

原型炉に向けたプラズマ計測の課題

秋山毅志

核融合科学研究所

原型炉での計装制御を考える際、現在建設が進んでいる ITER での計測器群が重要な参考資料となる。ただし、ITER よりも様々な制約が厳しい原型炉では、ITER での計測器がそのまま原型炉でも使用できる保証がない。

原型炉では、

- (1) 中性子漏洩やトリウム増殖のため、設置可能場所や視線に制約
- (2) ITER より 1-2 桁高いと予想される放射線
- (3) 定常運転で数年程度の寿命

等の条件が課せられる。炉心プラズマを立ち上げ、燃焼、定常維持するために運転シナリオから最低限必要とされる計測器と計測精度があり、それらが上記の条件を満たした上で必要精度が達成可能か、検討する必要がある。2020 年代前半に原型炉設計を完了するためには、このような検討は早期に着手すべきである。これは、例えば放射線環境下での健全性を評価するための照射試験では、時間のかかる照射を膨大なサンプルで行う必要があり、試験体制を組織的に整備することが望ましい。もし、必須とされる計測器が設置の見込みがなくなれば、その代替計測を考案して実機で検証する必要がある。また、物理量、空間情報が限定的な場合は、それでプラズマ制御をするにはシミュレーションで補ってやることも想定され、そのコード開発にも時間を要する。

本発表は、2012 年より開始した核融合科学研究所一般共同研究「環状核融合原型炉運転のための計装制御システムの検討評価」(代表:松田慎三郎)での調査研究に基づいている。共同研究では、トカマク・ヘリカルそれぞれの閉じ込め方式で必要な計測器セットを抽出し、それらの原型炉環境下での成立性や、どのような研究課題があるかを検討した。例えば、トカマクとヘリカルいずれの閉じ込め方式でも、線平均電子密度計測は必須である。特にヘリカル炉では、線平均電子密度は燃料供給に対して中性子出力より応答性が速いため、プラズマ定常維持に線平均電子密度の帰還制御を行う運転シナリオが提案されている。そのため、適切な燃料供給量ができなくなるフリンジジャンプ(位相変化(フリンジ数)の数え間違い)による計測ミスは、絶対に避けなければいけない。また、線平均電子密度 $1 \times 10^{18} \text{ m}^{-3}$ の変動は、核融合定格出力 3 GW の 5%にあたる 0.17 GW の変動につながるため、 10^{17} m^{-3} 程度の線平均電子密度分解能が必要とされる。これらは既存の 2 波長干渉計や偏光計では実現は難しく、ディスパージョン干渉計という機械振動による計測誤差が無い特殊な干渉計が運転シナリオからの要請で候補となる。また、真空窓材候補の石英に数年程度の寿命を持たせるためには、計測ダクト内に 1-2 か所のラビリンス構造が必須である。第一ミラーはこれまでの照射試験では放射線による性能低下は確認されていないが、第一壁位置での中性子フルエンスまで曝した例が無いため、今後照射試験の実施が求められる。

以上のように、原型炉の計測器は従来の装置と比較して、炉設計や運転シナリオとの整合性が強く求められている。総合的な観点から計測器の仕様を決める必要もあり、今後材料選定などの地道な点での R&D も継続的に行っていくことが求められる。