
BWR格納容器内有機材料 熱分解生成ガス分析の計画

2022年8月3日

日本原子力研究開発機構
安全研究センター

ねらい

- 昨年度は、窒素雰囲気にて熱分解生成ガスの定性分析を実施した。
(TG-MS法、GC-MS法)
- 今年度は、実機格納容器の雰囲気に近い条件で、無機及び有機ガス成分の定性・定量分析を進める。
 - ◆ 窒素雰囲気に加え、より酸化性の高い雰囲気(酸素／窒素混合)での熱分解試験
 - ◆ 無機成分、低分子量有機成分等の成分に応じた分離カラムと検出器を使用した、熱分解生成ガスの定性・定量分析(TG-MS法、GC-MS法、管状炉サンプリング-GC法)
- 分析試料

試料番号	材質	用途
1	難燃性エチレンプロピレンゴム	原子炉容器下部制御・計装PNケーブルの絶縁材
2	特殊クロロpreneゴム	原子炉容器下部制御・計装PNケーブルのシース
3	難燃性特殊耐熱ビニル	高圧動力用CVケーブルのシース
4	ウレタン	保温材

①熱分解生成ガスの定性分析

酸素／窒素混合雰囲気

昨年度窒素雰囲気を実施した熱分解試験を酸素混合雰囲気を実施し、顕著な熱分解が生じる温度範囲を把握するとともに、熱分解生成ガスの定性分析を行う。

TG-MS分析

- 試料: 全4試料
- 雰囲気: O₂ (3%程度)/N₂ 混合雰囲気、大気圧
- 温度: 昇温速度10°C/分、最高温度1000°C

熱分解GC-MS分析

- 試料: 全4試料
- 熱分解炉雰囲気: O₂ (3%程度)/N₂ 混合雰囲気、大気圧
- 熱分解ガス採取温度: TG分析から得た3つの温度範囲
- キャリアガス: He
- カラム: DB-5ms UI

(炭素数4以上の有機化合物を対象)

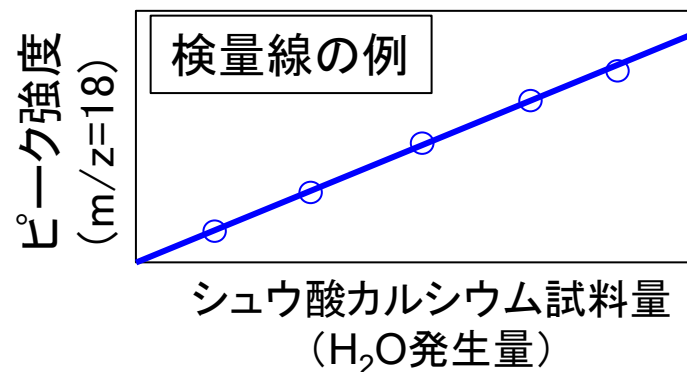
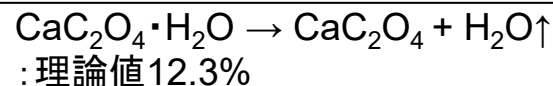
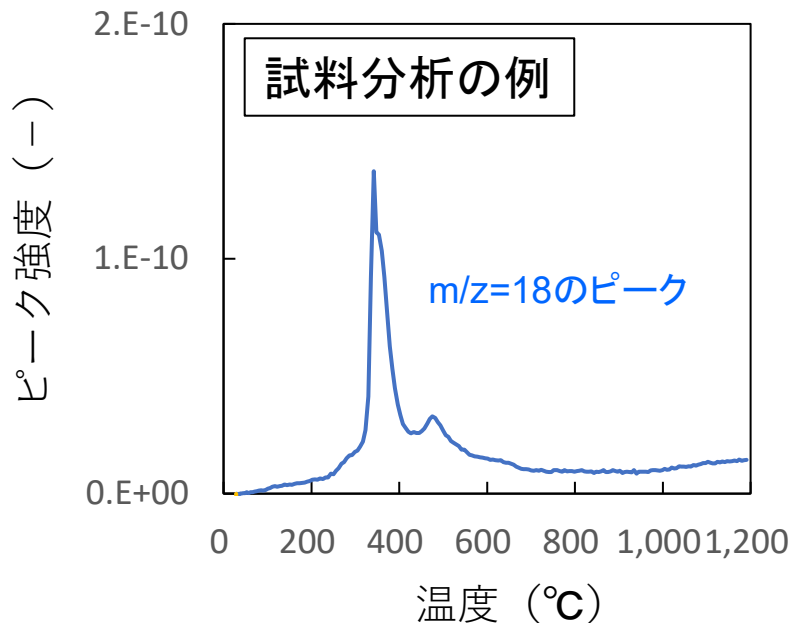
②熱分解生成ガスの定量分析(1/2)

窒素雰囲気および酸素／窒素混合雰囲気

無機ガス(H₂O, H₂, CO, CO₂他)及び低分子量有機ガス(炭素数1~4)の定量分析を、N₂雰囲気およびO₂(3%程度)/N₂混合雰囲気で行う。

H₂Oの定量分析

- TG-MS法により、m/z=18のピーク強度から定量する(シュウ酸カルシウムを用いて検量線を作成)



②熱分解生成ガスの定量分析(2/2)

窒素雰囲気および酸素／窒素混合雰囲気

H₂, CO, CO₂, 低分子量有機ガスの定量分析

- 管状炉を用いて数gの試料を加熱し、発生したガスをガスバッグに捕集する
- ガスクロマトグラムによりガス成分を分離し、各検出器を用いて定量する

可燃性有機ガス評価計画について

2022年8月3日



東京電力ホールディングス株式会社

1. 可燃性有機ガス評価方針（案）

事象	要因	検証事項	検証事項（詳細）	対応時期
水素爆発時の火炎、煙	水素爆発時に有機系ガスが存在	①発生源（机上検討）	<ul style="list-style-type: none"> エリアは、事故時環境が悪化した格納容器内のうち、ペDESTALと他エリアを想定 対象は、物量の多いケーブル、塗料、保温材、潤滑油を想定 可燃性ガスの移行量は不明なので、格納容器内での発生物量を見込んで評価 	2021年度
		②発生量（ガス分析）	<ul style="list-style-type: none"> 事故時環境を考慮して水素、水蒸気、酸素環境でのガス分析 可燃性ガス以外（CO2等）確認 （TG測定、ガス分析の差異確認）※ 	2021～2022年度

2. 可燃性有機ガス分析試験計画

No.	種類	評価対象	用途	本試験 水蒸気100%	本試験 水素100%	本試験 酸素4%+窒素 or水蒸気96%
1	ケーブル	CVケーブル 絶縁体：架橋ポリエチレン シース：難燃性特殊耐熱ビニル	・高圧動力用ケーブルに使用	完了 (1000℃/200℃)	完了 (1000℃)	※
2	ケーブル	PNケーブル 絶縁体：難燃性エチレンプロピレンゴム シース：特殊クロロpreneゴム	・制御・計装ケーブルに使用 ・RPV下部に設置	完了 (1000℃/200℃) 2022年度再試験予定(1000℃)	完了 (1000℃)	2022年度予定 (1000℃) ※
3	ケーブル	同軸ケーブル 絶縁体：ETFE/架橋ポリエチレン シース：難燃性架橋ポリエチレン	・SRNM/LPRMケーブルに使用 ・RPV下部に設置	完了 (1000℃/200℃)	完了 (1000℃)	※
4	塗料	エポキシ系塗料	・D/W上塗り	完了 (1000℃/200℃)	完了 (1000℃)	※
5	塗料	無機ジンクリッチ塗料	・D/W 下塗り	2022年度予定 (1000℃)	—	2022年度予定 (1000℃) ※
6	保温材	ウレタン保温材	・配管保温	完了 (1000℃/200℃) 2022年度再試験予定(1000℃)	完了 (1000℃)	2022年度予定 (1000℃) ※
7	保温材	ポリイミド保温材	・配管保温	完了 (1000℃)	完了 (1000℃/200℃)	※
8	ケーブル	KGBケーブル →手配可否確認中 絶縁体：シリコンゴム+ガラス編組 シース：シリコンゴム	・PIPケーブルに使用 ・RPV下部に設置	2022年度予定 (1000℃)	—	2022年度予定 (1000℃) ※
9	塗料	有機ジンクリッチ塗料 →有機ジンクリッチ塗料は使用範囲が限定的であるため、優先度を下げ試験対象外とする	・D/W 下塗り (仕様調査中)	2022年度予定 (1000℃)	—	※
10	潤滑油	電動機用潤滑油	・PLR電動機	2022年度予定 (1000℃)	—	2022年度予定 (1000℃) ※

<2022年度ガス分析方針>

- 水素環境より水蒸気環境の方がガス発生量が多い傾向が確認されたことから、水蒸気環境を優先する
- 200℃24h試験はガス発生量がほぼないことが確認されたことから、1000℃昇温試験を優先する
- 可燃性ガス以外としてCO₂の発生量が多いと想定されるため、CO₂も検出する。また、CO₂検知のため代表試料の再試験を実施する
- 酸素環境試験は水蒸気100%環境試験と類似の結果が得られると想定されることから、代表試料の試験を実施する
- 2022年度代表試料は、試験体の種類毎に1機種以上とする
 - 2022年度に試験予定である無機ジンクリッチ塗料、KGBケーブル、潤滑油を代表とする
 - ケーブルは、格納容器下部ドライウェルの物量が多くガス発生量の多いPNケーブルも代表とする。
 - 保温材は、物量が多くガス発生量の多いウレタン保温材を代表とする。
- 高分子量のガスの定量化は困難であることから、発生ガスの全体量から不燃性ガス（CO₂）の発生量を除外することで、可燃性ガスの発生量を保守的に算出する
- 高分子量揮発成分を把握するため、タール分の重量測定を実施する

水素燃焼試験等の概要

- （ ・ 火炎色等確認試験の概要、
 - ・ 水素燃焼試験の概要、
 - ・ 混合気体燃焼試験の概要、
 - ・ ケーブル等加熱試験（2021年度）結果の概要 ）

2022年●月●日

東京電力福島第一原子力発電所事故対策室

○ 水素燃焼試験等の概要

3号機の水素爆発時の映像では、火炎及び噴煙の状態から水素以外に可燃性ガスの存在が示唆された。火炎の色や輝度、燃焼時間等から可燃性の有機化合物が相当量存在していたと考えられる。また、爆発直後の衛星写真ではシールドプラグ部分から激しく水蒸気が噴出しており原子炉建屋内部にも相当量の水蒸気が存在したと考えられる。

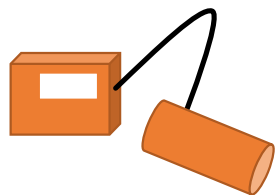
1号機及び3号機の原子炉建屋において発生した水素爆発に関して、**deflagration**（爆燃）を考慮した水素濃度等の条件による水素燃焼時の挙動及び原子炉格納容器内で発生し、原子炉建屋内に漏えいしたと考えられる可燃性有機ガスによる水素燃焼への影響を把握することを目的に、以下の水素及び可燃性有機ガスの燃焼試験等を実施する。

- 1) 火炎色等確認試験
- 2) 水素燃焼試験
- 3) 混合気体燃焼試験

○火炎色等確認試験の概要

火炎色等確認試験の概念

火炎温度測定用
赤外線放射温度計



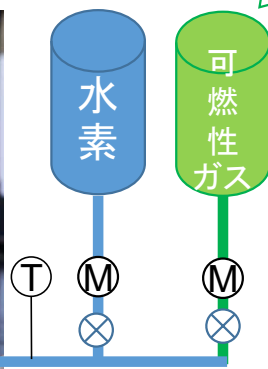
高速度カメラ



ブンゼンバーナー
等

可燃性有機ガス

- ・メタン(CH₄)_低分子量ガス
- ・ブタン(C₄H₁₀)、ペンタン(C₅H₁₂)_高分子量ガス



- Ⓣ 温度計
- Ⓜ 流量計
- ⓧ バルブ

- 水素＋可燃性有機ガスの混合気体の燃焼時の火炎色を確認。
- 水素濃度(4vol%～20vol%等)、可燃性有機ガス濃度(数vol%～10数vol%等)、酸素濃度(空気量)による燃焼時の火炎の色、煙・煤等の発生状態を確認。
- 高速度カメラ及び赤外線放射温度計等により、火炎の色及び温度分布を記録
- 1号機及び3号機原子炉建屋水素爆発時の火炎及び噴煙の状態と比較検討する。

火炎色等確認試験の試験条件の例

○試験資機材

- ① 高速度カメラ
- ② 赤外線サーモグラフィ
- ③ オートバーナー
- ④ 流量計
- ⑤ 水素ガス等(水素ガス、メタンガス、ブタンガス)

○パラメータ

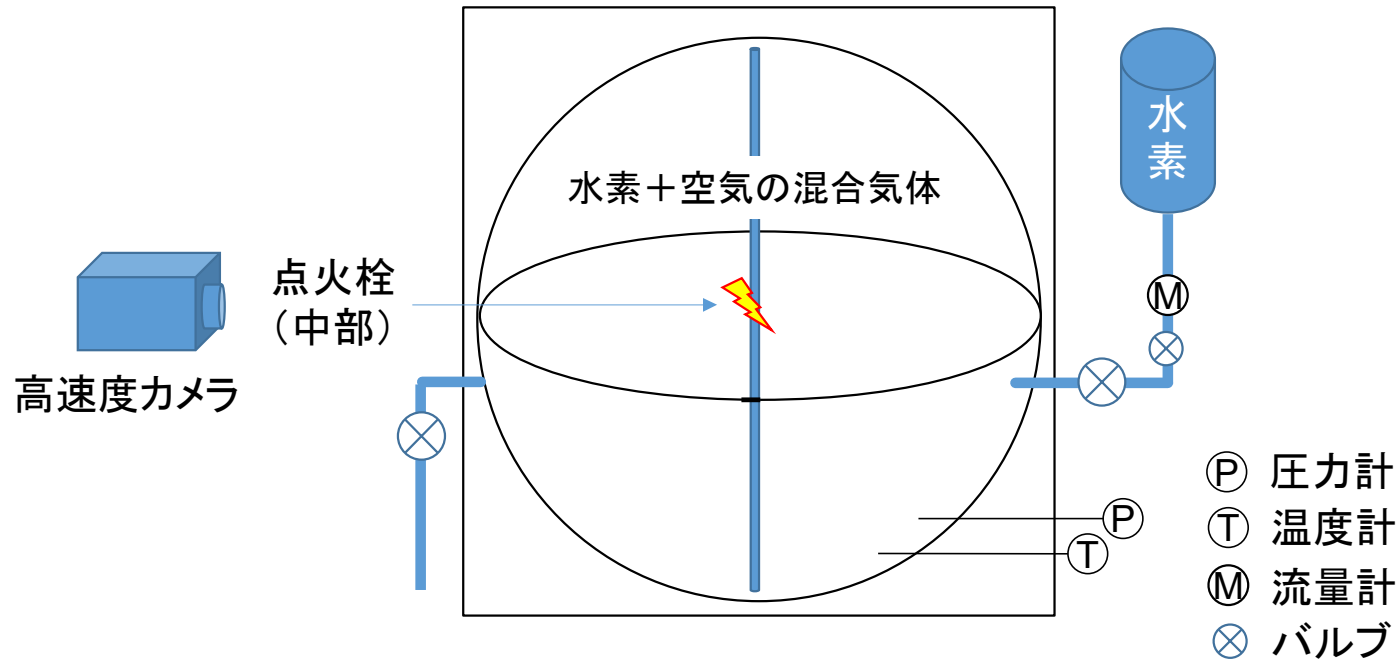
- A) 水素濃度_4 vol%、8 vol%、10 vol%、20 vol%、30 vol% 【5パラメーター】
- B) 可燃性有機ガス種類_メタン(CH₄)、ブタン(C₄H₁₀) 【2パラメーター】
- C) 可燃性有機ガス濃度_0 vol%、1 vol%、5 vol%、10 vol%、20 vol% 【5パラメーター】

○測定項目

- A) 水素ガス及び可燃性有機ガスの流量(濃度)及び温度
- B) 高速度カメラによる燃焼挙動(水素等の燃焼時の火炎色及び煙・煤等の発生状態)
- C) 赤外線放射温度計等による火炎の温度分布

○水素燃焼試験の概要

水素燃焼試験の概念



- 水素+空気の混合気体を想定
- 水素濃度(4vol%~20vol%等)による着火時の燃焼状態(高速度カメラ)や燃焼による温度、圧力上昇を確認

水素燃焼試験の試験条件の例

○試験資機材

- ① 水素燃焼装置
- ② 高速度カメラ
- ③ 流量計、温度計、圧力計
- ④ 水素ガス等(水素ガス、空気)

○パラメータ

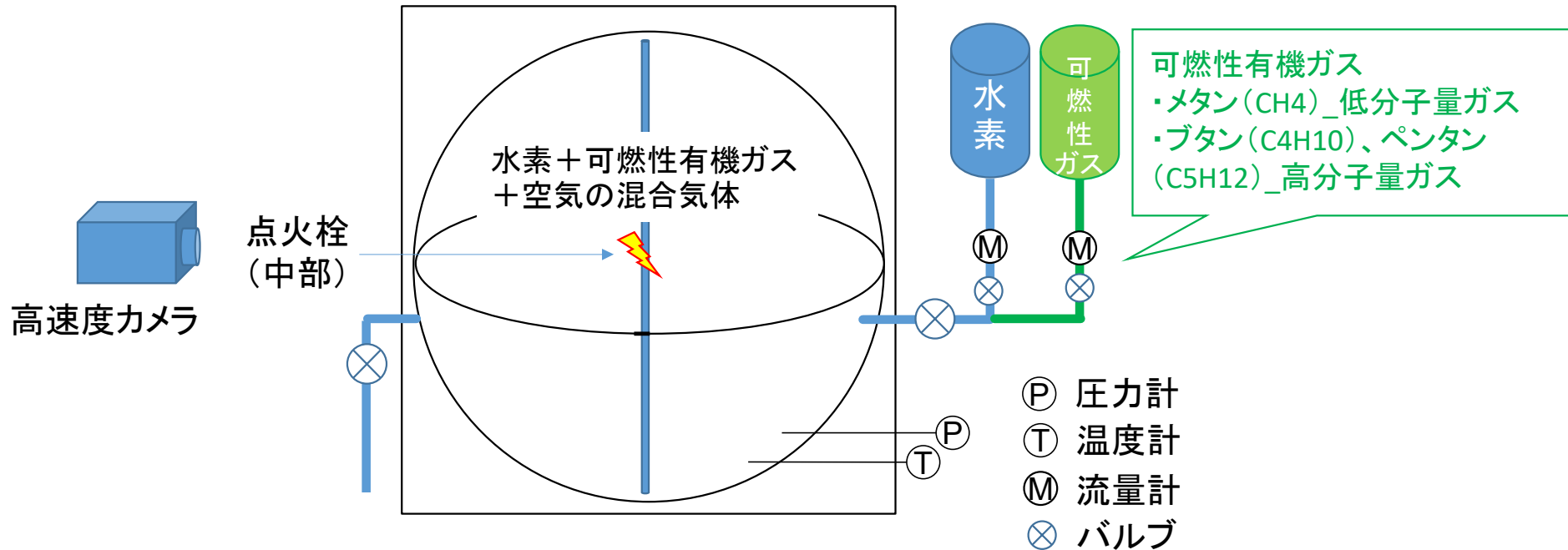
- A) 水素濃度_4 vol%、8 vol%、10 vol%、20 vol% 【4パラメータ】

○測定項目

- A) 水素ガスの濃度及び温度
- B) 燃焼時の系内の圧力変化
- C) 高速度カメラによる燃焼挙動

○混合気体燃焼試験の概要

混合気体燃焼試験の概念



- 水素 + 可燃性有機ガス + 空気の混合気体を想定
- 水素濃度(4vol%~20vol%等)、可燃性有機ガス濃度(数vol%~10数vol%等)、酸素濃度(空気量)による着火時の燃焼状態(高速度カメラ)や燃焼による温度、圧力上昇を確認

混合気体(水素、可燃性有機ガス及び空気)燃焼試験 の試験条件の例

○試験資機材

- ① 水素燃焼装置
- ② 高速度カメラ
- ③ 流量計、温度計、圧力計
- ④ 水素ガス等(水素ガス、メタンガス、ブタンガス、空気)

○パラメータ

- A) 水素濃度_4 vol%、8 vol%、10 vol%、20 vol% 【4パラメータ】
- B) 可燃性有機ガス種類_メタン(CH₄)、ブタン(C₄H₁₀) 【2パラメータ】
- C) 可燃性有機ガス濃度_1 vol%、5 vol%、10 vol%、20 vol% 【4パラメータ】

○測定項目

- A) 水素ガス及び可燃性有機ガスの濃度及び温度
- B) 燃焼時の系内の圧力変化
- C) 高速度カメラによる燃焼挙動