

レーザーアブレーション領域における磁化プラズマの電子熱伝導モデルの
検証

**Validation of electron thermal conductivity models for magnetized plasma in
laser ablation region**

朝比奈隆志¹, 長友英夫¹, 砂原淳², 城崎知至³, 畑昌育¹, 千徳靖彦⁴
Takashi ASAHINA¹, Hideo NAGATOMO¹, Atsushi SUNAHARA², Tomoyuki JOHZAKI³,
Masayasu HATA¹, Yasuhiko SENTOKU⁴

阪大レーザー研¹, レーザー総研², 広島大工³, ネバダ大学リノ校⁴
ILE, Osaka Univ.¹, ILT², Hiroshima Univ.³, Univ. of Nevada at Reno⁴

磁場の存在下では電子のサイクロトロン運動により磁場に垂直方向への電子熱伝導が抑制される。磁場の効果を含めた熱伝導モデルとしてBraginskiiのモデル[1]がよく用いられる。BraginskiiモデルはFokker-Planck方程式の電子分布関数を摂動展開し、1次の項をSonine展開し第2項までをとることにより導出されている。最近、Ji, Heldは第160項までを導入することにより、Braginskiiモデルに最大で数10%の誤差が存在することを示した[2]。

本研究では、計算機シミュレーションにより磁化プラズマの電子熱伝導を再現し、各モデルの検証を行った。シミュレーション手法として、十分な粒子数を用いることでFokker-Planck方程式を直接解くことに相当する collisional Particle-In-Cell (PIC)シミュレーションを採用した。

シミュレーションには1次元PICコードを使用した。このコードでは粒子の速度は3次元として扱っており、電子-電子、電子-イオン衝突を含めるためにMonte Carlo法による衝突モデル[3]が導入されている。シミュレーション条件をFig. 1に示す。電子とイオンは計算空間に一樣な密度とした。電子密度は $n_e = 5 \times 10^{22} \text{ cm}^{-3}$ 、イオンの価数は $Z = 4$ 、イオン密度は $n_i = n_e / Z$ とした。温度は計算空間の中心で500 eVとし、電子・イオンともにスケール長 $L = 1000\lambda_e$ (λ_e : 電子の平均自由行程)の温度勾配をx方向に与えた。ただし、計算空間の両端から $100\lambda_e$ の領域は境界条件の影響を避けるため一定の温度とした。外部磁場をz方向に与え、その大きさをHall parameter $\omega_{ce}\tau_{ei} = 0-0.9$ (ω_{ce} : 電子サイクロトロン周波数, τ_{ei} : 電子衝突時間)の間で変化させた。

シミュレーション結果とBraginskii, Ji-Heldのモデルの比較をFig. 2に示す。熱伝導率はx方向、

y方向ともにJi-Heldモデルに一致し、Ji, Heldによる第160項での打ち切りの妥当性が示された。また、電子分布関数から、磁場を与えた場合は与えない場合と比べて速度の小さい電子が熱流束に寄与することが示された。

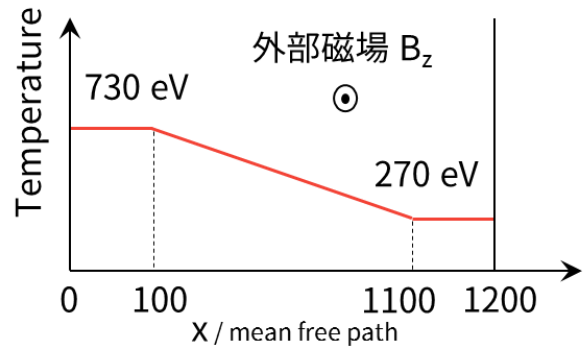


Fig. 1 シミュレーション条件

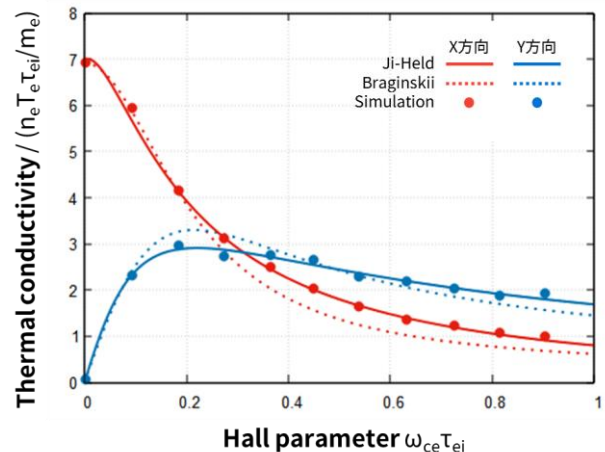


Fig. 2 シミュレーション結果と各モデルとの比較

- [1] S. I. Braginskii, "Transport processes in a plasma," *Reviews of Plasma Physics*, Vol. 1 (1965).
- [2] J.-Y. Ji and E. D. Held: *Phys. Plasmas* **20** (2013) 042114.
- [3] Y. Sentoku, et al., *J. Phys. Soc. Jpn.* **67** (1998) 4084.