

原型炉炉心プラズマの出力制御シミュレーション研究 Simulation Study of Fusion Output Control in DEMO

徳永晋介 日本原子力研究開発機構、核融合炉システム研究グループ

エネルギー源としての一定の経済合理性実証を役割として求められる原型炉の設計[1]には、これまでのトカマク装置とは異なる多くの制約条件が課される。炉心プラズマ制御の観点からは、

1. トリチウム増殖率確保の要請と強烈な熱・中性子負荷のために、計測機器、制御装置が大幅に限定される事。
2. 経済性追求の帰結として、高い自己加熱・自発電流比率が要求され、相対的に非力な外部加熱・電流駆動による制御が要求される事。

の2点が、特に原型炉における新たなチャレンジとして強調される。乏しい計測情報と非力かつ限られた手段による制御手法のあり方の検討は、トリチウム増殖率、メンテナンスポート設計、ダイバータ負荷、消費電力等ともリンクして来るため、他の炉設計要素検討と平行してトレードオフを勘案するためのトライ&エラーが必要となる。原型炉炉心プラズマに関しては、上述した計測の問題から精妙巧緻な制御は必ずしも望み得ない。そのためシンプルかつロバスト、それでいて極力消費エネルギーの少ない制御手法・オペレーションシナリオの構築が求められる。

炉の構造自体が未確定である設計段階での炉心シミュレーションには茫漠としたパラメータ自由度が存在する。炉設計活動の一環として行われる炉心制御シミュレーション研究はその自由度の中で多量のパラメータサーベイが必要となるため、実在する装置での実験解析に比べると、厳密さと計算速度のバランスにおいて後者の重要性が増す。また、想定する装置自体の変更への頻繁な対応も求められる。炉システムグループにおいて開発が進められている ATLAS は、計算速度と各装置モジュールの独立性を重視した、プラズマ統合コードのカスタムチューニングモデルと位置づけられる。

エネルギー源としての眼目である核融合出力は燃料密度の自乗に比例するため、炉心設計において非常に重要となるのが粒子バランス制御である[2]。特にトカマクではグリーンヴァルド密度限界の制約を受けるエッジ密度への影響を避けて燃料供給量・燃料純度を制御する手段として、炉心へのペレット入射は炉心制御の最重要ツールとして制御手法構築と技術開発課題・目標の抽出が必要とされている。トカマク装置ではコアでの密度ピーキングをもたらす粒子ピンチが観測されており、出力向上にとっては好都合である一方、燃料純度を低下させるヘリウム灰排気効率への悪影響が懸念されている。しかしながら粒子ピンチの物理機構や強さに関しては、現時点で定量的見通しを得られるだけの理解が得られていない。また、粒子バランスを考慮する上では排気効率に依存するコアへの粒子リサイクリングも重要である。本研究では、粒子ピンチの影響を不確定パラメータとして考慮しながら、リサイクリング率、ペレット侵入深さ、粒子供給量等について核融合出力への影響を大規模パラメータサーベイにより調査した。ペレット入射装置に対して目標核融合出力から要求される性能は、現状と極めて大きな乖離がある事が示された。現時点における不確定要因と、今後の粒子制御技術開発の可能性に関する検討・議論を含め、原型炉炉心制御検討の現状について報告を行う。

References

- [1] K. Tobita, *et al.*, Fusion Eng. Design. **81**, 1151 (2006).
- [2] H. Takenaga, *et al.*, Fusion Sc. Technol. **57**, 94 (2010)