

外部トリチウム燃料なしでのDTトカマク型核融合炉起動 に着目した炉設計検討

学生証番号 47146079 氏名 村田 尚貴
(指導教員 小川 雄一 教授)

Key Words: Tokamak reactor, DT nuclear fusion, Tritium, Start-up, Reactor design

1. はじめに

燃料となるトリチウムは自然界には僅かしか存在しておらず、核融合炉で発生する中性子とトリチウムとの反応によって自己増殖しながら運用することになる。しかし、炉の起動時には、トリチウムが十分に回収されるまでの期間、核融合反応を維持するだけの初期燃料トリチウムが必要となる。一方で、重水炉による数少ないトリチウムの生産量は、炉の老朽化による運転停止やITERの運転により減少していくことが予想されており、原型炉を導入する際にはトリチウムが不足する^[1]。また、放射性物質の運搬や備蓄には危険が伴う。そこで、重水素だけを用いたDD核融合反応を通して少しずつトリチウムを生成し、DT核融合炉を定格運転まで起動する運転方法が提案されている^[2]。

2. 本研究の目的

先行研究で外部供給トリチウムを要しないDT核融合炉の起動計算については行われてきた。しかし、立ち上げ開始時に支配的となることが考えられる炉心プラズマ熱化粒子とビーム粒子の直接反応(ビーム核融合反応)の計算が炉設計値に応じて変えられない。そこで、本研究では、炉設計値からビーム核融合反応出力を計算できるスケーリング式の構築を行い、それをを用いて設計値や炉心プラズマ条件を変更することで、起動期間を短くできる可能性について検討する。

3. ビーム核融合反応出力計算式の構築

ビーム核融合反応計算を行うことができるDRIVERコードからスケーリング式を構築、起動コードに実装する。理論的考察や120点のデータ統計処理より以下の式を得た。

$$P_{TCT-DT} = 0.581 B_t^{3.0} q^{-1.5} A^{-1.5} n_e^{-2.4} E_b^{0.5} I_b n_T$$
$$P_{TCT-DD} = 0.016 B_t^{3.0} q^{-1.6} A^{-1.5} n_e^{-2.6} E_b^{1.7} I_b n_D$$

4. DT核融合炉の起動期間に関する炉設計検討

【炉形状依存性】 大半径Rや小半径a、楕円度κが大きいほど起動期間は短くなる。これは炉心プラズマでの粒子閉じ込め時間向上により各循環系への余計なトリチウム輸送を抑えられ、高燃焼率を実現できるためである。

【ビームエネルギー依存性】 ビームエネルギー E_b が高いほど起動期間は短くなる。また、CRESTで2.5MeVの高エネルギービームを想定した場合でも、56日間はNBIによるエネルギー消費量の方が多いが、起動までに約 6.7×10^5 GJの利得になる。

【トロイダル磁場依存性】 磁場 B_t が小さいほど起動期間は短くなる。しかし、4.5Tと8.5Tの磁場で比べても約10日しか短くならない。そのため、起動期間を短くする設計を考える上では磁場による制約は小さいといえる。一方で、今回の計算上では、磁場の変化に応じて温度や密度を計算していないため、今後の課題となる。

【初期プラズマ密度・温度依存性】 炉心プラズマの初期重水素密度 n_{D0} および、初期温度 T_0 が大きいほど起動期間は短くなる。そして、 $n_{D0} < 0.6$, $T_0 < 4.0$ で受容可能な範囲で定格出力に至らなくなる。また、同じプラズマ圧力であるならば、密度を大きくし、温度を小さくする起動方法方が起動期間を短くする。

参考文献

[1] Scott Willms, Fusion Nuclear Science and Technology Meeting UCLA, (2008).

[2] Y. Asaoka, S.Konishi, R. Hiwatari, Komae Research Laboratory Rep.No.T980101 (2001).