

1. 軽水炉発電

PWR 燃料被覆管への鉄系クラッドの付着挙動 —クラッド付着に及ぼす表面沸騰率および硼素濃度の影響—

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^{注1)}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。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。

目 的

PWR 炉心部の沸騰状況^{注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、これまで困難とされてきたラボ内でのクラッド付着を可能とする条件を見出す。また、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、被覆管表面の沸騰率、溶液中の硼素(B)濃度および pH に着目し、これらがクラッド付着挙動に及ぼす影響を調べる。

主な成果

1. クラッド付着条件の検討

国内 PWR 通常運転サイクルの中期の運転条件に近い 325°C の 1 次冷却系模擬水溶液中(B を 1200ppm、リチウム(Li) を 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、実機の炉心部を模擬したサブクール沸騰^{注2)}が付着加速の必要条件であることが判った。

2. クラッド付着挙動

上記の結果を受け、国内 PWR 通常運転サイクルの初期、末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 および 350ppm、Li を 3.4 および 2.2ppm、溶存水素を 25ml/kgH₂O 含む)で、かつ炉心部の沸騰を模擬した非照射環境下で、クラッド付着試験を行った。その結果、クラッドは被覆管のサブクール沸騰表面で付着し易く、B 濃度が低く pH が高いと付着量は減少する傾向にあった(図 1 および 2 参照)。この結果は、実機の付着挙動と一致した。

3. クラッドの化学組成および化学形態

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、クラッドはニッケルフェライト(NiFe₂O₄)を含む鉄(Fe)リッチな酸化物であり(図 3 および 4 参照)、Ni は加熱部に形成されたクラッド内に検出され、その含有量は水溶液中の B 濃度の増加とともに増加した(図 3 参照)。実機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(図 4 参照)、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。なお、化学形態に及ぼす表面沸騰率と試験水溶液中の B 濃度の影響は明確でなかった(図 4 参照)。

以上、実機と同一の化学形態を有するクラッドの付着を再現するには至らなかったが、沸騰率、水溶液中の B 濃度や pH 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

被覆管材料と配管材料の接液面積比を実機に合わせた「クラッド発生・移行・蓄積挙動評価試験設備」を用い、水溶液中の Ni 濃度を調整することにより Ni リッチなクラッド層を形成し、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 機能・機構発現領域 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(3)」 電力中央研究所報告: Q06401 (2007 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。

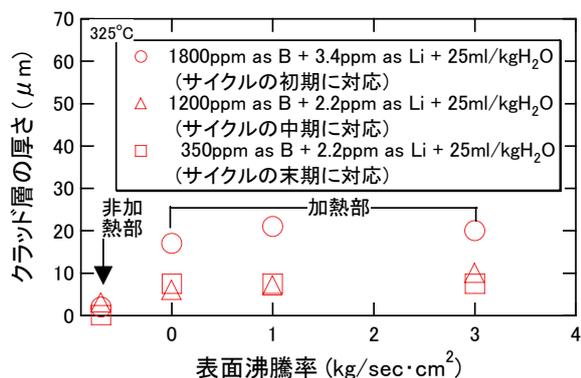


図1 クラッド層の付着量と表面沸騰率との関係

この図から、サブクール沸騰場でクラッドは付着し易く、表面沸騰率の増加とともにクラッドは厚くなることが判る。

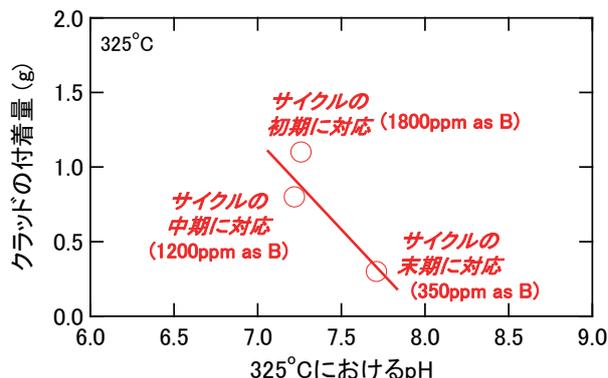


図2 クラッド層の付着量とpHとの関係

この図から、クラッドの付着量は pH の増加とともに減少することが判る。

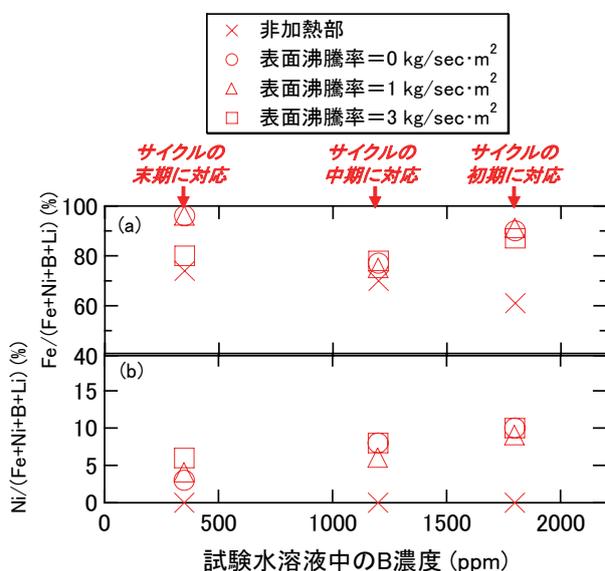


図3 クラッド層の化学組成と表面沸騰率および水溶液中 B 濃度との関係

この図から、Ni は加熱部に形成されたクラッド内に検出され、その含有量は水溶液中の B 濃度の増加とともに増加する傾向にあることが判る。

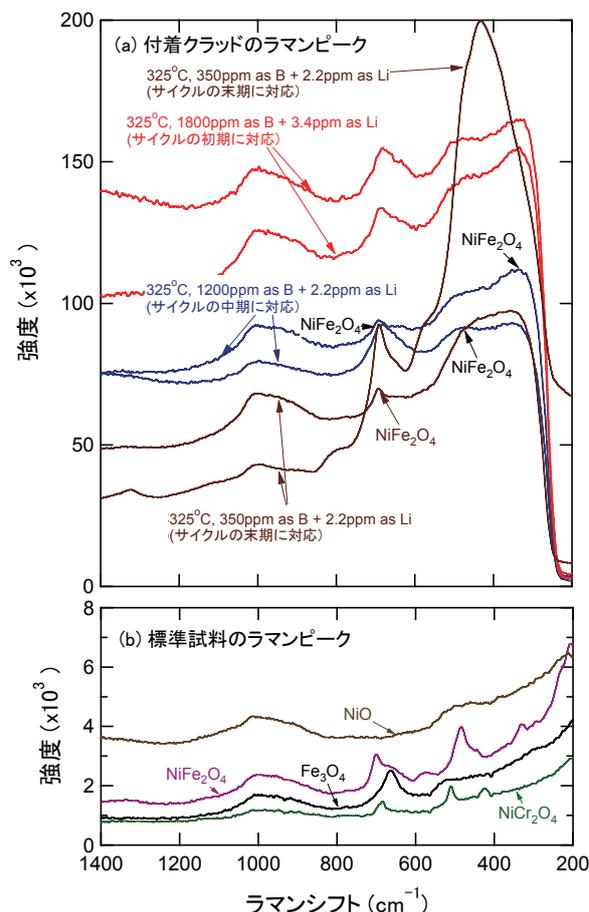


図4 クラッド層の化学形態と水質との関係

この図から、表面沸騰率や試験水溶液中の B 濃度に依らず、クラッドの化学形態は、主にニッケルフェライト(NiFe₂O₄)であることが判る。