

高速増殖炉における炉心燃料とブランケット燃料の配置最適化手法の研究開発

(受託者) 国立大学法人東北大学

(研究代表者) 若林利男 大学院工学研究科

(研究開発期間) 平成21年度～23年度

1. 研究開発の背景とねらい

高速増殖炉の炉心構成は、均質炉心の場合、出力分布の平坦化のために内側炉心と外側炉心の二領域として、外側炉心燃料のプルトニウム富化度を内側炉心燃料のプルトニウム富化度より高めている。それでも、特に外側炉心燃料の最外層燃料の出力が低く、それに伴い燃焼度が低くなっている。外側炉心の燃料集合体数が多いため、内側炉心及び外側炉心の各取出燃料の平均燃焼度も低くなっていた。

「もんじゅ」の低燃焼度炉心を例にとると、炉心取出平均燃焼度に比べて、外側炉心最外層燃料の燃焼度は、25%程度低くなっている(図1参照)。

そのため、経済性向上のために炉心取出平均燃焼度を増大させるには、外側炉心の炉心燃料の燃焼度を上げることが有効と考えられる。

その方策の1つとして、高速増殖炉のブランケット領域の中性子の減速及び反射効果を増大させて、外側燃料の出力の増大とそれに伴い燃焼度を向上させることが考えられる。

ブランケット燃料集合体の構成としては、従来、劣化ウランを収めたブランケット燃料要素のみで構成されていた。ブランケットの減速及び反射効果を増大させるには、ブランケット燃料集合体内に劣化ウラン要素だけでなく、減速及び反射効果が優れている物質(水素化ジルコニウム、重水素ジルコニウム等)を含む要素を適用することが有効であると考えられる。

本研究では、「もんじゅ」を例として、減速材を導入したブランケット燃料要素の材質・構造・配置並びに炉心燃料集合体及びブランケット燃料集合体の配置・交換手法の最適化により、炉心取出平均燃焼度を向上させる手法を開発し、実用炉への適用の観点から検討することを目的としている。

2. 研究開発成果

(1) ブランケット燃料要素の材質、構造、配置の検討

「もんじゅ」低燃焼度炉心を対象として、炉心燃料集合体とブランケット燃料集合体の集合体配置を変更した場合及び集合体の軸方向構造を変更した場合のパラメータサーベイを炉心解析用モンテカルロコード MVP を用いて実施し、燃焼度、増殖比、出力ピーキング係数等の主要炉心特性に与える影響を明らかにした。更に、これらの成果に基づき、燃焼度向上の観点から最適と考

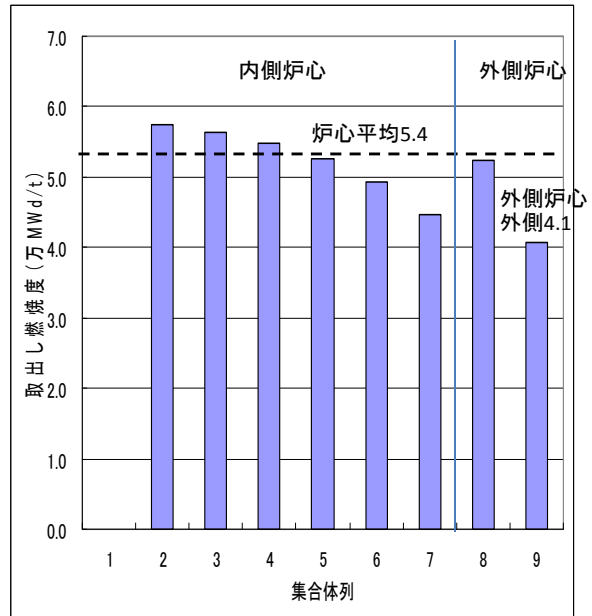


図1 「もんじゅ」の取り出し燃焼度分布の例

えられるブランケット燃料要素の材質、構造、配置を決定した。図1に「もんじゅ」の炉心配置例を示す。減速材を用いた集合体を第1列ブランケット燃料集合体位置に配置することで、燃焼度、出力ピーキング係数は改善され、増殖比は低下することが分かった。また、軸方向出力平坦化のため軸方向構造変更（重水素密度が炉心中心で少なくなるように変更）をした場合について検討し、変更の影響は小さいことが分かった。

更に、燃焼度向上の観点から最適と考えられるブランケット燃料要素に配置する減速材として重水素を選定し、図3に示したような構造、配置を決定する（61本のZrD1.6減速材ピンを配置した場合）とともに、炉心平均燃焼度を約7%向上できる見通しを得た。この炉心は、燃焼度を向上できることから、運転サイクル日数を従来の123日から131日に伸ばすことができる見通しである。

(2) 炉心燃料集合体、ブランケット燃料集合体の配置・交換手法の検討

3次元燃焼解析コードを用いて、(1)で検討したブランケット燃料要素の材質、構造、配置を基にしたブランケット燃料集合体と炉心燃料集合体の炉心配置、燃料交換に関するパラメータサーベイを実施し、燃料交換パターンの変更が炉心燃料及びブランケット燃料の燃焼度、出力分布等に与える影響を明らかにした。

燃料交換パターンを変更した場合のパラメータサーベイでは、炉心燃料集合体の交換バッチ数4、ブランケット燃料集合体の交換バッチ数5を基本とした。図4に燃料交換パターンの例を示す。図4(a)は燃料交換パターン5の全炉心の燃料交換順番を示しており、図4(b)は3つの燃料交換パターンの中心部18体の燃料交換順番を示している。解析の結果、ブランケット燃料集合体に61本のZrD1.6減速材ピンを配置した場合、燃料交換パターンの変更による出力ピーキングの変化は2%程度と小さいことが分かった。また、ブランケット燃料集合体に61本のZrD1.6減速材ピンを配置した場合は、減速材ピンをブランケット燃料集合体に配置しない場合に比べて、出力ピーキングは低減することが分かった。また、61本のZrD1.6減速材ピンを配置した場合の燃焼度向上分7%は、運転日数増加（123日から131日）に利用できることが分かった。

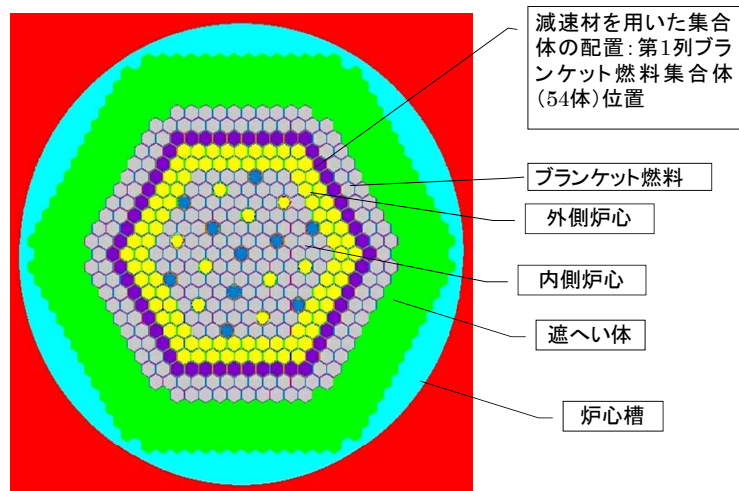


図2 「もんじゅ」炉心内配置例

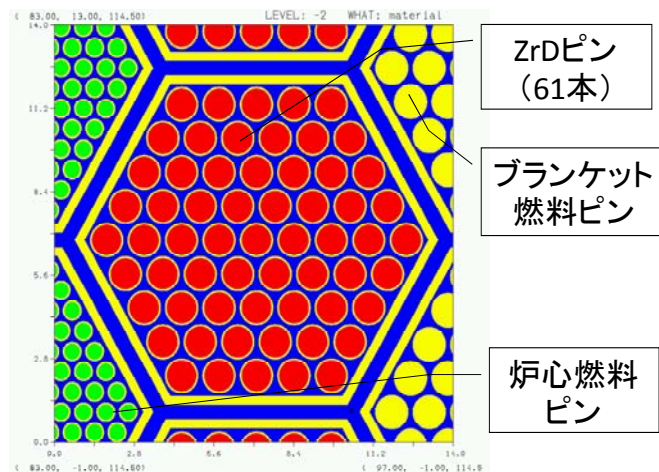
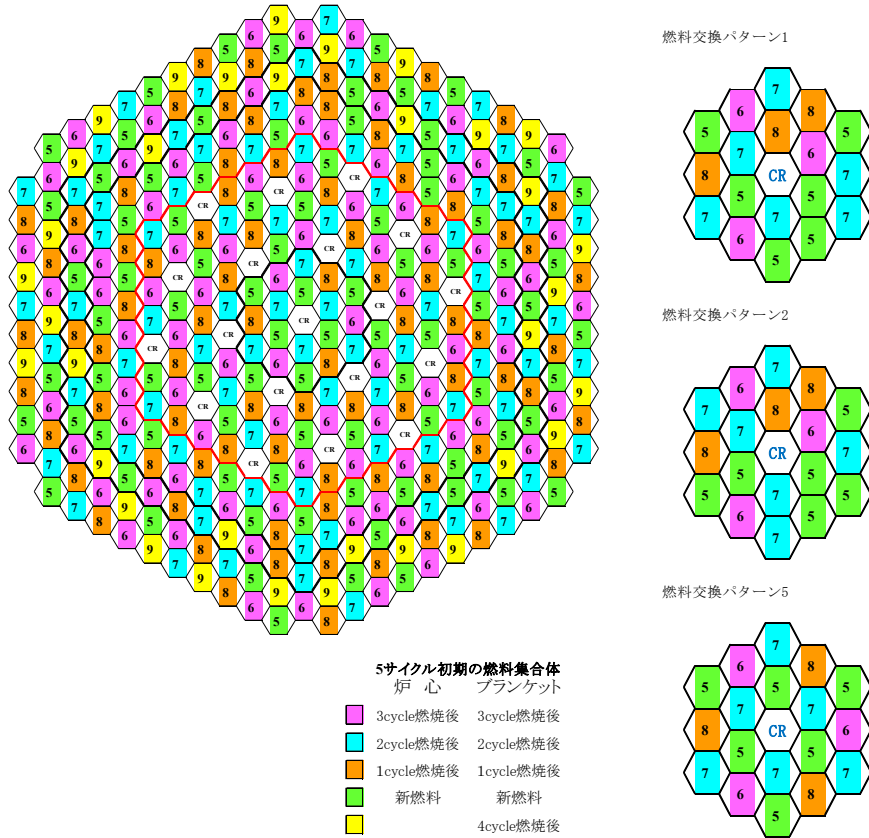


図3 ブランケット集合体内の減速材ピン配置



集合体内（六角形）の数字は燃焼サイクル数を示す。

(a) 燃料交換パターン5の全体図

(b) パラメーターサーバイの燃料部パターン例

図4 燃料交換パターンの例

(3) 炉心特性、熱特性、安全性の検討

減速材付炉心の安全性検討の一環として、安全上重要な反応度係数（ボイド反応度、燃料温度係数等）、制御棒反応度（主炉停止系、後備炉停止系）等の解析をモンテカルロコードMVPで実施し、炉心特性に与える影響を明らかにした。更に、ブランケット燃料集合体の最大線出力の抑制、炉心燃料集合体の局所出力ピーキングの抑制について検討した。

表1にドップラ係数の解析結果を、表2にはボイド反応度(全炉心ボイド)の解析結果を示す。ブランケット燃料集合体に61本のZrD1.6減速材ピンを配置した炉心については、

表1 ドップラ係数の解析結果の比較

炉心	燃焼時点	ドップラ係数 ($\Delta \rho / KdT/T$)
減速材付炉心	平衡末期	-9.86E-3
減速材無炉心	平衡末期	-6.70E-3

表2 ボイド反応度の解析結果の比較

炉心	燃焼時点	ボイド反応度 ($\% \Delta \rho$)
減速材付炉心	平衡末期	1.05
減速材無炉心	平衡末期	1.14

減速材ピンをブランケット燃料集合体に配置しない炉心と比べて、ドップラ反応度係数が約 50%大きくなり、一方、ボイド反応度、燃料温度係数、制御棒価値は大きく変わらないことが分かった。

また、ブランケット燃料集合体に 61 本の ZrD1.6 減速材ピンを

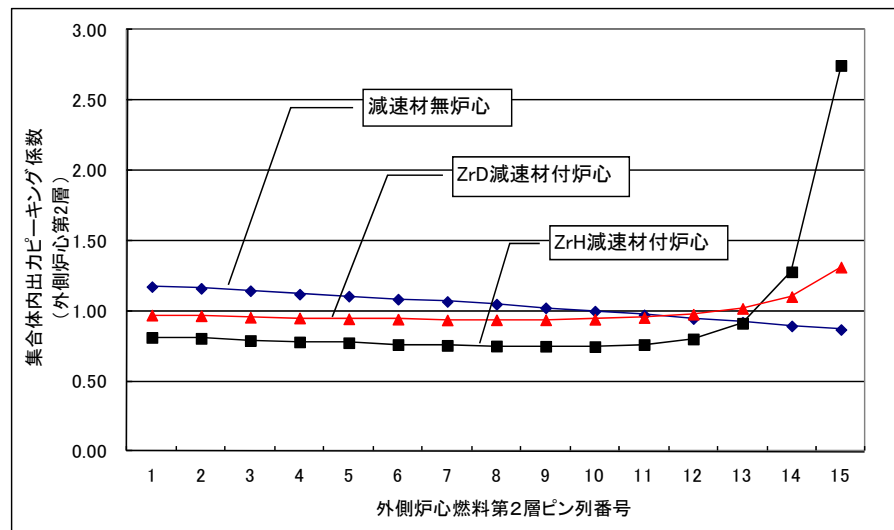


図5 集合体内出力ピーキングの解析結果の比較

配置した炉心のブランケット燃料集合体の最大線出力は約 180W/cm で、減速材ピンをブランケット燃料集合体に配置しない最適化炉心のブランケット燃料集合体の最大線出力の約 290W/cm より小さく、最大線出力の抑制ができていたことが明らかになった。

減速材に隣接することで大きくなると予測された外側炉心第 2 列目燃料集合体の局所出力ピーキングの抑制について検討を行なった。図 5 に示すように減速材付炉心における外側炉心第 2 列集合体の集合体内出力ピーキング係数は、約 1.2 となった。これは、水素減速材を用いる場合の集合体内出力ピーキング係数約 2.7 に対し、重水素減速材を用いることで大幅に低減でき、減速材無炉心並みに局所出力ピーキングを抑制できることが分かった。

3. 今後の展望

今後の展望を以下に示す。

「もんじゅ」低燃焼度炉心を対象として、3次元燃焼解析コードを用いて、ブランケット燃料集合体と炉心燃料集合体の炉心配置、燃料交換に関するパラメータサーベイを実施し、炉心平均燃焼度を向上させる最適な配置・燃料交換方法を明らかにする。なお、今後の検討で使用するブランケット燃料集合体は平成 22 年度に検討した最適と考えられるブランケット燃料要素の材質、構造、配置を基にする予定である。

平成 22 年度に検討した炉心平均燃焼度を向上させた炉心の出力分布から、流量配分を検討し、被覆管最高温度を評価する。また重水素化物等の減速材の導入による炉心の安全性については、重水素等の解離・漏洩による炉心特性への影響を評価し、安全性を確認する。

平成 22 年度に検討した最適と考えられるブランケット燃料要素の材質、構造、配置及び軸方向しゃへい構成を基にして、ブランケット集合体の構造を設定する。ブランケット集合体の流量配分結果に対して圧力損失を評価し、流量調節機構を設計する。これらにより、減速材を装荷したブランケット集合体の構造設計をまとめ、実用炉に適用できる概念を提示する。

更に、3年間の研究成果をまとめて、炉心平均燃焼度を向上させる手法及びその実用炉への適用性を明らかにする。