

核燃料サイクル施設の臨界安全性 及び事故時放射性物質の放出・移行

安全研究センター
原子力エネルギー関連施設安全評価研究ユニット
核燃料サイクル施設安全評価研究グループ

内山 軍蔵

研究の位置付け（目的・意義）

核燃料サイクル施設の後続規制、安全審査に資するため、高精度の臨界安全評価手法、燃焼度クレジット評価手法等を整備するとともに、火災・爆発・臨界事故時の放射性物質の放出・移行特性等の基礎データ取得する。

設定目標（期待される成果、達成時期）

- ・ 臨界安全に関する安全評価技術の開発
- ・ 火災・爆発に関する安全評価技術、事故時の閉じ込め機能に関する安全評価手法の開発
- ・ 再処理施設の後続規制、MOX加工施設の安全審査、後続規制に係る安全確保方策検討時に必要。

研究の進め方（実施体制、手順、手法）

実施体制

- ・ 臨界安全【一部保安院受託】：安全研究センター
施設管理部門(原子力科学研究所:NUCEF)
- ・ 事故時放射性物質放出・移行【一部JNES受託】：安全研究センター

研究協力

大学、民間、OECD/NEA(臨界安全実験データ評価計画等)
仏国放射線防護原子力安全研究所 (IRSN)

手順、手法

	2005	2006	2007	2008	2009
臨界安全	臨界安全に関する安全評価技術の開発				
	ベンチマーク用臨界データの蓄積				
	MOX臨界事象評価				
		高精度臨界安全評価手法の整備			
	PIEデータ評価				
事故時放射性物質放出・移行	燃焼評価と臨界評価の統合手法の開発整備				
		再処理施設の後続規制、MOX加工施設の安全審査、後続規制に係る安全確保方策検討			
	火災・爆発に関する安全評価技術、事故時の閉じ込め機能に関する安全評価手法の開発				
	再処理施設の火災、爆発、臨界事故時ソースターム評価				
	MOX加工施設の火災時ソースターム評価				
	再処理施設の後続規制、MOX加工施設の安全審査、後続規制に係る安全確保方策検討				

成果

臨界安全性

再処理溶解工程を模擬した臨界実験におけるFP模擬物質の反応度価値データを蓄積

MOX使用済燃料照射後試験データを用いた計算コードによる核種生成量の解析精度を確認

MOX加工施設の臨界事象評価を実施し、解析手法の適用性等を評価【保安院受託】

事故時放射性物質放出・移行

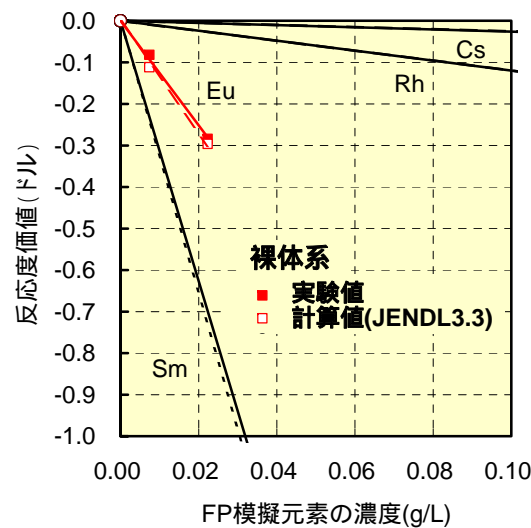
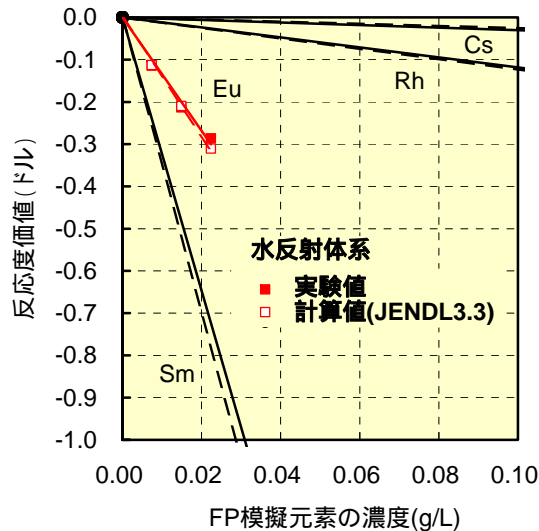
再処理施設の抽出有機溶媒の燃焼特性として煤煙放出特性データを取得

MOX加工施設の可燃性物質燃焼特性に必要な試験装置の整備を終了し、グローブボックス構成材の熱分解特性データを取得【JNES受託】

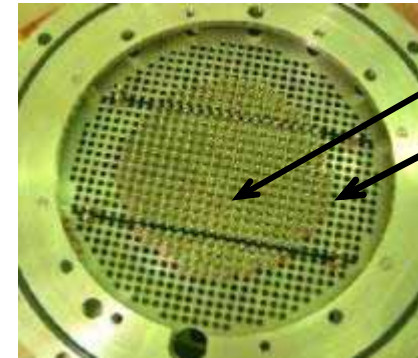
成果(臨界安全性1/2)

非均質体系の臨界ベンチマークデータ蓄積

- 5%濃縮UO₂棒状燃料と6%濃縮硝酸ウラニル溶液。
- 再処理溶解工程を模擬。
- 溶液に吸収効果の大きいFP模擬物質を添加した際の反応度価値を定量的に把握。
- Sm,Cs,Rhと順次添加した体系(H17上期)にEuを追加して添加。Euの反応度価値の実験的検証。
- 解析結果は実験値を良好に再現(5%以内)。

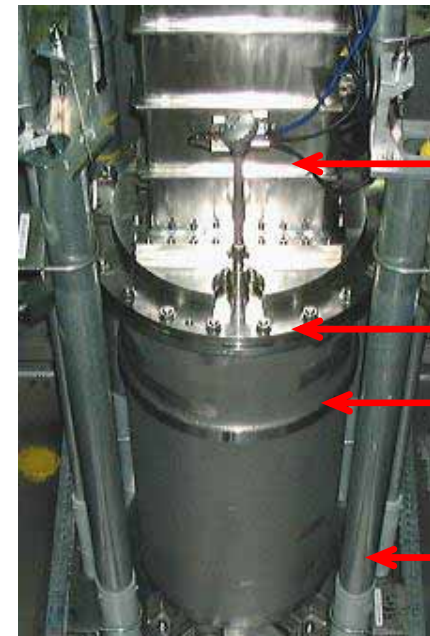


実験結果と解析結果の比較



非均質部
(31 cm 外径)
燃料溶液部
(59 cm 外径)

- 5%EU:333 本
- 正方格子配列
- 格子間隔: 1.5cm
- Vm/Vf: 2.9



安全板覆い
天板
タンク本体
中性子検出器

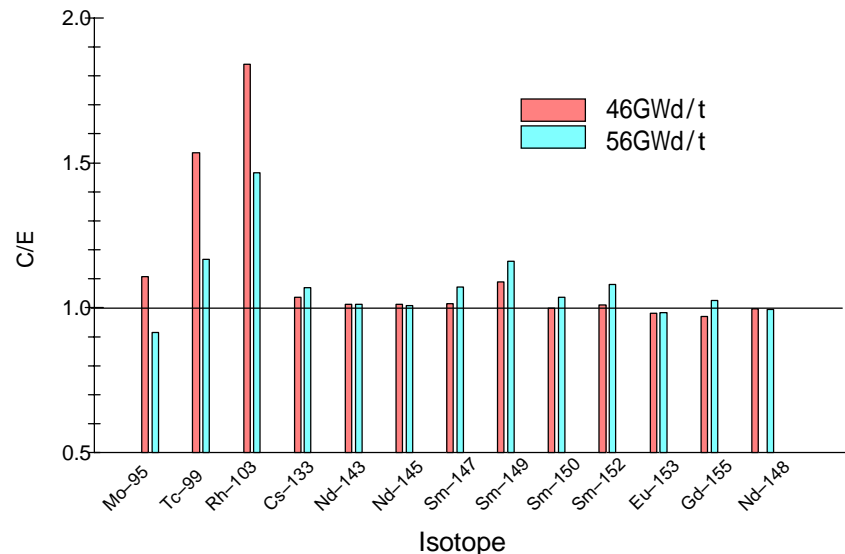
臨界実験装置 (STACY)

(Sm, Rh, Csのデータは旧日本原子力研究所が文部科学省から受託事業「平成17年度再処理施設臨界安全技術開発等」で得られた研究成果の一部である。)

成果(臨界安全性2/2)

MOX使用済燃料照射後試験データ解析

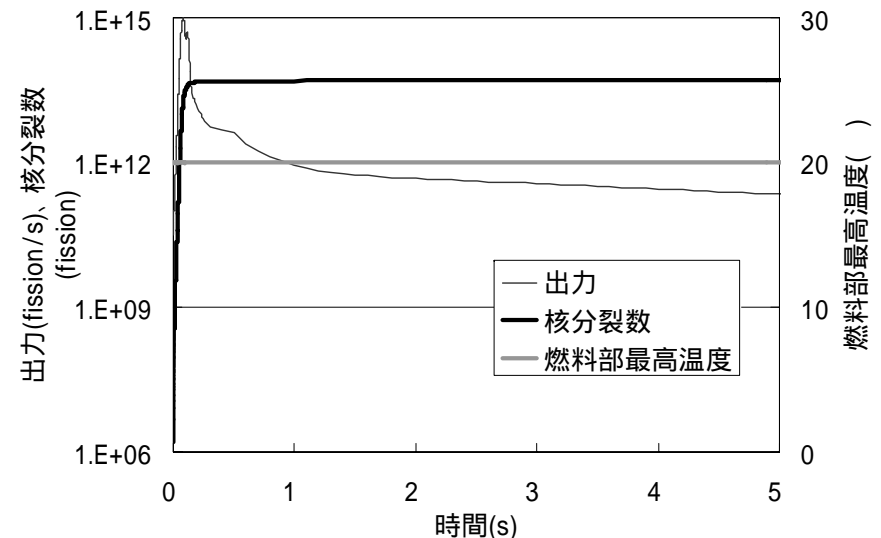
- ベツノウ1号機照射後MOX燃料(37-56GWd/t, Pu富化度5.5-6.0%)の分析データ。
- SWAT2コードによる核種生成量評価。
- 使用済UO₂燃料と同等の解析精度を確認。
 U, Pu ~ 5%
²³⁸Pu, ²⁴⁴Cm 10 ~ 15%
 FP 5 ~ 10%(Cs, Nd, Sm, Eu, Gd)



FP核種生成量評価結果C/E(計算値/実験値)

MOX加工施設臨界事象評価

- 基礎物性データ調査。
 粉体流動特性、伝熱特性等
- 解析コード開発・改良。
 3粒子系(MOX, UO₂, ステアリン酸亜鉛)
- 臨界事象の解析。
 粉末混合器の臨界事象仮想シナリオ解析
 総核分裂数: ~ 2x10¹⁸
- 臨界特性データベース整備。

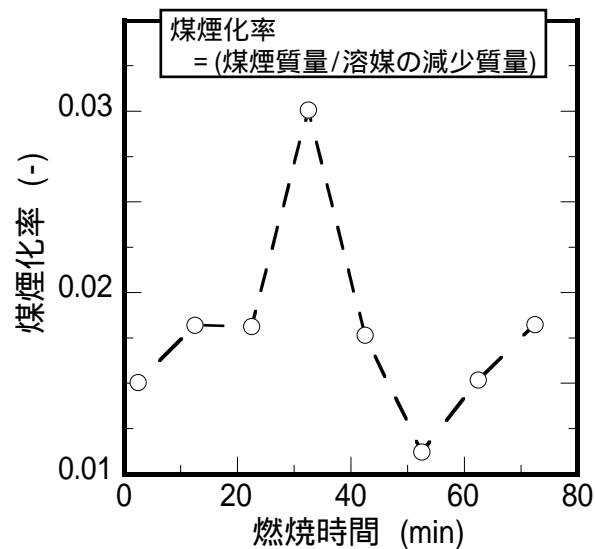


粉末混合器の臨界事象の解析例

成果(事故時放射性物質放出・移行)

再処理施設ソースターム評価

- 抽出有機溶媒の燃焼特性データの取得
対数正規分布を仮定した場合の煤煙の質量中央径は $0.16 \sim 0.21 \mu\text{m}$ であり、HEPAフィルタの捕集効率が最も低くなる粒子径($0.15 \mu\text{m}$)に近い煤煙化率は燃焼時間に対して上に凸形を示し、最大で約3%程度

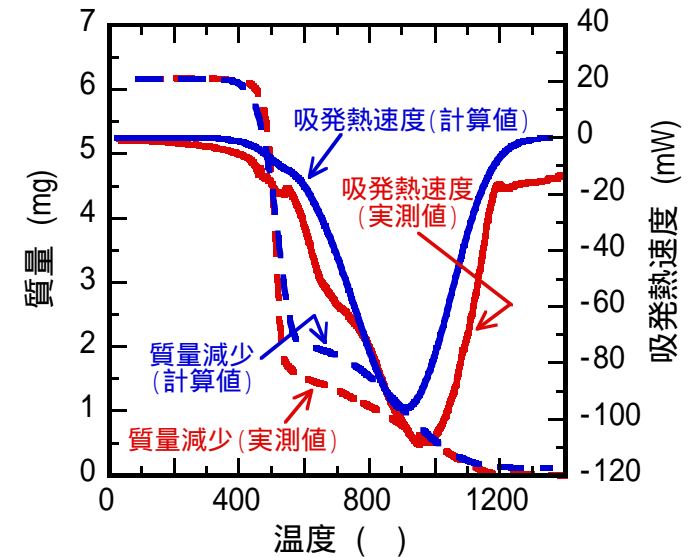


煤煙化率評価結果(30%TBP/ドデカン)
初期体積: 160 cm^3 、燃焼面積: 33 cm^2

様々な燃焼条件の下で燃焼に伴うエネルギー及び物質(煤煙、放射性物質)の放出特性データを取得
事故時閉じ込め解析コードの入力項として整理

MOX燃料加工施設ソースターム評価

- 燃焼データ取得のための試験装置整備
- グローブボックスパネル構成材料(アクリル、ポリカーボネート)の熱分解特性データ(熱分解反応速度データ等)を取得
熱分解挙動のシミュレーションを実施
熱分解に伴う質量減少、吸発熱速度の温度(時間)変化を良好に模擬



熱分解挙動のシミュレーション例(ポリカーボネート)

火災の進展に伴う閉じ込め機能低下の経時変化を定量的に評価するモデルへ発展

成果のまとめ

17年度計画(1)

FP核種中性子吸収効果の実験的検証として、再処理溶解工程を模擬した体系においてEuをウラン溶液に添加した実験によりEuの反応度価値データを取得する。また、現存するMOX燃料照射後試験データに基づき、核種生成量の計算コード精度評価を行い、ウラン燃料との比較を行う。さらにMOX加工施設の粉体燃料の臨界事象の評価を行い、解析手法の適用性、適用範囲を評価する。

成果

計画通り実験データを蓄積し、反応度価値について解析コードが実験結果を良好に再現することを確認した。また、使用済MOX燃料の照射後試験データの解析については、SWAT2コードによる使用済MOX燃料の核種生成量が使用済UO₂燃料と同等の精度であることを確認した。さらにMOX加工施設の粉体燃料の臨界事象の評価については、燃料粉体の流動特性、粉体燃料の混合による臨界事象の解析を行い、粉末混合器での臨界事象の評価に解析手法が適用できることを確認した。

17年度計画(2)

再処理施設に関して、抽出有機溶媒の燃焼特性データ(煤煙粒子径分布、煤煙発生量)を取得する。MOX燃料加工施設に関して、可燃性物質の燃焼特性評価に必要な試験装置の整備を終了し、2種類のグローブボックスパネル構成材料(ポリカーボネート、アクリル)の熱分解特性データを取得する。

成果

計画通り、再処理施設で使用される抽出有機溶媒の燃焼特性データを取得し、燃焼に伴って放出される煤煙の放出特性データを取得した。また、MOX燃料加工施設で使用される可燃性物質の燃焼特性評価に必要な試験装置の整備を終了するとともに、グローブボックスパネル構成部材の熱分解特性データ(熱分解反応速度データ等)を取得し、これらデータを用いることで熱分解反応の進展(吸発熱及び質量減少)を計算によって良好に模擬できることを確認した。

成果の活用

- 臨界安全性に関する成果

再処理施設、MOX燃料加工施設、中間貯蔵施設等の核燃料サイクル施設において取扱われる核燃料物質について最新の実験データ及び解析的な知見に基づいた評価手法により、安全審査及び後続規制に対する技術的知見としての活用が期待される。

- 火災時の放射性物質放出・移行特性に関する成果

物質の燃焼特性と放射性物質及び煤煙の放出特性を相互に関連付けた評価モデルを構築することで、安全審査及び後続規制における技術的知見としての活用が期待される。また、施設で使用される可燃性物質の詳細な熱的特性データを整備することでグローブボックス保守管理に係る技術基準の整備への活用が期待される。

用語解説

- 反応度価値

原子炉(炉心)などの臨界体系に何等かの物質を挿入したとき、その体系に生じた反応度の変化量を数値で表現したもの。単位として、ドルとその1/100のセントがある。

- SWAT2コード

核種生成・消滅計算コードORIGEN2と中性子輸送計算コードを組み合わせて燃焼計算を行う。約1000種類の核種の生成量等を解析することができる。

- ステアリン酸亜鉛

MOX燃料粉末の調整に用いられる添加剤。H、Cのような軽元素を含むため中性子の減速材となり得る。124°C程度で融解し、400°C程度で熱分解する。

- 吸発熱速度

グローブボックスを構成する樹脂製物質等は、自身の温度上昇に伴って融解等の相転移や熱分解を生じる。ここでは、これらに伴う吸発熱速度(mW)を、試料物質(ここではグローブボックス構成部材)とアルミナ等の基準物質の温度を一定のプログラムに従って変化させながら、両者の温度差を起電力の差として測定する方法(示差熱分析)を用いて求めている。

- 質量中央径

煤煙等の粒子の粒子径分布において、ある粒子径より大きな粒子の質量が、全粒子の質量の50%を占めるときの粒子径である。