

原型炉における誘導電圧によるプラズマ着火の検討 Study on ohmic start-up of the DEMO plasma

杉山翔太^{1,2}, 新谷吉郎², 相羽信行^{1,2}, 坂本宜照^{1,2}

SUGIYAMA Shota^{1,2}, SHINYA Kichiro², AIBA Nobuyuki^{1,2}, SAKAMOTO Yoshiteru^{1,2}

量研¹, 原型炉設計合同特別チーム²

QST¹, Joint Special Design Team for Fusion DEMO²

原型炉プラズマの着火及び電流立ち上げは、後続の電流フラットトップ段階の初期条件や掃引可能な磁束量に影響するため、好ましい条件で信頼性のあるシナリオの開発が重要である。超伝導大型トカマクでは、印加可能な周回電圧が低いこと、真空容器や導体構造物の中を流れる渦電流が大きいこと等がプラズマ着火を困難にさせる [1]。信頼性のある着火手法として、電子サイクロトロン (EC) 波入射による補助 (EC アシスト) が有力であり [1]、原型炉プラズマの着火においても EC アシストが重要になることが予想される。EC アシスト着火の検討に先立ち、中心ソレノイド (CS) コイルからの誘導電圧のみによる着火シナリオを検討し、印加できる周回電圧の上限等の着火時の条件を調べておく必要がある。本研究の目的は、超伝導コイル設計と整合する原型炉プラズマ着火シナリオを検討及び検討手法を開発し、着火可能な周回電圧や充填ガス圧等のパラメータ領域を明らかにすることである。

初期励磁解析コード OH_eddy 及びトカマクプラズマ平衡解析コード TOSCA を用いて、着火フェーズ中のポロイダル磁場 (PF) コイル電流を決定する。PF コイル電流の時間発展から周回電圧及び着火領域の垂直磁場を求め、プラズマの時間発展の計算に使用する。電子雪崩フェーズの電子密度及びプラズマ電流を Townsend 雪崩理論 [2] により計算する。電子雪崩完了後から初期平衡形成までのプラズマ密度、温度及び電流は、粒子バランス、エネルギーバランス及びプラズマ電流の回路方程式から成る 0 次元解析モデル [3, 4] によって計算する。

図 1 に、現在の PF コイル設計と整合する、原型炉プラズマ着火シナリオの一例を示す。ここで、 I_p はプラズマ電流、 V_{loop} は周回電圧、 Y は重水素ガス供給率、 n_e は電子密度、 $T_{e(i)}$ は電子 (イオン) 温度である。CS コイルの磁束掃引を開始してから 0.3 秒後に着火領域中心の垂直磁場を 0 にし、1 秒後に初期平衡を形成するように PF コイル電流を決定した。初期平衡形成時のプラズマ電流は 0.24 MA とし、ガスパフによ

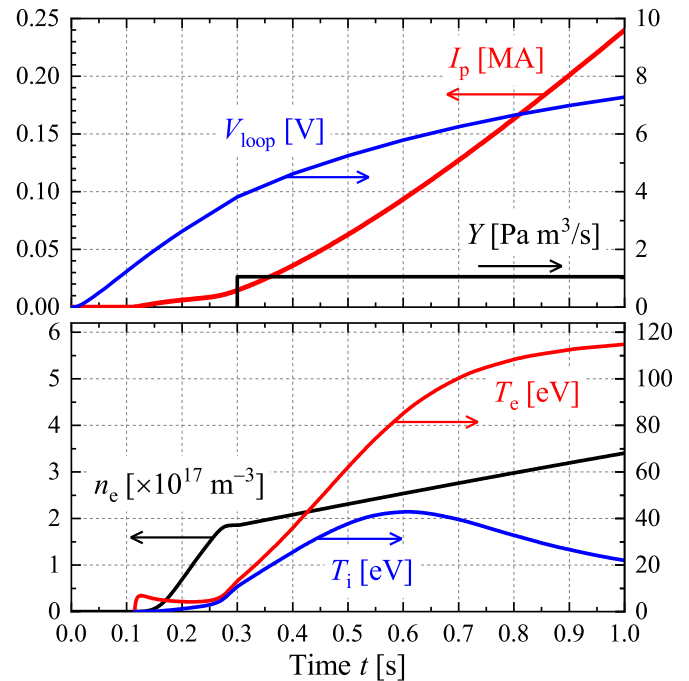


図 1: 原型炉プラズマ着火シナリオの例

りプラズマ電流を調整している。初期平衡後、リミタ配位からダイバータ配位への移行を経て円滑にプラズマ電流を立ち上げるに際し、図 1 のシナリオが十分であるとは限らず、電流立ち上げフェーズの検討と併せて、着火シナリオを最適化し改訂する必要がある。

今後、ダイバータ配位への移行や不純物イオンによる影響等を考慮し、超伝導コイル及び電源系の設計の進展に合わせて、EC アシストも含めた着火シナリオの検討を進めていく。発表では、これらの検討に向けて、現在の原型炉設計と整合し着火可能な、周回電圧や充填ガス圧等のパラメータ領域を議論する。

- [1] 前川, 他, プラズマ・核融合学会誌 **87** (2011) 671.
- [2] B. Lloyd, et al., Nucl. Fusion **31** (1991) 2031.
- [3] B. Lloyd, et al., Plasma Phys. Control. Fusion **38** (1996) 1627.
- [4] H.-T. Kim, et al., Nucl. Fusion **52** (2012) 103016.