

T 製造高温ガス炉用 Li ロッドの T 閉じ込め性能

(3) Li ロッドからの T 流出量の評価

T-containment performance of Li rod in high-temperature gas-cooled reactor for T production

(3) Evaluation of T flowout from Li rods

*松浦秀明¹、古賀友希¹、菅沼拓朗¹、片山一成²、大塚哲平³、後藤実⁴、
中川繁昭⁴、石塚悦男⁴、濱本真平⁴、飛田健次⁵

九大院工¹、九大院総理工²、近大³、JAEA⁴、QST⁵

高温ガス炉における T 閉じ込め性能を検討した。Zr と LiAlO₂ の共存下で実測した Zr の水素吸収時間を用いた高温工学試験研究炉用 Li ロッドの T 閉じ込め性能の評価より 900℃ ロッド温度での T 閉じ込めの可能性が示された。

キーワード: T、高温ガス炉、Li 装荷用ロッド、Al₂O₃、LiAlO₂、Zr、Ni 被覆、核融合原型炉、HTTR

1. 緒言

核融合原型炉の初期稼働時及び炉内 T 循環に関わる炉工学試験に際し一定量の T 確保が必要である。我々は、核融合炉への将来的な T 供給源を想定し、高温ガス炉を用いた T 製造の可能性を検討している。高温ガス炉は黒鉛減速体系であるため中性子の平均自由行程が長く、中性子吸収体としての可燃性毒物(Burnable Poison: BP)を炉心内に「粗に」配置することが可能である(通常 BP は燃料と完全に分離して装荷される)。高温ガス炉において BP 用中性子吸収物質として標準的に用いられる B₄C を LiAlO₂(¹⁰B を ⁶Li) に置き換えることで、炉心の構造設計を大きく変更せず ⁶Li(n, α)T 反応を用いて T を製造する方法を提案している [1-3]。標準設計と同等な高温ガス炉の運転環境を確保する観点から、現状は製造された T を運転期間内 Li 装荷体(Li ロッド)内に封じ込める手法を選択しており、そのための最適な Li ロッド構造を模索している段階にある。

図 1 に高温工学試験研究炉(HTTR) [4] を想定した場合の Li ロッドの例を示す [5]。ロッド温度を 500℃ 以下に維持できる場合は、Al₂O₃ 層及び内圧上昇緩和のための中空領域のみで T の流出量を 1% 程度に抑えることが可能との検討結果を得ている [6]。しかし、高温ガス炉の標準運転では、発電効率の観点からより高温の運転が想定されており、ロッド領域の温度は 900℃ 程度に高まる。この場合は Zr をロッド内に追装荷し T を吸収させることで内圧の上昇を抑え、T 流出量を低下させることを検討している。但し、Li 酸化物との共存下で Zr の T 吸収性能が劣化する可能性が懸念されるため、Zr に Ni 被覆を施すことにより一定の吸収速度を確保することを想定してきた [7]。最近、本シリーズ発表内での報告通り、Ni 被覆を施した Zr の水素吸収性能に対する定量的評価がなされた。本発表では、最新のデータに基づき Li ロッドからの T 流出量を評価したので報告する。

2. T 流出量の評価

図 1 に例示した Li ロッドを想定し、Al₂O₃ 層の厚み(図 1: y 値)の関数としてロッドから(ガス中への) T 流出量を評価した。計算においては HTTR (30 MWt) の 360 日間の運転を想定し T 製造量が常にほぼ 30 g とする様に y の値に応じて Li 装荷量(図 1: x 値)を調整した。ロッドの温度は 900℃ とした。図 2 に、炉に装荷した全ロッドから He ガス中への T 流出量を Al₂O₃ 層の厚みの関数として示す。Al₂O₃ の拡散係数には片山等の測定値 [8] を用いた。オレンジ線は Zr を LiAlO₂ と共存させ厚み 25 μm の Ni 被覆を施した場合の T 吸収速度(本シリーズ発表: 大塚等の実測値)、青線は Ni 被覆無しの Zr を LiAlO₂ と共存しない状態で実測した T 吸収速度、を仮定した場合の解析結果である。ロッド外径を 14 mm に固定したため、Al₂O₃ 層の厚みが増すと、中空部体積(粒状 Zr の装荷数)の減少により内圧が増加し、流出量は僅かな上昇に転ずる。実測値に基づく解析で、高温(900℃)環境下で LiAlO₂ と Zr が共存する状況においても、Ni 被覆を施すことにより T 流出量を製造量の 1% 以下に抑えられる(360 日間の運転期間に渡り T 閉じ込めが可能となる)可能性が示された。今後、検証試験を実施しロッドの T 閉じ込め性能を確認する予定である。

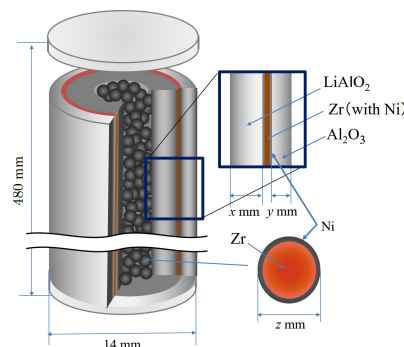


図 1 Li 装荷用ロッドの一例

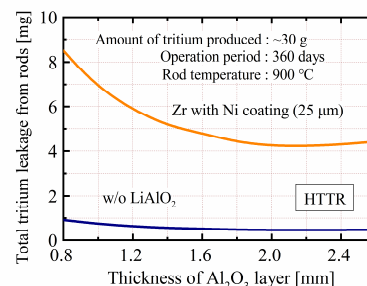


図 2 Al₂O₃ 層の厚みと T 流出量の関係
(T 製造量が ~30 g とする様に Li 装荷量を調整)

参考文献 [1] H. Matsuura, et al., *Nucl. Eng. Des.*, **143** (2012) 95. [2] 松浦秀明, *プラズマ核融合学会誌*, **93** (2017) 457. [3] M. Goto, et al., *Fusion Eng. Des.*, **136** (2018) 357. [4] H. Matsuura, et al., *Fusion Eng. Des.*, **146** (2019) 1077. [5] S. Sato, et al., *JAERI 1332* (1994). [6] H. Nakaya, et al., *Nucl. Eng. Des.*, **292** (2015) 277. [7] K. A. Burn, et al., *TTQP-1-015*, **19**, PNNL-22086 (2012). [8] K. Katayama, et al., *Fusion Sci. Eng.*, **68** (2015) 662.

*Hideaki Matsuura¹, Yuki Koga¹, Takuro Suganuma¹, Kazunari Katayama², Teppei Otsuka³, Minoru Goto⁴, Shigeaki Nakagawa⁴, Etsuo Ishitsuka⁴, Shinpei Hamamoto⁴, Kenji Tobita⁵ : ¹Dept. Eng, Kyushu Univ., ²Dept. Eng. Sci, Kyushu Univ. ³Kindai Univ., ⁴JAEA, ⁵QST