

本資料のうち、枠囲みの内容は、
商業機密あるいは防護上の観点
から公開できません。

東海第二発電所 工事計画審査資料	
資料番号	補足-270-5 改0
提出年月日	平成30年3月22日

工事計画に係る補足説明資料

原子炉格納施設の水素濃度低減性能に関する説明書のうち

補足-270-5 【静的触媒式水素再結合器について】

平成30年3月

日本原子力発電株式会社

静的触媒式水素再結合器について
(補足説明)

目次

補足1	局所エリアの漏えいガスの滞留	補足1-1
補足2	原子炉建屋水素濃度の適用性について	補足2-1

局所エリアの漏えいガスの滞留

1. 評価方法

第1表に示す格納容器からの水素漏えいが想定される局所エリアにおいて、有効性評価シナリオ包絡条件（格納容器ベント使用時）及び有効性評価シナリオ包絡条件（代替循環冷却系使用時）の水素濃度がそれぞれ可燃限界未満であることを確認する。なお、シールドプラグが置かれた状態の原子炉ウェル部についても、局所エリアとなる可能性があるが、シールドプラグにシール性がないこと及び上面に開口があることから、局所エリアから除外とした。

第1表 局所エリア

階数	漏えい箇所	エリア名称	空間容積 (m ³)
2階	ドライウェル機器ハッチ	ドライウェル機器ハッチ及びCRD搬出ハッチのある部屋	42.1
	CRD搬出ハッチ		
	所員用エアロック	所員用エアロックのある部屋	23.4
地下1階	サブプレッション・チェンバアクセスハッチ	サブプレッション・チェンバアクセスハッチのある部屋	1353.4

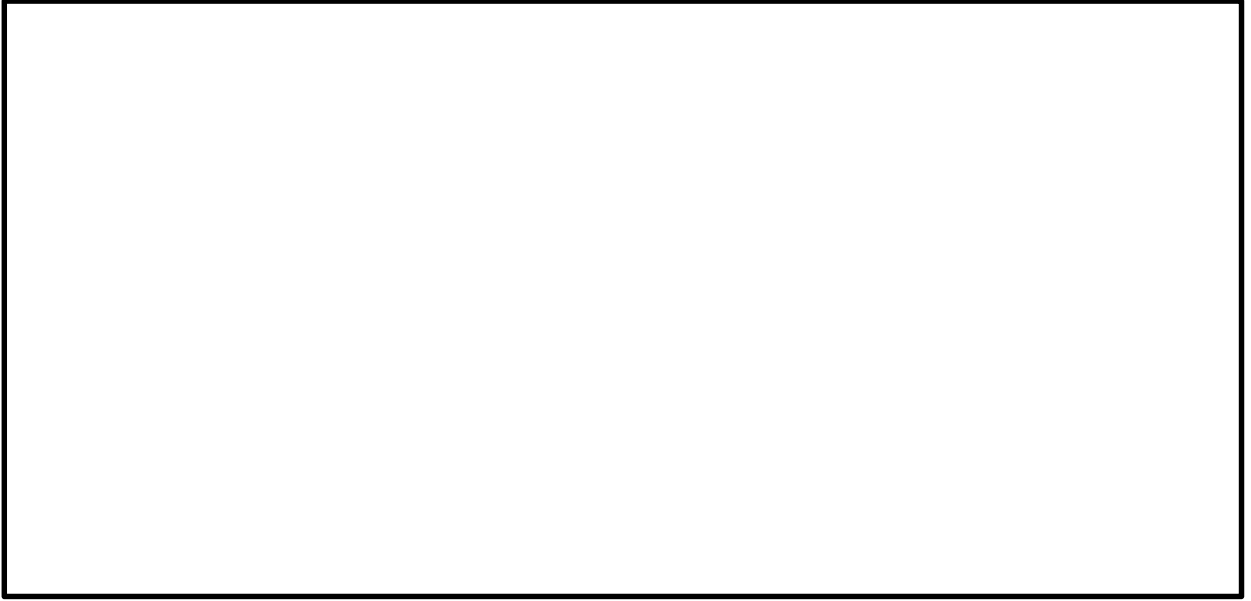
2. 解析条件

(1) 解析モデル

解析モデルを第1図に示す。漏えい箇所及び隣接するエリアでの水素濃度を確認するため、解析モデルは、局所エリアとその隣接エリアをそれぞれ1ノードでモデル化し、流入境界条件を設けて格納容器からの漏えいを与える。また、圧力境界条件を設けて外部への流出をモデル化する。

エリア内は断熱とし、構造物のヒートシンク、壁を介した隣接エリアの伝熱はモデル化しない。伝熱による蒸気の凝縮だけ水素濃度が高くなると考えられることから、保守的に評価するため、蒸気の100%凝縮を仮定した漏えい条件を想定する。

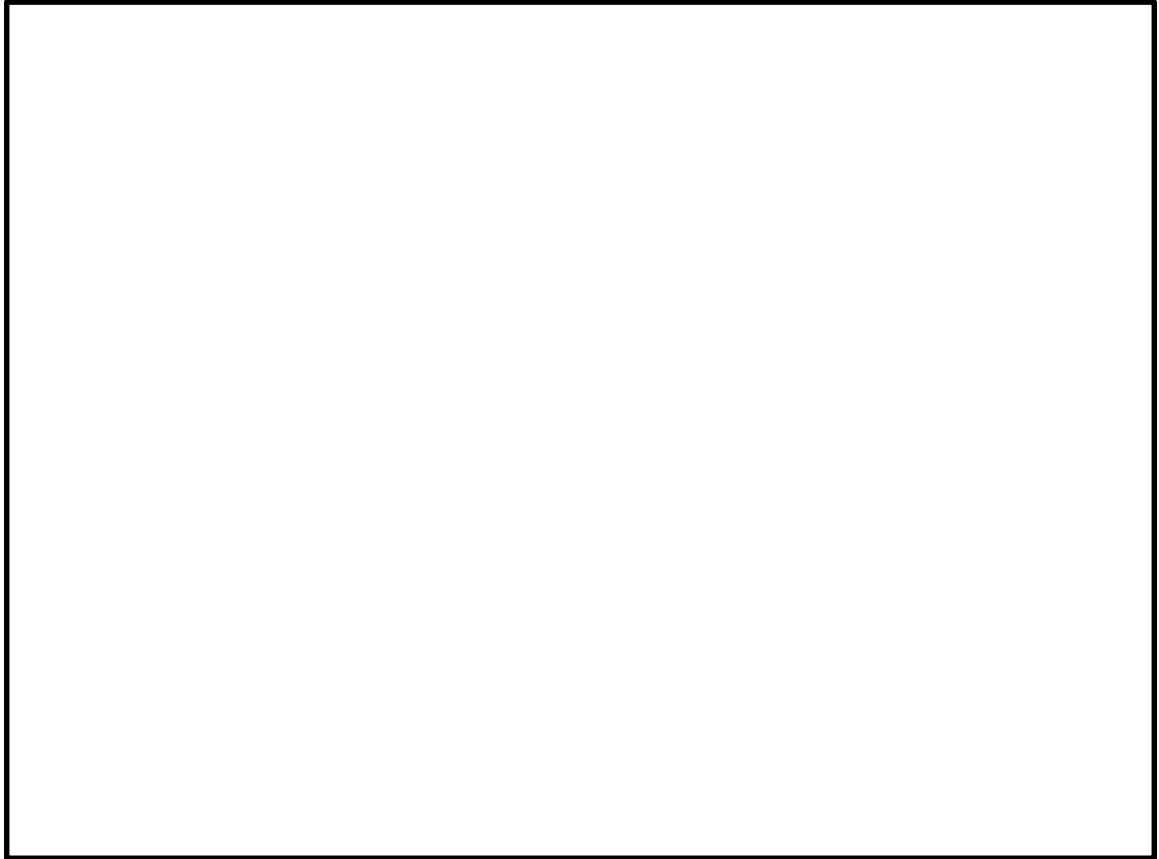
また、隣接エリアを第2図～第7図に示す。



第1図 2ノードモデル



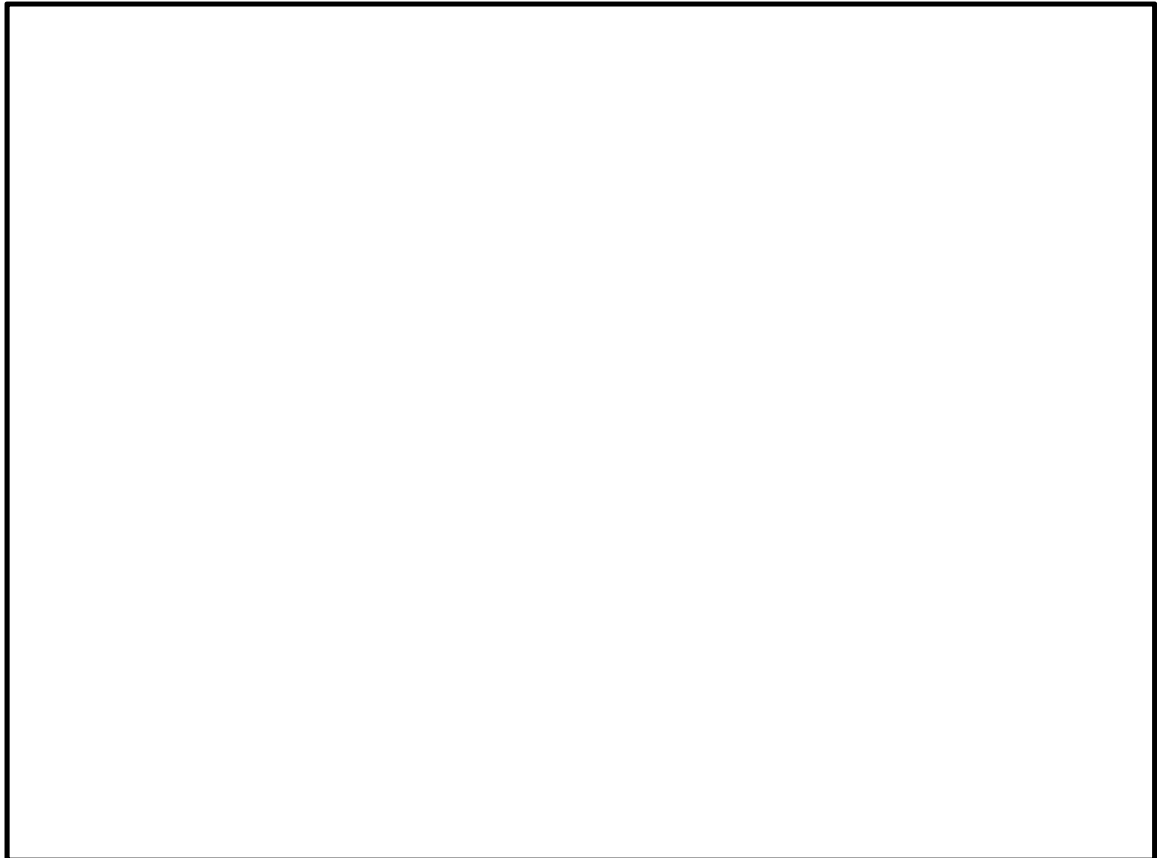
第2図 隣接エリア 原子炉建屋原子炉棟地下1階



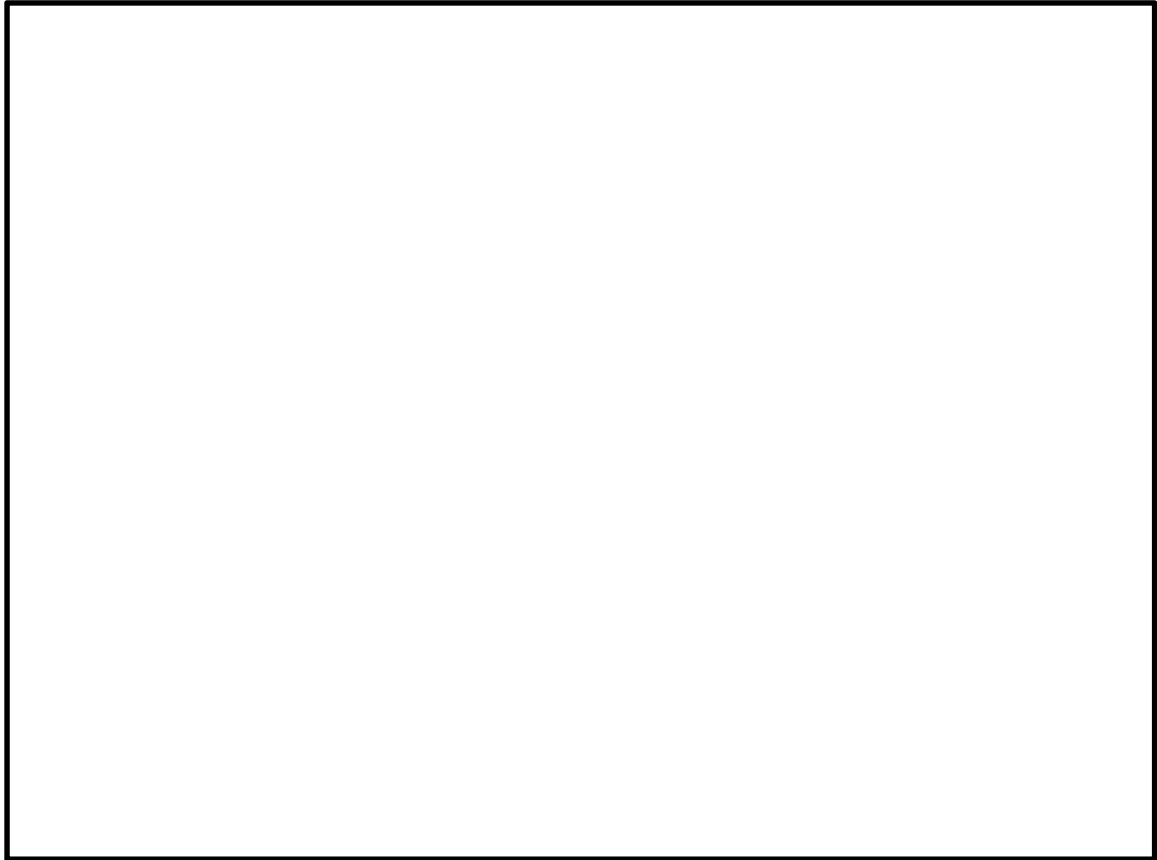
第3図 隣接エリア 原子炉建屋原子炉棟1階



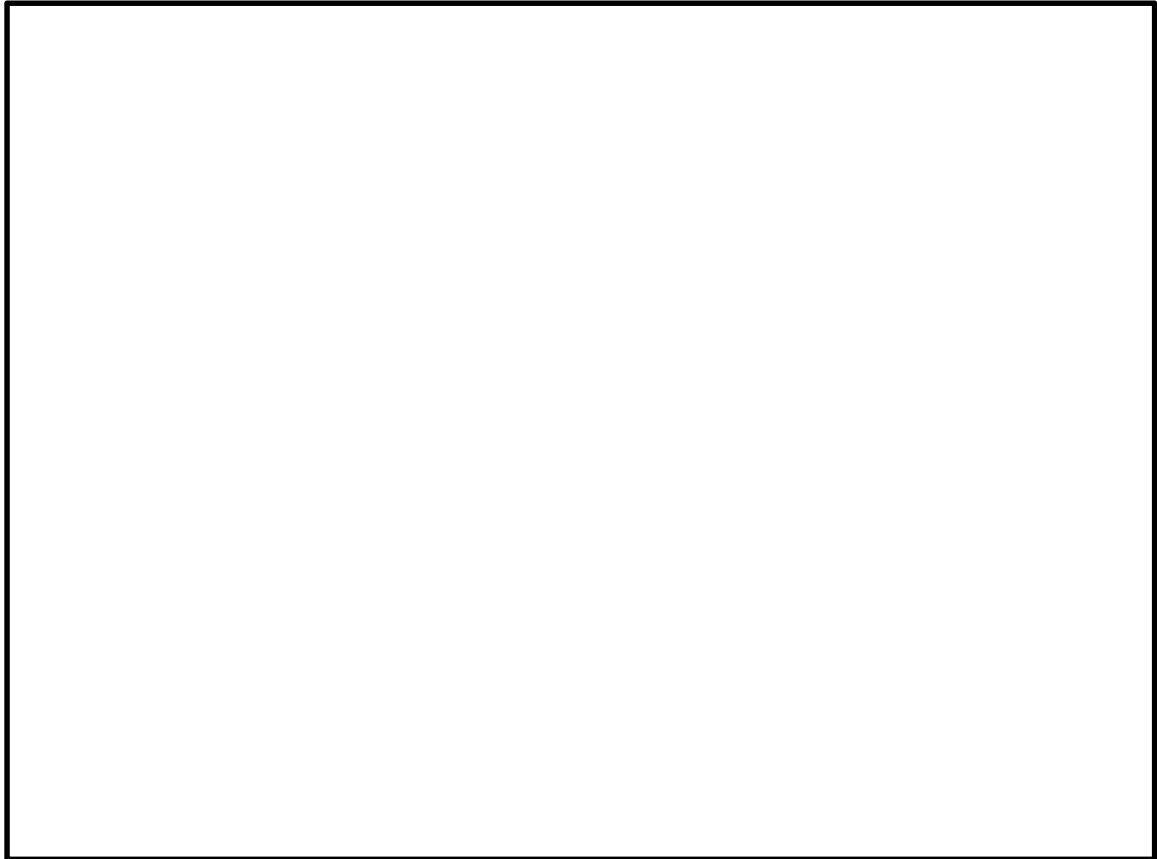
第4図 隣接エリア 原子炉建屋原子炉棟2階



第5図 隣接エリア 原子炉建屋原子炉棟3階



第 6 図 隣接エリア 原子炉建屋原子炉棟 4 階



第 7 図 隣接エリア 原子炉建屋原子炉棟 5 階

(2) 解析条件

2 ノードモデルにおける解析条件を第 2 表に示す。

第 2 表 2 ノードモデル解析条件

No	項目	解析条件	備考
1	原子炉建屋原子炉棟 の条件 (1) 圧力 (初期条件) (2) 温度 (初期条件) (3) 組成 (初期条件) (4) 空間容積 (固定)	101.325 kPa 40 °C 相対湿度 100 % の空気 第 1 表参照	大気圧 想定される高めの温度として設定 同上
2	圧力境界条件 (外部への漏えい) (1) 圧力 (固定) (2) 温度 (固定) (3) 酸素濃度 (固定) (4) 窒素濃度 (固定)	101.325 kPa 40 °C 21 % 79 %	大気圧 想定される高めの温度として設定 乾燥空気の組成 同上
3	流出条件 (外部への漏えい) (1) 流出条件	圧力損失なし	

各局所エリアの漏えい量は、全漏えい量を各漏えい箇所の周長割合で分配して計算する。漏えいの分配条件は第 2.1.4.1-4 表と同様である。

(3) 漏えい条件

有効性評価シナリオ包絡条件における漏えい条件を第 3 表に示す。

第3表 有効性評価シナリオ包絡条件における漏えい条件

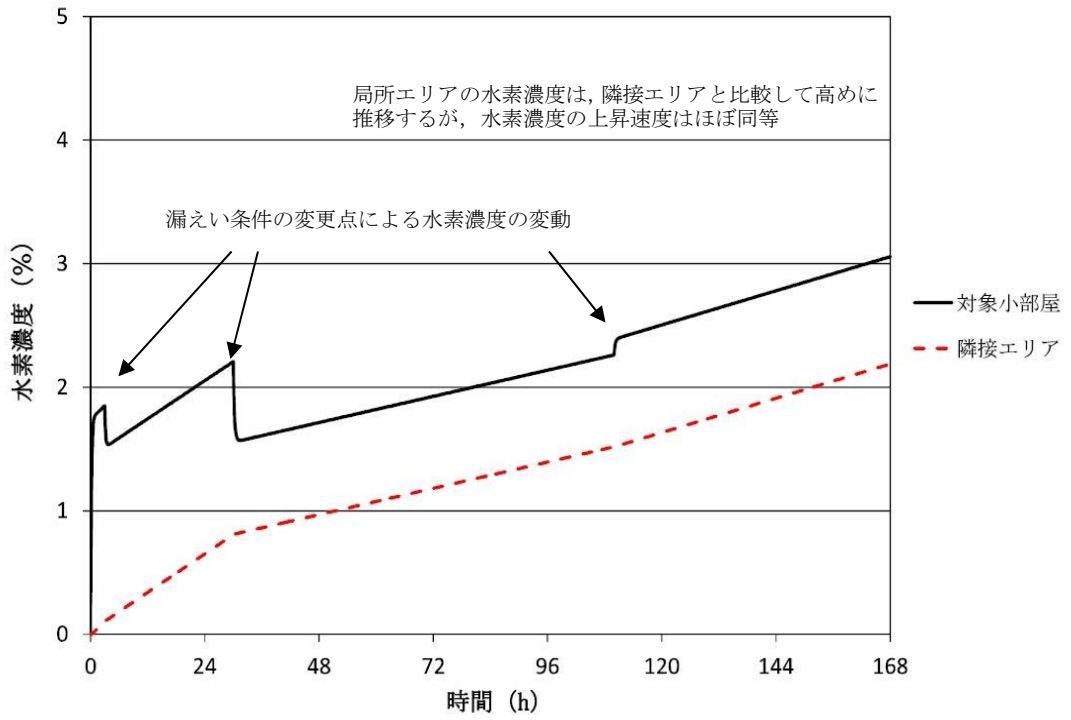
項目	ドライウエル				サブプレッション・チェンバ			
	0～ 3 h	3～ 30 h	30～ 110 h	110～ 168 h	0～ 3 h	3～ 30 h	30～ 110 h	110～ 168 h
圧力 (kPa [gage])	620 (2 Pd)		186 (0.6 Pd)	341 (1.1 Pd)	620 (2 Pd)		186 (0.6 Pd)	341 (1.1 Pd)
温度 [°C] (上：原子炉 格納容器内, 下：建屋への 漏えい時※1)	210 100	200 100	171 100		210 100	200 100	171 100	
水素濃度 [%] ※1	100				100			
水蒸気濃度 [%] ※1	0				0			
原子炉格納容器 漏えい率 [%/day] ※2	0.615	0.42	0.34	0.29	0.45		0.11	
備考	2階の漏えい条件				地下1階の漏えい条件			

3. 解析結果

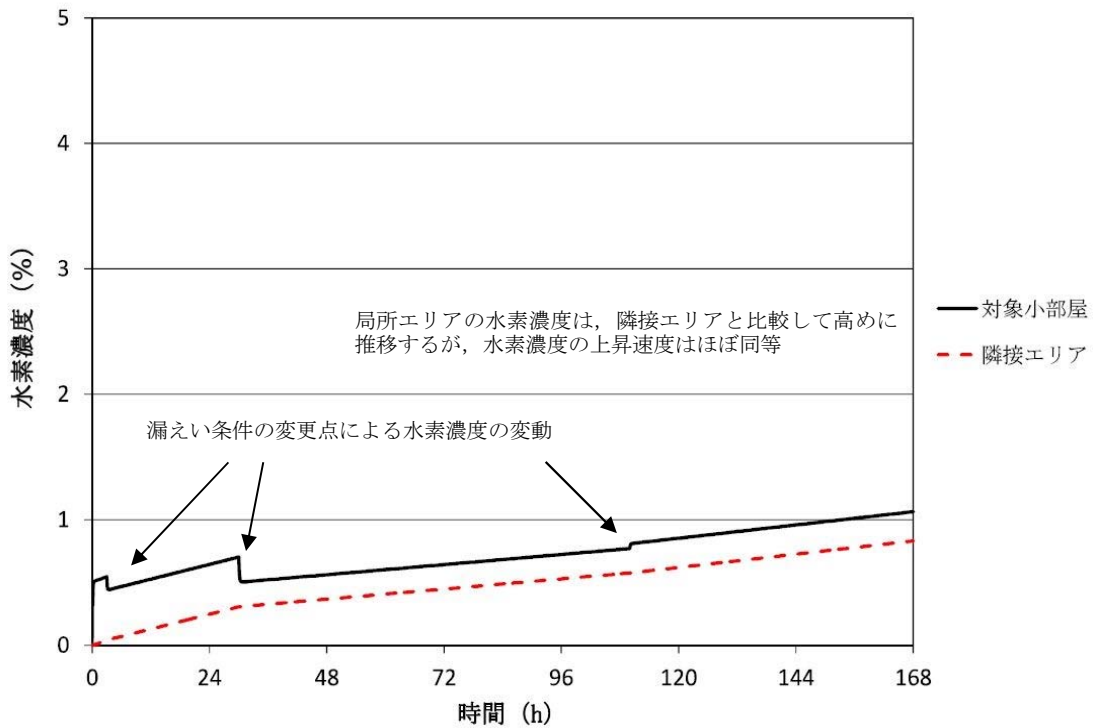
各ケースの168時間後までの水素濃度最大値を第4表に示す。また、水素濃度の時間変化を第8図から第10図に示す。

第4表 解析結果

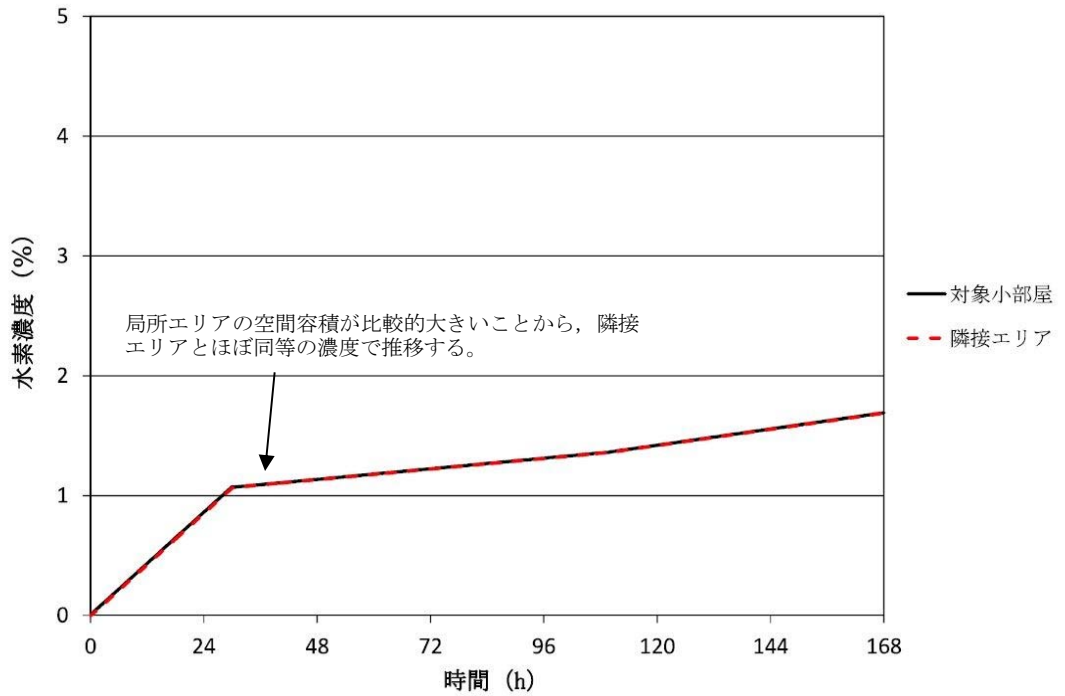
ケース No.	原子炉格納容器 漏えい条件	評価対象とするエリア	水素濃度最大値 [vol%]	
			評価対象 とする 局所エリア	隣接エリア
1	有効性評価 シナリオ包絡条件	ドライウェル機器ハッチ及び CRD搬出ハッチのある部屋 (原子炉建屋原子炉棟2階西側)	3.06	2.19
2		所員用エアロックのある部屋 (原子炉建屋原子炉棟2階東側)	1.06	0.83
3		サブプレッション・チェンバ アクセスハッチのある部屋 (原子炉建屋原子炉棟地下1階西側)	1.69	1.69



第 8 図 有効性評価シナリオ包絡条件における水素挙動
(ドライウェル機器ハッチ及びCRD搬出ハッチのある部屋)



第 9 図 有効性評価シナリオ包絡条件における水素挙動 (所員用エアロックのある部屋)



第 10 図 有効性評価シナリオ包絡条件における水素挙動
(サプレッション・チェンバアクセスハッチのある部屋)

解析の結果から、水素濃度は全体的には上昇傾向となり、168 時間後時点で最も高くなるものの、可燃限界未満となる結果となった。

2 ノードの解析において、局所エリアと隣接エリアについては、それぞれ同等のレートで上昇し続ける結果となったが、2.1.4.2 に示したケース 1 において、建屋全体の水素濃度が均一化されていることから、局所エリアに漏えいした水素は隣接エリアを介して原子炉建屋原子炉棟 6 階に流入するものと考えられる。

原子炉建屋水素濃度の適用性について

原子炉建屋水素濃度は、炉心の著しい損傷が発生した場合に、原子炉建屋原子炉棟内に発生する水素を監視する目的で、水素濃度が変動する可能性のある範囲で測定できる設計としている。

1. 計測範囲の考え方

炉心損傷時に格納容器内に発生する水素が原子炉建屋原子炉棟に漏えいした場合に、PARによる水素濃度低減（可燃性限界である4 vol%未満）をトレンドとして連続監視できることが主な役割であることから、これを計測可能な以下の範囲とする。

- ・原子炉建屋水素濃度（6階）：0～10 vol%
- ・原子炉建屋水素濃度（2階及び地下1階）：0～20 vol%

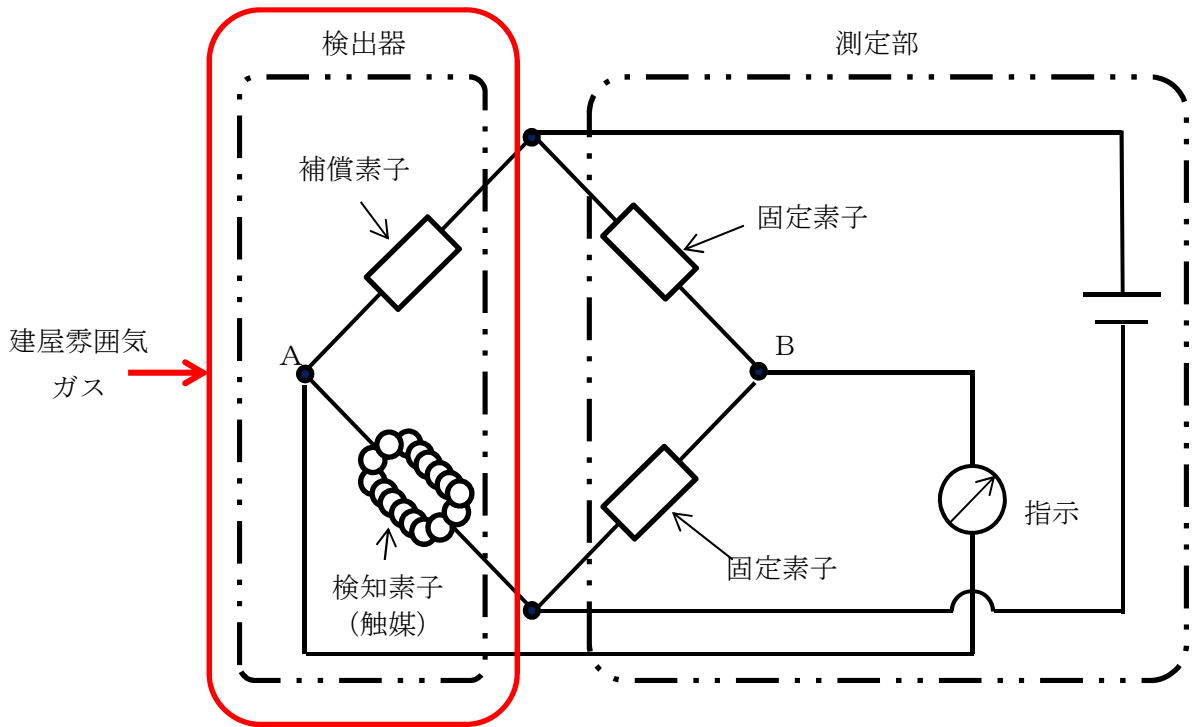
2. 水素濃度計の測定原理

(1) 原子炉建屋水素濃度（原子炉建屋原子炉棟6階）

原子炉建屋原子炉棟6階に設置する水素濃度は、触媒式の検出器を用いる。

触媒式の水素検出器は、検知素子と補償素子が第1図のようにホイートストンブリッジ回路に組み込まれている。検知素子は触媒活性材でコーティングされており、水素が検知素子に触れると触媒反応により空気中の酸素と結合し、発熱して検知素子温度が上昇する。検知素子温度が上昇することにより、検知素子の抵抗値が変化するとブリッジ回路の平衡がくずれ、信号出力が得られる。水素と酸素の結合による発熱量は水素濃度に比例するため、検知素子の温度変化による抵抗値変化を水素濃度として測定できる。

また、水素による検知素子の温度上昇と環境温度の上昇を区別するため、素子表面に触媒層を有さない補償素子により環境温度の変化による検知素子の抵抗値変化は相殺される。



第1図 原子炉建屋水素濃度（6階）検出回路の概要図

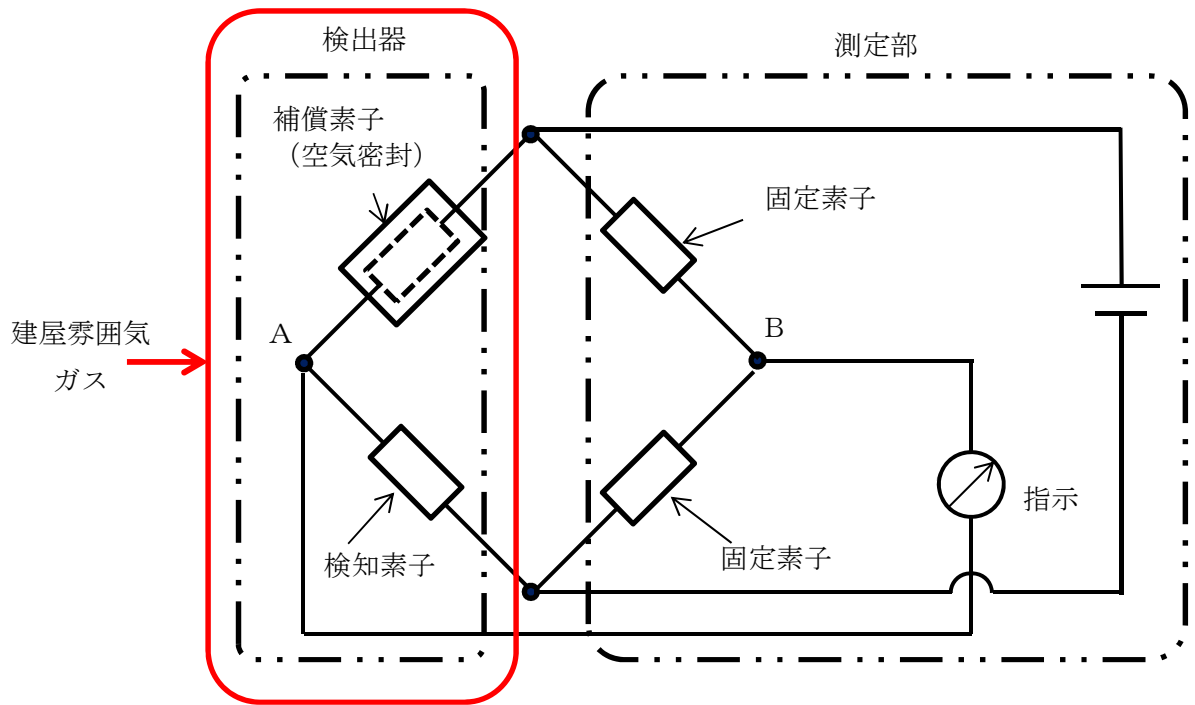
(2) 原子炉建屋水素濃度（2階，地下1階）

原子炉建屋原子炉棟2階，地下1階に設置する水素濃度は，水素濃度熱伝導式のものを用いる。

熱伝導式水素検出器は，検知素子と補償素子が第2図のようにホイートストンブリッジ回路に組み込まれている。検知素子側は，原子炉建屋内雰囲気ガスが触れるようになっており，補償素子側は基準となる標準空気が密閉され，測定ガスは直接接触しない構造になっている。このため，水素が検知素子に接触することで，補償素子と接触している基準となる標準空気との熱伝導度の違いから温度差が生じ，抵抗値が変化し，ブリッジ回路の平衡がくずれ，信号出力が得られる。検知素子に接触するガスの熱伝導度は水素濃度に比例するため，検知素子の温度変化による抵抗値変化を水素濃度として測定できる。

また，補償素子の標準空気容器の外側には測定ガスが同様に流れ，温度補償は考慮された構造となっている。

熱伝導式水素検出器は，標準空気に対する測定ガスの熱伝導率の差が大きいことを利用しているものである。水素の熱伝導率は，約 $0.18 \text{ W}/(\text{m}\cdot\text{k})$ at 27°C である一方，酸素，窒素は，約 $0.02 \text{ W}/(\text{m}\cdot\text{K})$ at 27°C と水素より1桁小さく，これらのガス成分の変動があっても水素濃度測に対する大きな誤差にはならない。



第2図 原子炉建屋水素濃度(原子炉建屋原子炉棟2階及び地下1階)検出回路の概要図

3. 原子炉建屋水素濃度検出器の耐環境性について

水素濃度検出器の耐環境仕様は各設置場所で想定される温度、湿度及び放射線量の環境を有している。第1表に想定される環境と水素濃度の耐環境仕様を示す。

第1表 水素濃度検出器の設置場所の想定環境及び耐環境仕様

対象	項目	想定環境※	検出器の耐環境仕様
原子炉建屋原子炉棟 6階水素濃度	温度	80℃	
	湿度	100%RH	
	積算放射線量	1.5 kGy (7日間)	
原子炉建屋原子炉棟 2階及び地下1階水 素濃度	温度	65.6℃	
	湿度	100%RH	
	積算放射線量	1.5 kGy (7日間)	

※想定環境は、詳細評価により今後見直す可能性がある。