

Title	Neutronics Studies on Advanced Blankets for Tokamak Fusion Reactors
Author(s)	林, 孝夫
Citation	大阪大学, 2010, 博士論文
Version Type	
URL	https://hdl.handle.net/11094/57564
rights	
Note	著者からインターネット公開の許諾が得られていないため、論文の要旨のみを公開しています。全文のご利用をご希望の場合は、 〈a href="https://www.library.osaka-u.ac.jp/thesis/#closed"〉 大阪大学の博士論文について 〈/a〉 をご参照ください。

Osaka University Knowledge Archive : OUKA

<https://ir.library.osaka-u.ac.jp/>

Osaka University

氏名	林 孝 夫 はやし かつ 夫
博士の専攻分野の名称	博士(工学)
学位記番号	第 24086 号
学位授与年月日	平成22年3月23日
学位授与の要件	学位規則第4条第2項該当
学位論文名	Neutronics Studies on Advanced Blankets for Tokamak Fusion Reactors (トカマク型核融合炉におけるブランケットの高度化に関する中性子工学研究)
論文審査委員	(主査) 准教授 村田 勲 (副査) 教授 飯田 敏行 教授 堀池 寛 教授 上田 良夫 教授 兒玉 了祐 教授 田中 和夫

論文内容の要旨

核融合炉ブランケットは、核融合炉の真空容器内部においてプラズマを取り囲むように設置され、DT反応の燃料となるトリチウムの生成および回収(増殖機能)、中性子の運動エネルギーを熱エネルギーとして回収(核熱変換、発電に適する高温除熱機能)、および放射線に対する周辺機器・生体の保護(遮蔽機能)の3つの重要な機能を果たす、核融合炉がエネルギー生産システムとなるための中核的な機器である。

DT核融合炉を運転するためにブランケット内でのトリチウム増殖比(TBR)はlocal TBR >1.35が要求されている。またインボード側では構造の簡素化が求められておりトリチウム増殖機能の除去が1つの選択肢である。トリチウム増殖材:Li₂Oと中性子増倍材:Beとの組み合わせにおいて、インボード側の増殖ブランケットの代わりに鉛反射材を設置すればA<2.9の領域でLocal TBR>1.35となり、低アスペクト比の原型炉(A=2.6)ではアウトボード側の増殖ブランケットのみでTBR自己充足が可能であることを示した。これによりトリチウム自己充足とインボード側の構造を簡素化が両立できることを示し、燃料供給に関する経済性向上、インボード側機器の健全性向上および費用削減に寄与できることを示した。

核発熱および放射化の低減のために高性能な遮蔽材料が求められており、水素吸蔵材料等の先進材料の中性子およびガンマ線の遮蔽性能を評価した。Mg(BH₄)₂、TiH₂およびZrH₂は、鉄+水よりもそれぞれ23%、20%および19%遮蔽材の厚さを減らすことができることが分かった。Mg(BH₄)₂はホウ素の¹⁰B(n, α)⁷Li反応の効果により100 eV以下の中性子束が小さく(n, γ)反応の主な原因となる低エネルギー中性子の遮蔽性能が高かった。またMg(BH₄)₂およびTiH₂はフェライト鋼と混合することによりガンマ線の遮蔽性能を向上できることを示した。これらの先進遮蔽材料を用いることにより放射化および核発熱の低減が可能となり、線量率低減による安全性向上および炉全体の小型化による費用削減に寄与できることを示した。

核融合炉から発生する放射性廃棄物を低減するためにフェライト鋼の組成調整による放射性廃棄物の低減効果を評価した。構造材であるフェライト鋼は、その強度特性を維持するために窒素を200 ppm以上含む必要があるが、窒素同位体からC-14(半減期:5730年)が生成され、処分上の課題となっている。窒素を天然同位体比から95%N-15に濃縮することによりC-14濃度を41%以下に低減できることが分かった。第一壁、交換ブランケットおよび常設ブランケット等のすべての構造物において95%N-15濃縮によりC-14濃度が国の定める浅地埋設限度(3.7×10^7 Bq/kg)を下回ることにより浅地埋設が可能となり、放射性廃棄物の処分費用削減および線量率低減による安全性向上に寄与できることを示した。

プラズマから放出される中性子がブランケット中性子工学の基盤となっており、中性子計測がトリチウム増殖比、核発熱、放射化および核融合出力の評価に必要とされているため中性子計測の高度化を実施した。小型の検出器(MFC)を新たに製作し、JT-60Uの強磁場中(約2T)で中性子計測を実施した。ダイナミックレンジ3桁に渡って時間分解能:1msおよび $\sigma=3\%$ で計測出来ることを示した。今後NBIブレイクダウン時のノイズ信号を抑制することにより、MFCはITERを含めた核融合炉における中性子計測に利用可能であることを示した。非常に狭い空間であるブランケット背面においてMFCを用いて中性子を計測することによりTBRの高精度測定等が可能となり、核融合炉の信頼性向上に寄与できることを示した。

本研究によりブランケット中性子工学の主要部分であるトリチウム自己充足、遮蔽強化、放射性廃棄物低減および中性子計測に関して、トカマク型核融合炉の安全性、経済性および信頼性を向上させることができた。

論文審査の結果の要旨

本論文はトカマク型核融合炉においてトリチウム増殖比、中性子遮蔽、核発熱、放射化および核融合出力等を評価するために重要であるブランケット中性子工学研究についてまとめられており、以下の5章および付録から構成されている。

第1章では序論として本研究の背景となるトカマク型核融合について述べた後、ブランケット中性子工学や中性子計測等の詳細について言及し、ブランケットの高度化を本研究の目的とすることについて記述されている。

第2章ではインボード側に増殖ブランケットの代わりに反射材を用いた場合のトリチウム自己充足について述べている。鉛やベリリウム製のインボード側反射材によりアウトボード側のトリチウム増殖比が増加することを示している。低アスペクト比の核融合炉においてインボード側の増殖ブランケットの代わりに鉛反射材を設置し、トリチウム増殖材:Li₂Oと中性子増倍材:Beとの組み合わせを用いた場合、アウトボード側の増殖ブランケットのみでトリチウム自己充足が可能であることを示している。これによりトリチウム自己充足とインボード側の構造を簡素化が両立できることを示し、燃料供給に関する経済性向上、インボード側機器の健全性向上および費用削減に寄与できることを示している。

第3章では先進遮蔽材料を用いた中性子遮蔽の強化について述べている。Mg(BH₄)₂、TiH₂、ZrH₂およびZr(BH₄)₄は、鉄+水よりもそれぞれ23%、20%、19%および6.5%遮蔽材の厚さを減らすことができる。これらの先進遮蔽材料を用いることにより核発熱低減および炉の小型化が可能となり、冷却設備や炉全体の経費低減に寄与できる。また先進遮蔽材料を用いて機器の放射化を低減することにより、線量率低減による安全性向上および放射性廃棄物低減に寄与できることを示している。

第4章では窒素同位体組成の調整による核融合炉から発生する放射性廃棄物の低減について述べている。構造材であるフェライト鋼は、その強度特性を維持するために窒素を200 ppm以上含む必要があるが、窒素同位体からC-14(半減期:5730年)が生成され処分上の課題となっている。窒素を天然同位体比から95%N-15に濃縮することによりC-14濃度を低減できることを示している。第一壁、交換ブランケットおよび常設ブランケット等のすべての構造物におい

て95%N-15濃縮によりC-14濃度が国の定める浅地埋設限度(3.7×10^7 Bq/kg)を下回ることにより浅地埋設が可能となり、放射性廃棄物の処分費用削減および線量率低減による安全性向上に寄与できることを示している。

第5章では研究全体の総括を述べている。本研究では主に核融合原型炉を対象にしてきたが、本研究で得られた知見は商業炉や他のトカマク装置でも有用である。

付録Aでは新たに開発したマイクロフィッションチャンバーを用いて実施した中性子計測の高度化について述べている。ブランケット中性子工学はプラズマから放出される中性子が基盤となっており、中性子計測がトリチウム増殖比、核発熱、放射化および核融合出力の評価に必要とされている。今後NBIブレイクダウン時のノイズ信号を抑制することにより、マイクロフィッションチャンバーは核融合炉における中性子計測に利用可能であることを示している。NBIのノイズ信号を除けば、マイクロフィッションチャンバーを用いた中性子計測は、核融合出力、核発熱およびトリチウム増殖比等を評価するために十分な精度を達成し、核融合炉の信頼性向上に寄与できることを示している。

以上の通り、本研究によりブランケット中性子工学の主要部分であるトリチウム自己充足、遮蔽強化、放射性廃棄物低減および中性子計測に関して、トカマク型核融合炉の安全性、経済性および信頼性の向上について論述しており、その原子力エネルギー分野への寄与は大きい。よって本論文は博士論文として価値あるものと認める。