

令和1年度
放射線施設共同利用報告書

令和3年3月

*Radiation Research Center
Organization for Research Promotion
Osaka Prefecture University*

大阪府立大学研究推進機構
放射線研究センター

令和 1 年度
放射線施設共同利用報告書

令和 3 年 3 月

*Radiation Research Center
Organization for Research Promotion
Osaka Prefecture University*

1. はじめに

大阪府立大学研究推進機構・放射線研究センター長 古田雅一

2020年4月より谷口良一センター長のあとを引き継ぎ、放射線研究センター長を務めております古田雅一と申します。どうかよろしく願いいたします。

放射線研究センターは、大規模な放射線施設とクリーンルームなど、国内の他の大学には見られない特徴ある設備を有しています。そのため、学内外の共同利用の場として広く利用されてきました。この共同利用報告書は、これらの施設を利用した共同利用の成果の紹介と研究者相互の情報交換の手段として、2003年から毎年刊行され、今回で18冊目を数えることとなりました。

現在のセンター教員11名は、物理、化学、生物、工学など広い分野で、施設を利用した特徴ある研究を継続しております。さらに2013年度からは大学院工学研究科の量子放射線系専攻において大学院教育も担当し、現在までに修士55人、博士12人の修了生を送り出すことができました。加えて当センターでは、地域との連携も重視し企業との共同研究、研修事業等も積極的に行っています。2012-2017年度には文部科学省の原子力人材育成事業に参加し、当センターの施設を利用して国内外の学生、技術者の教育をはじめ、地域の指導的立場の人達に放射線教育を行ってきました。またセンターでは毎年「みんなのくらしと放射線展」を開催し、子供たちや保護者に正しい放射線の知識を伝える活動も行ってきました。この活動における観客の総数は50万人に達するとされています。今年はコロナ禍の影響でホームページでの開催となりましたが、逆に全国の皆様にご覧していただけるため、従来よりもより幅広い地域の皆様方に放射線利用の魅力が伝えられるのではないかと前向きに捉えております。さらなる発展を目指して今後も鋭意活動を続ける決意であります。

昨年度9月以来、放射線安全に関する法令改正のため、従来の作業者の安全と周辺環境の安全を中心とした放射線の安全管理に加えて、「悪意を持った第三者の行動を防ぐための、様々な対策や管理の強化を行って参りました。その中でもできるだけ利用者の方々の利便性を損なわないように努力していく所存です。

本報告書に収められた研究成果は当研究センターの施設を利用したさらなる研究展開のシーズが埋もれていると期待しております。皆様にも内容を一読いただき、新たな研究テーマの発掘に活用していただければ幸いです。私たちセンターの教職員は今後とも、当施設を広く利用していただき、これまでの活動を継続できることを願っています。共同利用の輪が大きく広がることを期待し、今後とも当センターの活動に、ご協力をお願いしたいと思います。

2020年12月

目 次

ページ

1. はじめに

放射線研究センター長 古田雅一

2. 令和1年度共同利用研究報告

1) 線源棟施設の利用状況と安全管理	1
(阪府大研究推進) 宮丸広幸、小嶋崇夫	
2) 加速器 BNCT のための熱外中性子弁別計測	2
(阪府大研究推進) 宮丸広幸、小嶋崇夫、谷口良一	
3) Noise Characteristics of CCD-Camera Operating in Heavily Gamma Irradiation Condition	3
(阪府大院工) LE VIET HUY, HIROYUKI MIYAMARU, NAOKI YAMATO, TAKAO KOJIMA, RYOICHI TANIGUCH	
4) シリコン太陽電池に対するガンマ線照射効果	5
(阪府大院工) 高廣真人、(阪府大研究推進) 宮丸広幸、小嶋崇夫	
5) 大気エアロゾル金属成分の粒径別濃度	7
(阪府大研究推進) 伊藤憲男、溝畑朗、(京大複合研) 飯沼勇人、奥村良	
6) 汎用 SMF を用いたガンマ線量モニターの可能性検討	8
(阪府大院工) 久保田寛和、寺井達哉	
7) Ag-Ni 複合イオン照射による固体ガラス内ナノ構造体の合成	9
(阪府大院工) 山田智子、岩瀬彰宏、松井利之、堀史説、(量研機構高崎) 前川雅樹、河裾厚男、(産総研ユビキタス) 田口昇、田中慎吾、(東北大金研) 正橋直哉、千星聡	
8) Zr 系金属間化合物における照射導入欠陥と水素相互作用	11
(阪府大院工) 堀史説、小川夏実、金野泰幸、(京大複合研) 徐虬	
9) 非破壊検査測定のための LCS-X 線を用いた陽電子消滅測定法の開発	12
(阪府大院工) 杉田健人、梅澤憲司、堀史説、(兵庫県立大高度研) 宮本修司、橋本智、天野壮、寺澤倫孝	
10) Zr 基金属間化合物への重イオン照射による微細構造変化	15
(阪府大院工) 堀史説、鷹野陽弘、岩瀬彰宏、(東北大金研) 和田武、加藤秀実、(原子力機構) 斎藤勇一、石川法人、(京大複合研) 徐虬	
11) 照射還元による Cu 系ナノ粒の合金合成制御	17
(阪府大院工) 堀史説、内村祐也、山田智子、松井利之、田中慎吾、田口昇、(京大複合研) 徐虬、阿倍尚也	
12) 微細加工試料を用いたキラリティ誘起物性の研究	19
(阪府大院工) 戸川欣彦、宍戸寛明、高阪勇輔	

13)	塗布型有機半導体デバイスの動作機構解析と特性評価法の開発	20
	(阪府大院工) 永瀬隆、小林隆史、内藤裕義	
14)	分子界面による2次元半導体の電子状態変調	21
	(阪府大院工) 桐谷乃輔、福井暁人、松山圭吾、三浦光平、藤村紀文	
15)	機械学習によって設計したナノ共振器シリコンラマンレーザの実験的評価	23
	(阪府大院工) 川勝太郎、高橋和、(京大院工) 浅野卓、野田進	
16)	多層 MoS ₂ 電界効果トランジスタで観測される階段状の伝達特性	24
	(阪府大院工) 野内亮、大岡拓也	
17)	ナノ流路内におけるサブ 40 nm の Nano-in-Nano 構造の作製	25
	(阪府大院工) 釜井弘樹、許岩	
18)	「宇宙・惑星・地球のテラヘルツ波ヘテロダイン分光観測のための超伝導検出素子の開発」プロジェクトに関わるクリーンルーム利用報告	26
	(阪府大院理) 前澤裕之	
19)	紫外線架橋コラーゲンゲル上のマウス脳毛細血管内皮細胞の形態解析	27
	(阪府大院理) 森英樹、原正之	
20)	核内受容体リガンドを高感度検出するバイオアッセイ法の開発	29
	(阪府大院理) 大西穂波、原島小夜子、川西優喜、八木孝司	
21)	本邦の大腸がん患者から単離したコリバクチン産生大腸菌が誘発する遺伝毒性機構の解析	30
	(阪府大院理) 植嶋亜衣、久富優太、小田美光、八木孝司、川西 優喜、(静岡県立大薬) 恒松雄太、佐藤道大、平山裕一郎、渡辺 賢二、(静岡県立大食品栄養) 三好規之、吉川悠子、若林敬二、(浜松医科大医) 岩下雄二、梶村春彦、(国立がんセンター) 戸塚ゆ加里	
22)	セレギリン塩酸塩ならびに関連物質のモノアミントランスポーターへの親和性および再取り込み阻害活性	31
	(藤本製薬(株)) 塚本由夏、西村哲也、杉本潤哉、ト部和則、高畑和恵、(阪府大院理) 川西優喜、八木孝司	
23)	Lig4 変異マウス由来細胞における X 線誘発 DNA2 本鎖切断修復動態の解析	33
	(阪府大院理) 平戸結佳子、白石一乗、児玉靖司、(近大病院) 坂口健太、(和歌山県立医大) 田村志宣	
24)	異なる年齢間に X 線被ばくしたマウス神経幹/前駆細胞に発生する染色体転座の解析	34
	(阪府大院理) 中村月覇、白石一乗、児玉靖司、(近大病院) 坂口健太	
25)	植物におけるオーキシン極性移動制御機構に関する生理化学的研究 (V)	35
	(阪府大高等教育) 宮本健助	
26)	Using gamma rays for inactivation of fungi from contaminated old Japanese books and documents damaged by floods	37
	(阪府大院工) Nguyen Thi Thuy Linh、古田雅一、(大阪衛生協会) 久米田裕子、(国立歴史民俗博物館) 松下正和、吉川圭太(神戸大)、天野真志、(京都造形芸術大) 内田俊秀、(産業創成大) 藤田和久、(榊里灯都) 酒井浩一	

27)	加熱・ガンマ線による芽胞損傷とチモールの併用効果	38
	(阪府大院工) 岡田太地、朝田良子、清田俊治、古田雅一、(阪府大微制研) 土戸哲明、坂元仁	
28)	ガンマ線照射による天然岩絵具への影響に関する研究	40
	(神戸大) 松下正和、(国立歴史民俗博物館) 天野真志、(京都造形芸術大) 内田俊秀、(産業創成大) 藤田和久、(梼里灯都) 酒井浩一、(阪府大院工) 古田雅一	
29)	真菌胞子の物理的殺菌プロセスにおける損傷の解析と動態評価	42
	(阪府大研究推進) 堀切茂俊、朝田良子、清田俊治、古田雅一、(阪府大微制研) 土戸哲明	
30)	枯草菌放射線照射芽胞の発育能及び DNA 損傷の評価	43
	(阪府大研究推進) 傳大輝、朝田良子、清田俊治、古田雅一、(阪府大微制研) 土戸哲明、坂元仁、(量研高崎) 佐藤勝也、大野豊	
31)	カドミウム存在下における醸造酵母の放射線感受性	45
	(阪府大研究推進) 清田俊治、伊藤憲男、古田雅一、(阪府大院生命) 岸田正夫、(阪府大高等教育) 田中良晴	
32)	ポリビニールアルコール—ヨウ化カリウムを用いたプラズマ生成活性ラジカルの研究	46
	(阪府大研究推進) 松浦寛人、坂元仁、(阪府大院工) オウアンサビンサブニャン、胡敏、トラントラングエン、(京大エネルギー理工学研) 門信一郎	
33)	絶縁オイルを用いた大気圧プラズマ生成の安定化	47
	(阪府大研究推進) 松浦寛人、(阪府大院工) トラントラングエン、オウアンサビンサブニャン、(京大エネルギー理工学研) 門信一郎	
34)	ダイバータプラズマ熱流束計測法の開発	48
	(阪府大研究推進) 松浦寛人、(阪府大院工) 村岡英樹、ブイスアンニャットソン、(筑波大プラズマ研) 飯島貴朗、中嶋洋輔、(京大エネルギー理工学研) 大島慎介、水内亨	
35)	学校教育現場に於ける放射線安全管理の方針について	49
	(阪府大研究推進) 秋吉優史	
36)	さくらサイエンスプラン (S2019F0603447) 報告書 (Report on Japan-Asia Youth Exchange Program in Science)	53
	(ラオス国家大) Santi KONGMANY、(阪府大研究推進) 川又修一	
37)	さくらサイエンスプラン (S2019F0603450) 報告書 (Report on Japan-Asia Youth Exchange Program in Science)	54
	(ダラット大) Nguyen Thi Minh Sang, Pham Thi Ngoc Ha、(阪府大研究推進) 松浦寛人	
4.	大阪府立大学研究推進機構 21 世紀科学研究センター「量子ビーム誘起反応科学研究所」活動報告	56
	(阪府大研究推進) 松浦寛人	
5.	公立大学法人大阪府立大学 研究推進機構・放射線研究センターにおける施設の利用	57

1	コバルト 60 ガンマ線照射施設	57
2	高エネルギー電子線照射施設	58
3	低エネルギー電子線照射施設	59
4	非密封放射線施設および、その他の照射施設	59
5	クリーンルーム施設	59
6	放射線研究センター組織	60
7	放射線照射施設利用のてびき	61
8	クリーンルーム施設利用状況（2019 年度）	65
9	連絡先	67

線源棟施設の利用状況と安全管理

阪府大研究推進機構 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@riast.osakafu-u.ac.jp)

1. はじめに

放射線研究センターに所属する線源棟は電子ライナックや電子線照射装置、コバルト 60 大線量照射プール等が同一建物の中に一体となった実験施設である。ここでは線源棟管理責任者の立場より現在の利用状況ならびに安全管理について今年度の運用状況の報告を行う。

2. 利用状況

加速器である電子ライナックの運転時間は少ないが照射実験と 3 月の定期検査に向けた運転確認が行われた。また電子線照射装置は主に太陽電池照射効果の実験が行われた。コバルト 60 照射施設は、学内外からのべ計 150 件程度の依頼照射があり、年度を通して安全に照射業務を行った。現在では安全確保の問題から夜間照射、連続照射は通常業務としては受け付けていない。

3. 安全管理状況

2019 年より新たにコバルト施設の安全管理が法的に厳しくなったことを受け、研究推進機構の支援の下で法令に適応するための数々の施設整備を実施した。新法令によりコバルト照射施設への立入には学外者はもとより学内教職員に対しても顔写真付き身分証明書の提示がその都度必要となっただけでなく、係員の同伴が必須となったことが運用上の大きな変化である。ただし、ライナックを含め入口を共にする他の施設や部屋への立入りは現状通りである。このように法的に厳しい立入制限となったことを受けて、線源棟の RI 管理区域には基本的に学生のみの入域を不可とし、管理区域内の加速器施設やその他の実験室においては同伴者の無い学外者の立入や実験の禁止、また休祝日における施設での実験を禁止としているので、使用者にもご協力をお願いしたい。

他の特記事項として施設内の加速器周辺の PCB 含有の恐れのある機器、電子部品の調査と廃棄の問題がある。本件は高濃度 PCB の回収の最終期限を迎える 2020 年度末までには廃棄を完了せねばならない。施設に存在する主に 2 つの大型加速器は設置後 50 年程度経過しており、特に構成する高圧トランスなどについて PCB 含有の疑いがある。大学として法令遵守の立場からこれら疑わしい機器の速やかな検査ならびに適正な廃棄処分が急務であるが、大型加速器の分解、調査には別途予算の確保が必要である。このため主に研究推進機構の支援を受け 2020 年度末には完全に PCB の処分を完了する予定で現在作業を進めている。

加速器 BNCT のための熱外中性子弁別計測

阪府大研究推進機構 宮丸広幸*、小嶋崇夫、谷口良一

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

1. はじめに

ホウ素中性子捕捉療法 (BNCT) で近年開発が進む加速器中性子源からの中性子束を熱、熱外、高速のエネルギー成分ごとにそのフルエンスを評価するために、ホウ素吸収材とアルファ線計測用シンチレーターを組み合わせた検出器を開発してきた。本年度の実験では施設に保有するラジウムベリリウム (Ra-Be) 中性子線源を用いた中性子計測の実験を行った。

2. 実験内容

中性子線源をライナック照射室に設置し、ポリエチレンブロックにて 10 cm 四方の遮へいを行った上で、開発中の検出器を線源からの距離 20 cm 程度の位置に配置した。この検出器ではホウ素 10 の中性子捕獲反応によるアルファ線を計測する。検出部はホウ素 10 含有の硫化亜鉛板 200 ミクロン厚である。Ra-Be 中性子源からは中性子線だけでなく、高線量のガンマ線が放出されているが、本検出器ではガンマ線の計数は信号強度が小さく、波高弁別で十分分離できることが事前の実験で分かっている。検出器と線源との間の吸収材として利用する窒化ホウ素板の厚みを変化させた際のアルファ線の計数率の変化を調べた結果を図 1 に示す。

窒化ホウ素板の熱中性子の遮へい能力が極めて高いため、2mm の板の厚みで計数率の急激な減少がみられる。しかしながらその後の変化は緩やかで厚みが厚いところではほとんど一定の計数率が得られた。

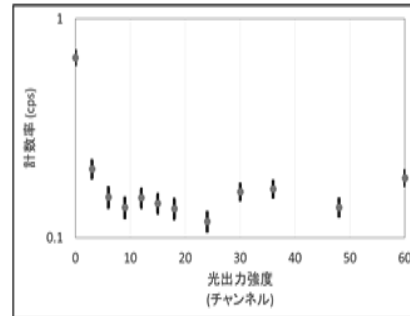


図 1. 吸収材厚みと中性子計数率

3. 結果とまとめ

厚みが増加しても計数率が一定である理由は、吸収材に反応しない高速中性子の成分による。実際、Ra-Be 中性子源からの中性子のエネルギー成分は高速中性子が主である。本実験結果はエネルギー 3 成分が明確ではないものの分離計測可能であることを示している。今後はさらなる高感度化を目指すため、検出器の方向依存性の検討を行う。

4. 本研究に関する研究発表

「加速器 BNCT における中性子エネルギー群別計測法の開発」

第 12 回放射線による非破壊評価シンポジウム (2020 年 2 月、東京)

Noise Characteristics of CCD-Camera Operating in Heavily Gamma Irradiation Condition

Department of Quantum and Radiation Engineering, Osaka Prefecture University
LE VIET HUY, HIROYUKI MIYAMARU, NAOKI YAMATO, TAKAO KOJIMA, RYOICHI
TANIGUCHI

(*Contact information for this study: Telephone (extension) 4231,
Email: dd106002@edu.osakafu-u.ac.jp)

1. Introduction

The effect of gamma-ray on a CCD-camera is investigated for the objective of real-time observation of specimens irradiated with high dose gamma-ray. In this study, a commercial CCD-camera was subjected to the intense Co-60 source to analyze its imagery under the noise characteristics aspect. This work provides important evidence for the design and improvement of a camera applied in radiation field.

2. Experimental method

The experiment was carried out in the irradiation room with the high dose Co-60 source. A small ion chamber dosimeter (PTW 31013) was arranged together with the camera to estimate the exposure dose. A 10 m-long USB2.0-cable (with booster extension) connected the camera to a PC for images acquisition. Captured data that produces 8 bits image with dimensions of 640 x 480 pixels were employed to ImageJ software (IJ 1.46r) [1]. Color images were converted into grayscale images and the gray values were taken as reference corresponding to the noise levels.

3. Result and summary

The working of the CCD-camera didn't remain consistent during irradiation, that the images become noisier with more radiation. After irradiation, the damage to camera parameters can be seen in poor contrast, saturation and growth noise. A significant correlation between dose rate/irradiation time and noise level of images was observed. The higher the dose rate is, the greater number of brighter pixels and higher gray value. The mean gray value also hikes proportionally to the irradiation time ascending, which indicates the camera becomes noisier.



(a)

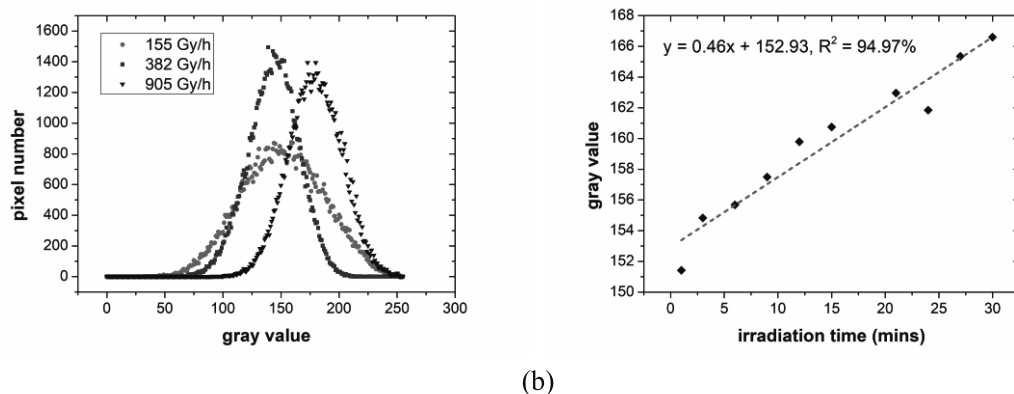


Fig. 1. Noise characteristics of CCD-camera under the heavy gamma-ray exposure.

- (a) From left to right: images acquisition at 0 Gy/h, 155 Gy/h, 382 Gy/h, 905 Gy/h and after irradiation.
 (b) The histogram comparison of the noise distribution at various dose rates (left); gray value as a function of irradiation time, at 155 Gy/h (right)

To observe the noise behavior of the irradiated camera at the post-irradiation stage, we actively increased/decreased the temperature inside the room by the air conditioner. As a result, a linear relationship between the operating temperature and the noise characteristic of irradiated CCD-camera was found during a week of investigation, has the form as: $y = 4.39x + 112.37$, $\sigma_a = 0.04$, $\sigma_b = 0.87$ with $R^2 = 94.96\%$, where y is the mean gray value and x is operating temperature ($^{\circ}\text{C}$).

The performance degradation of the CCD-camera applied in radiation field was confirmed. For this reason, the camera was accompanied by a shielding configuration (estimated using PHITS [2]) to take operation in the radiation-rich environment for various purposes. Such irradiation effects like luminescence emission or color change could be visually observed in-situ. The camera is further applied to monitor the coordinates transformation of detectors/sensors in the radiation field, for the purpose of three-dimensional dose mapping in the irradiation room No. 4.

4. Presentation on this research

L. V. Huy, H. Miyamaru, N. Yamato, T. Kojima, R. Taniguchi, "Noise Characteristics of CCD-Camera Operating in Heavily Gamma Irradiation Condition", The 12th Symposium on Radiographic Testing, The Japanese Society for Non-Destructive Inspection (JSNDI), Tokyo, Feb. 2020.

References

- [1] Rasband WS. ImageJ, U.S. National Institutes of Health, Bethesda, Maryland, USA, 1997–2012. imagej.nih.gov/ij/
 [2] T. Sato, Y. Iwamoto, S. Hashimoto, T. Ogawa, T. Furuta, S. Abe, T. Kai, P.-E. Tsai, N. Matsuda, H. Iwase, H. Shigyo, L. Sihver, and K. Niita, Features of Particle and Heavy Ion Transport Code System (PHITS) version 3.02, Journal of Nuclear Science and Technology, Vol. 55, pp. 684-690, 2018.

シリコン太陽電池に対するガンマ線照射効果

阪府大院工量子放射線工学分野 高廣真人*

阪府大研究推進 宮丸広幸, 小嶋崇夫

(*本研究に関する連絡先：電話（内線）4231、メール md106002@riast.osakafu-u.ac.jp)

1. 緒言

放射線が取り巻く環境下でも、半導体デバイスや電子部品が多く用いられている。例えば、宇宙環境で運用する宇宙機も、高線量の放射線にさらされており、特に電源部として用いられる太陽電池は、放射線の影響により急激な性能の劣化が生じる。このような半導体デバイスは放射線環境で動作するように設計されておらず、それらを用いるリスクを最小限にするためには事前に放射線がデバイスに与える影響を評価し、性能変化を予測する必要がある。

照射による影響は照射前後の変化を調べることが中心であるが、本学が有するガンマ線照射施設を活用することで、高線量ガンマ線の照射中にリアルタイムで照射ターゲットの物理量の計測および観察を行うことが可能で、連続的な評価に有効である。また、ガンマ線源として円筒状に固定されたコバルト 60 を用いており、線源から同距離にターゲットを設置することで、複数の照射ターゲットに対しておおよそ同線量率でのガンマ線照射が可能である。このように本学のガンマ線源は比較的扱いやすいことから、本研究では各種放射線からガンマ線の影響に着目した。そこで半導体デバイスとして広く実用化されているシリコン太陽電池に対するガンマ線照射効果をリアルタイムで計測し、照射影響の評価を行った。

2. 実験方法

図 1 にガンマ線照射効果のリアルタイム測定構成図を示す。アルミニウム製の遮光容器の内部で光源用白色 LED および太陽電池を固定した。遮光容器ごと第 4 照射室に設置し、線源強度 680 TBq のコバルト 60 によるガンマ線を照射した。線量率は電離箱および線量計によって測定した。各種電気的な測定・操作、線量率測定および LED への電流供給のための導線を照射室内から外部へ引っ張り出すことで、照射室外での電気的操作および測定を可能とした。

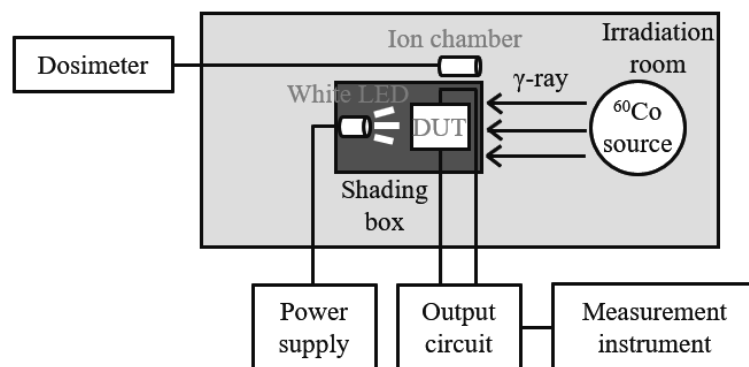


図 1 測定体系の構成図

3. 結果

生成法の異なる太陽電池にガンマ線を照射した結果、すべてで線量増加に伴う劣化が確認できた。しかし、その劣化量は太陽電池の種類や組成によって異なることがわかった。例えば、図2に示す多結晶シリコン太陽電池と単結晶シリコン太陽電池との比較では、多結晶のほうが線量に対する劣化量が大きい結果となった。これは、ガンマ線照射によって結晶間の境界で多くのキャリア捕獲準位が形成されたことが考えられる。

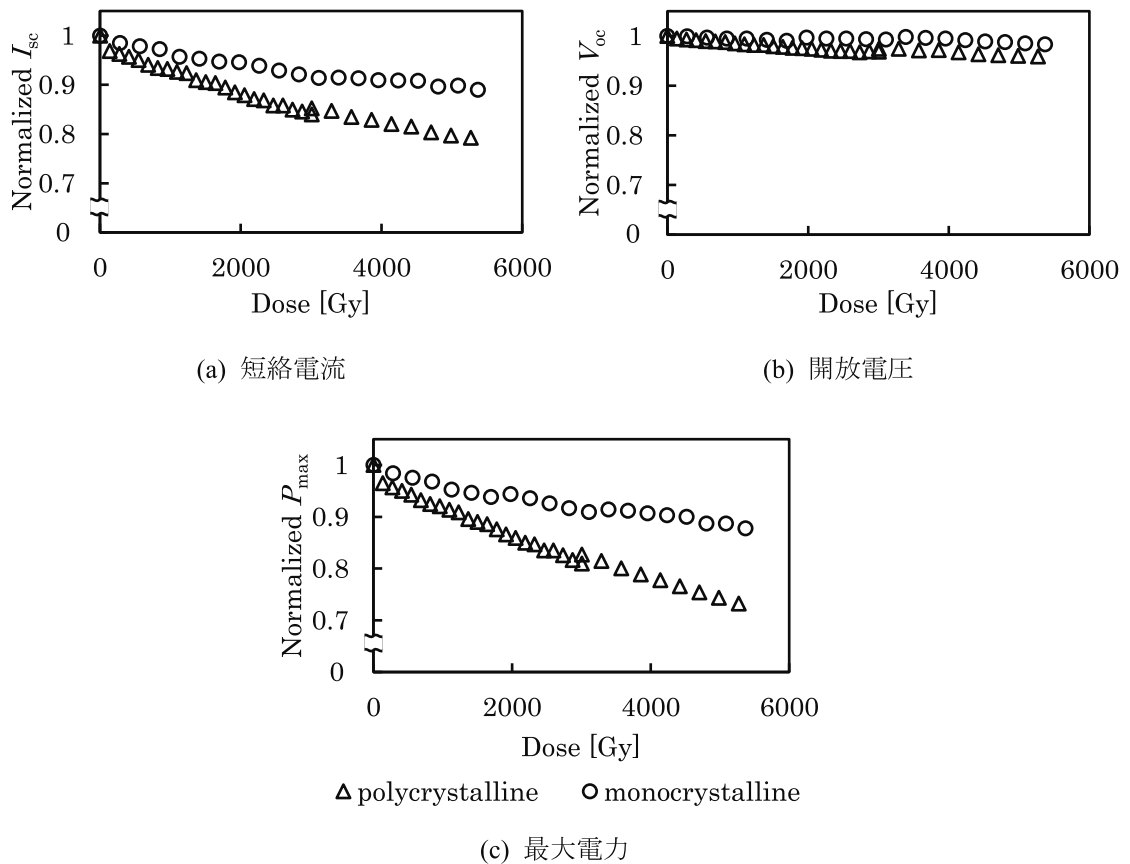


図2 線量に対する太陽電池の各パラメータ変化

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) 高廣真人, 大和直樹, Le Viet Huy, 宮丸広幸, 小嶋崇夫, 谷口良一: 半導体デバイスに対するガンマ線重照射効果の計測, 第12回放射線による非破壊評価シンポジウム, 東京都立産業技術研究センター, 2020年2月13-14日

大気エアロゾル金属成分の粒径別濃度

○伊藤憲男、溝畑 朗(大阪府立大学)、飯沼勇人、奥村 良(京大複合研)
(本研究に関する連絡先:メール ito_no@riast.osakafu-u.ac.jp)

概要

堺市で捕集した(2012年)大気エアロゾルに含まれる金属成分(Na,Al,Cl,K,Ca,Ti,V,Cr,Mn,Fe,Co,Ni,Zn,As,Br,Rb,Mo,Sb,Cs,Ba,La,Ce,Sm,Eu,Hf,W Th)について中性子放射化分析法により分析を行い粒径分布を得た。大気エアロゾル粒子は、アンダーセンサンプラーにより9粒径範囲(<0.43,0.43~0.65,0.65~1.1,1.1~2.1,2.1~3.3,3.3~4.7,4.7~7.0,7.0~11,>11 μ m)に分けて捕集された。捕集期間は1週間で、6捕集期間(P1:Feb.14-21, P2:Apr.03-10, P3:Jun05-12, P4:Aug.07-14, P5:Oct.09-16, P6Dec.11-18: in 2012)の試料について金属成分の分析を行った。

目的

本研究では堺市での大気エアロゾルの金属成分に以下項目について検証する。

- ① 各季節での粒径分布と濃度レベル ②粗大粒子に主に存在する元素と微小粒子に主に存在する元素の分類 ③健康に影響があると予測される元素の推定と危険度

背景 大気エアロゾルについて

大気エアロゾルは、大気に浮遊している粒径が0.001~100 μ mの粒子で、自然に生成されるものと人為的に生成されるものがある。その主な成分は、元素状炭素と有機炭素からなる炭素成分とイオン成分である。金属成分は主成分でないが、発生源の指標となる。

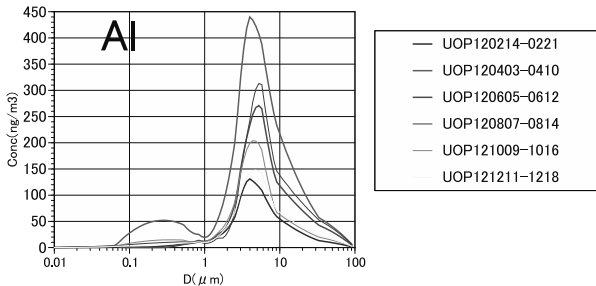
サンプリングと分析方法

大阪府堺市大阪府立大学で2012年に1週間の捕集を6期間行なった。元素分析下記表の条件により京都大学複合原子力科学研究所原子炉で行った。

結果

主に粗大粒子に存在する元素: Na, Al(Fig), Ca, Ti, Sc, Fe, Co, La, Ce, Sm

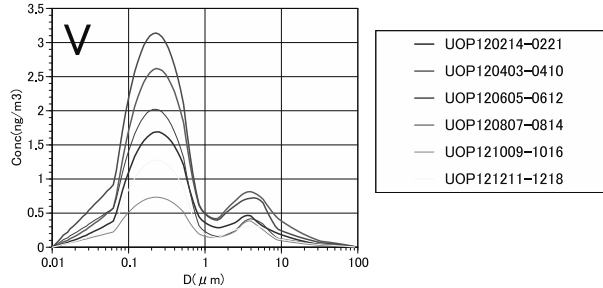
Naは海塩粒子で、それ以外は土壌粒子からの寄与である。Fe, Co, Laについては、微小粒子にも存在し、燃焼粒子の影響もある。



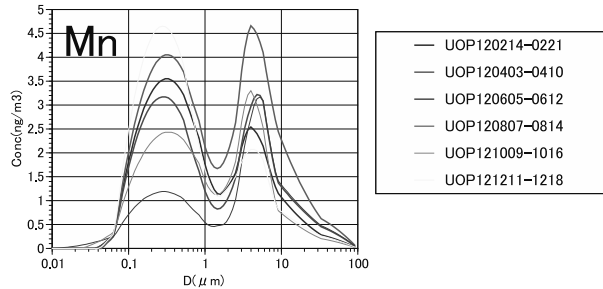
主に微小粒子に存在する元素:V(Fig), Br, Cs

燃焼起源の粒子の影響を大きく受けている。

Vは石油燃焼、Csはごみ焼却施設の影響と考えられる。Brはガスから生成したものと推定できる。



粗大、微小粒子に存在する元素:Cl, Mn(Fig), K, Cr, Zn, As, Rb, Mo, Sb, Ba

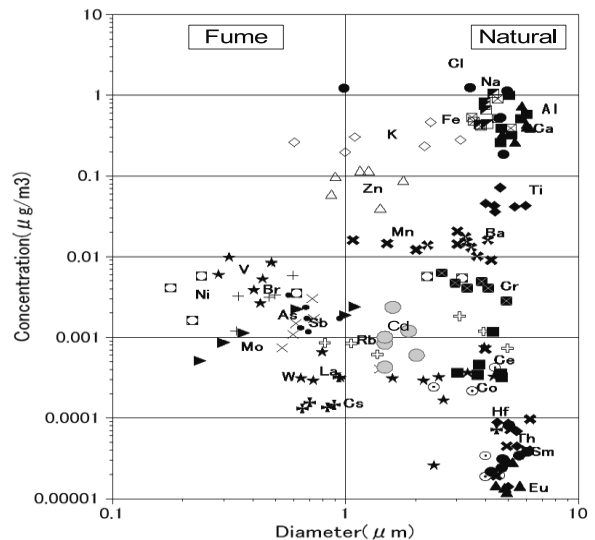


主な発生源 [粗大粒子] 土壌粒子、海塩粒子[微小粒子] 燃焼生成粒子 ガスからの生成粒子

考察

各粒径範囲の成分濃度の結果より、各成分の中心粒径(d50)を決定した。d50は、粒径の小さい方から積算した積算濃度が50%に達した粒径とした。6捕集期間それぞれについて、各金属成分のd50と濃度(全粒径範囲総計)の関係を示した図をFig示す。健康に及ぼす

d₅₀ and total concentration



濃度については不明だが、Ni,As,Br,Sbについては、微小粒子に多く、健康影響について懸念される。

本研究に関する研究発表

第52回京都大学複合原子力科学研究所学術後援会

汎用 SMF を用いたガンマ線量モニターの可能性検討

阪府大院工電シス 久保田 寛和, 寺井 達哉

(*本研究に関する連絡先: 電話 (内線) 6837、メール kubota@eis.osakafu-u.ac.jp)

光ファイバーに放射線があたったときの損失増加を放射線モニタリングに使う方法は、簡単で分布計測が可能であるため、度々提案されてきた。光ファイバーの原料である石英ガラスに放射線があたると、カラーセンターが生じ損失が増加することが知られている。カラーセンターによる吸収は可視域や紫外域に存在し[1]、常温でもアニールされて吸収は徐々に減少していく。陥数回復の時定数 1 種類であれば、黒化の時間変化は被ばく線量に対してローパスフィルタをかけた応答を示す。欠陥数が被ばく線量に比例し、黒化が欠陥数に比例すると仮定すると、線量と黒化の比例係数と、欠陥数回復の時定数がわかれば、黒化から被ばく線量を推定することが可能となる。マルチモード光ファイバを用いた放射線モニターは加速器のビームラインのビームずれを監視するシステムがあるが [2]、汎用シングルモード光ファイバ(SMF)は世界中に張り巡らされており、その時点で使用されていない SMF、あるいは被災して信号がとぎれた SMF を放射線モニタリングに使用することができれば、広範囲の放射線モニタネットワークを迅速に構成することができると考え検討を行ってきた。昨年度の検討でリアルタイムモニタリングには感度不足であることが判明したため、今年度は累積線量のモニタリングに方針変更した。

50 m の SSFM を 4 本用意し、未照射、1 回目のみ照射、2 回目のみ照射、2 回とも照射の 4 種類を融着接続して OTDR で損失の時間変化を測定した。照射線量は 1 回あたり 1 kGy (2kGy/h x 0.5h)、第 1 回目の照射(昨年度)後 1 年間常温保管し 2 回目の照射を行なった。照射終了 30 分後から 10 分ごとの 24 時間の損失測定では、損失が回復する時定数は 1 回照射、2 回照射とも約 3 時間であった。一方、1 回目のみ照射した光ファイバの損失は数 dB/km 増加したままであり、時定数の異なる複数の緩和過程が存在している。損失回復が予想以上に長い尾をひいたため、図のように 6 ヶ月間の連続測定を行った。時定数の短い成分影響をさけるため、3 日目以降のデータを用い、ペダスタルのある指数関数でフィッティングを行い時定数を算出した。2 回照射と 2 回目のみ照射で損失回復の時定数は 2 倍異なり、成分の分離が必要であるが、ペダスタルの値はほぼ照射線量に比例していた。

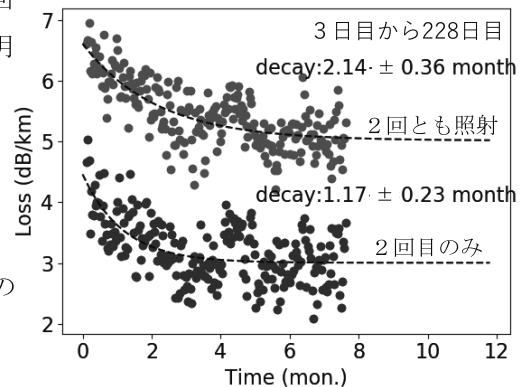


図 損失の経時変化

参考文献

- 1) E. J. Friebele and M. E. Gingerich, "Radiation-induced optical absorption bands in low loss optical fiber waveguides," XIIth International Congress on Glass, vol. 38, pp. 245-250, 1980.
- 2) K. Wittenburg, et al., TESLA Report No. 2000-26, pp. 1-21, Nov. 2000.

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) 久保田寛和, 寺井達哉, 三好悠司, レーザー学会第 4 1 回年次大会.(2021 年 1 月、オンライン開催予定)

Ag-Ni 複合イオン照射による固体ガラス内ナノ構造体の合成

阪府大院工 山田智子, 岩瀬彰宏, 松井利之, 堀史説*

量研機構高崎 前川雅樹, 河裾厚男

産総研ユビキタス 田口昇, 田中慎吾

東北大金研 正橋直哉, 千星聡

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

【緒言】金属ナノ粒子はバルク金属とは異なり, 結晶の周期性の低さから量子効果と呼ばれる電子状態に特異な性質を示す場合がある. その性質によって金属ナノ粒子は, 新規機能性材料として注目されている. 一般的な固体中のナノ粒子の制御合成は2つの方法がある. 一つは固体内に不純物を過飽和に固溶添加した後に熱処理などによって析出させる方法である. もう一つは固体にイオンを注入する方法である. この方法でも一般的には注入したイオンを析出させるためには熱処理が必要である. しかし近年, 後者の方法でも条件によって照射のみの1プロセスでナノ粒子が生成する場合があることがわかってきている. しかしその条件はターゲットとイオン種によって条件が複雑であり, 統一的な解明はなされていない. 加えて, その析出物の形状や構造を精密に制御した例はほとんどない. 本研究では, イオン注入法を利用して SiO_2 アモルファス内に複数の異なる金属イオンを照射し, 照射のみでのナノ粒子の複合化を目的とし, 生成粒子の状態や特性について検討している. 特に複合粒子を合成する際に, 照射イオン種によって照射時の拡散などの状況が異なることから, 今回は Ag 及び Ni イオンの SiO_2 中での粒子生成の照射順序を入れ替えて, 生成するナノ粒子の状態すなわち構造や形状及びその光学特性などの違いについて評価考察を行なった.

【実験方法】ターゲット材は透明な SiO_2 (アモルファス)を使用し, 量子科学技術研究開発機構高崎研究所 TIARA のイオン注入器にて注入後のイオン堆積深さが等しくなるようエネルギーを調整し, それぞれ 380 keV の Ag イオンと 200 keV の Ni イオンを同一ターゲットに対し室温で $0.5 \sim 1.5 \times 10^{17} / \text{cm}^2$ 照射した. 今回, 同じ照射量でのイオンの照射順を入れ替えた実験をそれぞれ実施した. イオン注入後の試料の光学特性を評価するため照射イオンの入射方向からみた紫外可視分光法(UV-vis)による測定を行った. また, 陽電子消滅測定法, 微小角入射 X 線回折(GIXD), X 線光電子分光(XPS), X 線吸収微細構造(XAFS)などを用いてナノ粒子の形状や微細構造などについて評価解析を行った.

【結果】照射後の光吸収において, Ni イオンを先に照射し Ag をその後に照射した試料と, その逆の照射順序である Ag イオンを先に照射し Ni イオンを後に照射した試料では, プロファイルに違いが表れた. また GIXD の結果から, 照射順序を変えることでナノ構造体が合金構造であると推測されるピークも観測された. 以上の結果より, 照射順序がナノ粒子自体の複合化とその特性と構造に影響を与えることがわかった.

【研究成果】

学会発表

[1] T. Yamada, A. Takano, K. Sugita, A. Iwase, M. Maekawa, A. Kawasuso, F. Hori, "Synthesis of Ag-Ni nanoparticles in amorphous glasses by ion implantation method", The Materials Research Society of Japan, November 27-29, Yokohama, Japan.

[2] T. Yamada, M. Maekawa, A. Kawasuso, F. Hori, "Synthesis and characterization of metal nanoparticles in SiO₂ amorphous glass by ion irradiation method", October 28-November 2, 2019, Nara, Japan.

[3] 山田智子, 鷹野陽弘, 杉田健人, 前川雅樹, 河裾厚男, 堀史説, 「Ni イオン制御照射による SiO₂ アモルファス中でのナノ構造体合成と特性」, 日本金属学会 2019 年秋期講演大会, 2019 年 9 月 11-13 日, 岡山大学津島キャンパス

[4] 山田智子, 鷹野陽弘, 杉田健人, 岩瀬彰宏, 前川雅樹, 河裾厚男, 田口昇, 田中真吾, 正橋直哉, 千星聡, 堀史説, 「異種イオン多重注入によるアモルファスガラス中での多元系ナノ構造体の合成」, 日本金属学会春期講演大会, 2020 年 3 月 17-19 日, 東京工業大学大岡山キャンパス

Zr系金属間化合物における照射導入欠陥と水素相互作用

阪府大院工 堀史説*、小川夏実、金野泰幸
京大複合研 徐虬

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

【緒言】水素は、エネルギー源として質量あたりのエネルギー密度が高い。その水素を利用するための貯蔵技術が盛んに研究され、現在最も多く研究されている水素貯蔵合金においては水素化合物による貯蔵が主であるが、高温高压での取り扱いや、水素脆化などの問題がある。一方、物質によっては内部の欠陥との水素相互作用により水素の捕獲が起こるものもあり、近年 BCC 型の合金や金属間化合物中の特定の空孔型欠陥において多量に水素を含む可能性が第一原理計算によって報告されている²⁾。そこで、本研究では、化合物合金ちゅうの格子欠陥として原子空孔への水素捕獲吸収の有無を確認するために、電子線照射によって原子空孔を導入し、そこに電気化学的手法によって水素を電界水素注入して、空孔への水素捕獲、および放出挙動について評価を行った。

【実験方法】試料には Zr₅₀Cu₄₀Al₁₀ の組成合金を用いた。アーク溶解により作製された試料をマイクロカッターで 6 mm Φ × 0.5 mm を 4 分の 1 した扇形に切り出し表面を鏡面研磨した。その後、真空中にて結晶化温度以上の 600 °C で 5400 s 均一化熱処理した。これに対し、傾角鑄造により同じ組成合金をアモルファス化した試料も空隙への捕獲挙動を調べるために用意した。それらの試料に対して 8 MeV のエネルギーで照射量 $1.0 \times 10^{18} \text{ e}^-/\text{cm}^2$ の電子線照射を行い、照射前後の試料に対して、X 線回折測定、陽電子寿命測定、同時計数ドップラー拡がり測定を行った。そして、照射後の Zr₅₀Cu₄₀Al₁₀ 合金に電解液として 6 mol/L の水酸化カリウム溶液を用い、電流密度を $2.621 \times 10^3 \text{ A/cm}^2$ に保って 4 時間の水素チャージを行った。水素チャージ前後の試料に対して、X 線回折測定、同時計数ドップラー拡がり測定、水素チャージ後の試料に対して昇温脱離分析 (TDA) 測定を行った。

【結果】電子線照射後の XRD 測定では結晶構造に全く変化はなく、欠陥導入による歪みなども観測されなかった。しかし陽電子消滅測定では、空孔の導入を示すドップラー拡がりプロファイルの先鋭化が観測された。この試料に対し水素注入を行うと、ドップラー拡がりのプロファイルのピーク値はやや減少し、空孔に水素が捕獲されたのではないかと考えられる。図 1 は水素チャージされた照射前後の Zr₅₀Cu₄₀Al₁₀ 合金の試料への水素導入後の昇温水素脱離挙動を示す。明らかに未照射と照射試料で異なる挙動を示し、照射試料での顕著な水素放出温度が高温にシフトしていることから空孔などの欠陥に捕獲されたためではないかと考えられる。

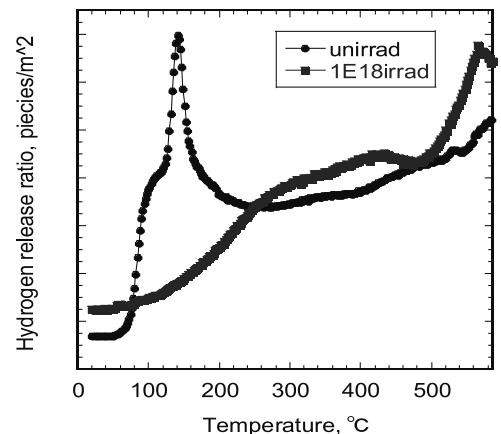


図1 電子線照射前後に水素チャージした Zr₅₀Cu₄₀Al₁₀ 合金の水素放出挙動

非破壊検査測定のための LCS-X 線を用いた陽電子消滅測定法の開発

阪府大院工 杉田健人、梅澤憲司、堀史説*

兵庫県立大高度研 宮本修司、橋本智、天野壮、寺澤倫孝

(*本研究に関する連絡先：電話（内線）4227、メール horif@mtr.osakafu-u.ac.jp)

1. 緒言

我々は陽電子消滅法を非破壊検査測定に適用するために、10 MeV を超えるエネルギーを持つ X 線を試料に直接入射し試料内部で陽電子生成-消滅を起こす陽電子消滅測定の開発を行ってきた[1]。このような手法は GiPS (Gamma induced Positron Spectroscopy) と呼ばれ、従来の陽電子消滅法で困難なバルク試料の非破壊測定が可能になる。我々は NewSUBARU 放射光施設で 10 MeV を超えるエネルギーを持つ LCS (laser Compton scattering) -X 線を使用し、バルク試料に対して GiPS による陽電子消滅 DB (Doppler broadening) 測定を行った。従来 GiPS に用いられてきた X 線は、エネルギー単色性の低い電子線由来の制動放射 X 線や、10 MeV 以下でエネルギーの低い LCS-X 線等であった。一方、NewSUBARU の LCS-X 線は準単色かつ高エネルギーであるため試料中で陽電子生成が支配的な反応になり GiPS に非常に有利な線源である。また、LCS-X 線は指向性が高く試料のアライメントが容易である。本稿では GiPS 測定装置の概要とその測定例として試料の密度変化による空隙の増加の検出を試みた。

2. LCS-X 線

本研究で使用する X 線は LCS と呼ばれるレーザー光子と相対論的電子の間に起こる散乱を利用して生成している。NewSUBARU 放射光施設ビームライン 01 では、種々のレーザーを使用することで 1~70 MeV まで任意のエネルギーを持つ LCS-X 線を使用できる。本研究では波長 1064 nm の近赤外レーザーと 982 MeV の電子によって生成した 16.9 MeV の LCS-X 線を利用し大気中で GiPS 測定を行った。このエネルギーの X 線では数センチメートル以上のサイズの試料を非破壊で測定可能である。

3. GiPS 測定装置の概要

GiPS は測定試料に X 線を直接注入して試料からの陽電子消滅 γ 線を測定するだけの極めて簡便な手法である。図 1 にその GiPS 測定の概要を示す。大気中にそのまま試料を配置し、鉛遮蔽された Ge 検出器で消滅 γ 線を取得し MCA (マルチチャンネルアナライザ) に取り込むだけの簡単な測定回路である。



図 1. GiPS 測定装置

4. 測定例

試料に直径 3 cm×高さ 4 cm の円筒形 Zr 合金のアモルファスと結晶の二種類を用意した (図 2)。アモルファスは結晶よりも密度が低く内包する空隙が大きくなる。従って、DB スペクトルに空隙の変化が反映される。一試料あたりの測定時間は 2 時間半で消滅ガンマ線を 23 万カウン

ト取得した (cps=25)。図3にこれらのDB測定から得られたSパラメータと密度の相関を示す。一般的に密度が低い試料では空隙が多くSパラメータが上昇する。本測定においても密度の低いアモルファスのSパラメータが高く、密度の高い結晶のSパラメータが低くなっており、良い相関を示した。

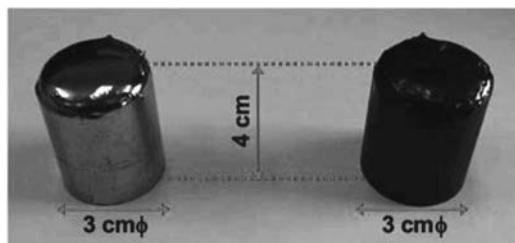


図2. Zr合金 (左) アモルファス (右) 結晶

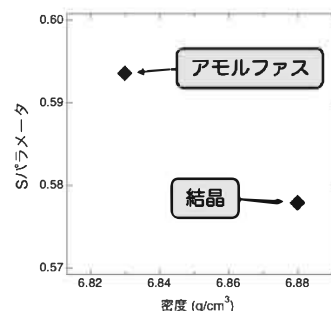


図3. Sパラメータと密度の相関

5. 結言

GiPSでは試料サイズや形状および測定雰囲気も任意に陽電子消滅測定でき、実際に同じ組成で密度の異なるアモルファスと結晶の空隙の増加を検出できた。この手法は、放射光ビームラインを利用する事ができれば、ユーザーは試料を装置の試料部分に置くだけで極めて簡便に測定を行うことができる。これにより陽電子消滅法の非破壊検査への適用が期待できる。

参考文献

- 1) K. Sugita, S. Miyamoto, M. Terasawa, A. Iwase, K. Umezawa, F. Hori, "Development of a positron annihilation measurement system by implantation of 17 MeV gamma beam into bulk materials", AIP Conference Proceedings Vol. **2182**(2019) pp. 040007-1-4.

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)

原著論文

- 1-1. K. Sugita, S. Miyamoto, M. Terasawa, A. Iwase, K. Umezawa, F. Hori, "Development of a positron annihilation measurement system by implantation of 17 MeV gamma beam into bulk materials", AIP Conference Proceedings Vol. **2182**(2019) pp. 040007-1-4.

報告書等

- 2-1. K. Sugita, S. Miyamoto, M. Terasawa, F. Hori, "Development of positron annihilation apparatus for defects study in bulk materials using BL01 gamma ray", LASTI Annual Report Vol.19 (2017) pp. 23-24.
- 2-2. K. Sugita, S. Miyamoto, M. Terasawa, F. Hori, "New challenge of GiPS measurement for bulk alloys using LCS gamma beam at NewSUBARU BL01", LASTI Annual Report Vol.20(2018) pp. 14-15.
- 2-3. 杉田健人、宮本修治、寺澤倫孝、橋本智、天野壮、梅澤憲司、堀史説、「NewSUBARUにおける高エネ

ルギーガンマビームを利用したガンマ線誘起陽電子消滅測定装置の開発」、Proceedings of the 16th Annual Meeting of Particle Accelerator Society of Japan (2019) pp. 126-129.

2-4. 宮本修治、杉田健人、堀史説、寺澤倫孝、岩瀬彰宏、天野壮、橋本智、「レーザーコンプトン散乱ガンマ線による高速陽電子材料検査」、Proceedings of the 15th Annual Meeting of Particle Accelerator Society of Japan (2018) pp. 1142-1146.

学会発表

3-1. Kento Sugita, Sguji Miyamoto, Mititaka Terasawa, Kenji Umezawa, Fuminobu Hori, “Gamma induced Positron Spectroscopy for bulk materials by using MeV energy direct current Laser Compton Scattring gamma beam”, 4th Japan-China Joint Workshop on Positron Science, October 28-November 2, 2019, Nara, Japan.

3-2. 杉田健人、宮本修治、寺澤倫孝、橋本智、天野壮、梅澤憲司、堀史説、「NewSUBARUにおける高エネルギーガンマビームを利用したガンマ線誘起陽電子消滅測定装置の開発」、第16回日本加速器学会年会、2019年7月31日-8月3日、京都大学吉田キャンパス

Zr 基金属間化合物への重イオン照射による微細構造変化

阪府大院工 堀史説*、鷹野陽弘、岩瀬彰宏
 東北大金研 和田武、加藤秀実
 原子力機構 斎藤勇一、石川法人
 京大複合研 徐虬

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

【緒言】イオン照射を含めた放射線がもたらす材料への影響については、原子力材料の劣化や脆化といった負の影響について多く研究されてきた。一方で、イオン照射がもたらす材料へのユニークな現象をもとに、イオン照射を材料改質や新機能付与の手法として利用しようとする研究も行われている。これまで Ni 基金属間化合物に重イオン照射を施すと、結晶構造から非平衡相であるアモルファス状態に変態し、それに伴う表面の硬度制御による材料改質への応用の可能性を見出されている。しかし、バルク材への粒子線照射によるアモルファス化の理解は進んでおらず、どのような合金系で変態の臨界点となる照射量や各種照射条件との相関など不明な点が多い。我々は、高温からの急冷でアモルファスが生成する経験則として知られる金属間化合物であり、実際の急冷で広い過冷却液体領域を有する $Zr_{50}Cu_{40}Al_{10}$ 合金の結晶材に対する重イオン照射効果について各種の照射条件での微細構造の変化とアモルファス化の重要な要因の一つと考えられる空孔型欠陥の挙動について調査し、それに伴う機械的強度の変化との相関について調べた。

【実験方法】アーク溶解で合金化した $8\text{mm}\phi$ の $Zr_{50}Cu_{40}Al_{10}$ 合金を厚さ 0.5mm 程度のディスク状に切り出した後、真空中にて 773K で均質化処理を行った。作製した試料に対し 200MeV Au イオン及び 200MeV Xe イオンをそれぞれ最大 $1\times 10^{14}/\text{cm}^2$ 、および $1\times 10^{15}/\text{cm}^2$ 照射した。イオン照射前後における結晶構造の評価として薄膜 X 線回折測定(GIXD)、高エネルギー加速器研究機構 BL-27B にて X 線吸収微細構造(EXAFS)測定を行った。また、空孔の評価として陽電子寿命測定、同時計数ドップラー拡がり測定、表面の機械的性質の評価としてマイクロビッカース硬さ測定を行った。

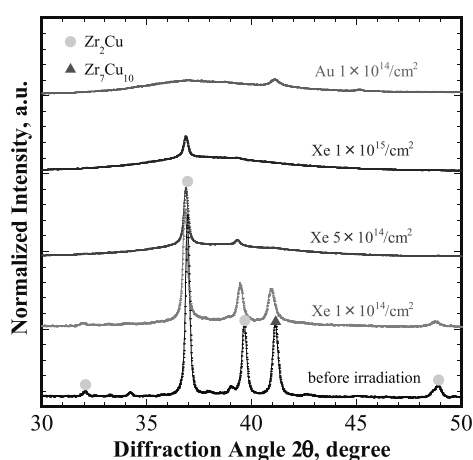


図 1 イオン照射後の $Zr_{50}Cu_{40}Al_{10}$ 合金の XRD プロファイル

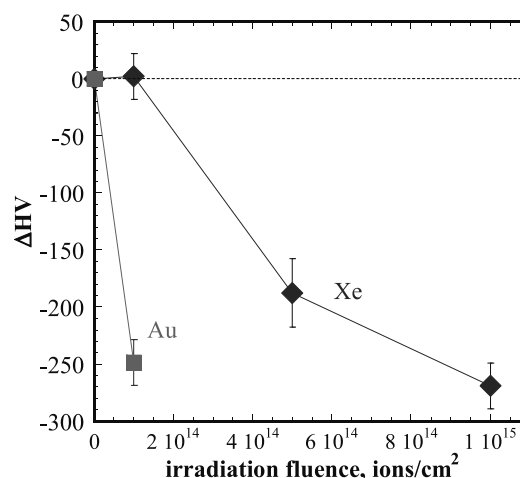


図 2 $Zr_{50}Cu_{40}Al_{10}$ 合金のビッカース硬さの照射による変化

【結果】図1はZr₅₀Cu₄₀Al₁₀合金の各イオン照射前後のX線回折プロファイルである。この合金への200 MeV-Au イオン照射では1×10¹⁴/cm²照射でZr₂Cuのピークは消失したが、Zr₇Cu₁₀のピークは消失せず、ピーク強度の減少と低角側へのシフトが観察されるなど、化合物相ごとの照射効果の違いが観察された。また照射による硬さ変化がAuイオンの方が急激に生じるなど照射イオン種依存性も確認された(図2)。

参考文献

1) H. Kojima, et al., Nucl. Instr. Meth. B, 372 (2016) 72

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 iron-atom clustering and magnetic property of iron-ion implanted silica glass by using EXAFS and SQUID measurement.

A. Iwase, K. Fukuda, Y. Saitoh, S. Semboshi, T. matsui, F. Hori, Y. Okamoto, N. Ishikawa

REI20 20th Int. Conf. on Radiation Effects in Insulators. Astana, Kazafhstan, Aug. 19-23 (2019)

2) Local Structural Change of ZrCuAl Intermetallic Alloy by Swift Heavy Ion Irradiation.

A. Takano, K. Sugita, T. Oonishi, N. Ogawaa, A. Iwase, Y. Kaneno, T. Wada, H. Kato, M. Maekawa, A. Kawasuso, N. Ishikawa, A. Kitamura and F. Hori

Japan-China Joint Workshop on Positron Science (Nara, Japan, Oct.28-Nov.1 2019)

3) Amorphization and Local Structural Change of ZrCuAl Intermetallic Alloy by Swift Heavy Ion Irradiation.

A. Takano, K. Sugita, T. Oonishi, N. Ogawaa, A. Iwase, Y. Kaneno, T. Wada, H. Kato, M. Maekawa, A. Kawasuso, N. Ishikawa, A. Kitamura and F. Hori

Materials Research Society Japan Annual Meeting MRSJ (Yokohama, Japan, Nov.27-29, 2019)

4) 高エネルギー重イオン照射による金属間化合物の非晶質化.

鷹野陽弘、小川夏実、大西智也、金野泰幸、岩瀬彰宏、和田武、加藤秀実、石川法人、喜多村茜、堀史説
第14回先進原子力科学技術に関する連携重点研究討論会(2019年8月,東京大学)

5) 高エネルギー重イオン照射による金属間化合物の局所構造変化

鷹野陽弘、杉田健人、岩瀬彰宏、和田武、加藤秀実、前川雅樹、河裾厚男、石川法人、喜多村茜、堀史説
日本金属学会秋期大会(2019年9月,岡山大学)

6) 化合物合金中への重イオン照射による微細構造変化とアモルファス化.

堀史説(招待講演)

タンデム加速器研究会(2020年1月,原子力機構東海研)

照射還元による Cu 系ナノ粒の合金合成制御

阪府大院工 堀史説*、内村祐也、山田智子、松井利之、田中慎吾、田口昇
京大原子炉 徐虬、阿倍尚也

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

【緒言】

ナノ微粒子は量子効果による特異な機能性発現や、比表面積効果により省資源かつ高機能材料としての注目を集めている。また、導電性のナノ粒子は電気電子デバイスの高密度化に利用される導電性塗料として期待されているが、銅は酸化傾向が強くナノサイズ化が難しい元素である。そのため、Cu ナノ微粒子は酸化（液体中ではイオン化）が起こりやすく安定な銅粒子でのナノサイズ化することとは難しい。我々はこれまでに γ 線照射還元法により水中での10nm以下のCuナノ粒子の合成に成功した^[1]が、大気中で瞬時に酸化することが確認されていた。そこでナノ粒子を合金化する事での安定化を試み、Cu-Au二元系ナノ微粒子の合成に成功し、Cu単体ナノ粒子と比較しても耐酸化性を持っていることがわかってきた。本実験ではさらに γ 線照射還元での二元系ナノ微粒子の構造制御を試み、構造と安定性の関連性について検討した。

【実験方法】

純水にCu錯体($\text{Cu}(\text{COOCH}_3)_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$ (10mM)、界面活性剤 SDS(50mM)、エチレングリコール(5.1ml)を加えた溶液60mLをPETバイアル瓶に入れ、10分間Arガスで脱気後 γ 線照射(線量率2.0kGy/h, 照射線量15kGy)を行い、Cuナノ粒子合成を行った。照射後にCuコロイド溶液を20mLのPETバイアル瓶に移し、Cuコロイド溶液と添加するAu錯体の濃度比が1:1、4:1、9:1となるようにAu錯体 $\text{NaAuCl}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ (10mM)を添加した。生成されたナノ微粒子の分析電子顕微鏡(STEM-EDS)による観察、微小角X線分光回折法(GIXD)による評価を行った。

【結果】

図1は照射還元する混合溶液のCuとAuの錯体濃度比の違いによるナノ粒子の電子顕微鏡写真である。濃度比の違いによって粒径分布が大きく異なり、銅イオンが多い方が、粒径が小さくなることがわかった。また、これらの粒子にはEDSでCuとAuが同じ粒子中に存在確認され、Cu-Au合金粒子であることが確認できた。また、これらのコロイド溶液を長期保存したところ、図のように銅濃度の少ない粒子はすぐに消滅してしまい、

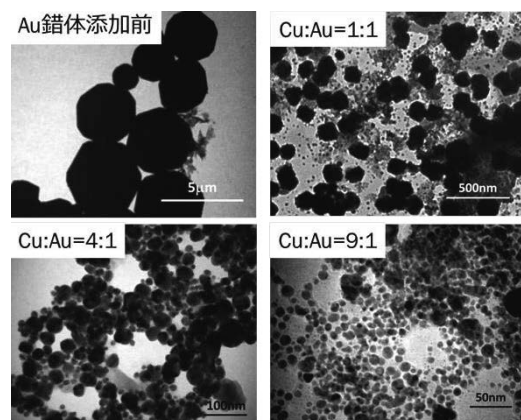


図1 濃度比の異なる Cu-Au ナノ粒子

銅濃度の高かった溶液では長期間粒子が残留しることがわかった。今回、この粒子の濃度比による構造の違いは XRD からは、CuAu という 1 対 1 比の化合物が観察されており、このような化合物相が安定性に効いている可能性が示唆された。

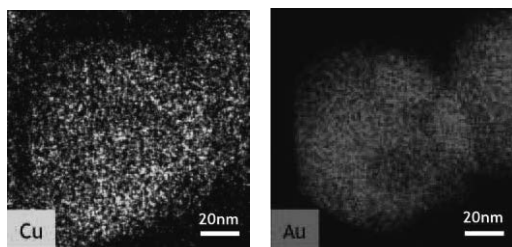


図 2 照射還元して合成したナノ粒子の EDS 分析像

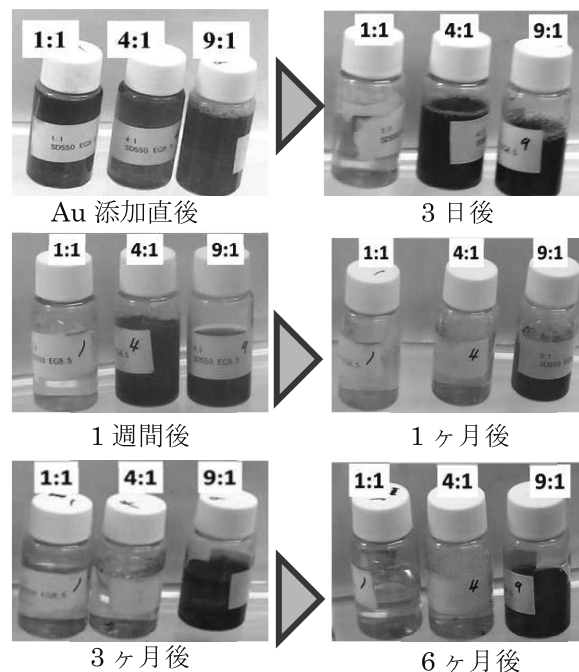


図 3 照射還元して合成したナノ粒子の長期間経過状態

参考文献

[1] Synthesis of Cu nanoparticles using gamma-ray irradiation reduction method, T. Hori, K.Nagata, A.Iwase, and F.Hori, Jpn. J. Appl. Phys. 53, 05FC05 (2014)

本研究に関する研究発表

- 1) 堀史説、谷真海、水越克彰、徐虬、照射還元による金属ナノ粒子のワンポッド合成担持における照射線質依存、日本金属学会秋期大会（2019年9月、岡山）
- 2) 内村祐也、山田智子、戸田晋太郎、徐虬、松井利之、堀史説、 γ 線照射還元法を用いた Cu 系合金ナノ粒子合成における添加イオン濃度依存性、日本金属学会秋期大会（2019年9月、岡山）
- 3) 内村祐也、戸田晋太郎、山田智子、松井利之、徐虬、堀史説、イオン濃度調整による γ 線照射還元 Cu 系合金ナノ粒子の合成制御、京大複合原子力研学術講演会（2020年2月、大阪）
- 4) ガンマ線照射還元による水溶液中での Cu-Au 系ナノ粒子の合成制御、内村祐也、山田智子、戸田晋太郎、松井利之、徐虬、田口昇、田中真悟、堀史説、日本金属学会春期大会（2020年3月、東京）

微細加工試料を用いたキラリティ誘起物性の研究

大阪府立大 院工 電子物理工学分野 戸川欣彦、宍戸寛明、高阪勇輔

(*本研究に関する連絡先：電話（内線）3557、メール y-togawa@pe.osakafu-u.ac.jp)

キラリティとは左手と右手のように鏡像の関係にあり実際には重ね合わせることが出来ない関係を意味する。加えて、ねじなどのらせん構造に見られるように「廻れば進み、進めば廻る」という特性を示す。つまり、キララル物質では幾何学的な構造とダイナミクスが直結するため、数々の興味深い物性が現れる。キラリティに誘起される物質応答に注目して研究を進めている。

例えば CrNb_3S_6 は単軸性のキララル結晶であり、磁気相転移温度以下で磁気モーメントがらせん状に秩序するキララルらせん磁性を示す。クリーンルームクラス 1000 の収束イオンビーム (FIB) 装置などを用いて、単結晶試料から一辺が 10 ~ 20 μm 程度の微細加工試料を切り出す。電子線リソグラフィとリフトオフ法を用いて、電気的な計測用に基板や微細加工試料上に電極パターンを作製する。クリーンルームクラス 10 の電子ビーム描画装置やクリーンルームクラス 1000 の真空蒸着装置などを用いる。このように作製した微細加工試料が特異な高周波応答などを示すことを見出した。低温・強磁場下での電気特性測定の一部には物理特性計測装置 (PPMS) を用いた。

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) Field driven recovery of the collective spin dynamics of the chiral soliton lattice, F. J. T. Goncalves, Y. Shimamoto, T. Sogo, G. W. Paterson, Y. Kousaka, Y. Togawa, Applied Physics Letters **116**, 012403/1-5 (2020). **Selected as an Editor's Pick.**
- 2) Switching behavior of the magnetic resonance in a monoaxial chiral magnetic crystal CrNb_3S_6 , Y. Shimamoto, F. J. T. Goncalves, T. Sogo, Y. Kousaka, Y. Togawa, Applied Physics Letters **115**, 242401/1-4 (2019). **Selected as a Featured Article.**
- 3) Theory of standing spin waves in finite-size chiral soliton lattice, Jun-ichiro Kishine, V.I.E. Sinityn, I.G. Bostrem, Igor Proskurin, F. J. T. Goncalves, Y. Togawa, A. S. Ovchinnikov, Physical Review B **100**, 024411/1-16 (2019).
- 4) Order and Disorder in the Magnetization of the Chiral Crystal CrNb_3S_6 , Gary W. Paterson, Tsukasa Koyama, Misako Shinozaki, Yusuke Masaki, Francisco. J. T. Goncalves, Yusuke Shimamoto, Tadayuki Sogo, Magnus Nord, Yusuke Kousaka, Yusuke Kato, Stephen McVitie, Yoshihiko Togawa, Physical Review B **99**, 224429/1-11 (2019). **Selected as Editors' Suggestion.**
- 5) Roles of superchirality and interference in chiral plasmonic biodetection, Cameron Gilroy, Shun Hashiyada, Kensaku Endo, Affar Shahid Karimullah, Laurence D. Barron, Hiromi Okamoto, Yoshihiko Togawa, Malcolm Kadodwala, Journal of Physical Chemistry C **123**, 15195-15203 (2019).
- 6) Observation of orbital angular momentum in the chiral magnet CrNb_3S_6 by soft x-ray magnetic circular dichroism, M. Mito, H. Ohsumi, T. Shishidou, F. Kuroda, M. Weinert, K. Tsuruta, Y. Kotani, T. Nakamura, Y. Togawa, J. Kishine, Y. Kousaka, J. Akimitsu, K. Inoue, Physical Review B **99**, 174439/1-12 (2019).

塗布型有機半導体デバイスの動作機構解析と特性評価法の開発

阪府大院工電子物理工学分野 永瀬 隆、小林 隆史、内藤 裕義*

(*本研究に関する連絡先：電話（内線）6521、メール naito@pe.osakafu-u.ac.jp)

プラスチックフィルムを支持基板に用いたフレキシブルディスプレイ、大面積センサ、低コスト電子タグ等の次世代のエレクトロニクスデバイスの開発において、塗布、印刷プロセスを用いて作製した有機半導体デバイスの性能向上や動作不安定性の改善が求められている。令和1年度は、前年度に引き続き、インピーダンス分光法を用いた有機ELの特性評価手法の確立に向けた研究[1]を進めるとともに、塗布作製可能な有機無機ハイブリッド有機ELとして期待を集めている量子ドット発光ダイオードの作製と動作機構解析に関する研究[2]に取り組んだ。特に後者においては、量子ドット発光ダイオードの発光効率の制限因子を機械学習を用いて解析し、有機半導体層から量子ドットへの正孔注入等の動作機構を明らかにした。また、動作中の有機薄膜太陽電池からキャリア輸送特性を評価する方法として変調分光法を用いた新たな測定手法を開発した[3,4]。有機半導体に存在する局在準位分布に制限を受けたドリフト移動度を本手法によって正確に決定できることを示し、また、塗布作製したバルクヘテロ接合型有機薄膜太陽電池に適用し、電子、正孔移動度を同時評価できることを実証した。有機トランジスタ研究においては、インピーダンス測定から得られる複素モジュラススペクトルを等価回路解析することで、高速動作を制限する寄生容量や移動度、界面準位等の基本的な物理量を評価できることを示した[5,6]。

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) M. Takada, T. Nagase, T. Kobayashi, and H. Naito, "Characterization of carrier transport properties in working polymer light-emitting diodes", SID International Symposium Digest of Technical Papers **50**, 263-266 (2019).
- 2) S. Sano, T. Nagase, T. Kobayashi, and H. Naito, "Mechanisms of operation in quantum-dot light-emitting diodes", Proceedings of the International Display Workshops **26**, 947-948 (2019).
- 3) H. Nojima, T. Kobayashi, T. Nagase, and H. Naito, "Modulated photocurrent spectroscopies for characterization of the charge transport process in organic photovoltaics", Journal of Physics: Conf. Series **1220**, 012018/1-4 (2019).
- 4) H. Nojima, T. Kobayashi, T. Nagase, and H. Naito, "Modulated photocurrent spectroscopy for determination of electron and hole mobilities in working organic solar cells", Scientific Reports **9**, 20346/1-8 (2019).
- 5) Y. Suenaga, T. Nagase, T. Kobayashi, and H. Naito, "Interpretation of modulus spectra in organic field-effect transistors: equivalent-circuit approach", Japanese Journal of Applied Physics **59**, SDDA06/1-5 (2020).
- 6) 末永 悠, 永瀬 隆, 小林隆史, 内藤裕義, "界面準位を考慮した有機電界効果トランジスタの等価回路", 日本画像学会誌 **59**, 18-27 (2020).

分子界面による 2 次元半導体の電子状態変調

阪府大院工電子物理工学分野 桐谷乃輔*, 福井暁人, 松山圭吾, 三浦光平, 藤村紀文
 (*本研究に関する連絡先: 電話 (内線) 5755、メール kiriya@pe.osakafu-u.ac.jp)

本グループでは、2次元半導体材料を用いたデバイス作製において、クリーンルーム施設内の設備を利用して頂いている。特に、クラス 10 室内のフォトリソグラフィおよび電子線描画装置を中心に利用をしている。

研究対象としている 2次元半導体は、遷移金属カルコゲナイド(TMDC: Transition metal dichalcogenide) と呼ばれる物質群である。サブナノスケール厚の結晶性骨格を有する半導体物質であり、シリコンデバイスをスケールダウンするとの期待感から注目されている物質群である。さらに、近年は、新たな物質相であるトポロジカル絶縁相発現の観点からも注目されており、この物質群は世界中で分野を超えた研究対象となっている。既往研究において、TMDC には結晶多形が存在することが知られ、半導体相である 2H 相、金属相である 1T 相と、その緩和した 1T' 相が一般的に広く知られている。特に 1T' 相はトポロジカル絶縁体としての性質を示すと期待がなされており、その実証に向けた研究競争が展開されている。しかしながら、1T' 相の発現、および物理化学的な安定性には課題があり、その実証は困難を極める。本グループでは、TMDC の一つである二硫化モリブデン (MoS_2) に対して、電子ドナー能を有する有機分子を接合することで、2H 相から金属的 1T 相および 1T' 相への転移を試み、研究を進めている。その実証に向けて、クラス 10 室内のフォトリソグラフィ設備を用い、 MoS_2 を半導体とした電界効果型トランジスタを作製した。そのデバイス表面へ、電子ドナー能を有する分子性材料を接合したところ、 MoS_2 への顕著な電子注入を確認し、金属的な相への転移を実証した。従って、我々は、温和な条件下において MoS_2 を転移させ、かつ安定な高濃度電子注入法の開拓に成功している。現在は、この実験的事実をさらに展開し、電子線描画装置を利用した短チャンネルデバイスを用いて、局所的に誘起されていると期待している 1T' 相の確認および実証を目指し実験を進めている。

参考文献

- 1) Air-stable surface charge transfer doping of MoS_2 by benzyl viologen, *J. Am. Chem. Soc.*, D. Kiriya, M. Tosun, P. Zhao, J. S. Kang, A. Javey, 2014, 136, 7853-7856.

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) Convection-Flow-Assisted Preparation of a Strong Electron Dopant, Benzyl Viologen, for Surface-Charge Transfer Doping of Molybdenum Disulfide, *ChemistryOpen*, K. Matsuyama, A. Fukui, K. Miura, H. Ichimiya, Y. Aoki, Y. Yamada, A. Ashida, T. Yoshimura, N. Fujimura, D. Kiriya, 2019, 8, 908-914.
- 2) 松山圭吾、他、有機分子による遷移金属ダイカルコゲナイドへの電子注入機構の開拓, 第 38 回電子材

料シンポジウム, 2019 年 10 月.

- 3) 松山圭吾、他、量子物性発現を志向した有機/二次元無機半導体接合系の構築, 第 80 回応用物理学会秋季学術講演会, 2019 年 9 月
- 4) 福井暁人、他、2 次元材料/アミド系分子間の特異的電荷移動メカニズム, 第 38 回電子材料シンポジウム, 2019 年 10 月.
- 5) A. Fukui, et al. Development of an Electron Doping Method Using Specific Interaction between Amide Molecule and MoS₂, Materials Research Meeting (MRM) 2019, Yokohama, 2019 年 12 月.
- 6) 福井暁人、他、MoS₂/アミド系分子間の電子移動メカニズムの検討, 第 80 回応用物理学会秋季学術講演会, 2019 年 9 月 (口頭発表)

機械学習によって設計したナノ共振器シリコンラマンレーザの実験的評価

阪府大工学研究科 川勝太郎*、高橋和

京大院工 浅野卓、野田進

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

【背景】我々は2次元フォトニック結晶ナノ共振器を用いたシリコンラマンレーザを開発してきた。本デバイスは、ヘテロ構造ナノ共振器に形成される2つの高 Q 値共振モード(ポンプモードとストークスモードと呼ぶ)に励起光とストークスラマン散乱光を閉じ込めることで、 $1\ \mu\text{W}$ 以下の低閾値を達成する。これまで報告したレーザ発振閾値の最少は $120\ \text{nW}$ で、ポンプモードの実験 Q_p 値は40万、ストークスモードの実験 Q_s 値は235万であった。2つの共振モードの Q 値を上げて、発振閾値をさらに下げることが、本デバイスの基礎・応用研究の可能性を広げるために重要である。近年、機械学習を用いることで、2つのモードの設計 Q 値を同時に高めることが可能となった。本研究では、機械学習により設計されたナノ共振器シリコンラマンレーザの Q 値と閾値を実験的に評価した。

【実験結果】図1に、作製したナノ共振器の構造を示す。2つの線欠陥は2つの共振モードを励起するための導波路である。基本構造は、空気孔半径が約 $124\ \text{nm}$ 、格子定数(a)が $410\text{-}415\text{-}420\ \text{nm}$ のマルチヘテロ構造ナノ共振器であり、機械学習に基づく設計手法により、図に示すように、従来構造から共振器付近の62個の空気孔位置を矢印方向にわずかにシフトさせてある。シフト量の最小は約 $0.5 \times a/1000$ 、最大が約 $3.5 \times a/1000$ である。設計 Q_p 値は99万、 Q_s 値が866万であり、それぞれ従来設計に比べて4倍大きくなっている。

C10棟共用クリーンルームで作製したナノ共振器に対して、ポンプ/ストークスモードの Q 値およびレーザ発振特性の測定を行った。図2に、最も閾値が低かったサンプルの共鳴スペクトルを示す。 Q_p 値は126万、 Q_s 値が270万となり、従来構造を大幅に上回る実験 Q 値が得られた。ポンプモードの放出強度から見積もった閾値は $50\ \text{nW}$ 以下となり、最小値を更新した。

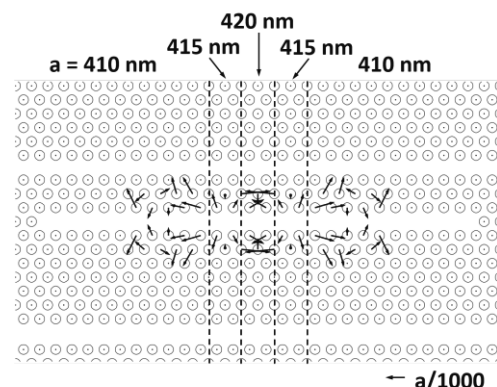


Fig. 1. Raman nanocavity laser structure designed by machine

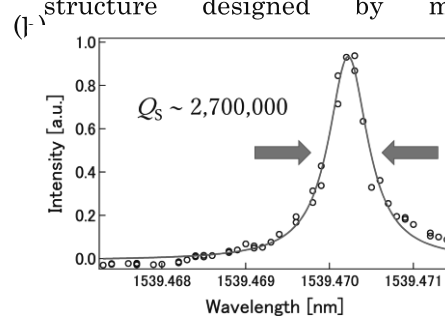
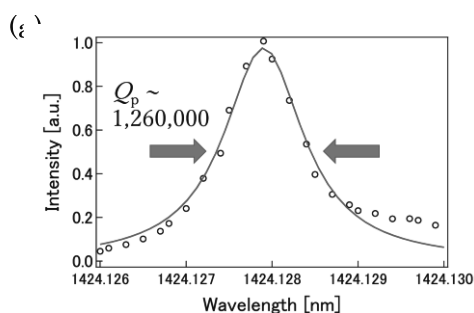


Fig. 2. Resonant spectra for the sample with the lowest threshold.
(a) Pump nanocavity mode. (b) Stokes nanocavity mode.

多層 MoS₂ 電界効果トランジスタで観測される階段状の伝達特性

阪府大院工電子物理工学分野 野内亮*、大岡拓也

(*本研究に関する連絡先：電話（内線）3628、メール r-nouchi@pe.osakafu-u.ac.jp)

近年、弱いファンデルワールス力で積層している層状物質を母物質に持つ2次元物質が、シリコンに替わる将来の半導体材料として着目されている。本研究において、代表的な層状半導体である MoS₂ をチャンネル層として用いた電界効果トランジスタ (FET) における、通常とは異なる FET 特性について見出した。具体的には、多層の MoS₂ をチャンネル材料とした FET において見られる、階段状の伝達特性の起源について議論した結果を報告する。

粘着テープを用いた天然結晶からの機械的剥離により、300 nm 厚の熱酸化膜を有する高ドーパ Si 基板上に数十 nm 以上の厚さを有する MoS₂ 薄片を形成した。ここで、高ドーパ Si 層はゲート電極として働く。次に、クリーンルーム内の電子線露光装置を用いたリソグラフィプロセスにより、剥離した結晶上に Cr/Au のソース・ドレイン電極を作製した。厚みの大きい MoS₂ のバックゲート FET においては、図 1(a) のような通常の特性に加え、図 1(b) に一例を示すように、2 段の階段状構造を持つ伝達特性 (ドレイン電流のゲート電圧依存性) が見られることがあった。原子間力顕微鏡を用いて薄片形状を詳細に観察した結果、階段状伝達特性を示すものは膜厚が不均一な薄片であることが分かった。2 次元層状結晶をチャンネルに用いた FET の正常な動作には、チャンネル薄片の膜厚の均一性が必要であることを示した成果である。

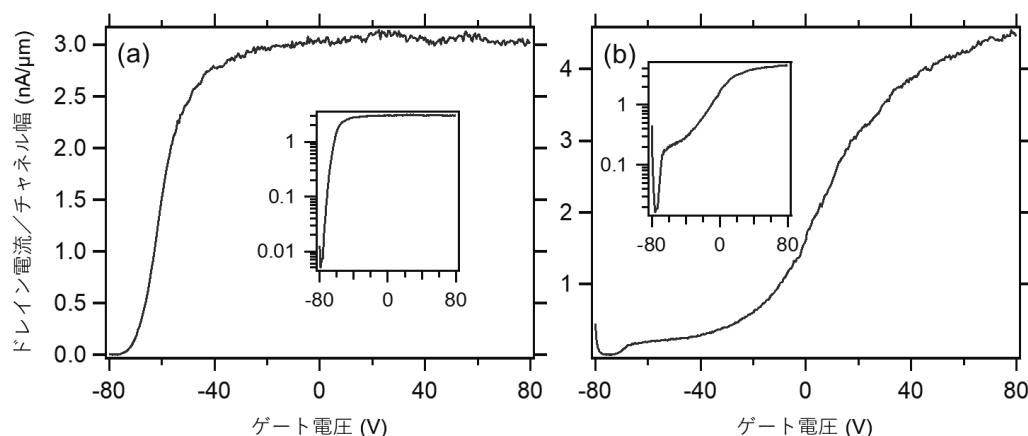


図 1. 多層 MoS₂ チャンネル FET の (a) 通常および (b) 階段状の異常な伝達特性の測定例。

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) T. Ohoka and R. Nouchi, Nano Express **1** (2020) 010002.
- 2) 大岡拓也, 野内亮, 第 80 回応用物理学会秋季学術講演会 (2019 年 9 月 20 日, 北海道札幌市).
- 3) T. Ohoka and R. Nouchi, 1&2DM 2020 (January 28, 2020, Tokyo Big Sight, Tokyo, Japan).

ナノ流路内におけるサブ 40 nm の Nano-in-Nano 構造の作製

阪府大院工 ○釜井弘樹、許岩*

(*本研究に関する連絡先：電話（内線）3579、メール xu@chemeng.osakafu-u.ac.jp)

INTRODUCTION

Nanofluidic devices are attracting attention in a wide range of fields such as physics, chemistry, biology, and medicine [1]. Due to various difficulties in the fabrication of nanochannels in glass substrates which are major substrate materials used in nanofluidics, most current nanofluidic applications are based on the use of nanochannels with feature sizes above 100 nm. The problem has greatly restricted the applications and impeded the realization of the potentials of nanofluidics, which is supposed to take advantage of a variety of new physical phenomena and mechanisms at scales below 100 nm or even 50 nm. In this study, through optimizing processes of the nano-in-nano integration which is a special nanofabrication strategy previously developed by us for nanofluidics [2,3], the fabrication of sub-40-nm nano-in-nano structures in nanochannels was achieved for the first time. We believe that the fabrication method would be very useful to expand both fundamental research and practical applications of nanofluidic devices.

EXPERIMENTAL

To produce a sub-40-nm nano-in-nano structures, we focused on the resist application and development in the fabrication process. When using the EB lithography method, the resist is denatured by electron irradiation. At this time, the electrons are scattered within the resist, and the nano gap is collapsed. Therefore, the resist layer must be thinned, and the development time has to be optimized accordingly. As such, a gap spacing of 30 nm was successfully produced on a glass substrate. Next, using the examined condition and nano-in-nano integration, we produced the gold patterns in nanochannels.

RESULT AND DISCUSSION

From the study of the fabrication conditions, optimal conditions of resist layer and developing time were obtained. By using these conditions, we can fabricate a gap spacing of 30 nm on a glass substrate. Next, by using nano-in-nano integration and investigated conditions, we succeeded in arranging the gold pattern having a gap distance of 32.5 nm in the nanochannel, and we were able to create many gold patterns in tens of nanochannels. This indicated that the conditions investigated in this study can be applied to the fabrication of sub-40-nm nano-in-nano structures in nanochannels.

REFERENCES

- [1] Y. Xu, Nanofluidics: A New Arena for Materials Science. *Adv. Mater.* 30, (2018).
- [2] Y. Xu, N. Matsumoto, Q. Wu, Y. Shimatani and H.Kawata, *Lab Chip* 15, 1989–1993 (2015).
- [3] Y. Xu, & B. Xu, *Small* 11, 6165–6171 (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) “Fabrication of gold patterns in nanochannel with the gap spacing less than 50 nanometers”, Hiroki Kamai, Yan Xu, The 11th International Symposium on Microchemistry and Microsystems, (2019)
- 2) “Fabrication of sub-40 nanometer nano-in-nano structures in nanochannels”, Hiroki Kamai, Yan Xu, The 24th International conference on Miniaturized Systems for Chemistry and Life Sciences, (2020)

報告書

「宇宙・惑星・地球のテラヘルツ波ヘテロダイン分光観測のための超伝導検出素子の開発」
プロジェクトに関わるクリーンルーム利用報告

大阪府立大学理学系研究科物理科学科 前澤裕之

(*本研究に関する連絡先：電話（内線）3246、maezawa@p.s.osakafu-u.ac.jp)

2019年度は、大阪府立大学 C10 棟クリーンルームクラス 100 室に、電子ビーム描画システム (EB-SEM：日立/東京テクノロジー) と、電子ビーム蒸着、RF スパッタ、DC マグネトロン/ヘリコンスパッター室を融合した複合製膜システム (Ulvac 社) を立ち上げた (図 2)。

天文学、特にミリ・サブミリの波長領域は Nb 電極を用いた超伝導/絶縁層/超伝導 (SIS) 接合のフォトンアシステッドトンネリング現象を利用した超高感度量子検出器の実用化により飛躍的に発展を遂げてきた (図 1)。しかし、テラヘルツ帯ともなると、フォトンのエネルギーが Nb のクーパー対による超伝導ギャップエネルギーを超えるため、SIS 検出器は機能を失ってしまう。このためテラヘルツ天文学は未開拓のままとなっている。しかしこのテラヘルツ帯には、酸素や炭素イオン、窒素イオンなど、宇宙の重要な基本構成要素のスペクトルの多くが未だ眠っており、天文学に残された最後の開拓波長域となっている。

我々は、この問題の突破口を開くべく、超伝導細線を集積した次世代の高速応答のホットエレクトロンボロメーターミクスサー (HEBM) 検出器の開拓を推進してきた。世界的には、実用的な素子は NASA JPL や ESA/デルフト工科大、モスクワ教育大など限られた拠点でしか研究開発が行えていない。我国では東京大学・大阪府立大学のチームが開発を担い、実際に望遠鏡へ搭載してテラヘルツ波長域の観測を成功させてきた実績をもつ。数年後に東京大学の研究室がクローズすることを見据え、2018年度末から2019年にかけてこの HEBM 素子製作プロセスの要となる上記 2 つのシステムやマスクアライナーなどを当該クリーンルームに移設させて頂いた。

2019年度は、移設と電源・排気系・プロセス用高圧ガスライン、装置の冷却水などのインフラ環境も含めて整備が完了した。さらに移設に伴い劣化が心配されるパーツをすべて交換し、エンジニア (大口氏/東京大学) と伴に 2 台の装置の機能や性能を検証し、好調であることを確認した。2020年度は実際に水晶基板を用いたデバイスの製作と院生への技術継承・教育を開始する予定である。

[参考文献]

- ・シリーズ現代の天文学 宇宙の観測 II 「電波天文学」5章受信機 4.3節 (前澤)
- ・Maezawa, H., IEICE Trans. on Elec., 98, 196 2015
- ・Maezawa, et al. IEEE Appl. Supercond., 15, 3520, 2005.

他

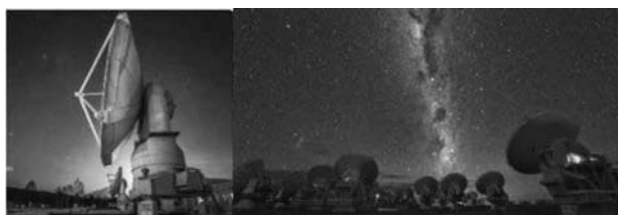


図1:(左) 報告者の太陽系地球型惑星の大気環境監視専用電波望遠鏡(口径 10m)。高度 1350m の野辺山宇宙電波観測所にて運用し、大阪府立大から遠隔制御している。(右)チリ共和国の標高 5000m アタカマ高地に建設された日・欧・米の ALMA 国際望遠鏡群。いずれの望遠鏡にも SIS 超伝導検出素子を搭載している。ALMA ではテラヘルツ帯への拡張も期待されている。

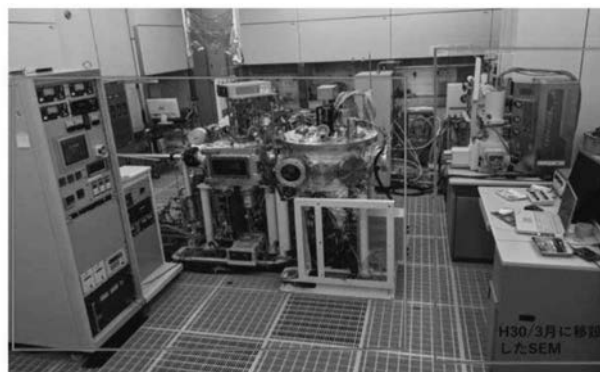


図 2: クリーンルームクラス 100 に立ち上げた、(右)開発した描画システムを実装したショットキーエミッション型走査電子顕微鏡 (S4300SE 日立ハイテクノロジー) に開発した描画システムと、(左)電子ビーム蒸着、RF スパッタールーム、DC マグネトロン/ヘリコンスパッター室を融合した複合製膜システム (アルバック社)。

紫外線架橋コラーゲングル上のマウス脳毛細血管内皮細胞の形態解析

阪府大院理生物科学専攻 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@b.s.osakafu-u.ac.jp)

【緒言】中枢神経組織のモデルとして、神経細胞やグリア細胞からなるオルガノイドが作られているが、血液脳関門や分岐した血管網を備えた組織の構築方法は未確立である。この様な興味から、我々はマウス脳毛細血管由来の内皮細胞と神経系の細胞の培養に取り組んでいる。本研究では血液脳関門モデル細胞として用いられているマウス脳毛細血管内皮細胞株 (bEnd.3 細胞) のコラーゲングル上における血管様構造の形成能を探るため、紫外線 (UV) 照射により架橋した I 型コラーゲングル上で bEnd.3 細胞を培養し、その接着応答と形態変化を調べた。

【実験】酸性コラーゲン水溶液の pH を中和して 0.45%(w/v) I 型コラーゲンを調製し (未架橋ゲル)、紫外線 (UV: 254 nm) を室温で 15 分間照射し、UV 架橋ゲルを調製した。UV 架橋の確認のため、ポリアクリドゲル電気泳動 (SDS-PAGE) を行った。円板状のゲル (直径 15.6、厚さ 5.3 mm) を試料として円板状のプローブ (直径 12 mm) を具備した装置で圧縮試験を行い、応力-歪み曲線からゲルのヤング率を求めた。ゲルの表面形状を原子間力顕微鏡 (AFM) で観察した。bEnd.3 細胞 (2 x 10⁴ cells/ml) は 10%(v/v) ウシ胎仔血清を含む DMEM 培地で 37°C、5%(v/v) CO₂ 条件で培養し、生細胞数は trypan-blue 染色で確認した。qRT-PCR 法により、インテグリンサブユニット遺伝子の発現レベルの変化を調べた。

【結果と考察】 UV 照射時間を変えて、細胞培養基材に適したゲル調製条件を求めた。15 分~6 時間程度 UV を照射したコラーゲングルの外観は未架橋ゲルと同じように白濁していたのだが、12 時間以上の照射ではゲルは無色透明に近づいた。コラーゲン線維から成るゲルは長時間の UV 照射では一部溶解すると推定された。ゲルを蒸留水に懸濁し、遠心分離後の上清と沈殿の蛋白質を定量した結果、上清に回収される蛋白質は 15 分間照射で最少となり、長時間の照射では徐々に増えた。このため、短時間の UV 照射ではコラーゲンサブユニット蛋白質の架橋が起きるが、長時間照射では併せて分解も起きると推定された。SDS-PAGE による蛋白質サブユニットの分子量変化も、この解釈を支持する結果であった。AFM 画像の観察によるとコラーゲン線維の形状は未架橋ゲル、UV 架橋ゲルとも 15 分 UV 照射では変わらな

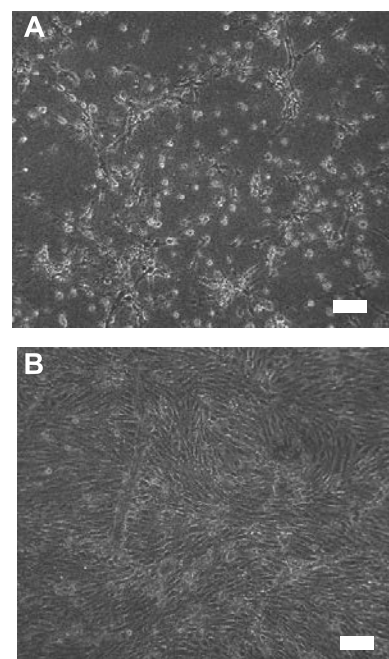


Figure 1 bEnd.3 cells attached to (A) a collagen gel, (B) a UV-crosslinked collagen gel. (bar: 100 μ m)

いが、1時間 UV 照射では線維が融合し、やや凝集した。15分間 UV 照射した UV 架橋ゲルは未架橋ゲルと比べて硬くなっており、約2倍のヤング率を示した。両ゲル上に bEnd.3 細胞を播種して培養したところ、UV 架橋ゲル上では細胞がゲル表面に良く接着、伸展し、速く増殖することで細胞間に隙間のない単層状態 (confluent) になるのに対して、未架橋ゲル上では接着した細胞数は少ないが、細胞同士が集まって、網目状に繋がる形態 (cord-like morphology) を示した。この形状は、血管内皮細胞の生体外での自律的な管腔形成の初期に起きると報告されている形態に似ていた。I 型コラーゲンに結合するインテグリンのサブユニット遺伝子の発現を qRT-PCR 法で調べたところ、Itga2 の発現は UV 架橋ゲル上で未架橋ゲルより低く、Itgb1 の発現では有意差が見られなかった。

参考文献

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. Mori, M. Hara, UV Irradiation of Type I collagen gels changed the morphology of the interconnected brain capillary endothelial cells on them, *Materials Science and Engineering C* (2020) 112, 110907. <https://doi.org/10.1016/j.msec.2020.110907>
- 2) 白岩 侑馬、森 英樹、原 正之、紫外線架橋コラーゲングル上で培養した神経幹細胞/前駆細胞と血管内皮細胞の形態解析、日本バイオマテリアル学会 関西ブロック第 14 回若手研究発表会 2019 年 9 月 5 日 (国立循環器病研究センター) ポスター.
- 3) 白岩 侑馬、森 英樹、原 正之、UV 架橋コラーゲングル上で共培養したマウス神経幹細胞/前駆細胞と血管内皮細胞の観察、第 71 回日本生物工学会大会、2019 年 9 月 16 日～18 日 (岡山大学) .
- 4) 森 英樹、原 正之、紫外線架橋コラーゲングル上のマウス脳毛細血管内皮細胞の形態解析、第 41 回日本バイオマテリアル学会大会 令和 1 年 11 月 24 日～26 日 (筑波大学・つくば国際会議場)
- 5) 鈴木 咲紀、森 英樹、原 正之、UV 架橋コラーゲングル上における脳毛細血管内皮細胞の形態変化に伴う接着分子の発現解析、BioMedical Forum 2020 (バイオインターフェース先端マテリアルの創生第 10 回シンポジウム、及び、第 8 回バイオ・メディカル・フォーラム) 2020 年 2 月 6 日 (大阪市立大学) ポスター

核内受容体リガンドを高感度検出するバイオアッセイ法の開発

阪府大学院 理 分子細胞遺伝学分野 大西 穂波、原島 小夜子、川西 優喜*、八木 孝司
 (*本研究に関する連絡先：内線：4224 メール：kawanisi@riast.osakafu-u.ac.jp)

【緒言】

私たちの暮らしはたくさんの化学物質に支えられているが、その中には汚染物質として有害な生理活性や毒性をもつものも数多く知られている。真核生物の酵母を用いたバイオアッセイは、培養や取り扱いが容易かつ安価である。私たちは、被験試料の核内受容体結合活性、神経伝達物質様活性、昆虫変態ホルモン様活性、DNA 損傷応答誘発性、重金属応答誘発性などを検出できる多種類の酵母を作出してきた。しかし酵母には細胞壁が存在するため被験物質の細胞内への移動が妨げられることがある。すなわち被験物質の細胞内濃度を高めることで酵母の高感度化とアッセイ時間の短縮が見込まれる。すでに細胞壁マンナンタンパク質遺伝子 *CWP1*, *CWP2* の破壊、また被験物質の流出を防ぐため薬剤排出ポンプ遺伝子 *PDR5*, *PDR10* を破壊したアッセイ酵母株が作製されている。本研究では、物質透過性のさらなる向上のため、細胞壁消化酵素によりプロトプラストを作出し、酵母プロトプラスト用に最適化したバイオアッセイプロトコルを確立することを目的とした。

【実験方法】

酵母のプロトプラスト化とプロトコルの改変

細胞壁溶解酵素 Zymolyase-20T でアッセイ酵母を処理した。細胞壁消化状態は、光学顕微鏡による形状観察と、細胞壁が完全溶解したときには 60%減少することが知られている OD₈₀₀ で評価した。Zymolyase の至適濃度、至適消化時間を酵母株ごとに検討した。細胞壁破壊により酵母は浸透圧に感受性を示すようになるため、最適な浸透圧調整剤とその濃度を酵母株ごとに検討した。バイオアッセイをおこなう際に最適な酵母プロトプラスト数やリガンド曝露時間等を検討し、新しいアッセイプロトコルを作成する。

酵母プロトプラスト使用の効果を評価

物質透過性はリガンドによって異なることが予想されるため、酵母株ごとに、化学的性質の異なる複数の化合物を用いてバイオアッセイをおこない、細胞壁消化がアッセイの高感度化・省時間化に寄与するか評価する。

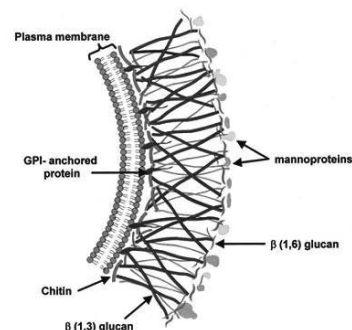


図1 酵母細胞壁の構造¹⁾

【結果と考察】

男性ホルモン受容体(AR)リガンド結合活性検出酵母は *CWP1*, *PDR5* 遺伝子破壊では高感度化しなかったため、本研究ではまずこの AR 株の細胞壁消化をおこなった。1 mg/ml の Zymolyase 添加後 90 分で OD₈₀₀ が約 25%減少した。プロトプラストによるアッセイで、野生株では既知リガンドであるテストステロンの検出感度の向上は得られなかったものの、変異株では検出限界が向上し、アッセイ時間が 19.5 時間から 8.5 時間に短縮した。従来のアッセイと比較して、曝露時間が短い為、菌体数をさらに増やす必要があると考えられる。変異株の高感度化は再現性があるのか試験段階である。

現在、物質透過性と細胞壁消化の関係を調べるため、色素を用いた物質透過性評価を検討しており、細胞壁消化の効果の視覚化を試みている。

【引用文献】

1) Shabir H Wani, Inducing Fungus-Resistance into Plants through Biotechnology, Notulae Scientia Biologicae 2 : 14-21(2010)

本邦の大腸がん患者から単離した コリバクチン産生大腸菌が誘発する遺伝毒性機構の解析

植嶋 亜衣¹, 久富 優太¹, 小田美光¹, 恒松 雄太², 佐藤 道大²,

平山 裕一郎², 三好 規之³, 岩下 雄二⁴, 吉川 悠子^{3,5}, 梶村 春彦⁴, 戸塚ゆ加里⁶,

八木 孝司¹, 若林 敬二³, 渡辺 賢二², 川西 優喜^{1*}

¹大阪府立大学 理, ²静岡県立大学 薬, ³静岡県立大学 食品栄養, ⁴浜松医科大学 医,

⁵日本獣医生命大学 獣医, ⁶国立がんセンター 発がん機構

(*本研究に関する連絡先: 電話(内線)4224、[メール kawanisi@riast.osakafu-u.ac.jp](mailto:kawanisi@riast.osakafu-u.ac.jp))

【背景・目的】

ヒトの腸管上皮表面は粘膜層で覆われ、粘膜層の外側には多くの細菌が棲息し細菌叢を形成している。コリバクチンは、腸内細菌叢中の特定の大腸菌によって産生される遺伝毒性ポリケチドで、大腸発がんへの関与が疑われている。コリバクチンは、哺乳動物細胞に DNA 二重鎖切断(DSB)や鎖間架橋(クロスリンク)を誘発する。コリバクチン産生 (*clb*⁺) 大腸菌は、*clbA*~*clbS* の遺伝子からなるポリケチド合成遺伝子クラスター(*pks* アイランド)を持ち、コリバクチンはこれら遺伝子がコードする酵素群による多段階反応で生合成される。腸内細菌叢は食生活の影響を強く受け、民族・文化などによって大きく異なるため、大腸がんなどの消化器系のがんは国ごとの疾患率の差が大きい。そこで、日本人大腸がん患者の大腸から単離された *pks* アイランド保有菌株を用いてその遺伝毒性を評価し、遺伝毒性発現メカニズムの解明を目的として本研究を行った。

【実験方法】

日本人大腸がん患者に由来する *pks* アイランド保有菌株(クローン#50, #253)をヒト結腸腺がん由来 LoVo 細胞に感染させ、菌株の遺伝毒性を *in vitro* 小核試験で評価した。その際、遺伝子破壊により *clbP* を欠損させたコリバクチン非産生株(#50*clbP*⁻)を陰性対照(*clb*⁻)株として用いた。このとき、対数増殖期、定常期初期の大腸菌を準備し、それぞれ LoVo 細胞に感染させ、大腸菌の増殖状態と小核誘導能の関係を調べた。

【これまでに得られた成果・考察】

ヒト結腸腺がん由来 LoVo 細胞を用いて *in vitro* 小核試験を行った結果、*clb*⁺株に感染した LoVo 細胞の小核保有率は、コリバクチン非産生株(#50*clbP*⁻)感染細胞に比べ有意に増加した。加えて、大腸菌の育成状態による遺伝毒性の変化を調べた所、対数増殖期より定常期初期の大腸菌株が高い小核誘導能を示した。先行研究において、定常期初期の *clb*⁺株は、コリバクチン産生に関与する酵素である *clbP* の発現量が最大となるということが示されており、この結果と一致する。さらに、細胞種による感受性の違いを調べた所、CHO 細胞に比べ LoVo 細胞においてより少ない感染大腸菌数で小核頻度が上昇し、細胞種により遺伝毒性が異なることが示唆された。

【今後の展望】

今後は、各 DNA 修復欠損 CHO 細胞株(塩基除去修復、ヌクレオチド除去修復、相同組換修復、非同末端結合修復)や DNA クロスリンク修復欠損ファンコニー貧血症細胞を用いて感受性試験・遺伝毒性試験を行うことで、コリバクチン誘導 DNA 損傷の修復に関与する機構の解析を行う予定である。

セレギリン塩酸塩ならびに関連物質のモノアミントランスポーターへの親和性 および再取り込み阻害活性

藤本製薬株式会社 塚本由夏、西村哲也、杉本潤哉、卜部和則、高畑和恵

大阪府立大学理学系研究科 川西優喜*、八木孝司

(*本研究に関する連絡先:電話(内線)072-254-9830(4224)、メールkawanisi@riast.osakafu-u.ac.jp)

ドパミントランスポーター (DAT)、ノルエピネフリントランスポーター (NET) およびセロトニントランスポーター (SERT) は、各モノアミン作動性ニューロンの主に神経終末の細胞膜上に局在している。これらのモノアミントランスポーター (MAT) は、シナプス間隙に遊離されたモノアミンを神経終末へ再取り込みし、シナプス前および後受容体の活性持続時間の制御、周辺のシナプスへの拡散の制限、代謝を免れたモノアミンの再利用を担っており、神経間のシグナル伝達の制御に重要な役割を果たしている。

パーキンソン病 (PD) は、静止時振戦、運動緩慢、筋強剛、姿勢反射障害といった運動症状を特徴とする一方、うつ病や認知機能障害などの非運動症状も高頻度に併発する。PD 患者では、黒質線条体ドパミン (DA) 神経の変性・脱落に加え、非 DA 神経機能障害が報告されている。セレギリン塩酸塩は、B 型モノアミン酸化酵素阻害作用による DA 代謝抑制に加え、DA 再取り込み阻害作用を有することから、シナプス間隙の DA 濃度を効率的に増加させることにより、PD の運動症状を改善すると考えられている。また、MAT はうつ病や注意欠陥・多動性障害 (ADHD) の薬物治療におけるターゲット分子でもあるため、MAT への親和性および選択性を修飾することにより、単一化合物で PD 患者の運動症状に加え、精神症状に対する効果が期待できる。本研究はモノアミン再取り込み阻害活性の評価系を用いて、セレギリン塩酸塩関連物質の MAT への親和性および選択性に関する構造活性相関を行うことを目的としている。

選択的セロトニン (5-HT) 再取り込み阻害薬であるセルトラリンは、抗うつ薬の一つであり、パニック障害および心的外傷後ストレス障害の治療にも用いられている。一方、セルトラリンの活性代謝物の立体異性体であるダソトラリンは、5-HT 再取り込み阻害よりも強いノルエピネフリン (NE) および DA 再取り込み阻害作用を有しており、ADHD を対象として臨床試験が行なわれている。両化合物は構造が類似しているにも関わらず、MAT への選択性が異なっているが^{1,2)}、同じ評価系を用いて両化合物のモノアミン再取り込み阻害活性を測定した報告はなく、直接比較できない。そこで、構造活性相関の一助として、ラットシナプトソームを用いた評価系を用いて、セルトラリンとダソトラリンの各モノアミン再取り込み阻害活性を評価し、両化合物の既報^{1,2)}の結果との比較を行った。

セルトラリンのラット DA、NE および 5-HT 再取り込み阻害活性の IC₅₀ 値は、それぞれ 225 nM、1975 nM および 14 nM、またダソトラリンのそれらは、それぞれ 11 nM、29 nM および 2254 nM であった。ダソトラリンは、セルトラリンと比較して、DA および NE 再取り込み阻害活性がそれぞれ 20 倍および 68 倍高く、5-HT 阻害活性が 163 倍低かった。既報¹⁾では、セルトラリンのラット DA、NE および 5-HT 再取り込み阻害活性の IC₅₀ 値はそれぞれ 1100 nM、1200 nM および

58 nM であり、本研究結果は既報と類似した傾向を示した。また、参考文献²⁾において報告されているヒト MAT 高発現細胞株を用いたダソトラリンの DA、NE および 5-HT 再取り込み阻害活性の IC₅₀ 値は、それぞれ 3 nM、4 nM および 15 nM であり、本研究の試験系でも類似の DA および NE 再取り込み阻害選択性を示すことが確認された。一方、参考文献²⁾ のモノアミン再取り込み阻害活性の IC₅₀ 値は、ラットシナプトソームを用いた本研究結果と比較し、DA で 3.8 倍、NE で 7.3 倍および 5-HT で 150 倍の乖離が認められた。これらは MAT (ヒト vs. ラット) および評価サンプルの違い (発現細胞株 vs. 脳シナプトソーム) など試験系の違いに起因する可能性が考えられた。

表 セルトラリンおよびダソトラリンのモノアミン再取り込み阻害作用

Compounds		IC ₅₀ (nM)		
		DA	NE	5-HT
Sertraline	—	225	1975	13.8
	Ref.1	1100	1200	58
Dasotraline	—	11.3	29.2	2254
	Ref.2	3*	4*	15*

*: ヒト MAT 高発現細胞株を用いたモノアミン取り込みの IC₅₀ 値

以上の結果より、MAT 阻害薬は脱メチルのようなわずかな構造変化や立体異性により、各 MAT に対する阻害活性および選択性が大きく変化することが示唆された。また、MAT への親和性および選択性を修飾することで、repositioning の可能性あるいは適応症のバリエーションを変化させられる可能性が考えられた。現在、セレギリン関連物質の各 MAT に対する再取り込み阻害作用を評価し、構造活性相関についてさらに検討している。

参考文献

- 1) Koe BK et al.: Sertraline, 1S,4S-N-methyl-4-(3,4-dichlorophenyl)-1,2,3,4-tetrahydro-1-naphthylamine, a new uptake inhibitor with selectivity for serotonin. *J. Pharmacol. Exp. Ther.* 1983. 226, 686-700.
- 2) Koblan KS et al.: Dasotraline for the treatment of attention-deficit/hyperactivity disorder: a randomized, double-blind, placebo-controlled, proof-of-concept trial in adults. *Neuropsychopharmacology.* 2015. 40, 2745–2752.

Lig4 変異マウス由来細胞における X 線誘発 DNA2 本鎖切断修復動態の解析

大阪府立大・院・理・放射線生物学分野 平戸結佳子、白石一乗、児玉靖司

近畿大学病院・放射線科・坂口健太

和歌山県立医科大・血液内科 田村志宣

(本研究に関する連絡先：電話(内線)4240, kodama@riast.osakafu-u.ac.jp)

【背景・目的】

放射線被ばくによる DNA 損傷のうち、DNA2 本鎖切断 (DNA double strand breaks : DSB) は最も深刻な損傷であり、適切に修復されなければ、細胞死や染色体異常を誘発する。哺乳動物細胞における DSB 修復経路としては、非相同末端結合 (non-homologous end joining: NHEJ) と相同組換え (homologous recombination: HR) の 2 つが知られている。このうち、前者において DNA 切断端をつなげる酵素である DNA ligase IV の遺伝子変異は、LIG4 症候群とよばれる小頭症や免疫不全を示す疾患を引き起こす。そこで本研究では、DNA ligase IV (Lig 4) 遺伝子に変異を持つマウス由来細胞を材料として、Lig 4 遺伝子変異が DSB 修復動態にどのような影響を及ぼすのかを明らかにする。

【実験方法】

Lig 4 ヘテロ変異マウス同士を交配して誕生したマウスの尾から DNA を採取し、遺伝子型を解析した。このうち、Lig 4 ホモ変異マウスを DNA 修復不全モデルマウスとして用い、対照として Lig 4 ヘテロ変異マウスを用いた。14.5 日齢の胎児から神経幹/前駆細胞 (neural stem/progenitor cells : NSPC) 及び線維芽細胞 (mouse embryonic fibroblasts : MEF) を採取して培養系に移した。X 線を照射 (1 Gy) し、その後の DSB 修復動態を DSB マーカーであるリン酸化ヒストン H2AX (γ -H2AX) フォーカス数を計測することによって調べた。フォーカス数は、ImageJ に基づいて開発したフォーカス計測プログラムを用いた。

【結果と考察】

Lig 4 ヘテロ変異 MEF では、DSB 数は X 線被ばく 30 分後でピークとなり、その後時間依存的に減少し、6 時間後で 1/4 程度まで、24 時間後には非被ばくレベルにまで低下した。一方、Lig 4 ホモ変異 MEF では、DSB 数は被ばく 30 分後で最大となるが、その後 6 時間までほとんど低下せず、24 時間後によりやくピーク時と比較して有意に (35%~50%程度) 減少した。さらに、NSPC でも同様の結果が得られた。すなわち、Lig 4 ヘテロ変異 NSPC では、DSB 数は X 線被ばく 10 分後にピークを示し、その後時間依存的に減少し、24 時間後には非被ばくレベルまで低下したのに対し、Lig 4 ホモ変異 NSPC では、DSB 数は 6 時間経過しても低下せず、12 時間後にピーク時と比較して 50%ほどの低下を示した。

Lig 4 ホモ変異マウスでは、両細胞で被ばく 6 時間までの速い DSB 修復がみられなかった。このことは、DSB 修復には速い修復と遅い修復があり、Lig4 は速い NHEJ で働くことを示している。一方、遅い DSB 修復の一つは HR と想定されるが、Lig4 が関与しない NHEJ が遅い DSB 修復として働いている可能性もある。

【本研究に関する研究発表】

1) 平戸結佳子、白石一乗、坂口健太、田村志宣、児玉靖司、Lig4 変異マウス由来細胞における X 線誘発 DNA 二本鎖切断修復動態の解析、日本放射線影響学会第 63 回大会、福島市、2020 年。

異なる年齢間に X 線被ばくした マウス神経幹／前駆細胞に発生する染色体転座の解析

大阪府大・院・理・生物科学・放射線生物 中村月覇、白石一乗、児玉靖司*
近大病院・放射線科 坂口健太

(*本研究に関する連絡先：内線 4240、kodama@riast.osakafu-u.ac.jp)

【背景と目的】

胎児期 (14.5 日齢)、新生児期 (<3 日齢)、及び成体期 (12 週齢) の異なる 3 通りの年齢で X 線被ばくしたマウスの神経幹/前駆細胞 (neural stem/progenitor cells : NSPC) について、被ばく 6 週間後に生じる DNA2 本鎖切断 (DNA double strand breaks : DSB) 数を調べると、被ばく時年齢で感受性が異なり、新生児期被ばくが最も放射線高感受性を示すことが明らかにされている。そこで本研究は、被ばく 6 週間後に生じる染色体転座頻度を指標とし、胎児期 (14.5 日齢)、新生児期 (1 日齢)、及び成体期 (12 週齢) マウス由来 NSPC を用いて、放射線感受性に関する被ばく時年齢依存性について解析する。

【材料と方法】

B6C3F1 マウスの胎児期、新生児期 (1 日齢)、及び成体期 (12 週齢) に X 線 2 Gy を照射した。成体期 (12 週齢) については、C57BL/6N マウスも照射 (2Gy) した。また、非照射の B6C3F1 (6 週齢)、及び C57BL/6N (18 週齢) マウスを対照群とした。被ばく 48 時間後と 6-7 週間後にマウスを解剖し、脳から NSPC を採取して培養し、染色体標本を作製した。Whole chromosome painting-FISH (WCP-FISH) を用いて、1 番染色体と 3 番染色体を異なる蛍光色素で染色し、蛍光顕微鏡で染色体転座数を計測した。

【結果と考察】

胎児期、新生児期 (1 日齢)、及び成体期 (12 週齢) に被ばくし、48 時間後のマウス神経幹／前駆細胞にみられる染色体転座は、胎児期と新生児期被ばくでは有意に増加した。これに対し、成体期被ばくでは増加しなかった。一方、被ばく 6-7 週間後に遅延性に生成される染色体転座については、胎児期、新生児期、及び成体期のいずれにおいても有意に増加した。そのうちでも、成体期被ばくが最も感受性が高くなることが分かった。クローン性転座はほとんど観察されなかったことから、被ばく 48 時間までに形成された転座が、そのまま 6-7 週間後まで残存した可能性は極めて低いと考えられる。染色体転座が被ばく 6 週間後に増加した事実は、X 線被ばくによって NSPC にゲノム不安定性が誘発された可能性を示唆している。今後は、放射線による細胞死を指標として、その感受性に関する年齢依存性も検討し、遅延性転座の生成メカニズム解明に迫りたい。

【本研究に関する研究発表】

- 1) 中村月覇、白石一乗、坂口健太、児玉靖司、X 線被ばくした新生児マウスの神経幹／前駆細胞に生成する遅延性染色体転座、日本放射線影響学会第 62 回大会、京都市、2019 年。
- 2) 中村月覇、白石一乗、坂口健太、児玉靖司、異なる年齢間に X 線被ばくしたマウス神経幹／前駆細胞に発生する染色体転座、日本放射線影響学会第 63 回大会、福島市 2020 年。

植物におけるオーキシン極性移動制御機構に関する生理化学的研究 (V)

大阪府立大学・高等教育推進機構 宮本 健助*

(*本研究に関する連絡先：電話 (内線) 3872、メール miyamoto@las.osakafu-u.ac.jp)

植物ホルモン・オーキシン (indole-3-acetic acid, IAA) は、主に茎頂分裂組織や若い葉で合成され、茎の中を細胞極性に従い求底的に移動するという特性 (オーキシン極性移動) を有している。この移動特性は、細胞伸長制御、器官分化、頂芽優勢など多面的生理作用に密接に関わっている。我々は IAA の関与する生理作用や IAA 極性移動制御の分子機構の解明を目的に、宇宙微小重力環境を利用した重力による IAA 極性移動制御機構に関する研究、および、IAA 極性移動制御による植物の生長・発達のケミカルレギュレーションに関する研究を展開した。加えて、植物ホルモン・ジャスモン酸類の生理作用に関する研究を展開した。

(1) 国際宇宙ステーションを利用し、宇宙微小重力環境下における放射性 IAA を用い IAA 移動に対する宇宙微小重力の影響を解析し、IAA 極性移動は重力の制御下にあることを明らかにした (原著論文 1)。さらに、IAA 極性移動関連キャリアータンパク質、特に排出を担う PIN タンパク質に着目し、エンドウの PsPIN1 抗体を用いて PsPIN1 タンパク質のエンドウ上胚軸における細胞内局在に対する宇宙微小重力の影響を明らかにした (原著論文 2)。また、宇宙実験の概要について、和文総説の形で紹介した (報文 1)

(2) キク科薬用植物を対象に天然型 IAA 極性移動制御物質を探索し、デヒドロコスタスラクトンをはじめとする数種類の α -メチレン- γ -ラクトン構造を有するゲルマクラン型セスキテルペンを IAA 極性移動阻害物質として単離・同定してきた。その作用機構の解明を試み、デヒドロコスタスラクトンには IAA 誘導細胞伸長阻害活性があること、さらにそれが IAA 誘導性の細胞壁伸展性の増加の阻害によることを明らかにした (原著論文 3)。

(3) サクラ (*Prunus yedoensis*) およびルバーブ (*Rheum rhabarbarum*) におけるジャスモン酸メチルによるガム物質の形成の植物ホルモン制御について、特にエチレンとの相互作用の観点から調べると共に、多糖性ガム物質の糖組成について明らかにした (原著論文 4 および 5)。

本研究に関する研究発表

1) 原著論文

- (1) Miyamoto, K., Inui, A., Uheda, E., Oka, M., Kamada, M., Yamazaki, C., Shimazu, T., Kasahara, H., Sano, H., Suzuki, T., Higashibata, A., Ueda, J.: Polar auxin transport is essential to maintain growth and development of etiolated pea and maize seedlings grown under 1 g conditions: Relevance to the International Space Station experiment. *Life Science in Space Research* 20:1-11, DOI 10.1016/j.lssr.2018.11.001.
- (2) Kamada, M., Oka, M., Inoue, R., Fujitaka, Y., Miyamoto, K., Uheda, E., Yamazaki, C., Shimazu, T.,

- Sano, H., Kasahara, H., Suzuki, T., Higashibata, A., Ueda, J. (2019) Gravity-regulated localization of PsPIN1 is important for polar auxin transport in etiolated pea seedlings: Relevance to the International Space Station experiments. *Life Science in Space Research* 22: 29-37, DOI 10.1016/j.lssr.2019.01.001.
- (3) Toda, Y., Okada, K., Ueda, J., Miyamoto, K. (2019) Dehydrocostus lactone, a naturally occurring polar auxin transport inhibitor, inhibits epicotyl growth by interacting with auxin in etiolated *Pisum sativum* seedlings. *Acta Agrobotanica* 72(3): 1779, DOI 10.5586/aa1779.
- (4) Miyamoto, K., Saniewski, M., Ueda, J. (2019) Gummosis and leaf abscission in Yoshino cherry (*Prunus yedoensis*): relevance to hormonal regulation and chemical composition of gums. *Acta Horticulturae* 1235: 467-474, DOI 10.17660/ActaHortic.2019.1235.65.
- (5) Marasek-Ciolakowska, A., Goraj-Koniarska, J., Kowalska, U., Miyamoto, K., Ueda, J., Saniewski, M. (2019) Histological analysis of methyl jasmonates-induced gummosis in petiole of culinary rhubarb (*Rheum rhabarbarum* L.). *Scientia Horticulturae* 254: 172-177, DOI 10.1016/j.scienta.2019.05.001.

2) 報文

- (1) 宮本健助、山本良一、上田純一 (2019) 国際宇宙ステーションと植物宇宙実験 (その1) - STS-95 植物宇宙実験を中心として - . 人間環境科学 26: 15-3 (帝塚山大学人間環境科学研究所) .

3) 学会報告等

- (1) Miyamoto, K., Inui, A., Uheda, E., Oka, M., Kamada, M., Yamazaki, C., Shimazu, T., Kasahara, H., Sano, H., Suzuki, T., Higashibata, A., Ueda, J.: Polar auxin transport is essential to maintain growth and development of etiolated pea seedlings on 1 g conditions: Relevance to the International Space Station (ISS) experiment. 第 60 回日本植物生理学会 (名古屋、2019 年 3 月)
- (2) 宮本健助: 植物の自発的形態形成とオーキシン動態: ISS 宇宙実験を中心として. 日本植物学会第 83 回大会 (仙台、2019 年 9 月)
- (3) 鎌田源司、岡 真理子、宮本健助、山崎千秋、嶋津 徹、笠原春夫、東端 晃、上田純一: Auxin Transport 宇宙実験: 宇宙環境下で生育させた黄化アラスカエンドウ芽生えにおける水チャンネル関連遺伝子の発現. 日本宇宙生物科学会第 33 回大会 (千葉、2019 年 9 月)
- (4) 山崎千秋、山崎誠和、榊原均、小嶋美幸、竹林裕美子、鎌田源司、-岡 真理子、宮本健助、山崎千秋、嶋津 徹、笠原春夫、東端 晃、上田純一: Auxin Transport 宇宙実験: 黄化芽生えにおける植物ホルモンの網羅的解析. 日本宇宙生物科学会第 33 回大会 (千葉、2019 年 9 月)
- (5) 宮本健助、Dziurka, K., Goraj-Kooniarska, J., 上田純一、Saniewski, M.: ジャスモン酸メチル処理によるイチョウの葉の老化促進: 内生植物ホルモン動態の観点から (鳥取、2019 年 11 月)

Using gamma rays for inactivation of fungi from contaminated old Japanese books and documents damaged by floods

阪府大院工・量子 Nguyen Thi Thuy Linh*、古田雅一

大阪衛生協会 久米田裕子

神大 松下正和、吉川圭太

国立歴史民俗博物館 天野真志

京都造形芸術大 内田俊秀

産業創成大学院大学 藤田和久

榊里灯都 酒井浩一

(*本研究に関する連絡先：電話（内線）3542、メール mfuruta@b.s.osakafu-u.ac.jp)

Old books and documents made from Broussonetia kazinoki paper are an unique part of Japan's culture. They are susceptible to fungal damage after being submerged in floodwaters. The purpose of this study is to investigate the bactericidal power of gamma radiation traditional Japanese paper. For this purpose, morphology and molecular biology are applied to identify fungal contaminated on old Japanese books damaged by floods. *Penicillium*, *Aspergillus*, *Cladosporium* and *Chaetomium* are the most frequency isolated species. Their representatives were irradiated in dry and wet conditions. The conidia in the aqueous suspension being more sensitive to radiation than the dry state. In which *C. cladosporioides* is the most resistant to gamma rays. Investigation of the radiation resistance of conidia, germinating conidia and mycelia on cellulose filter paper shows that mycelia are resistant to radiation up to 12 kGy. In contrast, conidia and germinating conidia are more sensitive to gamma-rays; they only survive at 6-7 kGy. The degradation degree of Broussonetia kazinoki paper was studied through the tensile test and colourimetry. The results show that under 30 kGy, the mechanical change of paper is acceptable.

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) Nguyen Thi Thuy Linh、古田雅一、久米田裕子、松下正和、吉川圭太、天野真志、内田俊秀、藤田和久、酒井浩一、Using gamma rays for inactivation of fungi from contaminated Japanese old books and documents damaged by floods 大阪府立大学研究推進機構・放射線研究センター平成 30 年度共同利用報告会 2019 年 11 月 5 日（火）大阪府立大学 C 1 3 棟講堂

加熱・ガンマ線による芽胞損傷とチモールの併用効果

阪府大研究推進 岡田太地、朝田良子、清田俊治、古田雅一

阪府大微制研 土戸哲明、坂元仁

(*本研究に関する連絡先：電話（内線）3542, 3590、メール mfuruta@b.s.osakafu-u.ac.jp)

食品や医療分野においては殺滅菌技術が不可欠である。食品においては加熱殺菌が一般的であるが、近年味や栄養価などの品質を保つために比較的温和な殺菌が好まれる傾向にある。その結果、熱耐性の細菌芽胞の生残リスクが高まることが懸念される。

また、芽胞は熱処理後、実際には生存していても発芽能を喪失したために死滅したとみなされ、殺菌効果が過大評価される場合も想定される。芽胞の発育には発芽、発芽後成長から栄養増殖に至る連続的なプロセスがあり、より有効な殺滅菌を行うには、殺菌処理が芽胞の発育のどの段階でかつどのような作用を及ぼすのかを把握することが重要である。

当研究室での先行研究において、食品にも適用可能な天然物の精油成分である **thymol** が枯草菌芽胞の発芽過程を抑制すること、また熱および放射線による殺菌処理生残芽胞の発育遅延をもたらすことが分かっている¹⁾。本研究では、さらに詳細な作用機構を解明し、実用上の適用条件に関する知見を得ることを目的として、**thymol** による加熱処理芽胞と放射線照射による損傷芽胞の発芽および発芽後成長に対する抑制作用とその特性を比較・検討することとした。

枯草菌 (*Bacillus subtilis*) 168 *trpC2* 野生株を用い、Schaeffer 培地上、37°Cで芽胞を形成させた。発芽培地にはリン酸カリウム緩衝液 (KPB, pH7.0) に発芽誘発剤として **L-alanine** と **AGFK (L-aparagine, D-glucose, D-fructose, KCl)** を添加したものをを用いた。

まず、加熱とガンマ線照射による発芽速度の面から発芽速度活性化条件を調べた。その結果、加熱処理芽胞では 70°C・20 分において発芽速度が上昇し、75, 80°C・20 分加熱すると低下した。一方で、1~8kGy の線量でのガンマ線照射芽胞では発芽速度に変化はみられなかった。

次に KPB 中で芽胞を加熱損傷させた後、**thymol** の存否による TSB(Trypticase soy broth) 中での発育遅延の程度を評価した。その結果 **thymol** 濃度の増加に伴って発育遅延が増大し、加熱損傷と **thymol** の添加は相乗的な発育遅延効果を生じることが分かった。さらに **thymol** を添加した KPB 中で加熱損傷させた後に **thymol** 添加 TSB 培地で発育させることで更なる発育遅延が生じたことから、**thymol** は加熱後の発育抑制効果を示すだけでなく加熱中にも効果増強の要因を持つことが示された。未加熱の芽胞を **thymol** 含有 TSB に添加すると、発芽による濁度低下がほとんど生じないことから発芽阻害作用が確認され、その一方で加熱損傷芽胞は **thymol** 高感受性になることから発芽後の発芽後成長に対しても **thymol** が作用すると考えられた。

一方でガンマ線照射後での thymol 添加は TSB 中での発育遅延を生じなかった。

得られた結果から、芽胞活性化条件として 70°C・20 分処理すること、thymol は単独でも芽胞の発芽を抑制するが、加熱処理芽胞では発芽後成長阻害がとくに強く現れるものと推察した。

参考文献

- 1) T. Sakai, T. Tsuchido, M. Furuta, Inhibitory effect of spice powders on the development of heated and irradiated *Bacillus subtilis* spores as evaluated by calorimetry, *Biocontrol Science*, 23(3), (2018) 121-128

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) 岡田太地、阪井俊夫、朝田良子、坂元仁、土戸哲明、古田雅一、中村一郎、枯草菌芽胞の加熱処理における発芽能の活性化・不活性化反応の複相解析に基づく損傷芽胞の発生モデル
日本防菌防黴学会 第 46 回年次大会、令和元年 9 月 25 日（水）～26 日（木）千里ライフサイエンスセンター（大阪府吹田市）

ガンマ線照射による天然岩絵具への影響に関する研究

神大 松下正和、
 国立歴史民俗博物館 天野真志
 京都造形芸術大 内田俊秀
 光産業創成大学院大学 藤田和久
 (株)里灯都 酒井浩一
 阪府大院工・量子 古田雅一*

(*本研究に関する連絡先：電話（内線）3542、メール mfuruta@b.s.osakafu-u.ac.jp)

頻発する風水害により水損した古文書のカビ被害は、発災時の資料廃棄の大きな要因となり、収蔵環境の悪化、解読や保全作業従事者の健康被害の可能性もあるため、和紙や顔料の劣化を抑制しつつも短時間で大量に処置・殺菌可能な放射線照射量の確定を目指している。水損資料の中には彩色されたものも含まれているため、天然顔料（岩金茶・岩群青・岩辰砂・茶白・松葉緑青・岩岱赭・胡粉）を塗布した和紙に 10kGy のガンマ線を照射し、試験片の表裏の色彩色差を $L^*a^*b^*$ 表色系で計測し、劣化度合を検討した。

江戸時代に広く利用された杉原系統を想定し、楮と米粉の重量比を 1:1 の割合で作成された和紙サンプル（約 5cm 四方の試料片）に対し、7 種類の天然顔料を塗布した。なお、顔料塗布以前に、滲み止めにドーサを引き（明礬 1g を膠水 200g に溶解。なお膠水は水 190g に膠 10g を溶解）、ドーサが十分乾燥したうえで各種顔料を膠水で溶き、乾燥させ、2 回重ね塗りをおこなった（和紙の白色が十分隠蔽するまで、12g 前後の顔料を使用した）。その後、大阪府立大学放射線研究センターのコバルト 60 ガンマ線照射施設を利用し 10kGy のガンマ線を照射した。コニカミノルタ製分光測色計 CM-2600d を使用し、試験片の表裏を $L^*a^*b^*$ 表色系で計測した。その結果、岩群青（sno 3）の試料に照射後の若干の色の退色が見られた他は、肉眼での観察では訓練を受けた人が判断できる程度の変色にとどまっているとみなされた。以上のことから、色彩色差計による計測結果では、未照射のコントロールにみられる色彩のバラツキの範囲内に入り有意な変化は認められず、10 kGy 以下の低線量照射による天然岩絵具への影響は軽微であることが判明した。

なお、本研究は、基盤研究 (S)「災害文化形成を担う地域歴史資料学の確立—東日本大震災を踏まえて」（研究代表者：奥村弘）の研究成果の一部である。

参考文献

- 1) 松下正和・天野真志・内田俊秀・藤田和久・酒井浩一・吉川圭太・古田雅一「和紙に発生したカビの放射線殺菌に関する研究」（文化財保存修復学会第 39 回口頭報告）

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) 松下正和、天野真志、内田俊秀、藤田和久、酒井浩一、古田雅一、ガンマ線照射による天然岩絵具への影響に関する研究、2019年6月22日（土）文化財保存修復学会第41回大会@帝京大

真菌胞子の物理的殺菌プロセスにおける損傷の解析と動態評価

阪府大研究推進 堀切茂俊、朝田良子、清田俊治、古田雅一*、
阪府大微制研 土戸哲明

(*本研究に関する連絡先：電話（内線）3542, 3590、メール mfuruta@b.s.osakafu-u.ac.jp)

糸状菌は、住宅環境や食品衛生分野などで品質劣化や環境悪化のリスク要因となり、中毒やアレルギー疾患などの深刻な健康被害を引き起こす。さらに食品衛生分野において進められている殺菌処理のミニマムプロセッシングにおいて、検体中に亜致死的(sub-lethal)な損傷菌(injured cells)が発生する恐れがあり、より高度な対策が求められている。本研究では、環境中の糸状菌である *Cladosporium cladosporioides* と *Aspergillus niger* を対象とし、物理的殺菌手法である加熱殺菌とガンマ線照射殺菌に関する損傷菌の生成とその機序を解明することを目的とし、以下の成果を得た。

(1) 糸状菌の低負荷殺菌において、亜致死損傷を受けた菌体は生長の遅延現象として現れることを見出し、発育遅延解析法を基に二重培養法による損傷菌解析法を確立した。さらにこの遅延現象の速度論的解析により、生長までの遅延時間に基づく λ 損傷と、生長速度低下に基づく μ 損傷の2つの損傷モードからなることを見だし、これらを個別のパラメータとして設定するとともに、それぞれ定量化するための解析理論を構築した。

(2) *C. cladosporioides* の熱感受性を評価するため熱死滅反応のアレニウスプロット解析及びタイムラプス顕微画像解析によって、45°Cにおいては加熱時間の増加に伴い λ 損傷が顕著に増加し、発芽膨潤開始のタイムラグ増加と発芽胞子数増加率の低下が影響することを明らかにした。また μ 損傷は分岐形成率の低下が影響することを確認し、さらに液胞局在性の酸性染料であるキナクリンによる染色により、加熱による損傷菌発生には液胞の分解が強く関わっていることを示した。

(3) 構築した解析法が *A. niger* の ^{60}Co ガンマ線照射による死滅過程の評価と損傷菌生成の検出と定量化に適用できることを示し、 μ 損傷が大きく、 λ 損傷は加熱に比べて大幅に小さいことを見出した。さらに顕微画像解析により、 μ 損傷の増加は生長過程で成長停止する亜集団によることを見出し、ガンマ線による損傷菌の発生は加熱とは異なる機構であることを明らかにした。

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) 堀切茂俊、真菌胞子の物理的殺菌プロセスにおける損傷の解析と動態評価、大阪府立大学学位論文。

枯草菌放射線照射芽胞の発育能及び DNA 損傷の評価

阪府大研究推進 傳大輝、朝田良子、清田俊治、古田雅一

阪府大微制研 土戸哲明、坂元仁

量研高崎研 佐藤勝也、大野豊

(*本研究に関する連絡先：電話（内線）3542、3590、メール mfuruta@b.s.osakafu-u.ac.jp)

1. 緒言

放射線殺菌を食品や医療用品に対して効果的に用いるためには抵抗性の高い芽胞に与える影響を明らかにしておくことが殺滅菌法の高度化や他の殺菌方法との複合化等に必要不可欠である。特に、殺滅菌処理において損傷を受けながらも、条件次第で生存性を回復する細胞集団、すなわち損傷菌が放射線処理後にも生じるのかどうかについては未だ研究が進んでいない。

本研究では γ 線照射及び異なる LET のイオンビーム照射によって *Bacillus subtilis* 芽胞の抵抗性における DNA 修復の役割や損傷芽胞の発生機構とその発育動態について知見を得るために、芽胞の抵抗性に関連すると思われる、DNA を保護する酸可溶性低分子タンパク質 (SASP) や DNA 修復酵素の欠損株のガンマ線照射後の生残率や増殖挙動を平板法とマイクロプレートリーダーによる濁度 (OD₆₅₀) の経時変化により測定し、差分生存率法 (DiVSaL 法) によって損傷菌の有無を評価した。また、アガロースゲル電気泳動法によるガンマ線照射後の芽胞 DNA 二本鎖切断について解析を行なうことで芽胞 core 内損傷についても検討した。

2. 実験方法

Bacillus subtilis 168 株 (trpC2) および *sspA* *sspB* (酸可溶性低分子タンパク質 : SASP) 欠損株、*recA* (相同組換え修復 : HR) 欠損株、*ykoUV* (非相同末端結合修復 : NHEJ) 欠損株の芽胞を調製し^{1),2)}、大阪府立大学の放射線研究センターで⁶⁰Co γ 線 (0~6 kGy) 照射、及び量子科学技術研究開発機構の TIARA で 4He²⁺ [50 MeV ; 19.4 keV/ μ m]、¹²C6⁺ [190 MeV ; 148.7 keV/ μ m]、²⁰Ne⁸⁺ [350 MeV ; 440.8 keV/ μ m] のイオンビームを照射した。その後コロニー係数法により生残率を求めるとともに液体 LB 培地に懸濁しマイクロプレートリーダーによって濁度の経時変化を追跡し、DiVSaL 法³⁾ によつ損傷菌の検出評価を行った。又野生株画報からはゲノム DNA を抽出しアガロースゲル電気泳動法により DNA の二本鎖切断の解析も行った。

3. 結果・考察

ガンマ線照射後の芽胞から抽出したゲノム DNA のアガロースゲル電気泳動により明確な二本鎖切断は検出できなかったが、SASP と DNA 非相同末端修復 (NHEJ) 欠損株については感受性の増加が確認され、特に SASP 欠損株が最も損傷菌が発生していることが示された。これらの結果は、SASP がガンマ線からの DNA の保護あるいは修復の手助けを行っている可能性が示唆された。また、同様にガンマ線照射による DNA 損傷の修復に大きな寄与をしていると考えられる NHEJ は、DiVSaL 法によって CFU と換算生存率の逆転が見られ、これはガンマ線照射処理後の栄養増殖に

において発芽して最終段階まで栄養増殖（コロニーを形成）できないが、発芽後成長してから数世代発育する芽胞がある程度存在することを示唆している。

異なる LET のイオンビーム照射による芽胞の殺滅効果は、LET に依存してコロニー形成能を喪失し、発育遅延による換算生存率の低下を示した。また DiVSaL 法の結果は加熱損傷によるものと比較して、ガンマ線による損傷の回復と類似の傾向が見られ、ガンマ線と同様の損傷を受けた可能性が示された。

参考文献

- 1) 加茂あずさ(2013) ; 枯草菌における発芽システムの熱損傷防御への関与. 関西大学卒業論文
- 2) 越川富比古(1994) ; 放射線滅菌における芽胞形成菌の取扱技術 (I) -芽胞の調製方法. *RADIOISOTOPES*. 43, 710-717.
- 3) Tsuchido, T. (2017) A novel double subculture method and its theory for the enumeration of injured cells in stressed microbial population. *Biocontrol Sci.*, 22, 131-135.

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) 傳大輝、枯草菌放射線照射芽胞の発育能及び DNA 損傷の評価真菌胞子の物理的殺菌プロセスにおける損傷の解析と動態評価、大阪府立大学 修士論文 2020.
- 2) 傳大輝、普天間章、阪井俊夫、前田伸彦、坂元仁、土戸哲明、古田雅一、ガンマ線照射と加熱処理による細菌芽胞の損傷と発育抑制、大阪府立大学研究推進機構・放射線研究センター平成 30 年度共同利用報告会、2019 年 11 月 5 日（火）、大阪府立大学 C 1 3 棟講堂
- 3) 放射線照射と加熱処理による細菌芽胞の損傷と発育抑制、傳大輝、普天間章、阪井俊夫、前田伸彦、坂元仁、土戸哲明、古田雅一、佐藤勝也、大野豊、QST 高崎サイエンスフェスタ 2019 2019 年 12 月 10～11 日、高崎シティーギャラリー、高崎市 予稿集 pp. 82

カドミウム存在下における醸造酵母の放射線感受性

阪府大研究推進 清田俊治*、伊藤憲男、古田雅一

阪府大院生命環境 岸田正夫

阪府大高等教育 田中良晴

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

【緒言】 電離放射線に曝露された細胞内では水分子の励起分解により発生する活性酸素種(ROS)が様々な酸化障害を引き起こす。いくつかの金属イオンには細胞内の酸化状態に応じて ROS を除去する機能があることが報告されている。我々は酵母 *Saccharomyces cerevisiae* を用いて、金属イオン存在下で培養した菌体のガンマ線感受性を調べた。その結果、醸造酵母である協会 7 号をカドミウム存在下で培養した時に、実験室酵母 BY4741 株よりもガンマ線に対する感受性が鈍くなることを見出した。さらに協会 7 号では、培地中のカドミウム濃度に依存してメタロチオネイン(MT)が誘導され、放射線抵抗性の増大に MT が関与している可能性を示唆された。我々は、高濃度のカドミウム、亜鉛、マンガン、銅、水銀などの重金属環境中で生育した酵母について、放射線暴露時の重金属及び MT の機能を解明することを目的とする。

【実験方法及び結果】 より高度なメタロチオネイン誘導能を持つ *Saccharomyces cerevisiae* の変異株を得るために、高濃度の Cd 存在下でも十分な増殖能が保たれる生存株を酵母の生育培地 YPD 培地に CdCl₂ を添加してスクリーニングしたところ、0.5 mM、1 mM と 2 mM の CdCl₂ 存在下でも Cd 非存在下と同等の増殖能を有する変異株の分離に成功した。これらの変異株と野生株を Cd 存在下で増殖させて酵母細胞中の Cd 含量を蛍光 X 線分析により測定したところ、それぞれの酵母細胞中の Cd 含量は、培地中の CdCl₂ 濃度に依存して増加するが、培地中の CdCl₂ 濃度が 0.3 mM~0.4 mM 付近までは野生株の方が Cd 耐性菌より高濃度の Cd を吸収することが分かった。このとき、それぞれの酵母細胞中の Zn 含量を同じ方法で分析したところ、培地中の CdCl₂ 濃度が 0.2mM に至るまでは培地中の CdCl₂ 濃度に依存して増加し、それ以上の Cd 濃度になると、酵母細胞中の Cd 含量は増加するのに対して、Zn 含量は減少に転じることを見出した。すなわち、野生株の場合、CdCl₂ を含まない培地で増殖した時の Zn 含量の 3 倍にまで増加したのち、培地中の CdCl₂ 濃度が増加すると CdCl₂ を含まない培地で増殖した時の Zn 含量以下に減少した。Cd 耐性菌の場合も、CdCl₂ を含まない培地で増殖した時の Zn 含量の 2 倍程度にまで増加したのち、培地中の CdCl₂ 濃度が増加すると CdCl₂ を含まない培地で増殖した時の Zn 含量以下に減少した。

次に、野生株と Cd 耐性菌を CdCl₂ を含まない培地で増殖した時、酵母細胞内の Zn 含量が最大となる CdCl₂ 濃度が 0.2 mM の培地と酵母細胞内の Zn 含量が減少する CdCl₂ 濃度が 0.5 mM の培地で増殖させ、⁶⁰Co ガンマ線を照射したところ、野生株と Cd 耐性菌ともに 0.2 mM 及び 0.5 mM CdCl₂ 存在下では CdCl₂ 非存在下に比べて放射線抵抗性の増大が見られた。

参考文献

- 1) T. A. Do, T. Sakai, M. Kishida, M. Furuta, Isolation and characterization of variant manganese-resistant strain of *Saccharomyces cerevisiae*, *Biocontrol Sciences*, 21(4), 253-260 (2016).

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) 清田俊治、岸田正夫、古田雅一、カドミウム存在下における醸造酵母の放射線感受性、酵母遺伝学フォーラム第 52 回研究報告会（令和元年 9 月 4-6 日、静岡市清水文化会館マリナート）
- 2) 清田俊治、伊藤憲男、岸田正夫、古田雅一、*Saccharomyces cerevisiae* による生物学的な水質浄化を目指した重金属の除去能の評価に基づくカドミウム耐性酵母の分離、日本防菌防黴学会第 46 回年次大会（令和元年 9 月 25-26 日、千里ライフサイエンスセンター）

ポリビニールアルコール—ヨウ化カリウムを用いた プラズマ生成活性ラジカルの研究

阪府大研究推進 松浦寛人*、坂元仁

阪府大院工量子放射線工学分野 オウアンサビンサブニャン、胡敏、
トラントラングエン

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 matsu@me.osakafu-u.ac.jp)

大気圧プラズマジェットは、高い温度の電子と低い温度のイオンおよび中性ガスからなり、水中の有毒物に分解や細胞の不活化に用いることができる。電子は水分子を分解し、様々な活性酸素ラジカルを生成し、化学反応を促進する。特に反応後に着色する化学試薬はラジカルの生成、挙動の研究に広く用いられ、化学プローブと称している。

図1はポリビニールアルコール (PVA) ヨウ化カリウム(KI)混合サンプルに大気圧プラズマ照射を行った後の呈色反応の結果を示している。これにより、PVI-KIの保存状態が化学プローブとしての動作に影響することが確かめられた。今後の、化学プローブとしての較正実験は保存状態を考慮して遂行する。

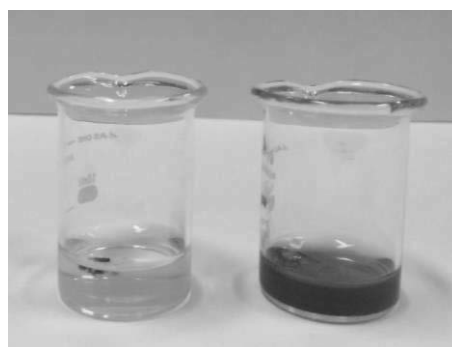


図1. プラズマ照射した PVA-KI 溶液。右は製造直後のサンプルを照射したもの、左は室温で 12 日間保管したサンプルを照射したものである。色の違いは明確で、吸光度スペクトルも大きく異なっている。

参考文献

- 1) 「PVA-KI 系ゲルインジケータの開発」砂川,武義, Harvel Glenn, 青木祐太郎, 梅田昌幸, 速水醇一, 榊原和久, 五東弘昭, 蛭名武雄, 田口光正, 長澤尚胤, 吉橋幸子, 他, 福井工業大学研究紀要 47, (2017) p.105-110.

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) "Application of chemical probes to study on radical transportation inside of flexible tubes", H.Matsuura, Y.Matsui, N.T.Tran, B.Ouanthavinsak, J.Sakamoto, R.Asada, M.Furuta, 34th International Conference on Phenomena in Ionized Gases/ 10th International Conference on Reactive Plasmas, (2019, Sapporo).
- 2) 「Effect of plasma irradiation distances on the radical productions」 Oanthavinsak Bounyang, Tran Trung Nguyen, Hiroto Matsuura, 第8回バイオ・メディカル・フォーラム/第10回産学連携ヘルスケアナレッジセミナー, (2020、大阪市立大学)

絶縁オイルを用いた大気圧プラズマ生成の安定化

阪府大研究推進 松浦寛人*

阪府大院工量子放射線工学分野 トラントラングエン、オウアンサビンサブニャン

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 matsu@me.osakafu-u.ac.jp)

大気圧プラズマジェット的应用には、放電コスト(電力および動作ガス)の低減が望まれる。広く用いられている誘電体バリア放電プラズマジェット装置では、希ガスを流したガラス管にリング状の電極を並べ、低周波(数十 Hz)のパルス電圧を印加する。接地電極とパワー電極の間隔を小さくするほど、放電は容易になる。これにより、既存のプラズマ源では生成困難であったアルゴンプラズマの生成にも成功している。しかし、印加するパルス電圧を上げると、放電管外部で微小な火花放電が発生し、管内部での放電が不安定化する。

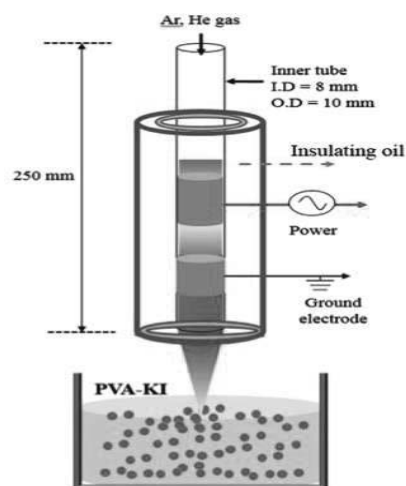


図 1. ガラス製の放電管を絶縁オイルで満たしたアクリル管で覆った放電装置

本研究では、済州大学のグループが提案している、絶縁オイルを用いた安定化法を我々の新しい装置に適用した。これにより、パワー電極に印加可能な電圧の範囲が広がり、化学プローブを用いて評価したプラズマ生成活性ラジカル量も増大することが確かめられた。本研究ではこの他に、針電極を用いた放電装置での絶縁油の安定化効果も評価している。

参考文献

- 1) "Application of plasma jet to the inhibition of the proliferation of hepatic malignant cells via reactive oxygen species generation ", D. B. Nguyen, Y. S. Mok, D.L.Huynh, D.K.Jeong, W. G. Lee , Plasma Process Polym. 16 (2019)1800173.

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) "Suppress of plasma source temperature increment for long time irradiation with argon jet", N.T.Tran, H.Matsuura, 34th International Conference on Phenomena in Ionized Gases/ 10th International Conference on Reactive Plasmas, (2019, Sapporo)
- 2) "Effect of insulating oil covering electrodes on the characteristics of a dielectric barrier discharge", T.N.Tran, B.Oanthavinsak, S.Kado, H.Matsuura, Plasma Science and Technology 22, (2020)115401.

ダイバータプラズマ熱流束計測法の開発

阪府大研究推進 松浦寛人*

阪府大院工量子放射線工学分野 村岡英樹、ブイスアンニャットソン

筑波大学プラズマ研究センター 飯島貴朗、中嶋洋輔

京大エネルギー理工学研 大島慎介、水内亨

(*本研究に関する連絡先：電話（内線）4220、メール matsu@me.osakafu-u.ac.jp)

核融合炉の設計には、原子炉燃料要素表面を超える大熱流束、特に ELM や非接触プラズマ形成の様な過渡状態でのプラズマ対向面への熱流束の検討が必須である。そのような熱流束変化の情報を得るためには、対象となる固体ターゲットを記述する厳密な熱伝導モデルと低雑音の温度変化データを取得するセンサー（サーマルプローブまたはカロリメーター）の開発を京都大学や筑波大学との共同研究を通して進めている。

図 1 は、ICRF で 400 ミリ秒維持されている筑波大学のガンマ 10/PDX 装置の放電プラズマに ECH 追加熱を行った時の、西エンド部のプラズマ熱流束を評価したものである。追加熱のタイミングによって熱流束の時間変化が影響を受けることを明確に示している。しかしながら、20 ミリ秒程度の時間幅の追加熱に伴うパルス的な熱流束は認められず、また放電開始後 100 ミリ秒の間に熱流束が認められないのは、現在のセンサーの技術的問題の可能性がある。同様な時間遅れは、京都大学のヘリオトロン J 装置のセンサーにも見られ、センサーの共通問題として検討を進めている。

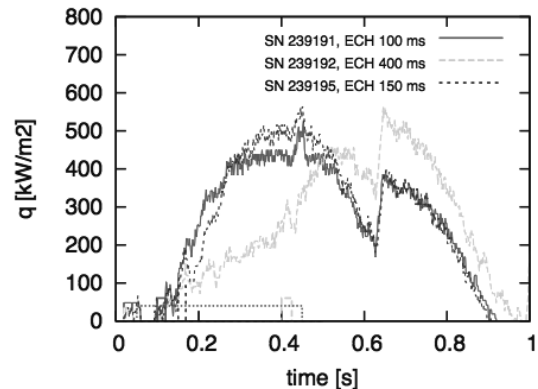


図 1. ガンマ 10/PDX の駆動カロリメーターの熱流束再評価計算例。

参考文献

- 1) 「非接触ダイバータプラズマ実験研究」, 大野哲靖, J. Plasma Fusion Res. Vol.92, No.12 (2016)877-881.

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) “Comparison of two inverse heat conduction models for heat flux measurement in the GAMMA 10/PDX”, H.Matsuura, M.Ohuchi, M.S.Islam, T.Iijima, R.Minami and Y.Nakashima, IEEE Transactions on Plasma Science 47 (2019) 3026-3030.
- 2) 「ヘリオトロン J ダイバータ領域の熱流束計測」, 村岡英樹、Bui Xuan Nhat Son、松浦寛人、的池遼太、大島慎介、岡田浩之、水内 亨, プラズマ核融合学会第 36 回年会講演会（中部大）

学校教育現場に於ける放射線安全管理の方針について

阪府大研究推進 秋吉 優史

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

クルックス管は、19世紀末にレントゲンによるX線の発見、トムソンによる電子の発見の際などに用いられ、その後の科学の発展に極めて重要な役割を果たした装置であり、高電圧で加速された電子がガラス管に衝突するときに発生するX線に対する注意が必要である。これまでに確認された最も高い線量を漏洩する装置では、15 cmの距離における10分間の実効線量が3.3mSvという高い線量を示した(詳細な実効線量の評価は2020年現在検討中で、保守的に評価した値)。放射線が漏洩していることを知らずに近距離で長時間観察を行うなど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ため、以下の注意点を守って実演を行う必要がある。

- ・放電極を必ず使用し、放電極距離は20mm以下とする。
- ・放電極表面は清浄にした上で、円板電極側を-極にする
- ・誘導コイルの放電出力は、電子線の観察ができる範囲で最低に設定する。
- ・できる限り距離を取る。生徒への距離は1m以上とする。
- ・演示時間は年間10分程度に抑える。

日本保健物理学会の専門研究会においてこの注意点を遵守し、追加の遮蔽は行わない条件での全国調査を2019年度に実施した。191本のクルックス管のうち、187本については1m距離、10分間の実効線量が、 $10\mu\text{Sv}$ 以下に抑制されていることが確認された¹⁾。最も線量の高い装置でも $40\mu\text{Sv}$ 程度であり、ICRP Pub36「科学の授業に於ける電離放射線に対する防護」では、古い単位である実効線量当量であるが年間の線量限度を $500\mu\text{Sv}$ 、個々の授業では $50\mu\text{Sv}$ としており、この指標を下回っている。

しかしながら、若干高い線量を示す装置を電流、電圧などの用意に計測できるパラメーターで判別する事は出来ておらず、2020年度に行う予定であった追加の実態調査は、COVID-19の蔓延により実施できなかった。クルックス管の状態は個々の装置により千差万別であり、全国にはまだ知られていないような状態の装置が存在していて高い線量が放出される可能性を否定できない。

このため、各学校で使用している装置からの線量を直接確認出来るスクリーニング手法を提供する事で、確実な安全性の確認を行う事を専門研究会としての方針として定めた。スクリーニング手法としては、箔検電器を用いた測定²⁾や、簡易型の線量計Kind-miniの無料貸出しサービス³⁾を用いた測定が現実的である。スクリーニングにより高い線量が出た場合の詳細な測定手段についても、全国に対してサービスを提供できる体制を現在構築中である。

参考文献

- 1) 秋吉 優史, 学校教育現場におけるクルックス管の安全管理とその活用, 放射線教育, 23 (2019) 23-32.
- 2) 森 千鶴夫, 緒方良至, 秋吉優史, 箔検電器によるクルックス管からのX線線量率の測定マニュアル, 放射線教育, 23 (2019) 33-39. <https://ref.or.jp/download2.html>
- 3) 放射線教育支援サイト「らでい」 <https://www.radi-edu.jp/>

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) 論文、学会発表等の論文名、研究者名、学会、巻、年、ページ等.

■ 箔検電器によるクルックス管からのX線の測定, 森 千鶴夫, 緒方良至, 秋吉優史, 白井俊哉, 村上浩介, 羽澄大介, 中村嘉行, 渡辺賢一、瓜谷 章、神谷 均, 宮川俊晴, 田中隆一, 掛布智久, *Radioisotopes*, 69 (2020) 1-12.

■ Measurement of low energy X-rays in pulse from crook tube using BaF₂ scintillator, Hirokazu Ando, Do Duy Khiem, Masafumi Akiyoshi, *RADIATION DETECTORS AND THEIR USES - Proceedings of the 34th Workshop on Radiation Detectors and Their Uses in KEK*, In Press.

■ Measurement of dose distribution from a Crookes tube using thermoluminescent dosimeter, Duy Khiem DO, Hiroto MATSUURA, Masafumi AKIYOSHI, *Radiation Measurements*, 134 (2020) 106312.

- 2) 報文.

■ 学校教育現場におけるクルックス管の安全管理とその活用, 秋吉 優史, 放射線教育, 23 (2019) 23-32.

■ 箔検電器によるクルックス管からのX線線量率の測定マニュアル, 森 千鶴夫, 緒方良至, 秋吉優史, 放射線教育, 23 (2019) 33-39.

■ 低エネルギーX線の放射線安全管理-線量測定と線量拘束値-, 秋吉 優史, 日本放射線安全管理学会誌, 18 (2019) 46-48.

■ クルックス管プロジェクト第二期実態調査による暫定ガイドライン実効性の検証結果報告 ～生徒、教員の安全確保に向けて～, 秋吉 優史, 放射線教育フォーラムニュースレター, No.76, 2020年3月, p4-5.

■ クルックス管からの低エネルギーX線に対する安全管理の必要性, 秋吉 優史, 放計協ニュース、放射線計測協会, No. 65, p2-5, 2020年4月.

- 3) 学会発表や報告など.

■ 3rd International Conference on Dosimetry and its Applications(ICDA-3)(Lisbon, Portugal, 27-31 May 2019)

・ Measurements of low energy X-rays radiated from Crookes tubes in education field by using radiophotoluminescence dosimeter, Masafumi Akiyoshi, Do Duy Khiem, Ryoichi Taniguchi, Hiroto Matsuura, (Oral).

・ Transmisson properties of X-ray radiated from Crookes tube used in Teaching of Science through shielding materials, Do Duy Khiem, Hirokazu Ando, Masafumi Akiyoshi, (Poster).

■ Vietnam Conference on Nuclear Science and Technology (VINANST-13) (Ha Long City, Quang Ninh,

Vietnam, 7-9 Aug., 2019), Do Duy KHIEM, Kenji YAMAMOTO, Masaya YASHIKI, Hiroto MATSUURA, Masafumi AKIYOSHI, Establishment of an experimental system for radiation management in teaching of science using crookes tubes

■ 19th International Conference on Solid State Dosimetry (SSD-19)(Hiroshima, Sep. 15-20, 2019)

・ Spectrum estimation of low-energy X-rays radiated from Crookes tube using Peltie type cloud chamber, Masafumi Akiyoshi, Kenji Yamamoto

・ Measurement of Dose Distribution from a Crookes Tube Using TL Dosimeter, Do Duy Khiem, Masaya Yashiki, Hiroto Matsuura, Masafumi Akiyoshi

■ Joint JHPS-SRP-KARP Workshop of Young Generation Network “The future of radiation protection profession” (Tohoku Univ., Dec. 4, 2019) , How to manage radiation safety from the Crookes tube used in the teaching of science?, Duy Khiem DO, Hiroto MATSUURA, Masafumi AKIYOSHI

(招待講演)

■ 放射線安全フォーラム第60回放射線防護研究会「X線源を考える」(2019年4月21日、東京大学) 秋吉 優史, 新学習指導要領におけるクルックス管を用いた放射線教育と安全管理

■ 日本放射線安全管理学会 6月シンポジウム (2019年6月27-28、東京大学) 秋吉 優史, 低エネルギーX線の放射線安全管理-線量測定と線量拘束値-

■ アイソトープ・放射線研究会 公開パネル討論 (2019年7月5日、東京大学) 秋吉 優史, 教育現場における放射線安全管理体制の確立に向けた活動の紹介

■ 中部原子力懇談会 エネルギー・環境研究会 セミナー (2019年7月27日、名古屋商工会議所) 秋吉 優史, 中学新学習指導要領における放射線教育～クルックス管の安全な活用～

■ 近畿大学原子炉実験・研修会 放射線教育の実践例照会・意見交換 (2019年7月30日、近畿大学) 秋吉 優史, クルックス管を用いた放射線教育と安全管理

■ 中学理科で使える高校理科の技術講座講師 (2019年8月29日、名古屋経済大学市邨中学校・高等学校) 秋吉 優史, クルックス管の安全取扱いと、放射線教育コンテンツ

■ NPO 法人市民科学研究室・低線量被曝研究会 主催 市民科学講座 D コース 「放射線被曝とその周辺」 (市民科学研究室事務所 (文京区湯島)、2019年10月20日) 秋吉 優史, 中学校や高校の理科の実験と放射線安全～クルックス管の利用で問われること

■ 放射線教育フォーラム第2回勉強会 (2019年11月24日、東京慈恵会医科大学) 秋吉 優史, クルックス管プロジェクト第二期実態調査による暫定ガイドライン実効性の検証結果報告 ～生徒、教員の安全確保に向けて～

■ 「+ 1 理科講座」放射線研修会 (2019年12月26日、島根県出雲科学館) 秋吉 優史, 放射線についての基礎知識及び放射線の観察と測定

■ ケニス会 (2020年1月11日、ケニス大阪本社) 秋吉 優史, クルックス管を含めた放射線教育コンテンツの紹介

■ 福井理科教育研究会 (2020年7月22日、WEB開催) 秋吉優史, クルックス管の安全な取扱いについて～先生方へのアドバイス～

(一般講演)

- 日本エネルギー環境教育学会 第14回全国大会(2019年8月5-7日、高知工科大学) 秋吉 優史、山口 一郎、緒方 良至、森 千鶴夫、小林 育夫、森山 正樹、大西 琢也、若松 巧倫、宮川 俊晴、クルックス管による演示を行う際の放射線安全管理
- 大阪府高等学校理化教育研究会 物理研究集会(2019年11月20日、大阪府立茨木高等学校) 秋吉 優史、クルックス管を用いた教育における放射線安全管理
- 日本放射線安全管理学会・日本保健物理学会合同大会(2019年12月5-7日、東北大学)
企画セッション「教育現場での低エネルギーX線に対する安全管理」
 - (1) 「教育現場における低エネルギーX線を対象とした放射線安全管理に関する専門研究会」活動報告, 秋吉 優史, DO Duy Khiem, 藤淵 俊王, 橋本 周, 古田 琢哉, 松田 尚樹, 榎本 敦, 大谷 浩樹, 伊藤 照生, 飯本 武志, 加藤 昌弘, 山口 一郎
 - (2) 中学校理科での放射線教育の現状, 森山 正樹、秋吉 優史、掛布 智久、川島 紀子、佐藤 深、宮川 俊晴
 - (3) 第二期実態調査による暫定ガイドラインの実効性の検証, 伊藤 照生, 秋吉 優史, 小鍛冶 優, 佐藤 深, 青木久美子, 奈良 大, 松野 聖史, 掛布 智久, 宮川 俊晴
 - (4) 箔検電器を用いたクルックス管からの漏洩X線の測定の試み, 緒方 良至, 森 千鶴夫, 秋吉 優史, 白井 俊哉
 - (5) 中学校や高等学校等で用いるクルックス管の放射線安全規制の課題, 山口 一郎, 秋吉 優史,
 - (6) シミュレーションによる線量評価の試み, 藤淵 俊王、秋吉 優史、松本 亮、山口 一郎、古田 琢哉
教育現場への放射線安全周知活動報告, 秋吉 優史, 山口 一郎, 橋本 周, 飯本 武志, 小鍛冶 優, 森山 正樹, 前田 勝弘, 若松 巧倫, 増子 寛, 田中 隆一, 宮川 俊晴
- 高校物理基本実験講習会(兵庫会場)(2019年12月15日、兵庫県立神戸高等学校) 秋吉 優史, クルックス管からの放射線安全取扱い
- 放射線教育フォーラム愛知・岐阜・三重地区新年勉強会(2020年1月4日、名古屋大学) 秋吉 優史, クルックス管プロジェクトにおける暫定ガイドライン実効性の検証結果報告
- 研究会「放射線検出器とその応用」(第34回)(2020年1月15-17日、高エネルギー加速器研究機構)
安藤 太一、Do Duy Khiem、秋吉 優史、BaF₂シンチレータを用いたクルックス管からのパルス状低エネルギーエックス線の測定
- 日本保健物理学会大会(2020年6月29-30日、WEB開催)
 - ・秋吉 優史、DO Duy Khiem、安藤 太一、松本 亮、宮川 俊晴、掛布 智久、岡本 泰弘、伊藤 照生、山口 一郎、暫定ガイドラインによるクルックス管からの漏洩X線量抑制の検証
 - ・西田 真大、秋吉 優史、奥野 泰希、太陽電池を用いた線量計開発における照射容器内温度および線量測定
 - ・松本 亮、秋吉 優史、藤淵俊王、古田琢也、コンピューターシミュレーションを用いた教育用クルックス管より漏洩する X 線の線量評価

さくらサイエンスプラン(S2019F0603447) 報告書 (Report on Japan-Asia Youth Exchange Program in Science)

National Univ. of Laos (ラオス国家大学) Santi KONGMANY

阪府大研究推進 川又修一*

(*本研究に関する連絡先：電話（内線）3650、メール s-kawamata@riast.osakafu-u.ac.jp)

The Sakura Exchange Program in Science (Ref. No.: S2019F0603447) was held from 30 September to 5 October 2019 at Organization for Research Promotion, Osaka Prefecture University. Eight students and two teachers from Faculty of Natural Sciences, National University of Laos took part in the program.

In this program, students took classes on the cryogenics and superconductivity, basic concepts of nano-technology, and fundamentals of radiation and radioactivity. They also did experiments of synthesizing the superconducting material, observation of the synthesized material by using a scanning electron microscope (SEM) in the clean room (Fig. 1), and experiment on the behavior of radiation by the cloud chamber. Moreover, the participants visited the Co60 radiation facility at Radiation Research Center, Osaka Prefecture University, and also Institute of Laser Engineering, Osaka University. Through this program, the participants had the opportunity not only to learn the advanced science and technology but also to have experiences of Japanese culture.

Acknowledgements

We would like to thank professors and staffs of Organization for Research Promotion, Osaka Prefecture University, for their kind supports and warm hospitality. We also sincerely appreciate Prof. Murakami's kind explanations on the facilities in Institute of Laser Engineering, Osaka University.

参考文献

1) JST web page: <http://ssp.jst.go.jp/index.html>.

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) https://ssp.jst.go.jp/report2019/k_vol204.html

Fig. 1. Participants from Laos observed the morphology of the prepared superconductor samples by using a SEM apparatus in the clean room.



さくらサイエンスプラン(S2019F0603450)報告書
(Report on Japan-Asia Youth Exchange Program in Science)

ダラット大学 Nguyen Thi Minh Sang, Pham Thi Ngoc Ha

阪府大研究推進 松浦寛人*

(*本研究に関する連絡先：電話（内線）4220、メール matsu@me.osakafu-u.ac.jp)

The 2020 Sakura Science Exchange Program was held from 7 Jan. 2020 to 12 Jan. 2020 at Osaka Prefecture University, Sakai, Japan with 9 participants of the Physics and Nuclear Engineering Faculty, Dalat University, Vietnam: Nguyen Thi Minh Sang, Pham Thi Ngoc Ha, Nguyen Truong Duong Cam, Nguyen Thi Hong Hanh, Huynh Van Dat, Cao Van Hai, Nguyen Thi Minh Hien, Nguyen Bao Ngoc, Le Thi Phuong Thao.

In SSP, there are many academic lectures organized and trained by Japanese Professors as follows:

Day	Contents
06/01	Departure from Dalat, VN1383 DLI 11 : 55 -- SGN 12:50
07/01	Arrival at KIX VN320 SGN 00:05 -- KIX 7:00 (Pick-up by Matsuura and Tran) Visit to <u>Sakai Plaza of Rikyu and Akiko</u> Visit to Sakai city hall observatory to learn new World heritage "Kohun" Introduction of <u>Sakai</u> and OPU (by Matsuura). Welcome party
08/01	Lecture on underwater radiation experiment(by Taniguchi) Labo practice (1) with high intensity Co60 gamma source(by Taniguchi)
09/01	Formal visit to administration office Formal meeting with vice president(Prof. Ishii) Technical visit to BNCT center (Prof. Kirihata) Labo practice (2) with <u>astmospheric plasma jet</u> (by Tran, Bounyang, Den) <u>Irradiation on E.Colli</u> and chemical probe.
10/01	Technical visit to <u>Osaka University Suita campus</u> (by Prof.Murata, and Prof. Kato, Osaka Univ.) Site seeing around <u>Historical Museum</u> and <u>Osaka Castle Park</u> informal dinner

11/10	Labo practice (3) with <u>Crook's tube</u> and <u>Cloud chamber</u> (by Do Khiem) Check the effect on E.Colli Presentation on Labo practice Ceremony for certificate Farewell part
12/01	Departure from KIX, VN321 KIX 10:30 -- SGN 14:20, VN1384 SGN 19:55 -- DLI 20:55

The Sakura Exchange Program in 2020 is a valuable and rewarding opportunity for the students and master student of Physics and Nuclear Engineering Faculty, Dalat University to expand their horizons and improve their knowledge. Through this program, the participants have had the opportunity to observe the great progress directly, absorbing the advanced technology of Japan. Moreover, we have learned valuable experiences about the polite and profound cultural conduct of the Japanese people.

Finally, I would like to express my gratitude to Professor Matsuura for his dedicated help not only at scientific work but also in daily life in Japan. I would like to express my appreciation to OPU of Japan for supporting this SSP, in which I had a chance to visit Osaka in Japan. I also want to thank to OPU, all Professors and staffs for allowing us to come there and have very meaningful training course.

参考文献

- 1) JST web page : <http://ssp.jst.go.jp/index.html>.

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) Long report: http://www.plasma.riast.osakafu-u.ac.jp/~matsu/sakura4/report_ha.pdf

大阪府立大学研究推進機構 21 世紀科学研究センター 「量子ビーム誘起反応科学研究所」活動報告

阪府大研究推進 松浦寛人究*

(*本研究に関する連絡先：電話（内線）4220、メール matsu@me.osakafu-u.ac.jp)

大阪府立大学の研究推進機構 21 世紀科学研究センターの 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、平成 29 年の所長の交代を経て、研究推進機構「放射線研究センター」における施設を活用した学際研究を、部局横断的に推進してきた。今後、大学院工学研究科「量子放射線系専攻」の教育研究活動、放射線研究センターの連携共同利用拠点としての飛躍発展をサポートしつつ、今後の活動を模索している。以下に 2019~2020 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平成 30 年度共同利用報告書

3. その他の活動

- (1) 大阪府立大学地域連携研究機構放射線研究センター平成 30 年度共同利用報告会
(2019 年 11 月 5 日開催、放射線研究センターとの共催)

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・谷口良一、教授・古田雅一、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、名誉教授・奥田修一

大学院理学系研究科生物化学専攻

教授・児玉靖司、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

准教授・堀史説、准教授・田中良晴

5. 公立大学法人大阪大阪府立大学研究推進機構放射線研究センターにおける 施設の利用

放射線研究センターには、コバルト 60 ガンマ線源と 18 メガ電子ボルトの高エネルギー電子線加速器を主な放射線源とする日本有数の放射線照射施設があります。これらは非密封放射性同位元素の取扱い施設とともに、学内外や民間にも利用されています。またクリーンルーム施設もあり、学内外や企業との共同研究に利用されています。

1. コバルト 60 ガンマ線照射施設

ガンマ線源は、材料の改質、耐放射線性試験、滅菌や生物への照射などに利用されています。主な照射設備を 1.1 で紹介しています。超高線量率照射から低線量率照射、大気中照射から水中照射まで、多様な照射条件に対応可能な照射施設を有しています。

1.1 主な照射設備（令和元年 10 月現在）

照射設備	線量率	線源と被照射物の間の距離(m)	照射方法
第 2 照射室	10 ⁰ ~10 ² Gy/h	0.3~2.0	照射室内で線源と被照射物の間の距離を変えて線量率を調整。
第 3 照射室	10 ⁻² ~10 ⁰ Gy/h		
第 4 照射室	10 ² ~10 ³ Gy/h		
照射プール	10 ³ Gy/h	線量率固定 (2 水準)	照射容器* (内径 88 及び 180 mm) に被照射物を設置し、照射プールの底に設置した線源集合体内に挿入。

*照射容器は防水仕様ですが、構造上、照射容器内の結露や水漏れの可能性があります。

1.2 コバルト線源の主な照射対象

- ・ 生物分野
 - 植物の突然変異種発現
 - 微生物の特性改良
 - 医療器具・動物飼料等の滅菌
- ・ 化学分野
 - 放射線分解と有用生成物の生成
 - 架橋反応の利用による電線被覆材の開発
 - 楽器の弦の改良
- ・ 工学分野
 - トランジスタ・IC などの電子部品・機器の照射試験
 - 原子力発電所で使用する電子機器、光学部品、ケーブルの試験
 - 人工衛星に搭載する電子機器の照射試験
- ・ 物理分野
 - 放射線検出器・線量計の特性試験
 - ガラス等の着色

2. 高エネルギー電子線照射装置（ライナック）

電子線加速器では、線量率が極めて高いことを利用した金属材料の照射効果の研究、放射線がパルス状に出力されることを利用した、物質の過渡的变化を調べる研究、超微弱ビームの発生と利用、新しいラジオグラフィ法の開発研究などが行われています。

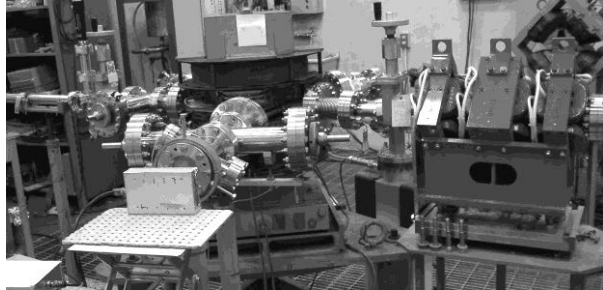


図3 電子線形加速器（OPU ライナック）

2.1 主な照射設備

	粒子束密度	用途
地下照射室	～ 10^{13} e/cm ² /sec	水平照射、大面積照射
第2照射室	～ 10^{12} e/cm ² /sec	精密照射
第3照射室	～ 10^{14} e/cm ² /sec	大線量照射、分析

2.2 ライナックの主な照射対象

- ・ 生物分野
医療器具等の滅菌
微弱電子線の生物影響
- ・ 化学分野
放射線照射による光吸収過渡現象の研究（パルスラジオリシス）
架橋反応の利用によるタイヤ、被覆材等の開発
液体窒素の照射効果の観測
- ・ 工学分野
耐放射線性の高い金属、合金の大線量照射
人工衛星に搭載する機器の耐久性加速試験
超微量のウラン検出法の開発
- ・ 物理分野
放射線検出器の照射特性試験
電子線による材料中への欠陥導入と、それを利用した分析
貴金属ナノ微粒子の生成
加速器の高性能化、超微弱電子線の開発

3. 低エネルギー電子線照射装置（コッククロフト・ウオルトン型加速器）

エネルギー : 60~600 keV

用途 : 表面照射、表面処理

照射対象例 : 人工衛星部品の照射
物質の表面改質（硬化、濡れ性の変化）



図4 低エネルギー電子線照射装置

4. 非密封放射線施設および、その他の照射装置

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5 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6 トレーサー実験に用いられる
RI 標識化合物

5. クリーンルーム施設

本学のクリーンルームは全国でも有数のレベルと規模を持っています。クリーンルームはクラス 1000, クラス 100, クラス 10 の3つに分かれており、室内の清浄度を保つため、垂直層流方式（ダウンプロー方式）を採用しています。クリーンルームは空調設備のある天井、全面アルミダイキャスト製グレーティングの作業室、各種ガスや超純水の配管のある床の3層構造となっています。またクリーンルーム内では超純水や、各種の高純度ガスが使用出来るようになっています。クリーンルーム内には先端材料や先端デバイスを作製するための最新の装置が設置されており、学内のみならず企業など外部との共同研究が活発に行われています。放射線研究センターHPの実験施設をご参照ください。

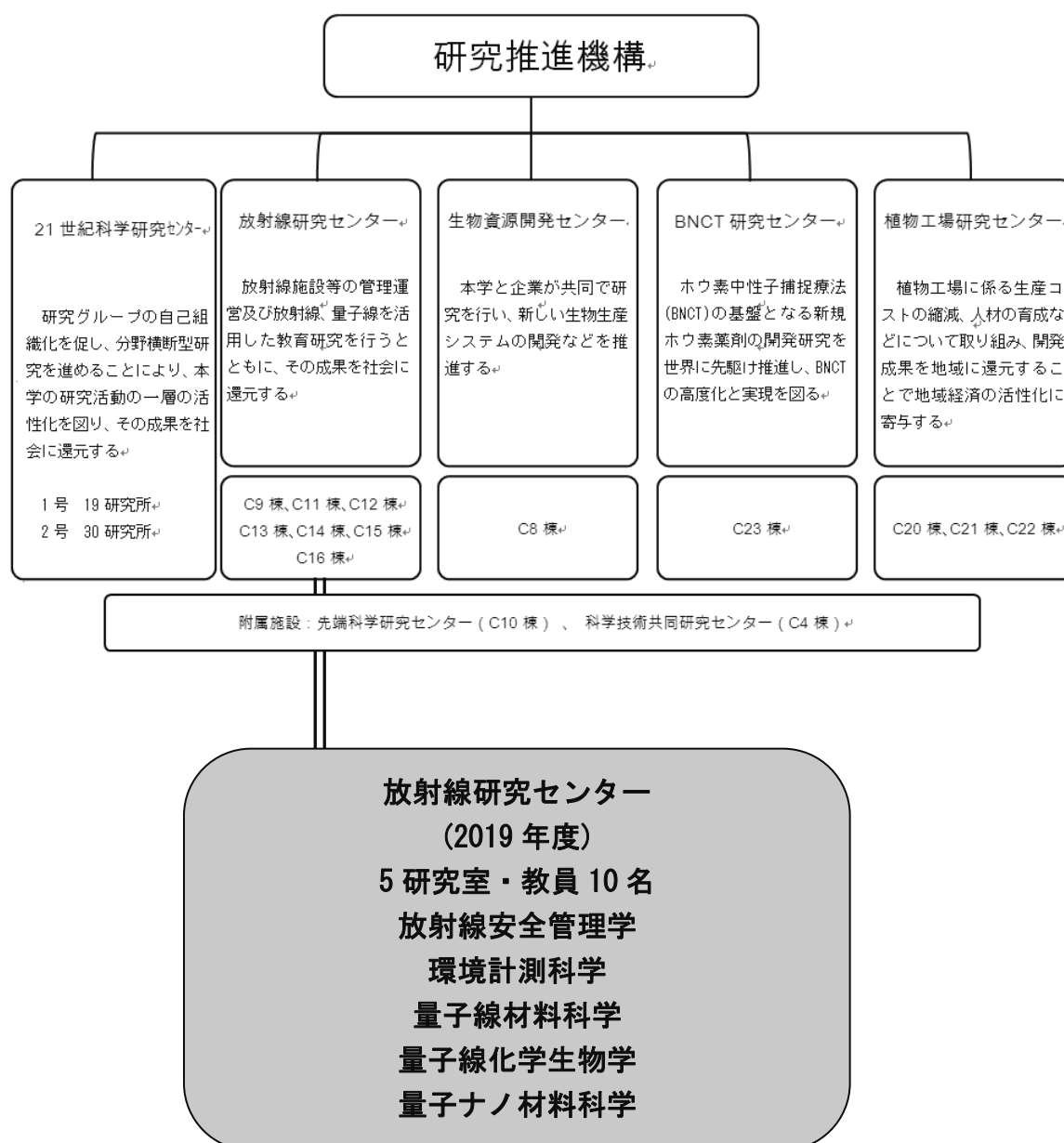
<http://www.riast.osakafu-u.ac.jp/>



図11 クリーンルーム室内図

6. 放射線研究センター組織

1959年に発足した大阪府立放射線中央研究所に設置され、整備された放射線設備は、1990年に大阪府立大学附属研究所（後の先端科学研究所）に引き継がれ、2005年における大阪府立大学の法人化にともない、産学官連携機構・放射線研究センターに引き継がれ、さらに2011年における大学の機構改革で地域連携研究機構・放射線研究センターに引き継がれました。さらに2017年研究推進機構傘下のセンターとして改組されました。



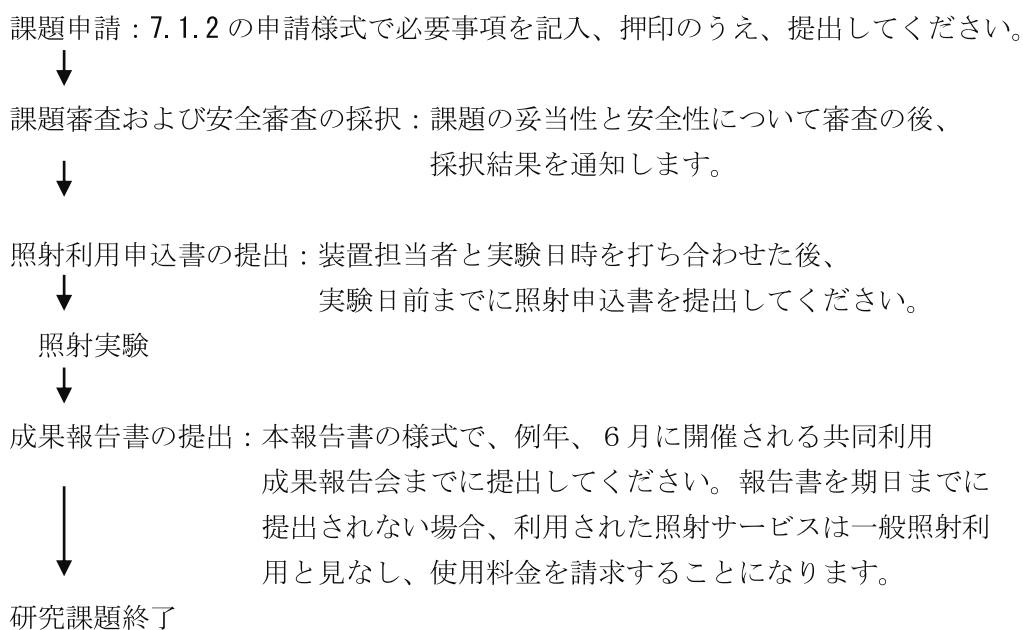
7. 放射線照射施設利用のてびき

放射線センターでは、保有する研究施設を広く一般のユーザーに開放しています。また、府立大学の学内共同利用施設としても利用可能ですが、この場合は研究課題の事前審査と研究成果の公開が必要となります。一般の照射申し込みは随時、学内共同利用の課題申請は年2回受け付けています。いずれの利用の場合でも安全に関する審査は不可欠です。

7.1 学内共同利用の手続き

添付の申請用紙に、必要事項を記入、押印のうえ、下記に送ってください。課題の募集は6月と12月の年2回行います。申請課題の有効期限は、6月申請が1年、12月申請が半年とし、複数年にわたる研究課題は、継続課題として再度申請してください。

7.1.1 学内共同利用の手続きの流れ



注 1) 放射線装置を用いた実験を行う場合、実験者の作業を要しない単純照射をのぞいて、実験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、放射線障害防止法にもとづいた放射線業務従事者講習会への参加が義務付けられています。講習会は年に2回、当センターで開催されています。実験を予定されている方は、早めに受講されることをお勧めします。

注 2) 共同利用研究課題申請書、放射線施設利用申込書等の書式は、ホームページからダウンロードが可能です。

URL: <http://www.riast.osakafu-u.ac.jp/Collaboration/collaboration.htm>

7.1.2

放射線施設利用研究課題申請書（学内共同利用）

放射線研究センター長 殿

下記の通り申請します

令和 年 月 日 申請者 所属 _____ 氏名 _____ ⑩

1. 提案課題の種類（該当する項目に○印）

新規 継続 緊急 継続の場合は前課題名を記入

2. 実験責任者

氏名 _____ 所属 _____ 内線番号 _____

3. 実験課題名

--

4. 共同研究者（所属機関、部局、身分）

--

5. 使用希望装置（該当する項目に○印）

(a) ライナック (b) コバルト 60 (c) コッククロフト (d) その他

6. 使用希望条件

使用日数： _____ 占有照射室： _____

利用条件： _____

7. 実験概要（含、従来 of 成果、期待される成果）

8. 備考

9. 放射線研究センター内 連絡者

氏名 _____ 内線番号 _____

7.2 一般照射利用の手続きと照射利用手数料

研究推進機構放射線研究センターでは、学外利用者が

- ①本学教員との共同研究または受託研究として契約に基づいて実施する場合
- ②照射依頼に基づいて実施する場合（照射利用による成果を非公開とすることができます。

手続きは7.2.1、照射手数料は7.2.2をご覧ください。）

の照射施設利用申込を受け付けています。

7.2.1 一般照射利用の手続き

(1) 照射条件の打ち合わせ

照射条件（実施希望時期、線量率、線量、照射時間、準備を含めた試験工程、被照射試験体の材質、寸法、配置、照射中・照射後の計測や制御が必要な場合はその詳細）の打ち合わせにより、弊所での実施の可否の判断、安全性の確認、設備利用日の予約を行います。

※照射中・照射後の計測や制御を伴う場合は照射施設で現場を確認しながらの打ち合わせをお願いします。（申込に必要な書類をお渡しします。）

注：利用者が管理区域内に立ち入ることができるのは

平日 9:00～12:00、13:00～17:30

の間です。（ガンマ線照射設備をご利用の場合は法令に基づき立入の都度本人確認を実施しますので公的機関発行の写真付証明書（運転免許証、パスポート等）の携帯をお願いします。また、設備担当者の常時同行が必要です。）

(1') 照射手数料の事前見積

照射手数料の事前見積が必要な場合は照射開始前までに御連絡下さい。見積は予めご希望の照射条件に基づいて計算しますが、手数料は利用実績に基づいて計算しますので照射条件が変更になった場合は請求額が見積とは異なります。

(2) 照射依頼書（3枚複写式）と添付書類（照射条件の詳細と安全性確認）の提出

- ・郵送で試験開始までに依頼書が届かないおそれがある場合はスキャンした書類を事前に電子メールでお送り下さい。
- ・添付書類に記載していただく照射試験の詳細は、(1)の打ち合わせの資料があれば「別紙のとおり」と記載し打ち合わせの資料を添付して下さい。

(3) 照射試験実施

(4) 照射試験の実績に基づき手数料を計算

(5) 照射依頼書に記載された依頼者宛に請求書と銀行振込用紙を送付 照射依頼書の利用者控（照射日、照射条件等記載）を同封します。

7.2.2 照射手数料（令和元年10月1日改定）

区 分		金額／1照射条件につき	
放射性同位元素による場合	照射プール内での照射	17,800円+2,500円×V×Th	
	照射室での照射	被照射物の占有容積が10リットル未満	9,950円+5,020円×Th
		被照射物の占有容積が10リットル以上 50リットル未満	9,950円+9,950円×Th
		被照射物の占有容積が50リットル以上	19,900円+19,900円×Th
	照射室占用による照射	19,900円+19,900円×TH	
生放射線発生装置による場合	ライナックによる場合	36,040円+1,040円×Tm	
	コッククロフト・ウォルトンによる場合	30,160円+510円×Tm	
	X線照射装置による場合	9,210円+300円×Tm	
照射証明書の交付		1通につき 1,540円	

備考

- 「V」は、被照射物の占有容積を表し、その単位は1リットルとする。
- 「Th」は、照射時間を表し、その単位は1時間とする。
- 「TH」は、照射室占用時間を表し、その単位は1時間とする。
- 「Tm」は、照射時間を表し、その単位は1分間とする。
- 占有容積等の計算については、1リットルに満たない端数は1リットル、1時間に満たない端数は1時間、1分間に満たない端数は1分間とする。
- 照射プール内での照射を行う場合で被照射物をバスケット内に入れるときの被照射物の占有容積は、7リットルまでとする。

8. クリーンルーム施設利用状況（2019年度）

2019年度における放射線センターのクリーンルーム施設の「利用申請者数」および「利用テーマ」は下記の通りである。

「利用登録者数」 221人

「利用テーマ」

- 1 「銅酸化物高温超伝導体の微細加工」 研究推進機構 川又修一
- 2 「PLD法およびRFスパッタ法等による、エネルギー応用薄膜（燃料電池、熱電変換材料、水素吸蔵合金、二次電池等）の作製と評価」 研究推進機構 津久井茂樹
- 3 「超LSI用半導体材料の表面物性」 高等教育推進機構 上浦良友
- 4 「強誘電体／半導体積層デバイス，磁性半導体デバイス，圧電デバイスの作製」
工学研究科 藤村紀文
- 5 「希薄磁性半導体における電界スピン制御」 工学研究科 藤村紀文
- 6 「生体高分子のナノ分子工学」 生命環境科学研究科 北村進一
- 7 「金ナノ粒子を用いた高感度センサの開発」 工学研究科 椎木弘
- 8 「強磁性秩序をもつ酸化物誘電体単結晶薄膜の合成と機能特性」
高等教育推進機構 松井利之
- 9 「乾式・湿式製膜による各種薄膜材料の作成とデバイス応用」 工学研究科 齋藤丈靖
- 10 「シリコンフォトリソニック結晶ナノ共振器におけるラマン効果増大の検討」
工学研究科 高橋和
- 11 「金属ナノ粒子を用いたナノ構造体の構築」 工学研究科 床波志保
- 12 「新規高性能熱電材料の開発」 理学系研究科 小菅厚子
- 13 「ナノスケール素子における電磁応答制御と操作」 工学研究科 戸川欣彦
- 14 「バイオマテリアル工学と微細加工技術を基盤としたマイクロ・ナノバイオインターフェースの創製」 工学研究科 許岩
- 15 「機能性有機材料および液晶材料の物性に関する研究」 工学研究科 内藤裕義
- 16 「ヘテロナノ構造を利用したエネルギー材料の創製」 工学研究科 牧浦理恵
- 17 「有機磁性体微小結晶の熱伝導測定」 理学系研究科 細越裕子
- 18 「マイクロ・ナノデバイスによる細胞発達制御」 研究推進機構 萩原将也
- 19 「相変化光記録材料カルコゲナイド化合物の結晶構造解析」 理学系研究科 久保田佳基
- 20 「大気圧プラズマ処理による異種材料の接着に関する研究」 工学研究科 竹内雅人
- 21 「種々の表面形状を有する酸化亜鉛ナノ粒子の光触媒活性と表面濡れ性の相関関係（膜厚測定、水滴接触角測定）」 工学研究科 竹内雅人
- 22 「MEMS型ガスセンサのシロキサン耐性を向上させる吸着材の開発に関する研究（水滴接触角測定）」 工学研究科 竹内雅人

- 2 3 「高難度ガス分離を実現する無機多孔体に内包した金属・有機構造体の開発」
工学研究科 堀内悠
- 2 4 「SIMS を使った材料中の拡散研究」 工学研究科 沼倉宏、仲村龍介
- 2 5 「ナノフォトニクスを基盤技術としたバイオセンサーの開発」
工学研究科 遠藤達郎
- 2 6 「宇宙・惑星・地球のテラヘルツ波ヘテロダイナミクス分光観測のための超伝導検出素子の
開発」 理学系研究科 前澤裕之
- 2 7 「ExHAM (Exposed Experiment Handrail Attachment Mecbanism, 簡易曝露実験
装置) サンプル PEACE の最終組み立て」 工学研究科 小木曾望

以上

9. 連絡先

大阪府立大学
研究推進機構
放射線研究センター

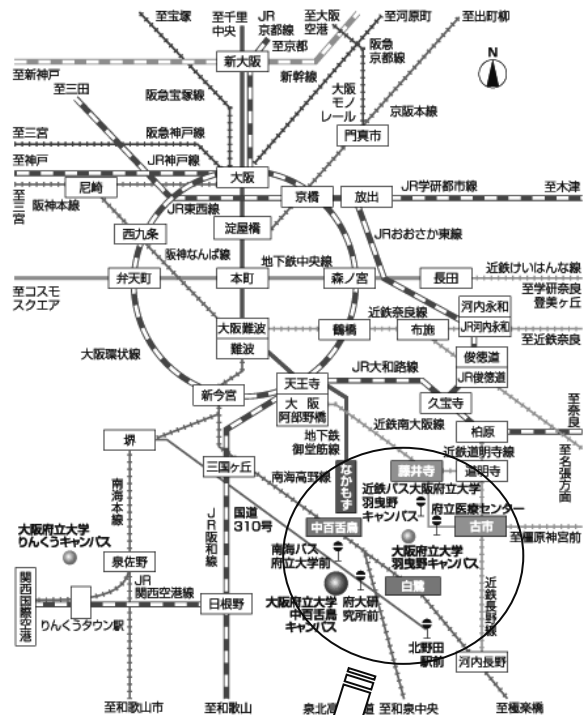
〒599-8570

大阪府堺市中区学園町1-2

Tel: (072) 252-1161 (代)

Fax: (072) 254-9938

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



【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
2018(平成 30)年度までの
共同利用報告書 PDF ファイルは
大阪府立大学 研究推進機構
放射線研究センターWeb ページにて
ご覧になれます。

<http://www.riast.osakafu-u.ac.jp/>
研究成果タブを選択してください。



大阪府立大学
OSAKA PREFECTURE UNIVERSITY