

01aC29P

トカマクおよびヘリカル核融合炉の炉心プラズマ解析

Analysis of Fusion Core Plasmas in Tokamak and Helical Reactors

東山 陽 植村聡志 山崎耕造 庄司多津男 有本英樹
名大院工

You HIGASHIYAMA Satoshi UEMURA Kozo YAMAZAKI Tatsuo SHOJI Hideki ARIMOTO
Graduate School of Engineering, Nagoya University

磁場閉じ込め方式の核融合炉では、炉心プラズマをより高い核融合反応率で運転することが求められる。高い核融合反応率を得るためには、より高密度のプラズマが望ましく、特にプラズマ中心部で高密度となるピーク型の密度分布での運転が有効であると考えられている。

自己点火プラズマの主要な制御因子としては外部からの燃料供給が考えられるが、現在最も典型的な燃料供給方法としてはガスパフ法とペレット入射法がある。このうち、ペレット入射法はコアプラズマへの効率的な燃料供給方法であると考えられており、先述のピーク型密度分布での運転を可能にし、核融合反応率の向上に寄与することが期待される。

そこで、本研究ではペレット入射による燃料供給を想定した核融合炉の炉心プラズマを 1.5 次元または 2.0 次元平衡・輸送コード(TOTAL code)を用いて解析し、商用炉規模の装置における最も核融合反応率が高まるペレットの入射条件を検討した。

上記のコードにおいて、ペレットの溶発過程については熱電子と高速イオンの効果考慮した Neutral Gas Shielding (NGS)モデルを用いている。このモデルでは、密度分布に影響を与えるペレット入射条件のパラメータとしてペレットのサイズとプラズマへの入射速度が重要となる。Fig.1.(a),(b)にさまざまなペレットサイズ、入射速度に対する α 粒子出力の計算結果を示す。主半径 12.5m の LHD-like ヘリカル型核融合炉を想定し、平均密度 $\langle n \rangle$ が等しい場合における、ペレット入射条件が α 粒子出力に与える影響を表している。ペレットサイズ、入射速度の増加に伴い、より中心部への粒子供給が可能となり中心密度が高くなる。この密度分布の尖塔化は

ペレットの小型、低速度領域においては出力の増加に寄与しているが、ペレットサイズ、入射速度ともある値を境に出力の低下をもたらすことが判明した。つまりペレットサイズ、入射速度ともに装置に対して最適値を持ち、今回想定した核融合炉ではペレットサイズが 8mm、入射速度が 5km/s のときに最も高い核融合反応率となることが示された。ポスターでは、詳しい炉心プラズマの解析結果による考察およびトカマク炉(ITER-like)との比較、検討の結果をあわせて発表する。

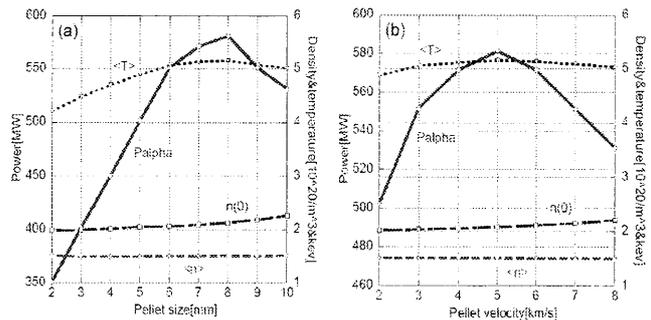


Fig.1 (a) Pellet size vs alpha particle power and (b) pellet velocity vs alpha particle power (Helical reactor parameter is $R = 12.5[m]$, $a = 2.2[m]$, $B_t = 4.5[T]$ and $\langle n \rangle = 1.5 \times 10^{20} [m^{-3}]$)

01aC30P

原型炉 SlimCS における物理設計から見た電流駆動装置

Current driven system in Slim CS from viewpoint of physical design

佐藤正泰、西尾敏、飛田健次、高橋幸司、春日井敦、井上多加志、坂本慶司、
原子力機構 那珂核融合研、

M. Sato, S. Nishio, K. Tobita, K. Takahashi, A. Kasugau, T. Inoue, K. Sakamoto.
Japan Atomic Energy Agency, NAKA Fusion

原子力機構では、中心ソレノイド(CS)を小型にしたコンパクトな炉を目指して原型炉の設計を進めている[1]。CSはフラットトップまで電流を立ち上げるだけの十分な磁束を有していないため、電流駆動装置の役割としては電流をフラットトップまで立ち上げる必要がある。電流駆動装置として、中性粒子入射(NBI)と電子サイクロトロン(EC)波を考えている。ここでは、それぞれの装置に対して、電流立ち上げシナリオ、電流駆動効率、必要パワー等を評価した結果を報告する。

CSで低いプラズマ電流(I_p)約3MA程度まで立ち上げ、その後、NBI又はEC波を用いて、 I_p をフラットトップまで立ち上げる。電流立ち上げ中にプラズマが満足しなければならないパラメータとして、閉じ込め則に対するHHファクター、グリーンワルド限界密度($n_{GW} = I_p / (\pi a^2)$)、そして、NBIを用いる場合はNBIシャインスルー(ρ_{sh})の条件が加わる。原型炉においては、このパラメータが将来どの様な値を取りうるかを判断し、設定した。即ち、HHファクターは $f_{HH} = n_{GW} / n_0 = 1$ で1.3以下、 $f_{HH} \leq 1$, $\max(\rho_{sh})$ は $1 \sim 2 \text{ MW/m}^2$ 以下とした。

各プラズマ電流の定常状態に対して、これらパラメータを満足させる必要があり、NBIの場合、NBI加速電圧(E_{NBI})に対して強い制限が存在する。低 I_p では、 $f_{HH} \leq 1$ を満足するには電子密度を低くせざるを得ないので、低い E_{NBI} を用いる必要があり、フラットトップで用いる E_{NBI} は電流駆動の割合を考慮すると高い電圧が望ましく、この場合は、加速電圧を変化させる必要がある。加速方式は従来のPerveanc Matchから定電流可変電圧方式(Constant Current Variable Voltage, (CCVV))に移行すると考えている。その理由はPerveanc MatchではNBIパワー(P_{NBI})が E_{NBI} の2.5乗に比例する($P_{NBI} \propto E_{NBI}^{2.5}$)ので、低電圧時(低電流時)に必要なパワーが充分とれない。それに対してCCVV方式では、 P_{NBI} が E_{NBI} に比例する($P_{NBI} \propto E_{NBI}$)ので、低電圧時(低電流時)にも必要なパワーがとれる。このCCVV方式を採用する事により、電流を立ち上げる事ができる[2]。

EC波については、NBIに比べ、シールドが容易であり、パワーを導波管で伝送できる等のメリットがある。シャインスルーの制約条件がないことにより、電流立ち上げシナリオの裕度は高い。しかし、核燃焼プラズマ($\langle T_e \rangle = 17.5 \text{ keV}$, $\langle n_e \rangle = 1.18 \times 10^{20} \text{ m}^{-3}$)において、電流駆動効率がNBIの半分程度と低いことがデメリットである(図1参照)。駆動効率が低いため、定常維持パワー、立ち上げ必要パワーが大きくなるが、120MW程度でフラットトップまで立ち上げる事が可能である[3]。NBIの90MWに対していくらか電源設備容量が増加するが、総合的な観点からECはNBIに対して遜色があるとは思えない。定量的な比較は今後の課題である。

[1] K. Tobita et al Fusion Eng. & Design 81 (2006) 1151, [2] M. Sato et al Fusion Eng. & Design 81 (2006) 1277,

[3] M. Sato et al EC14, Greece Santorini, 2006, May

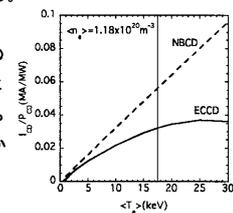


図1: I_{CD} / P_{CD} vs T_e