

# KUCA におけるエルビア入り次世代高燃焼度燃料の模擬実験と核特性解析

量子エネルギーシステム工学講座 後藤陽一

## 1. 緒言

使用済燃料削減のためには、 $^{235}\text{U}$  の濃縮度を上昇させ燃料の高燃焼度化を図ることが有効であり、現行の濃縮度 5wt% 以下という制限を超える高燃焼度燃料が検討されている。しかし、5wt% を超える場合、燃料加工等の施設における大幅な設計変更、設備改造、再許認可等に莫大なコストが必要になるため、5wt% 超燃料の導入は実現されていない。そこで、この障壁を乗り越えるための手段としてエルビアクレジットという概念が新たに考案されている。エルビアクレジットとは、濃縮度 5wt% を超える  $\text{UO}_2$  燃料粉末に対して、可燃性毒物であるエルビア(酸化エルビウム: $\text{Er}_2\text{O}_3$ )を混入することで、現行の燃料と同等の臨界安全性を担保し、それ以降のフロントエンド・バックエンド工程への影響を限定できるという概念である。このエルビアクレジットを用いたエルビア入り次世代超高燃焼度燃料(Er-SHB 燃料)の技術開発が経済産業省の公募事業として、名古屋大学を含む 5 つの機関からなる産学連携組織によって行われている。

このエルビアクレジットの実用化に際しての問題点の一つとして、核特性データが不足していることがあげられる。また、核特性データが少ないため、核特性評価及び臨界性評価コードの信頼性が十分に確認できない。そこで、京都大学臨界集合体実験装置(KUCA)を用いた臨界実験を実施し、核特性データを収集すると共に、その実験データを解析することで解析コードや主要な核データライブラリの信頼性確認を行うことが本研究の目的である。

## 2. 実験

実験は、KUCA の固体減速架台を用い、ウラン濃縮度、水素対ウラン体積比、エルビア濃度を系統的に変更した 3 つの炉心について、臨界量及び実効増倍率の測定、エルビア板置換反応度測定等を行った。炉心の主要諸元を表 1 に示す。この実験により、さまざまな中性子スペクトル場での吸収材の装荷された炉心の臨界量、実効増倍率、エルビアの負の反応度からなどを世界で初めて測定することができた。

## 3. 実験解析

実験解析には、MVP と SRAC を用いた。MVP は炉心の幾何形状や断面積などを近似なしに厳密に取り扱える連続エネルギーモンテカルロ手法であり、参照解作成に良く用いられる。しかし、確率論的手法を用いているため統計誤差が存在し、微小変化を評価することが困難であるというデメリットがある。一方 SRAC は、幾何形状や断面積などの近似を行っているが、決定論的手法を用いているため、微小変化を統計誤差なしに取り扱える。

MVP では、幾何形状等を厳密に取り扱い、総ヒストリー数を 1 億ヒストリー(20000 ヒストリー/バッチ、5030 バッチ、30 捨てバッチ)取った。KUCA での体系では増倍率評価について十分な精度が期待できる数字である。SRAC では、まず PIJ(衝突確率法)を用いて単位燃料セルのセル平均断面積を計算し、次に CITATION を用いて 3 次元 XYZ 体系で拡散計算を行った。また、各々の解析において、3 種類の核データライブラリ(MVP では 5 種)を用い、ライブラリ間の計算値の差も比較した。

## 4. 解析結果

MVP を用いて算出した実効増倍率の実験値に対する比である C/E 値を図 1 に示す。各ライブラリにおいて、系統的な差があるものの、C/E 値を 0.4% 以内で正確に評価可能であることがわかった。次に、SRAC を用いて算出したエルビア板置換反応度の実験値と計算値の比を図 2 に示す。全体的に C/E 値がエルビア置換量に対して減少傾向にあるものの、C/E 値を 0.93~1.03 の範囲で評価可能であることがわかった。

## 5. まとめ

以上のことから、実験においては、世界初の全炉心エルビア装荷臨界実験を行いウラン濃縮度・水素対ウラン体積比、エルビア濃度を系統的に変化させた体系でのエルビアの負の反応度値を測定することができた。解析においては、現行の解析手法、核データライブラリでの計算精度の信頼性を確認することができた。

## 公刊論文

- 1) 後藤陽一, 山本章夫他, “エルビア入り次世代高燃焼度燃料の研究開発(11)臨界実験解析,” 日本原子力学会 秋の大会, 北九州国際会議場, 2007 年 9/27-29, (2007).
- 2) 後藤陽一, 山本章夫他, “エルビア入り次世代高燃焼度燃料の研究開発(13)臨界実験解析(2),” 日本原子力学会 春の年会, 大阪大学, 2008 年 3/26-28, (2008).

表 1 炉心の主要諸元

炉心名称	U濃縮度 (wt%)	エルビア濃度 (%)	減速比 (H/ $^{235}\text{U}$ )
第一炉心	5.4	0.3	277.4
	5.4	0.3	91.2
第二炉心	93.2*)	0.0	104.3
	9.6	0.6	48.7
第三炉心	93.2*)	0.0	104.3

\*) ドライバー領域の値

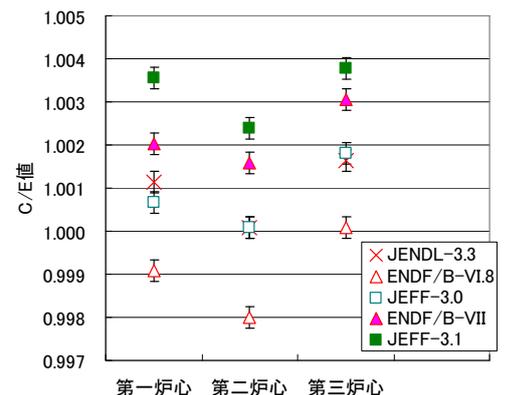


図 1 実効増倍率の C/E 値の比

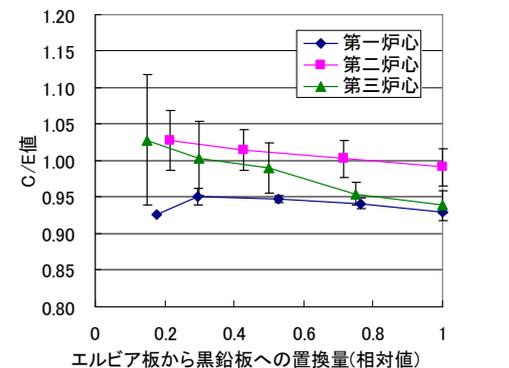


図 2 エルビア板置換反応度の C/E 値