

JASMiRT第2回国内ワークショップ 2018年8月23日
セッション1 金属材料の破壊・劣化現象と強度評価

事象把握のための破壊試験と解析的取組み — 模擬材料を用いた構造物クリープ試験の実施 —

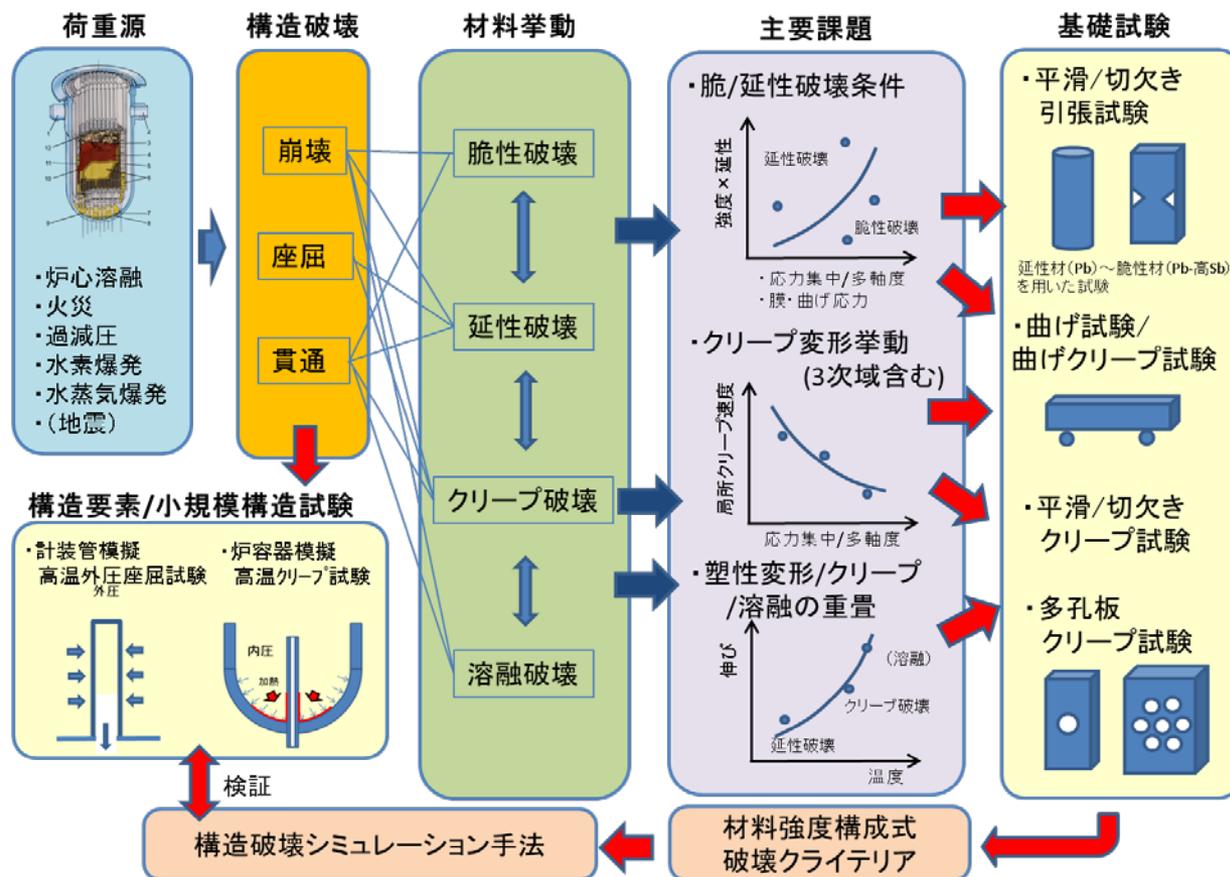
2018年8月17日

○廣瀬悠一、片渕紘希、首藤伸伍、中馬康晴
三菱重工業株式会社 総合研究所

背景、目的

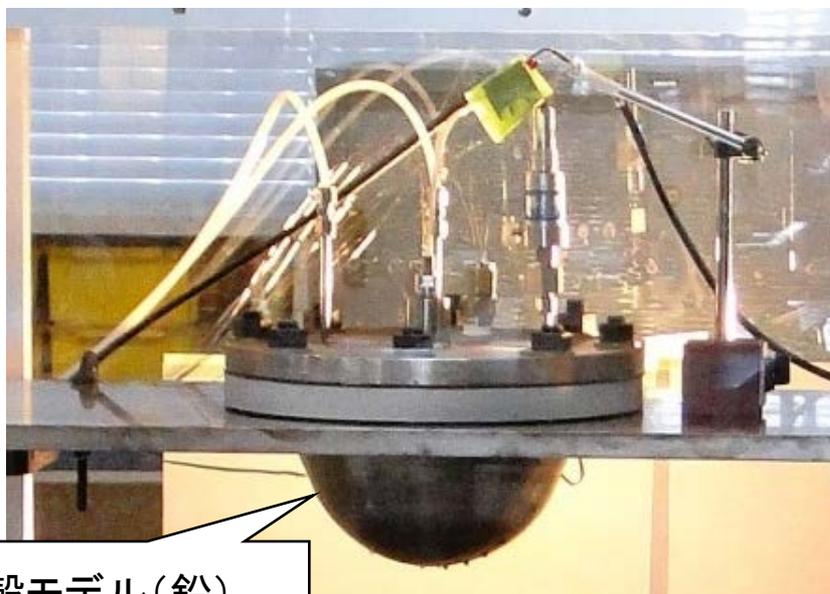
福島第一原子力発電所事故の教訓として、現在研究開発中の高速炉等に対しても、「設計を超える状態」において、この影響を緩和し、拡大をサイト内で抑制するための重点的な取り組みが要求されている。

本検討では、構造破壊時の材料挙動データの取得並びにデータの取得手法の開発を実施している。

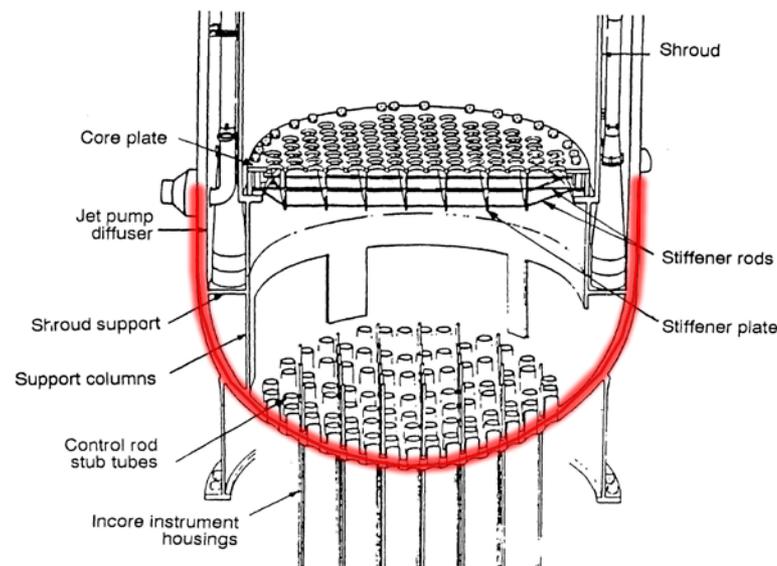
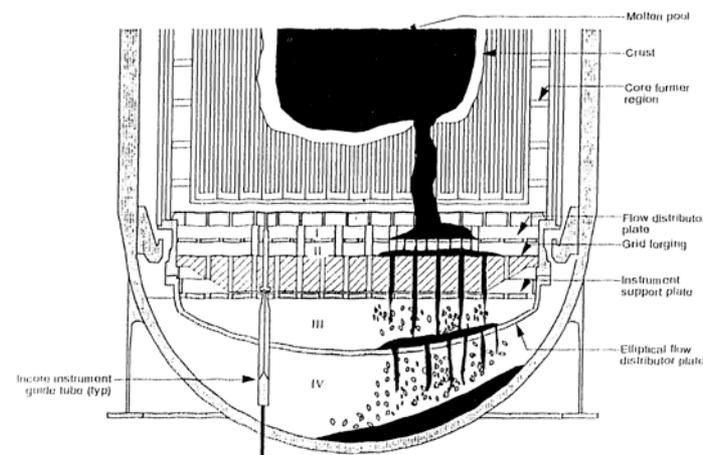


構造破壊検証試験の実施

本検討では、高速炉等において、原子炉停止にも拘わらず、何らかの理由で核燃料の崩壊熱を除去できなくなり、圧力上昇を伴いながら、原子炉容器が高温化する状況を想定した。原子炉容器が構造破壊する際の挙動データを取得することを目的に、球殻モデルを用いた内圧クリープ試験を実施した。



球殻モデル(鉛)
内圧クリープ試験

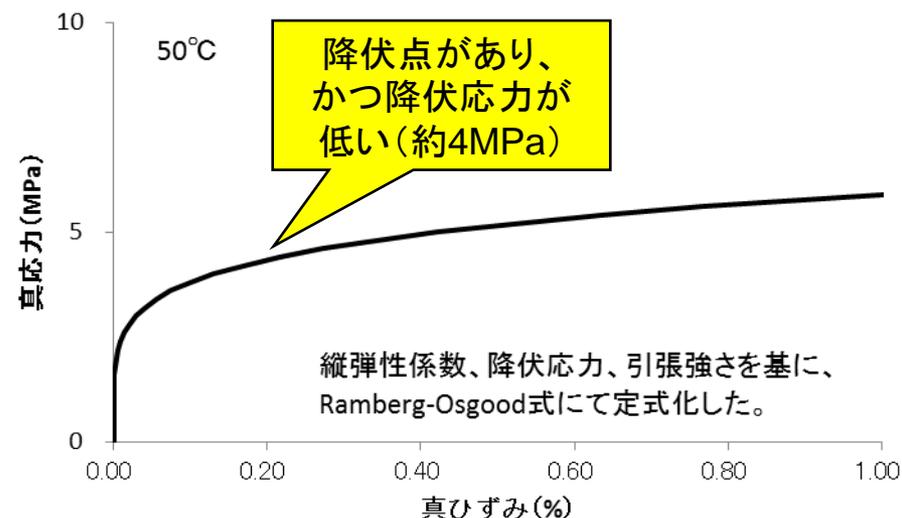
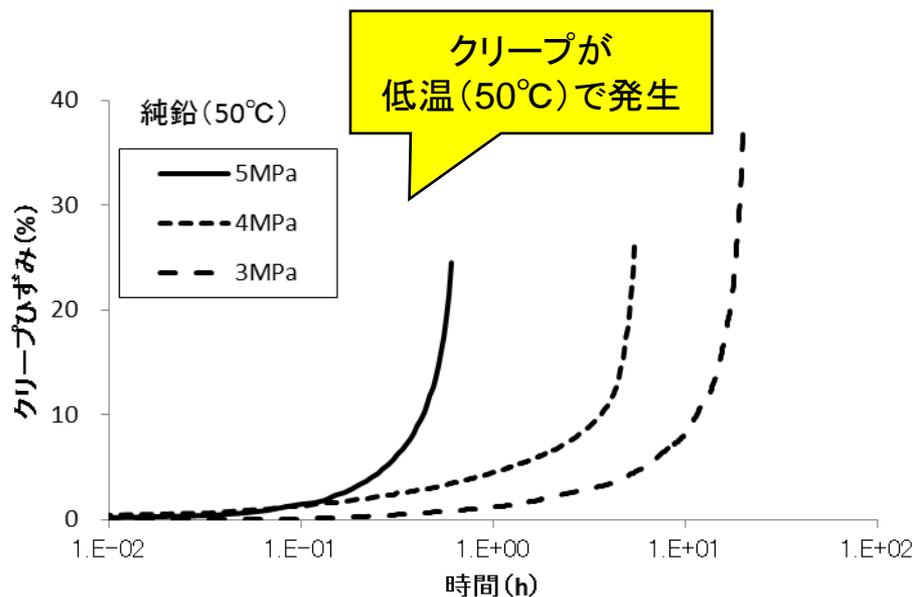


軽水炉における検討事例

J. L. Rempe et. ,Light Water Reactor Lower Head Failure Analysis, 1993

鉛を使用した構造破壊検証試験の提案

構造破壊時は温度並びに圧力は高くなり、破壊エネルギーは非常に大きい。このため、実機環境における検証試験を実施できる機関は限定される。構造破壊に関する研究の裾野を広げ、活発化することを目的に、本PJでは、簡易な試験方法、つまり、低い温度と圧力で破壊試験を実現することを試みた。

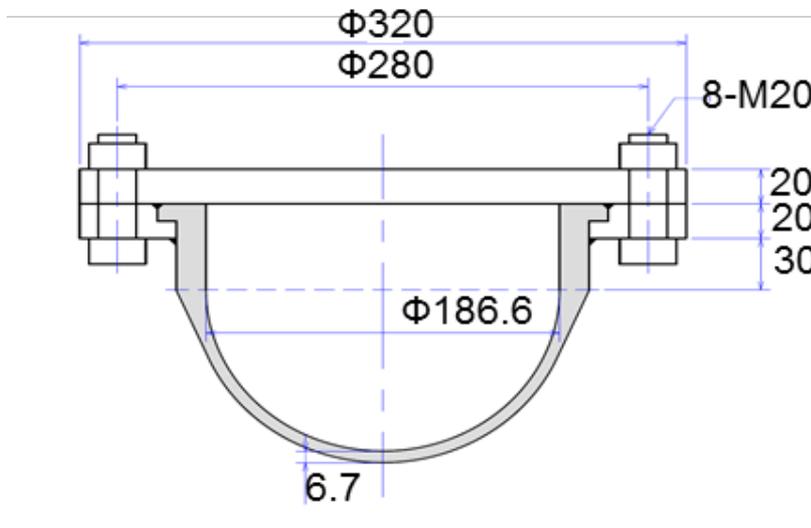


実機材料の定性的な性質を保ったまま、低温でクリープが生じ、かつ降伏応力が小さい模擬材料 (純鉛) を用いた検証試験を実施している。

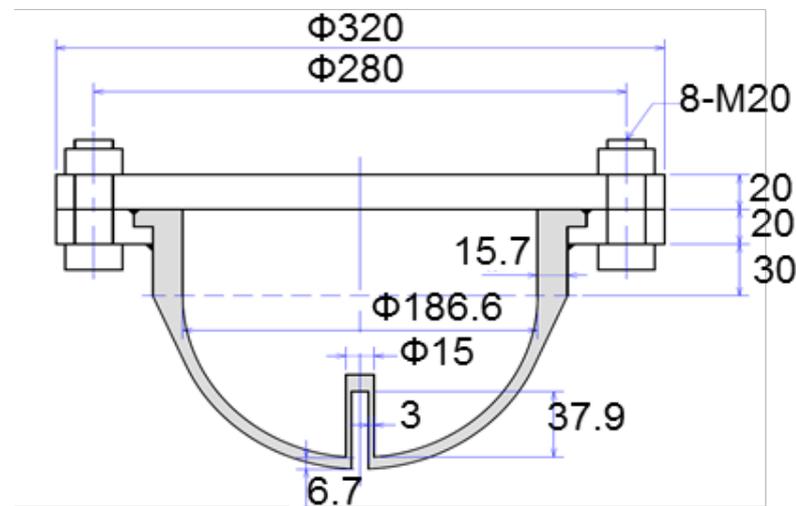
構造破壊検証試験の条件

供試体は、純鉛製の球殻モデルとし、貫通部の有無による破壊状況の違いを確認するため、構造破壊検証試験には、中央部に貫通部を設けないものと設けたものの2体を使用した。なお、試験条件は、温度50°C、圧力0.57MPaとした。

Case	材料	温度	内圧	応力 (円周・子午線)	貫通部	備考
1	純鉛	50°C	0.57 MPa	4MPa	なし	大規模破壊を想定
2					あり	局所破損を想定



貫通部なし

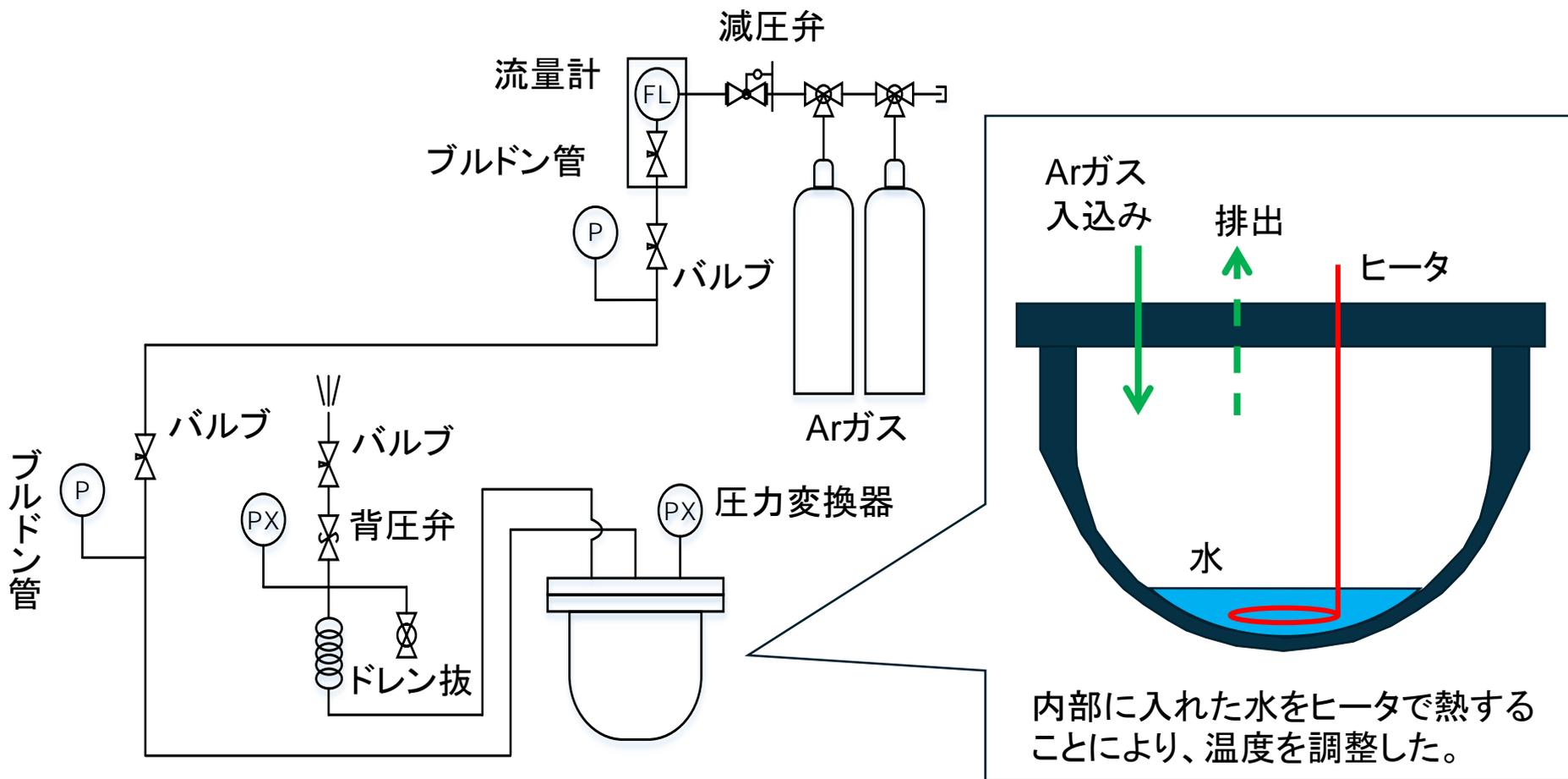


貫通部あり

内圧クリープ試験の方法

昇温(50°C) : お湯(水をヒータで加熱)

昇圧(0.57MPa) : アルゴンガス

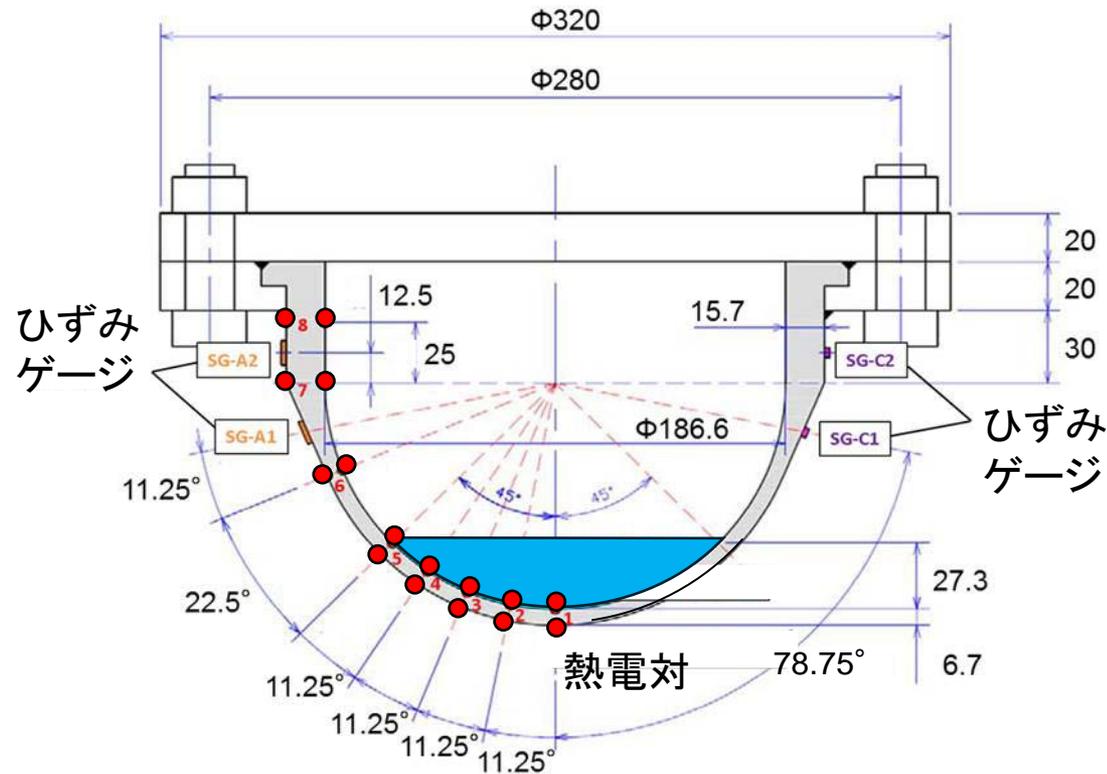


内圧クリープ試験における計測内容

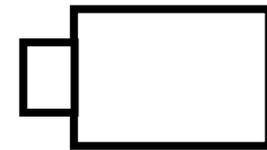
熱電対(16点) : 子午線方向温度分布の確認

ひずみゲージ(4点) : 圧力負荷有無の確認

ビデオカメラ(2点) : 地側方向の全体変形挙動の計測



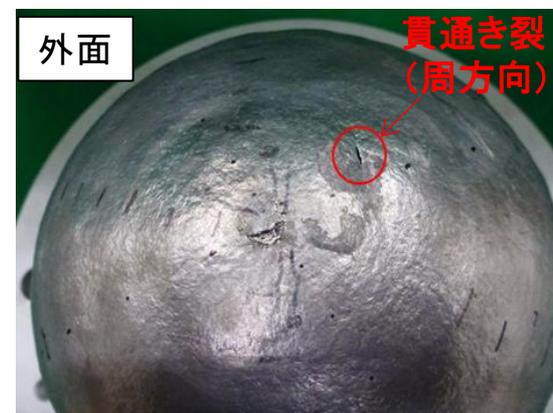
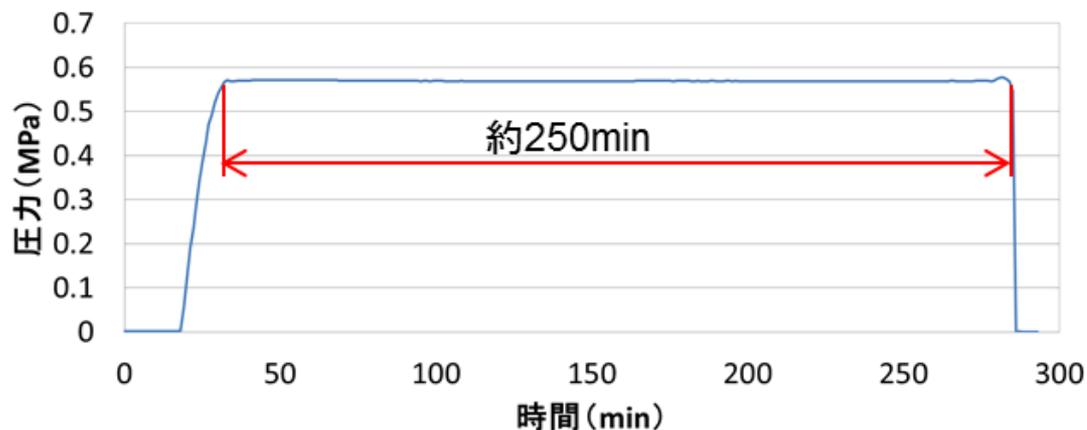
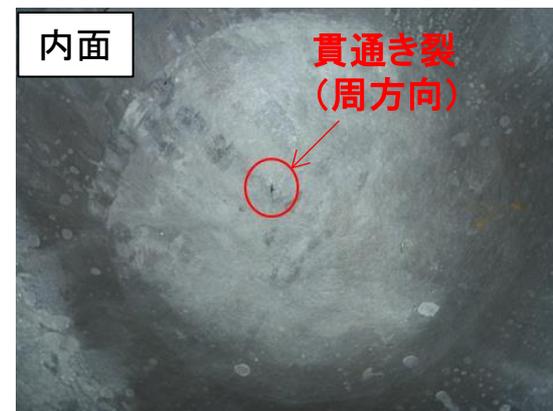
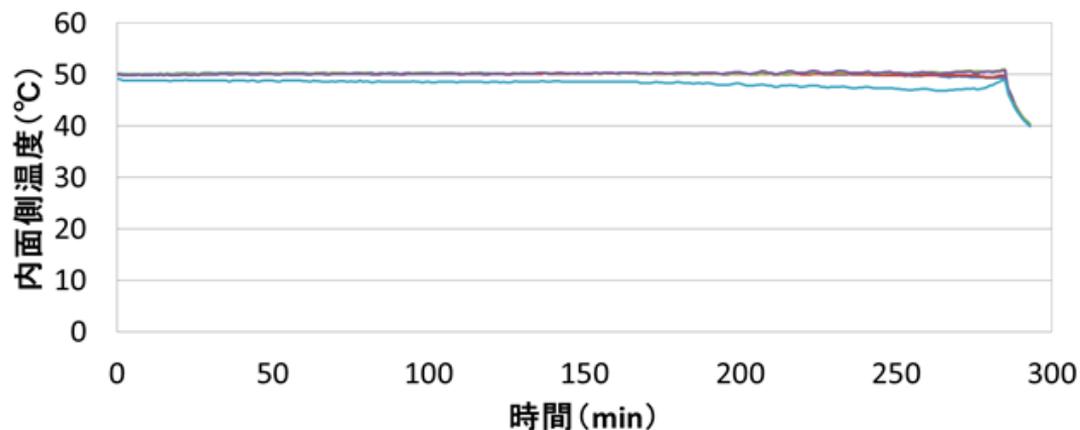
ビデオカメラ



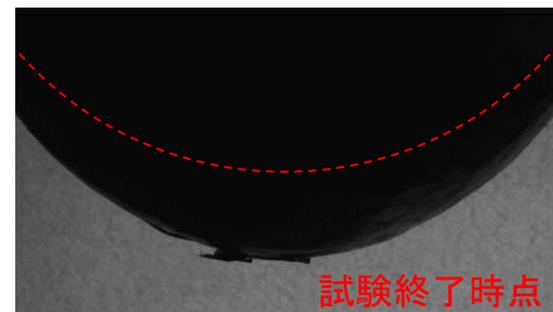
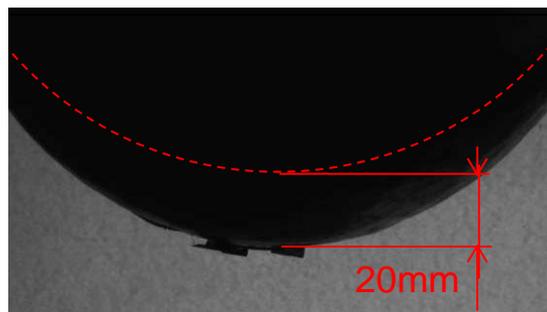
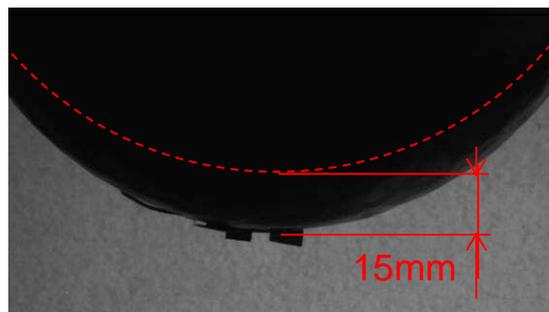
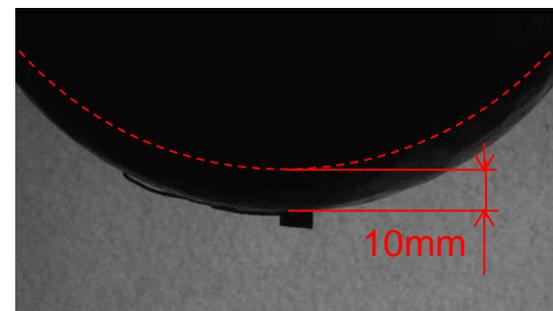
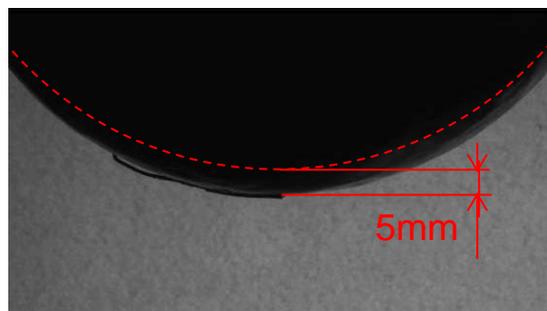
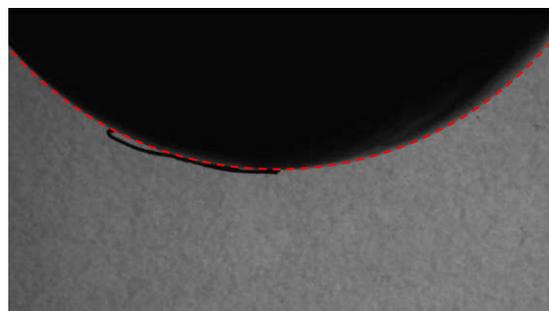
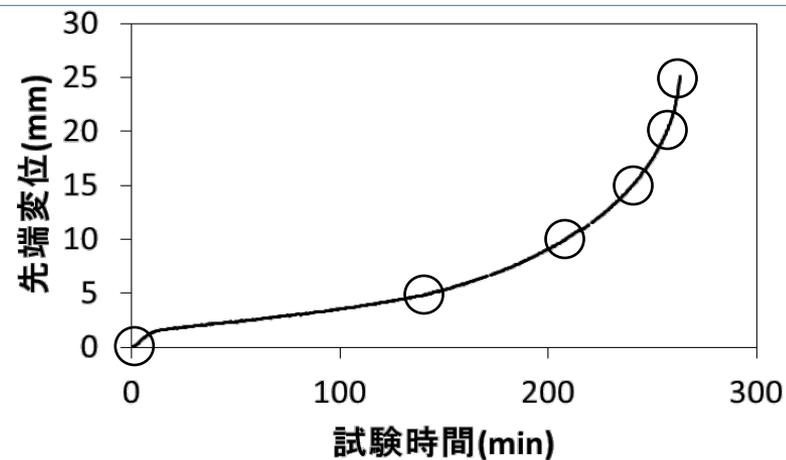
全体変形挙動を撮影

試験温度と圧力の時間履歴(貫通孔がない場合)

貫通寿命は約250分であり、貫通き裂の発生位置は試験体の中央近傍であった。き裂の方向は概ね周方向と一致した。なお、き裂の延長上では肉厚が薄くなっており、大規模破壊の兆候が見られた。

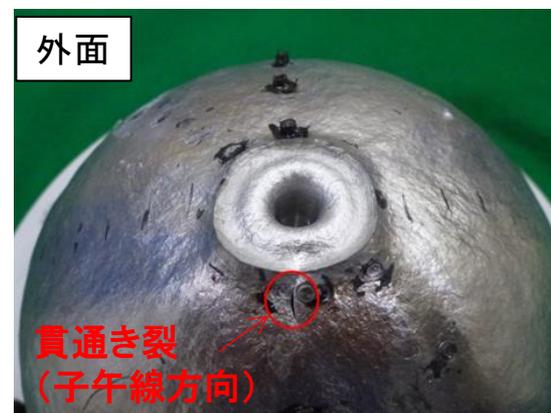
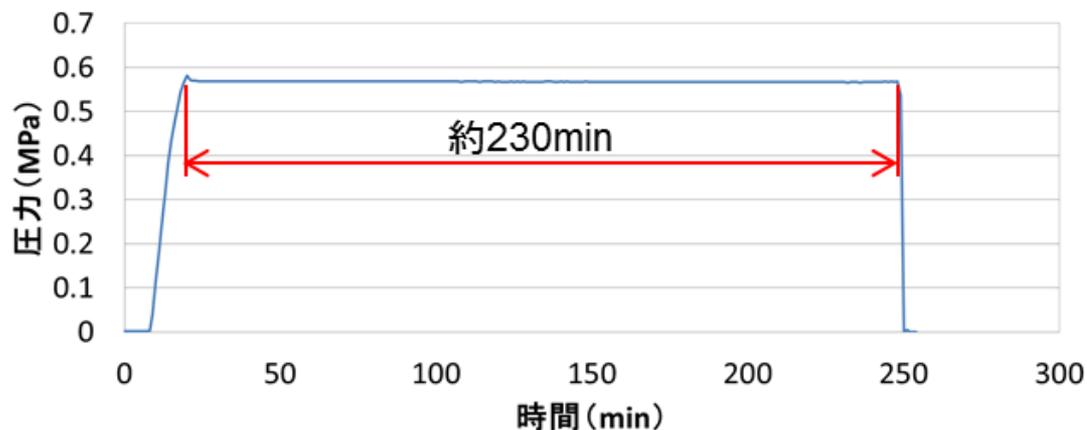
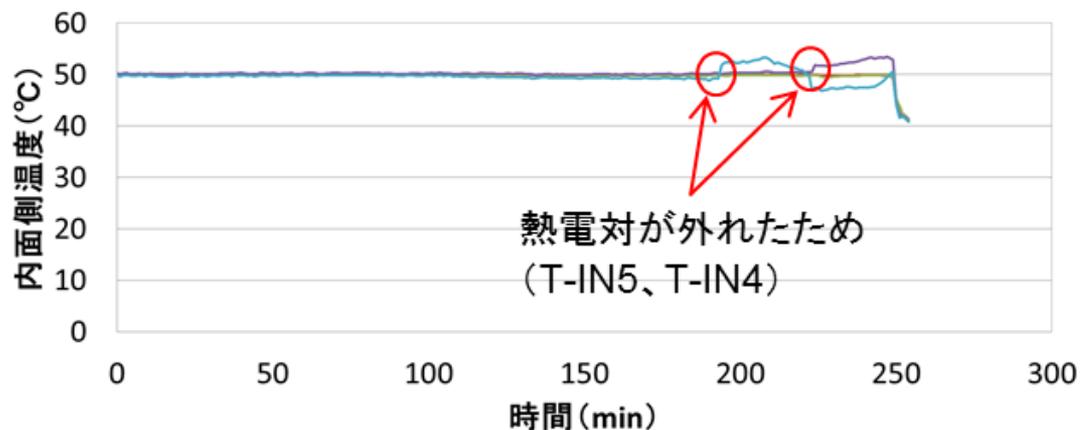


変形挙動計測(貫通孔がない場合)

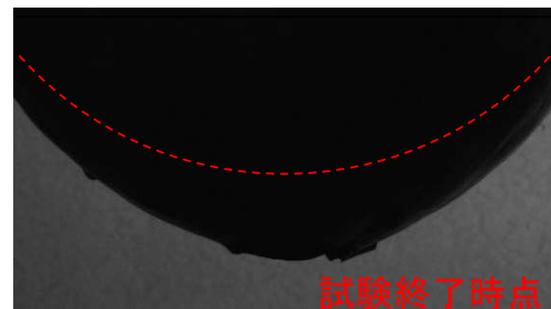
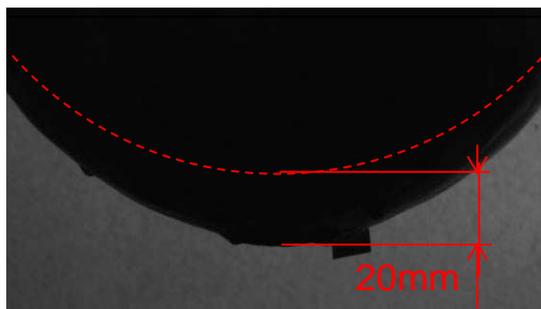
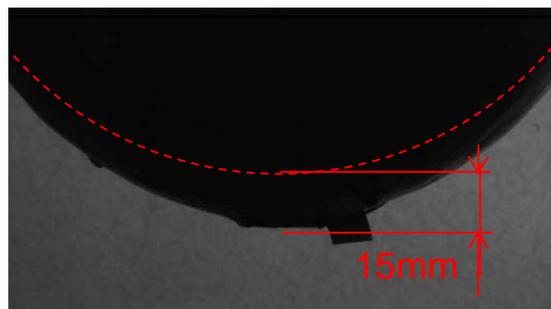
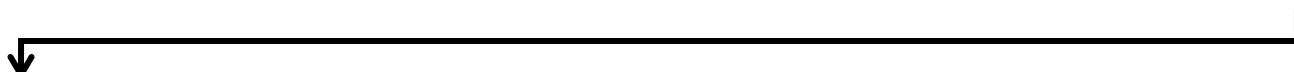
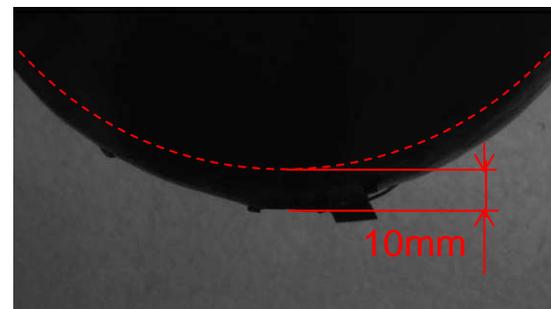
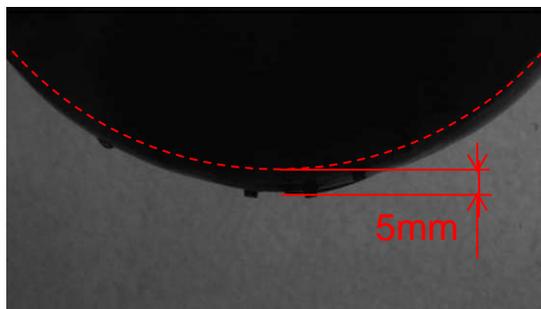
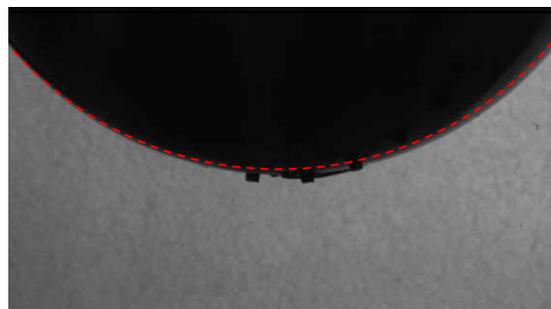
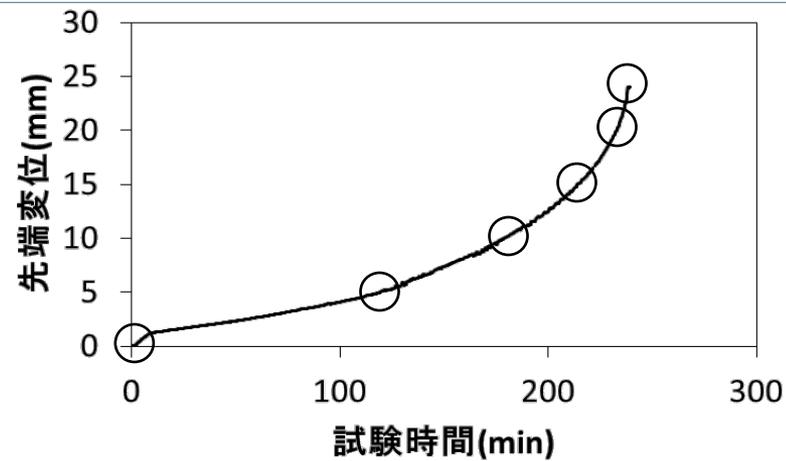
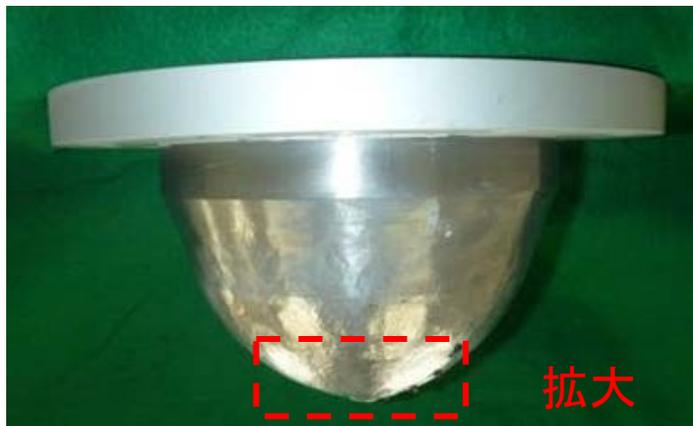


試験温度と圧力の時間履歴(貫通孔がある場合)

貫通寿命は約230分であり、貫通き裂の発生位置は貫通孔近傍であった。き裂の方向は概ね子午線方向と一致した。なお、き裂の延長上では肉厚が(貫通孔がない場合ほど)極端に薄くなっておらず、局所破損の兆候が見られた。

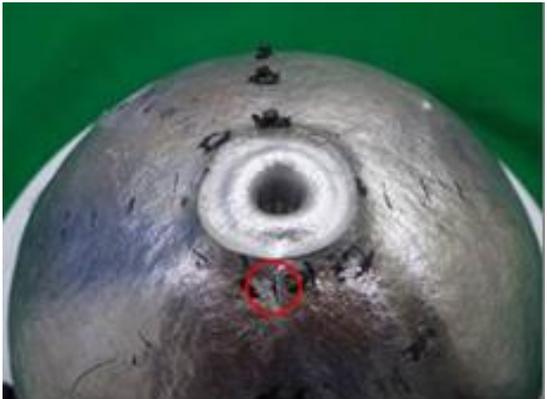


変形挙動(貫通孔がある場合)

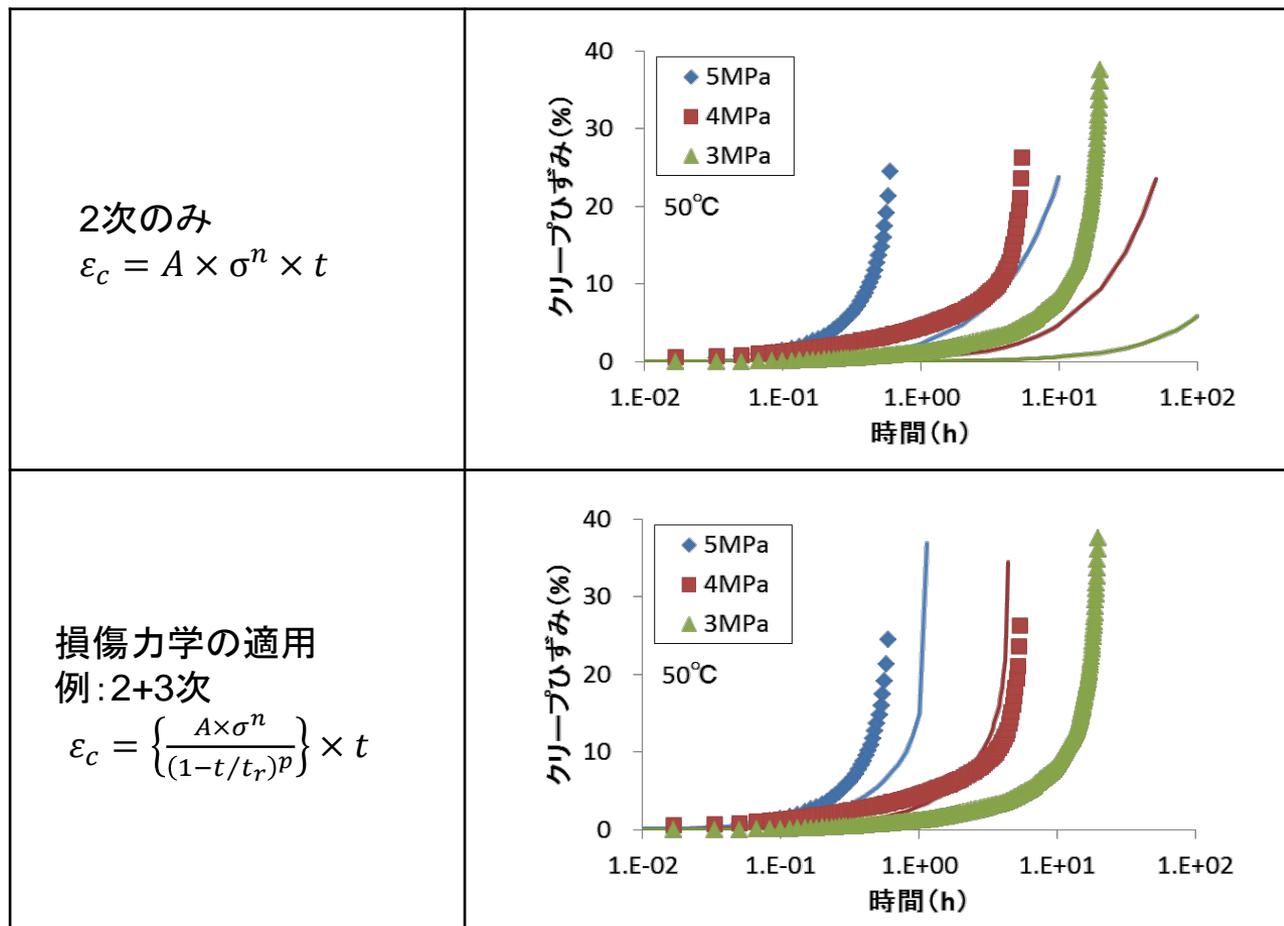


貫通き裂の状況比較

貫通部の有無により、き裂の方向に違いが見られた。貫通部がない場合は、き裂延長線上の肉厚が薄くなっており(大規模破壊の兆候)、一方、貫通部がある場合は、極端な肉厚変化は見られなかった(局所破壊の兆候)。

Case	外表面	内表面	貫通き裂	
			位置	向き
1			中央近傍	周
2			貫通部際	子午線

構造破壊(変形挙動、貫通時間、貫通き裂の位置と向きなど)を再現する3次クリープまで定式化した損傷力学等の適用性を検証予定である。



ε_c : クリープひずみ、 t : 時間、 σ : 応力、 t_r : 破断寿命、 A 、 n 、 p : 定式化パラメータ

構造破壊時の強度評価手法の開発を目的に、純鉛製の球殻モデルを用いた内圧クリープ試験を実施し、変形挙動データを取得した。

- ・ 貫通部がない場合は、中央近傍に貫通き裂(周方向)が発生した。そして、この貫通き裂延長上の肉厚が薄くなっていた。
- ・ 貫通部がある場合は、貫通部近傍に貫通き裂(子午線方向)が発生したが、このき裂延長上の肉厚変化は(貫通部がない場合に比べて)小さかった。

供試材に模擬材料(鉛)を用いることで、試験温度が50°Cと低温環境においても、実機材料の定性的な性質を保ったまま、球殻が構造破壊する際の挙動データを取得できた。

なお、本報告は、文部科学省 国家課題対応型研究開発推進事業 原子力システム研究開発事業の内、「極限荷重に対する原子炉構造物の破損メカニズム解明と破局的破壊防止策に関する研究開発」の一環として行った研究の成果である。

課題

- ・ 構造破壊の規模や状況は、構造に応じて変化する。また、破壊挙動は、材料や環境にも依存する。
 - ⇒ 構造物における剛性差が、破壊挙動に与える影響を模擬材料(鉛)を用いて確認する。また、実際に適用する材料を用いて、実機環境、もしくは、より実機条件に近い条件において、破壊挙動を確認する。

展望

- ・ 破壊挙動をシミュレート可能な損傷力学を適用した解析手法と強度評価法を開発する。

MOVE THE WORLD FORWARD

**MITSUBISHI
HEAVY
INDUSTRIES
GROUP**