

(続紙 1)

京都大学	博士（エネルギー科学）	氏名	外池 幸太郎
論文題目	臨界安全設計の高度化に資する低濃縮ウラン溶液体系の 臨界量と反応度効果に関する研究		
(論文内容の要旨)			
本論文は、核燃料取扱施設のうち最も臨界安全管理が重要となる再処理施設の臨界安全管理の高度化に資することを目的として、低濃縮ウラン溶液を用いた複数ユニット体系と非均質体系の臨界量の測定や核分裂生成物（FP）元素の濃度反応度価値の測定を通じて高精度な臨界ベンチマークデータの整備を行い、それを用いて計算コードの検証を行うとともに、複数ユニットの反応度効果を簡易に評価する立体角法の実用性の検討等を行った研究成果についてまとめたものであり 7 章からなっている。 第 1 章は序論で、臨界安全研究について説明し、核燃料再処理施設の臨界安全設計の高度化のために必要な課題として、低濃縮ウラン溶液体系の臨界量に関する臨界ベンチマークデータや FP 元素の反応度効果の実験データの整備の必要性、および複数ユニット体系の反応度効果の評価手法の重要性を挙げ、それに基づき本論文の目的と概要について述べている。 第 2 章では、溶液燃料体系の実験を実施した日本原子力研究開発機構の臨界実験装置 STACY の施設の概要、および臨界量と反応度効果の実験方法について説明し、液位微分反応度を測定する際の問題点とその精度に関する評価について述べている。 第 3 章では、STACY を用い、低濃縮の硝酸ウラニル水溶液燃料を用いて臨界実験を行った結果について述べている。実験内容としては、2 基の平板形状炉心タンクから構成される均質複数ユニット体系での炉心タンクの間隔を変化させた実験、2 基の炉心タンクの中に置くポリエチレンとコンクリートの隔離体の厚さを変化させた実験、炉心タンクの中にウラン酸化物の燃料棒を予め配列しそこに硝酸ウラニル水溶液の溶液燃料を給液するという再処理施設の溶解槽を模擬した非均質体系の実験などからなり、それぞれ臨界量の測定を行った。さらにこれらの実験の際の濃度、温度、不純物、寸法など様々な要因に起因する不確かさが臨界量に及ぼす影響について解析結果と組み合わせて定量的に検討を行った。 第 4 章では、均質複数ユニット体系で炉心タンクの間隔を変更して臨界量を測定した結果に基づき、炉心タンク間隔と反応度の関係性を評価した結果について述べている。間隔が無限に広い単一ユニット体系の臨界量を導出した上で、2 つのユニットの間隔が有限距離の場合の反応度を液位微分反応度測定に基づく液位差法により算出し、連続エネルギーモンテカルロ法による反応度計算結果との比較を行った。その結果、連続エネルギーモンテカルロ法を用いる際には壁や検出器などの周囲の物質からの中性子の反射の影響を適切に考慮することが重要であること、簡易の反応度評価手法である立体角法では反応度をやや過大に評価するものの、臨界安全管理においては有効であることが判った。			

第5章では、非均質体系におけるFP元素の反応度効果の評価として、溶液燃料中のウラン濃度、溶液燃料に加えるサマリウム、セシウム、ロジウム及びユーロピウムなどのFPを模擬した元素の種類と濃度、可溶性毒物ガドリニウムの濃度を様々に変化させ、系統的に臨界量する実験を行った結果について述べている。反応度の測定に用いた液位微分反応度の測定結果がこれまで採用してきた修正1群拡散理論で導出される曲線にあてはめられないことが明らかとなり、垂直方向の中性子束外挿距離が液位によって変化する経験式を新たに考案して測定を行った。このFPの濃度反応度値を解析したところ、測定の不確かさの範囲で実験結果と解析結果はほぼ一致することが判った。

第6章では、今回の研究で得られた様々な臨界量に関する実験データに基づいて作成した臨界ベンチマークデータと、そのデータを用いて臨界安全設計に用いる解析システムの妥当性の検証を行った結果について述べている。このデータは実験条件と測定結果の不確かさ、および実験体系と計算モデルの差異を反応度に換算することにより得られた計算モデルの不確かさを含むものであり、それらを総合した不確かさについて概ね $0.1\% \Delta k/k$ を下回る高精度なデータを得ることができた。これらの新たに取得したデータを活用して六ヶ所再処理施設の臨界安全評価に用いられた臨界安全解析システムJACSの解析結果の妥当性を確認したところ、これまでの評価結果が適切であったことを示すことができた。

第7章では結論として、再処理施設の臨界安全管理の高度化に資することを目的として実施した本研究の内容と成果についてまとめ、今後の臨界安全研究についての課題について述べている。

(続紙 2)

(論文審査の結果の要旨)

本論文は、核燃料取扱施設のうち最も臨界安全管理が重要となる再処理施設の臨界安全管理の高度化に資することを目的として、低濃縮ウラン溶液を用いた複数ユニット体系と非均質体系の臨界量の測定や核分裂生成物 (FP) 元素の濃度反応度価値の測定を通じて高精度な臨界ベンチマークデータの整備を行い、それを用いて計算コードの検証を行うとともに、複数ユニットの反応度効果を簡易に評価する立体角法の実用性の検討等を行った研究成果について論じたものであり、得られた主な成果は次の通りである。

1. 均質体系、非均質体系を含む様々な体系での低濃縮ウラン溶液の臨界量、および使用済燃料中の FP や可燃性毒物の反応度効果に関する詳細な測定を不確かさを定量的に評価しながら実施し、これまで得られていなかった新しいデータとして取得することができた。
2. 取得した実験データを基に高精度な臨界実験ベンチマークデータを整備し、国際的に公開することができた。このデータは将来にわたって解析手法や核データの妥当性確認に活用できるものと期待される。
3. 新たに整備したデータを活用して六ヶ所再処理施設の臨界安全評価に用いた臨界安全解析システムの解析結果の妥当性を確認したところ、これまでの評価結果が適切であったことを示すことができた。
4. 複数ユニットの反応度効果についてモンテカルロ法による詳細な解析と簡易評価手法である立体角法の実用性の検討を行い、詳細解析を行う上で留意すべきことを明らかにし、臨界安全設計において立体角法を用いることの有効性についても評価することができた。

以上、本研究は低濃縮ウラン溶液体系の臨界量と反応度効果に関する実験に基づく新規の内容であり、これらの研究成果は今後の再処理施設の臨界安全管理の高度化のために大きく貢献するもので、得られた知見は学術上寄与するところが大きい。

よって、本論文は博士 (エネルギー科学) の学位論文として価値あるものと認める。また、平成 24 年 2 月 22 日実施した論文内容とそれに関連した試問の結果合格と認めた。

論文内容の要旨及び審査の結果の要旨は、本学学術情報リポジトリに掲載し、公表とする。特許申請、雑誌掲載等の関係により、学位授与後即日公表することに支障がある場合は、以下に公表可能とする日付を記入すること。

要旨公開可能日： 年 月 日以降