

## 審査の結果の要旨

氏名 井上(中島) 尚子

原子力エネルギーの利用拡大において核拡散抵抗性が一段と求められる。高速炉サイクル用次世代湿式再処理プロセスでは低除染化やPu非単離化等が核拡散抵抗性の内在的障壁を高めると考えられているがPu取扱量が増大し既存の保障措置技術が適用できない部分もあり保障措置の「検知性」を低下させる恐れがある。本研究では、次世代湿式再処理プロセスを対象に、核拡散抵抗性を高める保障措置システムを提案することを目的としている。本論文は6章で構成されている。第1章は背景と目的であり、第2章、第3章は次世代再処理プロセスの核拡散抵抗性の特徴を整理した後、そこに求められる要件を示している。第4章はそれらを満たす保証措置システムを提案し、第5章ではその評価を行っている。第6章は結論である。

次世代湿式再処理プロセスに求められる核拡散抵抗性を特定するために、過去に実施された主要な核拡散抵抗性検討プログラムを調査し、検知機能の強化と検知確率を高めることが核拡散抵抗性の高度化に現実的かつ強力に貢献すると考えている。また、そのためには、事業者にとって受容可能な範囲で保障措置、特に正確な計量と連続監視等による転用等の拡散行為の兆候を適時に検知するアプローチの確立が重要と考えている。第3章ではこのような核拡散抵抗性高度化の方向性に沿って、まずIAEA保障措置及び日本の再処理施設に関わる保障措置がどのように構築され発展してきたかを整理している。その結果、現在の保障措置手段である計量管理を基本的に重要な保障措置手段とすることと、技術的目標である1有意量(SQ)の適時な転用検知が重要であるとしている。これら国際合意に基づいて構築された基準や概念は尊重されるべきで、その延長上で可能な限り技術的な追及を行うべきとしている。このような検討に基づき、次世代湿式再処理プロセス保障措置システムの要件として、より正確かつ高頻度でインベントリ把握が可能な計量管理、及び適時性の高い転用/不正使用検知能力の高度化と事業者受容性の3つを導き出している。

第4章ではこの要件を満たす保障措置システムを提案している。提案するシステムは先進湿式再処理プロセスを念頭に、特に溶液系におけるPuを対象としている。具体的には、①より正確かつ高頻度でインベントリ把握が可能な計量管理と、②適時性の高い不正使用/転用検知能力の高度化の組み合わせである。

①のためには、中間在庫確認(IIT/IIV)の概念を導入し、年次在庫確認

(PIT/PIV)と同レベルの正確性を有する IIT/IIV を実施し、高頻度で物質収支を実質的に閉じることにより、MUF の不確かさ ( $\sigma$  MUF) を小さく的確に管理する。これを事業者を受容可能な形で実現可能とするために、小プロセスインベントリ設計を取り入れ、トレーサー・同位体希釈マススペクトロメトリー (IDMS) で核物質量を正確に定量できるように設計 (計量フレンドリーな設計) している。

②の適時性の高い不正使用/転用検知能力の高度化のために、インライン濃度測定センサーとして「密度計測-微分パルスボルタンメトリー (DPV)」を用いた「酸/U/Pu 濃度プロセスモニタリング」に着目している。これを遠隔監視と組み合わせることでより効率的に転用や不正使用の未申告活動を高い確率で適時に検知でき、検知能力の高度化が可能になるとしている。

第 5 章では①の計量管理については  $\sigma$  MUF ケーススタディによる評価を、②の検知能力高度化については、マルコフモデルアプローチを用いて検知確率を評価している。①では小プロセスインベントリ設計のプロセスは Pu の  $\sigma$  MUF を低減するのに大きな効果を有することが示されている。また、計量フレンドリーなプロセス設計及び運転モードを適用することで Pu の  $\sigma$  MUF を 1 SQ 以下で管理できる可能性があり、さらに、直接 Pu を定量する等により、20 日~30 日という現実性のある日数で正確な IIT/IIV が設定できると結論づけている。②では、提案する保障措置システムを適用した先進システムと、既存の LASCAR 型保障措置を適用したリファレンスシステムについて、マルコフモデルアプローチを用いて検知確率を算出し両者の比として評価している。その結果、提案する保障措置システムは各溶液工程の検知確率及びプロセス全体の検知確率を向上させることが分かったとしている。事業者受容性については六ヶ所再処理工場の保障措置設計に係る報告書中の事業者負担に関する記載を分析し、保障措置を適用するために係るコスト、及び保障措置実施が運転に支障を与えるために係るコスト、商業機密保護の 3 つのファクターが重要であるとしている。

第 6 章結論においては、次世代湿式再処理プロセスを対象に保障措置の技術的目標を満足しつつ、高い検知能力を有することで核拡散抵抗性を高度化できる保障措置システムを提案できたと考えている。

本論文を要するに、次世代湿式再処理プロセス保障措置システムに求められる要件を 3 つに整理したのち、具体的にこれらの要件を満たす保障措置システムを、より高度かつ高頻度での計量管理と適時性の高い検知能力の高度化の観点で提案し、その有効性を評価したものであり研究のオリジナリティー、応用性が高い。このように、本研究は、原子力工学特に国際保障学に対する貢献が少なくない。

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。