

同軸ヘリシティ入射で形成される球状トーラスの  
2流体と1流体平衡構造の比較  
Comparison between Two-fluid and Single-fluid Equilibrium Structures in  
Spherical Torus Formed by Coaxial Helicity Injection

神吉隆司<sup>1)</sup>, 永田正義<sup>2)</sup>  
Takashi KANKI<sup>1)</sup>, Masayoshi NAGATA<sup>2)</sup>

<sup>1)</sup>海上保安大, <sup>2)</sup>兵庫県立大院工  
<sup>1)</sup>Japan Coast Guard Academy, <sup>2)</sup>University of Hyogo

これまで流れのある2流体平衡方程式系から1流体平衡方程式系への簡約化に関して、キーポイントとなる一般化エンタルピーと静電ポテンシャル（電場）の関係を明らかにすることによって、定式化を行ってきた[1]。この定式化の際、電場が比較的大きくなるような物理量の規格化（MHD ordering）と正則化を行うためにイオンと電子のフロー面がお互いに近接しているが、厳密には一致しないようなNearby-fluids orderingが必要である。

円柱座標 $(R, \phi, Z)$ を用いて、イオン流体の面変数 $Y$ と電子流体の面変数 $\psi$ に対する軸対称2流体平衡方程式系は、それぞれ

$$\begin{aligned} \Phi'_i(Y)R^2\nabla \cdot \left[ \frac{\Phi'_i(Y)\nabla Y}{n} \frac{\nabla Y}{R^2} \right] &= \frac{R}{\varepsilon} [B_\phi \Phi'_i(Y) - nu_{i\phi}] \\ &\quad + nR^2 \left[ \frac{1}{\varepsilon} H'_i(Y) - T_i S'_i(Y) \right], \\ R^2\nabla \cdot \left[ \frac{\nabla \psi}{R^2} \right] &= \frac{R}{\varepsilon} [B_\phi \Phi'_e(\psi) - nu_{e\phi}] \\ &\quad - nR^2 \left[ \frac{1}{\varepsilon} H'_e(\psi) - T_e S'_e(\psi) \right], \end{aligned}$$

として表され、イオン流体と電子流体のBernoulliの式は、それぞれ $eh_i + \varepsilon u_i^2/2 + V_e = H_i(Y)$ ,  $eh_e - V_e = H_e(\psi)$ として表される。ここで、 $\varepsilon$ ,  $u_i$ ,  $n$ ,  $\mathbf{B}$ ,  $V_e$ は、それぞれ2流体パラメータ、イオン流速、数密度、磁場、静電ポテンシャルを表し、また、 $\Phi_\alpha$ ,  $H_\alpha$ ,  $T_\alpha$ ,  $S_\alpha$ ,  $h_\alpha$ は、それぞれポロイダル流速に対する流れ関数、一般化エンタルピー、温度、エントロピー、エンタルピーを表す。上記の2流体平衡方程式系は、境界条件と任意面関数 $\Phi_\alpha$ ,  $H_\alpha$ ,  $S_\alpha$ を適切に仮定することによって、数値的に解くことができる。

一方、面変数 $\psi$ （ポロイダル磁束関数）に対する軸対称1流体平衡方程式系は

$$\begin{aligned} \nabla \cdot \left[ \left( 1 - \frac{\Phi'^2(\psi)}{n} \right) \frac{\nabla \psi}{R^2} \right] &+ \mathbf{u} \cdot \mathbf{B} \Phi''(\psi) + nRu_\phi V'_e(\psi) \\ &+ \frac{B_\phi}{R} K'(\psi) + nH'(\psi) - \frac{n'}{\gamma-1} \frac{d}{d\psi} \{ \exp[(\gamma-1)S(\psi)] \} = 0 \end{aligned}$$

として表され、1流体のBernoulliの式は

$$\frac{1}{2} \frac{\Phi'^2(\psi)}{n^2} B^2 - \frac{1}{2} R^2 V_e'^2(\psi) + \frac{\gamma}{\gamma-1} n'^{\gamma-1} \exp[(\gamma-1)S(\psi)] = H(\psi)$$

として表される。新たに生じた関数は、2流体平衡方程式系で用いられている関数と関係づけられている。そこで、HIST装置の境界条件と実験値を考慮しながら、2流体平衡が存在して、且つ、2流体と同一計算パラメータで1流体平衡も存在する場合を探すために、数値計算を行った。図1は計算結果の一例であり、コア領域で比較的ブロードで、周辺領域で勾配を持つ密度分布を与えた場合のプラズマが作るトロイダル磁場 $\Delta B_t$ の径方向分布を示している。1流体平衡では、トロイダル磁場は真空トロイダル磁場にほぼ近い( $\Delta B_t \sim 0$ )が、やや常磁性的である。一方、2流体平衡では、トロイダル磁場は密度勾配が大きい周辺領域において反磁性的( $\Delta B_t < 0$ )であり、コア領域において常磁性的( $\Delta B_t > 0$ )である。2流体平衡では、周辺領域において2流体(反磁性)効果が顕著に現れることがわかる。

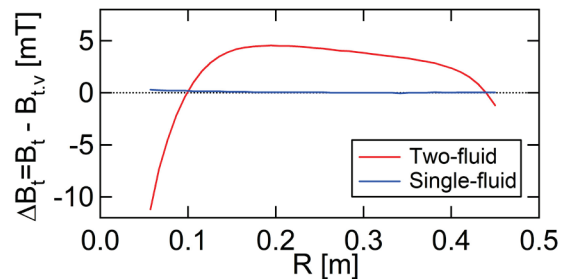


図1 プラズマが作るトロイダル磁場 $\Delta B_t$ の径方向分布

参考文献

[1] 神吉隆司, 永田正義: 第37回プラズマ・核融合学会年会, 1P046.