



令和5年度放射線施設共同利用報告書

メタデータ	言語: Japanese 出版者: 大阪公立大学研究推進機構放射線研究センター 公開日: 2024-09-05 キーワード (Ja): キーワード (En): 作成者: メールアドレス: 所属:
URL	http://hdl.handle.net/10466/0002001175

令和5年度
放射線施設共同利用報告書

令和6年8月

大阪公立大学研究推進機構
放射線研究センター

令和5年度
放射線施設共同利用報告書

令和6年8月

1. はじめに

大阪公立大学研究推進機構・放射線研究センター長 宮丸広幸

本学の放射線研究センターは 1959 年に設立された大阪府立放射線中央研究所を起源としており、国内の大学では他に類を見ない大規模かつ大線量なガンマ線照射施設や 18 MeV 電子ライナック、非密封 RI 取扱施設などを有しております。1990 年に大阪府立大学に統合されてからも、学内外の大学や民間企業との活発な共同研究が行われ、多様な研究成果が得られました。例えば、原子炉設備電線の劣化試験、宇宙太陽電池の耐性試験、微生物の殺菌・滅菌、電子デバイスの損傷評価、放射線照射による材料改質などです。また東日本大震災当時には探査ロボットや放射線防護服の開発支援に貢献しました。さらに当該センター教員は、一般市民や警察、消防署員等への放射線教育やリスク管理を目的とした文部科学省補助事業を実施し、最高クラスの評価を国から受けました。この共同利用報告書は、このように施設を利用して得られた研究に限らず様々な活動成果の報告と研究者間の交流を目的として毎年刊行してきました。また近年は、研究推進機構にて登録された放射線業務従事者の教員や学生による学外施設での研究成果についてもご報告いただいております。

さて、当施設は既に 60 年以上経過しており、建屋や設備の老朽化、予算不足、運営管理教員の不足などの理由から、大学統合に合わせて学外からの照射業務を停止し、さらに今年度からは学内についても利用を終了することになりました。これまでご利用いただいた先生方にはご理解をお願い申し上げます。なお、今後の放射線研究センターは現有の各種 RI ならびに核燃料関連物質の保管管理、加速器の廃止措置、さらにリスク低減のための大線量線源の速やかな返却など、放射線施設の「ソフトランディング」に向けた業務を継続します。法令遵守の立場より、施設の安全管理に全力を尽くす所存でありますので引き続きご支援を賜りますようお願い申し上げます。

目 次

ページ

1. はじめに

放射線研究センター長 宮丸広幸

2. 令和5年度共同利用研究報告

- 1) 2023年度 線源棟施設の利用状況と安全管理・・・・・・・・・・・・・・・・ 1
(阪公大研究推進) 宮丸広幸、小嶋崇夫
- 2) 478keV ガンマ線計測のための小角度コンプトン散乱線検出と非同時計数法・・・・・・・・ 2
(阪公大院工) 宮丸広幸、Nguyen Quang Kien、小嶋崇夫
- 3) 銅、亜鉛存在下における酵母の放射線感受性・・・・・・・・・・・・・・・・ 3
(阪公大研究推進) 清田俊治、伊藤憲男、朝田良子、古田雅一、(阪公大院農) 岸田正男、
(阪公大国際基幹教育) 田中良晴
- 4) DHP 型タンパク付加体の新規ハイスループット適応型アッセイの開発・・・・・・・・ 4
(阪公大院理) 玉置喜大、川西優喜、(阪公大院獣医) 中村純、
(大阪健康安全基盤研究所) 永吉晴奈
- 5) スカビン誘導 DNA 損傷修復と突然変異誘発機構の解明・・・・・・・・ 5
(阪公大院理) 小原美幸、川西優喜、(福岡大理) 倉岡功
- 6) アルデヒドの毒性を評価するための培養細胞の樹立・・・・・・・・ 6
(阪公大院理) 川井彩、中村純、白石一乗、川西優喜
- 7) 野菜(ごぼう、サツマイモ、キャベツ)の放射性物質・・・・・・・・ 7
(阪公大研究推進) 伊藤憲男
- 8) ホウ素中性子捕捉療法におけるホウ素薬剤の細胞内導入促進技術・・・・・・・・ 8
(阪公大院理) 中瀬生彦、荒木優里奈、(阪公大 BNCT 研セ) 服部能英、切畑光統
- 9) 疾患関連タンパク質とペプチドまたは低分子化合物の複合体立体構造解析・・・・・・・・ 9
(阪公大院理) 山口亜佐子、道上雅孝、藤原大佑、藤井郁雄
- 10) 病原キナーゼの X 線結晶構造解析による分子創薬基盤の構築・・・・・・・・ 10
(阪公大院理) 木下誉富、祐村清悟、長谷川誠将
- 11) 多孔性配位高分子の吸着等温線と結晶構造の相関・・・・・・・・ 11
(阪公大院理) 田中将晴、石橋広記、久保田佳基、(高輝度光科学センター) 河口彰吾、
(京大 物質-細胞統合システム拠点) 大竹 研一、北川 進
- 12) 銀を含む三元ハロゲン化物結晶の発光特性の研究・・・・・・・・ 12
(阪公大院理) 河相武利、伊吹駿
- 13) ニューロセルピン helix E の可変性と低分子薬剤結合部位・・・・・・・・ 14
(阪公大院理) 恩田真紀、赤井大輝

14)	γ 線架橋ポリビニルアルコールゲル上でのヒトグリオーマ細胞の増殖特性	15
	(阪公大院理) 森英樹、原正之	
15)	ペーストの亀裂形成の解明に向けて	16
	(奈良女子大自然科学系) 狐崎創、(関西大人間健康学部) 西本明弘、 (阪公大院理) 水口毅、(日大理工学部) 松尾洋介、中原明生	
16)	GeX_4Te_7 (X=Bi、Sb)熱電材料に含まれる構造欠陥と p/n 極性の相関解明研究	17
	(阪公大院理) 今井大樹、小菅厚子	
17)	超伝導検出器 CB-KID による中性子イメージングシステムの開発	18
	(阪公大院工) 石田武和、ヴェテダン、小嶋健児、小山富男、宮嶋茂之、町田昌彦、 川又修一、(阪公大研究推進) 宍戸寛明、(原子力機構 J-PARC) 相澤一也、奥隆之	
18)	B2 型 FeCo 金属間化合物の重イオン照射誘起局所構造と構造変化	21
	(阪公大院工) 田中龍太郎、金野泰幸、岩瀬彰宏、堀史説、 (原子力機構) 石川法人、小河浩晃、(東北大金研) 和田武、加藤秀美	
19)	Ag、Co イオン照射による非平衡反応を利用した SiO_2 中でのナノ複合体合成	23
	(阪公大院工) 松尾駿之介、田中龍太郎、矢倉稜斗、岩瀬彰宏、松井利之、堀史説、 (産総研) 田口昇、田中真悟、(東北大金研) 千星聡	
20)	FeAl 合金中の空孔型欠陥への水素捕獲状態と制御に関する研究	26
	(阪公大院工) 平山翔太、田嘉信、堀史説、(京大複合研) 徐虬、木野村淳、 (九大応力研) 大澤一人、(若狭湾エネ研) 安永和史、(量研機構高崎) 山本春也	
21)	重イオン照射による Ni-Ti 金属間化合物の局所構造および硬さの変化	28
	(阪公大院工) 世山将大、金野泰幸、松井利之、岩瀬彰宏、堀史説、 (原子力機構) 石川法人、小河浩晃、(東北大金研) 山田類、和田武、加藤秀実	
22)	FeAl 合金中の空孔型欠陥への水素捕獲状態と制御に関する研究	31
	(阪公大院工) 田嘉信、平山翔太、堀史説、(京大複合研) 徐虬、 (九大応力研) 大澤一人、(若狭湾エネ研) 安永和史	
23)	陽電子消滅法を用いた B2 型 Fe-Al 合金の空孔中水素捕獲状態評価	33
	(阪公大院工) 宮住賢太、平山翔太、田嘉信、堀史説、(京大複合研) 徐虬、 (九大応力研) 大澤一人	
24)	重イオン照射による Ni-Zr 合金の表面改質のための微細構造変化	36
	(阪公大院工) 森祐輔、金野泰幸、岩瀬彰宏、松井利之、堀史説、 (原子力機構) 石川法人、小河浩晃、(東北大金研) 山田類、和田武、加藤秀実	
25)	ナトリウムイオン伝導性 NaCl-TaCl ₅ -Ta ₂ O ₅ 系酸塩化物の評価	38
	(阪公大院工) 本橋宏大、作田敦、林晃敏、森茂生	
26)	重合に誘起される不均一性と化学反応速度	39
	(阪公大院工) 鈴木祥仁	
27)	ケイ化カルシウムを用いる担持酸化ニッケル触媒の調製と評価	40
	(阪公大院工) 亀川孝、堀内悠、松岡雅也	

28)	LDH ナノ粒子粉末を利用した X 線 μ -CT 用血管造影剤の開発	41
	(阪公大院工) 安東洋祐、徳留靖明、米田克輝、中平敦	
29)	$R\text{In}_{0.9}\text{Mn}_{0.1}\text{O}_3$ (R = Y, Dy, Tb, Gd, Eu) のサーモクロミズムと結晶構造の相関	42
	(阪公大院工) 大下真弥、村田秀信、木村健太、 (東大生産研) 織田藍作、王文聡、八木俊介	
30)	$\text{CoL}\eta$ 共鳴発光スペクトルへの Co^{3+} イオンのスピン状態の影響	44
	(阪公大院工) 田口幸広、森渉、魚住孝幸、三村功次郎、(弘前大院理工) 手塚泰久	
31)	金属イオンと DNA の特異的な相互作用により形成されるハイドロゲルの構造解析	45
	(阪公大院工) 深津亜里紗、岡田健司、高橋雅英	
32)	透過型電子顕微鏡を用いた蓄電固体材料の微細構造解析	46
	(阪公大院工) 森茂生	
34)	共鳴 X 線分光複合計測による希土類化合物が示す価数揺動・転移機構の研究	49
	(阪公大院工) 三村功次郎*、篠塚知樹、下岡快晟、田口幸広、魚住孝幸、 (高輝度光科学研究センター) 保井晃、河村直己 (熊大理) 雀部矩正、水牧仁一朗、 (阪大院基礎工) 鳥井優杜、野末悟郎、藤原秀紀、関山明、(東工大院理) 松田達磨、 (名大院理) 金井辰也、榊原佑弥、出口和彦、(九大院理) 光田暁弘、和田裕文、 (アゼルバイジャン国立科学アカデミー) Z. Jahangirli、I. Amiraslanov、N. Mamedov	
35)	四重ペロブスカイト遷移金属酸化物 $\text{SrCu}_3\text{Ru}_4\text{O}_{12}$ の光電子スペクトルにおける準粒子ピークの温度依存性	51
	(阪公大院工) 安齋太陽、菊池泰明、加藤夕汰、山田幾也、播木敦、 (広大放射光セ) 佐藤仁、有田将司	
36)	フォトニック結晶光モジュールへの陽子線照射実験	52
	(阪公大院工) 高濱渉、高橋和 (若狭湾エネルギー研究センター) 鈴木耕拓	
37)	ヒト由来リポカリン型プロスタグランジン D 合成酵素 (L-PGDS) と Lapatinib との複合体の X 線結晶構造解析	53
	(阪公大院農) 乾隆、西村重徳、酒井佑真、松本彩佳	
38)	金属タンパク質の構造生物学的研究	54
	(阪公大院農) 藤枝伸宇	
39)	構造解析に向けた解糖系酵素エノラーゼの精製ならびに活性測定	55
	(阪公大院農) 鷲尾成実、三浦夏子、片岡道彦	
40)	低速原子散乱分光法による絶縁性 $\text{CaF}_2(111)$ の表面構造解析	56
	(阪公大国際基幹教育) 譚賡、福田浩昭、梅澤憲司	
41)	腫瘍への滞留性向上を目指した新規 LAT1 選択的 PET プローブの開発	57
	(阪公大研究推進) 大田洋一郎、石村美紀、村田優介、切畑光統	
42)	リボフラビントランスポーターを標的とするホウ素薬剤の合成と評価	58
	(阪公大研究推進) 服部能英、切畑光統	
43)	陽電子放出核種の標識実験ならびに臨床用 PET 放射性薬剤の化学合成	59
	(阪公大研究推進) 土居久志	

44)	気液界面パルス放電を利用した大気圧放電プラズマ源の研究・・・・・・・・・・	60
	(阪公大研究推進) 松浦寛人、朝田良子、(阪公大院工) 関林、仲野匠、 (京大エネ理工) 門信一郎	
45)	実用炉環境で使用可能なダイバータプラズマ熱流束計測法の開発・・・・・・・・・・	61
	(阪公大研究推進) 松浦寛人、(阪公大院工) ブイスアンニャットソン、仲野匠、 (筑波大プラ研究センター) 坂本瑞樹、皇甫度均、江角直道	
46)	大学の教育・研究現場における X 線装置の管理・・・・・・・・・・	62
	(阪公大研究推進) 秋吉優史	

3. 令和 5 年度活動報告

1	放射線施設を用いた量子放射線系専攻の教育活動・・・・・・・・・・	64
	(阪公大院工) 松浦寛人	
2	2023 年度理学類生物科学課程 3 回生対象非密封放射性同位元素取扱法の実 習・・・・・・・・・・	65
	(阪公大院理) 川西 優喜、白石一乗、児玉靖司	
3	大阪公立大学研究推進機構協創研究センター「量子ビーム誘起反応科学研究所」活動報 告・・・・・・・・・・	66
	(阪公大研究推進) 松浦寛人	
4	受託事業として実施した 2023 年度「みんなのくらしと放射線展」と今後の位置づけ・・・	67
	(阪公大研究推進) 秋吉優史、古田雅一、児玉靖司、松浦寛人、宮丸広幸、川西優喜、 伊藤憲男、清田俊治、白石一乗、朝田良子、 (大阪ニュークリアサイエンス協会) 奥田修一、(大阪府診療放射線技師会) 藤田秀樹、 (関西原子力懇談会) 長永賢治、森口由香	

4. 大阪公立大学 研究推進機構における施設の利用

1	非密封放射線施設	71
2	機器測定受け入れ	71
3	非密封RI取扱施設利用の手続き	72
4	連絡先	73

*本目次では部局の略称を短く統一させていただいています。各報告のページでは提出された所属の記載をそのままとしています。

2023年度 線源棟施設の利用状況と安全管理

放射線研究センター 宮丸広幸*、小嶋崇夫

(*本研究に関する連絡先：電話（内線）4232、メール miyamaru@omu.ac.jp)

1. はじめに

本学研究推進機構の線源棟は、大阪府立放射線中央研究所を前身とする大型電子ライナック加速器やコバルト 60 大線量照射プールを有する大型放射線研究施設である。本施設における2023年度の利用状況ならびに保守、安全管理状況について報告する。

2. 施設の保守状況

研究推進課からの支援を受けライナック加速器の法的な廃止手続きを進めており、2024年度中に完了予定である。低エネルギーコッククロフト加速器については解体を進めている。コバルト照射施設では、インターロック付き運転盤の経年劣化による不具合が継続しており、更新のための予算申請をしている。また今年度は、床張りのシートが老朽化のため剥がれ、遮へい用の重量扉の下部に一時巻き込まれるという困難な事態が生じた。このように施設全般にわたり老朽化が目立ち、維持管理において限られた関係教員の不断の労力によって安全管理が支えられている。なお、放射線施設に関する法令に伴う定期的な業務は煩雑であるものの正常に行っており、今までのところ問題は生じていない。

3. 2023年度の施設利用状況

今年度から新大学での方針に則り学外からの照射利用は受入れを停止したが、学内利用については引き続き継続中であり主に理学、工学より利用申請件数6件、年間約68時間の照射利用があった。

4. 立入における本人確認について

本棟では法令上の特定区域内への立入には顔写真付きの公的身分証による本人確認と担当者の同伴が必要である。また、工事、点検作業等の一時的な用務でも確認が都度必要である。

5. その他

照射施設は設立から既に60年近く経過しており、施設全般にわたり様々な不具合が見つかった。また長年安全管理業務に携わっていた3名の教員の定年退職に加え、将来に向けた人的確保も困難な現状から、2023年度をもって線源棟の照射利用は学内についても終了することとなった。今後はリスク低減のために使用予定の無くなったコバルト線源の速やかな返却が求められており、今後の対応を検討中である。なおRI使用・保管施設としての管理業務は施設を完全な形で廃止しない限り永続するため、今後も一定水準の関連予算の確保や資格を持つ管理者の維持が不可欠である。最後に今年度以降は利用実績が実質的に生じないことから、線源棟施設利用に関する報告は今回を最終とする。

478keV ガンマ線計測のための小角度コンプトン散乱線検出と非同時計数法

阪公大院工 宮丸広幸*, Nguyen Quang Kien, 小嶋崇夫

(*本研究に関する連絡先：電話（内線）4232、メール miyamaru@omu.ac.jp)

1. はじめに

ほう素中性子捕捉療法(BNCT)における治療中の患部からの 478keV ガンマ線を高感度で計測するためにコンプトン連続部への非同時計数法を適用するための散乱線検出器の開発を行っている。

2. 散乱線検出器の開発

本研究では散乱線の検出効率を高めることに加え、478keV ガンマ線の光電ピーク位置におけるコンプトン連続部（ベースライン）を低減させるため、主検出器にて狭角度に散乱されたガンマ線を後方の副検出器で検出し2つの信号間で非同時計数法を適用することを提案している。今年度はシステム開発において棒状 CsI(Tl)シンチレータ3本を組み合わせ、長さ 10cm 幅 3cm の板状のガンマ線検出器を製作した。実験では2種類の標準線源を用いて提案した小角度の散乱ガンマ線計測ならびに非同時計数によるシステムのチェックを行った。

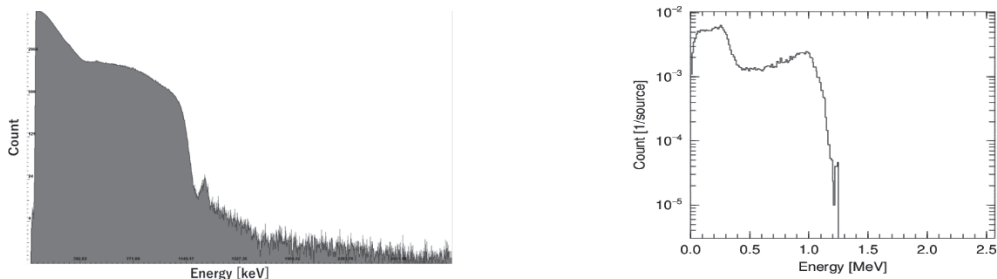


図1 同時計数信号からのエネルギースペクトル(Co-60線源) 右 計算値 左 測定値

同時計数により除去された信号だけから構成されるエネルギースペクトルの形状は概ね計算値と一致しており、製作した検出器による非同時計数システムの動作が確認できた。しかしながら、本システムでコンプトン散乱事象を除去できる割合が最大4%に留まっており、これは散乱線を検出する結晶サイズが1cm厚と小さいことに起因している。

本研究に関する研究発表

- 1) 日本原子力学会 2023年秋の年会
- 2) 応用物理学会 秋の大会

銅、亜鉛存在下における酵母の放射線感受性

阪公大研究推進 清田俊治*、伊藤憲男、朝田良子、古田雅一

阪公大院生命環境 岸田正男

阪公大高等教育 田中良晴

(*本研究に関する連絡先：電話（内線）4283、メール kiyoda@omu.ac.jp)

【緒言】 これまで我々は醸造酵母である協会7号及び実験室酵母BY4741株に加えてEC1118株、AKU4102株、オリエンタル酵母、NA87-11A株及びDKD-5DH株の7種類の酵母についてカドミウム存在下で培養した菌体のガンマ線感受性を調べ、ガンマ線に対する感受性が鈍くなる酵母を見出し報告した。今回は、銅、亜鉛存在下で、これら7種類の酵母を培養した菌体のガンマ線感受性を調べ、銅存在下で1種類の酵母がガンマ線に対する感受性が鈍くなることが分かったが、亜鉛存在下でガンマ線に対する感受性が鈍くなる酵母は見られなかった。

【実験方法及び結果】 醸造酵母協会7号と実験室株BY4741に加えEC1118株、AKU4102株、オリエンタル酵母、NA87-11A株及びDKD-5DH株の全7種類の酵母について、銅及び亜鉛存在下で培養してガンマ線を照射してガンマ線感受性を解析した。カドミウム、亜鉛、クロム、鉄、リン、イオウとカルシウムの分析は蛍光X線分析により行った。

銅存在下で培養した時に、すべての酵母は銅濃度15mM以上になると増殖阻害を示した。DKD-5DH株、NA87-11AとBY4741株は銅濃度10mMまで、EC1118株とオリエンタル酵母は銅濃度5mMまでは増殖阻害を示さないが、AKU4102株と協会7号は銅濃度5mMで増殖が阻害された。銅存在下で培養した時に、すべての酵母は硫黄、鉄と亜鉛の蓄積量が増加した。すべての酵母を5mM塩化銅添加培地で24時間培養後2, 4, 6kGyのガンマ線に曝露させたところ、無添加培地に比べてAKU4102株のみガンマ線に対する耐性が向上した。

亜鉛存在下で培養した時、DKD-5DH株、NA87-11Aと協会7号は亜鉛濃度の上昇に比して増殖が阻害された。EC1118株、AKU4102株とBY4741株は5mMまでは影響しないが、10mM以上になると増殖が阻害された。オリエンタル酵母は5mM以上になると増殖が阻害された。亜鉛存在下で培養した時に、すべての酵母はカルシウム蓄積量が増加した。すべての酵母を5mM塩化亜鉛添加培地で24時間培養後2, 4, 6kGyのガンマ線に曝露させたが、無添加培地に比べてガンマ線に対する耐性が向上した酵母は見られなかった。

本研究に関する研究発表（原著論文、その他報文、学会等報告）

3) 学会発表や報告など。

- 1) 銅・亜鉛存在下における酵母の放射線感受性、清田俊治、岸田正夫、伊藤憲男、田中良晴、古田雅一、酵母遺伝学フォーラム第56回研究報告会、(2023年8月30日-9月1日、新潟大学五十嵐キャンパス)

DHP 型タンパク付加体の新規ハイスループット適応型アッセイの開発

大阪公大・理・生物化学・環境分子毒性学 玉置喜大、川西優喜

大阪公大・獣医学 中村純

大阪健康安全基盤研究所・衛生化学部 永吉晴奈

(本研究に関する連絡先：内 4224 メール：kawanishi-m@omu.ac.jp)

【研究の背景と目的】

燃焼式および電子タバコの煙およびエアロゾルなどに含まれるホルムアルデヒド(FA)はヒト発がん物質として知られており、また炎症を誘発する化合物でもある。この FA は脂質過酸化により産生されるマロンジアルデヒド(MDA)と結合することにより安定な 1,4-dihydropyridine(DHP)型のハイブリッド型付加体を蛋白のリジン側鎖に作る。DHP 型リジン付加体は炎症を惹起する作用が報告されている。また、DHP 型リジン付加体に対する自然抗体は胎児からも検出され、ヒトの炎症性疾患や変性疾患において重要な役割を持つ可能性が考えられている。

抗 DHP-Lys 抗体の重要性を調べるため、これまでのほとんどの研究では ELISA により純度の低いリジン付加体に対する抗体価の測定が行われていた。これまでに我々のグループの先行研究で純度の高いリジン付加体抗原を作製し、化学的にキャリアー蛋白に結合させてきたが、これには長時間必要であった。本研究では、アビジン-ビオチン相互作用を利用することで、簡便な Avidin-Biotin ELISA ハイスループット適応型アッセイの開発を目指した。

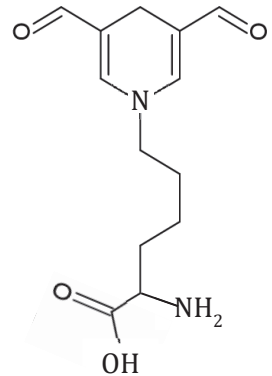


図 1. 一般的な DHP-Lys の構造

【実験方法】

[高純度抗原を用いた従来の ELISA]

MDA、FA とリジンアナログであるアミノカプロン酸(6ACA)をインキュベートすることで M2FA-6ACA を作製し、HPLC を用いて精製した。純度の高い M2FA-6ACA を BSA に化学的に結合させ、3 日間透析を行うことで高純度抗原を作製した。この抗原を固相することで DHP モノクローナル抗体が働くかを ELISA で確認した。

[Avidin-Biotin ELISA]

ビオチン-アミノカプロン酸-10 アミノ酸と FA、MDA をインキュベートすることで Biotin-M2FA を作製し、HPLC を用いて精製した。精製後、Biotin-M2FA をアビジンをコーティングしたプレートでアビジン-ビオチン相互作用により固相することで DHP モノクローナル抗体が働くかを ELISA で確認した。

【結果と考察】

アビジン-ビオチン相互作用を用いることで、抗原作製の時間短縮に成功し、化学的に BSA に抗原を結合させる必要がないため、簡便なハイスループット適応型アッセイの開発に成功した。今後、マウスなどの生体サンプルを用いて、生体内の DHP 型リジン付加体に対する抗体価の測定を行う予定である。

スカビン誘導 DNA 損傷修復と突然変異誘発機構の解明

大阪公大・理・生物化学・環境分子毒性学 小原美幸、川西優喜

福岡大・理・化学・機能生物化学 倉岡功

(本研究に関する連絡先：内 4224 メール：kawanishi-m@omu.ac.jp)

【研究の背景と目的】

根菜や塊茎野菜が感染するそうか病は、野菜の表面にかさぶた状の病斑を形成し、野菜の見た目を悪化させる。そうか病の原因は放線菌 *Streptomyces scabies* の感染であるが、近年この細菌が ADP リボシルトランスフェラーゼ活性を示す酵素「スカビン」を産生することが報告された。スカビンの基質はグアニン(dG)であり、DNA 中の dG をモノ ADP リボシル化する。感染細胞でモノ ADP リボシル化 dG が修復を受けずに DNA 複製されると、突然変異が引き起こされる。スカビンと同様に DNA をモノ ADP リボシル化する酵素として、モンシロチョウ属の一部が産生するピエリシンが知られている。先行研究において、ピエリシンは大腸菌株およびヒト細胞に突然変異を誘発し、変異ホットスポットとして 5'-rGG-3' (r はプリン塩基)が報告されている。

一方スカビンでは、じゃがいもゲノムは ADP リボシル化の基質となるが、ストレプトマイセスゲノムやシュードモナスゲノムは標的とならないことが報告されている。

そこで、スカビンがプラスミド DNA も ADP リボシル化するか、するのならば ADP リボシル化の標的塩基配列はどこかを突然変異部位から推定することを目的に本研究をおこなった。

【実験方法】

当研究室で過去に報告した、大腸菌を用いたピエリシン誘発突然変異解析系をスカビンに適用した。突然変異解析用のプラスミド pMY189 をスカビンで処理し、大腸菌に導入し複製させ娘プラスミドを解析した。次の手順でおこなった。

pMY189 のスカビン処理と UV 照射処理

In vitro でスカビン(5 nM)、NAD⁺(25 μM)と pMY189(1 μg)を 25°C で 0、1、6、24h 反応させた。陽性対照には UV 照射(0、50、100、200 J/m²)した pMY189 を用いた。

SOS 誘導宿主大腸菌の電気穿孔法用コンピテントセル作製

DNA 複製時に突然変異が起こりやすいよう宿主大腸菌 KS40/pKY241 にあらかじめ 40 J/m²または 60 J/m²の UV を照射し SOS 応答を誘導したのち、電気穿孔法用コンピテントセルを作製した。

SOS 誘導宿主大腸菌 KS40/pKY241 への導入

スカビン処理または UV 照射した pMY189 を KS40/pKY241 に電気穿孔法で導入し、プラスミド複製効率と変異頻度算出のため 2 種類の異なる抗生剤入り寒天培地にそれぞれ播種し一晚培養した。

プラスミド回収率・突然変異頻度の計測

複製効率はアンピシリン耐性菌数より、*supF* 遺伝子変異頻度はナリジクス酸耐性菌数をもとに算出した。

【結果と考察】

スカビン処理時間が長くなっても、プラスミド複製率は減少しなかった。モノ ADP リボシル化 dG が DNA 複製を阻害することはピエリシンの研究からわかっているため、スカビンはプラスミドに ADP リボシル化 dG を作らないことが示唆された。また突然変異頻度も上昇しなかった。これらのことから、スカビンはプラスミド DNA を基質としないことが示唆された。

アルデヒドの毒性を評価するための培養細胞の樹立

大阪公立大学大学院 理学研究科 環境分子毒性学

川井彩、中村純、白石一乗、川西優喜

(本研究に関する連絡先：内 4224 メール：kawanishi-m@omu.ac.jp)

【緒言】

アルデヒドはたばこの煙、建築資材、自動車の排気ガスなどに含まれる。また、体内においては、酸化脱メチル化反応や、脂質過酸化で生成される。これらのアルデヒドは DNA やタンパク質のアミノ基と結合し細胞毒性をもたらす。ヒトの生体内に存在するアルデヒドを解毒するアルデヒド脱水素酵素 (ALDH) のアイソザイムは 19 種類存在する。その中の ALDH2 はアセトアルデヒド代謝の主要な酵素として知られるが、近年様々なアルデヒドの代謝に関与していることが示唆されている。ALDH2 にはヒト遺伝子多型が存在し、アジア人の約 50% が不活性型 ALDH2*2 を発現する遺伝子を持っているといわれている。ALDH2*2 を持つ人は動脈硬化やアルツハイマー病などの健康被害のリスクが高い可能性があることが報告されており、その機能について評価できる細胞が必要であると考えた。

そこで本研究では、ALDH2*2 ヒト遺伝子多型をノックインしたマウスから胎児線維芽細胞 (MEF) を作製し、アルデヒドの毒性を評価することを目指した。

【実験方法と結果】

Aldh2 ヘテロ接合体 (*Aldh2*^{KI/+}) と *Aldh2* ホモ接合体 (*Aldh2*^{KI/KI}) マウス (C57BL/6N) の交配によって、得た妊娠 14.5 日目の胎児から MEF を採取した。採取した MEF の遺伝子型を判定するために、PCR と電気泳動を用いたジェノタイピングを確立した。採取した MEF から DNA を抽出し、異なる 2 種類のプライマーを用いて PCR でそれぞれ増幅させ、PCR 産物を用いてアガロースゲル電気泳動によるバンドの有無を確認した。その結果から MEF の遺伝子型 (*ALDH2*^{KI/KI}, *ALDH2*^{KI/+}) に加え、新たに作製した C57BL/6N 野生型マウス細胞 M5S の遺伝子型 (*ALDH2*^{+/+}) を決定した。

この細胞を用いて、ホルムアルデヒド、アセトアルデヒド、アクロレインの 3 種類のアルデヒドの代謝に影響を与えるのかを XTT アッセイを用いて評価した。その結果、アセトアルデヒドおよびアクロレイン曝露時において、各細胞の遺伝子型間で生存率に差がみられた。またホルムアルデヒド曝露時には各細胞の遺伝子型間で生存率の差はみられなかった。

【考察】

マウス胎児から細胞を採取し、MEF 細胞を作製した。また ALDH2 の簡易な遺伝子型判定方法を確立した。また XTT アッセイによる毒性評価を行い、採取した MEF でもアルデヒドの毒性を評価できることが示唆された。今後は採取した細胞を継続的に継代培養し不死化させ、細胞株を樹立し、様々な毒性評価に応用することを目指す。

野菜(ごぼう、サツマイモ、キャベツ)の放射性物質

研究推進機構 伊藤憲男*

(*本研究に関する連絡先:電話(内線)4218, e-mail:c21983a@omu.ac.jp)

研究推進機構では、食材等で使用される野菜(福島県、茨城県、千葉県、群馬県で採取された)の放射性物質の検査を行っている。2023年度は、12件の依頼があり、その内、ごぼう4件、サツマイモ5件、キャベツ3件であった。この検査は、2011年に起きた東京電力原子力発電所の事故により福島県周辺で農作物に放射性セシウム(^{134}Cs , ^{137}Cs)の汚染があったためであるが、今までに依頼を受けた検査において基準を上回る放射能濃度をもった食物はなかった。

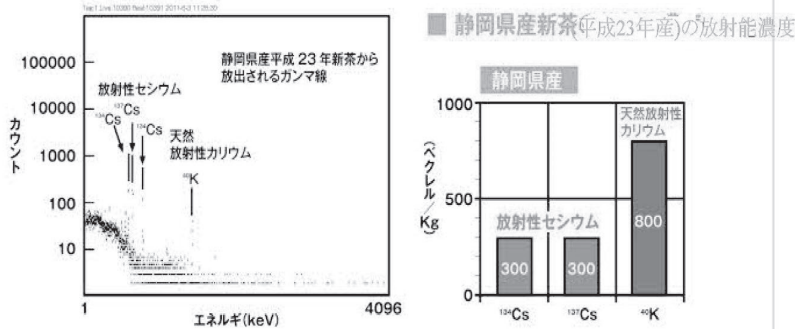


図1 平成23年静岡県産お茶の葉のガンマ線エネルギースペクトル測定。放射性セシウム(^{134}Cs と ^{137}Cs)が検出されたが天然放射性カリウム(^{40}K)の放射能を下回っていた。

依頼測定でないが、原発事故直後に静岡県産のお茶の葉を検査したところ、 ^{134}Cs , ^{137}Cs の汚染が確認できた。しかし、天然放射性元素 ^{40}K の放射能を下回っていた。

食物には放射性物質(主に天然放射性元素 ^{40}K)を含んでいる。図2では、それぞれの食品等から放出される放射線強度をイメージングプレートを使い可視化した。ごぼうから放出されるガンマ線のエネルギースペクトルを図3に示す。この図からごぼうに ^{40}K が含まれていることが分かる。このガンマ線エネルギースペクトルから、 ^{40}K の放射能が算出できる。ごぼう、サツマイモ、キャベツの測定結果を表で示す。 ^{134}Cs と ^{137}Cs は検出されなかったので、放射能の上限值で示した。食物の ^{134}Cs と ^{137}Cs の規制値は、両者あわせて 100Bq/Kg である。

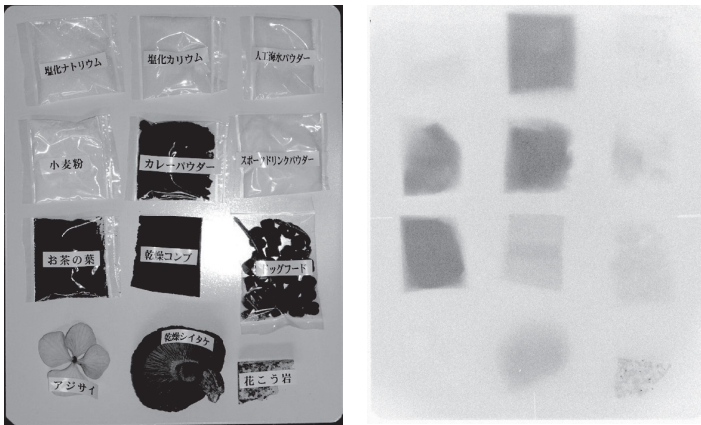


図2 食材等を医療用で엑스線フィルムの代わりに使用されているイメージングプレートの上に置き放射線強度を可視化した。 ^{40}K からの放射線を主に検知している。

表 ごぼう、サツマイモ、キャベツの放射能濃度 放射性セシウムは検出されなかった

食物	放射能の濃度(Bq/Kg)		
	^{134}Cs	^{137}Cs	^{40}K
ごぼう	<0.5	<0.6	110
サツマイモ	<0.6	<0.5	130
キャベツ	<0.4	<0.5	50

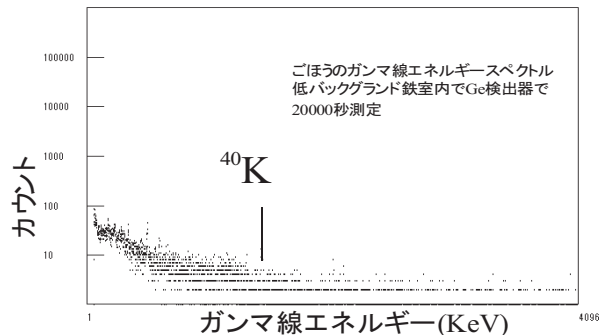


図3 ごぼうのガンマ線エネルギースペクトル ^{40}K が検出された。

ホウ素中性子捕捉療法におけるホウ素薬剤の細胞内導入促進技術

阪公大院理 中瀬生彦*、荒木優里奈

阪公大 BNCT 研セ 服部能英、切畑光統

(*本研究に関する連絡先：電話（内線）3665、メール i-nakase@omu.ac.jp)

【緒言】

ホウ素中性子捕捉療法 (boron neutron capture therapy, BNCT) は、脳腫瘍や頭頸部がんといった難治性がんの治療に用いられる放射線治療法の一つである。BNCT の臨床研究では、主に L-BPA ((L)-4-dihydroxyborylphenylalanin) や BSH (disodium mercaptoundecahydro-closo-dodecaborate) といった 10B-ホウ素化合物が使用されている。これらのホウ素化合物をがん細胞に取り込ませた後、熱中性子線を照射すると、 α 粒子、及び、 ${}^7\text{Li}$ 反跳核を生成し、がん細胞殺傷作用に繋がる。 α 粒子、及び、 ${}^7\text{Li}$ 反跳核の飛距離は細胞 1 個分よりも短いため、周辺細胞への影響を最小限に抑えながらがん細胞を死滅させることが可能である。一方で、臨床研究を含めた現在の BNCT 治療法において、がん細胞の選択性、及び、ホウ素化合物の細胞内取り込み効率が低いこと、がん細胞内でのホウ素化合物の低い保持力といった理由から、がん治療における BNCT の適用範囲は限定的である。

本研究では、高い生体適合性、及び、高効率な細胞内導入を目的としてマクロピノサイトーシスを誘導するアルギニンペプチド[1]とカチオン性脂質に注目し、ホウ素薬剤の細胞導入を促進する新規 BNCT 技術開発を進めた。

【実験方法】

全てのペプチドは Fmoc 固相法で合成し、脱保護、及び、HPLC 精製後に MALDI-TOFMS で分子量測定を行った。細胞内移行は、ラット神経膠腫由来 C6-glioma 細胞を用いて共焦点レーザー顕微鏡、及び、フローサイトメーターにて評価した。熱中性子線照射実験は京都大学複合原子力科学研究所にて行い、殺細胞効果をコロニーアッセイで検討した。

【結果】

本研究では、オリゴアルギニンとカチオン性脂質を用いて、治療用ホウ素化合物の細胞内取り込みを促進に関する評価を行なった。C6-glioma 細胞を用いて、蛍光標識したホウ素化合物の細胞内移行を共焦点レーザー顕微鏡、及び、フローサイトメーターで評価した結果、双方の手法で移行量が上昇した。一方で、同条件で熱中性子線照射実験を行った結果、脂質を用いることで低濃度のホウ素化合物の高い殺がん細胞効果を示した。本研究結果は、キャリアーの違いによる BNCT 活性への影響を示すことに成功し、また BNCT における効果的な活性を導く新しい基盤技術として、今後のさらなる発展が期待される。

参考文献

[1] Futaki, S., Nakase, I. *Acc. Chem. Res.* **50**, 2449-2456 (2017)

疾患関連タンパク質とペプチドまたは低分子化合物の複合体立体構造解析

阪公大院理 山口亜佐子、道上雅孝、藤原大佑*、藤井郁雄

(*本研究に関する連絡先：電話（内線）4106、メール D_Fujiwara@omu.ac.jp)

近年、抗体を中心としたバイオ医薬品が台頭している。当研究室では、抗体に代わる分子量の小さいヘリックス・ループ・ヘリックス (HLH) ペプチドを用いた抗体様分子の開発を先駆的に展開している。ユニークな立体構造を持つ本ペプチドは、標的分子に対して高い結合活性を示し、生体内での安定性も高い。これまでに癌などの様々な疾患関連タンパク質を標的とした、高い結合活性を持つペプチドを獲得してきた (1,2)。本研究では、HLH ペプチドと標的タンパク質の分子認識機構の解明を目指して X 線結晶構造解析を試みた。タンパク質と HLH ペプチドの複合体の結晶が得られたことから、高分解能かつ高精度の X 線回折データを獲得するために、SPRing-8/BL44XU において X 線回折実験を行った。

また、抗体に替わる土台分子として、 β バレル構造を持つ天然タンパク質に新たに着目し、進化分子工学を用いたテーラーメイドな人工タンパク質の作製を目指した研究も行っている。土台分子として、低分子化合物に特異的に結合することができる土台タンパク質を用いて、ファージ表面提示ライブラリーを作製し、ライブラリー・スクリーニングを行うことにより低分子化合物に特異的かつ強く結合する変異体の獲得に成功した。今後は、これらの変異体のアミノ酸残基がどのように結合に関わるのか詳細な分子認識機構を解明するために、低分子化合物とタンパク質の複合体の X 線結晶構造解析を行う。

参考文献

- 1) Fujiwara, D., *et al.*, *Angew. Chem. Int. Ed.* **2016**, *55*, 10612–10615.
- 2) Ramanayake Mudiyansele, T.M.R., *et al.*, *ACS Chem. Biol.* **2020**, *15*, 360–368.

本研究に関する研究発表（原著論文、その他報文、学会等報告）

- 1) Fujiwara, D., Tanaka, Y., Inaura, S., Ito-Harashima, S., Yamaguchi, A., Nakase, I. and Fujii, I. “The design of cell-membrane permeable helix-loop-helix peptide that inhibits nuclear receptor-coactivator interaction” 日本ペプチド学会 第 60 回ペプチド討論会、滋賀、2023 年 11 月 8～10 日.
- 2) Yamaguchi, A., Shiozaki, Y., Abe, N., Sanui, E., Kodani, T., Nishihara, T., Inui, T. and Fujii, I. “Affinity maturation of lipocalin-type prostaglandin D synthase by directed evolution” 日本ペプチド学会 第 60 回ペプチド討論会、滋賀、2023 年 11 月 8～10 日.

病原キナーゼの X 線結晶構造解析による分子創薬基盤の構築

大阪公立大学大学院理学研究科 木下誉富*、祐村清悟、長谷川誠将

(*本研究に関する連絡先：電話（内線）3658、メール kinotk@omu-u.ac.jp)

本研究は創薬標的キナーゼ及び関連蛋白質の X 線結晶構造解析を行い、その活性制御機構を解明する。これら分子メカニズムを基盤として新しいタイプのシグナル伝達阻害化合物の創出を目指す。518 個種のヒトキナーゼはガンなどの重篤な疾患において活性の異常亢進が見られることから、その多くが創薬標的分子として注目される。キナーゼ阻害薬は取組み易さから ATP 拮抗型として開発されることが多いが、しばしば標的以外のキナーゼにも作用し副作用を呈する。これはキナーゼの ATP 結合部位が酷似しており、ATP 拮抗剤が完全な選択性を持つことは難しいことに起因する。これに対して、不活性保持機構（分子ブレーキ）、活性化促進機構（分子アクセル）など活性制御の構造スイッチはアロステリックに作動し、それぞれ特徴的である。したがって、分子ブレーキを安定化する、あるいは分子アクセルを抑制する化合物は ATP 拮抗薬に比べて高選択性が期待される。本研究では種々のキナーゼについて X 線結晶構造解析を行い、その不活性保持機構及び活性化促進機構を明らかにし、活性を効率的に制御しうる高選択性化合物の創出基盤を構築する。本目的を達成するために、高分解能かつ高精度の X 線回折データが測定できる SPring-8/BL44XU において各キナーゼ結晶を用いて X 線回折実験を行った。

本研究に関する研究発表（原著論文、その他報文、学会等報告）

- 1) H. Sugiyama, M. Yoshida, H. Nagao, M. Sawa, T. Kinoshita, Low entropic cost of binding confers high selectivity on an allosteric ERK2 inhibitor, *Bioorg. Med. Chem. Lett.* **93** (2023), 129431.
- 2) K. Nishiwaki, S. Nakamura, K. Yoshioka, E. Nakagawa, S. Nakatani, M. Tsuyuguchi, T. Kinoshita, I. Nakanishi, Design, synthesis and structure-activity relationship studies of protein kinase CK2 inhibitors containing a purine scaffold, *Chem. Pharm. Bull.* **71** (2023), 558-565.
- 3) S. Hasegawa, M. Yoshida, H. Nagao, H. Sugiyama, M. Sawa, T. Kinoshita, Distinct binding modes of a benzothiazole derivative confer structural bases for increasing ERK2 or p38 α MAPK selectivity, *Biochem. Biophys. Res. Commun.* **704** (2024) 149707.
- 4) 祐村清悟、山下直之、北川大輔、澤匡明、木下誉富、MAP2K4-阻害剤複合体の X 線結晶構造—共有結合できない共有結合性阻害剤—、第 23 回日本蛋白質科学会年会（2023 年）、名古屋
- 5) 杉山肇、長谷川誠将、吉田茉由、木下誉富、Insight into the Binding Modes of Allosteric ERK2 Inhibitors using Metadynamics Simulations、CBI 学会 2023 年度大会（2023 年）、東京
- 6) T. Matsumoto, A. Yamano, Y. Murakawa, H. Fukuda, M. Sawa, T. Kinoshita, Steps forward beyond the crystal structures: MAXS reveals the potential massive movements during the catalytic action of a kinase, 26th Congress and General Assembly of the International Union of Crystallography IUCr2023（2023 年）、Melbourne

多孔性配位高分子の吸着等温線と結晶構造の相関

大阪公立大学 理学研究科 物理学専攻 田中 将晴、石橋 広記、久保田 佳基*

高輝度光科学研究センター 河口 彰吾

京都大学 物質-細胞統合システム拠点 大竹 研一、北川 進

(*本研究に関する連絡先：電話 (内線) 4050、メール kubotayoshiki@omu.ac.jp)

多孔性配位高分子 (Porous Coordination Polymer: PCP) $\text{Cu}_2(\text{fum})_2\text{L}$ (fum=fumaric acid, L=bpa (1,2-bis(4-pyridyl)acetylene), bpbd (1,4-bis(4-pyridyl)butadiyne)) は、図 1 のような相互貫入型の骨格構造を持つ PCP であり、Ligand (L) の違いにより、 CO_2 吸着等温線の形が大きく異なることが知られている。bpa 化合物では、5 kPa 付近で吸着量が急激に増加するゲートオープン型の吸着挙動が確認され、Sigmoid 型に近い吸着等温線を示している。一方、bpbd 化合物では、15 kPa 付近でゲートオープン型の吸着挙動が確認されたが、それに伴う吸着量の増加が小さく、吸着量がガス圧力とともに徐々に増加する Langmuir 型に近い吸着等温線を示している。理論研究によれば、吸着等温線の

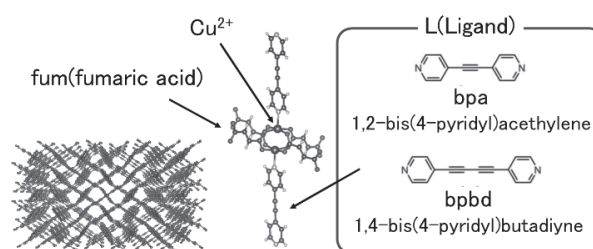


図 1. $\text{Cu}_2(\text{fum})_2\text{L}$ (L = bpa, bpbd) の構成

タイプは PCP の骨格構造の変形エネルギーとホスト-ゲスト間やゲスト-ゲスト間の相互作用エネルギーの競合によっていると考えられている [1]。本研究では、放射光粉末回折法により、 $\text{Cu}_2(\text{fum})_2\text{L}$ (L=bpa, bpbd) の結晶構造解析により、ガス吸着に伴う構造変化と各構造に生じる分子間相互作用の違いを明らかにするとともに、吸着等温線と結晶構造の関係性を実験的に解明することを目的とした。

粉末 X 線回折データは SPring-8 BL02B2 においてリモートガス・蒸気圧制御システムを用いてガス圧力と試料温度をオンラインで精密制御しながら取得した。解析の結果得られた 2 つの化合物の結晶構造をもとに CO_2 吸着に伴うエネルギー変化の関係を考察した。bpa 化合物では Ligand 間の相互作用が弱く、骨格変形エネルギーが大きくなる要因となる。また、吸着量が 15~20 cm^3/g 程度に達することで、そのエネルギー障壁を克服できるほどの強い Ligand- CO_2 分子間相互作用と CO_2 - CO_2 分子間相互作用が働くことから系全体のエネルギーが下がり、Sigmoid 型に近い吸着等温線を示す。一方で、bpbd 化合物では Ligand 間の相互作用が優位であり、それが骨格構造の大きな変形を妨げる。エネルギー障壁が非常に小さく、fum- CO_2 分子間相互作用が強く働くため、少ない吸着量で系全体のエネルギーを容易に下げることが可能であり、Langmuir 型に近い吸着等温線を示すと考えられる。

以上より、ガス吸着構造解析の結果から、骨格構造の柔軟性の違いが吸着等温線の形の違いに大きく関係することを実証した。また、bpa 化合物のゲートオープン吸着挙動は、Ligand- CO_2 分子間相互作用と CO_2 - CO_2 分子間相互作用により誘起されることが示唆された。

参考文献

[1] S. Krause, S. Kitagawa, et al., *Angew. Chem. Int. Ed.* **59**, 15325 (2020).

銀を含む三元ハロゲン化物結晶の発光特性の研究

大阪公立大学 理学研究科 物理学専攻 河相武利、伊吹駿

(*本研究に関する連絡先：電話（内線）4065、メール Kawai_1930@omu.ac.jp)

近年、ハイブリッド型ペロブスカイト鉛ハロゲン化物や様々な三元系鉛ハロゲン化物が、太陽電池、シンチレーター材料、光検出器、発光ダイオードへの応用を目的として広く研究されてきた^[1,2]。しかし、鉛の毒性のため、環境に優しい鉛フリーの三元金属ハロゲン化物の開発が盛んに行われている^[3,4]。本研究では、鉛を含まない CsAg_2I_3 と Cs_2AgI_3 結晶に注目し、その光学特性を、放射光施設である岡崎・分子科学研究所・極端紫外光研究施設(UVSOR)の BL-3B を利用して測定した^[5]。

図 1(a)と(b)に、 CsAg_2I_3 と Cs_2AgI_3 結晶の 10K における発光スペクトルと励起スペクトルを示す。 CsAg_2I_3 結晶では、3.37 eV に発光バンドが観測され、その発光バンドの励起スペクトルは、3.75eV から急激に立ち上がり、3.82 eV に小さなピークを示す。これらのエネルギー位置は、 CsAg_2I_3 の吸収端とバンド端励起子の遷移領域に対応する^[6]。 Cs_2AgI_3 結晶では、2.22 eV にブロードな発光バンドが観測され、その発光バンドの励起スペクトルは、4.05 eV から急激に立ち上がり、4.41 eV に鋭いピークを示す。このエネルギー位置は、以前の論文^[7]で報告された Cs_2AgI_3 薄膜の吸収スペクトルの位置とも一致する。 CsAg_2I_3 の 3.37 eV と Cs_2AgI_3 の 2.22 eV の発光バンドは、それぞれ半値幅が約 0.14 eV と 0.34 eV のガウス形状をしており、それぞれの結晶の自己束縛励起子 (STE) に起因するものと考えられる。

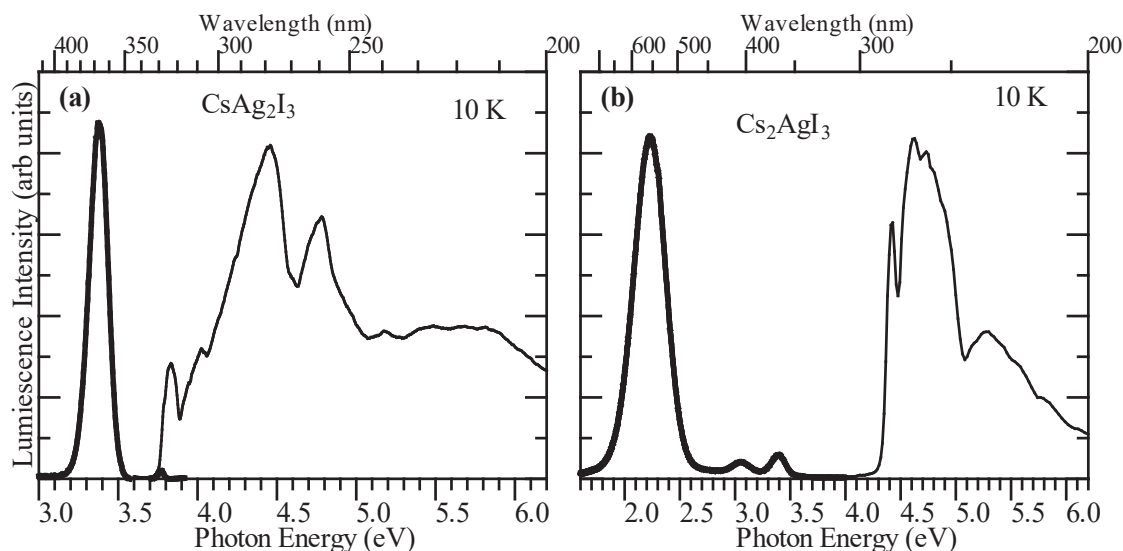


図 1. 10K における(a) CsAg_2I_3 と(b) Cs_2AgI_3 の発光スペクトル(太線)と励起スペクトル(細線)

励起スペクトルの最も低いピークが励起子遷移エネルギーであると仮定すると、 CsAg_2I_3 と

Cs_2AgI_3 の STE 発光のストークスシフトエネルギーは、それぞれ約 0.41eV と 2.2eV となる。つまり、 Cs_2AgI_3 の STE 発光は CsAg_2I_3 の STE 発光より大変大きなストークスシフトエネルギーを持っていることになる。このことは、 Cs_2AgI_3 の励起子-フォノン相互作用が CsAg_2I_3 よりも大変大きいことを示唆する。

謝辞

本研究は、自然科学研究機構分子科学研究所共同利用研究（課題番号 22IMS6016）の支援を受け、UVSOR 施設の BL3B にて行ったものである。

参考文献

- 1) A. K. Jena, A. Kulkarni and T. Miyasaka, Chem. Rev. **119**, 3036-3103 (2019).
- 2) J. Yan, *et al.*, Chem. Mater. **35**, 2683-2712 (2023).
- 3) A. Kumar, *et al.*, Appl. Surf. Sci. Adv. **18**, 100495 (2023).
- 4) Q. Yang, *et al.*, Mater. Today Phys. **36**, 101143 (2023).
- 5) K. Fukui, *et al.*, J. Synchrotron Rad. **21**, 452 -455 (2014).
- 6) S. Ibuki and T. Kawai, UVSOR Activity Report **50**, 81(2023).
- 7) V. K. Miloslavskii, S. T. Lin and O. N. Yunakova, Opt. Spectro. **80**, 643-647(1996).

本研究に関する研究発表（原著論文、その他報文、学会等報告）

- 1) S. Ibuki and T. Kawai, UVSOR Activity Report **50**, 81(2023).
- 2) 伊吹駿、河相武利、2023 年度 UVSOR シンポジウム(2023/12/2-3) ポスター発表.
- 3) 伊吹駿、修士論文 2024.3 大阪公立大学・理学研究科.

ニューロセルピン helix E の可変性と低分子薬剤結合部位

大阪公立大学 理学研究科 生物化学専攻 恩田真紀*

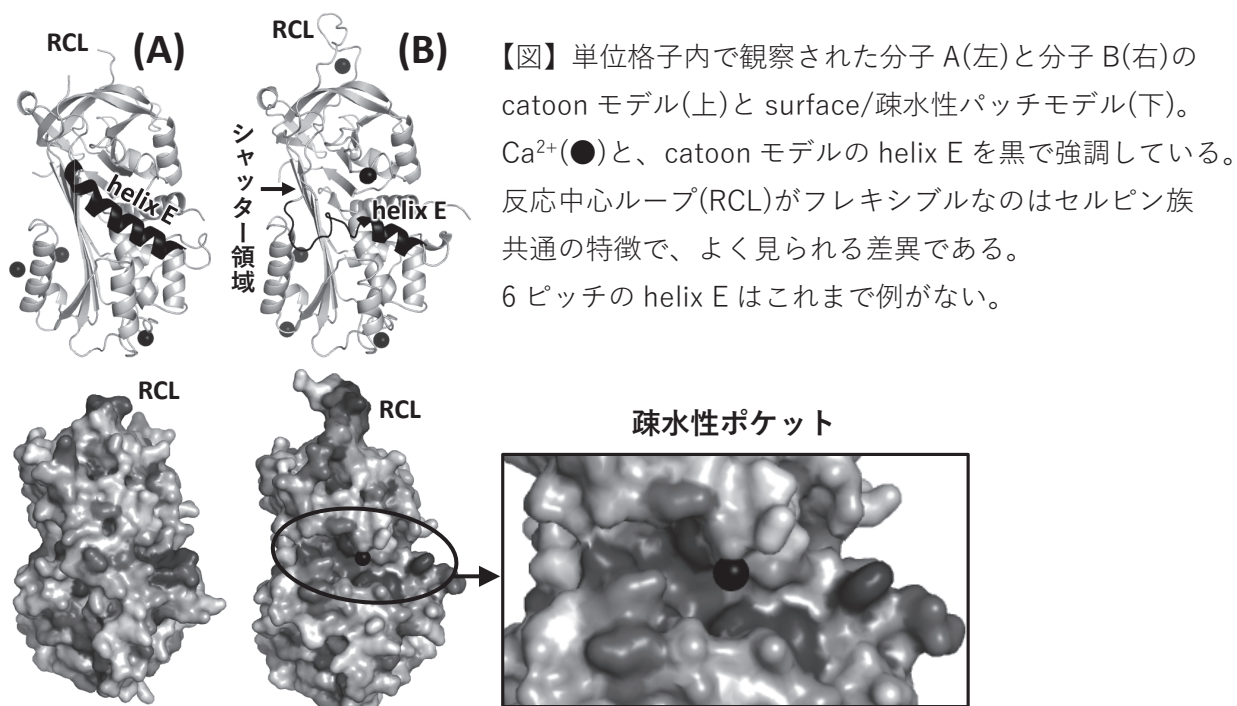
大阪公立大学 理学研究科 生物化学専攻 赤井大輝

(*本研究に関する連絡先：電話（内線）3640、メール onda@omu.ac.jp)

【背景】ニューロセルピン(NS)は、脳に局在するセルピン(serine protease inhibitor)で、tPA (tissue-type plasminogen activator)を主たる標的とすることから、NS 阻害剤はアルツハイマー病治療薬として有望視されている。天然型 NS 単独の結晶構造は当研究グループで決定済であるが(PDB ID: 3FGQ)、近年、NS の機能発現には Ca^{2+} が関わっているという報告が相次いだため、 Ca^{2+} 存在下での結晶構造解析を行った。

【方法】13-20% PEG4000, 50-175 mM Ca^{2+} , pH7.0-8.6, 20°C の条件下、蒸気拡散法により様々な結晶を得、大型放射光施設 SPring-8 にて X 線回折測定を行った。また、低分子化合物 ZX の結合部位は、HDX-MS により解析した。

【結果】2.0Å 分解能、空間群 $P2_12_12_1$ での構造決定に成功した。単位格子当たり 3 分子の NS が存在し、各々の Ca^{2+} 結合部位は一致していなかったが、helix E に驚くべき構造の差異が見られた(図)。これまで結晶構造が決定されているセルピン族タンパク質の helix E はすべて 4 ピッチ以下で、今回、分子 A で見出された 6 ピッチの helix E は初めての例である(図 A 上)。また、同じ単位格子内にある分子 B の helix E は部分的に disorder しており、低分子薬剤の結合に適した疎水性ポケットが観察された(図 B 下)。そこで、 Ca^{2+} 存在下、NS の阻害剤候補である ZX の結合部位を HDX-MS により解析した結果、同薬剤は、NS のシャッター領域、及び、この疎水性ポケットに結合していることが明らかとなった。



【本研究に関連する研究発表】

赤井大輝, 山本拓実, 島本花菜, 恩田真紀

Structural analysis of a pathogenic protein that underlies the dementia FENIB

第 24 回日本蛋白質科学会年会 (2024 年 6 月) 札幌

γ線架橋ポリビニルアルコールゲル上でのヒトグリオーマ細胞の増殖特性

阪公大院理学研究科生物化学専攻 森 英樹、原 正之*

(*本研究に関する連絡先：電話（内線）3602、メール hara@omu.ac.jp)

多くの細胞は力学的刺激に応答し、基質の弾性率(硬さ)を感知して、細胞の形状や増殖、硬さを調節している。合成高分子ポリビニルアルコール(PVA)は、γ線照射にて架橋され、生体適合性のハイドロゲル（以下、PVA ゲル）を形成する。本研究では、PVA ゲル上で培養したヒト神経膠芽腫由来のグリオーマ細胞株である T98G 細胞を、硬さの異なる PVA ゲル上で培養し、の接着及び増殖特性を調べた。

粘弾性の異なる 3 種類の PVA (3.3%/10kGy、5.5%/20kGy、9.0%/40kGy) ゲルを調製し、レオメーターで動的粘弾性を測定した。また、各々のゲル上に T98G を 2.0×10^5 cells/ml の濃度で播種し、7 日間培養した。7 日目には細胞をゲルから剥離させ、血球計算盤を用いて細胞数を測定した。さらに、回収した細胞から総 RNA を抽出し、定量的 RT-PCR 法を用いて遺伝子発現解析を行った。

どの条件でも培養中の細胞の形態や大きさには大きな変化が見られなかった。細胞数は、対照の培養皿上に比べて PVA ゲル上では著しく減少したが、各々の PVA ゲル条件間では細胞数に大きな変化は見られなかった。遺伝子発現解析では、対照の培養皿上に比べて PVA ゲル上では、細胞増殖マーカーである MKI67 や TPX2 の発現レベルは半分程度となり、その一方 G1 アレストに関連する CDKN1A の発現量は、著しく上昇していた。培養皿上に比べて軟らかい PVA ゲル上では T98G の増殖率は低下したが、今回作製したゲルの粘弾性の範囲ではその増殖特性は変化しなかった。

参考文献

- 1) H. Mori et al., *J. Biosci. Bioeng.* (2016) 121(5), 584-590.

本研究に関する研究発表（原著論文、その他報文、学会等報告）

- 1) 森 英樹、李 ユウナ、前田 結衣、原 正之、放射線架橋 PVA ゲル上におけるマウス神経幹/前駆細胞の移動と集塊形成挙動の解析、第 75 回日本生物工学会大会（2023.9.3-5 名古屋大学東山キャンパス）
- 2) 野間 陽太、森 英樹、原 正之、放射線架橋ポリビニルアルコールゲル上におけるヒトグリオーマ細胞の増殖特性の解析、第 75 回日本生物工学会大会（2023.9.3-5 名古屋大学東山キャンパス）
- 3) Yota Noma, Hideki Mori, Masayuki Hara (Grad. Sch. Sci. OMU), Analysis of the growth characteristics of human glioblastoma cells adhered to soft poly(vinyl alcohol) gels cross-linked by radiation, 11th KIFEE Symposium, March 3-5, Tendo, Yamagata, Japan.

ペーストの亀裂形成の解明に向けて

奈良女子大学自然科学系	狐崎創
関西大学人間健康学部	西本明弘
大阪公立大学大学院理学系研究科	水口毅*
日本大学理工学部	松尾洋介、中原明生

(*本研究に関する連絡先：電話（内線）2315、メール gutchi@omu.ac.jp)

ペーストすなわち、粒状物質と液体の混合物からなる均一な層を乾燥させると亀裂が形成されることが知られている。特に、乾燥前にペーストに付加された力学的な操作によって、亀裂のパターンが異方的になる場合がある^[1]。本研究では、ペーストの内部構造と亀裂の異方性との関係を明らかにすることを目的としている^[2]。これまでに、石松子など比較的大きな粒径の粒子を用いたペーストに対してX線 μ CTを用い、粒子の3次元的な配置を測定・解析を行った。SPring-8において行われた実験によって、比較的広範囲で高解像度な画像を得ることに成功した。得られた画像を詳細に解析することで、ペーストの構造の異方性を定量的に特徴づける結果が得られている^[3]。今後、亀裂形成の素過程との関係を明らかにするため、異なる実験条件での亀裂の3次元構造の測定と解析を試みる。

参考文献

- 1) A. Nakahara and Y. Matsuo, J. Phys. Soc. Jpn. **74**, 1362 (2005).
- 2) S. Kitsunozaki, A. Sasaki, A. Nishimoto, T. Mizuguchi, Y. Matsuo, and A. Nakahara, Eur. Phys. J. E **40**, 88 (2017).

本研究に関する研究発表（原著論文、その他報文、学会等報告）

- 3) 狐崎創、西本明弘、中原明生、松尾洋介、水口毅、「揺れの記憶を持つ石松子ペーストの μ X-CT観察(II)～異方的構造の解析～」、日本物理学会第76回年次大会、（2021年3月、オンライン）

GeX₄Te₇ (X=Bi, Sb)熱電材料に含まれる構造欠陥と p/n 極性の相関解明研究

阪公大院理・物理 今井 大樹、小菅 厚子*

(*本研究に関する連絡先：電話（内線）3620、メール a-kosuga@omu.ac.jp)

本研究では GeX₄Te₇ (X=Bi,Sb)熱電材料に注目し、X の違いにより生じる p/n 極性の起源の解明のために、以下の①～③の研究を行った。①GeX₄Te₇ (X=Bi,Sb)の多結晶試料を作製し、放射光粉末X線回折パターンとそれに基づく構造解析により、形成相を明らかにすること、②作製した形成相が、熱力学的に安定な相か否かを、密度汎関数理論に基づく全エネルギー計算により推測すること、③①で取得した結晶構造データをインプットデータとして、電子状態密度計算を行い、p/n 極性の予測を行うことである。①～③で得られた結果を示す。

①GeX₄Te₇ の多結晶試料は X=Bi,Sb とともに GeX₄Te₇ 構造と GeX₂Te₄ 構造の 2 相混相状態となっていることが明らかになった。GeX₄Te₇ を主相、GeX₂Te₄ を第 2 相とすると、主相から構成元素が欠損し、欠損した構成元素により第 2 相が形成されていると考えられる。

②①の結果から、GeX₄Te₇ の各サイトに 100%元素が占有しているモデル（完全規則化モデル）と、主相に空孔ができその分だけ第 2 相が生成されたモデル（2 相混相モデル）の 2 つのモデルにおいて、全エネルギー計算を行った。その結果、熱力学的により安定であるのは、X=Sb の試料においては 2 相混相モデル、X=Bi の試料では完全規則化モデルであるという結果が得られた。

③GeX₄Te₇ (X=Bi,Sb)における完全規則化モデルと、主相から構成元素が欠損したモデルの電子状態密度計算の結果より、完全規則化モデルでは、X=Sb,Bi とともにフェルミエネルギーが価電子帯を横切っており p 型半導体であるという予測が得られ、この結果は過去の文献の結果とも一致した。一方、主相から欠損したモデルにおいては、X=Bi の試料はフェルミエネルギーが価電子帯を横切っており、p 型半導体であるが、X=Sb の試料ではフェルミエネルギーが伝導帯を横切っており n 型半導体という、実験結果とは逆の結果が得られた。この結果は、主相から構成元素が欠損したサイトが空孔として存在しておらず、アンチサイト欠陥など他の構造欠陥が形成されている可能性を示唆している。

本研究に関する研究発表

- 1) 今井大樹, 2023 年度修士論文.

超伝導検出器 CB-KID による中性子イメージングシステムの開発

2024年5月31日

公立大学法人 大阪公立大学大学院工学研究科量子放射線系専攻 石田武和†*
 公立大学法人 大阪公立大学大学院工学研究科量子放射線系専攻 ヴ テ ダン†
 公立大学法人 大阪公立大学大学院工学研究科量子放射線系専攻 小嶋健児†
 公立大学法人 大阪公立大学大学院工学研究科量子放射線系専攻 小山富男†
 公立大学法人 大阪公立大学大学院工学研究科量子放射線系専攻 宮嶋茂之†
 公立大学法人 大阪公立大学大学院工学研究科量子放射線系専攻 町田昌彦†
 公立大学法人 大阪公立大学大学院工学研究科量子放射線系専攻 川又修一
 公立大学法人 大阪公立大学先端科学研究院研究推進機構研究基盤共用センター 宍戸寛明
 国立研究開発法人 日本原子力研究開発機構 J-PARC センター 相澤一也
 国立研究開発法人 日本原子力研究開発機構 J-PARC センター 奥隆之
 († 大阪公立大学 客員研究員)

*本研究に関する連絡先:e-mail: ishida.takekazu@omu.ac.jp, 内線電話 6510

通常的手法では達成することが困難な性能で、著しく高感度、格段に高性能のデバイス応用が超伝導を利用することで可能にできる。高感度磁場測用の超伝導量子干渉計(SQUID)、宇宙観測から先端材料分析装置まで活用されている超伝導転移端検出器(TES)などの超伝導検出器、ノイマン型コンピュータの超高速動作コンピューティング素子として期待されている単一磁束量子素子(SFQ)、量子コンピューティングを支える超伝導量子ビット素子(Qubit)などである。実績のある TES を含め高性能な超伝導検出器は、その原理から実現まで、海外発の技術が多い。本研究の超伝導検出器は電流バイアス超伝導インダクタンス検出器

CB-KID (Current-Biased Kinetic Inductance Detector)では、メゾ励起によるクーパ対破壊による運動インダクタンスの局所的急変を用いるオリジナルな原理である[1-11]。

図 1 は測定のプロック図(Kalliope-I 読出回路)である[12]。核反応荷電粒子のエネルギー散逸による運動インダクタンスの急変を中性子検出に利用する。このとき、電氣的に中性である中性子を大きな核反応断面積を持つ中性子転換層(ボロン 10 同位体層)で荷電粒子に変換することで検出を容易にしている。CB-KID では、エネルギー粒子入射による超伝導メアンダ線内クーパ対破壊に起因する電磁波パルス信号発生させることが検出器の動作原理を発案している。クライオ

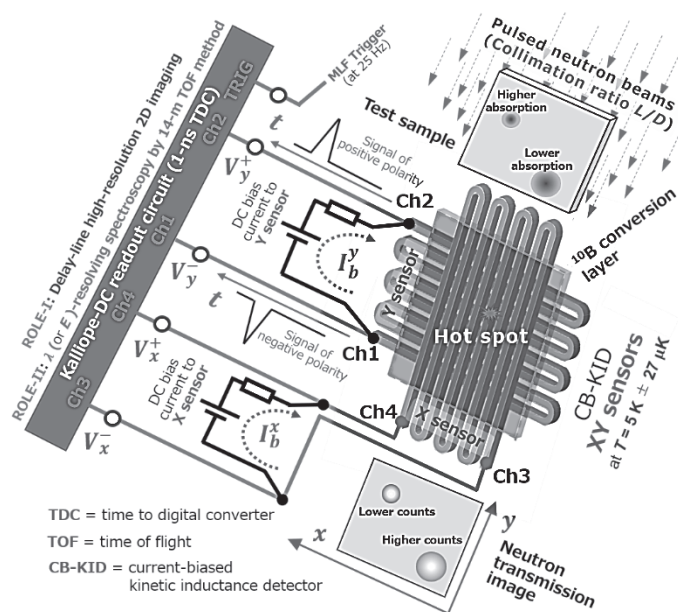


図 1. 4CH の CB-KID 検出器の Kalliope-I 読出回路は、中性子透過像(Role-I)と中性子透過スペクトロスコピー(Role-II)の2つの役割がある。定常ビームではなく、パルス中性子源に特化した設計となっている。サンプルは CB-KID 素子に密接した極低温、あるいは、CB-KID 素子に近接した室温に設置できる。

スタット内で極低温冷却された超伝導 Nb メアンダ細線にバイアス電流 I_b が直流電源から供給されている。超伝導体の運動インダクタンスは $L_k = m_S \ell / n_S q_S^2 S$ で表され、 m_S は超伝導電子の質量、 n_S は超伝導電子の密度、 q_S は超伝導電子の電荷、 ℓ は細線の長さ、 S は細線の断面積 である。外部刺激のエネルギー(あるいはその一部)が局所的に Nb 細線に付与されるとクーパー対が壊れ、ホットスポット長 $\Delta \ell$ 部分の運動インダクタンス ΔL_k が変化し、Nb メアンダ細線に出力が現れる。発生信号 $V(t)$ が $I_b d(\Delta L_k)/dt$ に依存するため、クーパー対破壊時間(\sim ps)では、 $V(t)$ は非常に大きくなり、プラス極性の幅の狭い出力電磁波パルスがバイアス電流の上流側に、マイナス極性電磁波パルスが下流側に向けて、低減衰で長距離伝搬する。従って両端到達パルスの時間差を計測する遅延時間法でイメージング(Role-I)ができ、飛行時間法を用いて波長/エネルギー分散型のスペクトロスコピイ(Role-II)ができ、1 台の時間デジタル変換器(TDC)で実現する。

中性子イメージングの競合技術にはどんなものがあるであろうか。撮像素子として CMOS などが、携帯電話やデジタルカメラなどの日常生活用品から先端科学機器にまで広く使われている。CMOS は、撮像ピクセルの数だけ読出線や読出回路を装備しており、半導体技術の発展を基礎としている。一方、超伝導を原理として使ったデバイスは極低温に冷却することが必要であることを考えると、CMOS のような膨大な数の読出線や読出回路を用いるのはほぼ不可能である。シンチレーターを使って中性子入射を光に変換し CMOS と組み合わせて利用する手法で良い性能を発揮するが、中性子によって発生する光子発生を CMOS に伝送する光学レンズ系に設置場所を要する。

これに対して、本研究で開発してきた CB-KID は大画素の撮像機能を確保しながら、検出系が僅か 4 系統の読み出すことができ、超伝導技術に基づきながら、CB-KID の実用上の優位性と他の超伝導検出器にはない特徴となる。CB-KID による中性子撮像素子システムであるが、電気的に中性である中性子を直接検出できる訳ではなく、このシステムでも ^{10}B を中性子転換層とし、中性子と ^{10}B 核反応による等方的方向に大きなエネルギーを持って放出される荷電粒子(^4He イオン、 ^7Li イオン)によって引き起こされるメゾ励起(ホットスポット)からの信号で中性子検出を行うものである。

中性子吸収の大きな元素 Gd で作った膜厚 $5 \mu\text{m}$ のジューメンスタール標準試料を用いて、CB-KID 測定系は $10 \mu\text{m}$ の分解能で中性子透過イメージングが可能であることを示した。Gd ジューメンスタールは 360 度に亘って放射状に 128 本の Gd スポークを配置している。CB-KID 素子から $700 \mu\text{m}$ の密着位置

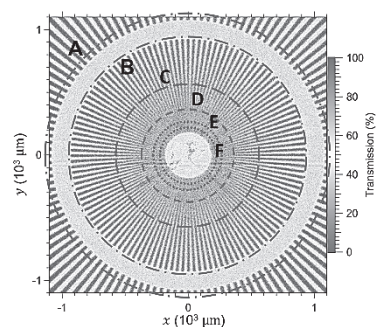


図2. Gd ジューメンスタール標準試料を5 Kに設置して得た中性子透過像(中心部の拡大図)。ピクセルサイズは $3 \mu\text{m} \times 4 \mu\text{m}$ で中性子のエネルギーは $0.64 \sim 136 \text{ meV}$ を利用している。

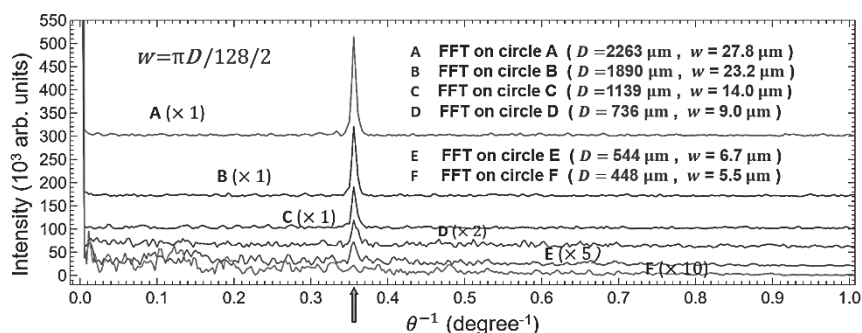


図3. 同心円(A,B,C,D,E,F)に沿った中性子透過像のラインプロファイルの高速フーリエ変換スペクトル。基本波ピークが $\theta^{-1} = 0.356$ 位置に確認できるかどうかで判定した。基本波ピークは円周Eまでは認識でき、Gdスポークの周期構造は、ピッチ $p=13.4 \mu\text{m}$ 、Gd線幅 $w=6.7 \mu\text{m}$ まで識別できる。

の 5K に試料を設置して、有感面積 $15 \text{ mm} \times 15 \text{ mm}$ のイメージングを行い、中心部を拡大して示しものが図2である。画像は $0.64 \text{ meV} \sim 136 \text{ meV}$ を用いて構成した。図2の同心円(A,B,C,D,E,F)に沿ってラインプロファイルを取り、高速フ

ーリエ変換で周期性が確認できるかどうかで分解能を評価した。Gd スポークの周期ピッチは $p = \pi D/128$ (D : 円の直径)で、Gd スポークの線幅は $w = \pi D/128/2$ となる。図 3 でイメージ識別の判定基準は、A, B, C, D, E, F の各円周に沿った中性子透過像のラインプロファイルの FFT スペクトルに基本波ピーク ($\theta^{-1} = 128/360 = 0.356$ の位置)で判別する。直径が小さくなるにつれて基本波ピークが小さくなっていくが、Gd スポーク構造は、ピッチ $p=13.4 \mu\text{m}$ 、Gd 線幅 $w=6.7 \mu\text{m}$ の円周 E まで認識できる[12,13]。

本研究の更なる発展で、様々な興味ある試料の測定に取り組む計画である。

謝辞: 本研究は基盤研究(A) (No.16H02450、石田武和)、基盤研究(A) (No.21H04666、石田武和)、若手研究(No.21K13566、ヴ テ ダン)、若手研究(No.23K13690、ヴ テ ダン)、J-PARC プロジェクト課題研究(課題番号 2023P0501、奥隆之)の支援を得た。日本原子力研究機構 J-PARC センターと大阪公立大学量子放射線系専攻の共同研究契約(共同研究件名「超伝導型中性子検出器の開発に関する研究」)の支援を得ている。大阪公立大学放射線研究センターの共同利用課題の支援を受けた。

参考文献

- 1) H. Shishido *et al.*, IEEE Transactions on Applied Superconductivity, vol. **31**, no. 9, pp. 1-5, Dec. 2021, Art no. 2400505, DOI: 10.1109/TASC.2021.3111396. “High Spatial Resolution Neutron Transmission Imaging Using a Superconducting Two-Dimensional Detector”
- 2) H. Shishido *et al.*, Journal of Physics: Conference Series **1975** (2021) 012023 DOI:10.1088/1742-6596/1975/1/012023. “Neutron Imaging for Intermetallic Alloy using a Delay Line Current-Biased Kinetic-Inductance Detector”
- 3) T. D. Vu *et al.*, Nuclear Inst. and Methods in Physics Research, A **1006** (2021) 165411, DOI: 10.1016/j.nima.2021.165411. “Practical tests of neutron transmission imaging with a superconducting kinetic-inductance sensor”
- 4) T. D. Vu *et al.*, Supercond. Sci. Technol. **34** (2021) 015010 (10pp) DOI: 10.1088/1361-6668/abc2af. “Homogeneity of neutron transmission imaging over a large sensitive area with a four-channel superconducting detector”
- 5) T. Koyama and T. Ishida, J. Phys.: Conf. Series **1590** (2020) 012034, DOI:10.1088/1742-6596/1590/1/012034. “Theory for the response of a superconducting kinetic inductance detector to an electromagnetic wave packet”
- 6) T. D. Vu *et al.*, J. Phys.: Conf. Series **1590** (2020) 012036, DOI: 10.1088/1742-6596/1590/1/012036 “Kinetic inductance neutron detector operated at near critical temperature”
- 7) T. Ishida, IEICE Trans. Electron., Vol. **E103.C** Issue 5 (2020) pp. 198-203, DOI: 10.1587/transele.2019SEI0002. “Superconducting Neutron Detectors and Their Application to Imaging”
- 8) A. Malins *et al.*, Nucl. Inst. Meth. Phys. Res., A **953** (2020) 163130, DOI: 10.1016/j.nima.2019.163130. “Monte Carlo radiation transport modelling of the current-biased kinetic inductance detector”
- 9) H. Shishido *et al.*, J Phys Conf Ser 2545, 012020 (2023) DOI 10.1088/1742-6596/2545/1/012020. “Crystalline Orientation of CaF2 window determined by Neutron Transmission Imaging using a Delay Line Current-Biased Kinetic-Inductance Detector”
- 10) T. D. Vu *et al.*, J Phys Conf Ser **2545**, 012019 (2023) DOI 10.1088/1742-6596/2545/1/012019. “Superconducting neutron transmission imaging for investigating a sequential change in phase separations of low-melting Wood’s metal”.
- 11) H. Shishido *et al.*, J. Appl. Cryst. **56**, 1 (2023) DOI:10.1107/S1600576723005204. “Orientation mapping of YbSn3 single crystals based on Bragg-dip analysis using a delay-line superconducting sensor”
- 12) T. Ishida *et al.*, J Low Temp Phys **214**, 152 (2024) DOI: 10.1007/s10909-023-03030-9. “Neutron Transmission CB-KID Imager Using Samples Placed at Room Temperature”
- 13) T. D. Vu *et al.*, J Phys Conf Ser in press (2024) “Neutron transmission imaging system with a superconducting kinetic inductance detector”.

B2 型 FeCo 金属間化合物の重イオン照射誘起局所構造と構造変化

大阪公立大院工
原子力研究機構
東北大金研

田中龍太郎、金野泰幸、岩瀬彰宏、堀史説*
石川法人、小河浩晃
和田武、加藤秀美

(*本研究に関する連絡先: 電話(内線)4233、メール horif@omu.ac.jp)

【諸言】従来の金属の材料改質方法としては熱処理や機械的加工が一般的であったが、我々の研究グループでは新たな材料改質プロセスとしてイオン照射による材料改質方法を研究している。この方法では、金属間化合物に高エネルギー粒子ビームを照射することで材料内部の局所構造を乱すことができ、アモルファス化などによる新たな特性を付与する改質プロセスとしても期待されるが、その微細構造や特性への影響は多岐にわたり、統一的な照射効果の解明がなされていない。我々の研究グループではいくつかの結晶系の異なる Ni 基金属間化合物について重イオン照射による研究を行ってきており、アモルファス化の発現や表面硬さの上昇が報告されているが 1), 照射効果による微細構造や特性変化について不明な点は依然として多い。加えて、bcc 型構造の合金での重イオン照射効果を利用した材料改質の研究もほとんど報告されていない。本研究では B2 型 FeCo 金属間化合物に着目した。B2 型の FeCo 合金は高いキュリー温度や強度、軟磁性材料の中で最も飽和磁束密度が高く 2), モーター部品の小型化や軽量化などに寄与している。しかし、B2 型金属間化合物は室温下では延性に乏しく脆い合金である。そこで本研究では、この FeCo 合金の表面改質を目的とし、重イオン照射によるアモルファス化の可否や局所構造および硬さの変化についての評価を行った。

【実験方法】後本研究では、アルゴン雰囲気中でアーク溶解にて等比組成の FeCo 合金のボタン材を作製した。そのボタン材から 5 mm×5 mm×0.5 mm の板材に切り出して表面の鏡面研磨を行った後、800°C1h の歪取り焼鈍を行った。作製した試料に対して、原子力研究開発機構東海研のタンデム加速器と量子応用研究開発機構高崎研のタンデム加速器を用いて 5MeV-Ni, 16MeV-Au, 10MeV-Au, 200MeV-Au のイオン照射をそれぞれ最大 1.0×10^{15} ion/cm² の線量で照射を行った。イオン照射前後の試料に対して、結晶構造の変化を評価するために X 線回折 (XRD) 測定を行った。表面の硬さ変化の評価にはマイクロビッカース硬さ測定を行った。試験荷重は SRIM シミュレーションによって計算された損傷領域に応じて変更し、保持時間は 10s とした。空孔濃度の評価に、同時計数ドップラー広がり(CDB)測定を行った。

【結果】図1に各イオン照射をした試料のビッカース硬さ変化の結果を示す。照射量の増加に対して5MeV Ni, 16MeV Auでの照射では硬化、100MeV, 200MeV Au

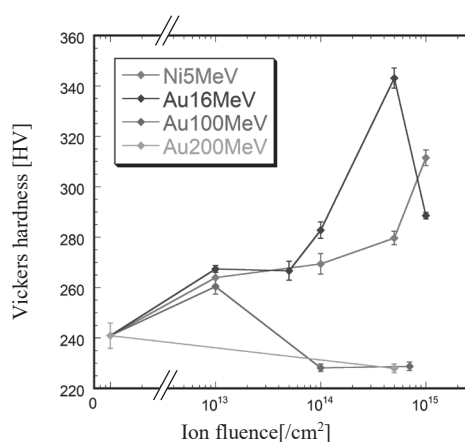


図1 各照射量に対する FeCo 合金のビッカース硬さ変化

の照射では軟化し、エネルギー依存の傾向が見られた。20-100°XRD測定の結果、B2型構造由来のピークのみが確認され、いずれの照射条件でも照射誘起相変態およびアモルファス化の発現は確認されなかった。

図2にCDB測定の未照射試料に対する100-200MeV Auイオン照射試料の比率曲線を示す。低運動量側の増加と高運動量側の挙動からFe原子周りに空孔型欠陥が導入されていることがわかる。図3にSパラメータとビッカース硬さとの関係を示す。Sパラメータは式(1)で定義され、Sパラメータは陽電子が空孔型欠陥に捕獲された場合などに大きくなる。

$$S\text{-parameter} = \frac{\int_0^{3.2 \times 10^{-3} m_0 c} N(p_L) dp_L}{\int_0^{\infty} N(p_L) dp_L} \quad (1)$$

グラフから原子空孔の増加に対して硬さが減少する傾向を持つことがわかる。一般的に空孔型欠陥によって金属材料は硬くなるが、今回の照射実験では軟化する結果となった。これは原子のはじき出しによって結晶中の局所的な密度低下が引き起こされたためであると考えられる。

謝辞

本研究は東京大学解放研究連携重点研究における研究助成を受けて実施し、東北大学金属研究所新素材共同研究開発センターとの共同利用研究により実施されました。イオン照射実験では原子力機構原子力科学研究所東海タンデム加速器施設および量子応用研究機構高崎研究所の施設供用にて実施させていただきました。また本研究は科学研究費補助金基盤研究20K12482の補助により実施しました。

参考文献

- 1) H. Kojima, H. Yoshizaki, Y. Kaneno, S. Senboshi, F. Hori, Y. Saitoh, Y. Okamoto, A. Iwase: Nucl. Instr. and Meth. B, 372, (2016) p.72
- 2) Elmen GW: Magnetic material and appliance. US patent 1,739,752(1929)

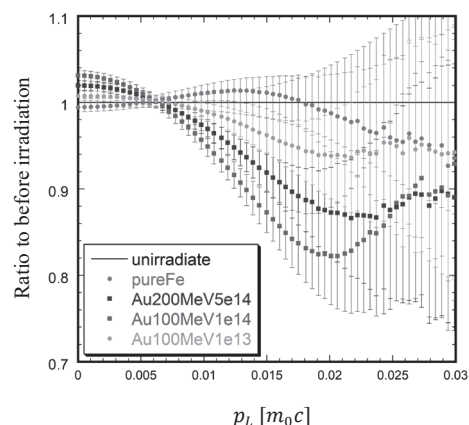


図2 高エネルギー照射におけるCDB比率曲線

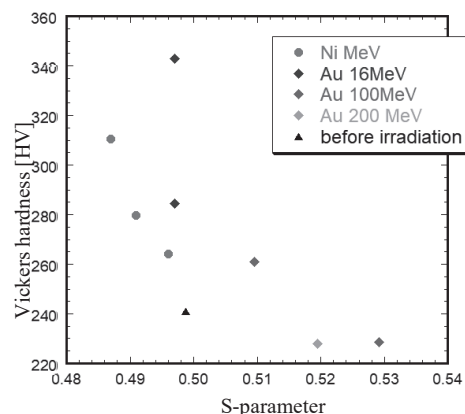


図3 ビッカース硬さとSパラメータとの関係

Ag, Co イオン照射による非平衡反応を利用した SiO₂ 中でのナノ複合体合成

大阪公立大 松尾駿之介、田中龍太郎、矢倉稜斗、岩瀬彰宏、松井利之、堀史説*
産総研 田口昇, 田中真悟
東北大金研 千星聡

(*本研究に関する連絡先: 電話(内線)4233、メール horif@omu.ac.jp)

【諸言】金属材料はナノサイズ化することでその量子サイズ効果などからバルク金属とは異なる性質を発現する場合があります、その特性は形状、構造、合金状態などにも依存することが知られている。金属ナノ粒子の合成には多くの方法があるが、イオン注入法は固体内に金属イオンを照射し合成する手法である。一般的に、イオンビームを固体に照射注入しても照射中の拡散が起こらない限り集合体は形成しない。しかし SiO₂ ガラスなどで特定の条件で照射中の短距離拡散によって微細なナノ構造体が形成することがわかっている^[1]。また、形成する構造体は必ずしも平衡状態ではなく、照射パラメータの制御によって特異な構造体合成も可能である。これまで我々の研究では、室温で固溶しない複数のイオン照射により合成した構造体の複合状態が照射条件に依存することを示してきた。今回、触媒や磁性材料としても期待され室温で固溶しない Ag と Co を同一の SiO₂ に順番に照射し、照射のみで形成されるナノサイズ金属構造体の形態および光吸収特性について評価した。

【実験方法】5mm x 5mm x 1mm の透明な高純度アモルファス SiO₂ ターゲットに対し量研機構高崎 TIARA にて Ag および Co イオンの照射注入を行った。照射エネルギーはイオン堆積深さが等しくなるよう TRIM により計算し Ag-380keV と Co-200keV にてそれぞれ $6 \times 10^{16}/\text{cm}^2$ の照射を行った。照射は同じ条件で Ag→Co と Co→Ag の2通り(以下、照射順に従って CoAg, AgCo と呼ぶ)のように順序を入れ替えた2通りの照射を行った。照射試料は 200kV 分析型-走査透過電子顕微鏡(STEM-EDX) TAROS を用いて観察した。また光吸収特性を可視光近赤外吸光度測定(UV-vis)、構造評価として X 線回折(XRD)および高エネルギー加速器研究機構(KEK)の BL-27 にて X 線光電子分光(XPS)と Co-K 吸収端における X 線吸収微細構造解析(XAFS)を行った。

【結果】図1はCo→Agの順で照射注入したSiO₂のSTEM-EDX分析像である。この図からはAgが集合体を形成し、それらの集合体付近にCoも集合している様子がうかがえる。そこで、AgとCoの2次元分布を解析した結果を図2に示す。この図からAgの集合体が形成している領域に同調してCoの量が多いことがわかる。このことから、生成したナノ構造体はAgをベースとするが、その集合体にCoも集まっていることがわかった。Ag-Co系の状態図ではこの2つの元素は固溶しないことが解っており、生成した構造体においても固溶分散せずに相分離していると考えられる。一方、Ag→Coの照射順ではCoの解析は確認できなかった^[2]。これらの試料のXRDを測定では、いずれの照射順でもAgのfccに対応する回折ピークが観測されておりAgを主体とした構造体の生成が見て取れるが、Coのみの照射では回折ピークは現れず構造体が形成していない。またCo

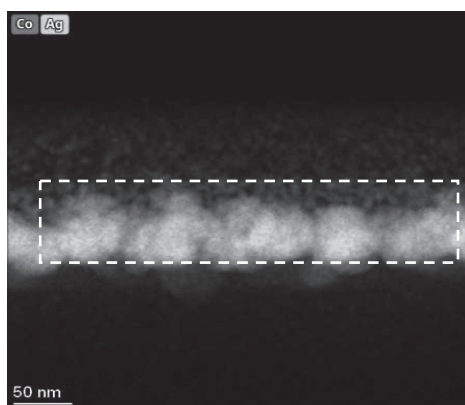


図1 Co, Ag 順イオン注入照射した SiO₂ の STEM-EDX 分布像

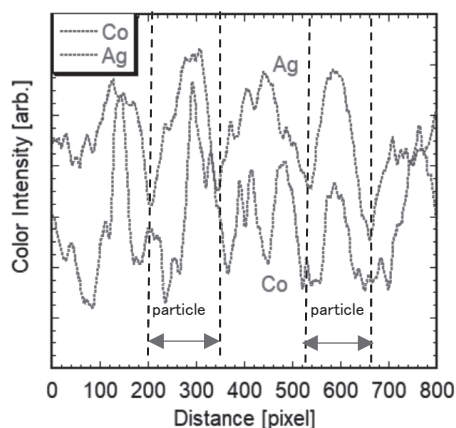


図2 EDX 分布像の点線部で囲った領域の Ag と Co の濃度分布

が集合していたCoAg試料のプロファイルにもCo（バルクではHexagonal）の構造体に対応する回折ピークは確認できなかった。これまでの研究でAgは単体照射すると照射中にナノ粒子が生成することがわかっている^[1]。これらの結果から、Coは単体照射では照射中に拡散して集合できずにSiO₂マトリクス中に分散しているが、そこにAgを注入すると照射中にAgが拡散集合する過程でCo原子もAg原子の拡散に誘起されて集合することがわかった。

謝辞

イオン注入照射は量子応用研究機構高崎研究所TIARAにて施設供用で実施しました。XPSおよびXAFSは高エネルギー加速器研究機構KEKのBL-27A, Bを使用して実施しました。関係者の皆様に感謝いたします。また本研究は科学研究費補助金基盤研究20K12497及びJ231000473の補助により実施しました。

参考文献

- 1) T. Yamada, K. Fukuda, S. Semboshi, Y. Saitoh, H. Amekura, A. Iwase, F. Hori, Nanotechnology 31, (2020) p.1.
- 2) S.Matsuo, A.Iwase, T.Matsui, R.Yagura, T.Yamada, N.Taguchi, S.Tanaka, S.Semboshi, F.Hori, Nuclear Instrument and Methods in Physics Research B 549(2024) 165278.

本研究に関する研究発表(原著論文、その他報文、学会等報告)

学会発表

- 1) 松尾駿之介、岩瀬彰宏、松井利之、田口昇、田中真悟、千星聡、堀史説 「Ag と Co 二重イオン照射注入による SiO₂ 中での金属ナノ複合化」, 日本金属学会秋期大会, 2023 年 9 月 富山
- 2) 松尾駿之介、岩瀬彰宏、松井利之、田口昇、田中真悟、千星聡、堀史説 「SiO₂ への Ag および Co 二重イオン照射注入による生成粒子の照射順序依存性」, 日本金属学会春期大会, 2024 年 3 月 東京

- 3) S.Matsuo, A.Iwase, T.Matsui, N.Taguchi, S.Tanaka, S.Semboshi, F.Hori, “Ag-Co nanocomposites formation in amorphous SiO₂ by alternate ion implantation”, 33th MRS-J Annual Meeting 2023.Dec.Yokohama.
- 4) T.Yamada, T.Matsui, A.Iwase, N.Taguchi, S.Tanaka, S.Semboshi, F.Hori, “The effect of implantation sequence on nanocomposite formation by Ag and Ni ions implantation into SiO₂”, 20th Int. Conf. on Radiation Effects in Insulators, 2023.Sep. Fukuoka.
- 5) S.Matsuo, T.Matsui, A.Iwase, T.Yamada, S.Semboshi, N.Taguchi, S.Tanaka, F.Hori, “Formation of metal nanocomposites in amorphous SiO₂ by multiple irradiation of Ag and Co ions”, 20th Int. Conf. on Radiation Effects in Insulators, 2023.Sep. Fukuoka.

学術論文

- 1) S.Matsuo, A.Iwase, T.Matsui, R.Yagura, T.Yamada, N.Taguchi, S.Tanaka, S.Semboshi, F.Hori, Nuclear Instrument and Methods in Physics Research B 549 (2024) 165278.

FeAl 合金中の空孔型欠陥への水素捕獲状態と制御に関する研究

大阪公立大工	平山翔太、田嘉信、堀史説*
京大複合研	徐虬、木野村淳
九大応力研	大澤一人
若狭湾エネ研	安永和史
量研機構高崎	山本春也

(*本研究に関する連絡先: 電話(内線)4233、メール horif@omu.ac.jp)

【諸言】次世代エネルギーの一つとして期待される水素は、環境に優しいエネルギー源であるがその利用方法や貯蔵保管等についての技術は成熟しておらず、特に貯蔵や輸送には液体や気体での保管が効率的であるが反応性の高い水素としては安全性の観点から高温高压では危険性が非常に高く、安全な保存方法の開発が望まれる。その一つに金属に吸収させる水素吸蔵合金の開発が進められている。一般的な水素吸蔵は物質内で金属水素化物を作るため安全性が高いが、構成金属が高価、金属水素化物を作るためのプロセスの解明などが必要なことに加え、体積変化が著しいために劣化が激しいなどが課題である。これまで、我々の研究グループでは金属水素化物を作ることなく、合金中の空孔型欠陥に水素原子を捕獲することで水素を蓄える方法を模索しており、特に B2 型 Fe-Al 合金を新しい水素吸蔵合金として検討してきた¹⁾。この Fe-Al 合金は空孔を導入しておくこと、水素が大量に吸収され室温では安定であることから、コスト面の課題、バルク材での利用が可能、材料劣化などの多くの課題の解決が期待できる。本研究では、電子線照射により空孔を導入した合金に電気化学的に水素を注入し、空孔型欠陥への水素捕獲状態について詳細な評価を行なった。

【実験方法】本研究では高純度の鉄(4N)とアルミニウム(5N)の母材をアルゴン雰囲気中でアーク溶解にて直径約 30 mm のボタン状 Fe50at.%Al 合金を作成し、そこから約 4 mm×4 mm×0.5 mm の板材に切り出して鏡面研磨を行った後、真空中 996 K で 24 時間の熱処理後水中急冷を行った。これらの試料を NH₄SCN 水溶液 1×10⁻³ mol/L 中で電流密度 0.05 A/cm²~0.1 A/cm²、室温条件下で 8 時間から 160 時間の電解水素注入を行った。照射後の試料に対し昇温脱離測定(TDS)による捕獲水素の放出挙動を評価し、X 線回折による構造変化、陽電子消滅による空孔への水素捕獲状態、弾性反跳粒子検出(Elastic Recoil Detection Analysis; ERDA)測定による水素の堆積分布などの評価を行った。陽電子測定は京大複合原子力研の低速陽電子ビームにて 1~30keV の陽電子を用いて表面近傍の深さ分布変化を調べた。

【結果】X線回折では電子線照射によって空孔型欠陥を導入するとわずかな格子歪が観測され、それらの試料に水素を注入すると歪みが緩和し照射前の状態に近づく傾向が観察されていたが、160時間の水素注入では緩和と同じ傾向の変化であるものの、未照射の状態を通過し逆傾向の歪みが観察された。そこで低速陽電子ビームを用いて図 1 に示すようにドップラーSパラメータの

値で深さ方向の水素注入時間に対する変化を測定した。比較基準である水素注入前の試料には電子線照射により空孔が均一に導入されており深さ方向にほぼ一定である。水素注入後は16時間で表面付近のS値が減少しており、表面付近の空孔から水素を捕獲したと考えられる。さらに注入時間80時間ではSパラメータの値は16時間と同じであるが、より深い方向にまでS値の減少が進行している。これは水素が奥まで侵入して捕獲されたためと考えられる。160時間まで水素注入すると、表面付近のS値は0.5にまで低下した。80時間注入までの値とは明らかに異なる変化であり、空孔内の電子密度すなわち水素原子の捕獲数が増加したことによると考えられる。また4 keVでの陽電子を用いて陽電子寿命を測定すると未注入での単空孔を示す195 psの値が80時間では176 ps、160時間で160 psにまで減少していた。この結果から複数の水素原子が空孔内に捕獲されたことを示している。

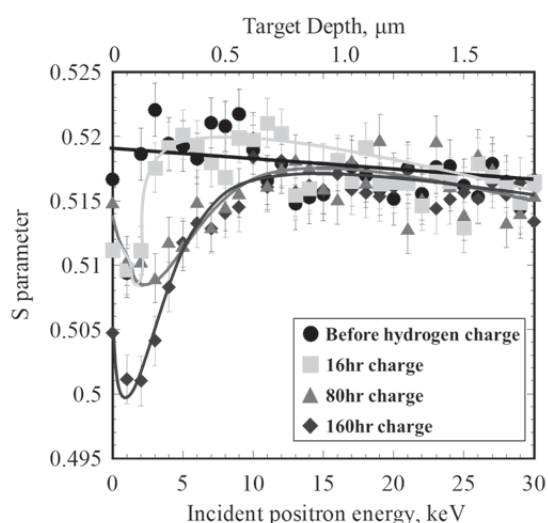


図1 水素注入した FeAl 合金の低速陽電子 S パラメータ深さ分布変化

謝辞

本研究は若狭湾エネルギー研究センターとの共同研究として研究助成補助により実施されました。また、九州大学応用力学研究所および京都大学複合原子力研究所の共同利用研究としても実施されました。水素照射にあたり若狭湾エネルギー研究センター照射スタッフの方々に感謝申し上げます。

参考文献

- 1) F.Hori, Y. Sumikura, A.Takano, K.Sugita, Y.Kaneno, K.Ohsawa, X.Qiu, M.Maekawa, A.Kawasuso, Y.Saito, Jpn. J. Appl. Phys. Conf. Proc.9, (2023) 011107 CPPS19013.

本研究に関する研究発表(学会等報告)

- (1) 堀史説、徐虬、大澤一人、安永和史「加速器を利用した Fe-Al 合金中のナノ空間への水素捕獲挙動」公益財団法人若狭湾エネルギー研究センター 第 25 回研究報告会 2023.11 福井.
- (2) 平山翔太、徐虬、大澤一人、安永和史、堀史説「電子線照射により Fe-Al 合金中に導入された空孔内での水素状態」2023 年日本金属学会秋期大会 2023.9 富山.
- (3) 平山翔太、田嘉信、徐ギユウ、大澤一人、安永和史、堀史説「水素イオン照射による B2 型 Fe-Al 合金中の照射導入空孔への捕獲水素状態の研究」第 33 回日本 MRS 年次大会 2023.12 横浜
- (4) 平山翔太、徐虬、大澤一人、安永和史、堀史説「B2 型 Fe-Al 合金中の空孔への水素原子多重捕獲」2023 年日本金属学会春期大会 2024.3 東京.

重イオン照射によるNi-Ti金属間化合物の局所構造および硬さの変化

大阪公立大学 世山将大, 金野泰幸, 松井利之, 岩瀬彰宏, 堀史説*

原子力研究機構 石川法人, 小河浩晃

東北大金研 山田類, 和田武, 加藤秀実

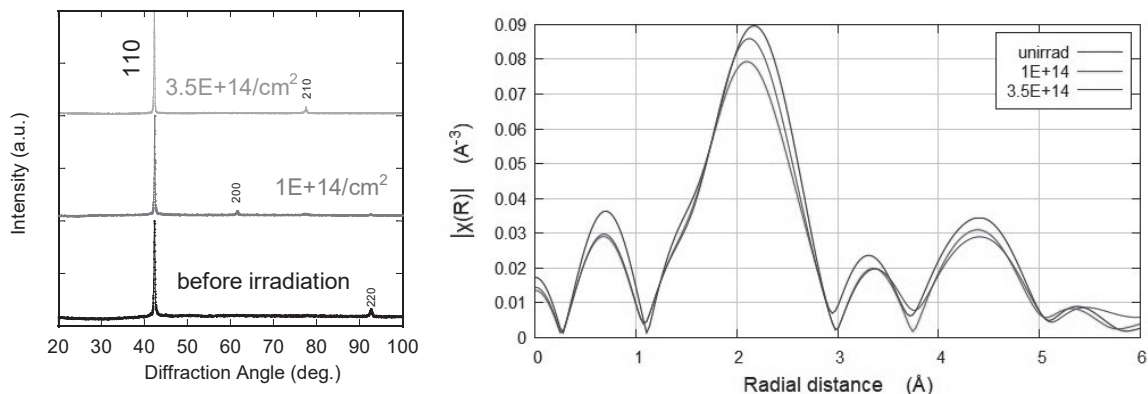
(*本研究に関する連絡先: 電話(内線) 4233, メール horif@omu.ac.jp)

【諸言】従来の金属の材料改質方法としては熱処理や機械的加工が一般的であったが、我々の研究グループでは新たな材料改質方法としてイオン照射による部分ナノ領域での材料改質方法を研究している。この方法では、金属間化合物に重イオンを照射することで材料内部の局所構造を乱すことができ、新たな特性を付与する材料改質も期待できる。また、合金によっては照射によりアモルファス化するものもあるが、その過程やアモルファス化する合金の種類などについては未だ解明されていない。我々の研究グループではいくつかのNi基金属間化合物について重イオン照射による研究を行ってきているが、化合物によって変化の仕方は異なり、アモルファス化を起こす要因は特定できていない。本研究ではNi基金属間化合物でB2型構造を有するNi-Ti合金に着目した。B2型のNi-Ti合金は、高温化での加工性が優れており、耐食性、生体への適合性も良いことから軽量高強度材料やステント等、生体中などで使用されることが期待されている¹⁾。しかしB2型構造は室温下では延性に乏しく脆い合金である。そこで本研究では、このNi-Ti合金の表面改質やアモルファス化の基礎課程についての知見を深めることを目的とし、重イオン照射によるアモルファス化の可否や局所構造および硬さの変化についての評価を行った。このような目的で前年度には200MeV-Auを照射したNi-Ti合金についてX線回折、ビッカース硬さ測定により構造変化と硬さ変化の相関について評価を行った。今年度は照射イオン種依存性について考察するために200MeV-Xeを照射し、さらにXAFS(X線吸収微細構造)測定を行い照射によるアモルファス化と改質について検討した。

【実験方法】本研究では、アルゴン雰囲気中でのアーク溶解にて等比組成のNi-Ti合金のボタン材を作製した。作成したボタン材から5mm×5mm×0.5mmの板材に切り出し表面を研磨後900°Cで30mの均質化熱処理を行った。用意した試料は全てX線回折によりB2単相であることを確認し、それらの試料に対して原子力研究開発機構東海研のタンデム加速器を用いて200MeVのXeイオンで最大 $3.5 \times 10^{14} \text{ cm}^{-2}$ まで照射した。イオン照射前後の各試料に対して、結晶構造の変化を評価するためにX線回折測定、Ni-K吸収端を用いたXAFS測定(高エネルギー加速器研究機構BL27B)を行い、表面の硬さ変化を評価するために試験荷重10gf、保持時間10sでマイクロビッカース硬さ測定を行った。

【結果】200MeV-Xeを照射したNi-Ti合金のXRDプロファイルを図1に示す。照射後も大きな変化は見られず、B2型構造は保持していることが分かる。さらに結晶構造を評価するために行ったXAFS測定の結果を図2に示す。このスペクトルの第一配位のピーク挙動からNi原子周囲の原子配位に関する議論が行える。Ni-Ti結合を示す第1ピーク強度が照射によりわずかに減少して

おり、これはNi周囲のTiとの結合数が減少していることを示している。しかしXRDでは照射による変化はほとんど確認できていない。そのため試料全体のアモルファス化は起こらずに結晶を保持した状態でNi原子周りの極めて短範囲的な結合のみが重イオン照射によって崩れるがその量的な変化も大きくないと考えられる。次にビッカース硬さ変化の結果を、昨年度実施した200MeV-Auの測定結果と合わせて図3に示す。一部でアモルファス化の傾向がみられた200MeV-Auでは照射により硬さが大きく上昇していた。今回アモルファス化しなかった



200MeV-Xeでも照射前に比べて硬

さは上昇しているがその上昇率は明らかに低く、これは照射による格子の乱れによるものだと考えられる。同じエネルギー照射でもXeイオンよりもAuイオンの方がアモルファス化しやすく硬さ変化も大きいことがわかった。このような違いのあらわれた理由としては照射による付与エネルギーが核的阻止能と電子的阻止能の割合に違いがあるためではないかと考えており、今後それらのエネルギー付与プロセスの違いなどについて検討したい。

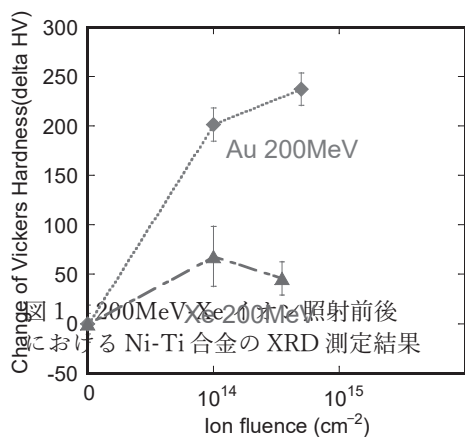


図2 NiTi合金のNi-K吸収端によるFT-XAFSスペクトルの200MeV-Xeイオン照射による変化

図3 重イオン照射によるNi-Ti合金のビッカース硬さ変化

謝辞

本研究は東京大学連携重点研究「高速重イオン衝突における基礎および応用研究の有機的連携」
として実施しました。イオン照射実験は原子力機構東海タンデム加速器施設及び量子応用研究
機構高崎研究所TIARAを施設供用にて使用しました。本研究は化合物合金の照射改質の研究と
して東北大学金属材料研究所における共同研究の一環として実施されたものです。また本研究
は科学研究費補助金基盤研究C-20K12482による研究補助によって実施しました。

参考文献

- 1) Ti-Ni合金の材料特性とその応用, 山内清, 1989

FeAl 合金中の空孔型欠陥への水素捕獲状態と制御に関する研究

大阪公立大院工	田嘉信、平山翔太、堀史説*
京大複合研	徐虬
九大応力研	大澤一人
若狭湾エネ研	安永和史

(*本研究に関する連絡先: 電話(内線)4233、メール horif@omu.ac.jp)

【諸言】人間社会や経済の発展に伴い、化石エネルギーは急激に減少し、環境汚染の問題は深刻になっている。水素エネルギーは、その安全性、環境への配慮、および高いエネルギー密度(142 MJ / kg)により、将来的に最も有望なエネルギーと見なされています。水素エネルギーの実用化を実現するためには、水素の貯蔵は重要な課題である。有機物の水素貯蔵は、水素を常温・常圧で(液体として)輸送できるし、貯蔵および輸送プロセスを安全効率的にする。脱水素技術が複雑で、大きなエネルギー消費が伴い、また、触媒技術は解決されていない課題がある。金属内の水素捕獲は、一般的な水素吸蔵合金では高温高圧で水素ガスと反応して金属水素化物を形成し水素が貯蔵される。しかしこの方法は、合金構造の変化による材料劣化や高価な合金元素が必要などさまざまな問題が存在する。我々は合金の空孔に水素捕獲する B2 構造の Fe-Al 合金に注目しています。これまでの研究で、実際に空孔への水素捕獲が確認してきているが^[1]、本研究では吸収した水素の放出挙動を簡易的に測定するために温度制御による微小圧力変化計測装置を構築し、同じ B2 構造であるが電子線照射で空孔導入するのではなく化学量論組成からのズレで潜在的に存在する空孔を利用した水素捕獲の有無を確認した。

【実験方法】試料はアルゴンガス雰囲気中で高純度の鉄とアルミニウムの母材をアーク溶解して Fe-48at.%Al 合金を作成し、直径約 30 mm のボタン材を母合金とした。これを 4mm×4mm×0.5mm のサイズに切り出し表面を鏡面研磨した。このように用意した試料にチオシアン酸アンモニウム(NH₄SCN)溶液中での電解水素注入法により 8 時間の水素注入を行った。比較のために電子線照射により空孔を導入後に 16 時間の電解水素注入した試料を用意した。照射試料の水素放出挙動は京都大学複合原子力研にて TDS(昇温脱離ガス分析: Thermal Desorption Spectrometry)測定を行った。一方、今回作成した微小圧力変化測定には図1に示す装置を設計作成した。この装置では試料を真空状態にし、真空ラインをクローズした後、電気炉に内に配置して試料を配置した閉じた空間内の微小な圧力変化と温度を記録することで水素放出挙動の評価を試みた。

【結果】

図1は作成した微小圧力変化計測装置の写真を示す。この装置では試料を10⁻³Paレベルの真空中に封じ込めた状態で1 K/sの昇温速度で真空度を記録し水素の放出挙動を評価する。一般的なTDSは四重極質量分析計を用いて極微小な同位体を含む水素原子の放出原子数を計測するため極微

量の水素に非常に敏感であるため体積の大きな試料や水素吸収量の多い試料での測定が困難な上に非常に高価な装置である。本研究では、高精度の広域真空計を用いて簡単に大きな試料での測定を行えるようにした。

図2は、この装置を用いて8時間電解水素注入されたFe-48at%Al合金に対する水素放出挙動を測定した結果の生データである。比較のために電子線照射に加え16時間電解水素注入したFe50at%Al合金のTDS結果を示す。これら2つの試料の違いは組成であるが、48%Al試料は照射しなくても大量の残留空孔が存在していると考えられ、電解注入で導入された水素が空孔に捕獲することを期待している。結果を見ると、電子線照射で注入した試料で空孔からの水素脱離と考えられている水素放出ピークとほぼ同じ温度でピークが観察された。そのため、これらの試料では水素の捕獲状態がほぼ同じであると推定され、作成した装置の有効性も検証できた。

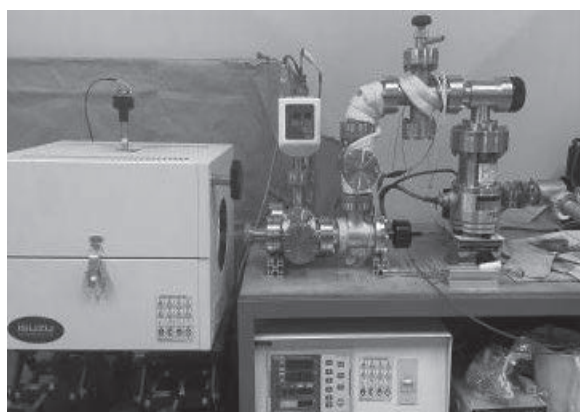


図1 作成した昇温-微小圧力計測装置

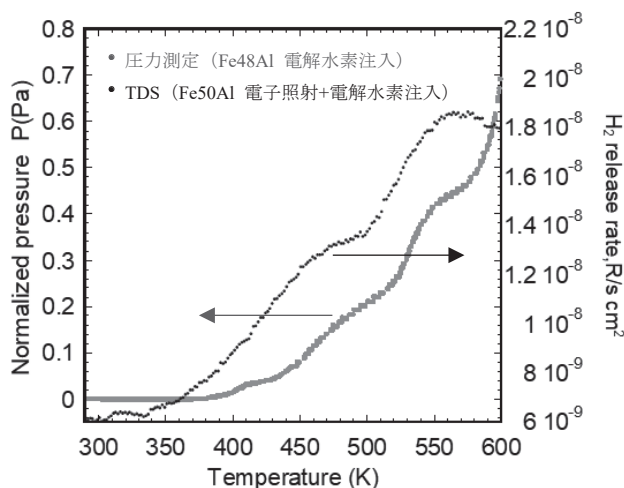


図2 電解水素注入したFe48%Alの圧力変化と電子照射後に電解水素注入したFe50%AlのTDS測定結果

謝辞

本研究は九州大学応用力学研究所および京都大学複合原子力研究所の共同利用研究及び若狭湾エネルギー研究センターとの共同研究として実施されました。京都大学複合原子力研究所および若狭湾エネルギー研究センターのスタッフの皆様には照射実験等でご協力頂きました、深く感謝いたします。

参考文献

- 1) F.Hori, Y. Sumikura, A.Takano, K.Sugita, Y.Kaneno, K.Ohsawa, X.Qiu, M.Maekawa, A.Kawasuso, Y.Saito, Jpn. J. Appl. Phys. Conf. Proc.9, (2023) 011107 CPPS19013.

陽電子消滅法を用いたB2型Fe-Al合金の空孔中水素捕獲状態評価

大阪公立大工 宮住賢太、平山翔太、田嘉信、堀史説*
 京大複合研 徐虬
 九大応力研 大澤一人

(*本研究に関する連絡先: 電話(内線)4233、メール horif@omu.ac.jp)

【諸言】近年エネルギーとして注目を集める水素の効果的な貯蔵方法として水素貯蔵合金がある。中でも水素吸蔵合金は水素原子と合金元素が水素化物を作ることで材料中に安定に水素を貯蔵する事が可能である。しかし、高温高压での吸放出やその過程での体積変化による材料劣化、構成元素に希少金属が必要など多くの問題が存在する。一方、我々の研究グループが提案する B2 構造を有する Fe-Al 合金は第一原理計算で複数個の水素が単空孔に多重捕獲される可能性が示されており¹⁾、この合金は空孔導入によって多量の水素を吸収できるという結果を得ている。本研究では、Fe-Al 合金中の空孔での水素原子捕獲状態を明らかにするために、試料に対し電子線照射で空孔導入し電解水素注入法によって水素試料の陽電子消滅実験に対し、第一原理計算を元にした空孔への水素捕獲状態とその状態に陽電子を導入した場合の消滅事象についての理論計算を行い実験値との比較を検討した。

【計算手法】空孔中の水素捕獲状態については、第一原理計算によって求めた緩和結晶を用いて Superimposed Atom 法²⁾による陽電子消滅計算を適用し、緩和位置を陽電子計算プログラムに取り込むためのプログラム開発を進めている。その際、電子配置と電子密度関数は F. Herman and S. Skillman のデータを用いた³⁾。第一原理計算は九州大学応用力学研究所にて VASP を用いた周期的境界条件により原子数を Al:64, Fe:63, H:1, U(空孔と仮定):1 の計 129 個のスーパーセルを用いて計算を行なっている。今年度の研究では合金の緩和データの取込みプログラム⁴⁾の改良と並行して、未緩和の結晶に水素を導入した状態での Fe-Al 合金の陽電子消滅寿命計算を行った。第一原理計算による安定な水素捕獲緩和構造結果では図 1 に示すように水素原子は空孔の中心ではなく八面体位置 (o-site) に極めて近い位置に存在することが確認されたため、陽電子消滅計算用のモデル結晶は擬似的に o-site に水素を配置した場合と、空孔の中心に水素を配置した場合を仮定し、陽電子波動関数分布と寿命を計算し実験との比較を行った。

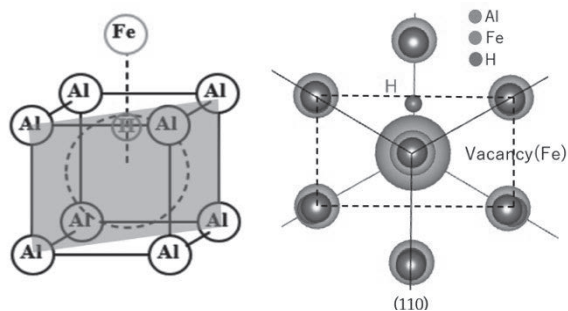


図 1. 第一原理計算によって得られた最安定構造
 右図は(110)断面で見た原子配置

【計算結果】図 2 に各水素捕獲位置での陽電子波動関数の計算結果を示す。陽電子は水素を避けるように分布していることが分かる。また中心配置では波動関数の頂点が窪んでおり寿命値も o-site の値に比べかなり低いことがわかる。図3は電子線照射によって空孔導入した後、電解水素注入した試料の

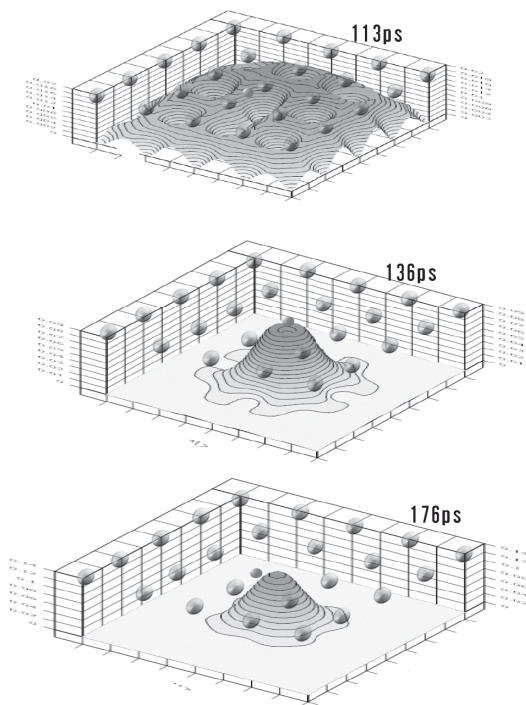


図 2.各水素配置で計算した陽電子波動関数
上から水素位置を完全結晶の格子間位置、空孔
中心、空孔 o-site に配置した計算

が、この値は単空孔の寿命より低く中心に水素原子を配置した値より高い値を示しており、空孔の o-site に水素原子が捕獲された場合の値に最も近い。そのため空孔内の水素は中心ではなく o-site に近い位置に存在している可能性が考えられる。

【結言】理論計算から水素はo-site付近に捕獲されている可能性が高いことが示された。今後は第一原理計算による緩和配置で正確な陽電子寿命計算を行うとともに、水素の多重捕獲状態などの計算的な実証を実験との比較により検討する。

【謝辞】本研究は若狭湾エネルギー研究センターの研究助成による補助により実施されました。また、九州大学応用力学研究所および京都大学複合原子力研究所の共同利用研究として実施されました。関係者の皆様に深く御礼申し上げます。

参考文献

- 1) F.Hori, Y. Sumikura, A.Takano, K.Sugita, Y.Kaneno, K.Ohsawa, X.Qiu, M.Maekawa, A.Kawasuso, Y.Saito, Jpn. J. Appl. Phys. Conf. Proc.9, (2023) 011107 CPPS19013.
- 2) M. J. Puska and R. M. Nieminen: J. Phys. F: Met. Phys., 13 (1983) 333
- 3) F. Herman and S. Skillman: Atomic Structure Calculations, Prentice Hall, Inc. (1963)

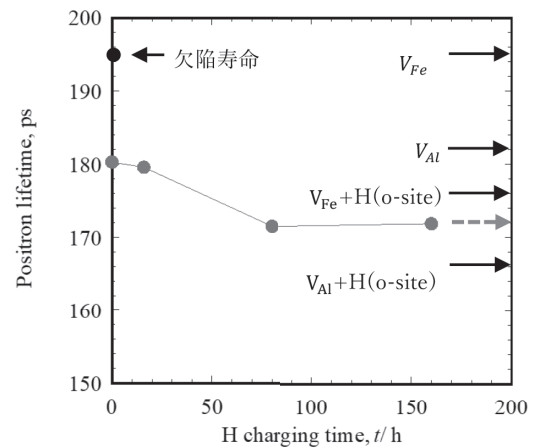


図 3.空孔に水素を注入した陽電子寿命実験値と計算によって得られた陽電子寿命値の比較

陽電子寿命の実験結果と本研究で行った陽電子寿命計算値の比較を示す。グラフの横軸は水素の注入時間を示しており、時間が長いほど大量の水素が導入されている。0 時間では水素が導入されていないため空孔のみが存在しており、理論計算での鉄空孔と一致している。水素を注入すると寿命値は低下し約 170 ps 程度まで下がっている

- 4) F.Hori, Y.Kamimura, T.Tsutsumi, E.Kuramoto, Journal of Nuclear Materials 228 (1996) 215.

本研究に関する研究発表(学会等報告)

- (1) 堀史説、徐虬、大澤一人、安永和史「加速器を利用した Fe-Al 合金中のナノ空間への水素捕獲挙動」公益財団法人若狭湾エネルギー研究センター 第 25 回研究報告会 2023.11 福井.
- (2) 平山翔太、徐虬、大澤一人、安永和史、堀史説「電子線照射により Fe-Al 合金中に導入された空孔内での水素状態」2023 年日本金属学会秋期大会 2023.9 富山.
- (3) 平山翔太、田嘉信、徐ギユウ、大澤一人、安永和史、堀史説「水素イオン照射による B2 型 Fe-Al 合金中の照射導入空孔への捕獲水素状態の研究」第 33 回日本 MRS 年次大会 2023.12 横浜
- (4) 平山翔太、徐虬、大澤一人、安永和史、堀史説「B2 型 Fe-Al 合金中の空孔への水素原子多重捕獲」2023 年日本金属学会春期大会 2024.3 東京.

重イオン照射による Ni-Zr 合金の表面改質のための微細構造変化

大阪公立大 森祐輔、金野泰幸、岩瀬彰宏、松井利之、堀史説*

原子力研究機構 石川法人、小河浩晃

東北大金研 山田類、和田武、加藤秀実

(*本研究に関する連絡先: 電話(内線)4233、メール horif@omu.ac.jp)

【諸言】

近年、環境への負荷を最小限に抑えながらエネルギーの効率的な利用が求められ、カーボンニュートラル社会の構築が進められており、特に水素は再生可能エネルギーとして水素の生産、輸送、および利用には新たな技術革新が求められている。中でも水素透過膜は、水素ガスを効率的に生産するために必要な材料である。アモルファスのNi-Zr合金は耐水素脆性と高い水素透過率を両立する水素透過膜材料として期待され実用化の研究が行われている。しかし一般的なアモルファス作成方法である単ロール法では材料サイズや強度およびアモルファス状態の不均質性などにおいて制御が難しい。一方、一部の金属間化合物への重イオン照射でアモルファス化させることが可能であるとわかってきている。この方法でバルクNi-Zr合金で照射領域がアモルファス化することを示してきたが、まだ不明な点が多い。本研究では、Ni-Zr合金の重イオン照射による微細構造と特性変化と照射パラメータとの相関について研究を進めている。今回は複数の結晶相を内包するNi-Zr合金に対する重イオン照射効果について微細構造変化の評価を行った。

【実験方法】

アーク溶解により作成したボタン状Ni₃₀Zr₇₀合金を4×4×0.5 mmに切り出し、真空中にて832 °C、50分の均質化熱処理を行った後、日本原子力研究開発機構(JAEA)の東海タンデム加速器を用いて100 MeVのAuイオンを1×10¹³ ~ 5×10¹⁴ cm⁻²照射した。照射による結晶構造変化を評価するため照射前後の試料に対してX線回折(XRD) および高エネルギー加速器研究機構(KEK)の放射光実験施設にてNi吸収端による広域X線吸収微細構造(EXAFS)測定を行った。また、照射による欠陥評価のため陽電子寿命測定および同時計数ドップラー広がり(CDB)測定を行った。

【結果】

図1に照射前後のXRDプロファイルを示す。未照射のNi₃₀Zr₇₀はNiZr₂と純Zrの2相共存組織であるが、照射量の増加とともに段階的にNiZr₂が消失しアモルファス化が観察された。図2には、EXAFS測定による局所構造変化を示す。Ni原子周りのNi結合を示す配位数が照射量の増加とともに徐々に減少していることがわかった。同様に陽電子寿命測定から、照射量の増加とともに陽電子寿命値が増加していたことから、重イオン照射のアモルファス過程においては構造変態などが起こさずに空孔型欠陥の蓄積とともに結晶構

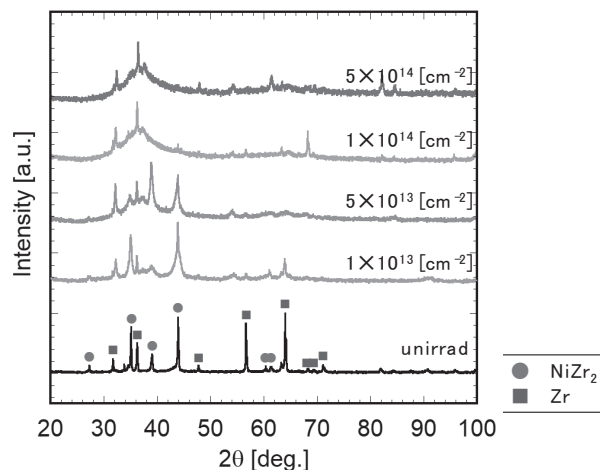


図1 100MeV-Au 照射した Ni₃₀Zr₇₀ 合金の XRD プロファイル

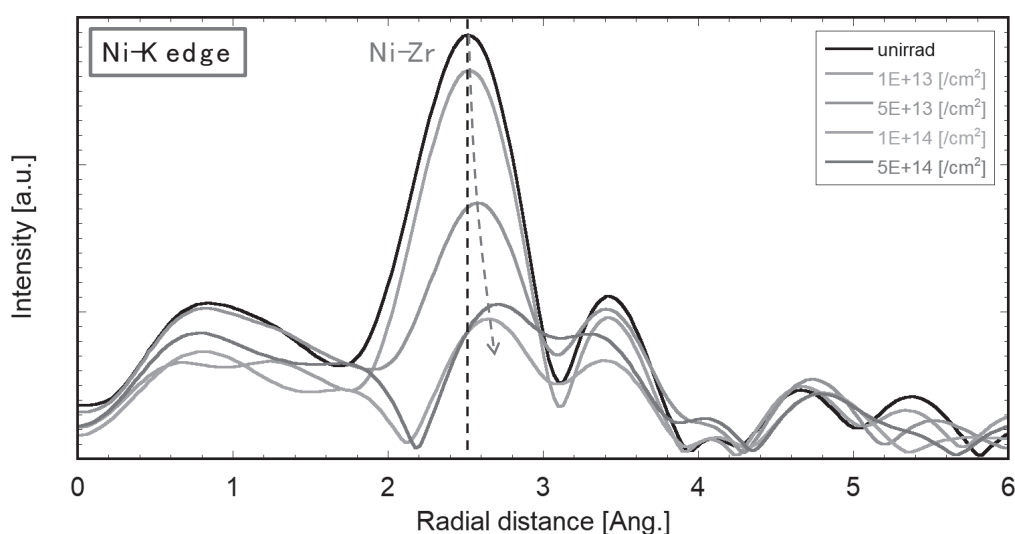


図2 100MeV-Au 照射した Ni₃₀Zr₇₀ 合金の FT-EXAFS スペクトル

造が徐々に崩れていくことなどがわかった。今後、表面硬さ変化や空隙などの欠陥状態の変化を評価することで、表面改質制御に繋げていく予定である。

謝辞

本研究は東京大学連携重点研究「高速重イオン衝突における基礎および応用研究の有機的連携」の一環として実施しました。イオン照射実験実施にあたり東京大学開放研究室のスタッフおよび原子力機構タンデム加速器施設のスタッフに感謝いたします。またイオン照射には量子応用研究機構高崎研究所TIARAを施設供用で使用させて頂きました。本研究は化合物合金のアモルファス化に関して東北大学金属材料研究所における共同研究（202011-CRKEQ-0007）により実施されたものです。また本研究は科学研究費補助金基盤研究C-20K12482による研究補助によって実施しました。

参考文献

- 1) F. Hori, Y. Morikuni, H. Obayashi, A. Iwase, T. Matsui, Y. Kaneno, T. Wada, H. Kato, N. Ishikawa, Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section B 535, (2023) pp.11-14.
- 2) 大林浩也 修士論文 2023.3 大阪府立大学

本研究に関する研究発表(原著論文、その他報文、学会等報告)

学会発表

- 1) 森祐輔、岩瀬彰宏、金野泰幸、松井利之、和田武、加藤秀実、石川法人、堀史説「高速重イオン照射による Ni-Zr 金属間化合物の微視的構造変化」日本金属学会春季大会（2024年3月14日）

ナトリウムイオン伝導性 NaCl-TaCl₅-Ta₂O₅系酸塩化物の評価

阪公大院工応用化学分野 本橋 宏大, 作田 敦, 林 晃敏

阪公大院工マテリアル工学分野 森 茂生

(*本研究に関する連絡先: 電話 (内線) 5835、メール saku@omu.ac.jp)

全固体電池の実用化に向けたキーマテリアルは固体電解質である。近年、硫化物、酸化物固体電解質に加えて、新たな材料群として塩化物が新たな材料群として注目されている。塩化物電解質は、一般的に高い導電率と酸化耐性、優れた成形性を有するため、塩化物電解質の適用によって高電位電極材料を用いた全固体電池の安定作動が期待される。しかし、ナトリウムイオン伝導性塩化物の報告は少なく、材料が限られていた。この状況に対して、我々を含む複数のグループから、新たなエンドメンバーとして NaTaCl₆ が報告された¹⁻³。NaTaCl₆ は、高い酸化耐性と優れた成形性を有しており、3.5V 級の全固体ナトリウム電池の安定作動を実現した。さらに、我々は、NaTaCl₆ に対して Ta₂O₅ を添加することで、室温で 10⁻³ S cm⁻¹ を超える導電率と、高い電気化学的安定性を有する固体電解質を見出した⁴。

XRD 測定及び TEM 観察から、Ta₂O₅ 添加 NaTaCl₆ 化合物は Na-Ta-Cl-O 系非晶質マトリックス中に数十 nm 程度の NaCl と数百 nm 程度の Ta₂O₅ が分散していることが明らかとなった。非晶質相の構造については不明であった。そこで、タンタルの局所構造を XAFS 測定により調べた。XAFS 測定の結果、酸素添加量に応じたピーク強度の変化と、ピークシフトが確認された。以上から、非晶質マトリックス中に酸素が置換されていることが明らかとなった。今後は、他の構成元素である Na, O, Cl についても XAFS 測定を行い、より詳細な構造情報を得る予定である。

参考文献

- (1) K. Motohashi *et al.*, *ACS Mater. Lett.*, **6**, 1178 (2024).
- (2) J. Fu *et al.*, *Adv. Mater.*, **36**, 2308012 (2023).
- (3) Y. Hu *et al.*, *Matter*, **7**, 1 (2024).
- (4) K. Motohashi *et al.*, in preparation.

本研究に関する研究発表 (原著論文、その他報文、学会等報告)

- 1) 本橋 宏大, 塚崎 裕文, 作田 敦, 森 茂生, 林 晃敏, 日本セラミックス協会 2024 年年会, 1P134.
- 2) 本橋 宏大, 塚崎 裕文, 作田 敦, 森 茂生, 林 晃敏, 電気化学会第 91 回大会, S8-1_3_08.

重合に誘起される不均一性と化学反応速度

阪公大院工 鈴木祥仁*

(*本研究に関する連絡先：電話（内線）5859、メール suzuki_y@omu.ac.jp)

【緒言】 高分子科学の未解決問題の一つに、溶媒を使用せずモノマーと開始剤のみで行うバルク重合中の急激な反応加速（トロムスドルフ効果）がある。定性的には粘性上昇による停止反応速度の減少に起因するとされてきたものの、反応加速があまりにも急激に起こることを定量的に説明できず、長年議論が続いていた。我々は偶然にもメタクリル酸メチル（MMA）のバルク重合中にモノマーリッチ相とポリマーリッチ相に見かけ上の相分離が起こることを発見した。そこで、MMAのバルク重合中の誘電緩和測定、中性子散乱測定、X線散乱測定を行い、物性の変化を計測した。

【結果と考察】 小角中性子散乱の散乱強度は、あるところで不連続的に変化した（Fig.1 (a)）。このデータを Ornstein-Zernike 関数でフィッティングすることで濃度揺らぎを求めた。ある重合率で濃度揺らぎが、3 nm から 7 nm へと急激に変化する。そして、濃度揺らぎが急激に変化する重合率はトロムスドルフ効果の起こる重合率と一致した。Fig. 1 (b)に示す誘電緩和のデータにより、重合誘起ガラス化をとらえた。重合に誘起されるガラス化近傍で不均一性が増大したと考えられる。不均一性の増大はポリマーリッチ相とモノマーリッチ相への相分離につながる（Fig 1 (c)）。相分離が起こると、ラジカル同士の出会う頻度が減少する一方で、モノマーとポリマーの出会う頻度は変化しない。Fig 1 (d)に示すように、成長反応速度(k_p)は変化しない、または増大する一方で停止反応速度(k_t)が減少することによって、急激な反応加速を説明することができる。

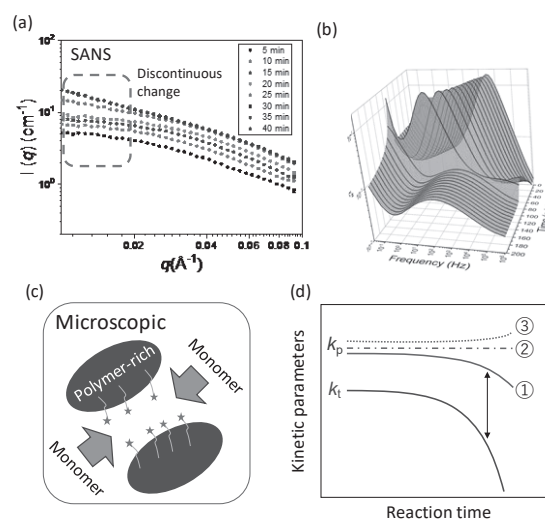


Figure 1. Discontinuous change during bulk polymerization of MMA measured by (a) SANS and (b) dielectric spectroscopy. (c) Schematic illustration of the effect of heterogeneity on the probability of meeting radical and monomer molecules. (d) Schematic illustration of the change in kinetic parameters as a function of reaction time.

参考文献

- 1) Polym. J., 51(4), 423-431 (2019)
- 2) Macromolecules, 54(7), 3293-3303 (2021)

本研究に関する研究発表（原著論文、その他報文、学会等報告）

- 1) Macromolecules, 56(10), 3731-3738 (2023)

ケイ化カルシウムを用いる担持酸化ニッケル触媒の調製と評価

阪公大院工応用化学分野 亀川 孝*、堀内 悠、松岡 雅也

(*本研究に関する連絡先：電話（内線）3635、メール kamegawa@omu.ac.jp)

【緒言】

触媒となる金属や酸化物の粒子をナノサイズまで微細化すると、利用効率が向上するだけでなく、微粒子特有の触媒作用の発現が期待できる。ニッケル(Ni)は触媒資源として貴金属元素に比べて豊富に存在する元素であり、非貴金属触媒開発の候補として期待されている。本研究では、ケイ化カルシウム(CaSi₂)の特徴を活かして酸化ニッケル(NiO)を担持した触媒(NiO/CaSi₂)を調製した。XAFS 測定による解析を行うと共に、触媒活性についても検討した。

【実験方法】

Ni(NO₃)₂水溶液中に CaSi₂を加え、298 K にて攪拌した。水洗し真空乾燥後に試料は回収した。含浸法にて SiO₂に NiO 担持した試料(NiO/SiO₂)を調製した。キャラクタリゼーションは、X 線回折、走査型電子顕微鏡、透過型電子顕微鏡、および窒素ガス吸脱着測定にて行った。XAFS 測定は、高エネルギー加速器研究機構の放射光実験施設(KEK-PF)にて透過法および蛍光法にて実施した。液相系にて触媒活性を評価し、反応物と生成物はガスクロマトグラフを用いて分析した。

【結果】

Ni(NO₃)₂水溶液中に CaSi₂を加え攪拌すると、溶液の色が速やかに消失した。Ni K 吸収端での XAFS 測定から、NiO が CaSi₂上に生成していることがわかった。広域 X 線吸収微細構造(EXAFS)のフーリエ変換スペクトルにおいて、CaSi₂では Ni 原子と第 1 近接 O との Ni-O 結合に帰属される 1.6 Å 付近のピーク強度が強く、第 2 近接 Ni との Ni-(O)-Ni に由来する 2.8 Å 付近のピークの強度が弱い。一方で NiO 粉末や NiO/SiO₂では Ni-(O)-Ni に由来するピークが強く、CaSi₂上には微細な NiO 粒子が固定化されていることが示唆された。カーブフィッティングを行うことで算出した配位数と触媒活性の評価結果には良い相関が見られた。NiO/CaSi₂がベンジルアルコールの酸化反応やベンゼンチオール酸化カップリングにおいて、優れた触媒活性を示すことを確認した。

本研究に関する研究発表（原著論文、その他報文、学会等報告）

- 1) K. Nomura, M. Okamoto, R. Katsumi, M. Matsuoka, and T. Kamegawa, "Synthesis of flower-like structured calcium silicide and investigations on its novel functions for design of metal-loaded catalysts", The 9th TKU-ECUST-KIST-OMU-UH-IHU-KMITL-UTAR-TNU-HUFI Joint Symposium on Advanced Materials and Applications (JSAMA-9), August 31, 2023, University of Hyogo.
- 2) 野村 圭吾, 松岡 雅也, 亀川 孝, 珪化カルシウムの特性を活かした Ni 担持触媒の調製と CO₂資源化への応用, 一般社団法人触媒学会 西日本支部 第 33 回キャラクタリゼーション講習会, 2023 年 12 月 20 日, 名古屋大学.

LDH ナノ粒子粉末を利用した X 線 μ -CT 用血管造影剤の開発

阪公大院工マテリアル工学分野 安東洋祐、徳留靖明*、米田克輝、中平敦

(*本研究に関する連絡先：電話（内線）5652、メール tokudome@omu.ac.jp)

X 線 μ -CT (X-ray Micro Computed Tomography) は、物体の内部構造を高解像度で三次元的に観察するための手法である。X 線 μ -CT による血管造影では、CT 画像のコントラストを高めるために血管造影剤が用いられる。本研究グループでは、NiAl 系層状複水酸化物(LDH)ナノ粒子の濃厚分散液を用いたゲル化性の血管造影剤を報告している[1]。この造影剤では、LDH が X 線吸収剤およびゲル形成のフィラーとして働くだけでなく、Si アルコキシドのゲル化を引き起こすための触媒としても作用している。一方で、既報では LDH 粉末合成の際に、時間を要する凍結乾燥法が利用されている。そこで本研究では、溶媒分散性と触媒特性を併せ持つ LDH 粉末を、効率的に合成できる乾燥法を検討した。また、既報造影剤に対して溶媒組成を最適化し、優れた造影コントラストを持つゲル化性血管造影剤の開発を試みた。

Ni²⁺と Al³⁺を含有する金属塩を溶媒に溶解し、有機低分子を加えて攪拌した。その後、溶液の pH を上昇させ 25 °C で 24 時間静置することで LDH 分散液を合成した。この分散液を、常圧下で加熱乾燥することで LDH ナノ粒子粉末を合成し、メタノール (MeOH) に再分散させた。この再分散液に Si アルコキシドを添加し、ゲル化の反応開始剤として水を加えて攪拌した後、37 °C で静置することで造影剤を合成した。LDH 分散液の乾燥温度が高く、乾燥時間が長いほど、LDH 粉末の MeOH に対する分散性が低下することが明らかになった。

この LDH 粉末を用いて合成される造影剤の造影特性は今年度の 2023 年度の実験に先立ち既に調査済みである。佐賀 LS の BL07 ビームラインにて X 線 μ -CT 測定をおこなったところ(2022 年度に実施)、既存造影剤に対して 1.6 倍の造影コントラストを示すことが分かった。2023 年度は学部放射光施設の利用は無かったものの、合成条件を最適化した造影剤の評価を次年度以降実施する予定である。

参考文献

[1] Y. Tokudome, et al. *Adv. NanoBiomed Res.*, 2 (2022) 2100123.

本研究に関する研究発表（原著論文、その他報文、学会等報告）

- 1) 「X 線 μ -CT 造影剤用 NiAl 系層状複水酸化物ナノ粒子粉末の効率的な合成に向けた乾燥法の探索」安東洋祐、徳留靖明、米田克輝、樽谷直紀、村田秀信、中平敦、日本セラミックス協会第 17 回関西支部学術講演会、近畿大学 東大阪キャンパス 11 月ホール (2023 年 7 月 14 日)
- 2) 「常圧乾燥 LDH ナノ粒子粉末を利用した X 線 μ -CT 用血管造影剤の開発」安東洋祐、徳留靖明、米田克輝、樽谷直紀、村田秀信、中平敦、日本バイオマテリアル学会第 18 回関西ブロック若手研究発表会、京都大学吉田キャンパス本部構内国際科学イノベーション棟 (2023 年 7 月 29 日)

$R\text{In}_{0.9}\text{Mn}_{0.1}\text{O}_3$ ($R = \text{Y}, \text{Dy}, \text{Tb}, \text{Gd}, \text{Eu}$)のサーモクロミズムと結晶構造の相関

阪公大院工マテリアル工学分野 大下真弥、村田秀信、木村健太*

東大生産研 織田藍作、王文聡、八木俊介

(*本研究に関する連絡先：電話（内線）5741、メール kentakimura@omu.ac.jp)

加熱によって色が恒久的に変化する不可逆サーモクロミック材料は、温度マーカーとして様々な場面で利用されている。しかし、固体の不可逆サーモクロミズムの多くは化学変化に基づいているため²⁾、耐久性の低さや周囲に悪影響を与えるといった懸念がある。また、ある種の用途では 1000°C 以上の動作温度が求められるが、高温で動作する不可逆サーモクロミック材料は有毒元素を含むものが多い³⁾。我々は最近、高压合成によって得られる $\text{YIn}_{0.9}\text{Mn}_{0.1}\text{O}_3$ が、有毒元素を含まない高温サーモクロミック材料となることを発見した。図 1a に示すように、約 1050°C の加熱により灰色から青色へと不可逆に色が変化する。さらに、Y を別の希土類元素 ($R = \text{Dy}, \text{Tb}, \text{Gd}, \text{Eu}$) に変えることで動作温度の制御も可能である。このサーモクロミズムの起源は、高压合成によって得られる準安定な直方晶から最安定な六方晶への構造相転移に起因していると考えられるが、その実証はなされていない。そこで本研究では、 $R\text{In}_{0.9}\text{Mn}_{0.1}\text{O}_3$ におけるサーモクロミズムと結晶構造の相関を明らかにするため、放射光を用いた高温粉末 X 線回折実験を行った。実験には Spring-8 のビームライン BL02B2 を利用した。

図 1d に $\text{YIn}_{0.9}\text{Mn}_{0.1}\text{O}_3$ の粉末 X 線回折パターンを示す。室温から 1300°C まで段階的に加熱しながら測定している。1000°C までは高压相の結晶構造 (空間群: $Pnma$) で主要なピークを指数付けすることができ、通常の熱膨張によるピークシフトを除いてパターンの変化は見られない。しかし、1050°C を超えると新しいピークが現れ、粉末 X 線回折パターンは大きく変化する。10.2° と 11.5° 付近の新しいピークは $\text{YIn}_{0.9}\text{Mn}_{0.1}\text{O}_3$ の常圧相の結晶構造 (空間群: $P6_3cm$) で指数付けできる。また、1300°C まで加熱した後に室温まで冷却しても、粉末 X 線回折パターンは元に戻らない。この結果は、サーモクロミズムが発現する 1050°C 付近で、高压相から常圧相への不可逆的な構造相転移が生じることを示している。 $R = \text{Y}$ 以外の系についても同様の測定を行ったところ、各々のサーモクロミズムの発現温度域で不可逆構造相転移が生じることが確認できた。したがって、本研究により、 $R\text{In}_{0.9}\text{Mn}_{0.1}\text{O}_3$ ($R = \text{Y}, \text{Dy}, \text{Tb}, \text{Gd}, \text{Eu}$) の高温不可逆サーモクロミズムが高压相から常圧相への不可逆構造相転移に起因していることが実証された。より詳細な実験結果や結晶構造と色の相関については、原著論文 (リスト 1) を参照されたい。

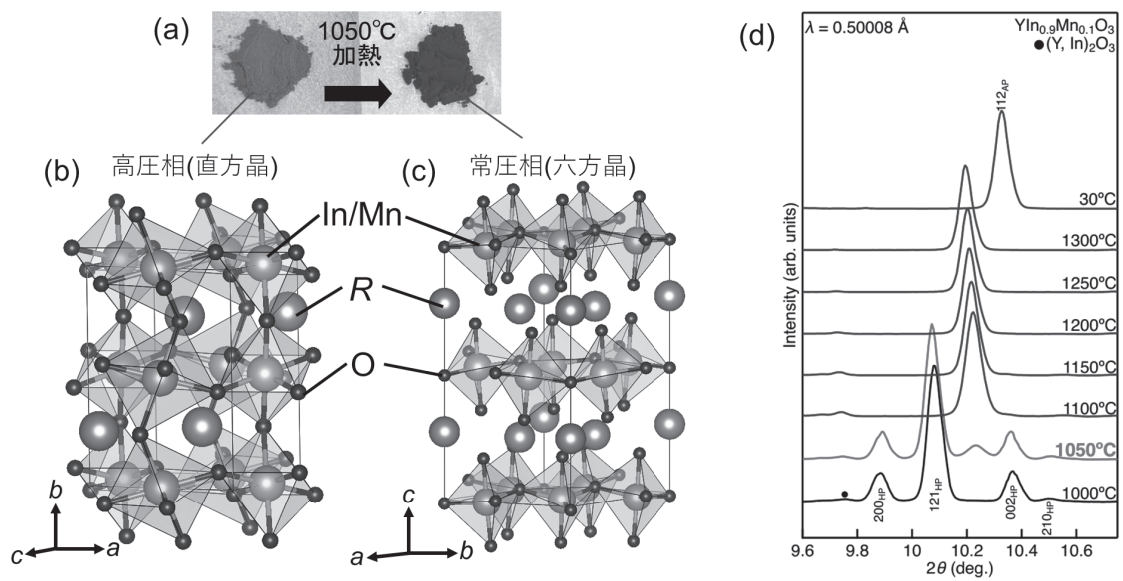


図 1. (a) 高压合成によって得られた $\text{YIn}_{0.9}\text{Mn}_{0.1}\text{O}_3$ の粉末試料の写真。高压合成後の色は灰色であるが(左)、 1050°C 以上に加熱したのち室温に戻すと、色が青色に変化する(右)。(b,c) $R\text{In}_{0.9}\text{Mn}_{0.1}\text{O}_3$ ($R = \text{Y, Dy, Tb, Gd, Eu}$) の (b) 高压相および (c) 常圧相の結晶構造の模式図。(d) $\text{YIn}_{0.9}\text{Mn}_{0.1}\text{O}_3$ の放射光粉末 X 線回折パターン。室温から 1300°C まで段階的に加熱しながら測定している。HP と AP はそれぞれ高压相と常圧相のピークを表す。

参考文献

- 1) A. Hakami, et al., J. Coatings Technol. Res. 19 (2022) 377.
- 2) C. Lempereur, et al., Meas. Sci. Technol. 19 (2008) 105501.
- 3) C. Pilgrim, et al., 12th Eur. Conf. Turbomach. Fluid Dyn. Thermodyn. ETC 2017 (2017) 1.

本研究に関する研究発表 (原著論文、その他報文、学会等報告)

- 1) High-pressure Route to Irreversible Thermochromic Materials, M. Oshita *et al.*, J. Phys. Chem. C, accepted.

Co $L\eta$ 共鳴発光スペクトルへの Co^{3+} イオンのスピン状態の影響

阪公大院工電子物理工学分野 田口幸広*、森渉、魚住孝幸、三村功次郎
弘前大院理工 手塚泰久

(*本研究に関する連絡先：電話（内線）4952、メール y.taguchi@omu.ac.jp)

ペロブスカイト型 Mn 酸化物 $\text{La}_{1-x}\text{Sr}_x\text{MnO}_3$ の Mn $3s \rightarrow 2p_{1/2}$ (Mn $L\eta$) 軟 X 線発光スペクトルは、Mn $2p_{1/2}$ 吸収ピーク位置の X 線照射で共鳴励起すると、Mn $3s$ - $3d$ 交換相互作用により交換分裂を示し、その分裂幅と Mn $3d$ スピンモーメントとの間にはよい相関が見られる[1]。

$3d^6$ の 3 価の Co 酸化物は有名な LaCoO_3 [2] のように Co の環境によって Co $3d$ スピン $S=0, 1, 2$ の低スピン、中間スピン、高スピン状態を取り得、いくつかの物質ではそのスピン状態の同定が議論されている。今回我々は Co $3d$ スピン状態の同定に Co $3s \rightarrow 2p_{1/2}$ (Co $L\eta$) 共鳴発光の交換分裂が利用できないか調べるため、低スピン物質として EuCoO_3 、高スピン物質として $\text{Sr}_2\text{CoO}_3\text{Cl}$ の測定を行った。試料にはいずれも多結晶焼結体（豊島製作所）を用いて、高エネルギー加速器研究機構フォトンファクトリーの BL-13A に設置された軟 X 線分光器を使用して Co $3s \rightarrow 2p$ 共鳴発光測定を室温で行った。

EuCoO_3 、 $\text{Sr}_2\text{CoO}_3\text{Cl}$ の Co $3s \rightarrow 2p_{3/2}$ ($L\zeta$) 発光は、Mn 酸化物と同様に Co $2p_{3/2}$ 吸収ピーク位置で共鳴励起しても明瞭な交換分裂が見られなかった。一方、Co $3s \rightarrow 2p_{1/2}$ ($L\eta$) 共鳴発光では、 $S=0$ の EuCoO_3 では単一ピークが観測されたのに対し、 $\text{Sr}_2\text{CoO}_3\text{Cl}$ ではメインピークより約 3 eV 低い位置に肩構造が見られ、ピーク幅も EuCoO_3 より約 1 eV 広がった。 $\text{Sr}_2\text{CoO}_3\text{Cl}$ の 3 eV の肩構造は、 EuCoO_3 には対応する肩構造が見られなかったことから、電荷移動サテライトなどではなく交換分裂による構造と考えられる。 $3d^4$ の 3 価の Mn 酸化物では交換分裂幅は約 4.3 eV であった [1]。共鳴過程で $2p$ から $3d$ へ励起される電子によって、Co では $3d^7$ の $S=3/2$ 、Mn では $3d^5$ の $S=5/2$ となることを考慮すれば、 $\text{Sr}_2\text{CoO}_3\text{Cl}$ の交換分裂幅 3 eV は妥当な値と考えられる。

参考文献

- [1] Y. Taguchi *et. al.*, *Trans. Mat. Res. Soc. Jpn.*, **41**, 341 (2016).
[2] 浅井吉蔵 他, 日本物理学会誌 70, 6 (2015).

本研究に関する研究発表（原著論文、その他報文、学会等報告）

- 1) $\text{Sr}_2\text{CoO}_3\text{Cl}$ の Co $3s \rightarrow 2p$ 軟 X 線発光スペクトル、森渉、田口幸広、三村 功次郎、第 36 回日本放射光学会・放射光科学合同シンポジウム、2023 年。

金属イオンと DNA の特異的な相互作用により形成される ハイドロゲルの構造解析

阪公大院工マテリアル工学分野 深津亜里紗*、岡田健司、高橋雅英
(*本研究に関する連絡先：電話（内線）5658、メール fukatsu@omu.ac.jp)

ハイドロゲルは高分子が架橋することで三次元的な網目構造を形成し、水を吸って膨潤した物質であり、ゼリーや豆腐などの食品やコンタクトレンズや紙おむつなどの素材として広く日常生活に浸透している。ハイドロゲルの架橋構造は高分子の官能基同士、あるいは他の成分を介し、共有結合や非共有結合性相互作用により形成されている。この架橋構造を巧みに制御することで、ハイドロゲルの伸縮性、自己修復性、刺激応答性など、様々な機能を発現させることができる。

バイオマスから取得可能な DNA は、資源の供給と廃棄物の環境負荷の両面で環境親和性が高い生体由来材料として近年注目されている。また、DNA は様々な官能基から構成されており、多様な金属イオンと特異的に配位結合等の相互作用を示すことが知られている¹。そこで本研究では、DNA と種々の金属イオンとの相互作用を架橋点としたハイドロゲルを作製し、構造解析を行った。

サケ白子由来の DNA の水溶液に、テトラクロロ白金(II)酸カリウムまたは塩化銅(II)の水溶液を混合したところ、それぞれハイドロゲル（以下 Pt-DNA、Cu-DNA と呼称）が形成した。Pt-DNA を真空乾燥し、赤外吸収測定を行ったところ、DNA のグアニンやアデニン由来のピークが低波数側にシフトしたため、グアニンやアデニンと白金(II)イオンが相互作用していることが示された。一方、Cu-DNA においては、DNA のリン酸由来のピークが低波数側にシフトしたため、銅(II)イオンは DNA の外側に位置するリン酸と相互作用していることが示された。また、構成金属種に由来する架橋構造の違いにより、ハイドロゲルが異なる物性を有することが示された。

今後、X 線吸収微細構造 (XAFS) 解析や二体分布関数 (PDF) 解析により、ハイドロゲルの架橋構造について詳細に解析する予定である。

参考文献

- 1) L. Zhang et al., *Nano Today*, 2021, 39, 101154.

本研究に関する研究発表（原著論文、その他報文、学会等報告）

- 1) 深津 亜里紗, 栗栖 沙理, 倉本 七夏海, 吉田 和加, 安井 伊吹, 野村 佳澄, 藤原 照巳, 岡田 健司, 高橋 雅英 日本化学会 第 104 春季年会(2024), 日本大学理工学部 船橋キャンパス, 2024 年 3 月 20 日.
- 2) Arisa Fukatsu, Sari Kurisu, Nanami Kuramoto, Waka Yoshida, Ibuki Yasui, Kasumi Nomura, Terumi Fujiwara, Kenji Okada, Masahide Takahashi "Supra-ceramics via Solution Processing" International Workshop, Alghero, Italy, Dec. 11th, 2023.

透過型電子顕微鏡を用いた蓄電固体材料の微細構造解析

大阪公立大学工学研究科 森 茂生

1 はじめに

蓄電固体材料で構成される固体電解質-固体電解質および電極-固体電解質等のヘテロ/ホモ界面では、特異なイオン輸送、蓄積特性がしばしば観測される。これらの現象は蓄電固体界面近傍でのナノスケールで生じる物理化学状態(イオン濃度・価数、化学ポテンシャル、電位、結晶/非晶質構造、歪)などの変調・分布に起因すると考えられている。本研究では、透過型電子顕微鏡(TEM)を用いてホロコーン照射による暗視野法(ホロコーン暗視野法)と電子回折を用いたPDF法を用いて、ガラスセラミックス系蓄電固体材料で構成される全固体電池のヘテロ/ホモ界面近傍でのナノスケールで生じる結晶/非晶質状態(結晶構造、結晶対称性、サイズ、形状や密度(結晶化度))および局所歪を定量的に評価・解析し、充放電サイクル特性等の電池特性を支配する物理化学因子(特に構造的因子)を明らかにすることを目的とする。

2 研究目的

今日、高容量、充放電のサイクル寿命が長い¹⁾という理由から電気自動車などの電源として広く普及しているのがリチウムイオン電池(LIB)である。しかし、LIBを構成する液体電解質に可燃性の有機電解液が用いられているため、安全性に問題がある。そこで、電解質を難燃性の無機固体電解質に置き換えた全固体LIBの実用化が望まれている。

しかし、全固体LIBでは固体電解質の質量密度が大きいため、電池全体のエネルギー密度が低くなるという欠点や、充放電に伴う体積変化をおこし、界面形成に問題があるという欠点がある。これらの問題を解決する手掛かりとして、結晶性の固体電解質をアモルファス化することで多くのLi格納サイトが存在すること、Liが拡散しやすい経路が形成されること、体積変化を吸収可能なこと²⁾³⁾⁴⁾、 Li_2SO_4 を添加することで高いイオン伝導度がえられること⁵⁾、熱処理により高容量が得られること⁶⁾ことが知られている。

そこで本研究では熱処理を行った $60\text{LiNiO}_2\text{-}20\text{Li}_2\text{MnO}_3\text{-}20\text{Li}_2\text{SO}_4$ (LNMSO622)に着目した。LNMSO622はカチオンが無秩序に配列した立方晶岩塩型構造を結晶相に有し、 300°C で熱処理を行うと初期放電容量が 186mAhg^{-1} (熱処理温度 300°C)となることが知られているが、そのメカニズムについては理解されていない。本研究では透過型電子顕微鏡(TEM)をもちいて、LNMSO622の熱処理による微細組織の変化を調べ、微細組織と充放電特性との相関について検討を行った。

3 研究成果

3-1 試料作製方法

LiNiO_2 , Li_2MnO_3 , Li_2SO_4 を60 mol%, 20 mol%, 20 mol%の配合比率で乳鉢混合した後、メカノケミカル法を用いて試料合成を行った。熱処理については 300°C 及び、 600°C でそれぞれ1時間熱処理を行った。

3-2 構造評価方法

透過型電子顕微鏡(JEM-2100 plus, 加速電圧 200 kV)を用いて、電子回折法、高分解能 TEM 法およびホロコーン暗視野法により微細構造観察を行った。また、大気曝露を避けるため、一軸傾斜真空ホルダーを使用した。結晶相の同定には電子回折図形解析ソフト ProcessDiffraction⁷⁾を用いて構造解析を行った。

3-3 実験結果と考察

Fig. 1 に熱処理温度による構造変化を調べるため電子回折図形、および、そこから得られた散乱強度プロファイルにおいて横軸を散乱角度 2θ に変換した図を示す。また、電子回折図形からは多結晶の存在を示すデバイ・シェラーリングが見られた (Fig. 1(a), (b), (c))。また、LNMSO622-600 において $2\theta=19^\circ$ においてカチオンの秩序配列を示唆するブロードなピークがみられ、 $2\theta=22^\circ$ で Li_2SO_4 に帰属されるピークが出現していた (Fig. 1(d))。

Fig. 2a, 2b, 2d に LNMSO622-milled, LNMSO622-300, LNMSO622-600 の高分解能 TEM 像を示す。LNMSO622-milled においてアモルファス母相中に約 10 nm の立方晶岩塩型構造に由来するナノ結晶が分散していることがわかる (Fig. 2a)。ここで、高速フーリエ変換パターンを得ることにより、立方晶岩塩型構造、六方晶型構造および Li_2SO_4 による結晶構造を同定を行った。また、LNMSO622-300 においてはアモルファス母相中に約 10 nm の立方晶岩塩型構造とともに六方晶型構造、 Li_2SO_4 に由来するナノ結晶、が存在している (Fig. 2b)。さらに、LNMSO622-600 においてはアモルファス母相中に約 10 nm の立方晶岩塩型構造とともにより多くの六方晶型構造、 Li_2SO_4 に由来するナノ結晶が存在していることがわかった (Fig. 2d)。

以上により、LNMSO622 はアモルファス母相中に直径約 10 nm ナノ結晶が分散した微細構造をもち、熱処理温度が上昇するとともにアモルファス領域が減少して結晶領域が増大することが明らかとなった。ここで結晶相が立方晶岩塩型構造から、六方晶構造に変わり、 Li_2SO_4 のナノ結晶の析出が生じることが分かった。六方晶構造は立方晶岩塩型構造に比べ、Li イオンの拡散経路の数が少なく⁸⁾、熱処理による六方晶構造のナノ結晶の増加が Li イオンの拡散を妨げ、電池性能に悪影響を与えていると考えられる。

4 ま と め

試料の熱処理温度が上昇するとともにナノ結晶が粗大化し、有する結晶相が立方晶岩塩型構造が優勢な状態から六方晶構造が優勢な状態へ遷移していることが分かった。粗大化した六方晶構造のナノ結晶が増加が Li イオンの拡散を困難にすることで電池性能が劣化していることが考えられる。

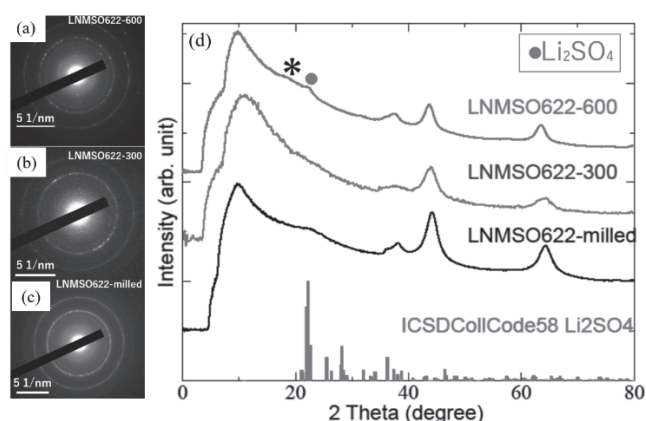


Fig.1 (a) Electron diffraction patterns of LNMSO-milled, (b) 300, (c) 600, and (d) the corresponding intensity profile.

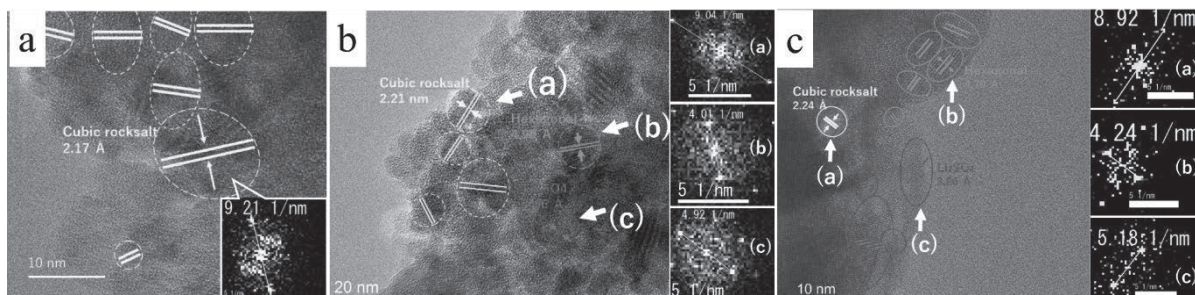


Fig.2, 高分解能 TEM 像と高速フーリエ変換パターン
a. LNMSO622-milled sample, b. LNMSO622-300 and c. LNMSO622-600

参考文献

- 1) J.M. Tarascon, M. Armand, *Nature* **414** (2001) 359-367.
- 2) Idota, T. Kubota, A. Matsufuji, Y. Maekawa, T. Miyasaka, Tin-based amorphous oxide: a high-capacity lithium-ion-storage material, *Science* **276** (1997) 1395-1397.
- 3) J.H. Ku, J.H. Ryu, S.H. Kim, O.H. Han, S.M. Oh, structural defects in amorphous molybdenum dioxide electrode, *Adv. Funct. Mater.* **22** (2012) 3658-3664.
- 4) H. Ye, L. Wang, S. Deng, X. Zeng, K. Nie, P.N. Duchesne, B. Wang, S. Liu, J. Zhou, F. Zhao, N. Han, P. Zhang, J. Zhong, X. Sun, Y. Li, Y. Li, J. Lu, Amorphous MoS₃ infiltrated with carbon nanotubes as an advanced anode material of sodium-ion batteries with large gravimetric, areal, and volumetric capacities, *Adv. Energy Mater.* **7** (2017), 1601602.
- 5) K. Nagao *et al.*, *MRS Advances*, **3** (2018) 1319T.
- 6) Hakari *et al.*, *J. Power Sources*, **562** (2023) 232739.
- 7) Lábár, J. L., *Ultramicroscopy*, **103** (2005) 237-249.
- 8) Alexander Urban, Jinhyuk Lee, Gerbrand Ceder, *Adv. Energy Mater.* **4** (2014) 1400478

共鳴 X 線分光複合計測による希土類化合物が示す価数揺動・転移機構の研究

阪公大院工電子物理工学分野 三村功次郎*, 篠塚知樹, 下岡快晟, 田口幸広,
魚住孝幸

高輝度光科学研究センター 保井晃, 河村直己

熊大理 雀部矩正, 水牧仁一朗

阪大院基礎工 鳥井優杜, 野末悟郎, 藤原秀紀, 関山明

東工大院理 松田達磨

名大院理 金井辰也, 榊原佑弥, 出口和彦

九大院理 光田暁弘, 和田裕文

アゼルバイジャン国立科学アカデミー Z. Jahangirli, I. Amiraslanov, N. Mamedov

(*本研究に関する連絡先: 電話 (内線) 4959, メール k.mimura@omu.ac.jp)

希土類 $4f-5d$ 電子間のクーロン斥力 U_{fd} は、近年報告された価数揺らぎに起因した新奇量子臨界現象の鍵であり、その定量評価が急務である。我々は U_{fd} を実験的に決定できる共鳴硬 X 線光電子分光 (resonant HAXPES: rHAXPES) に着目し、高輝度光科学研究センターとの共同研究により rHAXPES を定常的に行える環境を構築してきた。本年度は、さらに rHAXPES, 共鳴 X 線発光分光 (RXES), 高分解能蛍光検出 X 線吸収分光 (HERFD-XAS) からなる複合計測システムを構築し、希土類化合物に対して試料個体差の影響を完全に排除したスペクトル観測を目指した。

複合計測システムは、SPring-8 BL09XU の実験ハッチ 1 に設置されている HAXPES 装置に発光分光器を取り付けることで構築された。ビームライン光学系と HAXPES および XES 制御システムの同期制御により、複合共鳴 X 線分光測定の実現に成功した。構築した複合計測システムを利用して、我々は、Eu 化合物の中ではめずらしく臨界価数揺らぎを示す候補物質である $\text{EuNi}_2(\text{P}_{1-x}\text{Ge}_x)_2$ の $x = 0, 0.1$ の同一試料表面に対して、Eu L_3 吸収領域における rHAXPES, RXES スペクトルの同時計測および HERFD-XAS スペクトルの計測に成功した。現在、 U_{fd} の導出を目指した観測したスペクトルの解析を進めている。

最近、Au-Al-Yb 系の準結晶が価数揺らぎに起因した量子臨界現象を示すと報告されたことから、準結晶・近似結晶が強相関電子系の新たな舞台として注目されている。我々は、Au-Al-Yb および Au-Ga-Yb 系の準結晶・近似結晶に対しても Yb L_3 吸収領域で rHAXPES 実験を行い、準結晶と近似結晶の間で U_{fd} に約 0.5 eV の差があることを見出した。

また磁場誘起により臨界価数揺らぎを示す YbRh_2Si_2 に対して、これまで観測が困難だとされてきた rHAXPES スペクトルの磁場依存性の観測に成功した。データ解析から、磁場印加、すなわち量子臨界状態に入ることによって U_{fd} が明瞭に変化することを見出した。

希土類化合物の電子状態研究に加えて、遷移金属化合物の $3d$ あるいは $5d$ 電子状態が織りなす物性の解明を目指した分光研究も展開した。

本研究に関する研究発表（原著論文、その他報文、学会等報告）

- 1) “Study on the Tm Electronic States in TmX_3 ($X=Al, Ga, In, \text{ and } Pd$) Using X-ray Emission and Photoemission Spectroscopies”, N. Kawamura, N. Sasabe, A. Yasui, Y. Hirose, F. Honda, K. Mimura, Y. Matsumoto, and T. Uozumi, JPS Conf. Proc. **38**, 011108/1-6 (2023).
- 2) “Bulk superconductivity in Pb-substituted BiS_2 -based compounds studied by hard-x-ray spectroscopy”, A. Yamasaki, T. Oguni, T. Hayashida, K. Miyazaki, N. Tanaka, K. Nakagawa, K. Tamura, K. Mimura, N. Kawamura, H. Fujiwara, G. Nozue, A. Ose, Y. Kanai-Nakata, A. Higashiya, S. Hamamoto, K. Tamasaku, M. Yabashi, T. Ishikawa, S. Imada, A. Sekiyama, H. Sakata, and S. Demura, Phys. Rev. B **109**, 045131/1-8 (2024).
- 3) “磁場印加下偏光制御共鳴硬 X 線光電子分光による $YbRh_2Si_2$ の量子臨界点近傍の電子状態観測”, 保井晃, 雀部矩正, 水牧仁一郎, 三村功次郎, 松田達磨, 日本物理学会 第 78 回年次大会, 17pA205-5 (2023).
- 4) “X 線分光法による鎖状反強磁性体 $TiFeS_2$, $TiFeSe_2$ の電子状態の研究”, 篠塚知輝, 井上賢太, 浜原健太, 後藤田将史, 下岡快晟, 雀部矩正, 沈用球, 脇田和樹, Z. Jahangirli, I. Amiraslanov, 保井晃, 河村直己, N. Mamedov, 三村功次郎, 日本物理学会 第 78 回年次大会, 17aPS-10 (2023).
- 5) “ $LaCoO_3$ の $3s \rightarrow 2p_{1/2}$ 共鳴 X 線発光スペクトルの温度変化”, 松井開人, 田口幸広, 澤田惇平, 川又修一, 魚住孝幸, 三村功次郎, 日本物理学会 第 78 回年次大会, 17aPS-32 (2023).
- 6) “高分解能蛍光検出 X 線吸収分光による価数揺動物質 $\alpha\text{-Yb}(Al_{1-x}Fe_x)B_4$ の Yb 5d 電子状態の観測”, 鳥井優杜, 藤原秀紀, 野末悟郎, 久我健太郎, 河村直己, 東晃太郎, 三村功次郎, 関山明, 日本物理学会 第 78 回年次大会, 18pPSA-10 (2023).
- 7) “X 線分光による Au-Al-Yb 準結晶・近似結晶の電子状態の研究”, 下岡快晟, 田村浩太郎, 後藤田将史, 浜原健太, 篠塚知輝, 保井晃, 河村直己, 水牧仁一郎, 雀部矩正, 金井辰也, 出口和彦, 三村功次郎, 日本物理学会 第 78 回年次大会, 18pPSA-47 (2023).
- 8) “X 線分光スペクトルの偏光依存性観測による鎖状反強磁性体 $TiFeS_2$, $TiFeSe_2$ の電子状態の研究”, 篠塚知輝, 後藤田将史, 下岡快晟, 沈用球, 脇田和樹, Z. Jahangirli, I. Amiraslanov, 河村直己, N. Mamedov, 三村功次郎, 第 37 回日本放射光学会年会, 11P-53S (2024).
- 9) “高分解能蛍光検出 X 線吸収分光による価数揺動系 $\alpha\text{-Yb}(Al_{1-x}Fe_x)B_4$ の Yb 5d 電子構造観測”, 鳥井優杜, 藤原秀紀, 野末悟郎, 久我健太郎, 河村直己, 東晃太郎, 三村功次郎, 関山明, 第 37 回日本放射光学会年会, 11P-56S (2024).
- 10) “磁場印加偏光制御共鳴硬 X 線光電子分光による $YbRh_2Si_2$ の量子臨界点近傍の電子状態”, 保井晃, 雀部矩正, 水牧仁一郎, 三村功次郎, 松田達磨, 第 37 回日本放射光学会年会, 12C1-4 (2024).
- 11) “Au-Al-Yb 準結晶・近似結晶の Yb 4f-5d クーロン斥力: X 線分光法による研究”, 下岡快晟, 田村浩太郎, 後藤田将史, 浜原健太, 篠塚知輝, 保井晃, 河村直己, 水牧仁一郎, 雀部矩正, 金井辰也, 出口和彦, 三村功次郎, 第 37 回日本放射光学会年会, 12P-42S (2024).

四重ペロブスカイト遷移金属酸化物 $\text{SrCu}_3\text{Ru}_4\text{O}_{12}$ の 光電子スペクトルにおける準粒子ピークの温度依存性

阪公大院工 安齋太陽^{い*}、菊池泰明^ろ、加藤夕汰^は、山田幾也^に、播木敦^ほ
 広大放射光セ 佐藤仁^へ、有田将司^と
 (*本研究に関する連絡先：電話（内線）4957、メール anzai@omu.ac.jp)

化学式 $AA'B_4O_{12}$ で表される四重ペロブスカイト型の酸化物では、 A' と B サイトを占有する異種の遷移金属イオン間の電荷・軌道・スピンの自由度が強く相関して、通常のペロブスカイト型酸化物で禁止されていた物性が発現する^[1]。本研究で対象とする $A = \text{Sr}$ の電子比熱係数は 108 mJ/mol K^2 と評価されており、 d 電子系では珍しく重い電子状態を示す^[2]。磁気モーメントを有する局在的な $\text{Cu } 3d$ 軌道と遍歴的な $\text{Ru } 4d$ 軌道が混成して近藤一重項を形成すると考えられる^[1]。近藤状態になると電子励起スペクトルの混成の強さに相当するエネルギーにピークが現れる^[3]。そのため、準粒子ピークを精密に評価することが重い電子状態を理解するうえで重要となる。本研究では、放射光を用いた光電子分光法により $\text{SrCu}_3\text{Ru}_4\text{O}_{12}$ の準粒子ピークの温度依存性を決定した。実験は広島大学放射光科学研究センターの BL-7 で行った。

図 1(a) に、励起光エネルギー $h\nu = 16 \text{ eV}$ で測定したフェルミ準位近傍の光電子スペクトルの温度依存性を示す。温度 10 K にてエネルギー $|\omega| = 19 \text{ meV}$ と 80 meV にピークを観測した。温度の上昇とともに 19 meV のピークは高結合エネルギー側へ移動した。各温度のスペクトル $I(T)$ から温度 70 K のスペクトル $I(70)$ を差し引いてピークの変化を可視化した。その結果を図 1(b) に示す。温度の上昇とともにピークは急速に減衰する。このような振る舞いは重い電子状態になる Yb 化合物でも確認されており、アンダーソン模型で記述される温度変化にも合致する^[4]。そのため、本研究で観測した 19 meV のピークは重い電子状態の形成に由来する準粒子ピークであると判断される。

参考文献

- 1) T. Kobayashi *et al.*, J. Phys. Soc. Jpn. **73**, 2373 (2004).
- 2) T.-H. Kao *et al.*, Phys. Rev. B **96**, 024402 (2017).
- 3) A. N. Tahvildar-Zadeh *et al.*, Phys. Rev. Lett. **80**, 5168 (1998).
- 4) H. Anzai *et al.*, Phys. Rev. B **101**, 235160 (2020).

本研究に関する研究発表

放射光を用いた光電子分光法による四重ペロブスカイト酸化物 $\text{SrCu}_3\text{Ru}_4\text{O}_{12}$ の準粒子ピークの観測、安齋太陽、菊池泰明、加藤夕汰、佐藤仁、有田将司、山田幾也、播木敦、日本物理学会、20pPSH-20 (2024).

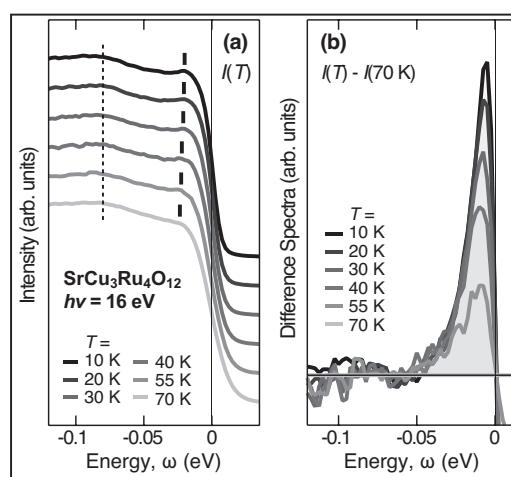


図 1 (a) 励起光 $h\nu = 16 \text{ eV}$ で測定したフェルミ準位近傍の光電子スペクトルの温度依存性。(b) 各温度のスペクトル $I(T)$ から温度 70 K の強度 $I(70)$ を引き算した結果。

フォトニック結晶光モジュールへの陽子線照射実験

阪公大工学研究科 高濱渉、高橋和*

若狭湾エネルギー研究センター 鈴木耕拓

(*本研究に関する連絡先：電話（内線）3537、メール y-takahashi@omu.ac.jp)

我々は、宇宙機の静電気事故を防ぐために、シリコンフォトニック結晶モジュールを使用したフォトニックプラズマセンサを開発中である。シリコンフォトニクスを宇宙産業で利用するためには、まず最初に、その放射線耐性を明らかにする必要がある。宇宙空間には高エネルギーの陽イオン粒子が多いため、電子デバイスは故障しやすい。しかし、PN ドーピングされていないシリコンフォトニック結晶は電子デバイスではないため、放射線に強いと予想される。そこで、大阪公立大学の放射線研究者に技術相談しながら、若狭湾エネルギー研究センターで、この仮説を検証するための陽子線照射実験を行った。

真空チャンバとマイクロ波イオン源イオン注入装置を使用した *in situ* 陽子線照射実験を行った。陽子線によりほぼ線形に光強度は減少した。照射を止めると強度は回復したが、初期値には戻らなかった。この結果から、光吸収の原因として、自由キャリア吸収とプロトンによる欠陥吸収の2種類があると判明した。欠陥吸収による損失は、照射量に線形比例した。そのため粒子線計測装置としての利用可能性を示唆している。さらに、宇宙で浴びる10年分の陽子線を照射してもモジュールは壊れず、線形応答を維持した。今後の方針として、宇宙応用を目指しプロトンによる光損失の蓄積を定量的に解明する予定である。

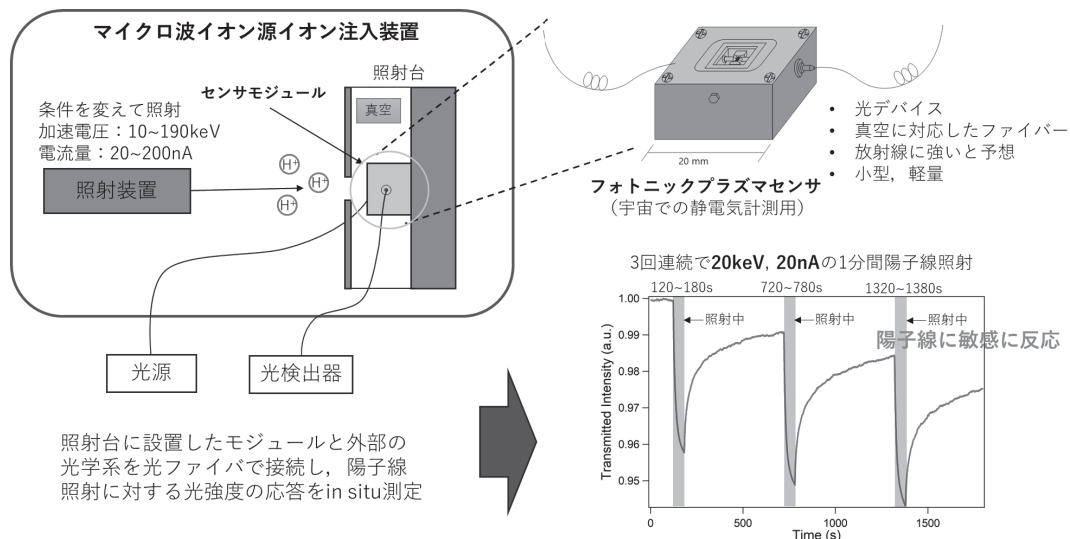


図1. 陽子線照射実験の概要と結果.

本研究に関する研究発表（原著論文、その他報文、学会等報告）

1) 高濱 渉、大塚 亘晟、石原 歩、阿片 雅玖人、高橋 和

「フォトニック結晶を用いた空間電荷センサモジュールの熱真空実験」

2024年 第71回応用物理学会春季学術講演会（東京都市大学）

ヒト由来リポカリン型プロスタグランジンD合成酵素 (L-PGDS) と Lapatinib との複合体の X 線結晶構造解析

大阪公立大学 大学院農学研究科 生命機能化学専攻：乾 隆*, 西村 重徳, 酒井 佑真, 松本 彩佳
(*本研究に関する連絡先：電話（内線）4611, メール：inuit@omu.ac.jp)

【利用目的】リポカリン型プロスタグランジンD合成酵素 (L-PGDS) は、生体内輸送蛋白質群であるリポカリンファミリーに属し、分子量が250–800程度の様々な疎水性低分子を結合する機能を有する [1]。これまでに我々は、このような L-PGDS の結合能に着目し、本蛋白質を難水溶性薬剤に対する薬剤キャリアとして利用した新規ドラッグデリバリーシステム (DDS) の開発を行ってきた [2–4]。現在、HER2陽性乳がんに対する抗がん剤である lapatinib の輸送効率の向上を目指し、lapatinib をより強固に結合する L-PGDS の創製に取り組んでいる。蛋白質工学的な手法を用いて lapatinib と高親和性に結合する L-PGDS を設計するためには、L-PGDS と lapatinib との結合様式に関する深い知見が必要となる。そこで本年度より、L-PGDS と lapatinib との複合体の立体構造、および L-PGDS と lapatinib の相互作用の解明を目指して X 線結晶構造解析を行っている。

【実験】Lapatinib/L-PGDS 複合体は 760 μ M L-PGDS 溶液に 870 μ M lapatinib を溶解させて作成した。結晶化用プレートを用いてタンパク質溶液とリザーバー溶液 (0.1 M チオシアン酸ナトリウム, 28-31% PEG3350) を 1:1 で混合し、20°Cでの sitting drop 蒸気拡散法によって結晶化を行った。X線回折データの収集は SPring-8 BL26B1 で行った。波長 1.0Å の X 線を照射し、振動角 0.1°の oscillation 法によって $\omega = 0^\circ \sim 360^\circ$ までの回折イメージを X 線検出器 EIGER 4M (DECTRIS) を用いて撮影した。

【結果と考察】結晶化条件の最適化によって X 線結晶構造解析に適した Lapatinib/L-PGDS 複合体の単結晶を得ることができ、X 線回折データを収集することができた。分解能 0.97 Å までのデータを用いて、L-PGDS の立体構造 (PDBID:4orr) をサーチモデルとした分子置換法によって初期位相を決定し、立体構造モデルを構築することができた。精密化後の R-factor は 25.5%, R-free は 28.1%である。Omit map 上で L-PGDS のキャビティ付近に位置する Trp112 と Phe143 の側鎖の間から Phe83 に伸びる電子密度が観測されたが、観測された電子密度が不明瞭であったため、lapatinib の構造を決定するには至らなかった。複合体中での lapatinib の構造解析のためには、ソーキング条件等結晶化の方法を改良する必要がある。また、L-PGDS よりも lapatinib に対する結合親和性が高い変異体 M94W-L-PGDS を用いた実験も行う予定である。

【参考文献】

- [1] Kume, S. *et al.* *Biochem. J.* (2012) **446**, 279–289.
- [2] Fukuhara, A. *et al.* *J. Control. Release* (2012) **159**, 143–150.
- [3] Nakatsuji, M. *et al.* *PLoS One* (2015) **10**, e0142206.
- [4] Mizoguchi, M. *et al.* *Eur. J. Pharm. Sci.* (2015) **74**, 77–85.

金属タンパク質の構造生物学的研究

阪公大農学研究科 藤枝伸宇

(*本研究に関する連絡先：電話（内線）4703、メール fujieda@omu.ac.jp)

チロシナーゼはメラニン生成の初発反応に関与する鍵酵素であり、フェノールの酸化とドーパの酸化反応を司る。チロシナーゼがもつ二核銅中心の銅イオンはそれぞれ3つのヒスチジンによって保持されている。美白を促進にはチロシナーゼ阻害剤がメラニン合成を効率的に阻害することから、その化粧品への展開が重要である。そのため、チロシナーゼ反応の分子機構を解明するための研究が行われてきた。モデル錯体研究で、フェノール水酸化の律速段階は基質が銅と配位結合を形成した直後の芳香族求電子置換反応の段階と考えられてきた。我々は活性制御ドメインを加水分解除去した活性型チロシナーゼ、L-チロシン、L-ドーパとの複合体、酸素との複合体の結晶構造を拠点事業の一環として決定した。チロシナーゼのフェノール水酸化反応機構では、基質の結合により、片側の銅イオンが分子内で遷移していることを明らかにした。さらに、銅イオンの間に存在する酸素原子（化学状態としては過酸化水素）がチロシンの炭素原子側へと大きく偏ることで、反応性が増強されている可能性を見出した。昨年度まで、L-フルオロチロシンとの複合体結晶構造解析に取り組んできたが、L-チロシンに比べ分子サイズの大きい、L-フルオロチロシンは基質結合部位に結合できないことが分かっていた。そこで、基質結合部位近傍のアミノ酸残基を分子サイズの小さいアミノ酸に変異させた変異体との複合体結晶構造解析に取り組んできた。昨年度では、様々な条件検討を行ったが、最終的に明確にL-フルオロチロシンに由来すると断定できる電子密度が得られなかった。本年度ではL-フルオロチロシンの類縁体との複合体の結晶構造解析に取り組んだ。まず、クライオ溶液のL-フルオロチロシン類縁体の濃度を5, 10, 20 mMと増加させ、同様の実験を行ったところ、電子密度を得ることができた。現在、解析中である。チロシナーゼの発現確認に当施設の利用を予定している。

構造解析に向けた解糖系酵素エノラーゼの精製ならびに活性測定

阪公大院農 鷺尾成実、三浦夏子*、片岡道彦

(*本研究に関する連絡先：電話（内線）4641、メール miuran@omu.ac.jp)

酵母 *Saccharomyces cerevisiae* においては、低酸素条件下で Glycolytic body と呼ばれる 20 種類以上の代謝酵素群の集合体が形成される(1,2). 以前の研究で我々は、集合体を形成する代謝酵素の 1 つであるエノラーゼについて集合体形成に重要な 21 アミノ酸配列を同定しており、配列内の 1 アミノ酸変異が集合体形成に影響を与えることを示した(1,3). そこで本研究では、集合体形成率に影響を与えたエノラーゼの 1 アミノ酸変異が酵素活性に与える影響を明らかにすることを目的とした. 具体的な実験操作としては、野生型エノラーゼに加えて、低酸素条件下での集合体形成率が増加あるいは減少した 1 アミノ酸変異体 4 種類を大腸菌で異種発現させるためのプラスミドを構築し、全ての酵素について精製を確認した. 各酵素の活性を測定したところ、様々な pH 条件下で野生型と変異型エノラーゼの全てについて活性が確認できた. 今後、精製酵素を用いて構造解析等を行い、集合体形成の分子基盤を明らかにする予定である.

参考文献

- 1) Miura et al., 2012, Eukaryotic Cell, 11(8), 1075-1082
- 2) Jin et al., 2017, Cell Reports, 20, 895-908
- 3) Murata et al., 2023, Letters in Applied Microbiology, 76(8), ovad095

本研究に関する研究発表（学会等報告）

- 1) 鷺尾 成実, 三浦 夏子, 片岡 道彦. 低酸素条件下におけるエノラーゼ活性の変化および変異体活性の変化の検証. 日本農芸化学会 2024 年度大会 2024 年 3 月 25 日

低速原子散乱分光法による絶縁性 $\text{CaF}_2(111)$ の表面構造解析

大阪公立大学国際基幹教育機構

譚 (タン) 廣 (ゴオン) *, 福田 浩昭

梅澤 憲司 (工学研究科 量子放射線系専攻 (兼任))

(*本研究に関する連絡先: 電話 (内線) 3902、メール tan@omu.ac.jp)

【緒言】

従来、電子線やイオンビームなどの荷電粒子線を用いた表面解析は、チャージアップのため絶縁体の表面を測定することは困難であった。そこで本研究は、電氣的に中性で 100 kHz にパルス化された $3 \text{ keV-}^4\text{He}^0$ および $3 \text{ keV-}^{20}\text{Ne}^0$ を入射プローブとする低速原子散乱装置を利用することで、絶縁体である酸化物やフッ化物の表面観察を可能とした[1, 2]。本研究では、これまでに測定が困難であった絶縁性 $\text{CaF}_2(111)$ の単結晶最表面の原子構造を明らかにすることを目的とする。

【実験方法と結果】

蛍石型構造の $\text{CaF}_2(111)$ 単結晶試料を劈開し真空チャンバーの中に導入した。測定は、超高真空下で行われた。入射プローブの粒子を試料に衝突させ、 180° 後方散乱された粒子を MCP で検出し測定を行った。得られたスペクトルは、飛行時間分解型である。Fig. 1 に(a) $3 \text{ keV-}^4\text{He}^0$ および(b) $3 \text{ keV-}^{20}\text{Ne}^0$ を入射プローブとしたときの $(\theta-\varphi)$ 散乱強度マッピング像を示す。この原子像は、表面数原子層の Ca 元素の信号を合成したものである。両方の入射プローブに関して、 CaF_2 の(111)面を反映した対称性を有する原子パターンが得られていることを観察した。この結果に加えて、Polar スキャンに基づく散乱強度とシミュレーションを用いた計算結果との議論から、最表面の結晶構造や原子層を特定することができる。

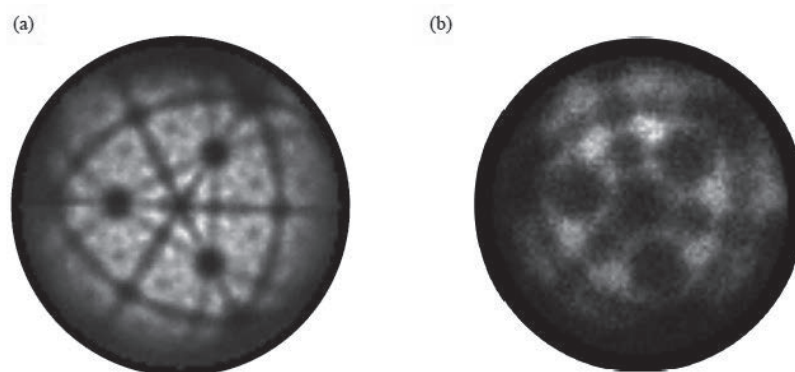


Fig.1 The (θ, φ) mapping of scattered intensity arising from impact collision on cleaved $\text{CaF}_2(111)$.

(a) The probe is $3 \text{ keV-}^4\text{He}^0$ atom beam. (b) The probe is $3 \text{ keV-}^{20}\text{Ne}^0$ atom beam.

参考文献

- 1) 福田浩昭他, 第 81 回応用物理学会 9p-Z05-6.
- 2) 譚 廣他, 第 82 回応用物理学会 10p-N204-16.

本研究に関する研究発表 (原著論文、その他報文、学会等報告)

- 1) H. Fukuta, G. Tan, T. Oga, A. Matsuda, M. Yoshimoto, and K. Umezawa, J. Vac. Sci. Technol. A **41**, 043205 (2023).

腫瘍への滞留性向上を目指した新規LAT1選択的PETプローブの開発

阪公大研究推進 大田洋一郎、石村美紀、村田優介、切畑光統

(*本研究に関する連絡先：電話（内線）3307、メール kirihata@omu.ac.jp)

L-3-[¹⁸F]Fluoro- α -methyltyrosine ([¹⁸F]FAMT)は、がん細胞に過剰発現するL型アミノ酸トランスポーター1 (LAT1) に対して高い選択性を有するPET (陽電子断層撮影) のプローブ分子として知られるが、腫瘍からの早期消失と腎臓への高集積の改善が課題となっている。本研究では、FAMTの腎臓での取り込みを抑制することで腫瘍への集積性と滞留性の向上が期待される新規なFAMT誘導体の開発とその評価について研究展開した。

FAMTのベンゼン環上4位水酸基 (-OH) はアニオン性を示し、有機アニオントランスポーター1 (OAT1) と相互作用して尿細管に取り込まれることが報告されている。本研究では、OH基の代わりに相互作用を阻害する中性の置換基にO-メキシ基 (-OCH₃) を導入した新規なPETプローブ分子として [¹⁸F]FAMT-OMeを設計、多目的合成装置MPS-200によるホット合成の最適化を行い合成経路を確立した。また、MPS-200に付帯する [¹⁸F]FAMT-OMe専用カセットおよび制御プログラムを新たに同時開発した。これらの改良MPS-200合成装置を用いて放射能3.0 GBq、放射化学的純度99%以上で目的とする [¹⁸F]FAMT-OMeの合成に成功した。

[¹⁸F]FAMT-OMeは、腎臓からは経時的に排泄され、また、腫瘍からの消失は緩やかであり、これらの投与60分後の%ID/gは、腫瘍で 6.27 ± 0.48 、腎臓で 11.67 ± 1.06 、血液で 2.89 ± 0.26 であった。これらの動態解析は、その腫瘍集積性および滞留性において、 [¹⁸F]FAMTを凌駕するPETプローブであることを示唆しており、医療への適用が期待される。

本研究に関する研究発表（原著論文、その他報文、学会等報告）

- 1) 第62回日本核医学会学術総会（2022年9月、京都）にて発表

リボフラビントランスポーターを標的とするホウ素薬剤の合成と評価

阪公大研究推進 服部能英、切畑光統

(*本研究に関する連絡先：電話（内線）3307、メール kirihata@omu.ac.jp)

ホウ素—中性子捕捉療法 (BNCT) において ^{10}B 原子を腫瘍部位へ選択的に高集積させるための手法は要素技術の一つであり、これを達成するための効率的な新規ホウ素薬剤の開発は重要な課題の一つであると言える。

BNCT 用ホウ素薬剤を設計する上で最も一般的な戦略は、腫瘍へ選択的に集積する性質を持つ分子すなわち腫瘍指向性の高い分子に、ホウ酸やホウ素クラスターのようなホウ素原子団を化学修飾によって導入するという方法である¹⁾。これまでに我々は、一分子当たりのホウ素占有率や水溶性が高く毒性の低いドデカボレート [$\text{B}_{12}\text{H}_{12}$] をホウ素源として用いた BNCT 用新規ホウ素薬剤の開発を継続的に進めてきた。その中で、BSH ($[\text{B}_{12}\text{H}_{11}\text{SH}]^2-$) のチオール基を介して腫瘍指向性分子へドデカボレートに導入するという手法を薬剤設計の基本方針として定め、これを基に様々な BNCT 用ホウ素キャリアーの設計・合成を行ってきた²⁾。

ビタミン B2 としても知られる水溶性ビタミンであるリボフラビンは、リボフラビントランスポーター RFVT1~3 を介して細胞内に輸送されている。中でも RFVT3 は、グリオーマ、乳がん、前立腺がんなどの多くの腫瘍細胞に高発現していることが報告されており、がん診断用の PET トレーサーや、DDS における腫瘍送達の標的分子として注目されている。

本研究では、腫瘍指向性分子としてリボフラビンを選択し、リボフラビントランスポーターを標的とした新規ホウ素薬剤の開発を行った。このために、リボフラビンのリビトール部位にアルキルリンカーを介して BSH やスルホニオドデカボレートを導入した RFDB 類を合成し、これらが RFVT3 を高発現している腫瘍細胞へ高濃度のホウ素を送達できることや、中性子線照射による BNCT によって腫瘍細胞を効率的に破壊できることを明らかにした。

参考文献

- 1) Soloway A. H.; Tjarks W.; Barnum B. A.; Rong F. G.; Barth R. F.; Codogni I. M.; Wilson J. G. The Chemistry of Neutron Capture Therapy. *Chem. Rev.*, 1998, 98, 1515-1562.
- 2) Nakase I.; Katayama M.; Hattori Y.; Ishimura M.; Inaura S.; Fujiwara D.; Takatani-Nakase T.; Fujii I.; Futaki S.; Kirihata M. Intracellular target delivery of cell-penetrating peptide-conjugated dodecaborate for boron neutron capture therapy (BNCT). *Chem. Commun.*, 2019, 55, 13955-13958.

本研究に関する研究発表（原著論文、その他報文、学会等報告）

- 1) 第19回日本中性子捕捉療法学術大会にて発表

令和5年度 研究計画の紹介(放射線業務従者報告書)

執筆日:令和6(2024)年6月5日

研究推進機構 創薬科学研究所 特任教授 土居久志

研究計画および作業内容:

陽電子放出核種の標識実験ならびに臨床用 PET 放射性薬剤の化学合成

本件に関する放射線業務は共同研究先の理化学研究所神戸キャンパス・分子イメージング研究施設にて実施した。本研究では、ミトコンドリア外膜に発現しているトランスロケータータンパク質 (TSPO) に特異的に結合する低分子薬剤 DPA-714 に着目し、その臨床用 PET 放射性薬剤を製造することを目的に、DPA-714 の ^{18}F -標識化学条件の最適化と分離精製法の確立を行った。製造法を鋭意検討し、最終的に得られた製造条件を臨床研究実施機関である医療法人仁泉会 MI クリニックに技術移管した。今後 (令和6年度中に)、医学研究者の総括下に、脳内炎症 (ミクログリアにおけるミトコンドリア機能障害) に関する患者と健常者に ^{18}F -標識 DPA-714 を投与して、それぞれの脳 PET イメージングが実施されることになっている。

本件と並行して、アルブミンなどの薬物輸送タンパク質の生体内薬物動態イメージングを実現するために、タンパク質の特定官能基に特異的に標識できる反応剤の開発を進めてきた。具体的にはアルキルチオ硫酸塩が持つ反応性に着目して ^{11}C -標識アルキルチオ硫酸塩と ^{18}F -標識アルキルチオ硫酸塩の開発に着手した。今後、これらの標識反応剤の効果的な製造法 (化学合成法) に関して、非放射性条件下および PET 放射性条件下の双方から化学研究を実施する予定である。なお、本件のタンパク質の標識化研究は、創薬科学研究所の所長である乾隆教授が理化学研究所との共同研究として実施しているものである。

気液界面パルス放電を利用した大気圧放電プラズマ源の研究

阪公大研究推進 松浦寛人*、朝田良子

阪公大院工量子放射線工学分野 関林、仲野匠

京大エネルギー理工学研 門信一郎

(*本研究に関する連絡先：電話（内線）4220、メール matsuura@omu.ac.jp)

大気圧プラズジェットは一般にサイズが小さいため、農業や環境応用を考えると必ずしもベストのプラズマ源ではない。しかしながら、電極の一つを水に置き換え、プラズマの生成を気液界面で起こせば処理すべき水中に効果的に化学活性種を送ることができるかと期待される。既存の針電極と金属円盤を用いた放電研究を元に、気液界面放電の特性を調べはじめた。図1にその例を示す。接地電極を沈めた水の深さが大きいためか、既存の直流電源では放電は起こらなかったが、パルス電源を使うことで安定な放電が維持できた。

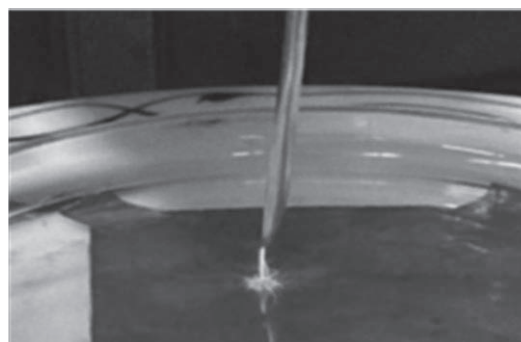


図1. 金属針と水面の間のパルス放電。生成されたプラズマが界面に1センチ程度広がっている。

用いた電源の優劣を評価するため、放電維持電力の大小の評価を開始している。界面での広がりが大きなプラズマを生成するためには、単純な交流電源よりは単極性のパルス電源の方が有効であるようである。また、DBDプラズマジェットで行ったのと同様に、化学プローブを用いた初期的なラジカル計測も進めている。

参考文献

- 1) “Self-transition phenomena of the DC-atmospheric pressure Argon discharge “、H.Matsuura, T.Kiriishi, K.Nakano, and H.Akatsuka, 第22回プラズマ材料科学シンポジウム, 平成21年、東大.

本研究に関する研究発表（原著論文、その他報文、学会等報告）

- 1) “パルス電源を用いた気液界面放電の基礎特性”, 関林、松浦寛人、仲野匠, 応用物理学会関西支部2023年度第2回講演会, 令和5年、関西学院.
- 2) “大気圧下における水面放電によるプラズマ発生とその特性解析”, 関林、松浦寛人、仲野匠, 第41回プラズマプロセッシング研究会, 令和6年、東工大.

実用炉環境で使用可能なダイバータプラズマ熱流束計測法の開発

阪公大研究推進 松浦寛人*

阪公大院工量子放射線工学専攻 ブイスアンニャットソン、仲野匠

筑波大学プラズマ研究センター 坂本瑞樹、皇甫度均、江角直道

(*本研究に関する連絡先：電話（内線）4220、メール matsuura@omu.ac.jp)

筑波大学では、ダイバータ模擬実験のための新装置(Pilot GAMMA PDX-SC)が建設され、100秒を超える放電時間を計画されている。長時間放電プラズマが照射されるプラズマ対向材や熱流束センサーは、何らかの冷却機構を備えてあり、熱不可の評価にはこの冷却効果、または熱損失を適切に考慮しなければならない。

プラズマ照射を受けるターゲットの表面と背面の温度変化を同時にモニターすることにより、ターゲット(の照射面側)からの熱損失が両者の温度差から実測できる。また、照射後の温度低下の特徴的時間を使って冷却効果をモデル化することが出来る。前者はいわゆる勾配法の概念であり、後者はパルス分解法に取り込むことが出来る。図1に、ガラスターゲットを用いたセンサーを大気圧プラズマジェットに適用した時のターゲット温度データ例を示す。上記の2つの評価法で求めた熱流束は時間変化も含めてよく一致した。この結果を踏まえて、ダイバータ用の金属ターゲットセンサーの設計・制作を進めている。

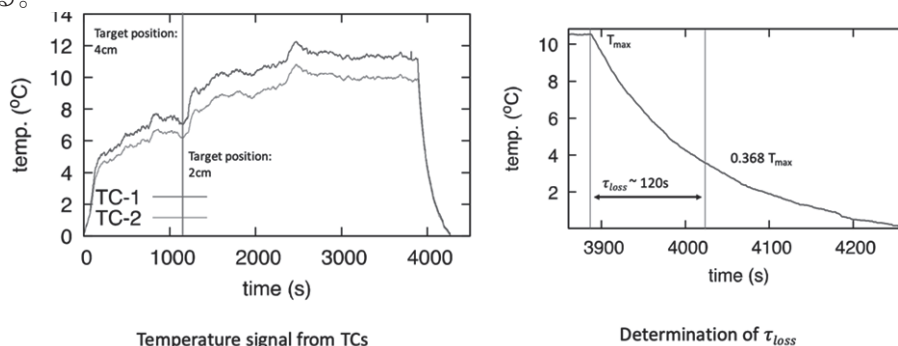


図1. 長時間熱流束センサーによる大気圧プラズマジェットの測定例。t \sim 1500 sにセンサーとプラズマ源の間の距離を減らしているおり、温度変化が大きく変化している。

参考文献

- 1) 「原型炉に向けてのダイバータの研究開発課題」, 上田良夫他, J. Plasma Fusion Res. Vol.92, No.12 (2016)868-903.

本研究に関する研究発表（原著論文、その他報文、学会等報告）

- 1) "Sensor Design for Divertor Heat Flux Estimation in Hours Operation", B.X.Nhat Son, T.Nakano, H.Matsuura, 2nd iFPC/13th OS Joint conference, (2023, Busan).
- 2) 「長時間動作中のダイバータ熱流束を評価するためのセンサー設計」, ブイスアンニャットソン、仲野匠、松浦寛人, プラズマ・核融合学会第40回年会講演会, (2023, 盛岡).

大学の教育・研究現場における X 線装置の管理

大阪公立大学 研究推進機構 放射線研究センター 秋吉 優史

(*本研究に関する連絡先：電話（内線）4221、メール akiyoshi-masafumi@omu.ac.jp)

法令によって明確に定義が成されている「放射性物質等」と異なり、「X 線装置」については法令上の明確な定義が存在しない（「特定 X 線装置」については明確に定義が成されている）。

- (1) 1 メガ電子ボルト未満で定格管電圧が 10 キロボルト以上のエックス線発生装置（例：XRF、ソフテックス、X 線回折装置等）又は付随的にこれと同等のエックス線を発生する装置
- (2) 定格加速電圧が 100 キロボルト以上の電子顕微鏡

という形で X 線装置を定義して全学的な管理を行っている大学も存在している一方で、一切 X 線装置については管理を行っていない大学も存在している。

さらに、一口に X 線装置と言ってもほとんどの装置は装置内部のみでの X 線照射を行い、外には漏洩しないため管理区域の設定や主任者の選定を必要としない場合がほとんどである。エックス線装置として求められている管理項目の除外規定は明確に定義されており（表 1）、逆に除外規定を満たさない装置については電離則に則った管理が必要となる。

表 1. 電離則において求められる管理項目と除外規定の抜粋

管理項目	除外規定
管理区域の明示 (電離則第三条)	実効線量が三月に付き 1.3mSv を超える恐れがない場合。
放射線装置室の設定 (電離則第十五条)	その外側における外部放射線による 1cm 線量当量率が 20 μ Sv/h を超えないように遮へいされた構造の放射線装置を設置する場合又は放射線装置を随時移動させて使用しなければならない場合。
警報装置 (電離則第十七条)	管電圧 150kV 以下の場合。
立入禁止 (電離則第十八条)	実効線量が一週間に付き 1mSv 以下の場所。
X 線作業主任者の選任 (電離則第四十六条)	管理区域に該当しない場合。また、装置内部は管理区域であっても、内部に体の一部が入ることがない場合。
計画の届出 (労働安全衛生法 第八十八条)	労働安全衛生規則第八十五条 → 別表七 → 電離則第十五条の放射線装置に該当しない場合。

これらの除外規定には線量評価が求められる項目があるが、X 線の多くはパルス状に放出されており、検出器の時間分解能を超える頻度で光子が入射し、パイルアップを起こしたり、大幅な数え落としが起こったりする場合があります。電流モードで測定を行う電離箱や、積算線量の評価を行う個体線量計を用いた評価が必要である。さらに、50 keV 以下の低エネルギーの X 線は NaI シンチレータなどではカットオフを行って測定できない場合もある（パイルアップによりごく低い線量が表示されることもある）[1]。

その一方で、装置の調整や改造を行う場合などの事故が散見されるが、思わぬ方向への散乱線が飛んでいる場合など、蛍光板などによりリアルタイムで定性的にでも線量を把握する工夫も必要である。

実際に装置を使用するユーザーは必ずしも電離則に精通しているわけではなく、また導入当時は問題なくても経年変化や改造により状態が変わった場合の評価も必要である。さらに、担当職員が退職した際など、廃止の手続きなどは周囲の人間には分からないため、全学的なサポートが必要であるが、全国的な実態を調査した例はない。

さらに本質的な問題として「X線装置」の定義が成されていないため、低電圧の真空放電管の管理をどのようにしたら良いのかという問いには、未だ答えが出ていない。筆者は長らくクルックス管の安全管理について検討を行ってきた。クルックス管は1895年にレントゲンがX線を発見した際に用いられた、放射線研究の歴史上極めて重要な装置である。現行の学習指導要領に於いては中学の第2学年に於いて全ての生徒が放射線について学習することになるため、放射線教育の歴史の上で極めて画期的なことである。しかしながら現在教壇に立つ多くの教員自身はほとんど放射線に関する教育を受けておらず、クルックス管からはX線が放出されているという、19世紀から知られていた知識が受け継がれていない。その一方で、一部の製品ではクルックス管表面からの距離5 cmでの70 μ m線量当量率が250mSv/hというエネルギーは低いが高い強度のX線が漏洩していることが1994年に既に報告されている[2]。我々の研究でも15 cmの距離における10分間の測定で70 μ m線量当量が33mSv（1時間あたりの線量率にすると200mSv/h）という極めて高い線量を漏洩する装置が発見されており、放射線が放出されていることを知らずに不注意な取扱いを行うと大きな線量を被ばくする恐れがある。

しかしながら我が国に於いては現状ではクルックス管は一切の法的規制を受けていない。X線を発生させることを目的としない装置はX線装置ではないという厚労省見解が示されているが[3]、例えば漏洩するX線を用いて透過像撮影や線減衰係数測定などの放射線教育のための実験を行う場合など、その解釈がどこまで成り立つのか不明確である。これは、25kV程度で電子を加速するテレビのブラウン管などについても同様であり、様々な電圧を印加する各種の真空放電管のどこからが規制対象なのかは一切示されていない。とは言え冒頭に挙げたある大学の定義ではクルックス管もブラウン管もX線装置となり管理が必要となってしまうなど、何でも規制を行えば良いという物ではなく、自主的な管理が求められているため、「クルックス管プロジェクト」[4]では実験上の注意点など様々な安全管理のための検討を行ってきたが、これ以上はNGという現実的で明確な規制も一方で必要ではないだろうか。

参考文献

- [1] クルックス管からの低エネルギーX線評価手法の開発, 秋吉 優史ほか, 放射線化学, 106 (2018) 31-38.
- [2] クルックス管から漏洩するX線の実態とその対策, 大森儀郎, 神奈川児立教育センター研究集録, 13(1994)21-24.
- [3] 厚労省 全国規模での規制改革要望に対する見解の確認, 電離放射線障害防止規則におけるX線装置にかかる届出義務の簡素化 <http://www8.cao.go.jp/kisei/siryu/030919/09-2.pdf>
- [4] <http://bigbird.riast.osakafu-u.ac.jp/~akiyoshi/Works/CrookesTubeProject.htm>

放射線施設を用いた量子放射線系専攻の教育活動

阪公大院工量子放射線系専攻 松浦寛人*

(*本研究に関する連絡先：電話（内線）4220、メール matsuura@omu.ac.jp)

量子放射線系専攻は、放射線の単なるユーザーではなく、安全管理を担える、そしてまた、放射線利用のリスク利益評価を適切に行え、これを一般公衆に説明できる人材を育成することを目指し、平成25年度に新設された。研究推進機構の放射線施設やそこでの活動を大学院教育に利用することを設立申請書類に記載し、文部科学省から認可を受けている。

本専攻に入学した学生は、まず研究推進機構事業所の実施する放射線作業従事者の教育訓練を受講し、放射線の安全取り扱いの基礎を学習する。博士前期課程のカリキュラムにも身近な放射線施設を前提とした教育を行うものが幾つもある。「最新放射線安全管理学特論」は、国家試験である放射線取扱主任者試験に相当する内容を、実際に研究推進機構の放射線事業所の管理を担当している教員から直に学ぶことができる。「放射線の社会学特論」は、研究推進機構で実施される知識普及活動に積極的に参画し、一般の方々と放射線についての意見交換を進める実習科目である。「量子放射線計測演習」は、以前に文科省の原子力人材育成プロジェクトとして採択された講義や実習内容を演習に取り込んでいる。たとえばビデオカメラへの放射線照射効果の観察や水中の大線量下の線量測定など本放射線施設でしか実施できない内容である。他大学の学生の単位互換をこの実習で引き受けた実績もある。また、「量子放射線応用科学技術フロンティア」では、本学とも関連の深い他大学の放射線施設で研究、管理に携わっている教授や名誉教授を招聘し、幅広い知識を学ぶ機会を提供している。

2023年度は、新型コロナウイルス感染症(COVID-19)後の教育活動が徐々に回復してきた。前期課程8名、後期課程2名の卒業生は本専攻の放射線教育をスタート点として研究活動を遂行し、それぞれの学位を取得した。これらの専攻学生の研究活動の多くも、研究推進機構や学外の放射線施設を利用しており、本報告書に別途掲載されている。

参考文献

1) 量子放射線系専攻: <https://www.omu.ac.jp/eng/quantumrad/>

本研究に関する研究発表（原著論文、その他報文、学会等報告）

1) 大阪府立大学大学院工学研究科年報(大阪府立大学学術情報リポジトリ): https://opera.repo.nii.ac.jp/index.php?action=pages_view_main&active_action=repository_view_main_item_snippet&index_id=97&pn=1&count=20&order=7&lang=japanese&page_id=13&block_id=21

2023 年度理学類生物科学課程 3 回生対象非密封放射性同位元素取扱法の実習

川西 優喜*, 白石一乗, 児玉靖司

大阪公立大学 理

(*本課題に関する連絡先：電話(内線) 4224、メール kawanishi-m@omu.ac.jp)

【概要】

大阪府立大学生命環境科学域理学類生物科学課程 3 回生担当「生物科学実験 II」の一課題として、 ^3H -チミジンを用いた DNA 合成測定実験を実施した。2023 年 6 月 15 日、16 日に C16 棟放射化学実験棟放射線管理区域の実験室で非密封放射性同位元素取り扱い操作を実習した。受講生 45 名が放射線業務従事者として、放射線業務に従事した。

【実習の目的】

本実習の目的は次の 3 点であった。放射性チミジンを用いて、大腸菌の DNA 合成能を測定すること。またヒドロキシ尿素による DNA 合成阻害効果を調べること。非密封放射性同位元素の安全取扱法を習得すること。

【実習内容】

大腸菌を ^3H -チミジンを添加した培養液中で培養した。DNA 合成が起こっていれば ^3H -チミジンをゲノム DNA に取り込むはずである。また、培養時間 0 の大腸菌を陰性対照とした。さらに、DNA 合成阻害剤ヒドロキシ尿素存在下での培養もおこなった。培養後、溶菌し、pH を下げ、溶液をグラスフィルターでろ過した。核酸を含む酸不溶性画分はグラスフィルター上に捕捉されるので、このフィルターの放射能を測定した。放射能の測定に液体シンチレーションカウンターを用いた。

【実習の成果】

受講生は教育訓練と健康診断を受け放射線業務従事者として登録し実習に臨んだ。大半の実習グループで、予想通りの結果、すなわち DNA 合成の盛んな培養条件で高い放射線量が観察された。この実習を通して全ての受講生は、法令に基づいた放射線管理と生命科学分野における非密封放射性同位元素の利用法を学んだ。放射線管理区域への入退域方法、放射線防護下での実験操作、液体放射性同位元素の取り扱い方など、実際に体験しながら非密封放射性同位元素の使用方法についての理解を深めた。

なお 2024 年度からの大阪公立大学理学部のカリキュラムでは本課題の実施はなく、2023 年度をもって非密封放射性同位元素取扱法実習は終了する。

大阪公立大学研究推進機構協創研究センター 「量子ビーム誘起反応科学研究所」活動報告

阪公大研究推進 松浦寛人*

(*本研究に関する連絡先：電話（内線）4220、メール matsuura@omu.ac.jp)

大阪公立大学の研究推進機構協創研究センターの1号研究所に所属する「量子ビーム 誘起反応科学研究所」は、様々な量子ビームが、生体を含めた様々な物質との相互作用の基礎に基づいて解析し、そこで誘起される反応を研究、応用することを目標に挙げており、研究推進機構における放射線施設管理のサポートと、これを活用した学際研究の交流活動を、部局横断的に推進する。以下に 2023 年度の活動の概要を示す。

1.研究活動

- (1) 量子ビームに関する所内研究活動、学外との共同研究活動
- (2) 大学 RI ネットワークにおける放射線施設管理の情報交流
- (3) 大学間交流協定に基づくベトナムダラット大学との交流
- (4) 大学間交流協定に基づくラオス国立大学との交流

2.学会等発表

- (1) 大阪府立大学地域連携研究機構放射線研究センター令和3年度共同利用報告書

3.その他の活動

4.研究所と研究活動の紹介

<http://www.riast.osakafu-u.ac.jp/~rsm/riqbs/>

研究所員

研究推進機構放射線研究センター

教授・松浦寛人(研究所長)、教授・宮丸広幸、
准教授・秋吉優史、准教授・津久井茂樹、助教・小嶋崇夫

大学院理学系研究科生物化学専攻

教授・原正之、助教・白石一乗、助教・藤原大佑

大学院工学研究科量子放射線系専攻

教授・堀史説、准教授・田中良晴

受託事業として実施した 2023 年度「みんなのくらしと放射線展」と 今後の位置づけ

大阪公立大学 研究推進機構 放射線研究センター

秋吉 優史、古田 雅一、児玉 靖司、松浦 寛人、宮丸 広幸、川西 優喜、伊藤 憲男、清田 俊治、白石 一乗、朝田 良子、
大阪ニュークリアサイエンス協会 奥田 修一、
大阪府診療放射線技師会 藤田 秀樹、
関西原子力懇談会 長永 賢治、森口 由香

(*本研究に関する連絡先：電話（内線）4221、メール akiyoshi-masafumi@omu.ac.jp)

「みんなのくらしと放射線展」は、大阪公立大学 放射線研究センターが中心となり、「みんなのくらしと放射線」知識普及実行委員会((国研)日本原子力研究開発機構、(一財)電子科学研究所、(一財)日本原子力文化財団、(一社)大阪ニュークリアサイエンス協会、(公社)大阪府診療放射線技師会、(公社)日本アイソトープ協会、(一社)日本原子力学会関西支部、関西原子力懇談会)によって運営されており、昭和 58 年から 40 年以上にわたり延べ 50 万人以上の一般市民に放射線に関する知識普及活動を実施してきた(以前はデパートの催事場などで 1 週間実施されるなどの非常に大規模な運営が行われていた)。COVID-19 パンデミック以前の 2019 年頃は大阪科学技術センターに於いて 8 月第一週の週末にイベント開催を行っており、土日の 2 日でのべ 2 千人以上の来場を得ていた。

これまで研究推進機構が事務局を務めていたが、本来業務の明確化などに伴いそのままの状態では継続が困難となったため、2023 年度からは事務局業務を大学の受託事業として位置づけを明確化し、会計も大学への委託金という形で会計システム上に載せ、経理の明確化を図った。さらに、2024 年度からは研究推進機構 共創研究センターに「放射線教育振興センター」を立ち上げ、一般市民に対する放射線教育活動を本来業務として位置づけた上で放射線教育振興センターとしてイベント運営などの業務全般を含めた受託事業として業務受託を行い、これまで不明確であった実際にイベント運営に携わる専門部会のメンバーの活動も本来業務として位置づけた。共創研究センターはこれまでの放射線研究センターと異なり全学のどこの部局からでも参加頂けるほか、学外からも客員研究員の立場で参加いただくことが出来るため、今後このセンターを関西地区での放射線教育活動の拠点となるよう、多方面からの参加を呼びかけていくつもりである。

2024 年度からは、「みんなのくらしと放射線」知識普及実行委員会の実行委員長をこれまで務められていた古田先生が退職されたのに伴い、実行委員会のあり方を問い直す意味からも、大阪公立大学からではなく構成団体の一つの電子科学研究所より、小田啓二先生(元神戸大学副学長、日本保健物理学会会長など歴任)に実行委員長として就任戴いている。実行委員会の会計についてはこれまで通帳を本学内で管理を行ってきたが、大学への委託事業として拠出したあとは資金の出入りがなく、大学側の会計システム上で運営が行われるため新たに団体名義での口座を作成して実行委員長が所属する電子科学研究所に通帳を置いて管理を行っている。

さて、2023 年度に行った事業内容についてであるが、2023 年 5 月 8 日から COVID-19 に関する取り扱いが 5 類感染症に変更となり行動制限が解除されたため、飛沫除去などの感染症対策を行った上で 8 月 5 日(土)10:00~17:00 に OSTEC 701 室に於いて対面での工作教室イベントを開催した。霧箱工

作と、UV レジン工作は一回 12 名、30 分を 10 ステージ実施して、それぞれ 51 名、82 名+飛び入り数名の参加を得た。

ダイソーのコレクションケースを使用して安価で非常にも簡単ながらも確実に観察が出来る霧箱工作では、線源として空気中のラドン娘核種を使用することで、身の回りにも放射線と放射性の物質が飛び交っていることを学べるようにした。なお、実施には日本原子力学会関西支部からの実演者の協力を得た。UV レジン工作では、分光シートで虹を見ることで光の波長について理解させたあと、目に見えない紫外線の存在をスパイペンやウランガラスなどを用いて実演して認識させ、可視光でも太陽光発電や光合成が、そして紫外線では殺菌や今回工作で使うような化学反応を起こす力があり、もっとエネルギーの高い放射線は透過して物の中の殺菌や、架橋や重合と言った反応で暮らしの中の役に立っていることを説明した。測定コーナーでは自然放射線源を GM サーベイメーターで測定して身近な物からの放射線の放出を実感し、ラジウムボールと GM サーベイメーターを用いた宝探しゲームでは、目に見えなくても放射線によって中の様子が分かり、気まぐれで自然の放射線が来る、少し距離が離れると放射線は弱くなる、測定器を早く動かすと見つからないなど様々なことを学習出来る。また、診療放射線技師会からの展示も行って頂いた。

また、2023 年度も「放射線教育関係者意見交換会」を 8 月 5 日(土)13:00～16:30 に実施した。これまでと異なり感染症の制限がなくなったため、工作教室のイベントと同日に同じ OSTEC 7 階の 702 号室に於ける対面と、zoom ウェビナーによるオンラインのハイブリッド形式で実施した。2 名の演者による基調講演と 5 名の中学・高校の先生による実践事例発表、ディスカッションに、全国からオンライン 40 名、対面 20 名の参加を得た。その後懇親会も実施し、非常に充実した意見交換を行うことが出来た。

基調講演

・文部科学省 国立教育政策研究所教育課程研究センター

小林 一人先生

「放射線教育と学習指導要領」

・加速キッチン合同会社 /早稲田大学 田中 香津生先生

「中高生の放射線探究ネットワーク」

実践事例発表

・京都教育大学 附属京都小中学校 野ヶ山 康弘先生

「放射線のリスクとベネフィット～福島復興 11 年の変遷～」

・筑波大学 システム情報工学研究群 羽田野 祐子先生

「霧箱による大学公開講座について」(オンライン)

・福島県立郡山萌世高等学校 石井 伸弥先生

「福島で学ぶ福島 ～課外活動による福島学の実践報告～」

・大阪高校 谷脇 鉄平先生・松長 瞬先生

「本校初の化学基礎・地学基礎における放射線に関する科目横断型授業の教育実践」

・広島市立福木中学校 森島 浩一先生

「生徒に自然放射線を実感させる授業実践例」

話題提供 大阪公立大学 秋吉 優史

「クルックス管からの低エネルギーX線測定サービスのお知らせ」

基調講演では文科省の小林一人先生から、学習指導要領における放射線教育のあり方についての講演を頂き、単なる知識の詰め込みでは無い、考える力を養い、「子どもたちの『何ができるようになるか』という環境を授業の中で作ることが大切」と語った。続いて、独自の中高生の放射線探究ネットワークを構築し、極めて活発な中高生と大学のコラボレーション研究を行っている、加速キッチン合同会社を経営する田中 香津生先生から、これまでの3年間の活動で論文(6本)や学会賞(19回)、学会発表(108回)という成果をあげている中高生に対する放射線教育支援の先進的な取り組みについて紹介をいただいた。実践事例紹介での質疑応答や、意見交換会では非常に活発な意見交換が行われ、広島市の森島先生の発表などに関連して、「放射線の(負の)イメージ」をいかに払拭するかという議論が行われた。福島県でも全員が放射線について学習しているはずなのに高校で聞くと6割程度しか印象に残っておらず、影響についてはよく分かっていないなど、より効果的で繰り返しの学習が必要であることが確認された。

さらに、2022年度に引き続き「ハイスクールラジエーションクラス」を、10月29日(日)13:00~16:30に大阪公立大学 I-Site なんば C1 ホールでの対面と、zoomによるオンラインのハイブリッドで実施した。なお、高校生のプライバシーの関係から聴講は対面のみとし、オンラインは発表者と直接の関係者に制限した。全国の7校から8グループの参加を得ることが出来、大学院生も顔負けの極めてレベルの高い研究が発表された。また、特別講演として、名古屋大学アイソトープ総合センター 杉田亮平先生から「農業と放射線」と言う演題で講演を頂いた。

(オンライン参加)

・秋田県 秋田高校 藤井 駿、渡辺 利玖、稲見 颯大(藤井 翼先生)

ミュオグラフィによる校舎内構造の把握

・秋田県 秋田高校 金田 康希、斎藤 怜、佐々木 莉胡、佐藤 一進(藤井 翼先生)

モンテカルロシミュレーションによる一次宇宙線遮蔽材の検討

・千葉県 渋谷教育学園幕張高等学校 内田 彩尊、St. Mary's International School Tokyo 林 忠誉(田中 香津生先生)

Web カメラを用いた放射線の測定と画像解析

・栃木県 國學院大學栃木高校 田母神 菜乃(田中 香津生先生)

距離と遮蔽の変化と放射能の関係性

(対面参加)

・東京都 女子学院高等学校 松下 千穂里、中井 莉世、永田 仁紀(田中 香津生先生)

Cosmic Watch を用いた超高エネルギー宇宙線探索

・福島県 郡山萌世高等学校 石川 明日香(石井 伸弥先生)

なんとなくの福島II ~報道の変遷から見る処理水海洋放出の社会的認知~

・大阪府 高槻高校 岸田 和士、奥野 裕太、長方 龍之介、國貞 昂聖、瀧井 誠司、田中 圭伴(? 優香先生)

α線最大飛程測定による遮蔽能力の数値化

・大阪府 豊崎中学校 佐々木 柚榎(田中 香津生先生)

身近なカメラを用いたシンチレーション光の観察

当日は、対面・オンライン合せて21名の発表者と、同校教員や聴講者、放射線展関係者で合計50名の参加となった。放射線について広く考え、高校生ならではの視点で研究・調査した成果が発表された。オンラインでの発表が4チーム、対面で4チームの発表が行われ、各発表に対して学生や教員も交えて活発な質疑応答が行われた。放射線測定などの実験的なアプローチの発表がほとんどであったが、昨年に続き2回目出場の福島県の高校生からの、福島の処理水放出を切り口に報道と社会的認知の関係を考察する社会的なアプローチでの発表もあった。

優秀賞を獲得した佐々木さんは中学3年生であり、多くの関係者に衝撃を与えた。審査にあたった2023年度実行委員長の古田先生からは「意欲的な発表でエキサイティングなひとときだった。優劣つけがたく審査結果は僅差で、しかたなく順位をつけさせていただいた。」と振り返り、「全体が本当に僅差で、入賞された方以外の方にもまたお目にかかることを期待している。研究にあたっては、ベーシックな知識がキーになる。教科書からもう一歩進んだ専門書などを読むと新しい科学的な意味が見えてくる。皆さんの今後のさらなる発展に期待したい」と呼び掛けた。

●最優秀賞:渋谷教育学園幕張高等学校 内田 彩尊さん、St. Mary's International School Tokyo 林忠誉さん

「Webカメラを用いた放射線の測定と画像解析」

●優秀賞:大阪市立豊崎中学校 佐々木 柚榎さん

「身近なカメラを用いたシンチレーション光の観察」

●審査員特別賞:福島県立郡山萌世高等学校 石川 明日香さん

「なんとなくの福島II ～報道の変遷から見る処理水海洋放出の社会的認知～」

2024年度は、8月3日(土)にOSTECにおいて工作教室を、12月15日(日)には、12月16日～18日に開催される日本放射線安全管理学会・日本保健物理学会の合同大会のサテライトイベントとして、放射線教育関係者意見交換会(午前)、ハイスクールラジエーションクラス(午後)を大阪公立大学中百舌鳥キャンパスC13棟講堂で実施する予定である。多数の関係者の来場を期待する。

4. 大阪公立大学研究推進機構における施設の利用

研究推進機構放射線事業所は日本有数の放射線施設で、学内外にも利用されています。この施設は放射線研究センターの教員が中心となり、法令に従った安全管理を行っています。

1. 非密封放射線施設(C16棟)

非密封放射性同位元素は、トレーサーとしての利用を中心に、化学、農学、生命科学、医学の研究において、種々の特徴ある施設として広く利用されています。



図1 非密封放射線施設

用途：放射性同位元素によるトレーサー実験

材料の陽電子利用分析

放射性同位元素による年代測定

環境汚染物質の元素分析

環境放射線の測定



図2 トレーサー実験に用いられる
RI 標識化合物

2. 機器測定受け入れ

令和5年4月1日～令和6年3月31日の間に屋外管理棟(C9棟)での受け入れ状況は以下の通りです。

- マルチチャンネル波高分析器による測定
 - 給食の食品 10件
 - 原子力施設のある自治体の土壌試料 30件
 - 企業からの依頼試料 7件
- 低バックグラウンド放射能測定装置による測定
 - 原子力施設のある自治体の大気、水、試料 46件

3. 非密封 RI 取扱施設利用の手続き

研究推進機構の放射線施設は公立大学の学内共同利用施設として利用可能ですが、安全管理に基づく研究課題の事前審査と、得られた研究成果の公開をお願いしています。非密封 RI 利用の新規申請は年 2 回受け付けています。ただし、継続課題としての申請は年度末の 1 回に限り、しかも翌年度初めに報告書の提出を必要条件としています。

新規課題の募集は 5 月と 10 月の年 2 回行います。申請課題の有効期限は、5 月申請が 1 年、10 月申請が半年とし、複数年にわたる研究課題は、継続課題として 3 月に再度申請してください。

RI 取扱施設を用いた実験を行う場合、実験者(及び研究グループ責任者)の放射線業務従事者登録が必要となります。この手続きには、RI 等規制法にもとづいた放射線業務従事者教育訓練の受講と特殊健康診断の受診が義務付けられています。講習会の日程は研究推進課にお問い合わせ下さい。受講後はグループ単位で「受講終了届」の提出を求めます。特殊健康診断は年に 2 回、なかもずキャンパスで実施されますが、学外での受診でも結構です。すでに、研究推進機構の従事者として登録されている場合には、直ちに次の施設利用申請書の提出を行うことができます。

グループの代表は施設利用申請書を研究推進課に提出していただきます。提出に先立って放射線施設管理の業務を行っている教員の中から世話人を依頼し、申請内容について、事前に打ち合わせることをお願いしています。法令に基づく安全管理上の制約で申請が受理されない場合もあります。研究推進機構の建物を利用するための、電子錠の申請も合わせて行う必要があります。

施設を利用した研究の成果は、次年度初めの共同利用報告書の提出と共同利用報告会の参加をお願いしています。また、論文執筆等では、本機構の施設を利用した成果については、謝辞に明記するようお願いします。

4. 連絡先

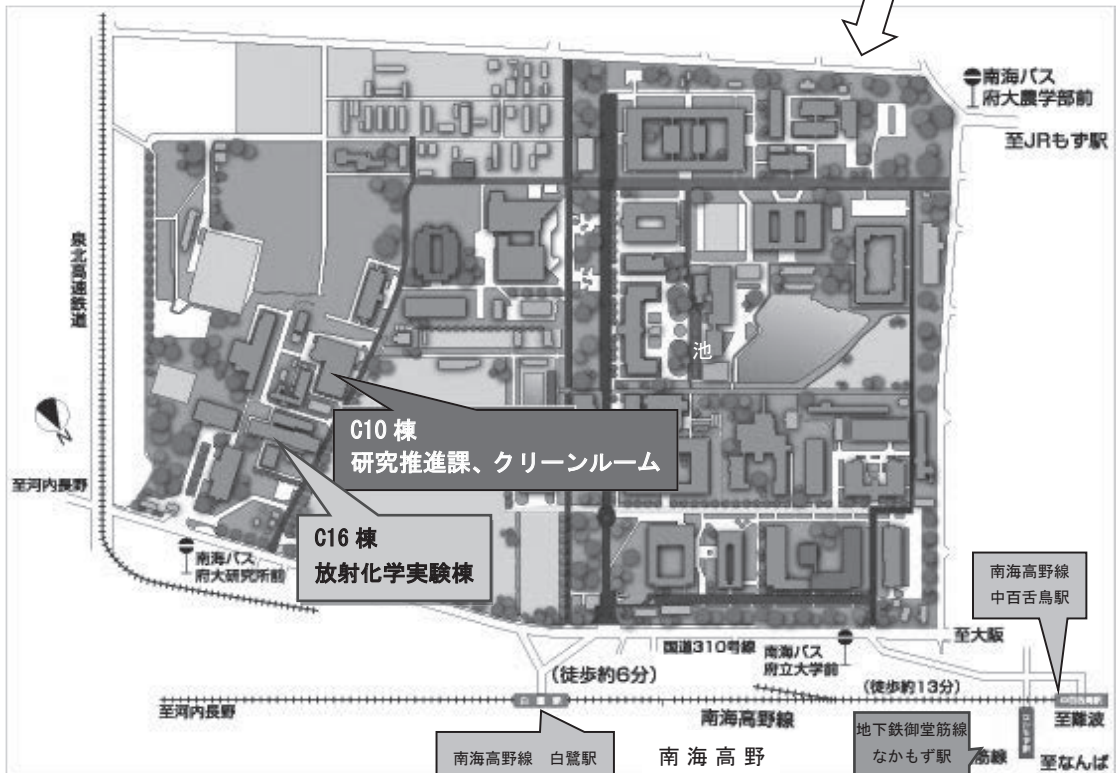
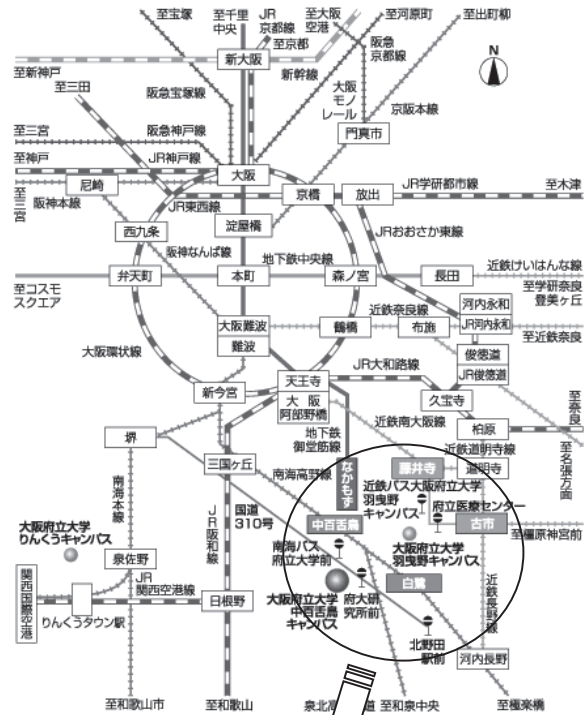
大阪公立大学
 学術研究支援部研究推進課
 管理運営G

〒599-8570

大阪府堺市中区学園町1-2

Tel: (072) 252-8327

Fax: (072) 254-9935



【駅から徒歩の場合】

- ◆南海高野線「白鷺駅」下車徒歩 20 分「中百舌鳥駅」徒歩 25 分
- ◆地下鉄御堂筋線「なかもず駅」（5 番出口）徒歩 25 分

【駅からバスをご利用の場合】

- ◆南海高野線「中百舌鳥駅」・地下鉄御堂筋線「なかもず駅」から南海バス（北野田駅前行 31、32、32-1 系統）で約 5 分、「府大研究所前」下車
- ◆南海本線「堺駅」から南海バス（北野田駅前行 31、32、32-1 系統）で約 25 分、「府大研究所前」下車
- ◆JR 阪和線・南海高野線「三国ヶ丘駅」から南海バス（北野田駅前行 31、32、32-1 系統）で約 15 分、「府大研究所前」下車

過去 2004(平成 16)年度以降
2023 (令和 4)年度までの
共同利用報告書は冊子体の配布の他、
電子化して大阪公立大学のリポジトリ
(<https://omu.repo.nii.ac.jp>)で
公開しています。

お問い合わせください。



大阪公立大学
Osaka Metropolitan University