

25pA14P

ヘリコン波放電型コンパクトダイバータシミュレータにおける水素原子の加熱機構

Heating mechanism of H atom in a compact divertor simulator with helicon-wave discharge

奥村裕司, 荒巻光利, 佐々木浩一, 後藤基志<sup>1)</sup>, 武藤貞嗣<sup>1)</sup>, 森田繁<sup>1)</sup>

名大工, 核融合研<sup>1)</sup>

OKUMURA Yuji, ARAMAKI Mitsutoshi, SASAKI Koichi, GOTO Motoshi<sup>1)</sup>, MUTO Sadatsugu<sup>1)</sup>, MORITA Sigeru<sup>1)</sup>

Nagoya Univ. National institute for fusion science<sup>1)</sup>

はじめに: 近年, プロセスプラズマのガス温度が関心を集めている。従来, 低ガス圧, 低電子温度プラズマのガス温度は室温程度と想定されていたが, 室温をはるかに上回るガス温度の報告が相次ぎ, 低ガス圧プラズマにおける中性粒子の加熱機構とパワーバランスに関する理解が求められている。また, 磁場閉じ込め核融合実験装置において, 炉心プラズマからの熱流の処理および粒子排気の制御を行うものとして, ダイバータと呼ばれる装置がある。従来, ダイバータ板への熱負荷は荷電粒子の持つエネルギーのみから評価されてきた。これに対して, 中性粒子の持つエネルギーを含めた全プラズマ粒子から熱付加の評価を行うことが必要となっている。我々は, これまで, ヘリコン波放電高密度水素プラズマにおける水素原子温度を可視半導体レーザー吸収分光法によって測定した結果を報告してきた。今回は, ガス加熱に費やされる電力を実験的に見積もり, その値をガス加熱の素過程と比較・検討した結果を報告する。

実験: 実験装置は350Gの一樣磁場をもつ直線型装置である。真空容器は, 内径16mmの円筒型バイレックスガラス製の放電部とステンレス製のプラズマ観測部で構成されている。放電管に巻きつけたヘリカルアンテナに13.56MHzのrf電力を投入することで, 繰り返し101Hz, 放電時間4msのパルス放電ヘリコン波プラズマを生成した。このプラズマに対し, 半導体レーザーを光源としたH $\alpha$ 線の吸収分光計測を行い, ドップラープロファイルを観測することでプラズマ中の水素原子温度を計測した。

結果: 本研究に使用したヘリコン波水素プラズマの電子密度は $1 \times 10^{13} \text{cm}^{-3}$ 程度と非常に高密度であり, アフターグローでは三体再結合過程による電子励起状態の生成が生じる。そのため, アフターグローにおいてもn=2状態は吸収計測に十分な占有密度を有し, H $\alpha$ 線の吸収分光により水素原子温度の時間変化が計測可能である。図1に, アフターグローにおける水素原子温度の時間変化を示す。この図より, ガス圧50mTorr, 高周波電力3kWの放電のアフターグローにおける水素原子温度の減衰時定数として0.45msが観測された。一方, この放電中のガス温度は1400Kであった。放電中の水素原子の熱閉じ込め時間がアフターグローで観測された水素原子温度の減衰時定数と等しいと考えると, 中性ガス種を水素分子と水素原子の混合物と仮定してその熱容量を計算することにより, 1400Kの水素原子温度を維持するために投入されている加熱電力として約0.9kWという結果が得られた。一方, 水素原子加熱の素過程として, ①電子との弾性衝突, ②正イオンとの弾性衝突, ③フランクコンドンの原理に基づく水素分子解離時の余剰エネルギー, および, ④正イオンとの荷電交換反応の4つを考へて水素原子加熱入力を計算したところ, 約1.1kWという結果が得られた。これらの結果から, 電源から供給される高周波電力の30%近くが中性粒子の加熱に費やされていると考えられる。

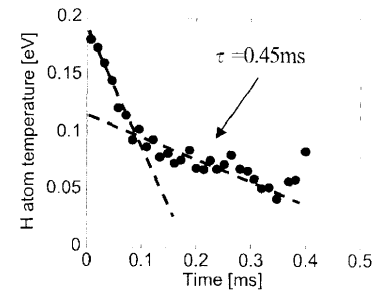


Fig.1 The H atom temperature measured in the afterglow at an rf power 3 kW and a gas pressure of 50 mTorr.

25pA15P

直線型プラズマ生成装置 TPD-II におけるデタッチメントフロントの巨視的振動 II

Macroscopic oscillation of the detachment front in the linear machine TPD-II

松原章浩<sup>1)</sup>, 杉本達律<sup>2)</sup>, 佐藤國憲<sup>1)</sup>

<sup>1)</sup>核融合研, <sup>2)</sup>総研大

A. Matsubara, T. Sugimoto, K. Sato

<sup>1)</sup>National Institute for Fusion Science, <sup>2)</sup>Graduate University for Advanced Studies

ダイバータ板に集中するプラズマ熱流を弱める方法として, 熱流を中性粒子によって散逸させるガスダイバータ方式がある。ダイバータ領域におけるプラズマ-ガス相互作用により, 磁力線に沿った荷電粒子の運動量は損失し, 結果としてプラズマがダイバータ板から離れるようないわゆるプラズマデタッチメントがもたらされる。しかしながら, ガスダイバータ方式は一般に閉じ込め装置の主プラズマの高閉じ込めモードに相反しやすいといわれる。ダイバータ領域から主プラズマ領域に漏れた中性ガスは, 主プラズマ周辺で電離し, そこでの径方向のプラズマ圧力勾配が弱められ, 閉じ込め性能が悪化する。中性ガスの漏れをなくすことは, 良好な閉じ込めとプラズマデタッチメントを両立する上で重要な課題とされる。中性ガスの漏れを抑えるためにダイバータ板と主プラズマ領域の間にパッフル板が取付けられている。この形式-いわゆる開ダイバータ-では, パッフル板の隙間から漏れ出す中性ガスは, 主プラズマ領域周辺部からダイバータ板に向かうイオンと漏れ出そうとする中性ガスの間の摩擦によって抑えられると期待されている。これはプラズマ・ブラギング効果といわれる。しかしながら, プラズマデタッチメントの結果として現れるプラズマ先端部, DF, が, ダイバータ領域から主プラズマ領域に移るとパッフル板の隙間におけるプラズマ電力が消失され, ブラギング効果が消失する。したがって, DFの位置制御は中性粒子の漏れを低減することに対して重要である。

これまで, 筆者等は直線型プラズマ装置 TPD-II (Test Plasma produced by Direct current)を用いてデタッチプラズマの安定性を調べてきた。実際の開ダイバータを模擬するためにオリフィスを有するパッフル板を図1に示すように取付けた。このパッフル板により実験領域は高真空領域である周辺プラズマ領域 (E 領域) と低真空領域であるダイバータ領域 (D 領域) に区分けされる。デタッチプラズマを形成するた

めにD領域にヘリウムガスを注入すると, デタッチプラズマが形成され, DFがE領域に向かう。DFがオリフィスをを超えてE領域に入った直後から, DFがDとE領域の間を往復するような振動が始まる (代表的な移動距離は0.5 m, 代表的周期は8 s)。これにともなって, DとE領域の中性ガス圧も著しく振動する。これまでの実験では, D領域に注入するガスとしてヘリウムを用いたが, 実際のダイバータでは燃焼灰としてのヘリウムの他, リサイクルによる水素や冷却ガスとしてのネオンなどが含まれていることが想定される。本講演では, ヘリウム, ネオン, そして水素を個別にD領域に注入した場合の振動の特徴について述べる。中性ガス圧の振幅及び周期はネオンの場合最も大きく水素の場合最も小さくなる。ガス種による振動および周期の違いは, ガス種に対するオリフィスにおけるプラズマ圧と関係することが考えられる。

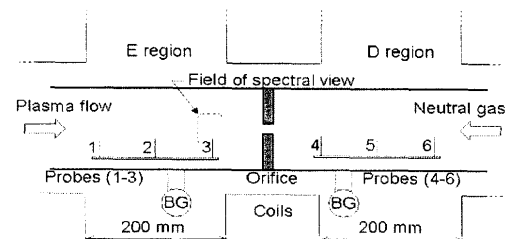


図1 TPD-II装置の実験主要部の概略図