

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 濃度の影響

背 景

我国の PWR では、プラントの長期サイクル運転等により、クラッド^{*1}の燃料被覆管表面への付着、ならびに 1 次冷却系内への移行が増大し、機器の線源強度が上昇することが懸念されている。このことは、国外の PWR ではすでに問題となっており、クラッド付着因子のひとつとして炉水中の Ni 濃度が考えられている。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、クラッド付着抑制対策を講じる必要がある。このためには、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。

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 濃度に着目し、クラッド付着挙動に及ぼす影響を調べる。

主な成果

国内 PWR の通常運転サイクル初期(325℃、1800ppm as B、3.4ppm as Li、25ml H₂/kg 混合水溶液中)、及び中期(325℃、1200ppm as B、2.2ppm as Li、25ml H₂/kg 混合水溶液中)の水質を模擬し、試験水溶液中の Ni/Fe 比を実機相当の 0.5 以上、平均 Ni 濃度を 10～35ppb^{*3}とした非照射下でクラッド付着試験を行い^{*4}、クラッド付着挙動に及ぼす水溶液中の Ni 濃度の影響を評価した。

1. クラッド付着挙動

クラッドは被覆管のサブクール沸騰表面で付着し易く、付着量は水溶液中の平均 Ni 濃度の増加とともに増加した(図 1 参照)。この結果は、国外 PWR の付着挙動と一致した。

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は、粒状のニッケルフェライト(NiFe₂O₄)と酸化ニッケル(NiO)とで構成される酸化物であり(図 2 参照)、通常運転サイクルの初期状態を模擬した環境下ではクラッド付着が顕著であった国外プラントと同様の針状の酸化物も観察された(図 3 参照)。クラッド層内の Ni と B の含有量は水溶液中の Ni 濃度の増加とともに増加した(図 4 参照)。

以上、試験水溶液中の平均 Ni 濃度を高めたことにより、クラッド付着が顕著であった国外プラントと同様の化学形態を有するクラッド層の付着を再現するとともに、水溶液中の平均 Ni 濃度がクラッド付着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(5)」電力中央研究所報告:Q08404 (2009 年)

*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。

*3: ニッケルイオンの形態で注入した。

*4: 本研究では、前フェーズ研究で得られた知見を基に、試験時間を 1000～2000 時間とした。

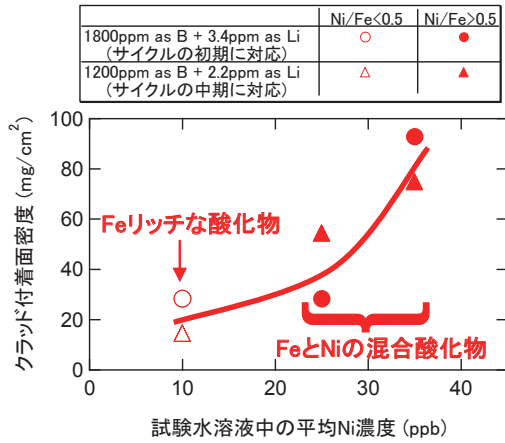


図 1. クラッド層の付着面密度と試験水溶液中の平均 Ni 濃度との関係

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

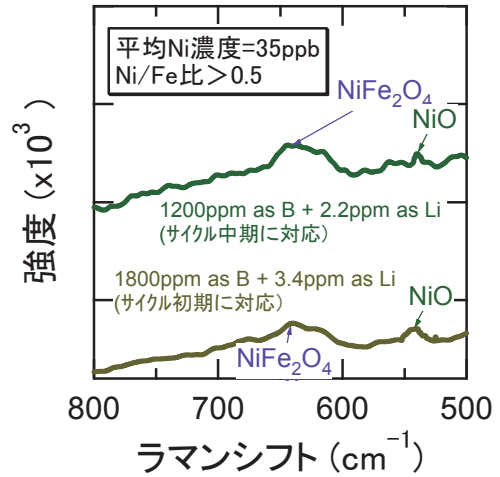


図 2. クラッド層の化学形態

この図から、クラッド層は NiFe₂O₄ と NiO で構成されていることが判る。

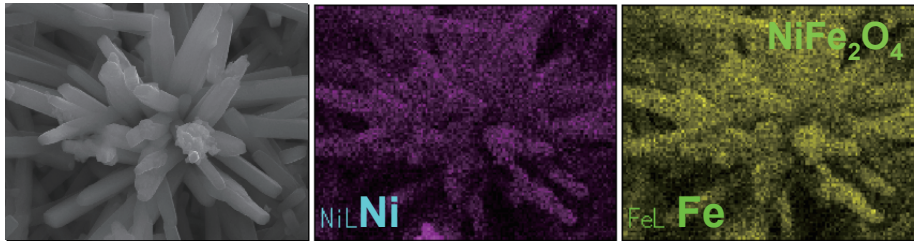


図 3. クラッド層表面の二次電子像および Ni と Fe の濃度マップ

この図から、クラッド付着が顕著であった国外プラントと同様の針状の酸化物が観察された。

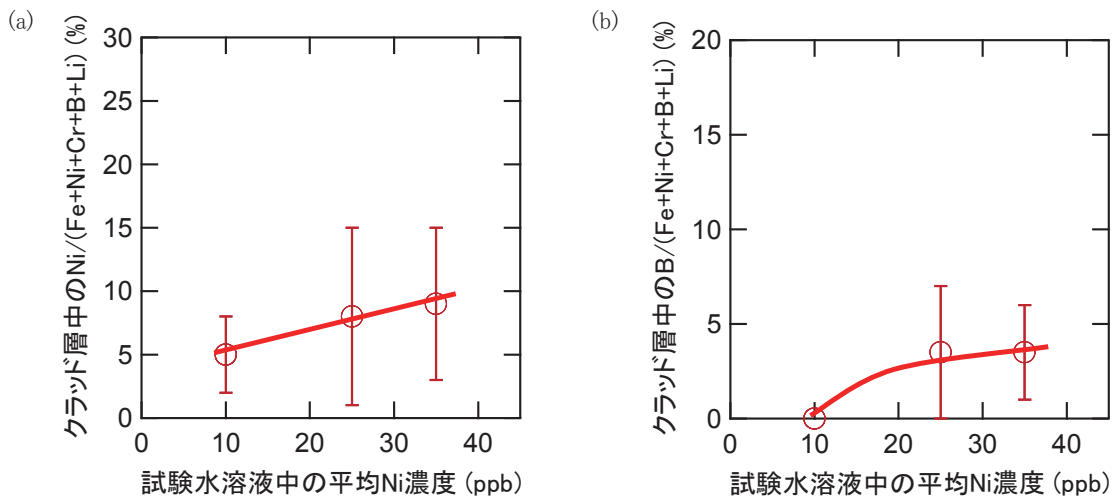


図 4. クラッド層内の Ni と B 含有量と Ni 濃度との関係(サイクル初期および中期の水質を模擬)

この図から、クラッド層内の Ni 及び B の含有量は水溶液中の Ni 濃度の増加とともに増加する傾向にあることが判る。

1. 軽水炉発電

2. バックエンド

3. 放射線安全・
低線量放射線影響

4. 金属燃料・乾式
リサイクル技術

5. 新型炉

6. 施設保全(耐震)・
立地