

7-3 シミュレーションで評価する高速炉 SG の安全性 - SG 伝熱管破損時のマルチフィジックス解析評価システム -

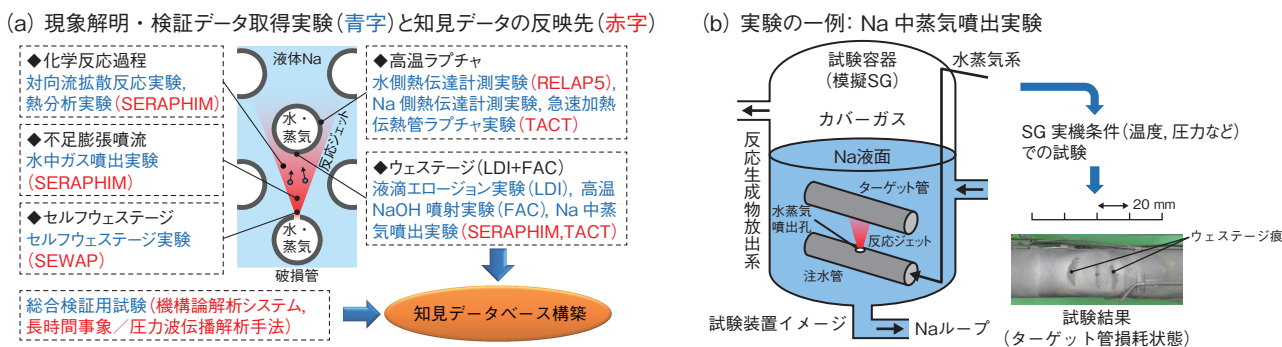
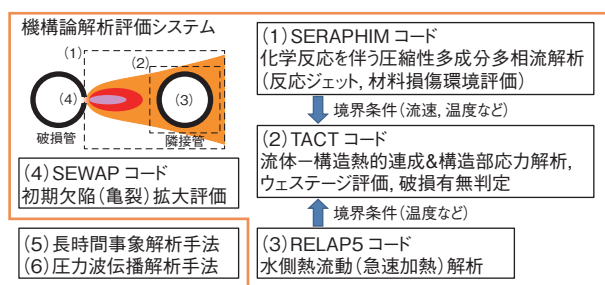


図 7-6 SG 伝熱管破損時に生じる現象とその説明実験及び実験結果例

SG 伝熱管破損時には様々な現象が複合して発生します (マルチフィジックス)。それらの説明実験や SG 実機条件での Na 中蒸気噴出実験を実施し、得られた知見を解析手法の整備や検証に役立てました。

(c) 解析評価システム概要



(d) 解析の一例: SERAPHIM による Na 中蒸気噴出実験の解析

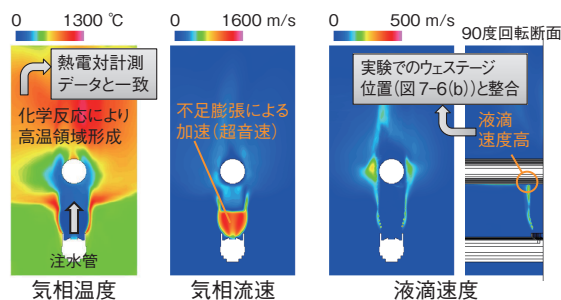


図 7-7 マルチフィジックス解析評価システムと解析結果例

SG 伝熱管破損時の現象を評価するため、複数の数値解析コードを組み合わせた解析評価システムを開発し妥当性を確認しました。例えば SERAPHIM コードにより Na 中蒸気噴出実験を解析し、温度分布やウエステージ発生位置が実験結果と整合することを確認しました。

ナトリウム (Na) 冷却高速炉の蒸気発生器 (SG) 内で伝熱管が破損すると、Na 中に高压の水・蒸気が漏えいして高速高温の反応ジェットを形成します (図 7-6)。SG は計器により漏えいを検出し Na-水反応を停止するよう設計されますが、それまでの間に反応ジェットが隣接する伝熱管に当たり、管壁の損耗 (ウエステージ) や内圧破裂 (高温ラプチャ) が発生して破損伝播 (周囲の伝熱管が次々と破損) に至る可能性を評価することが重要となっています。実証試験を積み上げる旧来の評価方法は汎用性に欠け、経済性向上と安全性確保の両立を目指す設計最適化には不向きです。そこで本研究では様々な運転条件や設計オプションに対応可能な解析評価システムの構築に取り組みました。

現象説明とコード検証用データ取得のため、図 7-6 に示す体系的な実験を実施しました。これにより、支配的な反応素過程の同定、高温ラプチャ評価に関連する Na 側/水側の熱伝達データや急速加熱時内圧破裂データの取得、液滴衝突エロージョンと流動加速型コロージョンの両者を考慮した局所ウエステージ相関式の導出等に成功しました。実機条件での現象説明としては図 7-6 に示す Na 中蒸気噴出実験を実施し、ウエステージ環境やター

ゲット管損耗状況に関するデータを取得しました。また、実験結果の不確かさを定量評価し、それを含めた知見データベースを構築しました。実験結果を活用し、図 7-7 に示すように (1) 反応ジェット (2) 伝熱管 (3) 伝熱管内の 3 領域に対して可能な限り機構論に基づく解析手法を整備し、これらを組み合わせた解析評価システムを構築しました。(1)についてはウエステージ環境評価モデルを組み込んだ SERAPHIM コードを整備しました。SERAPHIM で Na 中蒸気噴出実験を解析し、温度分布やウエステージ発生位置が実験結果と整合することを確認しました (図 7-7)。その他、(2) 流体から伝熱管への熱移行と構造部応力評価及び破損判定モデルを導入した TACT コード (3) 急速加熱条件に適用できるよう伝熱相関式を修正した RELAP5 コード等を構築し、実験解析からシステムの妥当性を確認しました。構築した解析評価システムは安全裕度適正化を図った SG の実現に寄与することができます。

本研究は、文部科学省からの受託研究「蒸気発生器伝熱管破損伝播に係るマルチフィジックス評価システムの開発」の成果です。

●参考文献

内堀昭寛ほか, 高速炉蒸気発生器の伝熱管破損時事象に対する解析評価手法の開発, 日本機械学会論文集, B 編, vol.79, no.808, 2013, p.2635-2639.