

非照射下における PWR 燃料被覆管へのクラッド付着に及ぼす溶液中 Ni/Fe 比および熱流束の影響

背景

我国の PWR では、プラントの高経年化および長期サイクル運転等の導入に伴い、燃料被覆管表面へのクラッド*¹ 付着ならびに 1 次冷却系内へのクラッドの移行が増大し、機器の線源強度が上昇することが懸念されている。線源強度の低減を図るには、pH 管理等の腐食生成物の発生抑制対策と併せ、生成源となる燃料被覆管表面へのクラッド付着挙動を把握し、その要因を明らかにし、水質面からの対策を施す必要がある。また、新たな水処理を実機に適用するには、被覆管の耐食性への影響も考慮する必要がある。

目的

PWR 炉心部の沸騰状況*² ならびに 1 次冷却水を模擬した非照射環境下においてクラッド付着試験を実施し、想定されるクラッド付着因子のうち、照射効果以外の因子として、溶液中 Ni/Fe 比及び熱流束に着目し、これらがクラッド付着挙動および被覆管の耐食性に及ぼす影響を調べる。

主な成果

1. クラッド付着挙動

国内 PWR 通常運転サイクルの初期及び中期の運転条件に近い 325°C の 1 次冷却系模擬水溶液中(それぞれ B を 1800 及び 1200ppm、Li を 3.4 及び 2.2ppm、溶存水素を 25ml/kgH₂O 含む)で、クラッド付着試験を行った。その結果、試験水溶液中 Ni 濃度が 10~20ppb の範囲では、クラッドの付着量は水溶液中の Ni/Fe 比及び熱流束の増加とともに増加する傾向を示した(図 1 及び 2 参照)。

2. クラッドの化学組成及び化学形態

被覆管に形成されたクラッドの化学形態を分析した結果、被覆管に付着したクラッドはニッケルフェライト(NiFe₂O₄)を主体とする酸化物であり、クラッド内の Ni 含有量は Ni/Fe 比の増加とともに増加した(図 3 参照)。なお、クラッド付着が顕著な国外プラントで検出されている酸化ニッケル(NiO)は確認されなかったが、これは水溶液中の Ni 濃度が実機に比して低かったことに起因するものと考えられる。

3. 被覆管の耐食性

ジルカロイ-4 被覆管中の水素濃度を分析した結果、水素濃度は水溶液中の Ni/Fe 比及び熱流束の増加とともに増加する傾向を示した(図 4 及び 5 参照)が、その程度は微量で被覆管の耐食性低下を示唆するレベルではなかった。

以上、実機と同一の化学形態を有するクラッド層の付着を再現するには至らなかったが、水溶液中の Ni/Fe 比及び熱流束がクラッド付着及び被覆管の耐食性に及ぼす影響を明らかにした。

今後の展開

水溶液中の Ni 濃度を高くすることにより、クラッド付着が顕著な国外プラントの形態に近い Ni リッチなクラッド層の形成を試みる。その上で、クラッド付着に及ぼす各因子の影響を定量的に評価する。

主 担 当 者 材料科学研究所 原子力材料領域 上席研究員 河村浩孝

関連報告書 「PWR 燃料被覆管クラッドの付着挙動評価(4)」 電力中央研究所報告: Q07401 (2008 年 5 月)

*1: 1 次冷却系内の腐食生成物のこと。最初、カナダの CANDU 炉で発見されたことから、Chalk River Unidentified Deposition を略して CRUD と呼ぶ。

*2: PWR の炉心部で見られる沸騰現象のひとつ。燃料表面に気泡が出現した直後に温度の低い炉水により沸騰気泡が消失するが、再度、気泡が出現・消失を繰り返す現象のこと。

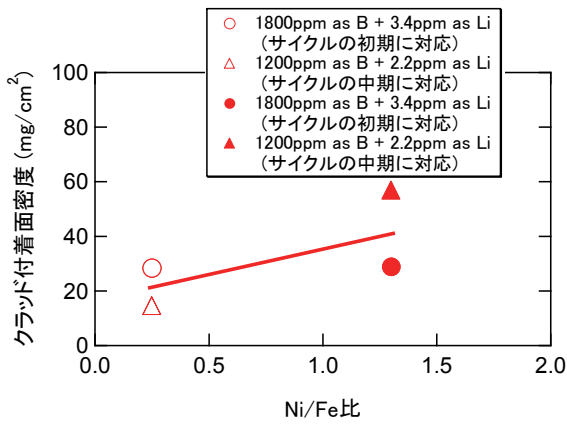


図1 クラッド層の付着面密度と溶液中の Ni/Fe 比との関係 (65~80W/cm²) との関係

この図から、クラッドは溶液中の Ni/Fe 比の増加とともに付着し易くなることが判る。

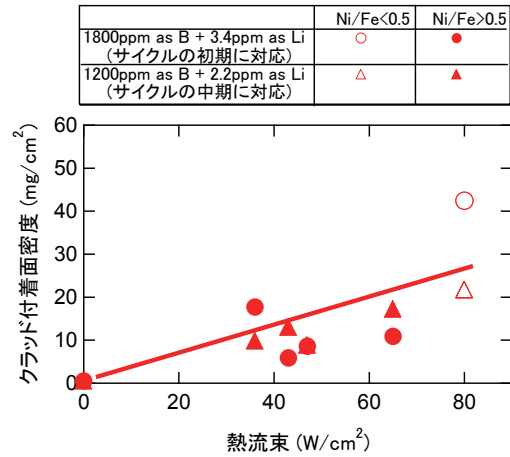


図2 クラッド層の付着面密度と熱流束との関係

この図から、クラッドは熱流束の増加とともに付着し易くなることが判る。

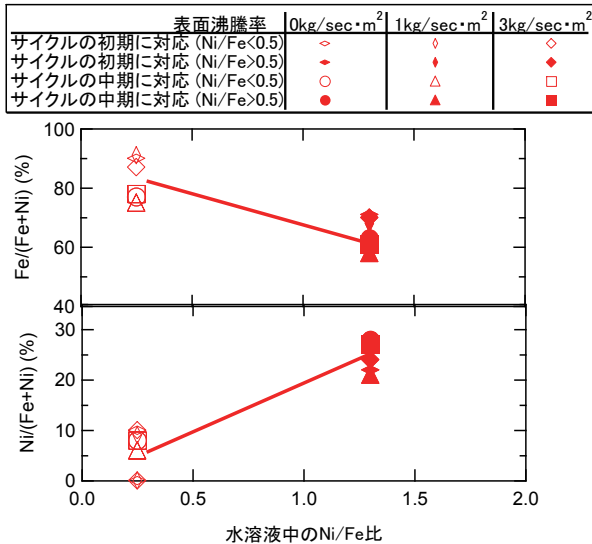


図3 クラッド層の Fe 及び Ni 含有量

この図から、クラッド層の Fe 及び Ni 含有量は水溶液中の Ni/Fe 比の増加とともに増加する傾向にあることが判る。

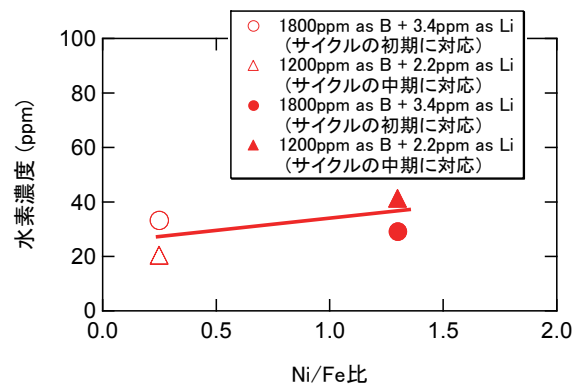


図4 ジルカロイ-4 中の水素濃度と溶液中の Ni/Fe 比との関係 (65~80W/cm²)

この図から、腐食によりジルカロイ-4 中に取り込まれる水素濃度は、溶液中の Ni/Fe 比の増加とともに増加することが判る。しかしながら、その濃度は被覆管の腐食発生臨界濃度である数百 ppm より小さいことから、被覆管の耐食性は維持される。

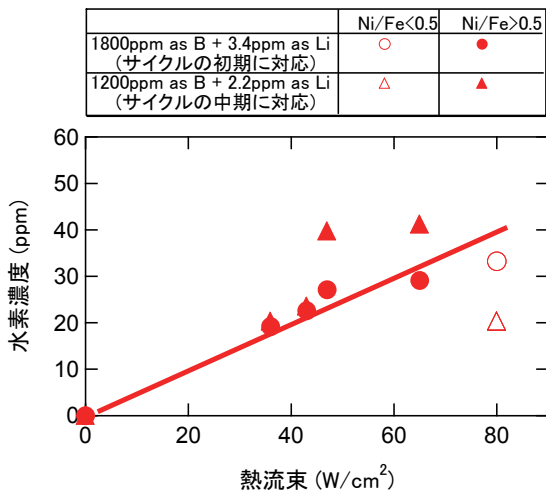


図5 ジルカロイ-4 中の水素濃度と熱流束との関係

この図から、腐食によりジルカロイ-4 中に取り込まれる水素濃度は、熱流束の増加とともに増加することが判る。しかしながら、その濃度は被覆管の腐食発生臨界濃度である数百 ppm より小さいことから、被覆管の耐食性は維持される。