



東京大学
THE UNIVERSITY OF TOKYO

シビアアクシデントにおける炉心構造物移行の 高精度数値シミュレーション

研究代表者：岡本孝司(国立大学法人東京大学)

1. 課題目標

適切にシビアアクシデントマネジメントを実施するために、様々な条件下での炉心損傷を模擬できるようにすることは極めて重要である。現状の数値シミュレーション技術は、熱水力学的にシビアアクシデント事象全体を対象とするものが主であり、例えば、制御棒の共晶反応のような素課程は、時空間的に非線形性が高く、流路閉塞や臨界など、事象進展に強い影響を与えるにも関わらず、単純なモデル化にとどまっている。そこで、本事業では、**制御棒の溶融過程および再配置を模擬するための数値解析技術を開発する**。本研究成果は、廃炉措置の迅速な対応に役立てられる。

2. 研究実施体制

本事業は、東京大学（研究代表者：岡本孝司）が、Imperial College London（研究代表者：C.C. Pain教授）が協力して、共晶反応可視化実験および溶融シミュレーションに関する研究を行い、制御棒の溶融過程および再配置を模擬するための数値解析技術を開発する。本研究は、表1に示すように、3カ年で東京大学とImperial College Londonと協力しながら行う計画である。

表1 本事業のスケジュール

年度	平成26年度	平成27年度	平成28年度
フェーズ		要素研究フェーズ (特性解明、要素開発、理論検討)	検証フェーズ (制御効果、適用性評価)
(1) 調査研究及び検証実験			
①調査と予備実験	予備検討	実験実施(数値解析条件への反映を確認)	
②実験実施とフィードバック			実験実施
③実験データによる評価			
(2) 熱流動シミュレーション			
①基礎技術開発		数値解析・実験意見交換	
②検証 (Verification)	シンプルな体系における数値解析の実行	東大とICの同一条件での数値解析の実行と結果比較	数値解析・実験意見交換
③妥当性確認 (Validation)			東大とICの数値解析と実験の比較
(3) 研究推進			
①まとめ	まとめ・評価	まとめ・評価	まとめ・評価
②まとめ(2年目)			
③まとめ(3年目)			
☆ICとの打合せ	☆	☆	☆

3. 研究内容

本事業では、共晶反応可視化実験および溶融シミュレーションに関する研究を行ったので、これまでの研究成果をそれぞれ示す。

(1) 共晶反応可視化実験

BWR制御棒材料を対象とした超高温環境下の共晶反応可視化手法(図1)を開発した。非常に高い共晶点温度を有するステンレス鋼とボロンカーバイド(B_4C)の溶融進展と溶融物落下挙動を可視化する。試験片は、ステンレス鋼製フレームに粉末 B_4C を充填したものであり、タングステンヒータによって加熱できる。また、試験片の左右から輻射伝熱で加熱するため、試験片を可視化することができる。本試験装置を用いた観察により、共晶反応を鮮明に捉えることができた(図2)。溶融物が B_4C 領域へ侵入する様子もリアルタイムに観察することができた。

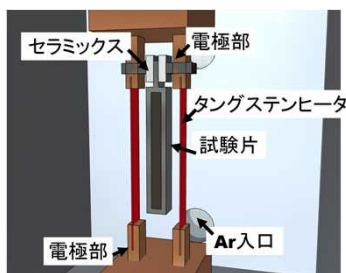


図1 共晶反応可視化装置

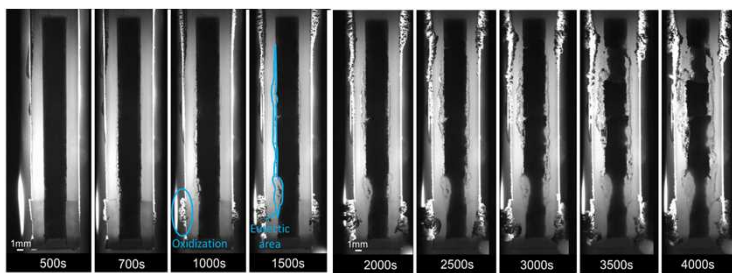


図2 共晶反応可視化実験のスナップショット

(2) 熱流動シミュレーション

ステンレス鋼と B_4C の共晶反応を伴う溶融シミュレーションを実行することが最終目的である。基礎的な検証を行うため、2種類の異なる物性を用いた溶融シミュレーションを実行した。東京大学ではMPS法を使用し、Imperial College LondonではAMR-FEMを使用して、両者の数値解析結果を比較した。

図3にMPS法の数値シミュレーション結果を示す。高温の液体金属が金属容器を溶かして鉛直方向に空隙を生じさせ、そこから高温の液体金属が流出した。金属容器は融点に達していない部位もあったため、固相と液相が混合した状態になった。このように、溶融による固体の界面の大変形がシミュレーションによって模擬できることを確認した。実際の物性値(共晶反応含む)を導入すれば、実際の現象を模擬できると考えられる。

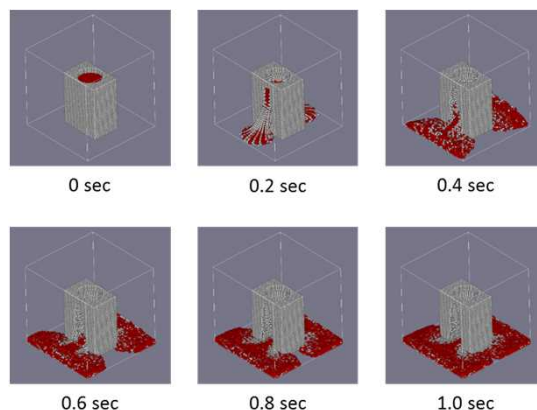


図3 溶融シミュレーション(時間変化)