

大型トカマクのECH/ECCD による非誘導立ち上げのための数値解析 Numerical study for non-inductive startup of large tokamaks by ECH/ECCD

前川孝¹、打田正樹¹、田中仁¹、福山淳²

MAEKAWA Takashi¹, UCHIDA Masaki¹, TANAKA Hitoshi¹, FUKUYAMA Atsushi²

¹京大エネルギー科学研究科、²京大工学研究科

¹Graduate School of Energy Science, ²Department of Nuclear Engineering, Kyoto University

序: トカマクにおいて非誘導方式で $T_e=1\text{keV}$ のプラズマを初期生成できれば、多くのメリットが生じる。

ECH/ECCDによる非誘導電流立ち上げは小型装置LATEでは(真空容器の寸法でみて) 十分大きな磁気面形成に至っている[1]。一方大型のJT60Uではきわめて小さな初期磁気面が報告されている[2]。最近のKSTARでの実験では、サイズは容器寸法に比して小さいが、ECCDを行うには十分大きな直径40cmの磁気面の形成に成功した[3]。しかし、この直後、内側容器壁面上の発光とともに放電が崩壊した。磁気面を囲むミラー比の大きな開磁場部の磁力線に沿ってプラズマが容器壁に流失し、不純物流入を招いたことによると推測される。これを抑制しさらに大きな磁気面に進展させる方法を探った。

結果: 次の二つの方策がある。

- ① **B_vの制御:** I_p 発展に伴うプラズマループの主半径方向の平衡の確保のために、初期磁気面形成時に外部垂直磁場 B_v を一旦定常あるいは若干下げる必要がある(実験では緩やかに上昇させていた)。
- ② **高効率ECCD:** 上記 B_v 制御とともに高効率ECCDにより速やかに大きな磁気面に成長させ、内側壁でのプラズマ壁相互作用を無くする。

項目①の詳細は以下のとおりである。
プラズマループの径方向平衡を与える式は

$$R_0 I_p B_v = \frac{\mu_0}{4\pi} G I_p^2 + 2S\langle P \rangle$$

ここで、右辺第一項は電流ループの拡張力、第二項は圧力膨張力を表す。 G はプラズマ電流分布の幾何学的因子から決まる無次元量で、大アスペクト比の円形断面プラズマ(シャフラノフの式)の場合は

$$G = \log\left(\frac{8R}{a}\right) + \frac{\ell_i}{2} - \frac{3}{2}$$

式を変形すると

$$S\langle P \rangle = -\frac{\mu_0 G}{8\pi} \left(I_p - \frac{2\pi}{\mu_0 G} R_0 B_v \right)^2 + \frac{\pi}{2\mu_0 G} (R_0 B_v)^2$$

となり、プラズマ電流が

$$I_p = I_{p0} \equiv \frac{2\pi}{\mu_0 G} R_0 B_v$$

のとき圧力項は図1に示す様に最大

$$S\langle P \rangle_{\max} = \frac{\pi}{2\mu_0 G} (R_0 B_v)^2$$

になる。

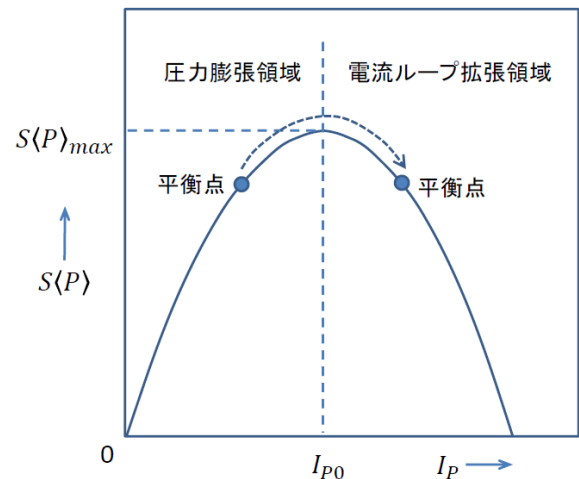


図1 一定の G , R_0 , B_v に対するプラズマループの平衡特性曲線

KSTAR 実験[3]の場合、平衡点はまだ圧力膨張領域にある。さらに電流を増大させるためには、 B_v 制御に関する②の処方により、電流ループ拡張領域に持っていくことが必要である。

項目②については斜め伝播異常波による ECCD が有望である。

[1] Uchida et al., PRL **104**(2010)065001

[2] Uchida et al., Nucl. Fusion **51**(2011)063031

[3] Tanaka et al., Nucl. Fusion **56**(2016)046003