

非照射ジルカロイ-4 被覆管の LOCA 時破断限界の不確かさ評価

Uncertainty Evaluation for Fracture Boundary of Non-Irradiated Zircaloy-4 Cladding Tube
under LOCA Conditions

*成川 隆文^{1,2}, 山口 彰¹, 張 承賢¹, 天谷 政樹²

¹ 東京大学, ² 原子力機構

非照射ジルカロイ-4 被覆管に対する冷却材喪失事故模擬急冷破断試験により得られた被覆管の破断及び非破断に関する 2 値データに対し一般化線形モデルを適用し、ベイズ推定により被覆管急冷破断確率を評価した。急冷破断確率 5% の 95% 信頼水準に相当する等価被覆酸化量は 20% であることを明らかにした。

キーワード : LOCA, ジルカロイ-4, 破断限界, 不確かさ評価, ベイズ推定, 情報量規準

1. はじめに

軽水炉の冷却材喪失事故 (LOCA) 時に燃料被覆管は高温水蒸気中において酸化する。酸化による脆化が著しい場合には、非常用炉心冷却系の作動による急冷時に被覆管が破断し、炉心の冷却性を阻害する恐れがある。従来、LOCA 時の被覆管の急冷破断限界は破断のランダム性やサンプルサイズに由来する不確かさを包絡するよう保守的な条件で実施した実験結果に基づき評価されてきたが、その不確かさについては十分に明らかとなっていない。本研究では、非照射ジルカロイ-4 被覆管の LOCA 模擬急冷破断試験データに対して統計解析を実施し、破断限界の不確かさを確率論に基づき定量化し、破断限界を評価した。

2. 実験及び統計解析

長さ 190 mm の非照射ジルカロイ-4 被覆管にアルミナペレットを装填した後、室温にて 5.0 MPa のアルゴンガスを封入し試験燃料棒とした。この試験燃料棒を水蒸気中において赤外炉を用いて加熱し、1473 K で所定の時間、等温酸化させた後に徐冷し、被覆管温度が 973 K に達した時点で下端から冠水し急冷した。実機の燃料集合体では燃料棒の軸方向収縮が拘束される可能性があるため、急冷時には 540 N を上限とした軸方向拘束力を被覆管に加えた。この実験で得られた被覆管の破断及び非破断に関する 2 値データに対して 3 種類の一般化線形モデル (probit, logit, log-probit) を適用し、Baker-Just 酸化速度式^[1]より求めた等価被覆酸化量 (ECR) を説明変数とした急冷破断確率評価モデルを構築した。一般化線形モデルの回帰係数はベイズ推定により求めた。

3. 結果及び考察

構築した 3 種類のモデルについて情報量規準である WAIC^[2]及び WBIC^[3]を用いたモデル選択を実施した結果、予測損失と真のモデルの予測精度の両観点から log-probit モデルが急冷破断確率の評価に最も適していた。図 1 に log-probit モデルにより得られた非照射ジルカロイ-4 被覆管の急冷破断確率と ECR の関係を示す。確率論に基づき不確かさを考慮し破断限界を評価する際には、破断限界に相当する確率値と母集団に対する実験データの代表性を考慮することが重要であり、本研究では過去の知見^[4]を踏まえて急冷破断確率 5% の 95% 信頼水準を破断限界とした。図 1 より、不確かさを考慮した破断限界に相当する ECR は 20% であることが分かった。

参考文献

[1] ANL-6548. [2] Watanabe S. Neur. Net. 2010; 23: 20-34. [3] Watanabe S. JMLR. 2013; 14: 867-897. [4] AESJ-SC-S001: 2008.

*Takafumi Narukawa^{1,2}, Akira Yamaguchi¹, Sunghyon Jang¹, and Masaki Amaya²

¹UTokyo, ²JAEA

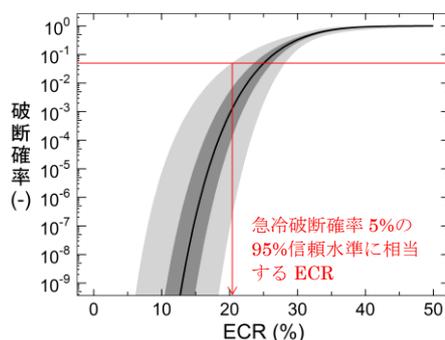


図 1 log-probit モデルにより得られた非照射ジルカロイ-4 被覆管の急冷破断確率と ECR の関係 (実線、濃い灰帯及び薄い灰帯はそれぞれベイズ信頼区間の中央値、50%区間及び 95%区間)