

審査の結果の要旨

氏名 大野 修司

本論文は、原子炉冷却材としての鉛ビスマス共晶合金及び関連する放射性不純物の平衡蒸発特性を実験により調べたものであり、論文は6章で構成されている。

第1章は序論であり、鉛ビスマスを原子炉システムで冷却材等として利用する場合の課題について述べている。物質が液相から気相へ移行する挙動の中でも最上流に位置する気液平衡蒸発挙動の基礎データを取得することの重要性を示し、鉛ビスマス中に存在する放射性不純物としてポロニウム、セシウム、テルルの平衡蒸発挙動を把握することが必要としている。また、先行研究では鉛ビスマス自体の平衡蒸発データについても十分な基礎データが整備されていなかったとしている。

第2章では、本研究の全体に使用される、鉛ビスマスを対象とした気液平衡蒸発実験の手法について述べている。実験には古典的な蒸気圧測定法である動的流通法を用いている。容器内に生成させた飽和蒸気を下流の細管にて凝縮捕集し定量する本手法を鉛ビスマス系に適用するにあたり、実験測定値に見込まれる誤差の把握と低減に工夫を凝らしたものであるとしている。鉛ビスマス冷却型原子炉の通常運転時から事故時までカバーするよう、実験温度を450℃～750℃の範囲としている。

第3章では、鉛ビスマスを対象とした気液平衡蒸発実験と結果について述べている。実験を進めながら蒸気の飽和度や捕集定量の妥当性に関する確認を行い、実験手法の妥当性を補強したとしている。実験結果の分析検討により、鉛ビスマス蒸気の成分比と組成を示し、鉛ビスマスの飽和蒸気圧の温度相関式を提案している。また、蒸発潜熱、合金中における鉛とビスマスそれぞれの活量係数など蒸発基礎特性を理解するための情報が示されている。

第4章は、鉛ビスマス中のテルル、セシウム、ポロニウムを対象とした気液平衡蒸発実験と結果について述べている。テルル実験では鉛ビスマス液相中のテルル分率を実験パラメータとし、溶質の蒸発に関するヘンリー則の成立範囲を同定している。また、鉛ビスマスへテルルを添加することで鉛の蒸気量が増大する傾向から、テルルが気相中でPbTeの化学形態となっている実証データを得たとしている。ポロニウムの実験では、中性子照射によって鉛ビスマス中に放射性ポロニウムを生成させた試料を用いて蒸発測定を行っている。実験に供したテルル、セシウム、ポロニウムの3種類

の不純物元素について、鉛ビスマス溶媒の蒸発量を基準とした時の不純物蒸発量の程度を表す気液平衡分配係数を求め、その実験式を作成している。これによって、異なる不純物溶質同士で揮発性を比較することが容易になったとしている。さらに、溶質がラウール則に従う状態を基準とした活量係数を求め、その温度相関式を作成している。各不純物溶質が鉛ビスマス中に溶け込む場合の揮発性の高低を特徴付ける熱力学的データであるとしている。

第5章では、本実験研究で取得した蒸発特性値を用いて、評価と考察を実施している。1つめの評価として鉛ビスマス中の不純物蒸発特性をナトリウム中のそれと比較検討し、セシウムとテルルの揮発性が溶媒に応じていかに変動するかを示している。また、揮発性変動度の指標となる活量係数が溶媒元素と溶質元素の電気陰性度差に関連すると考察している。2つめとして、鉛ビスマス冷却型原子炉で重要視される放射性のポロニウム (^{210}Po) とビスマス ($^{210\text{m}}\text{Bi}$) について、冷却材カバーガス中の蒸気量を見積もり比較している。カバーガス中の蒸気質量では $^{210\text{m}}\text{Bi}$ が、放射能では ^{210}Po が多いことを示し、規制値との比較から ^{210}Po の揮発性の高さが重要であることを定量的に示すものであるとしている。

第6章は結論であり、本研究のまとめが述べられている。

以上を要するに、本論文は原子炉冷却材としての鉛ビスマス及び鉛ビスマス中の代表的放射性不純物に関する気液平衡蒸発挙動を実験によって研究し、それらの蒸発現象を特徴付ける基礎的知見を提供するとともにプラント設計検討に活用される実験相関式を提示している。この成果は工学の進展に寄与するところが少なくない。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。