

高速プラズマ流中の不安定性の発生とその制御

Generation and Control of Instabilities in a Fast Flowing Plasma

東北大・工 戸張 博之

プラズマ中の不安定性とその制御は、磁場閉じ込めプラズマ、宇宙プラズマなど後半に渡りプラズマ研究に密接に関連する。国際熱核融合実験炉(ITER)で想定されている閉じ込め改善モード(Hモード)の理解と制御には不安定性の発生メカニズムの解明が不可欠であり、電場駆動のポロイダル速度シア磁気シアによる乱流抑制に関する研究が精力的に進められている。

他方、宇宙空間で観測される太陽フレアや宇宙ジェットなどダイナミックな現象の担い手は高速プラズマ流であり、高速の“流れ”を伴ったプラズマ流の発生メカニズムの解明は、宇宙プラズマの研究のみならず核融合プラズマにおいてもその重要性が増してきている。しかし、宇宙プラズマの“その場”観測例は限られており、実験室プラズマと共通の物理機構を見いだすことが重要である。

我々は東北大学の電磁流体実験装置 HITOP において高ベータ・超音速プラズマ流の生成、流速場の制御および電磁加速機構の解明を目的とした実験研究を行っている。プラズマ源に用いている MPD (Magneto-Plasma-Dynamic) アークジェットは、電磁的にプラズマを加速し高密度・高速プラズマ流を生成する。同軸状電極間でアーク放電により生成したプラズマは、径方向の放電電流 j_r と方位角方向の自己誘起磁場 B_θ の相互作用により軸方向に電磁的に加速される。さらに外部軸方向磁場 B_z を印加すると j_r との相互作用により方位角方向の回転力が発生し、ヘリカル状にねじれたプラズマ流が生成される。

これまでの実験で、様々な形状の磁気ノズル中に入射したイオンマッハ数 M_i が 1 に近い高速プラズマ流中で衝撃波構造、ヘリカルキック不安定性を観測した。図 1 は、衝撃波構造の観測結果の一例である。発散型磁場下流にバンプ型磁場を重畳した磁気チャンネル中に、プラズマ流が流入したときのマッハ数変化についてマッハプローブを用いて計測した。バンプ磁場前面部で急激にマッハ数が減少し超音速から亜音速領域へ遷移している。このときイオン温度、密度の上昇も観測され、衝撃波形成が示唆する振る舞いを示している。この磁気ノズル中のプラズマ流の振る舞いは比熱比 $\gamma_i=1.2$ としたときの等エントロピー 1 次元流の計算値とよく一致した。

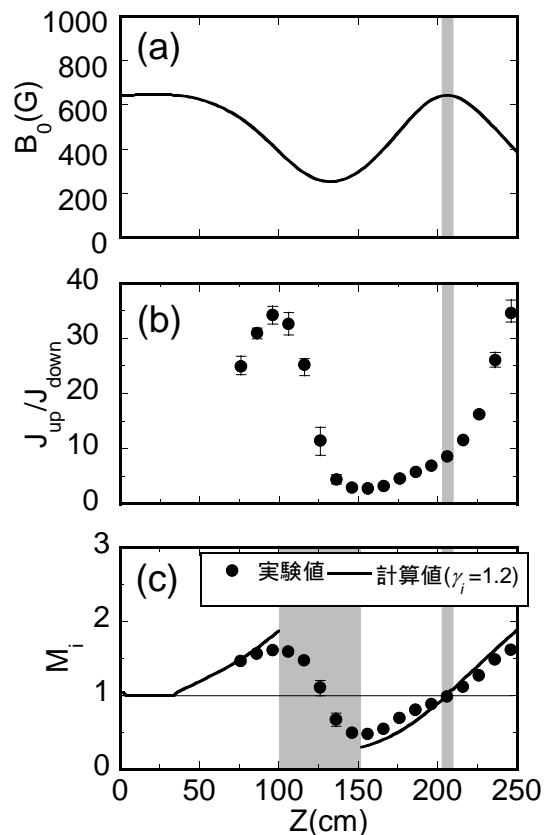


図 1 磁気ノズル中のマッハ数の変化