

PWRにおける冷却材喪失事故（LOCA）後の燃料耐震評価に係る検討 －フルサイズ燃料グリッド向けLOCA模擬高温酸化装置の製作－

*小宮山大輔¹、佐藤大樹¹、尾家隆司²、多治見真孝²、小方宏一³、大和正明⁴、村上望⁴
1:三菱原子燃料、2:関西電力、3:NDC、4:MHI

本研究発表は、PWR5電力委託「LOCA時及びLOCA後の集合体部材の高温影響下の挙動及び強度の検討」の成果である。

日本原子力学会 核燃料部会夏期セミナー 2022.8.23

三菱原子燃料株式会社

1.背景・目的

背景

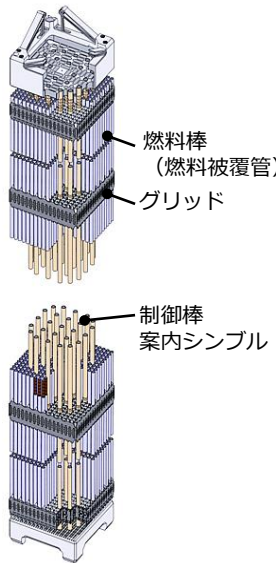
燃料被覆管に関する要求

- ・ ECCS性能評価指針において、炉心冷却可能形状の維持の観点から被覆管に対し被覆管最高温度（PCT）及び等価被覆酸化量（ECR）に関する定量的な制限値あり。

⇒ PCT \leq 1200℃かつECR \leq 15%

燃料集合体に関する要求

- ・ 燃料集合体については、冷却可能形状維持が必要とされている。



目的

LOCA後の長期冷却性維持、特に地震発生時の影響についての定量的な評価に資するべく、以下の知見を拡充する。

2018秋に発表済み

① LOCA後燃料被覆管の機械的な特性の確認

⇒ LOCA模擬温度条件を経験した被覆管の強度試験（4点曲げ試験）

② LOCA時の高温水蒸気雰囲気による燃料集合体部材への影響を踏まえた機械的特性の確認

⇒ フルサイズグリッドを高温酸化可能な装置の準備

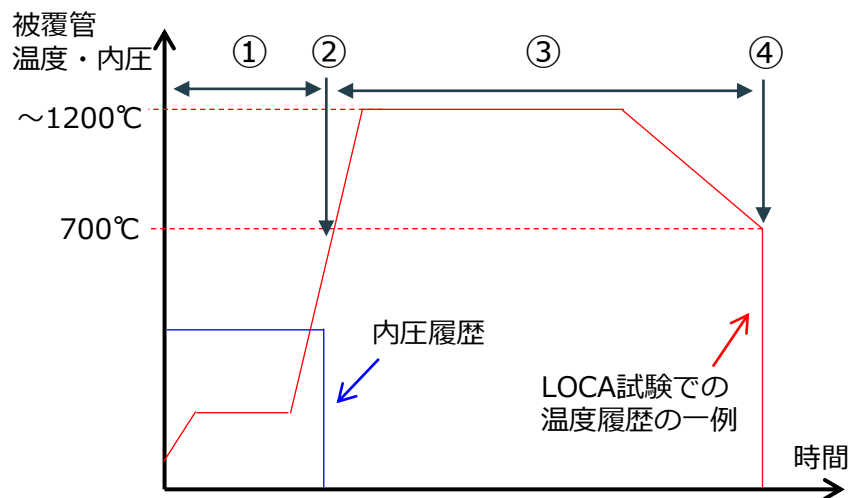
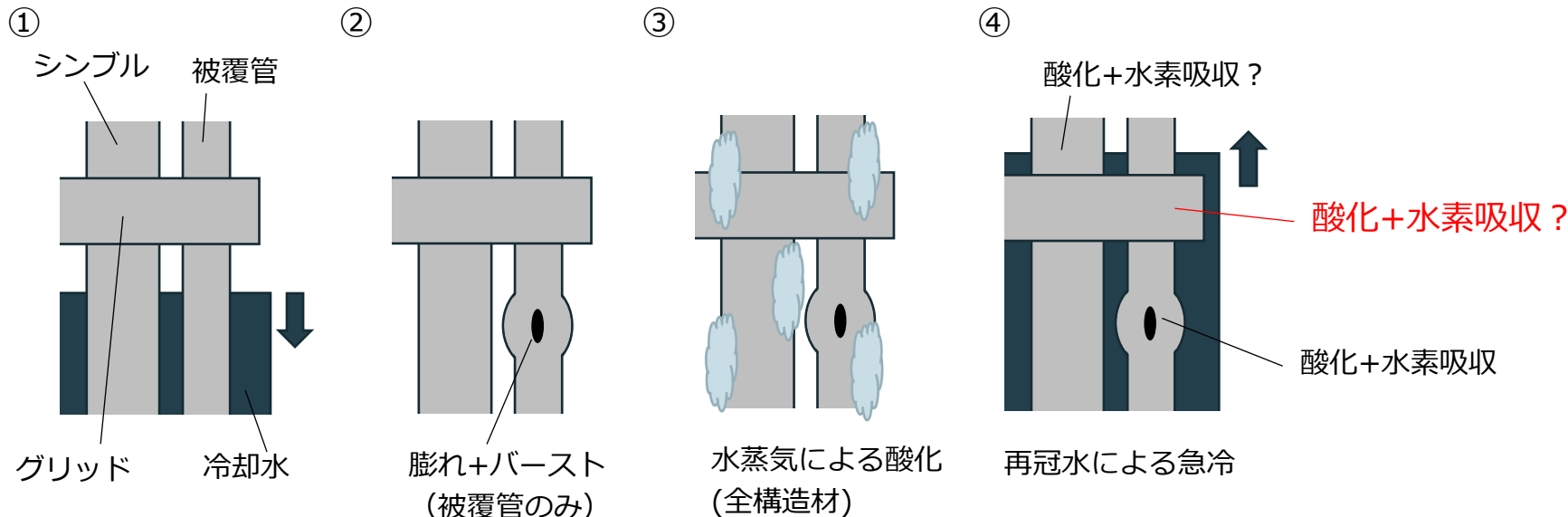
⇒ フルサイズグリッド衝撃試験

本発表内容



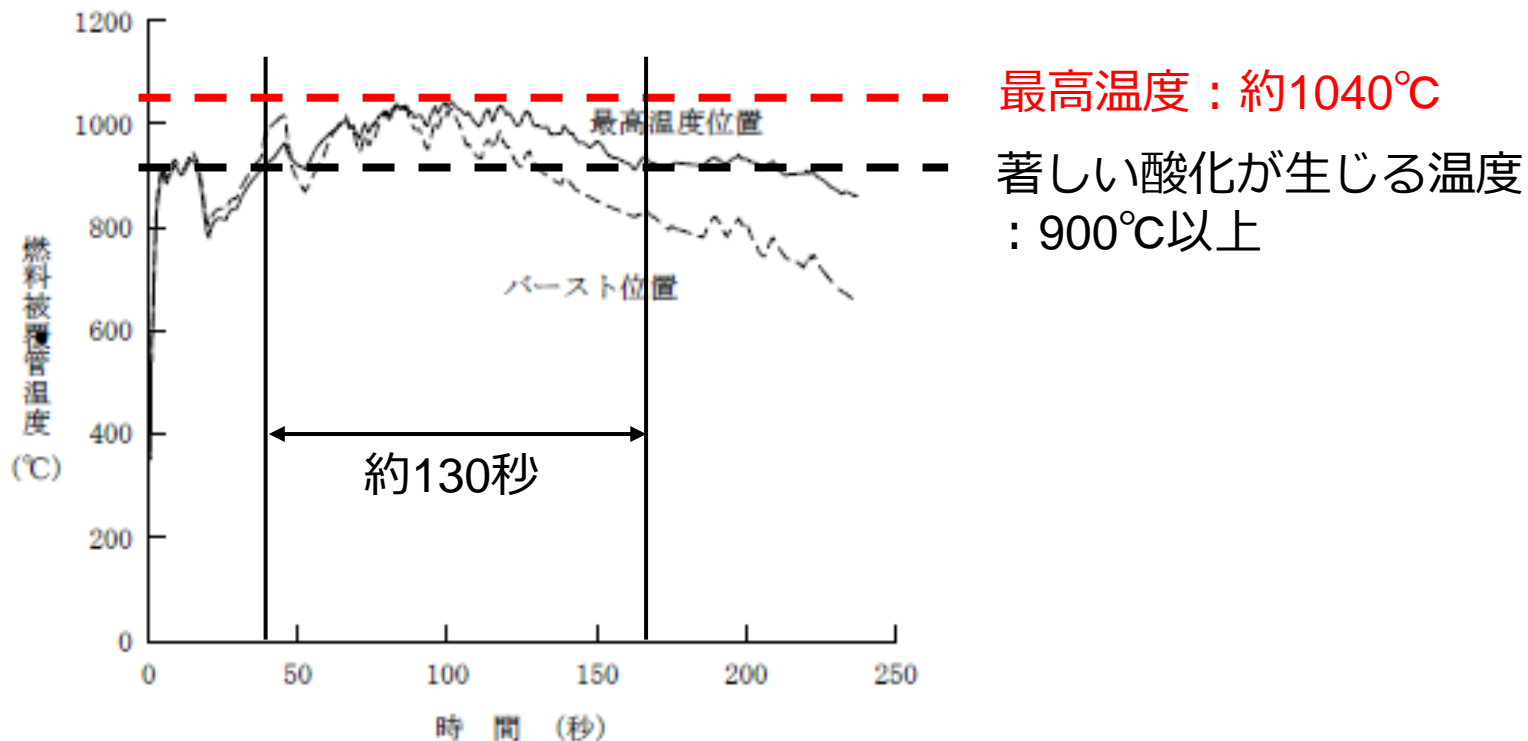
LOCA後の長期冷却時に地震が発生した場合の燃料状態の定量評価につなげる。

LOCA時の燃料周りの状況



- LOCA時には冷却水の喪失により、被覆管及び各構造材の温度が上昇。
- 被覆管では内圧上昇にともない、膨れ及び破裂が生じる。
- ジルカロイ合金はLOCA時の高温水蒸気雰囲気中で酸化反応を生じる。酸化に伴って発生する水素の吸収も考えられる。

LOCA時グリッド温度の設定



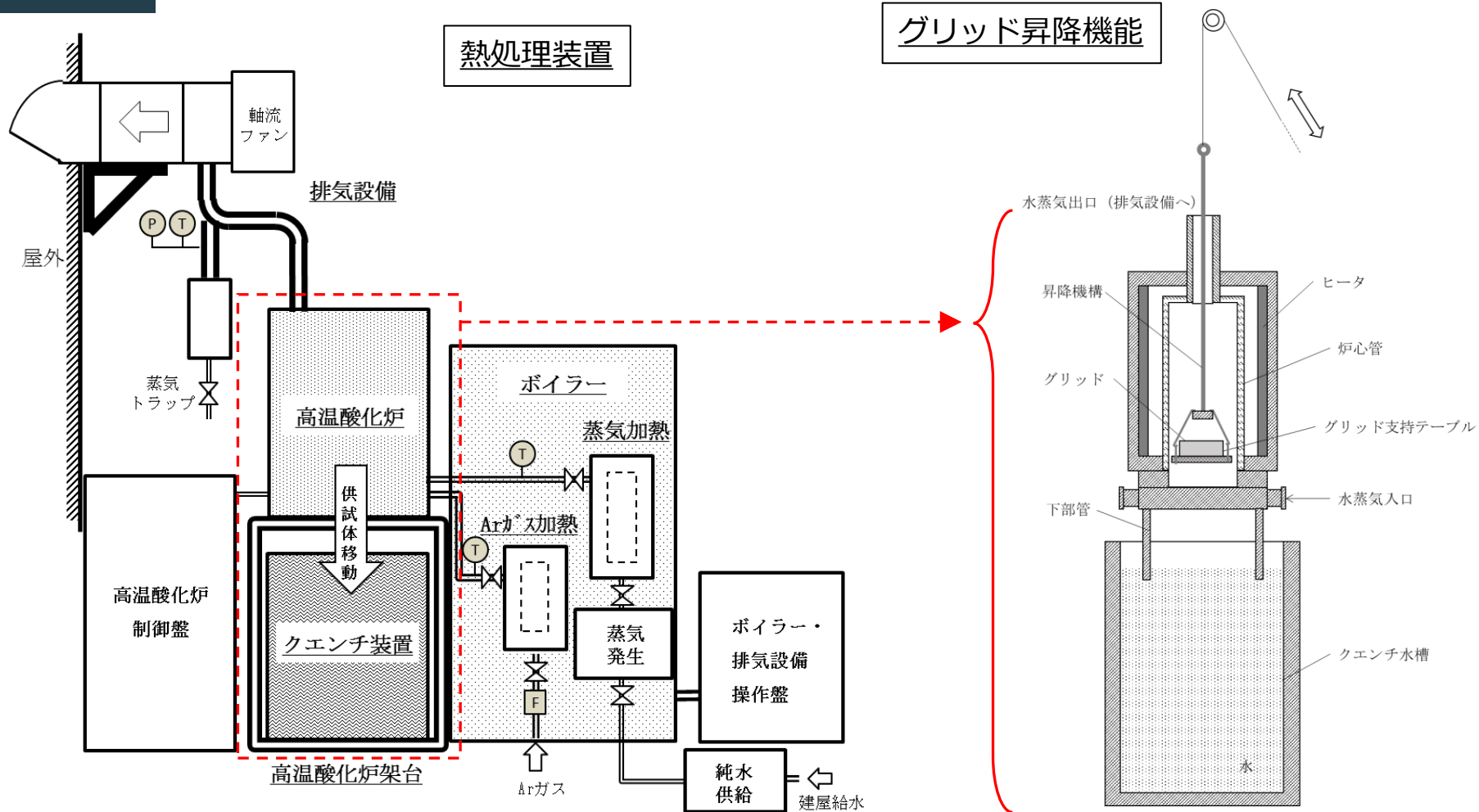
代表3ループプラントの被覆管温度*

実機LOCA事象の被覆管温度を参考に条件（1040°C×130秒→クエンチ）を設定し、フルサイズグリッドの高温酸化及びクエンチ処理を実施。

*:設置変更許可申請書 添付資料十

3.フルサイズグリッド高温酸化装置の製作

試験装置



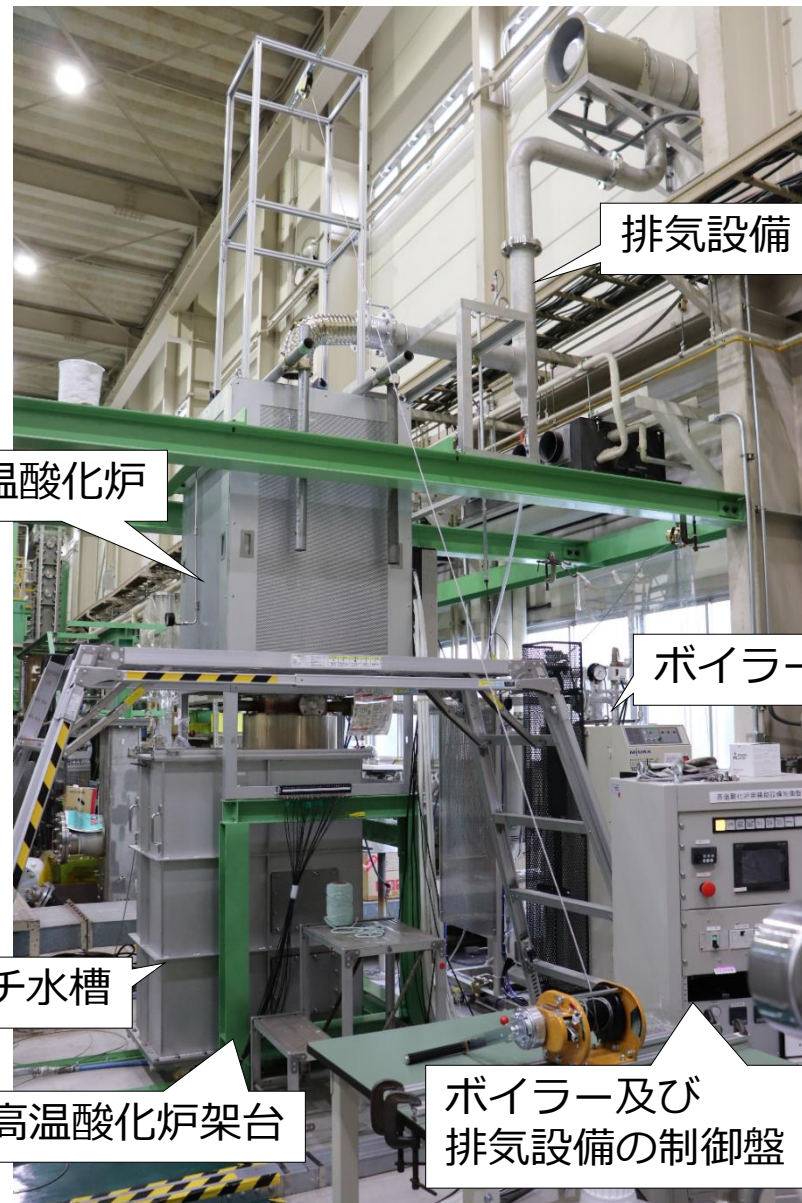
フルサイズグリッドの高温酸化のため、上記装置を設計した。

装置外観

試験装置の設計に基づいて装置を製作し、NDCに試験装置を設置し、装置性能の確認を行った。



クエンチ水槽



高温酸化炉

排気設備

ボイラー

高温酸化炉架台

ボイラー及び
排気設備の制御盤

高温酸化処理手順

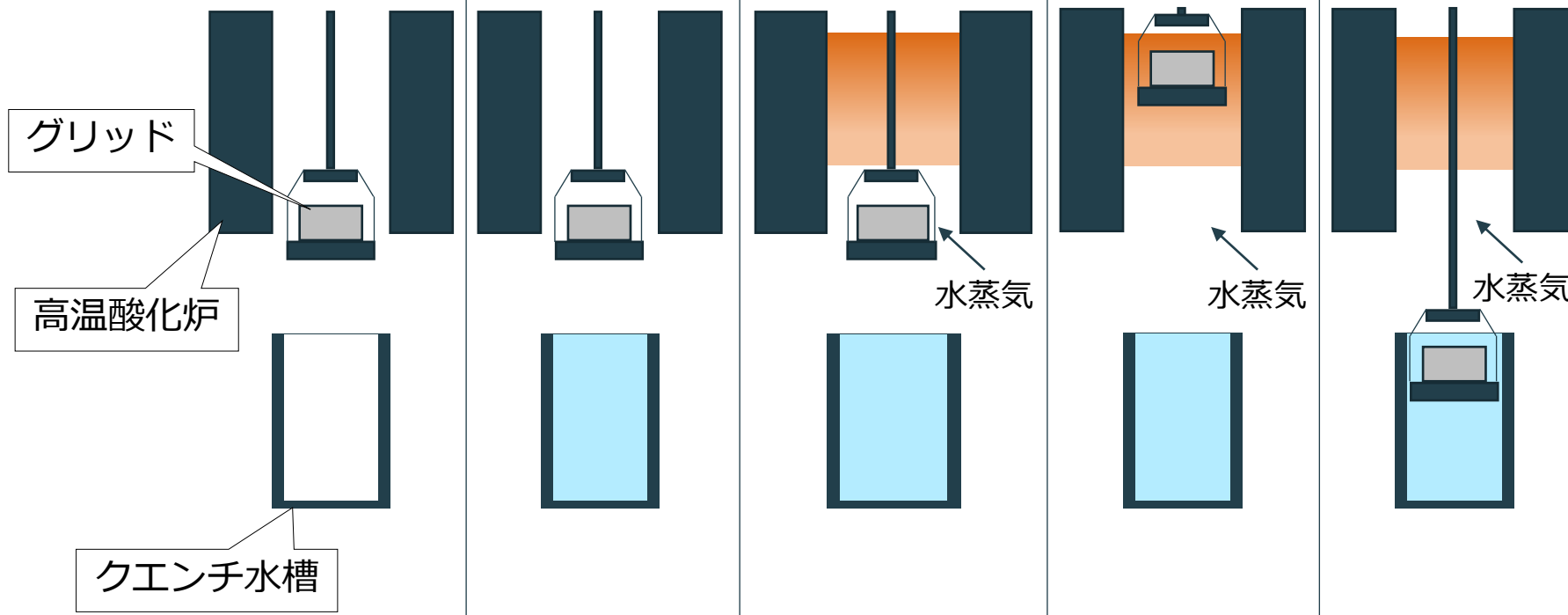
①グリッド設置

②水槽へ注水

③水蒸気導入開始
ヒーター昇温

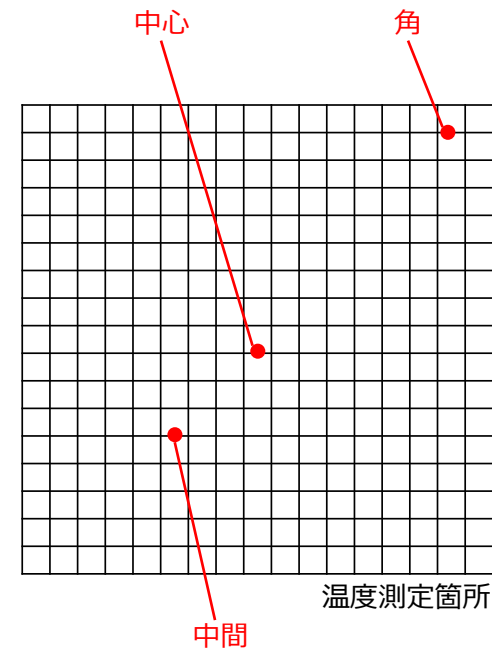
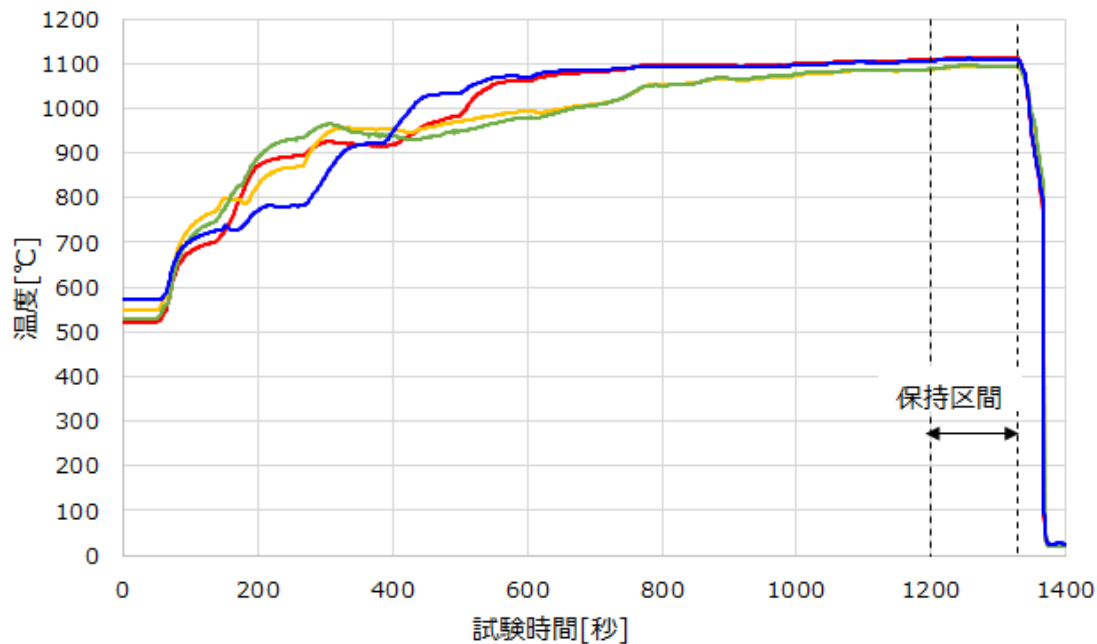
④高温酸化

⑤クエンチ



高温酸化処理結果

温度履歴

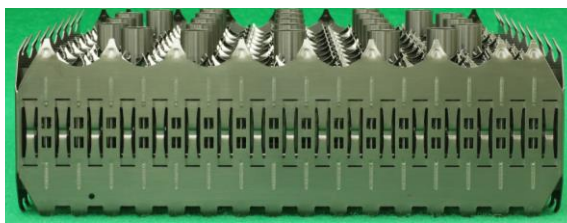
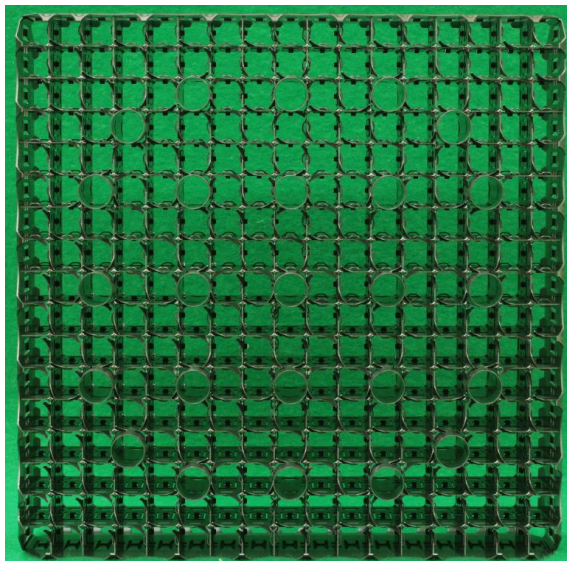


- グリッド各部（中心/中間/角部）で温度測定を実施した。
- 昇温速度が大きいとジルコニウムの酸化反応による反応熱が過大となり、目標保持温度を大幅に超える可能性があるため、ステップ状に昇温を行った。
- 所定温度まで昇温後、設定時間保持した。

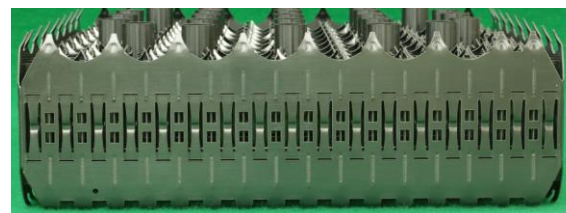
高温酸化処理結果

供試体外観

酸化処理前



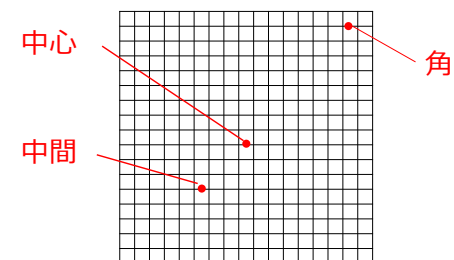
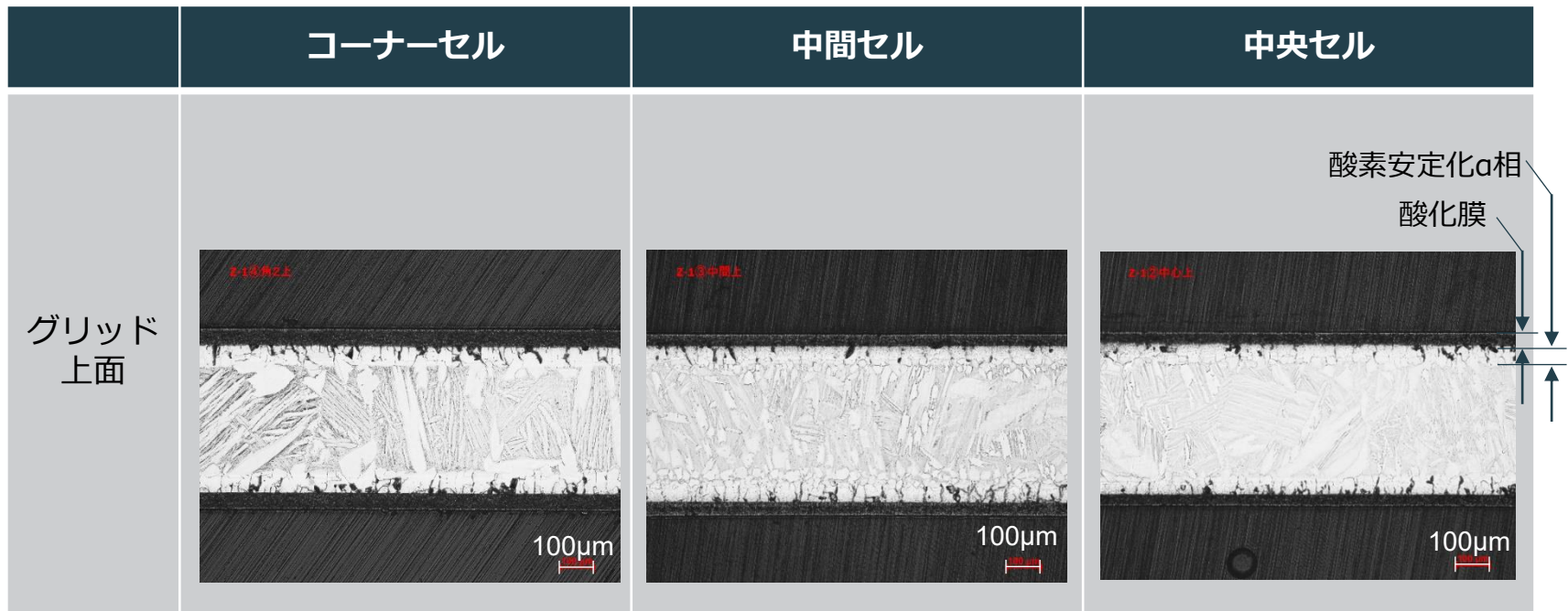
酸化処理後



- ・ 概ね均質な酸化挙動となっている様子を確認した。
- ・ 酸化による特異な変形は生じていないことを確認した。

高温酸化処理結果

金相観察



- 酸化膜は均一に形成されている。
- 酸化膜厚さ、酸素安定化α相の厚さは各部の温度に対応する結果となっていた。

高温酸化処理結果

酸化膜厚さ、水素吸収量

測定箇所	保持中 平均 温度	片面酸化膜厚さ		水素 濃度
		測定値	B-J式 計算値	
	°C	μm	μm	ppm
②中心	1092	35.5	76.6	15.9
③中間	1093	34.7	76.5	11.6
④角2	1110	48.1	94.3	22.7

- B-J式は保守的な予測式であり、実際の酸化膜厚さの2倍程度となることが知られており、今回結果も妥当な酸化膜厚となっている。
- グリッドについては高温酸化処理にて水素吸収は加速しない傾向であった。

LOCA時の高温水蒸気雰囲気を経験したグリッドの機械的特性取得のため、フルサイズグリッドでの衝撃試験が必要となる。

このため、LOCAを模擬した高温水蒸気雰囲気を経験したフルサイズグリッドを製作するため、高温酸化を施す試験装置を製作し、その性能を確認した。

- ・フルサイズグリッドを挿入できる高温酸化炉、高温酸化炉への吸排気機能、グリッドの昇降機能及び酸化後フルサイズグリッドを急冷できるクエンチ水槽を組み合わせた装置を設計、製作した。
- ・LOCA時にグリッドが晒される温度、時間条件を満足するような水蒸気中での高温酸化がフルサイズグリッドに対して可能であることを確認した。



MOVE THE WORLD FORWARD

**MITSUBISHI
HEAVY
INDUSTRIES
GROUP**