

D-³HeおよびD-D核融合炉の経済性解析およびCOEに関するスケーリング則の導出

Economic Evaluation of D-³He and D-D Fusion Reactors and Derivation of Scaling Law for COE

近藤拓也¹、山崎耕造¹、有本英樹¹、庄司多津男¹、大石鉄太郎²
Takuya Kondo, Kozo Yamazaki, Hideki Arimoto, Tatsuo Shoji, Tetsutarou Oishi

名大院工¹、核融合研²
Eng., Nagoya Univ.¹, NIFS.²

将来のエネルギー源として、重水素(D)とトリチウム(T)によるD-T反応を用いた核融合発電の実用化が期待されている。D-T核融合反応は低いプラズマ温度で高い反応率を持つが、D-T核融合炉で生み出されるエネルギーの80%は14.1MeVの中性子によるものであり、炉壁や炉内機器の放射化が問題となる。また、放射性同位体であるトリチウムの増殖、貯蔵システムが必要となる。そこで本研究では、中性子が発生しないD-³He反応と、入手が容易な重水素のみを用いるD-D反応を利用した先進燃料核融合炉に注目した。

核融合炉が社会的に受容されるためには、炉の経済性が重要である。本研究では3種類の磁場閉じ込め方式での先進燃料核融合炉の経済性を計算、比較する。そしてD-T核融合炉と同等の経済性を得るためには、どの程度の炉性能が必要となるのかを明らかにする。

本研究では、炉設計システムコードであるPhysics-Engineering-Cost (PEC) コード[1]を用いて、kWhあたりの発電単価(COE: Cost of Electricity)を計算することで経済性を評価した。PECコードは、プラズマの閉じ込め性能を表す規格化β値(β_N)や、目標送電端出力などのインプットパラメータからプラズマパラメータおよび工学設計を決定し、コストを算出する。今回、目標値を送電端電気出力1000MWとしてトカマク炉(TR)、球状トカマク炉(ST)、ヘリカル炉(HR)の3つの閉じ込め方式それぞれについてD-T燃料、D-³He燃料、D-D燃料の3つの燃料方式を用いた合計9個のタイプの炉のコストを比較した。D-D燃料に関しては、D-D反応で生成されるとTと³Heも燃料として利用することができるモデルを用いた。

TRについてβ_NとCOEの関係を図1に示す。プラズマ中心のイオン温度はD-T炉は30keVとしたが、D-³He炉とD-D炉に関しては、低温では反応率が低いため70keVを仮定している。βが大きくなることでプラズマ中の粒子の密度が大きくなり、核融合出力密度が大きくなる。そのため、目標送電端出力を満たすために必要なプラズマ体積が小さくなるので、炉のサイズが小さくなり建設費が減少し、COEも減少した。先進燃料炉は核融合反応率が低く、D-T炉と比べ大きな装置が必要となるためにCOEが増大した。今回、β以外のパラメータでもサーベイを行い、COEに関するスケーリング則を重回帰分析により作成した。式(1)がTR D-T、式(2)がTR D-³Heのスケーリング則である。STとHRに関する解析結果等の詳細はポスターにて発表する。

$$COE^{TR D-T} = 10^{1.29} \frac{1}{P_e^{0.48} f_{avail}^{0.90} \beta_N^{0.53} B_{max}^{0.09} f_{th}^{0.44} t_{oper}^{0.78}} \quad (1)$$

$$COE^{TR D-^3He} = 10^{1.89} \frac{1}{P_e^{0.52} f_{avail}^{0.92} \beta_N^{0.77} B_{max}^{0.48} f_{th}^{0.39} t_{oper}^{0.81}} \quad (2)$$

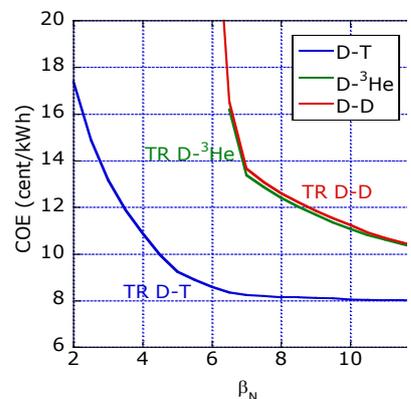


図1 TRでのβ_Nに対するCOE

[1] K. Yamazaki, T. J. Dolan, Fusion Engineering and Design 81 (2006) 1145-1149