

原型炉プラズマの上下位置安定性改善に向けた磁場構造最適化の検討

Optimization study of magnetic field configuration
for vertical stability in DEMO徳永晋介、宇藤裕康、染谷洋二、坂本宜照、日渡良爾、朝倉伸幸、飛田健次、
原型炉設計合同特別チームS. Tokunaga, H. Utoh, Y. Someya, Y. Sakamoto, R. Hiwatari, N. Asakura, K. Tobita
and Joint Special Design Team for Fusion DEMO

量研機構

QST

原型炉には、プラントとして、数十万 kW 超のネット電気出力、1 を超える総合的なトリチウム増殖率 (TBR)、実用に供し得る稼働率、の条件達成が新たに課せられる。これらから帰結される炉サイズ、遮蔽や増殖ブランケット (BLK) の厚み、保守交換ポートなどは、プラズマから遠ざかり大型化しかつ置きたい場所に必ずしも置けない各種コイルや、プラズマから遠い真空容器 (VV)、トロイダル方向に分割された導体シェルなど、トカマク磁場構造に対する制約として顕在化する。特に十分な立上げ磁束確保や、上下位置安定性とトレードオフである楕円度といった炉概念の根本を成す条件が、センターソレノイド (CS) や導体構造物がプラズマから遠ざかる影響を強く受けるため、この観点からの平衡やコイル配置の最適化検討が重要な課題となっている。炉内構造物の保守交換ポートの存在により、上下非対称な PF コイル配置が前提となるのも原型炉平衡の特徴と言える (図 1)。本発表では、供給磁束と位置形状制御の要求から見た垂直磁場 B_z 二次元分布最適化および、上下位置安定性を改善する導体構造物配置など、平衡最適化ではなく、炉構造・コイル配置を含めて多角的に進めている各種最適化検討の進捗状況を報告する。

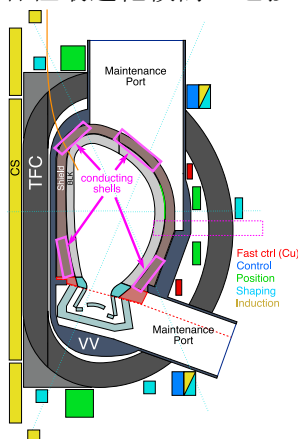


図 1. 現在検討を進めている原型炉概念のトロイダル断面図。試験的な効果検討対象であるコイルを含んでおり、実際にはここから絞り込む。保守ポートと PF コイル位置の取り合い、CS とプラズマの間の距離、シェルとプラズマの位置関係を示している。

CS とプラズマが遠ざかる原型炉では、CS とプラズマの間を通り抜け供給磁束をキャンセルする漏れ磁場が大きくなる。これを位置形状制御と矛盾せず抑制する単純な方法として、CS を上下方向へ延長することが考えられる。図 2 はプラズマ内径と CS コイル外径の比ごとの供給磁束の漏れ比率と CS コイル高さの 1/2 との関係を示す。ソレノイドが作る外部磁場解析解はコイル半径で規格化した R, Z 座標で書けるため、スケールには依存しない。図 2 は TFC+遮蔽+BLK の厚み合計を一定 ($\sim 3.1\text{m}$) としてプラズマ大半径を変えた 3 ケースを示しており、CS 高さ依存性は一致する。CS half-height 8m と 10m では供給磁束に 5% 程度の差が生じる。

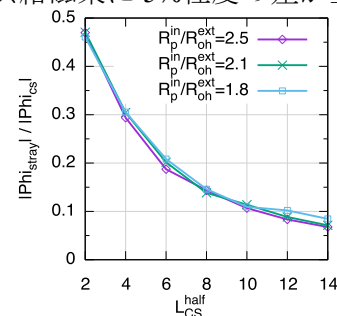


図 2. CS 供給磁束の漏れ比率と CS half-height の関係

CS 以外の外部コイルでの磁束供給は、位置形状の平衡条件から拘束を受ける。垂直磁場はゼロ次近似としてのシャフラノフ磁場という制約に、大半径方向分布の自由度があると考えられるが、これと上下位置安定性とは、decay index: $n = -R/B_z (\partial B_z / \partial R)$ によってリンクする。発表ではこの観点からの二重極・四重極・六重極磁場の最適化検討について報告する。また導体構造物配置最適化の効果、相互インダクタンスの上下対称性を改善する電流中心位置などについても検討結果を報告する予定である。