

5-9 イオンマイクロビームによる非破壊三次元元素分析 —粒子励起 X 線トモグラフィ技術の開発—

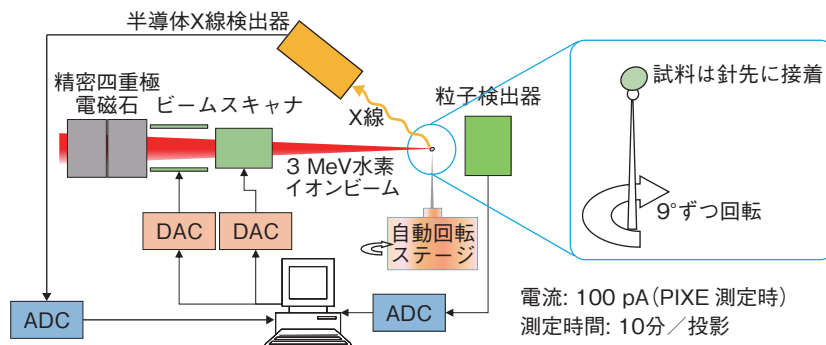


図 5-25 PIXE-T 分析システムの概略

3 MeV の水素イオンビームを精密四重局電磁石で直径 1 μm まで集束し、ビームスキャナで試料上の 100 μm \times 100 μm の範囲を照射します。試料から発生した X 線の位置とエネルギーをコンピュータで処理し、元素の三次元分布に再構成します。

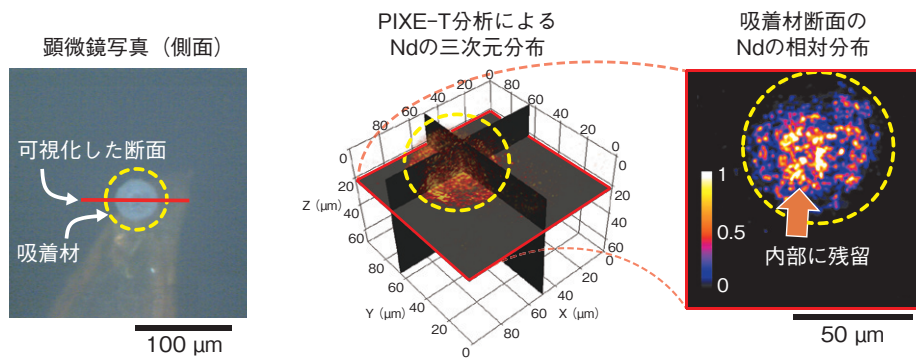


図 5-26 抽出クロマトグラフィ用多孔質シリカ吸着材の光学顕微鏡写真（左図）と PIXE-T 分析結果（中央図，右図）
左図は針先に固定された多孔質シリカ吸着材の顕微鏡写真です。これを PIXE-T 分析によって三次元元素分布測定し、右図のように任意の断面の Nd の分布を非破壊で可視化しました。

高崎量子応用研究所イオン照射研究施設 TIARA の直径 1 μm 以下の MeV 級水素イオンマイクロビームを用いた粒子線誘起 X 線（マイクロ PIXE）分析を発展させ、粒子励起 X 線トモグラフィ（PIXE-Tomography: PIXE-T）分析システムを開発しました（図 5-25）。PIXE-T 分析は、試料を少しずつ回転させながらマイクロ PIXE 分析による二次元元素分布測定を複数回行い、コンピュータによる画像再構成によって、三次元元素分布を非破壊で得る方法です。他のトモグラフィ技術でも使用されている最尤推定-期待値最大化（ML-EM）法による画像再構成に、イオンマイクロビームが試料を通過中にエネルギーを失い X 線の発生確率が減少することや、発生した X 線の一部が試料内で吸収されることの補正を導入し、厚さが数十 μm の試料であっても、内部の元素分布を精度良く測定できるようになりました。

今回、開発した PIXE-T 分析システムを用いて、抽出クロマトグラフィに用いられる直径約 50 μm の多孔質シリカ吸着材粒子内部の三次元元素分布分析を行いました。抽出クロマトグラフィは、粉末状の吸着材を充てんした容器に溶液を通してイオンを吸着させ、その後溶離液を通すことでイオンを溶離・分離します。この方法

は、長半減期のマイナーアクチノイド (MA) を高レベル放射性廃液から選択的に吸着除去する技術として有望視されていますが、溶離率の改善が大きな課題となっています。これまでに、MA の模擬としてネオジム (Nd) を用い、溶離後の吸着材粒子をマイクロ PIXE 分析で測定したところ、溶離処理後にもかかわらず Nd が吸着材粒子に残留していることが確認されています。しかし、マイクロ PIXE 分析では、表面と内部が重なった二次元元素分布となるため、吸着材粒子内部の Nd 分布を把握することは困難でした。また、多孔質シリカは非常に脆く、切断し吸着材粒子断面を直接分析することも難しいため、PIXE-T 分析システムを用い、溶離後の吸着材粒子断面の Nd 分布を測定することに取り組みました。

測定の結果、図 5-26 のように吸着材粒子の内部で Nd が局所的に残留している様子を三次元的に可視化することに初めて成功しました。この Nd の残留分布は、溶離液の濃度や通液時間、多孔質シリカの細孔サイズなどで変化すると考えられるため、今後、様々な溶離条件や細孔サイズを持つ吸着材粒子を PIXE-T で分析することで、MA の吸着除去に最適な条件を選定していく予定です。

●参考文献

Satoh, T. et al., Particle Induced X-Ray Emission-Computed Tomography Analysis of an Adsorbent for Extraction Chromatography, Nuclear Instruments and Methods in Physics Research B, vol.371, 2016, p.419-423.