

## 乱流抑制配位創成に向けた乱流モデリングおよび数理計画的探索 Turbulence modeling and mathematical-optimization-assisted configuration explorations for creation of the next generation stellarator

仲田資季<sup>1,2</sup>、松岡清吉<sup>1,2</sup>、沼波政倫<sup>1,2</sup>、新配位創成研究チーム<sup>1</sup>  
Motoki Nakata, Seikichi Matsuoka, Masanori Nunami, NGS team

<sup>1</sup>自然科学研究機構 核融合科学研究所, <sup>2</sup>総合研究大学院大学  
National Institute for Fusion Science,  
The Graduate University for Advanced Studies(SOKENDAI)

磁場閉じ込め炉心プラズマに発達する「乱れ」すなわち乱流や、それが駆動する輸送(損失)の物理機構や抑制方法の解明は、核融合炉の成立性や性能向上に直結する重要課題である。過去から現在にわたるプラズマ実験において乱流が発現しなかったプラズマはほぼ存在せず、複雑にもつれ合う乱流現象と核融合プラズマは、物理学上の重要課題にも掲げられている[1]。プラズマの顕著な性質のひとつとして、無秩序な“乱れ”から秩序だった“流れ”を自発的に形成し、エネルギーや物質の輸送を変化させる機構の存在が挙げられる。磁場閉じ込め核融合炉心プラズマの実現においても、ゾーナルフローといった自発的な構造形成がもたらす特質を活用する必要があるため、精力的な研究が続けられている。近年では基本的な形成メカニズムの研究などに加え、3次元磁場構造や巨視的な電場構造が乱流やゾーナルフローに与える影響についても理解が深められている[2]。

本発表では3次元閉じ込め磁場の幾何構造の多様性に基づき、プラズマに内在する非線形性や構造形成などを自在に活性化し、乱れが極限まで低減された新たな乱流抑制プラズマの創成を目指した研究[3]の進展を報告する。特に、ゾーナルフローの励起を促進する磁場構造を見出すために必要な、乱流の非線形効果やゾーナルフロー効果を組み入れた乱流輸送モデルの構築・拡張や、それを非線形数理計画計算に組み込んだ3次元磁場構造探索の解析を紹介する。

ある特質をより顕在化させる磁場構造を探索する際には、高次元の極値問題や最適化問題、変分問題などで用いられる数理計画計算の手法が応用される。ここではヘリカルプラズマにおける3次元磁場のフーリエ成分を変量とするため、ゾーナルフローの減衰率などに対する磁場の幾何学量依存性を抽出する必要がある。

そこで、LHD や W7-X といった複数の3次元磁場配位に対するジャイロ運動論的乱流シミュレーション解析を行い、ゾーナルフローに対する測地曲率依存性を同定するとともに、それらが反映された乱流輸送モデルを構築した。さらに、この拡張されたモデルを組み込んだ勾配法に基づく局所探索の手法によって、線形ITG不安定性の低減とゾーナルフロー生成の増大の両方の満たす磁場構造を数値的に探索した。見出された磁場配位に対してジャイロ運動論的乱流シミュレーションを実行した結果、ITG乱流においてゾーナルフロー形成が著しく強化された磁場配位であることが実証された(図1)。これらの乱流モデリングや数値探索などに加えて、周辺磁場構造の柔軟制御などのトピックの進展についても報告する。

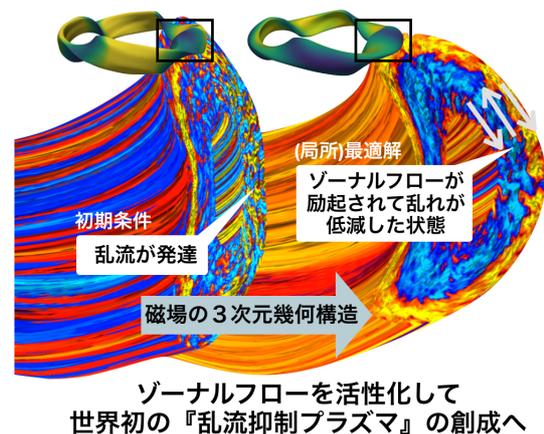


図1: ゾーナルフロー形成が促進された3次元プラズマ(右側)の計算例。左側は数理計画計算における初期配位を示す。

[1] “物理学 70 の不思議” 第29番・第30番, 日本物理学会誌 72 巻 9 号

[2] Watanabe et al., PRL **100**, 195002 (2008)

[3] <https://www.nifs.ac.jp/TFNRP/>