

電子サイクロトロン共鳴変調加熱時におけるプラズマ電子温度の動的応答評価 Dynamic response estimation of plasma electron temperature during modulated electron cyclotron resonance heating

1) 帰山侑也, 1,2) 久保伸, 1,2) 井戸毅, 2) 伊神弘恵

1) KAERIYAMA Yuya, 1,2) KUBO Shin, 1,2) IDO Takeshi, 1,2) IGAMI Hiroe

1) 名古屋大学, 2) 核融合科学研究所

1) Nagoya Univ., 2) NIFS

磁場閉じ込め核融合の閉じ込め性能を評価するにあたり、それを特徴付けるパラメータとなる熱拡散係数を正しく評価しなければならない。従来の方法では、熱拡散係数は温度や密度の勾配に依存するとされていたが、最近の研究[1]によって熱拡散係数は加熱電力によって変化する可能性があり、熱流束が加熱電力に直接依存する理論が提唱された。本研究では熱拡散係数を様々な条件で設定し、加熱したプラズマの電子温度の時間変動をシミュレートすることで、実験的に得られたデータと比較し、空間一次元の熱拡散時間発展方程式を用いて熱拡散係数が依存する要素について調べることを目的とする。

本研究においては、核融合プラズマのエネルギー輸送では粘性や対流による影響を無視できるとして、プラズマの閉じ込め配位を一次の円筒座標系で表す事とする。

$$\frac{\partial W_{(r,t)}}{\partial t} = \frac{-1}{r} \frac{\partial}{\partial r} \left(\chi r \frac{\partial W_{(r,t)}}{\partial r} \right) + P_{(r,t)}$$

この式をモデル式とし、空間方向の微分は差分で求め、時間 t で数値積分することでプラズマエネルギー分布 $W(r,t)$ の時間発展を得ることができる。プラズマが吸収する加熱の電力分布を $P(r,t)$ とし、 $P(r,t)$ の時間変化によって電力変調を再現する。それによって生じるプラズマエネルギー分布の時間発展は熱拡散係数 χ によって変わる。実験結果を再現できる χ を決めることで、閉じ込め特性のパラメータ依存性を推定することができる。

まず始めに、初期条件として定常加熱の吸収電力分布を設定し、定常のプラズマエネルギー分布とのエネルギーバランスから定常熱拡散係数 $\chi(r)$ を決める。次に、このようにして求めた $\chi(r)$ が電力変調入力後も変化しないと仮定してプラズマエネルギー分布の時間発展をシミュレートし、その計算結果と実験による結果とを比較する。その際、比較した時の差が小さくなるように定常の吸収電力分布または $\chi(r)$ を微小変化させていき、最も実験値との差が小さくなる定常熱拡散係数 $\chi(r)$ を定めていく。このようにして求めた定常の

熱拡散係数を用いて変調実験結果を再現できない部分が動的熱拡散によるものであり、動的熱拡散モデルの検証として用いることができる。

今回は、LHDのショット番号108692を対象として、時間分解能が高い電子サイクロトロン放射計測（ECE計測）から得られる実験データを、トムソン散乱計測によって得られる電子温度の実験データで較正し、変調加熱の周期（25Hz）毎に重ね合わせ平均したものをプロットして数値計算の結果との誤差を出した。この結果の一例を図1に示す。ここでは、変調電力吸収分布は、オン・オフ時の電子温度の時間微分の変化から求めたものを用い、定常加熱分布を変化させた時に最も実験結果を良く再現する組み合わせを用いた場合の規格化小半径0.56での実験結果とシミュレーション結果、及び両者の誤差を示した。

次の段階として、定常の $\chi(r)$ の電子温度、電子温度勾配、変調電力に対する依存性を考慮し、動的拡散効果を調査する。

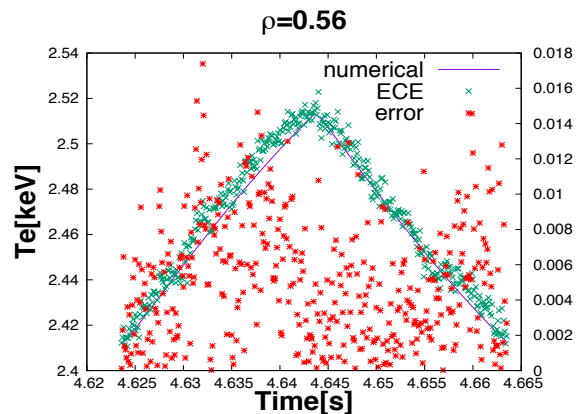


図1：規格化小半径0.56での実験値比較

参考文献

- [1] Sanae-I ITOH et al. (2016) Approaches to Hysteresis of Transport Relations in Toroidal Plasmas, Plasma and Fusion Research, Volume 11, 2503086-1~6