

軽水炉利用の高度化に関する安全評価技術

安全研究センター
原子炉施設安全評価研究ユニット
熱水力安全評価研究グループ

中村 秀夫

研究の位置付け

- 合理的な規制に資するため、安全余裕のより高精度な定量評価が可能な熱水力最適評価手法を開発する。
- シビアアクシデントに関しては、リスク上重要な現象のソースターム評価の不確実さ低減を図るため、格納容器内のガス状ヨウ素挙動に関する研究を行う。

設定目標

- 軽水炉利用の高度化に対し、高精度な熱水力評価手法のプロトタイプ及び知見を提供 (H21年度を目標)
- Post-BTや配管減肉など、学協会基準の規制への導入に際する判断情報や評価手法を提供 (H21年度を目標)
- シビアアクシデント等、緊急時の意思決定に必要な事故分析や事故進展予測、アクシデントマネジメント策の検討・実施に対応する精度良いソースターム情報を提供 (H21年度を目標)

研究の進め方

実施体制

- 熱水力安全研究【OECD共同研究¹】【保安院受託²】【公募特会³】：安全研究センター、施設管理部門（原子力科学研究所：ROSA/LSTF¹、THYNC、過渡ボイド実験装置²、Post-BT実験装置²、配管減肉実験装置²等、大洗研究開発センター：JMTR³）
- シビアアクシデント研究【JNES受託】：安全研究センター、施設管理部門（原子力科学研究所：ガンマ線照射実験装置等）

手順、手法

	2005 (H17)	2006 (H18)	2007 (H19)	2008 (H20)	2009 (H21)
熱水力安全研究	熱水力最適評価手法の開発				
	<ul style="list-style-type: none"> OECD/NEA ROSAプロジェクト LSTF試験¹ 核熱結合（THYNC）試験 配管減肉試験² 				
	燃料健全性評価に関わる熱水力評価手法の開発				
	<ul style="list-style-type: none"> RIA時の過渡ボイド挙動試験² Post-BT試験² 照射下沸騰熱伝達試験³ 				
	<ul style="list-style-type: none"> ✓ 新型燃料の利用、出力増強、高経年化など炉利用の高度化に対応する指針類や判断基準の整備に必要な高精度な熱水力評価手法及び知見を提供 ✓ 民間基準を規制へ導入する際の判断情報や評価手法を提供 				
シビアアクシデント研究	ソースターム評価手法の開発				
	<ul style="list-style-type: none"> 格納容器内ヨウ素挙動に関する照射下小型試験 				
<ul style="list-style-type: none"> ✓ 緊急時の意思決定や新たなAM策の策定に必要な高精度なソースターム情報の提供 					

成 果

- ✓ OECD/NEA ROSAプロジェクトを始動し、LSTF実験等、安全評価手法の検証に用いるデータを取得・拡充した。
- ✓ RIA時の過渡ボイド挙動試験で低圧長尺試験を行い、安全評価手法の検証に用いるデータを取得・拡充した。
- ✓ 照射下ガス状ヨウ素挙動試験の準備を行うと共に、ヨウ素化学解析コードの整備に着手した。

熱水力最適評価手法の開発

OECD/NEA ROSAプロジェクトを始動

- ✓ 平成17年 4月～4年間で6種類12回の実験
- ✓ 13カ国(日、米、仏、独、英、韓、スペイン、チェコ、スイス、ベルギー、フィンランド、スウェーデン、ハンガリー)17機関
- ✓ 国内(原子力安全基盤機構、メーカー)

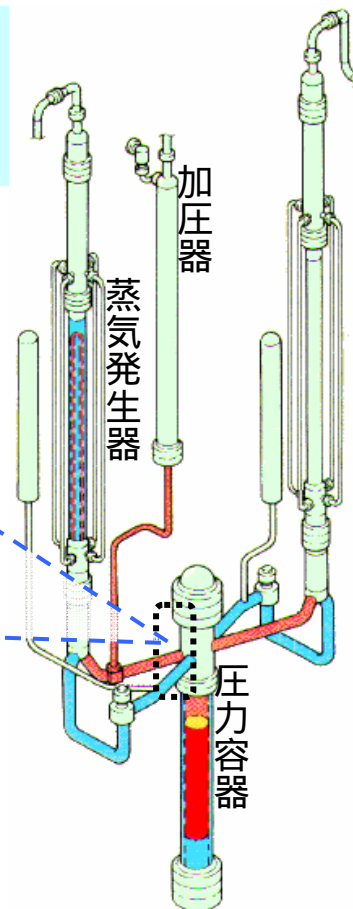
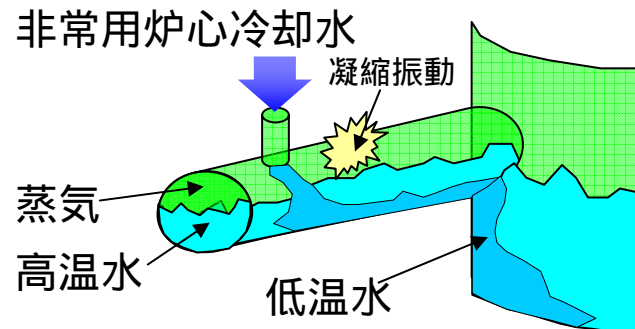
ROSA LSTF (大型非定常試験装置)

世界最大のPWR模擬 熱水力実験装置

高さ	約29 m	(実機と同一)
体積	1/48	
炉心出力	10 MW	(電気ヒーター)
圧力	160気圧	} (実機運転条件)
温度	325	

対象とする事故時熱水力挙動の例

(温度成層と蒸気の凝縮振動)



研究内容

- ✓ 優れた現象模擬性を活かし、事故時の詳細な熱水力現象データを取得
- ✓ 蒸気-水二相流や温度成層など、安全評価上の課題である複雑な3次元流動を解明
- ✓ 安全余裕の定量評価が可能な最適評価手法を開発

- 圧力容器頂部破断および底部破断 **LOCA模擬実験**を各々1回実施
 - 参加機関と共に解析手法の検証
- 原子力科学研究所で運営委員会と技術検討委員会を実施 (11月)
 - 毎年1回、機構で実施

他の課題

- 核熱結合 (THYNC) 実験：
BWR炉心(UO₂燃料とMOX燃料)の安定性模擬実験を約300回実施
- 配管減肉予備試験：
PIVなど計測手法の妥当性を確認

燃料健全性評価に関わる熱水力評価手法の開発

RIA時の過渡ボイド挙動試験

(14～19年度)

(1) TRAC-BF1/SKETCH-NコードによるRIA時全炉心解析

- ✓ 主要挙動の把握と実験条件策定
- ✓ 反応度FBに有意なボイド率範囲とボイド率計測許容誤差の評価

モデルの検討

試験条件の設定

成果

17年度

- 高温待機時のRIA解析
- ボイド率計測誤差が燃料エンタルピー評価値に与える影響の評価

(2) 低圧、高圧での短尺試験 (単一ヒーターピン体系)

- ✓ 電気抵抗式ボイド率計測手法の適用性確認
- ✓ 産業界データとの比較 (低圧)

モデルの検討

試験条件の設定

成果

- 高圧試験装置の製作を完了

(3) 低圧での長尺試験 (実長、2×2バンドル体系)

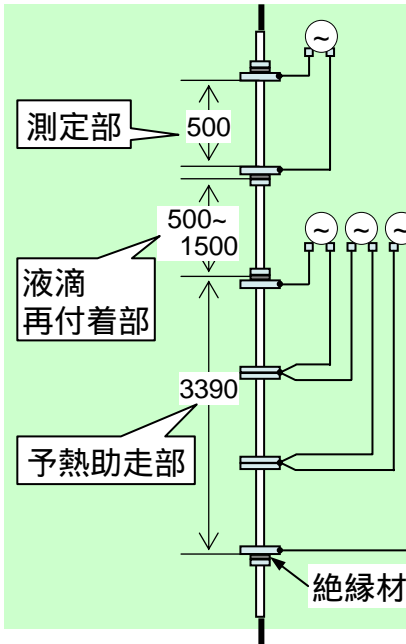
- ✓ 実機と同等の条件での試験
 - ヒーターピン形状、熱水力条件など

成果

- ボイド率計の計測精度評価
- 実験の実施 (約30ケース) によるデータベースの構築

Post-BT 試験

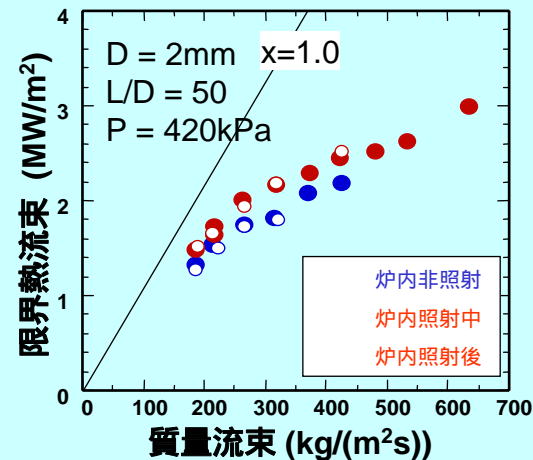
(17～21年度)



- 高圧短管熱伝達実験装置を製作
- 熱伝達率と液滴伝達率を同時測定
- 水空気予備実験を開始
液滴流計測用等速吸引プローブの性能検討等
- サブチャンネル解析に着手

照射下沸騰熱伝達試験

(15～18年度)



- JMTRで放射線誘起表面活性(RISA)効果を確認
- 照射中や照射後に非照射と比べCHFが10%以上増加

ソースターム評価手法の開発

評価手法の整備等

- 格納容器内ヨウ素挙動に関する最新知見入手
- ヨウ素化学解析モデルの検討
- ソースターム評価コードによる実機影響検討

海外研究
情報の活用
(UWO、AECL等)

- 3 研究Gの研究協力で実施
- 熱水力安全評価研究G
 - 核燃料サイクル施設安全評価研究G
 - リスク評価・防災研究G

実験計画
検討

実験データ

実験計画
検討

実験データ

ガス状ヨウ素基礎試験

大気圧条件、ヨウ素放出の基礎
データと種々の因子の影響

ガス状ヨウ素中規模試験

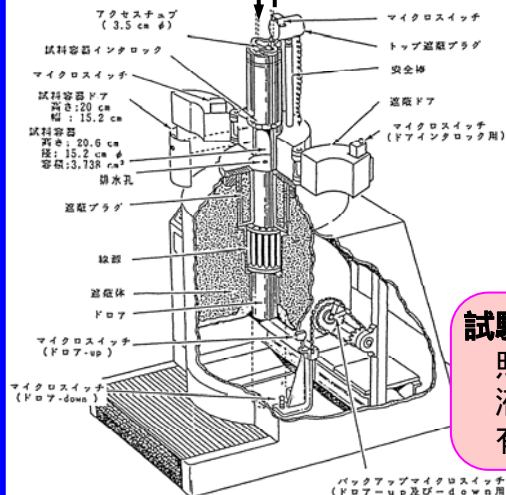
(高温条件、実機環境模擬、複合効果試験)
(20年度以降に実施を計画)

実験技術
(計測法・実験法等)

測定・分析装置

流通系
(気相スィープ、ヨウ素捕集)

又は、
密閉系
(バッチ)



試験パラメータ

照射線量
液相pH
有機物(電線等)

評価手法の整備

- BWR4/Mark-1を対象に事故時線量率などを評価
- ヨウ素化学モデルを導入して改良版(IODICL)を作成、OECD ISP-41を利用したモデル評価に着手

測定・分析設備の整備

- 周辺試験装置の整備
- 線照射下でのCsI水溶液からのガス状ヨウ素放出に関する予備実験

照射設備の整備

- 駕籠状に配置された16本の⁶⁰Co密封線源ピンを、全て更新。(約 10 kGy/h に)
- 17~18年度の2年間で更新(17年度:RI協会に搬出)

成果のまとめ (17年度)

計画(1) : 安全余裕のより高精度な定量評価が可能な最適評価手法の開発に必要なデータを取得するため、大型非定常試験装置(LSTF)等を用いた試験を2回行う。

成果 : OECD/NEA ROSAプロジェクトを開始すると共に、LSTF実験を2回実施した。
核熱結合(THYNC)試験装置でMOX炉心模擬安定性実験を約300回実施した。

計画(2) : 反応度事故時の安全余裕の定量評価に必要なデータを得るため、過渡ボイド試験を進めて低圧バンドル条件での実験を30ケース実施する。また、民間基準の規制適用の判断に必要なデータを得るための沸騰遷移後の炉心熱伝達(Post-BT)試験及び配管減肉試験で、共に低圧条件での予備試験を開始し、計測手法の妥当性確認を行う。

成果 : 過渡ボイド実験を低圧バンドル条件で約30回実施した。

Post-BTおよび配管減肉に関して低圧条件での予備試験を開始し、PIVなど計測手法の妥当性を確認した。

JMTRで照射下沸騰熱伝達改善実験を行い、放射線誘起表面活性(RISA)効果によりCHFの向上を確認した。

計画(3) : 放射線下ヨウ素挙動実験を18年度前半に開始するため、小型ガンマ線照射実験装置を線源更新用施設に搬出し、付帯設備を第4研究棟に搬入する。

成果 : 小型ガンマ線照射実験装置をラジオアイソトープ協会へ輸送すると共に、RI計測設備などの付帯実験設備を整備して予備実験を開始した。BWR格納容器内線量率等を評価すると共に、ヨウ素化学解析コードの整備に着手した。

成果の活用

- 熱水力安全研究より得られる知見と高精度な最適評価手法は、軽水炉の高度利用のための設置変更申請などに際する、学協会基準の利用を含む指針類の整備や安全審査などの行政判断に対し、科学的妥当性に基づいた判断材料を与える。
- OECD/NEA ROSAプロジェクトでは、熱水力安全研究における世界のCOEとして必要な実験データを提供するほか、高精度な熱水力安全評価手法の開発をリードし、我が国の安全規制の高度化に資する。
- シビアアクシデント時の格納容器内ガス状ヨウ素挙動に関する研究は、緊急時の的確な意思決定に必要なソースターム情報や、新たなアクシデントマネジメント策策定の知識ベースを提供する。
- 成果の公表(H17年度下期)
 - 日本原子力学会英文誌：1編
 - JAEAレポート：2編
 - 国際会議発表：1件
 - 保安院受託報告書：2件、JNES受託報告書：1件、公募特会報告書：1件、OECD報告書：2件(未公開)

用語解説

- ✓ OECD/NEAプロジェクト： 経済協力開発機構/原子力機関(OECD/NEA)の原子力施設安全性委員会(CSNI)が、国際協力による安全研究の効率的遂行を目指して運営する国際共同プロジェクト。9件の共同実験プロジェクト、4件のデータベース共同開発等がある。OECD/NEA ROSAプロジェクトは、原子力機構が主催する日本初の共同実験プロジェクトである。
- ✓ RIA時の過渡ボイド： BWRで反応度事故(RIA)が生じた場合、炉心出力はその上部で急速に上昇する。その結果、燃料棒表面には冷却水の急加熱によって蒸気泡(ボイド)が発生し、ごく短時間(数秒)のうちにボイドの成長、離脱、凝縮による消滅などの複雑な蒸気水二相流挙動が生じる。ボイド発生に伴う負の反応度によってRIA時の燃料エンタルピーの上昇が抑制される。
- ✓ Post-BT： 運転時の異常な過渡変化時などで炉心流量が一時的に低下すると、短時間の沸騰遷移(BT:Boiling Transition～炉心の沸騰形態が核沸騰から液膜が消失してドライアウトする)が発生する可能性がある。このとき、スクラムなどによる出力低下で燃料棒が短時間でリウェット(再び液膜で覆われて冷却が改善)すれば、燃料健全性が保たれる可能性を示唆するデータが得られてきている。平成15年には、これらの成果を基にした民間基準として、沸騰遷移後(Post-BT)の燃料の健全性を示す原子力学会標準(Post-BT基準)が定められた。
- ✓ 放射線誘起表面活性(RISA)： 放射線照射により金属酸化物の表面に光触媒に類似の反応が生じて活性化する現象のことで、濡れ性の向上(超親水性)の効果や、腐食低減、放射線計測等の利用が期待される。酸化物表面の濡れ性向上により、沸騰熱伝達率及び限界熱流束が向上する可能性がある。RISAは、東京海洋大学、東京大学および京都大学の連携大学共同体により、世界で初めて確認された。
- ✓ ソースターム： 原子炉事故時に環境へ放出される核分裂生成物(FP)等の放射性物質の核種、化学形、放出量及び放出時期等を総称してソースタームと呼ぶ。ヨウ素は炉内インベントリ、揮発性による移行のし易さ、健康影響のため、ソースターム評価において重要視されている。