低ボイド反応度及び再臨界回避特性を有する MA 含有金属燃料高速増殖炉に関する研究

Study on MA bearing metallic fuel fast breeder reactor with low void reactivity and recriticality prevention characteristics

*木村 優斗[1]，高木 直行[1]
[1]東京都市大学

高速炉に MA を含有させた金属燃料を装荷することで燃料増殖と MA 燃焼の両立を目指すとともに、高速炉固有の安全上の課題である正のナトリウムボイド反応度を低く抑え、CDA 時の燃料溶融による再臨界を回避する特性を有した炉心を設計する。

キーワード：Na ボイド反応度，再臨界回避，金属燃料，高速増殖炉，内部減速材付き内部ブランケット IBIM

1. 緒言

高速炉は、核分裂性物質の増殖や TRU 及び MA の燃焼などの様々な目的を達成することのできる炉心であるが、一般的に燃料への MA 混合はナトリウムボイド反応度（以降、ボイド反応度）を悪化させることが分かっている。また、軽水炉にはない固有の安全上の課題として正のナトリウムボイド反応度を有する点や炉心崩壊事故(CDA)時の再臨界等の問題がある。

本研究では、フランスが提案している電気出力 600MW の ASTRID 炉心[1]を参照炉心とし、酸化物燃料を MA 含有金属燃料に置換することで優れた燃料増殖と MA 燃焼性能を両立しつつ、低ナトリウムボイド反応度および再臨界回避特性を有する金属燃料高速炉の炉心概念設計を行った。

2. ナトリウムボイド反応度低減

ボイド反応度の抑制については、炉心体系(H/D)偏平化によるボイド化時中性子漏洩の増大や、内側炉心の軸方向中心付近に内部ブランケットを設置することで中性子吸収を増大する方策を検討した。後者の内部ブランケット導入策については、「燃料長固定」ケースと内側炉心の燃料長＋内部ブランケット長の全高を固定した「炉心高さ固定」ケースの２つのケースについて検討し、図１に結果をまとめた。「燃料長固定」ケースでは、内部ブランケット高さの増加は炉外への中性子漏れを少なくするため、ボイド反応度低減には有効でない。また、ボイド反応度が最も低い内部ブランケット 0cm の炉心では最大線出力が金属燃料の制限値である 500W/cm を超過する。一方、「炉心高さ固定」ケースでは、内部ブランケットを 25cm 以上設けることでボイド反応度低減に効果が見られ、最大線出力制限値も満足することが分かった。従って「炉心高さ固定」ケースを選択した。

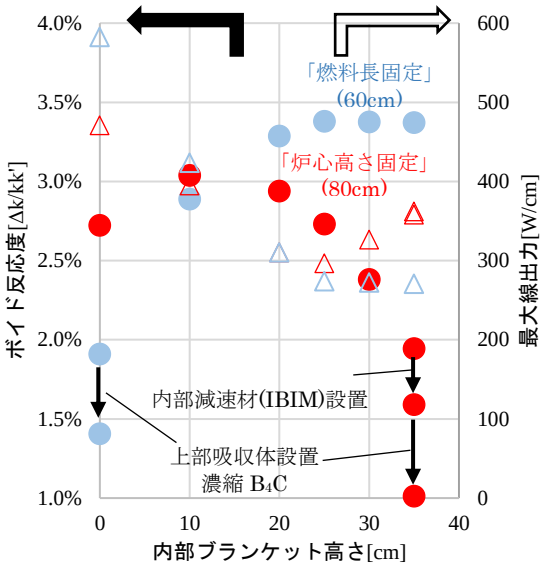

図 1. 内部ブランケットによるボイド反応度影響

更なるボイド反応度低減策として「内部減速材付き内部ブランケット IBIM (Inner Blanket with Inner Moderator)」を提案した。全高 25cm の内部ブランケットの上下中心に 1cm の YH_2 減速材を配置した IBIM は、ボイド化時における炉内のスペクトル硬化を防ぎ、ボイド反応度を低く抑える効果を有する。一方、定常運転時においては、減速された中性子はブランケットの U-238 に吸収されるため、近傍燃料部の線出力は制限値内に留まった。

3. 再臨界回避

再臨界回避の方法として、先行研究で MOX 炉心用に提案された「径方向ブランケット下部削除策」[2]を適用した。保守的評価とするため、ブランケットは溶けずに燃料のみが溶融する状態を仮定した。それゆえに径方向ブランケット下部の削除によって溶融燃料の広がる半径が拡大し、半径の 2 乗に比例して溶融炉心が広がりバックリングが効果的に増大する。削除する径方向ブランケット下部高さの増加に比例してコンパクションで投入される反応度は小さくなり、金属燃料炉心では径方向ブランケット 1 層且つ高さ 50cm 分を削除することで約－2.7% Δk/kk'の負のコンパクション反応度が加わることが分かった。

4. 結言

MA 含有金属燃料高速増殖炉を検討した結果、内部減速材付き内部ブランケット IBIM を導入することで低ナトリウムボイド反応度及び燃料増殖が可能であることが分かった。また再臨界回避には、径方向ブランケット下部を 50cm 削除することで負のコンパクション反応度を得られることが分かった。

参考文献

[1] C. Venard, et al.. “The ASTRID core at the end of the conceptual design phase” Paper IAEA-CN-245-288, FR17, Yekaterinburg, 2017.

[2] Keiko Chitose, Naoyuki Takaki, “Study on re-criticality free SFR with short length radial blanket and lower axial absorber” Elsevier Editorial System for Annals of Nuclear Energy, 2019.

*Yuto Kimura[1], Naoyuki Takaki[1]
[1]Tokyo City Univ.