

数値実験炉研究プロジェクト

堀内利得

核融合発電を実現するためには、ドーナツ型の磁場の籠の中に高温のプラズマを安定に閉じ込める必要がありますが、プラズマの圧力(温度×密度)が大きくなると乱れた流れ(乱流と呼ばれる)が発生し、粒子や熱が圧力の高いプラズマ中心から圧力の低い周辺に向かって吐き出され、プラズマ閉じ込めの妨げになることがあります。数値実験炉研究プロジェクトでは、核融合プラズマ中で発生するこれらの複雑な現象の物理的理解を進め、より高温・高密度なプラズマの閉じ込めを実現するため、実験研究とともにスーパーコンピュータを用いたシミュレーション研究を行っています。これまでの研究では、LHD 実験における軽水素プラズマに注目し、そこで発生する乱流の解明を進めてきましたが、平成 29 年 3 月から、これまで用いてきた軽水素の約 2 倍の質量を持つ重水素を用いた実験研究が行われる予定です。重水素のプラズマでは、軽水素のプラズマに比べて、プラズマ性能の向上が予想されるため、乱れや熱の閉じ込めがどのように変わるかを解明することは重要な研究テーマとなっています。

プラズマの乱流シミュレーションを難しくしている点は、とてつもなく速い電子の運動(秒速数万 km)と比較的遅いイオン粒子の運動(秒速数百 km)を同時に扱わなければならない点です。より重いイオン粒子ほど電子との速度差が大きくなり、

取り扱う時空間スケールも広がります。そのため、重水素プラズマのシミュレーションは軽水素の場合に比べてより大規模で長時間のシミュレーションが必要とされていました。平成 27 年 6 月に、核融合科学研究所のスーパーコンピュータ「プラズマシミュレータ」が従来に比べて 8 倍以上の演算性能を有するものへと新たに更新され、実験に先行して LHD の重水素プラズマの乱れについてのシミュレーション研究が可能となりました。シミュレーションで得られた結果から、捕捉粒子と呼ばれる磁場の中を往復運動する粒子が生み出す乱れを解析し、従来の軽水素に比べて重水素のプラズマでは、乱れが抑制されて熱の閉じ込めが改善されることを明らかにしました(図 2)。図 2-(a)は、乱流シミュレーションで得られた軽水素と重水素のプラズマにおける熱の閉じ込め時間の長さを比較したものであり、軽水素に比べ、重水素のプラズマでは乱れを抑制する流れ(ゾーナルフロー)がより強く形成され、熱の閉じ込めが改善することを示しています。これは図 2-(d)に示すように、ゾーナルフローがプラズマ中の大きな渦や波を効果的に分断し、乱れの発達を抑制しているためであることも明らかになりました。

(数値実験炉研究研究総主幹

／基礎物理シミュレーション研究系 教授)

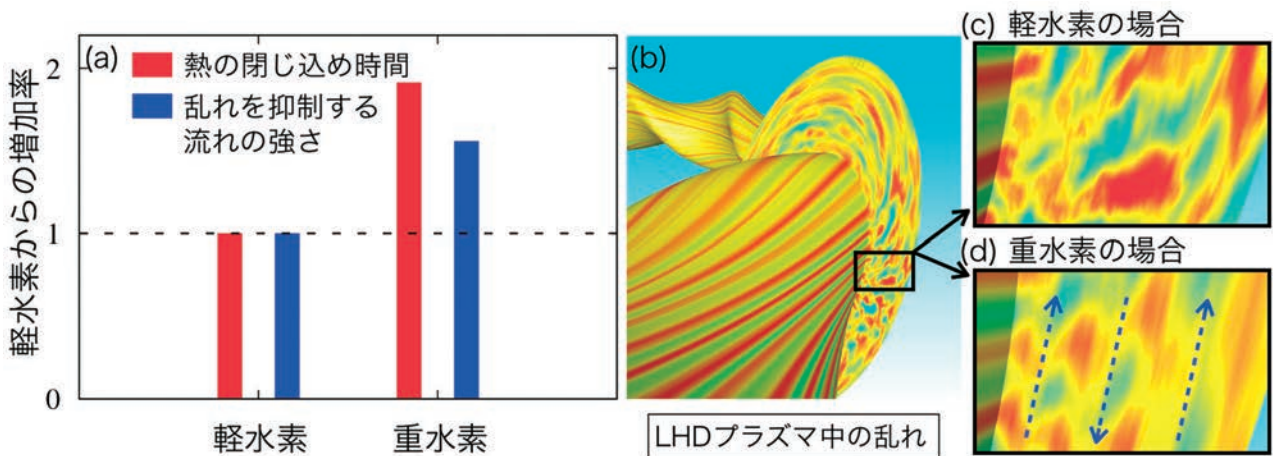


図 2 : (a) は乱流シミュレーションで得られた軽水素と重水素のプラズマにおける熱の閉じ込め時間の比較。(b) から (d) は LHD プラズマ中の乱れの分布の比較。(c) の濃い赤色の部分で強い渦や波が生じているが、(d) では矢印で示したゾーナルフローにより乱れが抑制されている。