

蓄積型ペブルベッド高温ガス炉における CANDLE 燃焼方式の成立性

Feasibility of CANDLE burnup for pebble bed reactors with accumulative fuel loading

*西山 潤

東京工業大学 科学技術創成研究院 先導原子力研究所

蓄積型ペブルベッド炉に CANDLE 燃焼方式を適用することで、運転中の燃料逐次投入の必要がなく、球状燃料を用いることで CANDLE 燃焼状態への過渡変化や平衡状態からの逸脱に対応できる自由度のある原子炉が設計可能となる。蓄積型ペブルベッド高温ガス炉における CANDLE 燃焼方式について、燃料組成、可燃性毒物の有無などによる原子炉の成立性及び燃焼特性の評価を行った。

キーワード： CANDLE 燃焼炉、蓄積型ペブルベッド高温ガス炉、臨界計算、燃焼計算、可燃性毒物

1. 緒言

蓄積型ペブルベッド高温ガス炉は、球状の燃料要素を逐次炉心に追加して臨界を保つことで長期運転のための余剰反応度を持たず、さらに通常のペブルベッド型炉が持つ炉心下部の燃料取り出し機構を持たないことで、非常に単純な構造を持つ原子炉システムである。しかし、反応度価値の高い新燃料を炉心上部から投入する仕組みのため、炉心上部の燃料要素の積み上がり方などが炉心特性に大きく影響を及ぼすと懸念される。CANDLE 燃焼炉とは、炉心の燃料領域が中性子束分布、核種密度分布の形状が変わることなく自立的に炉心軸方向に一定速度で移動する燃焼方式の原子炉である。高温ガス炉での適用では濃縮ウラン燃料を用いて可燃性毒物を添加すること CANDLE 燃焼が整理することがプリズマティック型高温ガス炉で確かめられている[2]。一方で CANDLE 燃焼炉の平衡状態は燃料体積割合などの設計のみで決まってしまうため、核データの不確かさで未臨界となってしまう場合など、容易に反応度を追加する方法がない。そこで球状燃料要素を用いる蓄積型ペブルベッド高温ガス炉と組み合わせれば、この問題を解決できると考えた。本件球では、蓄積型ペブルベッド高温ガス炉における CANDLE 燃焼方式について、燃料組成、可燃性毒物の有無などによる原子炉の成立性及び燃焼特性の評価を行った。

2. 炉心燃焼計算

炉心計算を行う炉心として蓄積型ペブルベッド高温ガス炉の先行研究である SImanullang らの設計[2]を基準とした。図 1 に計算体系を示す。炉心の下部には起動炉心用の濃縮ウラン燃料を用いたペブル球を配置し、上部に可燃性毒物を追加したペブル球を配置した形になる。炉心燃焼計算は MVP-2, MVP-BURN を用いて計算を行った。

3. 結果

図 2 に、ウラン濃縮度 8%、可燃性毒物として燃料中にガドリニウム $0.06\text{g}/\text{cm}^3$ 添加したときの出力分布の変化を示す。炉心起動後 200 日経過から実効増倍率が一定となり、燃焼領域が軸方向に一定速度 ($0.6\text{ cm}/\text{day}$) で移動する CANDLE 燃焼が成立していることを確認した。

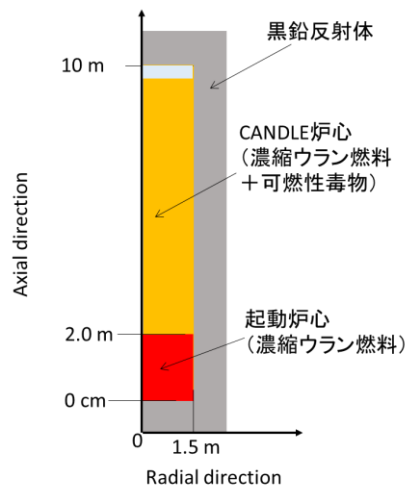


図 1 計算体系

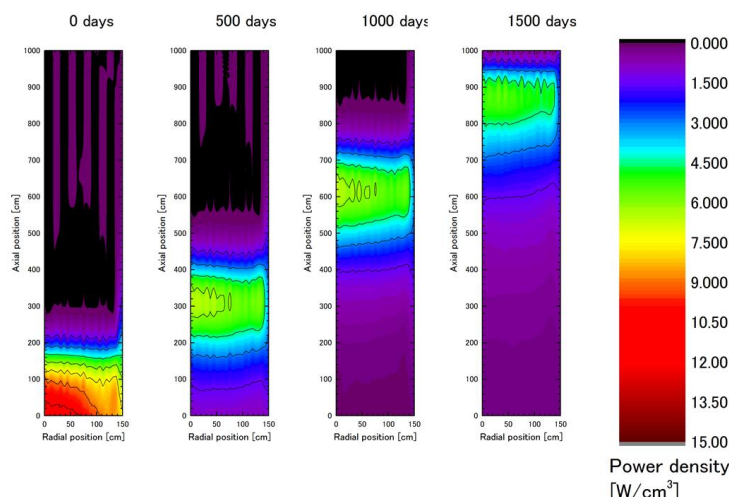


図 2 出力分布の変化

参考文献

[1] Y. Ohoka, H. Sekimoto, Nucl. Eng. Des., 229, 15-23 (2004).

[2] I.L. Simanullang, T. Obara, "Improvement of core design of small pebble bed reactor with accumulative fuel loading scheme," Ann. Nucl. Energy 94, 87-92 (2016).

*Jun Nishiyama

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