

27pB34P

RFP におけるイオン加熱入力パワーの解析

Ion heating power analysis in RFP

真木伸介, 渡会伸幸, 山家清之, 有本英樹, 佐藤紘一
(名大院工)Shinsuke Maki, Nobuyuki Watarai, Kiyoyuki Yambe, Hideki Arimoto, Koichi Sato
Department of Energy Engineering and Science, Nagoya University

逆転磁場ピンチ(RFP: Reversed Field Pinch)プラズマではイオンの加熱機構は磁気リコネクション、あるいは波と粒子による相互作用によるものであると考えられているが、まだどちらが支配的であるか分かっていない。磁気リコネクションの間にプラズマは運動エネルギーを得て、アルヴェン速度に匹敵する速度まで加速され、そのエネルギーは粘性を通してイオンを熱化し、それと同時に、トロイダル磁束が生成され、ポロイダル磁束が消費される。これまで測定されてきた装置では、加速されるアルヴェン速度は局所的につなぎ変わる磁力線の摂動径方向成分のオーダーであるため、イオンの加熱を説明するには小さすぎる結果となっている。現在は、乱流的効果を考慮に入れた3次元リコネクション過程の可能性が、イオン加熱機構の候補とされているが定性的には説明されていない。しかしながら、名古屋大学のSTP-3M(小半径8.8cm、大半径50cm)では、回路的手法による内部インダクタンスを考慮したプラズマの入力パワーと高速中性粒子エネルギー分析器(NPA)によるイオン温度測定から、イオンの加熱は少なくとも Quiescent Phase(QP:600~1000 μ sec)の時は非線形駆動リコネクションによる加熱入力パワーが支配的であると考えられる。これはSTP-3M装置のサイズ(小型)に起因していると考えれば説明できる。

この事を確かめるため、これまで過去に行われてきたトムソン散乱による電子密度、電子温度測定、多チャンネル磁気プローブによる内部磁場測定などの結果から、STP-3Mにおけるリコネクションに関する各種パラメータを見積もると図1に示すリコネクション領域 $\delta\alpha$ は1.7mmとなった。ここで図中の V_{in} 、 V_{out} はinflowとoutflowの速度、 L は磁場の揺動に関する相互相関長(プラズマ小半径程度)を表している。更に、リコネクションによる加熱入力密度を Petschek の式から見積もった結果2.2MW程度となり、QPでの実験結果とよく一致した。このことからQPの区間では少なくともイオンの加熱入力リコネクションによるものが支配的であると考えられる。さらに、速度シエアによる運動エネルギーが熱化するための減衰距離を見積もったところ1.45mとなり、減衰距離は装置のスケール長を超えるほど大きい事が分かった。このことから、STP-3Mについては、他の大型、中型(小半径100cm以上)のRFP装置より乱流的な効果による熱化が起きにくいと考えられる。本講演では、STP-3Mプラズマで見積もったリコネクションに関する各種パラメータの評価方法とその結果について詳しく報告する。

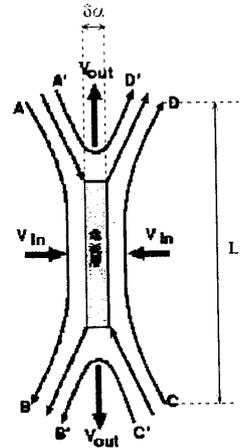


図1 STP-3Mにおける磁気リコネクション

27pB35P

STP-3(M) PRF プラズマにおける加熱特性

Heating Mechanism in STP-3(M)

渡会伸幸, 小田将司, 林伸治, 真木伸介, 山家清之, 山本英毅, 有本英樹, 佐藤紘一
(名大院工)Nobuyuki Watarai, Oda Masashi, Shinji Hayashi, Shinsuke Maki, Kiyoyuki Yambe, Hideki Yamamoto,
Hideki Arimoto, Koichi Sato

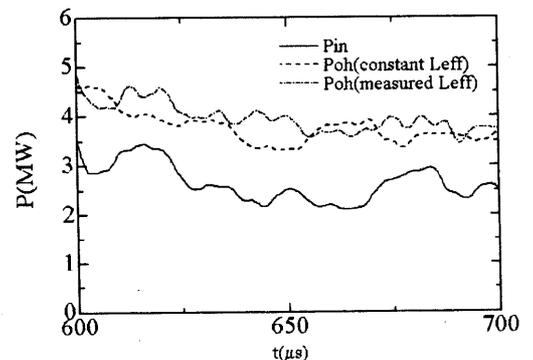
Department of Energy Engineering and Science, Nagoya University

逆転磁場ピンチ(RFP: Reversed Field Pinch)は核融合を目指した磁場による高温プラズマ閉じ込め方式の一つである。RFPはトカマクと同じ軸対称系の閉じ込め装置であるが、Kruskal-Shafranov 限界に制限されないため Ohmic heating による加熱が非常に有効である。したがって高効率加熱のためにはエネルギーを供給する外部回路にプラズマを含めた加熱特性の詳細な解明が必要となる。これまで、外部回路からの実効的な加熱を求めるために、 $U = L_{eff} I_p^2 / 2$ の関係式(U : 内部エネルギー、 I_p : プラズマ電流)を用いてきたが、実効的インダクタンス L_{eff} は、内部磁場及び電流配位を Bessel Function Model 等で仮定して求め、かつ一定としていた。STP-3(M)では実効抵抗を実測することによりプラズマ中での過熱現象(〜数10 μ s)を明らかにしたが L_{eff} については実測(内部電流分布計測)までには至っていない[1]。今回耐熱性多チャンネル磁気プローブの開発により STP-3(M)プラズマ内部の磁場分布を測定し実効的インダクタンスを定量的に求めることに成功した。その結果外部回路からの加熱量をより正確に見積もることが可能になった。図1にその結果を示す。 P_m は磁場反転面を通り抜けてプラズマ内部に流入するエネルギーを示し、 P_{oh} は外部回路からの入力エネルギーを示したものである。但し、 P_{oh} については従来の方法によるもの($P_{oh}(\text{constant } L_{eff})$)と実測によるもの($P_{oh}(\text{measured } L_{eff})$)について示した。図から $P_{oh}(\text{measured } L_{eff})$ は P_m に良く同期していることが分かる。このことは外部回路からのエネルギーが直接プラズマ加熱に使われていることを示唆している。この結果から、エネルギー損失 $E_{loss} = P_{oh}(\text{measured } L_{eff}) - P_m$ をもとめると約1.5MJ程度となる。これは静電揺動測定等によって得られたエネルギー損失[2]と矛盾しない結果である。

講演では、多チャンネル磁気プローブによる内部磁場の測定結果、解析手法及びSTP-3(M)の加熱特性について報告する。

[1] 関川純哉, 大谷直弘, 後藤峰夫, 有本英樹, 佐藤紘一: プラズマ・核融合学会誌 74, 1428(1998).

[2] K. Yambe, S. Masamune, S. Maki, N. Watarai, H. Arimoto and K. I. Sato: submitted to J. Phys. Soc. Jpn.

図1 プラズマ内部への入力エネルギー P_m 及び外部回路からの入力エネルギー P_{oh} の時間発展