

放射性不純物吸着のための新しいフィルター開発

東北大RCNS, 岡大理^A, 東大宇宙線研^B

太田幸寿, 大下正太郎^A, 細川佳志, 池田一得, 小汐由介^A, 家城佳^B

1.モチベーション

U,Th系列などの放射性核種の崩壊は、KamLANDやSK等の低BG実験において重大な背景事象源となる

放射性不純物を事前に取り除く**純化**が極めて重要

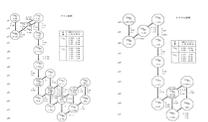
純化に関する課題

- SKのGd水中に有限のUが溶存する可能性
- KamLANDで蒸留を用いたLSの発光量減少
- XENONnTでのGd水中の鉄溶存

これらの課題の解決策として**キレートフィルター**を開発

キレートフィルターの特徴

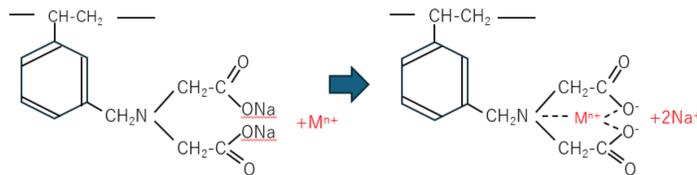
- 蒸留や液液抽出より**容易に純化可能**
- イオン交換樹脂より特定の金属イオンに対して**高い選択性**を持つ



2.キレート形成基

キレート形成基の吸着原理

キレート形成基とは、特定の金属イオンと錯体を形成し、非常に強く結合する官能基例：イミノジ酢酸 (IDA)



引用：イオン交換樹脂総合情報センター webサイト <https://ionexchange-info.com/type/chelate/>

キレート形成基の高い選択性

イミノジ酢酸



アルカリ金属イオン (Na+ やK+) が高濃度で共存する環境下で、微量のアルカリ土類金属 (Mg²⁺やCa²⁺) のみを捕獲することができる

イオン交換樹脂より特定の金属イオンに対する**選択性が非常に大きいキレート形成基**を用いる

イオン交換樹脂で除去しきれない極微量のU,Th,Raを超純水、Gd水、液体シンチレータ(LS)、バッファオイル(BO)などから除去できると期待

引用：イオン交換樹脂総合情報センター webサイト <https://ionexchange-info.com/type/chelate/>

将来目標

- SKのGd水中の極微量U,Th,RaをGdを取らずに吸着
- KamLAND LS中のU,Th,Ra吸着
- XENONnTのGd水中での鉄吸着



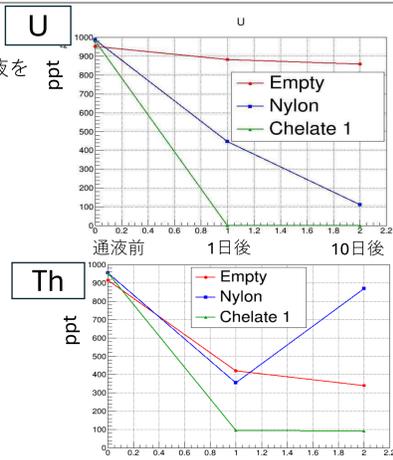
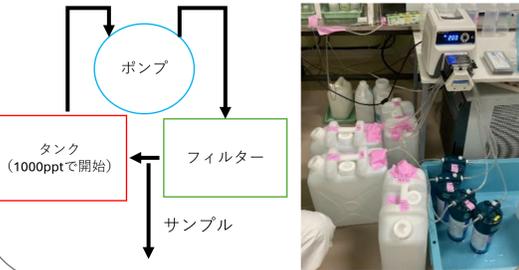
4.フィルター性能評価

U,Th吸着性能評価：通液試験

純水に標準溶液を添加して作った1000pptのU,Thが入った液を流速200mL/minで10日間、下図の系で循環

その後、ICP-MSでU,Th濃度を測定

キレート1はUを**検出限界未満**まで減少させることを確認

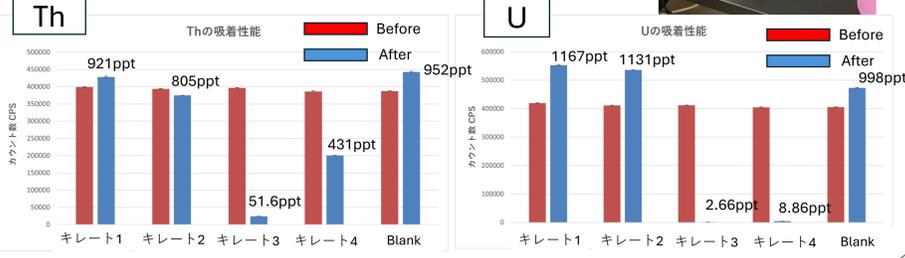


U,Th吸着性能評価：ピーカー試験

標準液XSTC331 100ppbを超純水(MQ)で希釈して1ppbを用意

用意した1ppb溶液 100mLに対して**約0.1g**の繊維をピーカーで漬けた漬けたピーカーをスターラーで攪拌しながら1晩置いた翌日採水を行い、ICP-MS測定

キレート3がUを2.66pptまで吸着



LS,BOへの試験

加速劣化試験

フィルターのLS,BO耐性を調べるため、8倍の加速劣化試験を3週間行った試験対象：ナイロン、フィルターの芯(PP)



LS標準液作成

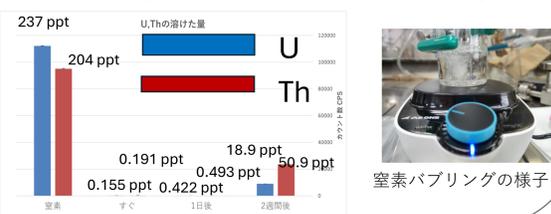
標準液XSTC-331は硝酸ベースで、親油性のある標準液は見つからず、作る必要がある(おそらく世界初の試み)

方法

1ppbになるようにPC(ブソイドクメン)にXSTC-331を添加
A: スターラーで攪拌(攪拌直後,1日後,2週後をサンプル)
B: 窒素バブリング+攪拌(水が無くなった1晩後サンプル)
A,Bをそれぞれ灰化、硝酸化し、ICP-MS測定

結果

窒素バブリングが約200pptとよく溶けていた
それでも約1/5しか溶けていないため改善が必要



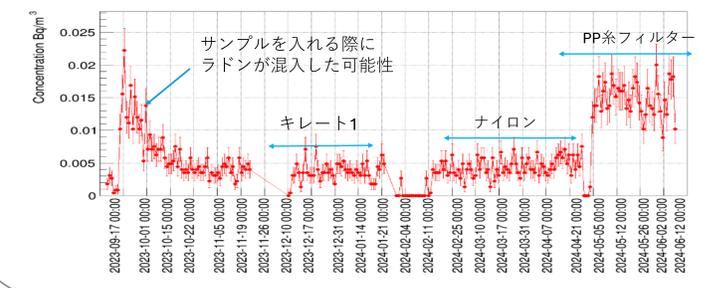
窒素バブリングの様子

ラドン湧き出し量測定

サンプル容器(右写真)と80L超高感度Rn検出器をつなげ、空気を循環させ、その空気中のRn濃度を測定



SKで使われているPP糸フィルターの約1/3のラドン湧き出し
ナイロンやキレート1が**十分な性能**を持っていることを確認



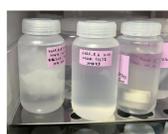
5.まとめ

- キレート形成基を用いたフィルター開発**
 - 純化に関する課題の解決策としてキレートフィルターの開発
- 放射線グラフト重合法を用いたフィルター合成**
 - 官能基の部分を変えることで様々な金属に特化したフィルターを作成
- キレート形成基の特徴**
 - 金属イオンと錯体を形成する強い吸着
 - 特定の金属イオンに対する**高い選択性**
- フィルター性能評価**
 - 通液試験で、あるキレートがUを検出限界未満まで吸着可能なことを確認
 - ピーカー試験で、キレート3がUを**2.66ppt**まで吸着したことを確認
 - 加速劣化試験で、フィルターが**LS,BO**に対して使用できることを確認
 - ラドン湧き出し量が十分な性能を持っていることを確認

6.今後の展望

Gd水への応用

超純水だけでなく、XENONnTで問題になっているGd水中の鉄をGdを取らずに吸着するなどの応用を行う



様々なキレート形成基での吸着性能評価



ピーカー試験を様々なキレート形成基で行い、U,Th,Raに特化したキレートを探す

業者と協力してイタレーションを行っていく

脱溶媒装置Aridus-III

この装置でICP-MS感度を10倍程度上昇させる計画
既に導入済みで設定などを調整中



LS標準液作成方法の確立

LSでピーカー試験を行うために、LSでの標準液作成を行っていく

