

第 10 回若手科学者によるプラズマ研究会 2007 年 3 月 14-16 日
東北大学ヘリアックにおける粒子注入型電極によるバイアス実験

宇藤裕康、岡本敦、ほか
東北大学大学院工学研究科

これまで東北大学ヘリアック装置(TU-Heliac)において、電子捕集型のステンレス製の電極や電子注入型の LaB₆ 製の熱陰極を用いた電極バイアス実験が行われてきた。これらの実験において、線電子密度の増加、局所的な揺動レベルの抑制、電子密度勾配の急峻化、強い径方向電場の形成、ポロイダルフロー形成などのプラズマ閉じ込めの改善を示唆する結果が得られている。特に LaB₆ 製の熱陰極を用いた負バイアス実験において、能動的に $J \times B$ の駆動力を制御することにより閉じ込め改善状態への遷移過程において、ポロイダルフロー駆動力がイオン粘性の極大値を超えるとプラズマが閉じ込め改善モードへと遷移する等の重要な知見が数多く得られている。しかしながら、熱陰極バイアス実験では LaB₆ が脆性材料であり、電磁力に対して弱いことから、低磁場中の密度・温度が低いプラズマをターゲットとしており、遷移機構の幅広い知見を得るには高磁場中での高温・高密度のプラズマをターゲットとして実験できるツールが必要不可欠となる。

そこで全く新しいバイアス電極として、水素吸蔵金属を用いた粒子注入型電極の開発を行ってきた。この電極ならば吸蔵された水素の放出により、電極から中性粒子のみならず、シース内で電離したイオンや電子をプラズマ中に注入しうると考えられる。これにより、正バイアス側ではイオン注入による高エネルギー粒子の挙動のシミュレーション実験、負バイアス側では中性粒子及び電子注入による高密度プラズマ生成実験、さらには機械的強度に優れていることから、熱陰極に代わる高磁場中での実験ツールとしても期待される。

これまでに水素吸蔵金属として水素吸蔵性質の異なるチタン(Ti)、バナジウム(V)及びパラジウム(Pd)を用いて実験してきた。それぞれの材料の特徴として Ti は水素吸蔵・放出過程が 600°C 前後の高温で起こるのに対し、V は 30°C 前後の室温で起こる。Pd の特徴として、水素の吸蔵・放出が Ti と V の間の温度領域で起こること、水素の出入りを妨げる金属表面の障壁が極めて低いことが挙げられる。本研究で採用したどの電極材料においても、水素ガスを吸蔵させた電極に負バイアスしたところ、バイアス前の数倍の密度上昇 ($>10^{13} \text{cm}^{-3}$) が観測された。しかしながら、高密度プラズマを連続して生成する回数には制限が見られた。その原因として、Ti 製電極の場合には水素吸蔵が十分ではないこと、V 製電極では水素は吸蔵しているものの、電極表面の水素脆化により水素吸蔵・放出が起こりにくくなったことが考えられる。一方、Pd 製電極は、優良な水素吸蔵特性を有し、水素脆化も起こりにくいものの、電極からのガス放出制御が困難であるという課題があった。そこで Pd 製電極に金(Au)をコーティングしたところ、電極からの過剰な水素放出が抑えられ、これまでの 2 倍程度の高密度プラズマの連続生成回数 ($>35 \text{ shot}$) が得られた。また、高密度プラズマ放電がこれまでより低い電極電圧 (V_E) で達成されていることから、バイアス実験において、より制御性の良い電極になりうると考えられる。本発表では、Au コーティングした粒子注入型電極のバイアス実験を中心に報告する。