

## 局所ジャイロ運動論シミュレーションにおける背景シア流の新数値解法 New numerical approach to background shear flow in local gyrokinetic simulations

前山伸也<sup>1</sup>、渡邊智彦<sup>1</sup>、仲田資季<sup>2</sup>、沼波政倫<sup>2</sup>、石澤明宏<sup>3</sup>、朝比祐一<sup>4</sup>  
MAEYAMA Shinya<sup>1</sup>, WATANABE Tomo-Hiko<sup>1</sup>, NAKATA Motoki<sup>2</sup>, NUNAMI Masanori<sup>2</sup>,  
ISHIZAWA Akihiro<sup>3</sup>, ASAHI Yuuichi<sup>4</sup>

1)名大、2)核融合研、3)京大、4)原子力機構  
1) Nagoya Univ., 2) NIFS, 3) Kyoto Univ., 4) JAEA

局所フラックスチューブモデルに基づくジャイロ運動論的シミュレーションは、ある平衡分布下での乱流揺動の解析に用いられ、実験との比較も盛んにおこなわれている。プラズマのトロイダル回転や背景シア流の導入にはHammettらが提案したWavenumber remap法[1]が多くシミュレーションコードで用いられてきたが、計算の簡便性のために導入された離散波数空間での最近接点近似によるオペレータの時間不連続性が問題となりうることが指摘されていた。この問題を回避すべく、CandyらはWavenumber advection法[2]、McMillanらは非線形項計算に修正フーリエ変換を用いるCorrected wavenumber remap法[3]、ChristenらはMcMillanらの方法に線形項の時間連続性も加えたContinuous-in-time approach[4]など、近年手法の改良が議論されている。

広く普及しているフラックスチューブモデルの定式化では、沿磁力線座標系を用い、微視的不安定性の持つフルート型の揺動を仮定した局所近似が用いられる[5]。この際、磁気シアの効果は、沿磁力線座標の径方向依存性によるシミュレーションボックスの変形として取り入れられる(図a)。また、背景シア流がある場合は、中性流体乱流でも行われるように、流れに乗ったLagrange格子を利用する(図b)。この際、局所乱流の周期性を利用した格子再分割[6](図c)、または、Euler格子に戻す修正フーリエ変換[3,4]より、シミュレーションボックスの永続的な変形を避ける工夫がなされる。一方、本研究では、拡張MHDバルーニングモード[7]の解析から着想し、平衡シア流と磁気シアによる変形を打ち消し、バルーニング角を一定に保つ座標変換に基づくフラックスチューブモデルを新たに提案する(図d)。本手法は、既存手法に比べて、格子再分割による数値散逸の回

避、Floquetの定理として知られる周期的時間依存オペレータの一般化線形固有値解析と対応、背景シア流下でもモード構造が定義できるため三波相互作用解析などの手法が適用可能、という優位性を持つ。

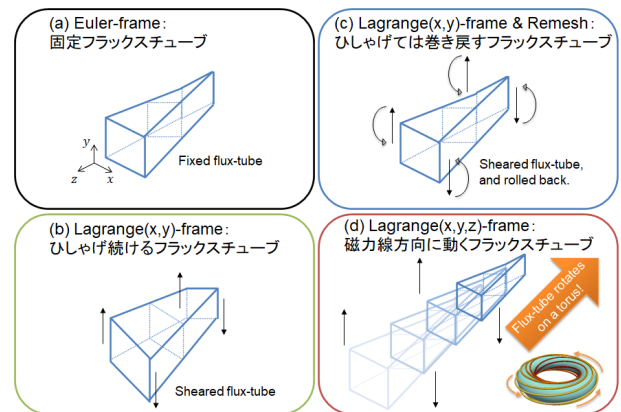


図. フラックスチューブモデルの模式図。(a)沿磁力線座標系によるEuler座標系フラックスチューブ。(b)平衡シア流に合わせたLagrange座標系フラックスチューブ。(c)背景シア流によるLagrange座標系の変形を、周期境界を利用した格子再分割により巻き戻すフラックスチューブ。(d)本研究で提案する、平衡シア流による変形と磁気シアによる変形を打ち消す座標変換を取り入れたフラックスチューブ。

- [1] G. W. Hammett, W. Dorland, N. F. Loureiro, T. Tatsuno, Bull. Am. Phys. Soc. VP1 (2006).
- [2] J. Candy, E. A. Belli, J. Comput. Phys. 356, 448 (2018).
- [3] B. F. McMillan, J. Ball, S. Brunner, Plasma Phys. Control. Fusion 61, 055006 (2019).
- [4] N. Christen, M. Barnes, F. I. Parra, J. Plasma Phys. 87, 905870230 (2021).
- [5] M. A. Beer, S. C. Cowley, G. W. Hammett, Phys. Plasmas 2, 2687 (1995).
- [6] R. S. Rogallo, Technical Report 81315, NASA, 1981.
- [7] J. W. Connor, R. J. Hastie, J. B. Taylor, Plasma Phys. Control. Fusion 46, B1 (2004).