

審査の結果の要旨

氏名 康 藝

核融合炉においては、燃料として使用するトリチウム(三重水素)を炉内のブランケットとよばれる機器で製造する必要があり、そのためにリチウムを含んだトリチウム増殖材料を使用するが、その特性を明らかにすることが、核融合炉の設計や安全評価上きわめて重要である。本研究は、これまでほとんど研究がおこなわれていないが、魅力的な増殖材料であるリチウム錫合金について、そのトリチウムの挙動を含むいくつかの重要な特性を明らかにしたものであり、6章から構成されている。

第1章は序論であり、本研究の背景と目的について述べている。核融合炉は化石燃料に変わるエネルギー源の1つとして大きな期待が寄せられているが、核融合炉を他の代替エネルギー源と競合できるようにするためには、コストと安全性の観点からのブランケット研究開発が必要となっている。特に、核融合炉液体ブランケット概念において、液体増殖材料中のトリチウム挙動は、これらに関して大きな意味を持つ。

近年、核融合炉液体第一壁概念におけるトリチウム増殖材料兼冷却材料として、リチウム錫合金(LiSn)が提案されている。本研究は、本候補材料のトリチウム増殖材料や冷却材料としての可能性を、そのトリチウム挙動をとおして検討する事を目的としている。

第2章は、リチウム錫合金の製造方法とその結果について述べている。本研究におけるリチウム錫合金の組成については、高トリチウム増殖比、低蒸気圧、低融点の観点から $\text{Li}_{20}\text{Sn}_{80}$ を選択している。

第3章では、 $\text{Li}_{20}\text{Sn}_{80}$ 合金を研究する上で、最も基本的な特性の一つである高温密度の測定について述べている。信頼性の高い密度データは、本研究においても、トリチウムの生成速度計算や拡散係数を求めるために必要不可欠であった。

$\text{Li}_{20}\text{Sn}_{80}$ 合金密度の測定は、673-873Kの温度範囲で直接アルキメデス法によって行い、密度を温度の関数として表現している。測定誤差の因子としては、合金の自然対流、合金の表面張力、及び、合金表面に生成する酸化物膜やスラグの影響等が考えられるが、これらは、適切な実験条件の設定によって取り除く事が可能であった。

測定した $\text{Li}_{20}\text{Sn}_{80}$ 合金のモル体積が理想溶体と比較して小さいことから、合金中におけるリチウム原子と錫原子は、それぞれの金属原子が独立に存在している場合と比較して、より大きな相互作用を及ぼし安定化する事によって、理想溶体と比較して体積を減少させていると結論している。

第4章は本論文の中心部分であり、東京大学の高速中性子源炉「弥生」を用いた高温トリチウム生成放出実験によって、トリチウムの拡散係数及びトリチウム溶解度を測定した結果について述べている。

溶融 $\text{Li}_{20}\text{Sn}_{80}$ 合金を細長い円筒状のサンプルホルダー内に装填し、解析のために無限円柱体系中の径方向トリチウム拡散律速による定常状態モデルを適用し、

その条件下での実験を行う事とした。本モデルでは、実験結果からトリチウム拡散係数と溶解度(ジーベルト定数)の関係を求める事ができるが、このモデルを適用するためには、その条件を満たすように実験条件を設定する必要がある。

トリチウム生成速度に関しては、原子炉心や照射試験体系を3次元形状で扱うモンテカルロ核粒子輸送計算コード(MCNP)による合金中でのトリチウム生成速度分布の計算を行なった。この結果より、円柱軸方向および径方向に沿ったトリチウム生成速度の差は、最大でも-7.2%から4.3%であることを確認するとともに、本モデルを適用するために、合金中の位置プロファイルを詳細に計算した結果を0次近似し、合金中どこでも一定な値として用いた。

気相へのトリチウム放出については、径方向に比べて合金の自由表面積が小さい事および気液表面が酸化物等で覆われている事から非常に小さいと仮定できる事、また、サンプルホルダー外表面での水素の再結合が律速過程にはならない事、さらに、873K以上の場合に定常状態が達成されることを確認した。

このように設定した適切な実験条件下で873Kの $\text{Li}_{20}\text{Sn}_{80}$ 合金中のトリチウム拡散係数測定を行い、トリチウム停留時間からトリチウム拡散係数及びトリチウムのジーベルト定数を評価した。その結果、トリチウム拡散係数は $10^{-9} \text{ m}^2/\text{s}$ のオーダーであり、トリチウムのジーベルト定数は、 $10^{-7} \text{ Pa}^{-0.5}$ から $10^{-5} \text{ Pa}^{-0.5}$ の範囲内にあると結論している。

第5章では、本研究で得られた結果をもとに総合的な観点から議論を行い、他の液体増殖材料との特性比較を通してリチウム錫の液体増殖材料研究における位置づけについて整理を行っている。特に、リチウム錫合金が、リチウムとリチウム鉛の中間的な特性を持ち、トリチウム回収やトリチウム透過漏洩という観点から、両者の欠点をカバーできる材料であると結論するとともに、今後の研究開発課題についてまとめている。第6章は結論である。

以上を要するに、本研究は、新しい液体増殖候補材料であるリチウム錫合金について、トリチウムの挙動を含むいくつかの重要な特性を世界で始めて明らかにしたものであり、本研究で得られた成果は、核融合炉ブランケット研究開発に関して有益な知見を与えるものであるのみならず、核融合炉工学およびシステム量子工学に寄与するところが大きい。よって、本論文は博士(工学)の学位請求論文として合格と認められる。