核融合―核分裂ハイブリッド炉原型炉のための ブランケット核熱特性に関する研究（2）

Study on nuclear and thermal characteristics of fission blanket for prototype nuclear fusion hybrid reactor. (2)

*北薗　孝太[1]，松本　哲男[1]，
[1]東京都市大学大学院、工学研究科

高いエネルギー増倍と中性子増倍が期待できる核融合―核分裂ハイブリッド炉(以下、ハイブリッド)において、ブランケット内に中性子増倍材として、核燃料を装填した際の核熱特性を三次元モンテカルロ法コード：MCNPを用いて計算を行い、ハイブリッド炉の成立性の検討を行った。

キーワード：ハイブリッド炉 1，MOX 燃料 2，核熱特性 3

1. 緒言

核融合炉発電は、資源量や安全性の観点から、今後革新的エネルギー源として期待されている。しかし、技術的課題は多く、その実現はまだ不透明である。本研究では、ITER 程度の技術レベルで核融合発電を実現するために、高いエネルギー増倍と中性子増倍が期待できるハイブリッド炉について検討を行った。

ブランケット内に核燃料(MOX 燃料)を装填したハイブリッド炉の核熱特性を、三次元モンテカルロ法コード(MCNP)を用いて核燃料 Pu 富化度及び Li-6 濃縮度を変化させた時の実効増倍率(k-eff)やトリチウム増殖比(TBR)等の計算を行うことで把握する。これらの計算結果から、ブランケット内核熱特性と伝熱流動計算を行うことで、ハイブリッド炉ブランケットの核熱特性と除熱性能の成立性の検討を行った。

2. 計算方法

国際熱核融合実験炉(以下、ITER)及び核融合原型炉 SlimCS の設計概念[2)]を参考に、ブランケットでの電磁力や幾何学バックリングを考慮して、ブランケット寸法を幅 1.0ｍ×高さ 1.2ｍ×厚さ 0.4ｍとし、内部に円筒管圧力容器を３つ配置した。円筒圧力管は、中性子の漏れや冷却水からの内圧に耐えうる構造などを考慮して配置し、その内部に中性子増倍材として軽水炉用 MOX 燃料の仕様を模擬した燃料棒を、燃料有効長 90cm で 1 つの圧力管内に 333 本配置した。ブランケット内部の構造及び寸法の概略を図 1 に示す。計算においては、Pu 富化度や Li-6 の濃縮度、核燃領域とトリチウム増殖材領域の配置などを考慮しつつ設計目標値を満たすようにブランケット内核特性を連続エネルギーモンテカルロ法計算コード MCNP[1)] により解析を行った。MCNP により k-eff 及び TBR、核燃料棒一本一本の熱出力密度を計算し、最適な核熱特性の検討を行った。また、計算した核燃料棒の熱出力密度と一次元熱伝導方程式から燃料中心温度及び W-3 式により DNBR の算出を行った。

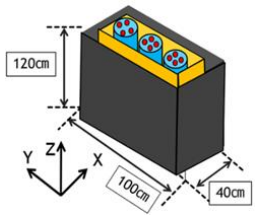


図 1：計算体系

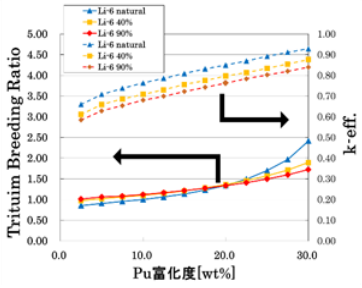


図 2：各 Pu 富化度における実効増倍率と TBR

3. 結果・考察

k-eff 及び TBR の設計目標値は、Li-6 が天然比及び 40%濃縮のとき Pu 富化度が 22.5wt%～30.0wt%の範囲で、Li-6 が 90%濃縮のとき 25wt%～30wt%の範囲で設計目標内を満たした。また、核燃料領域における熱的設計を PWR 設計方針に基づき行った結果、核的設計で示した各 Li-6 濃縮度におけるそれぞれの Pu 富化度の時の燃料中心温度及び最大線出力密度、DNBR は設計目標値を満たす結果となったことから、成立性を確認した。

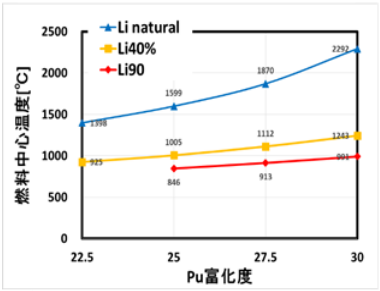


図 3：最大線出力燃料棒における燃料中心温度

参考文献

[1] J.A.Briesmeister,MCNP-A general Monte Carlo N-particle Transport code version 4C,LA-13709M(2000)

[2] 日本原子力研究開発機構(JAEA)　JAEA-Research 2010-019 核融合原型炉 SlimCS の概念設計　2010

[3] 北薗孝太，日本原子力学会 2015 年春の大会，核融合―核分裂ハイブリッド原型炉のためのブランケット核熱特性に関する研究

*Kota Kitazono[1], Tetsuo Matsumoto[1]

[1]Tokyo City Univ.