

固有安全性を有する自由出力規模 BWR : KAMADO-FSR とスペクトラル・シフト運転

Concept of a free-power scale BWR with inherent safety: KAMADO-FSR and spectral shift operation

*松村 哲夫¹、亀山 高範²

¹PowerM、²東海大

固有安全性と自由出力規模を特徴とする新しい BWR 概念を検討した。中空の SiC ブロック内に現行の燃料ペレットが挿入された燃料集合体が大気圧の原子炉水プールに設置される。燃料集合体の SiC ブロックが圧力境界となるため、圧力容器は不要である。燃料集合体の装荷数を増すことによって出力規模はモジュール化せずに 300 MWe から 1000 MWe まで容易に変更することができ、原子炉への投資とコストを 60%程度に削減できる。SiC ブロックの高熱伝導率と高融点により炉心のドライアウト状態も許容され、燃料集合体間のギャップ水を排除・注入することでスペクトラル・シフト運転が可能となり、サイクル末期の炉心平均反応度で 5% $\Delta k/k$ 程度の効果が得られる。

キーワード：固有安全、自由出力規模、KAMADO-FSR、SiC、BWR、スペクトラル・シフト

1. 炉心概念 UO₂燃料ペレットを収めた SiC ブロックからなる燃料集合体は大気圧の原子炉水プールに装荷され、燃料から発生した熱は燃料集合体内の BWR 条件相当の二相流に伝達される。LOCA/LOF 時には、崩壊熱は燃料集合体の表面から原子炉水プール（最終ヒートシンク）に直接放散され、固有安全性を達成する。冷却水は、炉心下部ハウジング内の水管から水ポンプの駆動により上昇流路（ Δ ）を通過して加熱されて蒸気となり、下降流路（ ∇ ）を通過して炉心下部ハウジング内の蒸気管に到達する（図 1）。SiC ブロックの高熱伝導率により、冷却材がドライアウト状態になっても燃料集合体の冷却は可能であり、冷却材は燃料集合体出口で完全に蒸気（クオリティ $\chi=1$ ）に変換され、汽水分離器や蒸気乾燥装置が不要になる[1]。有限要素法(LISA)による構造解析を行い、燃料集合体内の最大応力は 34MPa となった。SiC の引っ張り強度（200MPa 以上）から、SiC ブロックの燃料集合体の構造健全性は維持できる。また、燃料集合体の温度解析により、燃料ペレットの最高温度は、通常運転時に 1209K、LOCA/LOF 時に炉心出力の 10%崩壊熱で 942K となり、燃料の健全性は確保できる。

2. 核特性とスペクトラル・シフト運転 燃料集合体の外側の低温のギャップ水により KAMADO-FSR 燃料集合体と BWR 9 $\times$ 9 燃料集合体（Gd 添加ペレット不使用）の核特性・燃焼特性は同等である（図 2）。ギャップ水を排除する SiC プレート（図 1 内の破線位置）を運転サイクル初期に全挿入し、燃焼とともに徐々に引き抜き、運転サイクル末期に全引抜する（中性子スペクトラル・シフト運転）。本運転により、5 バッチ時の運転サイクル末期（1 サイクル=10.6MWd/kgU、5 サイクル取出時=52.9 MWd/kgU）の炉心平均の無限増倍係数 k_{∞} は 1.0398 から 1.0938 へ 5% $\Delta k/k$ 増加した（図 2）。これにより KAMADO-FSR 炉心は ²³⁵U 濃縮度と Gd 添加ペレット数を削減できる。

3. 自由出力規模と経済性

KAMADO-FSR は圧力容器が無く、出力規模の自由度が高いため、原子炉水プールに燃料集合体 40 $\times$ 40 のスペース（約 6m $\times$ 6m）を用意すれば、最初は 300 MWe の小型原子力発電所として稼働し、燃料集合体の増設により、容易に 1000 MWe まで拡張できる。300 MWe KAMADO-FSR の建設費は圧力容器と能動的な安全システムが無いことにより 650 MWe BWR プラントの 61% [2]、1000MWe までスケールアップした場合に建設費を発電量で割った発電コストは 650 MWe BWR プラントの 62%に、それぞれ低減できる。

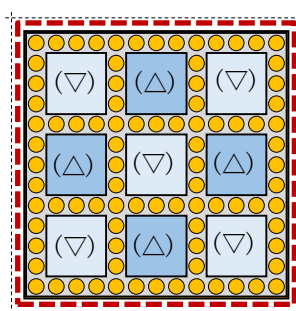
参考文献

[1] T. Matsumura, T. Kameyama : KAMADO-FSR (Free Scale Reactor), *NTHAS12* (2022).

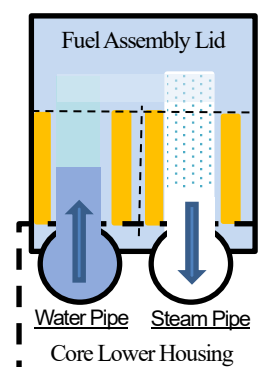
[2] Reduction of Capital Costs of Nuclear Power Plants, OECD/NEA-2088 (2000).

* Tetsuo MATSUMURA¹ and Takanori KAMEYAMA²

¹ PowerM, ² Tokai University



(平面図)



(立面図)

図 1. 燃料集合体の概念.

