

金属被覆ジルコニウム合金型事故耐性燃料の開発

(1) 研究の概要と計画

Development of Metal-Coated Zircaloy for Accident Tolerant Fuel

(1) Summary and Plan of the Project

*阿部 弘亨¹、叶野 翔¹、楊 会龍¹、高鍋 和広¹、中山 哲¹、
陳 迎²、山口 正剛³、篠原 靖周⁴、小方 宏一⁴

¹ 東京大学、² 東北大学、³ 日本原子力研究開発機構、⁴ ニュークリア・デベロップメント

原子力システム研究開発事業（令和 2~5 年度）として採用された研究プロジェクトの全体概要と計画について報告する。事故耐性燃料として有望視される金属皮膜付きジルカロイ合金を開発する。材料開発、耐食性、耐水素特性、照射特性について実験と理論計算を融合した研究体系ならびに令和 2 年度成果を報告する。

キーワード：事故耐性燃料、Cr コートジルカロイ合金

1. 背景と目的

福島第一原子力発電所事故では、ジルコニウム合金で構成される燃料被覆管の酸化反応熱により温度が上昇し、更なる酸化を引き起こすというサーマルフィードバックがかかり炉心熔融に至った。これを抑制する事故耐性燃料が近年注目されており、複数の燃料概念が提案されている。本研究では、短期的に最も実現性が高いとされる金属被覆ジルカロイ合金に着目し、その開発指針の構築と最適な材料の開発を目的とする。

2. 成果

金属被覆ジルカロイ合金については、基材に比べて金属被覆に関する知見は皆無に近い。そこで、特に金属被覆と被覆／基材界面における現象を対象として、科学的合理性および説明性の高い材料開発指針を構築するに十分な研究体制を構築し、実用化に向けた知見を整えるため、材料設計、製造法開発、機械強度評価、腐食特性評価、照射特性評価といった燃料被覆管開発に必要な十分な知見の習得を目指した研究チームを作り、この中で実験と計算による複合的研究を展開した。

【材料設計と機械強度】 Cr とジルカロイ (Zry) の拡散接合、Cr 基希薄合金の探索のための平行状態図等のデータベースを構築した。機械試験評価に必要な AE 解析システム及び長作動顕微鏡システムにより変形に伴う AE 信号及び画像の変化の取得に成功した。また、これまで開発を続けてきた改良型中子拡管 (A-EDC) 法を高温試験法へ発展させた。

【腐食と水素影響】 腐食反応に伴う水素発生を触媒化学的、材料科学的、腐食工学的に解明することを目指し、実験的研究と第一原理計算を展開した。Cr と酸化 Cr の表面構造の決定と電子状態解析から水分子、酸素原子、水素分子の吸着構造と吸着エネルギーを求め、また結晶中において水素原子が占める格子間サイトを効率よく見つけるコードを開発した。

【照射影響】 照射効果、特に水素化に対する照射欠陥の影響を確認するために、東大 HIT のタンデトロン加速器ビームラインに加えて水素イオン加速器を導入し二重ビーム照射実験が可能となるようインフラの整備を実行中である。また、Cr コート Zry4 試料に対し、室温にて 320keV He イオン照射し、Cr/Zry4 界面部の超微小硬さ試験ならびに硬さ試験後の SEM-EDS 観察を実施した。

謝辞 本研究は文部科学省原子力システム研究開発事業 JPMXD02 20354500 の助成を受けたものです。

*Hiroaki Abe¹, Sho Kano¹, Huilong Yang¹, Kazuhiro Takanabe¹, Akira Nakayama¹, Ying Chen², Masatake Yamaguchi³, Yasunari Shinohara⁴, and Koichi Ogata⁴

¹The University of Tokyo, ²Tohoku University, ³JAEA, ⁴NDC