

原型炉におけるトリチウムバランスの検討

Study on Tritium Balance in DEMO Reactor

吉村暢也¹, 松浦秀明¹, 浦川知己¹, 日渡良爾², 染谷洋二², 坂本宜照²
N. Yoshimura¹, H. Matsuura¹, T. Urakawa¹, R. Hiwatari², Y. Someya², Y. Sakamoto²

¹九大院工, ²量子科学技術研究開発機構

¹Kyushu Univ., ²QST.

【緒言】

核融合炉は主燃料として重水素とトリチウム(T)を用いる。しかし、Tは天然に微量しか存在せず、ITERに続く原型炉においては、Tの自己充足性を満たすT燃料循環システムの構築が必須である。そのため、過去の研究では複数の解析モデルが提示され、各モデルにおいて初期装荷T量などが見積もられた[1-6]。また、T燃料循環システムの重要なパラメータであるT燃焼率やT増殖率(TBR)などについては、多くの研究により確認が進められている[3,7]が、各システムの透過や蓄積の損失については厳密に確定されていないのが現状である。今後これらの検討を進めていくうえで、Tの自己充足性を満たすための損失係数の許容範囲を把握しておくことは重要である。今回の発表では、原型炉のT自己充足性を満たすために各損失係数へ要求される値を推定し、その値が炉全体の実効TBRに与える影響について検討したので報告する。

【解析方法】

本検討で用いたモデルをFig.1に示す。核融合炉のT燃料循環システムは、朝岡らのモデル[1,2]を基本とする。本検討では、このモデルに以下四つの修正を加えた。

I プラズマへ注入したTの燃焼への寄与割合(fueling efficiency = η)の考慮 [5]

II 冷却水へのT透過によるT損失の考慮 [4]

III ダイバータエリアにおけるT透過によるT損失の考慮 [4]

IV プラズマ対向材料のWへの変更(T蓄積の減少) [3]

T燃料循環システムは、1: 炉心(pl), 2: 排気・排ガス処理(ex), 3: 同位体分離(is), 4: 貯蔵システム(st), 5: 燃料入射(fi), 6: ブランケットT回収(bl) の計6個($i=1-6$)のサブシステムで構成される。これらのサブシステムについて、Tバランスを定式化し解くことによって、初期装荷T量などが求まる。Fig.1のT燃料循環システムに含まれるパラメータは、貯蔵システム(st)を除く各サブシステムの処理に関わる時定数(t_i)、T透過に起因する損失を表す透過係数(a_i)、T蓄積に起因する損失を表す蓄積係数(b_i)、T増殖率、fueling efficiencyの計19個である。核融合出力は1.5 GW_{th}とし、貯蔵システムの処理時間は炉心のTが一定となるように調整する。原型炉のT自己充足性を満たすために各損失係数へ要求される値の推定については、まず上のモデルで損失係数 $a, b = 0$ とし、2パターン(TBR: 1.1, fueling efficiency: 100%...①とTBR: 1.05, fueling efficiency: 25%...②)で許容透過率 A' [g/s] を求め、 $a'N = A'(N[\text{g}] \dots$ 総インベントリ 20 kg を仮定) の関係より許容透過係数 a' [1/s] を求める。次に、透過係数 a を許容透過係数 a' を十分に満足するという仮定の下で変化させ、それぞれの透過係数に対応する許容蓄積率 B' [g/s] を求める。最後に、 $b'X = B'$ (各システムでの単位時間当たりの処理量 X [g/s]) の関係より、仮定した透過係数の下で許容蓄積係数 b' [-] を求める。

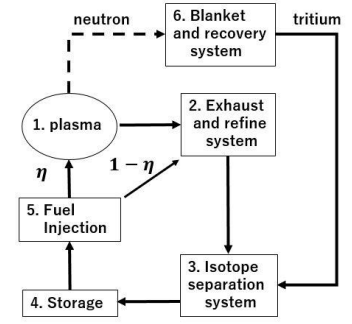


Fig.1: Fuel cycle model of fusion power reactor

【検討結果】

本稿では、許容透過係数 a' と許容蓄積係数 b' について説明する。まず、パターン①において上のモデルで損失係数 $a, b = 0$ としたTバランス式を仮定すると、Tは3年で一定量増加した。ここで、T透過は一定と仮定し3年で増加した量だけ許容できるとすると、許容透過率 A' が求まる。許容透過係数 a' [1/s] は、 $a'N = A'$ より、 $a' = 1.2 \times 10^{-8} / \text{s}$ と計算できる。次に、透過係数 a を許容透過係数 a' 以下で変化させ、それぞれの透過係数に対応する許容蓄積率 B' [g/s] を求める。最後に、 $b'X = B'$ (各システムでの単位時間当たりの処理量 X [g/s]) の関係より許容蓄積係数 b' [-] を求めるが、 X は核融合出力より概算できるので、 $a = 1.0 \times 10^{-9} / \text{s}$ を仮定すると許容蓄積係数 b' は燃料系で $b' = 2.3 \times 10^{-4}$ 、Blanketで $b' = 1.2 \times 10^{-2}$ と計算できる。同様に、パターン②でも許容透過係数 a' と許容蓄積係数 b' を求めることができる。ここで、Fig.2に透過係数 a とそれに対応する燃料系の許容蓄積係数 b' の関係を示す。横軸は透過係数 a [1/s]、縦軸は許容蓄積係数 b' [-] を表す。また、青線はパターン①での計算結果、赤線はパターン②での計算結果を示す。図を見ると、どちらの線も透過係数 a が小さくなると、許容蓄積係数 b' が大きくなるのが分かる。次に、青線と赤線を比較すると、青線の方が許容透過係数 a' が大きいことと同じ透過係数に対する許容蓄積係数が大きくなるのが分かる。これは、青線の条件の方がTBRとfueling efficiencyが大きいので、増殖するT量が多くなることと燃料系で単位時間当たりに処理されるT量が少なくなることから考えることができる。また、パターン①でも透過係数 a が 1.0×10^{-8} で上のモデルを仮定すると1日当たりの透過量が17 g/dayとなり、Tバランスの観点から透過係数 a を $1.0 \times 10^{-9} / \text{s}$ 以下に抑えることが望ましいと考える。ポスター発表では、透過係数 a と蓄積係数 b が炉全体の実効TBRに与える影響についてもまとめて発表する。

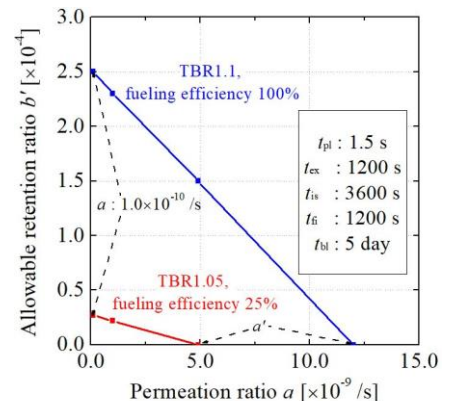


Fig.2: Relationship of allowable loss ratio

[1] Y. Asaoka, et al., Fusion Tech., **30** (1996) 853. [2] 日渡良爾, 原子力学会誌, **60** (2018) 488. [3] M. Nishikawa, et al., J. Plasma Fusion Res., **87** (2011) 503.

[4] 染谷洋二, QST 共同研究, JAEA 東京事務所, 2014.12, JAEA 大洗研究開発センター, 2015.9. [5] R. Kasada, Fusion Eng. Des., **98-99** (2015) 1804.

[6] S. Kwon, et al., IEEE Tr. Fusion Sci., (2013) [7] Y. Someya, et al., Fusion Eng. Des., **146** (2019) 894-897.