

核融合原型炉における粒子制御の課題と展望

竹永秀信 原子力機構

自律性の高い燃焼プラズマにおいて、密度は外部からの制御が比較的容易な物理量であり、粒子制御は燃焼プラズマの制御にとって重要な要素である。炉心プラズマを定常に維持するためには、系全体での熱・粒子の収支をバランスさせる必要がある。熱バランスに関しては、ダイバータの密度を高めつつ(高リサイクリング状態)、不純物入射により放射損失を増大させ、ダイバータ板への熱負荷集中を避けるシナリオが想定されている。一方、粒子バランスに関しては、外部からの燃料供給とダイバータでの排気により適切な炉心プラズマの密度を維持する必要がある。このように、粒子制御は炉心プラズマでの熱・粒子のバランスにとって本質的な役割を果たす。

最初に原型炉での熱・粒子バランスについて考察する。図1に SlimCS 設計パラメータ (2.95 GW 出力) を用いて考察した粒子バランスを示す[1]。ここでは、トリチウムは少ない供給量で高い密度を維持するために主プラズマへ供給し、重水素は高密度とダイバータでの高リサイクリングを維持するために主プラズマ及び周辺プラズマへ供給することを想定する。主プラズマ供給粒子の閉じ込め時間を 2 s、周辺プラズマ供給粒子の閉じ込め時間を 2 ms、ダイバータでの排気効率を 3%と仮定した場合の粒子バランスを示す。トリチウムに関しては、主プラズマへの供給率が 2.53×10^{22} atoms/s の場合に定格出力に必要なトリチウム密度 ($\sim 5 \times 10^{19} \text{ m}^{-3}$) が維持される。この時、トリチウムのリサイクリング率は 7.83×10^{23} atoms/s である。ダイバータ板への熱負荷は 150 MW で設計されており、この時にダイバータの温度を 10 eV 以下にするためには、リサイクリング率を 10^{25} atoms/s 程度まで増加させる必要がある。そのため、重水素に関しては、主プラズマでの重水素密度を維持するための主プラズマへの供給率 1.35×10^{22} atoms/s と、高リサイクリングを維持するための周辺プラズマへの供給率 3.64×10^{23} atoms/s が必要である。結果として、重水素の総供給率はトリチウムの供給率より 1 桁以上大きくなっている。

講演では、粒子閉じ込め時間や排気率、供給シナリオを変化させた場合の粒子バランスの変化をもとに、原型炉での粒子制御の課題について議論する。さらに、炉心プラズマの密度分布と不純物輸送[2]、ペレット入射装置及びガスジェット装置を用いた場合の閉じ込めへの影響[3]、燃焼模擬実験結果[4]についても報告し、これまでの実験で明らかになったこと、今後明らかにすべきことについて議論する。

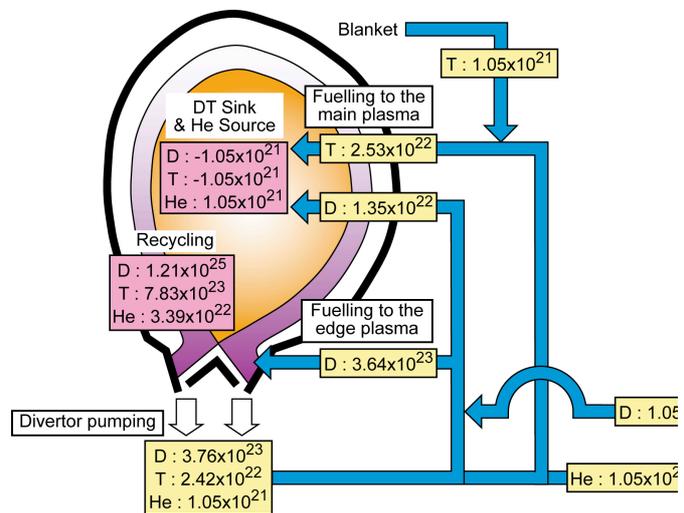


図 1 SlimCS 設計パラメータを用いて計算した粒子バランス。主プラズマ供給粒子の閉じ込め時間 2 s、周辺プラズマ供給粒子の閉じ込め時間 2 ms、ダイバータでの排気効率 3%を仮定。

- [1] H. Takenaga et al., Fusion Sci. Technol. **57** (2010) 94.
- [2] H. Takenaga et al., Nucl. Fusion **45** (2005) 1618.
- [3] H. Takenaga et al., Nucl. Fusion **49** (2009) 075012.
- [4] H. Takenaga et al., Nucl. Fusion **48** (2008) 035011.