

石田記念財団 研究成果（受賞後の進展について）

受賞研究テーマ「電磁流体现象の解明とその応用研究」

プラズマと電磁場とが複雑に相互作用を行う電磁流体现象は、宇宙プラズマや核融合プラズマ中で起こる特徴的な現象の一つであり大変重要な研究対象である。

本研究では、これらの複雑な電磁流体现象を実験的に探求するため、大口径・大容量・高エンタルピーの高密度プラズマ源を用いた電磁流体工学試験装置HITOPを開発し、プラズマ物理の基礎を明かにすると共に、高密度プラズマ流を用いた様々な応用研究を行うことである。受賞時には、HITOPを開発し、高密度プラズマ源MPDアークジェットを用いて、高密度プラズマ流の生成および制御実験を行い、マッハ数1以上の超音速プラズマ流の生成に成功した。

その後、測定機器の拡充や実験機器の整備によりさらに詳しくプラズマ特性が計測され、また、新たに複雑なプラズマ回転現象が見いだされている。以下に受賞後行った実験のうち、分光器によるプラズマ流速とイオン温度の測定結果と、空間電位制御によるプラズマ回転流の生成実験について報告を行う。

1. 分光器によるプラズマ流速とイオン温度測定

非接触な計測法としてプラズマからの発光を用いた分光計測法により、高密度プラズマ源MPDアークジェット近傍でのイオン温度、流速を直接測定した。焦点距離1mの分光器とICCDカメラを用いて、約0.1ミリ秒ごとのスペクトルが観測可能なシステムを構成し、HITOPプラズマ中のHeイオン(HeII)の発光を観測した。そのスペクトル線のドップラーシフトよりイオン温度及び流速が求められた。その結果、流速は20~30km/secであり、イオン温度は10~15eVであった。この値からマッハ数が計算され、1以上の値が得られた。この値はマッハプローブによる計測結果とも一致しており、超音速プラズマ流ができていることを直接計測した成果である。

また、放電電流や外部磁場強度に対するプラズマ流速及びイオン温度の依存性も調べられた。両者とも放電電流の増加と共に増加しており、一方、マッハ数も1以上の値でわずかではあるが電流に従って増加している傾向が見られた。発光強度は磁場に依存して増加しているが、プラズマ流速及びイオン温度の磁場依存性はわずかに増加傾向が見られた程度で、マッハ数は約1でほぼ一定であった。

2. プラズマ回転流の生成

HITOP装置では外部磁場コイルに流す電流値をそれぞれ独立に変えることで様々な磁場配位（磁気チャンネル）を形成する事が可能である。MPDプラズマ源の放電電流の制御だけでなく、この磁気チャンネル形状の制御によりプラズマの大口径化や、密度分布制御、流速制御を行っている。新たに設置した多チャンネルマッハプローブアレイや真空内での2次元駆動装置を用いた空間分布測定により、種々の磁気チャンネル中での高密度プラズマ流の時間的空間的な動的挙動を詳細に測定した。その結果、生成されたプラズマ流の密度分布は放電電流だけでなく磁場形状にも依存していることが明かとなった。特に放電電流が高く、磁場のミラー比が大きい場合、プラズマ柱が容器中心軸周りに偏芯剛体回転する巨視的不安定性が観測されるなど新しい電磁流体现象を観測することができた。

この回転現象を詳しく調べるために、多チャンネルマッハプローブアレイ等を用いて密度・温度・空間電位の径方向分布の測定を行った。また、MPDアークジェットと反対の端面に6分割のエンドプレートを設置し、その中心プレートに外部電源より電圧を印加してプラズマ内の空間電位を制御し、プラズマの回転方向及び回転周波数の変化を調べた。この結果、印加する電圧の極性を変えるとプラズマ柱の回転方向も変化し、また電圧に応じて回転周波数も+4 kHzから-2 kHzまで変化した。プラズマ中心における空間電位の測定結果と合わせて検討を行った結果このプラズマ柱の回転は磁場と電場によるE×Bドリフトによるものと考えられた。種々の実験条件を変えて実験を行った結果、磁場配位のミラー比が大きいほど、また、下流でのベータ値が高いほど回転するプラズマ柱の偏芯量が大きい傾向にあった。

上記した実験以外にも、高密度プラズマ中で伝搬する電磁流体波としてのアルフェン波の伝搬特性を調べる実験など種々の電磁流体実験を遂行している。

また、この高密度プラズマ流は高エンタルピー流であり、各種機能性材料の熱負荷試験用や廃棄物処理などの応用研究や、各種応用目的にあわせたプラズマ源の開発などもあわせて行っている。