

## 審査の結果の要旨

氏 名 岩井 保則

本論文は核融合発電炉の重要なプロセスとなる「トリチウム閉じ込め・除去・リサイクルプロセス」について従来の研究に欠けていた視点について工学的検討を実施し、「核融合炉トリチウム閉じ込め・除去・リサイクルプロセス」の仕様要求に対するプロセスの成立性、プロセスの経済性の確保に対する方策を明らかとするとともに、安全性・信頼性の確立に求められる工学的課題の解決を図ることを目的としている。

論文は6章より構成されている。第1章は序章であり、核融合炉燃料サイクルのシステムの特徴として、同位体間の交換反応や放射性物質であるトリチウムの放射線に起因した反応による水素同位体の多様な化学形への変化、同位体間の物性の違いに起因する水素同位体間の複雑な振る舞い、及び、トリチウムの資源的制約及び放射性物質管理に起因するトリチウム成分に関する計量管理の重要性の三点を挙げている。この特徴を踏まえ、トリチウム閉じ込め・除去・リサイクルプロセスにおけるシステムの検討の必要性とシステムの特徴を整理し、続いて本論分の目的を説明している。特に、各プロセスのシステムの評価では、仕様要求に対するプロセスの成立性の確認、経済性評価、および、安全性・信頼性評価が重要であることが指摘されている。

第2章では水処理におけるトリチウムリサイクルを論じている。トリチウムの同位対比が小さい再生水中のトリチウム成分を濃縮するトリチウム水処理プロセスのプロセス構成として、高濃度トリチウム水取り扱い実績を重視したプロセス構成と、分離係数を重視したプロセス構成について、プロセスの成立性、経済性、安全性・信頼性の観点から詳細に優劣を評価している。その結果、水蒸留＋液相化学交換＋電解複合プロセスを用いることで、高濃度トリチウム水取扱いに関する工学的課題の解決を図ることができたとまとめている。

第3章では深冷蒸留によるトリチウムリサイクルについて論じている。核融合炉燃料サイクルのシステムの特徴であるトリチウムについて閉じた系を確立するためにはトリチウム水処理プロセスで抽出されたトリチウムは最終的にトリチウムガス濃縮プロセスにて燃料純度にまで精製する必要がある。そのために、深冷蒸留法が最適であり、本章では特に、4塔構成の深冷蒸留塔カスケードを用いることで仕様要求に対するプロセスの成立性を満たすことを明らかにするとともに、安全性・信頼性の確立に求められるトリチウム計量管理、異常事象時の挙動の把握及び事態収束法の確立などの工学的課題につきその解決が図られたとしている。このことは逆に言えば、そのような評価が可能な蒸留等カスケードの静的、動的挙動解析コードの作成と検証が行われたことを意味している。

第4章は膜分離法による除去プロセスについて論じている。建屋内へのトリチウム漏洩事象が生

じた場合には、空間を隔離した後、除去プロセスにて雰囲気トリチウム濃度低減を図る必要がある。このとき、処理量が大量となることと、トリチウム濃度が低いことから有効な除去法の適用が重要となる。ここでは、膜分離法を除去プロセスに組み込むことによる除去プロセスの経済性向上に着目している、そのため、膜分離法による除去プロセスの数値評価モデルを開発し、実験結果との比較によるモデルの検証のあと、膜分離プロセスにおける物質移動機構を考察し、本モデルを援用した膜分離法による除去プロセスの最適化に関する研究を行っている。その結果、膜分離に還流の概念を加えることによって膜モジュールの小型化が可能となり、膜分離によるトリチウム除去プロセスの経済性向上に寄与できることを明らかにしている。

第5章は建屋内におけるトリチウム挙動と閉じ込めシステムについて論じている。トリチウムの建屋への漏洩事象発生時に、その拡大・波及を防止し影響を緩和させるためには、室内に漏洩したトリチウムの挙動について把握するとともに、漏洩によって発生するトリチウム汚染を速やかに除染する方策を確立することが重要である。本論分では、室内に漏洩したトリチウムの挙動について、建屋内へのトリチウム漏洩時の雰囲気中へのトリチウム拡散における建屋内三次元流れの影響の解明を目的に三次元流体解析モデルを開発している。また、このモデルの援用によりトリチウム閉じ込め効率に影響を与える建屋内三次元流れの影響や、および除去プロセスによる雰囲気トリチウム除去に影響を与える因子の解明を行っていることも評価される。

第6章は総括であり結論と今後の課題が述べられている。

このように本論文では、従来の研究に欠けていた視点である水素同位体の複雑な振る舞い、トリチウムの多様な化学形の考察を加えたプロセスの解析、及び放射性物質トリチウムの使用に対する社会的な受容の獲得に不可欠なプロセスの安全性・信頼性について、閉じ込め・除去・リサイクルの各プロセス単位にてプロセス間のインターフェイスの考察を踏まえた検討を行ない、「核融合炉トリチウム閉じ込め・除去・リサイクルプロセス」の仕様要求に対するプロセスの成立性、プロセスの経済性の確保に対する方策を明らかとするとともに、安全性・信頼性の確立に求められる工学的課題の解決をしている。

さらに、各プロセスの研究において、トリチウム水処理方法の最適化、深冷蒸留塔カスケードの静的・動的解析コードの開発、還流操作を含む膜分離プロセス解析法の確立、三次元トリチウム挙動解析コードの作成とそれによるトリチウム閉じ込め影響因子の定量評価など、核融合炉燃料サイクル工学における多くの新しい知見が得られたことも高く評価できる。

このように、本論文はシステム量子工学、特に核融合炉工学に対する貢献は大きい。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。