

システムコードのためのブートストラップ電流割合の簡易スケーリング式

¹魏 啓為, ¹小野 靖, ²相羽 信行, ²中村 誠, ²飛田 健次

¹東大新領域, ²原子力機構

ブートストラップ電流（自発電流）[1,2]は、電子圧力テンソルの異方性により誘起され、低衝突領域での新古典効果によって流れる。核融合炉の定常状態では、プラズマ電流に占めるブートストラップ電流の割合 f_{BS} ($= I_{BS}/I_p$) が大きい方が外部からの電流駆動が小さくて済むため望ましい。炉設計において運転点を定める際には、まずシステムコードを用いたパラメータスキャンが行われる。ブートストラップ電流は f_{BS} という形でスケーリング式から与えられるため、この値が正しく評価されないと正確なパラメータセットの算出ができない。ACCOME コード[3]を用いて、ITER と同じような形状を持った弱負磁気シアのトカマクを設定し、既存の f_{BS} 式[4 - 7]を用いたシステムコード（TPC コード[8]）の結果と比較を行ったところ、先進プラズマには対応していない可能性があることが分かった。そこで本研究では、Hirshman-Sigmar モデル[1, 2]を Matrix Inversion 法で解くことにより、システムコードのための簡易的な f_{BS} スケーリング式の導出を行う。

ブートストラップ電流を記述するモデルはいくつか存在するが、Hirshman-Sigmar モデルは行列形式の流速・熱束のバランス式を用いることで、①任意のアスペクト比、②複数イオン種、③全ての衝突領域、に対応可能である。

ブートストラップ電流割合のスケーリング式導出の先行研究としては、Wilson (1992) [9] が存在する。この論文では、約 3000 個の平衡を数値実験から作り出し f_{BS} を導出しているが、簡単な電流分布を係数 a_j によって表現しており、TPC で用いることができない。また、平衡コードを用いて大量の平衡構成を行うには莫大な時間が必要となる。そこで本研究では、ACCOME でブートストラップ電流密度 j_{BS} を、Hirshman-Sigmar モデルを Matrix Inversion を用いて算出する部分のみを実行し、大量のパラメータスキャンを行った。これにより大幅な時間短縮が可能となったが、入力パラメータから求めた初期平衡のみを用いているため、平衡に関

するパラメータをスケーリング式に使用することはできない。

スキャン範囲の設定に当たって、温度分布と密度分布は TPC に合わせてパラボラとし、 $n(\rho) = n_0(1 - \rho^2)^{am}$, $T(\rho) = T_0(1 - \rho^2)^{at}$ と表した。スキャン範囲は、アスペクト比 A を 1.3 から 5.0 まで 10 点、密度係数 a_n を 0.1 から 0.7 まで 8 点、温度係数 a_t を 0.6 から 3.0 まで 13 点、有効電荷 Z_{eff} を 1.2 から 3.0 まで 10 点を設定した。

数値実験で得られた約 10000 点のデータベースから、最も簡単な表式 $f_{BS} = C_{BS} \epsilon^{0.5} \beta_p$ を用いて、 C_{BS} をフィッティングした。このときフィッティング関数は $C_{BS} = c_0 x_1^{c1} x_2^{c2} x_3^{c3} x_4^{c4} x_5^{c5} x_6^{c6} x_7^{c7} x_8^{c8} x_9^{c9} x_{10}^{c10} x_{11}^{c11} x_{12}^{c12}$ とし、 $x_1 = \epsilon$, $x_2 = a_p (= a_t + a_n)$, $x_3 = a_t$, $x_4 = a_p a_t$, $x_5 = \epsilon^{0.5}$, $x_6 = \epsilon^{0.5} a_p$, $x_7 = \epsilon^{0.5} a_n$, $x_8 = \epsilon^{0.5} a_p a_n$, $x_9 = \epsilon a_p$, $x_{10} = \epsilon a_n$, $x_{11} = \epsilon a_p a_n$, $x_{12} = Z_{eff}$ と設定した。最小二乗法によりフィッティングを行った結果を、Table 1 および Figure 1 に示す。

Tab. 1 フィッティング係数

c_0	c_1	c_2	c_3	c_4	c_5	c_6	c_7	c_8	c_9	c_{10}	c_{11}	c_{12}
0.429	-0.272	0.444	-0.147	0.091	0.173	-0.026	0.015	-0.038	0.255	-0.382	0.108	0.165

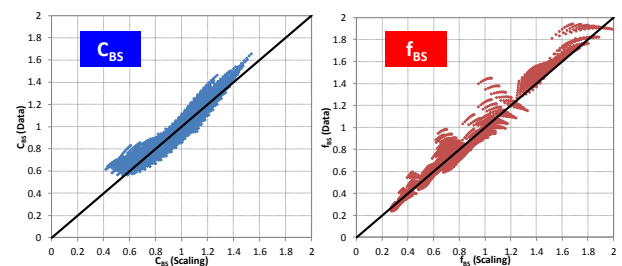


Fig. 1 フィッティング結果

[1] C.E. Kessel, Nucl. Fusion 34, 1221-1238 (1994).
 [2] M. Kikuchi *et al.*, Plasma Phys. Control. Fusion 37, 1215-1238 (1995).
 [3] K. Tani *et al.*, J. Comput. Phys. 98, 332-341 (1992).
 [4] N.A. Uckan *et al.*, IAEA/ITER/DS/10 (1989).
 [5] W.M. Nevins, IAEA-TN-PH-8-4 (1988).
 [6] Z. Dragojlovic *et al.*, Fusion Eng. Des. 85, 243-265 (2010).
 [7] M.C.R. Andorade *et al.*, Plasma Phys. Control. Fusion 50, 065001 (2008).
 [8] H. Fujieda *et al.*, JAERI-M, 92-178 (1992).
 [9] H.R. Wilson, Nucl. Fusion 32, 257-262 (1992).