

日本放射化学会第 65 回討論会(2021)

講演要旨集

2021 年 9 月 22 日(水)~9 月 24 日(金)

東京都立大学・理化学研究所



主催

日本放射化学会



共催

日本化学会, 日本物理学会, 日本分析化学会,
日本放射線安全管理学会, 日本保健物理学会,
日本薬学会

日本放射化学会第65回討論会(2021) 日程

時刻	9月22日(水)	9月23日(木)	9月24日(金)			
9 00	発表準備		発表準備			
15	開会式・学会法人化記念式典		放射化分析(2) 座長 白井直樹			
30	休憩					
45	1K01 海老原充	特別講演 2S01 阿部穰里 座長 大浦泰嗣		3K01* 齋藤涼太		
10 00	環境放射能(1) 座長 五十嵐康人	1K02 長尾誠也		3K02 MD. Sultanur Reza		
15	1K03 奥村大河	休憩				
30	環境放射能(2) 座長 高橋嘉夫	放射化分析(1) 座長 高宮幸一	医薬・生物学に おけるRI利用 座長 石岡典子	3K03* 邱奕寰		
45				1K04 箕輪はるか	2K01 岡田往子	3K04 西中一朗
11 00				1K05* 稲垣誠	2K02 杉崎史都	3K05* 湯原勝
15				1K06* 齋藤凜太郎	2K03 大澤崇人	3K06* 中川創太
30		2K04 三浦勉	3K07* 黄栩昊			
45						
12 00	昼食 核化学分科会		昼食 原子核プローブ分科会			
15			昼食 放射化分析分科会			
30						
45						
13 00	核プローブの 化学(1) 座長 小林義男	1K07 伊東泰佑	会員総会	3K08* 諏訪智也		
15		1K08* 小松田沙也加		その他分野(1) 座長 豊嶋厚史	3K09 MA Zhuoran	
30		1K09* 北清航輔			3K10 富田純平	
45			3K11* 富田涼平			
14 00	核プローブの 化学(2) 座長 小松田沙也加	1K10 Irfan Khan	受賞講演 2S02 海老原 充 座長 三浦 勉	休憩		
15		1K11* 佐藤祐貴子		その他分野(2) 座長 浅井雅人	3K12 松村宏	
30		1K12 小林義男			3K13 吉田剛	
45			3K14 大島真澄			
15 00	休憩		休憩			
15	核化学 座長 笠松良崇	1K13* 杉山晃一	2K05 田上恵子	休憩		
30		1K14* 庭瀬暁隆	2K06* 山口瑛子	ポスター発表(3P01-12) コアタイム		
45		1K15* 青木涼太	2K07 小島貞男			
16 00		1K16* 大谷怜	2K08 緒方良至			
15	休憩		休憩			
30						
45						
17 00	ポスター発表(1P01-13) コアタイム		ポスター発表(2P01-13) コアタイム			
15						
30						
45						
18 00	アルファ・環境放射能分科会		若手の会			
15						
30						
45						
閉会式・若手優秀賞発表						
(*は若手優秀発表賞対象講演)						

参加登録費：

		事前	当日
放射化学会員 共催・後援学会員	一般	3,000 円	4,000 円
	学生	無料	1,000 円
非会員	一般	6,000 円	7,000 円
	学生	3,500 円	4,500 円

事務局：東京都立大学理学部化学科内

〒192-0397 東京都八王子市南大沢 1-1

理化学研究所仁科加速器科学研究センター核化学研究チーム内

〒351-0198 埼玉県和光市広沢 2-1

e-mail: sorc2021-office@radiochem.org

日本放射化学会第 65 回討論会(2021) オンライン開催について

日本放射化学会第 65 回討論会(2021)は、LINC Biz の Web 会議システムを利用して、オンラインで開催します。特別講演、受賞講演、口頭発表、日本放射化学会総会、分科会、若手の会は、同一のミーティングルームで開催します。

ポスター発表は、該当する講演番号の付与されたチャンネル内で行います。ポスターセッション中(コアタイム中)は、ビデオ機能により音声で質疑応答が可能です。ポスター発表の閲覧は、討論会期間中常時可能ですが、コアタイム以外の質疑応答はテキスト入力形式のみで行います。なお、ポスターは 9 月 30 日まで閲覧可能とします。

以下に、講演者、ポスター発表者、ならびに聴講者に対する、オンライン講演(口頭発表、特別講演、受賞講演)、ポスター発表それぞれの注意事項を示しますので、必ずお読みください。

本会議システムのマニュアルは、討論会ホームページよりダウンロードできます。

1) オンライン学会への参加の方法

事前参加登録を推奨していますので、すでに登録済みの方は b.にお進みください。

参加登録、オンライン学会のマイページ

- a. 討論会ウェブサイト「発表・参加申込み」(<http://www.radiochem.org/sorc2021/registration.html>) ページ内の「[参加申し込みはこちらをクリックしてください](#)」から登録用ページへアクセスください。「登録用ページ」内の「メールアドレス登録」からメールアドレスをご入力いただくと、折り返し送付されるメールにパスワードが記載されております。(総会への出席も参加登録が必要です。)メールアドレスのご登録を完了された方は、ページ下部にある「参加登録」ボタンよりログイン画面にお進みください。ログインページから登録済メールアドレスおよび送付されたパスワードを入力し、登録情報を入力するページにアクセスください。こちらで必要事項を入力し登録を行ってください。
- b. 討論会当日までに LINC Biz を運営する「株式会社 AIoT クラウド」より、会議システムに参加するための招待メールが送付されます。こちらのメールから「LINC Biz」会議システムへ登録を行ってください。登録完了後、会議システムへのログイン用 URL が送付されますので、そこから各会場へアクセスください。
- c. LINC Biz 内での参加者名は、必ず「氏名(所属略称)」(例: 都立大郎(理研仁科セ))と表示してください。参加者名はアカウント設定のニックネームに入力してください。設定変更などの詳細は LINC Biz のマニュアルを参照して下さい。

2) 口頭発表、特別講演、受賞講演

LINC Biz Web 会議システムを使用し、画面共有機能を用いて発表スライド資料を表示することにより、リアルタイムで講演を行います。各会場へは Web 会議システム内「チャンネル」から移動することができます。発表者は口頭発表用のスライドをアップロードし、チャンネル内のコメント機能を使用したテキスト入力形式によって、発表時間外でも質疑応答が可能となっております。積極

的にご利用いただき、議論を深めてください。

講演者に対する注意事項

例年と同様、パワーポイント等で作成した発表スライド資料を準備してください。口頭発表は、発表時間 15 分以内、討論含め 20 分以内です。特別講演と受賞講演は、質疑応答などを含めて 1 時間です。通常の座長制を採用し、質疑応答もビデオ会議チャンネル内で行います。プライベートチャンネル内の口頭発表チャンネルから入室してください。講演者と一般聴講者の入室方法は異なります。

LINC Biz の操作方法等のマニュアルは討論会ウェブサイトに掲載しています。講演や交代を円滑に進めるためにも、発表スライドの画面共有による口頭説明等に十分慣れておくようお願いします。

- 外部接続のマイクやスピーカーを使用し、マイク、スピーカーの設定をご使用の機器に変更しておいてください。(内部スピーカーのご使用は避けてください。)
- 共有画面が意図した画面になるよう、事前にビデオ会議接続テスト (<https://meeting-ct.lincbiz.jp/>) で確認をお願いします。
- 講演時は、画面共有機能により発表スライドを表示し、座長の開始指示後にマイクを ONにして発表を開始してください。
- 講演後はマイクをミュート(OFF)にし、質疑に答えるときにのみ ON にしてください。
- 学会でのオンラインでの発表では、著作物を使用するには、原則として著作権者の許諾が必要となります。著作物の取り扱いには十分にご注意願います。

聴講者に対する注意事項

- 一般聴講者は、メールで連絡する URL に接続し、パスワードを入力すると、口頭発表ビデオ会議に入室できます。
- 一般聴講者は、基本的に通話、ビデオが許可されていません。質疑応答の際、座長からの指名を受けた後、通話可能状態になってからマイクを ONにして発言してください。質疑終了後はマイクをミュート(OFF)にしてください。その際には、外部接続のマイクやスピーカーを使用し、マイク、スピーカーの設定をご使用の機器に変更しておいてください。(内部スピーカーのご使用は避けてください。)
- 講演者の映像や資料について、保存、撮影(画面キャプチャを含む)、録音、配布を絶対にしないでください。必要な場合は講演者に個別に依頼してください。

3)ポスター発表

討論会期間中、聴講者は講演番号に相当する「チャンネル」内のポスター会場に掲載されたポスターを自由に閲覧できます。ポスターコアタイムでは対話形式での発表を行います。コアタイム外でも、チャンネル内のコメント機能を使用したテキスト入力形式によって、質疑応答が可能となっております。聴講者はコメント欄に質問を記入し、発表者も同じくコメント欄に返答を記入します。

口頭発表の講演者も発表資料をポスターチャンネルに同様に掲載できます。なお、このポスターのコアタイムは設けません。質疑応答は、テキスト形式で随時可能です。

ポスターチャンネルは、各日の全セッション終了後は、懇親目的での利用も可能です。

発表者に対する注意事項

- マニュアルに記載されている投稿可能なファイルの制限事項を遵守ください。制限事項内でご自由に有意義に各自のポスターチャンネルをご利用ください。ポスターやショートプレゼンテーション動画など、複数の資料を掲載可能です。
- ポスターセッション中(コアタイム)、各自のポスター掲載ページを常時確認し、質問に対する回答や意見交換を行ってください。
- 若手優秀発表賞選考対象者はコアタイム中必ずビデオ会議を開き対話形式での発表を行ってください。
- 学会でのオンラインでの発表では、著作物を使用するには、原則として著作権者の許諾が必要となります。著作物の取り扱いには十分にご注意願います。

聴講者に対する注意事項

- 質問をコメント欄に書き込む際には、所属と氏名がわかるようにアカウント設定してください。
- 発表者の映像や資料について、保存、撮影(画面キャプチャを含む)、録音、配布を絶対にしないでください。必要な場合は講演者に個別に依頼してください。

日本放射化学会第 65 回討論会(2021) プログラム

口頭発表 発表時間 15 分以内, 討論含め 20 分以内

ポスター発表 コアタイム 60 分 (9 月 30 日まで掲載)

(“*”は若手優秀発表賞対象講演)

オンライン発表のため発表準備等の時間設定の関係で、時間がずれる可能性があります。

第 1 日:9 月 22 日(水)

9:00

発表準備

9:15

開会式・学会法人化記念式典

9:35

休憩

9:50

【環境放射能(1)】

座長:五十嵐康人

1K01 FD1NPP 事故直後に東日本で採取された大気浮遊物質(SPM)中の ^{129}I 濃度と $^{129}\text{I}/^{137}\text{Cs}$ 放射能比の時系列変化

(¹早稲田大教育, ²都立大理, ³RESTEC, ⁴東大工, ⁵国環研)○海老原充¹, 白井直樹², 大浦泰嗣², 鶴田治雄³, 松崎浩之⁴, 森口祐一⁵

1K02 福島県沿岸海岸砂における放射性セシウムの鉛直分布

(¹金大環日セ, ²金大院自然, ³金大理工, ⁴ふくしま海洋)○長尾誠也¹, D. I. P. Putra², 南貴大², 藤生慎³, 富原聖一⁴, 落合伸也¹

1K03 福島原発事故で飛散した放射性ガラス微粒子(CsMP)の溶解特性

(¹東大, ²農研機構)○奥村大河¹, 山口紀子², 三河内岳¹, 小暮敏博¹

10:50

【環境放射能(2)】

座長:高橋嘉夫

1K04 福島第一原子力発電所1号機由来の放射性粒子の形状からの考察

(慈恵医大アイソトープ)○箕輪はるか, 吉川英樹

1K05* 福島原発事故に由来する不溶性微粒子のレーザー加熱法による模擬生成実験

(京大複合研)○稲垣誠, 関本俊, 高宮幸一, 沖雄一, 大槻勤

1K06* 都市ごみ焼却飛灰・土壌混合ジオポリマーの放射性 Cs の溶出抑制能力および耐久性の評価

(¹明治大学大学院理工学研究科, ²明治大学理工学部)○齋藤凜太郎¹, 小川熟人², 小池裕也²

11:50

.....11:50.....

【核化学分科会】【昼食】

.....13:00.....

【核プローブの化学(1)】

座長:小林義男

- 1K07 Cd_{0.75}Fe_{2.25}O₄ 中の局所磁気秩序とその時間変動
(¹金沢大自然, ²金沢大理工)○伊東泰佑¹, 小中將彰², 藤井光樹¹, 佐藤渉²
- 1K08* SrTiO₃ 中にドーブされた ¹¹¹Cd 位置における局所構造の熱的安定性
(¹金大人文, ²金大理工, ³京大複合研)○小松田沙也加¹, 佐藤渉², 大久保嘉高³
- 1K09* Fe(3,4-lutidine)₂[Ag(CN)₂]₂における γ 線由来のスピン状態変化の考察
(東邦大理)○北清航輔, 北澤孝史

.....14:00.....

【核プローブの化学(2)】

座長:小松田沙也加

- 1K10 Photocatalytic degradation of organic dyes and phenol by Iron-silicate Glass under visible light irradiation
(¹都立大院理, ²Eötvös Loránd Univ.) ○Irfan Khan¹, Kazuhiko Akiyama¹, Shiro Kubuki¹, Ernő Kuzmann², Zoltán Homonnay², Katalin Sinkó²
- 1K11* 水素化アルミニウムリチウム固体に注入された ⁵⁷Fe(\leftarrow ⁵⁷Mn)核のインビーム・メスバウアースペクトル
(¹東理大院理, ²電通大, ³ICU, ⁴阪大理, ⁵金沢大理, ⁶電機大, ⁷理研, ⁸放医研)
○佐藤祐貴子¹, 山田康洋¹, 小林義男², 久保謙哉³, 三原基嗣⁴, 佐藤渉⁵, 宮崎淳⁶, 長友傑⁷, 高濱矩子², 安藤貴俊², 染佳梨子², 佐藤方実², 佐藤眞二⁸, 北川敦志⁸
- 1K12 固体水素マトリックス中の Fe の化学状態
(¹電通大院, ²東理大理, ³ICU, ⁴阪大院理, ⁵金沢大院理, ⁶理研仁科セ, ⁷東大総文, ⁸QST)佐藤方実¹, ○小林義男¹, 山田康洋², 久保謙哉³, 三原基嗣⁴, 佐藤渉⁵, 長友傑⁶, 岡澤厚⁷, 喜地雅人¹, 濱野健太郎¹, 佐藤眞二⁸, 北川敦志⁸

.....15:00.....

休憩

.....15:20.....

【核化学】

座長:笠松良崇

- 1K13* アクチノイド核を標的としたアイソマー核分光
(¹九大理, ²原研 ASRC, ³QST, ⁴阪大 RCNP, ⁵KEK)○杉山晃一¹, 郷慎太郎¹, 富松太郎¹, 甲斐民人¹, 長江大輔¹, 石橋優一¹, 松永壮太郎¹, 永田優斗¹, 西畑洗希¹, 坂口聡志¹, 森田浩介¹, Riccardo Orlandi², 西尾勝久², 牧井宏之², 廣瀬健太郎², 伊藤由太², 洲崎ふみ², 佐藤哲也², 塚田和明², 浅井雅人², 静間俊行³, 井手口栄治⁴, Tung Thanh Pham⁴, 庭瀬暁隆⁵

1K14* MRTOFと α -TOF検出器による、 α 崩壊に 관련된精密質量測定法の開拓
(¹高工研, ²理研仁科セ, ³九大理, ⁴香港大, ⁵IBS, ⁶IMP, ⁷中国科学院, ⁸蘭州大, ⁹阪大理, ¹⁰山形大, ¹¹原子力機構, ¹²九大超重元素セ, ¹³ANU, ¹⁴NMSU, ¹⁵暨南大)
○庭瀬暁隆^{1,2,3}, 和田道治¹, P. Schury¹, P. Brionnet², S. D. Chen⁴, 橋本尚志⁵,
羽場宏光², 平山賀一¹, D. S. Hou^{6,7,8}, 飯村俊^{9,2,1}, 石山博恒², 石澤倫^{10,2}, 伊藤由太¹¹,
加治大哉², 木村創大², J. Liu⁴, 宮武宇也¹, J. Y. Moon⁵, 森本幸司², 森田浩介^{3,2,12},
長江大輔^{12,3}, M. Rosenbusch¹, 高峰愛子², 田中泰貴¹³, 渡辺裕¹, H. Wollnik¹⁴, W. Xian⁴,
S. X. Yan¹⁵

1K15* 超重元素イオンビーム生成に向けたEBGP(Electron Beam Generated Plasma)イオン源の開発
(¹茨城大院理工, ²原子力機構先端研, ³茨城大理, ⁴徳島大院保健)○青木涼太^{1,2},
佐藤哲也^{1,2}, 大谷怜^{2,4}, 内馬場優太^{2,3}, 伊藤由太², 浅井雅人², 塚田和明²,
永目諭一郎²

1K16* 106番元素シーボーギウムの揮発性研究に向けた6族元素オキシ塩化物の等温ガスクロマトグラフ挙動
(¹徳島大院保健, ²原子力機構先端研, ³茨城大院理工, ⁴茨城大理, ⁵徳島大院医歯薬)
○大谷怜^{1,2}, 佐藤哲也^{2,3}, 青木涼太^{2,3}, 浅井雅人², 塚田和明², 伊藤由太²,
内馬場優太^{2,4}, 阪間稔⁵, 永目諭一郎²

.....16:40.....

休憩

.....17:00.....

【ポスター発表】

1P01* フッ化水素酸系におけるNb,TaのTOMA担持樹脂に対する吸着挙動
(新潟大院自然)○角田弘貴, 後藤真一

1P02* Atが形成するハロゲン結合の解離エネルギー測定に向けたAtIの生成条件と揮発性の分析
(¹阪大院理, ²阪大放射線機構, ³理研仁科セ, ⁴大阪青山大学)○床井健運¹,
豊嶋厚史², 大江一弘², 角永悠一郎², 寺本高啓², 中川創太¹, 吉村崇², 笠松良崇¹,
羽場宏光³, 王洋³, 篠原厚^{2,4}

1P03* ノーベリウムの化学研究に向けたCa, Sr, Ba, Raのクラウンエーテルによる固液抽出
(¹阪大院理, ²京大複合研, ³阪大放射線機構, ⁴大阪青山大)○渡邊瑛介¹, 笠松良崇¹,
中西諒平¹, 大高咲希¹, 高宮幸一², 篠原厚^{3,4}

1P04 トリウム標的へのLiイオン照射によって生じる²³⁶UのICP-MSによる定量
(¹金沢大院自然, ²筑波大数理, ³理研仁科セ, ⁴金沢大理工)○永井歩夢¹, 寺西翔¹,
坂口綾², 中島朗久², 羽場宏光³, 横北卓也³, 南部明弘³, 横山明彦⁴

1P05 月間降水中トリチウム濃度の全国調査
(日本分析センター)○飯田素代, 大槻孝之, 吉田森香, 新田濟, 岸本武士, 磯貝啓介

1P06 Extractability of Pu from agricultural soils and its indication of bioavailability
(¹QST, ²Inst. Nucl. Phys. Chem., China, ³Peking Univ.)○Youyi Ni^{1,2}, Jian Zheng¹,
Qiuju Guo³, Zhaya Huang², Keiko Tagami¹, Shigeo Uchida¹

1P07 Ge半導体検出器における^{110m}Agのサム効果補正の検討について
(日本分析センター)○鈴木颯一郎, 鈴木勝行, 宮田賢, 新田濟, 太田裕二

- 1P08 種々の走行モニタリングシステムによる比較測定
(日本分析センター)○大槻孝之, 杉山翠, 田中博幸, 太田裕二, 磯貝啓介
- 1P09* 負ミュオンによる非破壊イメージングに向けた 2mm 厚 CdTe 半導体二次元検出器の開発
(¹ 阪大 IRS, ² Kavli IPMU, ³ 東大理, ⁴ JAXA) ○邱奕寰¹, 二宮和彦¹, 武田伸一郎², 桂川美穂², 南喬博^{3,2}, 長澤俊作^{3,2}, 高橋忠幸², 渡辺伸⁴
- 1P10 Self-Assembly of Nanosheet Supported Fe-MOFs Heterocrystal as Reusable Catalyst for Boosting Advanced Oxidation Performance via Radical and Nonradical Pathways
(¹ 都立大院理, ² Dalian Institute of Chem. Phys., ³ Sheffield Hallam Univ.) ○Bofan Zhang¹, Kazuhiko Akiyama¹, Shiro Kubuki¹, Liang Zhang², Paul A. Bingham³
- 1P11* シッフ塩基を有するウラニル(VI)三核錯体の合成と酸化還元
(¹ 阪大院理, ² 阪大放射線機構 RI セ) ○福村希翔¹, 永田光知郎², 吉村崇²
- 1P12 V-48トレーサーを用いた VRFB 用イオン交換膜透過試験(2)
(東北大金研) ○白崎謙次
- 1P13 単一微粒子質量分析計を用いたアルファ微粒子即時検知法の検討
(¹ 阪大放射線機構, ² 阪大リノ, ³ 阪大院理, ⁴ 京大複合研, ⁵ 阪大院工, ⁶ 大阪青山大)
○豊嶋厚史¹, 古谷浩志^{2,3}, 寺本高啓¹, 永田光知郎¹, 床井健運³, 高宮幸一⁴, 牟田浩明⁵, 吉村崇¹, 豊田岐聡³, 篠原厚^{1,6}

.....18:00.....

【アルファ・環境放射能分科会】

.....19:00.....

第2日:9月23日(木)

.....9:00.....

発表準備

.....9:15.....

【特別講演】

座長:大浦泰嗣

- 2S01 電子と原子核の相互作用に関連する3つの理論的研究
(広島大院先進理工, 都立大院理)○阿部穰里

.....10:15.....

休憩

.....10:30.....

【放射化分析(1)】

座長:高宮幸一

- 2K01 中性子放射化分析法による赤城大沼湖水中の安定 Cs 及び微量元素の定量
(¹都市大原研, ²群水試)○岡田往子¹, 熊谷尚人¹, 渡辺峻², 鈴木究真²

- 2K02 k₀-IAEA ソフトウェアを用いた k₀ 標準化中性子放射化分析-評価と応用-
(都立大院理)○杉崎史都, 大浦泰嗣

- 2K03 JRR-3 即発ガンマ線分装置(PGA)の現状
(原子力機構)○大澤崇人, 佐々木未来, 松江秀明

- 2K04 JRR-3 即発ガンマ線分析装置を用いた軽元素分析
(¹産総研物質計測, ²原子力機構, ³東大工)○三浦勉¹, 松江秀明², 大澤崇人²,
神野智史³

.....11:50.....

【原子核プローブ分科会】【昼食】

.....13:00.....

【会員総会】

.....14:00.....

【受賞講演】

座長:三浦 勉

- 2S02 中性子放射化分析法の高度化と宇宙地球化学研究への応用
(早稲田大教)○海老原充

.....15:00.....

休憩

.....15:20.....

.....15:20.....

【環境放射能(3)】

座長:坂口綾

- 2K05** 塩素の土壌-土壌溶液間分配係数について
(¹量研機構, ²原子力発電環境整備機構)○田上恵子¹, 澁谷早苗², 浜本貴史², 石田圭輔², 内田滋夫¹
- 2K06*** EXAFS による Ra の水和状態と粘土鉱物への吸着状態の解明
(¹JAEA, ²東大, ³阪大)○山口瑛子^{1,2}, 永田光知郎³, 田中万也¹, 小林恵太¹, 奥村雅彦¹, 小林徹¹, 下条晃司郎¹, 谷田肇¹, 関口哲弘¹, 金田結依¹, 松田晶平¹, 横山啓一¹, 矢板毅¹, 吉村崇³, 高橋嘉夫²
- 2K07** ケイ酸バリウム(BaSi₂O₅)を主成分とする Sr 吸着剤への Ba の吸脱着特性
(¹愛知医大, ²大阪産業大, ³日立製作所, ⁴京大複合研, ⁵慈恵医大アイソトープ)
○小島貞男¹, 緒方良至^{1,2}, 加藤結花³, 高宮幸一⁴, 箕輪はるか⁵
- 2K08** ケイ酸バリウム(BaSi₂O₅)を主成分とする Sr 吸着剤を用いた ⁹⁰Sr の測定 一子核種 ⁹⁰Y のチェレンコフ測定—
(¹大阪産業大, ²愛知医大, ³慈恵医大アイソトープ, ⁴日立製作所)○緒方良至^{1,2}, 小島貞男², 箕輪はるか³, 加藤結花⁴

.....16:40.....

休憩

.....17:00.....

【ポスター発表】

- 2P01*** 低エネルギー励起核種 U-235m のハロゲン化物の半減期変化
(¹阪大院理, ²理研, ³阪大放射線機構, ⁴大阪青山大学)○澤村慶¹, 笠松良崇¹, 重河優大², 篠原厚^{3,4}
- 2P02*** 第一原理分子動力学計算によるノーベリウムの水和構造の理論研究
(¹阪大院理, ²理研 R-CCS, ³阪大放射線機構, ⁴大阪青山大)○渡邊瑛介¹, 笠松良崇¹, 中西諒平¹, 大高咲希¹, 中嶋隆人², 篠原厚^{3,4}
- 2P03*** Rf の共沈実験に向けた Zr, Hf, Th, Eu のシュウ酸, マロン酸沈殿実験
(¹阪大院理, ²阪大放射線機構, ³大阪青山大学)○中西諒平¹, 笠松良崇¹, 渡邊瑛介¹, 大高咲希¹, 篠原厚^{2,3}
- 2P04*** 福島事故で放出された放射性粒子の性状解析と微量放射性核種の分析
(¹阪大院理, ²阪大放射線機構, ³大阪青山大, ⁴慈恵医大)○村上貴士¹, 二宮和彦², 五十嵐淳哉¹, 吉村崇², 篠原厚^{2,3}, 箕輪はるか⁴, 吉川英樹⁴
- 2P05** 大容量エアサンプラ(Snow White)を用いた大気浮遊じん中ヨウ素 129 濃度の経年変化
(日本分析センター)○須藤百香, 王暁水, 飯田素代, 日比野有希, 宮田賢, 岡山杏菜, 太田智子, 太田裕二, 磯貝啓介
- 2P06*** 海水中 I-129 の ICP-MS 分析に向けた固相抽出法の開発:銀イオン担持樹脂への I 吸着における干渉元素および共存陰イオンの影響
(日本原子力研究開発機構)○青木讓, 松枝誠, 小荒井一真, 寺島元基

- 2P07 放射能測定法シリーズ No.7「ゲルマニウム半導体検出器による γ 線スペクトロメトリー」の改訂
(日本分析センター)○宮田賢, 鈴木勝行, 太田裕二
- 2P08 環境放射線モニタリングにおける精度管理
(日本分析センター)○太田博
- 2P09 Fe をドーピングした酸化インジウムにおける希薄磁性観測の試み
(¹金大院自然, ²金大院自然, ³金大理工)○内野葉月¹, 伊東泰祐², 佐藤渉³
- 2P10 核医学用アスタチン抽出に利用できるイオン液体の研究
(¹金沢大院自然, ²量研東海, ³福島医大先端セ, ⁴理研仁科セ, ⁵金沢大理工)
○永井雄太¹, 青井景都¹, 丸山俊平¹, 西中一朗², 鷲山幸信³, 羽場宏光⁴, 横山明彦⁵
- 2P11* 放射性廃棄物に含まれる Zr-93 の定量分析手法の開発 —抽出クロマトグラフィーレジンを
を用いた Zr の吸着分離法の検討—
(JAEA)○森井志織, 蓬田匠, 大内和希, 北辻章浩
- 2P12* 顕微ラマン分光法と顕微 X 線分光法によるウラン微粒子の化学状態分析
(¹JAEA, ²東大院理)○蓬田匠^{1,2}, 北辻章浩¹, 高橋嘉夫², 宮本ユタカ¹
- 2P13 Rapid measurement for U, Np, and Pu using ICP-MS/MS in fecal samples for timely
decision-making in radiation emergency therapy
(QST)○Guosheng Yang, Eunjoo Kim, Jian Zheng, Menehiko Kowatari, Osamu Kurihara

.....18:00.....

【若手の会】

.....19:00.....

第3日:9月24日(金)

.....9:00.....

発表準備

.....9:15.....

【放射化分析(2)】

座長:白井直樹

- 3K01*** 家庭ごみ焼却スラグ中に含まれる有価金属成分の分離
(¹都立大院理, ²都立大理, ³東北大 ELPH)○齋藤涼太¹, 秋山和彦¹, 土田竜貴², 諏訪智也¹, Kahn Irfan¹, 菊永英寿³, 久富木志郎¹
- 3K02** Instrumental photon activation analysis using single comparator method at different accelerators
(都立大院理)○MD. Sultanur Reza, 大浦泰嗣
- 3K03*** J-PARC におけるミュオン特性 X 線による元素分析の微量試料適用に向けた装置開発
(阪大 IRS¹, 阪大院理², 理研³, Kavli IPMU⁴, ICU⁵, 東大理⁶, KEK⁷, 東京藝大⁸, 東北大理⁹, 中部大¹⁰, JAEA¹¹, 大阪青山大¹², 京大複合研¹³, 豊田中研¹⁴, JAXA¹⁵)
○邱奕寰¹, 二宮和彦¹, 東俊行³, 梶野芽都², 桂川美穂⁴, 久保謙哉⁵, 南喬博^{6,4}, 三宅康博⁷, 水本和美⁸, 長澤俊作^{6,4}, 中村智樹⁹, 岡田信二¹⁰, 大澤崇人¹¹, 下村浩一郎⁷, 篠原厚^{1,2,12}, 高橋忠幸⁴, 武田伸一郎⁴, 竹下聡史⁷, 反保元伸⁷, 谷口秋洋¹³, 寺田健太郎², 梅垣いづみ¹⁴, 和田大雅⁹, 渡辺伸¹⁵, 吉田剛⁷

.....10:15.....

休憩

.....10:30.....

【医薬・生物学における RI 利用】

座長:石岡典子

- 3K04** 乾式蒸留分離におけるアスタチンの熱分離特性
(¹量研東海, ²福島県立医科大学)○西中一郎¹, 鷲山幸信², 橋本和幸¹
- 3K05*** エアロゾルを用いた At-211 乾式分離技術の開発
(¹東芝エネルギーシステムズ, ²原子力機構先端研, ³阪大 RCNP, ⁴阪大放射線機構, ⁵大阪青山大)○湯原勝¹, 宮本真哉¹, 和田怜志¹, 中居勇樹¹, 大森孝¹, 塚田和明², 浅井雅人², 福田光宏³, 豊嶋厚史⁴, 篠原厚^{4,5}
- 3K06*** 電解酸化反応を用いた分子標的薬への ²¹¹At 標識化法の開発
(¹阪大院理, ²阪大放射線機構, ³阪大院医, ⁴阪大 RI セ, ⁵理研仁科セ, ⁶大阪青山大)
○中川創太¹, 豊嶋厚史², 角永悠一郎², 大江一弘^{2,3}, 寺本高啓², 床井健運¹, 神田晃充⁴, 吉村崇^{2,4}, 永田光知郎^{2,4}, 笠松良崇¹, 羽場宏光⁵, 王洋⁵, 篠原厚^{2,6}
- 3K07*** 新規アルファ線ブラキセラピー開発に向けた At-211 標識金ナノ粒子の合成と機能評価
(¹阪大院理, ²阪大院医, ³阪大放科, ⁴理研仁科, ⁵大阪青山大)○黄栩昊¹, 加藤弘樹², 角永悠一郎³, 下山敦史¹, 樺山一哉¹, 片山大輔², 大江一弘², 豊嶋厚史³, 羽場宏光⁴, 王洋⁴, 篠原厚^{3,5}, 深瀬浩一^{1,3}

.....11:50.....

.....11:50.....

【放射化分析分科会】【昼食】

.....13:00.....

【その他分野(1)】

座長:豊嶋厚史

- 3K08*** プロメチウムを含む二金属内包フラーレンの安定性
(¹都立大院理, ²東北大電子光セ)○諏訪智也¹, 秋山和彦¹, 菊永英寿², 久富木志郎¹
- 3K09** Dissolution Method of Substances containing UO₂-ZrO₂ by Thermochemical Conversion for Actinide Analysis
(¹長岡技術科学大, ²東北大)○MA Zhuoran¹, 本間佳哉², 小無健司², 鈴木克弥², 鈴木達也¹
- 3K10** MC-ICP-MS 用いた極微量ウラン・プルトニウム同位体比測定における分子イオンによる妨害の定評的評価
(原子力機構)○富田純平, 富田涼平, 鈴木大輔, 安田健一郎, 宮本ユタカ
- 3K11*** 高水素化物生成比を示すウラン粒子の全損分析と同位体比変化
(原子力機構)○富田涼平, 蓬田匠, 富田純平, 鈴木大輔, 安田健一郎, 江坂文孝, 宮本ユタカ

.....14:20.....

休憩

.....14:35.....

【その他分野(2)】

座長:浅井雅人

- 3K12** 放射線発生装置廃止のための放射化測定評価マニュアル
(高エネ研)○松村宏, 榎本和義, 吉田剛, 豊田晃弘, 中村一, 三浦太一
- 3K13** 可搬型 γ 線イメージング装置 GeGI5 による加速器放射化評価の可能性
(¹KEK, ²筑波大)○吉田剛¹, 松村宏¹, 中村一¹, 豊田晃弘¹, 三浦太一¹, 榎本和義¹, 笹公和², 森口哲朗², 松村万寿美²
- 3K14** スペクトル定量法の液体シンチレーションスペクトルへの適用性
(¹日本分析センター, ²新潟大, ³原子力機構, ⁴国際廃炉機構)○大島真澄¹, 後藤淳², 篠原宏文¹, 瀬戸博文¹, 伴場滋¹, 古瀬貴広^{3,4}

.....15:35.....

休憩

.....15:50.....

.....15:50.....

【ポスター発表】

- 3P01** アスタチン化合物の分光・可視化にむけた新規手法の提案
(¹ 阪大放射線機構, ² 阪大医, ³ 理研仁科セ) ○寺本高啓¹, 大江一弘², 王洋³,
羽場宏光³, 豊嶋厚史¹
- 3P02** Mn-52 の製造と半減期測定
(¹ 東北大 ELPH, ² 東北大金研, ³ 東北大 CYRIC) ○菊永英寿¹, 白崎謙次², 池田隼人^{1,3}
- 3P03** Th-229m の壊変特性の解明に向けた高周波イオン収集・質量分離装置の開発
(¹ 理研仁科セ, ² 阪大院理, ³ 理研香取研, ⁴ JST さきがけ, ⁵ KEK 和光原子核科学セ)
○重河優大¹, 床井健運², 山口敦史^{3,4}, Wang Yang¹, Yin Xiaojie¹, 南部明弘¹, 佐藤望¹,
和田道治⁵, 羽場宏光¹
- 3P04** 北海道道東海域における ¹³⁴Cs の空間分布と経年変動 (2018-2021)
(¹ 金沢大, ² 水産機構・資源研) ○真下海成¹, 竹原亮成¹, 井上睦夫¹, 亀山紘旭¹,
谷内由貴子², 黒田寛², 梶山秀樹², 三木志津帆², 長尾誠也¹
- 3P05** ²²⁸Th/²²⁸Ra 放射能比の空間分布からみた日本海の粒子吸着性成分の挙動
(¹ 金沢大, ² 海洋財団, ³ 水産研究・教育機構) ○亀山紘旭¹, 井上睦夫¹, 諸角季生¹,
城谷勇陸¹, 花木祥太郎¹, 古澤佑一¹, 小藤久毅², 森田貴己³, 三木志津帆³, 長尾誠也
- 3P06** DGA resin を用いた Y 分離による骨中 ⁹⁰Sr 分析方法の開発
(¹ 原子力機構, ² 福島大) ○小荒井一真¹, 松枝誠^{1,2}, 青木譲^{1,2}, 藤原健壯¹, 寺島元基¹
- 3P07** モニタリングポストの in-situ 校正による空間放射線量率測定の商品保証
(日本分析センター) ○杉山翠, 石川清正, 田中博幸, 新田済, 岸本武士
- 3P08** 海域モニタリングの質の保証
(日本分析センター) ○佐野友一, 佐久間亜美, 太田智子
- 3P09** ¹¹¹Cd(←^{111m}Cd) 及び ¹¹¹Cd(←¹¹¹In) プローブを用いた摂動角相関法による Cd_xFe_{3-x}O₄ 中の超微細場測定
(¹ 金沢大自然, ² 金沢大理工, ³ 金沢大自然, ⁴ 京大複合研, ⁵ 金沢大理工) ○藤井光樹¹,
小中將彰², 伊東泰佑³, 大久保嘉高⁴, 佐藤渉⁵
- 3P10** 加速器中性子によるがん治療用 Sc-47 の製造に関する研究
(¹ 原子力機構, ² 量研機構, ³ 千代田テクノ) ○塚田和明^{1,2}, 橋本和幸², 橋本慎太郎¹,
浅井雅人¹, 初川雄一², 佐伯秀也^{2,3}, 川端方子^{2,3}, 太田朗生^{2,3}, 本村新^{2,3}
- 3P11** HPLC 分析によるランタノイド内包フラーレン(Ln³⁺@C82³⁻)の電子状態に関する研究
(¹ 都立大院理, ² 理研仁科セ, ³ 京大複合研) ○西村峻¹, 雨倉啓¹, 秋山和彦^{1,2},
羽場宏光², 高宮幸一³, 久富木志郎¹
- 3P12** 質量分析法を用いた岩石中 ²³⁴U/²³⁸U 放射能比の高精度迅速測定法の確立
(関西学院大院理工) ○栗林千佳, 谷水雅治

.....16:50.....

【閉会式・若手優秀賞発表】

.....17:10.....

一般講演

9月22日（水）

1K01-1K16

1K01

FD1NPP 事故直後に東日本で採取された大気浮遊物質 (SPM) 中の¹²⁹I 濃度と ¹²⁹I/¹³⁷Cs 放射能比の時系列変化

(早大教育¹、都立大理²、RESTEC³、東大工⁴、国環研⁵)○海老原充¹、白井直樹²、大浦泰嗣²、鶴田治雄³、松崎浩之⁴、森口祐一⁵

【緒言】 2011年に発生した東北地方太平洋沖地震から10年が経過した。地震による被害に加えて、地震で誘起された津波による被害が災害規模を大きくした。特に、津波によって誘発された東京電力福島第一原子力発電所 (FD1NPP) 事故は、これまでの地震災害の中でも未曾有の結果をもたらした。破損した3基の原子炉から放出された放射性物質は環境中に拡散し、いまなお多くの人々に影響を与えている。本研究は環境中にエアロゾルとして拡散した¹²⁹Iの事故直後の挙動を、同時期に採取された大気浮遊物質 (SPM) を組織的に分析することによって明らかにすることを目的とした。あわせて、同じ²³⁵Uの核分裂片である¹³⁷Csとの放射能比の時系列変化も求めた。

【実験】 2011年3月12日から約2週間の間に東日本の41箇所のSPMステーションで1時間ごとに採取された計920試料について、¹²⁹I濃度を求めた。41箇所の内訳は福島県17、宮城県1、首都圏 (茨城県、千葉県、埼玉県、東京都、神奈川県) 23、分析SPM試料数は順番に752、26、142で、福島県で採取された試料に対して重点的に分析を行った。SPM粒子は1時間 (1 m³相当) ごとにガラス繊維 (GF)、あるいはフッ素系樹脂 (PTFE) フィルター上に11 mm φあるいは19 mm φの円形に捕集され、そのうちの1部 (多くの場合1/4か1/6) を分析に用いた。SPM試料中のヨウ素の化学分離操作はハロゲン3元素の放射化学的中性子放射化分析法の手法 (Ebihara et al., 1997) を改変して適用した。¹²⁹Iの分離前に一定量の¹²⁷Iを担体として加え、アルカリ溶融によって¹²⁷I/¹²⁹Iの同位体平衡を成立させた。最終的にヨウ素をヨウ化銀として回収し、加速器質量分析法によって¹²⁷I/¹²⁹I比を求め、¹²⁹Iの体積放射能濃度 (Bq/m³) を計算した。同一SPM試料については¹³⁷Cs濃度も測定済みであり (Oura et al. 2015; Tsuruta et al., 2018)、¹²⁹I濃度に加えて、¹²⁹I/¹³⁷Cs放射能比 (Bq/Bq) も併せて求めた。

【結果と考察】 2種類のフィルターで捕集されたSPMの¹²⁹I濃度に系統的な差があることがわかり、考察にはGFで捕集した808個のSPM試料の分析データを用いた。データの信頼性を精査した結果、500のデータは議論に使えるものと判断された。福島県内のSPMステーションのうち、双葉、楡葉、原町、二本松の4箇所での¹²⁹I濃度、および¹²⁹I/¹³⁷Cs放射能比の経時変化を詳細に調べた。双葉では3月12日の朝に低濃度の、ベント後に高濃度の¹²⁹I、¹³⁷Csが測定された。事故から数日間の双葉での¹²⁹I/¹³⁷Cs比はそれ以降の値に比べて系統的に高かったことが明らかになった。関東地方に流れ込んだ4つの放射性プルームの特徴についても考察した。大気浮遊粒子状物質 (APM や SPM) 中の¹²⁹I濃度から事故当時の¹³¹I濃度が推定できる (Ebihara et al., 2018) ことから、本研究のデータはFD1NPP事故による放射性物質の拡散モデルの評価やその影響評価に寄与するものと期待される。

【引用文献】 Ebihara et al. JRNC 216, 107 (1997); Ebihara et al. JER 208-209, 106000 (2019); Oura et al. JNRS 15, 15 (2015); Tsuruta et al. GJ 52, 103 (2018).

Time-series variations of ¹²⁹I activity concentrations and ¹²⁹I/¹³⁷Cs activity ratios for SPM samples collected in eastern Japan just after the FD1NPP accident
EBIHARA, M., SHIRAI, N., OURA, Y., TSURURA, H., MATSUZAKI, H., MORIGUCHI, Y.

【緒言】福島県の海岸は、2011年3月11日の福島第一原子力発電所事故後に汚染水が南下したことがシミュレーションの結果から明らかになっている。そのため、事故初期には海底堆積物とともに、海岸砂への放射性核種の吸着等の影響を考慮する必要がある。我々のグループでは、海岸の地下1m程度に存在する地下水と海岸砂に高濃度の放射性セシウムが存在することを報告している (Sanial et al., 2017; Nagao et al., 2020)。また、日本放射化学会第63回討論会では、2018年に採取した海岸砂の鉛直分布の結果を報告した。今回は同じ測点で2019年に採取した砂の測定結果と比較するとともに、海岸の微視地形をドローンで計測し、標高を基にした地下水の存在深度と放射性セシウム濃度との関係を考察した。

【方法】福島第一原子力発電所から約40km南に位置する福島県四倉海岸で2019年7月9-10日に海岸砂を鉛直的に採取した(図1)。スコップで地下水が染み出す深さまで掘った後に、内径5cm、長さ30cmあるいは60cmのステンレス製パイプを圧密しないように砂に押し込み、パイプを回収後に5cm間隔で砂試料を採取した。実験室では、40°Cに設定した乾燥機で砂試料を乾燥した後に容器に詰め、Ge半導体検出器で1-3日間、¹³⁴Csと¹³⁷Cs放射能濃度を計測した。ドローンにより海岸の微地形を計測・解析した。

【結果と議論】図2は四倉海岸海岸砂の¹³⁷Cs放射能濃度の鉛直分布を示した。深さ0cmは海岸砂の表面を基準とした。沿岸に最も近い測点34では¹³⁷Cs放射能濃度が低く、14.5-22.9 Bq/kg 乾燥重量(以後、Bq/kgで表示)であった。しかし、陸側に近い測点30では¹³⁷Cs放射能濃度が1962Bq/kg、測点8で1912Bq/kg、測点35では595Bq/kgと比較的高い値を示した。また、測点11では5745Bq/kgと高い放射能濃度であり、狭い海岸内で砂の¹³⁷Cs放射能濃度に水平的な分布特性が存在した。そこで、ドローンにより計測した海岸微地形を標高に換算して測点30・測点8・測点31・測点11・測点33の側線で図2の鉛直分布を検討した。その結果、¹³⁷Cs放射能濃度の最大値の標高は、測点31で186cm、測点33では166cmとほぼ同じであった。一方、¹³⁷Cs放射能濃度が約2倍高い測点11は、最大放射能濃度を示す標高が241cmと異なっていた。この結果は、滞水層の違いが¹³⁷Cs放射能濃度の違いに反映されたと考えられる。

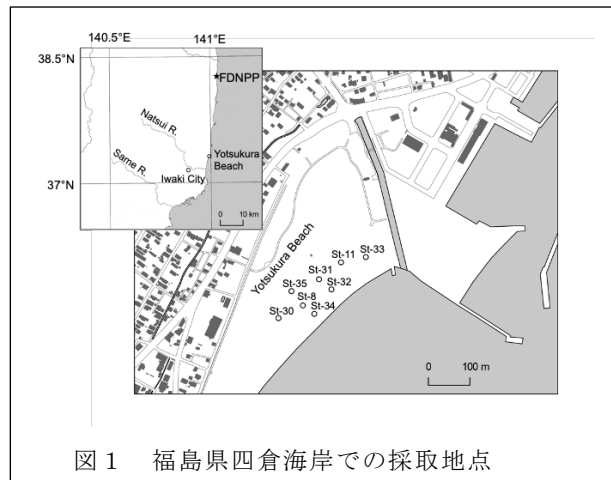


図1 福島県四倉海岸での採取地点

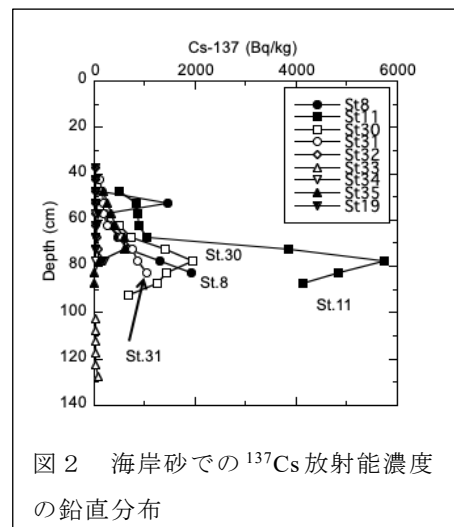


図2 海岸砂での¹³⁷Cs放射能濃度の鉛直分布

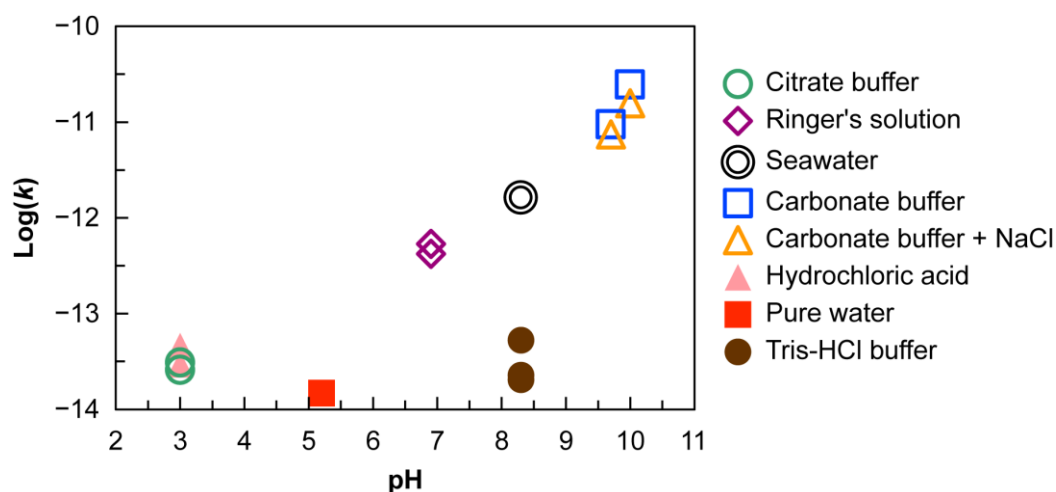
福島原発事故で飛散した放射性ガラス微粒子 (CsMP) の溶解特性 (東大院理¹、農研機構²)○奥村大河¹、山口紀子²、三河内岳¹、小暮敏博¹

【緒言】 福島原発事故により、損傷した原子炉内部で放射性セシウムを高濃度で含む数ミクロンの微粒子が形成され、東日本の広範囲に飛散した。この微粒子は CsMP (radiocesium-bearing microparticle) と呼ばれ、球形で特殊な組成を持つ珪酸塩ガラスで構成される。我々は環境中から CsMP を採集して溶解実験を実施し、CsMP が海水中では純水中よりもはるかに速く溶解することを明らかにした (Okumura *et al.*, 2019)。CsMP の環境動態解明のためには様々な条件での溶解特性を明らかにする必要があるが、CsMP を採集するのが非常に煩雑で時間のかかる作業であることが課題であった。

最近我々は CsMP の酸性溶液中での溶解速度が非常に遅いことを見出し、汚染された農業資材 (不織布) を酸処理することで、そこに付着した CsMP 以外の物質 (鉍物等) に吸着した放射性セシウムをほぼ除去することができた (Okumura *et al.*, 2020)。本研究ではこの酸処理した不織布を用いて溶解実験を行い、CsMP を分離・採集することなく様々な溶液中での溶解特性を調べた。

【実験】 まず、不織布を 90°C の 0.1 M 塩酸に 24 時間浸漬した。次にこの不織布を 60°C の様々な溶液に浸漬し、溶出した放射性セシウム濃度を一定時間毎にゲルマニウム半導体検出器によって測定することで CsMP の溶解速度を推定した。

【結果】 求めた CsMP の溶解速度を下図に示す。横軸は浸漬した溶液の pH、縦軸は溶解速度 (半径減少速度) k (m/s) の常用対数である。なお溶解速度 k は CsMP が完全な球形であると仮定し、放射能減少量を CsMP の半径減少量に換算して算出した。図のように溶液中に Na^+ を含まない場合 (塩酸, 純水, Tris-HCl バッファー)、pH が変わっても溶解速度はほとんど変化しなかった。一方、溶液中に Na^+ が含まれる場合は pH が高いほど溶解が速くなることがわかった。こうした溶解挙動はシリカガラスと類似しており、高い pH とともに Na^+ のようなアルカリイオンの触媒効果によって、CsMP を構成する珪酸塩ガラスの溶解が促進されると考えられる。



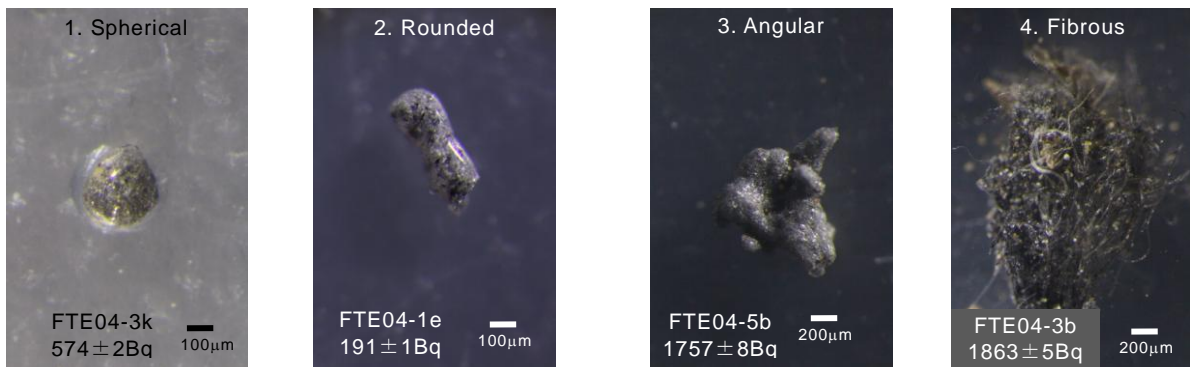
Dissolution properties of radiocesium-bearing microparticles (CsMPs) released by the Fukushima nuclear accident

OKUMURA T., YAMAGUCHI, N., MIKOUCHI, T., KOGURE, T.

【緒言】 東京電力福島第一原子力発電所（福島第一原発）の事故で環境中に放出された放射性物質の存在形態のひとつとして、ケイ酸ガラスを主成分とする、水に不溶性の放射性粒子の存在が報告されている（Adachi et al., 2013; Satou et al., 2016 ほか）。この放射性粒子は原子炉内で形成後、環境中でほとんど変化せず、形成時の組成や形態が保持されていると考えられる。これらの放射性粒子は、形状および大きさ、 $^{134}\text{Cs}/^{137}\text{Cs}$ 比、比放射能の特徴により、Type A [球状、粒径 1-10 μm 程度、 $^{134}\text{Cs}/^{137}\text{Cs}$ 比 約 1.04、比放射能大]と Type B [不定形、数 10 μm 以上、 $^{134}\text{Cs}/^{137}\text{Cs}$ 比 約 0.94、比放射能小]に分類できる。 $^{134}\text{Cs}/^{137}\text{Cs}$ 比の値から、Type A 粒子は 2号機あるいは 3号機由来、Type B 粒子は 1号機由来と推定されている（小野ら、2017 ほか）。特に 1号機由来の Type B 粒子については、断熱材として使われるガラスウール（ロックウール）がケイ素の供給源であり、水素爆発によって形成されたと推定されている（佐藤、2019）。本研究では、福島第一原発のごく近傍で採取した試料から Type B 粒子を分離し、Ge 半導体測定装置で $^{134}\text{Cs}/^{137}\text{Cs}$ 比を測定するとともに、実体顕微鏡により形状を観察し、外見の特徴により分類した。また特徴的な繊維状の放射性粒子およびガラスウールの加熱実験を行い、生成プロセスを推定した。

【試料】 福島第一原発 3km 圏の北西方向における、空間線量の高い領域にて土壌・土埃等の環境試料を採取し、放射性粒子を取り出した。イメージングプレートを用いて放射性粒子の分布を可視化し、強放射性粒子を分離した。特に 1mm 以上の粒子は、 β (γ) GM サーベイメータ（TGS-146B, Hitachi Aloka）で確認し、顕微鏡下で取り出した。

【結果および考察】 放射性粒子の実体顕微鏡写真を示す。外見は白色～灰色～黒色が混合した透明あるいは半透明で、多くの粒子はガラス光沢を持ち、内部に泡構造が存在していた。2011.3.11 時点での $^{134}\text{Cs}/^{137}\text{Cs}$ 比は約 0.96 を示した。およそ 100 Bq (^{137}Cs 2011.3.11 時点) 以上の放射能を持つ約 40 個の粒子について、写真に示すように以下の 4 種類に分類した；1. 球状 (Spherical), 2. 丸みを帯びた不定形の塊 (Rounded), 3. 角ばった不定形の塊 (Angular), 4. 繊維状 (Fibrous)。この形状分類 No.1 が最も高温に、No.4 が比較的低温にさらされたと考えられる。発表では環境から採取した放射性粒子の加熱実験結果を報告する予定である。

放射能は ^{137}Cs (2011.3.11 時点)

A study of the shape of radioactive particles derived from Fukushima Daiichi Reactor Unit 1 (Jikei Univ.) MINOWA H., YOSHIKAWA, H.

1K05

福島原発事故に由来する不溶性微粒子のレーザー加熱法による模擬生成実験

(京大複合研)○稲垣誠、関本俊、高宮幸一、沖雄一、大槻勤

【緒言】 福島第一原子力発電所の事故により環境中に放出された放射性物質の一つの形態として、放射性セシウム微粒子 (radiocesium-bearing microparticle; CsMP) と呼ばれる水に不溶な微粒子が知られている[1]。CsMP は一般的なエアロゾル粒子等とは異なり水に不溶であることから、放出時の形態を環境中で維持していると考えられる。したがって、CsMP の性状や生成過程を解明することで、事故時の炉内状況の解明につながると考えられる。CsMP は、含有する Cs-134 と Cs-137 の比に特徴付けられる、Type A・Type B の少なくとも2つの種類があることが知られている。このうち、Type A は福島原発2号機及び3号機に由来する、主に直径数 μm の球形の微粒子である。今回は、Type A の CsMP を実験室で模擬的に生成し、実際の CsMP と比較することでその生成過程の解明を目指した。

【実験】 模擬ガラス生成： 先行研究[2]で報告されている Type A-CsMP の組成を参考に、それを再現するガラスの生成を行った。59.7SiO₂-10.6Cs₂CO₃-9.8ZnO-8.7NaCl-6.9Fe₂O₃-3.0SnO₂-0.8K₂CO₃-0.7Rb₂CO₃ (wt%)の割合で混合した原料をアルミナるつぼに入れ、電気炉で1250 °C に加熱しガラスを生成した。生成過程には直接影響しないと考えられるため、今回は非放射性の Cs を用いた。

模擬微粒子生成： 模擬ガラスを大強度の赤外線レーザーで加熱することで、模擬微粒子の生成を行った。模擬ガラスが入ったるつぼをチャンバー内に置き、そこに上面からレーザーを照射し、加熱されて発生した微粒子を含むフェームをインパクターで吸引して捕集した。用いたレーザーは、出力 300 W、波長 1080 nm のファイバーレーザーである。模擬微粒子生成時の様子を図1に示す。捕集した微粒子を、走査型電子顕微鏡/エネルギー分散形 X 線分光器 (SEM/EDS) にて分析した。

【結果・考察】 捕集した微粒子の SEM 像を図2に示す。実際の Type A-CsMP に類似した、直径数 μm の球形の微粒子の生成に成功した。また EDS による元素分析により、模擬微粒子は模擬ガラスと同様の組成であることが確認された。Type A-CsMP の生成過程の一つの仮説として、原料となる SiO₂ を多く含む物体が高温の熔融燃料に接触することで急熱されてフェームが発生し、CsMP が生成したという過程が考えられる。また、原料として珪藻土と海水の混合物や玄武岩なども検討したので、詳細は講演にて報告する。

[1] K. Adachi *et al.*, *Sci. Rep.* **3**, 2554 (2013).

[2] T. Okumura *et al.*, *Sci. Rep.* **10**, 1352 (2020).

Laser generation of radiocesium-bearing microparticles derived from the Fukushima nuclear accident
INAGAKI, M., SEKIMOTO, S., TAKAMIYA, K., OKI, Y., OHTSUKI, T.



図1. レーザー照射により微粒子を含むフェームが発生する様子

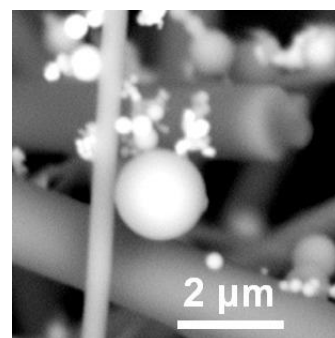


図2. 生成した微粒子の SEM 像 (繊維状のものは捕集用フィルターの一部)

【緒言】福島県の対策地域内では、現在（2021年6月末）も、東日本大震災により発生した災害廃棄物の処理が行われている。また、災害廃棄物の減容化処理により発生する焼却灰から放射性 Cs が検出されている。放射性 Cs を含む焼却灰は、安定化処理が義務付けられている。しかし、従来法であるセメント固化法では放射性 Cs の約 20 %が溶出するという報告がある^[1]。本研究では、都市ごみ焼却飛灰の安定化処理法として、赤玉土を使用した都市ごみ焼却飛灰・土壌混合ジオポリマー固化（GS）法を検討した。本発表では、都市ごみ焼却飛灰・土壌混合 GS 法による放射性 Cs の溶出抑制能力および GS 体の耐久性について報告する。

【実験】福島県の一般廃棄物処分場で採取された都市ごみ焼却飛灰と赤玉土（あかぎ園芸）を 1:1 で混合した試料に、33wt% NaOH 水溶液を固液比 1:0.5 で添加した。その後、乾燥機を用いて、105 °C、24 時間で養生することで土壌混合 GS 体とした。溶出試験として、環境省告示第 13 号（環告 13 号）試験およびタンクリーチング試験を行った。一軸圧縮強度試験は、卓上型引張圧縮試験機（A&D, MCT-1150）により測定した。紫外線劣化試験は UV 照射装置（ORG, QRU-2161-D90-02, 800 W）を用い、紫外線を 24 時間照射した GS 体に対して溶出試験を行った。溶出液と残渣は、ポリスチレン製ねじ口 U 式容器 U-8 に充填し、高純度 Ge 半導体検出器で 8 時間以上 γ 線測定することで ¹³⁷Cs の放射能を算出した。各溶出液と残渣の測定結果より、溶出率を算出した。

【結果と考察】環告 13 号試験において、未処理の都市ごみ焼却飛灰では 73.4 %の ¹³⁷Cs が溶出したが、土壌混合 GS 体とすることで溶出率を約 1 %まで抑えることができた（図 1）。長期含浸試験であるタンクリーチング試験においても、高い溶出抑制効果が確認され、固化体は長期的な水との接触状態でも安定であることが確認された。一軸圧縮強度試験の結果、GS 体は約 0.68 MPa であった。埋め立てには、0.98 MPa の強度が必要であり強度向上のための更なる検討が必要である。作製した固化体に 24 時間の紫外線照射を行い、環告 13 号試験を実施した結果、¹³⁷Cs の溶出量が 1.3 %に上昇した。また、若干の強度低下も確認された。この他、酸性条件下における耐久性の結果と、詳細な紫外線照射試験の評価について報告する。

【参考文献】

[1] 杉橋直行, 馬場勇介, 遠藤和人:放射性セシウムを含む一般廃棄物焼却灰のセメント固化に関する研究,土木学会論文集, 71, 1,14-28 (2015) .

Elution suppression capability of radioactive Cs and durability of soil-mixed geopolymer solidified by mixing municipal solid waste incineration fly ash and soil
SAITO, R., OGAWA, N. KOIKE, Y.

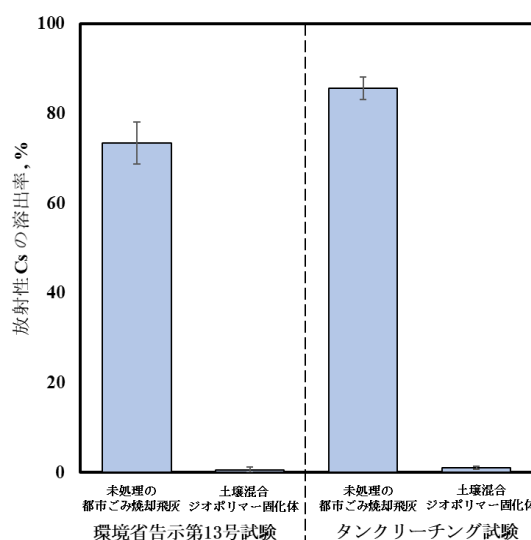


図1 焼却飛灰および土壌混合ジオポリマー固化体における放射性セシウムの溶出率。
■: 溶出液中 ¹³⁷Cs

【序論】 スピネル化合物は面心立方構造をもつアニオンの四面体位置である A サイトと八面体位置である B サイトにカチオンが占有する構造を持ち、特にその電気特性、磁気特性について研究が行われている物質である。本研究室ではスピネル化合物に対して摂動角相関法による超微細場の研究を行ってきた[1,2]。先行研究では[2]、正スピネル構造を有する CdFe₂O₄ において、Cd の核スピン緩和が観測され、CdFe₂O₄ は興味深い物性を示すことが示唆された。そこで、本研究では、CdFe₂O₄ と類似した構造をもつ Cd_{0.75}Fe_{2.25}O₄ に対し、Fe 位置での超微細場の測定を目的としてメスバウアー分光測定を行い、スペクトルの温度依存性ならびに、スピングラス相の時間変動を観測したので報告する。

【実験】 先行研究の試料作製にならない、目的の組成となるように Fe₃O₄、Fe₂O₃、CdO の各粉末を秤量し、乳鉢上で 1 時間混合した。その後錠剤成型を行い、真空中 1100°C で 45 分間焼成した。XRD によって目的物質の生成を確認した後、試料に対し ⁵⁷Fe メスバウアー分光測定を行った。

【結果と考察】 Fig. 1 に 10K で 24h 毎に測定された Cd_{0.75}Fe_{2.25}O₄ のメスバウアー分光スペクトルの時間変化を示す。スペクトルは常磁性成分 1 成分と磁気分裂成分 3 成分で解析を行った。スペクトルは長時間をかけて磁化していくことが示唆された。これは Cd_{0.75}Fe_{2.25}O₄ がスピングラスとなり、それに伴うエイジング現象を反映していると考えられる。スピネル構造では A-A、B-B、A-B 間で超交換相互作用が働いているが、B サイトがパイロクロア格子を構成しているため、A サイトを非磁性の Cd イオンが占めることで格子にフラストレーションが生じると考えられる。各パラメーターの温度依存性については発表にて議論する。

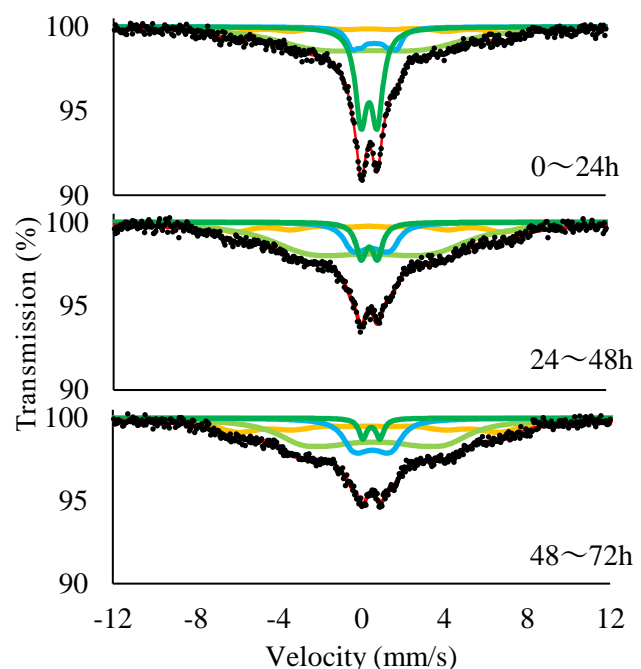


Fig. 1 3日間測定した Cd_{0.75}Fe_{2.25}O₄ の ⁵⁷Fe メスバウアー分光スペクトル (10 K)

[1] W. Sato et al., J. Appl. Phys, **120**, 145104 (2016).

[2] W. Sato et al., J. Radioanal. Nucl. Chem. **316**, 1289 (2018).

Time-variation of local magnetic ordering in Cd_{0.75}Fe_{2.25}O₄
T. Ito, M. Konaka, M. Fuji, W. Sato.

1K08

SrTiO₃ 中にドーピングされた ¹¹¹Cd 位置における局所構造の熱的安定性

(¹金大人社, ²金大理工, ³京大複合研)

○小松田 沙也加¹, 佐藤 渉², 大久保 嘉高³

【緒言】チタン酸ストロンチウム(SrTiO₃)は、半導体として光触媒材料等への応用が期待されるペロブスカイト型酸化物の一つである。特に Ti⁴⁺サイトに対し価数が低くイオン半径の小さい Ga³⁺や In³⁺等の不純物元素が置換されると、ドーパント近傍に電荷補償の酸素欠陥 V_Oを生じたり、結晶格子の収縮による歪みが生じることで量子構造が変化し光触媒機能等の物性を向上させると報告されている。一方で 3 価の不純物元素が Sr²⁺の位置を置換しドナーとして電気伝導性向上へ寄与する可能性も示唆されている。このように不純物元素の占有状態が SrTiO₃の物性を制御する重要な因子となっており、微量導入された不純物元素の占有サイトと果たす機能を原子レベルで調べた情報が必要不可欠である。そこで我々は、SrTiO₃に ¹¹¹Cd(←¹¹¹In)を微量ドーピングし、これをプローブとして用いたγ線摂動角相関(TDPAC)法により SrTiO₃中にドーピングされた ¹¹¹Cd(←¹¹¹In)の局在量子構造とその熱的挙動を調べた。

【実験】試料は市販の酸化チタン(TiO₂)と炭酸ストロンチウム(SrCO₃)、¹¹¹In 塩酸溶液を原料とする固相反応により合成した。TiO₂と SrCO₃の粉末が 1:1 となるようにメノウ乳鉢中で 1 時間混合し、得られた粉末をペレット状に錠剤成型した。そのペレットに ¹¹¹In 塩酸溶液を滴下し空气中 1473 K で 24 時間焼鈍した。得られた試料を粉碎し石英管に真空封入した後、273 K~1000 K で TDPAC 測定した。

【結果と考察】Fig.1 に室温と 1000 K における SrTiO₃中 ¹¹¹Cd(←¹¹¹In)の TDPAC スペクトルを示す。SrTiO₃の構成元素はすべて非磁性元素であるため、電場勾配を仮定した成分で解析を行った。解析結果から、室温では電気四重極周波数 $\omega_{Q1} = 48.9(1)$ Mrad/s、 $\omega_{Q2} = 52.1(2)$ Mrad/s、 $\omega_{Q3} = 0$ Mrad/s の 3 つの成分が観測された。立方晶ペロブスカイト構造をとる SrTiO₃中の Sr,Ti サイト位置の電場勾配は本来 0 であることから、 ω_{Q3} は欠陥の無い Sr もしくは Ti サイト位置を置換した ¹¹¹Cd(←¹¹¹In)由来の成分と考えられる。 ω_{Q1} , ω_{Q2} の成分は値が 0 ではないことから、格子間隙を占有しているか、もしくは近傍に欠陥が存在する Sr, Ti サイトを占有している可能性が挙げられる。1000 K では、 $\omega_{Q3} = 0$ Mrad/s の成分と指数関数的に減衰する成分の 2 成分を観測した。指数関数的に減衰する成分は、¹¹¹Cd(←¹¹¹In)プローブ周辺の局所構造が動的に変動していることを示唆している。発表では ¹¹¹Cd(←^{111m}Cd)プローブで同一の試料を測定した結果を示しながら、SrTiO₃の局所構造の熱安定性についてより詳細に議論する。

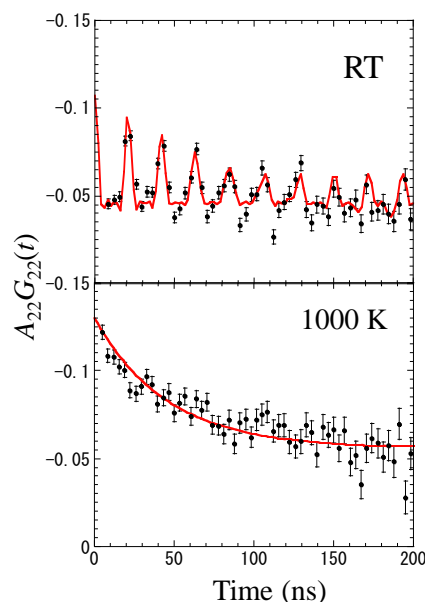


Fig.1 TDPAC spectra of ¹¹¹Cd(←¹¹¹In) in SrTiO₃ at room temperature and at 1000 K

Thermal stability of local structure at ¹¹¹Cd doped in SrTiO₃
KOMATSUDA, S., SATO, W., OHKUBO, Y.

【緒言】 Hofmann 型構造とは、Fe・Ni・Cd などの中心金属のエクアトリアル位に直線二配位の[M(CN)₂](M = Ag, Au)または平面四配位の[M(CN)₄](M = Ni, Pd, Pt)が配位し、アキシアル位にピリジン系配位子が配位した Fig. 1 のような 2 次元層状構造のことである。次に、スピncrossオーバー(SCO)現象とは、温度や圧力・光などの要因により中心金属のスピン状態が可逆的に変化する現象のことを指す。この現象は、分子センサーなどへの応用が期待されている。鉄由来の SCO 現象を示す錯体において、⁵⁷Fe Mössbauer 分光法による研究が当研究室によるものを含め数多く行われている¹⁾。これは、⁵⁷Fe Mössbauer スペクトルの異性体シフト・四極子分裂の幅・分裂数が鉄の価数、スピン状態、鉄周辺の環境に依存するため、SCO 現象による中心鉄の環境変化を分析することが可能であるためである。今回私は、Fe-Ag 系 Hofmann 型錯体 Fe(3,4-lutidine)₂[Ag(CN)₂]₂ を合成し、その物性を調べた。

【実験】 錯体は直接法により合成した。まず、Fe(II)源である Mohr 塩を容器中で水に溶解し、そこに配位子、シアン化銀カリウム水溶液の順に滴下し、生じた沈澱を濾過した。生成物については、元素分析により目的の組成であることを確認した。得られた錯体について、磁化率測定・結晶構造解析及び⁵⁷Fe Mössbauer 測定を行った。まず、磁化率測定では、Fig.2 に示すように完全な高スピン状態から低スピン状態への 2 段階のスピン転移を示した。次に、単結晶 X 線構造解析

では、この錯体は Hofmann 型二層構造をとっており、Ag - Ag 間の相互作用があり、室温での高スピン状態、155 K での中間状態、低温側での低スピン状態の 3 つの状態があることが明らかになった。¹⁾また、室温で X 線に長時間露光して測定を行ったところ、格子の形状が僅かに異なる回折ピークが現れた。最後に、この錯体について室温で⁵⁷Fe Mössbauer 測定を行ったところ、Fig. 3 のように 2 種類のピークが重なったやや非対称なスペクトルが得られた。これについては、単結晶 X 線構造解析の結果と照らし合わせると単結晶 X 線構造解析で使用した X 線(Mo Kα 線, λ = 0.71073 Å, E = 17.44 keV)や⁵⁷Fe Mössbauer 測定で用いたγ線(E = 14.4 keV)により室温で中心鉄サイト周辺の局所構造の大きな変化を伴う相転移が起きた可能性が考えられる

1) J. A. Rodríguez-Velamazán, K. Kitase, E. Palacios, M. Castro, Á. Fernández-Blanco, R. Burriel, T. Kitazawa, *Crystals.*, **2019**, 9, 433..

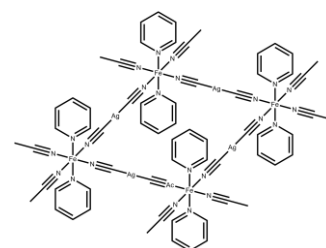


Fig. 1. Hofmann 型構造

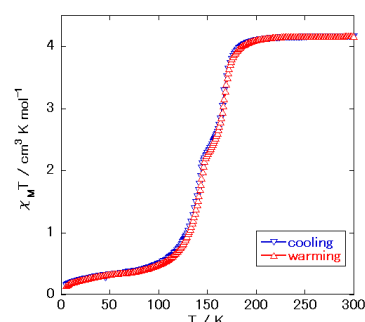


Fig. 2. 錯体の磁気挙動

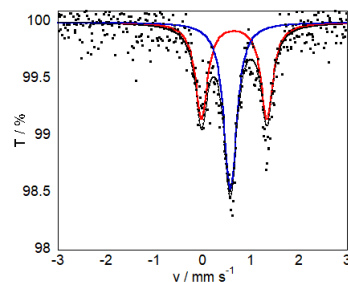


Fig. 3. Mössbauer スペクトル

1K10

可視光照射下でのケイ酸鉄ガラスによる有機染料とフェノールの光触媒分解

(Tokyo Metropolitan University¹, Eötvös Loránd University²)

○KHAN, I.¹, AKIYAMA, K.¹, KUBUKI, S.¹, KUZMANN, E.², HOMONNAY, Z.², SINKO, K.²

この作業の目的は、グリーンケミカル技術による有機化合物で汚染された廃水の効果的な処理の開発です。光触媒を使用したガラスとセラミック 特性は、汚染された廃水中の有機物質の分解に適用できます。ヘマタイト ($\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3$) は、その光触媒特性と低いバンドギャップエネルギーのために適切な材料です。この研究では、構造と光触媒の関係を報告します 単純なケイ酸鉄ガラスの能力。その結果、鉄を 20% 含む触媒は、両方のタイプの有機汚染物質の分解に対して優れた触媒特性を示し、6 回のリサイクル後でもメチレンブルー染料の分解に対して優れた安定性を示しました。 $62 \times 10^{-3} \text{ min}^{-1}$ の最高の分解速度定数がメチレンブルー染料で観察された。さらに、フェノールの分解は pH の影響を受けませんでした。つまり、pH を調整または再調整する必要はありません。良好なリサイクル性で可視光光触媒活性を高めるためには、 SiO_2 マトリックス中の $\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3$ の沈殿が不可欠であると結論付けられます。

Photocatalytic degradation of organic dyes and phenol by Iron-silicate Glass under visible light irradiation
KHAN I., AKIYAMA K., KUBUKI S., KUZMANN E., HOMONNAY Z., SINKO K.

水素化アルミニウムリチウム固体に注入された ^{57}Fe ($\leftarrow^{57}\text{Mn}$) 核のインビーム・メスバウアースペクトル

(¹東理大院理, ²電通大, ³ICU, ⁴阪大理, ⁵金沢大理, ⁶電機大, ⁷理研, ⁸放医研)

○佐藤 祐貴子¹, 山田 康洋¹, 小林 義男^{2,7}, 久保 謙哉³, 三原 基嗣⁴, 佐藤 渉⁵, 宮崎 淳⁶, 長友 傑⁷, 安藤 貴俊², 高濱 矩子², 染 佳梨子², 佐藤 方実², 佐藤 眞二⁸, 北川 敦志⁸

【緒言】インビーム・メスバウアー分光法は加速器で生成した短寿命核 ^{57}Mn を直接試料に注入しながら、 ^{57}Mn の β 壊変で生じた ^{57}Fe の第一励起準位から放出される γ 線をオンラインで測定してメスバウアースペクトルを得る手法であり、固体中の希薄なプローブ核の電子状態や反応生成物についての知見を得ることができる。近年、高圧下で水素化鉄 FeH_2 が見出されるなど、鉄と水素の反応が着目されている。我々はこれまで水素化リチウム LiH に ^{57}Mn を打ち込み、Li 置換位置の Fe が 6 配位の水素化物を作ることを報告した[1]。一方、水素化リチウムアルミニウム (LiAlH_4) は Li^+ と AlH_4^- から構成されるイオン結晶[2]であるため、4 配位の水素化物の生成が期待される。本研究では LiAlH_4 に ^{57}Mn 核を注入して、核壊変で生じた Fe 原子のメスバウアースペクトルを観測し、Fe 原子の振る舞いを考察したので報告する。

【実験】実験は、放射線医学総合研究所 (現 量子医科学研究所) 重イオン加速器で行った。 ^{57}Mn ビームは、一次ビーム ^{58}Fe と生成標的 Be 金属との核破砕反応により得た。電磁石で ^{57}Mn のみを分離収束し、 ^{57}Mn の注入エネルギーを核子あたり 20~30 MeV とした。 ^{57}Mn は試料内で停止し、 β 壊変後の ^{57}Fe から放出される γ 線を平行平板電子なだれ型 γ 線検出器 (PPAC) で計数することでメスバウアースペクトルを測定した。試料を取り囲むように配置したプラスチックシンチレータで β 線を検出して、PPAC で計測したメスバウアー γ 線との β - γ 反同時計数法を用い S/N 比を向上させた。試料は LiAlH_4 粉末を圧縮成型したものを用い、温度を 17~300 K に保持した。得られた実験結果を電子密度の観点から説明するために、密度汎関数法 DFT 計算 (ORCA 3.0.3) を行った。汎関数には B3LYP、Fe の基底関数には CP(PPP)、その他の原子の基底関数には TZVP を用いた。

【結果と考察】 LiAlH_4 に ^{57}Mn を注入した ^{57}Fe インビーム・メスバウアースペクトル (17 K) を図 1 に示す。強度の大きい成分 A と小さい成分 B

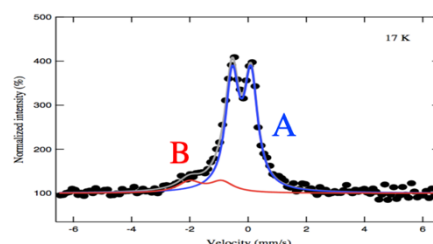


図 1. LiAlH_4 に注入された Fe 原子のインビーム・メスバウアースペクトル (17K)

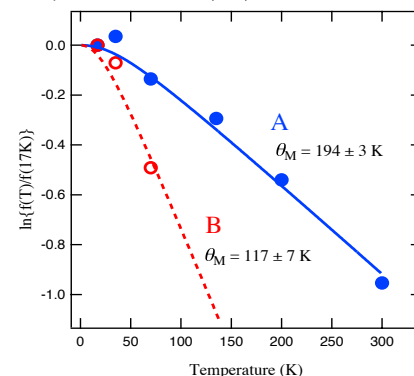


図 2. 成分 A, B の面積強度の温度変化

の二組のダブルレットで解析し、A ($\delta = -0.22$ mm/s, $\Delta E_Q = 0.65$ mm/s)、B ($\delta = -1.5$ mm/s, $\Delta E_Q = 1.1$ mm/s) であった。一方、DFT 計算結果と得られたメスバウアーパラメーターとを合わせると、成分 A, B は、それぞれ Al 原子または Li 原子を Fe 原子が置換したことが明らかとなった。スペクトルの 2 つの成分の面積強度から求めた無反跳分率の温度変化を図 2 に示す。デバイ温度として A サイトでは 194 K、B サイトでは 117 K という値が得られた。デバイ温度の文献値は 460 K である。このことは、Fe と周囲の LiAlH_4 との局所的な結合は、母物質である LiAlH_4 の結合よりも弱いことを示唆している。特に、A サイトと B サイトの間でもデバイ温度に差が生じており、A サイトの Fe の方が、比較的周囲と強く結合していることを具体的なデータで示した。

[1] T. Nagatomo, et al., Hyp. Int., 205, (2012), 125-128.

[2] J.S.Pizey, "Lithium Aluminium Hydride", Horwood-Wiley (1977)

[3] B.Bonnetot, et al., J. Chem. Thermodynamics, 11, (1979), 1197-1202

In-beam Mössbauer spectroscopy of ^{57}Mn implanted into LiAlH_4

SATO, Y., YAMADA, Y., KOBAYASHI, Y., KUBO, K., MIHARA, M., SATO, W., MIYAZAKI, J., NAGATOMO, T., ANDO, T., TAKAHAMA, N., SOME, K., SATO, M., SATO, S., KITAGAWA, A.

1K12

固体水素マトリックス中の Fe の化学状態

(電通大¹、東理大理²、ICU³、阪大院⁴、金沢大院⁵、理研仁科セ⁶、東大総文⁷、QST HIMAC⁸) 佐藤方実¹、○小林義男¹、山田康洋²、久保謙哉³、三原基嗣⁴、佐藤渉⁵、長友傑⁶、岡澤厚⁷、喜地雅人¹、濱野健太郎¹、佐藤眞二⁸、北川敦志⁸

【緒言】 次世代のエネルギー源として注目される水素の安定的な利用には、水素と水素貯蔵材料を構成する元素間の化学的な知見が不可欠である。貯蔵材料としては鉄などの安価で豊富な金属の応用が期待されているが、鉄の水素化物についての知見は極めて少ない。本実験では、固体水素マトリックスに短寿命不安定核 ^{57}Mn ($T_{1/2} = 89$ 秒) を注入後、 β 壊変で生成した ^{57}Fe のインビーム・メスバウアースペクトルを測定した。得られたメスバウアーパラメータと DFT 計算より、Fe 原子の電子状態とその配位環境に関する知見を得たので報告する。

【実験】 実験は、QST HIMAC 2 次ビームラインで行なった。クライオスタットのコールドヘッドにターゲットセルを固定して十分に冷却した後、Liq. N_2 で予冷した高純度 H_2 ガスを導入して固体水素を作製した。

短寿命核 ^{57}Mn は、 ^{58}Fe ビームと Be 標的の入射核破砕反応で生成し、適当な厚さの減速材を通過させて固体水素に直接注入した。

【結果】 得られた ^{57}Fe インビーム・メスバウアースペクトルをそれぞれ Fig. 1 に示す。スペクトルは、S1 ($\delta = -0.66$ mm/s)、D1 ($\delta = -1.29$ mm/s, $\Delta E_Q = 2.59$ mm/s)、D2 ($\delta = -0.53$ mm/s, $\Delta E_Q = 2.43$ mm/s) の 3 成分で解析した。密度汎関数計算の結果も合わせて各成分の化学種は、(a) $[\text{Fe}(\text{H}_2)_2]^+$ 、(b) $[\text{HFeH}]^+$ 、(c) $[\text{Fe}(\text{H}_2)_6]^{3+}$ と帰属できた。最適化した化学種の構造を Fig. 2 に示す。3 つの化学種の生成機構について議論する。

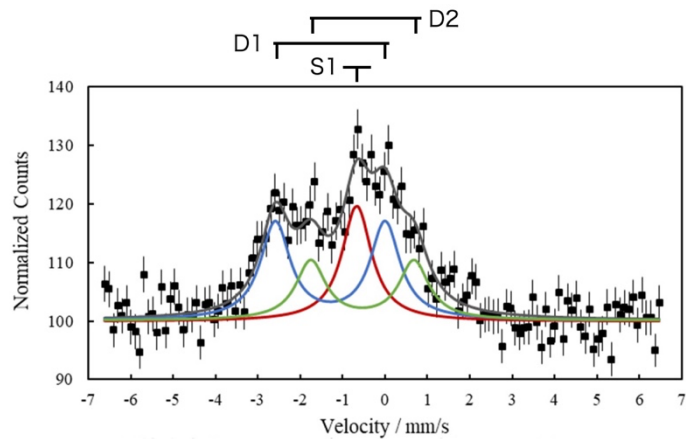


Fig. 1. ^{57}Fe in-beam Mössbauer spectrum for ^{57}Mn implanted into solid hydrogen at 7 K.

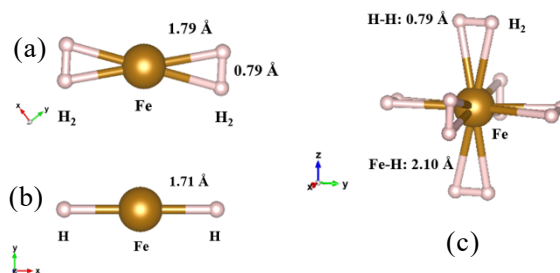


Fig. 2. Optimized geometries of (a) $[\text{Fe}(\text{H}_2)_2]^+$, (b) $[\text{HFeH}]^+$, and (c) $[\text{Fe}(\text{H}_2)_6]^{3+}$ using B3LYP/TZVP+ TZV/J. CP(PPP) applied for an iron atom.

Chemical states of Fe atoms in solid hydrogen

SATO, M., KOBAYASHI, Y., YAMADA, Y., KUBO, M. K., MIHARA, M., SATO, W., NAGATOMO, T., OKAZAWA, A., KIJI, M., HAMANO, K., SATO, S., KITAGAWA, A.

1K13

アクチノイド核を標的としたアイソマー核分光

(九大理¹, 原研 ASRC², QST³, 阪大 RCNP⁴, KEK⁵)

○杉山晃一¹, 郷慎太郎¹, 富松太郎¹, 甲斐民人¹, 長江大輔¹,
石橋優一¹, 松永壮太郎¹, 永田優斗¹, 西畑洗希¹, 鷺山広平¹,
坂口聡志¹, 森田浩介¹, Riccardo Orlandi², 西尾勝久², 牧井宏之²,
廣瀬健太郎², 伊藤由太², 洲寄ふみ², 佐藤哲也², 塚田和明²,
浅井雅人^{1,2}, 静間俊行³, 井手口栄治⁴, Tung Thanh Pham⁴,
庭瀬暁隆⁵

超重核領域には、人類未踏の原子核領域「安定の島」の存在が预言されている。この領域の原子核を直接合成することはできないが、その性質を議論するにあたり、アクチノイド核の核構造を調べることが考えられる。アクチノイド核は系統的に四重極変形が発達していることが知られており、安定の島に現れる軌道の一部がアクチノイド核の励起状態に現れると考えられている^[1]。そこで、アクチノイド核を対象とした核分光研究を行なうことにより、超重核の安定性への指標を得ることを目指している。

本研究では、原子力機構タンデム加速器施設にて、 $^{18}\text{O} + ^{248}\text{Cm}$ の多核子移行反応を用いたインビーム γ 線核分光実験を行なった。アイソマースコープ法^[2]と呼ばれるアイソマーに特化した実験手法を用いることにより、バックグラウンドの少ない測定を実現した。実験セットアップの概略図を図 1 に示す。タングステン(W)シールドにより、ターゲット付近から発生するバックグラウンド γ 線を遮蔽した。Si 検出器アレイによりビーム由来の粒子の ΔE -E を測定することで粒子識別をし、核子移行反応の分類を行った。脱励起 γ 線は Ge 検出器、LaBr 検出器を用いて測定した。本講演では実験で測定されたアイソマー状態について報告する。

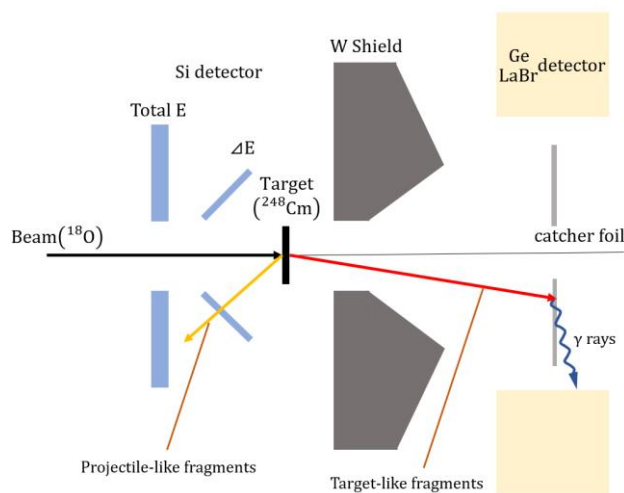


図 1 実験セットアップの概略図

[1] T. Ishii *et al.*, Physical Review C **78**, 054309 (2008)

[2] T. Ishii *et al.*, Nuclear Instruments and Methods in Physics Research A **395**, 210-216 (1997)

Isomer spectroscopy using actinide targets

SUGIYAMA, K., GO, S., TOMIMATSU, T., KAI, T., NAGAE, D., ISHIBASHI, Y.,
MATSUNAGA, S., NAGATA, Y., NISHIBATA, H., WASHIYAMA, K., SAKAGUCHI, S.,
MORITA, K., ORLANDI, R., NISHIO, K., MAKII, H., HIROSE, K., ITO, Y., SUZAKI, F.,
SATO, T. K., TSUKADA, K., ASAI, M., SHIZUMA, T., IDEGUCHI, E., PHAM, T. T., NIWASE, T.

MRTOF と α -TOF 検出器による、 α 崩壊に 관련된 精密質量測定法の開拓 (高工研¹、理研仁科セ²、九大理³、香港大⁴、IBS⁵、IMP⁶、中国科学院大⁷、蘭州大⁸、阪大理⁹、山形大¹⁰、原子力機構¹¹、九大超重元素セ¹²、ANU¹³、NMSU¹⁴、暨南大¹⁵) ○庭瀬暁隆^{1,2,3}、和田道治¹、P. Schury¹、P. Brionnet²、S. D. Chen⁴、橋本尚志⁵、羽場宏光²、平山賀一¹、D. S. Hou^{6,7,8}、飯村俊^{9,2,1}、石山博恒²、石澤倫^{10,2}、伊藤由太¹¹、加治大哉²、木村創大²、J. Liu⁴、宮武宇也¹、J. Y. MOON⁵、森本幸司²、森田浩介^{3,2,12}、長江大輔^{12,3}、M. Rosenbusch¹、高峰愛子²、田中泰貴¹³、渡辺裕³、H. Wollnik¹⁴、W. Xian⁴、S. X. Yan¹⁵

原子質量は原子核の持つ最も基本的かつ重要な物理量であり、エネルギーと質量の等価性 $E=mc^2$ のために、その原子のもつ全エネルギーに相当する。原子質量は核種の安定性を決定し崩壊を支配するため、原子核の質量測定研究は核の性質を理解するのに極めて重要である。我々のグループでは、多重反射型飛行時間測定式質量分光器 MRTOF-MS [1]を用いて、重核の精密質量測定を行っている。近年、飛行時間測定用の検出器に、 α 線検出用の Si 検出器を組み込んだ α -TOF[2]の開発に成功。重核の飛行時間とそれに続く α 崩壊事象の相関測定が可能となった。

α -TOF を搭載した MRTOF による成果として、最近我々は超重核 ^{257}Db の直接質量測定に成功した[3,4]。1日に 2~3 事象の稀なイベントであったが、飛行時間信号は α 崩壊による標識付けによって背景事象から弁別され、確度の高い質量測定を実現した。

α -TOF は崩壊特性の異なる核種は勿論のこと、同一核種においても異なる崩壊特性を持つ基底状態と異性体を分別することができるため、各準位に起因した質量と崩壊の相関測定による、核分光研究の実現性がある。

本研究では、 α -TOF を搭載した MRTOF による核分光研究の実証実験として、 $^{51}\text{V}+^{159}\text{Tb}$ の融合反応によって合成された $^{206,207}\text{Ra}$ の質量と α 崩壊の相関測定を行った。 ^{207}Ra は崩壊様式の異なる異性体を有しているため、 α -TOF によって標識付けられた崩壊事象から準位を弁別して基底状態と励起状態それぞれの質量を決定し、両準位の質量差から異性体の励起エネルギーを決定した。また飛行時間事象と α 崩壊事象の数から、 $^{207\text{m}}\text{Ra}$ の α 分岐比を決定。部分半減期から α 崩壊の換算幅を導出し、これらの系統性から $^{207\text{m}}\text{Ra}$ のスピン・パリティを決定した。本講演では、実験の詳細について報告を行う。

[1] P. Schury, *et al.*, Nucl. Instrum. Methods., Phys., B, **335** (2014) 39.

[1] T. Niwase, *et al.*, Nucl. Instrum. Methods., Phys., A, **953** (2020) 163198.

[3] P. Schury, *et al.*, arXiv:2006.02605.

[4] 庭瀬 暁隆, 博士学位論文, 九州大学, <http://hdl.handle.net/2324/4474932>

Investigation of alpha-decay-correlated mass measurement using an α -TOF detector equipped MRTOF-MS system.

NIWASE, T., WADA, M., SCHURY, P., BRIONNET, P., CHEN, S., HASHIMOTO, T., HABA, H., HIRAYAMA, Y., HOU, D. S., IIMURA, S., ISHIYAMA, H., ISHIZAWA, S., ITO, Y., KAJI, D., KIMURA, H., LIU, J. J., MIYATAKE, H., MOON, J. Y., MORIMOTO, K., MORITA, K., NAGAE, D., ROSENBUSCH, M., TAKAMINE, A., TANAKA, T., WATANABE, Y. X., WOLLNIK, H., XIAN, W., YAN, S. X.

1K15

超重元素イオンビーム生成に向けた

EBGP(Electron Beam Generated Plasma)イオン源の開発

(茨城大院理工¹、原子力機構先端研²、徳島大院保健³、茨城大理⁴)

○青木涼太^{1,2}、佐藤哲也^{1,2}、大谷怜^{2,3}、内馬場優太^{2,4}、伊藤由太²、
浅井雅人²、塚田和明²、永目諭一郎²

原子番号 100 を超える元素を超重元素と呼ぶ。超重元素は、加速器を用いた核反応によって合成されるが、短寿命・低生成量であるため、一度に一個の原子しか扱うことができない。このような実験の難しさから、その化学的性質はよくわかっていない。我々の研究グループでは、これまでに重アクチノイドを対象に表面電離イオン源を用いてそれらのイオン化エネルギーの測定に成功した^{1,2)}。本研究では、より広い範囲の超重元素を対象に、そのイオンビームを物理・化学研究に応用するため、短寿命単一原子に適用可能な新しいイオン源の開発をおこなった。

新規のイオン源として、電子ビーム誘起プラズマ (Electron Beam Generated Plasma, EBGP)³⁾法を採用した。EBGP 法では、イオン化に電子衝撃を用いることにより、表面電離型と比較してイオン化エネルギーのより大きな原子・分子のイオン化が期待できる。一方、対象とする超重元素同位体の合成には、Cm や Cf といったアクチノイド標的を用いるために、標的とイオン源を分離し、核反応生成物を迅速に搬送する必要があることから、イオン源とガスジェット搬送法を組み合わせた。

本研究で構築したガスジェット結合型 EBGP イオン源の模式図を図 1 に示す。本イオン源では、中央のグリッド構造を持つ Anode 電極を Cathode 電極が覆い、さらに Cathode 電極を 2 つの Filament が取り囲む構造となっている。Anode 電極内がイオン化室となっており、図中右からガスジェット搬送によって、核反応生成物が導入される。イオン源動作時には、Filament からの電子衝撃によって Cathode 電極を加熱することにより、Cathode 電極内表面から熱電子を発生させる。発生した熱電子を Cathode-Anode 間の電位差によって Anode に向かって加速し、グリッドを通して電極内へと入射することで、Anode 内の原子・分子をイオン化する。

実験では EBGP イオン源および専用テストベンチを構築し、イオン源の安定稼働条件を調べた。その結果、オフラインで安定してイオンビームが引き出されていることを確認できた。発表では、EBGP イオン源のイオンビーム発生のための最適動作条件ならびに今後の展望について報告する。

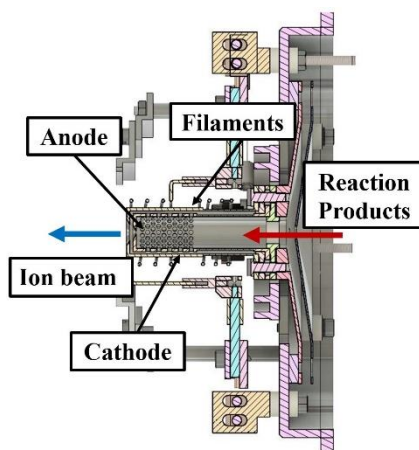


図 1. EBGP イオン源概略図

【参考文献】

- 1) T. K. Sato et al. Nature 520 (2015) 209.
- 2) T. K. Sato et al. J. Am. Chem. Soc. 140 (2018) 14609.
- 3) J. M. Nitschke, Nucl. Instrum. Method A 236 (1985)1-16.

Development of an EBGP (Electron Beam Generated Plasma) ion source for superheavy element ion beam generation

AOKI,R., SATO,T. K., OTANI,R., UCHIBABA,Y., ITO,Y., ASAI,M., TSUKADA,K., NAGAME,Y.

1K16

106 番元素シーボーギウムの揮発性研究に向けた 6 族元素オキシ塩化物の等温ガスクロマトグラフ挙動

(徳島大¹、原子力機構²、茨城大³、新潟大⁴)○大谷怜^{1,2}、佐藤哲也^{2,3}、青木涼太^{2,3}、浅井雅人²、塚田和明²、伊藤由太²、内馬場優太^{2,3}、阪間稔¹、後藤真一⁴、久住健介⁴、高村怜士⁴、西尾勝久²、牧井宏之²、Riccardo Orlandi²、永目諭一郎²

【緒言】 超アクチノイド元素では、強い相対論効果の影響により、同族の軽い元素と比較して、化学的性質が異なる可能性がある。本研究では 106 番元素シーボーギウム(Sg) オキシ塩化物の揮発性に着目した。唯一の先行研究では、Sg の統計に乏しく信頼性に欠ける上、6 族元素は複数のオキシ塩化物が揮発性を持つにも関わらず、化学形も曖昧なまま議論されている[1]。今回、Sg を模擬して、同族元素である Mo 及び W の揮発性オキシ塩化物の等温ガスクロマトグラフ挙動を調べたので報告する。

【実験】 等温ガスクロマトグラフ装置[2]は反応室、等温カラムおよびクラスタリング槽から構成される。オフライン実験では ^{252}Cf 槽に直結して使用した (図 1)。 ^{252}Cf の自発核分裂片 ^{104}Mo ($T_{1/2} = 60 \text{ s}$) をキャリアガスで反応室に搬送し、反応ガス $\text{N}_2 + \text{O}_2/\text{SOCl}_2$ と反応させて揮発性化合物を合成する。生成したオキシ塩化物は、等温カラムを通過したのち、 N_2/KCl ガスジェット搬送法によって捕集系へと運ばれ、放射線測定が行われる。カラム温度に対する収率変化を取得することで、等温ガスクロマトグラフ挙動を得る。オンライン実験では本装置を核反応標的槽に結合し、 ^{19}F ($5n$) 反応により ^{173}W ($T_{1/2} = 7.6 \text{ min}$) を合成して、同様に等温ガスクロマトグラフ挙動を調べた。

【結果】 $\text{N}_2(80\%) + \text{O}_2(20\%)/\text{SOCl}_2$ を反応ガスとして、各種条件で実験を行った。その結果、 ^{104}Mo では反応室温度が 1000°C の場合と、 800 または 600°C の場合とで挙動が異なった。これは、それぞれ揮発性の異なるオキシ塩化物が生成されたためと考えられる。一方、 ^{173}W では反応室温度に関わらず、同一のクロマトグラフ挙動が得られた。

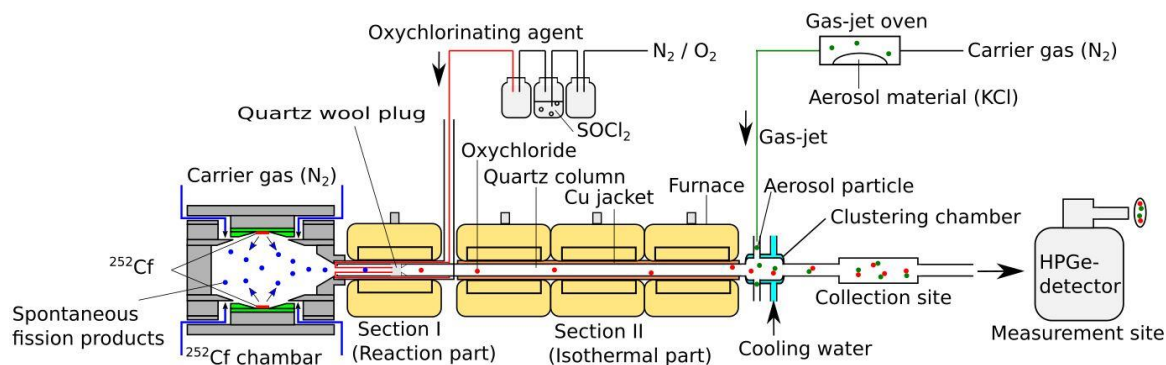


図 1. ^{252}Cf 槽直結型等温ガスクロマトグラフ装置

【参考文献】[1] A. Türlér et al., *Angew. Chem. Int. Ed.* **38** (1999) 2212-2213.

[2] N. M. Chiera et al., *Inorg. Chim. Acta* **486** (2019) 361-366.

Isothermal gas chromatographic behavior of oxychlorides of group-6 elements for volatility study of seaborgium (Sg, $Z = 106$)

OTANI, R., SATO, T. K., AOKI, R., ASAI, M., TSUKADA, K., ITO, Y., UCHIBABA, Y., SAKAMA, M., GOTO, S., KUZUMI, K., TAKAMURA, R., NISHIO, K., MAKII, H., ORLANDI, R., NAGAME, Y.,

ポスター発表

9月22日（水）

1P01-1P13

【緒言】 超重元素の化学研究において、Rf や Db に対してはイオン交換や溶媒抽出による液相化学実験が行われてきた。Db のフッ化物錯体に関する実験では 1 条件のみの結果しか得られていない場合が多く、また、同族元素 Nb, Ta との関係が矛盾している。Aliquat 336 担持樹脂を用いた固相抽出の研究が精力的に行われているものの、Nb, Ta に対してもいまだに実験結果から化学形が確定できていないのが現状である。そこで本研究では、系を単純化するために Aliquat 336 の主成分である Trioctylmethylammonium chloride(TOMA-Cl)を抽出剤として用いることとし、TOMA 担持樹脂に対する Nb,Ta のフッ化物錯体の詳細な吸着挙動から化学形について明らかにしようとしている。

【実験】 これまで、Aliquat 336 などの担持樹脂に対しては、担持量は求められていたものの、有効に機能する抽出剤の量は調べられていなかった。そこで、TOMA 担持樹脂に含まれている Cl を ClO_4^- や NO_3^- と置換して、水相中の Cl^- を定量することで、陰イオンとの交換に機能する交換基の量を求めることとした。マイクロチューブに約 7 mg の 40 wt% TOMA 担持樹脂を加え、種々の濃度に調製した NaClO_4 あるいは NaNO_3 水溶液 400 μL を加えた。25 $^\circ\text{C}$ 、1500 rpm で振とうした後、遠心分離機により水相と樹脂を分離し、水相 200 μL を分取してチオシアン酸水銀(II)法により Cl を定量した。

また、Nb, Ta のフッ化物錯体の TOMA 担持樹脂への吸着挙動を詳細に調べるため、水相中に種々の濃度で ClO_4^- あるいは NO_3^- を共存させて交換基をマスクすることで、交換基量を変化させることとした。2.7, 10, 27 M の HF に対して、 NaClO_4 あるいは NaNO_3 を加えて種々の陰イオン濃度の水相溶液を調製した。 ^{95}Nb および ^{179}Ta トレーサを加えて 400 μL 分取し 40 wt% TOMA 担持樹脂約 12 mg とともにシリンジレスフィルタ付きバイアルに加えた。25 $^\circ\text{C}$ 、1500 rpm で振とう後濾過し、水相 250 μL を分取して高純度ゲルマニウム半導体検出器を用いて ^{95}Nb の γ 線および ^{179}Ta の X 線を測定した。

【結果と考察】 種々の濃度の NaClO_4 あるいは NaNO_3 水溶液を用いて TOMA 担持樹脂から得られる Cl^- の量を測定した結果を図 1 に示す。破線は、水相中の ClO_4^- や NO_3^- が担持樹脂中の Cl^- とすべて交換したと仮定したときの Cl^- の量の変化を表したものである。交換に関与する Cl^- の総量は担持量の約 70 % であることが分かった。また、今回の条件では、 ClO_4^- と NO_3^- とで Cl^- との交換に差は認められなかった。陰イオン濃度の薄い範囲では、存在する陰イオン濃度以上の Cl^- が得られたが、この理由については現在検討中である。発表では Nb, Ta トレーサを用いた抽出実験の結果について議論する。

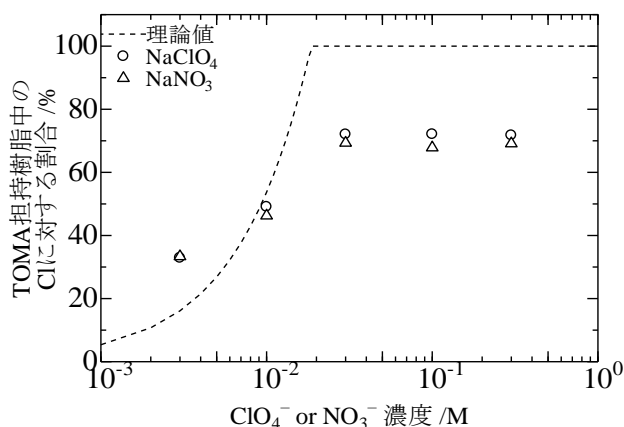


図 1. TOMA 担持樹脂中の Cl^- の定量結果

1P02

At が形成するハロゲン結合の解離エネルギー測定に向けた AtI の生成条件と揮発性の分析

(阪大院理¹、阪大放射線機構²、阪大医³、理研仁科セ⁴、大阪青山大学⁵) ○床井健運¹、豊嶋厚史²、大江一弘³、角永悠一郎²、寺本高啓²中川創太¹、吉村崇²、笠松良崇¹、羽場宏光⁴、王洋⁴、篠原厚^{2,5}

【緒言】 アスタチン(At)はハロゲン族に属する元素であり、その化学的性質は不明な点が多い。一方、At は他のハロゲン族元素と異なり、水溶液中で安定な陽イオン種を取るなど、基礎化学的な興味を持たれている。ハロゲン族元素は電子供与帯となるルイス塩基との間に引力が働くことがある。この引力をハロゲン結合と呼ぶ。ハロゲン結合は方向依存性の強い分子間相互作用と知られ、ハロゲン結合の強さは原子番号が大きいほど強くなるが、At は相対論効果の影響でハロゲン結合の強さが減少し、ヨウ素と同程度になると指摘されている[1,2]。本研究の最終目標は、気相において[At-ルイス塩基]錯体の熱分解や、ルイス塩基担持カラムを用いたガスクロマトグラフィー実験を行い、At とルイス塩基間のハロゲン結合の解離エネルギー測定を行い、結合に対する相対論効果の影響を明らかにすることである。気相で実験を行うことで、溶媒和などがない純粋な分子同士の相互作用の情報が得られる。本研究では、先行研究でハロゲン結合が示唆され[3]、気相での実験に向け揮発性が高いことが期待される AtI を選択した。気相で実験へ向けて、AtI は溶液中で生成するため、まず溶液中で AtI を生成し、AtI を揮発させて実験を行う。本研究では、基礎検討として、HPLC を用いて溶液中での AtI の生成条件について調べた。また、AtI の温度に対する揮発率についての測定を行った。

【実験】AtI の生成法は先行研究を参考にした[3]。実験に使用した ²¹¹At は、RIKEN や QST で照射された Bi 標的から ²¹¹At を乾式分離し、水溶液の状態で使用した。乾式分離後の At 溶液を 0.1 M HClO₄ に混合し、さらに NaI を加えてヨウ化物イオン濃度を [I] = 10⁻⁵-10⁻¹ M とした。この試料について 5C₁₈-AR300 逆相カラムを用いた HPLC 分析を行い、ラジオクロマトグラムから AtI の生成を観測した。揮発実験は AtI サンプルを 1.5 mL ポリプロピレン容器に 500 μL 分注し、ドライバスで所定の温度(70-100 °C)で一定時間加熱した。加熱後、サンプルの残留放射能を測定することで揮発率を算出した。

【結果】 HPLC の結果では I 濃度に依存したピークの変化が観察された。I が 10⁻² M 以上の条件では、ラジオクロマトグラムの主要なピークは一つであり、先行研究から AtI₂ と考えられる[3]。I が 10⁻² M 以下の条件では、ラジオクロマトグラムのピークは複数存在し、10⁻²M 以下で AtI の生成が考えられる。AtI の生成条件の詳細な考察と AtI の揮発率については、討論会で報告する。

【参考文献】 [1] N. Galland, *et al.*, *New J. Chem.*, **42**, 10510-10517,2018.

[2] E. Rossi, *et al.*, *Phys. Chem. Chem. Phys.*, **22**, 1897-1910,2020.

[3] N. Guo, *et al.*, *Nat. Chem.***10**,428-434,2018.

Analysis of formation conditions and volatility of AtI for measurement of dissociation energy of halogen bonds formed by At

TOKOI, K., TOYOSHIMA, A., OOE, K., KADONAGA, Y., TERAMOTO, T., NAKAGAWA, S., YOSHIMURA, T., KASAMATSU, Y., HABA, H., WANG, Y., SHINOHARA, A.

1P03

ノーベリウム(No)の化学研究に向けた Ca, Sr, Ba, Ra のクラウンエーテルによる固液抽出

(1 阪大院理、2 京大複合研、3 阪大放射線機構、4 大阪青山大)○渡邊瑛介¹, 笠松良崇¹, 中西諒平¹, 大高咲希¹, 高宮幸一², 篠原厚^{3,4}

【緒言】

ノーベリウム(No)は原子番号 102 番のアクチノイド元素である。過去のイオン交換実験からは、No は Ca と Sr と類似した化学挙動を取ると報告されている¹。一方で我々のグループでは、No のみが NH₃ と錯イオンを形成するなど、アルカリ土類金属とは異なる性質を見出しており²、さらなる研究が求められている。Ca²⁺と Sr²⁺との化学挙動に明確な差がある反応系を用いることで No²⁺のより詳しい化学的性質の解明につながることを期待される。本研究は、クラウンエーテルが担持された Sr レジンによる固液抽出系において、酸の種類を変えることで二族元素の抽出選択性の傾向が変わること³に着目した。抽出される包摂錯体の分子構造の変化に伴う分配係数の変化を系統的に調べることで、No のもつ電子状態を調べることが目標である。No の研究に用いられる ²⁵⁵No は半減期 3.5 分の人工放射性同位元素であるため、迅速に抽出平衡に到達する必要がある。本研究では、バッチ法に基づき、Ca, Sr, Ba, Ra の固液抽出実験を行い、No の化学実験への適用可能性を調べた。

【実験】

放射性トレーサー⁴⁵Ca, ⁸⁵Sr, ¹³³Ba, ²²⁶Ra を含む硝酸または塩酸溶液と、Sr レジン 50-70 mg とを接触させ、1, 30, 1440 分間振とうした。遠心分離により液相のみを取り出し、各核種の γ 線を Ge 半導体検出器により測定した。樹脂を含まないサンプルも作成し、間接的に樹脂に吸着した金属イオンの量を算出し、分配係数 K_d を求めた。

【結果と考察】

Figure 1 に振とう時間を変化させたときの K_d 値の変化の様子を示す。振とう時間 1 分で K_d 値が一定になっていることから、抽出平衡に 1 分以内で到達していることが示唆された。また得られた K_d 値は先行研究³とよく一致していた。塩酸系についても同様に速い平衡到達が観測され、Sr レジンを用いた固液抽出系が No 実験に適用可能であることが示唆された。当日の発表では、量子化学計算に基づく理論研究のほか、抽出化学種の分光分析についても併せて報告する。

1. R. Silva et al., *Inorg. Chem.* 1974, **13**, 2233.
2. 二宮秀美, 大阪大学大学院理学研究科修士論文(2019).
3. D. V. Filosofov et al., *Solv. Extr. Ion Exch.* 2015, **33**, 496.

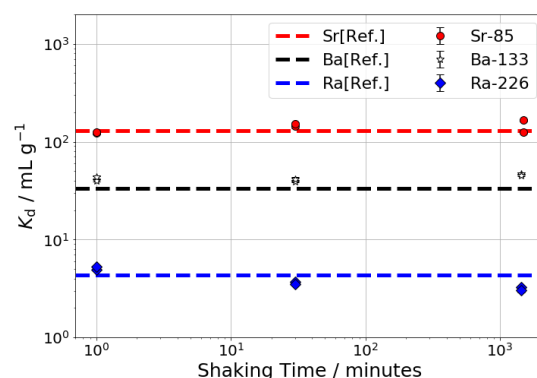


Figure 1. Sr レジン/3.5 M HNO₃系における Sr, Ba, Ra の分配係数の振とう時間依存性

Solid-liquid extraction of Ca, Sr, Ba, Ra using crown ether towards the study of element 102, No
WATANABE, E., KASAMATSU, Y., NAKANISHI, R., OTAKA, S., TAKAMIYA, K., SHINOHARA, A.

1P04

トリウム標的への Li イオン照射によって生じる ^{236}U の ICP-MS による定量

(金沢大院自然¹、筑波大数理²、理研仁科セ³、金沢大理工⁴)

○永井 歩夢¹、寺西 翔¹、坂口 綾²、中島 朗久²、羽場 宏光³、
横北 卓也³、南部 明弘³、横山明彦⁴

【序論】核実験等のため環境中に微量に存在する ^{237}Np ($T_{1/2}=2.1 \times 10^6$ y) は放射能による測定が困難であり、加速器質量分析(AMS)での定量の場合にはそのためのトレーサーが必要である。著者らの研究グループでは、トレーサーの候補である ^{236g}Np ($T_{1/2}=1.5 \times 10^5$ y) の製造を $^{232}\text{Th}+^7\text{Li}$ 核反応によって試みている。 ^{236g}Np をトレーサーとして利用する場合、副生成物である準安定状態の ^{236m}Np が壊変し生成する ^{236}Pu , ^{236}U が質量分析の妨害となる。また ^{232}Th ターゲット中の不純物である ^{235}U が中性子を吸収することでも ^{236}U が生成され、妨害核種となりうる可能性が考えられる。このようなトレーサー核種の同重体は、ppt レベルの検出限界で高精度な同位体存在比分析が可能である高分解能 ICP 質量分析計(HR-ICP-MS)によって定量可能と考えた。本研究では核反応により製造される U 同位体と Th ターゲット中の U 同位体について HR-ICP-MS による定量を目的とした。また、Au をモニターとして照射中に発生する中性子を見積もり、 ^{236}U の生成量について検討した。

【実験】 理化学研究所 AVF サイクロトロンにて ^{232}Th ターゲットに 43 MeV ^7Li イオンを照射し UTEVA レジンを用いて U 成分の化学分離を行った。また、照射室内の中性子の影響を調べるため ^7Li 照射中のビームコース末端に、中性子束のモニターとして Au 金属箔 (220.02 mg), ^{236}U 生成の確認のために U 電着試料 (0.87 mg) を設置した。照射後 Au 箔について Ge 半導体検出器を用いた γ 線分光法により中性子束を求めた。また、U 電着試料は濃硝酸で溶解し溶液中の U 濃度が 0.1, 1 ng/g になるように希釈し HR-ICP-MS を用いて測定した。検量線溶液には XSTC-13 (SPEX 社) を用いた

【結果】Au 箔から ^{196}Au , ^{198}Au の γ 線ピークが観測されそれぞれの放射能から熱中性子束 6.54×10^5 s⁻¹ 高速中性子束 1.55×10^7 s⁻¹ の結果を得た。また、Table 1 に示した HR-ICP-MS による U 電着試料の同位体測定結果から、照射前の ^{235}U の存在比は約 0.7 % とほぼ天然存在比であるのに対し、照射場に置いた U 電着試料は ^{235}U が熱中性子を吸収し ^{236}U が生成されることを確認した。この値はモニターによる熱中性子束により推定される ^{236}U 生成量と誤差の範囲で一致した。本発表では、Th ターゲットの ICP-MS 測定結果についても示し、 ^{235}U からの ^{236}U 生成量を推定する。

Table 1 U 電着試料中の U 同位体比

	照射試料1	照射試料2	未照射試料
235/238	0.62~0.82	0.61~0.84	0.63~0.85
236/238	0~ 5×10^{-4}	1~ 7×10^{-4}	N.D

Determination of ^{236}U in a Th target irradiated with Li ions by ICP mass spectrometry
NAGAI, A., TERANISHI, K., SAKAGUCHI, A., NAKAJIMA, A., HABA, H., YOKOKITA, T.,
NANBU, A., YOKOYAMA, A.

1P05

月間降水中トリチウム濃度の全国調査

(日本分析センター) ○飯田 素代、大槻 孝之、吉田 森香、新田 済、
岸本 武士、磯貝 啓介

【緒言】

日本分析センターでは、環境放射能水準調査（原子力規制庁委託）の一環として、原子力発電所、再処理施設等周辺の放射線監視結果との比較検討に資するため、むつ市、福島市、千葉市及び京都市で採取した月毎の降水中のトリチウム濃度及び降下量を調査している。上記4地点におけるトリチウム濃度及び降下量の経年変化と月間降水量との関係、さらに千葉市におけるトリチウム降下量と Be-7 降下量との相関について考察した。

【方法】

1. 試料採取

国内4か所（むつ市、福島市、千葉市及び京都市）に設置した降水採取装置を用いて、1ヶ月毎に降水を採取した。

2. 分析

放射能測定法シリーズ9「トリチウム分析法」（平成14年改訂）の電解濃縮法に準じた。なお、降水量が0.6L以下の月については蒸留法を行った。

測定はアロカ株式会社製の低バックグラウンド液体シンチレーションカウンタを使用した。

【結果・考察】

トリチウム濃度と降下量の結果を表1に示す。全地点において、春先にトリチウム濃度が高くなる傾向を示した。

千葉市のトリチウム降下量と Be-7 降下量（2015.4 - 2021.1）の関係を図1に示す。トリチウムは原子力施設などからの放出に加え、宇宙線により生成する天然放射性核種であるので、同じく宇宙線で生成する Be-7 と比較すると $r=0.84$ ($n=70$) となり、良い相関を示した。

なお、本調査結果は原子力規制庁からの委託事業「環境放射能水準調査」の成果の一部である。

表1. 各地点のトリチウム濃度と降下量

地点（調査期間）	濃度 (Bq/L)	降下量 (Bq/m ²)
むつ市 (2015.12. - 2021.1)	0.15 - 1.2	6.5 - 130
福島市 (2015.12. - 2021.1)	0.081 - 1.0	3.6 - 160
千葉市 (2007.4. - 2021.1)	0.097 - 1.5	1.5 - 170
京都市 (2017.12. - 2021.1)	0.14 - 0.76	6.6 - 110

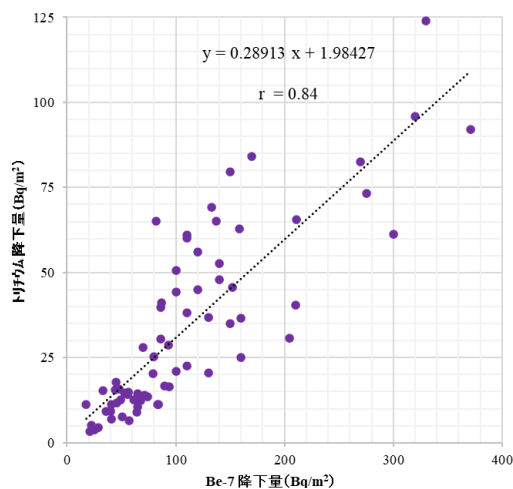


図1. 千葉市のトリチウム降下量と Be-7 降下量の関係

Nation-wide survey of Tritium Concentration in Monthly Fallout

IIDA,M. , OTSUKI,T. , YOSHIDA,M. , NITTA,W. , KISHIMOTO,T. , ISOGAI,K.

1P06

Extractability of Pu from agricultural soils and its indication of bioavailability

(量研機構¹、核物化研²、北京大³) 倪有意^{1,2}、○鄭建¹、郭秋菊³、黃召垂²、田上惠子¹、内田滋夫¹

【緒言】For plutonium in the soil, not all of it is bioavailable for plants. Therefore, appropriately evaluating the bioavailable fraction of Pu in soil can be viewed as imperative for better quantifying the transfer ability and understanding the transfer mechanisms of Pu from soils to plants. We present the first investigation of the extractability of global fallout Pu from agricultural soils under natural conditions and its potential indication for Pu bioavailability.

【実験】Soil samples (upland and paddy soils) were successively extracted with H₂O followed by 1 M NH₄OAc solution extraction to obtain the nominal water soluble and NH₄OAc exchangeable fraction of Pu. The extractions were conducted with a soil to solution ratio of 1:10 (100 g soil vs. 1 L solution) by stirring for 1 h followed by standing overnight. The H₂O extracted solution was separated by centrifugation and filtration (0.45 μm), and the remaining solid residue was further extracted with 1 M NH₄OAc solution followed by centrifugation and filtration (0.45 μm). As soon as these extracted solutions (nominal water soluble fraction and NH₄OAc exchangeable fraction) were obtained, 0.57 pg ²⁴²Pu was separately added to these samples as yield tracer before further purification. After chemical separation and purification, ²³⁹Pu was measured by SF-ICP-MS. The Pu concentrations in the original soil samples were separately determined with the method reported by Wang et al. (2017).

【結果・考察】On average, the nominal water soluble and exchangeable Pu fractions in sampled upland field soils were 0.07% and 0.02%, respectively, while those fractions in the rice paddy soils were 0.10% and 0.03%, respectively. Sequential extraction results indicated that the dominant sinks of Pu in both upland and paddy soils were the immobile organic matter fraction, Fe-Mn oxides and the residual fraction. Furthermore, both the water soluble and NH₄OAc exchangeable Pu percentages showed a significant negative correlation with the exchangeable Ca²⁺ concentration in the soils. Regarding the potential plant bioavailability of Pu, a significant correlation ($r=0.55$, $p<0.05$) was observed between the Pu concentration in rice and the water-soluble Pu concentration in the corresponding rice paddy soils, and that illustrated the water-soluble Pu fraction was likely to be available for rice plant uptake. In addition, this bioavailable fraction was further applied in evaluating the available transfer factor (ATF) of Pu by dividing the Pu concentration in rice with the bioavailable Pu concentration in the corresponding soil. The ATFs of Pu from soil to rice plant ranged from 6.9×10^{-3} to 1.7×10^{-1} and we compared them with the TF values reported in our previous study (Ni et al., 2019). Statistical analysis indicated the ATF data were less discrete compared with the conventional TF. Therefore, we consider the ATF to be more representative than the TF to illustrate the transfer ability of Pu from soil to rice plant.

参考文献: [1]Wang et al., *Anal. Chem.* **2017**, 89, 2221–2226. [2] Ni et al., *J. Environ. Radioact.* **2019**, 196, 22-28.

Extractability of Pu from agricultural soils and its indication of bioavailability
NI Y., ZHENG, J., GUO Q., HUANG Z., TAGAMI K., UCHIDA S

【緒言】 日本分析センターでは毎年 IAEA が主催する技能試験に参加している。2020 年度の技能試験 (IAEA-TEL-2020-04 ALMERA PT) では、面状の Aerosol Filter sample から ^{110m}Ag が検出された。 ^{110m}Ag は多数の γ 線をカスケードに放出しサム効果を引き起こす。そこで、モンテカルロシミュレーション、Efficiency Transfer コード及びサムピーク法など多方面からの解析を行い、Aerosol Filter sample における ^{110m}Ag のサム効果の補正について検討を行った。本発表では検討方法や結果について報告する。

【検討方法】 Aerosol Filter sample を U4 容器に詰め、試料を様々な条件で相対効率 33% の同軸型 p タイプ HP-Ge 検出器を用いて測定を行った。

1) サムピーク法 … γ 線スペクトル上のサムピークの強度は核種の壊変形式、放射能、計数効率に依存しているため、測定試料自身のスペクトルから放射能と計数効率を計算で求めることが原理的に可能である¹⁾。本検討ではこれまでに報告されているサムピーク法^{2),3)}を用いて Aerosol Filter sample 中の ^{110m}Ag の定量を行った。

2) モンテカルロシミュレーション (Geant4・EGS5) および Efficiency Transfer コード (EFFTRAN) を用いた補正 … Geant4, EGS5 および EFFTRAN を用いてサンプルを検出器のエンドキャップ上に密着して置いた場合のサム効果補正係数を算出し測定値を補正した。

【結果及び考察】 図 1 は前述の検討に加え補正前の値および IAEA による添加値をまとめたものである。この結果から、各々の検討による算出値は添加値と不確かさの範囲内で一致した。以上のことから、面線源を検出器直上で測定するという、サム効果の影響が大きくなる条件に対しても、数値計算モデルによるサム効果補正が有効であることが確認できた。

なお、本検討は原子力規制庁委託費 (環境放射能水準調査) 事業の成果の一部である。

【参考文献】

- 1) Blaauw, Menno. "The use of sources emitting coincident γ -rays for determination of absolute efficiency curves of highly efficient Ge detectors." Nuclear Instruments and Methods in Physics Research, Section A; (Netherlands) 332.3 (1993).
- 2) 山田崇裕, 石津秀剛, 高野直人, 加算同時計数効果を用いた Ge 検出器の計数効率関数決定法, 第 51 回アイソトープ・放射線研究発表会要旨集, 50 (2014)
- 3) 日本アイソトープ協会理工学部会次世代スペクトル解析専門委員会, RADIOISOTOPES, 65, 267 - 285 (2016)

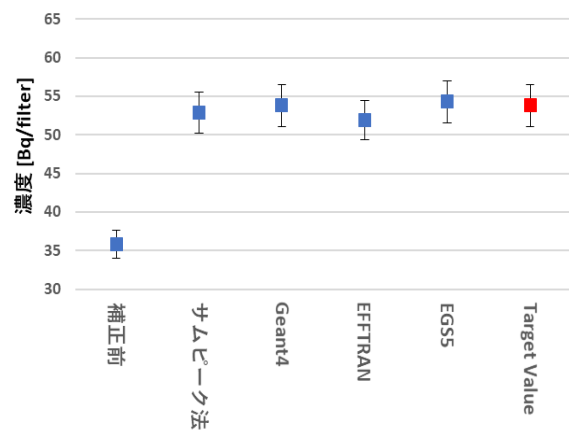


図 1 補正前の結果と各補正方法による濃度、および IAEA による添加値 (Target Value)

原子力規制委員会が定めている原子力災害対策指針において、走行サーベイは緊急時における空間放射線量率を測定するためのモニタリング手法の一つとして位置付けられている。走行サーベイは機動力を活かし、地点が固定されたモニタリングポストのデータを補完する上で、航空機モニタリングと並び有効な手法であり、東京電力福島第一原子力発電所事故後に実施されているモニタリングにおいては、種々の走行モニタリングシステムが開発され、原子力施設を監視するためのモニタリングを実施している地方自治体を中心に活用されている。また、取得したデータは住民に対する防護措置（避難等）の実施の判断等に用いられることから、その測定結果の取扱いは非常に重要である。

我々は原子力規制庁委託事業において、今後、国及び地方自治体が走行モニタリングシステムを調達する際や使用する際の技術的な情報を取得することを目的として、各メーカーより市販され種々存在する走行モニタリングシステムについて、我が国の緊急時モニタリングを含む環境放射線モニタリングの目的を達成するために必要な機能を備えているか等を確認するための調査を実施した。

その調査の中で、走行モニタリングシステムの特性を把握するために、種々の走行モニタリングシステムの比較測定を実施したので、本発表ではその成果について報告する。

比較測定には、2019年度時点で自治体が導入していた3つの走行モニタリングシステム（KURAMA-II、ラジプローブ、RAMPU）を使用した。それらの性能及び特性の違いが空間放射線量率等の走行サーベイ結果に及ぼす影響を把握する事を目的として、これらを同一車両内に並べて設置し、福島県内（帰還困難区域内を含む）、茨城県内及び千葉県内における走行サーベイ（同時測定）を行い、測定結果を比較した。

各走行モニタリングシステムの測定結果は、空間放射線量率の変化傾向については概ね同等であったものの、空間放射線量率の絶対値には若干の差が見られる場合があった。これは、各走行モニタリングシステムに使用している検出器のエネルギー特性等が影響していると考えられた。

車内に走行モニタリングシステムを設置する場合には、車体によるγ線の遮へいを考慮して車外における空間放射線量率に補正する必要があるが、別途評価した車内外補正係数による補正を実施することで、各走行モニタリングシステムの結果が同程度になることを確認した。

結論として、本調査において比較測定に使用した3つの走行モニタリングシステムは、緊急時モニタリングを実施するための要件を満たしていることを確認することができた。

本発表は、原子力規制庁委託事業である令和元年度放射線安全規制戦略的推進事業費（種々の走行モニタリングシステムに係る技術的仕様の調査）の成果の一部である。

Comparative measurements of ambient dose rate measured by various car-borne survey system
OTSUKI, T., SUGIYAMA, M., TANAKA, H., OHTA, Y., ISOGAI, K.

1P09

負ミュオンによる非破壊イメージングに向けた 2 mm 厚 CdTe 半導体二次元検出器の開発

(阪大 IRS¹、Kavli IPMU²、東大理³、JAXA⁴)○邱奕寰¹、二宮和彦¹、武田伸一郎²、桂川美穂²、南喬博^{3,2}、長澤俊作^{3,2}、高橋忠幸²、渡辺伸⁴

【緒言】 近年、ミュオンビームを用いたミュオン特性 X 線測定による元素分析法の開発が進んでいる。この方法にイメージング検出器を適用することで、三次元的な元素分析が可能になると期待される。本研究では、ミュオンによる非破壊元素イメージングの実現のために、エネルギースペクトルとイメージを同時に測定できる CdTe 両面ストリップイメージング検出器(CdTe-DSD)の開発を行った。これまで 750 μm 厚の CdTe-DSD について報告があるが[1]、高いエネルギーのミュオン特性 X 線に対して高い検出感度で測定するために、今回 2 mm 厚の CdTe-DSD を開発した。厚い CdTe 結晶を使うと X 線の吸収効率が高くなるが、内部に生成した電荷キャリアが両側の電極までに移動する途中での再結合の寄与が大きくなり、エネルギー分解能が低下する。そこで、本発表では開発した 2 mm 厚の CdTe-DSD に対して、検出器の性能を線源で評価し、エネルギーの再構成に新たなアルゴリズムを導入したため、その開発状況について報告する。

【実験】 本研究で開発した CdTe-DSD の写真を図1に示す。大きさ 32×32 mm² で 2 mm 厚の CdTe 半導体検出素子は右上に設置し、両面に電極が 128 本ずつついており、周りに 8 枚 ASIC はデータの読み出しシステムとして使用した。我々は点線源の ⁵⁷Co、²⁴¹Am、¹³³Ba を利用して、2 mm 厚の CdTe-DSD の各チャンネルの長時間の測定データを取得した。さらに、X 線テストチャートを用いて、イメージングを行うことで空間分解能も評価した。

【結果と考察】 図2に ⁵⁷Co で取ったエネルギースペクトルを示す。赤線と青線は陰極(Cathode)と陽極(Anode)でのエネルギースペクトルである。陰極から得られたスペクトルでは、良好なエネルギー分解能のピークが得られているのに対し、陽極では正孔の移動度が低く、再結合の影響が大きいため、低エネルギー側に Tail 成分が存在している。我々は両側の信号の相関性を分析し、エネルギー情報を再構築する新たなアルゴリズムを開発した。再構成したエネルギースペクトルは黒線で示されており、122 keV のところにエネルギー分解能(FWHM)は 2.42 keV と評価した。

[1] 邱 奕寰 他、日本放射化学会第 64 回討論会(2020) 2B06

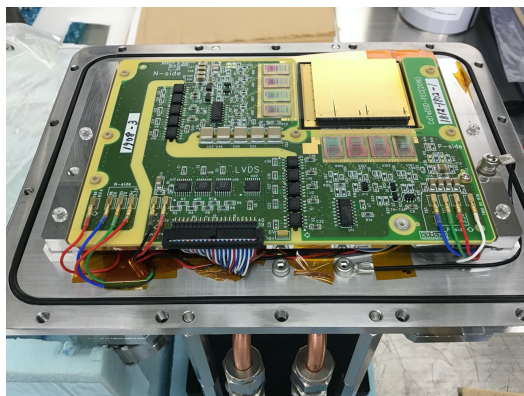


図 1 : 開発した 2mm CdTe-DSD の写真

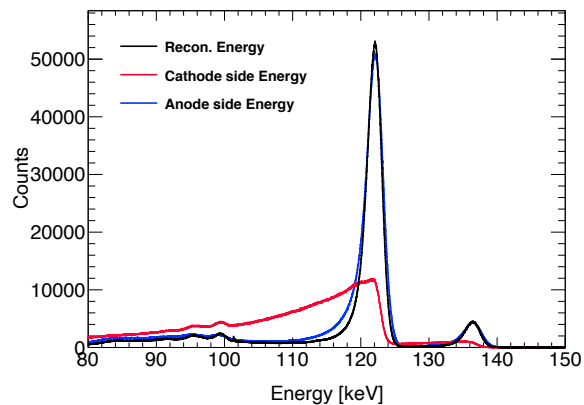


図 2 : ⁵⁷Co 線源によるエネルギースペクトル

Development of non-destructive image method using negative muon with 2mm CdTe Double-sided Strip Detector.

Chiu I., Ninomiya K., Takeda S., Katsuragawa M., Minami T., Nagasawa S., Takahashi T., Watanabe S.

Self-Assembly of Nanosheet Supported Fe-MOFs Heterocrystal as Reusable Catalyst for Boosting Advanced Oxidation Performance via Radical and Nonradical Pathways

(Tokyo Metropolitan University ¹, Dalian Institute of Chemical Physics, Chinese Academy of Sciences ², Sheffield Hallam University) ○ Bofan Zhang¹, Liang Zhang², Kazuhiko Akiyama¹, Paul A. Bingham³, Shiro Kubuki¹

【Introduction】 The heterogenous photo-Fenton reaction as an efficient advanced oxidation process (AOP) has been widely used in environmental purification applications^[1]. Over the past decade, metal-organic frameworks (MOFs), three-dimensional porous crystals assembled from inorganic metal nodes and rigid multitopic organic links, have brought novelty to the field of porous materials toward wide applications. Moreover, Bismuth oxyhalide semiconductors, including BiOI, BiOBr and BiOCl, composing of [Bi₂O₂] layers and interleaved by double halogen slabs, been commonly used as photocatalysts. Herein, a possible modulation of band structure by fabricating a novel BiOX (X=I,Br,Cl)/MOF-Fe (BMFe) heterojunction could prove beneficial for utilizing more active centers and efficiently separating charge carriers.

【Experiment】 Synthesis of Fe-MOF catalysts, including MIL-53(Fe), MIL-101 and MIL-88 using a solvothermal method; synthesis of BiOI/MIL-88A(Fe), BiOI/MIL-101(Fe), BiOBr/MIL-53(Fe) and BiOCl/MIL-53(Fe) via a one-step coprecipitation method; XRD, FTIR, TEM, SEM, UV-vis diffusive reflectance spectra (DRS), ⁵⁷Fe Mössbauer spectra and the total organic carbon (TOC) were measured for characterization of synthesized samples.

【Results and discussion】

X-ray diffraction of BiOI/MIL-53(Fe) matched well with the corresponding materials (BiOI and MIL-53(Fe)), indicating the successful synthesis of BiOI/Fe-MOFs composites. The photo-Fenton catalytic activity was firstly evaluated by decomposing methylene blue under visible light irradiation with addition of H₂O₂. The removal rate of carbamazepine over BMFe catalyst reached approximately 100% after 15 min. The degradation efficiency as significantly enhanced compared with pure BiOI and MIL-53(Fe). Through the direct

Z-scheme charge pathway, the photogenerated e⁻ tend to migrate from the conduction band (CB) of Fe-MOF to the valence band (VB) of BiOI via a solid/solid heterointerface until in equilibrium. The spatially separated e⁻ in the CB of BiOI and h⁺ in the VB of MIL-53(Fe) can efficiently reduce O₂ to •O₂⁻/HO₂• and oxidize H₂O to •OH, respectively, which is consistent with the radical scavenging results. The Z-type feature significantly enhances the carrier transfer efficiency and thus improves the removal rate of pollutants by BMFe catalyst.

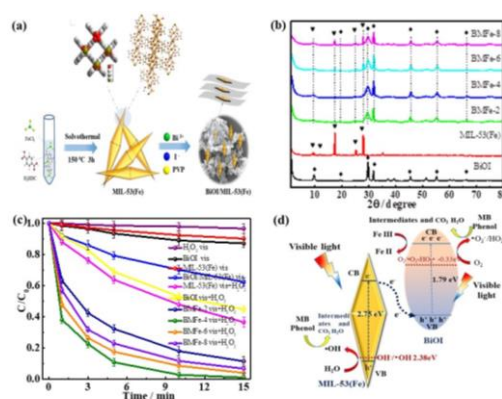


Figure 1. (a) BMFe catalyst synthetic process, (b) XRD pattern, (c) MB degradation, (d) Catalytic mechanism of Z-scheme heterojunction

[1] H. Zhang, *et al.*, Applied Catalysis B: Environmental, 270 (2020).

1P11

Schiff塩基を有するウラニル(VI)三核錯体の合成と酸化還元

(¹ 阪大院理、² 阪大放射線機構 RI セ) ○ 福村希翔¹、永田光知郎²、吉村崇²

【緒言】ウラニル(VI)は脱水縮合反応が容易に進行し、オキシドまたはヒドロキシド架橋の多核錯体を形成することが知られている。この形のウラニル(VI)多核錯体は、水溶液中では pH の変化によって様々な構造に変化するため、非常に複雑である。そこで、ウラニル(VI)多核錯体の構造と反応性を詳細に調べるために、多核錯体のいくつかのサイトを多座配位子でブロックした三核錯体を合成し、その中央に位置するオキシドのプロトン付加-脱離反応の定量的評価とこの反応に伴う分子全体の構造変化を特定した^[1]。今回、酸化還元反応性を調べるために図 1 に示す MeSaxH₂ が脱プロトン化した MeSax²⁻が配位したウラニル(VI)三核錯体を合成、構造を特定するとともに、その酸化還元挙動を調べた。

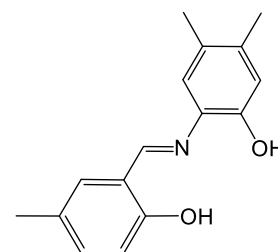


図 1. MeSaxH₂

【実験】UO₂(NO₃)₂・6H₂O に 1 等量の MeSaxH₂、3 等量の Et₃N を加えて、ジクロロメタン/ヘキサンでレイヤー再結晶することで(Et₃NH)₂[(UO₂)₃O(MeSax)₃]を得た。この化合物について、単結晶 X 線構造解析、¹HNMR、IR スペクトルを測定して同定した。

【結果と考察】得られた新規錯体の構造及びウラニル(VI)周囲の構造を図 2 及び 3 に示す。結晶中には 3 核ウラニル(VI)錯体と 2 つのトリエチルアンモニウムイオン及び溶媒分子が存在していた。3 核ウラニル(VI)錯体においては、3 つのウラニル(VI)が 3 角形を形成する形で位置している。MeSax²⁻は N 原子と O 原子で一つのウラニル(VI)をキレートし、さらに MeSax²⁻中のもう一つの O 原子が隣接するウラニル(VI)を架橋する構造をとっており、計 3 分子の MeSax²⁻が錯体中に存在している。錯体の中心にはオキシドが位置し、3 つのウラニル(VI)を架橋した構造をとっていた。U-(μ₃-O)-U の平均結合角は 116.4° であり、この値は、オキシドが sp² 混成軌道の角度に近い値(sp²: 120°)をとっていることが分かった。得られた錯体の酸化還元特性については、当日報告する。

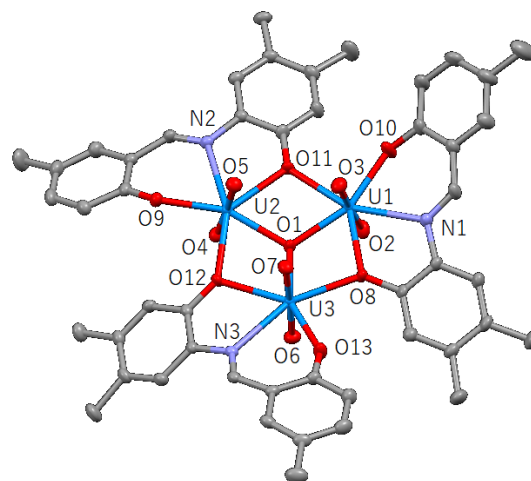


図 2. 新規錯体の構造

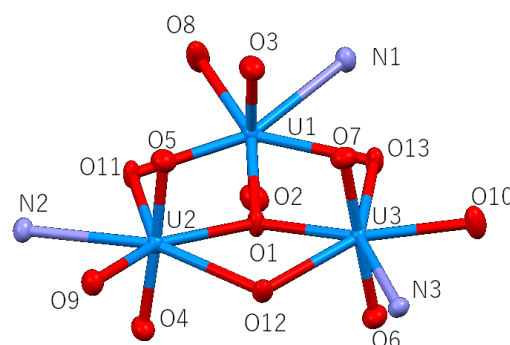


図 3. 新規錯体のウラニル周囲の構造

[1] T. Yoshimura, M. Nakaguchi, K. Morimoto, *Inorg. Chem.* **56**, 7, 4057-4064 (2017).

Synthesis and redox property of uranyl (VI) trinuclear complex with Schiff base ligand Fukumura, K, Nagata, K, Yoshimura, T.

【緒言】 再生可能エネルギーの普及に伴い過剰電力の貯蔵媒体としての二次電池に高い関心が寄せられている。バナジウム・レドックスフロー電池 (VRFB、図 1) [1]は電力貯蔵用二次電池の有力候補として国内外にて広く研究・実用化されている。VRFB は正極及び負極の活物質に単一元素のバナジウムを用いるため、隔膜を介したバナジウムイオンの膜透過による電流効率の低下、自己放電という課題を有する。近年、課題解決のためのイオン交換膜研究が世界中で盛んに行われているが、両極同一元素であるため膜透過の原因 (拡散、電気泳動、電気浸透) 解明に一般的な元素定量法 (ICP-AES を用いた濃度測定など) を適用することが困難である。これまでに我々は、放射性バナジウム ^{48}V を元素プローブとすることにより VRFB の膜透過を直接観察する手法を確立した[2]。昨年は、4つの酸化状態 (V^{2+} , V^{3+} , VO^{2+} , VO_2^+) について、それぞれの拡散による膜透過挙動を既知の手法 (対極側に硫酸マグネシウムを用いる) により評価した。本研究では、VRFB 構成で陽イオン交換膜 (Nafion 117)、陰イオン交換膜 (Selemion APS) における各酸化状態のバナジウムイオンの拡散による膜透過を評価した。

【実験】 東北大学電子光理学研究センターの直線加速器を用いた制動 γ 線照射により ^{48}V を製造し、LN レジンを用いたカラムクロマトグラフィーによる精製を行った。精製後の ^{48}V を含む硫酸バナジウム溶液を用い、VRFB における膜透過を Ge 半導体検出器による ^{48}V の定量により評価した。価数不安定性を配慮して、実験装置は窒素ガスを流したグローブボックス内に設置した (図 2)。

【結果】 陽イオン交換膜 (Nafion 117) における VO_2^+ の膜透過を対極室側に V^{3+} または V^{2+} を配して測定 (図 3) することにより、VRFB の放電状態正極活物質の膜透過が評価できた。同様に、 VO_2^+ 、翻って V^{2+} 、 V^{3+} についても同様の実験を行い、VRFB 構成での拡散による膜透過を考察した。

[1] E. Sum, M. Skjllas-Kazacos, J. Power Sources, 15 (1985) 179.

[2] K. Shirasaki, T. Yamamura, J. Membr. Sci., 592 (2019) 117367.

VRFB membrane permeability tests using radiotracer ^{48}V (2)
SHIRASAKI, K.

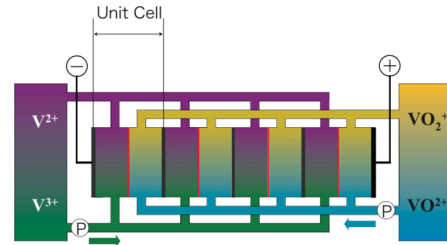


図 1. VRFB の概略図

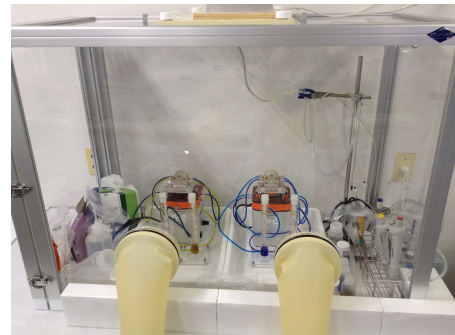


図 2. 膜透過測定の様子

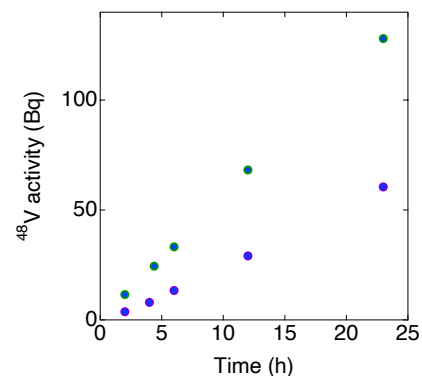


図 3. V(IV)→V(III): 緑, V(IV)→V(II): 青の膜透過評価 (Nafion 117)

単一微粒子質量分析計を用いたアルファ微粒子即時検知法の検討

(阪大放射線機構¹、阪大リノ²、阪大院理³、京大複合研⁴、阪大院工⁵、大山青山大⁶) ○豊嶋厚史¹、古谷浩志^{2,3}、寺本高啓¹、永田光知郎¹、床井健運³、高宮幸一⁴、牟田浩明⁵、吉村崇¹、豊田岐聡³、篠原厚^{1,6}

【緒言】 福島第一原発に残る燃料デブリはその状況や性状について不明な点が多く、慎重に取出し作業を進める方針で準備が進められている。燃料デブリは小さく切断し、専用容器に収納する事が想定されているが、切削の際には α 線放出核種を含む放射性の微粒子(アルファ微粒子)が生じる事が懸念されている。我々はアルファ微粒子が炉外環境に漏出し、作業者が内部被ばくする事を防ぐため、単一微粒子質量分析計(ATOFMS)を用いたアルファ微粒子の即時検知法を検討している。本研究では、その実現性検証のために、ウランを含む模擬固体試料と模擬液体試料から模擬アルファ微粒子を発生させ、ATOFMSを用いたオンライン検出実験を行った。

【実験】 模擬燃料デブリ試料として、 UO_2 顆粒および ZrO_2 粉末から熱処理や放電プラズマ焼結法により U と Zr 比率の異なる 4 種類の $\text{U}_{1-x}\text{Zr}_x\text{O}_2$ ($x=0.1, 0.5, 0.84, 0.975$) 試料を合成し、XRD 測定により結晶構造を評価した。また、模擬溶液試料として 3 種の $[\text{UO}_2(\text{CO}_3)_3]^{4-}$ 溶液を調製し、吸収スペクトルにより生成物を評価した。次に、アブレーションを行うための照射チェンバーを製作し、レーザー照射するための光学系を調整した。また、液体試料から固体エアロゾルを製造するため、アトマイザーと拡散ドライヤーを用いたエアロゾル生成装置を製作した。これらの装置を用いて模擬燃料デブリ試料ならびに模擬ウラン溶液試料から模擬微粒子を製造し、ATOFMS に連結して微粒子のオンライン質量分析を行った。

【結果と考察】 いずれの固体試料の質量スペクトルにおいても、同じ m/z に正イオンならびに負イオンピークが観測された。正イオンには m/z 230–270 程度に UO_2 起源の U^+ 、 UO^+ 、 UO_2^+ イオン種が、負イオンには UO^- 、 UO_2^- 、 UO_3^- 、 UO_4^- 、 U_2^- 、 U_2O^- 、 U_2O_6^- 、 U_2O_7^- などが観測された。一方、液体試料では、正イオンには固体試料の場合とほぼ同じイオン種が観測された。負イオンでは、 $\text{U}(\text{H}_2\text{O})^-$ 、 $\text{UO}_2(\text{H}_2\text{O})^-$ 、 $\text{UO}_2(\text{OH})^-$ 、 $\text{UO}_3(\text{OH})^-$ など、水分子や OH が配位したイオン種が観測された。このように ATOFMS を用いて模擬微粒子中のウランを検出することに成功した。観測されたウラン由来イベントから、現在の ATOFMS を用いた ^{238}U の検出下限を評価した結果、 $\sim 10^{-10}$ Bq/cm³ である事がわかった。この値は、アルファ微粒子で最も懸念される ^{239}Pu に対して $\sim 10^{-5}$ Bq/cm³ に相当する。核種を識別可能な即時検知法としては十分低い値と考えられるが、より感度を増加できるように、現在さらなる検討を進めている。

【謝辞】 本研究は、日本原子力研究開発機構廃炉国際共同研究センターが実施する「英知を結集した原子力科学技術・人材育成推進事業」共通基盤型原子力研究プログラム(R1-R2 年度)の支援を受け実施しました。

特別講演

9 月 23 日（木）

2S01

受賞講演

9 月 23 日（木）

2S02

【はじめに】重元素を含む分子や原子核近傍の電子状態においては、相対論効果が顕著となり、相対論的量子力学の導入が必要となる。発表者はこれまで Dirac 法を用いた電子状態理論計算のプログラム開発を行っており、それを応用して、重元素における同位体分別(核体積効果)^{1,2,3}や CP(電荷・パリティ)対称性破れを示す核のシッフモーメントの理論的研究⁴を行ってきた。また最近非相対論ではあるが、⁷Be の電子捕獲壊変(EC壊変)⁵について、放射壊変を早める分子の探査を理論計算から行った。本発表では電子と原子核の相互作用に関連するこれら3つの研究に対し、最新の成果を報告する。

【同位体分別における核体積効果】重元素同位体の場合、化学平衡で生じた同位体分別の主要な原因が、同位体間の原子核の大きさの差に起因した、同位体分子間の電子状態の違いにあることが分かっている。発表者はこれまで、ウラン還元反応での同位体分別係数の実験値が、有限核モデルを用いた相対論的な *ab initio* 計算によって再現可能であることを報告してきた^{1,2}。最近ではこの計算手法を、バクテリア酵素によるウラン還元反応の同位体分別に応用し、反応機構の解明を試みている³。

【核のシッフモーメント】CP 対称性破れは、現在の宇宙の粒子・反粒子の非対称性を説明するために重要である。原子・分子を用いた CP 対称性破れを観測する実験は、半世紀以上に渡って試みられている。有意な値は未だ得られていないが、実験精度は年々向上し、新たな観測に期待が高まっている。閉殻系原子・分子で観測されうる CP 対称性破れに、核のシッフモーメントがある。これは核子間の CP 対称性を破る相互作用によって、原子核電荷の分布が球対称からずれることで生じるモーメントである。シッフモーメントの決定には実験観測以外に、原子核や電子の波動関数から理論値を計算する必要がある。発表者らは近年、電子状態に起因する理論値を求めるための、高精度な相対論的電子相関プログラムを開発し、観測候補分子である TIF 分子に適応した⁴。

【電子捕獲(EC)壊変】EC 壊変では、核上の電子密度 $\rho(0)$ と壊変寿命に反比例の関係があるため、物理的・化学的变化によって壊変速度が制御可能になる。実験で報告されている⁷Be の EC 壊変においては、C₆₀フラーレン内包中で、金属 Be よりも 1.5% 寿命が短くなっていた。さらに短い寿命を持つ分子系がないか理論計算で探査したところ、通常分子では Be の閉殻 2s 電子が化学結合によって他原子に流入し、 $\rho(0)$ が減少してしまうことがわかった。一方、結合を作りにくい希ガス結晶中に⁷Be をドーブし、高圧下で格子定数を小さくすることで、 $\rho(0)$ が増加する可能性があることを提案した⁵。

1. M. Abe, T. Suzuki, Y. Fujii, and M. Hada, *J. Chem. Phys.* **128**, 144309, 2008.
2. M. Abe, T. Suzuki, Y. Fujii, M. Hada, and K. Hirao, *J. Chem. Phys.* **129**, 164309, 2008.
3. A. Sato, R. Bernier-Latmani, M. Hada, and M. Abe, *Geochim. Cosmochim. Acta.* **307**, 212-227, 2021.
4. M. Abe, T. Tsutsui, J. Ekman, M. Hada, B. P. Das, *Mol. Phys.*, **118** (23), e1767814, 2020.
5. A. Yoshida, M. Abe, and M. Hada, *J Phys. Chem. A*, **125** (29), 6356-6361 2021.

Three theoretical studies related to electron and nucleus interactions
ABE, M.

【緒言】 いまでこそ便利な中性子源や高エネルギー分解能ガンマ線測定装置が利用でき、ある程度汎用性ある元素分析法として利用されている中性子放射化分析 NAA であるが、NAA の創始者として記憶される Hevesy の時代には想像を超える壁があったであろうことは想像に難くない。その後幾多の研究者・技術者の努力があり、すくなくからぬ高度化が達成されたが、ゲルマニウム半導体ガンマ線検出器の普及と k_0 標準化法の開発により NAA の高度化が一段落したように思われる。その意味で、講演タイトルの「高度化」は必ずしも適切な表現ではないことをお断りさせていただきたい。講演者は上記の“真の”高度化の後、NAA は分析法としての研究対象から、応用分野での重要性を主張する(すべき)時代に入ったと認識している。とは言っても、講演者自身、分析法としての NAA を主題とする論文を少なからず発表してきたのは事実である。ほとんどの論文が、NAA で得られたデータを利用して議論したい課題があり、そのために行った研究をまとめたもので、正面切って NAA の高度化と言いかねるのはそこにある。付け加えれば、NAA のデータで議論したいのは地球化学、宇宙化学的課題であり、そうした経緯を踏まえての演題であると理解していただければと思う。

【実験】 講演者が長年、NAA を用いて研究を行ってきた最大の理由は分析結果が正確である点につきる。その特徴は放射化学的分離操作を伴う放射化分析 RNAA で最大限発揮されるので、そのための工夫はいくつか行ってきた。RNAA の特徴は定量分析の2つの誤差要因である化学操作中での分析対象元素 (analyte) の損失 (マイナスの誤差要因) と外部からの汚染 (プラスの誤差要因) の両方を回避できる点にある。そのために、放射化した試料から analyte を分離する前に一定量の担体を加える。上記の誤差要因を除くためには、核反応によって生じた放射性核種と担体中の安定核種が同位体平衡になることが必須条件で、固体試料の RNAA ではアルカリ溶融を行うことで容易に達成できる。化学分離操作は目的元素に応じてデザインする余地があり、この段階で分析法の改良は可能であるが、これが分析法の高度化といえるかどうか。RNAA は化学収率の測定で完結するが、機器中性子放射化分析 INAA として行う再放射化法の簡便さは放射化学の経験のない分析者にとってはなかなか理解できないかもしれない。

【結果と展望】 RNAA で定量対象とした主な元素(群)は希土類元素 (REE) とハロゲン元素で、その他、K, In, Zr, Hf, U の定量も行った。どれも宇宙・地球化学の議論を展開するためであるが、その後、In を含む揮発性元素と REE については ICP-MS に引き継がれた。ハロゲン元素は大学院以来、現在まで付き合っている元素であるが、分析も含めて奥が深く、当初の目的を遂げるには時間が足りそうもないのが残念なところである。世の中 NAA としては INAA が主流であるが、この INAA の高度化という点で、最近非常に注目すべき成果が JAEA の藤暢輔さんのグループによって発表された。J-PARC の物質・生命科学実験施設 MLF に設置された中性子核反応測定装置 ANNRI を用いて、使用済み核燃料中の代表的難定量核種 ^{107}Pd や ^{99}Tc を非破壊で定量する手法が確立された。ある意味で RNAA とは対極に置かれるものであるが、高選択性、高感度、高確度な手法である点で共通している。今後の応用展開に期待したい。

Advancement of activation analysis and its application to geo- and cosmo-science researches
EBIHARA, M.

一般講演

9月23日（木）

2K01-2K08

2K01

中性子放射化分析法による赤城大沼湖水中の安定 Cs と微量元素の定量 (都市大原研¹, 群馬水試²)○岡田往子¹, 熊谷尚人¹, 渡辺峻², 鈴木究真²

【緒言】群馬県赤城山にある赤城大沼は、2011年の福島第一原子力発電所の事故により、放射性 Cs の汚染が確認された。我々は8年前から調査を行っているが、湖水や生息するワカサギの放射性 Cs 濃度の減少は非常に緩慢になっている。その原因を究明するために、昨年は中性子放射化分析 (INAA) で湖底堆積物や植物プランクトンを分析し、報告した。本年は INAA で、湖水中の微量元素を分析し、これらの結果から、湖内の放射性 Cs の移行と微量元素との関連を導くことを目的とする。

【実験】2018年と2019年に水深0m, 8m, 15mでサンプルを採取した。採取後すぐに、0.45 μm メンブランフィルターでろ過した溶存態試料と未処理のバルク試料の2種類とした。約500mLを凍結乾燥した27試料(乾燥試料約1mg~2mg)と比較標準物質(JLK1-1, NIES8)はKUR Pn3(熱中性子束: $4.68 \times 10^{12} \text{ n cm}^{-2}$)で30秒間照射し、約5分間の冷却後、γ線測定を行った。また、Pn2(熱中性子束: $5.5 \times 10^{12} \text{ n cm}^{-2}$)で1時間照射した後、7日と14日間の冷却を行い、γ線測定を行った。解析は、ガマスタジオ(SEIKO EG & G Co)を用いて行った。粒子態の分析値は、バルク試料の分析値から溶存態の分析値を差し引いて求めた。

【結果】湖水バルク試料中で17元素(Al, Mg, Mn, Na, Fe, V, Ca, K, Sc, Cr, Co, Zn, Rb, Sb, Cs, Ba, Ce)を定量した。

すべてのバルクと溶存態試料で Cs と Rb が検出された。Fig.1 は、湖の水深0, 8, 15mにおける粒子態と溶存態中の安定 Cs の濃度を示す。0m 表層では季節に関係なく粒子態に安定 Cs が一定量存在することがわかった。また、8月期の15mで溶存態安定 Cs が支配的であった。2012年からの湖水中の放射性 Cs 調査で、水深15mの深層で、夏になると溶存態の放射性 Cs 濃度が上昇することがわかっている。今回、湖水中の安定 Cs についても同様の結果が得られた。赤城大沼では、夏季に湖底内に水温躍層が形成され、表水層と深水層に分かれる。深水層では酸素欠乏現象が起こる。本研究では、2018年8月で15mのFe濃度はバルクで1.15mg/L、溶存態で0.768mg/Lであった。これらの結果から、夏場の深層水は還元状態にあることが示唆された。この還元状態は、安定 Cs の増加にも関係していることが示唆された。

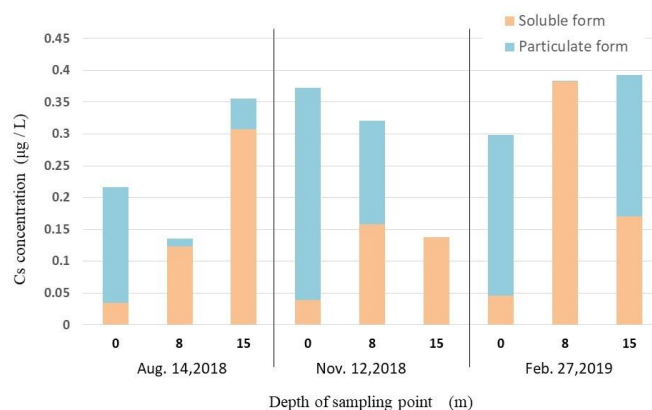


Fig. 1 Stable cesium concentration in lake water of Lake Onuma

Determination of stable Cs and trace elements in lake water of Lake Akagi Onuma by neutron activation analysis

Okada, Y., Kumagai, N., Watanabe, S., Suzuki, K.

2K02

k₀-IAEA ソフトウェアを用いた k₀ 標準化中性子放射化分析-評価と応用-

(都立大理)○杉崎史都、大浦泰嗣

【緒言】 機器中性子放射化分析法 (INAA) では通常未知試料と同時に標準試料を照射し、定量元素の生成放射能比から定量を行う比較法が用いられる。比較法は原理が簡単で正確な定量値が得られる一方、定量したい元素の標準試料を同時に照射しなければ検出できても定量できないという欠点がある。これに対し k₀ 標準化法は各元素の k₀ 値と照射場と検出器の特性をあらかじめ決定することで、一元素の標準試料を同時に照射するだけで、検出された全元素の定量を行うことができる。k₀ 法の計算は一般的にソフトウェアを用いるが、本研究は国際原子力機関 (IAEA) から公表されているソフトウェア "k₀-IAEA" 最新版 (ver. 8.10) を使って k₀ 法に必要な各種パラメータと試料の濃度の決定を試みた。標準試料の分析を行いその定量値を検証するとともに、応用として市販されている卵の卵殻と飲料のアルミ缶を元素分析した。

【実験】 岩石標準試料、環境標準試料、生体標準試料、k₀ 法用標準試料、粉末卵殻、アルミ片を京大原子炉 Pn-3 で 10~30 秒間、Pn-2 で 3~4 時間中性子照射し、放出される γ 線を高純度 Ge 半導体検出器にて測定した。照射場の特性は Au-Lu-Zr モニターを照射し求めた。検出器の特性を多核種混合標準線源、¹⁵²Eu 線源、¹⁵⁷Cs 線源の測定により求めた。γ 線スペクトル解析専用ソフトウェア "Hypermet-PC" で正味計数値を計算し、"k₀-IAEA" により定量を行った。また、"k₀-IAEA" により正味計数値を求め、"Hypermet-PC" による値と比較した。

【結果と考察】 検出器と試料間の距離によって定量値が変動することが確認された。このことから "k₀-IAEA" で計算される各距離での計数効率に誤りがあると考えられ、"k₀-IAEA" に入力する検出器の寸法を変更し、再計算を試みた。岩石標準試料 (JB-1a) の定量値と推奨値の比を図 1 に示すが、他の標準試料でも同様に、ほとんどの元素が推奨値と ±10% 以内で定量できた。卵殻の分析では 8 元素 (Na, Mg, Cl, K, Ca, Br, Sr, Ba) の定量値が得られた。アルミ片の分析では 21 元素 (Mn, Cr, Fe, Cu, Zn, Ga, V, Zr, La, Ce, Co, U, Hf, W, Br, Sb, Sc, As, Th, Ta, Tb) の定量値が得られた。

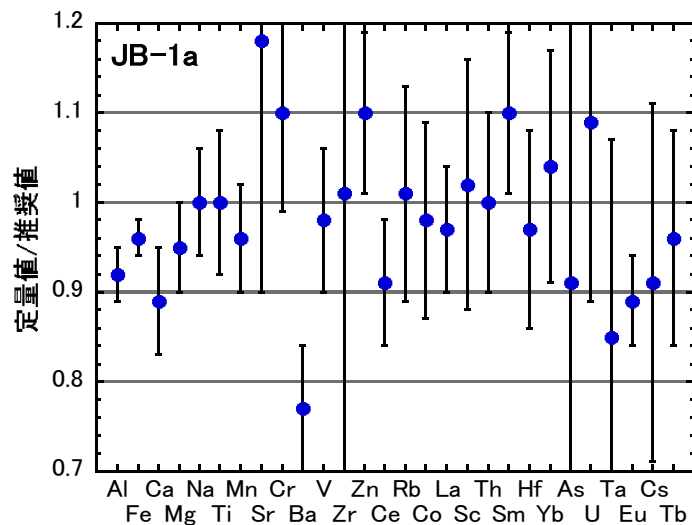


図 1 k₀-IAEA による定量値と推奨値の比

k₀-standardization neutron activation analysis using the k₀-IAEA software –evaluation and application-
SUGISAKI F., OURA Y.

【緒言】 研究炉 JRR-3 が 10 年ぶりに再稼働し、2021 年 7 月 12 日から供用運転が開始された。JRR-3 ビームホールに設置された即発ガンマ線分析装置 (PGA) は元素分析装置として優れた能力を有しており、停止期間中には多関節ロボットを導入して自動分析が可能となっている。本発表では震災後の PGA の復旧、高度化、現在の稼働状況などについて解説する。

【実験】 JRR-3 は東日本大震災で被災し、即発ガンマ線分析装置 (PGA) においてもビームストッパーが倒れるなど、かなりの被害を受けた。震災後に光軸合わせなどの復旧作業を行ったが、機器の復旧は後回しとなっていた。JRR-3 が稼働停止となったことから、その期間を利用して PGA に多関節ロボットを導入し、自動分析システムを構築した。

本年度、JRR-3 がついに再稼働し、共用運転は 7 月 12 日から開始されることとなった。しかし 10 年ぶりの再稼働とあって、PGA の機器に様々な不具合があることも判明しつつある。装置内部は遮蔽体を撤去しないと確認できなかったこともあり、目に見えなかった数々の問題点が明らかになってきた。たとえば、中性子集光導管が地震で破壊されていることが判明した。その他にもシャッターの不具合、NIM モジュールの故障、Ge 検出器の不具合、導管移動用のモータードライバの故障、ヘリウムガス配管の不良など、枚挙に暇がないほど不具合が発生している。現在においても完全な状態とはとても言えないが、懸命の復旧作業によって供用運転において分析が可能な状態にまで至ることができた。

10 年前と比較して、PGA のシステムには大きな変更がいくつか加えられている。1 つは自動分析システムであるが、このシステムには様々な機能が統合的に実装されている。各種機能のうちの一つが 2 台の He-3 検出器の計測値を LabVIEW で常時監視できるシステムであり、これにより中性子ビームの状態をモニターできるようになった。これを利用することで、測定手法に若干の修正を加えることとした。PGA の上流側に設置されている 3 本中性子導管にはヘリウムガスを入れることができるようになっていたが、10 年前まではガスを毎朝導入していた。今回、中性子ビームの状態を監視しながら導管内にヘリウムガスを導入する実験を行った。その結果、朝にヘリウムガスを導入する方法では、24 時間でヘリウムガスがかなり脱離してしまい、無視できないほど中性子フラックスが低下することがわかった。しかし非常に微量 (レギュレータの読みで 0.3 MPa/day) でもヘリウムガスを流し続けることで、高い中性子フラックスの状態を維持することがわかった。そこでヘリウムガスを常時流す方法に変更した。

測定中には試料を入れるテフロンボックス内はヘリウムガスでパージされるが、ヘリウム流量と中性子の関係もこれまでは明らかではなかった。そこでヘリウムガスの流量をマスフローコントローラで制御しながら中性子フラックスの関係を測定したところ、ボックス内部の酸素濃度と中性子フラックスおよび中性子の散乱量の相関も明らかとなった。

2K04

JRR-3 即発ガンマ線分析装置を用いた軽元素分析

(産総研物質計測¹、原子力機構²、東大工³)

○三浦勉¹、松江秀明²、大澤崇人²、神野智史³

【緒言】原子核に中性子が捕獲される際、捕獲反応後 10^{-14} 秒以内で γ 線が放出される。この即発 γ 線を測定する分析法は中性子誘起即発 γ 線分析法 (neutron-induced prompt gamma-ray analysis; PGA) であり、固体試料中の水素、ほう素、けい素等の軽元素を非破壊で定量できる優れた分析法である。本発表では、これまで JRR-3 に設置された PGA 装置で実施した難分解性試料であるセラミックス中のほう素¹⁾、けい素²⁾測定の実績を報告する。

【ほう素測定用試料】認証標準物質 BAM-S003 炭化けい素, NMIJ CRM 8004-a 窒化けい素を分析試料とした。ほう素分析に 100 mg から 300 mg を用いた。ほう素標準液は電量中和滴定で純度を確定した高純度ほう酸を、石英ビーカー中で、超純水製造装置で調製した超純水 ($[B]: < 10 \text{ ng g}^{-1}$) で溶解して調製した。ACROS Organics 製 ND_4Cl (98+atom%D) を内部標準物質として全試料に添加した。比較標準試料は和光純薬製金属けい素に ND_4Cl 、ほう素標準液を段階的に添加して作成した。

【けい素測定用試料】認証標準物質 JCRM R 003 窒化けい素を分析試料とした。けい素分析には約 300 mg を用いた。けい素測定では、和光純薬製金属 Si を既知量添加する標準添加法を用いた。また内部標準物質として NMIJ Cd 標準液を全試料に添加した。

【測定】膜厚 25 μm の FEP フィルムで溶封した試料をテフロン糸で試料台に固定し、JRR-3 熱中性子ビームポートに設置された PGA 装置によって He 雰囲気中で 1 試料当たり 1000 秒から 6000 秒の間、即発 γ 線を測定した。ほう素測定では中性子ビームを集束させ、熱中性子束密度: $5.7 \times 10^8 \text{ n cm}^{-2} \text{ s}^{-1}$ で、けい素測定では熱中性子束密度: $1.6 \times 10^8 \text{ n cm}^{-2} \text{ s}^{-1}$ で照射し、即発 γ 線を測定した。ほう素の測定では B (478 keV) と内標準 Cl (1600 keV) のピーク強度から、けい素測定においては Si (1273 keV、2092 keV、3539 keV) と内標準 Cd (559 keV) のピーク強度から、それぞれ検量線を作成しほう素、けい素を定量した。

【結果】ほう素定量値として BAM-S003: $(63.3 \pm 3.0) \text{ mg/kg}$ ($k=2$), NMIJ CRM 8004-a: $(13.0 \pm 0.64) \text{ mg/kg}$ ($k=2$) が得られた。BAM-S003 分析値は、複数試験所が参加した共同分析法で決定された認証値 $(63 \pm 7) \text{ mg/kg}$ ($k=2$) と非常に良く一致していた。また、JCRM R 003 のけい素測定値 $(59.59 \pm 1.4) \%$ ($k=2$) も、10 試験所による重量分析値から決定された認証値 $(59.55 \pm 0.55) \%$ ($k=2$) と一致していた。難分解性試料であるセラミックス中のほう素、けい素分析結果から、非破壊分析法としての PGA の有用性が実証できたと考えている。

【今後の計画】鉄鋼、非鉄金属業界で広く普及している水素分析装置 (不活性ガス融解-熱伝導度検出) で測定が困難な亜鉛等の低融点金属中の水素分析には PGA が有効な可能性が高い。今後は PGA による高純度金属亜鉛に含まれる低濃度水素の分析能力の評価を進める。

1. T. Miura, H. Matsue, T. Kuroiwa, K. Chiba, *J. Radioanal. Nucl. Chem.*, 278, 653-656, 2008.

2. T. Miura, H. Matsue, *Nucl. Eng. Technol.*, 48, 299-303, 2016.

2K05

塩素の土壌-土壌溶液間分配係数について

(量研機構¹、原子力発電環境整備機構²) ○田上恵子¹、澁谷早苗²、
浜本貴史²、石田圭輔²、内田滋夫¹

【緒言】塩素-36は溶液中において陰イオンで存在し、地殻中における易動性の高さから、塩素-36 ($T_{1/2}=3.01 \times 10^5$ y) は、放射性廃棄物処分に関わる線量評価上重要な核種となっている。塩素の土壌中の易動性を土壌-土壌溶液間分配係数 ($K_d = \text{土壌固相中濃度 [Bq/kg-dry]} / \text{土壌液相中濃度 [Bq/L]}$) で表すと、ゼロに近い値が国際的には示されているものの^{1,2)}、一部の研究では有機物を多く含む土壌は K_d が高くなると報告されている²⁾。日本の土壌については、ほとんど K_d データが取得されていないことから、どの程度の K_d の範囲か不明であった。そこで本研究では、安定元素を用いて K_d を取得して既存データと比較するとともに、土壌特性との関係について解析を行った。

【材料および方法】全国から収集した水田土壌 98 試料 (風乾、<2mm に篩別) を用いた。20 mL ポリプロピレン容器に土壌 1.0 g を分取し、超純水 10 mL を添加して 16 時間予備回転振とうを行った後、塩化物イオン標準液 (富士フィルム和光純薬、1000 ppm) を 50 μ L 添加した (3 反復)。なお土壌から Cl^- が溶出することも考慮し、無添加のコントロール試料も作成した (2 反復)。これらの溶液をさらに 3 日間回転振とうして十分土壌と接触させた後、遠心分離 (3000 rpm、10 分) で得た上澄み液を、孔径 0.22 μ m のディスポフィルターでろ過した。ろ液中の Cl^- を含む陰イオンおよび陽イオンはイオンクロマトグラフィー (DIONEX、ICS-1500) によりできるだけ速やかに定量し、電気伝導度と pH (HORIBA、LAQUA) はろ過直後に測定した。 K_d は次式により求めた。

$$K_d = \frac{\{S - (C_s - C_c) \times L_s\} / S_s}{(C_s - C_c)}$$

ここで、 C_c : コントロール試料溶液の土壌溶液中塩素濃度 (mg/L)、 C_s : 土壌に塩素をスパイクした試料の土壌溶液中塩素濃度 (mg/L)、 S_s : スパイク試料の風乾土壌重 (kg)、 L_s : スパイク試料の超純水添加量 (L)、 S : スパイク量 (mg) である。

【結果および考察】 添加した Cl^- 量の設定は、吸着等温線モデル適用範囲に収まり、コントロール土壌溶液中に観測される程度である 5 mg/L とした。今回、土壌からの溶出分を考慮して試験を行ったところ、メカニズムは不明だが添加量よりも過剰の Cl^- 濃度が検出される試料があった。全 98 試料について、 K_d の範囲は -0.7 から 1.4 L/kg であった。20 試料が K_d がマイナスとなったが、それ以外は既存データの範囲と同程度であった。総炭素量との関係 (図 1) から、有機物を多く含む土壌でも K_d は高くない可能性が示された。

本研究は原子力発電環境整備機構と量研機構の共同研究で行われた。

【引用文献】 1) IAEA, Technical Report Series No. 479, IAEA, Vienna (2010). 2) Sheppard, S.C., et al., *J. Environ. Radioactiv.* **89**, 115-137 (2006).

Soil-Soil Solution Distribution Coefficient of Chlorine in Paddy Soils
TAGAMI, K., SHIBUTANI, S., HAMAMOTO, T., ISHIDA, K., UCHIDA, S.

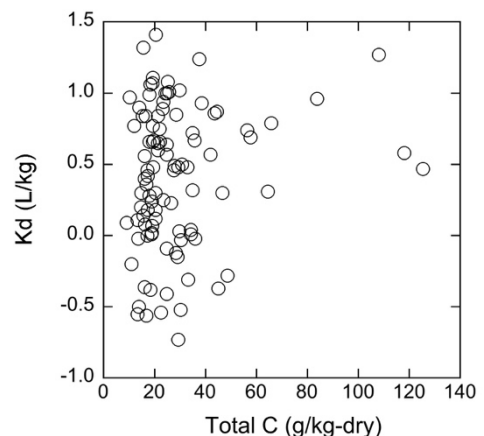


図 1 K_d - Cl^- と土壌中総炭素量の関係

2K06 EXAFS による Ra の水和状態と粘土鉱物への吸着状態の解明

(JAEA¹、東大²、阪大³)○山口瑛子^{1,2}, 永田光知郎³, 田中万也¹, 小林恵太¹, 奥村雅彦¹, 小林徹¹, 下条晃司郎¹, 谷田肇¹, 関口哲弘¹, 金田結依¹, 松田晶平¹, 横山啓一¹, 矢板毅¹, 吉村崇³, 高橋嘉夫²

【諸言】放射性元素であるラジウム (Ra) については、ウラン鉱山周辺の環境汚染問題や放射性廃棄物処理問題だけでなく、自然由来の Ra による飲料水中の基準値超過の問題も近年報告されているため、環境挙動の解明が急務である。Ra の環境挙動については、旧ウラン鉱山周辺のコア試料分析やオクロの天然原子炉周辺土壌における鉛の同位体比の分析等から、粘土鉱物への分配が示唆されている。一般に粘土鉱物への吸着反応では、イオンが水和したまま吸着する外圏錯体と脱水して吸着する内圏錯体のどちらを形成するかにより環境挙動が大きく変わることが知られているため、Ra が外圏/内圏錯体のどちらを形成するか明らかにする必要がある。しかし、Ra に安定同位体がないことや α 壊変により希ガスのラドンを生成し内部被ばくの危険性を高めることなどの取り扱いの困難さから、Ra への分光法の適用が難しいため、物理化学的に基本的な情報である水和構造でさえも、分子レベルでの解明は行われていなかった。そこで本研究では、広域 X 線吸収微細構造法 (EXAFS) を用い、Ra の水和構造及び粘土鉱物への吸着構造の世界初となる分子レベルでの解明を目指した。

【手法】測定試料は、大阪大学にて精製された Ra 溶液を用い、溶液試料及び粘土鉱物吸着試料を許認可に則って作製した。粘土鉱物には、2:1 型粘土鉱物であるバーミキュライトとモンモリロナイトの二種類を用い、EXAFS 測定は SPring-8 の RI 実験棟に位置する BL22XU で実施した。水和構造については、アナログ元素であるバリウム (Ba) も含めて、Vienna Ab initio Simulation Package (VASP) を用いた第一原理分子動力学法によるシミュレーションを行った。吸着構造については、pH とイオン強度を系統的に変えた条件での吸着実験を実施し、分配係数の pH やイオン強度への依存性も調べた。

【結果・考察】水和した Ra における第一水和圏の酸素 (O) の配位数及び Ra との距離 (Ra-O) を、EXAFS と第一原理計算によりそれぞれ求めたところ、整合的な結果が得られた。得られた Ra-O の距離は、Ra の有効イオン半径よりも約 1.4 Å 大きく、Ba などの同族元素と同様の結果となった。また、第一原理計算の結果から配位数のヒストグラムを計算したところ、Ra に配位している水分子は Ba よりも緩く配位していることが明らかになった。粘土鉱物への吸着構造について、EXAFS スペクトルの解析の結果、バーミキュライトについては内圏錯体を、モンモリロナイトについては外圏錯体を形成していることが分かった。この結果を確かめるため、Ra のバーミキュライトへの分配係数を異なる pH やイオン強度の条件下で調べたところ、分配係数における pH やイオン強度への依存性が比較的小さく、内圏錯体の形成が示唆され、EXAFS と整合的な結果を得た。これらの結果は、環境中で Ra がバーミキュライトや風化黒雲母 (バーミキュライトの前駆体) などの層状ケイ酸塩に固定されることを示唆している。

Investigation of hydration and adsorption structures on clay minerals of radium by EXAFS
YAMAGUCHI A., NAGATA K., TANAKA K., KOBAYASHI K., OKUMURA M., KOBAYASHI T., SHIMOJO K., TANIDA H., SEKIGUCHI T., KANETA Y., MATSUDA S., YOKOYAMA K., YAITA T., YOSHIMURA T., TAKAHASHI Y.

2K07

ケイ酸バリウム (BaSi₂O₅) を主成分とする Sr 吸着剤への Ba の吸脱着特性

(愛知医大¹、大阪産業大²、日立製作所³、京大複合研⁴、慈恵医大アイソトープ⁵)○小島貞男¹、緒方良至^{1,2}、加藤結花³、高宮幸一⁴、箕輪はるか⁵

【緒言】我々は、ケイ酸バリウム (BaSi₂O₅) を主成分とする Sr 吸着剤であるピュアセラム®MAq (日本化学工業社製) が海水中の放射性核種 ⁸⁹Sr、⁹⁰Sr の捕集剤として有用であることを、明らかにしてきた。また、難溶性硫酸塩が本吸着剤への吸着挙動に大きく関与していること、天然の放射性元素である Ra は全量が、放射性 Pb の多くの部分が本吸着剤に捕集されることを、明らかにしてきた。原子力災害時に本吸着剤を用いた分析を行なうためには、Ba の硫酸塩が難溶性であることから、¹⁴⁰Ba の影響を予め評価しておく必要がある。本研究では、京都大学研究用原子炉 (KUR) で中性子放射化した Ba の化合物を放射性 Ba トレーサーとして利用し、本吸着剤への Ba の吸着特性を明らかにすることを目的とする。

【実験】KUR で 20 分間照射 (Pn-2) した 79.8 mg の BaCO₃ 試料を、照射 9 日後に 1 mL の 1 M HCl に溶解し、放射性 Ba トレーサー溶液を調製した。80 mL の人工海水 (0.01 M HCl 性) に放射性 Ba トレーサー溶液 50 μL および吸着剤 32 mg を加え、2 時間振盪した。また、80 mL のイオン交換水 (0.01 M HCl 性) に放射性 Ba トレーサー溶液 50 μL、吸着剤 32 mg および 1.6 mL の 1.25 M Na₂SO₄ を加え、2 時間振盪した。吸引ろ過によりメンブレンフィルタ (0.45 μm、47 mmφ) 上に吸着剤を捕集し、乾燥後ポリ袋に封入し、γ 線測定用試料とした。ろ液は U8 容器に移し、γ 線測定用試料としたメンブレンフィルタ上に放射性 Ba トレーサー溶液 100 μL を滴下、乾燥させ面線源を作成した。また U8 容器に 80 mL の 0.01 M HCl および放射性 Ba トレーサー溶液 150 μL を加え体積線源を作成した。Ge 半導体検出器の直上に測定試料を置き、フィルタ試料、面線源については 600~1000 秒、ろ液試料、容積線源については 1800~3000 秒の測定時間で γ 線測定を行なった。

【結果および考察】面積線源および体積線源の測定では、半減期 11.5 日の ¹³¹Ba の 496.3 keV (分岐比 48%) の γ 線が最も顕著であった。それぞれの試料のピーク計数率の測定値を表 1 にまとめた。ろ液中に残存する Ba は検出限界以下であった。また、吸着剤への分配率 96% が得られた。100% より小さな値となった理由としては、吸着剤がフィルタ上に捕集された状態と、放射性 Ba トレーサー溶液をフィルタに吸収させた面線源による、幾何学的条件の相違を反映している可能性がある。以上のことから、Ba が吸着剤に定量的に吸着されたと評価して良いと見なされる。しかしながら、本実験で行なった吸着実験では、試料溶液中の Ba 濃度が約 700 mg·L⁻¹ と海水と比べて著しく高い値となっており、Ba が低濃度である天然海水と本吸着剤との吸着挙動を反映していない可能性がある。市販の ¹³³Ba トレーサーを用いることで、Ba 濃度を天然海水と同程度にした吸着実験を現在計画している。

表 1 各試料のピーク計数率およびろ液、吸着剤への Ba の分配率

測定試料	計数率/s ⁻¹	分配率/%
体積線源	11.71 ±0.06	(100%)
ろ液(人工海水)	ND	<1%
ろ液(イオン交換水)	ND	<1%
面線源	24.0 ±0.2	(100%)
吸着剤(人工海水)	11.2 ±0.1	96%
吸着剤(イオン交換水)	11.5 ±0.1	96%

Characterization of barium silicate-based adsorbent for Ba in seawater
KOJIMA, S., OGATA, Y., KATO, Y., TAKAMIYA, K., MINOWA, H.

2K08

ケイ酸バリウムを主成分とする Sr 吸着剤を用いた ^{90}Sr の測定 -子核種 ^{90}Y のチェレンコフ測定-

(大阪産業大¹、愛知医大医²、慈恵医大アイソトープ³、日立製作所⁴)

○緒方良至^{1,2}、小島貞男²、箕輪はるか³、加藤結花⁴

【緒言】 ケイ酸バリウム (BaSi_2O_5) を主成分とする Sr 吸着剤(商品名：ピュアセラム MAq®、日本化学工業・荏原製作所)は選択的に Sr を吸着する性質を有しており、我々はその性質を利用した水溶液(海水、陸水)中の ^{90}Sr の分離・定量法の開発を行ってきた。本吸着剤 100 mg で 1 mg 程度の Sr を吸着する能力がある。測定条件にもよるが、測定試料が 100 mg を超えると、吸着剤中での β 線の自己吸収の影響で定量的な測定が困難となる。そこで、 ^{90}Y と平衡状態にある ^{90}Sr 水溶液に本吸着剤を加え ^{90}Sr を吸着させ、水溶液中に分離した ^{90}Y を測定することを試みた。今回は、 ^{90}Y をチェレンコフ法で測定した場合の計数効率、バックグラウンド、検出下限放射能を報告する。

【実験】 硫酸イオン濃度 0.02 M の水溶液 40 mL に ~ 20 Bq の ^{90}Sr (同量の ^{90}Y を含む)および 80, 100, 140mg の Sr 吸着剤を加え 2 時間攪拌し、Sr を吸着剤に吸着させた。吸引ろ過により Sr 吸着剤をメンブランフィルタ(孔径 40 μm)上に捕集し、ろ液中に ^{90}Y を分離した。ろ液の一部を液体シンチレーションカクテルと混合し、汎用の液体シンチレーションカウンタ (LSC-7400、日立製作所) で測定し放射能濃度を評価した。ろ液の残りを 20mL のプラスチックバイアルに入れ、LSC-7400 と低バックグラウンド液体シンチレーションカウンタ (LSC-LB7、日立製作所) を用いチェレンコフ測定モードで測定した。

【結果と考察】 ^{90}Y のチェレンコフ測定の計数効率は、LSC-7400 で $61\pm 2\%$ 、LSC-LB7 で $59\pm 2\%$ とほぼ同じ値であった。これは、過去の文献値とも一致した。以下の式で検出下限濃度(MDC)を求めた。

$$n_{DL} = \frac{2}{t} + \sqrt{\frac{4}{t^2} + 8\frac{n_b}{t}} \quad (1)$$

$$A_{DL} = \frac{n_{DL}}{60 \cdot \varepsilon \cdot Y} \quad (2)$$

$$MDC = A_{DL} \frac{1000}{V} \quad (3)$$

ここで、 t は測定時間(分)、 ε は計数効率、 Y は化学収率、 n_{DL} は検出下限計数率(cpm)、 n_b はバックグラウンド計数率(BG、cpm)、 A_{DL} は、検出下限放射能、 V はサンプル容量(cm^3)である。BG は、LSC-7400 および LSC-LB7 で、それぞれ 8.82 cpm、3.30 cpm であった。化学収率を 90%、試料容量(初期容量)を 10 L、測定時間を 240 分とすると、MDC は、LSC-7400 および LSC-LB7 で、それぞれ 1.7 mBq L^{-1} 、1 mBq L^{-1} だと評価された。この値から、 ^{90}Sr の濃度を推定することができる。劇物を使用することなく、極めて簡単な操作で ^{90}Sr の測定ができることが分かった。本吸着剤は、日本化学工業・荏原製作所から提供を受けた。感謝の意を表す。

Estimation of ^{90}Sr activity with bariumsilicate-based adsorbent - application of Cerenkov measurement of progeny nuclide, ^{90}Y -
OGATA Y., KOJIMA S., MINOWA H., KATO Y.

ポスター発表

9月23日（木）

2P01-2P13

【緒言】

放射性核種の壊変定数（半減期）は通常、外的環境の影響を受けずに一定である。しかし、U-235 の第一励起状態である U-235m は 76.74 eV という低い励起エネルギーを持ち、内部転換の際に原子核が外殻電子と相互作用するため、半減期が化学状態に依存して変化することが報告されている[1,2]。我々は、U-235m の半減期と内部転換電子のエネルギースペクトルを様々な化学状態について測定し比較することで、U-235m の脱励起機構を解明することを目指している。これまでに、複数の化学状態の U-235m について、半減期と内部転換電子エネルギースペクトルを観測してきた。今回、新たに U-235m と Cl や Br などの様々なハロゲンガスを反応させ、化学状態を変化させることで、明確に半減期の変化を観測することに成功した。

【実験】

Pu-239 の α 壊変に伴って放出される U-235m を窒素ガス中にトラップし、負電圧を印加することで銅箔の表面に捕集した (Fig.1)。その後、銅箔を磁気ボトル型電子分光装置に導入した。銅箔表面の U-235m (ガス未反応試料) と、捕集した U-235m にハロゲン化水素溶液 (HF, HCl, HBr, HI) をバブリングさせることで発生させたガスを反応させた試料について、内部転換電子の時間依存性を観測した。測定されたデータに対して、一定のバックグラウンドを加えた単一の指数減衰関数をフィッティングすることで、各試料における半減期を求めた。

【結果】

ガス未反応試料と、各ハロゲン化水素ガスを反応させた試料に対して半減期変化を明確に観測することに成功した。HBr ガスを反応させた試料の半減期は、本研究が初めての報告である。銅箔表面試料では、複数の半減期が観測されており、U の酸化数の違いを表していると考えられる。U-235m は、U の酸化数が上がるにつれて半減期が長くなる傾向が先行研究[1]によって示されている。各ハロゲン化水素ガス反応試料では、HF, HCl, HBr 反応試料でそれぞれ 25.3 min, 26.1 min, 25.3 min という半減期が得られ、HF および HBr ガスを反応させた場合、U-235m の半減期が短くなるという傾向が観測された。この傾向は、U と各配位子の単純な電気陰性度の差に伴う電子の挙動による説明が難しく、分子軌道計算の結果も含めて考える必要があり、U-235m の脱励起機構の解明に向けて非常に有用なデータと考えられる。

[1] M.Neve de Mevergnies *et al*, Phys.Lett. **49B**, 428 (1974). [2] L. v. d. Wense *et al*, Natrue **533**, 47 (2016).

Half-life variation of halides of low-energy excited nuclide U-235m
SAWAMURA, K., KASAMATSU, Y., SHIGEKAWA, Y., SHINOHARA, A.

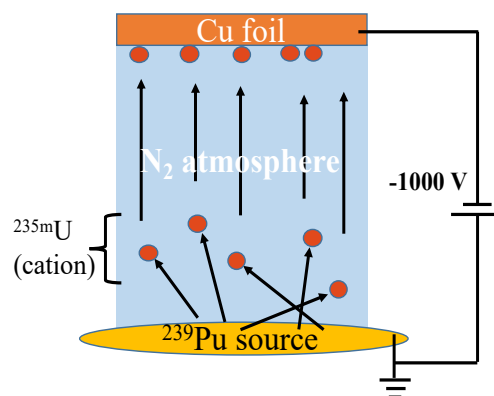


Fig.1 U-235mの捕集概略図

【緒言】102番元素ノーベリウム(No)は、水溶液中で+2価を安定にとる重アクチノイド元素である。Silvaらによるイオン交換実験では、アルカリ土類金属イオンCa²⁺やSr²⁺と類似した挙動を取ることから、No²⁺はこれらの中間のイオン半径を持つことが示唆された。¹一方で近年、我々のグループでは水酸化サマリウム共沈法を用いることによりNoがNH₃と錯イオンを形成するというdブロック元素に近い性質を見出しており²、Noの化学的性質解明に向けてさらなる研究が求められている。単一原子レベルでしか扱うことのできないNo²⁺の水溶液中におけるダイナミクスを実験的に調べることは困難を極めるが、計算化学シミュレーションを活用することで逐次錯形成反応における化学種の構造やその安定性を網羅的に調べられる見込みがある。本研究では金属の水溶液中の挙動を知る上で最も基本的な情報である水和構造に着目し、No²⁺-水分子クラスターの第一原理分子動力学計算を行い、得られた水和構造をCa²⁺やSr²⁺と比較した。

【分子モデリング・計算手法】Figure 1のように、M²⁺-24H₂O (M=Ca, Sr, No)クラスターモデルを初期構造として構築した。B3LYP/Stuttgart-RSC(for M atom)/def2-SVP(for H, O atom)レベルの密度汎関数理論に基づく量子化学計算をすべての逐次構造に対して行った。エネルギー最小化の後、NVT一定のアンサンブルで分子動力学シミュレーションを行った。時間ステップはΔt=0.5 fsとして、20000ステップの計算を行った。ソフトウェアはNTChemを用いた。

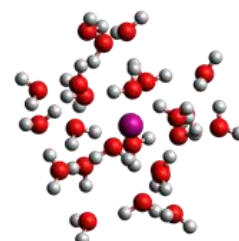


Figure 1. M²⁺-24H₂Oの初期構造

【結果と考察】Ca, Sr, Noすべてのシミュレーションにおいて全電子エネルギーが平衡に到達するのに2.5 ps要したため、それ以降の7.5 psのトラジェクトリを解析した。得られたCa²⁺とSr²⁺の水和構造パラメータは、先行する研究で得られた値とよく一致していた。Figure 2に、No²⁺-24H₂Oの動径分布関数g(r)ならびにそれを積分した配位数n(r)を示す。No²⁺の第一水和圏の平均配位数は7.5、No-O原子間の平均距離は2.48 Åと求まった。この水和距離はCa²⁺とSr²⁺との中間の値であり、水中のダイナミクスの観点からもNoは二族元素と類似した化学的性質を持つことが示唆された。当日は、さらに水分子数を増加させた金属-水分子クラスターのシミュレーション結果や、水和錯体の電子状態についても発表する。

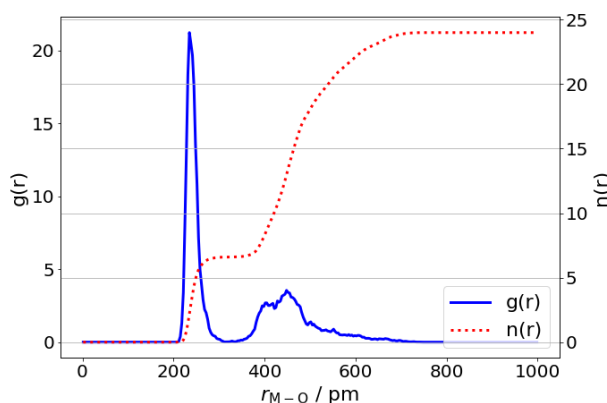


Figure 2. No²⁺-24H₂Oの動径分布関数

1. R. Silva et al., *Inorg. Chem.* 1974, **13**, 2233.
2. 二宮秀美, 大阪大学大学院理学研究科修士論文(2019)

Ab initio molecular dynamics study on the hydration structure of element 102, No
WATANABE, E., KASAMATSU, Y., NAKANISHI, R., OTAKA, S., NAKAJIMA, T., SHINOHARA, A.

2P03

Rf の共沈実験に向けた Zr, Hf, Th, Eu のシュウ酸, マロン酸沈殿実験
 (阪大院理¹、阪大放射線機構²、大阪青山大³) ○中西諒平¹、笠松良崇¹、渡邊瑛介¹、大高咲希¹、篠原厚^{2,3}

【緒言】 原子番号 104 番の超重元素であるラザホージウム(Rf)の化学研究としては、主に無機配位子との錯形成が調べられてきた。本研究では、Rf とキレート錯体を形成する可能性のある有機酸配位子シュウ酸, マロン酸に着目した。シュウ酸やマロン酸は、4 族元素や擬同族元素の Th と錯体を形成し[1]、錯イオンや沈殿を形成することから、Rf とも反応し錯体が形成されると考えられる。そして、Rf とシュウ酸塩やマロン酸塩との共沈実験を行うことにより、Rf のイオン半径・電子軌道とキレート配位子の大きさ・形状の関係性を、配位のしやすさを通して議論することができると考えている。今回は、Rf のシュウ酸, マロン酸との反応を調べる共沈実験に向けて、シュウ酸系ではシュウ酸トリウムを、Th が沈殿を生じないマロン酸系ではマロン酸ジルコニウムをそれぞれキャリアとして Zr, Hf, Eu の共沈実験を行い、Rf 実験の実験条件を調べた。

【実験】 シュウ酸系では、湯浴中 80 °C で Th 溶液とシュウ酸(0.001 M ~ 0.9 M)を反応させ沈殿収率と平衡到達に要する時間を調べた。更に沈殿の α 線スペクトルを測定しエネルギー分解能を調べた。⁸⁸Zr, ¹⁷⁵Hf, ¹⁵²Eu に Th のキャリアを加えた溶液と、シュウ酸水溶液(0.01 M ~ 0.9 M)を湯浴中で 60 秒間攪拌し沈殿の吸引ろ過後、トレーサーの γ 線測定により共沈収率を算出した。さらに、マクロ量の Zr, Hf, Eu を用いてシュウ酸沈殿実験を行い、シュウ酸トリウム共沈との挙動の比較を行った。またマロン酸系では、シュウ酸系同様に 80 °C の温度条件で、マロン酸ジルコニウム沈殿の平衡到達までに要する時間を調べることにより、キャリアとして使用できる条件を調べた。

【結果・考察】 シュウ酸トリウム沈殿では、80 °C 以上の温度で 60 秒以内に平衡到達していることが分かった。 α 線分解能はおおよそ 100 keV で、低エネルギー側に 500 keV のテーリングがあるが、²⁶¹Rf の同定が可能である分解能であるということが分かった。共沈実験のシュウ酸濃度依存性(図 1)とマクロ量沈殿の挙動は、Zr, Hf, Eu のすべてにおいて概ね一致し、共沈挙動より沈殿挙動を議論することが可能であるということが分かった。このとき、イオン半径のサイズの等しい Zr, Hf は同じ挙動を取り、よりイオン半径の大きな Eu はサイズが近いキャリアの Th と同じ挙動をとった。シュウ酸は、イオン半径の小さな M = Zr, Hf に 3 つ又は 4 つ配位して、溶液中で $[M(ox)_3]^{2-}$, $[M(ox)_4]^{4-}$ の状態で存在すると考えられる。イオン半径の大きな Eu は沈殿していることから相対論により d 軌道が拡大している Rf も共沈する可能性が示唆された。またマロン酸ジルコニウム沈殿についても 80 °C 以上の温度では、迅速に平衡到達していることが分かり、キャリアとして使用できる可能性が十分にあることが分かった。

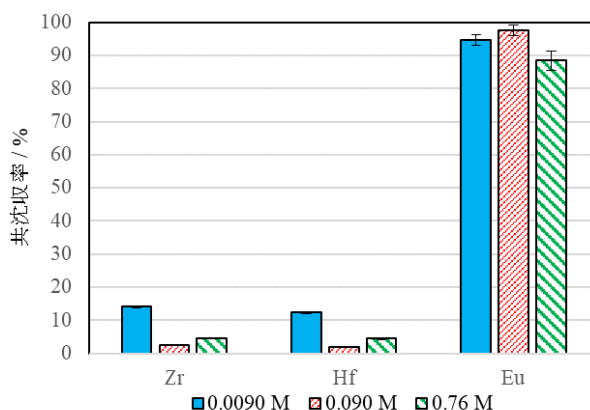


図1: Zr, Hf, Euのシュウ酸トリウム共沈の共沈収率

[1] T. Kobayashi, et al., *Radiochim. Acta* **97**, 237-241, (2009).

Precipitation experiment of Zr, Hf, Th and Eu with oxalic acid and malonic acid, towards the experiment of element 104, Rf.

NAKANISHI, R., KASAMATSU, Y., WATANABE, E., OTAKA, S., SHINOHARA, A.

2P04 福島事故で放出された放射性粒子の性状解析と微量放射性核種の分析 (阪大院理¹、阪大放射線機構²、大阪青山大³、慈恵医大⁴) ○村上 貴士¹、 二宮 和彦²、五十嵐 淳哉¹、吉村 崇²、篠原 厚^{2,3}、箕輪 はるか⁴、 吉川 英樹⁴

【緒言】原子力事故において、放射性核種は核燃料から揮発しエアロゾルの形態で放出されると考えられている。一方で東京電力福島第一原子力発電所事故では放射能を濃集した粒子状の汚染もあったことが知られている¹。この放射性粒子は高濃度の放射性セシウムを含み、事故時に原子炉内で生成したと考えられている。放射性粒子は水に溶けずに、放出時の状態を保持していると考えられ、その分析により事故進展の知見を得ることが期待される。これまでの研究から、最低でも二種類の粒子が存在しており²、いずれも SiO₂ を主成分としていることが分かっている。これまで、粒子の形や内部構造³、構成元素など、性状の多様性が議論されているが、分析に化学分離を必要とする微量な放射性核種である Sr-90 など、Cs-137、Cs-134 以外の放射性核種に関する議論は少ない。本研究では放射性粒子中の Sr-90 の分析を行うとともに、EDS 分析による安定元素の半定量を通して、粒子生成過程について検討した。

【実験】2020 年に福島県双葉町で採取した土壌試料から放射性粒子を分離した。これらの粒子についてγ線測定によって Cs-134、Cs-137 放射能を、SEM-EDS 分析によって形状、元素構成比を求めた。一部の粒子については、粒子を分解して Sr の化学分離を行い、Sr-90 を定量した⁴。

【結果】本研究では 34 個の放射性粒子について分析を行った。粒子の SEM 像から、その形状は多くが礫状であることが分かった。Cs-137 は粒子あたり 10～10000 Bq 含まれており、Cs-134/Cs-137 放射能比の平均値は 0.93 であった。SEM 像から見積もった粒子の体積はほとんどが 10⁻¹～10⁻³ mm³ であり、Cs-137 放射能との相関は得られなかった。Sr-90 の定量から、Sr-90/Cs-137 放射能比が 10⁻⁴ オーダーであり、粒子によるばらつきが少ないことが分かった。EDS 分析の結果、粒子はケイ素と酸素を多く含んでおり、ナトリウム、マグネシウム、アルミニウムといった元素を主に含んでいることが分かった。EDS スペクトルから、母材であるケイ素に対する元素構成比を求め、元素間の構成比の相関を調べたところ、カルシウムとナトリウム、亜鉛とアルミニウム、アルミニウムと鉄、亜鉛と鉄の 4 組の元素間で相関がみられた。一部の粒子には EDS 元素マッピング上で鉄の濃集点を見出すことができた(図)。

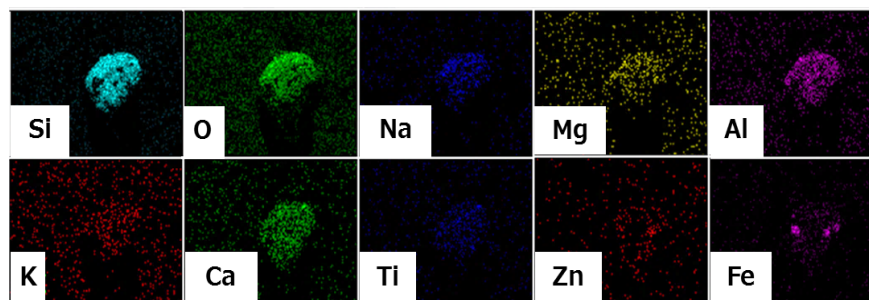


図. 粒子の EDS 元素マッピング

¹ Itoh S. *et al.*, *Soil Sci. and Plant Nutrition*, **60**, 540-550 (2014).

² K. Adachi *et al.*, *Sci. Rep.*, **3**, 2554 (2013).

³ H. Miura *et al.*, *Sci. Rep.*, **10**, 11421 (2020).

⁴ Z. Zhang *et al.*, *J. Nucl. Radiochem. Sci.*, **16**, 15-21 (2016).

Properties and Sr-90 contents in radioactive particles released by Fukushima Dai-ichi nuclear power plant accident

Murakami A., Ninomiya K., Igarashi J., Yoshimura T., Shinohara A., Minowa H., Yoshikawa H.

大容量エアサンプラ (Snow White) を用いた
大気浮遊じん中ヨウ素 129 濃度の経年変化

(公益財団法人 日本分析センター) ○須藤百香・王暁水・飯田素代・

日比野有希・宮田賢・岡山杏菜・太田智子・太田裕二・磯貝啓介

【緒言】 大容量エアサンプラ (Snow White) を用いて、大気浮遊じん中の放射能核種を高感度に測定することが可能となった。 ^{129}I は半減期が 1,570 万年と長いため、被ばく線量評価の観点から、環境中での長期的な動きを把握することが注目されている。本研究では、2017~2020 年において Snow White により捕集した大気浮遊じん中の ^{129}I 濃度と $^{129}\text{I}/^{127}\text{I}$ 原子数比の経年変化を調査した。さらに、同一試料の ^{134}Cs 、 ^{137}Cs との放射能比について考察した。

【実験】 1. 試料採取：設置高度 1m、流量 680m³/h で大気を連続吸引し、ガラス繊維ろ紙 (570×460 mm) 上に大気浮遊じんを捕集した。捕集場所は、千葉市 (日本分析センター構内) にて、捕集期間は 2017 年 1 月 12 日~2021 年 1 月 14 日までとした。捕集後のろ紙試料を ^{134}Cs 、 ^{137}Cs 及び ^{129}I 測定試料とした。2. ^{134}Cs 、 ^{137}Cs の測定：ろ紙を専用プレス機で成型し、プラスチック測定容器に入れ、放射能測定法シリーズ 7「ゲルマニウム半導体検出器によるガンマ線スペクトロメトリー」に準じて、 ^{134}Cs 、 ^{137}Cs 濃度を測定した。3. ^{129}I の分析：測定済みろ紙は粉碎・均質化し、一部分を ^{129}I の分析試料とした。燃焼法により大気浮遊じん中に含まれる ^{129}I を TMAH 溶液に捕集後、捕集溶液から一部を分取して、ICP-MS (Agilent ICPMS7700X) により ^{129}I を定量した。残りの溶液にヨウ素担体を加え、溶媒抽出法によりヨウ素を分離・精製した後、ヨウ化銀沈殿として回収した。沈殿物にニオブ粉末を加えて、JAEA 青森研究開発センター及び東京大学 MALT の AMS により $^{129}\text{I}/^{127}\text{I}$ 原子数比を測定し、 ^{129}I 放射能濃度を算出した。また、分析工程の妥当性を確認するため、標準試料 (NIST-1547) 及びブランク試料を併せて分析した。

【結果・考察】 2017~2020 年における大気浮遊じん中の ^{129}I 濃度及び $^{129}\text{I}/^{127}\text{I}$ 原子数比の範囲は、 $(0.27\sim 8.6) \times 10^{-7}$ mBq/m³ 及び $(0.094\sim 4.3) \times 10^{-8}$ であり、3 月頃に高く、3 月~7 月に減少し、7 月~10 月にかけて増加する傾向が確認された。GARGER、飽本^{1,2)}らは、12 月~5 月は、冬の休耕地や畑等の裸地より、地表で蓄積した粒子状放射性物質の再浮遊に伴い、大気中の ^{129}I 濃度が上昇すると報告している。また、千葉や茨城県等で採取された花粉を分析した結果、表層土壌と同レベルの $^{129}\text{I}/^{127}\text{I}$ 原子数比をもつ ^{129}I が含まれることが確認された。これより、3 月頃の ^{129}I の高値は、地表の粒子状放射性物質の再浮遊及び花粉の飛散に由来すると考えられた。また、Hou³⁾は、海洋気温の上昇に伴い、大気中の ^{129}I 濃度の上昇を観測しており、千葉市の月間平均気温 (3 月~7 月、8 月~11 月) と ^{129}I 濃度には、それぞれ負の相関 ($R = -0.81$ 、 -0.62) が存在することが分かった。

同一試料における ^{129}I と ^{137}Cs 濃度の相関 ($R = 0.09$) は確認されなかったが、月間合計降雨量の上昇に伴い、 ^{129}I と ^{137}Cs の相関係数は高くなることから、 ^{129}I と ^{137}Cs 等放射性物質が降雨と共に、地表に降下したと考えられた。なお、福島第一原発事故に伴う大気放出起源の $^{129}\text{I}/^{134}\text{Cs}$ 放射能比は 2.1×10^{-6} と報告されており⁴⁾、本研究で得られた $^{129}\text{I}/^{134}\text{Cs}$ 放射能比の年間平均値 ($(2.3\sim 4.9) \times 10^{-5}$) は約 1 桁程度が高かったため、今回観測された大気浮遊じん中 ^{129}I の由来は福島第一原発事故によるものと核実験フォールアウト等が起源であると推測された。

参考文献: 1) E. K. GARGER, J. Aerosol Sci., 75, 745-753, 1994; 2) 飽本一裕 Jpn. J. Health Phys., 49(1), 17~28, 2014; 3) Hou, et al, Atmos. Chem. Phys. Discuss., 15, 25139-25173, 2015; 4) T. P. GUILDERSON, et al, Biogeosciences, 11, 4839-4852, 2014.

Temporal variation of ^{129}I in atmospheric particles collected by Snow White within 2017-2020

Japan Chemical Analysis Center (JCAC)

M. SUTO, X.S. WANG, M. IIDA, Y. HIBINO, S. MIYATA, A. OKAYAMA, T. OHTA, Y. OHTA, K. ISOGAI

2P06 海水中 ^{129}I の ICP-MS 分析に向けた固相抽出法の開発：銀イオン担持樹脂を用いた干渉元素および共存陰イオンによる I 吸着への影響

(日本原子力研究開発機構)

○青木謙, 松枝誠, 小荒井一真, 寺島元基

【緒言】ICP-MS 法を用いて環境試料中 ^{129}I を分析するには、Ar ガスに含まれる ^{129}Xe を O_2 との反応（質量シフト）により分離する必要がある。しかし、 O_2 との反応は新たな干渉イオン ($^{97}\text{Mo}^{16}\text{O}_2$, $^{113}\text{Cd}^{16}\text{O}$, $^{113}\text{In}^{16}\text{O}$) を生成することから、その原因となる元素を予め分離する必要がある。また、 ^{129}I を極低濃度で含む試料(例えば、海水： $10^{-7}\text{ Bq/kg}^{[1]}$)を ICP-MS 法(検出下限値： $2.6\times 10^{-4}\text{ Bq/kg}^{[2]}$)を用いて分析する場合には、 ^{129}I を 10^3 倍以上に濃縮する必要もある。近年、 ^{129}I の分離・濃縮に Ag^+ を有機ホスフィンスルフィドに担持した固相抽出樹脂 (CL Resin) の利用が検討されている^[3]。しかし、CL Resin は、陰イオン性の干渉元素（例えば、Mo）を十分に分離できない可能性があるほか、共存する陰イオン (Cl^- , NO_3^- 等) との競合によって I を定量的に濃縮回収できない可能性もある。本研究では、環境試料中の ^{129}I の ICP-MS 分析に用いる前処理法の開発に向けて、CL Resin への I 吸着における干渉元素および共存陰イオンによる影響を調査した。

【実験方法】CL Resin 50 mg を遠沈管へ測り取り、陰イオン性の干渉元素を含む 5 mL 試験溶液 (I, Mo, Cd, In： $1\ \mu\text{M}$, 硫酸： $0.1, 1.0\ \text{M}$, Britton-Robinson 緩衝液 (pH2 ~ 8)： $0.1\ \text{M}$) を加え、振とう機にて 1000 rpm, 25°C で 1 時間混合した。混合試料は、ろ過後 (孔径 $< 1\ \mu\text{m}$)、上澄み液を回収した。上澄み液は、超純水で 100 倍希釈し、ICP-MS (Perkin Elmer 製 NexION300X) を用いて各元素濃度を定量した。共存陰イオンによる I 吸着への影響は、上記操作と同様に、様々な陰イオン濃度を有する試験溶液 (I： $1\ \mu\text{M}$, NO_3^- ： $1\sim 10^4\ \mu\text{M}$, Cl^- ： $1\sim 10^6\ \mu\text{M}$, 硫酸： $1.0\ \text{M}$) を用いて評価した。各元素の吸着率は、吸着前後の濃度差から算出した。濃縮実験は、2 L 試験溶液 ($0.40\ \mu\text{M I}$, $1\ \text{M}$ 硫酸) を、CL resin (500 mg) を充填した PEEK カラム (内径 4.0 mm, 長さ 50 mm) に通液させた。その後、超純水 10 mL, 1% NaOH 水溶液 10 mL を通液しカラム内を洗浄した後、溶離液 ($0.35\ \text{M Na}_2\text{S}$) 0.5 mL を計 6 回通液し、I を回収した。I 回収液は、超純水で 5000 倍希釈し、ICP-MS で I 濃度を定量した。濃縮倍率は、元の標準液量 (2 L) と全量回収に必要な溶離液量から算出した。

【結果と考察】 $0.1, 1.0\ \text{M}$ 硫酸条件下において、I は 96.9, 97.9% 吸着されたが、pH 2~8 では、pH の上昇に伴い吸着率が 81.7 から 53.4% へ低下した。一方、Cd は pH 8 において 8.2% の吸着率を示したが、Mo や In は全ての pH 条件で吸着しなかった (右図)。また、 NO_3^- および Cl^- が I に比べて高濃度で共存する条件において ($\text{NO}_3^-/\text{I}=10^4$, $\text{Cl}^-/\text{I}=10^6$)、I は 99.0% 以上が吸着した。濃縮試験の結果、I は、その 99.6% が吸着し、溶離液 1.5 mL によって 100% 回収されることが分かった。濃縮倍率は、 1.3×10^3 倍と算出され、CL Resin により ^{129}I を ICP-MS による海水分析の目標レベルである 10^3 倍以上に濃縮することができた。

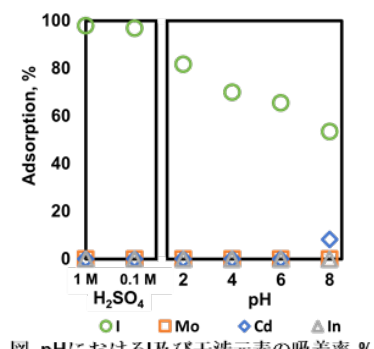


図. pH における I 及び干渉元素の吸着率, %

[1] T. Suzuki et al., Biogeosciences, 10, 3839, (2013).[2] G. Yang et al., Anal. Chim. Acta, 1008, 66, (2018).[3] J. Aoki et al., JAEA-Research, 2, (2021).

【緒言】

ゲルマニウム半導体検出器による γ 線スペクトロメトリーは、環境試料中の γ 線放出核種を対象とした放射能分析の主要な手法として広く用いられてきた。 γ 線スペクトロメトリーに関係した放射能測定法シリーズの1つである「ゲルマニウム半導体検出器によるガンマ線スペクトロメトリー」(平成4年改訂)は主に平常時を対象とした γ 線スペクトル解析法を記載したものであるが、その後の測定機器および解析装置の性能向上、解析手法の進歩等の状況に対応できるように2020年9月に改訂された。

改訂前のマニュアル(以下、「旧版」)は、解析プログラム開発者向けの内容を多く含む構成であったが、改訂後のマニュアル(以下、「改訂版」)は環境放射能分析の実務担当者を対象とし、平常時に実施される環境試料の γ 線スペクトロメトリーの基本となる原理・原則を記載した。改訂の方針として、実務担当者向けの内容とすること、解析技術の進歩を取り入れること、現在一般的に使われている機器に対応した内容にすること、国際的な基準に沿った内容とすることが挙げられた。本発表では、改訂に伴う主な変更点について説明する。

【主な追加・変更点】

・不確かさの評価

平常時の環境試料を取り扱う γ 線スペクトロメトリーでは、分析結果に対する不確かさ要因として最も寄与が大きいのは放射線の計数に係る不確かさ(計数誤差)である。旧版では不確かさの概念は導入されておらず計数誤差のみを扱っていたが、近年、機器の校正から試料の測定、解析までの一連の工程における不確かさの評価が求められていることから、改訂版には γ 線スペクトロメトリーにおける不確かさの評価方法と具体例が追加された。

・ISO11929による検出下限の評価方法の導入

検出下限値の評価方法は複数あるが、旧版に記載されていたCooper法に加え、国際規格であるISO11929による評価方法の計算例が追加された。

・スペクトル例の充実化

スペクトルに検出されたピークから核種を同定することは、通常は解析プログラムを利用して自動的に行われるが、核種を誤同定する可能性を排除出来ないため、特に複雑なスペクトルでは使用者による確認も必要となる。改訂版には核種同定作業の一助となるよう、多種の試料のスペクトル例が記載された。

・数値計算モデルによるピーク効率計算手法の導入

数値計算モデルを用いてピーク効率を求める手法や、ピーク効率を別ジオメトリでのピーク効率に換算する手法が世界的に広く利用されている状況を踏まえ、数値計算モデルを使用する際の注意点や妥当性確認の手法についての記載が追加された。

なお、本発表は、原子力規制庁委託事業である「平成31年度放射線対策委託費(放射能測定法シリーズ改訂)事業」の成果の一部である。

2P08

環境放射線モニタリングにおける精度管理

(日本分析センター)○太田博、阿部剛、川村隆夫、今野裕太、豊岡慎介、太田智子

【緒言】 東京電力福島第一原子力発電所事故後、放射能に関する分析データに対し、信頼性の高いデータを提供することが求められている。全国規模の環境放射線モニタリングとして原子力規制庁が実施している環境放射能水準調査があり、全国47都道府県の分析機関を対象にISO/IEC17043に準じた相互比較分析も行っている。日本分析センター（以下、「当センター」と示す。）は分析機関に分析比較試料(当センターが付与値を確定した試料)を配布し、分析機関は分析比較試料を分析、測定する。分析機関の分析、測定結果を付与値と比較し評価すると共に、評価結果が不満足であった場合、原因を検討し改善点を提示している。

今回、2020年度に実施された相互比較分析のうち、前処理操作が適切に実施されているかを確認する海水及び海産生物試料について紹介する。

【内容】 当センターは分析機関に分析比較試料(当センターが付与値を確定した試料)を配布し、分析機関は分析比較試料を分析、測定する。分析機関の分析、測定結果を付与値と比較し評価する。評価方法は En 数及び Z スコアで行った。配布した試料を表 1 に示す。

表 1.配布試料

試料名	海水	海産生物（すり身）
形状	γ線放出核種を添加した海水	γ線放出核種を添加したすり身
対象核種	Ce-139 Cs-137 Mn-54 Fe-59 Co-60	Ce-139 Cs-137 Mn-54 Co-60 K-40
対象工程	核種の補修操作	灰化処理の操作

【結果】 Zスコアによる評価結果を表2に示す。また、「満足」となった機関の割合は、海水は70%以上、海産生物は80%以上であった。

表 2.評価結果

試料	機関の割合（%）の範囲		
	$ z \leq 2.0$ 満足	$2.0 < z < 2.0$ 疑わしい	$3.0 \leq z $ 不満足
海水	71~95	0~19	0~10
海産生物	81~90	0~14	5~14

【結言】 評価結果より、相互比較分析では精度の高い分析ができていた。なお、不満足であった結果もそれぞれ原因を追究し、再分析、再解析等で満足となる評価が得られ改善が認められた。

*本研究は令和2年度原子力規制庁委託費（環境放射能水準調査）事業の成果の一部である。

Quality control in environmental radiation monitoring. OTA H., ABE G., KAWAMURA T., KONNO Y., TOYOOKA S., OTA T..

【緒言】 酸化インジウム (In_2O_3) は、2つの In サイトを有する bixbyite 構造をとる n 型半導体であり、不純物を導入することで物性を制御する試みが盛んに行われている。近年、 In_2O_3 に微量の Fe 原子をドープすることで結晶全体が磁性を持つ、いわゆる希薄磁性半導体としての性質を示すことが確認され、スピントロニクス分野における応用が期待されているが、磁性発現のメカニズムに関しては未だ解明されていない。そこで本研究では Fe をドープした In_2O_3 (FIO) の希薄磁性発現の有無を調べることを目的として、研究を行っている。手法として In 位置で局所場を ^{111}In ($\rightarrow^{111}\text{Cd}$) をプローブ核とする摂動角相関 (PAC) 法を、また Fe 位置での情報を得るために透過型メスバウアー分光法を採用した。

【実験】 In_2O_3 粉末を、原子数比で In:Fe = 98 : 2 となるように粉末のヘマタイト (Fe_2O_3) と混合し、錠剤成型した。空气中 773 K で 12 時間焼成した後、更に真空中 773 K で 1 時間焼成した。その試料に ^{111}In 溶液を滴下した後、再び真空中 1,373 K で 10 時間焼成した。 In_2O_3 と生成した試料に対して 13 K から 673 K までの範囲で PAC 測定を行った。同様の手順で Fe をドープした試料において透過型 ^{57}Fe メスバウアー分光測定を行った。

【結果と考察】 Fig. 1 は未ドープの In_2O_3 (undoped In_2O_3 : UIO)、Fig. 2 は FIO における室温と 673 K の PAC スペクトルである。横軸は ^{111}Cd プローブの原子核が摂動を受ける時間、縦軸は角相関の時間変動である。UIO において室温では異方性が速く緩和するスペクトルが得られたが、673 K では電場勾配による顕著な静的摂動パターンが見られた。これは高温の半導体ではキャリア密度が増加するため、EC 壊変の後遺効果による緩和が抑えられたためであると考えられる。一方、FIO では室温においても電場勾配による静的摂動パターンが見られ、673 K ではわずかであるが振幅が増加した。UIO と異なり、室温においても電場勾配による静的摂動パターンが見られた原因は、Fe のドーピングによるキャリア密度の増加に帰することができる。673 K で緩和が抑えられ、振幅が増加したのは、UIO と同様にキャリア密度が増加したことによると考えられる。メスバウアー分光測定の結果についてはポスター発表にて詳細に議論する。

Measurements of local fields in Fe-doped indium oxide
H. UCHINO, T. ITO, W. SATO

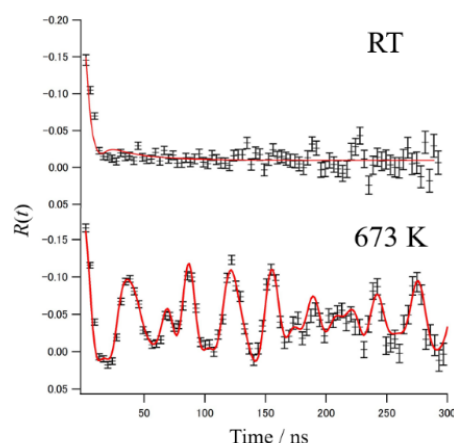


Fig. 1 各温度における undoped In_2O_3 中 ^{111}In ($\rightarrow^{111}\text{Cd}$) の PAC スペクトル

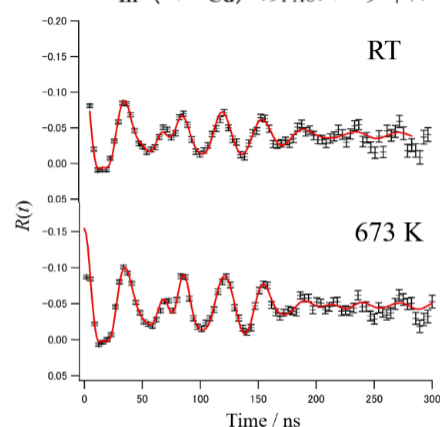


Fig. 2 各温度における Fe-doped In_2O_3 中 ^{111}In ($\rightarrow^{111}\text{Cd}$) の PAC スペクトル

2P10

核医学用アスタチン抽出に利用できるイオン液体の研究

(金沢大院自然¹、量研東海²、福島医大先端セ³、理研仁科セ⁴、金沢大理工⁵)○永井雄太¹、青井景都¹、丸山峻平¹、西中一朗²、鷲山幸信³、羽場宏光⁴、横山明彦⁵)

【緒言】²¹¹Atは α 線内用療法への応用が期待される核種の一つである。加速器を用いて α 線を照射された²⁰⁹Bi標的から²¹¹Atを分離する方法の一つとして、従来では有機溶媒による溶媒抽出が用いられている。しかし、有機溶媒は安価で入手しやすいが、揮発性や可燃性のため、環境汚染や危険物の取り扱いが懸念される。近年、グリーンケミストリーの観点から有機溶媒に代わる溶媒として、イオン液体が注目されている。イオン液体は常温で液体であり難揮発性、難燃性であるため環境負荷や事故の危険が小さい。また繰り返し使えるため、放射性廃棄物が有機溶媒を使用する場合よりも少なくなる。放射線耐性についての報告[1]もあるため、イオン液体は²¹¹Atを抽出する溶媒として有望であると考えられる。しかし、イオン液体による²¹¹Atの抽出に関する研究は文献[2]以外はほとんど報告されていない。そこで本研究では、²¹¹At溶媒抽出に有望であると報告されているHCl系で[2]、イオン液体の種類による適性について検討した。

【実験】²¹¹Atの製造法の一例を次に示す。加速器を用いてBi金属箔に α 線を照射し²⁰⁹Bi(α , 2n)²¹¹At反応で製造した。6M HNO₃で照射済みBi標的を溶解した後、1Mに希釈した。HNO₃溶液からドデカンに²¹¹Atを抽出した後、0.1M, 1M, 3M HCl溶液にさらに抽出した。HCl溶液から5種類のイオン液体[C₈mim][PF₆], [C₈mim][BF₄], [C_{4,6,8}mim][Tf₂N],に²¹¹Atを抽出した後、0.1, 1, 3M NaOH溶液に逆抽出した。抽出前後のHCl溶液と逆抽出後のNaOH溶液について²¹¹Atの放射能を液体シンチレーションカウンターで測定した。HCl溶液からイオン液体への²¹¹Atの抽出率、イオン液体からNaOH溶液への逆抽出率を求めた。また、抽出前後のドデカン TLC分析することで、HCl溶液中のAt化学種を推測した。

【結果】図1にHCl溶液から5種類のイオン液体のイオン対の陽イオンを変化させた場合と陰イオンを変化させた場合の²¹¹Atの抽出率を示す。陽イオンを比較した場合、炭素鎖の大きい方が抽出率は大きくなった。陰イオンを比較した場合、疎水性の大きい方が抽出率は小さくなった。イオン液体の陽イオン、陰イオンの疎水性が水相中のAtイオンとのイオン交換に影響を与えていると思われる。また、[C₈mim][Tf₂N]は抽出、逆抽出ともに90%を超える値であり、²¹¹At溶媒抽出に有望であると考えられる。

【参考文献】

- [1] L. Yuan, *et al*, *J. Phys. Chem. B* 2009, **113**, 8948–8952
[2] 川崎康平, 金沢大学大学院自然科学研究科修士論文(2020)

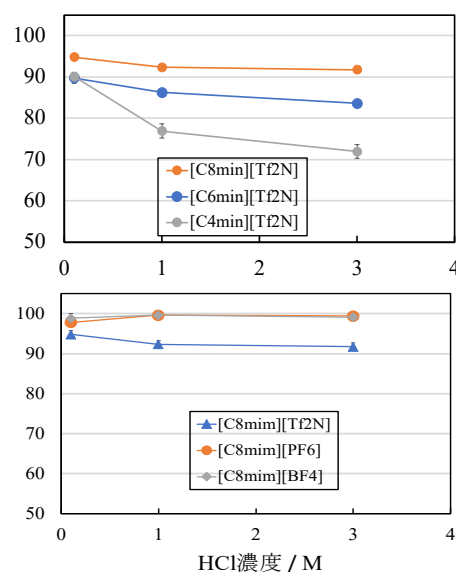


図1 塩酸濃度に対するAt抽出率

Research on ionic liquid extraction of astatine for a nuclear medical utilization

NAGAI, Y., AOI, K., MARUYAMA, S., NISHINAKA, I., WASIYAMA, K., HABA, H., YOKOYAMA, A.

放射性廃棄物に含まれる Zr-93 の定量分析手法の開発
 -抽出クロマトグラフィーレジンを用いた Zr 吸着分離法の検討-
 (JAEA) ○森井志織、蓬田匠、大内和希、北辻章浩

【緒言】

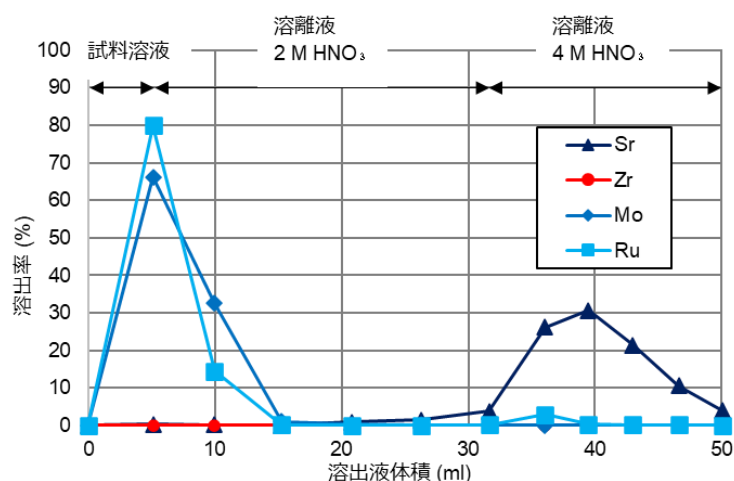
長寿命放射性核種である Zr-93 (半減期約 150 万年) は高レベル放射性廃棄物 (HLW) 等の処分時の安全評価対象核種のひとつであり Zr-93 の正確な定量分析が必要不可欠である。これまでにイオン交換カートリッジなどの吸着材を用いて Zr を化学分離し、吸着剤から Zr を溶出後に溶液試料として ICP-MS で Zr 同位体を定量分析する手法が報告されている^[1]。本研究ではより簡便・迅速な分析手法の開発を目的に、Zr を選択的に固相抽出し、Zr が吸着したレジンに固体状態のままレーザーでアブレーションして ICP-MS により定量分析することを着想した。本発表ではレーザーアブレーション (LA)-ICP-MS で測定するための Zr の固体試料の作製法について報告する。

【実験】

DGA (N, N, N', N'-tetra-n-octyldiglycolamide) レジンカートリッジ (Eichrom Technologies 社製) に Zr の他 13 元素を含む HLW 模擬溶液の約 100 倍希釈液を流し、Zr をレジンに吸着させた。溶離液として 2 M 硝酸、4 M 硝酸を順にレジンに流し、Zr の同重体であり質量分析時に Zr 同位体測定の妨害となる Sr、Mo、Ru を溶離させた。溶出液の各フラクションに含まれる Zr 及びその同重体を ICP-MS で測定し、溶出率を調べた。

【結果、考察】

下図に示すように、溶離液として 2 M 硝酸、4 M 硝酸を流した場合、Zr はレジンに吸着し続けていることが明らかになった。Mo は 2 M 硝酸により 99 % 以上が溶出した。Ru は 2 M 硝酸によってほとんど溶出し、その後 4 M 硝酸を流すことによってわずかに残留している Ru を溶出させることができ、99 % 以上が溶出した。Sr は 2 M 硝酸ではほとんど溶出しないが、



4 M 硝酸を流すことにより 99 % 以上が溶出した。

この結果より、Zr の同位体測定の妨害元素を溶出させ、Zr を吸着させたレジンに固体試料として簡便に作製できることが明らかになった。今後は本固体試料を LA-ICP-MS を用いた測定に適用する。

図：Zr 及び Zr の同位体測定の妨害元素の溶出挙動

[1] 例えば Asai, S. et al., *Talanta*. **2018**, 185, 98-105.

Development of a selective solid-phase extraction method for quantitation of Zr-93 in radioactive wastes
 MORII, S., YOMOGIDA, T., OUCHI, K., KITATSUJI, Y.

(JAEA¹、東大院理²)○蓬田 匠^{1,2}、北辻章浩¹、高橋嘉夫²、宮本ユタカ¹

【緒言】 福島第一原子力発電所の廃炉作業において、燃料デブリの主成分であるウラン(U)を含んだ微細な粒子の環境中への放出が懸念されている。Uは化学種により水への溶解性が大きく異なるため、U微粒子の化学種を把握する必要がある。燃料の主成分である二酸化ウラン(UO₂)は、空気酸化によって表面の酸化が進行して不定比化合物(UO_{2+x})となることが知られており、マイクロメートルサイズの微粒子では内部と表面で化学種が異なる可能性がある。微粒子の内部構造は元の化合物を反映し、微粒子表面の化学種は微粒子の溶解性などを議論する上で重要となる。本発表では、U微粒子表面と内部の化学状態を明らかにするために、物質への侵入深さの異なるX線と可視光を用いる分光法を組み合わせ、透過型顕微X線吸収分光法で微粒子内部、顕微ラマン分光分析法により微粒子表面の化学種を判別する手法を試験した。

【実験】 約30年間空気雰囲気中で保存された経年二酸化ウランをUO_{2+x}のモデル化合物として用いた。この微粒子をスパチュラにより分取し、エイコサン-ナノデカン混合溶液を塗布したガラス状炭素基板上に担持して固着させることで、測定用試料を調製した。U L_{III}端X線吸収分光測定は、大型放射光施設 SPring-8 BL37XUにおいて行った。また、ラマン分光測定には、顕微ラマン分光光度計(ラムダビジョン製 Micro-RAM)を用いた。

【結果と考察】 5 μm程度のUO_{2+x}粒子から得られたXANESスペクトルをFig. 1に示す。U L_{III}端のXANESスペクトルのピークトップは、U(IV)とU(VI)の間に位置し、UO₂よりも酸化されていることがわかる。得られたスペクトルを線形結合フィッティングにより解析した結果、UO₂が約90%、U₃O₈が約10%の組成であった。一方、UO_{2+x}粒子のラマンスペクトルをFig. 2に示す。ラマンスペクトルでは、832, 867cm⁻¹のUO₄・nH₂Oに帰属されるラマンピークが顕著に観測され、表面で内部と異なる化合物種が存在することが示唆された。したがって、顕微ラマン分光法と顕微X線分光法を組み合わせることで、UO_{2+x}粒子の内部と表面に存在する酸化物種を判別することが可能になった。

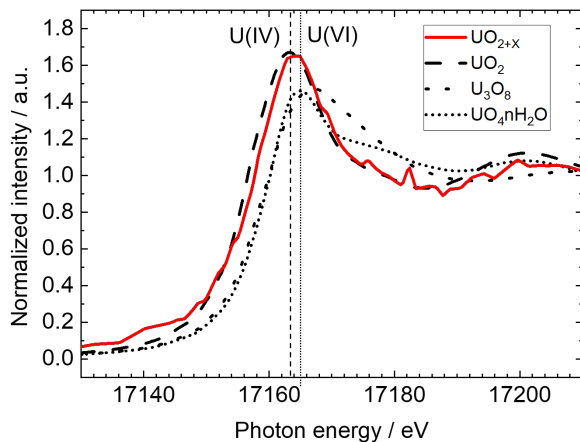


Fig. 1 経年二酸化ウランのXANESスペクトル

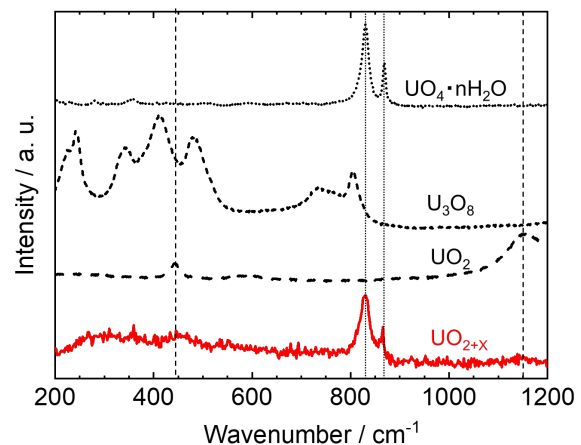


Fig. 2 経年二酸化ウランのラマンスペクトル

2P13

Rapid measurement of U, Np, and Pu in feces using ICP-MS/MS alpha spectrometry

(QST) (量研機構)

○楊国勝、金ウンジュ、鄭建、妹尾初穂、古渡意彦、栗原治

【緒言】 Internal contamination with alpha-particle emitting actinides, such as ^{238}U , ^{237}Np , ^{239}Pu , ^{240}Pu , is likely to result in high internal exposure risk even if the intake amount is small. Apart from urinary bioassay, fecal bioassay has also been regarded as a reliable approach to estimate the radiation dose of internal exposure for people occupationally or incidentally exposed to radioactive contamination. By fecal bioassay, we could verify the solubility classification [slow (S), medium (M) or fast (F)] of a radiohazard source to select the proper biokinetic models for dose calculation. In addition, the daily fecal excretion amount of actinides is much higher than the daily urinary excretion amount. For monitoring the internal exposure level by fecal bioassay, it is critical to use simple analytical methods to obtain the valuable contamination level as soon as possible. Especially, in case of a large scaled radiological disaster with complicated radiohazard sources, a simple and low-cost standard method is critical to allow more related laboratories to be involved in the activities of triage of mass-causalities. In the present study, we aimed to develop a rapid fecal bioassay for the measurement of U, Np, and Pu isotopes. Conventional alpha spectrometry was used for the analysis of short-lived ^{238}Pu ($t_{1/2} = 87.74$ y) for dose estimation, the ICP-MS/MS was used to obtain the atom ratio of $^{240}\text{Pu}/^{239}\text{Pu}$ for source identification.

【実験】 Synthetic fecal sample, equivalent to real fecal sample of one-day excretion, was ashed by microwave muffle furnace. The fecal ash was subject to acid digestion by opening and microwave digestions. After preconcentration with iron hydroxide co-precipitation and redissolution in 8M HNO_3 , the sample was separated for analyses with ICP-MS/MS and alpha spectrometry, respectively. For ICP-MS/MS analysis, automated purification system with 2 mL AG MP-1M resin (100–200 mesh, chloride form, Bio-Rad, Hercules, CA, USA) was used to separate and purify U, Np, and Pu isotopes. The sensitivities of ICP-MS/MS were improved and compared by introducing different reaction/collision gases, to allow us to measure these isotopes with low background signal intensities. For alpha spectrometry analysis, 2 mL TEVA and 2 mL DGA extraction resins (50–100 mesh, Eichrom Technologies, Inc, Lisle, IL, USA) and 4 mL DowexTM 1X8 resin (100–200 mesh, Cl^- form, Fujifilm Wako Pure Chemical Corporation, Osaka, Japan) were used to separate and purify Pu and U isotopes. Subsequently, Pu and U isotopes were measured by alpha spectrometer (Alpha Ensemble 8, ORTEC, Oak Ridge, TN, USA) with Si detectors having an active area of 450 mm^2 (AMETEK, Inc., Oak Ridge, TN, USA). In the future, fecal samples collected during the Oarai accident in Japan, occurred on June 6th, 2017, when five workers suffered internal radiation exposure due to inhalation of airborne Pu when inspecting nuclear fuel materials at a nuclear research facility of the Japan Atomic Energy Agency in Oarai, will be used for method validation.

一般講演

9月24日（金）

3K01-3K14

3K01

家庭ごみ焼却スラグ中に含まれる有価金属成分の分離

(都立大院理¹、都立大理²、東北大 ELPH³)○齋藤涼太¹、秋山和彦¹、土田竜貴²、諏訪智也¹、KahnIrfan¹、菊永英寿³、久富木志郎¹

【緒言】 “家庭ごみ焼却スラグ”は可燃ごみの焼却灰を1200 °C以上の高温で熔融・固化してできる人工砂である。このスラグには複数の有価金属が含まれており¹、これらを分離・回収することは資源リサイクルの視点から非常に重要である。昨年の討論会において、我々はこのスラグから有価金属元素を分離・回収することを目的として、磁石による成分選別操作とこの操作によって分離された分画(D-1)がCuを主成分としており、Auなどの有価金属が濃縮されていることを報告した。スラグからの有価金属成分を分離回収する本研究の目的を考慮するならば、このD-1から有価金属を分離・回収するための湿式化学分離法を開発する必要がある。そこで本研究では、このD-1の無機酸への溶解挙動を蛍光X線分析(XRF)と光量子放射化分析(PAA)によって定量的に調べると共に、D-1を大量に選別するための新たな分離法として、ふるいによる選別操作が有効であるかを調査した。

【実験】 2019年4月に多摩川清掃工場で採取された家庭ごみ焼却スラグ(Slag1904)に対して磁石による成分選別操作を行うことでD-1を得た。このD-1を約0.01 g分取して、東北大学電子光物理学研究センター(ELPH)において最大エネルギー22 MeVの制動放射線を6時間照射した。これにより得られた照射試料を酸(塩酸及び硝酸)に1週間から2週間浸出し、メンブレンフィルター(孔径0.2 μm)により濾過を行った。ろ液と残さをそれぞれGe半導体検出器でγ線を測定し、目的の元素について定量値を得た。また、ふるいを使用して選別した分画についても同様の方法で試料作成と制動放射線の照射を行い、組成を決定した。

【結果・考察】

塩酸による浸出では、Feは溶解する一方で主成分のCuは残さ中に多く残ることが分かった。また、硝酸による浸出ではろ液にCuを含む多くの主成分が含まれていた。溶解前のD-1に対するろ液及び残さへの各金属元素の濃度比を移行度として図1に示した。残さについてはSb, Snが検出限界以下であり、Coの濃度は溶解前と比べ大きく減少していた。一方、ろ液ではAu, Agが検出限界以下であることから、Cuなどの主成分は無機酸へ溶解し、Au, Agは残さ中に高濃度で存在することが明らかとなった。

ふるいによる選別で得られた粒径500 μm以上の分画は、D-1と同様に有価金属が濃縮されている成分であることがわかった。

[1] K. Akiyama, et al., *ELPH Annual Report, Tohoku University*, 117-120(2017).

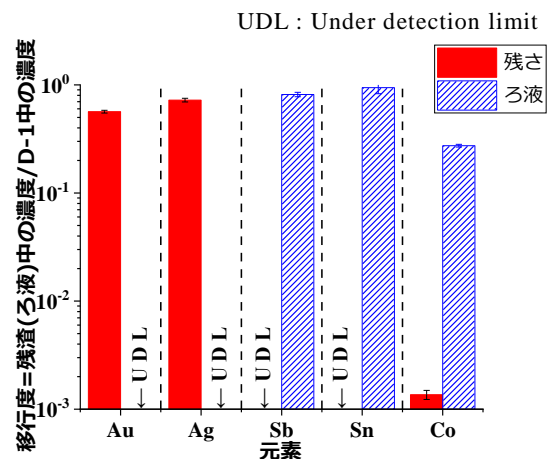


図1. D-1の溶解挙動(塩酸による1週間浸出処理後、硝酸による1週間浸出処理)

Introduction:

In activation analysis, a relative method is mainly used. A single comparator method is an alternative determination method, which is able to determine by using a single element comparator, but cross section ratios are needed. We determined (γ, n) reaction yield ratios for about 50 elements and have analyzed various standard reference samples and shell samples by instrumental photon activation analysis (IPAA) using a single comparator method at LINAC at ELPH, Tohoku University. We reported that our determination values by IPAA using single comparator method were generally good [1]. In neutron activation analysis, (n, γ) reaction yield ratios determined at a reactor are not used at the other reactors because of difference of neutron energy spectra among reactors. However, in IPAA, which uses bremsstrahlung for an irradiation, it is suggested that (γ, n) reaction yield ratios determined at ELPH are able to be used at the other accelerators because an energy spectrum of bremsstrahlung is mainly depended on an atomic number of a converter. So, we tried to analyze some standard reference samples by IPAA using single comparator method at LINAC at Institute for Integrated Radiation and Nuclear Science, Kyoto University (KURNS) and assessed their determination values. And then our determined yield ratios are confirmed to be usable for single comparator method at different accelerators.

Experimental:

Powder samples were wrapped in Al foil to be formed a disk (9 mm ϕ) shape. They were inserted into a quartz tube together with stainless steel foils as a monitor and then were irradiated in the air for 6 hours by bremsstrahlung with maximum energy of 33.3 MeV from an electron linac at KURNS. Pt converter (2 mm x 2) was used for producing bremsstrahlung. After replacing Al foil, irradiated samples were measured by a Ge detector. For determining yield ratios used for the single comparator method, reagent samples were irradiated in water by bremsstrahlung produced at Pt converter (1 mm x 2) at ELPH [2].

Results and discussion:

Nine kinds of standard samples including 4 JB-1a samples were irradiated at different places in the quartz tube. Flux variations in the quartz tube for irradiations at KURNS and ELPH were similar to each other. Determination values of 4 JB-1a samples for each element were consistent within RSD of 10 %. For JB-1a, most of the results obtained at KURNS and ELPH were different with reference values by less than ± 10 % shown in Fig.1. Results for other standard samples irradiated at two different accelerators were also generally consistent with reference values. Our yield ratios for single comparator method in IPAA determined at ELPH can be used at different accelerators.

References: 1. S. Reza & Y. Oura, SORC64 (2020). 2. Y. Oura et al., Annual report (2017).

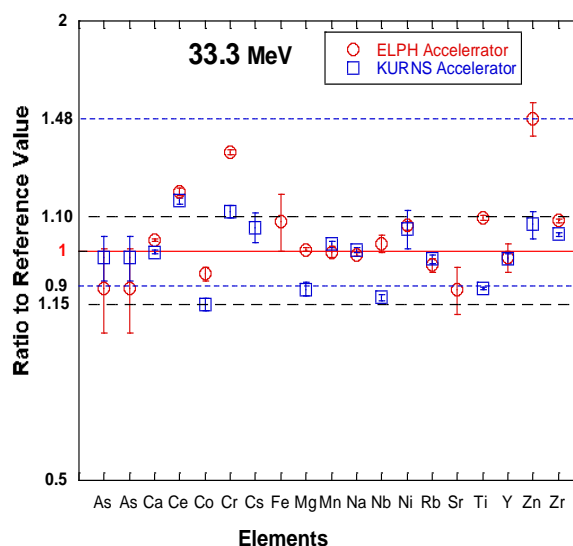


Fig.1: Comparison of elemental concentrations in JB-1a irradiated at different accelerators. Weighted means of 4 JB-1a samples normalized with reference values are plotted

3K03

J-PARC におけるミュオン特性 X 線による元素分析の微量試料適用に向けた装置開発

(阪大 IRS¹、阪大院理²、理化学研究所³、Kavli IPMU⁴、ICU⁵、東大理⁶、KEK⁷、東京藝大⁸、東北大理⁹、中部大¹⁰、JAEA¹¹、大阪青山大学¹²、京大複合研¹³、豊田中研¹⁴、JAXA¹⁵)○邱奕寰¹、二宮和彦¹、東俊行³、梶野芽都²、桂川美穂⁴、久保謙哉⁵、南喬博^{6,4}、三宅康博⁷、水本和美⁸、長澤俊作^{6,4}、中村智樹⁹、岡田信二¹⁰、大澤崇人¹¹、下村浩一郎⁷、篠原厚^{1,2,12}、高橋忠幸⁴、武田伸一郎⁴、竹下聡史⁷、反保元伸⁷、谷口秋洋¹³、寺田健太郎²、梅垣いづみ¹⁴、和田大雅⁹、渡辺伸⁵、吉田剛⁷

【緒言】 試料を破壊せずに、物質内部の元素を分析する手法は、考古資料や地球外物質など貴重な試料を扱う分野において有用である。我々は高強度の負ミュオンビームを使った非破壊の元素分析法の開発を行ってきた。この方法は、ミュオン原子から放射する高エネルギーのミュオン特性 X 線を測定することで行う。既に様々な試料への適用がなされているが、これまでミリグラムオーダーの試料への適用例はない。本研究グループでは、微量元素への適用に向けた分析装置の開発を行った。さらに、実験データの妥当性を評価するため、Geant4 コードによるシミュレーション実験を行った。

【実験】 ミュオン照射実験は J-PARC 加速器施設において、物質・生命科学実験施設 (MLF) 内の D2 ビームラインにおいて行った。まずはビームプロファイルの測定を行い、その情報をもとに図1に全体像を示す実験セットアップを構築した。実験装置の評価のために、大きさおよそ 6x8 mm²、重量は 120 mg の炭素質コンドライト (Jbilet Wienselwan 隕石) を準備し、これにミュオンの照射を行った。サンプルから放射されるミュオン特性 X 線は、サンプルの周りに設置した 6 台の低エネルギー用 Ge 検出器で測定した。

【結果と考察】 図 2 に得られたミュオン特性 X 線スペクトルを示す。非常に低バックグラウンドの実験システムを構築することができ、隕石を構成する主要な元素に由来するピークが明瞭に観測された。シグナルの S/N について評価したところ、これまで分析できなかった 10 mg の炭素質コンドライトについても、炭素量を精度よく決定できると見積もられた。講演ではこれらの詳細と、シミュレーションとの整合性について報告する。

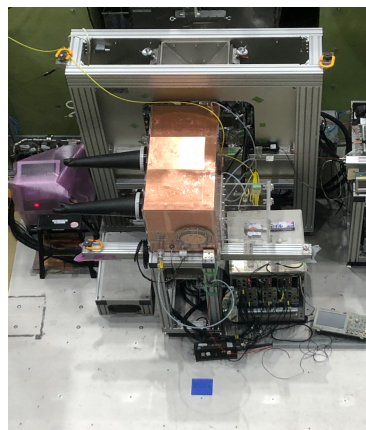


図 1 : 2021 年 4 月に J-PARC で実施した実験全体像。

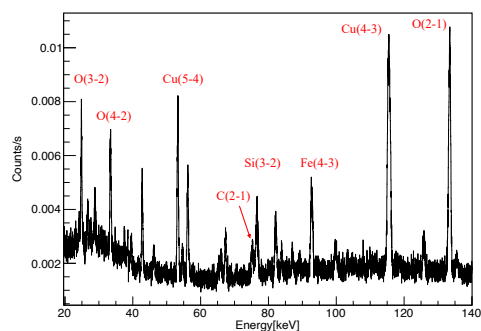


図 2 : Jbilet Wienselwan 隕石から得られたミュオン特性 X 線スペクトル。Cu は実験システムに由来するバックグラウンドである。

Development of the experimental system for non-destructive element analysis with small sample using negative muon at the J-PARC.

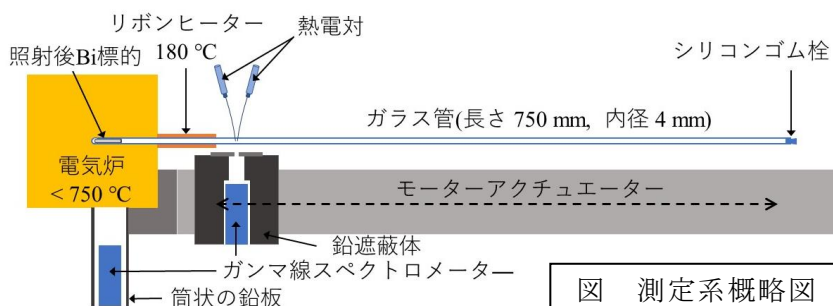
Chiu I., Ninomiya K., Azuma T., Katsuragawa M., Kubo K., Minami T., Miyake Y., Nagasawa S., Nakamura T., Okada S., Osawa T., Shimomura K., Shinohara A., Takahashi T., Takeda S., Takeshita S., Tampo M., Taniguchi A., Terada K., Umegaki I., Wada T., Watanabe S., Yoshida G.

【緒言】

近年、核医学分野において α 放射性 RI 標識薬剤による標的アイソトープ治療が新しいがん治療として注目されている。国内の多くの加速器施設で ^{211}At アスタチンが製造され、核医学利用の研究が進められている。一般に ^{211}At は、核反応 $^{209}\text{Bi}(^4\text{He}, 2n)^{211}\text{At}$ で合成した後、照射済み Bi ビスマス金属標的を 650°C 以上で加熱・融解する、いわゆる乾式蒸留によって、揮発性 ^{211}At として分離精製される。その分離精製条件は、医学利用目的では、収率を重視した経験的なものである。アスタチンの基礎科学的な理解は十分でなく、 ^{211}At の吸着温度などの熱分離特性は、ほとんど分かっていない。本研究では、先行研究^{1),2)}で見出した熱分離特性に基づいて、最適化した測定系(図)を用いて、 ^{211}At のガラス表面への吸着温度を高い精度で決定した³⁾。

【実験】

福島県立医科大学の中型サイクロトロン MP-30 から供給される 30 MeV の ^4He ビーム (約 $16 \mu\text{A}$) をアルミ箔バックリング上に真空蒸着した約 3 mg/cm^2 厚の金属ビスマスに 12、60 分間、照射して、16、74 MBq の ^{211}At を製造した。バックリングとともに小巻にしたビスマス標的を、窒素ガス置換したガラス管(長さ 750 mm、内径 4 mm、肉厚 1 mm)に封入し、電気炉で $250 \sim 750^\circ\text{C}$ に加熱して、乾式蒸留を行った。この時の温度と放射能強度を熱電対とガンマ線スペクトロメーターで同時測定した。



【結果及び考察】

加熱中における放射能の時間変化から、分離に必要な加熱時間は約 80 分であり、 750°C で揮発した ^{211}At は、内径 4 mm のガラス管中を約 70 mm/分の速度で移動することが分かった。先行研究²⁾では、試験管(長さ 180 mm、内径 16 mm、肉厚 1 mm)の中で、より低い温度 650°C で、より早く 6 分で分離できた。本測定系での高い加熱温度と長い加熱時間の分離条件が、小巻にした標的の形状に起因することから、アルミ箔バックリング間の融解ビスマス金属中での ^{211}At の拡散が、乾式蒸留分離の律速であることが分かった。吸着した揮発性 ^{211}At の放射能分布とガラス管の温度分布の相関から、吸着温度を $42.2 \pm 2.5^\circ\text{C}$ と高い精度で決定した。また $60 \sim 30^\circ\text{C}$ の狭い温度範囲(吸着ピークの半値幅)に吸着していることから、単一の化学種であることが分かった。講演では、先行研究、文献などとの比較から、化学種についても考察する。

【参考文献】

- 1) I. Nishinaka et al., J. Radioanal. Nucl. Chem. 327(2021)869-875.
- 2) I. Nishinaka et al., J. Radioanal. Nucl. Chem. 326(2020)743-751.
- 3) I. Nishinaka et al., J. Radioanal. Nucl. Chem. (2021) DOI :10.1007/s10967-021-07879-6.

3K05

エアロゾルを用いた At-211 乾式分離技術の開発

(東芝エネルギーシステムズ¹、原子力機構先端研²、阪大 RCNP³、阪大放射線機構⁴、大阪青山大⁵) ○湯原勝¹、宮本真哉¹、和田怜志¹、中居勇樹¹、大森孝¹、塚田和明²、浅井雅人²、福田光宏³、豊嶋厚史⁴、篠原厚^{4,5}

【緒言】 $^{209}\text{Bi}(\alpha, 2n)^{211}\text{At}$ で生成する ^{211}At を分離回収する手法として乾式分離法の適用を検討している。当該プロセスにエアロゾルを導入し、 ^{211}At との複合体とすることで、フィルタ部で回収する手法の有効性を評価した。

【実験】日本原子力研究開発機構のタンデム加速器を用いて 28MeV に加速した $^4\text{He}^{2+}$ イオンを Bi ターゲット(純度 4N、 $10\text{mm} \times 1\text{mm}$)に照射して 100kBq オーダーの ^{211}At を生成し、ガスジェット法[1]を参考とした分離試験に供した。図 1 に分離試験装置の概要を示す。エアロゾル発生部では He ガス流速 83~276cm/min で KCl 粉末を 750°C に加熱しエアロゾルを発生させた。なお試験対象には、He ガス流速 83cm/min、エアロゾル無しの条件も加えた。 ^{211}At 蒸発部にエアロゾル含有 He ガスを導入し、照射済みターゲットを 500°C で 20 分間加熱することで ^{211}At を蒸発させ、 ^{211}At とエアロゾルを混合した。ガス中の固形分をガラス繊維フィルタで捕集後、0.01M NaOH 水溶液で溶解した。溶液中の ^{211}At 濃度を Ge 半導体検出器で、K 濃度をイオンメータで測定し、 ^{211}At 回収率(%)および単位時間当たりのエアロゾル捕集量(mg/hr)を評価した。

【結果・考察】図 2 にフィルタ部での単位時間当たりのエアロゾル捕集量に対する ^{211}At 回収率を示す。エアロゾル導入による ^{211}At 回収率向上を確認した。また、単位時間当たりのエアロゾル捕集量と ^{211}At 回収率には正の相関が見られた。エアロゾル導入量が増加したことでエアロゾル密度が上昇し、 ^{211}At とエアロゾルの衝突が促進され、フィルタ捕集されやすい形態となったためと考えられる。

【結言】 ^{211}At 分離・回収プロセスにエアロゾルを導入することが ^{211}At 回収率向上に有効であることを確認した。

【謝辞】本研究は、国立研究開発法人科学技術振興機構 産学共創プラットフォーム共同研究推進プログラム (JST、OPERA、JPMJOP1721) の支援を受けて実施した。本研究成果は日本原子力研究開発機構の施設供用制度により得られたものである。

【参考文献】 [1] K.Rengan *et al.*(1993). *Ultrafast Chemical Separations*, Washington, D.C.: National Academy Press.

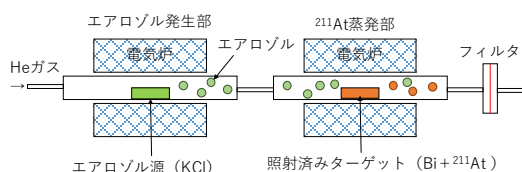


図 1. 装置概念図

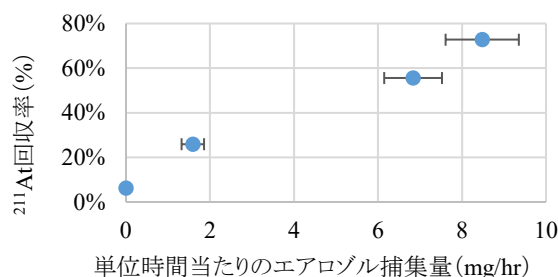


図 2. ^{211}At 回収率

3K06

電解酸化反応を用いた分子標的薬への ^{211}At 標識法の開発

(阪大院理¹, 阪大放射線機構², 阪大 RI セ³, 阪大院医⁴, 理研仁科セ⁵, 大阪青山大⁶) ○中川創太¹, 角永悠一郎², 大江一弘^{2,4}, 神田晃充³, 永田光知郎^{2,3}, 寺本高啓², 床井健運¹, 羽場宏光⁵, 王 洋⁵, 笠松良崇¹, 吉村崇^{2,3}, 豊嶋厚史², 篠原厚^{2,6}

【緒言】 ^{211}At (半減期 7.2 h)は α 線核医学治療法への利用が期待されている放射性元素である。分子標的薬へ ^{211}At を標識する方法は、人体に有害であるスズや水銀等との置換反応が一般的であるが、実用化の際にはその安全性に懸念が残る。そこで本研究では、電解酸化を応用した、酸化剤や金属置換基を含まないクリーンな ^{211}At 標識法の開発を進めてきた。本発表では、ヨウ素を添加した条件において、 ^{211}At の電解酸化ならびに電解標識を行ったため報告する。

【実験】 $^{209}\text{Bi}(\alpha, 2n)^{211}\text{At}$ 反応によって ^{211}At を製造し、これを乾式分離法によって分離し ^{211}At ストック水溶液を得た後、10 mM 塩酸溶液として調製した。電解にはフロー電解カラム装置[1]を用いた。まずは上記の塩酸溶液に 0.9 M NaI を添加し銀/塩化銀(SSE)参照電極に対して 1000 mV の印加電圧で酸化実験を行った。さらに標識対象として *N*-アセチル-*L*-チロシンを上記溶液に添加し、同様に電解酸化を行うことで標識を試みた。溶出液を分取した後、 CHCl_3 と CH_3OH を等量混合した展開溶媒を用いて薄層クロマトグラフィー(TLC)を行い、イメージングプレートを用いて ^{211}At の分布を観測した。

【結果と考察】図 1 に電解前、酸化後、標識後の ^{211}At の TLC 分布を示す。 R_f 値は TLC 上の位置を示す値である。電解前には、 R_f 値 0.8 以降に 99%以上の ^{211}At が存在した。酸化後には、 R_f 値 0.05 に 100%の ^{211}At ピークが移動した。定量的に ^{211}At が酸化されたことが分かる。標識後では R_f 値 0.5 と 0.75 にそれぞれ 8%と 57%の ^{211}At ピークが観測された。ヨウ素を用いた対照実験の結果から、これらはそれぞれ *N*-アセチル-3-アスタト-*L*-チロシンと *N*-アセチル-3-ヨード-5-アスタト-*L*-チロシンと考えられる。以上から、本実験条件において、 ^{211}At の電解標識反応に初めて成功した。

【参考文献】[1] Toyoshima *et al.*, *J. Am. Chem. Soc.* **131**, 9180-9181 (2009).

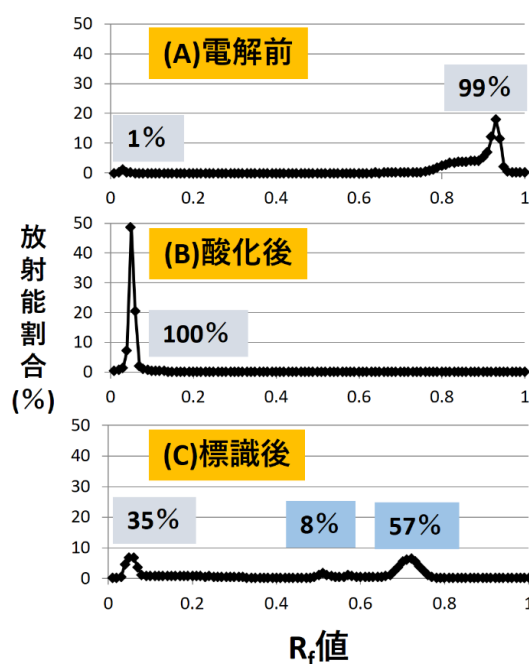


図 1. (A)電解前、(B)酸化後ならびに (C)標識後の TLC での ^{211}At の分布

3K07

新規アルファ線ブラキセラピー開発に向けた At-211 標識金ナノ粒子の合成と機能評価

(阪大院理¹、阪大院医²、阪大放科³、理研仁科⁴、大阪青山大⁵)

○黄栩昊¹、加藤弘樹²、角永悠一郎³、下山敦史¹、樺山一哉¹、片山大輔²、大江一弘²、豊嶋厚史³、羽場宏光⁴、王洋⁴、篠原厚^{3,5}、深瀬浩一^{1,3}

【緒言】 近年、体内から α 線を照射し、がんを治療する、α 線核医学治療法が注目されている。α 線は、高いがん殺傷効果を有する。一方、飛程がヒト細胞数個分と短いため、周囲の正常細胞や臓器への侵襲が少ない。我々は、α 線放出核種アスタチン-211 (²¹¹At) を用いた。²¹¹At (半減期 7.2 時間) は、放射線源が比較的早く消失する。そのため、通院による治療が可能であり、がん患者の生活の質 (QOL) の向上が期待できる。本研究では、²¹¹At-金ナノ粒子を腫瘍へ直接投与し、治療を行う、小線源療法 (ブラキセラピー) について検討した (Fig.1)。本法は、高い放射線を腫瘍組織に集積できるため、効率的ながん治療と正常組織への被ばくの軽減が期待できる。金ナノ粒子は、²¹¹At と共有結合を形成するため、²¹¹At の甲状腺への集積を防ぐことができる。また金ナノ粒子は、毒性が低く生体内でも安定なため、医薬品の材料として向いている。

【実験】 単純構造である mPEG 修飾金ナノ粒子を担がんラット・マウスに投与した。実験には、複数のサイズの金ナノ粒子を用い、抗腫瘍効果の最適化を行った。細胞内在化を促進させる RGD ペプチドを修飾した金ナノ粒子を合成および、²¹¹At 標識化を行った。その後、C6 (ラット脳腫瘍) および BxPC3 (ヒト膵がん) を用いた細胞毒性実験により、細胞殺傷効果の評価を行った。

【結果、考察】 直径 5 nm 程度の ²¹¹At-金ナノ粒子が、最も高い抗腫瘍効果を示した¹⁾。これは、5 nm が、腫瘍内で拡散するが、腫瘍外へは漏れ出さない、丁度良いサイズだからである。RGD ペプチド修飾金ナノ粒子では、mPEG 修飾金ナノ粒子に比べ、顕著な細胞内在化の促進が確認できた。これにより、がん細胞の DNA に対し、より至近距離から α 線を照射できるため、更なる抗腫瘍効果の向上が期待できる。

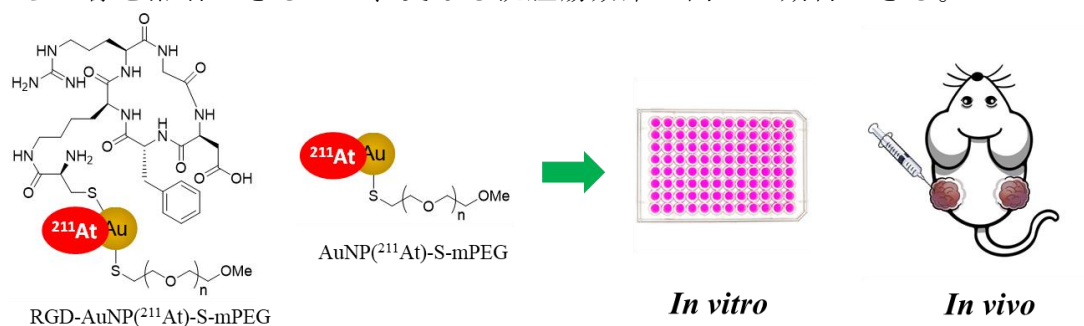


Fig.1 Schematic research concept

References 1) Kato, H., Huang, X., Kadonaga, Y. et al. Intratumoral administration of astatine-211-labeled gold nanoparticle for alpha therapy. *J. Nanobiotechnol.* **2021**, *19*, 223.

Synthesis and Evaluation of At-211 Labeled Gold Nanoparticles for Alpha Brachytherapy
Xuhao Huang, Hiroki Kato, Yuichiro Kadonaga, Atsushi Shimoyama, Kazuya Kabayama, Daisuke Katayama, Kazuhiro Ooe, Atsushi Toyoshima, Hiromitsu Haba, Yang Wang, Atsushi Shinohara, Koichi Fukase

【緒言】近年、 $M_2@C_{80}$ 型のフラーレンに関して、内包金属がLaの様な軽ランタノイドでは大気下で安定に存在するが、原子番号の増加とともに不安定となる事が知られている。一方で、不安定とされるGd以降の重ランタノイド $M_2@C_{80}$ 型フラーレンではアニオンを形成することで大気下でも安定になることが報告されている^[1]。周期表上でNdとGdに挟まれた3元素のうち、非常に還元的な雰囲気であるフラーレン内部で+2価の酸化状態を取るSm、Euを除くと、プロメチウム(Pm)は $M_2@C_{80}$ 型フラーレンの安定性について議論をする上で重要な元素であると言える。

これまで、Pm内包二金属フラーレンが軽ランタノイドの様に大気下で安定であるとの想定の下、実験を行ったが、その存在は確認出来なかった。そこで本研究はフラーレンを化学的に還元することによって抽出するトリエチルアミン(TEA)/アセトン混合溶媒抽出法^[2]を用いてPm内包二金属フラーレンの抽出を試みた。本抽出法を採用するにあたって、酸素等に暴露されることによって生じたアニオン種が酸化されることを避けるため一連の操作を嫌気下で行うための手法を開発した。抽出物についてはイオンペアクロマトグラフィー(IPC)を用いて同定を試み、Pm内包二金属フラーレンの安定性について検討した。

【実験】約1gの Sm_2O_3 を東北大学電子光理学研究センターにおいて55.5 MeVの制動放射線を6時間照射し、 ^{143}Pm を製造した。十分に冷却した照射試料から化学分離^[3]によって精製したPmに比較標準として ^{139}Ce トレーサーとキャリアとしてLaを混合して、多孔質炭素棒に含浸させた。RIフラーレン合成用チェンバーにてHe雰囲気下、50 kPaでアーク放電(直流50 A)を行った。得られた煤を CS_2 で回収し、嫌気下でTEA/アセトン混合溶媒(TEA:アセトン=1:3)に置換し6時間還流抽出を行った。この溶液をメンブレンフィルターでろ過して得られたTEA/アセトン溶液について、テトラブチルアンモニウムヘキサフルオロリン酸のアセトン溶液を移動相としたIPCに展開した。また、Laのみを含浸した多孔質炭素棒を用いて上記と同様の条件でフラーレンを合成し、同様の操作で分取したコールド試料の質量分析を行い、溶出成分を確認した。

【結果】IPCの結果を図に示した。赤及び青の実線はそれぞれ ^{143}Pm と ^{139}Ce のラジオクロマトグラムであり、橙及び緑の実線はそれぞれRI試料とコールド試料のUV吸収をモニタしたクロマトグラムである。図の黒丸で示した部分について質量分析を行ったところ、 La_2C_{80} の質量数と一致するピークが確認された。図中のラジオクロマトグラムでは同じ保持時間に ^{139}Ce と

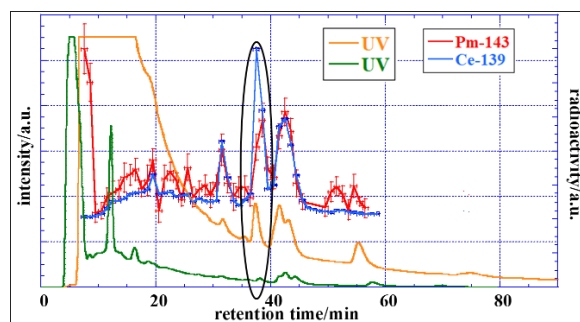


図. イオンペアクロマトグラム

^{143}Pm の放射能が確認されていることから $LaCeC_{80}$ と $LaPmC_{80}$ の存在が示唆された。本発表ではGdをキャリアとした実験についても報告する予定である。

[1] A. Velloth *et al.*, *J. Phys. Chem. C.*, **121**, 18169 (2017). [2] T. Kodama *et al.*, *Chem. Lett.*, **34**, 464 (2005).

[3] K. Akiyama *et al.*, *ELPH Annual Rep.* p.112 (2015).

3K09

アクチニド分析のための熱化学変換による UO_2-ZrO_2 を含む物質の溶解法

(長岡技科大¹、東北大²)○麻 卓然¹、本間 佳哉²、小無 健司²、鈴木 克弥²、鈴木 達也¹

【緒言】 福島原子力発電所の事故で発生した燃料デブリに含まれるアクチニドや核分裂生成物の精確な分析を行うためには、燃料デブリの溶解が必要である。我々は、不溶性の燃料デブリを可溶性物質に化学変換することを提案している。

【実験】 本研究では、 UO_2-ZrO_2 を含む模擬デブリを酸化と還元を繰り返し脆化させた後、粉体化したものをを用いて CCl_4 との熱化学反応による塩素化を行った後、塩酸および硝酸への溶解挙動を研究した。また、溶け残った残渣を SEM-EDX によって分析した。模擬デブリは、日本核燃料開発株式会社(NFD)によってアンモニア共沈と焼結によって調製されたものをを用いた。模擬デブリは、酸化されてウランが U_3O_8 の状態になっているものと還元により UO_2 の状態になっているものをを用いて比較している。塩素化は Swagelok で作成した容器中で $400^\circ C$, 12 時間加熱した。溶解試験は、濃塩酸 (30%) および濃硝酸 (60%) で行い、重量変化から、酸化模擬デブリ粉末を化学変換させたものの溶解率はそれぞれ 97.54% と 87.80% であり、還元模擬デブリ粉末を化学変換させたものの溶解率は 92.39% と 88.00% であった。また、SEM-EDX で、残渣を確認したところ主に Zr によるものであることを確認した。

以上から、熱化学的変換溶解法の実現可能性が確認された。

この研究は、日本原子力研究開発機構 英知を結集した原子力科学技術・人材育成推進事業「燃料デブリ分析のための超微量分析技術の開発」の成果の一部を含む。

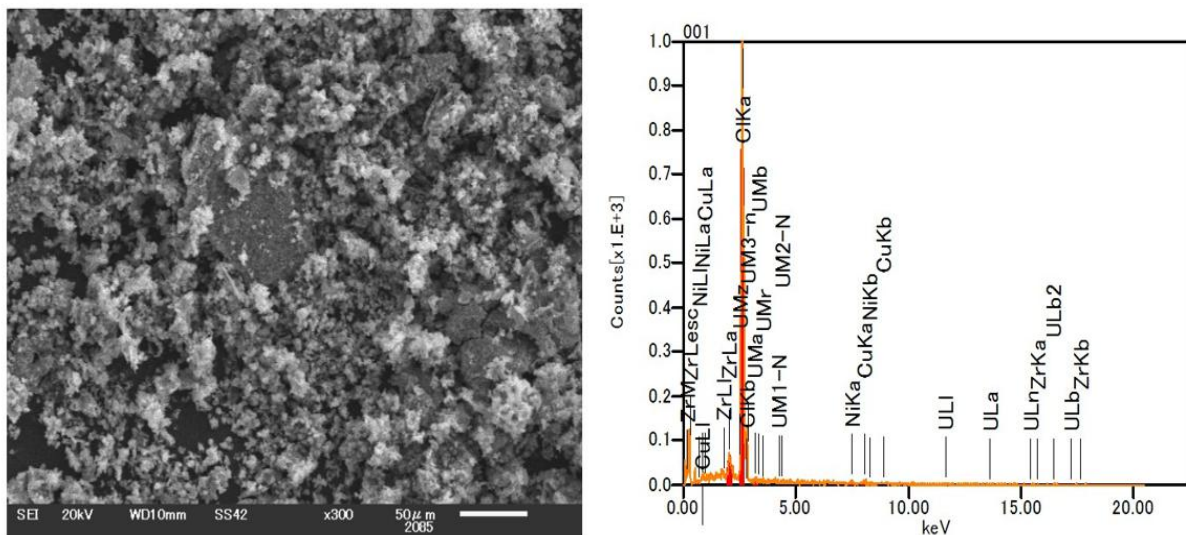


図 残渣の SEM 写真
還元粉末の塩素化生成物の残渣(濃塩酸)

Dissolution Method of Substances containing UO_2-ZrO_2 by Thermochemical Conversion for Actinide Analysis
MA Z, HONMA K, KONANSHI K, SUZUKI K, SUZUKI T

3K10

MC-ICP-MS 用いた極微量ウラン・プルトニウム同位体比測定における分子イオンによる妨害の定量的評価

(日本原子力研究開発機構)○富田純平、富田涼平、鈴木大輔、安田健一郎、宮本ユタカ

【緒言】 保障措置環境試料や地球化学試料の分析では、極微量のウラン (U) やプルトニウム (Pu) を測定する。主要核種に対して存在度の低い U (^{233}U 、 ^{234}U 、 ^{236}U) の同位体比や Pu 同位体比は、核燃料物質の起源や履歴に関する情報を有するため、これら同位体比を正確に測定することは重要である。ICP-MS による測定では、測定試料中に不純物元素が多量に存在すると、それらがアルゴンや酸素と結合して測定目的の同位体と同質量の分子イオンを形成し、正確な同位体比測定を妨害する。例えば、U 同位体比測定の場合、 ^{233}U 、 ^{234}U 、 ^{236}U に対してそれぞれ $^{193}\text{Ir}^{40}\text{Ar}^+$ 、 $^{186}\text{W}^{16}\text{O}_3^+$ 、 $^{196}\text{Pt}^{40}\text{Ar}^+$ 、Pu 同位体比測定では ^{239}Pu 、 ^{241}Pu 、 ^{244}Pu に対してそれぞれ $^{208}\text{Pb}^{14}\text{N}^{16}\text{O}^+\text{H}^+$ 、 $^{209}\text{Bi}^{16}\text{O}_2^+$ 、 $^{204}\text{Pb}^{40}\text{Ar}^+$ 等が考えられる。妨害元素に起因する分子イオンの形成比、それらが同位体比測定に与える影響を定量的に把握することは、試料の再精製の検討等、正確な同位体比測定には不可欠である。そこで、正確な保障措置環境試料分析を目的として、本研究では、マルチコレクター型 ICP-MS (MC-ICP-MS) による正確な極微量 U 及び Pu 同位体比測定に影響を及ぼす分子イオンの同定及びその影響の定量的評価を行った。

【実験】 同位体比測定には、Thermo Fisher Scientific 社製 MC-ICP-MS (Neptune XT) を用いた。装置への試料導入には、Elemental Scientific 社製脱溶媒装置 (APEX Ω) を用いた。本装置の測定感度は、1 ppb の天然 U 溶液で 1 V (イオン検出器の信号強度に換算すると 6.25×10^7 cps 相当) 程度である。U 及び Pu 同位体比測定を妨害する元素を同定には、W、Re、Ir、Pt、Au、Tl、Pb 及び Bi の単元素標準溶液 (0.4 ppb) を用いた。これらの標準溶液を MC-ICP-MS に導入し、マルチイオンカウンティングによりそれぞれの質量のシグナル強度を測定した。

【結果】 U 同位体については、質量数 233 で Ir、質量数 234、235 及び 236 で Pt による顕著なスペクトル干渉が確認された (図 1a)。これらは、主に $^{193}\text{Ir}^{40}\text{Ar}$ 、 $^{194}\text{Pt}^{40}\text{Ar}$ 、 $^{195}\text{Pt}^{40}\text{Ar}$ 及び $^{196}\text{Pt}^{40}\text{Ar}$ によると考えられる。仮に 1 ppb の天然 U (IRMM184、 $^{234}\text{U}/^{238}\text{U}$: 5.31×10^{-5}) を含む溶液中に Pt が 0.4 ppb 含まれているとすると、分子イオンの妨害により約 2 倍高い $^{234}\text{U}/^{238}\text{U}$ 値になると概算される。一方、Pu 同位体については、質量数 244 で Pb ($^{204}\text{Pb}^{40}\text{Ar}$) によるスペクトル干渉が確認されたが、その他の元素に由来する明瞭な干渉は確認されなかった (図 1b)。今後、得られた結果を踏まえ、スイープや粒子試料の化学分離法について検討していく。

本発表には、子力規制庁から委託を受けて実施した「保障措置環境分析調査」の成果の一部が含まれる。

Quantitative assessment of polyatomic interferences for the measurement of uranium and plutonium isotope ratios at ultra-trace level using MC-ICP-MS
TOMITA J., TOMITA, R, SUZUKI D., YASUDA K., MIYAMOTO Y.

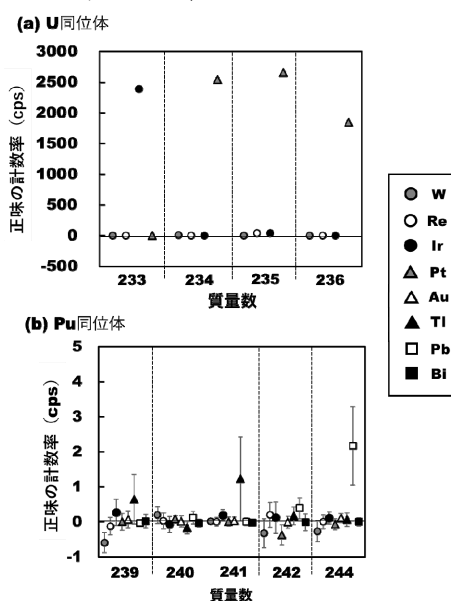


図1 単元素標準溶液を測定した時の各質量数における正味の計数率(cps)

3K11

高水素化物生成比を示すウラン粒子の全損分析と同位体比変化

(原子力機構¹)○富田涼平¹、富田純平¹、蓬田匠¹、鈴木大輔¹、
安田健一郎¹、江坂文孝¹、宮本ユタカ¹

【緒言】 二次イオン質量分析(SIMS)による粒子分析は、試料台上のウラン粒子の特定および、おおよその同位体組成が得られる粒子自動測定(APM)と、特定した粒子1個の同位体比を正確かつ精度良く測定する精密分析に分けられる。APMは連続した測定で広範囲の情報を網羅できるが、個々の領域に対する測定時間が短いため、測定結果は粒子表面による影響を受けやすい。粒子表面は水分など環境による変質の影響を受けて水素化物生成量が多くなる傾向があり、²³⁶Uと共に²³⁵U¹Hが検出されて、²³⁶Uの存在率が見かけ上高くなる問題が顕著である。そこで、粒子表面で高い水素化物生成比を示す標準ウラン粒子を用いて、粒子が完全に消耗するまで精密分析(全損分析)を実施し、表面から内部に至る同位体比変化を観察した。この結果を基に、同位体比へ影響を与える表面の変質部が粒子全体に対して占める割合を定量的に求めた。また、APMにおいても表面の影響を軽減した結果を得るために、測定条件や電子顕微鏡観察下で粒子を分離する手法について検討した。

【実験および結果】 粒子表面の水素化物生成比が高い標準ウラン粒子に対して精密分析の測定条件で全損分析を行った。全損分析は粒子を10×10 μm²の範囲に収め、150 nAの酸素イオンビームを照射して行った。粒径4 μmの粒子に対する全損分析時の同位体比の変化が図1である。表面の水素化物生成の影響による同位体比変化はビーム照射開始から約180秒まで観察され、²³⁶U/²³⁸U比の値は180秒間で水素化物生成量の低下に伴って55%低下した。測定開始180秒後から約5000秒までは安定した同位体比測定が可能であった。粒子の全損後にビーム照射範囲を50×50 μm²に拡大すると10×10 μm²の範囲の外側を縁取るようにビーム照射によって粒子から拡散したウランのシグナルが確認できたため、これも消耗させて二次イオンの総量に含めた。ビームの総照射時間は約21000秒(5.8時間)であった。同位体比変化が見られる部分は5.8時間で検出された二次イオン総量の3.1%であった。粒子表面に相当する3.1%を事前に消耗させることでAPMにおいても表面の影響を軽減することが可能であると考えられるが、従来のAPMでは得られる二次イオン強度が低く、これを満足させるような測定条件を設定するのは困難であった。一方、ウラン粒子を電子顕微鏡観察下で分離し、150 μm間隔で再配置するとビーム照射範囲を従来法より狭めることができるため、粒子の消耗速度を上げて二次イオンを精密分析に近い強度で得るような測定条件を設定できた。これにより、事前に表面部分を消耗させることで粒子表面の影響を軽減したAPMを実施することが可能であった。

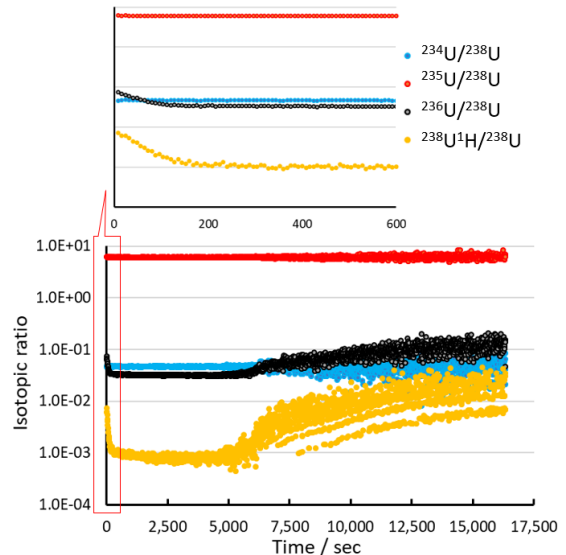


図1:標準ウラン粒子の全損分析と同位体比変化

本発表には、原子力規制庁から委託を受けて実施した「保障措置環境分析調査」の成果の一部が含まれる。
Total evaporation for uranium particles generating much uranium hydride formation and isotopic ratio change

Tomita, R., Tomita, J., Yomogida, T., Suzuki, D. Yasuda, K. Esaka, F., Miyamoto, Y.

【緒言】

放射性同位元素等規制法下で加速器施設の廃止措置を行う際に、クリアランス制度を取り入れることは、数多くの事業所において難しい状況にある。そこで、我々は2017年度からの4か年において、原子力規制委員会原子力規制庁の放射線安全規制研究戦略的推進事業において、「加速器施設の廃止措置に係わる放射化物の測定、評価の手法の確立」に取り組んだ。ここでは、クリアランスレベルを参考にしつつ、加速器施設の廃止措置を行う方法を検討し、得られた成果について、国内の多くの専門家で構成された研究検討委員会及び原子力規制庁と共に取りまとめを行った。これを「放射線発生装置廃止のための放射化測定評価マニュアル—静電加速器施設、放射光実験施設、陽子線治療施設、重粒子線治療施設、陽電子断層撮影(PET)核種製造用サイクロトロン施設—」としてマニュアルの形でまとめた。本発表ではその要点を解説する。

【マニュアルの内容】

図1に「放射線発生装置廃止のための放射化測定評価マニュアル」の内容を示す。本マニュアルのメインは、調査により加速器施設の放射化区分を示した第2章と放射化量の測定と放射化の有無の判定の方法を示した第3章である。

第2章では、これまで放射化について国からの判断が示されていない加速器である、静電加速器、放射光専用加速器、粒子線治療用加速器について、放射化していないと判断される領域を明確にし、廃止措置計画の立案に役立つようにした。廃止措置に伴う作業量やコストを大幅に減らす効果がある。

第3章では、PET核種製造用のサイクロトロンの廃止措置を念頭に置き、コンクリート構造物や加速器金属の放射化量を測定する方法や放射化の有無を判定する方法を考案した。特に、放射化の有無の判定では、「IFB (Indistinguishable From Background, バックグラウンドと区別できない)」を一般物として取り扱えるようにするとした。これは、米国で採用されている方法を参考にし、今後、日本の廃止措置時に放射化物を適切に取り扱うための手順の標準となるであろう。

第1章 はじめに

- 1.1 本書の目的
- 1.2 本書の構成

第2章 放射線発生装置の放射化区分のための測定と結果

- 2.1 放射化の観点による、放射線発生装置及び建屋の区分
- 2.2 放射線発生装置の使用に伴う放射化要因
- 2.3 放射化／非放射化の区分を明らかにするための調査項目
- 2.4 放射化量推定のための測定手法
- 2.5 放射化量推定計算手法
- 2.6 加速器の種類による施設評価結果

第3章 廃止措置時の測定と評価手法

- 3.1 用語の定義
- 3.2 コンクリート構造物の放射化評価
- 3.3 サイクロトロンの金属の測定と評価手法

第4章 海外の状況

- 4.1 加速器施設のクリアランス実施例
- 4.2 加速器施設に関する廃止措置検討状況

第5章 RI規制法下でのクリアランス制度への取り組みに対する課題

- 5.1 放射線発生装置の現状とクリアランス制度の運用
- 5.2 小規模事業所におけるクリアランスの進め方
- 5.3 放射化物の取扱に対する課題

図1 「放射線発生装置廃止のための放射化測定評価マニュアル」の内容

3K13

可搬型 γ 線イメージング装置 GeGI5 による加速器放射化評価の可能性

(KEK¹、筑波大²)○吉田剛¹、松村宏¹、中村一¹、豊田晃弘¹、三浦太一¹、榎本和義¹、笹公和²、森口哲朗²、松村万寿美²

【緒言】 加速器の放射化は作業員の被ばくや、放射性廃棄物発生観点から問題視されているが、その評価は人手によるサーベイメータでのスキヤニングに頼る他なく、非効率かつ被ばくりスクが大きい。可搬型 γ 線イメージング装置は、線源からの γ 線を可視化する革命的なツールであり、我々は当該技術の加速器放射化評価への応用について検討を続けてきた。福島原発事故以降に急速に発展し、非常に多くの機種が実用化されてきた中、加速器放射化において、放射化部位、残存核種、放射能を評価するためには何が必要なのか？ 本発表では、我々が過去に行った多くのテスト実験より、最も優秀と判定した市販機種を用いた実地試験結果および、一連の評価で明らかとなった加速器放射化評価に要求される性能について報告する。

【装置】 現在実用化されている可搬型 γ 線イメージング装置は、主に「ピンホール」、「マスク」、「コンプトン」の3つの計測方式を採用している。今回、我々が評価に用いたのは、コンプトン方式を採用した PHDS 製 GeGI5 という機種である (図 1)。また、検出部についても NaI 等の各種無機シンチレーターを用いた機種から、CdTe や Ge などの半導体結晶を用いたものまで、多種多様である。GeGI5 は直径 90mm 厚み 11mm の比較的大きな Ge 単結晶を搭載している。これまでに実施した様々な仕様の市販機種を用いた評価結果より、加速器の放射化評価には結晶厚が最重要であることが示されている。



図 1. GeGI5 外観

【評価内容・結果】 ベンチマークとしての較正用標準線源を用いた撮影および、実際の加速器施設での評価を行った。例として、筑波大学タンデム加速器施設内ビームラインの放射化したベローズ (表面線量率 $3.5 \mu\text{Sv/h}$ 、核種は ^{56}Co が主体) を撮影した結果について説明する。図 2 に、40cm の距離から撮影した時の線源可視化結果の経時変化を示す。コンプトン方式の特徴として、 γ 線のエネルギーと散乱角、そして線源との距離より逆算した円錐 (コーン) を可視光画像に投影し、最も重なり強い部位を線源位置として特定する。凡そ 30 分で放射化部位への重なりが強く現れることがわかった。距離を変えて同様の測定を行ったところ、収束に要する時間は、距離の 2 乗に反比例することが示され、線量率と装置に記録される統計量を用いて標準化できることがわかった。

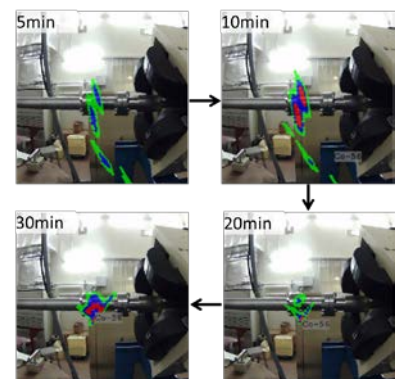


図 2. 放射化ベローズ撮影時線源可視化結果の経時変化

【緒言】液体シンチレーションカウンタ (LSC) は、放射性核種を含む溶液試料と液体シンチレータを混合溶解することによって、効率よく低エネルギー放射線を測定することができるため、低エネルギーβ線、X線の定量に適している。分解能は半導体検出器などと比べ劣るが、スペクトル全体を用いるスペクトル定量法 (SDM 法) [1,2] 解析には適している。その定量性検証の結果を報告する。

【実験と解析】実験は、(株)化研[3]への外注により、H-3、Co-60、Sr-90 および Cs-137 の各々1300、6773、3088、3055 Bq の標準溶液の LSC 測定を行った。測定はパーキンエルマー社製 Tri-Carb 3110TR 型液体シンチレーションカウンタを使用した。

LSC は、試料の化学組成によってクエンチングを生じるので、まずクエンチング補正を行った。SDM 法解析ソフトは、以前ガンマ線解析用に開発したもの[1]を使用した。SDM 法の定量精度評価を行うため、以上の標準溶液スペクトルから、Cs-137 の 3000 Bq の存在下で、他の 3 核種の濃度が全て 3000、1000、300、100、30 Bq である混合スペクトルを合成し、SDM 解析を行った。

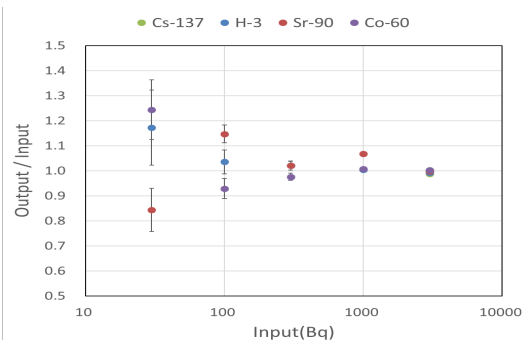
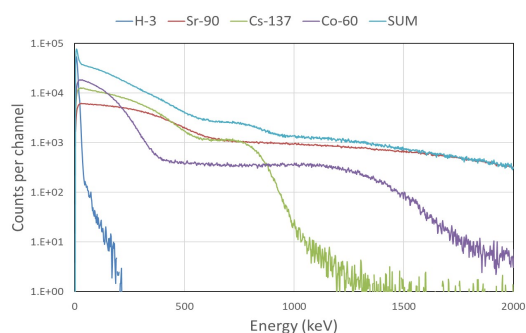


図1 H-3、Co-60、Sr-90 および Cs-137 の LSC スペクトル

図2 濃度調整値に対する SDM 定量値の再現比

【結果と結論】図1に、例として、4核種すべてが3000 Bqの強度で、60分測定したことに相当するスペクトルを示す。図2に各濃度に対する定量の再現比を載せる。SDM解析による主成分Cs-137の3000 Bqの存在下で、他の3核種の濃度比が100-10%で、定量精度が約7%以下、濃度比が3%、1%の時でも、精度は各々20、30%以下になるという結果が得られた。このことは、複数の核種が混在しても、SDM法は、一定の精度で、各々を同時に定量できることを示している。

参考文献

[1] 日本原子力学会 2020年春の年会 2N-02, 2020年3月16-18日 予稿のみ

[2] 日本原子力学会 2021年春の年会 2D-14, 2021年3月17-19日 オンライン

[3] [HTTP://www.kakenlabo.co.jp/index.html](http://www.kakenlabo.co.jp/index.html)

本件は、平成30年度補正予算「廃炉・汚染水対策事業費補助金(固体廃棄物の処理・処分に関する研究開発)」に係る補助事業およびJAEA英知を結集した原子力科学技術・人材育成事業JPJA20P20333366の助成を受けたものです。

Application of spectral determination method to liquid scintillation spectra

○Masumi Oshima¹, Jun Goto², Hirofumi Shinohara¹, Hirofumi Seto¹, Shigeru Bamba¹, and Takahiro Furuse^{3,4}

ポスター発表

9月24日（金）

3P01-3P12

3P01

アスタチン化合物の分光・可視化にむけた新規手法の提案

(阪大放射線機構¹、阪大医²、理研仁科セ³)

○寺本高啓¹、大江一弘²、王 洋³、羽場宏光³、豊嶋厚史¹

【緒言】 アスタチン (^{211}At) はアルファ線核医学治療で使用される核種の候補として注目されている。これまでのところ、アスタチン原子について、波長可変ナノ秒レーザーを用いた多光子イオン化による電子励起状態の観察およびイオン化ポテンシャル、電子親和力の決定が報告されている。しかしながら、 ^{211}At を含む化合物についての物理化学的な知見に関する報告例は一切ない。

核医学治療において、薬剤投与による体内分布を評価するため、X線、 γ 線を検出しイメージングが行われている。この高エネルギーの光子に対しては、結像光学系の構築が困難であるため放射される光を直接撮像するだけに限られる。そのためイメージング画像を撮像するため画像素子を複数用意する必要がある。

本研究では、 ^{211}At 化合物の分光に向けた取り組みを紹介する。原子分子分光で活用されている covariance 法の導入について紹介する。また可視化については、単一検出器とマスクパターンから画像再構築を行なう single pixel imaging 法を ^{211}At のイメージングに導入を試みたので報告する。

【実験】 $^{209}\text{Bi}(\alpha, 2n)$ 反応により生成した ^{211}At を含む金属 Bi をアルミニウム支持板とともに電気炉で 850°C まで加熱蒸発する乾式分離法により単離した。単離された ^{211}At を蒸留水で抽出し、マイクロバイアルにて採取した。本研究で使用した ^{211}At の量は、実験開始時において $100\mu\text{L}$ 水溶液あたり $1\text{MBq}(10^{10}$ 原子)ほどであった。

1. ^{211}At の covariance mapping

^{211}At の崩壊過程に伴う X線および γ 線の放出を Ge 半導体検出器(BE2020 Canberra) および MCA(MCA-7a Seiko EG&G)で計測した。積算時間を 2 s とし、連続で 16,000 点の γ 線スペクトルを得た。得られたデータから Covariance mapping を作成した。 680keV 付近に ^{211}At の電子捕縛に伴う γ 線の放出が確認できた。共相関係数が 0.001 と小さいが ^{211}At の放出する 2 つの γ 線で相関があるのがわかった。

2. ^{211}At の single pixel imaging

CdZnTe 半導体検出器 (GR1, Kromeck) の前面に、真鍮のマスクを用意した。真鍮マスクの厚みは 1 cm であり γ 線を完全に遮蔽することができる。マスクパターンは 3×3 の格子状になっており、ピンの抜き差しによりマスクパターンの生成を行なう。検出器から 10 cm 離れた位置 (右下) に ^{211}At 水溶液が入ったバイアルを置き、それぞれのマスクパターンに対する γ 線のカウンtrateを計測した。カウンtrateとマスクパターンから画像の再構築を行なった。 3×3 の格子状の右下に高い信号強度があるのが確認できた。これは、 ^{211}At 水溶液が入ったバイアルの位置に該当しており、原理検証実験として妥当な結果を得ることができたと考えられる。

3P02

Mn-52 の製造と半減期測定

(東北大ELPH¹、東北大金研²、東北大CYRIC³)

○菊永英寿¹、白崎謙次²、池田隼人^{1,3}

【緒言】

マンガンは多様な酸化数を取り、様々な錯形成をする遷移金属元素である。動植物の必須微量栄養素でありながら、神経毒性など生体に対して特異な影響を持つことも知られており、これらの挙動を知ることは生体にとって重要な情報となる。

マンガン同位体のうち Mn-52g (半減期 5.6 d) は約 29%が β^+ 壊変を通して壊変するため PET 核種として使われつつある核種である[1]。また、71%が電子捕獲過程を通して壊変するため、クロム同位体と同様に化学状態により半減期が変化する可能性がある。

本研究では、これらの研究を進めるための Mn-52g トレーサーの製造法を開発する。製造反応は $^{nat}\text{V}(\alpha, X)^{52g}\text{Mn}$, $^{nat}\text{Cr}(d, X)^{52g}\text{Mn}$, $^{nat}\text{Fe}(\gamma, X)^{52g}\text{Mn}$ を選択し、励起関数測定と Mn トレーサー精製法について検討しているが、ここでは $^{nat}\text{V}(\alpha, X)^{52g}\text{Mn}$ の励起関数の結果を報告する。

【実験】

励起関数測定はスタックフォイル法で行った。厚さ 10 μm 、純度 99.5%のバナジウム箔と、フラックスモニタ用の厚さ 5-20 μm 、純度 99.9%の銅箔を重ねて照射ターゲットとした。照射は東北大学サイクロトロン・ラジオアイソトープセンターの AVF サイクロトロンで行った。約 50 MeV に加速した α 粒子を照射ターゲットに 50-100 pA で 30 分程度照射した後、各フォイルに対して高純度 Ge 半導体検出器を用いた γ スペクトロメトリーを行った。 α ビーム量やエネルギーは $^{nat}\text{Cu}(\alpha, X)^{66,67}\text{Ga}$ 反応を用いて補正して、V 箔の測定結果から励起関数を求めた。

【結果】

暫定的な結果ではあるが得られた $^{nat}\text{V}(\alpha, X)^{52g}\text{Mn}$ の励起関数を図 1 に示す。これまで得られている励起関数の文献値は最大 2 倍程度ばらついているが、今回得られた値は V. N. Levkovski らの値とよく一致していた。発表では詳細な解析結果や他の核反応の結果も合わせて報告する。

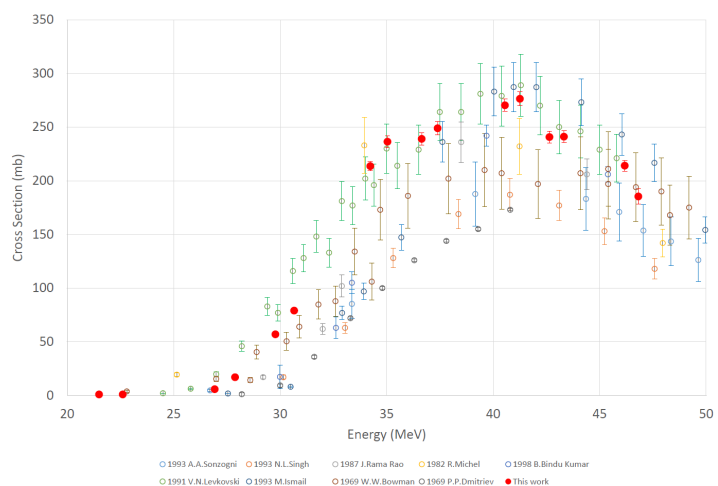


図 1. $^{nat}\text{V}(\alpha, X)^{52g}\text{Mn}$ の励起関数 (文献値は[2]より取得)

References

[1] G. J. Topping et al., Med. Phys. 40 (2013) 042502.

[2] EXFOR (Database Version of 2021-06-28), <https://www.nndc.bnl.gov/exfor/>

Production of Mn-52 and its half-life measurement
KIKUNAGA, H., SHIRASAKI, K., IKEDA H.

3P03

Th-229m の壊変特性の解明に向けた高周波イオン収集・質量分離装置の開発

(理研仁科セ¹、阪大院理²、理研香取研³、JST さきがけ⁴、KEK 和光原子核科学セ⁵)、重河優大¹、床井健運²、山口敦史^{3,4}、Wang Yang¹、Yin Xiaojie¹、南部明弘¹、佐藤望¹、和田道治⁵、羽場宏光¹

【緒言】 ^{229}Th の第一励起準位 ($^{229\text{m}}\text{Th}$) は、8.3 eV 程度[1]という極端に低い励起エネルギーを持つ。そのため、化学状態に依存して $^{229\text{m}}\text{Th}$ の壊変過程 (内部転換、電子架橋遷移、 γ 線放出) が変化すると考えられている。しかし、 $^{229\text{m}}\text{Th}$ の電子架橋遷移と γ 線放出過程は未だに観測されていない。我々は、 $^{229\text{m}}\text{Th}$ イオンをイオントラップ中に捕捉し、低圧のガスと化学反応させることで、 $^{229\text{m}}\text{Th}$ の化学状態を自在に制御し電子架橋遷移を観測することを目指している。また、 ^{229}Pa イオンをフッ化物結晶に打ち込みアニールすることで、 ^{229}Pa から EC 壊変によって生成された $^{229\text{m}}\text{Th}$ の内部転換を抑制し、 γ 線放出を観測することを目指している。本研究では、 ^{233}U 線源から飛び出してくる $^{229\text{m}}\text{Th}$ イオンやレーザーアブレーションにより生成された ^{229}Pa イオンを高効率で収集するために、小型の高周波イオン収集装置を開発した。さらに、測定妨害となる不純物を除去するために質量分離装置を接続し、装置の性能評価を実施した。

【実験】 図 1 に示すイオン収集・質量分離装置を開発した。He ガスセル中で生成されたイオンは、He との衝突で減速し、DC 電圧勾配によって RF カーペットまで運ばれる。その後、イオンは高周波電圧によってカーペットの中心孔 (直径 0.32 mm) まで運ばれ、四重極イオンガイドによって高真空中に運ばれる。そして、四重極質量分離器により特定の質量電荷比を持ったイオンのみがチャンネルトロン検出器まで運搬される。イオンの引き出し効率や質量分解能を評価するため、 ^{224}Ra 線源をガスセル内に設置し、 α 壊変の反跳によって飛び出してくる ^{220}Rn イオンやその娘核を引き出す実験を実施した。その際、He 圧力(5–15 mbar)、DC・RF 電圧の大きさ、He ガスの精製の有無などの条件を変えて測定した。

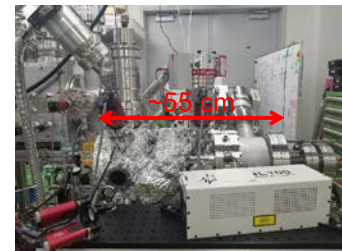
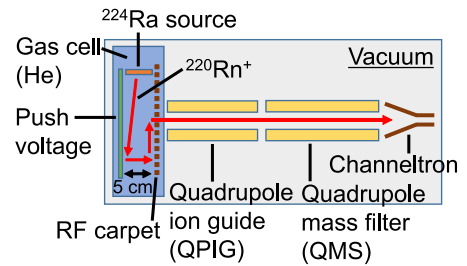


図 1. 高周波イオン収集・質量分離装置

【結果】 $^{220}\text{Rn}^+$ や $^{216}\text{Po}^+$ を半値幅 1 u 程度の質量分解能で明確に検出できた。DC・RF 電圧を最適値に設定することで、15–20% の効率で $^{220}\text{Rn}^+$ を引き出せることが分かった。また、He ガスの精製により、 $^{216}\text{Po}^{2+}$ 等の多価イオンを引き出せることが分かった。従って、本装置を用いることで、複数の価数の $^{229\text{m}}\text{Th}$ や ^{229}Pa のイオンを高効率かつ十分な質量分解能で引き出し、 $^{229\text{m}}\text{Th}$ の壊変過程に関する実験を実施できると期待される。

[1] B. Seiferle *et al.*, Nature 573, 243 (2019).

(金沢大¹、水産機構・資源研²) ○真下海成¹、竹原亮成¹、井上睦夫¹、亀山紘旭¹、
谷内由貴子²、黒田寛²、帰山秀樹²、三木志津帆²、長尾誠也¹

【はじめに】北海道道東海域では生物生産性が非常に高く、世界でも有数の漁場が形成される。そのため、本海域の海水循環を明らかにすることは重要である。 ^{134}Cs は 2011 年 3 月の福島第一原子力発電所 (FDNPP) 事故により海洋環境中に放出された人工放射性核種であり、溶存性であることから海水とともに循環する。短半減期 (2.06 年) ゆえに、現在海水中で検出されるものはすべて FDNPP 事故由来であり、供給時期も明らか (2011 年 3 月) なことから、海水循環の化学的トレーサーとして非常に有効である。本研究では 2018–2021 年の道東沖を中心とした北海道近海における ^{134}Cs 濃度を測定、その空間分布より道東海域の水塊構造を議論した。

【実験】 2018–2021 年に北海道近海で海水試料を ~60–100 L 採取した。リンモリブデン酸アンモニウム (AMP) 沈殿により Cs を回収した。すべての AMP/Cs 試料は石川県の尾小屋地下測定室に設置されたゲルマニウム半導体検出器を用いた、極低バックグラウンド γ 線測定を利用し、 ^{134}Cs 濃度を測定した。

【結果と考察】 2018–2019 年の道東海域親潮流域に影響を与える宗谷暖流 (SWC)、東樺太海流 (ESC) および東カムチャッカ海流 (EKC) の ^{134}Cs 濃度の平均値は、それぞれ 0.7 mBq/L、0.2 mBq/L、および 1.3 mBq/L であった。道東海域における表層海水試料中の ^{134}Cs 濃度は、宗谷暖流、東樺太海流より高い値を示した (図 1)。

この原因として、 ^{134}Cs が東カムチャッカ海流経路で亜寒帯循環により道東海域に再流入したことがあげられた。さらに、親潮流域の ^{134}Cs 濃度は 2018 年から 2021 年にかけて、わずかながら有意な増加傾向にあることも明らかになりつつある。2018 年以降、宗谷暖流のもととなる対馬暖流には上昇の傾向はみられていないことから、東カムチャッカ海流における ^{134}Cs 濃度の上昇が推測される。本年会では、2011 年を基準としたタイムスケールを含む亜寒帯海水循環を議論する。

【謝辞】 本研究の一部は、「日本周辺海域における低レベル放射性セシウム等の汚染物質の分布調査および循環の解析」の一環として行われた。海水試料採取にご協力いただいた、蒼鷹丸、北光丸の船長、乗組員、および同乗研究者の皆様に感謝いたします。

Spatial variations of ^{134}Cs concentrations off eastern Hokkaido (2018–2021)

MASHITA, K., TAKEHARA, R., INOUE, M., KAMEYAMA, H., TANIUCHI, Y.,
KURODA, H., KAERIYAMA, H., MIKI, S., NAGAO, S.

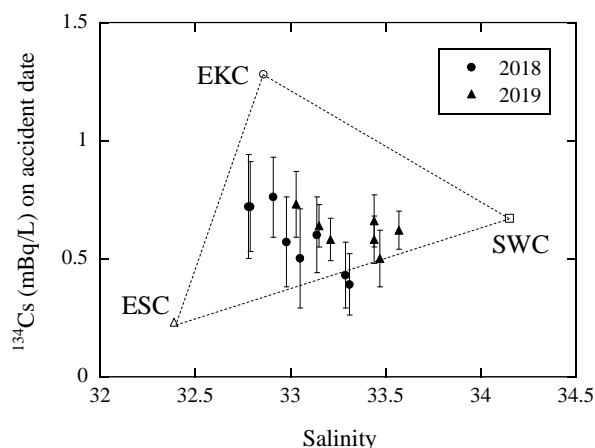


図1 道東海域表層海水における ^{134}Cs 濃度

3P05

$^{228}\text{Th}/^{228}\text{Ra}$ 放射能比の空間分布からみた日本海の粒子吸着性成分の挙動

(金沢大¹、海洋財団²、水産機構・資源研³) ○亀山紘旭¹、井上睦夫¹、諸角季生¹、城谷勇陸¹、花木祥太郎¹、古澤佑一¹、小藤久毅²、森田貴己³、三木志津帆³、長尾誠也¹

【序論】

^{228}Th (半減期 1.91 年) は海洋環境において粒子吸着性であり、一部は粒子とともに海水から除去される。それゆえ、溶存性である親核種 ^{228}Ra との放射能比、すなわち $^{228}\text{Th}/^{228}\text{Ra}$ 放射能比は、粒子さらには粒子吸着性成分の挙動を探る重要な指標となる。日本海においては、対馬暖流下における粒子除去に興味をもたれる。本研究では、 $^{228}\text{Th}/^{228}\text{Ra}$ 放射能比の空間分布をもとに、日本海における粒子除去過程を議論する。

【試料・実験】

2012-2020 年 7-8 月に日本海で海水 ~20 L を採取した (図.1)。表層採水はバケツ、鉛直海水採取は CTD センサー-ニスキン採水ボトルを使用し、水深 0-350 m で採水した。未ろ過海水に BaSO_4 および $\text{Fe}(\text{OH})_3$ 共沈法を適用、ラジウム、トリウム同位体を分離した。石川県小松市の尾小屋地下測定室に設置したゲルマニウム検出器を利用した低バックグラウンドガンマ線測定法により、 ^{226}Ra 、 ^{228}Ra 、 ^{228}Th 放射能濃度を測定した。

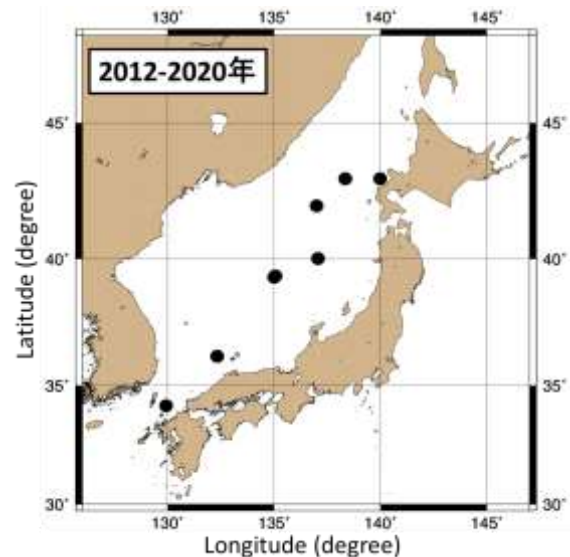


図.1 海水試料採取地点

【結果・考察】

日本海表層 (< 50 m) では、 $^{228}\text{Th}/^{228}\text{Ra}$ 放射能比は、< 0.15 と低い値を示した。盛んな粒子除去を反映する。水深 50-350 m においては、対馬海盆~大和海盆地では、 $^{228}\text{Th}/^{228}\text{Ra}$ 放射能比が、0.1-0.25 と大きな変動はみられなかった。両海域における粒子吸着性成分の挙動および粒子除去メカニズムに、顕著な違いはないことが推測された。一方で、対馬海盆・大和海盆地に比べ、日本海盆地において 0.15-0.6 と高く変動幅の大きい $^{228}\text{Th}/^{228}\text{Ra}$ 放射能比がみられた。ラジウム (^{226}Ra 、 ^{228}Ra) 濃度、塩分などと照らし合わせ、日本海盆地の $^{228}\text{Th}/^{228}\text{Ra}$ 放射能比は、リマン海流など他の水塊の寄与、およびその混合比の差を反映していることが考えられた。

謝辞：本研究の一部は、「日本周辺における低レベル放射性セシウム等の汚染物質の分布調査および循環の解析」の一環として行われました。海水採取にご協力いただいた、蒼鷹丸の同乗研究者、船長および乗組員の皆様に感謝いたします。

Spatial distributions of $^{228}\text{Th}/^{228}\text{Ra}$ activity ratio in the Japan Sea and the implications for transport of reactive materials

KAMEYAMA, H., INOUE, M., MOROKADO, T., SHIROTANI, Y., HANAKI, S., FURUSAWA, Y., KOFUJI, H., MORITA, T., MIKI, S., NAGAO, S.

3P06

DGA resin を用いた Y 分離による骨中 ^{90}Sr 分析方法の開発

(¹日本原子力研究開発機構、²福島大)

○小荒井一真¹、松枝誠^{1,2}、青木譲^{1,2}、藤原健壯¹、寺島元基¹

【緒言】 ^{90}Sr の放射能分析では、正確な測定のために β 線の自己吸収の原因となる試料のマトリックス成分や他の β 線放出核種の化学分離が必要となる。骨や海水魚などのマトリックスの多い試料を対象とする場合、Sr と同族で 2 価イオンとなる Ca などが試料中に大量に含まれるため、 ^{90}Sr を精製する化学分離手法は Ca の分離が不十分なことがある。一方、 ^{90}Sr の娘核種である ^{90}Y を試料から直接分離する手法は 3 価の Y と 2 価の Ca、Sr などを容易に分離できるため、骨中 ^{90}Y を簡便に精製できる前処理手法になる可能性がある。Y に高い選択性を持つ固相抽出樹脂 DGA resin は簡便に ^{90}Y を精製できるが [1]、Ca を大量に含む骨の ^{90}Sr 分析に適用された例はない。そこで本研究では DGA resin での化学分離により ^{90}Y 測定の妨害核種となる元素 (Cs、Pb、Bi、Th、U)、骨のマトリックス元素 (Na、Mg、K、Sr、Ba) が分離できるか調査し、骨標準物質の ^{90}Sr が定量できるか検討した。

【測定試料と実験方法】固相抽出試験用の水溶液 ($1\ \mu\text{g mL}^{-1}$ Y、Cs、Pb、Bi、Th、U、8M 硝酸) は、混合元素標準液 XSTC-13 ($10\ \mu\text{g mL}^{-1}$ の Y、Cs、Pb、Bi、Th、U を含む) と 8 M 硝酸を用いて調製した。この水溶液 10 mL を DGA resin (2 mL カートリッジ) に通液し、その後 10 mL の 8 M 硝酸、10 mL の 8 M 塩酸、20 mL の 3 M 硝酸と 0.3 M フッ酸の混合物、20 mL の 0.02 M 硝酸を連続して洗浄した。最後に 20 mL の 0.1 M 塩酸により Y を溶出した。 ^{90}Sr 測定用の標準物質として、NIST-SRM 4356 (ヒト骨) と JSAC0785 (魚骨) を 2 週間以上静置してから用いた。1 g のヒト骨と 2.5 g もしくは 10 g の魚骨は酸分解により溶液化した。溶解液は 8 M 硝酸相当になるように調整し $100\ \mu\text{g}$ 相当の Y キャリアーを添加した。この溶液を DGA resin に通液し、上記の分離工程同様にカラムを洗浄し、最後に 20 mL の 0.1 M 塩酸により Y を溶出した。溶出液には 1 mg の Fe^{3+} 相当を加え、数 mL の濃アンモニア水により Y を水酸化鉄と共沈後、ろ過により沈殿を捕集した。この沈殿を β 線測定 (6 時間測定) に用いた。カラム溶出液中の元素分析は ICP-MS により行った。

【結果と考察】測定妨害核種となり得る元素のうち Th 以外は各洗浄工程で除去できたが、1.6% の Th は Y と同時に回収された。ヒト骨の ^{228}Th 濃度の認証値は $7.2\ \text{Bq kg}^{-1}$ であることから、上記の回収率であれば $10\ \text{Bq kg}^{-1}$ 程度の ^{90}Sr への干渉は無視できると考えられる。また、ヒト骨 (1 g) と魚骨 (2.5 g) 中のマトリックス元素のほぼ全てが 8M 硝酸の通液により分離でき、特に Ca は 99.9% 除去できた。DGA resin による化学分離法を骨標準物質の ^{90}Sr の分析に適用したところ、1-10 g の骨試料について 75% 以上の Y 回収率が得られ、この際の ^{90}Sr の測定値は、認証値と誤差の範囲で一致することを確認した。この結果は、DGA resin による Y 分離手法が、骨中 ^{90}Sr の分析に適用可能であることを示している。

表. DGA resin での骨標準物質の ^{90}Sr 測定結果

骨標準物質	試料量	Y 回収率 / %	測定値 / Bq kg^{-1}	認証値 / Bq kg^{-1}
NIST-SRM 4356	1.0 g	92.5	44.6 ± 1.3	$42.6 (36.4-49.5)^*$
	2.5 g	75.7	12.7 ± 0.9	$11.5 \pm 2.1^{**}$
JSAC 0785	10 g	86.2	13.1 ± 0.4	

*認証値 (2.5-97.5 %信頼区間) **認証値±標準偏差

[1] E. P. Horwitz *et al.*, *Solvent Extr Ion Exch.*, **23**, 319–344 (2005).

Development of analysis method for ^{90}Sr in bones using Y separation with DGA resin
 KOARAI, K., MATSUEDA, M., AOKI, J., FUJIWARA, K., TERASHIMA, M.

3P07

モニタリングポストの in-situ 校正による空間放射線量率測定の高品質保証

(日本分析センター)○杉山翠、石川清正、田中博幸、新田済、岸本武士

【モニタリングポストの in-situ 校正の必要性】

モニタリングポストによる空間放射線量率の測定は、平常時においては、原子力施設周辺における周辺住民等の被ばく線量の推定及び評価、国内外の原子力施設からの予期しない放射性物質又は放射線の放出の早期検出及び周辺環境への影響評価に用いられ、緊急時においては、OIL (Operational Intervention Level) に基づく防護措置 (住民の避難等) の実施の判断材料の提供等に用いられており、その測定値の信頼性を担保することが重要である。

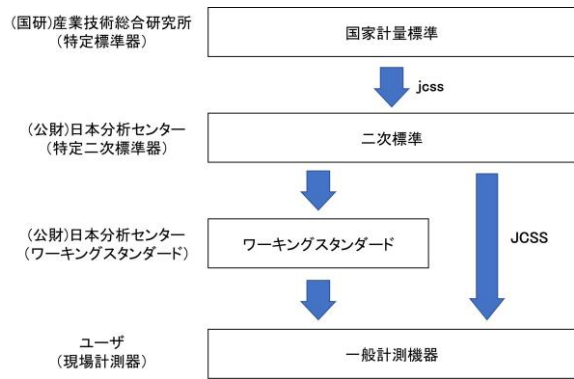
現状、モニタリングポストは製造メーカーによる点検が定期的に行われ、機器調整が行われているものの、「平常時モニタリングについて」(原子力災害対策指針補足参考資料、平成 30 年 4 月 4 日) には、品質保証として、代表的に選んだモニタリングポストに対して校正を実施することが重要であると記載されている。

モニタリングポストは設置場所に固定して使用されているため、設置場所における現地校正 (in-situ 校正) が必要であり、日本分析センターは、モニタリングポストを in-situ 校正できる校正機関として、JCSS (Japan Calibration Service System) の登録を取得している国内で唯一の機関である。

【in-situ 校正方法及びトレーサビリティ体系】

JCSS 校正のためのトレーサビリティ体系図を示す。

国家標準とトレーサブルなワーキングスタンダードである電離箱線量計を用いた in-situ 校正を実施している。モニタリングポスト及びワーキングスタンダードの両方に対して、Cs-137 線源による約 1 $\mu\text{Gy/h}$ 程度の照射を行い、その結果を比較することにより校正を実施している。in-situ 校正の拡張不確かさ ($k=2$) は 7% 程度である。



【これまでの in-situ 校正実績】

全国 47 都道府県に約 300 台設置されている環境放射能水準調査用のモニタリングポスト (NaI(Tl)シンチレーション検出器) について、2016 年度から in-situ 校正を実施しており、2020 年度までに 33 台 (33 自治体) の校正を実施した。校正定数は 0.97~1.07 の範囲であり、国内における空間放射線量率の測定が適切に実施されていることを確認した。

なお、2020 年度からは、全国の原子力施設監視用のモニタリングポスト (NaI(Tl)シンチレーション検出器及び電離箱検出器) も対象として in-situ 校正を実施している。

本発表は、原子力規制庁委託事業である環境放射能水準調査の成果の一部である。

Quality assurance by in-situ calibration for air dosimeters installed at monitoring stations
SUGIYAMA, M., ISHIKAWA, K., TANAKA, H., NITTA, W., KISHIMOTO, T.

【緒言】 2021年4月に開催された廃炉・汚染水・処理水対策関係閣僚等会議において、「東京電力ホールディングス株式会社福島第一原子力発電所における多核種除去設備等処理水の処分に関する基本方針」が示され、福島第一原子力発電所による事故以降、継続的に発生し続けているALPS処理水の海洋放出が決定された。この決定を受け、今後、海域モニタリングが強化・拡充されることになるが、同時に、海域モニタリングにおける分析値の質の保証の重要性が益々高まっていくものと考えられる。

IAEAは、平常時及び緊急時モニタリングにおいて、迅速かつ信頼性が高い分析を行うことができる研究機関の世界的なネットワークとして、1995年にALMERA (Analytical Laboratories for the Measurement of Environmental Radioactivity)を設立した。ALMERAには2021年6月時点で90カ国194機関が登録されており、日本分析センター(以下、「当センター」と示す。)は2008年から参加している。ALMERAの主な活動として、技能試験(Proficiency Test)、分析法の開発、標準試料の開発、ワークショップ・研修の実施等があり、また、年に1回年次会議を開催し、情報交換が活発に行われている。

当センターが外部精度管理として参加しているIAEAが主催する技能試験の中に、海域モニタリングを実施する研究機関をサポートすることを目的としたIAEA-RML-PTがある。海水試料中のH-3、Sr-90、Cs-137等の核種を分析するプログラムが実施されており、当センターは2014年から継続的に参加している。今回、2020年に実施されたIAEA-RML-2020-01 PROFICIENCY TESTの結果と共に、過去の結果をまとめたものを紹介する。

【内容】 2020年の本技能試験では、地中海の海水5LにH-3、Sr-90、Cs-134、Cs-137及び未知のガンマ線放出核種が添加されたものが提供された。分析期間は約3ヵ月で、分析方法は、各機関が適切な方法を選択しなければならない。図1にトリチウムの報告結果を示す。当センターでは、全ての核種について「満足」な結果であった。

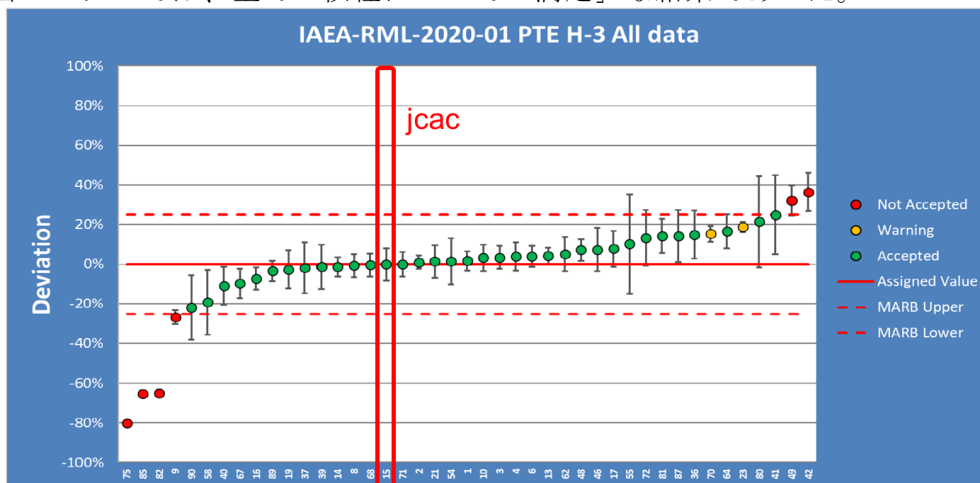


図1トリチウムについての報告結果

本研究は原子力規制庁委託費(環境放射能水準調査)事業の成果の一部である。

3P09

$^{111}\text{Cd}(\leftarrow^{111m}\text{Cd})$ 及び $^{111}\text{Cd}(\leftarrow^{111}\text{In})$ プローブを用いた摂動角相関法による $\text{Cd}_x\text{Fe}_{3-x}\text{O}_4$ 中の超微細場測定

(金沢大院自然¹、金沢大理工²、京大複合研³) ○藤井光樹¹、小中將彰²、伊東泰佑¹、大久保嘉高³、佐藤渉^{1,2}

【緒言】 スピネル化合物は構成元素の種類や占有サイトにより電氣的、磁氣的特性が変化する物質で、機能性材料としての応用に向けて、それらの基礎物性を調べるが大変重要である。先行研究において逆スピネルである Fe_3O_4 に不純物として導入された摂動角相関(PAC)法の ^{111m}Cd プローブ核は A サイトを占有し、超微細磁場による静的な摂動パターンが観測された[1]。一方で正スピネルである CdFe_2O_4 の超微細場を同法で測定したところ、同じく A サイトを占有する ^{111m}Cd プローブ核の核スピン緩和現象が観測された[2]。さらにこの緩和現象の手がかりを得る為、 $^{111}\text{Cd}(\leftarrow^{111}\text{In})$ プローブを用いて CdFe_2O_4 と Fe_3O_4 の中間的な組成を持つ $\text{Cd}_x\text{Fe}_{3-x}\text{O}_4$ のスペクトルの濃度依存性を調べた結果、 ^{111}In プローブが A サイトの占有割合が大きくなる試料($x=0.25, 0.5$)では、温度上昇により先行研究[2]と類似する核スピン緩和現象が観測され、A サイトのプローブで顕著に観測される現象であることが示唆された[3]。そこで本研究では、 $\text{Cd}_x\text{Fe}_{3-x}\text{O}_4$ を対象に $^{111}\text{Cd}(\leftarrow^{111m}\text{Cd})$ 及び $^{111}\text{Cd}(\leftarrow^{111}\text{In})$ プローブを用いた PAC 測定によりスペクトルの Cd 濃度依存性並びにプローブ依存性を調べた。

【実験】 Fe_3O_4 , Fe_2O_3 および CdO 粉末を混合し、錠剤成型後、真空中 1373 K で 45 分間焼成して $\text{Cd}_x\text{Fe}_{3-x}\text{O}_4$ 試料を作成し、 ^{111}In プローブを試料に滴下し、真空中 1373 K で 3 時間熱拡散を行い PAC 測定を行った。また、京大原子炉にて ^{110}Cd の純度を 96.5% に同位体濃縮した CdO 粉末に中性子照射して ^{111m}Cd を生成した。この酸化物と Fe_3O_4 , Fe_2O_3 および CdO 粉末を混合し、錠剤成型後、真空中 1373 K で 45 分間焼成して $\text{Cd}_x\text{Fe}_{3-x}\text{O}_4$ 試料を作成し、 ^{111m}Cd プローブの PAC 測定を行った。

【結果】 Fig.1 は 773 K での ^{111m}Cd を用いた $\text{Cd}_{0.25}\text{Fe}_{2.75}\text{O}_4$ の PAC スペクトルである。本研究においてこの試料の磁気転移温度(T_C)は 753 K であることが分かり(Fig.2)、磁気が消失している 773 K での核スピン緩和現象を示唆する指数関数的な減衰は、プローブ核と電場勾配との相互作用に起因することを示唆している。また、 $x=0.25$ 以外の Cd 濃度の試料でも磁気転移温度以上で同様な結果が観測された。 ^{111m}Cd プローブが A サイトを占有することを勘案すると、これらの現象は A サイトの電場勾配による摂動に帰することができる。

[1] W. Sato *et al.*, *J. Appl. Phys.* **120**, 145104 (2016).

[2] W. Sato *et al.*, *J. Radioanal. Nucl. Chem.* **316**, 1289 (2018).

[3] 小中將彰 金沢大学物質化学類卒業研究 (2020)

Measurements of local fields in $\text{Cd}_x\text{Fe}_{3-x}\text{O}_4$ by means of PAC spectroscopy with the $^{111}\text{Cd}(\leftarrow^{111m}\text{Cd})$ and $^{111}\text{Cd}(\leftarrow^{111}\text{In})$ probes

FUJII, M., KONAKA, M., ITO, T., OHKUBO, Y., SATO, W.

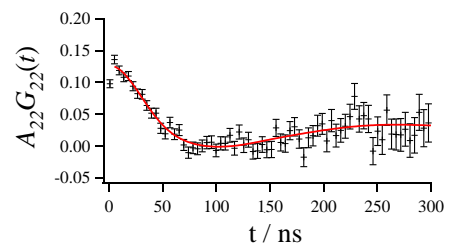


Fig. 1: 773 K での $\text{Cd}_{0.25}\text{Fe}_{2.75}\text{O}_4$ 中 $^{111}\text{Cd}(\leftarrow^{111m}\text{Cd})$ の PAC スペクトル

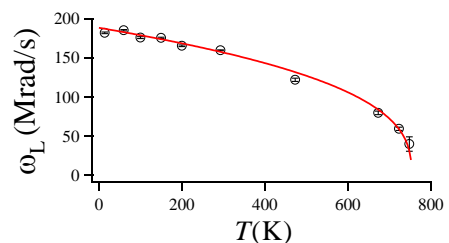


Fig. 2: $\text{Cd}_{0.25}\text{Fe}_{2.75}\text{O}_4$ 中の ^{111}In プローブの PAC 測定で得られたラーモア周波数の温度依存性

3P10

加速器中性子によるがん治療用 Sc-47 の製造に関する研究

(原子力機構¹、量研機構²、千代田テクノル³) ○塚田和明^{1,2}、橋本和幸²、橋本慎太郎¹、浅井雅人¹、初川雄一²、佐伯秀也^{2,3}、川端方子^{2,3}、太田朗生^{2,3}、本村新^{2,3}

【はじめに】 ^{47}Sc (半減期 3.35 日) は、がん治療に適した β 線 (平均エネルギー 162 keV) と画像化に適した γ 線 (159 keV) を同時に放出するため、その臨床応用が期待されている。そのため、原子炉熱中性子及び加速器による荷電粒子等を用いた製造手法の研究が行われてきたが、臨床応用に必要な品質を確保できていない等の問題がある。近年、我々は、医療用 RI 合成に加速器で発生させる高速中性子 (加速器中性子) を用いた製造法を提唱してきた[1]。昨年の年会では、主に、ターゲット物質である Ti からの ^{47}Sc 分離手法研究について報告したが[2]、今回は、生成量と副生成物に関する入射する重陽子のエネルギー依存性並びに副生成物等の評価を中心に報告する。

【実験】 原子力機構タンデム加速器施設および東北大学サイクロトロンにおいて、重陽子ビーム (15~40 MeV, 約 1 μA) を Be 標的 (22 mm ϕ \times 10 mm) に照射して得られる高速中性子を、濃縮 ^{47}Ti 酸化物 (95.70 \pm 0.30%濃縮, 約 35 mg) に約 1 時間照射し ^{47}Sc を合成した。高速中性子はビーム前方に放出されるため、照射試料は Be 標的から 9 mm 前方の空气中に設置した。照射終了後、Ge 半導体検出器を用いて照射試料の γ 線測定を行い、 ^{47}Sc 並びに副生成物の生成量を入射重陽子エネルギーごとに評価した。

【結果・考察】 主に $^{47}\text{Ti}(n, p)$ 反応で得られる ^{47}Sc に加えて他の Sc 同位体など副生成物を確認した。図に本実験で得られた、入射重陽子エネルギーに対する生成核種の放射能 (1 g の試料に 1 μA で 1 時間照射した照射終了時の生成量) を示す。Be 標的から発生する中性子の最大エネルギーは入射重陽子のエネルギーに依存するため、図のようにその生成量が大きく変化する。主に (n, p) 反応で生成する ^{47}Sc 及び $^{46,48}\text{Sc}$ は 25 MeV の重陽子でほぼ最大化されるが、 $^{44\text{m}}\text{Sc}$ など更に多核子を放出する反応による生成物は、25 MeV では生成が抑えられ、 ^{47}Sc の放射能純度を高めるためには、25 MeV の重陽子照射が最適であることがわかった。また、半減期が長い ^{46}Sc の影響を抑えるためには濃縮試料の利用が必須である事も明白である。報告では、本成果に加えて分離手法開発の現状についても報告する予定である。なお、本成果は科研費基盤研究 (19K08163 及び 21H03742) 及び短寿命 RI 供給プラットフォームの助成を受けたものである。

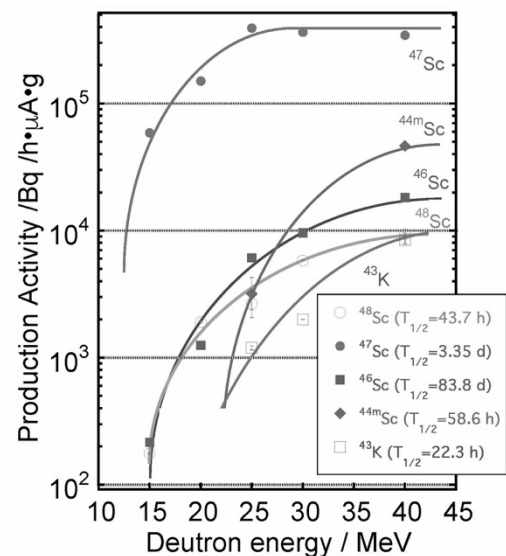


図 重陽子エネルギーに対する生成量変化。

【参考文献】 [1] Nagai et al., J. Phys. Soc. Jpn, 82, 064201 (2013).

[2] 橋本ら、2020 日本放射化学会年会、P32 (2020).

Production of Sc-47 for cancer therapy using accelerator neutrons

TSUKADA K., HASHIMOTO, K., HASHIMOTO, S., ASAI, M., HASTSUKAWA, Y. SAEKI, H., KAWABATA, M., OHTA, A., MOTOMURA, A.

3P11

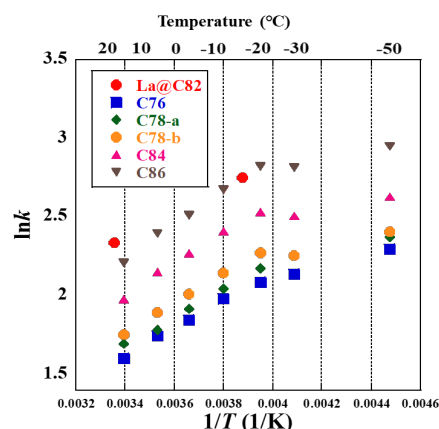
HPLC 分析によるランタノイド内包フラーレン ($\text{Ln}^{3+}@\text{C}_{82}^{3-}$) の電子状態に関する研究

(都立大院理¹, 理研仁科セ², 京大複合研³) ○西村 峻¹, 雨倉 啓¹, 秋山 和彦^{1,2}, 羽場 宏光², 高宮 幸一³, 久富木 志郎¹

【緒言】金属内包フラーレン(EMF)はフラーレンに金属原子を内包した構造を持つ包接化合物である。ランタノイド元素(Ln)を内包したフラーレン($\text{Ln}@\text{C}_{82}$)は Ln から C_{82} ケージへ 2 ないし 3 つの電子が移動しており、電子状態は電荷移動数を大きく反映する。一方、高速液体クロマトグラフィー (HPLC) などにおける多段吸脱着平衡反応では固定相と直接相互作用する C_{82} ケージ上の電荷移動数が等しくても、内包 Ln 原子が変わると保持時間に微小な差が現れる。このような化学平衡に現れる EMF の電子状態の差が、内包 Ln のどのような性質に由来するか興味を持たれる。先行研究では、多元素同時分析が可能なラジオクロマトグラフィー法を用いて La から Ho までの Ln 原子を内包した $\text{Ln}@\text{C}_{82}$ の精密な保持時間が決定され^[1]、4f 軌道の不対電子数の差が電子状態へ影響を与える可能性が示唆された^[2]。本研究ではさらに詳細に電子状態に関する知見を得ることを目的として HPLC 保持時間の温度依存性について炭素数の異なる空フラーレンを用いて調べ、熱力学的分析を行うことで分離機構の詳細を明らかにすると共に $\text{La}@\text{C}_{82}$ 等の金属フラーレンの挙動を調べた。

【実験】あらかじめ分離した高次フラーレン(炭素数：76, 78, 84, 86)を用いて HPLC 展開 (カラム：Buckyprep、溶離液：トルエン、流速：3.2 ml·min⁻¹、温度範囲：20°C～-50°C) し、測定した温度における各フラーレンの保持時間を決定した。また、単離した $\text{Ln}@\text{C}_{82}$ を京都大学複合原子力科学研究所 KUR Pn2 孔にて放射化し、HPLC 展開 (温度：-15°C、冷媒：エタノール) を行った。この溶出成分を 1 分毎に分画し、試料から放出される γ 線を Ge 半導体検出器で測定し、得られたラジオクロマトグラムから $\text{Ln}^{3+}@\text{C}_{82}^{3-}$ の保持時間を決定した。

【結果】高次フラーレンと $\text{La}@\text{C}_{82}$ を用いた保持時間の温度依存性を図に示した。HPLC 保持時間はクロマトグラフィーにおける吸脱着平衡定数と相関があることから van't Hoff 式に従い $1/T$ に対して直線的に変化すると予想されたが、図に示した通り、-20°C と -30°C の間で傾きに明確な変化があることがわかった。固定相の DSC 測定の結果、これらの傾きの変化は固定相の相転移に由来するものであることが示唆された。また、 $\text{La}@\text{C}_{82}$ の保持時間は約 95 分と室温に比べて非常に遅くなることがわかった。測定した 2 点を図に示したが、高次フラーレンに比べ傾きが小さい可能性が示唆された。



図：フラーレンの van't Hoff プロット

[1] 秋山和彦他、2009 日本放射化学会年会・第 53 回放射化学討論会 1P28(2009).

[2] 雨倉啓他、2019 日本放射化学会年会・第 63 回放射化学討論会 3B09(2019)

Study on the electronic state of lanthanide endohedral metallofullerenes by HPLC analysis.
NISHIMURA, S., AMEKURA, K., AKIYAMA, K., HABA, H., TAKAMIYA, K., KUBUKI, S.

3P12

質量分析法を用いた岩石中 $^{234}\text{U}/^{238}\text{U}$ 放射能比の 高精度迅速測定法の確立

(関西学院大院理工)○栗林千佳、谷水雅治

放射性核種であるウランは地球表層中に微量に存在しており、大気核実験や原子力発電関連施設での事故などによって人為的にも環境中へと付加されている。天然および人為起源に由来するこれらウランの物質循環の把握には、ウランの同位体比が重要な指標となっている。ウラン-234を用いた同位体比 ($^{234}\text{U}/^{238}\text{U}$ 比) は、 ^{234}U と ^{238}U の放射平衡への到達度の関係を利用した岩石の年代測定への利用が主流であるが、地下水年代や帯水層の母岩の種類に依存して放射非平衡の程度 (放射能比) が異なることを利用した水文学的トレーサーとしての応用が試みられている。このトレーサーとしての応用においては、わずかな放射能比の変動を把握する必要があるため、 $^{234}\text{U}/^{238}\text{U}$ 比の分析精度が重要となる。従来、 $^{234}\text{U}/^{238}\text{U}$ 比は精度数%の放射線計測による測定が主流であったが、2000年以降の質量分析法の発展に伴い、微量なウラン量での高精度かつ迅速な同位体分析法が提案されている。

本研究では、天然試料を対象とした質量分析法による $^{234}\text{U}/^{238}\text{U}$ 比の分析精度および繰り返し再現性を確認するため、ペルム紀～白亜紀の各時代に属する複数の石灰岩を試料とし、二重収束多重検出型 ICPMS を用いて $^{234}\text{U}/^{238}\text{U}$ 同位体分析を行った。さらに、数百万年以上前に形成した二次的変質のない石灰岩は放射平衡 (放射能比=1) に達していると予想されることから、天然のウラン同位体組成 ($^{234}\text{U}/^{238}\text{U}=0.00005499$ 、 $^{235}\text{U}/^{238}\text{U}=0.00725$) との値の比較も行った。石灰岩試料は鉄水酸化物共沈法および陰イオン交換カラムを用いて試料中の主要溶存イオンを除去した後、ウランを含む溶液を回収し分析を行った。

分析の結果、数グラムの石灰岩試料に含まれる約 2 ng のウランでの $^{234}\text{U}/^{238}\text{U}$ 比測定において、約 0.2% の高い分析精度 (2σ) と再現性が得られたことから、質量分析法を用いて天然試料の放射能比を正確に把握するために十分な分析精度が得られることが確認された。また、分析した石灰岩は天然のウラン同位体組成とほぼ同様の組成を示し、放射平衡に近い状態であることが確認された。この石灰岩から得たウランを含む溶液を同位体分析用の標準試料として環境学的試料の放射能比を相対的に算出することで、地下水流動の把握などへの応用を念頭に、放射非平衡を示す天然試料の $^{234}\text{U}/^{238}\text{U}$ 放射能比分析を検討している。

Precise and rapid $^{234}\text{U}/^{238}\text{U}$ analysis of rock samples by mass spectrometry
KURIBAYASHI, C., TANIMIZU, M.

English Abstracts

1K01 Time-series variations of ^{129}I activity concentrations and $^{129}\text{I}/^{137}\text{Cs}$ activity ratios for SPM samples collected in eastern Japan just after the FD1NPP accident

EBIHARA, M.¹, SHIRAI, N.², OURA, Y.², TSURUTA, H.³, MATSUZAKI, H.⁴, MORIGUCHI, Y.⁵

(¹Waseda Univ., ²Tokyo Metropolitan Univ., ³RESTEC, ⁴Univ. Tokyo, ⁵NIES)

We have determined hourly atmospheric concentrations of ^{129}I in aerosol dispersed into the atmospheric environment just after the nuclear accident at FD1NPP on March 11, 2011 by measuring the quantity of ^{129}I in suspended particulate matter (SPM) collected on filter tapes at 41 SPM monitoring stations in Fukushima and other prefectures in eastern Japan including the metropolitan area. Out of 920 hourly collected SPM samples, 500 were judged to be trustworthy for scientific discussion by critical scrutinization. Based on those data, especially the data for the four SPM monitoring sites close to FD1NPP (Futaba, Naraha, Haramachi and Nihonmatsu), time-series variations of the atmospheric concentration of ^{129}I as well as ^{137}Cs was observed to be continuously and sometimes explosively dispersed in aerosol into the environment as radioactive polluted air masses (plumes) from FD1NPP. The highest activity concentration of ^{129}I as well as ^{137}Cs was observed in the SPM samples collected at the Futaba SPM station at 14:00-15:00 on March 12 after the vent operation of Unit 1. Systematically high $^{129}\text{I}/^{137}\text{Cs}$ activity ratios were observed at Futaba and Haramachi from March 12 to 14, suggesting that masses

released from FD1NPP during the first few days after the nuclear accident had been relatively enriched in radioiodine.

1K02 Vertical distribution of radiocesium concentration in beach sand from Fukushima Prefecture, Japan

NAGAO, S.¹, PUTRA, D. I. P.¹, MINAMI, T.¹, FUJIU, M.¹, TOMIHARA, S.², OCHIAI, S.¹
(¹Kanazawa Univ., ²Fukushima Marine Science Museum)

Beach area of Fukushima Prefecture is possible source of radiocesium from land to ocean after the Fukushima Daiichi Nuclear Power Plant (FDNPP) accident on March 11, 2011. Because contaminated seawater moved from the FDNPP to coastal area of Fukushima Prefecture. Therefore, beach sand analysis is needed to identify the release of radiocesium from beach sand. The beach research has been performing at Yotsukura Beach, which is located about 40 km south from the FDNPP. The beach sand samples were collected at nine sites on 9-10 July 2019. The samples taken by a stainless steel tube cut into 5 cm thickness and determined radioactivity of Cs-134 and Cs-137 by using Ge detector. The maximum concentration of radiocesium in each core sample ranged from 22.9 Bq/kg to 5745 Bq/kg. We also determined the relief of beach sand surface by unmanned aerial vehicle (UAV, drone). In this presentation, we report the vertical profiles of radiocesium and discuss with maximum concentration of radiocesium in sand layer based on elevation estimated from the UAV observation data.

1K03 Dissolution properties of radiocesium-bearing microparticles (CsMPs) released by the Fukushima nuclear accident

OKUMURA, T.¹, YAMAGUCHI, N.², MIKOUCHI, T.¹, KOGURE, T.¹

(¹Univ. Tokyo, ²NARO)

Radiocesium-bearing microparticles (CsMPs), which are spherical silicate glass of a few microns, were released into the environment by the Fukushima nuclear accident. This study investigated the dissolution properties of CsMPs in various solutions in order to understand the environmental dynamics of CsMPs. First, contaminated non-woven fabric cloth was immersed in 0.1 M hydrochloric acid at 90 °C for 24 h, resulting that radiocesium sorbed by other materials than CsMPs was removed from the cloth because the dissolution rate of CsMPs is slower than other radioactive materials such as radiocesium-sorbing minerals in acidic solutions. Next, the cloth was immersed in various solutions at 60 °C, and the dissolution rates of CsMPs were estimated by periodically measuring the radioactivity of eluted ¹³⁷Cs. In the case of the solutions without Na⁺ (hydrochloric acid, pure water, Tris-HCl buffer), the dissolution rates were similar regardless of their pH. However, the dissolution rates became faster in the solutions with higher pH when Na⁺ is present (citrate buffer, Ringer's solution, seawater, carbonate buffer). Such dissolution characteristics are comparable to those of silica glass, and catalytic effects of alkali ions such as Na⁺ may accelerate the dissolution of silicate glass

composing CsMPs.

1K04 A study of the shape of radioactive particles derived from Fukushima Daiichi Reactor Unit 1

MINOWA, H., YOSHIKAWA, H.

(Jikei Univ.)

Radioactive particles were separated from the sample collected northwest direction of Fukushima Daiichi Nuclear Power Plant within 3 km area. The type B particles with about 0.96 as ¹³⁴Cs/¹³⁷Cs ratio at the accident were studied about the shape observed with a microscope. About 40 particles are classified according to their shape into the following four types; 1. Spherical, 2. Rounded, 3. Angular, 4. Fibrous. It is considered that this shape classification No. 1 was exposed to the highest temperature and No. 4 was exposed to a relatively low temperature. It is estimated that the glass wool (rock wool) used as a heat insulating material was the source of silicon of the type B particles derived from Unit 1, and that the type B particles were formed by a hydrogen explosion. We also conducted heating experiments on fibrous radioactive particles and glass wool to estimate the formation process.

1K05 Laser generation of radiocesium-bearing microparticles derived from the Fukushima nuclear accident

INAGAKI, M., SEKIMOTO, S., TAKAMIYA, K., OKI, Y., OHTSUKI, T.

(KURNS)

Water-insoluble microparticles called radiocesium-bearing microparticles (CsMPs) are known to be one of the forms of radioactive materials released by the accident

at the Fukushima Dai-ichi Nuclear Power Plant. In this study, CsMPs were generated in the laboratory to clarify the formation process. The composition of Type A-CsMPs reported in a previous study was used as a reference to produce a glass that reproduces Type A-CsMPs. Raw materials of 59.7SiO₂ - 10.6Cs₂CO₃ - 9.8ZnO - 8.7NaCl - 6.9Fe₂O₃ - 3.0SnO₂ - 0.8K₂CO₃ - 0.7Rb₂CO₃ (wt%) were placed in an alumina crucible and heated to 1250 °C in an electric furnace to produce glass. The crucible containing the glass was placed in a chamber and irradiated with an infrared laser, and the fume containing fine particles generated by the heating was collected by an impactor. As a result of analyzing the collected particles, it was found that spherical particles with a diameter of several micrometers, similar to actual Type A-CsMPs, were successfully generated. One hypothesis for the formation process of Type A-CsMPs is that the SiO₂-rich materials were heated rapidly by contact with the high-temperature molten fuel, resulting in the formation of fumes and the formation of CsMPs.

1K06 Elution suppression capability of radioactive Cs and durability of soil-mixed geopolymer solidified by mixing municipal solid waste incineration fly ash and soil

SAITO, R.¹, OGAWA, N.², KOIKE, Y.²

(¹Grad. Sch. of Sci. and Tech., Meiji Univ.,

²Sch. of Sci. and Tech., Meiji Univ.)

Radioactive cesium in municipal solid waste incineration fly ash exists in a water-soluble compound and may easily elutes by contact with environmental water such as rainwater after landfill disposal. Geopolymer

solidification treatment is known as a detoxification method for incinerated fly ash. To suppress the elution of radioactive cesium into the environment, soil-mixed geopolymer was solidified by mixing municipal solid waste incineration fly ash and readily available volcanic soil. Some soils are confirmed to have the ability to adsorb radioactive cesium. Soil-mixed geopolymer can be expected to have a synergistic elution suppression effect. Akadama soil was used as active filler for soil-mixed geopolymer solidification. Elution suppression capability was evaluated by the Japanese leaching test of No. 13 test and tank leaching test, which is a long-term test. Akadama soil-mixed geopolymer was confirmed to have a high elution suppression effect in two types of leaching tests. The uniaxial compressive strength of Akadama soil-mixed geopolymer was 0.68 MPa, which was below the landfill standard value. In addition, UV deterioration test and durability test against acid were performed on soil-mixed geopolymer.

1K07 Time-variation of local magnetic ordering in Cd_{0.75}Fe_{2.25}O₄

ITO, T.¹, KONAKA, M.², FUJI, M.¹, SATO, W.^{1,2}

(¹Grad. Sch. Nat. Sci. Tech., Kanazawa Univ.,

²Inst. Sci. Eng., Kanazawa Univ.)

Spinel oxides exhibit various physical properties depending on the constituent metal elements and on their residence positions: the tetrahedral A site and octahedral B site. Especially, electric conductivity and magnetic property of spinel oxides have been

extensively studied for practical application. In our recent study, hyperfine fields in CdFe_2O_4 were measured by means of perturbed angular correlation spectroscopy with the $^{111}\text{Cd}(\leftarrow^{111\text{m}}\text{Cd})$ probes and obtained a result implying nuclear relaxation of the ^{111}Cd probe. In order to provide insight into the phenomenon, we measured the hyperfine fields at Fe nuclei in $\text{Cd}_{0.75}\text{Fe}_{2.25}\text{O}_4$ having a similar structure to normal spinel CdFe_2O_4 by means ^{57}Fe Mössbauer spectroscopy. As a result, it was found that the local magnetic fields gradually change day by day within a three-day measurement time. This phenomenon seems to be due to the aging phenomenon of spin glass, where magnetization gradually increases with the growth of magnetic domain. In the presentation, time variation of the local magnetic ordering is discussed based on temperature dependent Mössbauer spectra.

1K08 Thermal stability of local structure at ^{111}Cd doped in SrTiO_3

KOMATSUDA, S.¹, SATO, W.², OHKUBO, Y.³.

(¹Inst. Hum. Soc. Sci., Kanazawa Univ., ²Inst. Sci. Eng., Kanazawa Univ., ³KURNS)

Strontium titanate (SrTiO_3) doped with trivalent ions as impurity exhibits a wide variety of electric properties. For a practical use of SrTiO_3 as a conduction-controlling device, it is of great importance to study the lattice site location of doped impurities and their surroundings. From this point of view, we have applied the the time-differential perturbed angular correlation method

(TDPAC) method to a study of the local structures at the In^{3+} site in SrTiO_3 at various temperatures. We obtained the following results from the TDPAC measurements that the electric field gradient (EFG) shows a zero for one component, while the remaining two components shows two well-defined EFG values. On the basis of the cubic structure of SrTiO_3 , the unperturbed component might be caused by the occupation of the $^{111}\text{Cd}(\leftarrow^{111}\text{In})$ probes at the defect-free substitutional Sr or Ti sites in SrTiO_3 . The remaining two non-zero frequencies imply that defects were associated with ^{111}In probes at the site of Sr and Ti. For more information on the microstructure of doped SrTiO_3 , we performed TDPAC measurements for SrTiO_3 with a $^{111}\text{Cd}(\leftarrow^{111\text{m}}\text{Cd})$ probe at various temperatures. In the session, the lattice site location of doped impurities and their surroundings are discussed based on the temperature dependence of the EFGs at the probes.

1K09 Discussion of Spin transition caused by gamma-ray irradiation on $\text{Fe}(\text{3,4-lutidine})_2[\text{Ag}(\text{CN})_2]_2$

KITASE, K., TAZAWA, T.

(Toho Univ.)

Hofmann-type complex is a coordination polymer with a center metal ion such as Fe, Ni or Cd, bridging ligand that is linear dicyanide complex or square planer tetracyanide complex, and pyridine-type ligands. The spin-crossover (SCO) phenomenon is a reversible transition between high-spin (HS) and low-spin (LS) state. ^{57}Fe Mössbauer spectroscopy is a useful tool for investigations in Fe-based

SCO phenomenon due to dependence of valences, spin states, and environments of Fe site. In this research, we synthesized a Hofmann-type complex $\text{Fe}(3,4\text{-lutidine})_2[\text{Ag}(\text{CN})_2]_2$. This complex is synthesized by direct method using Mohr's salt, $\text{K}[\text{Ag}(\text{CN})_2]$ and ligand. The magnetic measurement shows two-step spin transition in this complex. The single crystal data shows this complex belongs to the Hofmann-type double-layer structure. Ag — Ag interaction exists. However, Slight diffraction peaks belong to different lattice appeared by long time X-ray irradiation. ^{57}Fe Mössbauer spectroscopy of this complex at room temperature reveals that not only typical HS state are existed at this temperature due to not completely symmetrical spectrum. That result could be explained by phase transition induced by X-ray or gamma-ray.

1K10 Photocatalytic degradation of organic dyes and phenol by Iron-silicate Glass under visible light irradiation

KHAN, I.¹, AKIYAMA, K.¹, KUBUKI, S.¹, KUZMANN, E.², HOMONNAY, Z.², SINKO, K.²

(¹Tokyo Metropolitan Univ., ²Eötvös Loránd Univ.)

The aim of this work is the development of an effective treatment of wastewater polluted with organic compounds by green chemical techniques. Glasses and ceramics with photocatalytic properties could be applied for the decomposition of organic materials in contaminated wastewater. Hematite ($\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3$) is a suitable material, due to its photocatalytic

properties and low bandgap energy. In this study, we report the relationship between structure and photocatalytic

ability of simple iron-silicate glass. The results showed that the catalyst containing 20% of iron had good catalytic property for the degradation of both types of organic contaminants with superior stability for the degradation of methylene blue dye even after six recycles. The highest degradation rate constant of $62 \times 10^{-3} \text{ min}^{-1}$ was observed for Methylene Blue dye. Moreover, the degradation of phenol was not affected by the pH, which means no need to adjust or re-adjust pH. It is concluded that precipitation of $\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3$ in the SiO_2 matrix is essential for enhancing the visible light photocatalytic activity with good recyclability.

1K11 In-beam Mössbauer spectroscopy of ^{57}Mn implanted into LiAlH_4

SATO, Y.¹, YAMADA, Y.¹, KOBAYASHI, Y.², KUBO, K.³, MIHARA, M.⁴, SATO, W.⁵, MIYAZAKI, J.⁶, NAGATOMO, T.⁷, ANDO, T.², TAKAHAMA, N.², SOME, K.², SATO, M.², SATO, S.⁸, KITAGAWA, A.⁸

(¹Tokyo Univ. of Science, ²Univ. of Electro-Communications, ³International Christian Univ., ⁴Osaka Univ., ⁵Kanazawa Univ., ⁶Tokyo Denki Univ., ⁷RIKEN, ⁸National Institute of Radiological Sciences)

In-beam Mössbauer spectroscopy of solids implanted with ^{57}Mn , which decays to ^{57}Fe with a half-life of 1.45 min, enables atomic-scale investigations of the physical, chemical, and magnetic properties of extremely dilute collections of Fe atoms in solids in which iron is insoluble. Lithium aluminum hydride

(LiAlH₄), is possible application as a hydrogen storage material has also been pointed out, consists of AlH₄⁻ anions spaced by Li⁺ counter ions; the H atoms tetrahedrally coordinate to the Al atom to form AlH₄⁻. In this study, in-beam Mössbauer spectra of ⁵⁷Mn implanted into LiAlH₄ were measured to investigate the chemical form of Fe atoms trapped in the LiAlH₄ lattice.

The experiment was performed using the heavy ion synchrotron accelerator facility (HIMAC) at National Institutes for Quantum and Radiological Science and Technology (QST). The ⁵⁷Mn nuclei were produced by a projectile fragmentation reaction of the primary beam of ⁵⁸Fe ions and a target of ⁹Be. A parallel-plate avalanche counter (PPAC) was employed as a detector, and high-quality spectra were obtained by the anti-coincidence method.

In-beam Mössbauer spectra of ⁵⁷Mn implanted into LiAlH₄ were measured at different temperatures between 17 and 300 K. The Mössbauer spectrum measured at 17 K showed two sets of doublets, which were confirmed by DFT calculations, and assigned to ⁵⁷Fe atoms at substitutional sites at Al³⁺ and Li⁺ sites. The Debye temperatures θ_M for the ⁵⁷Fe atoms at Al³⁺-substituted and Li⁺-substituted sites were estimated to be 194 K and 117 K, respectively.

1K12 Chemical states of Fe atoms in solid hydrogen

SATO, M.¹, KOBAYASHI, Y.¹, YAMADA, Y.², KUBO, M. K.³, MIHARA, M.⁴, SATO, W.⁵, NAGATOMO, T.⁶, OKAZAWA, A.⁷,

KIJI, M.¹, HAMANO, K.¹, SATO, S.⁸, KITAGAWA, A.⁸

(¹Univ. Electro-Commun., ²Tokyo Univ. Sci., ³ICU, ⁴Osaka Univ., ⁵Kanazawa Univ., ⁶RIKEN, ⁷Nihon Univ., ⁸QST HIMAC)

It is essential to know the chemistry between hydrogen, which are attracting attention as the next generation energy source, and hydrogen storage materials. The inexpensive and abundant metals such as iron are expected to be applied as storage materials, but there have not been many reports on iron hydrides. In this study, we measured the in-beam Mössbauer spectra of ⁵⁷Fe produced by β -decay after implantation of a short-lived unstable nucleus ⁵⁷Mn ($T_{1/2} = 89$ s) into a solid hydrogen matrix. From the obtained Mössbauer parameters and DFT calculations, we discussed on the electronic states of Fe atoms and their coordination environments.

The experiment was carried out at the secondary beamline in QST HIMAC. The target cell for solid hydrogen was fixed to the cold head of the cryostat and cooled down to 7 K, and then high purity hydrogen was introduced into the target cell after precooling with liq. N₂. ⁵⁷Mn nuclei were produced by the projectile fragmentation reaction between the ⁵⁸Fe beam and the Be target. ⁵⁷Mn was implanted directly into the solid hydrogen by passing through a degrader with an appropriate thickness.

The in-beam Mössbauer spectrum obtained at 7 K could be analyzed three components of S1 ($\delta = -0.66$ mm/s), D1 ($\delta = -1.29$ mm/s, $\Delta E_Q = 2.59$ mm/s), and D2 ($\delta = -0.53$ mm/s, ΔE_Q

= 2.43 mm/s). The chemical species of each component could be assigned to $[\text{Fe}(\text{H}_2)_2]^+$, $[\text{HFeH}]^+$, and $[\text{Fe}(\text{H}_2)_6]^{3+}$, with the results of DFT calculations. The formation mechanisms of them will be discussed.

1K13 Isomer spectroscopy using actinide targets

SUGIYAMA, K.¹, GO, S.¹, TOMIMATSU, T.¹, KAI, T.¹, NAGAE, D.¹, ISHIBASHI, Y.¹, MATSUNAGA, S.¹, NAGATA, Y.¹, NISHIBATA, H.¹, WASHIYAMA, K.¹, SAKAGUCHI, S.¹, MORITA, K.¹, ORLANDI, R.², NISHIO, K.², MAKII, H.², HIROSE, K.², ITO, Y.², SUZAKI, F.², SATO, T. K.², TSUKADA, K.², ASAI, M.^{1,2}, SHIZUMA, T.³, IDEGUCHI, E.⁴, PHAM, T. T.⁴, NIWASE, T.⁵

(¹Kyushu Univ., ²ASRC, JAEA, ³QST, ³RCNP, Osaka Univ., ⁵KEK)

The island of stability in superheavy nuclei, predicted by possible spherical magic numbers in heavy mass nuclei, has been an unexplored region for nuclear physics. Its properties could be studied with the nuclear structure of actinide nuclei since part of single-particle orbitals appearing in the island of stability could appear in excited states of actinides, which have large quadrupole deformations.

In this study, isomer spectroscopy on actinide targets was conducted with multi-nucleon transfer reactions at the JAEA-Tokai tandem accelerator facility. The isomer-scope method with the reaction of $^{18}\text{O} + ^{248}\text{Cm}$ was adopted. A tungsten shield was placed between the target and γ -ray detectors to measure only γ rays from isomers scattered out of the target. Nucleon-transfer channels were determined

by identifying projectile-like fragments using the array of ΔE -E silicon detectors. De-excitation γ -rays were measured by Ge and LaBr detectors. Experimental details and isomeric states observed will be presented.

1K14 Investigation of alpha-decay-correlated mass measurement using an α -TOF detector equipped MRTOF-MS system.

NIWASE, T.^{1,2,3}, WADA, M.¹, SCHURY, P.¹, BRIONNET, P.², CHEN, S.⁴, HASHIMOTO, T.⁵, HABA, H.², HIRAYAMA, Y.¹, HOU, D. S.^{6,7,8}, IIMURA, S.^{9,2,1}, ISHIYAMA, H.², ISHIZAWA, S.^{10,2}, ITO, Y.¹¹, KAJI, D.², KIMURA, S.², LIU, J. J.⁴, MIYATAKE, H.¹, MOON, J. Y.⁵, MORIMOTO, K.², MORITA, K.^{3,2,12}, NAGAE, D.^{12,1}, ROSENBUSCH, M.², TAKAMINE, A.², TANAKA, T.¹³, WATANABE, Y. X.¹, WOLLNIK, H.¹⁴, XIAN, W.⁴, YAN, S. X.¹⁵

(¹KEK, WNSC, ²RIKEN, Nishina Center., ³Kyushu Univ., ⁴HongKong Univ., ⁵IBS., ⁶IMP., ⁷ University of Chinese Academy of Science., ⁸Lanzhou Univ., ⁹Osaka Univ., ¹⁰Yamagata Univ., ¹¹JAEA, ¹²RCSHE, Kyushu Univ., ¹³ANU., ¹⁴NMSU, ¹⁵Jinan Univ.)

The atomic masses of the isotopes $^{206,207}\text{Ra}$ have been measured via decay-correlated mass spectroscopy using a multi-reflection time-of-flight mass spectrograph equipped with an α -TOF detector.

The Ra isotopes were produced as fusion-evaporation products in the $^{51}\text{V} + ^{159}\text{Tb}$ reaction system. The α -TOF detector provides for high-accuracy mass measurements by correlating time-of-flight signals with subsequent α -decay events. The masses of ^{207g}Ra and ^{207m}Ra were directly measured using a multi-reflection time-of-flight mass spectrograph equipped with an α -TOF

detector. A mass excess of $ME = 3538(15)$ keV/c² and an excitation energy of $E_{ex} = 552(42)$ keV were determined. The α -decay branching ratio was directly determined from the counting of decay-correlated time-of-flight signals. The reduced alpha width of ^{207m}Ra was also calculated from the branching ratio and partial half-life. The spin-parity of ^{207m}Ra was confirmed to be $J^\pi = 13/2^-$ from decay correlated mass measurement results.

1K15 Development of an EBG (Electron Beam Generated Plasma) ion source for superheavy element ion-beam generation

AOKI, R.^{1,2}, SATO, T. K.^{1,2}, OTANI, R.^{2,3}, UTIBABA, Y.^{2,4}, ITO, Y.², ASAI, M.², TSUKADA, K.², NAGAME, Y.²

(¹Graduate School of Sci. and Eng., Ibaraki Univ., ²ASRC, JAEA, ³Graduate School of Health Sci, Tokushima Univ., ⁴College of Sci, Ibaraki Univ.)

We have developed a new ion source based an Electron Beam Generated Plasma (EBGP) method, in order to apply single atom/molecule ion-beams of superheavy elements to their physical and chemical studies. In EBG, the ionization of atoms/molecules with a relatively higher ionization energy can be expected.

This ion source has a cylindrical tube with a grid structure as an anode electrode. The inside of the anode electrode works as an ionization chamber. The anode is covered with a cathode electrode which is surrounded by two filaments. Thermal electrons produced on an inside surface of the cathode are

accelerated into the anode via its grid. A bombardment of the accelerated electrons can ionize nuclear reaction products transported by a gas jet system.

The stable operating conditions of the ion source have been investigated. We confirmed that the ion source was operated stably with up to 0.2 A of the Anode current, and in the range from 50 V to 100 V of acceleration voltage for ionization electron. The optimal ionization conditions and the performance of the ion source will be given at the presentation.

1K16 Isothermal gas chromatographic behavior of oxychlorides of group-6 elements for volatility study of seaborgium (Sg, element 106)

OTANI, R.^{1,2}, SATO, T. K.^{2,3}, AOKI, R.^{2,3}, ASAI, M.², TSUKADA, K.², ITO, Y.², UCHIBABA, Y.^{2,3}, SAKAMA, M.¹, GOTO, S.⁴, KUZUMI, K.⁴, TAKAMURA, R.⁴, NISHIO, K.², MAKII, H.², ORLANDI, R.², NAGAME, Y.²

(¹Tokushima Univ., ²JAEA, ³Ibaraki Univ., ⁴Niigata Univ.,)

The chemical properties of transactinide elements might differ from those expected from lighter homologs due to strong relativistic effects. In order to understand how relativistic effects play a role in their chemical properties, we focused on the volatility of compounds of seaborgium (Sg, element 106), the transactinide element in group-6 of the Periodic Table. In this work, we have conducted isothermal gas chromatography experiments of oxychlorides of lighter homologs, Mo and W, as a model experiment

of Sg.

To determine the optimal condition for on-line experiments of Sg, we performed model experiments with short-lived ^{104}Mo ($T_{1/2} = 60$ s) originating from a ^{252}Cf fission source and ^{173}W ($T_{1/2} = 7.6$ min) synthesized using the JAEA tandem accelerator under various experimental conditions. In the case of using $\text{N}_2(80\%) + \text{O}_2(20\%)/\text{SOCl}_2$ as a reaction gas, we found that the behavior of ^{104}Mo is different at the reaction temperatures of 1000°C and $800/600^\circ\text{C}$, suggesting the formation of different oxychlorides. For ^{173}W , however, similar behavior was observed regardless of the studied reaction temperatures.

1P01 Adsorption behavior of Nb and Ta on TOMA-supported resin in hydrofluoric acid

TSUNODA, H., GOTO, S.

(Grad. Sch. of Sci. and Tech., Niigata Univ.)

In the study of the chemistry of superheavy elements, liquid-phase chemical experiments by ion exchange and solvent extraction have been performed for Rf and Db. However, experiments on the fluoride complexes of Db have often yielded results under only one condition and the relationship with the homologues Nb and Ta is inconsistent. Although solid-phase extraction using Aliquat 336-supported resin has been vigorously studied, the chemical forms of Nb and Ta have not yet been interpreted definitively. In this study, trioctylmethylammonium chloride (TOMA-Cl), the main component of Aliquat 336, was used as an extractant to simplify the system, and we have tried to determine the

chemical form of the fluoride complexes of Nb and Ta from the detailed adsorption behavior of the complexes on the TOMA-supported resin.

The Cl^- in the aqueous phase was quantified by replacing the Cl in the TOMA-supported resin with ClO_4^- or NO_3^- to determine the amount of exchange groups that function to exchange with anions in the aqueous phase. After shaking the resin and the solution of various concentration of ClO_4^- or NO_3^- at 25°C and 1500 rpm and centrifuging to separate the aqueous phase and the resin, chlorine in 200 μL of the aqueous phase was measured by the mercury (II) thiocyanate method. As a result, the total amount of Cl involved in the extraction was found to be about 70 % of the loading amount.

In the symposium, the results of extraction experiments using Nb and Ta tracers will be discussed.

1P02 Formation and volatility analysis of AtI for dissociation energy measurement of halogen bonds formed by At

TOKOI, K.¹, TOYOSHIMA, A.¹, OOE, K.¹, KADONAGA, Y.¹, TERAMOTO, T.¹, NAKAGAWA, S.¹, YOSHIMURA, T.¹, KASAMATSU, Y.¹, HABA, H.², WANG, Y.², SHINOHARA, A.^{1,3}.

(¹Osaka Univ., ²RIKEN., ³Osaka Aoyama Univ.)

One of the interesting properties of the halogen elements is the halogen bond which is a highly directional interaction between the halogen atom and a Lewis base. Although At is expected to form the strongest halogen bond among the halogen elements, theoretical calculations suggest that its strength decreases

due to relativistic effects. The purpose of this study is to measure the dissociation energy of halogen bonds between AtI and Lewis bases by pyrolysis in a gas phase. In the pyrolysis experiment, AtI is first produced in solution and is then vaporized and pyrolyzed in a gas phase. In this work, we examined the formation of AtI in solution and its volatility to search for the conditions to prepare gaseous AtI. Distilled water solution containing ^{211}At after dry distillation separation from a Bi target was mixed with 0.1 M HClO_4 and then NaI was added to adjust the iodide ion concentration in a range of 10^{-5} to 10^{-1} M. Formation of AtI in the solution was analyzed by HPLC. In the volatilization experiment, AtI samples were heated in a dry bath at a higher temperature for a fixed time, and the volatilized ratio was evaluated. Results will be presented in the symposium.

1P03 Solid-liquid extraction of Ca, Sr, Ba, Ra using crown ether towards the study of element 102, No

WATANABE, E.¹, KASAMATSU, Y.¹, NAKANISHI, R.¹, OTAKA, S.¹, TAKAMIYA, K.², SHINOHARA, A.^{3,4}

(¹Grad. Sch. of Sci., Osaka Univ., ²KURNS, Kyoto Univ., ³IRS, Osaka Univ., ⁴Osaka Aoyama Univ.)

Nobelium ($_{102}\text{No}$) belongs to an actinide series. It is reported that the stable oxidation state of No in aqueous solution is +2, although those of other heavy actinide elements are all +3. Our group has investigated coprecipitation of No with the samarium hydroxide, and it was found that No has different properties from the

group 2 elements. In this study, we focused on solid-liquid extraction with Sr resin as a new system for the chemical study of No.

Solid-liquid extraction of Ca, Sr, Ba, Ra in HNO_3 or HCl were performed by batch method to search the rapid reaction system and to obtain the comparison data for the chemical study of No. As a result, the extraction equilibrium with Sr resin was achieved by 1 minute of shaking, and it is indicated that this reaction system would be applicable for the short-lived ^{255}No ($T_{1/2} = 3.52$ m) experiment.

In the presentation, we will also report on the estimation of extracted species based on mass spectrometry and quantum chemical calculations on the electronic states of extracted species.

1P04 Determination of ^{236}U in a Th target irradiated with Li ions by ICP mass spectrometry

NAGAI, A.¹, TERANISHI, K.¹, SAKAGUCHI, A.², NAKAJIMA, A.², HABA, H.³, YOKOKITA, T.³, NANBU, A.³, YOKOYAMA, A.¹

(¹Kanazawa University, ²University of Tsukuba, ³RIKEN)

Neptunium-237 ($t_{1/2} = 2.1 \times 10^6$ y) released from nuclear facilities to the environment is an important target nuclide for environmental contamination of radioactivity. The nuclide is expected to be analyzed by accelerator mass spectrometry although a spike material of neptunium for the measurement is not available, thus far. We proposed the production of neptunium-236 ($t_{1/2} = 1.5 \times 10^5$ y) in a Th + Li reaction as a candidate of the

material. However, the material prepared from the irradiated target may be contaminated with long-lived isobars of ^{236}Pu and ^{236}U , which are the decay products from $^{236\text{m}}\text{Np}$, a byproduct in the reaction. In addition, ^{235}U contained in Th as an impurity, may absorb neutrons and produce ^{236}U as well. In this study, we aimed to determine U isotopes contained originally in the Th target as well as those produced in the nuclear reaction by HR-ICP-MS. And also, the amount of ^{236}U produced in the reaction can be estimated by measuring a neutron flux during irradiation by using a monitoring foil of Au. We performed an irradiation of a ^{232}Th target with 43 MeV ^7Li ions at the RIKEN AVF cyclotron while Au metal foils and electrodeposited U samples were placed at the end of the beam course for a neutron monitor and a reference, respectively. It was confirmed that ^{236}U was produced in the electrodeposited U samples. The production of ^{236}U agrees with the estimation from thermal neutron flux by the monitor within an uncertainty of the data.

1P05 Nation-wide survey of Tritium Concentration in Monthly Fallout

IIDA, M., OTSUKI, T., YOSHIDA, M., NITTA, W., KISHIMOTO, T., ISOGAI, K.

(Japan Chemical Analysis Center)

Japan Chemical Analysis Center is carried out nation-wide survey for tritium by the sampling of monthly rainwater in Mutsu City, Fukushima City, Chiba City and Kyoto City. The monthly rainwater was collected using sampling equipment installed at four locations. Tritium in the monthly rainwater samples was distilled and enriched by the electrolysis for

the accurate determination. After enrichment of Tritium, distilled samples were mixed with scintillator followed by measurement with Liquid Scintillation Counter (ALOKA LSC). From the results, the tritium radioactivity concentration was tended to be higher in early spring at all points. Tritium is a natural radionuclide occurring by the reaction between air component and cosmic rays same as Be-7, so that we confirmed the relationship of both nuclides in the rainwater collected in Chiba. The correlation coefficient of monthly deposition of both nuclides in Chiba was 0.84 (n=70).

1P06 Extractability of Pu from agricultural soils and its indication of bioavailability

NI, Y.^{1,2}, ZHENG, J.¹, GUO, Q.³, HUANG, Z.², TAGAMI, K.¹, UCHIDA, S.¹

(¹QST, ²Inst. Nucl. Phys. Chem., China, ³Peking Univ.)

We present the first investigation of the extractability of global fallout Pu from agricultural soils and its potential indication for Pu bioavailability. On average, the nominal water soluble and exchangeable Pu fractions in upland soils were 0.07% and 0.02%, respectively, while those fractions in the rice paddy soils were 0.10% and 0.03%, respectively. Sequential extraction results indicated that the dominant sinks of Pu in both upland and paddy soils were the immobile organic matter fraction, Fe-Mn oxides and the residual fraction. Both the water soluble and NH_4OAc exchangeable Pu percentages showed a significant negative correlation with

the exchangeable Ca^{2+} concentration in the soils. Regarding the potential plant bioavailability of Pu, a significant correlation ($r=0.55$, $p<0.05$) was observed between the Pu concentration in rice and the water-soluble Pu concentration in the corresponding rice paddy soils, and that illustrated the water-soluble Pu fraction was likely to be available for rice plant uptake. This bioavailable fraction was further applied in evaluating the available transfer factor (ATF) of Pu by dividing the Pu concentration in rice with the bioavailable Pu concentration in the soil. We consider the ATF to be more representative to illustrate the transfer ability of Pu from soil to rice plant.

1P07 True coincidence summing correction for $^{110\text{m}}\text{Ag}$ in aerosol filter samples

SUZUKI, S., SUZUKI, K., MIYATA, S., NITTA, W., OHTA, Y.

(Japan Chemical Analysis Center)

Japan Chemical Analysis Center (JCAC) has been participating in the proficiency tests (PT) held by IAEA every year. In IAEA-TEL-2020-04 ALMETA PT, we detected $^{110\text{m}}\text{Ag}$ in a surface aerosol filter sample. $^{110\text{m}}\text{Ag}$ is a cascade gamma emitting nuclide which causes true coincidence summing. We measured the disk-shaped sample next to the top of a Ge detector to maximize the efficiency, however this also maximize the coincidence summing effect. In this study, we applied true coincidence summing correction for $^{110\text{m}}\text{Ag}$ by using the following methods: Monte Carlo simulation (Geant4, EGS5), efficiency transfer code (EFFTRAN) and sum-peak method. The obtained $^{110\text{m}}\text{Ag}$ values corrected

by these methods agreed within the uncertainty of the target value. We have confirmed that the coincidence summing correction by numerical models are effective even under such severe condition, a thin disk source directly placed on the top a Ge detector.

1P08 Comparative measurements of ambient dose rate measured by various car-borne survey system

OTSUKI, T., SUGIYAMA, M., TANAKA, H., OHTA, Y., ISOGAI, K.

(Japan Chemical Analysis Center)

The car-borne survey is categorized by Nuclear Regulation Authority as one of the effective monitoring methods to measure ambient dose rate in emergency situations at nuclear facilities. To grasp instrumental characteristics of car-borne survey systems, we investigated various commercially available car-borne survey systems. In this study, comparative measurements were performed by using three car-borne survey systems (KURAMA-II, Radiprobe and RAMPU) in the several areas in Japan (Fukushima prefecture, Ibaraki Prefecture and Chiba Prefecture). Although slight differences due to energy response were found in the dose rates obtained by the car-borne survey systems, observed variation patterns in dose rates were almost identical. In conclusion, we confirmed that the three car-borne survey systems (KURAMA-II, Radiprobe and RAMPU) used for the comparative measurement in this study meet the requirements of the monitoring methods in emergency situations at nuclear facilities

1P09 Development of non-destructive image method using negative muon with 2mm CdTe Double-sided Strip Detector

CHIU, I.¹, NINOMIYA, K.¹, TAKEDA, S.², KATSURAGAWA, M.², MINAMI, T.^{3,2}, NAGASAWA, S.^{3,2}, TAKAHASHI, T.³, WATANABE, S.⁴

(¹Osaka Univ. IRS, ²Kavli IPMU, ³Dept. of Phys. The Univ. of Tokyo, ⁴JAXA)

The elemental analysis methods by muon characteristic X-ray measurement using muon beams has been developed in recent years. By applying this method with an imaging detector, the three-dimensional elemental analysis will be possible. Therefore, we have developed an imaging detector, CdTe double-sided strip imaging detector (CdTe-DSD). The CdTe-DSD with a thickness of 2 mm presents a high detection sensitivity for high-energy muon characteristic X-rays. When the photons deposit their energy in the CdTe sensor, the number of charge carriers (electron-hole pair) are generated and collected by the electrode on both sides of the CdTe-DSD. However, the number of charge carriers is trapped during transport process. This phenomenon degrades energy resolution. Due to this charge transport properties, the energy spectrum observed by the CdTe-DSD shows the tail component in low energy region side. In this presentation, we report the performance of 2mm CdTe-DSD using radioactive source ⁵⁷Co. To improve the energy reconstruction, a new algorithm will be introduced. This new algorithm used to reconstruct the energy spectrum of incident photon has been developed based on the energy information and energy correlation between cathode and anode sides. As the result,

the energy resolution (FWHM) for the 2mm CdTe-DSD at 122keV is 2.42 keV.

1P10 Self-Assembly of Nanosheet Supported Fe-MOFs Heterocrystal as Reusable Catalyst for Boosting Advanced Oxidation Performance via Radical and Nonradical Pathways

ZHANG, B.¹, ZHANG, L.², AKIYAMA, K.¹, BINGHAM, P. A.³, KUBUKI, S.¹

(¹Tokyo Metropolitan University., ²Dalian Institute of Chemical Physics, Chinese Academy of Sciences., ³Sheffield Hallam University)

Heterojunction catalysts have drawn mounting interest for the visible light-driven Fenton reaction, and bring tremendous opportunities for environmental remediation. Herein, a BiOI/MIL-53(Fe) Z-scheme heterojunction (named BMFe) was synthesized for the first time via a facile strategy. Compared with pristine BiOI and MIL-53(Fe) catalysts, the 2D/3D heterojunction catalyst manifested remarkable catalytic performance toward degradation of phenol, bisphenol A, methylene blue and carbamazepine, which is attributed mainly to the interfacial integration and efficient charge separation. By virtue of coupling at the interface, as confirmed by XPS, ⁵⁷Fe Mössbauer spectroscopy and DFT calculations, the BMFe catalyst promoted the transfer of electron-hole pairs via Z-scheme and improved the chemical activation of hydrogen peroxide. The subsequent holes, free radicals and nonradical can effectively

and continuously decompose pollutants, achieving a positive synergistic effect between photocatalysis and Fenton reactions. Simultaneously, the specially designed BiOX(X=Br, Cl)/MIL-53(Fe) and BiOI/Fe-MOFs(MIL-101, MIL-88) heterojunctions also exhibited advanced oxidative capacity for organic pollutants. The integration of Fe-based metal organic frameworks with bismuth oxyhalide semiconductors provides a new perspective on developing heterojunction catalyst for environmental remediation.

1P11 Synthesis and redox property of uranyl (VI) trinuclear complex with Schiff base ligand

FUKUMURA, K.¹, NAGATA, K.², YOSHIMURA, T.²

(¹Graduate School of Science, Osaka Univ.,
²RI center, Institute for Radiation Sciences, Osaka Univ.)

In the present study, we newly synthesized a new trinuclear uranyl(VI) complex with tridentate Schiff base ligands and investigated redox property of the complex. The new complex was synthesized by the reaction of $\text{UO}_2(\text{NO}_3)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$, Schiff base ligand, and triethylamine. The complex was identified by single crystal X-ray analysis, ¹H NMR and IR spectra. In the complex, uranyl(VI) locate in a triangle conformation, The ligand chelates each uranyl(VI) atom and bridges neighboring an uranyl atom. The oxido atom exists at center of the complex and bridges three uranyl(VI) atoms. The average U-(μ_3 -O)-U bond angle is 116°, which is close to that of the sp² hybridized oxide. The redox property

of the obtained complex will be reported on the annual meeting.

1P12 VRFB membrane permeability tests using radiotracer ⁴⁸V (2)

SHIRASAKI, K.

(IMR, Tohoku Univ.)

Vanadium redox-flow battery (VRFB) draws attention for the energy storage system, which is particularly useful for conjunction with renewable energy sources. In VRFB, only vanadium ion as active substance is presented in both positive ($\text{VO}^{2+}/\text{VO}_2^+$) and negative ($\text{V}^{3+}/\text{V}^{2+}$) electrolytes [1]. This constitution makes it convenient to recover battery capacity to initial state by adjusting the concentration and valence of vanadium ions between positive and negative electrolytes, and makes it difficult to directly evaluate vanadium ions crossover of the membrane, simultaneously. Recent year, we developed an evaluation method of the crossover of vanadium ions through the membrane using radiotracer ⁴⁸V [2]. The method has a potential for understanding nature of the membrane both in a self-discharge and coulombic efficiency during charge-discharge processes of the VRFB.

In last year, four vanadium ions (VO^{2+} , VO_2^+ , V^{3+} , V^{2+}) were used for evaluation of concentration-gradient permeability in conventional set-up (counter parts were all Mg^{2+} solutions). Here, we investigate the behavior of crossover of vanadium ions in the VRFB set-up.

[1] E. Sum, M. Skyllas-Kazacos, J. Power Sources, 15 (1985) 179-190.

[2] K. Shirasaki, T. Yamamura, J. Membr. Sci., 592 (2019) 117367.

1P13 Feasibility Study on Real-Time Monitoring of Tiny Particles Containing Alpha-Emitters Using Aerosol Time-Of-Flight Mass Spectrometer (ATOFMS)

TOYOSHIMA, A.¹, FURUTANI, H.¹, TERAMOTO, T.¹, NAGATA, K.¹, TOKOI, K.¹, TAKAMIYA, K.², MUTA, H.¹, YOSHIMURA, T.¹, TOYODA, M.¹, SHINOHARA, A.^{1,3}

(¹Osaka Univ., ²Kyoto Univ., ³Osaka Aoyama Univ.)

The fuel debris in the reactors of Fukushima Daiichi Nuclear Power Plant is still unknown about its properties and surrounding environments. Although the debris is planned to be cut and took in a container, it is concerned that tiny particles containing alpha-emitters such as ²³⁹Pu are generated in the cutting process and are dispersed to outside of the reactors. For the on-line monitoring of the tiny particles using an Aerosol Time-Of-Flight Mass-Spectrometer (ATOFMS) to prevent the particles from leaking, in this study, we carried out feasibility tests of the ATOFMS. In experiments, we prepared solid and liquid samples containing ²³⁸U as model materials of debris. To produce tiny model particles containing ²³⁸U from the materials, we fabricated apparatuses for laser ablation and solid aerosol generation. The mass spectrometry of the model particles was carried out by connecting ATOFMS to the apparatuses. As a result, various positive and negative ion peaks originated from ²³⁸U in

both the solid and liquid samples were successfully observed using ATOFMS. Details of the results will be presented in the symposium. This study was supported by Nuclear Energy Science & Technology and Human Resoruce Development Project in FYs 2019-2020.

2S01 Three theoretical studies related to electron and nucleus interactions

ABE, M.

(Hiroshima Univ., Tokyo Metropolitan Univ.)

Relativistic effects are significant in molecules containing heavy elements or in the electronic properties in the vicinity of a nucleus. Relativistic quantum mechanics should be introduced to such systems, and the author and co-workers have developed relativistic computational programs based on the Dirac equation. We applied our programs to discuss isotope fractionations of heavy elements, which is mainly caused by the difference of the electronic energies due to the nuclear volume difference between isotopes. We also applied them to the calculations of the electronic factor of the nuclear Schiff moment, which is an important indicator of Charge-Parity symmetry breaking. In addition, though it is a non-relativistic study, we investigated the electron capture (EC) decay of ⁷Be to find new systems with a large electron density at the nucleus, which leads to a faster EC decay. In my presentation, I will report the latest results of these three studies, all of which are related to electron-nucleus interactions.

2K01 Determination of stable Cs and trace elements in lake water of Lake Akagi Onuma by neutron activation analysis

OKADA, Y., KUMAGAI, N., WATANABE, S., SUZUKI, K.

(¹Tokyo City Univ., ²Gunma Prefectural Fisheries Experiment Station)

In this study, stable cesium and trace elements in lake water samples (depths of 0 m, 8 m, and 15 m) were analyzed by neutron activation analysis.

The lake water samples were either untreated (bulk samples) or filtered through a 0.45 µm filter (soluble form). Freeze-dried samples (about 1 mg to 2 mg dry weight) and standard samples (JLk1) were irradiated using Pn3 and Pn2 at KUR. The analytical values for the particle form were obtained by subtracting the value for the soluble form from the analytical value for the bulk sample. As a result, stable Cs and Rb were detected in all samples. The concentration of stable Cs in the bulk samples varied from 0.1 µg/L to 0.4 µg/L at water depths of 0, 8, and 15 m. It was found that the surface layer at 0 m contained more cesium in the particle form than in the soluble form, regardless of the season. At a depth of 15 m in August 2018, the particle form of Cs was 0.05 µg/L compared to 0.3 µg/L for soluble Cs.

2K02 k₀-standardization neutron activation analysis using k₀-IAEA software - evaluation and application -

SUGISAKI, F., OURA, Y.

(Tokyo Metropolitan Univ.)

In the k₀-NAA method, all detected elements can be determined by simultaneous irradiation of a reference sample of one element. However, k₀ value of each element and

calibration of characteristics of an irradiation facility and an efficiency of a detector are required in advance. Since a dedicated software is usually used to calculate elemental concentrations in k₀-INAA, we have chosen a freeware "k₀-IAEA" developed by IAEA. Accuracy of k₀-INAA method using k₀-IAEA software was evaluated by analysis of several standard samples, and this method was applied to analyze shells of eggs and aluminum cans of beverages. These samples were irradiated in KUR for 10 - 30 seconds and 3 - 4 hour. The characteristics of the irradiation facilities were determined by irradiating Au-Lu-Zr monitor and detectors were calibrated by measuring ¹⁵²Eu, ¹⁵⁷Cs and mixed radionuclide standard point sources. As a result, determination values were found to depend on distance between a detector and a sample. After inputted values of the detector dimensions were tuned, determination values were generally consisted with certified values within ±10 %.

2K03 Current status of prompt gamma ray analysis system (PGA) installed in JRR-3

OSAWA, T., SASAKI, M., MATSUE H.

(Japan Atomic Energy Agency)

The research reactor JRR-3 was restarted for the first time in 10 years, and was put into service on July 12, 2021. The prompt gamma ray analysis system (PGA) installed in the JRR-3 has excellent capabilities as an elemental analyzer, and a revolte joint robot is introduced during the outage period to

enable automatic measurement. In this presentation, we will explain the restoration, sophistication, and current operating status of PGA after the earthquake.

JRR-3 was damaged by the Great East Japan Earthquake, and the beam stopper of PGA collapsed, causing considerable damage. After the earthquake, optical axis alignment was performed, but restoration of equipment was postponed. Since JRR-3 was shut down, we introduced an industrial robot to the PGA and built an automatic analysis system during that period.

This year, JRR-3 has finally restarted. However, with the restart for the first time in 10 years, it is becoming clear that PGA equipment has various failures. Since the inside of the device could not be confirmed without removing the shield, a number of invisible problems became apparent. For example, a neutron mirror was found to have been destroyed by the earthquake. In addition, there are many other problems such as shutter failure, NIM module failure, Ge detector failure, motor driver failure, and helium gas piping failure. Although it is still not in perfect condition, hard recovery work has made it possible to measure samples.

Compared to 10 years ago, the PGA system has undergone some major changes. One is an automatic analysis system, which has various functions implemented in an integrated manner. One of the various functions is a system that can constantly record the signal from two He-3 detectors with LabVIEW, which makes it possible to monitor the state of

the neutron beam. By using this, we decided to make some modifications to the measurement method. It was found that a high neutron flux state can be maintained by continuing to flow helium gas even in a very small amount. During the measurement, the inside of the Teflon sample box is purged with helium gas, but the relationship between the helium flow rate and neutron flux has not been clarified so far. Therefore, when the relationship between the neutron flux was measured while controlling the flow rate of helium gas with a mass flow controller, the correlation between the oxygen concentration inside the box and the rates of neutron flux and neutron scattering was also clarified.

2K04 Light elements analysis by prompt gamma ray analysis system at JRR-3

MIURA, T.¹, MATSUE H.², OSAWA T.², JINNO S.³

(¹NMIJ, AIST, ²JAEA, ³Univ. Tokyo)

When a neutron is captured by an atomic nucleus, γ -rays are emitted within 10^{-14} seconds after the neutron capture reaction. The neutron-induced prompt gamma-ray analysis (PGA) is an excellent method for non-destructive determination of light elements such as hydrogen, boron, and silicon in solid samples. In this time, we will report the analytical results of boron and silicon measurements in certified reference materials of silicon carbide and silicon nitride ceramics performed by the PGA system installed in JRR-3.

2S02 Advancement of activation analysis and its application to geo- and cosmo-science researches

EBIHARA, M.

(Waseda Univ.)

It is well acknowledged that neutron activation analysis (NAA) was first attempted by G. Hevesy and H. Levi in 1936, who determined dysprosium contents in yttrium samples using neutrons generated by means of Ra coupled with Be. Since then, many innovations including neutron sources and radiation counting have improved NAA. With the dissemination of germanium semiconductor detectors and the development of a K_0 standardization method in 1970s, NAA appears to have been established as a competitive method in analytical chemistry. After this stage, NAA greatly yielded many scientific contributions. Good examples can be seen in geo- and cosmo-sciences. NAA presented reliable data for many elements in extraterrestrial materials represented by meteorites. Lunar samples returned by Apollo and Luna missions were extensively analyzed by NAA. Especially, radiochemical NAA (RNAA) presented high quality data for trace and ultra-trace elements in meteorites, which then yielded an outstanding publication of solar system abundances of the elements in 1982. Recently, a noteworthy outcome was achieved by a research group led by Dr. Toh of JAEA, who established an analytical scheme for nondestructive quantification of difficult-to-measure nuclides ^{107}Pd and ^{99}Tc in used nuclear fuels. This method is basically instrument-oriented and, therefore, can be

categorized into INAA, but is akin to RNAA in the light of high element-selectivity, high analytical sensitivity and high accuracy of the data. It is envisioned that this method will be making fruitful contributions to many sciences including cosmochemistry.

2K05 Soil-Soil Solution Distribution Coefficient of Chlorine in Paddy Soil

TAGAMI, K.¹, SHIBUTANI, S.², HAMAMOTO, T.², ISHIDA, K.², UCHIDA, S.¹

(¹Natl. Inst. Quantum Radiol. Sci. Technol.,

²Nuclear Waste Management Organization of Japan)

Chlorine-36 is a beta-emitting radionuclide with a relatively long physical half-life of 3.01×10^5 y. In aqueous solution, chlorine forms Cl^- thus it does not sorb to geological materials and soils. Due to this chemical characteristics, ^{36}Cl is classified as one of the important radionuclides in dose assessment for high level radioactive waste disposal. Although very low soil-soil solution distribution coefficient (K_d , L/kg) values were reported, not many K_d -Cl data were available in Japanese soils. Therefore, we carried out a batch experiment to obtain K_d -Cl values in 98 paddy field soils collected throughout Japan. Stable Cl^- (ca. 5 ppm in soil solutions) was added to soil: solution = 1 g : 10 mL and kept shaking for 3 days. After the period, by subtracting Cl^- contents from original soil using non- Cl^- added soil solution, we obtained K_d -Cl values. For 20 samples, more Cl^- was detected than added, which caused K_d values minus, but it means that Cl did not sorb onto

the soil solid phase. The Kd-Cl ranged from 0.7 – 1.4 L/kg. Although Kd-Cl value was expected to be high in organic soil compared to that in mineral soil; however, no correlation was found between Kd-Cl values and total carbon concentrations in the soils.

2K06 Investigation of hydration and adsorption structures on clay minerals of radium by EXAFS

YAMAGUCHI A.^{1,2}, NAGATA K.³, TANAKA K.¹, KOBAYASHI K.¹, OKUMURA M.¹, KOBAYASHI T.¹, SHIMOJO K.¹, TANIDA H.¹, SEKIGUCHI T.¹, KANETA Y.¹, MATSUDA S.¹, YOKOYAMA K.¹, YAITA T.¹, YOSHIMURA T.³, TAKAHASHI Y.²

(¹JAEA, ²The Univ. Tokyo, ³Osaka Univ.)

Radium (Ra) is an important radioactive element in terms of environmental pollution problem around uranium mine and disposal problem of radioactive waste, meaning that its environmental behavior should be urgently investigated. However, even the hydration structure of Ra has not been investigated at the molecule level because Ra has no stable isotope and decays to radon. The purpose in this study is to investigate the hydration and adsorption structures of Ra on clay minerals by using extended X-ray absorption fine structure (EXAFS).

EXAFS spectra were collected in SPring-8. The hydration structure was also investigated by first principle molecular dynamics. In addition, adsorption experiments with various pH and ionic strength were also conducted.

The coordination number and distance

between Ra and oxygen in the first hydration shell obtained by EXAFS were similar to those by the simulation. The EXAFS results suggested that Ra forms inner-sphere complexes on vermiculite. The distribution coefficient of Ra on vermiculite had small dependence on pH and ionic strength, suggesting the formation of inner-sphere complexes. These results suggest that environmental behavior of Ra is controlled by fixation on vermiculite and other phyllosilicates.

2K07 Characterization of barium silicate-based adsorbent for Ba in seawater

KOJIMA, S.¹, OGATA, Y.^{1,2}, KATO, Y.³, TAKAMIYA, K.⁴, MINOWA, H.⁵

(¹Aichi Medical Univ., ²Osaka Sangyo Univ., ³Hitachi Ltd., ⁴Kyoto Univ., ⁵The Jikei Univ.)

BaSi₂O₅-based adsorbent has been found very useful for collection of trace radioisotopes of Sr in sea water. Because Sr is not adsorbed on the adsorbent without sulfate ion in water, the adsorption of Sr is responsible for production of insoluble SrSO₄. The adsorbent is considered to collect effectively Ba, Ra and Pb because their sulfates are insoluble in water. We have revealed that the adsorbent collects the most of Ra and about 86% of radiogenic Pb in sea water. Because ¹⁴⁰Ba is one of important radionuclides at a nuclear accident, it is necessary to investigate characterization of the adsorbent for Ba in sea water. In this study, radionuclides of Ba were produced by neutron irradiation at KUR, those nuclides were used as the tracer of Ba in sea water. Experimental results of Ba have obtained to be

similar to those of Sr and Ra.

2K08 Estimation of ^{90}Sr activity with barium silicate-based adsorbent - application of Cerenkov measurement of progeny nuclide, ^{90}Y -

OGATA Y.^{1,2}, KOJIMA S.², MINOWA H.³, KATO Y.⁴

(¹Osaka Sangyo Univ.,²Aichi Medical Univ.,

³The Jikei University School of Medicine,

⁴Hitachi, Ltd.)

Barium silicate-based Sr adsorbent, Pureceram MAq (Nippon Chemical Industrial Co. Ltd.) can selectively adsorb Sr. However, because the Sr adsorb capacity is not so large, it cannot be applied to large amount of Sr. Therefore, ^{90}Y , the progeny nuclide of ^{90}Sr , was separated and measured. In this study, ^{90}Y was tried to be estimated by Cerenkov measurement. About 20 Bq of ^{90}Sr solution including the same amount of ^{90}Y was loaded on the Sr adsorbent. ^{90}Sr was absorbed on the adsorbent, and ^{90}Y was separated into solution. The ^{90}Y concentration was determined with a part of the solution by the liquid scintillation counting method. The counting efficiency of ^{90}Y was estimated with the residual solution by the Cerenkov measurement. The Cerenkov measurement was performed with a general type liquid scintillation counter (LSC-7400, Hitachi, Ltd.) and a low background liquid scintillation counter (LSC-LB7, Hitachi, Ltd.). The same counting efficiency was obtained to be 60% for both of the counters. When the volume of the sample is 10 L and the measurement time is 4 hours, the minimum detectable concentration (*MDC*) is estimated

as 1.7 mBq L⁻¹ and 1 mBq L⁻¹ for LSC-7400 and LSC-LB7, respectively. This method is useful because of quite simple and no use of deleterious substance.

2P01 Half-life variation of halides of low-energy excited nuclide U-235m(JNRS)

SAWAMURA, K.¹, KASAMATSU, Y.¹, SHIGEKAWA, Y.², SHINOHARA, A.^{3,4}

(¹Graduate School of science, Osaka University, ²RIKEN, ³Institute for radiation sciences, Osaka University, ⁴Osaka Aoyama University)

As U-235m have extremely low excitation energy (76.74 eV), the nucleus interacts with outer-shell electron in the internal conversion (IC) process. Therefore, the half-life of U-235m is reported to vary depending on its chemical environments. We are aiming to elucidate the de-excitation process of U-235m by measuring the IC electron energy spectra in addition to the half-lives for various chemical environments. In this study, U-235m ions recoiled from Pu-239 were trapped in nitrogen gas and collected on the copper foil surface to which a negative voltage was applied. The half-life was determined by counting the IC electrons from the trapped U-235m and those reacted with various halogen gases such as HF, HCl, HBr and HI. Half-lives for samples without gas reaction widely spread 26 ~ 27 min. This is thought to be because U takes various oxidation numbers in the samples. The half-lives of U-235m reacted with HF, HCl, and HBr were determined to be 25.3 min, 26.1 min, and 25.3 min, respectively. This is the first report on the half-life of U-235m

reacted with HBr. The order of the half-lives is not in trend of electronegativity and influence of molecular orbital needs to be considered.

2P02 Ab initio molecular dynamics study on the hydration structure of element 102, No

WATANABE, E.¹, KASAMATSU, Y.¹, NAKANISHI, R.¹, OTAKA, S.¹, NAKAJIMA, T.², SHINOHARA, A.^{3,4}

(¹Grad. Sch. of Sci., Osaka Univ., ²R-CCS, RIKEN, ³IRS, Osaka Univ., ⁴Osaka Aoyama Univ.)

Nobelium (¹⁰²No) belongs to an actinide series.

It is reported that the stable oxidation state of No is +2 although those of other heavy actinide elements are all +3. The chemical behavior of No in HCl was reported to be similar to that of Group 2 elements (Ca and Sr), and further studies are required to elucidate the chemical properties of No.

In this study, we focused on the hydration structure of No²⁺. Since it is difficult to investigate the hydration structure of No by spectroscopic methods, the molecular simulation was adopted. We calculated No²⁺-24H₂O model by ab initio molecular dynamics and compared its result with that of Ca²⁺ and Sr²⁺. The quantum chemical calculations in the simulations were performed at the B3LYP/ Stuttgart-RSC(for metal atom)/def2-SVP(for O, H atom) level, and molecular dynamics was calculated during 20,000 steps with $\Delta t=0.5$ fs

The obtained hydration structures of Ca²⁺ and Sr²⁺ were in good agreement with the results of experimental studies. The simulation results show that No²⁺ has an average

coordination number of 7.5 in the first hydration sphere with 2.48 Å between No and O atoms. Previous studies have suggested that the ionic radius of No²⁺ is intermediate between Ca²⁺ and Sr²⁺. In the present study, the hydration structure of No²⁺ is also suggested to be intermediate between Ca²⁺ and Sr²⁺. We will also report the simulation results with more hydrated water and the electronic states of hydrated complexes.

2P03 Precipitation experiment of Zr, Hf, Th and Eu with oxalic acid and malonic acid, towards the experiment of element 104, Rf.

NAKANISHI, R.¹, KASAMATSU, Y.¹, WATANABE, E.¹, OTAKA, S.¹, SHINOHARA, A.^{2,3}

(¹Grad. Sch. of Sci., Osaka Univ., ²IRS, Osaka Univ., ³Osaka Aoyama Univ.)

The chemistry of Rutherfordium (¹⁰⁴Rf) has been studied mainly through complexation properties with inorganic ligands. In this study, we focused on the organic acid ligands: oxalic acid and malonic acid, which have the potential to form chelate complexes with Rf. To determine the experimental conditions for coprecipitation experiments of Rf with oxalic acid and malonic acid, we investigated coprecipitation behaviors of Zr, Hf and Eu using thorium oxalate as a carrier in the oxalic acid system and zirconium malonate as a carrier in the malonic acid system.

First, the precipitation behaviors of thorium oxalate and zirconium malonate were investigated. As a result, in the case of thorium oxalate, the reactions were reached the equilibrium state within 60 s at temperatures

above 80 °C. The resolution of α peaks was ~100 keV which is considered to be sufficient to discriminate ^{261}Rf . The concentration dependence of oxalic acid in coprecipitation behavior and macroscopic precipitation behavior were generally consistent with each other for Zr, Hf, and Eu, indicating that it is possible to discuss the precipitation properties from the coprecipitation behavior. In the case of zirconium malonate, it was also confirmed that the precipitation yields were ~100 % and the reactions reached equilibrium within 1-2 min at temperatures above 80°C, indicating that Zr can be used as a carrier in malonate coprecipitation.

2P04 Properties and Sr-90 contents in radioactive particles released by Fukushima Dai-ichi nuclear power plant accident

MURAKAMI, A.¹, NINOMIYA, K.², IGARASHI, J.¹, YOSHIMURA, T.², SHINOHARA, A.^{2,3}, MINOWA, H.⁴, YOSHIKAWA, H.⁴

(¹Grad. Sch. of Science, Osaka Univ., ²Institute for Radiation Sciences, Osaka Univ., ³Osaka Aoyama Univ., ⁴The Jikei Univ. Sch. of Medicine)

【 Introduction 】 By Fukushima Dai-ichi Nuclear Power Plant accident, radioactive Cs-bearing particles were released. The properties of the particles are considered to reflect the conditions in the reactor, and it's expected that their analysis provides us detailed knowledge of the accident.

In this work, we investigated the formation process of the particles through quantification of Cs-137,134 and Sr-90 and semi-quantification of stable elements by EDS.

【Experiments】 Particles were separated from soil and subjected to γ -ray measurement and SEM-EDS analysis. Sr-90 was quantified in some particles by liquid scintillation counter.

【Results】 The particles contained Cs-137 in the range of 10~10000 Bq. The Sr-90/Cs-137 activity ratio is on the order of 10⁻⁴, with little difference among particles. The particles are rich in silicon and oxygen, and mainly contain sodium, magnesium, and aluminum. When the mass ratio of the elements contained in the particles to the major material (silicon) is calculated, there is a correlation between the Ca-Na and Zn-Al-Fe combinations. Iron-concentrated spots are also found in some particles.

2P05 Temporal variation of ^{129}I in atmospheric particles collected by Snow White within 2017-2020

SUTO, M., WANG, XS., IIDA, M., HIBINO, Y., MIYATA, S., OKAYAMA, A., OHTA, T., OHTA, Y., ISOGAI, K.

(Japan Chemical Analysis Center)

Utilization of Snow White, known as a high-volume air sampler, is profitable for measurement of various nuclide radioactive substances with high sensitivity. In this study, we investigated the temporal variation of ^{129}I in atmospheric particles collected by Snow White, located in Japan Chemical Analysis Center (Chiba City, Japan), within 2017-2020. ^{129}I concentration of atmospheric particles was calculated using $^{129}\text{I}/^{127}\text{I}$ measured by AMS and ^{127}I measured by ICP-MS. Furthermore, correlation between the ^{129}I and $^{134,137}\text{Cs}$ from the same sample were also discussed, simultaneously.

As the results, the ^{129}I concentration and isotopic ratio of $^{129}\text{I}/^{127}\text{I}$ in atmospheric particles collected from 2017 to 2020 were $(0.27\sim 8.6) \times 10^{-7} \text{ mBq/m}^3$ and $(0.094\sim 4.3) \times 10^{-8}$, respectively. Both of the ^{129}I and $^{129}\text{I}/^{127}\text{I}$ presented a seasonal variation as follows, 1) higher in March, 2) decreased from March to July, and 3) increased from July to October during all of observation. According to the AMS analysis of pollen collected from Chiba prefecture et al., the reason for the higher ^{129}I concentration in March was considered as the resuspension of radioactive particulate on the surface of ground, and the dispersal of pollen. On the other hand, meteorological parameters such as temperature played an important role for the fluctuation of ^{129}I , because it showed a negative correlation with ^{129}I . The correlation coefficients between monthly average temperature and ^{129}I were -0.81 from March to July, and -0.62 from August to November, respectively. In addition, $^{129}\text{I}/^{134}\text{Cs}$ results shown that the source of ^{129}I observed in this work was speculated as not only from the Fukushima Daiichi Nuclear Power Plant accident, but also from other fallout.

2P06 Development of solid-phase extraction technique for ICP-MS analysis of Iodine-129 in sea water: Effects of interfering elements and coexisting anions on sorption of I to silver ion-supported resin.

AOKI, J., MATSUEDA, M., KOARAI, K., TERASHIMA, M.

(Japan Atomic Energy Agency)

The analysis of ^{129}I in environmental samples with ICP-MS requires the removal of ^{129}Xe contained in Ar gas by reaction with O_2 in a

reaction cell of ICP-MS. However, Mo produces $^{97}\text{Mo}^{16}\text{O}_2$, which is polyatomic interfering ion of ^{129}I measurement, under the oxygen reaction condition. Therefore, it needs to be separated prior to the ICP-MS measurement. Samples with low ^{129}I concentrations (e.g., seawater) should be concentrated for analysis. Recently, silver ion-supported resin (CL Resin) has been developed for the separation and concentration of ^{129}I . In this study, CL Resin was used for the removal of Mo and coexisting anions in seawater on I sorption and preconcentration of I. The CL Resin adsorbed 97.9% of I under 1.0 M sulfuric acid loading condition, but interfering elements were removed from the CL Resin. The CL Resin also adsorbed over 99.0% of I even NO_3^- and Cl^- coexist in high concentration. The concentration ratio of ^{129}I was calculated as 1.3×10^3 . It is enough to determine ^{129}I in seawater with the ICP-MS. The pretreatment method is expected to apply for ICP-MS analysis of ^{129}I in seawater.

2P07 Revision of radioactivity measurement method series No.7 "Gamma-ray Spectrometry using Germanium Detector"

MIYATA, S.¹, SUZUKI, K.¹, OHTA, Y.¹

(¹Japan Chemical Analysis Center)

Gamma-ray spectrometry using germanium semiconductor detector has been widely used as a major method for radioactivity analysis of gamma-ray emitting nuclides in environmental samples. One of the series of radioactivity measurement methods related to

gamma-ray spectroscopy, the manual "Gamma-ray spectroscopy with germanium semiconductor detector" was revised in September 2020 so that it can respond to the situation such as the subsequent performance improvement of measuring instruments and the progress of analysis methods. The previous revision of the manual was structured to include a lot of content for developers of analysis program, but the revised manual is intended for practitioners of environmental radioactivity analysis, and described the basic principles of gamma-ray spectrometry of environmental samples that is carried out in normal situation. The revision policy is to make the content for practitioners, to incorporate advances in analytical technology such as numerical calculation of detection efficiency to make the content compatible with the equipment currently in use, and to make the content in line with international standards. In this presentation, we will explain the changes and additions that accompany the revision.

2P08 Quality control in environmental radiation monitoring

OTA, H., ABE, G., KAWAMURA, T., KONNO, Y., TOYOOKA, S., OTA, T.

(Japan Chemical Analysis Center)

After the accident at TEPCO's Fukushima Daiichi Nuclear Power Plant, it is necessary to provide highly reliable data as analytical data on radioactivity. As a nationwide environmental radiation monitoring, the Nuclear Regulatory Agency has been

conducting an environmental radioactivity level survey, and we are also conducting an intercomparison analysis based on ISO / IEC 17043 for analysis organizations in 47 prefectures nationwide.

In this intercomparison program, Japan Chemical Analysis Center (JCAC) provides analytical comparison samples (samples whose allocation values have been determined by JCAC) to analytical institutions, and the analytical institutions analyze and measure the analytical comparison samples. The evaluation method is based on En numbers and Z score. The analysis / measurement results of the analysis institution are compared / evaluated with the assigned values, and if the evaluation results are insufficient, the cause is investigated and points for improvement are presented. Here, we will introduce seawater and marine products that confirm whether pretreatment is properly performed in the intercomparative analysis conducted in 2020. From the evaluation results, the intercomparison analysis was able to perform highly accurate analysis. The causes of the dissatisfied results were also investigated, and reanalysis, reanalysis, etc. gave satisfactory evaluations, and improvement was observed.

2P09 Measurements of local fields in Fe-doped indium oxide

UCINO, H.¹, ITO, T.¹, SATO, W.^{1,2}

(¹Grad. Sch. Nat. Sci. Tech., Kanazawa Univ.,
²Inst. Sci. Eng., Kanazawa Univ.)

Indium oxide (In_2O_3) is an n-type semiconductor that has a bixbyite structure with two In sites, and there have been many

attempts to control its physical properties by introducing impurities. In recent years, it has been reported that In_2O_3 exhibits a property as a dilute magnetic semiconductor when doped with a small amount of Fe atoms, and is expected to be applied to spintronic devices. However, the mechanism of magnetism has not yet been elucidated. Therefore, the aim of this study is to investigate the occurrence of dilute magnetism in Fe-doped In_2O_3 (FIO). For that purpose, perturbation angular correlation (PAC) spectroscopy and transmission Mössbauer spectroscopy were employed to probe into local sites in FIO. The obtained PAC spectra suggest that the carrier density may have been elevated in the semiconductor at high temperature. It was also implied that the introduction of Fe into the sample increases the carrier density. The results of Mössbauer spectroscopy will also be discussed in the poster presentation.

2P10 Research on ionic liquid extraction of astatine for a nuclear medical utilization

NAGAI, Y.¹, AOI, K.¹, MARUYAMA, S.¹, NISHINAKA, I.², WASHIYAMA, K.³, HABA, H.⁴, YOKOYAMA, A.¹

(¹Kanazawa Univ., ²QST, ³Fukushima Medical Univ., ⁴RIKEN)

Astatine-211 is a prospective candidate to utilize in targeted alpha therapy. Solvent extraction with organic solvents has been used as one of the methods to separate ²¹¹At from solution of an irradiated target. Recently, ionic liquids have been attracting attention as an alternative solvent to organic solvents from the viewpoint of green chemistry. However,

few studies on the extraction of ²¹¹At by ionic liquids have been reported, yet. In this study, we investigated the suitability of different types of ionic liquids for the extraction of ²¹¹At especially in the HCl system. Both the extraction rate of ²¹¹At from HCl to ionic liquid and the reverse extraction rate from ionic liquid to NaOH were determined experimentally in the study. Besides, TLC analysis of dodecane solutions before and after extraction were performed to estimate the At chemical species in HCl. The results suggest that the hydrophobicity of the cations and anions of the ionic liquid affects the ion exchange with At ions in the aqueous phase. The extraction rates for [C8mim][Tf2N] were above 90% for both extraction and back-extraction. Therefore, extraction system with ionic liquid is concluded to be promising for the ²¹¹At solvent extraction in medical use.

2P11 Development of a selective solid-phase extraction method for quantitation of Zr-93 in radioactive wastes

MORII, S., YOMOGIDA, T., OUCHI, K., KITATSUJI, Y.

(JAEA)

Zr-93 is one of the long-lived fission products in radioactive wastes. To ensure the long-term safety on the disposal of radioactive wastes, estimating the risks associated with radiation from Zr-93 is essential. In previous studies, determination methods of Zr-isotopes in liquid sample using ICP-MS were developed. However, those methods were complicated and time consuming. To conquer this problem,

we are developing a new method that determining Zr-isotopes in solid sample using laser ablation (LA)-ICP-MS.

Sr, Mo, Ru, and Zr are isobars, so Sr, Mo, and Ru interfere the quantitative of Zr by ICP-MS. Then, those elements are required to separate from Zr. DGA (*N*, *N*, *N'*, *N'*-tetra-*n*-octyldiglycolamide) resin was used to separate Zr from simulated high-level radioactive wastes (HLW) solution. Simulated HLW solution was loaded onto the DGA resin cartridge. 2 M and 4 M nitric acid were loaded onto the resin and interference elements were eluted from the resin. On the other hand, more than 99 % of Zr was retained on the resin. Thus, this method enables preparing solid Zr sample for determination of Zr-93 and its isotopes.

2P12 Speciation of uranium particles in micrometer sized by micro-Raman spectroscopy and transmission X-ray microscope

YOMOGIDA, T.^{1,2}, KITATSUJI, Y.¹
TAKAHASHI, Y.¹, MIYAMOTO, Y.¹
(¹JAEA, ²Tokyo Univ)

In the decommissioning of the Fukushima Daiichi Nuclear Power Plant, there is a concern about the release of fine particles containing uranium (U) into the environment. Since the solubility of U in water varies greatly depending on its chemical species, it is necessary to understand the chemical species of micrometer-sized U particles. Uranium dioxide (UO₂), which is the main component of the nuclear fuel, is oxidized on the surface by air to form a non-stoichiometric compound

(UO_{2+x}). The chemical species might differ between the bulk and surface of the fine particles. In this study, the chemical species of the uranium microparticles was determined by transmission X-ray microscope. The chemical species of the surface of the microparticles were determined by micro-Raman spectroscopy. The composition of UO₂ and U₃O₈ in a UO_{2+x} particle was found to be about 90% and 10% by transmission X-ray microscope measurements. UO₂ and UO₄ · *n*H₂O were observed in the surface of the UO_{2+x} particles by micro-Raman spectroscopy. This result enables us to discriminate the oxide species present in the bulk and the surface of uranium particles.

2P13 Rapid measurement of U, Np, and Pu in feces using ICP-MS/MS and alpha spectrometry

YANG, G., KIM, E., ZHENG, J., SENO, H.,
KOWATARI, M., KURIHARA, O.

(National Institutes for Quantum and Radiological Science and Technology)

Internal contamination with alpha-particle emitting actinides, such as ²³⁸U, ²³⁷Np, ²³⁹Pu, ²⁴⁰Pu, is likely to result in high internal exposure risk even if the intake amount is small. To provide valuable information apart from urinary bioassay for internal dose estimation, we developed a simple and rapid method for fecal bioassay to determine ultra-trace U, ²³⁷Np, and Pu isotopes in synthetic feces using ICP-MS/MS and alpha spectrometry, respectively. After rapid ashing by microwave muffle furnace and acid digestion by opening and microwave

digestions, the sample was separated for analyses by ICP-MS/MS and alpha spectrometry, respectively. Conventional alpha spectrometry was used for the analysis of short-lived ^{238}Pu ($t_{1/2} = 87.74$ y) for dose estimation, the ICP-MS/MS was used to obtain the atom ratio of $^{240}\text{Pu}/^{239}\text{Pu}$ for source identification. The sensitivities of ICP-MS/MS were improved and compared by introducing different reaction/collision gases to allow us to measure these isotopes with low background signal intensities.

3K01 Variability in Composition and Separation of Valuable Metal Elements from Domestic Waste Slag

SAITOU, R.¹, AKIYAMA, K.¹, TUCHIDA, R.², SUWAT.¹, KHAN, I.¹, KIKUNAGA, H.³, KUBUKI, S.¹

(¹Grad. School Sci., Tokyo Metropolitan Univ.,

²Dept. of Chem., Tokyo Metropolitan Univ.,

³ELPH, Tohoku Univ.)

Domestic waste slag is a kind of artificial sand produced by the melting of the incineration ash from the combustible waste. These slags contain several kinds of valuable metal elements and are important materials from the view point of resource recycling. In our previous work, we reported the new separation method by magnets and the separated fraction(D-1) is consist of Cu, Fe and some valuable elements with the higher concentrations than the original slags. In this work, we will report the leaching behavior of fraction(D-1) in inorganic acid determined by XRF and PAA, and the discussion about the possibility of component separation by a sieve

as more simple separation method.

Fractions(D-1) were obtained by the magnet separation of Domestic waste slag at the Tamagawa Incineration Plant. These samples were irradiated with 22 MeV bremsstrahlung for 6 hours in ELPH at Tohoku University. The samples were leached in inorganic acids (HCl and HNO₃) from 1 week to 2 weeks and passed through a membrane filter. Gamma rays emitted from filtrate and residue samples were determined by a Ge detector.

As results, Cu and Fe were leached in inorganic acids, Ag and Au were concentrated in the residue.

3K02 Instrumental photon activation analysis using single comparator method at different accelerators

REZA, S., OURA, Y.

(Tokyo Metropolitan Univ.)

In Instrumental Photon Activation Analysis (IPAA), we have been developing single comparator method using (γ, n) reaction yield ratios determined at ELPH, Tohoku university. We have analyzed different standard samples by single comparator method and confirmed that determination values are generally good. In INAA (n, γ) yield ratios are varies reactor by reactor because of difference in neutron energy spectrum. For this reason k_0 -method was developed for usage at different reactors. But in IPAA such issue is assumed to be very little because energy distribution of bremsstrahlung mainly depends on atomic number of the converter. So we guessed that our determined yield ratios could be used at different accelerators and we performed IPAA using an accelerator at KURNS for different

standard samples. The accelerator at KURNS produce bremsstrahlung through Pt converter (2 mm x 2), in which samples were irradiated in the air. At ELPH samples were irradiated in water by bremsstrahlung produced through Pt converter (1 mm x 2). Most of determination values at KURNS were found to be consistent with certified or reference values within $\pm 10\%$. We confirmed that our determined yield ratios for single comparator method are usable at different accelerators.

3K03 Development of the experimental system for non-destructive element analysis with small sample using negative muon at the J-PARC.

CHIU, I.¹, NINOMIYA, K.¹, AZUMA, T.², KATSURAGAWA, M.³, KUBO, K.⁴, MINAMI, T.^{5,3}, MIYAKE, Y.⁶, NAGASAWA, S.^{5,3}, NAKAMURA, T.⁷, OKADA, S.⁸, OSAWA, T.⁹, SHIMOMURA, K.⁶, SHINOHARA, A.¹¹, TAKAHASHI, T.³, TAKEDA, S.³, TAKESHITA, S.⁶, TAMPO, M.⁶, TANIGUCHI, A.¹⁰, TERADA, K.¹¹, UMEGAKI, I.¹², WADA, T.⁷, WATANABE, S.¹⁴, YOSHIDA, G.⁶

(¹Osaka Univ. IRS, ²RIKEN, ³Kavli IPMU, ⁴ICU, ⁵Dept. of Phys. The Univ. of Tokyo, ⁶KEK, ⁷Tohoku Univ., ⁸Chubu Univ., ⁹JAEA, ¹⁰KURNS, ¹¹Osaka Univ., ¹²Toyota Central R&D Labs., Inc., ¹³JAXA)

The element analysis method without destroying the sample is useful in the various field. The non-destructive elemental analysis method has been developed using high-intensity negative muon beams for some valuable samples such as archaeological materials and extraterrestrial materials. This method is performed by measuring high-energy muon characteristic X-rays, which are emitted when the muon the transition to ground state of muon atomic orbitals. In order

to apply this method to the milligram samples, our group has developed a novel experimental installation. Muon irradiation experiments were conducted at the D2 beamline of the Materials and Life Science Experiment Facility (MLF) at the Japan Proton Accelerator Research Complex (J-PARC). The meteorite (Jbilet Wienselwan) with the size of 6x8 mm² and weighing 120 mg was prepared and irradiated with muons. Muon characteristic X-rays were measured by six low-energy Ge detectors installed around the sample. Based on result of this experiment, a very low background from experimental system was confirmed, and the peaks from meteorite were clearly observed. Furthermore, a simulation experiment was implemented using Geant4 code to verify the experimental data. The element contribution of samples could be accurately determined with this experimental system.

3K04 Thermal separation characteristics of astatine in dry distillation

NISHINAKA, I.¹, WASHIYAMA K.², HASHIMOTO, K.²

(¹QST-Tokai, ²Fukushima Medical University)

The α -emitting radionuclide, ²¹¹At, is a prospective candidate for use in targeted alpha therapy. In general, dry distillation has been used for the isolation of astatine from irradiated bismuth targets based on its volatile characteristics. However, even with such an empirical isolation technique, the adsorption temperature (T_{ads}), which is one of the fundamental chemical properties, remains

unknown.

In this study, the T_{ads} of volatile astatine species was studied using the ^{211}At radionuclide produced via the $^{209}\text{Bi}(^4\text{He},2\text{n})^{211}\text{At}$ nuclear reaction. Volatile astatine was separated from the irradiated bismuth via dry distillation in a glass tube (inner diameter: 4 mm, length: 750 mm) filled with nitrogen. The T_{ads} of the volatile astatine species on a glass surface was precisely determined to be 42.2 ± 2.5 °C via the simultaneous measurement of the temperatures and the astatine radioactivity across the length of the glass tube with thermocouples and α -ray spectrometers, respectively. The adsorption was observed in a narrow temperature range of 60–30 °C, indicating that the single volatile chemical species could be formed and adsorbed on the glass.

The obtained results are discussed in terms of the assumed chemical species and astatine amounts by comparing with the adsorption temperature values in previous studies.

3K05 Development of astatine-211 dry recovery process by evaporation with aerosol

YUHARA, M.¹, MIYAMOTO, S.¹, WADA, S.¹, NAKAI, Y.¹, OMORI, T.¹, TSUKADA, K.², ASAI, M.², FUKUDA, M.³, TOYOSHIMA, A.⁴, SHINOHARA, A.^{4,5}

(¹Toshiba Energy Systems & Solutions Corp., ²Japan Atomic Energy Agency, ³RCNP, Osaka Univ., ⁴IRS, Osaka Univ., ⁵Osaka Aoyama Univ.)

Astatine-211(^{211}At) is one of the suitable

nuclides for targeted α -therapy. In previous studies, ^{211}At is often produced by $^{209}\text{Bi}(\alpha,2\text{n})^{211}\text{At}$ reaction and recovered from irradiated Bi target by dry-distillation method. Future mass production will require a simpler and more versatile ^{211}At recovery system. In this work, to improve ^{211}At recovery yield, we tried dry recovery process by evaporation with aerosol.

Bismuth targets were irradiated with $^4\text{He}^{2+}$ beam by the JAEA tandem accelerator. The generation of 100 kBq order ^{211}At was confirmed. Aerosols were generated by heating KCl reagents with an electric furnace. The irradiated target was set in the other electric furnace and heated to evaporate ^{211}At . Helium carrier gas containing aerosols was introduced into the ^{211}At evaporation section, and ^{211}At was mixed with aerosols. The aerosols in the carrier gas was collected with a glass fiber filter and then dissolved in diluted NaOH solution. Astatine-211 concentration in the solution was measured with a Ge semiconductor detector, and K concentration was measured with an ion meter. Astatine-211 recovery yield (%) and aerosol collection rate (mg / hr) were evaluated.

A positive correlation was found between ^{211}At recovery yield and aerosol collection rate. It is considered that the increasing amount of aerosols promoted the collision between ^{211}At and aerosols, and facilitated filter collection.

3K06 Development of ^{211}At labeling method for molecular-targeted drugs using electrolytic oxidation reaction.

NAKAGAWA, S.¹, KADONAGA, Y.¹, OOE

K.¹, KANDA, A.¹, NAGATA, K.¹, TERAMOTO, T.¹, TOKOI, K.¹, HABA, H.², WANG, Y.², KASAMATSU, Y.¹, YOSHIMURA, T.¹, TOYOSHIMA, A.¹, SHINOHARA, A.^{1,3}

(¹Osaka Univ., ²RIKEN, ³Osaka Aoyama Univ.)

²¹¹At is one of the promising candidates for targeted α therapy. Although various methods are reported for labeling molecular targeted drugs with ²¹¹At, commonly used substitution reactions by ²¹¹At for harmful organometals containing such as tin and mercury are fairly problematic in clinical use. Therefore, we aim at developing a novel method for labeling ²¹¹At by electrolytic oxidation that needs neither oxidants nor organometals. Because oxidation of ²¹¹At is necessary to proceed the electrolytic labeling, we first studied electrolytic oxidation of astatine. Then, electrolytic labeling of ²¹¹At was investigated. In the experiments, we used a flow electrolytic column apparatus. ²¹¹At species were analyzed by Thin Layer Chromatography (TLC) before and after electrolysis. Radiation from ²¹¹At on TLC plates were measured using an imaging plate. As a result, quantitative oxidation of ²¹¹At was observed, which was confirmed based on different positions of ²¹¹At spots on TLC before and after electrolysis. Then, in the labeling reaction, it was found that 65% of eluted ²¹¹At was observed at the positions expected from those of the analog compounds labeled by iodine. This demonstrates that we succeeded in labeling molecular targeted drug with ²¹¹At by electrolytic oxidation for the first

time.

3K07 Synthesis and Evaluation of At-211 Labeled Gold Nanoparticles for Alpha Brachytherapy

HUANG, X.¹, KATO, H.², KADONAGA, Y.³, SHIMOYAMA, A.¹, KABAYAMA, K.¹, KATAYAMA, D.², OOE, K.², TOYOSHIMA, A.³, HABA, H.⁴, WANG, Y.⁴, SHINOHARA, A.^{3,5}, FUKASE, K.^{1,3}

(¹Graduate School of Science, Osaka Univ., ²Graduate School of Medicine, Osaka Univ., ³Institute for Radiation Sciences, Osaka Univ., ⁴Nishina Center for Accelerator-Based Science RIKEN, ⁵Osaka Aoyama Univ.)

Much attention has been drawn to the α -emission radiotherapy due to its potential cancer therapeutic efficacy. Astatine-211 (²¹¹At), with a comparatively short half-life of 7.2h, can emit alpha particles within a few cell diameters with high energy, which can damage cancer cells in a relatively high biological effectiveness. In this study, we investigated a novel alpha brachytherapy by local injection of ²¹¹At labeled gold nanoparticles (AuNP) in order to accumulate high level of radiation in the tumor and reduce the exposure of normal tissue.

First, we synthesized different sizes of mPEG-SH modified AuNP and performed astatination. Anti-tumor effect of the ²¹¹At labeled AuNP-S-mPEG were evaluated and it revealed that the 5 nm sample has the most significant anti-tumor effect. Furthermore, we synthesized 5 nm of RGD peptide modified AuNP and performed astatination, cell internalization of AuNP-RGD was confirmed

and the cytotoxicity of ^{211}At labeled AuNP-RGD was evaluated in cancer cell line. Significant internalization of AuNP-S-mPEG was not observed, while the RGD modification promoted the internalization. In cytotoxicity experiments, the RGD modified AuNP, which has the higher internalization ability, showed the higher cytotoxicity. The results may help to optimize the design of functional AuNPs, which are suitable for alpha brachytherapy.

3K08 Stability of Dimetallofullerene Encapsulating Promethium

SUWA, T.¹, AKIYAMA, K.¹, KIKUNAGA, H.², KUBUKI, S.¹

(¹Grad. School Sci., Tokyo Metropolitan Univ.,
²ELPH, Tohoku Univ.)

Recently, it has been reported that the stability of dimetallofullerenes (di-EMF) with two lanthanide atoms decreases with the increase in the atomic number of encapsulated lanthanides, and also reported that the di-EMFs with heavy lanthanides are stabilized by the reduction of di-EMFs. In our previous work, we could not have observed any promethium di-EMF species under the atmospheric condition. In this work, we will report the development of new method for metallofullerene extraction /separation under anaerobic condition.

Sm_2O_3 pellet was irradiated with 55.5 MeV bremsstrahlung radiation for 6 hours. Produced Pm was separated from this Sm_2O_3 by the chemical separation. The Pm tracer mixed with ^{139}Ce radiotracer and La carrier were adsorbed on a porous carbon rod and

sintered as a cathode of arc-discharge. The soot containing Pm di-EMFs produced by arc-discharge method were refluxed under anaerobic condition. An ion pair chromatography was employed for the separation of each fullerene. To confirm the elution peak components, the cold fullerene samples were separated and then the collected samples were measured by MALDI TOF/MS. The radioactivity of ^{143}Pm and ^{139}Ce was observed at retention time which seems to be that of di-EMF. These results indicated the stabilization of $\text{LaPm}@C_{80}$ and $\text{LaCe}@C_{80}$ species by the reduction.

3K09 Dissolution Method of Substances containing $\text{UO}_2\text{-ZrO}_2$ by Thermochemical Conversion for Actinide Analysis

MA, Z.¹, HONMA, K.², KONANSHI, K.², SUZUKI, K.², SUZUKI, T.¹

(¹Nagaoka University of Technology,²Tohoku Univ.)

The dissolution of nuclear fuel debris generated from Fukushima nuclear power plant accident is necessary for the accurate and precise analyses of actinides and fission products. We have proposed the chemical conversion of insoluble nuclear fuel debris into soluble substances by thermochemical reaction.

In the present work, the chlorination and dissolution behavior in hydrochloric acid and Nitric acid of simulated nuclear debris including $\text{UO}_2\text{-ZrO}_2$ by thermochemical reaction with reagent CCl_4 were studied, and the converted undissolved residue were analyzed by SEM-EDX.

The simulated debris pellets were prepared by NFD company through ammonia coprecipitation and then sintering. Before the chlorination experiment, the pellets were powdered, which was oxidized and reduced in oxygen and hydrogen successively based on the oxidized and volatilized method, which successfully made the pellet simply powdered. After the powder was oxidized and reduced respectively, the heating chlorination experiments were carried out in the Swagelok containers.

After heating at 400°C for 12 hours, the dissolution rate of reduced simulated debris powder in concentrated hydrochloric acid (30%) and concentrated nitric acid (60%) were 92.39% and 88.00%. After oxidation, the dissolution rates of simulated debris powder were 97.54% and 87.80%, which were obtained from the mass of filter residue after pressurized filtration. In the next step, ICP-MS will be used to further check the uranium concentration in the filtrate.

This work was partially supported by the Nuclear Energy Science & Technology and Human Resource Development Project (through concentrating wisdom) from the Japan Atomic Energy Agency / Collaborative Laboratories for Advanced Decommissioning Science.

3K10 Quantitative assessment of polyatomic interferences for the measurement of uranium and plutonium isotope ratios at ultra-trace level using MC-ICP-MS

TOMITA, J., TOMITA, R., SUZUKI, D., YASUDA, K., MIYAMOTO, Y.

(Japan Atomic Energy Agency)

Accurate determination of uranium and Pu isotope ratios for safeguard environmental and geochemical samples is important because they have information on their origin. Formation of polyatomic interferences made of an atom of heavy element and atoms in plasma such as argon and oxygen is known to create problems for their measurements using ICP-MS. In this study, quantitative assessment of polyatomic interferences for the measurement of U and Pu isotope ratios at ultra-trace level using MC-ICP-MS was conducted. For U isotopes, significant polyatomic interferences caused by $^{193}\text{Ir}^{40}\text{Ar}^+$, $^{194}\text{Pt}^{40}\text{Ar}^+$ and $^{196}\text{Pt}^{40}\text{Ar}^+$ were observed at the mass of 233, 234 and 236, respectively. When 1 ppb of natural uranium solution (IRMM184) containing 0.4 ppb of Pt was measured, $^{234}\text{U}/^{238}\text{U}$ isotope ratio was roughly estimated to be two-fold higher than certified value due to the interference. For Pu isotopes, small interference from Pb ($^{204}\text{Pb}^{40}\text{Ar}^+$) was observed at the mass of 244 while other obvious interferences were not found.

3K11 Total evaporation for uranium particles generating much uranium hydride formation and isotopic ratio change

TOMITA, R., TOMITA, J., YOMOGIDA, T., SUZUKI, D., YASUDA, K., ESAKA, F., MIYAMOTO, Y.

(JAEA)

Secondary ion mass spectrometry (SIMS) analysis of uranium particles for safeguards purpose consists of Automated Particle

Measurement (APM) and Microprobe analysis. APM for safeguards sample includes 2400 measurements, each field is analyzed for short time. So, if a sample have particles which generate too much uranium hydride formation on their surface, the APM result, especially ^{236}U abundance, is affected by uranium hydride formation. It causes inaccurate APM result. To investigate what percentage of the entire particle the particle surface causing ratio change account for, total evaporation measurement was implemented for standard uranium particle generating much uranium hydride formation on their surface and uranium isotopic ratio change during the total evaporation measurement was observed. Total evaporation experiment for the particle grain-sized 4 μm indicated that $^{236}\text{U}/^{238}\text{U}$ decreased by 55% and kept changing for 180 s. The number of secondary ions originated from particle surface accounted for 3.1 % of all of number of ions sputtered from the entire particle. These results indicated it is difficult to remove the hydride effect from particle surface by only APM conditions. On the other hand, APM combined with the method manipulating particles under scanning electron microscope can obtained APM data without hydride effect because it is able to get more higher secondary ion counts using almost same conditions, primary beam intensity, measurement time and raster size, of microprobe mode.

3K12 Manual of Measurement and Evaluation of Activation for Decommissioning of Accelerator Facilities

MATSUMURA, H.¹, MASUMOTO, K.¹, YOSHIDA, G.¹, TOYODA, A.¹, NAKAMURA, H.¹, MIURA, T.¹

(¹High Energy Accelerator Research Organization (KEK))

It is difficult for most facilities to adopt the clearance in the decommissioning of accelerator facilities under the Radioisotope Regulation Law. Therefore, we studied for "Establishment of the measurement and evaluation methods of activated materials for decommissioning of accelerator facilities" in the project for Radiation Safety Research Promotion Fund under the contract of the Nuclear Regulation Authority for four years since FY2017. In this project, we studied the decommissioning method of accelerator facilities with considering the clearance level with the research committee and the Nuclear Regulation Authority of Japan. The results were summarized in a paper as "Manual for measurement and evaluation of activation for decommissioning of accelerator facilities; Electrostatic accelerator facilities, synchrotron radiation experimental facilities, proton therapy facilities, heavy particle therapy facilities, and cyclotron facilities for radioisotope production for positron emission tomography (PET)." In this presentation, the essentials of the manual will be explained.

3K13 Feasibility for evaluation of accelerator activation with the portable γ -ray imager GeGI5

YOSHIDA, G.¹, MATSUMURA, H.¹, NAKAMURA, H.¹, TOYODA, A.¹, MIURA, T.¹, MASUMOTO, K.¹, SASA, K.²,

MORIGUCHI, T.², MATSUMURA, M.²
(¹KEK, ²University of Tsukuba)

Accelerator activation is a serious problem in terms of radiation exposure of workers and waste management of radioactive materials. The portable γ -ray imaging device (imager), which has been rapidly developed since the Fukushima nuclear accident, can be supposed to be a breakthrough to visualize the γ -rays from the radiation source, and we have been tackling the application of this novel technology to evaluation of accelerator activation. Although, there have been a variety of commercial γ -ray imagers with different measurement methods and detector crystals, no models have been clarified the requirements for applying to evaluation of accelerator activation; determination of activation sites, residual nuclides, and their activity. We had conducted benchmark tests with various commercial devices at assuming an actual accelerator activation, and found the best candidate; GeGI5 manufactured by PHDS Co., US-TN. Currently, we are investigating the requirements for evaluation of accelerator activation with the GeGI5, at accelerator facilities in Japan. In this presentation, we will report the results of pre-evaluation for selection the best candidate, and series of actual field tests in the accelerator facilities in Japan, by using the GeGI5.

3K14 Application of spectral determination method to liquid scintillation spectra

OSHIMA, M.¹, GOTO, J.², SHINOHARA, H.¹, SETO, H.¹, BAMBA, S.¹, FURUSE, T.^{3,4}

(¹JCAC., ²Niigata Univ., ³JAEA, ⁴IRID)

Liquid Scintillation Counter (LSC) is widely used for the determination of radioactivity. A solved sample including radioactivity is mixed with liquid scintillator so that the emitted radiations (α , β , γ and X rays) are effectively absorbed in the material. While the energy resolution is not as good as solid-state detectors, it is expected to be suitable for the analysis of Spectral Determination Method (SDM) which deals with the whole spectral shape.

LSC measurements were performed for H-3, Co-60, Sr-90, and Cs-137 samples, by utilizing an LSC apparatus of Tri-Carb 3110TR supplied by Parkin Elmer, Inc. After quenching correction, we obtained standard spectra for the four samples. From the spectra, we synthesized examination spectra of various concentrations with a common dominant Cs-137 activity of 3,000 Bq.

The SDM analysis is performed to give consistent determination values for the samples, and the accuracies are within 7 % for the concentrations of 100, 33, and 10 % relative to the Cs-137 activity; they are within 20 and 30 % for the concentrations of 3 and 1 %, respectively. We have concluded that the SDM can be applied to the analysis of LSC spectra with mixed radioactivity.

3P01 Proposal of new methods for spectroscopy and visualization of astatine compounds

TERAMOTO, T.¹, OOE, K.², WANG, Y.³, HABA, H.³, TOYOSHIMA, A.²

(¹IRS, Osaka Univ., ²Grad.Med. Osaka Univ.,

³RIKEN)

²¹¹At is expected to be a candidate material of the targeted alpha therapy. So far, by multiphoton ionization with tunable nanosecond lasers, the electronic excited states of At atom were observed and the ionization potential and electron affinity of At were determined. However, there are no reports on physiochemical properties of At compounds.

In nuclear medicine treatment, X-rays and γ -rays are detected and imaged in order to evaluate the distribution of At in the body. For these high-energy photons, because it is difficult to focus the light with conventional optics, only the emitted light is directly imaged. Therefore, a lot of imaging elements are needed in the imaging devices.

In this study, we will show our current status toward spectroscopy and visualization of ²¹¹At compounds. The covariance mapping method and a single pixel imaging method are introduced for the spectroscopy and visualization of At compounds, respectively,

3P02 Production of Mn-52 and its half-life measurement

KIKUNAGA, H.¹, SHIRASAKI, K.², IKEDA H.^{1,3}

(¹ELPH, Tohoku Univ., ²IMR, Tohoku Univ., ³CYRIC, Tohoku Univ.)

Manganese is a transition metal element that takes a wide range of oxidation numbers and forms a variety of complexes. Manganese is an essential micronutrient for plants and animals, but it also has specific effects on living organisms, such as neurotoxicity. It is

important to know the behavior of these elements for their biological applications. Mn-52g (half-life 5.6 d), of which about 29% is decayed through β^+ decay, is a nuclide that is being used as a PET nuclide. In this study, we develop a production method for Mn-52g tracer. We have selected natV(β^+)52gMn, natCr(β^+)52gMn, and natFe(β^+)52gMn for the production reactions. The excitation function measurements of these reactions and the Mn tracer purification method are investigated. In this presentation, we report the results of excitation functions of natV(β^+)52gMn.

3P03 Development of an RF ion-collection and mass-separation apparatus toward elucidation of the decay properties of Th-229m

SHIGEKAWA, Y.¹, TOKOI, K.², YAMAGUCHI, A.¹, WANG, Y.¹, YIN, X.¹, NAMBU, A.¹, SATO, N.¹, WADA, M.³, HABA, H.¹

(¹RIKEN, ²Osaka Univ., ³KEK)

The first nuclear excited state of ²²⁹Th, ^{229m}Th, has an excitation energy of ~8.3 eV, which may allow the variation of decay modes (internal conversion, electron-bridge transition, gamma-ray emission) depending on chemical environments. In order to directly observe the electron-bridge transition and gamma-ray emission of ^{229m}Th, we aim to control the chemical forms of ^{229m}Th by reacting ^{229m}Th ions with gases in an ion trap, and to implant ²²⁹Pa ions into fluoride crystals for prohibiting the internal conversion process of ^{229m}Th. In this study, we developed an RF

ion-collection and mass-separation apparatus for extracting purified $^{229\text{m}}\text{Th}$ and ^{229}Pa ions with high efficiency. The constructed apparatus includes a He gas cell, where produced ions are decelerated and transported to an RF carpet with a DC electric field gradient. Then the ions are transported to the central hole of the carpet with the RF-surfing technique, and subsequently to a high vacuum through a quadrupole ion guide. Using a quadrupole mass filter, the ions with specific mass-to-charge ratio are transported to a channeltron detector. To evaluate the extraction efficiency and mass resolution, we extracted ^{220}Rn and its daughter ions recoiling out of a ^{224}Ra source under various conditions. We clearly observed the mass peaks of $^{220}\text{Rn}^+$ and $^{216}\text{Po}^+$ with a full width at half maximum of ~ 1 u. The maximum extraction efficiency of $^{220}\text{Rn}^+$ was evaluated to be 15–20%. Hence, it is expected that purified $^{229\text{m}}\text{Th}$ and ^{229}Pa ions can be extracted with high efficiency and used for studying the decay properties of $^{229\text{m}}\text{Th}$.

3P04 Spatial variations of ^{134}Cs concentrations off eastern Hokkaido (2018–2021)

MASHITA, K.¹, TAKEHARA, R.¹, INOUE, M.¹, KAMEYAMA, H.¹, TANIUCHI, Y.², KURODA, H.², KAERIYAMA, H.², MIKI, S.², NAGAO, S.¹

(¹Kanazawa Univ., ²National Research Institute of Fisheries Science)

Contrarily to the inhomogeneous distributions of ^{137}Cs , ^{134}Cs detected in seawaters in this

study is believed to be entirely derived from the Fukushima Dai-ichi Nuclear Power Plant (FDNPP) accident, considering its short half-life. Thus, the ^{134}Cs distribution has become a useful chemical tracer of water circulations, including global circulations since the FDNPP accident before its radioactive decay. The lateral distributions of ^{134}Cs concentrations in surface seawaters in major ocean current systems off the southeastern Hokkaido were examined in 2018–2021. The ^{134}Cs concentrations on the date of the FDNPP accident in the Soya Warm Current (SWC) (mean, 0.67 mBq/L), East Sakhalin Current (ESC) (0.23 mBq/L), and East Kamchatka Current (EKC) (1.3 mBq/L) (data in 2018–2019) predominantly reflect the difference of the contribution of FDNPP-derived radiocesium contaminated waters, owing to basin-scale current circulations after the FDNPP accident. The local distribution of the ^{134}Cs concentrations in the Oyashio Current area off the southeastern coast of Hokkaido (0.4–0.8 mBq/L) were predominantly ascribed to the mixing of the SWC, ESC, and EKC. In this poster presentation, we discuss water circulation patterns in this area including the time-scale after the FDNPP accident, using data in 2018–2021.

3P05 Spatial distributions of $^{228}\text{Th}/^{228}\text{Ra}$ activity ratio in the Japan Sea and the implications for transport of reactive materials

KAMEYAMA, H.¹, INOUE, M.¹, MOROKADO, T.¹, SHIROTANI, Y.¹, HANAKI, S.¹, FURUSAWA, Y.¹, KOFUJI, H.², MORITA, T.³, MIKI, S.³, NAGAO, S.¹

(¹Kanazawa University, ²Japan Marine Science Foundation, ³National Research Institute of Fisheries Science)

Reactive (particle-reactive) radionuclides (e.g., thorium isotopes) in the seawater have been utilized to estimate the scavenging from seawater. To study the migration patterns of reactive materials under dynamic the Tsushima Warm Current (TWC) circulations, fine-resolution spatial and seasonal variations in the $^{228}\text{Th}/^{228}\text{Ra}$ activity ratios were examined in seawater samples from the Sea of Japan and East China Sea (ECS) in 2012–2020. The $^{228}\text{Th}/^{228}\text{Ra}$ ratios in surface waters with reduced scavenging effect partially maintained the seasonal change in the mixing ratio of the ECS continental shelf side water. The wider variations in the $^{228}\text{Th}/^{228}\text{Ra}$ ratios at the surface also exhibited inhomogeneous scavenging in offshore areas. In contrast, the $^{228}\text{Th}/^{228}\text{Ra}$ ratios gradually increased from the surface to TWC core layers (depths of 0–350 m). While the variations in the $^{228}\text{Th}/^{228}\text{Ra}$ ratios were vertically small in the TWC area (0.1–0.3), those in the northeastern Sea of Japan showed higher values with a wider variation (0.2–0.6). Combined with the salinity, this difference indicates the admixture of subarctic currents with low-

salinity and reduced particle flux.

3P06 Development of analysis method for ^{90}Sr in bones using Y separation with DGA resin.

KOARAI, K.¹, MATSUEDA, M.^{1,2}, AOKI, J.^{1,2}, FUJIWARA, K.¹, TERASHIMA, M.¹

(¹JAEA, ²Fukushima University)

Chemical separation of interference nuclides and matrix of samples is required to accurate measurement of ^{90}Sr in bone samples. Direct separation of ^{90}Y , which is daughter nuclide of ^{90}Sr , from bones seems to be a simplified method because the separation of trivalent Y from the sample can easily remove divalent Ca or Sr. We investigated removal of the elements that including interference nuclides of ^{90}Y measurement (Cs, Pb, Bi, Th, and U) and matrix elements of bones (Na, Mg, K, Sr, Ba) by a DGA resin. Cs, Pb, Bi, and U were removed from the DGA resin column by successive rinsing processes. Although Th was slightly recovered (1.6%) with Y, interference from Th to ^{90}Y measurement can be ignored due to low radioactivity of Th in bones. Matrix elements of bones, including large amount of Ca, were removed over 99.9% by the rinsing processes. ^{90}Sr in the NIST reference bone material can be determined by ^{90}Y measurement after chemical separation with the DGA resin. The Y separation with the DGA resin is adequate to ^{90}Sr analysis of bone samples.

3P07 Quality assurance by in-situ calibration for air doseimeters installed at monitoring stations

SUGIYAMA, M., ISHIKAWA, K., TANAKA,

H., NITTA, W., KISHIMOTO, T.

(Japan Chemical Analysis Center)

About 300 air dosimeters (NaI (TI) scintillation detectors) are installed at the monitoring stations in 47 prefectures to survey air dose rate. In-situ calibration is a useful method to guarantee the measurement quality of the dosimeters since they are fixed to the stations and difficult to transport. Japan Chemical Analysis Center is the only institution in Japan that can provide in-situ calibration based on JCSS (Japan Calibration Service System).

In-situ calibration of air dosimeters has been carried out using the ionization chamber dosimeter as a working standard that is traceable to the national standard. Both air dosimeters and the working standard are irradiated at about 1 $\mu\text{Gy/h}$ by Cs-137 point source, and the calibration is performed by comparing the results.

We had been in-situ calibrated 33 air dosimeters installed at prefectures' monitoring stations from 2016 to 2020. Those ratio and working standard was in the range of 0.97 to 1.07. From the results of in-situ calibration, it was confirmed that air dosimeters installed at prefectures were adjusted appropriately. Since 2020, we have been expanding the scope of in-situ calibration to air dosimeters for monitoring nuclear facilities nationwide.

3P08 Guaranteeing the quality of ocean monitoring

SANO, Y., SAKUMA, T., OTA, T.

(Japan Chemical Analysis Center)

The government of Japan has decided that ALPS treated water stored in Fukushima NPP is to be discharged to the ocean. This action should be accompanied by the enhanced ocean monitoring for environmental radioactivity as well as the quality assurance of analytical process performed in the monitoring program. Intercomparison between IAEA and the laboratories which will participate in the upcoming monitoring program is expected to be an significant part of QA.

IAEA established ALMERA (Analytical Laboratories for the Measurement of Environmental Radioactivity) in 1995 as a global network of laboratories capable of performing rapid and reliable analysis in normal and emergency monitoring. As of June 2021, 194 laboratories in 90 countries have been registered in ALMERA, and Japan Chemical Analysis Center has been participating since 2008. Among the proficiency tests sponsored by IAEA is the IAEA-RML-PT, which aims to support laboratories that analyze nuclides such as H-3, Sr-90, and Cs-137 in seawater samples. This time, we will introduce the results of the IAEA-RML-2020-01 PROFICIENCY TEST conducted in 2020, as well as a summary of past results.

3P09 Measurements of local fields in $\text{Cd}_x\text{Fe}_{3-x}\text{O}_4$ by means of PAC spectroscopy with the $^{111}\text{Cd}(\leftarrow^{111\text{m}}\text{Cd})$ and $^{111}\text{Cd}(\leftarrow^{111}\text{In})$ probes

FUJII, M.¹, KONAKA, M.², ITO, T.¹, OHKUBO, Y.³, SATO, W.^{1,2}

(¹Grad. Sch. Nat. Sci. Tech., Kanazawa Univ.,

²Inst. Sci. Eng., Kanazawa Univ., ³Inst. Integ. Radiat. Nucl. Sci., Kyoto Univ.)

In our previous study, it was found that ^{111m}Cd probes of the perturbed angular correlation (PAC) method introduced into an inverse spinel Fe₃O₄ occupy the A site, exhibiting a static perturbation pattern due to magnetic hyperfine interaction. On the other hand, the ^{111m}Cd probe in a normal spinel CdFe₂O₄ showed a nuclear spin relaxation. In order to provide insight into the unexpected phenomenon, in this study, we investigated the Cd concentration dependences of PAC spectra for Cd_xFe_{3-x}O₄, using the ¹¹¹Cd(\leftarrow ^{111m}Cd) and ¹¹¹Cd(\leftarrow ¹¹¹In) probes. We found from the PAC spectra that the magnetic transition temperature (T_C) of Cd_{0.25}Fe_{2.75}O₄ is 753 K. From this observation, it was suggested that the nuclear spin relaxation observed at 773 K ($>T_C$) is ascribable to the nuclear quadrupole interaction with the electric field gradient. Similar results were also observed above the magnetic transition temperature for samples with Cd concentrations other than $x=0.25$. Considering that the ^{111m}Cd probe occupies the A site, these phenomena can be attributed to perturbations by the electric field gradient at the A site. These results demonstrate that the nuclear spin relaxation is characteristic of the probe in the A site of the Cd ferrites.

3P10 Production of ⁴⁷Sc for cancer therapy by accelerator neutrons

TSUKADA K.^{1,2}, HASHIMOTO, K.², HASHIMOTO, S.¹, ASAI, M.¹, HASTSUKAWA, Y.², SAEKI, H.^{2,3}, KAWABATA, M.^{2,3}, OHTA, A.^{2,3},

MOTOMURA, A.^{2,3}

(Japan Atomic Energy Agency¹, National Institutes for Quantum and Radiological Science and Technology², Chiyoda Technol Corporation³)

Scandium-47 is an attractive radionuclide for cancer therapy, because of emissions of medium energy beta particle (a mean energy of 162 keV) and gamma rays (159 keV) suitable for imaging, and its appropriate half-life (3.35 days). In this study, we have investigated the production of ⁴⁷Sc by the ⁴⁷Ti(n,p)⁴⁷Sc reaction using fast neutrons from ^{nat}Be(d,n) reaction at the JAEA tandem accelerator and the CYRIC of Tohoku university. In this presentation, the production activities of ⁴⁷Sc and the impurities with 15-40 MeV deuterons will be reported, and we will evaluate the suitable deuteron energy for the production of ⁴⁷Sc.

3P11 Study on the electronic state of lanthanide endohedral metallofullerenes by HPLC analysis

NISHIMURA, S.¹, AMEKURA, K.¹, AKIYAMA, K.^{1,2}, HABA, H.², TAKAMIYA, K.³, KUBUKI, S.¹

(¹Grad. School Sci., Tokyo Metropolitan Univ., ²RIKEN, Nishina center., ³KURNS)

In general, the electronic state of metallofullerenes depend on the number of carbon atom forming fullerene cage and of charge transferred electrons from encapsulated metal atoms so that HPLC retention time of these metallofullerenes such as Ln@C₈₂ with same charge transferred electrons are almost same as each other.

However, the results of precise HPLC analysis by radio chromatography show the small differences in HPLC retention time between each Ln@C₈₂. Recently, we reported the precise HPLC retention time for Ln³⁺@C₈₂³⁻ (from La to Ho) and the possibility of the difference in the number of unpaired electrons in the 4f orbitals affected on the electronic state. In this study, we tried to obtain more detailed knowledge of electronic states by conducting thermodynamic analysis of HPLC analysis.

The HPLC retention time of higher fullerenes (carbon number: 76, 78, 84, 86) were developed on a Buckyprep column as a function of temperature. The differences in the slope caused by the phase transition of the stationary phase was clearly observed between -20 °C and -30 °C from Van't Hoff plots of obtained HPLC retention time. In addition, the HPLC retention time of La@C₈₂ at -15 °C is found to be larger than that observed at room temperature.

3P12 Precise and rapid ²³⁴U/²³⁸U analysis of rock samples by mass spectrometry

KURIBAYASHI, C., TANIMIZU, M.

(Kwansei Gakuin Univ.)

Uranium is one of trace elements distributed in the Earth's surface, and also released into the environment through the nuclear fuel cycle. Their origin and residence time are assessed from U isotopic ratios. ²³⁴U/²³⁸U isotopic ratios are often used for radiometric dating, but they are also applied as a tracer in geochemical research. With a recent development of mass spectrometry, ²³⁴U/²³⁸U

ratios are precisely and rapidly determined by isotope analysis compared to the conventional alpha spectrometry. In this study, isotopic variation of ²³⁴U/²³⁸U ratios was analyzed from Permian to Cretaceous limestones by MC-ICPMS to evaluate degrees of the secular equilibrium condition. Limestones in closed system for over million years were estimated to be in the secular equilibrium condition. ²³⁴U/²³⁸U isotope ratios were determined after the chemical purification through Fe-coprecipitation and anion exchange chromatography. As the result, a precision of about 0.2 % was obtained with approximately 2 ng U. Moreover, ²³⁴U/²³⁸U ratios of the analyzed limestones showed the almost secular equilibrium condition, and they can be used as a working isotope reference for geochemical studies.

発表者索引

A		FURUTANI, H.	1P13
ABE, G.	2P08	G	
ABE, M.	<u>2S01</u>	GO, S.	1K13
AKIYAMA, K. ...	1K10, 1P10, 3K01, 3K08, 3P11	GOTO, J.	3K14
AMEKURA, K.	3P11	GOTO, S.	1K16, 1P01
ANDO, T.	1K11	GUO, Q.	1P06
AOI, K.	2P10	H	
AOKI, J.	<u>2P06</u> , 3P06	HABA, H.	1K14, 1P02, 1P04, 2P10, 3K06, 3K07, 3P01, 3P03, 3P11
AOKI, R.	<u>1K15</u> , 1K16	HAMAMOTO, T.	2K05
ASAI, M.	1K13, 1K15, 1K16, 3K05, 3P10	HAMANO, K.	1K12
AZUMA, T.	3K03	HANAKI, S.	3P05
B		HASHIMOTO, K.	3K04, 3P10
BAMBA, S.	3K14	HASHIMOTO, S.	3P10
BINGHAM, P. A.	1P10	HASHIMOTO, T.	1K14
BRIONNET, P.	1K14	HATSUKAWA, Y.	3P10
C		HIBINO, Y.	2P05
CHEN, S.	1K14	HIRAYAMA, Y.	1K14
CHIU, I.	<u>1P09</u> , <u>3K03</u>	HIROSE, K.	1K13
E		HOMONNAY, Z.	1K10
EBIHARA, M.	<u>1K01</u> , <u>2S02</u>	HONMA, K.	3K09
ESAKA, F.	3K11	HOU, D. S.	1K14
F		HUANG, X.	<u>3K07</u>
FUJII, M.	1K07, <u>3P09</u>	HUANG, Z.	1P06
FUJII, M.	1K02	I	
FUJIWARA, K.	3P06	IDEGUCHI, E.	1K13
FUKASE, K.	3K07	IGARASHI, J.	2P04
FUKUDA, M.	3K05	IIDA, M.	<u>1P05</u> , 2P05
FUKUMURA, K.	<u>1P11</u>	IIMURA, S.	1K14
FURUSAWA, Y.	3P05	IKEDA, H.	3P02
FURUSE, T.	3K14	INAGAKI, M.	<u>1K05</u>
		INOUE, M.	3P04, 3P05

ISHIBASHI, Y.	1K13	KITASE, K.	<u>1K09</u>
ISHIDA, K.	2K05	KITATSUJI, Y.	2P11, 2P12
ISHIKAWA, K.	3P07	KOARAI, K.	2P06, <u>3P06</u>
ISHIYAMA, H.	1K14	KOBAYASHI, K.	2K06
ISHIZAWA, S.	1K14	KOBAYASHI, T.	2K06
ISOGAI, K.	1P05, 1P08, 2P05	KOBAYASHI, Y.	1K11, <u>1K12</u>
ITO, T.	<u>1K07</u> , 2P09, 3P09	KOFUJI, H.	3P05
ITO, Y.	1K13, 1K14, 1K15, 1K16	KOGURE, T.	1K03
J		KOIKE, Y.	1K06
JINNO, S.	2K04	KOJIMA, S.	<u>2K07</u> , 2K08
K		KOMATSUDA, S.	<u>1K08</u>
KABAYAMA, K.	3K07	KONAKA, M.	1K07, 3P09
KADONAGA, Y.	1P02, 3K06, 3K07	KONANSHI, K.	3K09
KAERIYAMA, H.	3P04	KONNO, Y.	2P08
KAI, T.	1K13	KOWATARI, M.	2P13
KAJI, D.	1K14	KUBO, K.	1K11, 1K12, 3K03
KAMEYAMA, H.	3P04, <u>3P05</u>	KUBUKI, S.	1K10, 1P10, 3K01, 3K08, 3P11
KANDA, A.	3K06	KUMAGAI, N.	2K01
KANETA, Y.	2K06	KURIBAYASHI, C.	<u>3P12</u>
KASAMATSU, Y.	1P02, 1P03, 2P01, 2P02, 2P03, 3K06	KURIHARA, O.	2P13
KATAYAMA, D.	3K07	KURODA, H.	3P04
KATO, H.	3K07	KUZMANN, E.	1K10
KATO, Y.	2K07, 2K08	KUZUMI, K.	1K16
KATSURAGAWA, M.	1P09, 3K03	L	
KAWABATA, M.	3P10	LIU, J. J.	1K14
KAWAMURA, T.	2P08	M	
KHAN, I.	<u>1K10</u> , 3K01	MA, Z.	<u>3K09</u>
KIJI, M.	1K12	MAKII, H.	1K13, 1K16
KIKUNAGA, H.	3K01, 3K08, <u>3P02</u>	MARUYAMA, S.	2P10
KIM, E.	2P13	MASHITA, K.	<u>3P04</u>
KIMURA, S.	1K14	MASUMOTO, K.	3K12, 3K13
KISHIMOTO, T.	1P05, 3P07	MATSUDA, S.	2K06
KITAGAWA, A.	1K11, 1K12	MATSUE, H.	2K03, 2K04

MATSUEDA, M.	2P06, 3P06	NAGAO, S.	<u>1K02</u> , 3P04, 3P05
MATSUMURA, H.	<u>3K12</u> , 3K13	NAGASAWA, S.	1P09, 3K03
MATSUMURA, M.	3K13	NAGATA, K.	1P11, 1P13, 2K06, 3K06
MATSUNAGA, S.	1K13	NAGATA, Y.	1K13
MATSUZAKI, H.	1K01	NAGATOMO, T.	1K11, 1K12
MIHARA, M.	1K11, 1K12	NAKAGAWA, S.	1P02, <u>3K06</u>
MIKI, S.	3P04, 3P05	NAKAI, Y.	3K05
MIKOUCHI, T.	1K03	NAKAJIMA, A.	1P04
MINAMI, T. (Kanazawa Univ.)	1K02	NAKAJIMA, T.	2P02
MINAMI, T. (Univ. Tokyo)	1P09, 3K03	NAKAMURA, H.	3K12, 3K13
MINOWA, H.	<u>1K04</u> , 2K07, 2K08, 2P04	NAKAMURA, T.	3K03
MIURA, T. (NMIJ, AIST)	<u>2K04</u>	NAKANISHI, R.	1P03, 2P02, <u>2P03</u>
MIURA, T. (KEK)	3K12, 3K13	NAMBU, A.	1P04, 3P03
MIYAKE, Y.	3K03	NI, Y.	<u>1P06</u>
MIYAMOTO, S.	3K05	NINOMIYA, K.	1P09, 2P04, 3K03
MIYAMOTO, Y.	2P12, 3K10, 3K11	NISHIBATA, H.	1K13
MIYATA, S.	1P07, 2P05, <u>2P07</u>	NISHIMURA, S.	<u>3P11</u>
MIYATAKE, H.	1K14	NISHINAKA, I.	2P10, <u>3K04</u>
MIYAZAKI, J.	1K11	NISHIO, K.	1K13, 1K16
MOON, J. Y.	1K14	NITTA, W.	1P05, 1P07, 3P07
MORIGUCHI, T.	3K13	NIWASE, T.	1K13, <u>1K14</u>
MORIGUCHI, Y.	1K01		
MORII, S.	<u>2P11</u>	O	
MORIMOTO, K.	1K14	OCHIAI, S.	1K02
MORITA, K.	1K13, 1K14	OGATA, Y.	2K07, <u>2K08</u>
MORITA, T.	3P05	OGAWA, N.	1K06
MOROKADO, T.	3P05	OHKUBO, Y.	1K08, 3P09
MOTOMURA, A.	3P10	OHTA, A.	3P10
MURAKAMI, A.	<u>2P04</u>	OHTA, T.	2P05
MUTA, H.	1P13	OHTA, Y.	1P07, 1P08, 2P05, 2P07
N		OHTSUKI, T. (KURNS)	1K05
NAGAE, D.	1K13, 1K14	OKADA, S.	3K03
NAGAI, A.	<u>1P04</u>	OKADA, Y.	<u>2K01</u>
NAGAI, Y.	<u>2P10</u>	OKAYAMA, A.	2P05
NAGAME, Y.	1K15, 1K16	OKAZAWA, A.	1K12
		OKI, Y.	1K05

OKUMURA, M.	2K06	SATO, S.	1K11, 1K12
OKUMURA, T.	<u>1K03</u>	SATO, T. K.	1K13, 1K15, 1K16
OMORI, T.	3K05	SATO, W.	1K07, 1K08, 1K11, 1K12, 2P09, 3P09
OOE, K.	1P02, 3K06, 3K07, 3P01	SATO, Y.	<u>1K11</u>
ORLANDI, R.	1K13, 1K16	SAWAMURA, K.	<u>2P01</u>
OSAWA, T.	<u>2K03</u> , 2K04, 3K03	SCHURY, P.	1K14
OSHIMA, M.	<u>3K14</u>	SEKIGUCHI, T.	2K06
OTA, H.	<u>2P08</u>	SEKIMOTO, S.	1K05
OTA, T.	2P05, 2P08, 3P08	SENO, H.	2P13
OTAKA, S.	1P03, 2P02, 2P03	SETO, H.	3K14
OTANI, R.	1K15, <u>1K16</u>	SHIBUTANI, S.	2K05
OTSUKI, T. (JCAC)	1P05, <u>1P08</u>	SHIGEKAWA, Y.	2P01, <u>3P03</u>
OUCHI, K.	2P11	SHIMOJO, K.	2K06
OURA, Y.	1K01, 2K02, 3K02	SHIMOMURA, K.	3K03
P		SHIMOYAMA, A.	3K07
PHAM, T. T.	1K13	SHINOHARA, A.	1P02, 1P03, 1P13, 2P01, 2P02, 2P03, 2P04, 3K03, 3K05, 3K06, 3K07
PUTRA, D. I. P.	1K02	SHINOHARA, H.	3K14
R		SHIRAI, N.	1K01
REZA, S.	<u>3K02</u>	SHIRASAKI, K.	<u>1P12</u> , 3P02
ROENBUSCH, M.	1K14	SHIROTANI, Y.	3P05
S		SHIZUMA, T.	1K13
SAEKI, H.	3P10	SINKO, K.	1K10
SAITO, R. (Meiji Univ.)	<u>1K06</u>	SOME, K.	1K11
SAITOU, R. (TMU)	<u>3K01</u>	SUGISAKI, F.	<u>2K02</u>
SAKAGUCHI, A.	1P04	SUGIYAMA, K.	<u>1K13</u>
SAKAGUCHI, S.	1K13	SUGIYAMA, M.	1P08, <u>3P07</u>
SAKAMA, M.	1K16	SUTO, M.	<u>2P05</u>
SAKUMA, T.	3P08	SUWA, T.	3K01, <u>3K08</u>
SANO, Y.	<u>3P08</u>	SUZAKI, F.	1K13
SASA, K.	3K13	SUZUKI, D.	3K10, 3K11
SASAKI, M.	2K03	SUZUKI, K. (JCAC)	1P07, 2P07
SATO, M.	1K11, 1K12	SUZUKI, K. (GPFES)	2K01
SATO, N.	3P03	SUZUKI, K. (Tohoku Univ.)	3K09

SUZUKI, S.	<u>1P07</u>	TOYOSHIMA, A.	1P02, <u>1P13</u> , 3K05, 3K06, 3K07, 3P01
SUZUKI, T.	3K09	TSUKADA, K.	1K13, 1K15, 1K16, 3K05, <u>3P10</u>
T			
TAGAMI, K.	1P06, <u>2K05</u>	TSUNODA, H.	<u>1P01</u>
TAKAHAMA, N.	1K11	TSURUTA, H.	1K01
TAKAHASHI, T.	1P09, 3K03	TUCHIDA, R.	3K01
TAKAHASHI, Y.	2K06, 2P12	U	
TAKAMINE, A.	1K14	UCHIBABA, Y.	1K15, 1K16
TAKAMIYA, K.	1K05, 1P03, 1P13, 2K07, 3P11	UCHIDA, S.	1P06, 2K05
TAKAMURA, R.	1K16	UCHINO, H.	<u>2P09</u>
TAKEDA, S.	1P09, 3K03	UMEGAKI, I.	3K03
TAKEHARA, R.	3P04	W	
TAKESHITA, S.	3K03	WADA, M.	1K14, 3P03
TAMPO, M.	3K03	WADA, S.	3K05
TANAKA, K.	2K06	WADA, T.	3K03
TANAKA, H.	1P08, 3P07	WANG, XS.	2P05
TANAKA, T.	1K14	WANG, Y.	1P02, 3K06, 3K07, 3P01, 3P03
TANIDA, H.	2K06	WASHIYAMA, K.	1K13, 2P10, 3K04
TANIGUCHI, A.	3K03	WATANABE, E.	<u>1P03</u> , <u>2P02</u> , 2P03
TANIMIZU, M.	3P12	WATANABE, S. (GPFES)	2K01
TANIUCHI, Y.	3P04	WATANABE, S. (JAXA)	1P09, 3K03
TAZAWA, T.	1K09	WATANABE, Y, X.	1K14
TERADA, K.	3K03	WOLLNIK, H.	1K14
TERAMOTO, T.	1P02, 1P13, 3K06, <u>3P01</u>	X	
TERANISHI, K.	1P04	XIAN, W.	1K14
TERASHIMA, M.	2P06, 3P06	Y	
TOKOI, K.	<u>1P02</u> , 1P13, 3K06, 3P03	YAITA, T.	2K06
TOMIHARA, S.	1K02	YAMADA, Y.	1K11, 1K12
TOMIMATSU, T.	1K13	YAMAGUCHI, A. (JAEA)	<u>2K06</u>
TOMITA, J.	<u>3K10</u> , 3K11	YAMAGUCHI, A. (RIKEN)	3P03
TOMITA, R.	3K10, <u>3K11</u>	YAMAGUCHI, N.	1K03
TOYODA, A.	3K12, 3K13		
TOYODA, M.	1P13		
TOYOOKA, S.	2P08		

YAN, S. X.	1K14
YANG, G.	<u>2P13</u>
YASUDA, K.	3K10, 3K11
YIN, X.	3P03
YOKOKITA, T.	1P04
YOKOYAMA, K.	2K06
YOKOYAMA, A.	1P04, 2P10
YOMOGIDA, T.	2P11, <u>2P12</u> , 3K11
YOSHIDA, G.	3K03, 3K12, <u>3K13</u>
YOSHIDA, M.	1P05
YOSHIKAWA, H.	1K04, 2P04
YOSHIMURA, T.	1P02, 1P11, 1P13, 2K06, 2P04, 3K06
YUHARA, M.	<u>3K05</u>

Z

ZHANG, B.	<u>1P10</u>
ZHANG, L.	1P10
ZHENG, J.	1P06, 2P13

本討論会の開催にあたりましては、以下の企業、団体から
ご協力をいただきました。厚く感謝申し上げます。

協賛

株式会社アトックス	株式会社千代田テクノ
株式会社アールデック	株式会社テクノエーピー
株式会社池田理化	株式会社トミー精工
有限会社ウッドベル	伯東株式会社
株式会社大阪真空機器製作所	浜松ホトニクス株式会社
株式会社カイズワークス	ハヤシレピック株式会社
金属技研株式会社	ミリオンテクノロジーズ・キャンベラ
住友重機械工業株式会社	株式会社
大栄無線電機株式会社	ヤトロ電子株式会社
東京ニュークリア・サービス株式会社	

賛助会員

クリアパルス株式会社	公益社団法人日本アイソトープ協会
株式会社千代田テクノ	国立研究開発法人
東京ニュークリア・サービス株式会社	日本原子力研究開発機構
東京パワーテクノロジー株式会社	公益財団法人日本分析センター
長瀬ランダウア株式会社	公益財団法人放射線影響協会
仁木工芸株式会社	一般財団法人放射線利用振興協会
株式会社日本環境調査研究所	九州電力株式会社
富士電機株式会社	中国電力株式会社
ミリオンテクノロジーズ・キャンベラ	中部電力株式会社
株式会社	東京電力ホールディングス株式会社
公益財団法人原子力安全技術センター	北海道電力株式会社
新潟県放射線監視センター	

東京営業所

ATOX Co.,LTD.

安定同位体、放射性同位体のお問い合わせは
株式会社アトックス東京営業所へ

From A to X

Enriched stable Isotopes
Enriched radio Isotopes

厳しい環境変化に即応し、絶えず変革し、
新しい道を切り拓いて行く、
発展し続ける企業を目指します。

Water O-18

<http://www.atox-isotope.jp/>



B	C	N	O	F	Ne							
Al	Si	P	S	Cl	Ar							
Cr	Mn	Fe	Co	Ni	Cu	Zn	Ga	Ge	As	Se	Br	Kr
Mo	Tc	Ru	Rh	Pd	Ag	Cd	In	Sn	Sb	Te	I	Xe
Pb	Bi	Po	At	Rn								



【お問い合わせ】

株式会社アトックス 東京営業所

〒277-0861 千葉県柏市高田1408

TEL : 04-7141-1321 FAX : 04-7141-1323

 株式会社アトックス

NeoDry E シリーズ

非接触ルーツ構造により
長期安定稼働を実現した真空ポンプです。



- NeoDry7E (110L/min)
- NeoDry15E (250L/min)
- NeoDry30E (500L/min)
- NeoDry36E (600L/min)
- NeoDry60E (1,000L/min)

電圧: 単相100V、200V、三相200V選択可(※但し7Eは単相のみ)
 ※ 入力コネクタ付ケーブルは含まれておりません。
 ※ NeoDry100E 1600L/minタイプ及び
 NeoDry300E 5000L/minタイプについては別途お問い合わせ下さい。
【オプション内容】
 ・キャストアジャスタ ・入力ケーブル 3m or 5m ・サイレンサ

スクロールポンプ nXDS15i

大特価!!
在庫あります!



- **クリーン排気**
真空環境からベアリングを完全に遮断。ベアリングの潤滑油によって真空環境が汚染されることなく、よりクリーンな真空が得られます。
- **メンテナンス**
シンプルな構造ですので短時間で分解、ユーザー様にてチップシール交換が可能です。
- **ポンプ回転速度可変**
スタンバイボタンを押すことによりポンプスタンバイ回転速度を66~99%の間で1%ごとに変更可能です。(デフォルト 70%)

ドライ排気ユニット

ドライ排気ユニットドライフォースは、ターボポンプとドライルーツポンプを組み合わせたクリーンでパワフルな真空排気システムです。

DRYFORCE
Dry & Turbo Pumping System



- SLIM 型
・幅 300mmの SLIM 型
- MINI 型
・機能簡素型



AUTO DRIVE MODE 画面



MANUAL DRIVE MODE 画面

- 大型キャスターにて移動が容易で、フロアストッパー採用により固定が簡単です。
- タッチパネルにより AUTO・MANUAL 切替可能な排気コントローラを標準搭載しています。
- ツールトレイ標準装備

磁気軸受式ターボ分子ポンプ

■ STP-301 セット



- ・ STP-301 ICF152 (300L/sec)
- ・ SCU-350 コントロールユニット
- ・ 接続ケーブル 3m
- ・ 電源ケーブル 3m
- ・ 空冷ファン
- ※在庫あります

■ STP-451 セット



- ・ STP-451 ICF203 (480L/sec)
- ・ SCU-350 コントロールユニット
- ・ 接続ケーブル 3m
- ・ 電源ケーブル 3m
- ・ 空冷ファン
- ※在庫あります

■ STP-iX457 セット



- ・ STP-iX457 ICF152 (300L/sec)
- ・ ディスプレイ + 電源
- ・ 接続ケーブル 5m
- ・ 電源ケーブル 3m
- ・ 空冷ファン
- ※在庫あります
- ・ STP-iX457 ICF203 (450L/sec)
- ・ ディスプレイ + 電源
- ・ 接続ケーブル 5m
- ・ 電源ケーブル 3m
- ・ 空冷ファン
- ※在庫あります

R-DEC Co., Ltd. 株式会社 アールデック

本 社 〒305-0051 茨城県つくば市二の宮1丁目16番10号
 TEL029-858-0211(代表) FAX029-855-9877
 東京支店 〒113-0033 東京都文京区本郷3丁目15番4号 本郷小林ビル5F
 TEL03-5805-0330 FAX03-5805-0331

e-mail : kikaku@rdec.co.jp <https://www.rdec.co.jp>

90th
ANNIVERSARY

池田理化は「理化学機器の総合商社」として
これからも、先端科学の研究を支え続けます



研究活動の最前線で
未来づくりをサポートします。

We support the creation of the future at the
forefront of research activities.

<https://www.ikedarika.co.jp/>

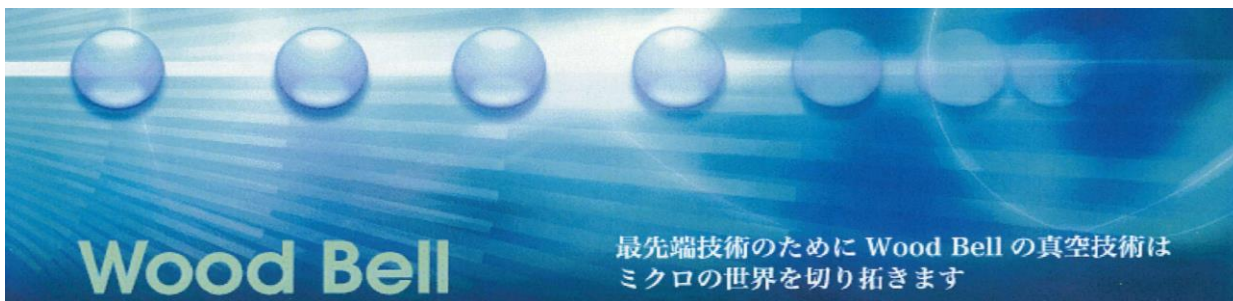


株式会社 **池田理化**

本 社 〒101-0044 東京都千代田区鍛冶町1-8-6 神田KSビル
TEL:03-5256-1811 FAX:03-5256-1818

八王子支店 TEL:042-642-0570
小金井支店 TEL:0422-39-5441
鶴見支店 TEL:045-501-5881
横浜支店 TEL:045-983-0491
藤沢支店 TEL:0466-54-0300
平塚支店 TEL:0463-37-4711
三島支店 TEL:055-975-0975
藤枝支店 TEL:054-644-5551
名古屋支店 TEL:052-249-8350

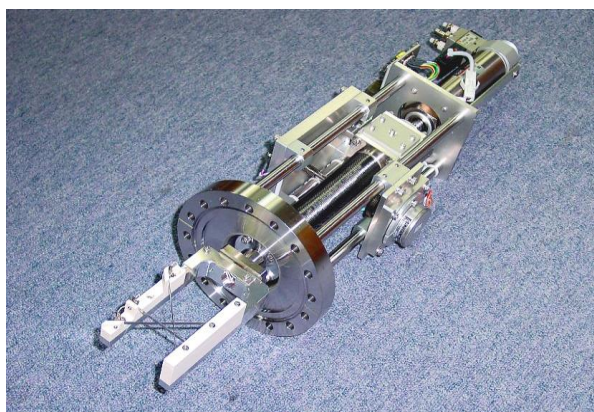
大阪支店 TEL:06-6136-1255
岩国支店 TEL:0827-21-6701
千葉支店 TEL:043-290-4055
つくば支店 TEL:029-836-6611
埼玉支店 TEL:049-245-7831
宇都宮支店 TEL:028-610-3722
仙台支店 TEL:022-217-7037
札幌支店 TEL:011-208-2822



加速器用ビーム診断機器メーカーとして、豊富な経験と実績をもとに様々なニーズにお応えします。

重イオン加速器用各種ビーム診断機器

■ビームプロファイルモニター



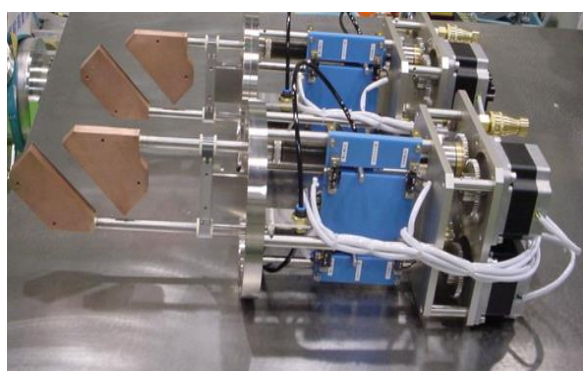
型式		WPM-152-40-136
駆動部	駆動方式	ニューマチック駆動(エアシリンダー)
	真空シール	溶接ペローズ(寿命50,000回)
	ストローク量	73mm
	取付フランジ	CF152
電極部	検知ビーム径	φ40mm
	電極	タングステンリボン(3mm×0.3t)

■ファラデーカップ



型式		WFC-152-40-136
駆動部	駆動方式	ニューマチック駆動(エアシリンダー)
	真空シール	溶接ペローズ(寿命100,000回)
	ストローク量	65mm
	取付フランジ	CF152
検出部	検知ビーム径	φ40mm
	材質	無酸素銅
	冷却方式	水冷(間接冷却)
		サブレッサー電極付

■2軸ビームスリット



型式		WSL-152-40-136
駆動部	駆動方式	ステッピングモーター
	真空シール	溶接ペローズ(寿命10,000回)
	ストローク量	20√2(28.28mm×2軸)
	取付フランジ	CF152
スリット部	検知ビーム径	φ40mm
	材質	無酸素銅
	冷却方式	水冷(直接冷却)

有限会社 ウッドベル
 埼玉県富士見市渡戸1-1-62
 TEL 049(268)7061 FAX 049(252)9041
 E-Mail: mail@vacwoodbell.jp

TGkineシリーズ、ラインアップ拡張!!
EtherCAT対応可能!!

TGkine[®] SERIES

コントローラ一体型
磁気軸受形ターボ分子ポンプ

TGkine[®]-B

1700~4000L/sクラス

特長

- コントローラ・電源一体型 ■省スペース
- IP54標準対応 ■多様な通信仕様 (EtherCAT対応可能)
- 自社開発により、安定した軸受を実現 ■低速回転モード設定可能
- 国際規格適合 CE / NRTL / SEMI-S2 ■省電力設計



NEW

コントローラ分離型
磁気軸受形ターボ分子ポンプ

TGkine[®]-R

専用コントローラ・ケーブル付
1700~4000L/sクラス

特長

- 高負荷対応 ■IP30標準対応 (コントローラはIP20対応)
- 多様な通信仕様 (EtherCAT対応可能) ■自社開発により、安定した軸受を実現
- 国際規格適合 CE / NRTL / SEMI-S2 ■ケーブル長さは3mから20mまで選択可能
- ポンプ本体に運転時間や異常履歴等を記憶するメモリー機能を搭載 ■省電力設計

高品質な製品を魅力的な価格で提供!!

VRD / VSV SERIES

直結型油回転真空ポンプ (2段式)

VRD

67~1300L/minクラス

特長

- ガスバラストバルブ (二段階調節)
- 強制油循環システムを搭載
- 吸気口・排気口のそれぞれに逆止弁を搭載
- ピン接合による完全一体型シリンダー構造



直結型油回転真空ポンプ (1段式)

VSV

466~6000L/minクラス

特長

- ガスバラストバルブ (二段階調節)
- オイルミストフィルター内蔵・標準搭載
- オイルフィルター標準搭載
- 全機種空冷タイプ ■軽量・コンパクト・低振動



NEW

口径16Aから100Aまでのサイズ対応!!

真空構成部品

高真空アングルバルブ (手動/空圧)

特長

- 空圧アングルバルブは電源/空圧源故障時に、スプリングがボンネットを押え、「閉じた」状態に戻る機能付き (単動シリンダーのみ)
- バルブボディ及び内部部品はステンレス材 (SUS) を使用し、幅広い用途に使用可能。
- 全シリーズで溶接バロースAM350を採用することで、長寿命を実現しながら、大きなコンダクタンスも可能にしています。



NEW

従来機種より信頼性向上!!

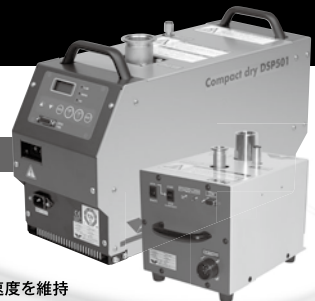
DSP SERIES

コンパクトスクルー型
ドライ真空ポンプ

50~500 L/minクラス

特長

- 省電力設計
- 油逆流が無いクリーン排気が可能
- オイルフリー・メンテナンスフリー
- 内蔵バイパス機構により、大気側の排気速度を維持
- 冷却水不要
- 国際規格適合 CE / SEMI / NRTL (DSP251/501のみ)



軽量、コンパクトで、360度据付自在!!
水素圧縮比が大幅に向上し、超高真空を実現!!

TG60F / TG70F / TG240F

分析・計測装置向け小型ターボ分子ポンプ

60~240L/sクラス

- 外乱・振動に強く、運転中の移動も可能
- 水素圧縮比最大105の高圧縮比を達成 (TG70F, TG240F)
- 完全姿勢自在でチャンバーへの直接取付可能
- コントローラはポンプ一体型と分離型の選択可能



排気速度50~450L/sのターボ分子ポンプを搭載した
基本セットをラインナップ!!

ST SERIES

ターボ分子ポンプ排気ユニット

- 簡単操作で高真空まで排気
- キャスター付で、移動が簡単!
- 外乱に強く、ポンプ運転中の移動が可能!
- 必要に応じてオプション機器の取付が可能



詳細は右記営業所へお問合せ下さい。



株式会社 大阪真空機器製作所
OSAKA VACUUM, LTD.

<https://www.osakavacuum.co.jp/>

- | | |
|--------|--|
| 西日本営業部 | 〒541-0042 大阪市中央区今橋3-3-13
TEL:06-6203-3981 / FAX:06-6222-3645 |
| 東日本営業部 | 〒104-0061 東京都中央区銀座8-14-14
TEL:03-3546-3731 / FAX:03-3546-1560 |
| 名古屋営業部 | 〒460-0002 名古屋市中区丸の内3-18-1
TEL:052-950-3051 / FAX:052-950-3062 |

株式会社カイズワークス

ENGLISH PAGE

TEL. 042-568-0866
〒190-1222 東京都西多摩郡瑞穂町
箱根ヶ崎東松原9-18



トップページ

株式会社カイズワークスは、理学計測器及び周辺機器の設計・製造・開発を行う会社です。

会社概要

当社製品案内

製品一覧

アクセス



採用情報

お問い合わせ

株式会社カイズワークス

〒190-1222
東京都西多摩郡瑞穂町
箱根ヶ崎東松原9-18

TEL 042-568-0866
FAX 042-568-0867

<p>新製品情報</p> <p style="text-align: center;">新製品</p> <p>新製品 & バージョンアップ情報</p>	<p>N I M規格製品</p>  <p>放射線測定標準規格TID-20893に準拠したモジュール</p>	<p>C A M A C規格製品</p>  <p>コンピュータを用いて大量のデジタル情報を取扱う国際規格</p>
<p>V M E規格製品</p>  <p>VME規格は、コンピュータのバス規格</p>	<p>高電圧関連製品</p> 	<p>19インチラック関連製品</p>  <p>19インチラック関連</p>
<p>M W D C関連製品</p>  <p>マルチファイヤードリフトチェンバー等</p>	<p>同軸ケーブル・コネクタ関連製品</p>  <p>LEMO-LEMOケーブル BNC-BNCケーブル LEMOコネクタ BNCコネクタ 等</p>	<p>その他製品</p>  <p>ChargeAMP・PreAMP 特注品・規格以外製品</p>

Accelerate

for the Future



Proton Therapy System 陽子線治療システム

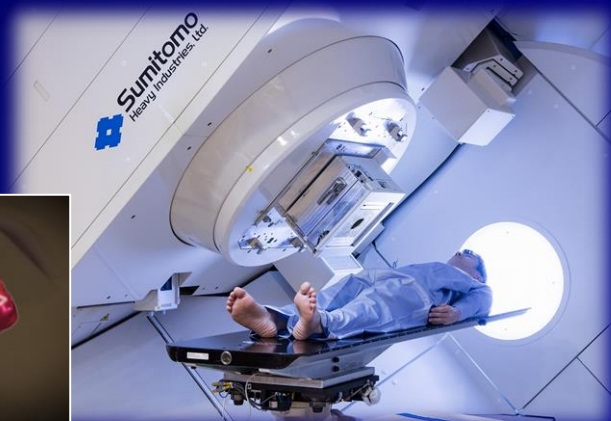
医療機器製造販売承認番号: 21300BZZ00130000



230 MeV サイクロトロン



ラインスキャンニング法



相澤病院陽子線治療センター様

PET Radio-Tracer Production System PET薬剤製造システム



CYPRIS HM-12Sサイクロトロン



FDG合成装置 (F300)

医療機器製造販売承認番号: 22200BZX00704000



Other Accelerators for various use



CYPRIS HM-30サイクロトロン



CYPRIS MP-30サイクロトロン



重粒子線治療用DTL+RFQライナック

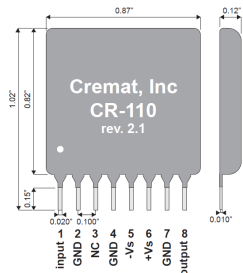
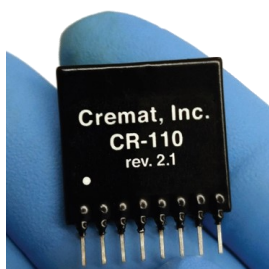
Sumitomo Heavy Industries, Ltd.

住友重機械工業株式会社 産業機器事業部

(本社) 東京都品川区大崎2-1-1 ThinkPark Tower (TEL: 03-6737-2566)

(関西支社) 大阪市北区中之島2-3-33 (TEL: 06-7635-3629)

CR-110 ~ CR-113 チャージ・センシティブ・プリアンプ



CR-110シリーズは、**チャージ・センシティブ** (電荷感応型) プリアンプ (CSP) 1チャンネル分の回路を収めた 8ピンSIPパッケージです。

半導体検出器 (CdTe, CZT等)、PIN フォトダイオード、アバランシェ・フォトダイオード (APD)、ガス封入型の各種検出器など、様々な種類の放射線検出器で使用できるように設計されています。

CR-110シリーズには、**CR-110~CR-113**の4種類のCSPがあります。
ゲインの違いによって、4種類に分かれています。

型番	CR-110	CR-111	CR-112	CR-113	単位
等価雑音電荷 (ENC) RMS *1	200	600	7000	18000	e ⁻
	0.03	0.1	1.1	3	fC
等価雑音 (Si)	1.7	5	—	—	keV (半値幅)
等価雑音 (CdZnTe)	2.4	7	—	—	keV (半値幅)
等価雑音勾配	3.8	3.8	30	30	e ⁻ (RMS) / pF
ゲイン	1400	130	13	1.3	mV / pC
パルス立上り時間 (tr) *2	3	2	3	1	ns
	0.17Cd + 3	0.05Cd + 2	0.13Cd + 3	0.09Cd + 1	ns
減衰時定数	140	150	50	50	μs
非飽和出力振幅	-3 ~ +3				V
1イベント当りの検知可能な最大電荷	1.3 × 10 ⁷	1.3 × 10 ⁸	1.3 × 10 ⁹	1.3 × 10 ¹⁰	e ⁻
	2.1	21	210	2100	pC

*1 入力を接続せずに、シェーピング時間が1μsの**ガウシアン・シェーピングアンプ**を接続して測定した値です。

入りに検出器を接続した場合は、検出器の静電容量、漏れ電流、誘電損失によるノイズが、左表の値に加算されます。

*2 **パルス立上り時間** (=最大値の90%に達するまでの時間) は、入力容量と比例関係にあります。

実際の状況下での立上り時間は、以下の**計算式**で求めます。

$$tr = \alpha \cdot Cd + \beta [ns]$$

左表では、入力容量に加算される $\alpha \cdot Cd = 0$ と仮定した値を、**パルス立上り時間**としています。

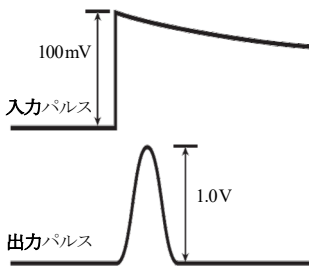
なお、trは**パルス立上り時間** [ns]、Cdは接続された検出器の静電容量 [pF] です。

CR-200-50ns ~ CR-200-8μs ガウシアン・シェーピングアンプ



CR-200シリーズは**ガウシアン・シェーピングアンプ**で、**チャージ・センシティブ** (電荷有感型) プリアンプから入力される**テールパルス**信号を読み取ります。ステップ状の入力パルスを、**ガウス関数**のような形状にシェーピング (整形) して出力します。

テールパルスから**ガウス関数**への変換だけでなく、信号に含まれるノイズをフィルタリングすることも目的の一つです。



型番	シェーピング時間	出力パルス幅 (半値幅)
CR-200-50ns	50 ns	120 ns
CR-200-100ns	100 ns	240 ns
CR-200-250ns	250 ns	590 ns
CR-200-500ns	500 ns	1.2 μs
CR-200-1μs	1 μs	2.4 μs
CR-200-2μs	2 μs	4.7 μs
CR-200-4μs	4 μs	9.4 μs
CR-200-8μs	8 μs	19.0 μs

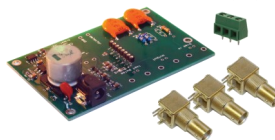
CR-210 ベースライン・レストアラ



CR-210は**ベースライン・レストアラ** (回復回路) で、ベースラインのシフトを補正します。AC結合のパルス増幅器では、ベースラインのシフトによって波高スペクトルの分解能が低下する可能性があります。

カウントレートが高い場合には、ベースラインの低下や、接地電位に対する波高スペクトルの低下が発生するため、補正が必要です。

CR-150 評価ボード (CR-110 ~ CR-113 用)



CR-150-BOX ハウジング (CR-110 ~ CR-113 用)



CR-160 評価ボード (CR-200, CR-210 用)



CR-160-BOX ハウジング (CR-200, CR-210 用)



MCA4A 4入力 マルチチャンネル・アナライザ

メスバウアー分光、マルチパラメータ計測 に!



千代田テクノルは
放射線

を から
測る 守る
で
治す

放射線は危険な性質を持っている反面、
有効に利用すれば人類に大きなメリットを与えてくれる無限の可能性をそなえています。
千代田テクノルは、医療・原子力・産業・放射線測定などの各分野において、
放射線を安全に有効利用するための機器やサービスをトータルに提供。
放射線の「利用」と「防護」の双方において、お客様のあらゆるニーズにきめ細かく対応しています。

株式会社 **千代田テクノル**

U R L: <http://www.c-technol.co.jp>
e-mail: ctc-master@c-technol.co.jp

千代田テクノル

計測機器はテクノエーピーにお任せください。

TechnoAP

高度な技術と豊富な知識でこれまでにない、高計数・高分解能での計測を実現！

マルチチャンネルアナライザ

入力4チャンネルMCA

スペクトロスコープアンプ搭載MCA

入力1チャンネルMCA



APG7400A



APG7305A



APG7300A

プリアンプ

半導体検出器用チャージアンプ

ゲイン切替式高速アンプ

高速アンプディスクリ



APG1603



APG1700



APG1701

サーベイメータ

CdTe検出器搭載

CsI(Tl)検出器搭載

LaBr₃(Ce)搭載



TA100U



TC300L



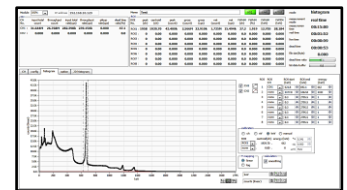
TS215

CdZnTe半導体検出器計測システム

半導体検出器
CZT-C10M

デスクトップ型計測器本体
APU101

アプリケーションソフト



CdZnTe

結晶：10 x 10 x 5mm

本体：φ35 x 75mm

エネルギー範囲：～2.0MeV

オールインワン信号処理装置

- ・マルチチャンネルアナライザ
- ・高圧電源
- ・プリアンプ電源

- ・高圧電源制御
- ・最大8種類のROI設定
- ・計数率表示

特注品・受注開発も承ります。

お客様のご要望に応じた製品をご提案させていただきます。

主な開発分野 ● デジタル・アナログ回路の設計製作 ● 計測・制御のソフトウェア製作

放射線・放射能測定装置 ◆ 設計・開発・販売 ◆

株式会社 テクノエーピー

〒312-0012茨城県ひたちなか市馬渡2976-15

☎ 029-350-8011

☎ 029-352-9013

✉ info@techno-ap.com



ファイファーバキューム社製 新製品スクロールポンプのご案内



ファイファーバキューム製 スクロールポンプ (HiScrollシリーズ)

即納可能！！



- ✓ 静音性 (<48dB)
- ✓ 真空計内部搭載モデルあり
- ✓ マルチボルテージ仕様
(100V~240V)
- ✓ 耐久性の強いベアリング使用
- ✓ お客様にてチップシール交換容易
(用途によるが2.5年に一度を推奨。)

デモ機貸し出し可能！！

基本スペック表

	HiScroll6	HiScroll12	HiScroll18
吸気口	NW25	NW25	NW25
排気口	NW25	NW25	NW25
排気速度	6.1 m ³ /h	12.1 m ³ /h	18.1 m ³ /h
到達圧力	2 Pa	0.9 Pa	0.7 Pa
リークレート	5・10 ⁻⁷ Pa m ³ /h	5・10 ⁻⁷ Pa m ³ /h	5・10 ⁻⁷ Pa m ³ /h
冷却方法	空冷	空冷	空冷
通常騒音レベル	48 dB(A)	47 dB(A)	47 dB(A)
重量	19 kg	24 kg	23 kg

※価格は担当営業までご相談ください。

高エネルギー用高感度光検出器

光電子増倍管シリーズ



本製品の詳しい情報は、
Web サイトでご覧いただけます。



浜松ホトニクスは微弱光計測・放射線計測向けの光電子増倍管や
MPPC (SiPM) などさまざまな光センサをラインアップしています。

浜松ホトニクス株式会社

WEB SITE www.hamamatsu.com

電子管営業推進部 〒438-0193 静岡県磐田市下神増314-5 TEL (0539) 62-5245 FAX (0539) 62-2205

仙台営業所 TEL (022) 267-0121

筑波営業所 TEL (029) 848-5080

東京営業所 TEL (03) 3436-0491

中部営業所 TEL (053) 459-1112

大阪営業所 TEL (06) 6271-0441

西日本営業所 TEL (092) 482-0390

短納期を実現!

小ロットOK!

低損失高周波
ケーブルも
Assy可能!
(26.5GHz)

ケーブルアセンブリのご用命は HR HAYASHI-REPICまで

国内工場でアセンブリを行うため、短納期を実現します。

小ロット、1本からのご注文の対応も可能です。

長年にわたり、同軸ケーブル&コネクタのアセンブリの取引実績をもつ弊社では、あらゆるアセンブリを、国内ならではの短納期で実現。試作品などの小ロットオーダーにも対応可能です。またご要望がある場合は、弊社担当者が用途に最適なケーブル&コネクタの選定・設計から、ご相談に応じます。 ※納品までの日程は仕様・製品により異なります。

低損失高周波ケーブルアセンブリ

- インピーダンス：50Ω ●周波数：～26.5GHz
- 対応コネクタ：N・SMA・3.5mm



セミリジッド・セミアフレキシブルケーブルアセンブリ

- インピーダンス：50Ω ●周波数：～40GHz
- 対応コネクタ：N・SMA・3.5mm・K(2.92mm)



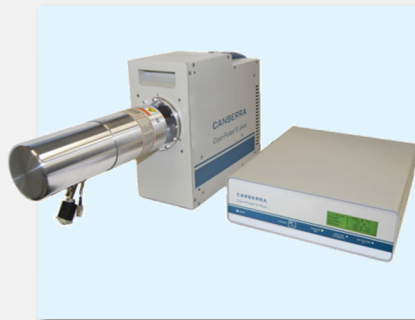


ミリオンテクノロジーズ・キャンベラの 放射線計測システム

研究、防衛、原子力発電所など、放射化学の分野に高い技術力で貢献します



Intelligent Cryo-Cycle™ (iCC):
インテリジェント・クライオサイクル



Cryo-Pulse® 5 plus (クライオパルス 5 プラス):
電気冷却式 クライオスタット



ゲルマニウム半導体検出器



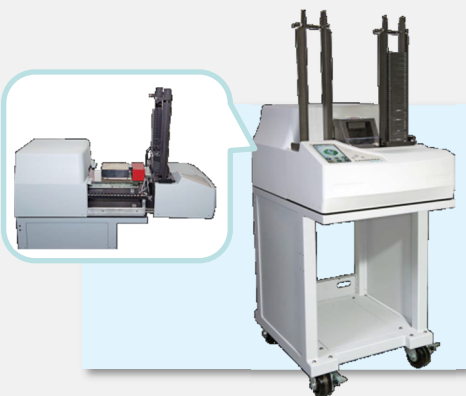
DSA-LX™:
デジタルシグナルアナライザ



Aegis™:
可搬型 HPGe スペクトロメータ



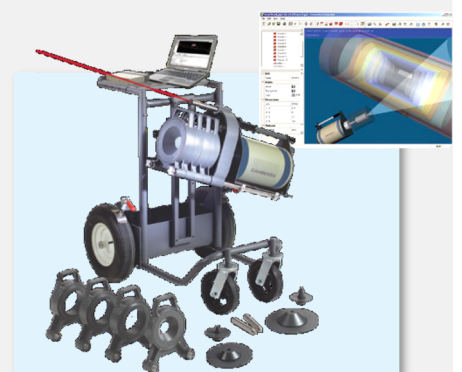
SPIR-Ace™ (GenieXport™):
Genie 対応核種同定サーベイメータ



シリーズ 6LB:
低バックグラウンド α/β 自動計測システム



LB4200 型:
多チャンネル低バックグラウンド
 α/β 計測システム



ISOCS™:
ガンマ線分析システム



ヤトロ電子は 対応力に自信があります。

研究分野の最前線にいらっしゃる皆さまから
長きにわたりご支持をいただいております。



パソコン・サーバー	ネットワーク機器	PC周辺機器	ソフトウェア	PCパーツ
一般家電	計測器	電子部品	工具	研究関連
什器	事務用品	海外限定商品	WEB限定商品	各種工事
修理	データ復旧	中古品	入札案件	その他

ヤトロ電子の特長

01



営業担当2名体制

外勤営業・内勤営業の2名体制でご担当いたします。いつでも連絡がとれて回答が早いです。

02



お客さま目線

お客さまの立場になって柔軟に対応いたします。売りたいモノを提案するのではなく、お客さまが必要なモノをお届けいたします。

03



幅広い仕入れ・強い仕入れ

取扱商品が多数あり、WEB購入、海外からの輸入もお任せください。広いだけでなく強い仕入れを持っています。

04



急ぎの案件、年度末も効率的

長年、教育・研究機関のお客さまとお取引をしているため急ぎの案件や年度末も熟知しております。複雑な書類もお任せください。

05



専属チームでのサポート

新人からベテランまで1つのチームになって情報を共有。担当だけではなくチームで対応いたします。

06



付き合いの長いお客さまが多い

お取引したお客さまからはリピート率が高く、長年お付き合いさせていただいています。また、異動してもお取引させていただいています。



ヤトロ電子株式会社

〒300-3257
茨城県つくば市筑穂1-11-8
TEL : 029-864-4484 FAX : 029-864-4485

東京営業所
〒120-0034
東京都足立区千住1-11-2 北千住Vビルディング8F
TEL : 03-3879-3355 FAX : 03-3879-3356

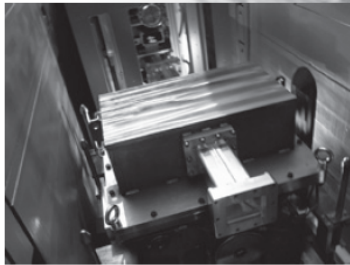
東北営業所
〒984-0075
宮城県仙台市若林区清水小路6-1 仙台ファーストビル4F
TEL : 022-796-3255 FAX : 022-796-3256

the metal solution®

HIPテクノロジーで世界をリードする

金属工学の研究グループが創業した金属技研は、HIP、ホットプレス、ろう付、熱処理などの特殊技術や、精密機械加工、溶接などの基盤技術をモノづくりの基幹として、液晶・半導体分野からエネルギー分野、さらには航空・宇宙分野まで幅広く手掛け、多くのお得意様に高度な金属加工技術を提供しております。

そのモノづくりと設計・解析の融合により、加速器・核融合分野においても様々な機器を製作納入した実績を有しております。たとえば、J-PARCに納入したT0チョッパーは、高精度の機械加工技術や信頼性の高い溶接技術、HIP接合による中性子遮蔽部の構成などにより、100Hz運転における揺らぎ精度を5 μ s以内にすることを実現しました。



これからも金属技研はHIPテクノロジーをはじめとする高い技術力をもって、社会・人・くらしへの貢献を通じて、皆様に愛され、信頼される企業を目指し、たゆまぬ努力を続けてまいります。

MTC 金属技研株式会社
Metal Technology Co., Ltd.

本社/〒164-8721 東京都中野区本町 1-32-2 ハーモニータワー 27 階 営業本部直通電話番号：03-5365-3035
群馬工場/茨城工場/千葉工場/成田工場/神奈川工場（同敷地内にテクニカルセンターを配置）/
土岐工場/滋賀工場/姫路工場/坂上金属技研（蘇州）有限公司

ぜひホームページをご覧ください。

www.kinzoku.co.jp

お困りではありませんか？

- サイクロ施設など**加速器施設の線量計算**や**放射化評価**をしたい！
- R I を使用した**化学実験**を代行して欲しい！
- 作業環境測定**など**法令に基づく放射線測定**を代行して欲しい！
- 放射線施設、サイクロトロン施設を廃止**したい！
- 施設を**変更許可申請**したいが業務が多忙のため代行して欲しい！
- サーベイメーター**を校正したい！
- 放射線障害予防規程**を見直したい！
- 放射線に係わる業務について**相談**したい！

そのお悩み TNS が解決いたします

安全設計・評価

- ◆ 施設設計
- ◆ 遮蔽設計
- ◆ 安全評価
- ◆ RI施設の許認可申請業務代行

施設の管理・運営

- ◆ 大規模施設の運用管理
- ◆ 放射線管理

研究及び技術開発サポート

- ◆ 研究サポート
- ◆ 技術開発サポート

受託試験研究

- ◆ 環境物質の分析、挙動解析
- ◆ トレーサー試験
- ◆ 解体廃棄物の物理特性試験

保守点検・工事

- ◆ 施設の保守・点検
- ◆ 施設の改造、解体工事
- ◆ サイクロトロン施設の廃止工事

分析・測定・校正サービス

- ◆ 放射能分析
- ◆ 現地における放射線測定
- ◆ サーベイメーターの実用校正

各種機器販売

- ◆ 放射線管理区域の空調機器の販売
- ◆ 放射線管理区域用機器の製造・販売



東京ニュークリア・サービス株式会社

詳しくは弊社WEBサイトまで！ <https://www.tokyo-nucl.co.jp>

東京本社	TEL. 03(3831)7957	〒110-0016 東京都台東区台東1-3-5 反町ビル7F
東海事業センター	TEL. 029(282)3114	〒319-1112 茨城県那珂郡東海村松村字平原3128-31
つくば開発センター	TEL. 029(847)5521	〒300-2646 茨城県つくば市緑ヶ原4-19-2
関西事業所	TEL. 078(570)5201	〒651-0096 兵庫県神戸市中央区雲井通4-2-2 マクラー神戸ビル7F
六ヶ所事業所	TEL. 0175(71)0710	〒039-3212 青森県上北郡六ヶ所村大字尾崎字野附1-4
いわき営業所	TEL. 0246(66)1210	〒979-0202 いわき市四倉町上仁井田字南地74-1

TOMY

微量高速冷却遠心機 MDX-310



さらなる革新!

安全性と操作性の向上を追求した『MDX-310』

シンプルなデザインと見やすく使いやすさをプラスしたニューモデル登場!



クラス初!

タッチパネル機能付4.3インチフルカラー液晶ディスプレイ



販売元

株式会社 トミー精工

<https://bio.tomys.co.jp>

本社 東京都練馬区田柄 3-14-17 TEL.03-5987-3111 事業所 札幌・仙台・つくば・神奈川・名古屋・大阪・福岡

日本放射化学会第 65 回討論会(2021)

講演要旨集

編集・発行 : 日本放射化学会第 65 回討論会(2021)
実行委員会 (共同実行委員長:大浦泰嗣、羽場宏光)

事務局 : 東京都立大学理学部化学科内
〒192-0397 東京都八王子市南大沢 1-1
理化学研究所仁科加速器科学研究センター核化学研究チーム内
〒351-0198 埼玉県和光市広沢 2-1

発行日 : 2021 年 9 月

※許諾・許可なしに本講演要旨集の全部もしくは一部の
転載, 翻訳, 複写, その他の複製を禁じます.

© 2021 日本放射化学会