

宇宙探査用小型 CANDLE 燃焼炉の最適化

Optimization of Small CANDLE Burn-up Reactor for Space Nuclear Power

*西山 潤¹, 小原 徹¹

¹東京工業大学 科学技術創成研究院 先導原子力研究所

Pu-238 を熱源とする原子力電池に代わる宇宙探査機用の電源システムとして、CANDLE 燃焼型原子炉概念を適用した小型宇宙原子炉について最適化を行った。

キーワード： CANDLE 燃焼炉、宇宙探査用、可燃性毒物、燃焼計算

1. 緒言

宇宙や惑星の探査のため科学機器と通信機器を搭載した宇宙探査機にとって、電源システムは必要不可欠な機器である。放射性同位体の崩壊熱を熱電変換素子によって直接電気に変換する原子力電池は、可動部がなく電気出力がほぼ放射性同位体の半減期のみに依存する。その信頼性の高さのため、太陽光の弱い外惑星の探査では放射性同位体 Pu-238 の α 崩壊を熱源とする原子力電池がこれまで利用されてきた。しかし専用の核燃料中性子照射・分離施設の停止に伴い現在では Pu-238 を大量に製造することが困難となっている。そこで、Pu-238 を使用した原子力電池の代わりとなる電源システムとして自己制御性を持つ CANDLE 型原子炉概念を宇宙用の原子炉にも適用し、制御系などの機械駆動部や冷却材の流れなどの動的部分を一切持たない原子炉について研究を開始した。これまでの研究で、100%濃縮ウラン燃料を使用した UZrH 合金水素吸蔵燃料とベリリウム反射体、可燃性毒物として ^{157}Gd 同位体を使用した理想的な条件で燃焼領域が自律的に移動する CANDLE 燃焼が成立することを確かめた[1]。本研究では、ウラン濃縮度、反射体効果について評価し、炉心システム重量が最小となる炉心構成を求めることを目的として解析を行った。

2. 小型 CANDLE 燃焼炉概要と計算方法

宇宙用小型 CANDLE 原子炉は、濃縮ウラン燃料を使用した UZrH 合金水素吸蔵燃料をベリリウム反射体で覆った円柱形状で可燃性毒物 ^{157}Gd を含まない起動炉心部分と ^{157}Gd を含む CANDLE 炉心部分から構成される。

炉心燃焼計算には、連続エネルギーモンテカルロ燃焼計算コード MVP-BURN と JENDL-4.0 データライブラリを使用した。U/Zr 比、ウラン濃縮度、可燃性毒物密度 (Gd-157)、炉心半径をパラメータとして、燃料高さ 100 cm, 熱出力 20 kWth の原子炉について CANDLE 燃焼炉の成立の確認を行った。

3. 結果

図 1 にウラン濃縮度 100%, 90%, 20% の UZrH 合金水素吸蔵燃料の $\text{H}/^{235}\text{U}$ に対する無限増倍率を示す。 $\text{H}/^{235}\text{U}=50\sim 100$ で増倍率は極大となった。無限増倍率が最大となる $\text{H}/^{235}\text{U}$ 比の組成について、燃料半径とベリリウム反射体半径の組み合わせによりシステム重量が最小となる最小臨界体系を求めた。図 2 にウラン濃縮度 20% における反射体付き無限円柱炉心の実効増倍率の変化を単位高さ当たりの質量に対して示す。100cm の長さの炉心では軸方向の中性子の漏れなど考慮すると無限円柱では実効増倍率として 1.1 が必要とされ、この場合、システム重量として約 300 kg となることが分かった。

参考文献

[1] 西山潤、小原徹、日本原子力学会 2016 年春の年会予稿集 3014 (2016).

*Jun Nishiyama¹, Toru Obara¹

¹ Laboratory for Advanced Nuclear Energy, Institute of Innovative Research, Tokyo Institute of Technology.

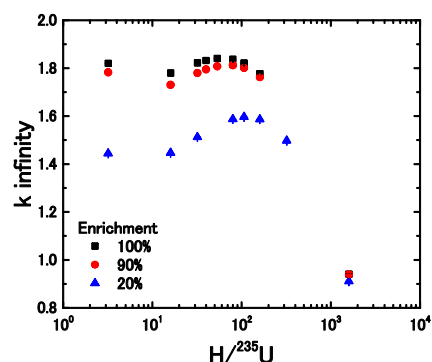


Fig. 1 Infinite multiplication factor of Uranium-Zirconium hydride fuel

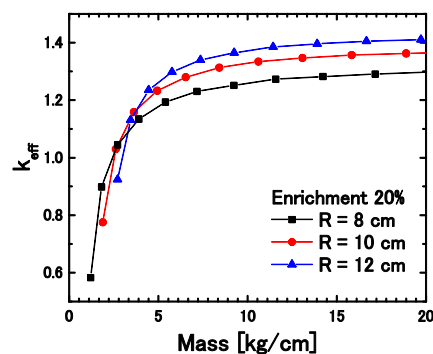


Fig. 2 Effective multiplication factor for infinite cylindrical core with 20% enrichment fuel