重水冷却トリウム炉の増殖性能の評価

Evaluation of the breeding performance of heavy water cooled thorium reactor

*武曽　壮大[1]，高木　直行[1]
[1]東京都市大学

商業用軽水炉技術をベースとした重水冷却トリウム増殖炉の核燃料サイクル全体での増殖性能の評価を行った。

キーワード： トリウム、複合システム倍増時間、低減速 PWR

1. 緒言

重水冷却トリウム炉は、冷却材により中性子吸収が小さいため、燃焼度と増殖性能を高められる。また、過去の検討では、高燃焼度・高増殖を達成する燃料仕様（^{233}U 富化度、減速材/燃料体積割合(MFR : Moderator to Fuel volume Ratio)）の検討[1]を行った。これより、最適な燃料ケースを用いることで、重水冷却トリウム低減速加圧水型炉（Reduced moderation-PWR : RM-PWR）は増殖炉として成立可能性があることが示されている。

トリウム資源の本格的利用を行うにあたっては、短い時間でトリウム増殖炉の導入基数を増加させる必要があり、これを達成するには、複合システム倍増時間（CSDT : Compound System Doubling Time）の短いトリウム増殖炉が必要である。よって、本研究では、Th-^{233}U 酸化物燃料を装荷した重水冷却 RM-PWR を対象に、炉心燃料仕様と燃料管理方法の適正化により CSDT 短縮することを目的とした。

2. 評価手法の概要

経済的な観点からは、燃焼度を高めた方が良い。しかし、本研究では CSDT の短縮に着目しているため、簡易化したピンセル無限体系(1 バッチ炉心)を用いて燃焼度と増殖性能の関係を評価した。次に、より現実的な体系で CSDT を算出するため、図 1 のように 3 つの集合体を組み合わせた複数集合体無限体系（3 バッチ炉心）を用いた。ここでのパラメータは、^{233}U 富化度及び MFR とした。解析では汎用中性子・光子輸送計算モンテカルロコード MVP2.0 及び MVP-BURN と、核データライブラリーJENDL-4.0 を使用した。CSDT を算出する際は、先行研究[2]から炉外滞在時間を 5 年、稼働率を 92.4%とした。

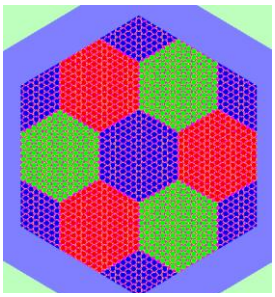

図 1 : RM-PWR の 3 バッチ炉心の概念図

3. 結果

ピンセル無限体系での燃焼度と増殖性能の計算により、燃焼度が 60GWd/t の場合に CSDT が最短となることがわかった。よって、複数集合体無限体系での燃焼度は 60GWd/t と設定した。

増殖性能の評価結果を表 1 に示す。ピンセル無限体系を複数集合体無限体系にすることで、運転サイクル末期での燃焼のへたりが無くなることから、燃焼末期での k-inf が高くなる。また、^{233}U 富化度を下げると、装荷時の fissile インベントリー量が減る。そして、MFR を小さくすることでより中性子スペクトルが硬くなる。これらの効果より、増殖性能が向上し、CSDT を最短で 71 年とすることができた。

表1 : CSDTによる増殖性能評価

計算体系	ピンセル無限体系	複数集合体体系		
バッチ数	1	3	←	←
富化度(wt%)	7.7wt%	←	7.4wt%	←
MFR	0.6	←	←	0.4
取出し燃焼度(GWd/t)	60	←	←	←
燃焼末期でのk-inf	1.0003	1.0109	1.0021	1.0078
Fissile Inventory Ratio	1.07	1.09	1.11	1.14
平均運転サイクル長(y)	9.26	3.02	←	←
原子炉倍増時間（ｙ）	112.6	103.1	84.3	62.7
CSDT（ｙ）	126.6	116.8	95.4	71.0

4. 結論

最適な炉心燃料仕様と燃料管理方法の適正化により、CSDT を 55 年短縮することができた。

参考文献

[1] 武曽　壮大, ‘高燃焼度・高増殖を達成する水冷却トリウム増殖炉の燃料仕様検討’ 原子力学会 2015 秋の大会 D26
[2] 原子力委員会 ‘各高速増殖炉の設計結果の比較’ 第 17 回策定会議 資料第 4 号

*Sota Muso[1], Naoyuki Takaki[1]
[1]Tokyo City Univ..