

4-6 微量イオンを選択捕集する小型分離カートリッジ —難測定核種分析効率化のための高性能分離材料の開発—

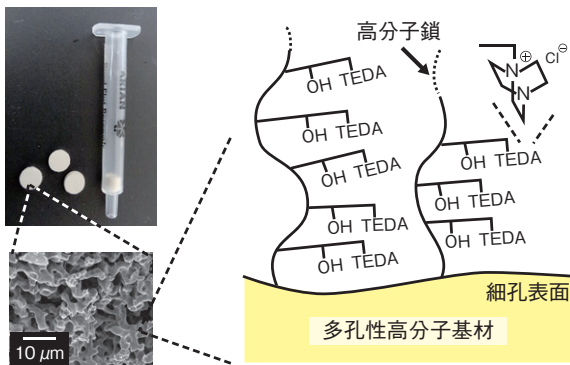


図4-14 小型分離カートリッジ (TEDA カートリッジ) の外観と構造

TEDAカートリッジには、水が浸透しやすい微細な孔構造を持つ高分子材料が充てんされています。この材料の細孔表面にイオン交換基(TEDA)が高密度に存在し、高効率分離を実現しています。

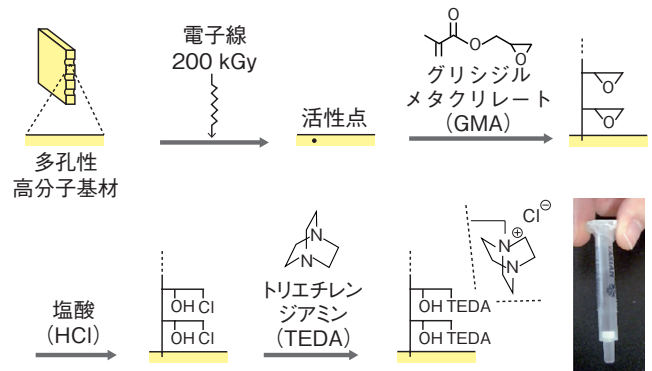


図4-15 電子線グラフト重合を利用したTEDAカートリッジの作製
電子線照射によって基材の細孔表面に活性点を作り、GMAの重合反応を起こして細孔表面に高分子鎖を成長させます。HClによる反応を介し高分子鎖とTEDAを結合させることで、イオン交換機能が付与されます。

表4-1 TEDAカートリッジ及び市販材料による使用済燃料試料中²³⁷Npの分離性能比較

²³⁷Npを含む試料である使用済燃料溶解液を用いてTEDAカートリッジと市販材料における²³⁷Np分離性能を比較しました。TEDAカートリッジでは、市販材料を用いた場合の10倍の速度で通液しても市販材料と同等以上の性能を示すことが実証されました。

	通液速度 (ml/min)	総通液量 (ml)	²³⁷ Np 回収率	Am 残存率	U 残存率
TEDA カートリッジ	1.5	2.5	90%	<0.001%	<0.1%
市販材料* ¹	0.15	41.3	78%	<0.001%	2.3%

²³⁷Np: ネプツニウム
Am: アメリシウム
U: ウラン

*¹ イオン交換樹脂カラム (充てん樹脂 BIO-RAD AG® 1-X8)

放射性核種の測定には、一般に、 α 線、 β 線、または γ (x)線を計数する放射線測定器、若しくは質量ごとの原子の個数を測定する質量分析計が用いられます。 γ 線を測定する場合は、ほぼ前処理なしに測定・定量が可能です。しかしながら、 α 線若しくは β 線測定では、スペクトル干渉要因となる共存核種を化学分離する必要があります。また、質量分析においても、同重体などの測定妨害元素を化学分離します。化学分離は多大な労力を要するため、分離操作や時間を短縮することは、分析者の負担軽減につながるとともに迅速な分析結果取得を可能にします。

そこで本研究では、化学分離の効率化を目的として、小型分離材料 (TEDA カートリッジ) を開発しました。このカートリッジには、微細な孔構造 (平均細孔径: 1.0 μ m) を持つ直径 5.9 mm, 厚さ 3.0 mm の高分子材料が充てんされています。高分子材料の細孔表面に、1分子内に二つのイオン交換基を持つトリエチレンジアミン (TEDA) を高密度に導入することによって、高効率分離を実現しました (図 4-14)。ここでは、TEDA の導入法として、高分子表面の化学修飾に用いられる電子線グラフト重合法を利用しました (図 4-15)。この技術

により、多孔性高分子基材の細孔表面全体に、均一に TEDA を導入することが可能となりました。

開発した TEDA カートリッジの実用性を確認するため、難測定核種の一つである²³⁷Npの分析に適用しました。²³⁷Npは、原子炉内反応によって生成する長寿命核種であり、一般に、 α 線測定器若しくは誘導結合プラズマ質量分析計 (ICP-MS) によって測定します。ここでは、長寿命核種の測定に有利な ICP-MS における測定前処理を想定し、²³⁷Npを含む試料として使用済燃料溶解液を用いて TEDA カートリッジの分離性能を評価しました。

TEDA カートリッジは、市販材料 (陰イオン交換樹脂) を用いた場合の 10 倍の速度で通液しても²³⁷Npを高回収率で分離でき、かつ優れた共存元素除去率を示しました (表 4-1)。また、TEDA カートリッジの体積は市販材料の約 1/13 であり、総通液量が少なく済むため、分析時間の大幅な短縮だけでなく、分離廃液の減量化にもつながりました。

TEDA カートリッジの作製技術は、特定のイオンを吸着する性質を持つ様々な分子に応用可能であり、分離対象に応じて適切な分子を高分子材料に導入することで、²³⁷Np以外にも多くの核種分析への適用が期待されます。

●参考文献

Asai, S. et al., Preparation of Microvolume Anion-Exchange Cartridge for Inductively Coupled Plasma Mass Spectrometry-Based Determination of ²³⁷Np Content in Spent Nuclear Fuel, Analytical Chemistry, vol.88, issue 6, 2016, p.3149-3155.