

5-3 溶液中の核物質の高精度な測定を目指して — 単色X線を用いた次世代HKED装置の考案 —

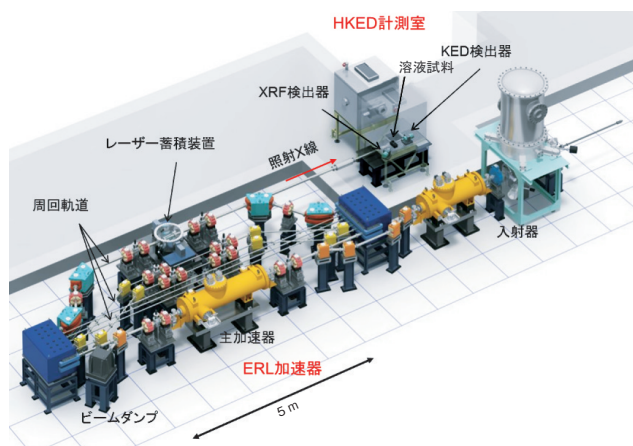


図5-8 次世代HKED装置の概念図

次世代HKED装置は、エネルギー回収型リニアック（ERL加速器）、レーザー蓄積装置及びKED/XRF検出器から構成されます。ERL加速器からの高エネルギー電子とレーザー蓄積装置を用いて増幅したレーザー光を衝突させて単色X線を生成し、溶液試料に照射します。KED検出器及びXRF検出器を用いて透過X線や蛍光X線を測定します。電子ビームを6周回させることで、コンパクトな装置が実現できます。

核物質の計量管理は保障措置上の重要な課題です。核物質の濃度測定では、一般に質量分析器による破壊分析が用いられています。しかしながら、分析の簡便さや迅速性、また、分析で排出される廃棄物の発生量の低減などの観点から、非破壊での測定が望まれています。特に、溶液中の核物質の非破壊測定では、ハイブリッドK吸収端濃度計測法（HKED）が用いられており、原子炉や再処理施設等において、ウランやプルトニウムなどの濃度測定に使用されています。

従来のHKED装置では、X線管を用いて生成した制動放射X線を入射光源として使用します。制動放射X線は連続エネルギーのため、非弾性散乱に起因するバックグラウンドが増加し、測定精度へ影響を与えます。しかしながら、入射光源としてエネルギー単色性の高いX線を用いれば、バックグラウンドを軽減し、効率の良いK吸収や蛍光X線の計測が期待できます。そこで、私たちは入射光源に単色X線を用いる次世代HKED装置を考案しました（図5-8）。

次世代HKED装置の性能を評価するため、電子・光子輸送電磁カスケード計算による蛍光X線の応答スペクト

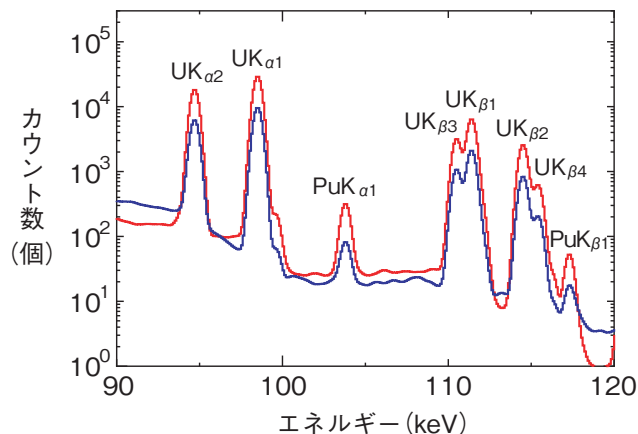


図5-9 蛍光X線の応答スペクトル

電子・光子輸送電磁カスケード計算を用いて、ウラン200 g/lとプルトニウム2 g/lを含む硝酸溶液に対する蛍光X線の応答スペクトルを調べました。入射光源として単色X線を仮定して得られたものを赤線、制動放射X線を仮定して得られたものを青線で示しています。単色X線を用いることによりPuK_{a1}を効率良く測定でき、高いピーク強度が得られることが分かりました。

ルの分析を行いました（図5-9）。単色X線を用いることにより、プルトニウムの蛍光X線（PuK_{a1}）のピーク強度が高くなるため、従来の制動放射X線を用いる方法と比べ、全計数及びPuK_{a1}領域のバックグラウンド計数に対するPuK_{a1}の強度比が共に向上することが明らかになりました。同様に、入射X線の吸収スペクトルにおいても、単色X線を用いることにより、非弾性散乱によるバックグラウンド計数を軽減でき、全計数に対するウランのK吸収端領域の計数を高めることができます。これらの結果、従来の方法と比べ、短時間に高精度での計測が可能になることが分かりました。

また、溶液中に微量に含まれるネプツニウムの分析は、従来のHKED装置では、PuK_{a1}に起因するバックグラウンドが高くなるため困難でした。一方、次世代HKED装置では、単色X線のエネルギーをネプツニウムとプルトニウムのK吸収端の間に合わせることで、PuK_{a1}の影響を受けずに、ネプツニウムの蛍光X線を計測できることが分かりました。本成果を基に、原子炉や再処理施設などにおいて、溶液中の核物質の迅速かつ高精度での非破壊濃度計測が可能になることが期待されます。

●参考文献

Shizuma, T. et al., Proposal for an Advanced Hybrid K-edge/XRF Densitometry (HKED) using a Monochromatic Photon Beam from Laser Compton Scattering, Nuclear Instruments and Methods in Physics Research A, vol.654, issue 1, 2011, p.597-603.