

ROSAプロジェクトを通じた熱水力安全研究



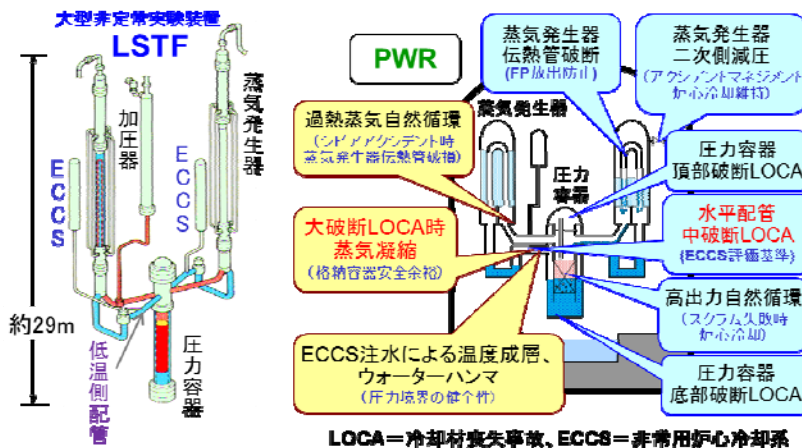
日本原子力研究開発機構 安全研究センター 熱水力安全研究グループ

OECD/NEA ROSAプロジェクト

熱水力最適評価(BE)手法の性能検討・向上

我が国で初めてOECD/NEAプロジェクトを主催

- LSTFの事故模擬実験による国際共同研究
- 15カ国20機関(規制、規制支援機関、産業界)
- H17年4月～H24年9月(一期:4年、二期:3年半)
- 9課題19回のLSTF実験(一期:12回、二期:7回)
- 多様な事故現象を実規模で模擬・再現
- 規制上の課題、現象のスケーリングを考慮
- 現象解明と熱水力安全解析コードの検証・開発



LOCA=冷却材喪失事故、ECCS=非常用炉心冷却系

個別効果実験の例

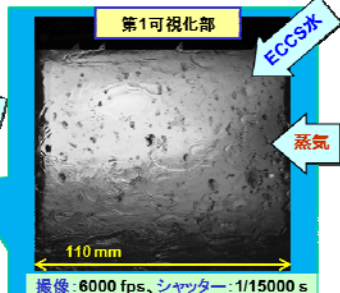
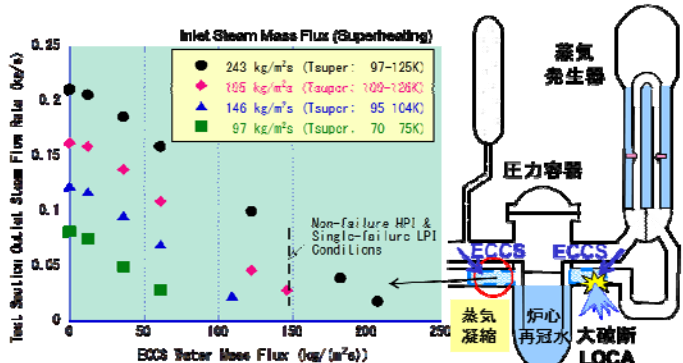
大破断LOCA時の低温側配管内蒸気凝縮

背景・実験目的

- 安全解析でECCS水への蒸気凝縮を無視し、格納容器圧力を保守的に評価 => BE解析で安全余裕を正確に評価

実験内容

- 低温側配管内ECCS水上蒸気凝縮を大気圧近傍で模擬
- 実機LOCA解析結果に基づいて境界条件を設定
- 蒸気流や温度分布などの流路に沿った変化を計測
- 流動(液滴挙動)を高速度ビデオ可視観察



テストセクション(外観)

実験結果

- 蒸気凝縮量はECCS注水流量に比例
- 蒸気凝縮により、注水点から短距離でECCS水が飽和
- 環状噴霧流中の液滴挙動を画像データより分析
- 液滴径の分布はガンマ分布により概ね近似可能

システム効果実験の例

低温側配管の中破断LOCA

背景・実験目的

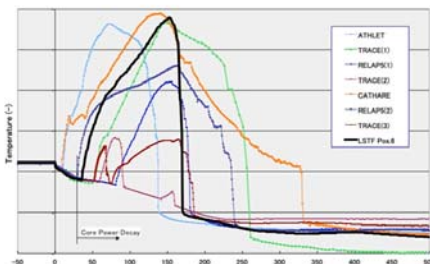
- リスク情報に基づくECCS性能評価基準の見直し
- 異なる条件(破断サイズ、ECCS)で熱水力現象を調査

実験前解析(Blind解析)

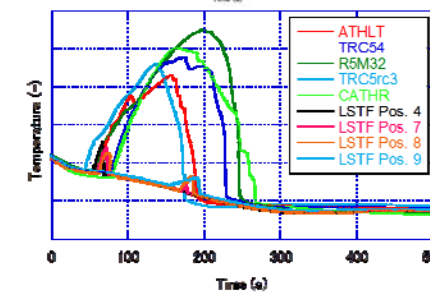
- BEコードの本来性能を評価するため、多くの機関が参加
- 最高燃料被覆管温度(PCT)や炉心水位などを比較

PCTの比較

Test 2
● 17%破断
● HPI単一故障



Test 7
● 13%破断
● HPI全注入



実験結果

- Test 2 => 燃料棒のドライアウトと昇温が長時間継続
- Test 7 => 短時間の炉心露出で非常に低いPCT

Blind解析結果と対応

- PCTや炉心水位など、主要な安全指標に大きなバラツキ
- 解析精度の抜本的改善が必要

実験後解析(継続中)

- 炉心出口での気液対向流制限(CCFL)など、炉心冷却の予測精度改善に必要な解析モデルを明確化
- 複数の事故現象の相互干渉や現象のスケーリング効果等、解析上の課題についてさらなる解決法を検討している

まとめ

計画した19回のLSTF実験を成功裏に終了

- 実験データや技術情報を共有し、データ分析や解析コードの検証を通じて安全解析技術の向上に貢献
- 複数のLSTF実験に対してBlind解析を系統的に実施し、熱水力BEコードの本来性能の検討を進めている

- 現象の実機模擬性の検討のため、PKL-2プロジェクトと相互比較実験を実施(事故時炉心出口温度計の有効性、自然循環)
- 数値流体力学(CFD)コードの開発・検証を進め、温度成層や流体混合など多次元現象の詳細解析を実施

ROSA プロジェクトを通じた熱水力安全研究

日本原子力研究開発機構 安全研究センター 熱水力安全研究グループ

JAEA は軽水炉の熱水力安全上の課題解決に係る OECD/NEA ROSA プロジェクトを、15 カ国 20 機関の参加の下で平成 17 年度から 7 年半に亘り主催した。これは我が国初の OECD/NEA プロジェクトの主催であり、PWR の事故現象模擬性に優れた大型非定常実験装置(LSTF)を用いて、9 課題 19 回の実験を行った。特に、規制上の安全課題や流路サイズ等に起因したスケーリング効果を考慮して、多様な事故現象を実規模で模擬・再現した。当研究グループは、得られたデータを基に事故現象の解明を進めつつ、熱水力最適評価(BE)コードの性能向上を目指した研究に取り組んでいる。ここでは、取り組んだ 9 課題のうち、個別効果実験の例として大破断冷却材喪失事故(LOCA)時の低温側配管内蒸気凝縮、システム効果実験の例として低温側配管の中破断 LOCA で得られた成果を紹介する。

■ 大破断 LOCA 時の低温側配管内蒸気凝縮 (個別効果実験の例)

我が国の現行の安全解析では非常用炉心冷却系(ECCS)水への蒸気凝縮を無視し、格納容器圧力を保守的に評価しているが、BE 解析では安全余裕の正確な評価が重要となる。ROSA プロジェクトでは LSTF に新たに低温側配管模擬配管を設置して、PWR の大破断 LOCA 時の炉心再冠水過程とほぼ同時に生じる低温側配管内での ECCS 水上への蒸気凝縮を大気圧近傍で模擬する実験を行った。実験の境界条件は、実機での大破断 LOCA に関する解析結果に基づいて設定した。模擬 ECCS 水の注入ノズルの下流には石英ガラス管による可視化部を設け、液滴を伴う高速の蒸気流動を高速度ビデオにより可視観察した。その結果、蒸気凝縮量は ECCS 注入流量に比例し、蒸気凝縮により注水点から短距離で ECCS 水が飽和になるなどの知見を得た。さらに、液滴等の流動を画像データより分析し、蒸気-液滴相間熱伝達の評価に重要な液滴径の分布はガンマ分布により概ね近似可能であることを確認した。

■ 低温側配管の中破断 LOCA (システム効果実験の例)

PWR 配管の瞬時ギロチン破断の発生頻度は主配管の最大枝管の方が主配管より大きいと予想するリスク情報に基づき、同枝管のギロチン破断を想定した中破断 LOCA を設計基準事象の候補とすることが、より合理的であると考えられている。ROSA プロジェクトでは、このような中破断 LOCA 時の熱水力現象を調べるため、配管の破断サイズや ECCS の注入条件が異なる 2 回の LSTF 実験を行った(Test 2: 17%破断+HPI(高压注入系)単一故障、Test 7: 13%破断+HPI 全注入)。また、熱水力 BE コードの本来性能を評価するため、参加機関と共に実験前解析(Blind 解析)を行い、最高燃料被覆管温度(PCT)、炉心水位、圧力などを比較した。炉心水位の顕著な低下に伴い、Test 2 では燃料棒の露出と昇温が長時間継続したが、Test 7 では炉心露出が短時間に止まり PCT が非常に小さかった。Blind 解析では、PCT や炉心水位など、主要な安全指標に大きなバラツキが見られ、解析精度の大幅な改善が必要であると認識された。実験後解析を通じて、炉心出口での気液対向流制限(CCFI)など、炉心冷却の予測精度改善に必要な解析モデルを明確にするとともに、複数の事故現象の相互干渉や現象のスケーリング効果など、解析上の課題について検討している。

■ まとめ

LSTF 実験による OECD/NEA ROSA プロジェクトを主催して、軽水炉の安全上の課題解決に係る実験データや技術情報を共有し、データ分析や解析コードの検証を通じて安全解析技術の向上に貢献した。また、複数の LSTF 実験に対して系統的な Blind 解析を参加機関と共に実施し、熱水力 BE コードの本来性能の検討を進めている。さらに、現象の実機模擬性の検討のため、PKL-2 プロジェクトと相互比較実験(事故時炉心出口温度計の有効性、自然循環)を実施したほか、数値流体力学(CFD)コードの開発・検証を進め、配管内温度成層や炉心内流動混合など多次元現象の詳細解析を実施している。