

現在の核融合研究の課題の一つであるダイバータへの熱、粒子束を低減させるため、ダイバータ内の水素分子密度を高く保ち体積再結合を誘起し、いわゆる非接触状態を実現することが考えられている。特にダイバータ板近傍においては放出中性水素粒子と電子との相互作用、及びシース形状が第一壁への粒子、熱流束を決定するが、トカマク等の閉じ込め装置ではこの領域が狭いこと、基本的にパルス運転であること、観測ポートに制限があること等の理由からこれらの物理的性質を十分明らかにするには至っていない。本論文は、ダイバータ領域の開いた磁力線に沿って運動するプラズマを模擬する直線型定常境界プラズマシミュレータ MAP-II におけるプラズマのパラメータの計測および照射ターゲットの熱負荷の計測をもとに、プラズマの諸パラメータおよび衝突過程を用いて熱負荷の定式化を与えるものである。

本論文の構成は次の通りである。

第1章は序論であり、本研究の背景と従来の関連研究について概説し、目的と意義を述べている。

第2章では本研究に用いた実験装置、及び計測システムの概要について述べている。

MAP-II 装置は Lab6 熱陰極のアーク放電下流のプラズマを直線型の磁場配位で閉じ込め、ターゲット板に照射することによって、ダイバータ領域の開いた磁力線のプラズマを模擬することを目的としたものである。プラズマパラメータの測定には静電プローブを、水素原子・分子のスペクトル計測には可視分光器を、ターゲット板の熱負荷の測定には冷却水の温度変化を用いている。これらのシステムの詳細と較正等について述べてある。

第3章では、プラズマ対向壁近傍の水素原子・水素分子の分光スペクトルの計測結果について述べている。ターゲット近傍での水素原子バルマー線 $H\alpha$ の分光測定から、このスペクトルが高エネルギー成分、低エネルギー成分の2成分で構成されていることを観測した。高エネルギー成分は反射水素原子を表し、低エネルギー成分は水素分子からの解離水素原子を表すことが示された。ターゲット材料としてグラファイトとタングステンとを比較することにより、グラファイトターゲット近傍で強い低エネルギー成分強度が観測されたこと、バルマースペクトル強度比 $H\beta/H\alpha$ 、 $H\gamma/H\alpha$ はグラファイトターゲット近傍でタングステンより小さいこと、及びそれについての衝突輻射モデル計算による解析から、水素プラズマ照射下でグラファイト材の水素分子放出割合が高く、ターゲット近傍での水素分子密度が高いことが示された。また、水素分子の Fulcher α 線の測定から、プラズマ中に存在する水素分子は振動励起状態にあることを示した。

第4章では、プラズマ対向壁としてグラファイト、タングステンをを用いた場合、熱負荷に違いがあることを述べている。定常状態における熱負荷は冷却水の温度上昇であらわされ、プラズマからの流入熱、反射熱、が関わっている。測定の結果、熱負荷はグラファイトターゲットを用いる方がタングステンターゲットの場合より有意に熱負荷が上昇していることが示された。これはグラファイト材料から放出された分子のイオン化により、ターゲットに流入するイオンの粒子束が増加していることを反映しているとの着眼点を得た。

第5章では、前章の現象を原子・分子プロセスの見地から定式化するため、熱負荷を決定する物理描像をモデル化し、実験結果と比較・検討を行った結果について述べている。ターゲット材をタングステンに固定することによって材料による差異を除去し、水素ガスパフによって熱負荷の応答を測定した。放電中に水素ガスを導入した場合の熱負荷の変化は電子密度、イオン音速、シースポテンシャル各々の変化率の積で記述でき、それぞれの項の競合過程で記述できる。その結果、シース形成に寄与する高速電子がバルク成分、すなわちボーム条件でできる場合は電子の非弾性衝突によりエネルギーが損失した結果生じる非ボルツマン成分が電子-電子衝突により緩和されていく過程でシース電位が変化する、というモデルで記述できることを示した。一方、シース形成に寄与する高速電子が非ボルツマン分布をした裾野の電子である場合には、高速電子の衝突過程による電子エネルギー分布関数の変化で記述することができることを示した。両モデルを特徴付けるパラメータは電子温度に対する高エネルギー成分の平均エネルギーであることを示し、ガスパフ時の熱負荷がプラズマの条件により上昇したり下降したりする実験事実を定量的に説明できることを示した。

以上のように、本論文はプラズマ対向壁近傍で、原子の反射、分子放出の挙動を実験的に観測したこと、水素分子が振動励起状態にあることを確認したこと、及び対向壁材料から放出された分子、あるいは外的に導入された分子の存在による熱負荷の応答を線形近似により定式化し、実験結果をよく説明できることを示した点で、プラズマ理工学、特にプラズマ中の原子・分子過程、プラズマ-壁相互作用研究の発展に寄与することが大きい。よって本論文は博士(工学)の学位請求論文として合格と認められる。