

トリウム燃料増殖炉が成立する減速条件に関する基礎的検討

Basic study on moderating conditions for breeder reactor with thorium fuel

*石田 大樹, 高木 直行

東京都市大学

U-233 は幅広い中性子エネルギー範囲で中性子再生率 $\eta > 2$ を示す。これを主燃料とする原子炉は、高速炉のみならず熱中性子炉でも燃料増殖が成立する可能性がある。本研究では、減速材に黒鉛もしくは重水を用いた無限体系を対象として、トリウム熱中性子増殖炉が成立する減速条件についての基礎的検討を行った。

キーワード：トリウム, 燃料増殖, 中性子スペクトル, V_m/V_f

1. 背景

当研究室では数年来、トリウム燃料を用いた増殖炉の研究を行っている^[1]。先行研究で行われた CANDU 炉を対象とする解析では、増殖の成立には燃焼度を数 GWd/t と低く制限しなければならない結果を得ている。

本研究では、燃料/減速材体積割合(V_m/V_f)をパラメータとした際の増殖成立範囲について検討した。減速材は、中性子寄生吸収の少ない重水と黒鉛についてそれぞれ検討した。

2. 解析条件および結果

増殖成立の減速条件を明らかにするために、Th+²³³U 燃料ピンセル無限体系を設定し解析を行った。低減速領域から CANDU や黒鉛炉等の高減速領域をカバーするため、燃料ピンピッチを変化させ $V_m/V_f=0.5\sim25$ の範囲を検討対象とした。また転換比は「Th-232 捕獲反応率/U-233 吸収反応率」の比として定義した。解析にはモンテカルロコード MVP-2.0 を使用し、核データライブラリには JENDL-4.0 を用いた。

U-233 富化度を固定し V_m/V_f を増加させると転換比は低下し k_{inf} は増大する傾向となる。重水および黒鉛減速材それぞれについての結果を図 1(a), (b)に示す。これらの図では、転換比と k_{inf} の曲線の交点が >1 であれば、増殖と臨界が両立することを意味する。

重水、黒鉛ともに V_m/V_f を大きくすると、より低い U-233 富化度で増殖と臨界が成立する。転換比/ k_{inf} 曲線の交点の高さは V_m/V_f が大きな領域ほど低下するため、スペクトルの柔らかい炉（熱中性子炉）ほど、増殖と臨界を両立できる設計範囲が小さいと言える。また、同じ U-233 富化度の条件で重水減速材と黒鉛減速材を比較すると、重水の方が $\xi\Sigma_s$ 大のため、より小さい V_m/V_f で臨界と増殖を両立でき、設計可能範囲もやや広いことが分かった。

次に、 V_m/V_f の変更が如何に転換比へ影響するかについて、反応率を高速と熱群に分解して検討した。転換比と各反応率の V_m/V_f 依存性を図 2 に示す。 V_m/V_f 増加に伴い転換比が悪化するの、スペクトルの軟化で Th-232 の高速群の捕獲反応率が大幅に減少すると同時に、U-233 の熱群の吸収反応率が大きく増加するためである。

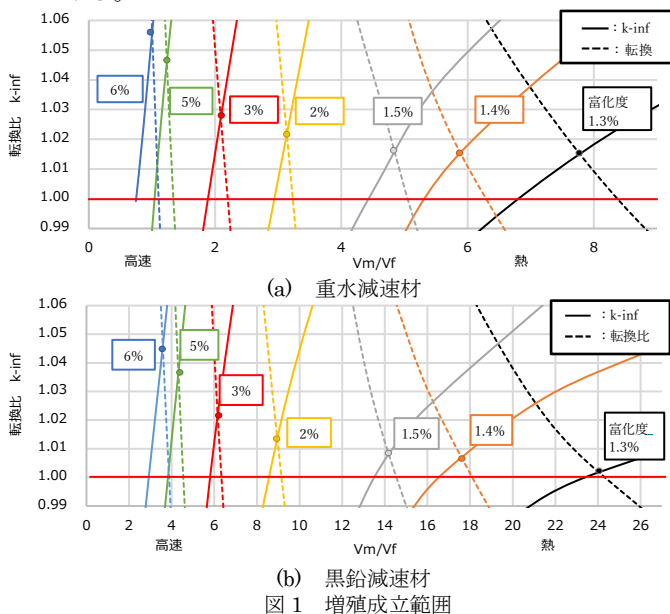


図 1 増殖成立範囲

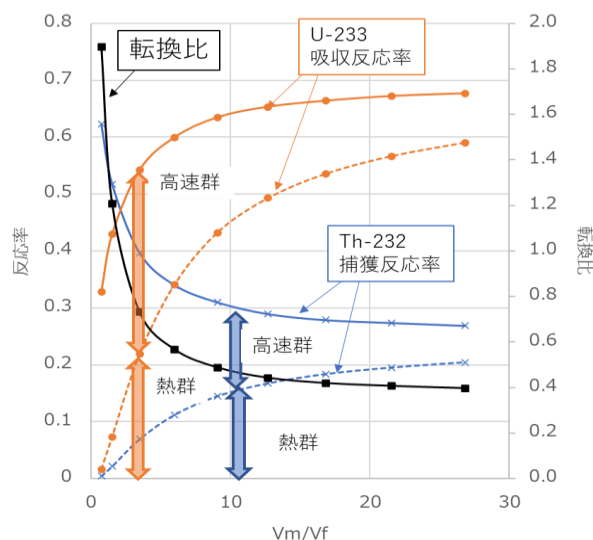


図 2 V_m/V_f 依存の転換比と各反応率 (U-233 富化度 3%, 重水減速材)

3. 結論

トリウム燃料増殖炉が成立する減速条件について、重水と黒鉛の減速材を対象に V_m/V_f をパラメータとして検討を行った。臨界と増殖が両立する設計範囲は、黒鉛減速材よりも重水減速材で広く、また V_m/V_f の小さい領域で広いため、増殖成立の観点では重水・低 V_m/V_f の組み合わせが相対的に有利と考えられる。

[1] S.Muso, "Core Concept of Thermal Neutron Thorium Breeder Reactor Based on Candu Design" Proceedings of GLOBAL (2017)

[2] 元山 瑞季「熱中性子増殖が成立する減速条件に関する検討」東京都市大学 学士論文(2017)

*Hiroki Ishida, Naoyuki Takaki

Tokyo City Univ.