

電磁的プラズマ乱流における分極と磁化のジャイロ運動論的定式化  
Gyrokinetic formulation of polarization and magnetization in  
electromagnetic plasma turbulence

洲鎌英雄<sup>1,2</sup>, 松岡清吉<sup>1,3</sup>, 沼波政倫<sup>1,4</sup>

Hideo Sugama<sup>1,2</sup>, Seikichi Matsuoka<sup>1,3</sup>, Masanori Nunami<sup>1,4</sup>,

核融合研<sup>1</sup>, 東大先端エネルギー<sup>2</sup>, 総研大<sup>3</sup>, 名大理<sup>4</sup>

National Institute for Fusion Science<sup>1</sup>, Department of Advanced Energy, University of  
Tokyo<sup>2</sup>, SOKENDAI<sup>3</sup>, Department of Physics, Nagoya University<sup>4</sup>

近年盛んに行われている磁場閉じ込めプラズマの衝突および乱流輸送のグローバルシミュレーションでは、Lie変換法から得られるジャイロ中心座標を用いたジャイロ運動方程式を基本モデルとして用いている。そのようなジャイロ運動方程式は、粒子数・エネルギーや運動量等について厳密な保存則を満たし、グローバルな輸送現象の長時間シミュレーションの基本方程式に適している。ジャイロ運動的電磁乱流輸送シミュレーションでは、有限ジャイロ半径効果による粒子とジャイロ中心の位置の差を考慮して、粒子の密度と平均速度を、それぞれ、ジャイロ中心の密度と平均速度に関連付けるため、いわゆる分極および磁化の効果を定式化する必要がある。これらの定式化は、ジャイロ運動論的シミュレーションの結果を用いて粒子の輸送フラックスを正確に評価するだけでなく、シミュレーションにおいて電磁場を自己無撞着に決定するために必要なポアソン方程式やアンペール則に現れる電荷密度や電流を精密に計算するために重要である。本研究では、分極及び磁化電流を高精度で計算するため、微視的電磁乱流ならびにクーロン衝突の両方の効果を考慮して、荷電粒子の局所的な密度・平均流速をジャイロ中心分布関数から与える表式を導いた。この定式化によって、正規化ジャイロ半径パラメーターによる粒子フラックスの展開の2次のオーダーにおいて、クーロン衝突項の効果が古典粒子フラックスとして現れ、輸送時間スケールにおける粒子分布の時間発展に影響を与えることが確かめられた。また、ここで導かれたジャイロ運動論的ポアソン方程式およびアンペール則の乱流成分は、WKB表現を用いた初期のジャイロ運動論研究で得られた結果と一致することも確認された。ここで得られた定式化は、ジャイロ運動論的シミュレーションにおいて、粒子の密度や流速の空間分布の精密な評価に役立つことが期待される。