

早期実用化に向けたPWR向け事故耐性燃料被覆管 (コーティング被覆管) の開発

(2) コーティング被覆管の製造試験

核燃料部会夏期セミナー

岡田 裕史 (三菱原子燃料)

2022.8.23

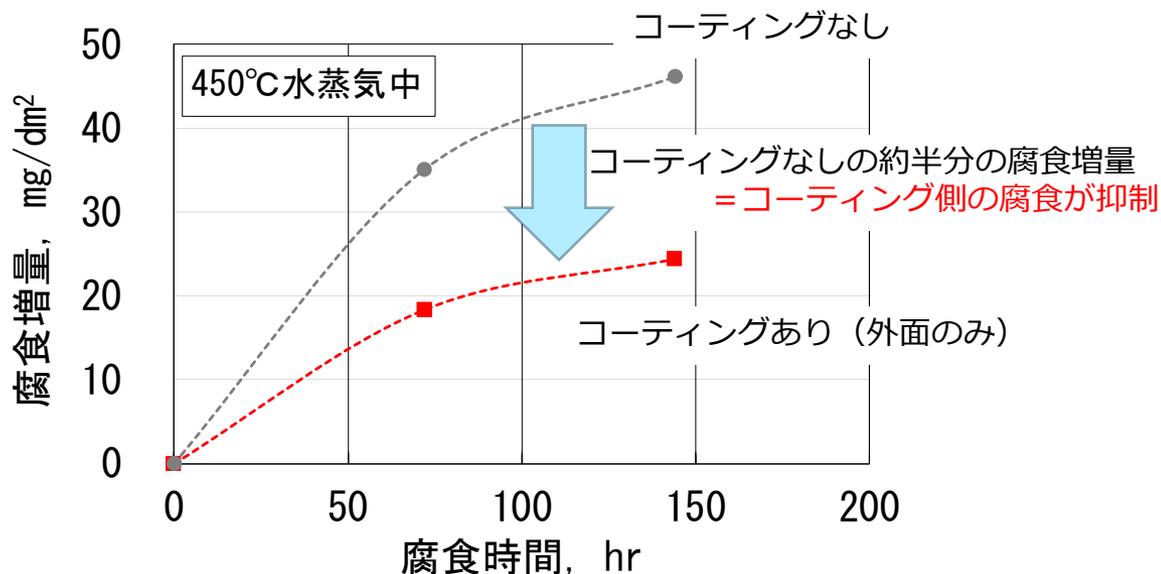
三菱原子燃料株式会社

1. 背景
2. 目的
3. コーティング被覆管の製造及び試験
4. 試験結果
5. まとめ

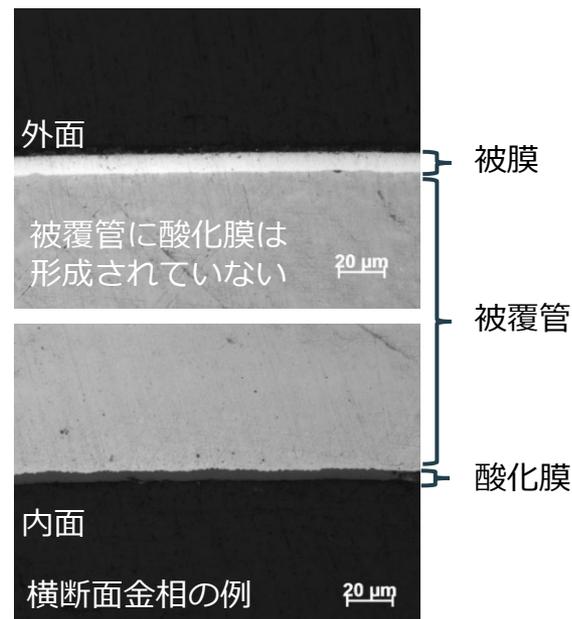
※ 本研究内容は、経済産業省資源エネルギー庁による令和2年度「原子力の安全性向上に資する技術開発事業」による補助を受け実施された事業の成果です。

1. 背景

- 三菱では、早期実用化の見通しがあるATF被覆管として、**実用化済みの被覆管 (Zr基合金被覆管)を基材**とするコーティング被覆管の開発を進めている
- 事故耐性の向上に加え、耐食性の向上等、**通常運転時性能の向上も期待される**
- コーティング被覆管の開発課題の1つとして、**密着性の高い被膜の成膜方法を確立することが重要である**



コーティング被覆管の腐食挙動の例^[1]

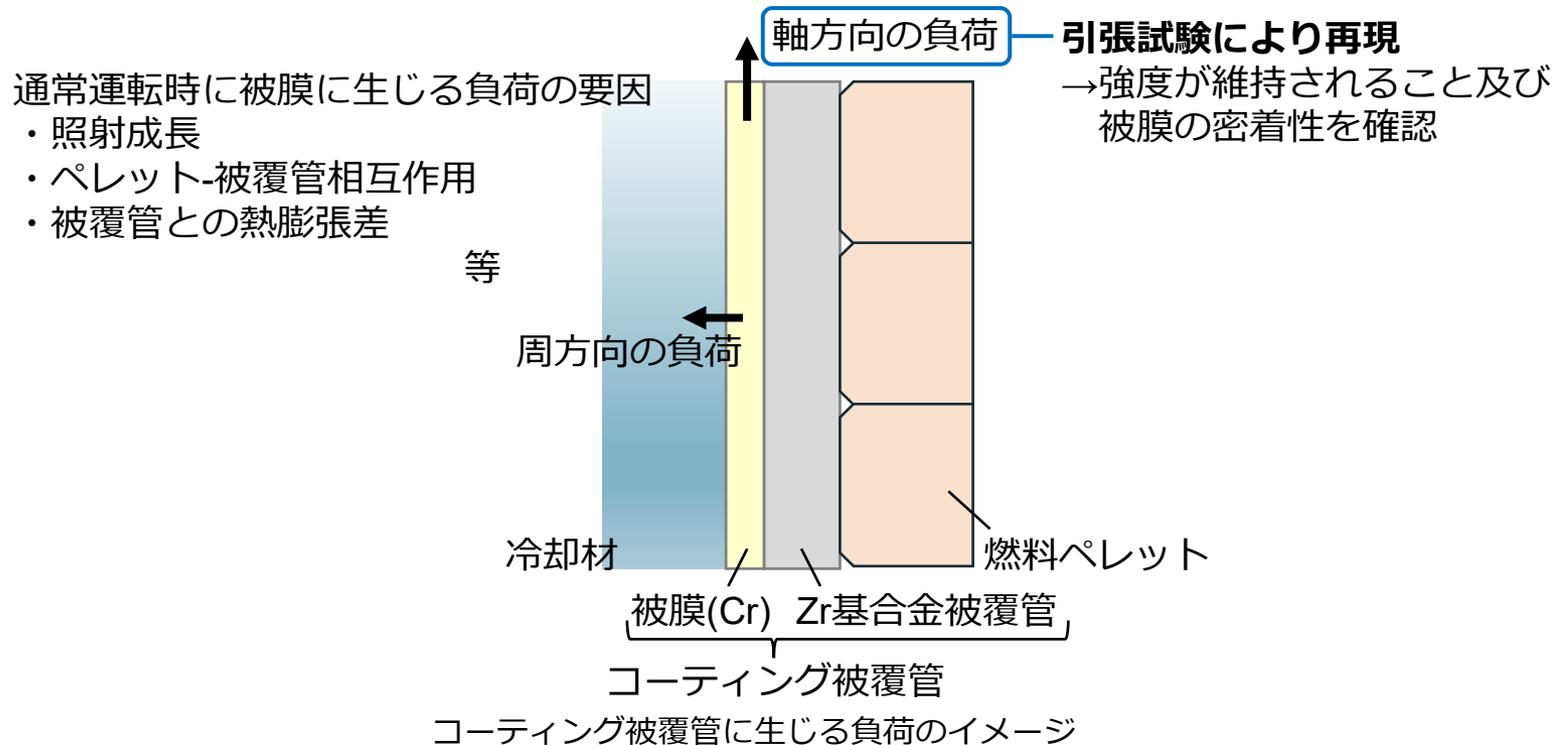


[1] N. Murakami, "Development Status of Cr Coated Zirconium Alloy Fuel Cladding as an Accident Tolerant Fuel for PWRs" 10th Annual EPRI/DOE/INL Joint Workshop on Accident Tolerant Fuel, Mar. 30- Apr. 1 (2021).

2. 目的

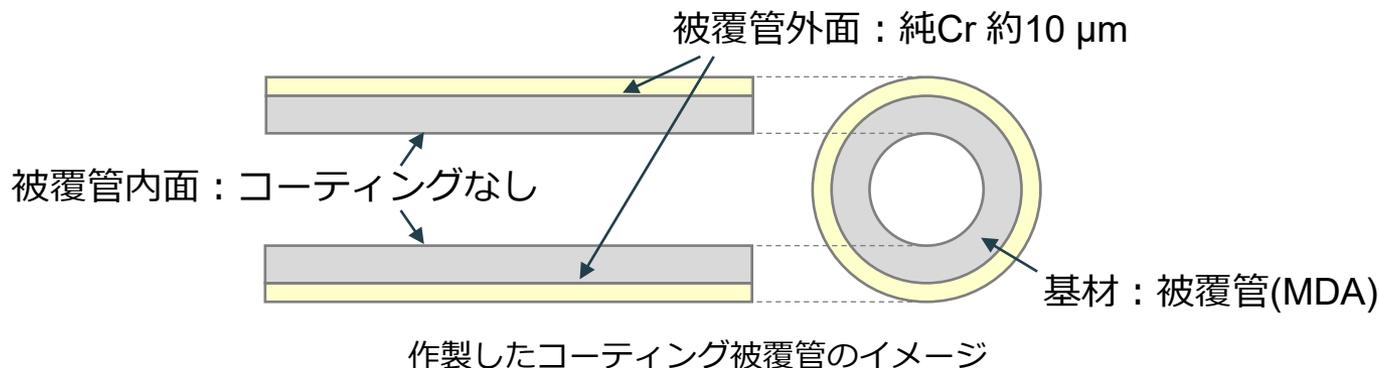
- 事故時に想定される負荷はもちろん、通常運転時に想定される負荷に対してもコーティング被覆管の健全性が保たれることを確認する
- コーティングしても被覆管の強度は維持されること、負荷に対して被膜(Cr)が剥離しないことが重要である

→ 軸方向引張試験により、コーティングによる機械特性(強度・延性)への影響及び被膜の密着性(剥がれの有無)を確認した



3. コーティング被覆管の製造及び試験

- 被覆管外表面にCr被膜を成膜したコーティング被覆管を製造した
 - 基材 : 17×17型PWR用被覆管
(MDA : 0.8Sn-0.5Nb-0.2Fe-0.1Cr、応力除去焼鈍材)
 - 製法 : スパッタリング法
 - 膜材 : Cr
 - 被膜厚さ : 約10 μm



- 製造したコーティング被覆管の性能確認試験を実施した
 - 外観観察 : 特異な外観がないことの確認
 - 金相観察 : 被膜に明確な欠陥がないことの確認
 - 軸方向引張試験(室温) : 機械特性への影響、被膜の剥がれの有無を確認

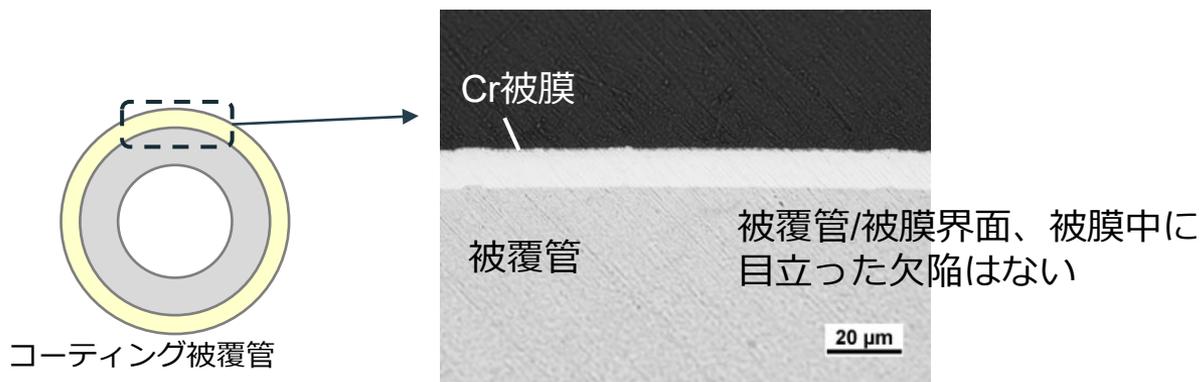
4. 試験結果 -Cr被膜の状態の確認-

- スパッタリング法で作製したCr被膜の状態を確認するため、外観観察、断面金相観察を実施した
 - 特異な外観(剥がれ、色むら)はない
 - 被覆管/被膜界面や被膜中に目立った欠陥(クラック、空孔)はない



コーティング被覆管の外観

特異な外観はない



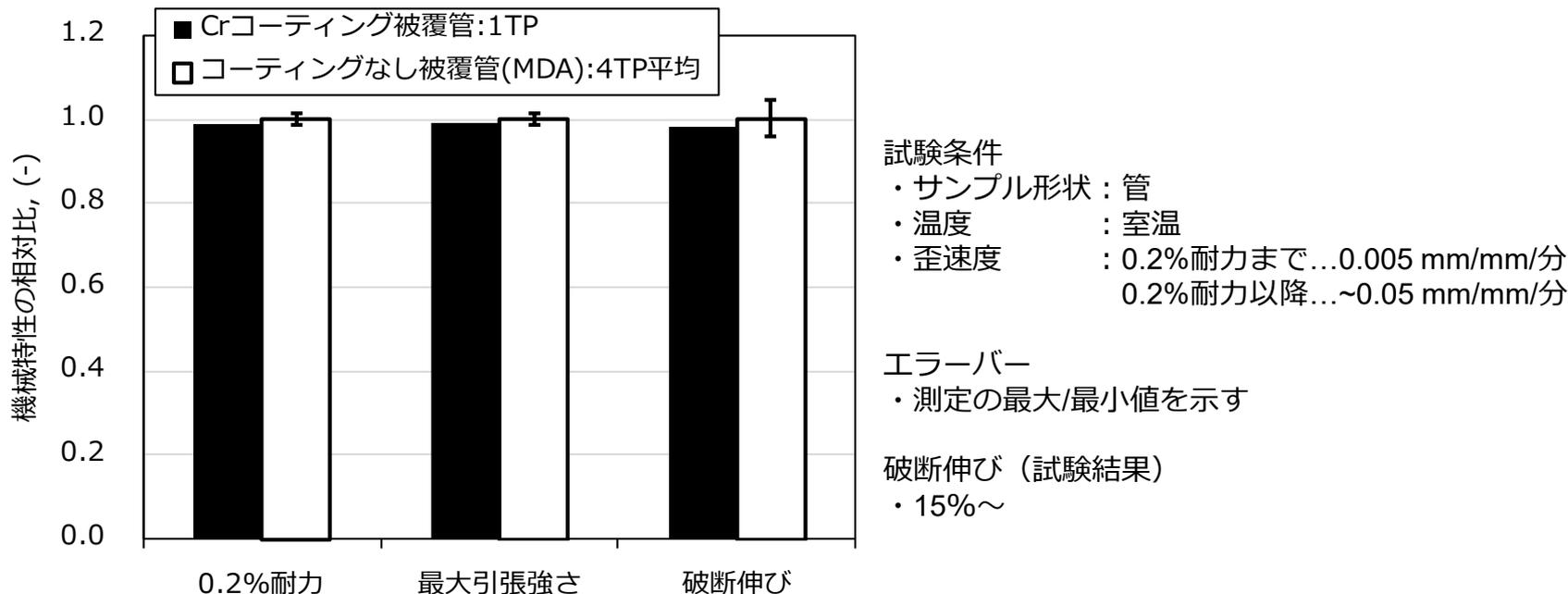
コーティング被覆管

コーティング被覆管の横断面金相観察結果

4. 試験結果 -Crコーティング被覆管の機械特性-

- 0.2%耐力、最大引張強さ、破断伸びはCrコーティング被覆管とコーティングなし被覆管(MDA)で明確な差は認められなかった
(応力-歪線図にも特異な挙動は認められなかった)

→ 現行のコーティングなし被覆管と同等の機械特性を有することを確認した



コーティング被覆管とコーティングなし被覆管(MDA)の機械特性の比較

4. 試験結果 -引張試験後試料の外観-

- コーティング被覆管の破断の様子はコーティングなし被覆管と同様であった
 - 破断部近傍に**明確な剥がれはなかった**
- Cr被膜は、被覆管との密着性があることが示唆された



コーティングなし被覆管



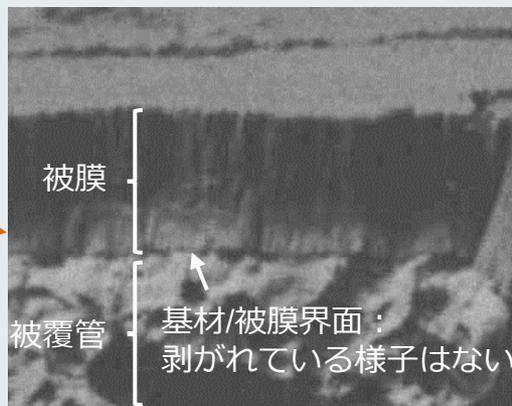
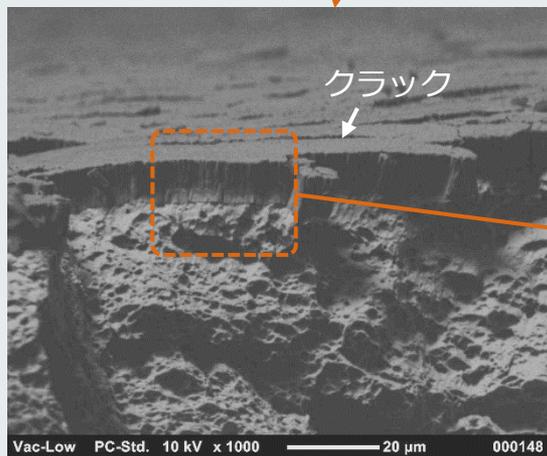
黒線：ケガキ位置

コーティング被覆管

引張試験後のコーティング被覆管の外観

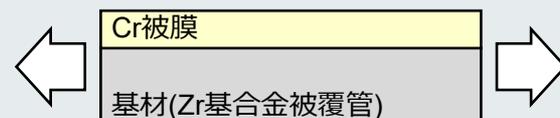
4. 試験結果 -破断部の詳細観察-

- 被膜にはクラックが発生しているが、被覆管と密着している様子が確認できた
 - 被膜と被覆管(基材)では破断面の様子が異なっている
 - 被膜 : 脆性破損的な破断面
 - 被覆管 : 延性破損的な破断面
- Cr被膜は被覆管よりも小さい変形で割れを生じたことで、機械特性に影響を及ぼさなかった可能性がある

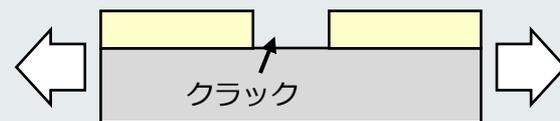


破断部のSEM観察像

被膜が割れない
→被膜の特性が機械特性にも影響する



被膜が割れる
→被膜が割れた後の機械特性は基材に依存する



コーティング被覆管で見られていると
考えられる状態

被膜が被覆管機械特性に及ぼす影響 (仮説)

5. まとめ

- スパッタリング法により製造したCrコーティング被覆管の機械特性及び変形に対する被膜の密着性を確認するため、軸方向引張試験を実施した
 - 機械特性への影響：コーティングなし被覆管と同等の強度・延性を有する
 - 被膜の密着性：Cr被膜は被覆管との密着性があることが示唆された

- 機械特性への影響、被膜の密着性について、引続き、確認を進める
 - 異方性の影響（周方向引張試験、等）
 - 温度の影響（高温での機械特性試験）
 - 照射の影響
 - 歪量と被膜の割れの関係



三菱原子燃料

MOVE THE WORLD FORWARD

**MITSUBISHI
HEAVY
INDUSTRIES
GROUP**