

金属燃料高速炉の炉心損傷事故起因過程解析コードの開発

(2) エクストルージョンおよび被覆管浸食モデルの詳細化

Development of transient behavior analysis code for metal fuel fast reactor during initiating phase of core disruptive accident

(2) Implementation of advanced analysis models on fuel extrusion and cladding corrosion

*太田 宏一¹, 尾形 孝成¹, 楠見 紘司¹, 山野 秀将², 二神 敏², 島田 貞衣³, 山田 由美³

¹電中研, ²JAEA, ³MFBR

金属燃料炉心損傷解析コード CANIS の燃料破損までの解析モデルの詳細化を図った。燃料合金の溶融によって液相割合が 50%相当に達した時点でピン内移動（エクストルージョン）が開始されるとし、また被覆管浸食における径方向位置による温度変化を考慮することにより、TREAT 炉の過出力試験における反応度低下や試験後の被覆管浸食量が概ね再現された。

キーワード：金属燃料、高速炉、炉心安全、起因過程、エクストルージョン

1. 緒言：金属燃料炉心の炉心損傷事故（CDA）評価は、起因過程における即発臨界超過や事故後の再臨界を回避する観点から重要であり、溶融燃料のピン内移動（エクストルージョン）や燃料ピンの破損にともなう燃料の炉外排出による負の反応度投入を適切に反映した事象進展を解析する必要がある。電中研では国内唯一の金属燃料高速炉用 CDA 起因過程解析コード CANIS の開発を進めている。これまでに行われた米国アイダホ国立研究所の過渡試験炉（TREAT）における過出力試験解析の結果、過渡試験後の燃料溶融領域は概ね再現される一方で、被覆管浸食量の過大評価やエクストルージョンによる負の反応度の早期投入など、非安全側の評価結果となる場合があった^[1]。

2. 試験解析：TREAT で行われた過出力型試験のうち、D9 被覆の照射済 U-19Pu-10Zr [wt%] 燃料ピンを対象に行われた M6 試験（燃焼度=1.9 at%、5.3at.%）および M7 試験（燃焼度=9.8at.%）^[2]の燃料破損に至る直前までを対象に解析を実施し、被覆管浸食量やエクストルージョン反応度の比較を行った。

3. モデルの詳細化：これまでの試験解析の結果^[1]に基づき、CANIS 解析モデルに以下の改良を図った。

- (1) 被覆管浸食にともなう固液界面位置の温度変化を図 1 に示すように被覆管内外面の初期位置温度の線形補完によって評価する。
- (2) 燃料合金の溶融が進み、液相割合がある値に達した時点で溶融燃料が移動を開始するとして、エクストルージョンが生じるタイミングを設定する。

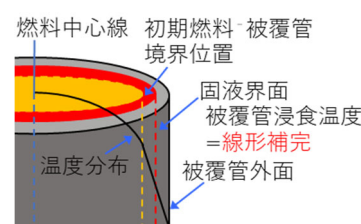
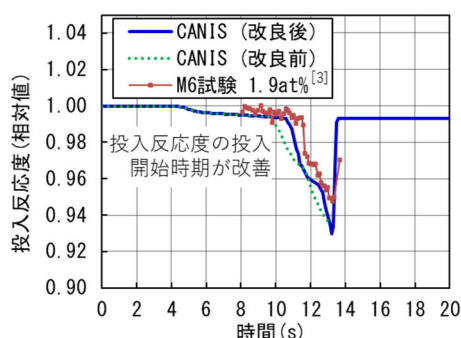


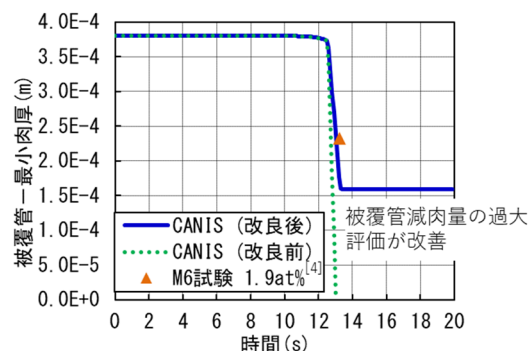
図 1 被覆管浸食温度の評価

4. 結果：上述の TREAT M6 および M7 試験を対象に、コード改良後の解析結果を改良前の結果^[1]および試験結果^[3,4]と比較した。(1) 被覆管浸食温度評価の詳細化によって、浸食量の過大評価が改善された（図 2-(1)）。また、(2) 溶融燃料の液相割合が 50%相当に達した時点でエクストルージョンが生じると仮定することで、反応度投入開始時期の再現性が向上した（図 2-(2)）。

5. 結言：金属燃料炉心損傷解析コード CANIS のエクストルージョンおよび被覆管浸食モデルの詳細化によって、TREAT 炉の過出力試験における燃料破損までの挙動が概ね再現された。引き続き、燃料ピン破損にともなう溶融燃料の冷却材流路へのピン外放出挙動の解析結果について検証を進める。



(1) 投入反応度解析結果



(2) 被覆管最大浸食量

図 2 U-19Pu-10Zr 燃料ピンの過出力試験解析結果と試験結果の比較

[1] 太田他, 日本原子力学会 2021 年秋の大会 3K09, [2] T.H.Bauer, et al., Nucl. Tech., #92, p325 (1990), [3] E.A.Rhodes, et al., CONF-900804-5(1990), [4] A.Karahan, et al., IAEA-CN-245-57, Proc. of FR17 (2017).

本成果は、経済産業省資源エネルギー庁の委託事業「令和 3 年度高速炉に係る共通基盤のための技術開発」によって得られたものである。

*Hirokazu Ohta¹, Takanari Ogata¹, Kouji Kusumi¹, Hidemasa Yamano², Satoshi Futagami², Sadae Shimada³ and Yumi Yamada³

¹CRIEPI, ²JAEA, ³MFBR