

高温ガス炉を用いた核融合トリチウム製造法及び実証試験に関する研究

古賀, 友稀

<https://hdl.handle.net/2324/4784607>

出版情報 : Kyushu University, 2021, 博士 (工学), 課程博士
バージョン :
権利関係 :

氏 名 : 古賀 友稀

論 文 名 : 高温ガス炉を用いた核融合トリチウム製造法及び実証試験
に関する研究

区 分 : 甲

論 文 内 容 の 要 旨

重水素-トリチウム(DT)核融合炉の主燃料であるトリチウム (T) は人工的に製造する必要があるため、核融合炉の運転を行いながら T を製造することが基本的な考え方である。しかし、運転開始時には初期保有分の T を確保しておく必要がある。国際熱核融合実験炉(ITER)で必要とされる T はカナダ型重水炉(CANDU 炉)から供給される予定であるが、その後に建設される核融合原型炉用の T 調達法は明確にされていない。国外では重水炉や軽水炉による T 製造実績があるが、国内では核融合炉用の T を製造する手段は存在しない。そこで、高温ガス炉に Li 化合物を装荷することによる、 ${}^6\text{Li}(n,\alpha)\text{T}$ 反応を利用した T 製造法が提案されている。高温ガス炉の標準仕様では運転に伴う反応度の低下を補償するために、中性子吸収断面積が大きな ${}^{10}\text{B}$ を可燃性毒物とした B ロッドを炉心に装荷する。この ${}^{10}\text{B}$ を ${}^6\text{Li}$ へ置き換え、T 吸収体である Zr と共にアルミナ円筒に封入した Li ロッドを燃料ブロックに装荷することを検討している。

${}^{10}\text{B}$ と ${}^6\text{Li}$ の中性子吸収断面積と装荷量は異なるため、可燃性毒物の変更による炉心核特性への影響を把握する必要がある。高温ガス炉の既存の設計を維持する観点において、Li ロッドから炉内への T 流出量を最小限に抑える事は重要な課題であるため、T 製造性能のみならず T の閉じ込め性能も重要な Li ロッドの性能となる。現在、日本原子力研究開発機構が所有する高温工学試験研究炉 HTTR を用いた T 製造実証試験の計画が進められている。

本研究では、高温ガス炉を用いた核融合炉用 T 製造法の実現に向けて、可燃性毒物を ${}^{10}\text{B}$ から ${}^6\text{Li}$ へ変更した際の炉心核特性への影響を評価し、Li ロッドの T 製造・閉じ込め性能を検証するための照射試験体に関する検討を行った。又、 ${}^6\text{Li}(n,\alpha)\text{T}$ 反応による核反応熱が Li ロッドの T 閉じ込め性能に及ぼす影響を評価した。

本論文は全 6 章で構成される。

第 1 章では、核融合炉の研究開発及び T 調達法についての現状を述べ、主な研究対象である高温ガス炉(HTTR 及び高温ガス炉ガスタービン発電システム GTHTR300)、及び高温ガス炉による T 製造法の特徴についてまとめた。T 製造法に関する研究の経緯、現況、本研究の目的を述べた。

第 2 章では、T 製造量と炉心核特性の評価に用いる中性子輸送モンテカルロコード、Li ロッド内の T 挙動を解析するための拡散方程式及び同方程式に基づく T 流出量の評価法について説明し、現在検討している Li ロッドの構造とその製作方法についてまとめた。

第 3 章では可燃性毒物を ${}^{10}\text{B}$ から ${}^6\text{Li}$ へ変更することによる炉心核特性への影響を明らかにするために、中性子輸送モンテカルロコードを用いて HTTR と GTHTR300 に B ロッド又は Li ロッドを装荷した際の実効増倍率を評価した。B ロッドを装荷した場合、高温ガス炉の実効増倍率は、360 日の初期運転期間は緩やかに増加する。一方、Li ロッドを装荷した場合、実効増倍率は時間と共に低下する。これは、 ${}^6\text{Li}$ の中性子吸収断面積が ${}^{10}\text{B}$ の約 1/4 であるため、より多くの ${}^6\text{Li}$ を装荷する

必要があり、結果として未燃焼 ${}^6\text{Li}$ の割合が高くなることが原因である。運転時の余剰反応度を利用することで GTHTR300 では T 製造量を 4 割程度増加できる可能性がある。又、 ${}^6\text{Li}$ を疎に装荷しその燃焼性を高めることで T 製造量を維持しつつ実効増倍率の低下を抑えることが可能であることを示した。以上の結果は今後の高温ガス炉を用いた T 製造法の性能改善の検討に対して有用な知見を提供する。

第 4 章では HTTR を用いた Li ロッドの T 製造及び閉じ込め性能を検証するための照射試験体に関する検討を行った。照射試験は HTTR に備わる照射カラムにおいて、温度を 1,170 K に保った上で 30 日程度実施する事を想定した。照射試験体は Li ロッドをアルミナ製の T 流出防止カバーで覆った構造を持つ。年間 30 g の T を製造できる HTTR 用 Li ロッド及びそれを基準に複数の試験体を設計した。又、各試験体の T 製造量と流出量を比較することで HTTR 用 Li ロッドを構成する LiAlO_2 層、Zr 層、アルミナ層の性能を検証する試験法を検討し、今後実施する T 製造実証試験における試験内容の基本的な考え方を初めて提示した。

第 5 章では T 製造時に生じる ${}^6\text{Li}(n,\alpha)\text{T}$ 反応による核反応熱の発生が Li ロッドの T 閉じ込め性能に及ぼす影響を評価した。核反応熱の発生により Li ロッド内部径方向に中心軸をピークとする温度分布が生じる。この温度分布により T 流出量は減速材温度が 900 K 以上で 3 割程度減少することが分かった。これは、核反応熱による温度上昇により、Zr の T 吸収性能の上昇がアルミナ層の T 透過係数の上昇を上回るためである。同結果は核反応熱が T 流出に及ぼす影響を初めて指摘したものであり、今後の T 閉じ込め性能の向上に関する検討に貢献する。

第 6 章では本研究について総括し、今後の展望を述べた。