

## 主論文の要旨

報告番号

※甲第1281号

氏名

内藤裕志

磁場中プラズマの磁場を横ぎるプラズマの粒子及び熱輸送係数は、熱平衡状態を仮定し、ジャイロ運動とフロンニ体衝突とを考慮した衝突論的理論により導出される。ところが、実際のプラズマの磁場閉じ込めの実験において観測された輸送係数は、しばしば理論値よりも大きい値を示している。このような現象は異常輸送現象と呼ばれ、プラズマ中の電場及び磁場の揺動等の集団現象に起因すると考えられている。熱平衡に近いプラズマにおいても、この集団現象による輸送は重要であり、その場合には異常輸送の原因として、熱的に励起された低周波の波と高周波の波が考えられる。低周波の波は粒子の実空間での拡散を増大し、同時に熱の拡散を増大する。高周波の波はその励起、伝搬、吸収を通じて、磁力線を横ぎって、その波のエネルギーを輸送する。そのとき磁力線に垂直方向に温度勾配が存在すると、波の励起及び吸収が釣り合わなくなり、全体としてエネルギーの流れを生じ、熱の拡散のみが増大する。ところで、核融合研究において重要な磁力線にシアがあるプラズマ保持装置では、低周波の波の輸送に対する影響は、シア効果により減少するので、高周波の波の影響が重要になる。高周波の波の中で磁力線に平行またはそれに

近い方向に伝搬する波の輸送に対する影響については比較的詳しく調べられているが、垂直方向に伝搬する波の影響については調べられていない。本論文では、磁場にほぼ垂直に伝搬する高周波の静電波による、磁場を横ぎる電子の異常熱輸送を、粒子モデルを用いた計算機シミュレーションを行うことにより調べた。

粒子モデルによるシミュレーションは、実験的には困難な物理条件の理想的設定及び詳細な測定が可能であり、解析的取り扱いが困難な問題をも取り扱うことが出来る。このためプラズマ中の輸送機構のような微視的現象に起因するプラズマの巨視的振舞を解明するのに有効な手段である。

シミュレーションの結果、電子の磁場を横ぎる熱拡散係数  $D_H$  の測定値は常に粒子拡散係数  $D_p$  の測定値より大きいことが判明した。  $D_p$  の測定値は磁場の二乗の逆数に比例し、衝突論的理論値と一致した。このことは、高周波の波の効果は  $D_H$  の測定値を理論値よりも増大させていることを意味する。特記すべきことは、  $D_H$  の測定値が温度勾配の特性長に比例して増大したことである。この理由は、減衰長が温度勾配の特性長より短い波のみが熱拡散に実質的に影響し、温度勾配の特性長の増加と共に、より長い減衰長を持つ波も熱拡散に寄与するためと考えられる。

さらに熱拡散係数  $D_H$  を磁力線に平行及び垂直方向の温度変化に結びつく量  $D_H''$ ,  $D_H'$  に分離することを試みた。(両者の和が熱拡散係数  $D_H$  を与える。) その結果、稀衝突プラズマにおいて  $D_H''$  は磁場の大きさに比例して増加し、 $D_H'$  は逆に減少した。この磁場依存性は熱拡散に寄与するイオン波及び電子波の性質により説明される。すなわち  $D_H''$  に主に寄与するイオン波(周波数が電子のジャイロ周波数より低い波)のランダウ減衰、及びその逆過程は、磁場の増大と共に粒子運動が磁力線方向により沿うため強くなる。他方  $D_H'$  には電子波(周波数が電子のジャイロ周波数程度かそれ以上の波)のサイクロトロン減衰、及びその逆過程が寄与し、磁場の増大と共に電子波の群速度が減少するため  $D_H'$  が減少する。なおイオン波が  $D_H''$ 、電子波が  $D_H'$  に寄与することは、イオンを空間電荷を中和する背景として、イオン波の影響を無くしたシミュレーションを行うことによっても検証された。

さらに、波のエネルギー輸送に対するモデル方程式より熱拡散係数を導き、これによってシミュレーション結果の物理的内容を定性的に解釈できることを示した。

結論として、磁場中プラズマにおける磁場を横切る異常電子熱輸送に対する、高周波の波の寄与の重要性、並びにその輸送係数の温度勾配の特性長及び磁場依存性が示された。