

トロイダルプラズマの新古典的電子熱輸送に対する共鳴摂動磁場の効果 Effect of resonant magnetic perturbations on neoclassical heat transport of electron in toroidal plasma

菅野龍太郎^{1,2}, 沼波政倫^{1,2}, 佐竹真介^{1,2}

Ryutaro Kanno^{1,2}, Masanori Nunami^{1,2}, Shinsuke Satake^{1,2}

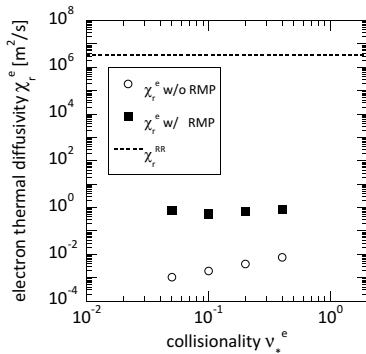
核融合研¹, 総研大²

NIFS¹, SOKENDAI²

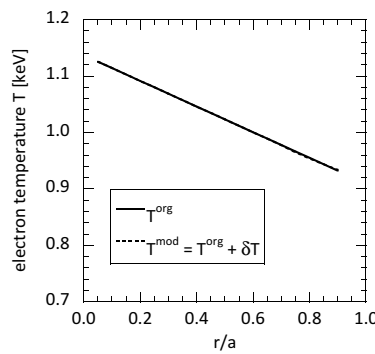
核融合炉におけるダイバータへの熱負荷を減らすため、Edge-Localized Mode (ELM) の抑制に共鳴摂動磁場 (RMP) を用いることが検討されている。その ELM 抑制実験において、RMP を加えたことで磁力線構造が乱れている低衝突 (衝突頻度 $\nu_* \sim 0.1$) なプラズマエッジで、(1) 熱輸送に対する理論値 (Rechester-Rosenbluth (以下、R-R) の熱拡散係数) と実験値のオーダーの違い (実験値は極めて小さい)、および (2) 熱輸送と特性が異なる密度排気の結果として得られている。本研究では、(1) について新古典論的な観点から解析する。

十分エルゴダイズした磁力線構造となるように、 $|\delta B_r/B_{ax}| \sim 7\%$ の強度の RMP を加えたトロイダルプラズマ (ここでは、円形トカマクとする) の電子熱拡散係数を評価するため、R-R 理論と同様に電場を無視する仮定の下で δf 法に基づくドリフト運動論的シミュレーション [1] を実行した。ここで、 δf とは案内中心分布関数 f の静止マクスウェル分布 f_M からのずれ ($\delta f = f - f_M$) である。分布のずれ δf が準定常に緩和した状態において、電子熱拡散係数 χ_r^e は、新古典的熱拡散係数から 100 倍以上大きな値になるが、R-R 理論値 χ_r^{RR} と比べると極めて小さいことを見出した (下図左を参照)。ここで、RMP 無しの場合 (図では、○で表示) は、新古典的熱拡散となり、 χ_r^e は電子の衝突頻度 ν_*^e に比例するが、RMP 有りの場合 (図では、■で表示) は、 ν_*^e にあまり依存しない傾向であることが分かった。この計算例において、時間に対して固定の f_M における温度分布 T^{org} と、 δf から与えられる温度変化 $\delta T = \langle \int d^3v \{ (mv^2/3) - T^{org} \} \delta f \rangle / n$ を加えた温度分布 $T^{mod} = T^{org} + \delta T$ とを比べると、数衝突時間後の準定常状態において、ほぼ一致し (下図中央を参照; RMP は $0.7 \lesssim r/a < 1$ で共鳴; $|\delta T/T^{org}| \lesssim 10^{-3}$)、 δf シミュレーションが適切に実行されたことが確認できた。ここで、 $\langle \cdot \rangle$ は、径方向の輸送を評価する際のリファレンス面 (ここでは、RMP を加える前の磁気面で、 r/a でラベルした) における平均を意味する。また、温度分布 T^{org} は r/a の関数と仮定し、数密度 n はリファレンス面に依らず一定の値とした。なお、RMP の強度をさらに 10 倍大きくした場合は、1 衝突時間程度で T^{mod} が平坦化し始め (下図右を参照)、 δf 法として十分に適切な評価であるとは言えないが、非常に強くエルゴダイズした磁力線構造内においては温度が平坦な分布に緩和し得ることが示唆された。

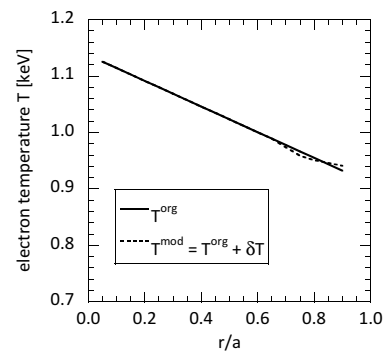
本研究では、核融合科学研究所一般共同研究「NIFS15KNST076」および IFERC-CSC プロジェクト「PETAMP5」の支援を受け、大規模並列計算機「Plasma Simulator」および「Helios」を利用しました。



χ_r^e の ν_*^e 依存性 ($r/a = 0.8$)



$|\delta B_r/B_{ax}| \sim 7\%$ の場合の T^{mod}



$|\delta B_r/B_{ax}| \sim 70\%$ の場合の T^{mod}