

トリチウム水蒸留分離へのヒートポンプ利用と吸着材を用いた分離の高効率化に関する研究

三保, 慶明

<https://doi.org/10.15017/2534476>

出版情報 : Kyushu University, 2019, 博士 (工学), 課程博士
バージョン :
権利関係 :

氏 名 : 三保 慶明

論 文 名 : トリチウム水蒸留分離へのヒートポンプ利用と吸着材を用いた分離の高効率化
に関する研究

区 分 : 甲

論 文 内 容 の 要 旨

2011年の東日本大震災、続いて起こった福島第一原発事故後、約400m³/日の放射線物質を含む汚染水が発生し、その後の遮水壁や凍土壁などにより現在では150m³/日程度まで減少はしたものの、いまだ汚染水の発生は収まってはいない。現在汚染水は油分やセシウムなどの吸着除去、及び逆浸透膜式淡水化装置通過後、原子炉への注水として循環再利用されている。超過分は、多核種除去装置(ALPS)を用いて放射性物質の除去が行われるものの、水の形態で存在する希薄濃度のトリチウムについては、ALPSで分離除去できずタンクに貯留され続けている。経済産業省の作業部会は、地下への埋設、大気放出、海洋放出等についての検討を行ったものの、これらの対処法については風評被害などの社会的影響が指摘されている。増加を続けるトリチウム水への対応は未だ見通しが立っておらず、大量の希薄トリチウム水を実用規模で処理できる技術が望まれている。

トリチウムは、ウランの三体核分裂等により核分裂炉内で生成される放射性物質の一つであり、原子力発電所や使用済み核燃料取扱施設ではトリチウムへの対応が必要となる。加速器施設でも核反応生成トリチウムを取り扱う場合は、その管理は重要な課題となる。また、開発が進められている核融合炉では、安全上最も重要な課題がトリチウム管理と言われている。トリチウム処理技術に関わる知見は、福島第一原発の汚染水問題への対応のみならず、将来の原子力システム、放射線利用システムの安全性向上にも資する。

本研究では、液中に希薄濃度で存在するトリチウムの処理に対して、大規模処理に適用可能な水蒸留法を提案し、分離性能の向上と省エネルギー化を図り、実用化への見通しを示した。まず、福島第一原発でのALPS処理後に排出されている汚染水の液組成に近い模擬液を用いることにより、前処理方法を検討し、濃縮機器へのスケールの発生など、実用化した際に想定される具体的な問題を明らかにするとともにその対応策を示した。

蒸留法によるトリチウム分離を考えた場合、H₂O-HTOの比揮発度が小さい(100°Cにおいて1.03)ことが、実用化への障壁の一つである。この解決策として吸着材を蒸留プロセスの充填物として使用し、蒸留塔内での蒸気と凝縮液間での同位体交換プロセスにより分離を促進させる考え方が、深田らによって提案されている。しかし、過去の検討は小規模の実験装置を用いたものに限られ、大量汚染水の処理に対応できる規模の分離実

証は行われていない。そこで、ガラスカラムによる実験室レベルでの吸着材充填効果を確認した後、スケールアップした充填高さ 4m 規模の蒸留試験装置を用いて、重水の蒸留分離試験を行った。その結果、吸着性能のあるゼオライトやシリカゲルにおいて分離係数が上昇することを実証した。実用化に向けては、実際の分離対象であるトリチウムによる試験が不可欠である。そこで、九州大学アイソトープ総合センター内に蒸留試験装置を構築し、トリチウム水に対する一ヶ月連続蒸留分離試験を実施した。ここでは、蒸留装置で通常用いられるステンレス製の規則充填物等にゼオライトを被覆したものをを用いたが、重水試験同様に吸着材ゼオライトによる分離性能の向上が確認された。

以上の蒸留分離試験により得られたデータに基づき、蒸留塔内での上昇する水蒸気と流下する液、及び吸着材との気液固界面層でのトリチウム物質移動をモデル化し、数値解析による蒸留分離システムの設計検討を可能にした。一例として、トリチウム分離係数 100 を達成する 400m³/日のトリチウム蒸留分離処理スキームを試設計した。20 系列を有する低濃度蒸留工程と 2 系列を有する高濃度蒸留工程からなり、最終濃縮液の容積は 1/100 となる。このような大規模蒸留操作に伴う外部からのエネルギー供給の増加は、実用化に向けて解決すべき重要な課題である。蒸留塔のエネルギー消費は、そのほとんどが塔底における蒸気生成によるものである。そこで、塔頂で流出する蒸気をヒートポンプにより圧縮し、この蒸気を用いて塔底の液を蒸発させることを提案し、省エネルギー効果を評価した。その結果、ヒートポンプを利用することによりエネルギー消費を 1/20 以下に抑制できることが示された。蒸留分離処理により発生するトリチウム濃縮液の処理についても検討し、コンクリート固化による方式の有効性を示した。

本論文は全 7 章から構成されている。各章の概要は以下の通りである。

第 1 章では、研究の背景とトリチウム水蒸留分離への高効率化研究の方針について記述し、本研究の目的を示した。

第 2 章では、処理対象となるトリチウム水に含まれるであろうスケール成分を除去するための前処理濃縮装置による試験方法とその結果について記述した。濃縮装置伝熱管へのスケール付着の有無から運転可能な濃縮倍率を見出した。連続運転では、若干のスケール付着は避けられないものの、定期的に薬品にて洗浄することで安定して運転可能であることを示した。

第 3 章では、重水を用いた実用化レベルの蒸留装置による蒸留分離試験の方法とその結果について記述した。蒸留塔内に吸着材を充填することで分離性能が向上することを示した。

第 4 章では、実際の処理対象物質であるトリチウム水を用いた蒸留分離試験の方法とその結果について記述した。第 3 章で述べた重水と同様にトリチウム水でも、吸着材充填により蒸留分離性能が向上することを示した。また、長時間運転を通じて明らかとなった吸着材を用いた際の運転上の注意点を挙げた。

第 5 章では、第 4 章で得られた試験結果をもとに、吸着材の分離性能への効果について考察した。トリチウム物質移動をモデル化し、これに基づく数値解析によって、トリチウム濃度を 1/100 にする蒸留分離装置実機の試設計を行った。吸着材を利用することによる蒸留塔高さへの効果や、ヒートポンプ利用による省エネルギー効果について示した。

第 6 章では、蒸留分離により発生する高濃度トリチウム水の処理方法について考察した。

第 7 章では、本研究で示した結果を総括し、今後の展望について述べた。