vol%の場合の水素濃度空間分布 (ステップ①)

## クライテリアを超える漏洩気体条件において可燃限界を超える領域は、下層階天井の漏洩箇所近傍に限られる

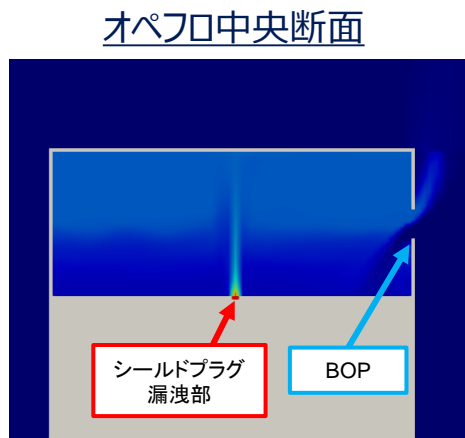
- 下層階から漏洩した水素はオペフロに向かって移行し、環境からBOPを介して流入した空気が下層階へ移行
- 最大値の場合、下層階漏洩部から約2m、定常値の場合、約30cmの範囲のみが4%超であり、その範囲は限定的

断面の水素濃度分布 (BOP開放後15時間)

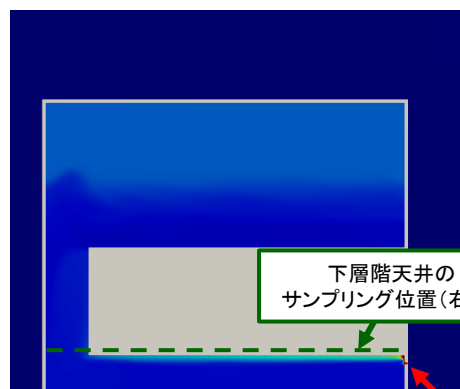
オペフロ中央断面



下層階中央断面

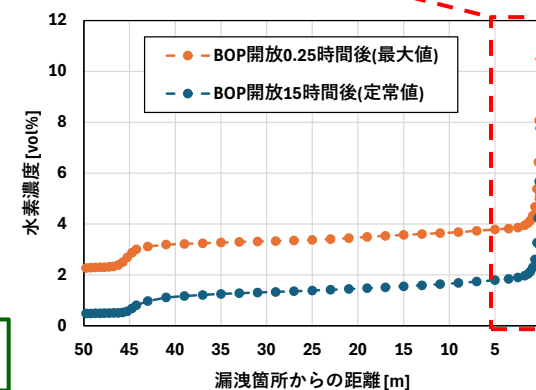
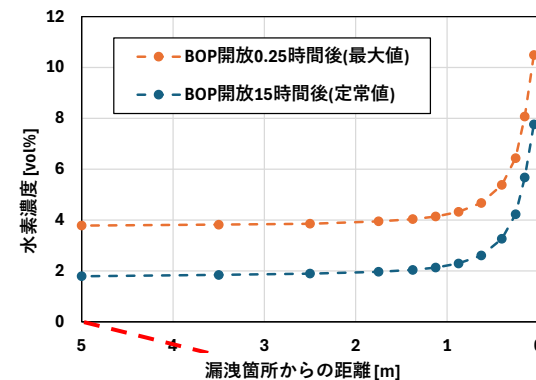


下層階中央断面



水素濃度 [vol%]  
0.0 4.0

下層階天井の水素濃度分布\*



\*最大値：下層階天井の時系列データにおいて、水素濃度が最大となるBOP開放から0.25時間後の値  
定常値：計算終了前1時間分 (14~15時間) の水素濃度の時間平均値

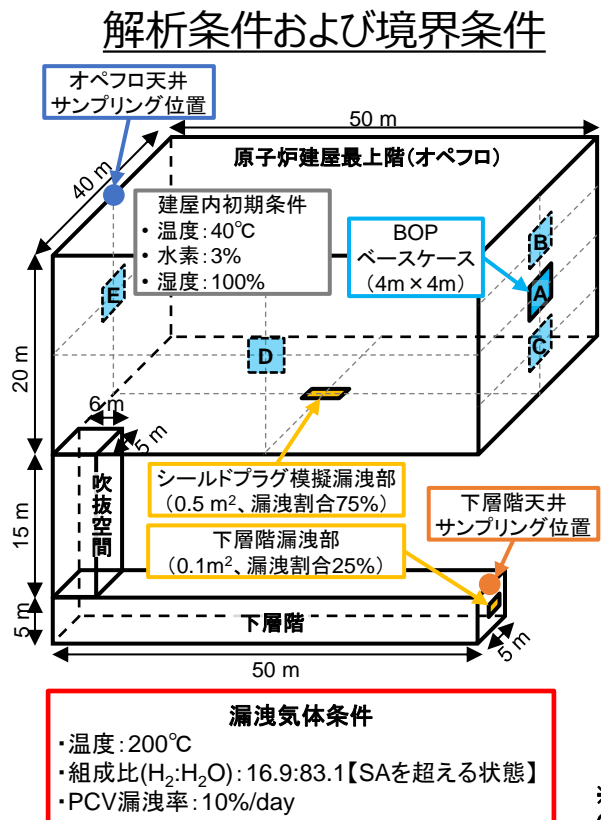
[電中研報告NR25007を引用して追記]

# 4. BOPによる水素防護対策の有効性評価

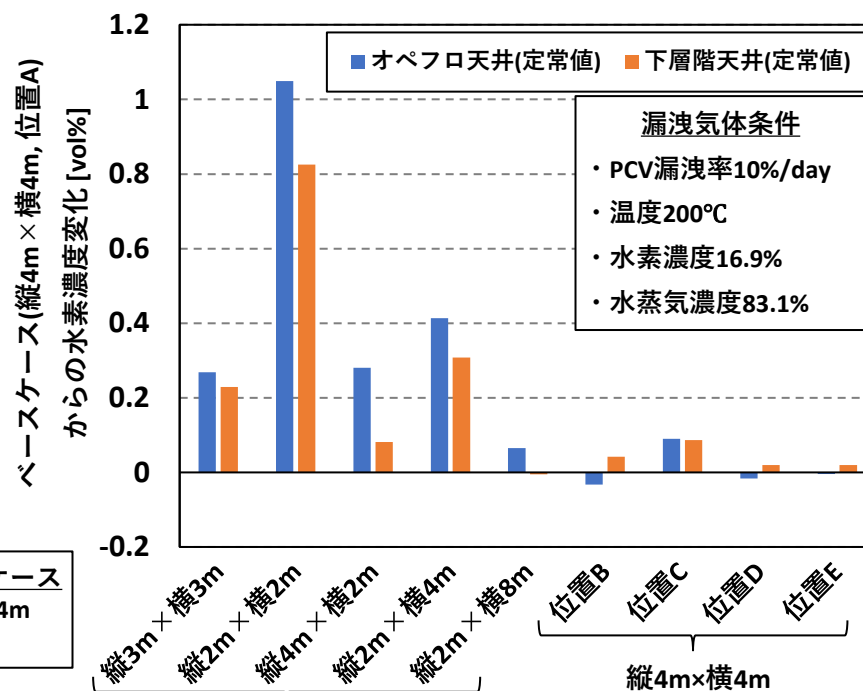
## BOP寸法・位置パラメータの感度解析結果 (ステップ②)

### BOP面積が大きいほど、また縦長になるほど、建屋内の水素濃度は低い

- 解析条件の中で最も水素濃度が高いのは、BOP面積が最も小さい条件
  - ✓ BOP設置位置を変化させても、水素濃度にほとんど影響がみられない
- 面積が最も小さくなるBOP面積 2m×2mについて漏洩水素濃度による感度を確認



**ベースケースからの水素濃度変化**



※計算終了時刻の1時間前から終了時刻までの平均水素濃度を定常状態として評価

[電中研報告NR25007を引用して追記]

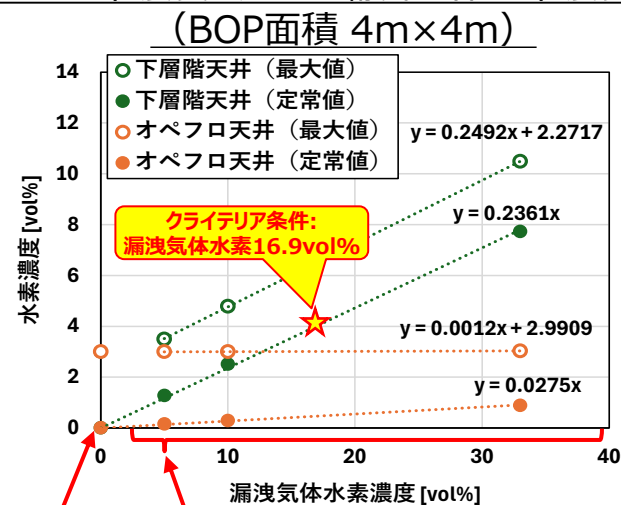
# 4. BOPによる水素防護対策の有効性評価

BOP寸法を変更した場合の建屋内水素濃度に対する漏洩気体水素濃度の影響 (ステップ②)

## SAを超える状態かつBOP面積を1/4に縮小という保守的な条件においてもBOPによる相応の換気効率が得られることを確認

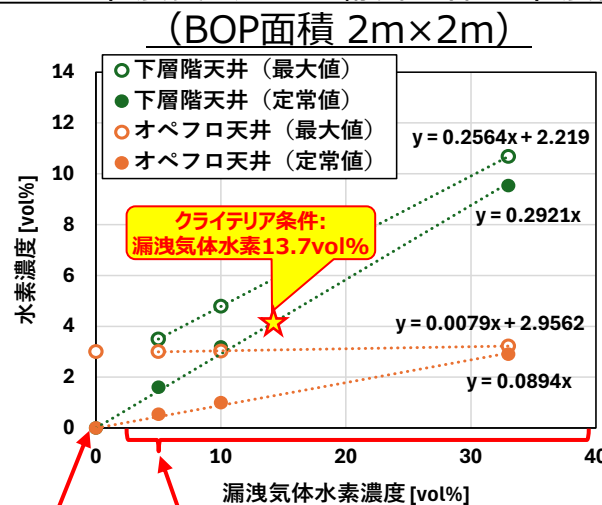
- BOP面積 2m×2mのケースにおいても、漏洩気体水素濃度が高いと建屋内の水素濃度も高い傾向
- BOP開放後に下層階の水素濃度が定常的に可燃限界4vol%を超えるクライテリアは、漏洩気体の水素濃度が約13.7vol% (=4/0.2921)
- なお、BOP面積 4m×4mのケースにおけるクライテリアは、漏洩気体の水素濃度が約16.9vol%

建屋内水素濃度に対する漏洩気体水素濃度の影響 (BOP面積 4m×4m)



SA状態 SAを超える状態

建屋内水素濃度に対する漏洩気体水素濃度の影響 (BOP面積 2m×2m)



SA状態 SAを超える状態

[電中研報告NR25007を引用して追記]

- SA状態（漏洩気体水素濃度0vol%）に対して、平均的な寸法のBOP1枚開放で、オペフロや下層階において水素濃度が可燃限界を超えないことから、BOPの有効性を確認
- SAを超える状態（漏洩気体水素濃度0vol%超過）に対して、平均的な寸法のBOP1枚開放で、下層階天井の水素濃度が可燃限界を超えない範囲を評価するとともに、可燃限界を超える場合でもその領域が限定的となることから、BOP開放により高い換気効率を得られることを確認
- SAを超える状態で、BOPの寸法・位置をパラメータとした感度解析を実施し、プラントの運用や設計に資する知見として、下層階天井の水素濃度に対するBOPの面積や設置位置の影響の程度を把握
  - ✓ 最も面積の小さいBOP（2m×2m）開放時による水素濃度低減効果を確認するため、漏洩水素濃度を変化させた場合の解析を実施し、平均的な寸法のBOPと同様に高い換気効率を得られることを確認

## 今後のATENAの水素防護対策に係るアクションプラン (2026年度～)

- BOP・トップベント開放による水素挙動の確認
  - ✓ SAを超える状態における原子炉建屋内の水素挙動の確認、実機適用に向けた課題検討

実施項目	実施主体	2022年度	2023年度	2024年度 上期	2024年度 下期	2025年度	2026年度	2027年度 以降
実機による風速等の測定	ATENA-WG		試験の評価方法の立案検討	試験成立性・要否判断		解析条件検討・解析評価 (電中研研究と連携)	解析結果 (必要に応じて追加検討)	
水素滞留・拡散挙動の評価手法構築・評価	ATENA-WG			評価手法構築 (電中研研究と連携)		構築した評価手法による評価 (各電力)		

■ アクションプラン改訂2版における変更箇所

東京電力福島第一原子力発電所事故の調査・分析から得られた知見への対応 水素防護対策に係るアクションプラン見直し (2024年6月7日 ATENAホームページ公表) 掲載資料「アクションプラン (建屋開放実験等の検討・実施) の見直しについて」より抜粋

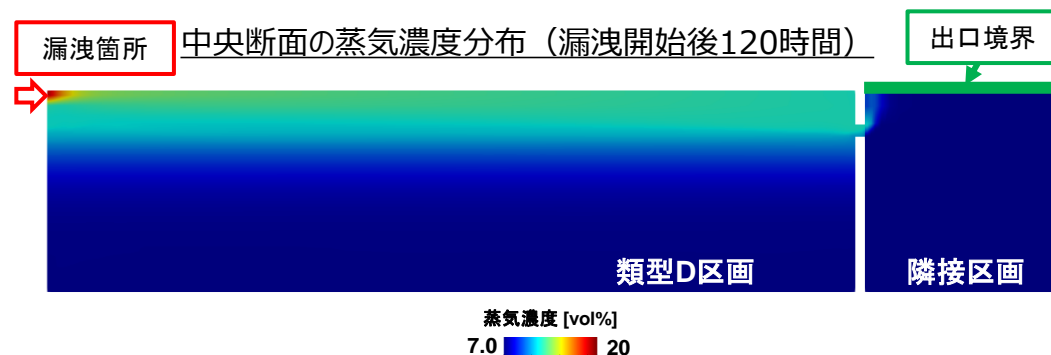
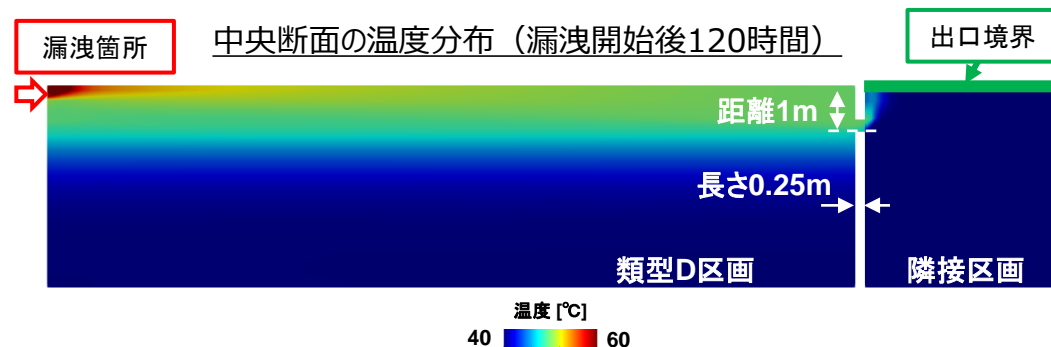
### **2026年度の当面の実施事項**

- GOTHICコードによるトップベント体系のモデル作成と評価
  - ✓ トップベントの大きさ・位置の設定
  - ✓ 原子炉建屋内の境界条件・初期条件の設定 (BOP体系評価時と同様)
  - ✓ 水平開口部を対象とした既存実験を参照した検証解析
  - ✓ オペフロ～屋外空間を対象とした予備解析
  - ✓ 下層階～オペフロ～屋外空間を対象とした本解析
- BOP体系の小規模要素試験の実施
  - ✓ 試験装置の製作
  - ✓ 試験の実施
  - ✓ GOTHIC解析検証用のデータ整備

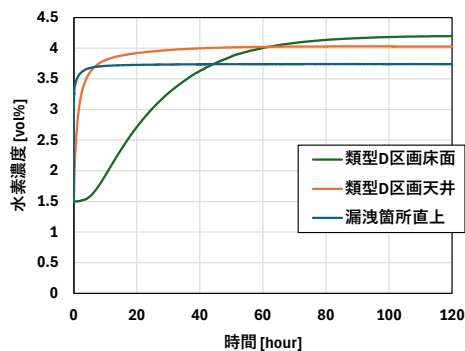
## ダクト断面積が小さい場合、天井よりも床面の水素濃度が増加する傾向

類型D体系における感度解析の結果、ダクト断面積を小さくした場合に以下の傾向が得られた

- 温度の高い天井よりも、温度の低い床面のほうが、蒸気が凝縮するため蒸気濃度が低い
- ダクトにおいて対向流が生じておらず、隣接区画からの空気による類型D区画の水素の希釈が起きていない
- 凝縮によって水素濃度が増加するため天井よりも床面で水素濃度が増加



断面積 $0.09\text{m}^2$ における水素濃度の時系列変化

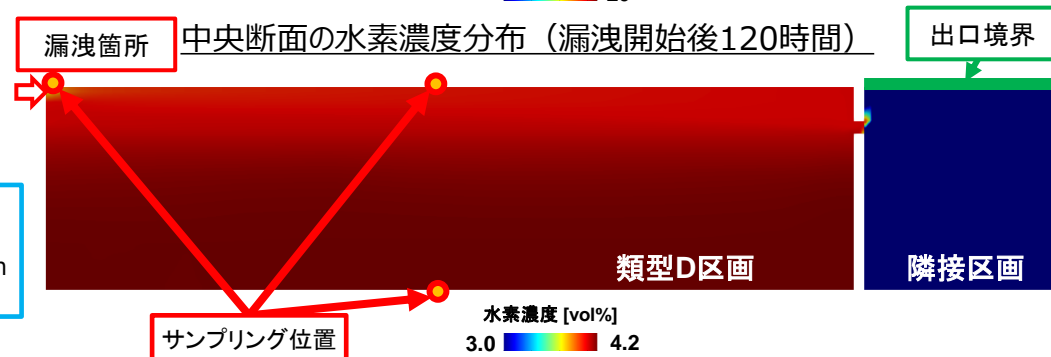


**漏洩気体条件**

- ・温度：75°C
- ・水素濃度：3.7%
- ・水蒸気濃度：19.7%
- ・流量：0.026m<sup>3</sup>/s

**ダクト寸法条件**

- ・断面積：0.09m<sup>2</sup>
- ・天井からダクト中心までの距離：1m
- ・ダクト水平長さ：0.25m



[電中研報告NR25007を引用して追記]