

トリチウム制限型燃料によるレーザー核融合炉の燃料増殖シナリオに関する研究 Tritium breeding scenario of laser inertial fusion reactor with reduced-tritium fuel

*大宮 馨¹, 城崎 知至², 内海 幹大¹, 松尾 一輝³, 近藤 正聡¹,
¹東京科学大学, ²広島大学, ³株式会社 EX-Fusion

世界のトリチウム(T)資源量は限定的であるため, レーザー核融合炉において少量の T 量を用いた小さい燃料球を用いた運転から開始し, T を増殖しながら最終的に最適な T 量の燃料球を用いた定常運転を目指すシナリオをシステムダイナミクスシミュレーションにより明らかにした。

キーワード: レーザー核融合炉, 液体ブランケット, トリチウム増殖, システムダイナミクス, LiPb

1. 緒言 トリチウム(T)の資源量は 2025 年時点で約 57 kg で, T 生産を担う重水炉の停止後, 実験炉による消費を考慮すると枯渇の可能性が指摘されている[1]. 本研究の目的は, 優れた T 燃料増殖特性を有するレーザー核融合炉(核融合出力: 2.4 GW, 電気出力: 1 GW)において少量の T 量を用いた小さい燃料球(T 制限型燃料球)を使用し, T を増殖しながら運転するシナリオをシステムダイナミクス(SD)シミュレーションにより明らかにすることである。

2. 計算方法 核融合燃焼シミュレーションコード FIBMET[2]により高速点火方式を想定し, 最大圧縮状態を一様圧縮球プラズマで仮定した燃焼計算を行い, 重水素(D)同士の D-D 核融合反応と D-T 核融合反応数の燃料中 T 量依存性を求めた. 燃料球内の D の割合が高い場合には, D-T 核融合反応数が少なく, この反応で発生する α 粒子によるエネルギー付与が十分でなく, 点火レーザー照射後の核融合反応が促進されない. そこで, 燃焼シミュレーションでは燃料中の D-T 比を 1:1 で一定とし, T 量を変化させた. このとき, 圧縮燃料の密度を一定とし, 燃料内 T 量の増加に伴い燃料球の直径を大きくした. 燃料増殖材として, 従来の液体リチウム鉛合金(LiPb)に加え, リチウムの割合が高い Lithium Enhanced Lithium Lead Alloy(LELLA)を対象として, T 増殖率(TBR)を PHITS(ver.3.34)[3]を用いて求めた. 図 1 にレーザー核融合炉を 5 つの機器に大別したものを示す. システムダイナミクス(SD)シミュレーションでは, T 増殖のための連続運転中における機器内の T インベントリの変化を求めた. T が各機器を通過する平均時間を滞留時間として定義した. 連続運転中の T 増殖に伴い燃料中の T 量が増えていくが, この時の核融合反応数は FIBMET による計算結果を与えた. 表 1 に SD シミュレーションの条件を示す.

3. 結果と考察 FIBMET を用いて T 制限型燃料における核融合反応数の T 量依存性を図 2(a)に示す. 核融合反応数は燃料中の T 量の約 2 乗で増加する依存性が得られた. LELLA ブランケットにおけるフルカバーTBR は最大で 1.47 となった. SD シミュレーションを, 図 2(a)の核融合反応数および表 1 の条件を与えて行った. シミュレーションの結果を図 2(b)に示す. 運転開始時の燃料中 T 量を通常 1000 分の 1 とした場合, 運転開始から 229 日後に核融合出力が 2.4 GW(電気出力: 1 GW)となり, 定常運転に到達した. このとき使用した運転開始時燃料の数は約 52 万個で, 使用した T 量は約 0.53 g であった.

参考文献 [1] M. Kovari *et al* 2018 Nucl. Fusion **58** 026010. [2] T. Johzaki *et al.*, *Proc. International Conference on Inertial Fusion Sciences and Applications*, 2003 (IFSA2003), Monterey, CA, 2003 (American Nuclear Society, 2004) p.474. [3] T. Sato *et al*, *J. Nucl. Sci. Technol.* **61**, 127-135 (2024)

*Kaoru Omiya¹, Tomoyuki Johzaki², Kanta Utsumi¹, Kazuki Matsuo³, Masatoshi Kondo¹
¹Institute of Science Tokyo, ²Hiroshima University, ³EX-Fusion

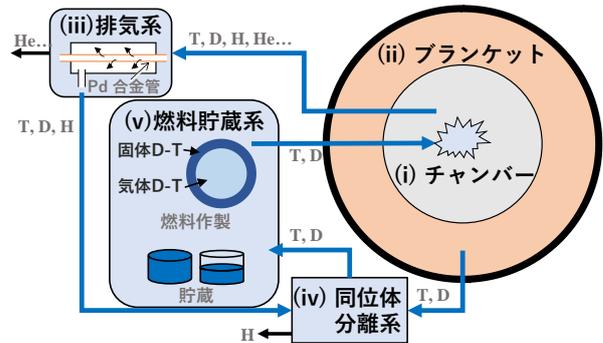


図 1 SD シミュレーションの体系
表 1 SD シミュレーションの条件

| | |
|--------------------|---------|
| 初期燃料中の T 比(対定常運転時) | 1/1000 |
| TBR | 1.2 |
| チャンバーの滞留時間 | 68 s |
| ブランケットの滞留時間 | 3 days |
| 排気系の滞留時間 | 2880 s |
| 同位体分離系の滞留時間 | 21600 s |
| 燃料貯蔵系の滞留時間 | 2400 s |

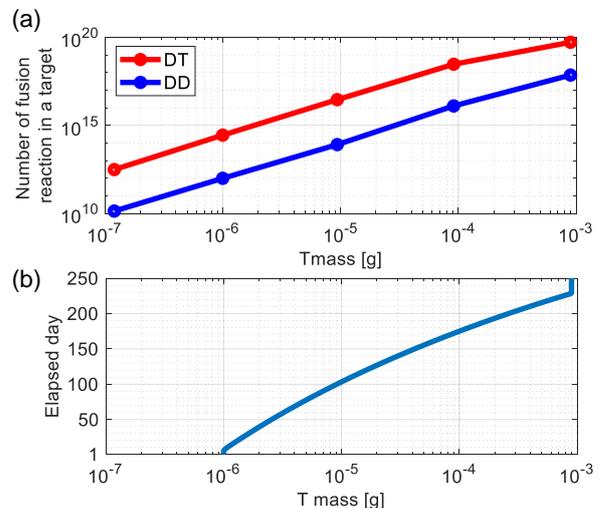


図 2 (a)燃料中 T 量による核融合反応数, (b) SD シミュレーション中の燃料中 T 量変化