

余剰反応度を抑制した原子力宇宙船用炉心の設計

Core design study of space reactor with low excess reactivity

*奥村 晋太郎, 千葉 豪, 奈良林 直

北海道大学

北海道大学・原子炉工学研究室で開発している原子力宇宙船について、燃料をプルトニウムからウランに変更し、かつ余剰反応度を抑制した炉心を新たに設計した。

キーワード：炉心設計、反応度、高速炉、原子力宇宙船、ベリリウム

1. 背景・目的

深宇宙に対する大規模探査の電源には原子力発電が適している。当研究室で開発してきた宇宙船は、炉心の小型化を優先し、燃料としてプルトニウムを採用していた^{[1][2]}が、打ち上げ失敗のリスクが懸念されるため、燃料を低濃縮ウランに変更することとした。さらに、将来的な炉心の長寿命化や反応度制御機構の簡素化のため、余剰反応度の抑制も行うこととした。

2. 炉心設計

炉心の設計条件は①18MWth の定格出力で炉心寿命が 5 年、②燃料のウラン濃縮度が 20%未満、③炉心圧力損失が 0.6MPa 以下、④燃料棒及び燃料棒被覆管の最高温度が融点以下かつナトリウムの沸点以下、⑤冷却材ボイド反応度が負、⑥炉心停止余裕が最大の反応度値を持つ制御棒が 1 本引き抜けた状態で 0.01△k/k 以上とした。従来の炉心体系で燃料をウランに変更すると、ウラン濃縮度が 20%を超過してしまうため、燃料領域を拡大することで低濃縮ウラン炉心を実現した。なお、燃料領域の拡大は、従来の原子炉容器を用いることができる範囲で行った。余剰反応度抑制手法としては、ブリード&バーンの概念を用い、劣化ウランを燃料の一部として装荷し、プルトニウム 239 を生成させつつ運転することとした。さらに、この転換を促進するため、中性子減速・増倍材としてベリリウムを採用した。中性子はベリリウムの散乱反応、(n, 2n) 反応によって減速され、また、(n, 2n) 反応によって増倍する。炉心の解析は炉物理解析コードシステム CBZ で行った。

3. 結果

設計した炉心の実効中性子増倍率の時間推移を図 1 に示す。燃料領域を拡大した低濃縮ウラン炉心を「ウラン炉心」、ウラン炉心に劣化ウランを装荷したものを「転換型ウラン炉心」、転換型ウラン炉心に中性子減速・増倍材を導入したものを「転換促進型ウラン炉心」とした。転換促進型ウラン炉心の実効中性子増倍率が一定の割合で減少しないのは、プルトニウム 239 の増加と中性子の漏れが小さくなった効果によるものと考えられる。転換促進型ウラン炉心では転換型ウラン炉心と比べ、余剰反応度を 4 割程度抑制することができた。

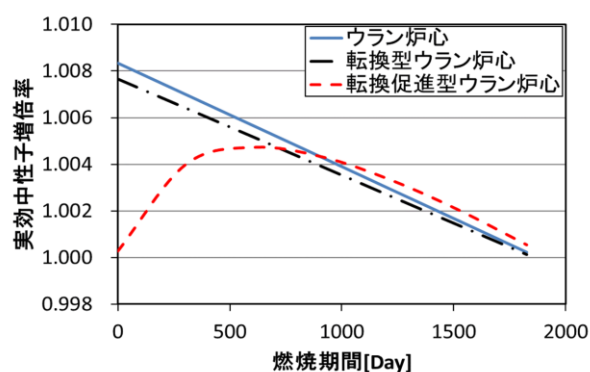


図 1 設計した炉心の実効中性子増倍率の時間推移

参考文献

[1]北村拓、「惑星間航行用原子力宇宙船に関する研究」、北海道大学修士論文、(2009)

[2]小川健斗、「惑星間航行用原子力宇宙船用の原子炉および発電システムに関する研究」、北海道大学卒業論文、(2015)

Shintaro Okumura, Go Chiba and Tadashi Narabayashi.

Hokkaido Univ.