

合体立ち上げを用いた球状トカマク型 DEMO 核融合炉のプラズマ物理設計 Conceptual Plasma Physics Design of the ST DEMO Reactor with the Merging Start-up

¹魏 啓為, ¹伊井 亨, ¹井 通暁, ¹小野 靖, ²飛田 健次
Keii Gi, Toru Ii, Michiaki Inomoto, Yasushi Ono and Kenji Tobita

¹東大新領域, ²原子力機構
¹The University of Tokyo, ²Japan Atomic Energy Agency (JAEA)

球状トカマク (ST) は、高楕円度、高ベータ、高ブートストラップ電流割合などの特徴をもつ魅力的な磁場配位である。しかしながら、装置中央部にセンターソレノイド (CS) コイルを設置するスペースが無いことから、ST 核融合炉では、非誘導プラズマ立ち上げが鍵となる。TS-3、TS-4、UTST、MAST で研究開発されてきたプラズマ合体法[1]は、磁気リコネクションを通した2つのトーラスプラズマの合体によって、急速に高ベータの ST を加熱することができる。そこで本研究では、プラズマ合体法による立ち上げを想定した、ST DEMO 炉の定常状態におけるプラズマ物理設計を行った。主たる設計目標は、1) 完全 CS レスの非誘導立ち上げ、2) 炉工学的には既存の炉設計レベル、3) 先進的なプラズマパラメータ、である。

まず、TPC コード[2]を用いて、定常運転時のパラメータセットの導出を行った。その際に、パラメータスキャンの入力値としてプラズマ形状とトロイダル磁場 (TF) コイルのデータセット (R_{TF} , $B_{t,max}$, R_p , a_p) を、SCONE コード[3]から決定した。このとき、超伝導線材は Nb_3Al 、TF コイル数は $N=12$ とし、TF コイルとプラズマ表面の距離は SlimCS[4]にならって $\Delta_{in} = 1.4$ [m]とした。温度と密度の分布はパラボラで Broad なプロファイルを設定し (プロファイル係数 $a_n = 0.3$, $a_t = 0.9$)、DN ダイバータ配位を想定した。パラメータスキャンの結果、ST DEMO 炉では HH ファクターが 2.0 を超え、厳しい数値となることが分かった。

次に、ACCOMME コード[5]を用いて、TPC から得られたパラメータセットのプラズマ物理設計を行った。ACCOMME を使用して高楕円度かつ ST のような低アスペクト比トカマクを解くことは、初めての試みである。ACCOMME は自由境界 MHD 平衡と駆動電流の空間分布を無矛盾に解くため、まずはターゲットとするプ

ラズマ形状を再現するために、4つの PF コイルを配置した。そして、外部電流駆動として1本の Co-NBI を設定し、その入射位置と角度を変化させた。ビーム駆動電流の位置を調整することで、NBI パワー P_{NBI} を最小化し、最小安全係数 q_{min} を上げることができた。ただし、現状のプラズマ物理設計では $q_{min} < 1.0$ となっており、プロファイルの見直しが必要である。また、ACCOMME の設計値を用いて TPC で再計算すると、パラメータに大きな齟齬が存在した。これは、TPC コードで用いている IPDB(1989)[6]のモデルが、所謂先進プラズマに対して不適切であるためと考えられる (特にブートストラップ電流割合 f_{BS} とビーム電流駆動効率 η_{NBI})。ITER-like のトカマク型を対象として、幾つかの f_{BS} スケーリングモデルの整合性を ACCOME で設計したプラズマと比較して検証したところ、平均で 25% のギャップが存在した。炉設計を行う上で、システムコードによるパラメータスキャンは最適運転点を見つけるために不可欠であるため、これらのモデル改善が早急に求められる。

最後に、今後の計画としては、1) MHD 安定性解析による限界ベータの確認と安定化シェルの設計、2) MAST における合体立ち上げ実験と結果の導入、3) システムコードの更新・改造 (特に f_{BS} モデル)、4) プラズマ合体法の特性を考慮した上での最適運転シナリオの導出、を検討している。

- [1] Y. Ono *et al.*, 19th IAEA Fusion Energy Conference, EX/P3-15 (2002).
[2] H. Fujieda *et al.*, JAERI-M, 92-178 (1992) (in Japanese).
[3] H. Utoh *et al.*, J. Plasma Fusion Res. 9, 304-309 (2010).
[4] K. Tobita *et al.*, Nucl. Fusion 49, 075029 (2009).
[5] K. Tani *et al.*, J. Comput. Phys. 98, 332-341 (1992).
[6] N.A. Uckan *et al.*, IAEA/ITER/DS/10 (1989).