

核融合炉における非等方中性子放出とその応用に関する研究

浦川, 知己

<https://hdl.handle.net/2324/4475112>

出版情報 : Kyushu University, 2020, 博士 (工学), 課程博士
バージョン :
権利関係 :

氏 名 : 浦川 知己

論 文 名 : 核融合炉における非等方中性子放出とその応用に関する研究
区 分 : 甲

論 文 内 容 の 要 旨

核融合炉では、核燃焼プラズマ内の重水素-トリチウム (DT) 及び重水素-重水素 (DD) 核融合反応で生じる中性子を利用し、核融合ブランケット内で熱エネルギーの回収、燃料生産を行う。核融合炉が成立する為には、トリチウムを生産・回収、プラズマへ再注入する燃料サイクルの成立が必要であり、核融合ブランケットには核融合反応で消費した量以上のトリチウム生産が求められている。中性子はプラズマ診断にも利用される。プラズマ温度、核融合出力、燃料イオン比等の診断は核融合炉の運転維持及び機器保全のため必要不可欠である。中性子計測は近年の重水素プラズマを用いた基礎実験においても高速イオン挙動の解明に利用されている。

従来、核融合ブランケット核特性の評価およびプラズマ診断において、プラズマから発生する中性子のエネルギースペクトルは単色または Gauss 分布と仮定されてきた。しかし、実際の核融合プラズマでは、外部加熱や核反応で生成された高速イオンによりイオンの速度分布関数上に非 Maxwell 成分が形成され、反応生成粒子の放出スペクトルはそれに応じて Gauss 分布から高・低エネルギー両側に歪む。さらにビーム加熱等で、高速イオンが特定の方向に入射される場合、非 Maxwell 成分も非等方となり、反応生成粒子の放出スペクトルにも非等方性が現れる。本研究では、この様な非等方性を考慮した中性子放出スペクトルを想定し、(1)核融合ブランケットにおけるトリチウム増殖性能への影響、(2)重陽子密度 n_d とトリトン密度 n_t の燃料イオン比 (n_t/n_d) 診断性能の改善、を検討し、(3)中性子束空間分布計測による高速イオン診断手法を提示した。

本論文の第一章では、核融合炉の開発状況及び、核融合炉における中性子利用に関してその概要を説明し、本研究の背景と目的を述べた。

第二章では、本研究で想定した燃料イオンの速度分布関数及び中性子の二重微分放出スペクトルの解析手法に関して説明した。また、代表的なプラズマにおける中性子放出スペクトルを示し、その特徴を述べた。

第三章では、中性粒子ビーム入射(NBI)加熱プラズマにおける中性子放出スペクトルの歪みが、核融合ブランケットのトリチウム生産性能に及ぼす影響を評価した。中性子放出スペクトルの高エネルギー側への歪みがブランケット増殖層における中性子増倍反応の反応率を増加させることで、トリチウム生産性能を向上させることを指摘した。また中性子増倍材の含有割合増加、NBI 出力・エネルギーの上昇により、この影響がより大きく現れ、単位時間当たりのトリチウム生産量が 2-8% 程度増加する。本研究は放出スペクトルの歪みが核融合ブランケット核特性に及ぼす影響を初めて指摘したものであり、核融合炉における燃料サイクルの開発研究に貢献する。

第四章では、NBI 加熱プラズマにおける中性子放出スペクトルの非等方性を利用した、トリトン/重水素数密度比 (n_t/n_d 燃料イオン比) の診断手法に関して検討した。DT 及び DD 反応による中性子発生率をそれぞれ計測し、その比から燃料イオン密度比を診断する方法が提示されているが、DD 反応で発生する中性子の計測が DT 反応で発生する中性子の減速成分により妨げられることが課題として挙げられてきた。本論文では NBI 加熱時の中性子発生率増加及び放出スペクトルの非等方性

を利用する事で、より幅広いプラズマパラメータに適応可能な燃料イオン比診断手法を提案した。DD 反応から生じる中性子の放出スペクトルは、ビーム入射方向成分が Gauss 分布から高エネルギー側へ歪むが、この影響が Gauss 分布のピークエネルギー領域(2.4–2.5 MeV 付近)にも及び、このエネルギー領域の発生率にも非等方性が現れることを指摘した。放出スペクトルが非等方性を持つ場合、入射する中性子のエネルギースペクトルは検出器の設置方向に依存する。計測するエネルギー領域の中性子入射数が最大となる方向に検出器を設置することで DT 反応から発生する中性子の減速成分が 10–50%程度低下することを指摘した。その結果として測定可能なプラズマパラメータの範囲が広がった。特に、NBI 加熱の影響が大きくなる低温・低密度領域では、 $n_t/n_d > 2.0$ 以上でも測定可能となることを示した。本研究で提示した手法は幅広いプラズマパラメータ領域に適用可能であることから、核融合炉の安定した運転に貢献するものである。

第五章では、装置外中性子束の空間分布の計測からプラズマ内で発生する中性子の非等方放出スペクトルを診断する手法を提示した。非等方的な放出の影響が中性子束にも及ぶことに着目し、真空容器外の中性子束空間分布の計測から放出スペクトルを診断する方法を検討した。計測するエネルギー領域を Gauss 分布のピーク値より高エネルギー側に限定することで、非等方放出の影響が顕著に現れ、トーラス赤道面における中性子束は頂点のそれと比較し約 50%高くなること、赤道面から頂点に向かうにつれ中性子束が低下することを示した。この傾向には非等方放出スペクトルの特性が反映されていることから、炉外中性子束空間分布を適切に計測することで、プラズマ内で発生する非等方放出スペクトルを診断できる可能性がある。本研究の結果は、新たな高速イオン診断手法の確立に貢献するものである。

第六章では、本研究で示した結果を総括し、今後の展望を述べた。

〔作成要領〕

1. 用紙はA4判上質紙を使用すること。
2. 原則として、文字サイズ10.5ポイントとする。
3. 左右2センチ，上下2.5センチ程度をあげ，ページ数は記入しないこと。
4. 要旨は2,000字程度にまとめること。
(英文の場合は，2ページ以内にまとめること。)
5. 図表・図式等は随意に使用のこと。
6. ワードプロ浄書すること（手書きする場合は楷書体）。
この様式で提出された書類は，「九州大学博士学位論文内容の要旨及び審査結果の要旨」
の原稿として写真印刷するので，鮮明な原稿をクリップ止めで提出すること。