

拡張電磁流体モデルによる乱流数値シミュレーション

核融合科学研究所 ヘリカル研究部 三浦英昭

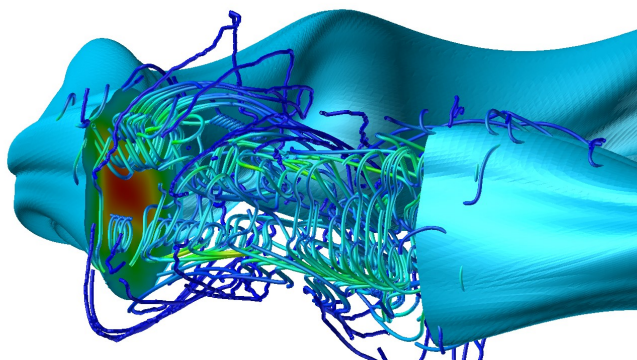
拡張電磁流体モデルによる乱流数値シミュレーション研究は、乱流構造の理解に始まり、短波長成分のモデル化研究を経て、このモデルを利用した乱流の Large Eddy Simulation (LES) を実現することが目的である。これまでの研究でわかったことは

- (1) 磁場に Hall 項が加わった場合には、波数空間での磁場のエネルギー輸送が順輸送優位に変化する
- (2) Hall 項により、(Hall 項がない場合には大規模構造となる)電流層が小片に別れて、同時に渦度場は渦層構造から管状構造へと変化する
- (3) Hall MHD の LES について、Smagorinsky 型渦構造は Hall 項も含めて妥当な結果を出し得る等々である。

平成 28 年度はこれらの成果を、核融合科学研究所の高温プラズマ実験装置、大型ヘリカル装置(LHD)の不安定性の非線形シミュレーションに応用した。圧縮性拡張 MHD 方程式に質量荷重フィルター(ファヴルフィルター)を作用し、グリッドスケールでの拡張 MHD 方程式を導出した。この方程式の SGS 項について、これまでの研究で開発した Smagorinsky 型の SGS モデルを用いた。これらを非直交一般曲線座標のシミュレーションコード MINOS に組み込み、LHD 中のバルーニング不安定性についての LES を実施した。このバルーニング不安定性では、短波長の不安定モードほど速く成長することから、長波長モードが成長し始める段階では短波長モードが乱流化しているものと仮定した。

シミュレーションでは、バルーニング不安定性が成長するパラメータ領域を選ぶ一方、格子点数は比較的小さく $97 \times 97 \times 640$ 点を使用した。このシミュレーションから、我々が開発した Smagorinsky 型の SGS 項を使った LES が物理的に妥当な結果をもたらすこと、計算時間を大幅に縮小することを確認した。これにより、従来よりも多数のシミュレーションを短時間に実行し、不安定性の非線形時間発展を行うことが可能になった。

これらの成果は、第 26 回国際核融合会議(IAEA-FEC)で発表、その後、Nuclear Fusion 誌に投稿、掲載された。



図：LHD のバルーニング不安定性の LES。圧力等値面、等高線、および流れ。