

マイクロカロリメータ特性X線スペクトル計測による超ウラン元素内部被ばく線量評価に関する研究

中村, 圭佑

<https://hdl.handle.net/2324/1937182>

出版情報 : Kyushu University, 2018, 博士 (工学), 課程博士
バージョン :
権利関係 :

氏 名 : 中村 圭佑

論 文 名 : マイクロカロリメータ特性 X 線スペクトル計測による
超ウラン元素内部被ばく線量評価に関する研究

区 分 : 甲

論 文 内 容 の 要 旨

核燃料サイクル施設や高経年化した発電用原子炉施設の廃止措置では、超ウラン元素を含む核燃料物質等による汚染物質を取り扱う必要がある。超ウラン元素の内部被ばく防護対策に加え、吸入摂取事故に備えた内部被ばく線量の測定評価技術が重要となる。一般的に、吸入摂取事故発生時の内部被ばく線量の測定評価には、一次評価に肺モニタ等を用いた体外計測法、最終評価に被評価者の便を用いたバイオアッセイ法が用いられる。測定精度が高いバイオアッセイ法では、便試料の採取及び化学処理による線量評価に最短でも 10 日程度を要するため、内部被ばく治療の迅速な開始には、一次評価である体外計測法の測定精度向上が要求されている。体外計測法で使用する肺モニタでは、吸入摂取により肺に沈着した放射性物質から放出される γ 線や X 線を測定する。吸入した物質に超ウラン元素が含まれる場合は Pu 同位体や ^{244}Cm の γ 線放出率が低いため、L X 線が測定評価の対象となる。超ウラン元素から放出される L X 線のエネルギースペクトルは強度が異なる多数のピークがエネルギー間隔 100 eV 以内に近接した複雑な形状であり、従来の半導体検出器のエネルギー分解能では主要な L X 線ピークを正確に同定するスペクトル計測が困難であり、内部被ばく線量評価の信頼性に問題があった。一方、近年開発が進められている超伝導転移端温度計型 (TES) 型マイクロカロリメータは、半導体検出器より一桁以上優れたエネルギー分解能が実証されており、特性 X 線スペクトル計測で超ウラン元素の主要な L X 線ピークの正確な同定が可能となり、内部被ばく線量評価の信頼性向上が期待される。

そこで本研究では、TES 型マイクロカロリメータによる超ウラン元素の特性 X 線スペクトル計測で明確に同定した主要な L X 線ピークの実験データに基づいて、超ウラン元素内部被ばく線量評価に適用可能であることを示し、新しい肺モニタを提案する。

以下に本論文の構成を示す。

第 1 章では、本研究の背景及び研究目的を述べた。

第 2 章では、超ウラン元素を含む核燃料物質等の吸入摂取事故発生時における内部被ばく線量の測定評価手法について述べた。

第 3 章では、TES 型マイクロカロリメータの動作原理と、超ウラン元素の L X 線スペクトル計測用に試作した TES 型マイクロカロリメータの特性について述べた。 ^{241}Am と ^{239}Pu の樹脂密封型標準線源を用いて、試作した TES 型マイクロカロリメータによる L X 線スペクトル計測の予備実験を行い、エネルギーが 13 keV から 18 keV 領域の主要な L X 線ピークを半値全幅 80 eV 程度のエネルギー分解能で明確に分離できることを確認した。

第 4 章では、試作した TES 型マイクロカロリメータを用いた超ウラン元素 L X 線スペクトル測定実験について述べた。バックグラウンドに大きく寄与をする散乱 X 線の入射事象を低減するため、

代表的な超ウラン元素である ^{244}Cm 及び ^{237}Np の電着型標準線源を冷凍機内の TES 型マイクロカロリメータの近傍に取り付けた。L X 線検出事象に対応する信号パルスについて最適フィルタ処理及び動作点変動補正を行い、検出信号パルス波高分布を L X 線スペクトルへと変換した。計測で得られた L X 線スペクトルでは、主要な L X 線ピークを半値全幅 80 eV のエネルギー分解能で明確に同定した。この計測で得られた ^{244}Cm 及び ^{237}Np の L X 線スペクトルの主要なピークの解析により算出した L X 線放出率が文献値と整合することを確認し、TES 型マイクロカロリメータで計測した L X 線スペクトルの定量分析への適用性を示した。

第 5 章では、TES 型マイクロカロリメータによる超ウラン元素 L X 線スペクトル計測の内部被ばく線量の測定評価への適用可能性について述べた。現実的な核燃料物質を想定した超ウラン元素組成の模擬的 L X 線スペクトルを、TES 型マイクロカロリメータで計測された L X 線スペクトルデータを利用して作成し、主要な L X 線ピークを明確に同定できることを確認することで、内部被ばく線量の測定評価への適用可能性を示した。また、L X 線スペクトル計測実験で得られた検出効率に基づいて TES 型マイクロカロリメータを使用した肺モニタについて検討し、主要な超ウラン元素の同定が可能であることを示した。さらに、L X 線ピーク強度比による肺胸部厚さ測定法を考案し、その妥当性を確認した。

第 6 章では、本論文のまとめと今後の課題、展望について述べた。