

# 簡約化二流体モデルの非線形シミュレーションにおける保存則の検証 Verification of Conservation Law in Nonlinear Simulation of Reduced Two-Fluid Model

高野歩海<sup>1</sup>, 西村征也<sup>2</sup>  
Ayumi Takano<sup>1</sup>, Seiya Nishimura<sup>2</sup>,

法政大学理工学部電気電子工学科<sup>1</sup>, 国立研究開発法人量子科学技術研究開発機構<sup>2</sup>  
Department of Electric and Electronic Engineering, Hosei University<sup>1</sup>,  
National Institutes for Quantum Science and Technology<sup>2</sup>

## 1 本文

磁場閉じ込め核融合プラズマにおいては、電流駆動型や圧力駆動型の MHD 不安定性が発生する。本研究では、トカマクにおけるテアリングモードやバルーニングモードの非線形シミュレーションを行うため、簡約化二流体モデルに基づく円柱スペクトルコードを開発した。モデル方程式からエネルギー保存則および角運動量保存則の解析的な表式を導出し、非線形シミュレーション結果がこれらの保存則を満たすかを検証した。以下では、バルーニングモードの非線形発展における保存則の検証について述べる。

コードの概要は以下である。モデル方程式である簡約化二流体方程式は、渦度方程式、一般化されたオームの法則、圧力の発展方程式から構成される [1]。モデル方程式においては、円形断面のトカマクに対して、電子反磁性ドリフトとトロイダル曲率の効果が加味されている。実空間における各変数はポロイダル方向とトロイダル方向に複素フーリエ級数展開されている。スペクトル空間におけるモデル方程式に対して、小半径方向の微分は有限差分法、時間積分はルンゲクッタ法、ポアソン方程式は LU 分解法、非線形項は擬スペクトル法を用いて評価する。

Fig. 1 に、バルーニングモードの非線形発展におけるエネルギー変化率とソースの時間発展を示す。エネルギー変化率と線形エネルギーソースを比較すると、両者は釣り合っており、エネルギー保存則が満たされていることが確かめられる。また、準線形エネルギーソースと非線形エネルギーソースからの寄与がないことから、非線形項はエネルギーの受け渡しのみをしており、エネルギーの流入や散逸を伴わないことが分かる。

Fig. 2 に、バルーニングモードの非線形発展における角運動量変化率とトルクの時間発展を示す。角運動量変化率とトルクを比較すると、両者はおおむね釣り

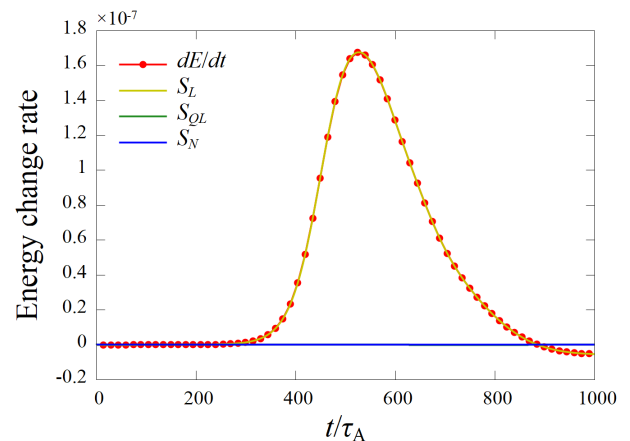


Fig. 1: エネルギー変化率とソースの時間発展

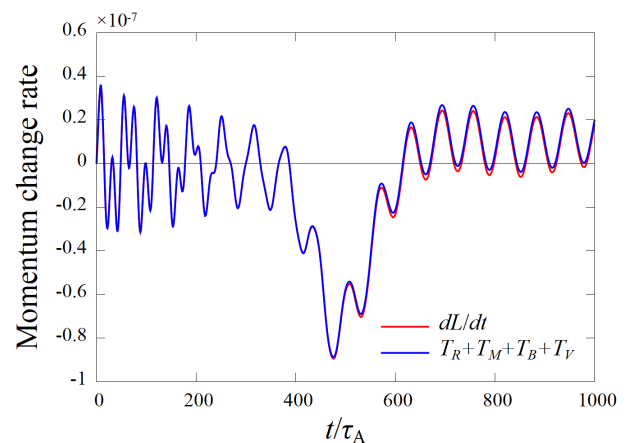


Fig. 2: 角運動量変化率とトルクの時間発展

合っているが、 $t/\tau_A = 500$  辺りの非線形領域から誤差が生じていることが確かめられる。この誤差は、(1,0)モードの圧力の固有関数において急峻な構造が形成されることが原因であり、小半径方向の解像度を上げると低減されることが確認されている。

## References

- [1] R. D. Hazeltine, M. Kotschenreuther and P. J. Morrisson, Phys. Fluids **28** (1985) 2466.