

# 蓄積型ペブルベッド高温ガス炉における初期炉心燃料装荷方法による臨界性評価

Criticality analysis for initial core of pebble bed reactor with accumulative fuel loading scheme

\*西山 潤<sup>1</sup>

<sup>1</sup>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型高温ガス炉における燃料装荷管理と安全評価の基礎研究のために、燃料装荷方法による球状燃料要素の炉内配置を離散要素法(DEM)による数値シミュレーションで明らかにするとともに、モンテカルロ法による炉心臨界計算による評価を行った。

**キーワード：** ペブルベッド高温ガス炉、離散要素法、モンテカルロ計算、臨界計算

## 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。プリズマティック型高温ガス炉と異なり、燃料要素である球状燃料は決まった位置に設置されず、また通常のペブルベッド型炉のように常に燃料球が炉心内を移動していくわけではないため、配置が燃料装荷方法に強く依存する。特に新燃料が炉心上部に投入されるため炉心上部の燃料が炉心特性に影響を及ぼすと考えられる。蓄積型ペブルベッド型高温ガス炉における燃料装荷管理と安全評価のために、球状燃料の初期装荷時の挙動と配置を離散要素法(DEM)による数値シミュレーションで明らかにするとともに、モンテカルロ法による炉心臨界計算で臨界性に与える影響の評価を行った。

## 2. 初期装荷時の挙動と配置と計算方法

参照炉心として Simanullang らの設計[1]を採用した。直径 3 m の炉内に直径 6 cm の燃料球を装荷する場合の燃料要素挙動を物理演算エンジン Bullet physics engine[2]を用いた離散要素法(Discrete Element Method: DEM)による数値シミュレーションを行った。計算では燃料球を剛体として扱い、反発係数、摩擦係数を設定し、重力を含め個々の燃料球に加わる力を時間ステップ毎に計算し位置と速度を決定する。本研究では冷却材である He の影響は無視した単純なモデルにおける解析を行った。初期炉心実効増倍率の計算は連続エネルギーモンテカルロ計算コード MVP-2.0 を使用した。

## 3. 結果

図 1 に燃料球 100 個を 200 回に分けて合計 20,000 個の装荷した際の計算例を示す。まず底面に燃料球が敷き詰められ順次上の層に積み重なっていくことが確かめられた。図 2 に高さ方向の体積割合を示す。底面近傍では球の細密充填である六方細密充填となるが、層が重なるごとに充填率が下がっていくことがわかる。これは細密充填からずれているためであり、ランダム充填で圧縮した場合は解析的に 63.4%が上限となることが予想されている[3]。

Simanullang らの初期炉心(炉心高さ 260 cm, 燃料球体積割合 61%, 燃料球数 98882 個)について、燃料球数を保存して充填率を細密の 74%とした場合、実効増倍率が 1.5%増加する結果となった。

## 参考文献

- [1] 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).  
 [2] E. Coumans, "Bullet physics engine." Open Source Software: <http://bulletphysics.org> (2010)  
 [3] C. Song, P. Wang, A. Makse, "A phase diagram for jammed matter," *Nature* **453**, 629-632 (2008).

\*Jun Nishiyama<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Laboratory for Advanced Nuclear Energy, Institute of Innovative Research, Tokyo Institute of Technology.

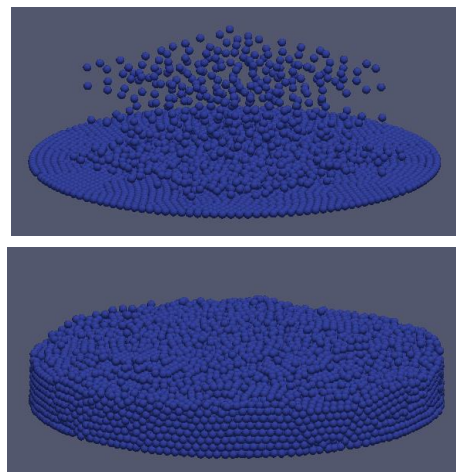


Fig. 1 Calculation results of initial fuel loading

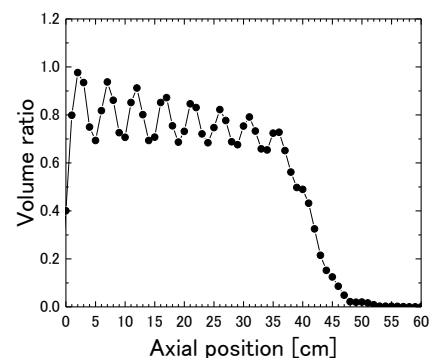


Fig. 2 Volume fraction of pebble ball