

一般セッション | VI. 核融合工学：601-6 核融合炉システム・設計・応用

📅 2025年3月13日(木) 11:20 ~ 11:55 🏠 会場(Zoomルーム9)

## [2I06-07] 核融合炉システム・設計・応用

座長: 宍戸 博紀(東北大)

11:20 ~ 11:35

[2I06]

原子力安全の考え方を参考にした核融合安全の安全要件

\*山下 芳輝<sup>1</sup>、遠藤 知弘<sup>1</sup>、山本 章夫<sup>1</sup>、井野 孝<sup>2</sup> (1. 名大、2. 京都フュージョニアリング)

11:35 ~ 11:50

[2I07]

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

\*大宮 馨<sup>1</sup>、城崎 知至<sup>2</sup>、内海 幹大<sup>1</sup>、松尾 一輝<sup>3</sup>、近藤 正聡<sup>1</sup> (1. Science Tokyo、2. 広島大、3. EX-Fusion)

11:50 ~ 11:55

座長持ち時間

## 原子力安全の考え方を参考にした核融合安全の安全要件

### Study on Fusion Safety Requirements Based on Nuclear Safety

\*山下 芳輝<sup>1</sup>, 遠藤 知弘<sup>1</sup>, 山本 章夫<sup>1</sup>, 井野 孝<sup>2</sup>

<sup>1</sup>名古屋大学, <sup>2</sup>京都フュージョニアリング

核融合安全を体系的に整理することを目的として、原子力安全を参考に核融合安全の考え方に関する検討を行っている。本検討では、核融合炉施設の特徴や既に実施した深層防護の実装についての検討結果に基づいて、核融合安全の安全要件の検討を行った。

**キーワード：**核融合安全, 安全要件, 原子力安全, 安全基準

#### 1. 緒言

核融合炉は人と環境に対して放射線に起因する悪影響を生じる可能性があるため、工学的な成立性だけでなく、施設全体の安全性を確保することが重要であり、欠けを防ぐために核融合安全の考え方を体系化することが望まれる。本研究では、核融合安全を体系的に整理することを目的として、原子力安全を参考に核融合安全の基本的な考え方から技術要件までを検討している。本発表では、核融合炉施設の特徴や核融合安全における深層防護の実装の検討結果[1]に基づいて、核融合安全の安全要件についての検討結果を述べる。

#### 2. 核融合炉施設の基本的な安全機能

原子炉施設では、①反応度の制御（止める）、②熱除去（冷やす）、③放射性物質の閉じ込めや放出の管理・制限等（閉じ込める）が基本的な安全機能とされている[2]。核融合炉施設の特徴と過渡・事象の情報を参考にして、①予期せぬディスラプションの防止、②放射性物質と有害物質の閉じ込めや放射性物質放出の管理・制限等、③放射線被ばくに対する防護の3つを核融合炉施設の基本的な安全機能として設定した。

#### 3. 核融合炉施設の基本的な技術要件

IAEA 安全基準の安全要件[2, 3]や原子力安全の基本的な技術要件の考え方[4]を参考に、核融合炉施設の設計に必要な基本的な技術要件について検討し、核融合安全の安全要件として整理した。核融合炉施設は核融合炉と燃料システムが併設されているため、原子炉施設の安全要件である SSR-2/1 と核燃料サイクル施設の安全要件である SSR-4 を統合した。そして、放射性物質の閉じ込めや安全上重要な機器に関する要件は原子炉施設と同様の内容を設定し、核分裂性物質や臨界安全に関する要件は内容の変更や削除を行った。さらに、核融合炉と燃料システムの安全上の独立性や核融合炉施設に特有の燃料システム、雰囲気トリチウム除去系に関する要件を追加した。例えば、核融合炉と燃料システムの安全設備は互いに独立し、どちらかの安全機能が喪失した場合でも、もう一方の安全に影響しないように設計されなければならない等の要件を設定した。

#### 4. 今後の検討課題

今までに検討した核融合安全の考え方の整合性を確認するために、核融合安全の安全原則[5]と安全要件の対応関係や核融合炉施設の防護レベルと核融合安全の安全要件の対応関係について整理する予定である。

#### 参考文献

- [1] 山下芳輝, 他, “原子力安全を参考にした核融合安全における深層防護” AESJ 2024 年秋の大会, 3B12 (2024).
- [2] *Safety of Nuclear Power Plants: Design*, IAEA Safety Standards No. SSR-2/1 (Rev. 1), STI/PUB/1715, IAEA (2016).
- [3] *Safety of Nuclear Fuel Cycle Facilities*, IAEA Safety Standards No. SSR-4, STI/PUB/1791, IAEA (2017).
- [4] 『原子力安全の基本的考え方について 第Ⅱ編 原子力安全確保のための基本的な技術要件と規格基準の体系化の課題について』, AESJ-SC-TR007:2014, 日本原子力学会 (2016).
- [5] 山下芳輝, 他, “原子力安全の考え方を参考にした核融合安全の安全目的と安全原則” AESJ 2024 年春の年会, 3G08.

---

\*Yoshiki Yamashita<sup>1</sup>, Tomohiro Endo<sup>1</sup>, Akio Yamamoto<sup>1</sup> and Takashi Ino<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Nagoya Univ., <sup>2</sup>Kyoto Fusioneering

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<sup>1</sup>, 城崎 知至<sup>2</sup>, 内海 幹大<sup>1</sup>, 松尾 一輝<sup>3</sup>, 近藤 正聡<sup>1</sup>,  
<sup>1</sup>東京科学大学, <sup>2</sup>広島大学, <sup>3</sup>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  $\alpha$  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 量を通常の 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。

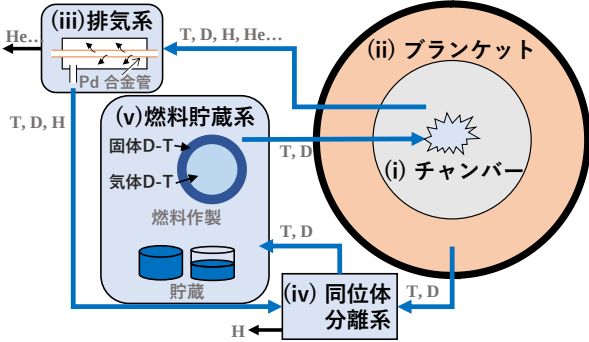


図 1 SD シミュレーションの体系  
表 1 SD シミュレーションの条件

|                    |         |
|--------------------|---------|
| 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  |

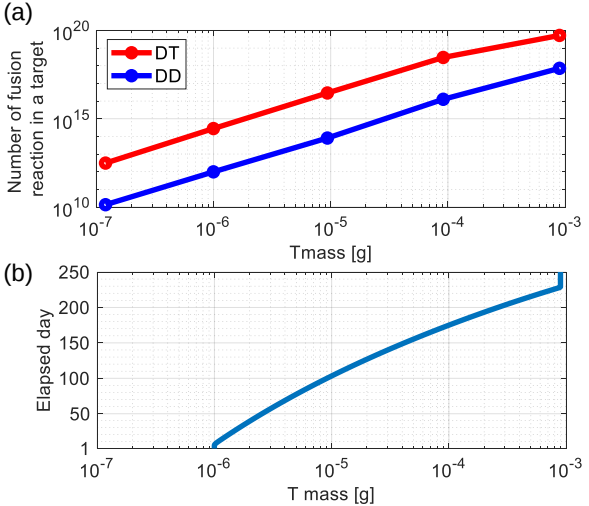


図 2 (a)燃料中 T 量による核融合反応数, (b) SD シミュレーション中の燃料中 T 量変化

**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 Omiya<sup>1</sup>, Tomoyuki Johzaki<sup>2</sup>, Kanta Utsumi<sup>1</sup>, Kazuki Matsuo<sup>3</sup>, Masatoshi Kondo<sup>1</sup>  
<sup>1</sup>Institute of Science Tokyo, <sup>2</sup>Hiroshima University, <sup>3</sup>EX-Fusion