

研究結果の概要（平成 27 年度～平成 29 年度）

研究課題名（課題番号）：

多様な被ばく状況に適用可能な迅速線量評価手法の開発（150803-01）

本研究は、高線量被ばくが想定される様々な放射線被ばく事故条件において、多くの被災者の中から緊急被ばく医療の対象となる者を迅速に識別し、その線量を評価する手法を開発・整備することを目的に、1) 臨界事故時における線量評価、2) アクチノイド核種等による内部被ばく線量評価、及び3) 皮膚汚染時における線量評価について研究を実施した。その結果、以下の知見が得られた。

1) 臨界事故時の線量評価に関する研究

核燃料施設において最も発生する可能性の高い溶液系臨界事故について、予想される第1スパイクの核分裂数と被ばく線量の関係を、核分裂数の簡易推定式とモンテカルロ計算シミュレーションの併用によって算出し、溶液の体積だけから被ばく線量を算出する簡易式を構築した。これは、万一臨界事故が発生した場合に、被災者及び事故対応要員の被ばく線量がどの程度になるかの見積もりなどに有用である。

体内中に生成される ^{24}Na 等放射能と、それらから放出される γ 線による体表面での γ 線1cm線量当量率の関係を明らかにした。この関係を利用することによって、たとえばNaI(Tl)シンチレーション式線量当量率サーベイメータによる体表面測定によって高線量被ばく者を識別することが可能である。

原子力機構核燃料サイクル工学研究所で使用している個人線量計（TLD バッジ、臨界事故時スクリーニング用にインジウム箔を内蔵）及び毛髪放射化（ ^{32}P ）について、計算シミュレーションによって、そのレスポンスを中性子エネルギー及び入射角度の関数として求めた。応答関数は、日本原子力研究所で開発された臨界事故時線量評価プログラムRADAPASに組み込まれた計140個の臨界事故時想定スペクトルでフォールディングされ、体内 ^{24}Na 放射能の関係とともに数値表としてとりまとめられた。これは、事故対応時における線量評価作業を支援する早見表として活用できるだけでなく、複数の異なる方法から算出された線量に整合が取れているかどうかの確認や放射線の入射方向の推定に利用可能である。

^{252}Cf 中性子線源を用いて放射化試料等に高線量の中性子を照射する装置を整備し、毛髪等の照射実験に活用中である。

2) アクチノイド核種等による内部被ばく線量評価に関する研究

試料回収が容易な尿を用いたバイオアッセイについて、最も時間を要する分析工程となる前処理の高速化を図るため、共沈法（リン酸共沈、シュウ酸共沈）及び有機物分解装置を

用いる方法を試験し、最適な分析条件を探索した。その結果、リン酸塩またはシュウ酸塩を用いた共沈法により、前処理にかかる時間(約 28 時間)を従来法にかかる時間 (約 28 時間)より約 18 時間まで短縮できたが尿中の U, Pu 及び Am 成分の回収率が、共沈剤の種類によっては、70%以下である場合もあった。一方、鉄共沈剤を用いた前処理法の検討では、尿試料の前処理にかかる時間を約 15 時間まで短縮また U, Pu 及び Am 成分に対する回収率はそれぞれ 75%, 85%及び 80%まで担保した。そして、この結果から U, Pu 及び Am 成分ともに既存の測定技術の典型的な検出限界値 1 mBq/liter (1 日測定) を担保できることを確認した。尿試料を用いた鉄共沈法の検証は尿中の未知核種評価する国際相互比較プログラム (PROCORAD) へ参加し、尿中に含まれている ^{238}Pu , ^{241}Am 及び ^{244}Cm の定性及びその放射能の評価結果から本手法の妥当性を確認して、本研究で確立した鉄共沈法によるバイオアッセイ法に対するマニュアルを作成した。また、測定法の最適化では誘導結合プラズマ質量分析装置(ICP-MS)による前処理前の尿試料中の U 成分に対する検量線の作成及び検出下限値を算出し ICP-MS による測定法の有効性を確認した。本研究で検討したバイオアッセイ手法及び ICP-MS による測定法は 2017 年 6 月 6 日に起きた原子力機構大洗の Pu 内部被ばく事故時、内部被ばく線量評価のための尿試料分析法として用いた。

また、アクチノイド核種と同様に迅速な分析が求められるベータ線放出核種である放射性ストロンチウム (ストロンチウム-89、90) を対象とした分析法及び測定法を検討した。その結果、150~300 mL の尿を供試量として検討し、ストロンチウム担体の添加なしに 2 日程度で分析が可能であることが分かった。この分析法におけるストロンチウムの回収率は、60~70%程度であった。さらに、安定ストロンチウムを添加する必要のないことが分かり、測定法として誘導結合プラズマ質量分析法 (ICP-MS) を適用した際に問題となる安定ストロンチウムからの干渉を、従来の方法よりも低減できる可能性のあることと考えられた。

3) 皮膚汚染時における線量評価に関する研究

国内で広く使用されている GM 計数管式表面汚染サーベイメータ及び電離箱式線量当量率サーベイメータについて、線源サイズ別に、指示値と皮膚線量率の関係を評価し、特に高レベル汚染の場合、電離箱式サーベイメータによる皮膚汚染測定が有効であることを示した。また、 β 線スペクトルに基づく皮膚線量評価について検討した。本手法は、特に未知核種の場合に有効と考えられる。

これまでに国内外で使用されてきた表面密度-皮膚線量率換算係数を一覧表として整理し、出典による違いについて分析するとともに、代表的な 281 核種について計算コード VARSKIN 6.0 を用いて換算係数の検証計算を行った。計算は、二種類の汚染面積 (円形 1 cm^2 及び 100 cm^2) について皮膚の深さ 7 mg/cm^2 で、汚染面積 100 cm^2 について深さ 40 mg/cm^2 (確定的影響を想定) で行った。とりまとめた換算係数一覧表を、国内で広く利用されているマニュアル類に反映させたい。