

ケーブル等の加熱実験について

- i. 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 第23回会合
資料4 - 1 「BWR格納容器内有機材料熱分解生成気体の分析 - 計画の概要 - 」
- ii. 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 第21回会合
資料3 - 4 「今後の調査・分析について」

1. 3号機水素爆発時の映像を確認した結果、火炎や噴煙の色、噴出状況(噴煙と火炎が同時に複数箇所を確認される、噴煙と破片等が比較的同じ速度で上昇など)から、水素以外の有機化合物等の可燃性ガスが相当量寄与していたと推定。
2. 水素以外の有機化合物等の可燃性ガスの発生源となる物質を検討。原子炉格納容器内に相当量存在し、高温の環境下に置かれうる物質として、ケーブルや保温材、塗料を想定。
3. 加熱試験用の試料(ケーブル、保温材)は東京電力HDから提供を受け、原子力規制庁及び東京電力HDの各々で加熱実験を実施予定(同じケーブル等から分離抽出した試料を用いた協働実験・試験として実施)。原子力規制庁では、本年12月から実験を開始する予定。

BWR格納容器内有機材料 熱分解生成気体の分析 －計画の概要－

2021年10月19日

日本原子力研究開発機構
安全研究センター

今回実施する試験の目的及び加熱試料

- BWR格納容器(ドライウェル)内のケーブル、保温材等に使用されている代表的な有機材料を加熱し、熱分解により生成するガスの成分を分析

加熱・分析に供する試料(令和3年度分)

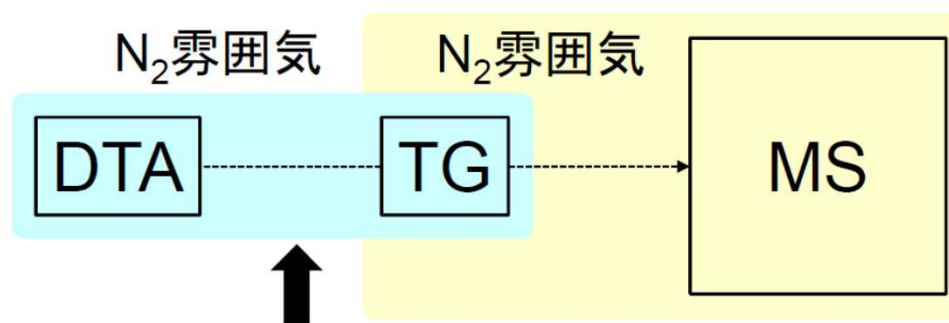
試料番号	材質	用途
1	難燃性エチレンプロピレンゴム	原子炉容器下部制御・計装ケーブルの絶縁材
2	特殊クロロプレンゴム	原子炉容器下部制御・計装ケーブルのシース
3	難燃性特殊耐熱ビニル	高圧動力用ケーブルのシース
4	ウレタン系または架橋ポリエチレン	保温材 高圧動力用ケーブルの絶縁材

分析の流れ

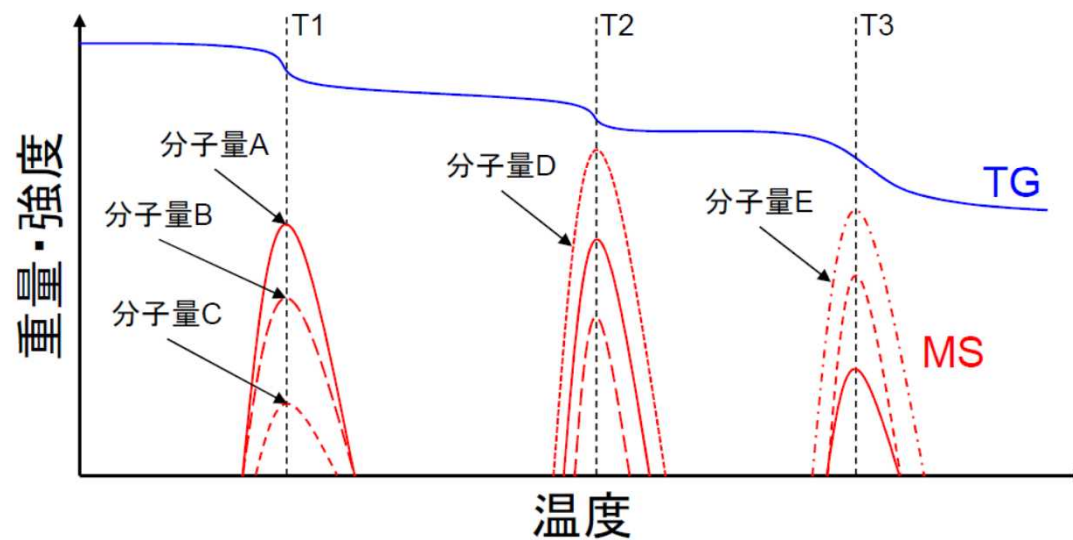
- **ステップ1: 熱重量測定 (TG) – 示差熱分析 (DTA) – 質量分析 (MS)**
 - ◆ 試料を一定の昇温速度で加熱し、試料の重量変化、熱分解時の吸(発)熱量及び熱分解生成ガスに由来する物質の分子量を連続的に測定・分析
 - ◆ 顕著な熱分解(重量変化)が生じる温度範囲を把握するとともに、熱分解生成ガスの成分を大まかに推定
- **ステップ2: ガスクロマトグラフ (GC) – MS**
 - ◆ 試料を所定の温度範囲内で加熱し、熱分解生成ガスの成分を分離した後に、各成分のマスペクトルを取得・分析。ライブラリと比較することで成分を同定
 - ◆ 加熱温度はステップ1の結果に基づいて選定

なお、測定時の温度範囲、雰囲気条件等については、SA解析コードによる解析結果、従来研究等を参考に決定

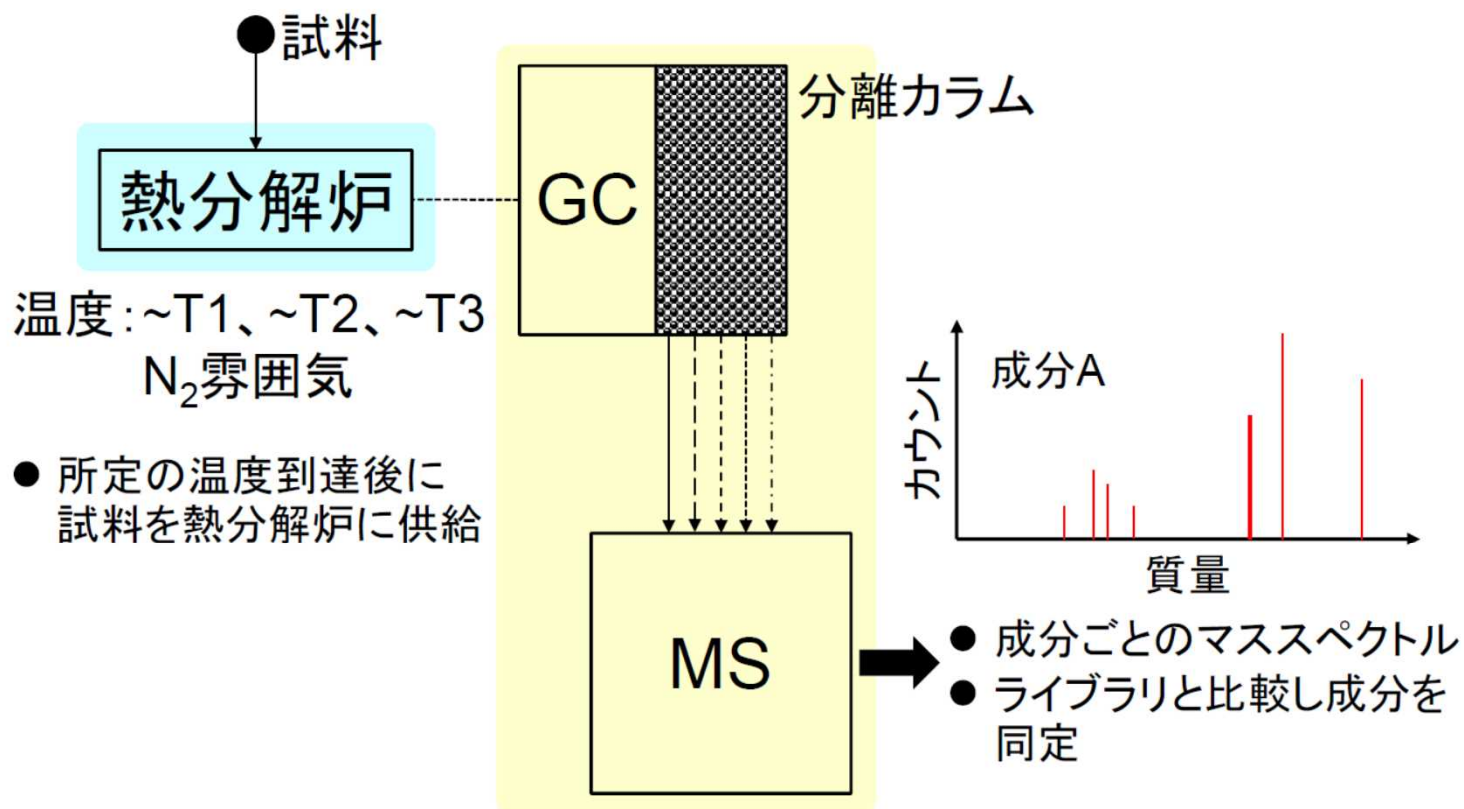
ステップ1: TG-DTA-MS分析



温度範囲: 室温~1000°C、昇温速度: 10°C/分及び20°C/分



ステップ2: GC-MS分析



今後の調査・分析について

2021年9月14日

東京電力福島第一原子力発電所事故対策室

(1) 可燃性ガス関係

【予備実験】

ケーブル等の加熱実験 ……可燃性ガスの発生源・発生物を確認

(2) 水素燃焼関係

【予備実験】

水素の燃焼実験 ……水素濃度 (4wt% ~ 10wt%等) の燃焼挙動を確認

(3) 可燃性ガス混合気体の燃焼関係

【模擬実験】

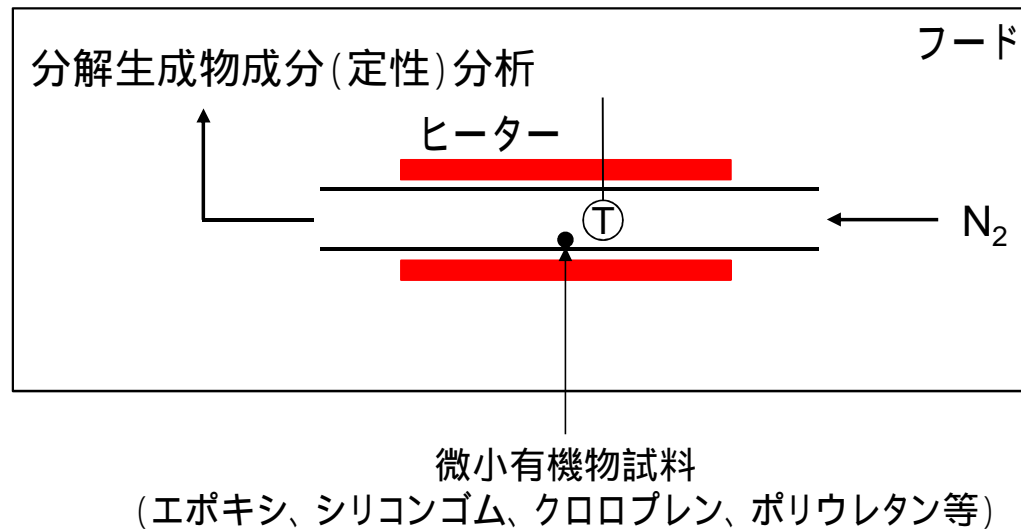
混合気体の燃焼実験 ……水素 - 水蒸気 - 可燃性ガス - 空気の混合気体の
燃焼時の挙動を確認

(1) 可燃性ガス関係

【予備実験】

ケーブル等の加熱実験・・・可燃性ガスの発生源・発生物を確認

ケーブル等の加熱実験の概念



- 小規模、短期間での定性分析を想定
- N₂雰囲気(SA時は放射線場のN₂、H₂O、H₂を主とした雰囲気)
- 温度は500 ~ くらい
- 発生気体成分が不明のため、少量の試料を想定

加熱試料の検討

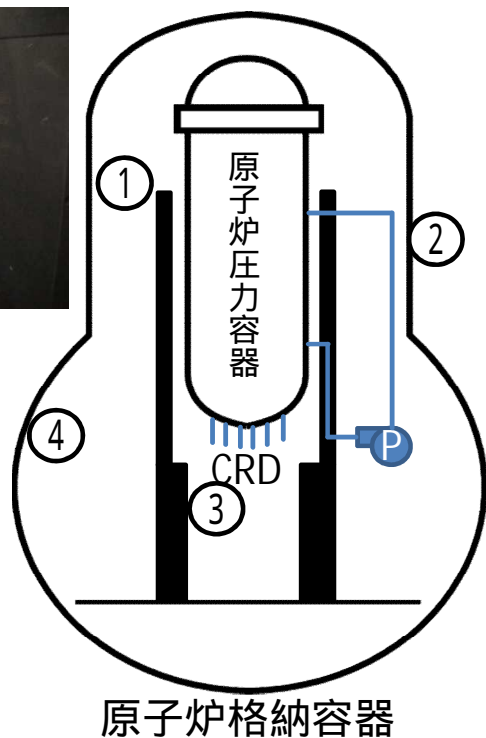
- 可燃性有機化合物の発生源となる物質(ケーブルや塗料、保温材など)は何か。(予備実験の対象試料は何か適切か)
- 想定される温度環境はどれくらいか。(予備実験での加熱温度は何度くらいか)
- 加熱による発生気体の成分、量はどれくらいか。



保温材・断熱材



塗料



保温材(配管)

写真は、5号機原子炉格納容器内
2021年8月27日原子力規制庁撮影

可燃性有機化合物の発生源
となると考えられる物質

- ① 保温材・断熱材
- ② 保温材(配管)
- ③ 制御棒駆動機構(CRD)
制御ケーブル、電源ケーブル
- ④ 塗料 等

想定される温度環境

・PCV内の部位による温度環境
に差があるか。



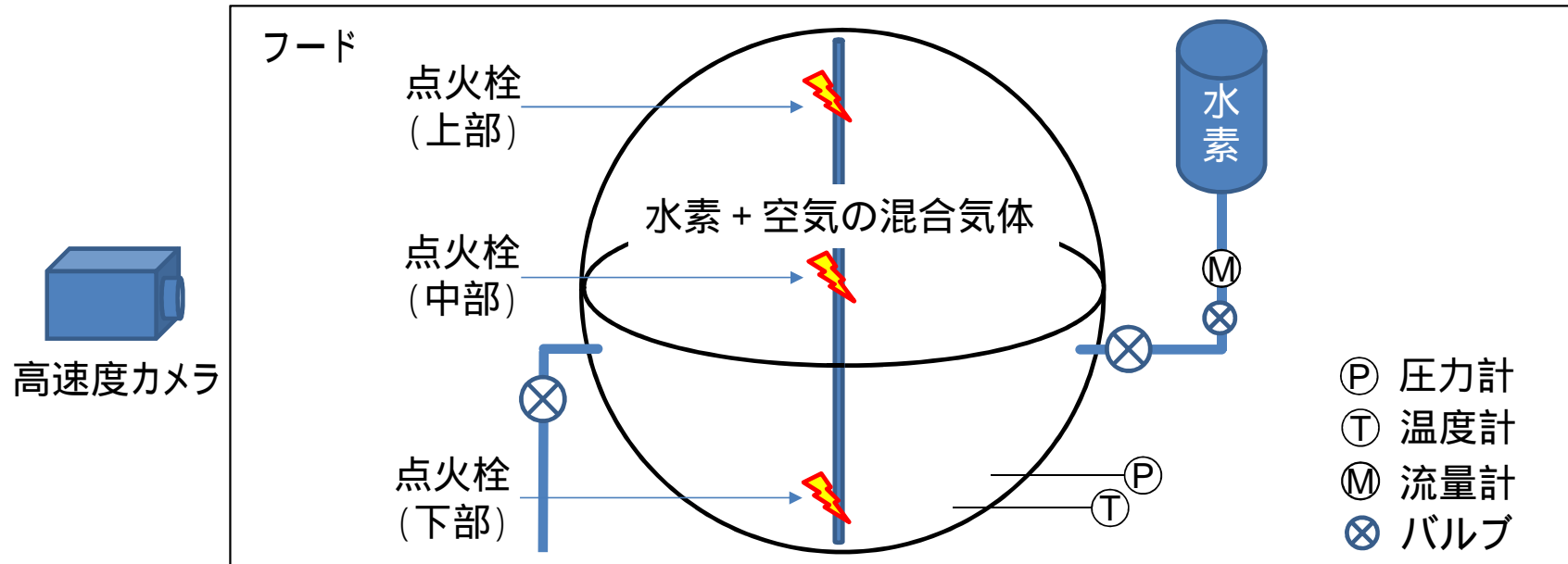
原子炉格納容器内の物質総量や化学成分、
想定される温度環境の情報が必要

(2) 水素燃焼関係

【予備実験】

水素の燃焼実験・・・水素濃度（4wt%～10wt%等）の燃焼挙動を
確認

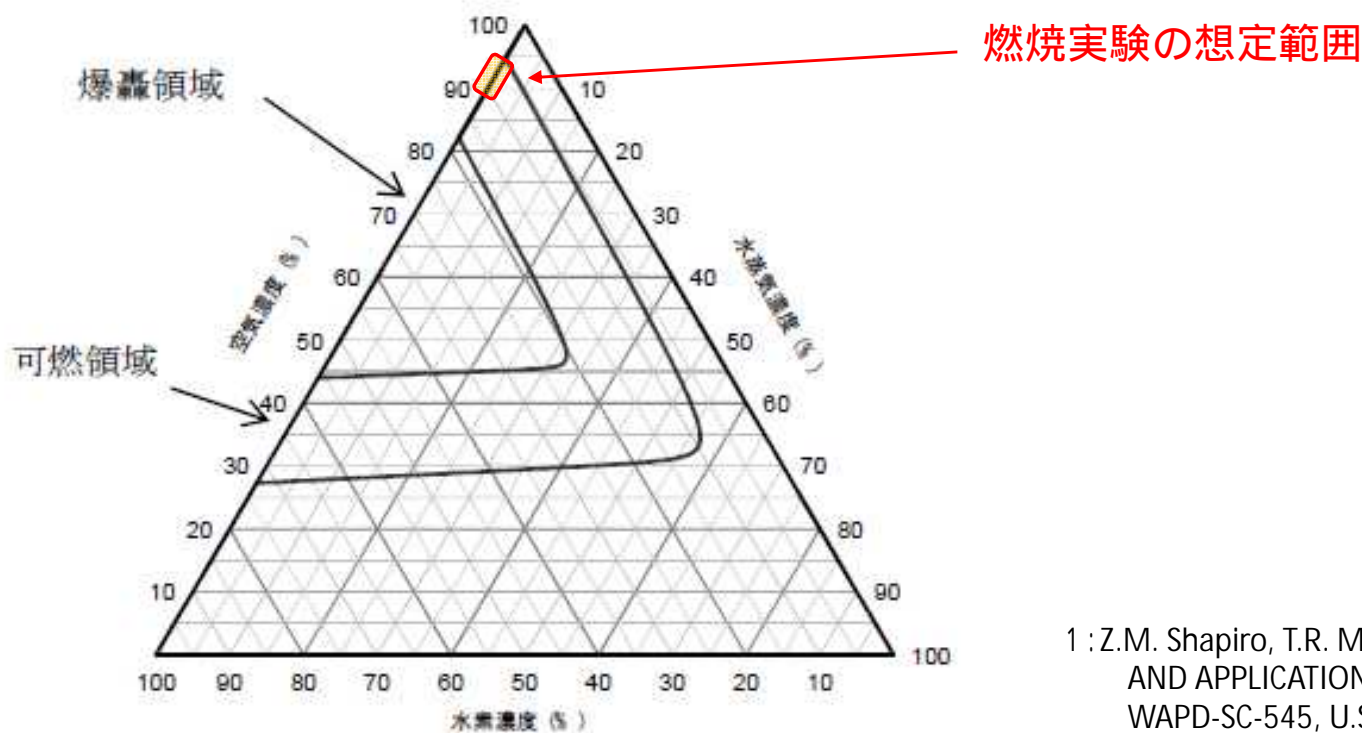
水素の燃焼実験の概念



- 水素 + 空気の混合気体を想定
- 水素濃度 (4wt% ~ 10wt%等) による着火時の燃焼状態 (完全燃焼、未燃焼分の有無等) や燃焼による圧力上昇を確認
- 点火位置 (上部、中部、下部) の違いによる着火時の燃焼状態の差を確認
- 水素濃度による燃焼後の未燃焼状態 (残留水素量等) を確認

水素濃度の検討

- 水素 + 空気の混合気体として、水素濃度の影響を確認する。
- 水素濃度は可燃領域を中心として、4% ~ 10%の範囲を想定。
- 燃焼試験の温度条件の設定は適当か。



空気、水素、水蒸気の3元図 ¹

1 : Z.M. Shapiro, T.R. Moffette, "HYDROGEN FLAMMABILITY DATA AND APPLICATION TO PWR LOSS-OF-COOLANT ACCIDENT", WAPD-SC-545, U.S. Atomic Energy Commission, Pittsburgh, PA, 1957, 13 pp.

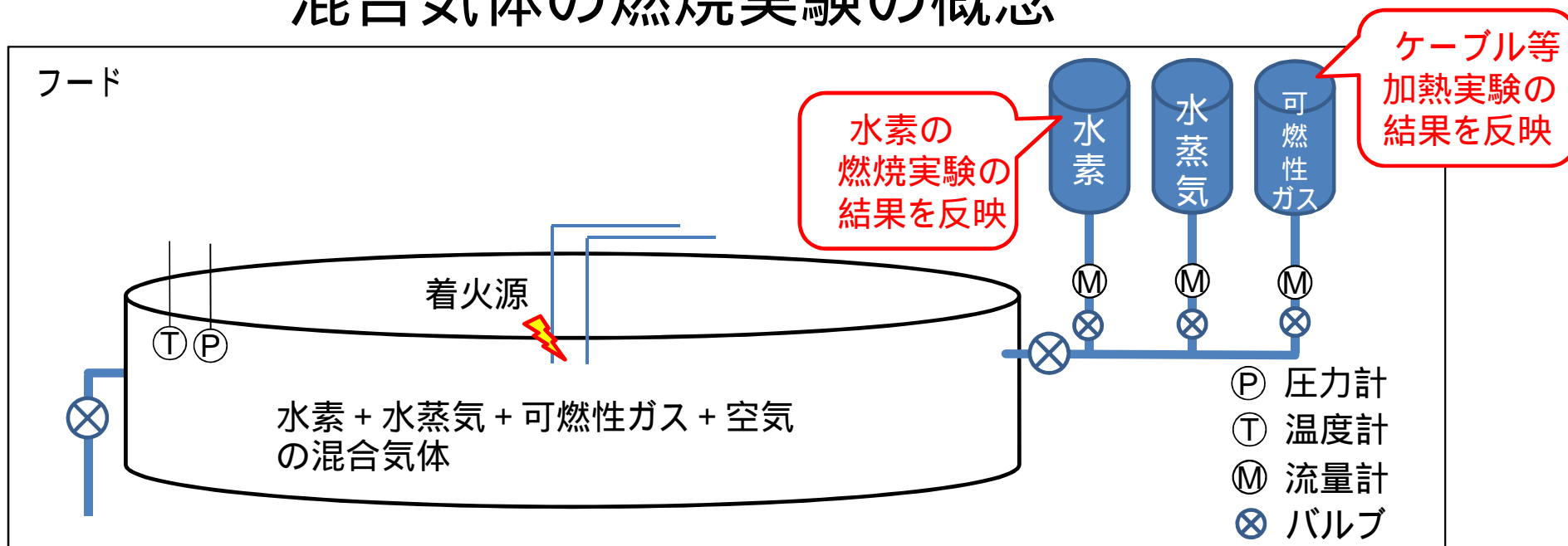
の論文の図を元に作図したもの

(3) 可燃性ガス混合気体の燃焼関係

【模擬実験】

混合気体の燃焼実験 …… 水素 - 水蒸気 - 可燃性ガス - 空気の
混合気体の燃焼時の挙動を確認

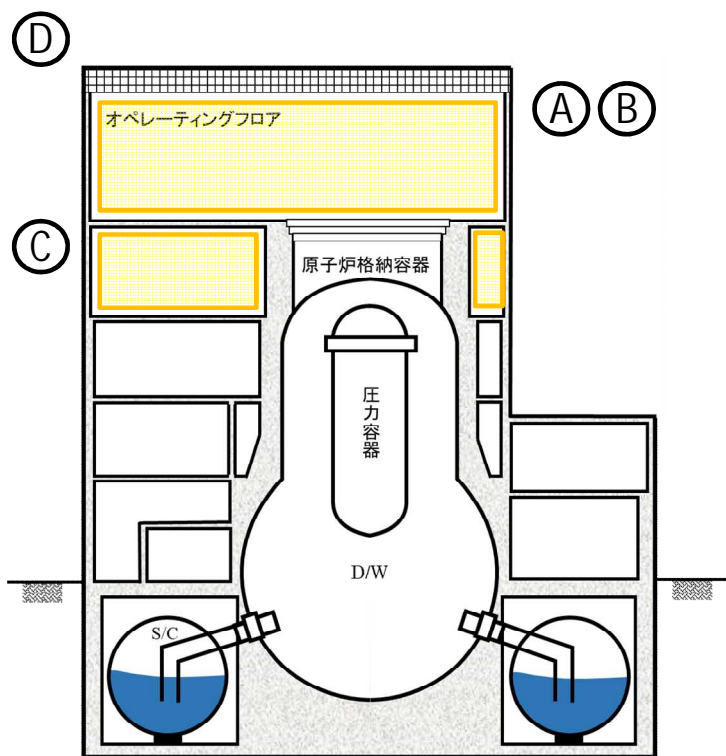
混合気体の燃焼実験の概念



- 水素 + 水蒸気 + 可燃性ガス + 空気の混合気体を想定
- 着火時の火炎の炎色や輝度、煙の発生(有無や色)等を確認
- 燃焼による圧力の増減等を確認
- 各気体の濃度、温度条件等による影響(火炎、煙、不完全燃焼の有無)を確認
- 可燃性ガスの成分等による影響の検討

燃焼試料の検討

- 水素 + 水蒸気 + 可燃性ガス + 空気の混合気体の各気体の濃度、均質性の設定は適切か。
- 可燃性ガスについては、ケーブル等の加熱試験による分解生成物を参考とする。
- 燃焼試験の温度条件の設定は適切か。



混合気体(燃焼試料)の想定

- ① 混合気体にはどのような気体が含まれるか
- ② 気体濃度、均質か不均質か
- ③ フロアによる混合気体の差はあるか
- ④ 温度条件はあるか 等。