

平成30年度
放射線施設共同利用報告書

令和2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

平成 30 年度
放射線施設共同利用報告書

令和 2 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 谷口良一

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17冊目となります。

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行ってきました。さらに大学院工学研究科の量子放射線系専攻では大学院教育も担当しています。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。またセンターでは今年で36回目となる「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。

放射線安全に関する法令改正があり、今年の9月から、これまでの放射線安全管理に加えて、安全保障面の強化が求められました。これまでの放射線安全管理は、作業者の安全と周辺環境の安全を中心に考えられてきましたが、今回の法令改正では、これに加えて、「悪意を持った第三者の行動をいかに防ぐのか」ということが大きなテーマとなっています。ことに大規模なコバルト線源を有する当施設は特に厳重な防護対策を求められました。そのため、コバルト施設の立ち入り、使用に関しては、身分証明の厳格化が求められるなど、これまでよりも制限されることとなります。利用者の方々には、ご不便をおかけしますが、よろしくご協力をお願いします。ただし、コバルト以外の施設は従来どおりの使用が可能です。

このような問題はありますが、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。

2019年12月

目 次

ページ

1. はじめに

放射線研究センター長 谷口良一

2. 平成30年度共同利用研究報告

- 1) 放射線研究センター施設の現状・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・ 1
(阪府大研究推進) 谷口良一、宮丸広幸、小嶋崇夫
- 2) 【特別講演】古墳と放射線・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・ 2
(阪府大研究推進) 谷口良一
- 3) 高線量ガンマ線場における照射効果のリアルタイム計測・・・・・・・・ 3
(阪府大院工) 大和直樹、宮丸広幸、小嶋崇夫、谷口良一
- 4) ホウ素吸収材によるエネルギーフィルタリングを利用した中性子計測法の開発・・・・・・・・ 4
(阪府大院工) 磯部祐太、中西健太、宮丸広幸、小嶋崇夫、谷口良一
- 5) MAPMT を用いた中性子束のエネルギー群別測定法の開発・・・・・・・・ 5
(阪府大院工) 中西健太、磯部祐太、宮丸広幸、小嶋崇夫、谷口良一
- 6) 大線量放射線モニターのための半導体プリアンプの試作・・・・・・・・ 6
(阪府大院工) 史豊銓、小嶋崇夫、谷口良一
- 7) 大気エアロゾル中アンチモン(Sb)の堺市での長期観測結果・・・・・・・・ 7
(阪府大研究推進) 伊藤憲男、溝畑朗
- 8) 汎用石英光ファイバを用いた放射線モニタ・・・・・・・・・・・・・・・・ 8
(阪府大院工) 久保田寛和
- 9) 高エネルギー電子線照射による La-138 のベータ崩壊の短寿命化・・・・・・・・ 9
(阪府大研究推進) 谷口良一、伊藤憲男、岡本賢一、小嶋崇夫、宮丸広幸
- 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・・・・・・・・ 10
阪府大院工) 鷹野陽弘、岩瀬彰宏、堀史説 (、(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) γ 線照射還元による Cu 系合金ナノ粒子の合成制御におけるイオン濃度効果・・・・・・・・ 12
(阪府大院工) 内村祐也、山田智子、戸田晋太郎、松井利之、田中慎吾、田口昇、
堀史説、(京大複合研) 徐虬、阿倍尚也
- 12) 高エネルギーガンマ線を用いた対生成陽電子による陽電子消滅測定法の開発・・・・・・・・ 14
(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、寺澤倫孝
- 13) 透明ガラスへのイオン注入法によるナノ構造体合成と光吸収特性・・・・・・・・ 16
(阪府大院工) 山田智子、鷹野陽弘、杉田健人、岩瀬彰宏、堀史説、
(量研機構高崎) 前川雅樹、河裾厚男

14)	低温・低照度環境における CIGS 太陽電池の電子線照射試験	18
	(宇宙航空機構) 柴田優一、中村徹哉、今泉充、(阪府大研究推進) 秋吉優史	
15)	InGaP 太陽電池の低エネルギー電子線照射時の電流挙動	19
	(原子力機構) 奥野泰希、(阪府大院工) 秋吉優史、(宇宙航空機構) 今泉充	
16)	多重量子井戸構造を有する半導体 InGaAs/GaAsSb へのガンマ線照射効果	21
	(阪府大院工) 五月女瑞貴、川又修一	
17)	1 分子制御化学に向けたアトリットル液滴のハイスループット作製と操作	22
	(阪府大院工) 川岸啓人、許岩	
18)	高 Q 値シリコンナノ共振器を用いた抗原抗体反応	24
	(阪府大院工) 保田賢志、高橋和	
19)	キラル結晶 Te の非相反電気輸送特性	25
	(阪府大院工) 塩田航平、宍戸寛明、戸川欣彦、 (岡山大異分野研) 青木瑠也、小林夏野	
20)	ゲート制御型グラフェン光酸化によるグラフェンナノリボンの室温大気中合成	26
	(阪府大院工) 野内亮、松本守広	
21)	分子界面による二次元半導体の電子光学物性制御	27
	(阪府大院工) 桐谷乃輔、吉村武、藤村紀文	
22)	塗布型有機半導体デバイスの光電特性評価と高性能化	29
	(阪府大院工) 永瀬隆、小林隆史、内藤 裕義	
23)	α 鉄中のボロンの拡散係数の測定	30
	(阪府大院工) 濱名桂祐、仲村龍介、沼倉宏	
24)	「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」プロジェクトに関わるクリーンルーム利用報告	31
	(阪府大院理) 前澤裕之	
25)	超小型衛星「ひろがり」ミッション部における展開板構造物用テープヒンジのガンマ線照射後の強度評価	32
	(室蘭工大) 勝又暢久、樋口健、林夏澄、橋本真之介、 (阪府大院工) 小木曾望、前田紘孝、飯田輝澄	
26)	X 線誘発 DNA2 本鎖切断修復動態における DNA ligase IV 阻害効果	35
	(阪府大院理) 平戸結佳子、白石一乗、児玉靖司、 (和歌山県立医大血液内科) 田村志宣	
27)	マウス神経幹/前駆細胞における遅延性染色体転座生成と X 線被ばく時年齢との関係の解明	36
	(阪府大院理) 中村月覇、白石一乗、児玉靖司、(近大病院放射線科) 坂口健太	
28)	ライブセルイメージングを利用した X 線誘発小核の運命追跡	37
	(阪府大院理) 湯川瑠夏、白石一乗、児玉靖司、(阪府大院生命) 杉本憲治	
29)	染色体移入を用いた被ばく染色体による転座形成の新しい検出系の構築	38
	(阪府大院理) 戸田邦彦、白石一乗、児玉靖司	
30)	環境試料を用いた変異型ヒト糖質コルチコイド受容体発現酵母の有用性の評価	39

	(阪府大院理) 大西穂波、原島小夜子、川西優喜、八木孝司	
31)	本邦の大腸がん患者から単離されたコリバクチン産生大腸菌が誘発する遺伝毒性の評価 (阪府大院理) 植嶋亜衣、久富優太、小田美光、下原千昌、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、(浜松医大) 岩下雄二、梶村春彦、 (国立がん研究セ) 武藤倫弘、(京都府立医大医) 石川秀樹、 (静岡県立大食品栄養環境院) 若林敬二	40
32)	Using gamma rays for inactivation of fungi from contaminated old Japanese books and documents damaged by floods (阪府大院工) Nguyen Thị Thùy Linh、古田雅一、(大阪衛生協会) 久米田裕子、 (神戸大) 松下正和、吉川圭太、(国立歴史民俗博) 天野真志、 (京都造形芸術大) 内田俊秀、(産業創成大) 藤田和久、(里灯都) 酒井浩一	41
33)	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 (阪府大院工) 傳大輝、普天間章、阪井俊夫、前田伸彦、 (阪府大研究推進) 坂元仁、土戸 哲明、古田雅一	43
34)	放射線損傷ヌクレオシドである 5,6-ジヒドロチミジンを指標とした照射食品検知法の 開発 (阪府大研究推進) 石川悦子、古田雅一、 (大阪健康安全基盤研) 藤原拓也、福井直樹、高取聡、山口之彦、角谷直哉	45
35)	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 (IV) (阪府大高等教育) 宮本健助	47
36)	マウス神経幹細胞における放射線架橋 PVA ゲルの粘弾性に応答する接着分子の発現解 析 (阪府大院理) 森英樹、原正之	49
37)	化学プローブ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) 松井良樹、オウアンサビンサブニャン、トラントラングエン	50
38)	リサーチ図形解析によるプラズマ放電維持電力の評価 (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	51
39)	ダイバーター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) 山本優矢、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	52
40)	学校教育現場における放射線安全管理体制の確立 (阪府大研究推進) 秋吉優史、松浦寛人、(阪府大院工) Do Duy Khiem、安藤太一、 (保健医療科学院) 山口一郎、(JAEA) 橋本周、(東大環境安全) 飯本武志、 (福井県志比小) 小鍛冶優、(札幌白石中) 森山正樹、(長崎大付属中) 前田勝弘、	53

	(ケニス) 若松巧倫、(島津理化) 増子寛、 (放射線教育フォーラム) 田中隆一、宮川俊晴	
41)	大規模放射線施設を利用した原子力人材育成(4)	58
	(阪府大研究推進) 谷口良一、岡本賢一、坂元仁、伊藤憲男、秋吉優史、宮丸広幸、 小嶋崇夫、松浦寛人、古田雅一	
42)	さくらサイエンスプラン(S2018F0531393) 報告書	59
	(ラオス国家大) Lemthong Lathdavong、(阪府大研究推進) 川又修一	
43)	さくらサイエンスプラン(S2018F0831571) 報告書	60
	(ダラット大) Dang Lanh、(阪府大研究推進) 松浦寛人	
3.	平成29年度共同利用報告会プログラム	61
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	63
	(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	64
1	コバルト 60 ガンマ線照射施設	64
2	高エネルギー電子線照射施設	65
3	低エネルギー電子線照射施設	66
4	非密封放射線施設および、その他の照射施設	66
5	クリーンルーム施設	66
6	放射線研究センター組織	67
7	放射線照射施設利用のてびき	68
8	クリーンルーム施設利用状況 (2018 年度)	72
9	連絡先	74

放射線研究センター施設の現状

大阪府大 谷口良一*、宮丸広幸、小嶋崇夫

(*本研究に関する連絡先：電話（内線）4293、メール tan@riast.osakafu-u.ac.jp)

[電子線ライナック]

2018年のライナック運転時間は156時間、修理時間は13時間であった。図1に年間運転時間の、この25年間の推移を示す。運転時間は長期的に見ても単調減少しているが2018年度の照射利用時間は増加している。ただし2019年に入って問題が発生している。8月に入って電子銃のエミッションが極端に低下し、ビーム電流が $0.1\mu\text{A}$ 以上取り出せない状態となった。このカソードは2012年に交換し使用時間は5673時間であることから、カソードの寿命であると判断した。このため9月からカソードの交換作業に入っている。ライナックの真空体系に問題があることから、真空復帰に時間を要し、ビームの復帰は2019年末と予想している。

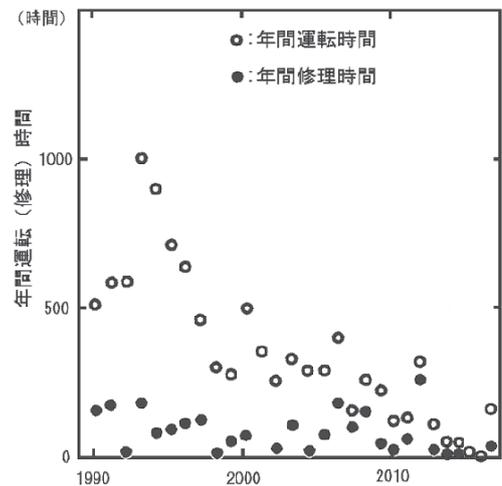


図1 ライナック年間運転時間の推移

図1 ライナックの運転時間の推移

[コッククロフトウオルトン電子線加速器]

2018年の運転時間は約85時間であった。前年の79時間よりも若干増加している。主として宇宙機器用の太陽電池の照射試験に使用している。

[コバルト60照射施設]

2019年9月1日から改正放射線障害防止法による防護措置が適用された。これまでこの法律は、作業員の放射線障害の防止と周辺住民に対する影響を防ぐということを中心に構成されていた。これに対して、今回要求されている防護措置の基本は、「悪意を持った第三者の侵入をどうやって防ぐか」ということにある。このため、線源の周辺には、侵入を阻止、あるいは遅延させるために障壁の設置が義務付けられる。利用者にとって特に問題となるのがアクセス制限である。規制対象の線源の周辺に立ち入りが制限された区域（防護区域）が通常管理区域内に設置される。この区域には、訓練を受けた防護作業員のみが立ち入りでき、通常の放射線業務従事者等は立ち入りが制限される。ただし、今回の防護措置が適用されるのは、線源棟のコバルト施設のみである。その他の施設は、これまでと同様の管理となる。

コバルト60照射施設の利用でも、試料のみを持ち込んで単純な照射をする場合は、大きな変化はないと考えられるが、線源周辺で実験をする場合は、(a)立ち入る作業員の身元確認、(b)防護作業員の同伴、が求められる。このことは民間企業の利用だけでなく、大学等との共同利用、共同研究、人材育成研修でも同様であり、大きな制限になると思われる。線源棟では、年間1000人以上の見学者を受け入れており、これが大きな制限を受けると考えられる。オープンキャンパス等での、飛び入りの見学は、ほとんど不可能になると思われる。これに対しては、防護区域に立ち入らない、防護区域の外側からの有効な見学が可能かどうかの検討を行っている。

古墳と放射線

大阪府立大学放射線研究センター 谷口良一

大阪府立大学は歴史的環境に恵まれている。図1に大学周辺の衛星写真を示す。写真では中央部に見

える大学の敷地の左上に、大学に匹敵するような巨大構造物が見える。これはニサンザイ古墳と呼ばれ、今から1600年ほど前に建造された古い墓であり、全長290mもあり百舌鳥地区で3番目の大きさ、全国でも7番目の大きさを持った前方後円墳である。百舌鳥地区には、このような古墳が40基以上現存しており、今年、ユネスコの世界遺産「百舌鳥・古市古墳群」として登録



図1 大学周辺の衛星写真

された。一昨年から2年間講演者は、

大学1年生を対象とした初年次ゼミナール（初年次ゼミ）を担当することになり、このような歴史的環境を利用して「古墳を見つけよう」というテーマで講義を行った。

初年次ゼミでは、大学周辺に点在する古墳を散策すると同時に、放射線サーベイメータを持参し、古墳周辺の環境放射線量の測定を行った。現時点では測定点が少なく、2次元表示できる領域は限られているが、最も測定点の多いニサンザイ古墳周辺の環境放射線分布を図2に示す。図のように、古墳周辺の濠の周囲は、環境放射線が少なく、濠から離れるに従って急激に放射線量は増大している。但し古墳の大学側に現代の墓地があり、その周辺の放射線量が

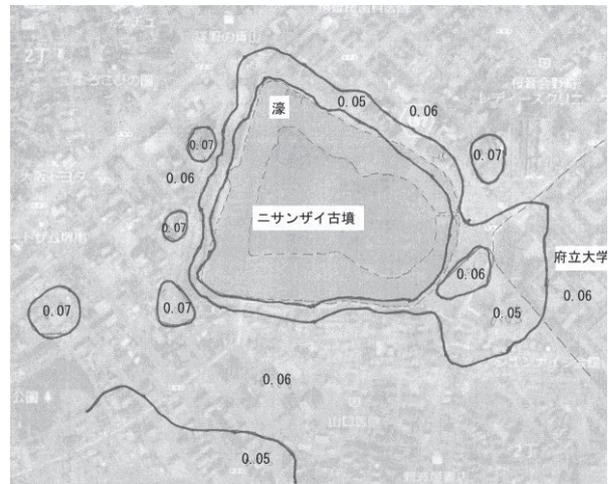


図2 ニサンザイ古墳周辺の環境放射線分布

増大していることも特徴的である。このような放射線分布は、その他の古墳でも同様と考えられるが、さらに進んで古墳跡でも同様の分布が得られる可能性があると考えている。古墳時代は、3世紀後半から始まり6世紀に終わる。この時代は日本国家の形成時期であるが、文章による記録が始まる前であり詳細は不明である。不明な部分の中では大型古墳の建設が、いつ始まったかということが大きな意味を持っている。この時代の直前ないしは前期が邪馬台国時代であり、年代測定はこの論争に大きな影響を与える。古墳の年代測定には、放射線による分析法も大きな寄与をしている。例えば炭素14年代測定、年輪年代法、TL年代測定などがあげられるが、残念なことに、現時点では決定的なデータは得られていない。いくつかの新しい放射線分析手段を開発して、これからも古墳研究の手段として放射線が役に立つことを願っている。

高線量ガンマ線場における照射効果のリアルタイム計測

阪府大院工量子放射線系専攻 大和 直樹*

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) 4231、メール mc106008@riast.osakafu-u.ac.jp)

1. 緒言

高線量放射線が与える照射効果を調べることは極めて重要であると考えており、本学では大線量の Co60 ガンマ線源を有していることから、高線量場での様々な放射線照射効果の研究を行うことができる。本研究は第四照射室を用いたガンマ線が材料や電気的素子に与える照射効果をリアルタイムに電流、電圧、発光などの物理量を計測、観察することを目的としており、特に照射効果により変化する光学特性の評価のための測定の整備を行っている。

2. 光透過光の測定方法

照射室内部に光源として用いるアクリル製光ファイバーと集光レンズを向かい合うようにして設置し、光ファイバーと集光レンズの間に厚さ 0.6mm のポリエステルを置いた。ガンマ線照射前に集光レンズによる吸光度測定を行えることを確認した後、試料へのガンマ線照射を行なった。試料への照射効果を吸光度の変化から評価を行った。

3. 結果とまとめ

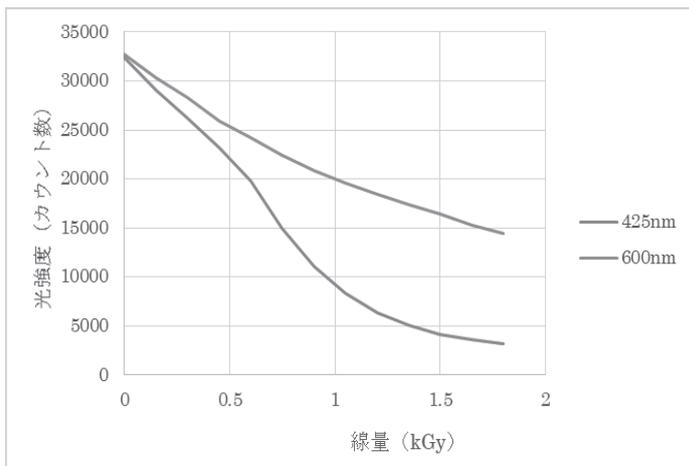


図 1. 波長別の減衰率

本研究は照射中での光強度を対象としており、その中でも白色光が持つ 425nm と 600nm の2つの大きなピークについて評価を行っている。図 1 に波長別の減衰率の違いを示す。照射線量率は 1.8kGy/h を用いている。照射開始から 60 分後には 425nm の光強度は 90% 減衰したのに比べて 600nm の光強度は 58% の減衰しか確認できなかった。

これは用いていた光ファイバーがアクリル製であったため光ファイバーが照射影響を受け、白色光が緑色の光へと変化したことによるものであった。照射実験後、用いた光ファイバーがガンマ線による照射影響を受けた閾値を確認したところ 0.2kGy であった。今後はモンテカルロシミュレーションを用いた計算を行い、光ファイバーが受ける線量が 0.2kGy 以下になるような体系づくりを行っていく。

4. 本研究に関する研究発表

「高線量ガンマ線場における照射効果のリアルタイム計測」

第 56 回 アイソトープ・放射線研究発表会 (2019 年 7 月、東京)

ホウ素吸収材によるエネルギーフィルタリングを利用した中性子計測法の開発

阪府大院工量子放射線系専攻 磯部祐太*、中西健太

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）4231、メール mc106001@riast.osakafu-u.ac.jp)

1. はじめに

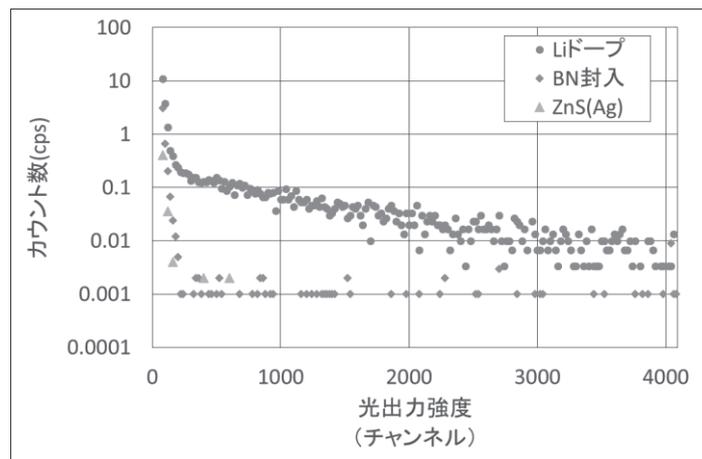
ホウ素中性子捕捉療法(BNCT)で用いられる加速器中性子源からの中性子束をエネルギー群ごとに評価するために、ホウ素吸収材と荷電粒子用シンチレーターを組み合わせた検出器をこれまで開発してきた。既存の研究では光ファイバーを利用し大線量下での測定を目的としていたが、本研究では散乱線などの低フラックス中性子を測定対象とすることを検討している。吸収材フィルター部分の工夫や、シンチレーターと光電子増倍管を直結することで高感度化を目指している。

2. 測定手法と実験内容

中性子の弁別の原理を説明する。ホウ素 ^{10}B は中性子吸収材として大きい核反応断面積を有し、 $1/v$ 法則に従って (n, α) 反応を起こし中性子束が減少する。この特性を利用し、中性子束に対してホウ素 ^{10}B を含む物質(窒化ホウ素 BN)を透過させることで熱中性子束成分の大部分が吸収させる。BN の厚みを厚くすることで熱外成分も減少、最後には大部分が高速中性子の成分の中性子束となる。このように BN の厚さの変化により中性子束のエネルギー成分を分離する。吸収材透過後の中性子束は、リチウムやホウ素と中性子による (n, α) 反応により生じる荷電粒子を銀活性硫化亜鉛 ZnS(Ag) シンチレーターで計測する。本実験ではシンチレーターにリチウム Li をドーブしたもの、ホウ素材と ZnS(Ag) 薄板を組み合わせアクリル容器に封入したシンチレーターの 2 種を利用し、光電子増倍管に密着させて測定を行った。

3. 結果とまとめ

右図に測定結果を示す。全体的に BN 封入 ZnS(Ag) より Li ドープ ZnS(Ag) により得られる信号のほうが大きいという結果が出た。また、中性子と反応しない、純粋な ZnS(Ag) による測定結果から、低光出力強度部分の測定結果には γ 線とシンチレーターの相互作用による結果であることが分かった。しかし低光出力強度部分に集中するため、中性子による信号とは十分に弁別できることが分かった。



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っていきたい。

4. 本研究に関する研究発表

「ホウ素吸収材を用いたエネルギー群別中性子計測法の開発 1」

第 56 回 アイソトープ・放射線研究発表会 (2019 年 7 月、東京)

MAPMT を用いた中性子束のエネルギー群別測定法の開発

阪府大院工量子放射線工学分野 中西健太*、磯部祐太
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）4231、メール mc106006@riast.osakafu-u.ac.jp)

1. 概論

先行研究ではホウ素中性子補足療法(BNCT)に使用する中性子束を、エネルギー群別ごとに測定可能な検出器を開発した。これは厚みを可変とした窒化ホウ素の吸収材とシンチレーション検出器を組み合わせた構成であり、検出器応答関数と実際の検出器応答からの入射中性子束のエネルギーを推定するものである。検出器応答関数は入射中性子束のエネルギーと吸収材厚みを変数とし、モンテカルロシミュレーションコードを用いて計算する。

本研究では検出器の光電子増倍管を複数の光電面を持つマルチアノード型光電子増倍管(MAPMT)としたものを開発する。光電面の分割により、吸収材の厚みの異なる領域を構成でき、シンチレーターの種類を変えることで分割領域それぞれに異なるエネルギーや線種の計測も可能になる。

2. 方法

検出器は窒化ホウ素粉末を板状に成型した中性子吸収材複数、 ^6Li をドープした銀活性硫化亜鉛 ZnS(Ag)シンチレーター、浜松ホトニクス H8711 MAPMT から構成される。

予備実験としてまず 16 個ある光電面を 2 つの領域に分け、片方のみ上記シンチレーターを取り付け、Ra-Be 中性子源および ^{60}Co γ 線源からの放射線を計測した。図 1 に波高分布の実験結果を示す。

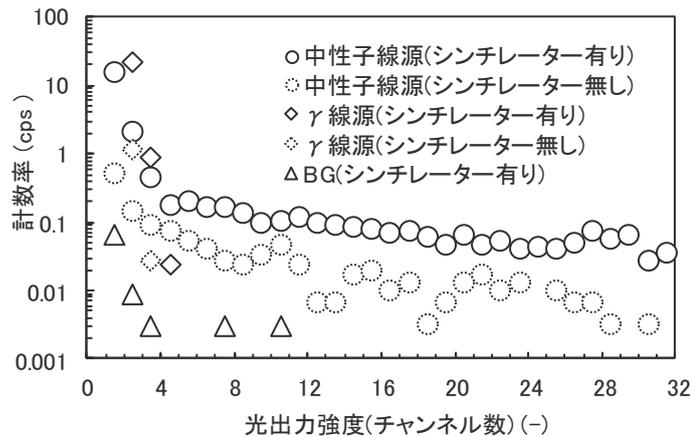


図 1 中性子計測におけるシンチレーターの波高出力

3. 考察と今後の予定

図 1 よりシンチレーターの有無で計数率に差がみられたことからこの検出器が厚みの異なる吸収剤による複数条件での同時計測が可能であることが分かった。また γ 線と中性子線が波高弁別可能であることが確認できた。しかしながら中性子を計測しない領域にも信号が得られていることから、今後はシンチレーターから他領域への光の漏洩を対策して再計測する予定である。

4. 本研究に関する研究発表

「ホウ素吸収材を用いたエネルギー群別中性子計測法の開発 2」
第 56 回 アイソトープ・放射線研究発表会（2019 年 7 月、東京）

大線量放射線モニターのための半導体プリアンプの試作

大阪府立大学放射線研究センター、○史豊銓、小嶋崇夫、谷口良一*

(*本研究に関する連絡先：電話（内線）4293、メール tan@riast.osakafu-u.ac.jp)

1. はじめに

半導体素子は、放射線に敏感な装置であるとされてきた。さらに集積回路化が進み、現在の半導体素子は放射線に対して極端に弱くなっている。現在、福島事故炉の処理で半導体素子の放射線損傷が大問題となっているが、それ以外にも長期間使用する宇宙機などでも問題となると考えられる。

我々のグループは、大線量放射線をモニターするために、電離箱検出器用のプリアンプとして耐放射線性の高い接合型電界効果トランジスタ（J-FET）素子を用いた前置増幅器を開発している¹⁾。集積回路化されたプリアンプでは、一般に照射量が100Gyから特性変化が見られ、1kGy以上の照射には耐えられないとされてきた。これに対して、開発中の増幅器は、数 Gy/h 以上の大線量下でも長期間使用可能であることを目標としている。

2. プリアンプ回路

今回試作したプリアンプの概略を図1に示す。回路は2段に別れ、前段は電離箱に直結し、数メートル離れた線量が弱い場所に後段を配置する。前段の回路は、J-FET(2SK246)のみで構成し、差動ペアで構成することで素子の放射線照射の影響を圧縮した。また、入力が極めて微弱な電流であることを考慮して、各素子を定電流動作させることで、さらに照射による変化を圧縮した。図2に、図1の回路の前段部分を約100kGy照射した場合の応答変化を示す。実験結果を見る限り、J-FET素子を用いることで、100kGy程度までの照射は許容できる見通しが得られたと考えられる。

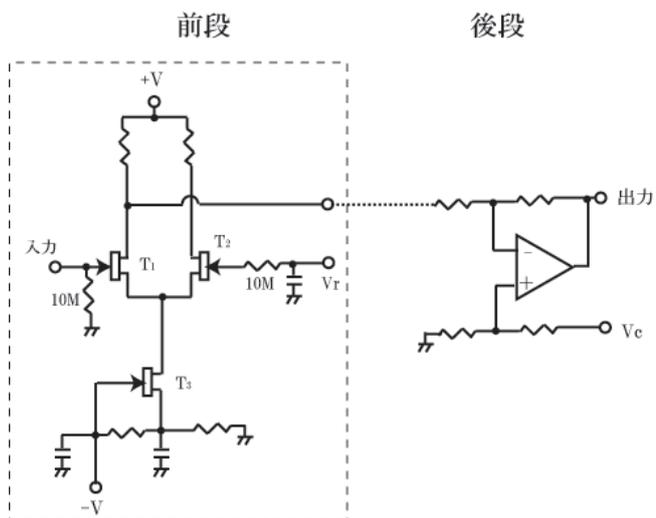


図1 試作したプリアンプ回路

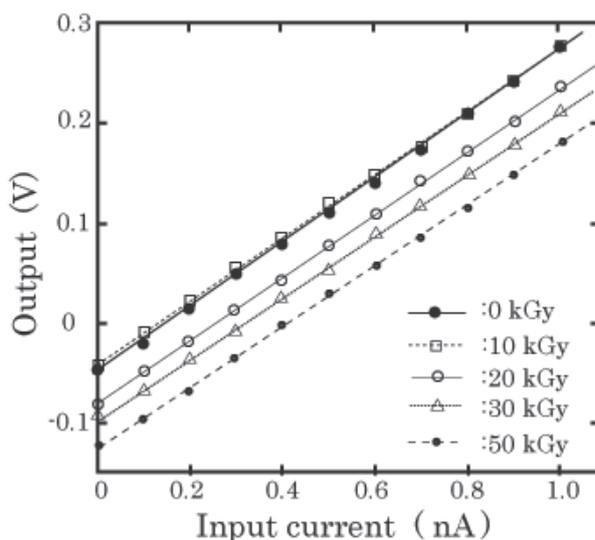


図2 Co-60線源で照射した時の応答変化

[参考文献] 1) 「耐放射線性の半導体プリアンプの試作」、史豊銓、小嶋崇夫、谷口良一、第55回アイソトープ・放射線研究発表会、要旨集（2018年7月、東京）2p-III-06

2) 「大線量放射線モニターのための半導体プリアンプの試作」、史豊銓、小嶋崇夫、谷口良一、第56回アイソトープ・放射線研究発表会、要旨集（2019年7月、東京）1a-IV-07

大気エアロゾル中アンチモン(Sb)の堺市での長期観測結果

伊藤憲男、溝畑 朗(大阪府立大研究推進)

毒性のある元素アンチモン(Sb)は、大気中に粒子(大気エアロゾル)として存在することが知られている。2 μm 以上の粗大粒子にふくまれる Sb は主に車のブレーキパッドの磨耗から生じるものとして、2 μm 以下の微小粒子に含まれる Sb はプラスチックの燃焼過程で生じたものからの影響が大きいとされている。Sb の大気中での粒径分布、濃度変化を観測することは、我々の健康影響を見る上で重要である。我々は、1995 年以来大阪府立大学で大気粒子(大気エアロゾル)の元素濃度を粒径別に観測している。この報告書では、大気エアロゾルの Sb の 1995~2017 年の濃度変化について報告する。

1995 年以来連続して捕集期間 1 週間で大阪府立大学 C9 棟屋上で、アンダーセンサンプラーを使用して粒径を 9 範囲(>11,7.0-11.0,4.7-7.0,3.3-4.7,2.1-3.3,1.1-2.1,0.65-1.1,0.43-0.65,<0.43 μm)に分けて大気エアロゾルを捕集している。このうち一部の試料について、中性子放射化分析により元素分析を行ってきた。中性子放射化分析法は、武蔵工大、立教大学、日本原子力研究開発機構、京都大学の原子炉を使用して行なった。Sb の分析は、原子炉で照射した試料を大阪府立大学放射線研究センターに受入れ、Ge 検出器で Sb を中性子照射して生じる ^{122}Sb と ^{124}Sb から放出されるガンマ線強度を測定することによって行なった。

Sb の粒径分布の例を Fig.1 に示す。Fig1 では、捕集期間 1995 年 4 月 24 日-5 月 8 日(P1)、2017 年 3 月 28 日-4 月 4 日(P2)に捕集された試料の結果をしめす。分布は、微小粒径範囲(<2 μm)と粗大粒径範囲(>2 μm)にピークを持ち、プラスチック燃焼やブレーキパッド磨耗粒子の影響を受けていることが推定される。そして期間 P2 の濃度は期間 P1 に比べて大きく低下して、Sb の濃度が微小粒径範囲、粗大粒径範囲で低下していることが予想される。分析した全ての試料の Sb の濃度の 1995 年から 2017 年の濃度変化を Fig2 で示す。Fig.2 より、粗大(Sb-Coarse)、微小(Sb-Fine)でも、1995 年から 2017 年で Sb 濃度の低下傾向が見られた。この濃度変化を直線で近似した場合、年平均値の変化量は、Sb-Coarse で $(-5.5 \pm 1.0) \times 10^{-5} \mu\text{g}/\text{m}^3/\text{year}$ 、Sb-Fine で $(-2.5 \pm 1.0) \times 10^{-4} \mu\text{g}/\text{m}^3/\text{year}$ となった。この変化率の近似した直線の切片の値(1994 年の推定値)に対する割合は、Sb-Coarse で -2.9%/year、Sb-Fine で -4.5%/year となり、分析した元素の中で最大の低下率を示した。

この濃度低下のうち微小粒子の低下については、ごみ焼却施設からの粒子の排出量の低下とプラスチックのリサイクルによるごみに含まれるプラスチック割合の低下によるものと推定される。粗大の低下については、ブレーキパッド磨耗粒子の低下による効果によるかの推定はできていない。

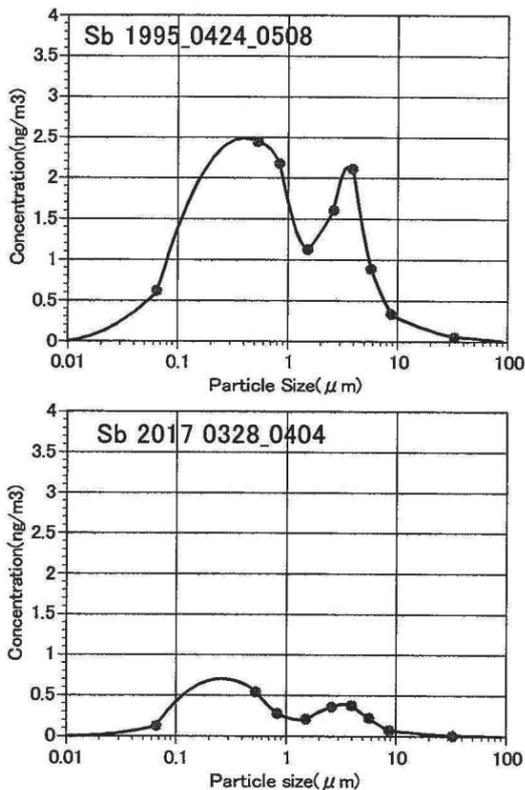


Fig.1 Size distribution of Sb observed in 1995 Apr.24-May08 and 2017Mar28-Apr04 at Sakai

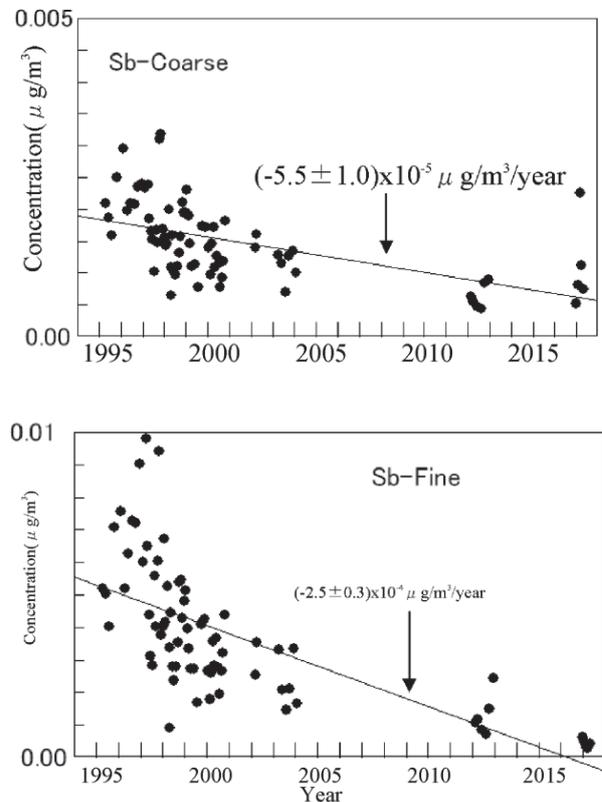


Fig.2 Yearly change in concentration of Sb-Coarse and Fine-Sb observed at Sakai, 1995 -2017.

汎用石英光ファイバを用いた放射線モニタ

阪府大院工電気電子システム工学分野 久保田 寛和

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

本研究は汎用のガラス光ファイバ(Standard single-mode fiber; SSFM)をセンサ部として用いることで広範囲の放射線モニタの可能性の検討を行うことが目的である。ガラスに放射線を照射した際の着色（黒化）による光ファイバの透過率の減少を測定することが検出原理である。これまで、高エネルギー実験施設などでマルチモード光ファイバ(MMF)を用いた同様の検討が行われている[1]。SSFMはすでに世界中に張り巡らされているため、SSFMがセンサとして利用可能であれば、広範囲の放射線モニタリングが可能となる。損失係数 \propto 欠陥数, 欠陥の増加 \propto 線量率, 欠陥は一定率で回復し、十分な時間経過後初期状態に戻るとする仮定のもとで、ある時点での透過率の減少から線量を推定できる。

今年度上半期に予備実験、下半期に測定実験を行なった。上半期はSSFM、MMF各々1mのサンプルに線源 Co^{60} 100 Gy (50 Gy/h x 2 h) のガンマ線照射を行なった。透過率の測定には光パルス試験機(OTDR)を用いた。OTDRによる測定では黒化による透過率減少は光ファイバが短い場合ファイバ接続部分の雑音もれてしまい判定できなかった。これをふまえて、下半期にはSSFMを100 mとし、線量1 kGy (2k Gy/h x 0.5 h)の照射を行なった。図1は波長780 nmの光源を使用する短波長OTDR装置によるSSFMの透過率測定結果である。未照射の場合10 mあたり0.11 dBの減衰であったのに対し10 mあたり2.55 dBと大きな減衰が生じた。感度は0.24 dB/(km Gy)であり、環境モニタリング用には数桁感度が不足しているが、大線量の放射線が発生する可能性のある場所にはMMFでなくSSFMでのモニタリングが可能であると言える。減衰量は24時間後には1/4程度まで回復した。図2は時間経過による減衰量の回復特性であり時定数は約4時間であったが24時間以降ほとんど回復はみられなかった。大きなベデスタルが残るため、このままでは瞬時線量の推定は難しく、次年度追加検討を行う。

参考文献

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）

平成30年度 関西原子力懇談会学術振興奨学金
研究成果・進捗状況報告書

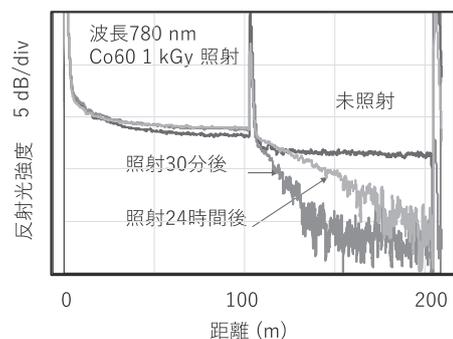


図1 波長780 nmの光源によるOTDR波形

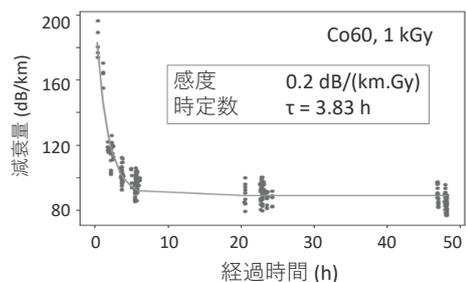


図2 時間経過による減衰量の回復特性

高エネルギー電子線照射による La-138 のベータ崩壊の短寿命化

阪府大放射線研究センター 谷口良一*, 伊藤憲男, 岡本賢一, 小嶋崇夫, 宮丸広幸,
(*本研究に関する連絡先: 電話 (内線) 4293、メール tan@riast.osakafu-u.ac.jp)

1. はじめに

β 崩壊は核励起することで半減期が劇的に短縮するとされている¹⁾。原発事故に関連した放射能汚染は環境中に放出された β 核種が原因であり、この現象を利用すると汚染問題は大きく改善する可能性がある。ただし、励起断面積が小さく励起寿命が短いことから、実際に利用することはこれまで困難とされてきた。ただし集団励起が寄与するような核レベルでの半減期の短縮はこれまで検討されてこなかった。そこで我々は現在半減期 1000 億年の La-138 を試料として短寿命化の評価を行っており¹⁾、 γ 線、X 線、電子線の照射で、 β 崩壊量の僅かな減少が観測されている。今回、実用上、最も有望と考えられる電子線照射に焦点を絞り、結果を紹介したい。

2. 実験

実験では大阪府立大学の電子線形加速器を用いた。試料には La 金属の円柱 (20mm×15mm ϕ) を用い、円柱の片側から 8MeV、 $2\mu\text{A}$ の電子線を水冷試料に 1 時間照射し、ベータ崩壊量の変化を Ge 検出器で測定した。図 1 は、照射後の試料の測定スペクトル中のいくつかのピーク面積の変化を 2 か月程度追跡したものである。試料は La の多数核種である La-139 の中性子吸収による放射線の増加 (半減期 1.6 日) が僅かに観測されるが、その期間を過ぎても図のように、La-138 の電子捕獲 (1436keV) のピーク面積が数十日で 3% 程度減少していることが示されている。ただし、試料のバックグラウンドを構成しているアクチニウム系列の核種 (Ra-223、Th235 等) のピーク面積も変動しており、しかも不規則な変動に見える。図 2 は、同種の試料の放射能分布を 2 次元的に測定したものである。これは照射した後の試料を IP に 2 か月程度密着させて得られた放射能分布である。図 2 の (1) は照射前の分布を示している。僅かな変化が観測されているが、照射ビームの形状とは明らかに異なっている。これらの結果については現在詳細な検討を行っている。

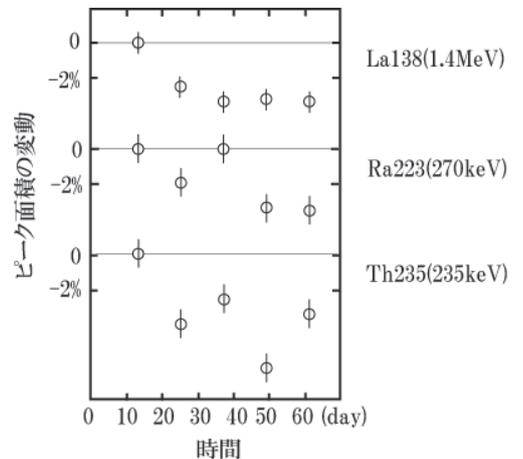


図 1 電子線照射によるピーク面積の変化

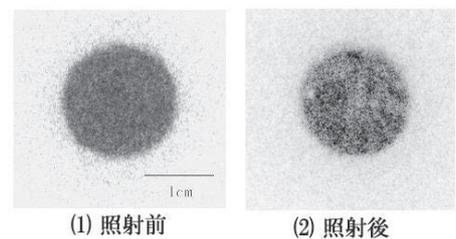


図 2 電子線照射による試料表面の放射能分布の変化

[参考文献]

- [1] 「La-138 の放射線照射によるベータ崩壊の変化」 谷口良一他、原子力学会 2018 年秋の大会、1A13
- [2] 「電子線照射によるベータ崩壊核種の短寿命化」 谷口良一他、第 56 回 RI 研究会(2019)1p-III-05
- [3] 「高エネルギー電子線照射による La-138 のベータ崩壊の短寿命化」 谷口良一他、原子力学会 2019 年秋の大会、2N12

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 鷹野陽弘、岩瀬彰宏、堀史説*
 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】近年、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の手法として利用しようとする研究が行われている。我々の研究グループでは、優れた高温耐性や高強度を誇り構造材料として利用されている 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した[1]。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。そこで、金属間化合物の中でもバルクでのアモルファス合金の作成が可能な化合物合金である $Zr_{50}Cu_{40}Al_{10}$ の結晶バルク材(以下、 $Zr_{50}Cu_{40}Al_{10}$ 合金)への重イオン照射効果について各種の照射条件での結晶相及び微細構造の変化やアモルファスにおいて重要な要素である自由体積と関連が高いと考えられる空孔型欠陥の導入と挙動について検討した。

【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 Au イオン及び Xe イオンを照射した。Au イオンは加速電圧 200MeV 、照射量は $1\times 10^{14}/\text{cm}^2$ 、Xe イオンは加速電圧 200MeV で照射量は $1\times 10^{14}/\text{cm}^2$ 、 $5\times 10^{14}/\text{cm}^2$ 、 $1\times 10^{15}/\text{cm}^2$ で行った。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。

【結果】GIXD の結果より未照射の $Zr_{50}Cu_{40}Al_{10}$ 合金については主に正方晶系 Zr_2Cu と斜方晶系 Zr_7Cu_{10} の結晶構造をもつことがわかった。Au イオン照射後の試料において Zr_2Cu のピークが消失した。これに対して Zr_7Cu_{10} のピーク強度は減少し、位置に変化は見られなかった。一方 Xe イオン照射では、 $1\times 10^{14}/\text{cm}^2$ 照射試料において Zr_2Cu と Zr_7Cu_{10} のピーク強度は減少し、いずれも低角側へのシフトが確認された。このようにイオン照射条件によって変化に違いがあることがわかった。これらの違いは、重イオン照射での材料へのエネルギー付与過程の違いが影響していると考えられる。すなわち今回の重イオン照射では、Xe イオン照射と比較して Au イオン照射は核的阻止能(Sn)の割合が高いことが計算によって求められた。そのため、アモルファス化は結晶相によって変化のし易さに違いがあり、さらに核的阻止能(Sn)の効果である弾性弾き出しがアモルファス化を促進しているのではないかと考えられる。

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) Non-equilibrium lattice structure induced by high energy heavy ion bombardment in NiTi alloy

M. Ochi, A. Iwase, N. Ishikawa, H. Kojima, Y. Kaneno, S. Semboshi, F. Hori, Y. Saitoh, Y. Okamoto
SHIM10- ICACS28, Caen France 2018 Jul.1-6.

2) Composition dependence of local structure and hardness change of Zr-Cu-Al amorphous alloys with ion beam irradiation

F. Hori, A. Takano, A. Iwase, T. Wada, H. Kato, Y. Saito, N. Ishikawa
Int. Conf. on Positron Annihilation 18, Frolida USA 2018 Aug.20-25.

3) Open volume behavior in bulk amorphous alloys studied by positron annihilation techniques

F. Hori (Invited)

3rd Kyoto Workshop on Positron Sciences, Kyoto. Japan Nov. 8-9.

4) Ni 系金属間化合物への重イオン照射による非晶質化

鷹野陽弘、小島啓、越智雅明、岩瀬彰宏、金野泰幸、千星聡、加藤秀実、岡本芳浩、斎藤雄一、堀史説
2018年9月9日 一般社団法人 日本物理学会 2018年秋大会（同志社大学京田辺キャンパス）

5) NiTi 合金の高エネルギー重イオン照射による非熱平衡相の発現

越智雅明、岩瀬彰宏、小島啓、金野泰幸、堀 史説、斎藤勇一、石川法人、千星聡、岡本芳浩
2018年12月11日 高崎量子応用研究開発機構サイエンスフェスタ（群馬県高崎）

6) 高エネルギー重イオン照射によるバルクアモルファス合金の局所構造変化

鷹野陽弘、杉田健人、加藤秀実、和田武、石川法人、斎藤雄一、堀史説
2019年1月12日 フォーラム 21 - イオンビームを用いた物理とその応用 -（京都工芸繊維大学）

7) 金属間化合物に対する量子線照射効果による微細構造変化

鷹野陽弘、角倉優雅、杉田健人、大澤一人、徐ギユウ、堀史説
2019年2月5日 京都大学複合原子力科学研究所第53回学術講演会（京都大学原子炉実験所）

8) イオン照射による高密度エネルギー付与がもたらす合金の結晶構造変態

岩瀬彰宏、金野泰幸、堀史説、千星聡、斎藤勇一、石川法人
2019年3月14-17日 日本物理学会春季大会（九州大学）

9) 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、喜多川茜、堀史説
2019年8月8日 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及び日本原子力研究開発機構・量子科学技術研究開発機構 施設利用一般共同研究成果報告会 弥生研究会成果報告会（東京大学）

10) 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
2019年9月11日 日本金属学会 2019年秋期（第165回）講演大会（岡山大学）

γ線照射還元による Cu 系合金ナノ粒子の合成制御におけるイオン濃度効果

阪府大院工 内村祐也、山田智子、戸田晋太郎、松井利之、田中慎吾、田口昇、堀史説*

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】

近年、ナノ微粒子は省資源かつ高機能な材料として注目を集めている。中でも、Cu ナノ微粒子は資源として安価であるのに加え、高い電気伝導率を有しているため Ag ナノ微粒子に代わる幅広い分野での利用が期待されている。しかし、Cu ナノ微粒子は酸化・再溶解が起こりやすくナノサイズで安定な銅粒子の合成は難しい。我々はこれまでにγ線照射還元法により 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。また、耐酸化性を有する元素との合金化に着目し、γ線照射還元法によって Cu-Au 二元系ナノ微粒子の合成に成功しており、Cu 単体の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いる^[2]。本実験ではγ線照射還元を行った後、Au 錯体を添加することで二元系ナノ微粒子の構造制御を試みた。同時に、Cu コロイド溶液と添加する Au 錯体の濃度比の違いによる生成ナノ微粒子の評価も行った。

【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 60 mL 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 15 kGy)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を吸光度分析(UV-Vis)、透過型電子顕微鏡(TEM)による観察、及び X 線光電分光分析(XPS)、微小角 X 線分光回折法(GIXD)による評価を行った。

【結果】

UV-Vis において、Cu の濃度を増加させているにもかかわらず Au の SPR 吸収ピークが上昇していることが確認された。(図 1) この結果より、Au 錯体の添加により Cu ナノ微粒子と Au イオンの間で酸化還元反応が生じ、Au 原子が生成されていることや、生成ナノ微粒子の表面は Au の性質が強いことが考えられる。XPS の結果より Au 及び Cu が金属原子として微粒子内に存在していることが確認された。(図 2) また、GIXD の結果より、Cu はいずれの濃度比においても単体として殆ど存在せず、Au との固溶合金、及び化合物を形成して存在していることが確認された。以上の結果より、生成されたナノ微粒子は、Cu-Au 合金ナノ微粒子の表面を Au が覆うコアシェル構造を形成して存在していると考察することができる。

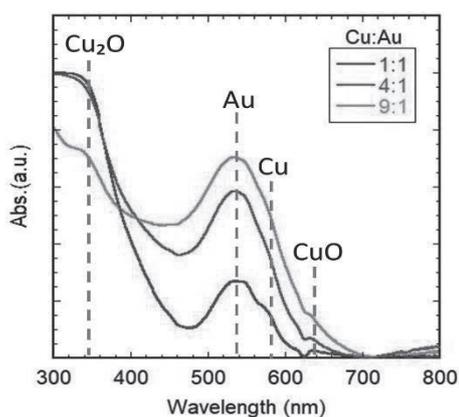


図1 生成粒子の UV-Vis 測定結果

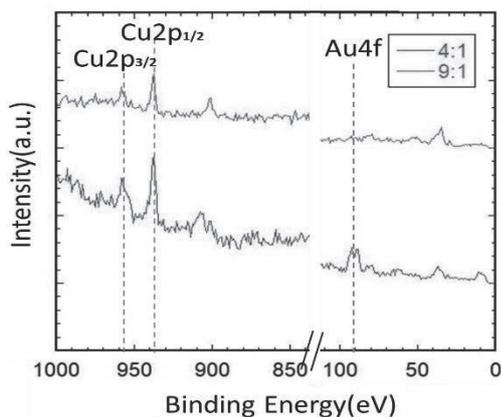


図2 生成粒子の XPS 測定結果

参考文献

- [1]堀達朗 大阪府立大学修士論文(2015)
- [2]田中元彬 大阪府立大学修士論文(2017)

本研究に関する研究発表

- 1) 放射線照射還元による Ni 基多元合金ナノ粒子の合成制御、戸田晋太郎、田中元彬、岩瀬彰宏、田口昇、田中真悟、松井利之、XuQiu, 堀史説、ナノ学会 (2018年5月東京)
- 2) ガンマ線照射還元を利用した水溶媒中での金属合金ナノ粒子の合成制御、戸田晋太郎、田中元彬、岩瀬彰宏、堀史説、田口昇、田中真悟、放射線プロセスシンポジウム (2018年11月東京)
- 3) 照射還元法により合成した Cu 合金ナノ粒子の安定性と微細構造、内村祐也、戸田晋太郎、田中元彬、水越克彰、田口昇、田中真悟、松井利之、徐虬、堀史説、京大複合原子力研学術講演会 (2019年1月熊取)
- 4) 照射還元ワンポッド合成による金属ナノ粒子合成担持過程におけるイオン吸着効果、堀史説、谷真海、戸田晋太郎、水越克彰、Xu Qiu、日本金属学会(2019年3月東京)
- 5) 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 内村祐也、山田智子、戸田晋太郎、徐ギユウ、松井利之、堀史説、日本金属学会(2019年9月岡山)

高エネルギーガンマ線を用いた対生成陽電子による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、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)

陽電子消滅法は物質中の空孔や自由体積を検出するナノスケールのプローブとして材料研究に広く用いられてきた。実験室レベルでは RI (radioisotope) を陽電子線源とした実験が主で、我々のグループもトレーサー棟で RI を用いた実験を行ってきた。しかし、RI から放出される陽電子ではエネルギーが低く、試料表面から数百 μm までの表面近傍が観察領域となり、より材料深部の情報を得るためには MeV オーダーのエネルギーを持つ陽電子が必要となる。そこで、我々は 10 MeV を超える高エネルギーガンマ線による対生成で MeV オーダーの陽電子を生成し、生成粒子を磁場によって軌道制御した高速陽電子ビームを用いたバルク材非破壊検査システムの開発を行ってきた[1,2]。現在、この高速陽電子ビーム開発と並行して、高エネルギーガンマ線を試料に直接照射し試料内部で陽電子生成・消滅を起こし、この際に放出される消滅ガンマ線による陽電子消滅測定を行う手法 (GiPS: Gamma induced Positron Spectroscopy) についても実験を進めている。本研究で使用するガンマ線は、電子蓄積リングを周回する相対論的電子とレーザー光子の散乱 (LCS: Laser Compton Scattering) により生成している。この線源の特徴として指向性が高く、エネルギー調整が容易でその単色正が高い。このような特徴をもつ線源を使用することで、大気中でのバルク材測定が可能となる。GiPS のデモンストレーションとして、陽電子消滅測定の結果が RI によって既知である試料に対して、放射光施設 NewSUBARU において Nd レーザーと 1 GeV の電子により生成した 17 MeV のガンマ線を直接照射し、消滅ガンマ線のエネルギーを高純度 Ge 検出器で測定した場合のドップラー拡がり測定の結果を示すとともに、これらの陽電子消滅測定系の現状について報告する。

参考文献

- 1) F. Hori et al., Jpn. j. Appl. Phys. conf. proc.20011301(2014).
- 2) F. Hori et al., Jour. of Phys. Conf. Seri 674(2016)012025.

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。
 - 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", 18th International Conference on Positron Annihilation, Orland, USA (accept).
 - 1-2. 堀史説、杉田健人、岩瀬彰宏、寺澤倫孝、宮本修治、「放射光施設ニューズバルにおけるレーザーコンプトン γ 線誘起高速陽電子入射による陽電子消滅測定システムの開発」、陽電子科学第 10 号 pp.21-28 (2018).
- 2) 報文。
 - 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 pp.23-24(2017).

3) 学会発表や報告など.

3-1. 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", 18th International Conference on Positron Annihilation, August 19-24 2018, Orland, Florida, USA.

3-2. K. Sugita, S. Miyamoto, M. Terasawa, A. Iwase, K. Umezawa, F. Hori, "Positron annihilation measurement by implantation of 17 MeV gamma beam into bulk materials", 3rd. Kyoto Workshop on Positron Sciences, November 5-6, Uji Campus, Kyoto University, Kyoto, Japan.

3-3. 杉田健人、宮本修治、寺澤倫孝、梅澤憲司、堀史説、「GeV 電子のレーザーコンプトン散乱によるガンマ線を用いた高速陽電子対生」、日本物理学会 2018 年秋季大会、2018 年 9 月 9-12 日、同志社大学京田辺キャンパス

3-4. 杉田健人、宮本修治、寺澤倫孝、梅澤憲司、堀史説、「バルク材に対する高エネルギーガンマビーム直接照射による陽電子消滅測定」、日本物理学会第 74 回年次大会、2019 年 3 月 14-17 日、九州大学伊都キャンパス

3-5. 杉田健人、宮本修治、寺澤倫孝、梅澤憲司、堀史説、「BL01 のレーザーコンプトン散乱ガンマ線直接入射を用いた陽電子消滅法による非破壊検査」、ニューズパルシンポジウム 2019、2019 年 3 月 19 日、姫路

透明ガラスへのイオン注入法によるナノ構造体合成と光吸収特性

阪府大院工量子放射線工学分野 山田智子, 鷹野陽弘, 杉田健人, 岩瀬彰宏,
堀史説*

量研機構高崎 前川雅樹, 河裾厚男

(*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サイズ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. しかし, 単体の粉末ナノ粒子は取り扱いに制限があり, 一般的には大きな粒子へ担持するなどの方法が必要である. その中で, 無機材料中にナノ粒子を生成しても単体粒子と同様に特異な性質を発現できる場合がある. 特に表面プラズモン吸収のような光学特性は透明な無機ガラス中でも, 単体粒子やコロイド溶液と同等の特性を示すことが知られている. しかし, SiO_2 アモルファス材中のナノ粒子の制御合成は容易ではないが, 固体へのイオン照射によって実現でき, これまで幾つかの金属イオン注入でのナノ粒子合成が報告されている. さらに, 近年固体中の粒子への複合照射によって合成したナノ粒子の変形などの制御が可能で, それに伴うナノ粒子の特性も制御できる可能性があることがわかってきている. 本研究では, イオン注入法を利用して SiO_2 アモルファス内に種々の照射条件で金属イオンを注入したナノ粒子制御を試みており, 生成粒子の状態や特性の照射条件依存性について検討している. 今回はエネルギーの異なる Ni イオンを注入することにより SiO_2 中に生成する Ni ナノ粒子のサイズや形状及びその光学特性などについて評価を行なった.

【実験方法】ターゲット材料は透明な SiO_2 アモルファスを使用し, Ni イオンを照射した. 照射エネルギーは 30keV および 300keV, 照射量は $1 \times 10^{16} \sim 1.5 \times 10^{17} / \text{cm}^2$ の範囲で行なった. この照射は量子科学技術研究開発機構高崎研究所の TIARA にて全て室温で行なった. Ni イオンを注入した試料における光学特性は紫外から可視光領域を UV-Vis を用いて透過法にて測定した. また, 生成ナノ粒子の構造を XRD にて, 形状などは透過型電子顕微鏡を用いて観察を行った.

【結果】Ni イオン注入によって, SiO_2 アモルファスに肉眼で確認できる着色が見られた. Ni ナノ粒子の光学特性として, 紫外領域(UV)と可視光領域(vis)にそれぞれ高い表面プラズモン吸収(SPR)ピークと低い SPR ピークが現れることが報告されている[1]. 今回 30keV の低エネルギー照射では見えない紫外領域の UV-SPR が同じ照射量の 300keV の照射では確認された. これは, 60keV の照射では熱処理を行うことによるのみ UV-SPR が確認された報告の吸収ピークと一致している[2]. このことから 300keV の高エネルギー照射では, すでに Ni ナノ粒子が生成していることが確認された. また, 300keV イオン照射で照射量に比例して UV-SPR の強度は増加したが可視光領域の SPR は低線量では観察されず $10^{17} / \text{cm}^2$ のみ

確認された。これは照射で生成される Ni ナノ粒子が照射量の増加とともに成長しているためと考えられる。これらのように同じ照射量でもエネルギーによって生成粒子の成長が異なり、照射量の増加に伴い粒子が成長することが示された。

【参考文献】

[1] O.A. Yeshchenko, V.V. Kozachenko and A.V. Tomchuk, ISSN 2071-0194. Ukr. J. Phys. 2018. Vol.63, No.5.

[2] H. Amekura, H. Kitazawa, N. Umeda, Y. Takeda and N. Kishimoto, Nucl. Instr. And Meth. **B222** (2004) 114-122.

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) 堀史説、岩瀬彰宏、千星聡、斎藤勇一、石川法人、岡本芳浩、雨倉宏, 「SiO₂ ガラスへのイオン照射プロセス制御による Ag ナノ粒子の形態変化」 Forum21(京都工芸繊維大学, 2015 年 1 月 11 日)

2) 福田健吾、越智雅明、千星聡、斎藤勇一、松井利之、堀史説、岡本芳浩、岩瀬彰宏, 「イオン注入により石英ガラス中に生成された鉄ナノ微粒子の放射光 XAFS 測定による構造評価」 日本金属学会 2018 年春期講演大会(千葉工大, 2018 年 3 月 19-21 日)

3) K. Fukuda, A. Iwase, F. Hori, Y. Saitoh, S. Semboshi, H. Amekura, “Appearance of a new optical absorption peak around the wavelength of 600 nm in silica glass implanted with energetic Ag ions.” SHIM10, ICACS28(France, Caen Jul. 1-6 .2018)

堀史説, 福田健吾, 岩瀬彰宏, 千星聡, 斎藤勇一, 石川法人, 岡本芳浩, 雨倉宏, 「シリカガラス中へのイオン照射により生成する銀ナノ粒子」日本物理学会 2018 年秋期大会(同志社大学, 2018 年 9 月 9-12 日)

4) 堀史説, 福田健吾, 岩瀬彰宏, 千星聡, 斎藤勇一, 石川法人, 岡本芳浩, 雨倉宏, 「透明 SiO₂ ガラスへの Ag イオン注入および重イオン照射によるナノ粒子形態制御と光学特性」 日本金属学会 2018 年秋期講演大会(東北大学, 2018 年 9 月 19-21 日)

5) 堀史説, 福田健吾, 岩瀬彰宏, 千星聡, 斎藤勇一, 石川法人, 岡本芳浩, 雨倉宏, 「イオン注入と高エネルギーイオン照射による透明酸化物の光吸収特性制御」 第 17 回放射線プロセスシンポジウム(東京大学, 2018 年 11 月 21-22 日)

低温・低照度環境における CIGS 太陽電池の電子線照射試験

宇宙航空研究開発機構
 阪府大研究推進

柴田 優一*、中村 徹哉、今泉 充
 秋吉 優史

(*本研究に関する連絡先：電話 050-3362-8515、メール shibata.yuichi@jaxa.jp)

1. はじめに

JAXA で検討中のソーラー電力セイル探査機「OKEANOS」¹⁾において、採用候補とされている CIGS 薄膜太陽電池について放射線試験を実施した。OKEANOS は約 40m×40m の大型展開セイルであり、10 μ m のポリイミドフィルム基材上に膜面デバイスが貼付され、大部分に薄膜太陽電池、セイル最外周には薄膜姿勢制御液晶デバイスが搭載される。なお、本ミッションでは木星圏の探査を目指すため低照度・低温環境での放射線耐性評価が必要となる。

2. 実験方法

サンプルは CIGS 薄膜太陽電池で、大阪府立大学放射線研究センターにて加速エネルギー 500keV 電子線をフルエンス $\phi=1\times 10^{17}\text{cm}^{-2}$ 照射した。サンプルは液体窒素で冷却し、真空チャンバ内で電子線照射および光電流-電圧特性(LIV)測定を行なった。サンプルステージ温度は、電子線照射中は $-150\pm 10^\circ\text{C}$ 、LIV 測定時は $-160\pm 2^\circ\text{C}$ だった。LIV 測定の光量は 0.04sun とし、光量は当該サンプルの I_{sc} で調整した。なお、室温において放射線劣化からの回復が起こる可能性があるため、電子線照射および LIV 測定の手順は、測定@室温(RT)→測定@低温(LT)→照射@LT→測定@LT→測定@RT とした。

3. 結果

図 1 に 500keV 電子線低温照射による LIV 変化を示す。 $\phi=7\times 10^{16}\text{cm}^{-2}$ 照射後の保存率は、LT 測定において V_{oc} 0.83、 I_{sc} 0.92、 P_{max} 0.65、RT 測定において V_{oc} 0.87、 I_{sc} 0.96、 P_{max} 0.76 であり、室温による回復が起こったことがわかる。また、この保存率は宇宙用 3 接合太陽電池に比べると非常に高く、CIGS 太陽電池の放射線耐性が強いことがわかる。図 2 に 500keV 電子線低温照射による劣化特性を保存率で示す。低フルエンス領域($\phi < 3\times 10^{15}\text{cm}^{-2}$)において、 I_{sc} は上昇傾向があり高い保存率を示した。 V_{oc} は $\phi=1\times 10^{15}\text{cm}^{-2}$ から劣化が始まったが、 I_{sc} の上昇による相殺によって P_{max} 保存率は維持されている。電子線照射による特性改善効果は他ベンダの CIGS 太陽電池においても報告されている²⁾。高フルエンス領域($\phi > 3\times 10^{15}\text{cm}^{-2}$)においては、 V_{oc} および I_{sc} の低下に伴い P_{max} も低下した。低温・低照度環境における放射線試験により、ソーラー電力セイル探査ミッションに資するデータを取得した。

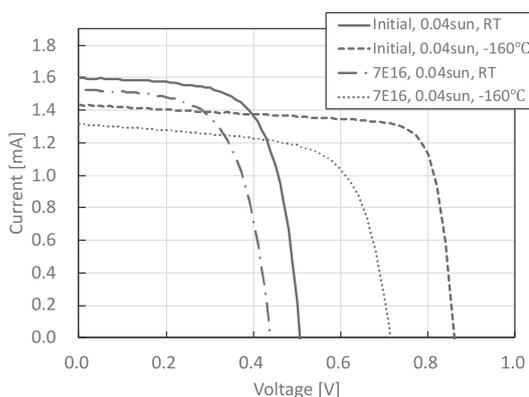


図 1：500keV 電子線低温照射($\phi=7\times 10^{16}\text{cm}^{-2}$)による LIV 変化

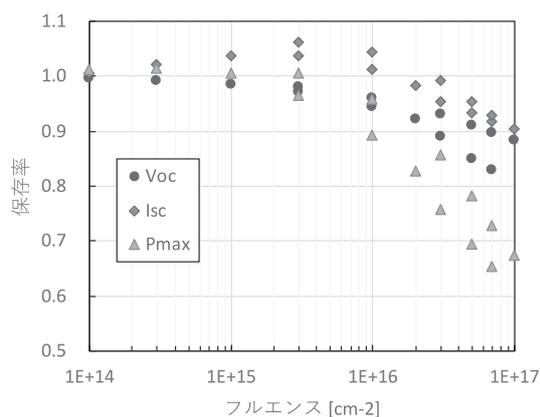


図 2：500keV 電子線低温照射による劣化特性

参考文献

- 1) 森治, ほか, ソーラー電力セイル探査機 OKEANOS のミッション概要およびシステム, 3A12, 第 61 回宇宙科学技術連合講演会, 2018.
- 2) Shirou Kawakita, et. al., Ionization effects on Cu(In, Ga)Se₂ thin-film solar cells, Phys. Status Solidi C 14, No. 6, 1600168, 2017.

InGaP 太陽電池の低エネルギー電子線照射時の電流挙動

原子力機構 奥野泰希*

阪府大院工 量子放射線工学研究分野 秋吉優史

宇宙機構 今泉充

(*本研究に関する連絡先：電話 029-282-6092、メール okuno.yasuki@jaca.go.jp)

東京電力福島第一原子力発電所 (1F) の炉内および建屋内は事故の影響で非常に高い放射線環境となっている。我々は、太陽電池素子をセンサとした線量測定技術を基盤とした高線量放射線計測システムを提案し、実用化に向けた開発を行っている。1F 用放射線計測システムに求められる線量測定範囲は、炉心付近の γ 線で数～数 100 Gy/h と考えられている[1]。高線量率の測定が可能な従来の検出器は電離箱であるが、炉心環境では残留水素があることや測定機投入手段が 10cm ϕ 程度の小さな穴であることから、無電源化・小型化が線量計に求められる。そのため、薄膜構造や内部電界による無電源駆動といった特長を有する太陽電池型の検出器は最適である。しかし、 β 線などの荷電粒子は、飛程が短く、一般的に検出が難しいことが知られている。そのため、本報告では、線量計のセンサー候補である InGaP 太陽電池の低エネルギー電子線照射時の電流挙動特性について述べる。

大阪府立大学、放射線研究センターの、コッククロフトウォルトン型電子線加速器を用いて、80、150、400 keV の電子線を InGaP 太陽電池へ照射した際に発生する放射線誘起電流を図 1 に示す。InGaP 太陽電池の電子線誘起電流は、線形的な増加を示していることから、簡単な解析により線量が評価できる可能性が高いと判断している。また、1 電子あたりの誘起電流量は、エネルギーが増加すると、低下することが明らかになった。放射線挙動解析ソフト(PHITS)を用いて、低エネルギー電子線により InGaP 太陽電池に付与されるエネルギーを計算した結果、電子線エ

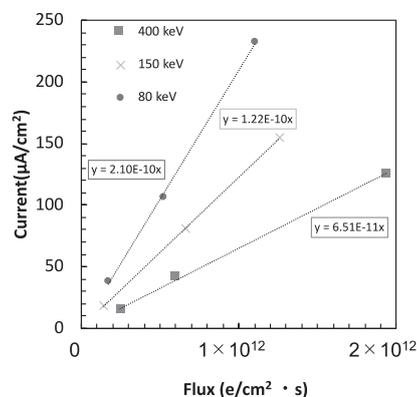


図 1. InGaP 太陽電池の低エネルギー電子線照射時の電流挙動

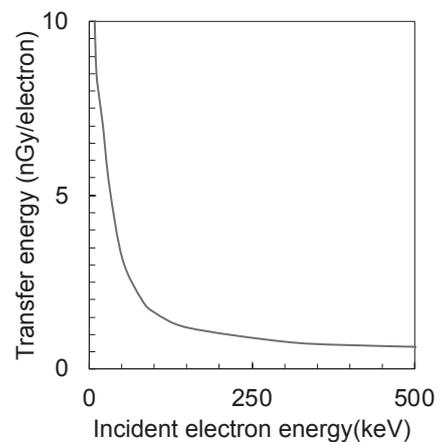


図 2. InGaP 太陽電池における付与エネルギーの電子線エネルギー依存性

エネルギーが増加すると付与エネルギーが低下することが明らかになった。そのため、1電子あたりの放射線誘起電流量の低下は、付与エネルギーの低下が原因であると考えられる。

図3に、InGaP太陽電池の放射線誘起電流の付与エネルギー依存性を示す。縦軸は、図1の放射線誘起電流量である。横軸は、図2より算出したInGaP太陽電池に付与されたエネルギーである。この結果より、InGaP太陽電池の低エネルギー電子線誘起電流は、電子線エネルギーに依存せず、付与エネルギーに依存することが明らかになった。

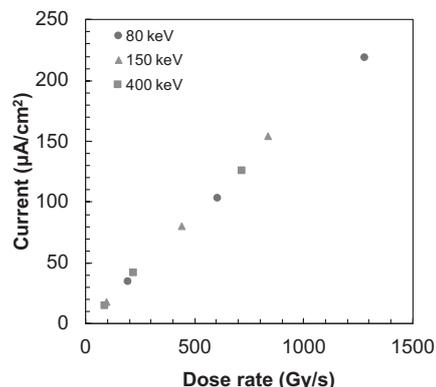


図3. InGaP太陽電池の放射線誘起電流の付与エネルギー依存性

謝辞

本研究の一部は、英知を結集した原子力科学技術・人材育成事業にて遂行した。

参考文献

- 1) Y. Okuno, N. Okubo, and M. Imaizumi, Journal of Nuclear Science and Technology, **56**,851-858 (2019).

本研究に関する研究発表

- 1) 奥野泰希、岡本保、後藤康仁、秋吉優史、今泉充、小林知洋、太陽電池を応用した廃炉用高レベル放射線線量計の開発、第66回応用物理学会春季学術講演会（東京工業大学）2019.3.

多重量子井戸構造を有する半導体 InGaAs / GaAsSb へのガンマ線照射効果

大阪府大院工 量子放射線工学分野 五月女 瑞貴、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)

1. 序論

PC、スマートフォンをはじめ様々な製品に用いられている半導体は、放射線の影響を強く受けることが知られている。研究グループではこれまで、赤外領域に吸収波長を持つ化合物半導体の作製を行ってきた¹⁾。本研究では、化合物半導体に関する放射線照射効果の研究を目指している。本発表では、InP 基板上に成長させた InGaAs / GaAsSb の多重量子井戸構造を有した化合物半導体¹⁾にガンマ線照射を行い、光ルミネッセンス(PL)測定を用いてガンマ線の影響を報告する。

2. 実験方法

コバルト 60 (4.7 kGy / h) 線源を用いて、20 kGy までのいくつかの線量でガンマ線照射した試料について PL 測定を行った。PL 測定とは、高いエネルギーを持つ光子を吸収することにより励起された物質中の電子が基底状態に戻る際の発光現象である。その発光を分光測定することで、半導体のバンドギャップを知ることができる。測定したサンプルは、InP 基板上に成長させた InGaAs / GaAsSb 多重量子井戸の薄膜結晶である¹⁾。励起光として波長 635 nm、180 mW のレーザーを用い、温度範囲 20 ~ 295 K におけるいくつかの温度において測定を行った。

3. 実験結果

図 1 に照射線量において、最大発光強度の温度依存性について示す。図 1 より、照射線量が増加するにつれて、5 kGy までは発光強度に大きな変化は見られないが、10 kGy で未照射の 3 倍近くまで増大し、20 kGy では未照射の 4 分の 1 にまで減少することが分かる。10 kGy の照射における急激な発光強度増大の原因については、よく分かっていない。図 2 に各照射線量において、バンドギャップに対応するピークエネルギーの温度依存性を示す。図 2 より、温度 100 K 付近におけるピークエネルギーが照射線量の増加に伴い、いくらか増大していることが分かる。

参考文献

- 1) Y. Yonezawa, R. Hiraike, K. Miura, Y. Iguchi and Y. Kawamura, *Physica E* **42** (2010) 2781-2783.]

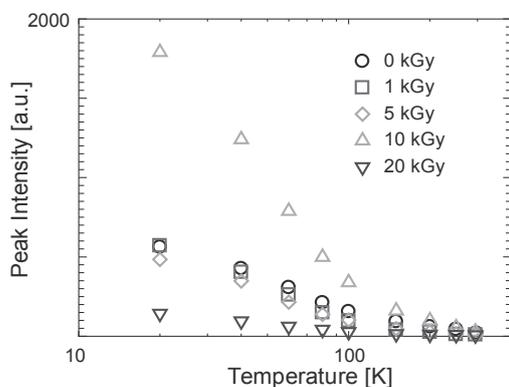


図 1 発光強度の温度依存性

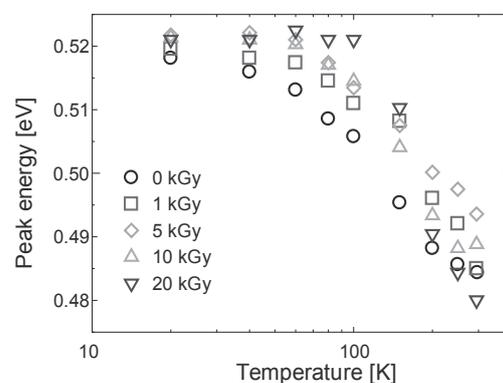


図 2 ピークエネルギーの温度依存性

1 分子制御化学に向けたアトリットル液滴のハイスループット作製と操作

阪府大院工 ○川岸啓人、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)

1. 緒言

単一分子同士がどのように相互作用し、どんな変化をしていくのか？ という化学の本質的な疑問は、気相中での反応については明らかにされてきたが、液相中の反応についてはまだほとんど明らかにされていない。これは、液相中では大量の分子が激しくブラウン運動しながら存在しており、単一分子の時空間的な制御が難しく、現在の分析ツールでは単一分子の情報取得が挑戦的である点が要因として挙げられる。液相中で単一分子の時空間的な制御ができれば、液相中の単一分子間現象解明の糸口になると期待される。そこで我々は、アトリットル(10^{-18} L)液滴が μM ~ nM (多くの化学反応や細胞内の反応で重要な濃度範囲)で確率論的に溶質分子を1分子だけ内包できることに着目した。このようなアトリットル液滴を複数作製し、操作することで、液相中で時空間的に制御された単一分子同士の反応が可能になると考えた。アトリットル液滴の作製や操作をするツールとして、アトリットル液滴と同じ数百 nm オーダーのナノ流路を有するナノ流体デバイス^[1]を用いる。また、この中で単一分子に一連の化学プロセスを行える新しい化学として1分子制御化学を提案した。1分子制御化学実現のため、我々はこれまで、アトリットル液滴の作製^[2]、操作^[3]に着手し、実証してきた。次に目指すのは単一分子同士の反応であるが、液滴内の分子数が1以下になる濃度にした場合、分子数が1の確率は数%になる。この時、分子数が1の液滴同士を融合するには、百回以上液滴作製を試行する必要がある。実験の効率化には、アトリットル液滴のアレイ化と融合が望まれる。本研究では、単一分子同士の反応を実現するため、アトリットル液滴のアレイ化と融合に着手した。液-液界面を形成するための局所的に細いナノ流路構造を配列させたナノ流体デバイス内を作製した。圧力制御によってアトリットル液滴がアレイ化できることを実証した。さらに、圧力制御によりアトリットル液滴を移動させ、対面の液相への融合が出来ることを実証した。

2. 手法

向かい合ったアトリットル液滴が80組アレイ化されるような融合用ナノ流路構造を持つナノ流体デバイスを作製した。このナノ流体デバイスへ水とヘキサンを圧力制御して導入した。圧力制御により液-液界面の形成と移動を行い、アトリットル液滴のアレイ化と融合を顕微鏡観察によって確認した。

3. 結果・考察

顕微鏡観察から、圧力制御によって複数の液-液界面が形成し、水のアトリットル液滴のアレイ化が確認された。更に、アレイ化した液滴に圧力をかけると、液-液界面が移動し、向かい

の水相へ液滴が融合することを確認した。今回の成果は、液相での単一分子同士の反応を実現する重要な実証であり、1分子制御化学への展開を今後大きく進展させると期待される。

参考文献

- [1] Y. Xu, *Adv. Mater.*, **2018**, 30, 1702419.
- [2] H. Kawagishi, S. Kawamata, & Y. Xu, *Proc. MicroTAS 2018*, **2018**, 381-382
- [3] H. Kawagishi, S. Kawamata, & Y. Xu, *Proc. MicroTAS 2019*, in press

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) “Nanofluidic fabrication and manipulation of attoliter droplets”, Hiroto Kawagishi, Shuichi Kawamata, Yan Xu, The 23rd International Conference on Miniaturized Systems for Chemistry and Life Sciences, (2019)
- 2) “Fabrication and manipulation of attoliter droplets in nanochannels”, Hiroto Kawagishi, Shuichi Kawamata, Yan Xu, The 11th International Symposium on Microchemistry and Microsystems, (2019)
- 3) 「1分子制御化学に向けたアトリットル液滴のアレイ化と融合」、川岸啓人、許岩、化学とマイクロ・ナノシステム学会第40回研究会、(2019)
- 4) 「1分子制御化学に向けたアトリットル液滴のマニピュレーションと融合」、川岸啓人、川又修一、許岩、日本分析化学会第68年会、(2019)

高 Q 値シリコンナノ共振器を用いた抗原抗体反応

阪府大院工電子物理工学分野 保田賢志、高橋和*

(*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)

高 Q 値フォトニック結晶ナノ共振器は、集積度を高めた高感度センサ開発が期待されている。とくに、抗原抗体反応を利用したバイオセンサは様々な材料を用いて研究されてきた。抗原抗体反応を用いたセンサでは、共振波長シフトをその検出に利用するため、共振器の Q 値が大きいほど高感度化が図りやすい。しかし、先行研究においては、比較的低い Q 値（1 万以下）を持つナノ共振器が利用されてきた。我々は、CMOS 互換プロセスを用いて、 Q 値 100 万以上を有するシリコンナノ共振器の大量作製に成功している[1]。本研究では、100 万以上の高 Q 値を有するシリコンナノ共振器に抗体足場処理を施し、抗原抗体反応による共振波長シフト、 Q 値変化を評価した[2]。

図 1(a)に、実験に用いたナノ共振器構造を示す。空気孔半径 135 nm、スラブ厚 225 nm、格子定数 $a = 410$ nm, $a' = 415$ nm, $a'' = 420$ nm をもつマルチヘテロナノ共振器である。共振波長と Q 値は、従来のスペクトル測定により取得した。図 1(b)に足場処理前の共振スペクトルを示す。抗体足場づくりの前処理を行い、抗体として Anti-human IgG、抗原には IgG from human serum を用いた。一連の抗原修飾までは、応用化学科の遠藤達郎准教授にご指導いただき、クリーンルームで行った。抗原抗体反応直前のスペクトル(青)、反応後のスペクトル(赤)を図 2 に示す。抗体足場処理により図 1(b)から+10 nm 程度のシフトと 20 万への Q 値の低下が確認された。抗原反応後は、-0.2 nm 程度のシフトとわずかな Q 値の低下が確認された。今回の実験で得られた-0.2 nm 程度の波長シフトでは、産業応用を考える上で、検出が難しいため、今後もプロセスの改善をクリーンルームで行っていききたい。

本研究に関する研究発表

- 1) K. Ashida, M. Okano, M. Ohtsuka, M. Seki, N. Yokoyama, K. Koshino, K. Yamada, and Y. Takahashi, "Photonic Crystal Nanocavities with an Average Q factor of 1.9 million Fabricated on a 300-mm-Wide SOI Wafer Using a CMOS-Compatible Process", IEEE J. Lightwave Technology 36, 4774-4782 (2018).
- 2) 保田賢志、伊藤隆浩、前野権一、山田大空、岡野誠、遠藤達郎、高橋和、「高 Q 値シリコンナノ共振器における抗原抗体反応」応用物理学会 2019 秋、北海道大学、18a-PA5-2.

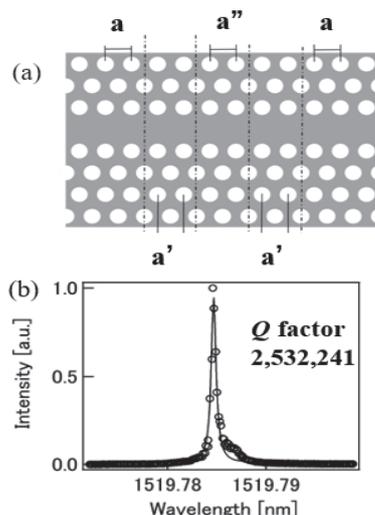


Fig.1. (a) Schematic of heterostructure nanocavity. (b) Resonant spectra of a nanocavity before process.

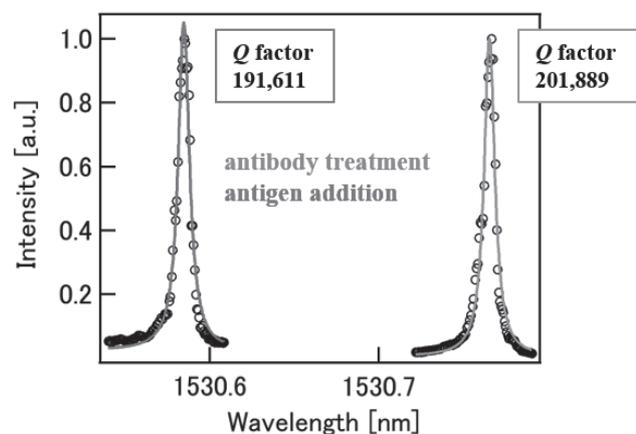


Fig.2. Resonant spectra of a nanocavity before (a) and after (b) antigen-antibody reaction.

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-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。キラルな結晶構造を持つ化合物は空間反転対称性を破っている。高い対称性を持つ結晶においては対称性から禁じられる（ゼロとなる）テンソル成分が有限な値を持つため、興味深い物性を示す。このような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。

CrNb_3S_6 と YbNi_3Al_9 は単軸性のキラル結晶であり、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らせん磁性を示す。これらの単結晶試料から一辺が $10 \sim 20 \mu\text{m}$ 程度の微細加工試料を切り出す。これにはクリーンルームクラス 1000 の収束イオンビーム (FIB) 装置を用いた。電気的な計測を行うために、電子線リソグラフィとリフトオフ法を用いて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た。このように作製した微細加工試料において下記に示すような特異な物質応答を見出した。なお、低温・強磁場下での電気特性測定は物理特性計測装置 (PPMS: カンタム・デザイン) を用いて行った。

キラル結晶では、ダイオードのように、電気の流れやすさがその流れる方向に応じて異なるという非相反な応答が許される。本研究では、 CrNb_3S_6 微細試料において、電流・磁場に対する非相反応答である電気磁気キラル (eMCh) 効果の検出に成功した[1]。この研究成果は、微細試料では容易に高い電流密度を得られるため、高い精度で eMCh 効果測定を行うことが出来るというメリットを活かして得られたものである。更に、広い温度・磁場範囲で系統的な実験を行い、キラル磁気秩序形成に伴い異常に大きな eMCh 効果が表れることを見出した。

また、 YbNi_3Al_9 微細加工試料において磁気抵抗の精密測定を行い、不連続な磁気抵抗変化を見出した[3]。キララらせん磁気相ではらせん軸と垂直に磁場を印可することで磁気構造のらせん部位 (ソリトン) が徐々にほどけたキラルソリトン格子 (CSL) が形成される。磁場の上昇に伴い、CSL 相ではソリトン数が不連続に変化するため、離散・多値的な磁気抵抗が検出されることを解明した。

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) Anomalous Nonreciprocal Electrical Transport on Chiral Magnetic Order, R. Aoki, Y. Kousaka, Y. Togawa, *Physical Review Letters* **122**, 057206 (2019).
- 2) Anomalous Temperature Behavior of the Chiral Spin Helix in CrNb_3S_6 Thin Lamellae, Y. Togawa, J. Kishine, P. A. Nosov, T. Koyama, G. W. Paterson, S. McVitie, Y. Kousaka, J. Akimitsu, M. Ogata, A. S. Ovchinnikov, *Physical Review Letters* **122**, 017204 (2019).
- 3) Electrical transport properties of micrometer-sized samples of the rare-earth chiral magnet YbNi_3Al_9 , R. Aoki, Y. Togawa, S. Ohara, *Physical Review B* **97**, 214414 (2018).

ゲート制御型グラフェン光酸化によるグラフェンナノリボンの室温大気中合成

阪府大院工電子物理工学分野 野内 亮*, 松本 守広

(*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)

グラフェンはその究極的な薄さから、表面化学現象を電界効果トランジスタ (FET) 構造により制御可能である。グラフェンは大気中の紫外光照射により容易に酸化されることが知られているが、我々はこの電界効果表面化学の概念に従い、FET 構造、特にゲート電圧の極性によりグラフェンの光酸化の発現が制御できることを示した (図 1) [1]。このゲート制御型光酸化は、トランジスタのグラフェンチャネル部分において端選択的に起こり、徐々にチャネル内部へと進行していくことが分かっている。酸化グラフェンは絶縁体であるため、本現象を利用することでグラフェンの狭細化が可能となるわけである。グラフェンはバンドギャップを有さないため、スイッチング素子、特にデジタル素子への応用には向かないが、ナノスケールまで狭細化すること (ナノリボン化) でバンドギャップを導入できる。本研究では、グラフェン FET 構造を用いて負のゲート電圧を印加中に、室温・大気中で紫外光を照射した。この処理の前後における FET の伝達特性 (図 2) を比較すると、室温でのオンオフ比が 3 から 50 へと大幅に増大しており、グラフェンの半導体化に成功している [2]。本手法は、FET 構造を用いるため、狭細化処理中のドレイン電流をモニターしながら行う。従って、電流レベルにより狭細化の度合いを比較的容易に制御可能と期待される。また、大気中且つ室温程度という穏やかな環境下でナノリボン化が可能であるため、熱に弱いプラスチック等の柔軟性基板上のグラフェンに対しても適用可能と考えられる。

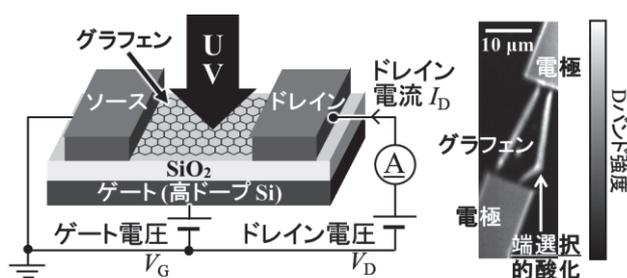


図 1 グラフェンのゲート制御型端選択的光酸化。

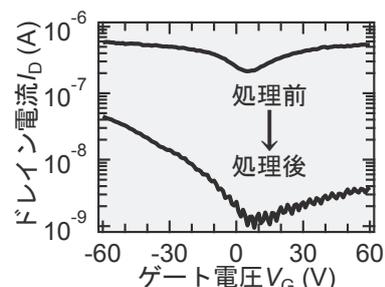


図 2 狭細化による伝達特性の変化。

参考文献

- 1) N. Mitoma and R. Nouchi, Appl. Phys. Lett. **103** (2013) 201605.
- 2) R. Nouchi, M. Matsumoto, and N. Mitoma, J. Mater. Chem. C **7** (2019) 1904.

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) R. Nouchi, M. Matsumoto, and N. Mitoma, J. Mater. Chem. C **7** (2019) 1904.
- 2) R. Nouchi, Tunneling Through Nanoscience 2018 (October 20, 2018, Ravello, Italy).
- 3) R. Nouchi, 3rd EU-Japan Flagship Workshop on Graphene & 2D Materials (November 19, 2018, Sendai, Japan).

分子界面による二次元半導体の電子光学物性制御

阪府大院工電子数物系 桐谷乃輔*, 吉村武、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)

次世代の電子光学材料として近年脚光を浴びている二次元半導体である遷移金属カルコゲナイドは、金属原子及びカルコゲン原子より構成され、 MX_2 (M = 遷移金属原子, X = カルコゲン原子)と表される層状構造を持つ一群である。一層当たりの厚みは僅か3原子層 (~0.7 nm)であり、遷移金属原子とカルコゲン原子の組み合わせを適切に選ぶことにより、半導体特性を示すことが知られている。本研究では、遷移金属カルコゲナイドに対して、設計の自由度の高い分子性化合物を界面させることによって、電子・光学物性を変換することを目的に研究を進めている。

H30 度には大きく 2 つの成果を得た。酸化還元活性分子である Fluoranil 分子を単層の MoS_2 へと界面させることで、フォトルミネッセンス強度を上昇させることを見出した。特に重要な知見として、高発光化には Fluoranil を溶解する溶媒が強く関与していることを明らかとした。Fluoranil 分子処理前においては、単層の MoS_2 は非常に暗く、極僅かな発光を示した。一方で、Fluoranil 処理後において、発光強度は 100 倍も上昇することが確認された。興味深いことに、Fluoranil 分子を囲む周囲環境（溶媒分子）が発光強度の増大に強く関与することが明らかとなった。溶媒分子は極性を有するため、Fluoranil 分子と MoS_2 間の相互作用によって生じる電荷をスクリーニングしていると考えられる。このスクリーニングにより、電荷移動相互作用が安定化され、フォトルミネッセンス強度に強く違いを生じることが示唆された。本結果により、溶媒環境という新たな軸を導入することで、サブナノスケールの有機/無機相互作用を強くチューニングできる可能性が示唆された。本成果は、*Appl. Phys. Express* 誌に掲載された。

高発光化に関する上述の研究を通して、溶媒の関与が分子/原子層半導体間の相互作用を大きく変え、その発光特性を劇的に変化させることを明らかとした。この事は、逆に言えば、発光特性を調べることで、相互作用に関する状況を把握することに繋がる。そこで、ナノスケールの分子パターンを溶媒の撥水現象を利用して作製し、分子によって電子状態の異なる接合構造を「自発的に」「無数に」形成できるのかを、光学的に評価した。その結果、驚くべきことに、分子と溶媒の相互作用を利用して得られた自発的なパターンは、原子層半導体内の電子状態を局所的に変調可能となることが明らかとなった。この成果は、ナノスケールの超微細な高発光素子を原子層半導体上に形成したり、無数の pn 接合を自発的に形成し、太陽電池の素子構造を作製するなど、新たな光学素子構造を「自発的なプロセス」で形成できることを示唆する結果である。本成果は、*ACS Nano* および *ACS Appl. Mat. Int.* に掲載された。

本研究に関する研究発表（原著論文、その他報文、学会等報告）

- 1) H. Ichimiya, M. Takinoue, A. Fukui, T. Yoshimura, A. Ashida, N. Fujimura, D. Kiriya, "Electronic Structure Mosaicity of Monolayer Transition Metal Dichalcogenides by Spontaneous Pattern Formation of Donor Molecules", *ACS Appl. Mater. Interfaces*, 2019, 11, 15922-15926.
- 2) H. Ichimiya, A. Fukui, Y. Aoki, Y. Yamada, T. Yoshimura, A. Ashida, N. Fujimura, D. Kiriya, "Solvent engineering for strong photoluminescence enhancement of monolayer molybdenum disulfide in redox-active molecular treatment", *Appl. Phys. Express*, 2019, 12, 051014.
- 3) H. Ichimiya, M. Takinoue, A. Fukui, K. Miura, T. Yoshimura, A. Ashida, N. Fujimura, D. Kiriya, "Tuning

Transition-Metal Dichalcogenide Field-Effect-Transistor by Spontaneous Pattern Formation of an Ultrathin Molecular Dopant Film", ACS NANO, 2018, 12, 10123-10129.

4) D. Kiriya, Y. Hijikata, J. Pirillo, R. Kitaura, A. Murai, A. Ashida, T. Yoshimura, N. Fujimura, "Systematic Study of Photoluminescence Enhancement in Monolayer Molybdenum Disulfide by Acid Treatment", Langmuir, 2018, 34, 10234-10249.

5) 桐谷乃輔、分子界面による遷移金属カルコゲナイドの物性変換、第 79 回応用物理学会秋季学術講演会、名古屋、2018、9、19.

6) D. Kiriya, Molecular Engineering on Transition Metal Dichalcogenides, AiMES2018 (Electrochemical society), Cancun (Mexico), 2018, 10, 2.

7) 桐谷乃輔、二次元層状半導体を分子エンジニアリングで変える、2019 年大阪大学産業科学研究所ナノテクセンター 若手セミナー、大阪、2019、3、1.

8) D. Kiriya, Modify the Optoelectronic Properties of Transition Metal Dichalcogenides by Molecular Interaction, Advanced Materials Congress, Stockholm, 2019, 3, 26.

9) H. Ichimiya, T. Takinoue, A. Fukui, T. Yoshimura, A. Ashida, N. Fujimura, D. Kiriya, "Spontaneous pattern-formation toward effective doping in 2D materials, 12th Japan-Korea Conference on Ferroelectrics", Nara, 2018.8.6.(ポスター発表)

10) 一宮 永, 瀧ノ上 正浩, 福井 暁人, 吉村 武, 芦田 淳, 藤村 紀文, 桐谷 乃輔, "遷移金属半導体表面におけるドナー性分子の自発的なパターン形成機構", 第 79 回応用物理学会秋季学術講演会, 2018.9.19

11) 一宮 永, 瀧ノ上 正浩, 福井 暁人, 吉村 武, 芦田 淳, 藤村 紀文, 桐谷 乃輔, "2 次元半導体上における電子ドナー性分子の流動と表面状態の相関", 化学とマイクロ・ナノシステム学会第 38 回研究会, 2018.11.1. (ポスター+ショートプレゼンテーション)

12) 一宮 永, 瀧ノ上 正浩, 福井 暁人, 吉村 武, 芦田 淳, 藤村 紀文, 桐谷 乃輔, "レドックス活性分子の自発的なパターン形成現象を利用した 2 次元半導体キャリア変調に関する研究", 第 4 回融合ナノマテリアル化学研究会, 2019, 3. (口頭発表)

塗布型有機半導体デバイスの光電特性評価と高性能化

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)

印刷エレクトロニクスの実現に向け、塗布や各種の印刷技術を用いて作製できる有機半導体デバイスの動作性能の向上や機能デバイス開発が求められている。平成30年度は、塗布型有機トランジスタの高性能化[1-3]、有機不揮発性メモリの開発[4]、塗布型有機ELの電気特性評価法の確立[5,6]を中心に研究を進めた。特に、環境負荷の少ない非塩素系有機溶媒を用いた有機半導体の塗布成膜から、 $10\text{ cm}^2/\text{Vs}$ を超える高い電界効果移動度、 -1 V 未満の低閾値電圧、閾値電圧シフト量 0.5 V 未満の高い動作安定性を有する有機トランジスタを作製することに成功した[3]。また、自己形成した有機フローティングゲート構造を用いることで塗布作製が可能な有機トランジスタメモリを開発し、光照射下で良好な不揮発性メモリ特性が得られることを明らかにした[4]。塗布型有機ELとして近年注目を集めているポリエチレンイミン塗布電子注入層を有する逆構造高分子有機EL素子を作製し、ドリフト移動度、局在準位分布、2分子再結合定数等の有機ELの動作性能に関わる物理量を実際に動作する有機ELのインピーダンス分光から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) S. Sanda, T. Nagase, T. Kobayashi, K. Takimiya, Y. Sadamitsu, and H. Naito, “High-performance didodecylbenzothienobenzothiophene-based top-gate organic transistors processed by spin coating using binary solvent mixtures”, *Organic Electronics* **58**, 306-312 (2018).
- 2) 饗庭智也, 永瀬 隆, 小林隆史, 貞光雄一, 内藤裕義, “塗布形成した三酸化モリブデン正孔注入層を用いたトップゲート有機電界効果トランジスタの移動度改善”, *日本画像学会誌* **57**, 537-542 (2018).
- 3) S. Sanda, R. Nakamichi, T. Nagase, T. Kobayashi, K. Takimiya, Y. Sadamitsu, and H. Naito, “Effect of non-chlorinated solvents on the enhancement of field-effect mobility in dioctylbenzothienobenzothiophene-based top-gate organic transistors processed by spin coating”, *Organic Electronics* **69**, 181-189 (2019).
- 4) F. Shiono, H. Abe, T. Nagase, T. Kobayashi, and H. Naito, “Optical memory characteristics of solution-processed organic transistors with self-organized organic floating gates for printable multi-level storage devices”, *Organic Electronics* **67**, 109-115 (2019).
- 5) M. Takada, T. Mayumi, T. Nagase, T. Kobayashi, and H. Naito, “Determination of bimolecular recombination constants in organic double-injection devices using impedance spectroscopy”, *Applied Physics Letters* **114**, 123301 (2019).
- 6) M. Takada, T. Nagase, T. Kobayashi, and H. Naito, “Full characterization of electronic transport properties in working polymer light-emitting diodes via impedance spectroscopy”, *Journal of Applied Physics* **125**, 115501 (2019).

α 鉄中のボロンの拡散係数の測定

阪府大院工マテリアル工学分野 濱名桂祐, 仲村龍介, 沼倉宏*

(*本研究に関する連絡先: 電話 (内線) 5736、メール nakamura@mtr.osakafu-u.ac.jp)

ボロンは極微量の添加により鉄鋼材料のマイクロ組織形成を変え、強度を高める重要な添加元素である。熱処理による組織形成を適切に制御するには、ボロンの拡散係数が必須であるが、信頼できる実験データはいまだに得られていない。本研究では、純度がよく、結晶粒を粗大にした純鉄中のボロンの拡散浸透プロファイルを二次イオン質量分析器 (SIMS) を用いて測定し、拡散係数を求めた。

結晶粒径を 2~3 mm に粗大化した純鉄板の研磨面に、真空蒸着により Fe-B 合金薄膜を堆積させた。それをガラス管に真空封入して、700~900°C で所定の時間加熱し、ボロンを鉄の内部に拡散させた。薄膜の堆積法を試行錯誤し、SIMS による深さ方向プロファイルの測定方法の改善などを行い、鉄中での固溶限濃度が数十 at. ppm 程度のボロンのシグナルを得ることができた。それを経て、表面からのボロンの二次イオン強度分布を SIMS で計測した。触針式表面段差計 Dektak150 を用いてスパッタクレータの深さを測定して、二次イオン強度と時間のプロファイルを強度と距離のプロファイルに変換した。濃度プロファイルを解析して拡散係数を求めた。その結果、1953 年に報告された実験値¹⁾よりも 7~8 桁低い値が得られた。

参考文献

- 1) P. E. Busby, M. E. Warga and C. Wells: J. Metals, 5 (1953) 1463.

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) 「鉄中のホウ素の拡散」 濱名桂祐, 沼倉宏, 仲村龍介, 鈴木健之, 日本鉄鋼協会 第 176 回秋季講演大会ポスター発表 (2018 年 9 月 20 日)
- 2) 「 α 鉄中のボロンの拡散」 仲村龍介, 濱名桂祐, 沼倉宏, 鈴木健之, 日本鉄鋼協会 シンポジウム「鉄鋼中の軽元素と材料組織および特性」研究会 最終報告会 (2019 年 3 月 22 日)

「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)

H31年3月、報告者と共同研究開発を進めてきた東京大学大学院理学系研究科物理科学科山本智研究室のクリーンルームより、大阪府立大学C10棟クリーンルーム2階クラス100室に、電子ビーム描画システム(EB-SEM)を移設した(図2)。

天文学、特にミリ・サブミリの波長領域は1980年代より、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、この検出器は、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た周波帯では機能を失う。こうした背景から、テラヘルツ波は超高感度ヘテロダイン検出器が存在しないため、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周波数高分解能のスペクトル観測が遅れ、天文学に残された最後の開拓波長となってきた。

報告者らは、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ノボロメーターミクサー(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、このたび、HEBM素子製作プロセスの要の一つである電子線描画システムを当該クリーンルームに移設させて頂く運びとなった。

本EB-SEM設置に際して、日立エンジニアリングの調査で、若干、フロアの振動が懸念事項としてあげられたが、少なくとも、移設後の立ち上げで描画が可能であることを確認しており、H31年度は、「重ね描画」の性能についても確認・検証していく。H31年度現在、細線の超伝導極薄膜をヘリコンスパッタにより積層する、前澤らが設計した独自の複合成膜装置を東京大学から移設中である。これらをあわせてプロセスラインの環境の確立・再稼働を目指し、HEBM素子の研究開発を早期に再開する計画である。

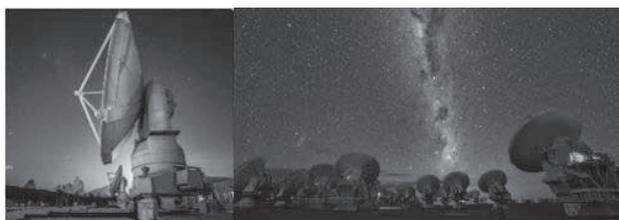


図1:(左) 報告者の太陽系地球型惑星の大気環境監視専用電波望遠鏡(口径10m)。高度1350mの野辺山宇宙電波観測所にて運用し、大阪府立大から遠隔制御している。(右)チリ共和国の標高5000mアタカマ高地に建設された日・欧・米のALMA国際望遠鏡群。いずれの望遠鏡にもSIS超伝導検出素子を搭載している。ALMAではテラヘルツ帯への拡張も期待されている。



図2:クリーンルームクラス100に移設後の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、東京テクノロジー社と共同開発した描画システムを実装したシステム。(2次電子像分解能1.5nm(30kV)、通常観察倍率50-50,000倍)

超小型衛星「ひろがり」ミッション部における 展開板構造物用テープヒンジのガンマ線照射後の強度評価

室蘭工業大学 勝又 暢久*, 樋口 健, 林 夏澄, 橋本 真之介, 「ひろがり」衛星開発メンバー
大阪府立大学 小木曾 望, 前田 紘孝, 飯田 輝澄, 「ひろがり」衛星開発メンバー
(*本研究に関する連絡先: 電話 0143-46-5322, メール nobuhisa-k@mmm.muroran-it.ac.jp)

1. 目的

大阪府立大学 小型宇宙機システム研究センター (Small Spacecraft Systems Research Center: SSSRC) と室蘭工業大学 航空宇宙機システム研究センター (Aerospace Plane Research Center: APRc) とで 2U (1 辺 10 cm の立方体×2 個) サイズ超小型衛星「ひろがり」を共同開発している。現在, 2020 年に国際宇宙ステーション「きぼう」から高度 400km の軌道に投入する予定で, 開発を進めている,

本衛星では, ミッション部に搭載する展開板構造のヒンジ部に PTFE (ポリテトラフルオロエチレン, polytetrafluoroethylene,) テープ (表 1) を用いる予定であり, その放射線耐性を確認するため, 図 1 に示す供試体を作成し, ガンマ線照射試験を実施し, 照射後の強度を引張試験により確認した。ここでは, その試験結果について報告する。

表 1 展開板構造のヒンジに用いる PTFE テープの諸元及び物性値

PTFEテープ	
	厚さ 0.09 [mm]
	幅 12 [mm]
	粘着力 2.25 [N/10mm]
	粘着剤 シリコン系



図 1 ガンマ線照射後の供試体

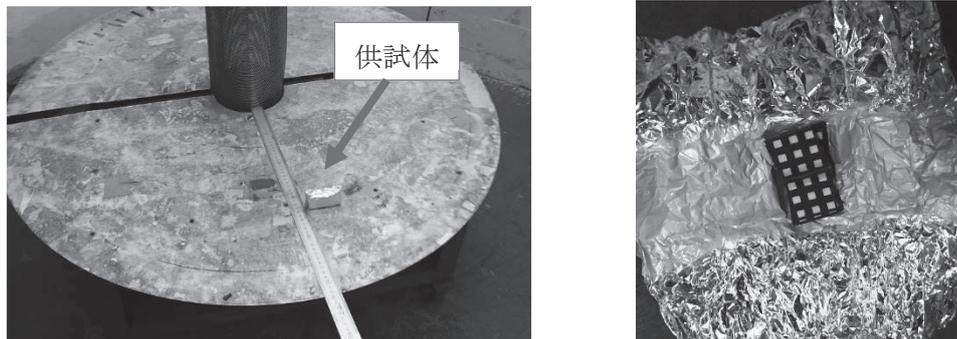


図2 ガンマ線照射の様子（照射強度 100Gy/h で 13 時間照射）
 (a) 供試体を設置した状態, (b)アルミホイルに包んだ供試体

2. ガンマ線照射する供試体とガンマ線照射量

供試体は、MC ナイロン製（辺長が 30 mm×30 mm、板厚が 2 mm、内角が 99 deg）のパネル 2 枚を PTFE テープでつなぎ合わせたものである。切り欠きを有する部分に PTFE テープを貼付した供試体を Type1、切り欠きが無い部分にテープを貼付した供試体を Type2 とし、各 Type につき 3 個ずつ、計 6 個の試験体を製作し、ガンマ線照射した（図 1 参照）。なお、このテープ部がヒンジの役割を果たし、折り畳み・展開を可能としている。

「ひろがり」衛星の運用軌道である高度 400 km の円軌道上での放射線量は、1 年間に約 4×10^3 Gy（約 4×10^5 rad）と見積もられている¹⁾。本衛星の軌道上運用期間は約 3 ヶ月であり、想定される線量は約 1×10^3 Gy（約 1×10^5 rad）となる。今回のガンマ線照射試験では、1 ヶ月分のマージンを取り、4 ヶ月分に相当する約 1.3×10^3 Gy（ 1.3×10^5 rad）を、照射強度 100Gy/h で 13 時間照射した（図 2 参照）。なお、図 1 に示したように、照射後の供試体を目視で確認しても主だった損傷は見られなかった。

3. 放射線照射後パネルの引張試験

照射後に、室蘭工大にて、精密万能試験機を用いて、供試体の引張試験を行った。ここで、引張速度は各供試体に対して、3 mm以下のストローク領域では 0.5mm/min、それ以上では 2.0mm/min として、サンプリング周期 10 Hz で記録した。

そのときの引っ張り力と供試体の伸びの関係を図 3 に示す。Type1-1 を除くすべての供試体において、実験終了時点でテープが完全に破断したことを確認したが、破断後も試験力がゼロとはならなかったため、試験終了時点での引張力を 0 N として補正している。いずれの Type においても、照射後の引張強度は 20 N 以上あり、本衛星運用においては十分な強度を保つことが確認できた。これより、展開板構造のヒンジ部に PTFE テープを採用することの妥当性を確認できた。

4. まとめ

2U サイズ超小型衛星「ひろがり」ミッション部に搭載予定の展開板構造ヒンジ部に用いる PTFE テープに対して、宇宙軌道上で受けるガンマ線と同量のガンマ線照射試験を行い、機械的

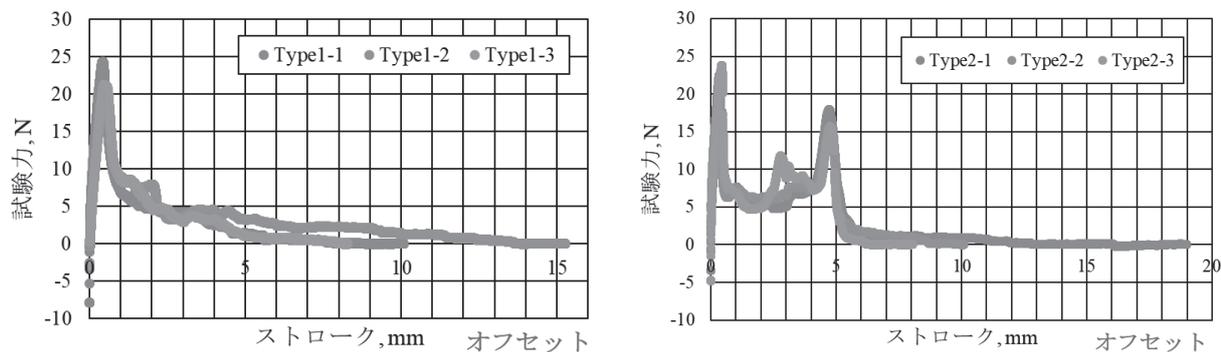


図3 供試体 Type1 のストローク量と試験力の関係 (左: Type 1, 右: Type 2)

強度特性を計測するために引張試験を実施した。ガンマ線照射による PTFE テープ母材の劣化は確認されたが、照射後の PTFE テープヒンジ部引張強度は本衛星運用において、十分な強度を有することを確認することができた。

参考文献

- 1) 日本航空宇宙学会編：航空宇宙工学便覧第3版，丸善，2005，pp. 1005-1013.

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) 林夏澄，勝又暢久，樋口健，橋本真之介，山崎健次，ヘレル ショーン 諒，三好賢彦，小木曾望，南部陽介：2U サイズ超小型衛星「ひろがり」の研究・開発状況，第 27 回スペース・エンジニアリング・コンファレンス [SEC'18] 講演集，1C2，2018
- 2) 飯田輝澄，小木曾望，南部陽介，樋口健，勝又暢久：超小型衛星「ひろがり」の開発，第 55 回日本航空宇宙学会関西・中部支部合同秋期大会，B03. 2018
- 3) 三好賢彦，林夏澄，橋本真之介，ヘレルショーン諒，山崎健次，勝又暢久，樋口健：2U サイズ超小型衛星「ひろがり」ミッション部の研究・開発状況，第 16 回北海道大学・JAXA 連携企画講演会・HASTIC 学術技術講演会講演集，pp. 37-40，2019

X線誘発 DNA 2 本鎖切断修復動態における DNA ligase IV 阻害効果

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*

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)

【背景と目的】

放射線被ばくによる DNA 損傷のうち、DNA2 本鎖切断 (DSB) は最も深刻な損傷である。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。NHEJ は、M 期以外の全ての細胞周期で働くが、HR は姉妹染色分体の相同 DNA 鎖を利用するために、S 期後期から G₂ 期で限定的に働く。神経幹/前駆細胞 (neural stem/progenitor cells : NSPC) では、DSB 修復経路として前述の 2 経路が働くと考えられる。しかし、両経路の使い分け機構は不明である。そこで本研究は、NSPC における DSB 修復経路の使い分け機構を探るために、NHEJ を阻害した場合の DSB 修復動態について調べた。NHEJ を阻害するために、NHEJ において DNA 切断端どうしの結合に働く DNA ligase IV の特異的阻害剤として知られる SCR7 を用いた。

【材料と方法】

6 週齢の C57BL/6N 雌マウスの脳組織から線条体組織を採取して培養系に移し、NSPC を得た。初めに、DNA ligase IV 阻害剤である SCR7 の至適濃度を決定するために、細胞毒性について増殖曲線を作成することにより検討した。次に、NSPC に X 線を照射 (1 Gy) し、その後の DSB 修復動態をリン酸化ヒストン H2AX (γ -H2AX) フォーカス数を計測することによって調べた。また、比較対照として、14.5 日齢の野生型 ICR マウスから採取した線維芽細胞 (murine embryonic fibroblasts : MEF) を使用し、NSPC と同じ手順で DSB の修復動態を調べた。

【結果と考察】

SCR7 は、濃度依存的に NSPC の増殖を抑制したが、25 μ M SCR7 添加培地では、非添加培地とほぼ同様の増殖率を示したため、SCR7 の使用濃度は 25 μ M に決定した。次に、X 線 (1 Gy) 照射した NSPC と MEF における 10 分後から 24 時間後に残存する細胞当たりの DSB 数を計測したところ、SCR7 未処理群では時間経過とともに減少し、24 時間後には未照射細胞と同レベルになった。SCR7 処理群では、3 時間後、または 6 時間後以降において SCR7 未処理群に比べて有意に DSB が残存した。本研究の結果は、DNA ligase IV 阻害剤が DSB 修復過程の後期において遅延を生じさせることを示している。一方で、DNA ligase IV を阻害しても、照射 3 時間後までに、およそ半数の DSB は修復されることも示している。

本研究に関する研究発表

平戸結佳子、田村志宣、白石一乗、児玉靖司、マウス神経幹/前駆細胞及び線維芽細胞における DNA ligase IV 阻害剤存在下での DNA2 本鎖切断修復動態、日本放射線影響学会第 62 回大会、2019 年

マウス神経幹/前駆細胞における 遅延性染色体転座生成と X 線被ばく時年齢との関係の解明

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 日齢以内)、及び成熟期 (12 週齢) に X 線被ばくしたマウスの神経幹/前駆細胞 (neural stem/progenitor cells : NSPC) に出現する遅延性 DNA2 本鎖切断 (DNA double strand breaks : DSB) 数を調べると、新生児期に被ばくしたマウス由来 NSPC が最も高感受性となることが分かった。一方、胎児期被ばくでは、被ばくによる DSB 数の有意な増加はみられなかった。遅延性 DSB 発生に関する胎児期から新生児期にかけての急激な感受性変化の理由は不明である。

そこで本研究では、DSB の修復誤りの結果として生成される染色体転座に着目した。これまでに、新生児期 (<1 日齢) に被ばく (2 Gy) して 6 週間後の NSPC における転座数は、非被ばくマウス NSPC における転座数に比べて、有意に高いことを明らかにした。これから、胎児期及び成熟期に被ばくしたマウス由来 NSPC における転座数を解析し、被ばく時年齢と遅延性染色体転座生成との関係を明らかにする。

【材料と方法】

胎齢 14 日の胎児 (B6C3F1)、及び生後 1 日の新生児 (B6C3F1) マウス (C57BL/6N) に X 線 2 Gy を照射した。胎児については被ばく 7 週間後 (6 週齢)、新生児については被ばく 48 時間後及び 6 週間後 (6 週齢) に解剖し、脳から NSPC を採取した。培養した NSPC から染色体標本作製し、Whole chromosome painting FISH (WCP-FISH) 法を用いて、1 番染色体と 3 番染色体を異なる蛍光色素で染色することにより染色体転座数を計測した。

【結果と考察】

新生児期被ばく 48 時間後、及び 6 週間後の NSPC における転座数は、非被ばくマウスのそれに比べて有意に多かった。一方、48 時間後と 6 週間後の転座数には有意差はみられなかった。先行研究より、被ばく 6 週間後の DSB 数は被ばく 48 時間後のその 2 倍多いという結果が得られている。染色体転座が、DSB の修復誤りの結果として生成されるものであることを考慮すると、転座数も多くなると予想されたが、結果はほぼ同程度であった。DSB 数が多いとアポトーシスにより細胞は排除されるが、転座は安定型異常のため、被ばく 48 時間後までに形成された転座が排除されずに残ったために、6 週間後の転座数と差がなかったものと考えられる。

【本研究に関する研究発表】

中村月覇、白石一乗、児玉靖司、マウス神経幹/前駆細胞における遅延性染色体転座生成と X 線被ばく時年齢との関係の解明、日本放射線影響学会第 62 回大会、2019 年

ライブセルイメージングを利用した X 線誘発小核の運命追跡

大阪府立大 院 理学 生物科学 放射線生物 湯川瑠夏、白石一乗、児玉靖司

大阪府立大 院 生命 応用分子生物 杉本憲治

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

【背景と目的】

ライブセルイメージングとは、顕微鏡下で生きた細胞を可視化し、その挙動を追う方法である。本研究では、このライブセルイメージングを利用して小核付随細胞の運命を追跡した。小核を持つ母細胞が分裂する際、付随する小核が娘細胞から消失することがあり、これは小核が娘細胞の主核に取り込まれた可能性を示唆している。そこで本研究は、この小核取込みを解析し、さらに、小核付随細胞の運命を追跡して、架橋形成、核カタストロフィ、及びアポトーシス等の発生頻度について解析した。

【材料と方法】

実験には、ヒストン H3 タンパク質を蛍光タンパク質 mcherry で標識したマウス m5S 細胞を用いた。細胞は、ダルベッコ変法イーグル培地に 15%牛胎児血清を添加し、37°C、5%CO₂ 条件下で培養した。次に細胞に X 線 (1Gy 及び 2Gy) を照射し、その後、72 時間ライブセルイメージング装置で撮影した。顕微鏡レンズは 60 倍レンズを用い、撮影条件は、露光時間 300 ms、Z 軸撮影枚数 8 枚、撮影間隔 6 分で行った。撮影した全系統から、視野外に移動し追跡不能になった細胞と最初から小核が付随する細胞の系統を除外し、小核が生じた細胞についてその後の運命を追跡した。さらに、マウス m5S 細胞について、中心体構成タンパク質である γ -tubulin の蛍光免疫染色を行った。

【結果と考察】

X 線非被ばく細胞の小核取込み率は 20.0%、被ばく細胞では 7.2%であった。この結果は、X 線誘発小核では、主核への取込み頻度が低下することを示している。また、小核付随細胞系統では、小核を付随しない細胞系統に比べ、架橋形成が 3.3~11.6 倍増加すること、さらには、核カタストロフィを示す細胞もあることが分かった。この核カタストロフィは、2Gy 被ばくで有意に増加した。小核付随細胞で、架橋形成が増えるのは、X 線被ばくによって二動原体染色体と断片が生じ、前者が架橋形成に関わるからと推定される。一方、アポトーシス頻度は、小核の有無との関連性はなかった。さらに、 γ -tubulin を蛍光免疫染色した結果、2Gy 被ばく細胞は非被ばく細胞と比較して中心体の過剰複製が約 4 倍に増加した。このことは、放射線被ばくによる中心体過剰複製が核カタストロフィの原因の一つであることを示唆している。本研究の結果は、小核付随細胞では細胞の世代を超えて染色体不安定性が伝搬されることを示唆している。

【本研究に関する研究発表】

湯川瑠夏、白石一乗、杉本憲治、児玉靖司、ライブセルイメージングを利用した X 線誘発小核の運命の解析、日本放射線影響学会第 61 回大会、p51、2018 年

染色体移入を用いた被ばく染色体による転座形成の新しい検出系の構築

大阪府大・院・理・放射線生物学分野 戸田邦彦、白石一乗、児玉靖司*

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

【背景】

電離放射線に被ばく後、数十回の細胞分裂を経た後の子孫細胞に遅延性染色体異常が起こることが知られており、これは、放射線による染色体不安定性の誘導が原因と考えられている。その詳しいメカニズムは明らかではないが、私たちは、被ばく子孫細胞においては、過剰 DNA 複製ストレス等が起きやすい環境が誘発されることにより、DNA2 本鎖切断(DNA double strand breaks : DSB)が起こりやすくなる可能性を想定している。そこで本研究では、被ばく細胞の染色体が他の細胞小器官の影響を受けずに DSB を起こす可能性を調べるために、正常細胞内に異なる 2 本の染色体を移入し、被ばく染色体と DSB を人為的に誘発した非被ばく染色体との間の転座を検出する実験系の確立を試みた。

【実験方法】

ヒト 8 番染色体を移入した不死化マウス m5S 細胞に、さらに被ばくヒト 20 番染色体を移入した。染色体受容(レシピエント)細胞としてヒト 8 番染色体含有マウス m5S 細胞を、染色体供与(ドナー)細胞としてヒト 20 番染色体を含むマウス A9 細胞を用いた。4Gy 照射したヒト 20 番染色体を微小核融合法によりレシピエント細胞に移入し、移入したヒト 20 番染色体の安定性を whole chromosome painting-FISH(WCP-FISH)で解析した。また、ヒト 8 番染色体を移入したマウス m5S 細胞において、CRISPR/Cas9 システムによりヒト 8 番染色体上の 8q24 に存在する c-myc 遺伝子上に人為的に DSB を誘発させた。c-myc 遺伝子領域における DSB の誘発は、標的領域の PCR 産物を T7 エンドヌクレアーゼ I で処理し、切断されるか否かで確認した。

【結果】

レシピエント細胞に、被ばくヒト 20 番染色体を移入した後、8 つの微小核融合細胞由来コロニーを回収した。そのうちの 1 つを解析した結果、43 細胞中 43 個の細胞でヒト 8 番染色体と 20 番染色体の存在を確認した。そのうち、1 個の細胞で被ばくヒト 20 番染色体の転座が確認された。また、レシピエント細胞内のヒト 8 番染色体上の c-myc 遺伝子領域について、CRISPR/Cas9 による DSB 誘発の有無を解析したところ、標的となる塩基配列部位に T7 エンドヌクレアーゼ I 処理によるミスマッチ変異が検出されたことから、想定された DSB が誘発されていることが分かった。

【今後の展開】

現在、被ばくヒト 20 番染色体の移入とヒト 8 番染色体への DSB の誘発を組み合わせ、2 本の染色体間の転座の検出を試みている。特に、レシピエント細胞への被ばくヒト 20 番染色体の移入時期と CRISPR/Cas9 による DSB を誘発するタイミングの調整が今後の課題である。

本研究に関する研究発表(原著論文、その他報文、学会等報告)

西田一貴、戸田邦彦、白石一乗、児玉靖司、被ばく染色体と DNA2 本鎖切断の転座を検出する実験系確立の試み、日本放射線影響学会第 61 回大会要旨集、p85、長崎市、2018 年

環境試料を用いた変異型ヒト糖質コルチコイド受容体発現酵母の有用性の評価

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：4210 メール：yagi-t@riast.osakafu-u.ac.jp)

【緒言】

我々の住む環境中には人工的に合成された物質を含む様々な化学物質が存在しており、生体内に取り込まれてホルモンと類似した作用を示す物質がある。これらは内分泌かく乱物質と呼ばれている。ステロイドホルモンの一つであるグルココルチコイド (GCs) は抗炎症、抗ストレス応答に作用し、細胞内でグルココルチコイド受容体 (GR) と結合して、様々な遺伝子の転写制御に関与している。合成 GCs は、医薬品として世界中で大量に流通しており、汚水処理場等を経て環境中に排出されている。当研究室ではヒト GR 発現酵母を用いたレポーターアッセイ系を確立してきた。さらに、薬剤透過性変異株を宿主に用いることで高感度化し、環境試料中に GR リガンド物質が含まれることを示した。

本研究では、GR の活性を増大させる変異である Activation Function(AF)-1 領域中の D196Y E221F 変異、およびリガンド結合領域の C638G 変異を導入した変異型 GR 発現酵母株を用いて既知リガンド、河川水試料に対する応答を比較し、有用性を評価した。

【実験方法】

既知リガンドおよび河川水試料を用いた酵母レポーターアッセイ

レポーターアッセイには、私の研究室で作製されていた W303a GR^{wt}, GR^{C638G}, GR^{D196Y E221F}, 薬剤排出ポンプ欠損株を宿主とする *pdr5Δpdr10Δ* GR^{wt} 発現酵母を用いた。既知リガンドとして吉草酸ベタメタゾン、コルチコステロン、デキサメタゾンを、また、環境試料として大和川流域の 13 地点で採取し、マイクロファイバフィルターを用いてろ過、そして固相抽出を行い、濃縮した試料を用いた。96 穴プレートにリガンドや河川水試料の希釈系列を添加し、アッセイ酵母液を加えて 30°C で 18 時間インキュベートした。新しいプレートに基質の *o*-nitrophenyl-β-D-galactopyranocid (ONPG) を含む発色溶液とリガンド曝露した酵母液を混合して 37°C でインキュベートした。30 分おきに、吸光度 OD₄₀₅ (発色度) と OD₅₉₅ (菌体量) を測定し OD₄₀₅ / OD₅₉₅ の値を求めることでβ-ガラクトシダーゼ活性を算出した。

【結果と考察】

既知リガンドを用いたレポーターアッセイでは、いずれの株もリガンド濃度依存的な応答を示した。変異型 GR 発現酵母株は、正常型 GR 発現酵母株と比べて EC₅₀ 値、検出限界が 1/100~1/1000 にまで減少したことから高感度化していることが分かった。河川水試料を用いたレポーターアッセイでは、下水処理施設の直下で採取した試料に対して高い応答を示したことから、ヒトの排泄物由来の GC 様物質を検出していると考えられる。変異型 GR 発現酵母株はどの地点においても正常型 GR 発現酵母株よりも、高い応答を示した。この結果は、変異型 GR 発現酵母株はより高感度に環境試料中のリガンド物質を検出できることを示している。*pdr5Δpdr10Δ* GR^{wt} 株はさらに高感度に、低濃縮率においても応答を示した。今後は、*pdr5Δpdr10Δ* GR^{wt} 株を宿主として GR^{D196Y E221F C638G} 発現酵母株を作製することで、より高感度なりガンド検出が可能になると考えられる。

本邦の大腸がん患者から単離された コリバクチン産生大腸菌が誘発する遺伝毒性の評価

植嶋 亜衣¹, 久富 優太¹, 小田美光¹, 下原 千昌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, 武藤 倫弘⁶,
石川 秀樹⁷, 八木 孝司¹, 若林 敬二⁸, 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国立がん研究センター 社会と健康研究センター,
⁷京都府立医大 医, ⁸静岡県立大学 食品栄養環境院

(*本研究に関する連絡先: 電話(内線)4210、メール kawanisi@riast.osakafu-u.ac.jp)

コリバクチンは、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。ヒトの腸管上皮の表面は粘膜層で覆われており、粘膜の外側には健康維持に関わる腸内細菌叢が多く棲息している。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。そこで本研究では、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(#50, #253)を齧歯類細胞に感染させ、菌株の遺伝毒性を様々な *in vitro* 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。

まず単離株の DNA 損傷性を CHO AA8 細胞に対する DSB 誘導能で評価した。フローサイトメーターを用いて γ H2AX を検出したところ *clb*⁺ である #50 と #253 は感染菌数依存的に DSB を誘導した。次いでこれら大腸菌抽出物の DNA 損傷性を *umu* 試験で評価した。*clb*⁺ 2 株の抽出物はネズミチフス菌に SOS 応答を誘導し、それら誘導量は陰性対照株に比べ、それぞれ約 1.5 倍であった。

次に染色体異常誘発能を CHO AA8 細胞を用いた *in vitro* 小核試験で評価した。その結果 #50 と #253 は感染菌数依存的に小核を誘導することがわかった。更に大腸菌の増殖状態と小核誘導能の関係を調べたところ、対数増殖期後期~定常期初期の *clb*⁺ 株は、対数増殖期中期や定常期後期の大腸菌より小核誘導能が高く、既に報告のある欧州の結果と一致した。

現在、齧歯類ではなく、ヒト結腸腺がん由来 LoVo 細胞を用いた *in vitro* 小核試験により染色体異常誘発能を評価している。今後、次世代シーケンサーを用いた全ゲノムシーケンスによりコリバクチンが誘発する突然変異シグネチャーを明らかにする。これをがん患者に見つかる変異と比較することで、コリバクチンが大腸発がんにどれだけ奇与しているかを推定する計画である。

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

(株)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 linhntt@dlu.edu.vn)

Books and documents are susceptible to changes and decomposition by environmental agents. Among the factors that decompose paper objects, fungi are considered as an important agent in biodegradation. These effects are more severe for ancient Japanese books and documents damaged by floods. The experiment was conducted to find the lowest gamma radiation dose needed to inactivate fungi that contaminated on old paper from Edo period. Representatives of *Penicillium*, *Aspergillus* and *Cladosporium* which were isolated and identified from contaminated old Japanese books were cultivated and treated with ^{60}Co gamma rays in OPU Radiation Research Center to check the survival curve under the buffer suspension and dry state. *Cladosporium cladosporioides* showed the strongest radiation resistance among the 3 species, therefore they are artificially contaminated on filter paper and incubated for 12, 24 and 36 hours, then irradiated with dose ranging from 10 to 13 kGy in the wet and dry condition. The minimum dose required to kill this fungi was 12 kGy. These results demonstrated the effectiveness of gamma irradiation promising to secure hygiene during the recovery of severely damaged books and old documents.

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) N. T. T. Linh, Y. Kumeda, T. Tsuchido, T. Kume, M. Furuta, Analysis of radiation sensitivities of fungal spores in the environments for setting the effective radiation sterilization condition 損傷菌セミナー2018（2018年6月19日、東京都江東区豊洲シビックセンター）
- 2) 古田 雅一、N. T. T. Linh、松下正和、天野真志、内田俊秀、酒井浩一、藤田和久、吉川圭太
水和紙資料（古文書）に発生したカビの放射線殺菌に関する基礎的検討、日本食品照射研究協議会第54回大会 教育講演会/研究発表会（2018年11月20日、東京）

3) N. T. T. Linh, Y. Kumeda, T. Tsuchido, T. Kume, M. Furuta , Analysis of radiation sensitivities of fungal spores in the environments for setting the effective radiation sterilization condition.、第17回放射線プロセスシンポジウム (2018年11月21-22日 東京大学弥生会館)

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

阪府大院工量子放射線工学分野 傳 大輝*、普天間 章、阪井 俊夫、前田 伸彦
阪府大研究推進 坂元 仁、土戸 哲明、古田 雄一

(*本研究に関する連絡先：電話（内線）3542、メール mc106005@edu.osakafu-u.ac.jp)

1. 緒言

枯草菌に代表される *Bacillus* 属の細菌は生存環境や栄養状態が悪化すると芽胞と呼ばれる耐久型細胞に分化し、休眠状態となる。この芽胞は、硬い層状の構造を持ち、2,6-Pyridinedicarboxylic acid (DPA)が集積し脱水されたコアに存在する DNA は酸可溶性低分子タンパク質で保護されていることが殺菌ストレスに抵抗性である要因と考えられており、栄養型細胞に比べ物理的・化学的ストレスに強く、食品や医療用具における殺滅菌処理において芽胞不活化が最重要課題である。当研究室では、この芽胞がどのような性質を持っており、加熱や放射線によってどのように死に至るのかを解明し、的確にそれぞれの手法を複合化することでより高度で信頼性の高い殺滅菌法の確立することを目的としている。

2. 実験方法

共栓付きガラス試験管に *B. subtilis*168 芽胞懸濁液 1 ml (109 spores ml⁻¹) を分注し、大阪府立大学放射線研究センター⁶⁰Co ガンマ線照射施設の照射プールにてガンマ線を 1, 2, 4, 6, 8, 10 kGy (線量率 2.49 kGy h⁻¹) 照射した。これを発芽溶液に混合して発芽処理を行い、濁度低下速度を求めた。また、ガンマ線照射を終えた直後の芽胞懸濁液を用いて、コロニーカウントによって生残率の変化を確認した。また、*spoVFAB* 欠損株を DPA 欠損株として同様の処理を行い、DPA による芽胞の γ 線耐性への寄与を確認した。

3. 結果・考察

γ 線照射芽胞では未処理芽胞と同様に発芽に伴う OD₆₀₀ 低下が認められ、芽胞の発芽システムは γ 線照射ではほとんど損傷していないことが分かった。また、発芽後成長から栄養増殖による OD₆₀₀ 上昇までの時間が線量依存的に遅延した。このことから γ 線照射芽胞は損傷を発芽または発芽後成長過程において修復し、栄養増殖サイクルへと移行することが推察された。

また、加熱処理では DPA が脱水に関与し、コア内タンパク質を保護し耐性化していることが示唆されたが、ガンマ線、UV については、さらに詳細な研究が必要ではあるが、DPA の存在による耐性獲得は小さいと示唆された。そのため、ガンマ線の死滅には直接作用による影響が大きいと推察した。現在は DNA の損傷修復による効果を、DNA の修復機構を欠損した欠損株を用いて発育の挙動を解析している。

参考文献

- 1) 「*Bacillus* 属細菌芽胞の発育に及ぼす殺菌ストレスの影響」 普天間 章
- 2) 「*Bacillus subtilis* 芽胞の発育・生存に対する香辛料精油成分の加熱処理・ガンマ線照射との複合による制御効果とその特性解析」 阪井俊夫
- 3) 「枯草菌芽胞のコアのタンパク質変性および加熱・放射線・紫外線耐性におけるジピコリン酸の役割」 前田伸彦

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. 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
- 2) 阪井俊夫、坂元仁、土戸哲明、古田雅一、細菌胞子の発芽レセプターから見た加熱と精油成分の発芽抑制作用の特性、損傷菌セミナー2018（2018年6月19日、東京都江東区豊洲シビックセンター）
- 3) 阪井俊夫、傳大輝、土戸哲明、古田雅一、熱測定法による香辛料粉末を含む固体系での損傷芽胞の発育過程の解析、損傷菌セミナー2018（2018年6月19日、東京都江東区豊洲シビックセンター）
- 4) 普天間章、阪井俊夫、傳大樹、坂元仁、土戸哲明、古田雅一、加熱と放射線照射で生じる枯草菌損傷芽胞の改変 DiVSaL 法による計数と損傷様式の差異、2018 年度グラム陽性菌ゲノム機能会議（8月31日（金）、26日（土）KKR ホテル熱海、熱海）
- 5) 阪井俊夫、坂元仁、土戸哲明、古田雅一、ジピコリン酸放出反応から見た枯草菌芽胞の Carvacrol と Thymol の発芽抑制特性の相違、日本防菌防黴学会 第 45 回年次大会（平成 30 年 11 月 12 日（月）～13 日（火）、タワーホール船堀、東京）
- 6) 古田雅一、阪井俊夫、普天間章、傳大輝、坂元仁、土戸哲明、枯草菌胞子の発芽・増殖過程の劣化を指標とした放射線照射による損傷菌生成機構の解析、日本原子力学会 2019 年春の年会（2019 年 3 月 20-22 日、茨城大学、水戸）

放射線損傷ヌクレオシドである 5,6-ジヒドロチミジンを指標とした 照射食品検知法の開発

阪府大研究推進 石川悦子、古田雅一*
地独) 大阪健康安全基盤研究所 藤原拓也、福井直樹、高取 聡、
山口之彦、角谷直哉

(*本研究に関する連絡先：電話 072-254-6214、メール mfuruta@b.s.osakafu-u.ac.jp)

【目的】

食品の放射線照射を適正に管理するためには、その照射履歴の検知が必須である。DNA は多様な食品に含まれるため、その構成要素であるヌクレオシドが照射を受けることによって生じる損傷ヌクレオシドを検知指標とすることで多様な食品に適用可能な検知法が開発できると期待される。我々は、チミジン (dThd) の損傷ヌクレオシドのひとつである 5,6-ジヒドロチミジン (DHdThd) を指標とする新たな検知法を開発した^{1),2)}。今年度は、本法について、①生レバーの照射線量の推定に関する研究および②香辛料等の植物性食品への適用拡大に関する研究を実施したので以下に報告する。

【方法】

試料の γ 線照射および電子線照射は、それぞれ大阪府立大学研究推進機構放射線研究センターおよび原子燃料工業(株)で実施した。試料は凍結条件下で 0.5~11 kGy 照射し、実照射線量はラジオクロミックフィルムで計測した。生レバーについては、NaI 法で DNA を抽出した。香辛料等の植物性食品については、Genomic-tip (G-tip; QIAGEN) 法で DNA を抽出した。DNA は既報²⁾に準じてヌクレオシドに分解し、限外ろ過による精製を経て得られた試験液中の DHdThd および dThd の濃度比 (DHdThd/dThd) を検知指標として LC-MS/MS で測定した。

【結果および考察】

① 牛生レバーの照射線量の推定

異なる 3 個体に由来する牛生レバーを対象とした。いずれの試料においても、 γ 線あるいは電子線照射により、DHdThd は照射特異的かつ線量依存的に生成した。DHdThd/dThd の線量依存曲線は、線源に依らず異なる 3 個体で類似しており、相互に重なりが認められた。これは、DNA においては脂質等とは異なり個体差が小さいこと、および DHdThd は dThd から間接作用によって生成するため、線源の差が生じにくいことに起因すると推察された。

また、生レバーを -20°C で 4 ヶ月間保存した後であっても、さらに電子レンジで中心温度が 90°C 以上になるよう 180 秒間加熱しても、その線量依存曲線に顕著な変化は認められなかった。これは検知指標が DHdThd/dThd であるため、抽出した DNA の質の優劣に伴ってヌクレオシドへの分解効率に差が生じて補正されることに由来すると考えられた。このように、DHdThd/dThd

は、試料の個体差、線源、保存期間あるいは加熱によっても変動が少ない堅牢な検知指標であることが示された。この特長を活かし、既知の線量を照射した個体から得た線量依存曲線をもとに他の個体の DHdThd/dThd から照射線量を算出した。ラジオクロミックフィルムで計測した実際の線量に対する算出した線量の比は、4.67~7.62 kGy の範囲で 0.74~1.30 であり、本法は、照射の検知のみならず、照射線量の推定も可能と考えられた。

② 香辛料等の植物性食品への適用拡大

香辛料等の植物性食品にも適用できるよう、G-tip 法を用いる DNA 抽出工程を開発した。本工程は、カオトロピック塩存在下、Proteinase K、RNase A およびセルラーゼによって細胞を溶解し、溶解液中に遊離した DNA を陰イオン交換カラム (G-tip 100/G) で保持して精製した。概ね 2~5 g の試料から本法に適用可能な DNA 量 (概ね 80 μ g) を 5 時間程度で抽出することができた。本工程を取り入れることによって、本法は動物性食品および植物性食品の双方に適用可能となった。実際に、トウガラシ、シイタケ、スプラウトおよび大麦若葉に適用したところ、精度良くこれらの照射履歴を検知することができた。

【まとめ】

本法は、一定量の DNA が抽出できる食品に広く適用可能である。その検知指標である DHdThd/dThd は、照射特異的であり、その線量依存性も明確である。さらに線源の差および試料の差による影響を受けにくいことから、既知の線量を照射した試料との比較によって未知試料の照射線量を推定できることが明らかになった。

参考文献

- 1) Fukui, N., *et al.*, *Food Chem.*, **216**, 186 (2017)
- 2) Fukui, N., *et al.*, *J. Agric. Food Chem.*, **65**, 9342 (2017)

本研究に関する研究発表

- 1: 福井直樹ら, 放射線損傷ヌクレオシドであるジヒドロチミジンを指標とした照射食品検知法の開発(1), *JAPI Newsletter*, **21**, 14 (2018)
- 2: 福井直樹ら, ジヒドロチミジンを指標としたトウガラシの放射線照射履歴の検知, 日本食品衛生学会第 114 回学術講演会, 広島 (2018. 11. 15-16)
- 3: 高取聡ら, 放射線損傷ヌクレオシドであるジヒドロチミジンを指標として照射食品を検知する, 第 17 回放射線プロセスシンポジウム, 東京 (2018. 11. 21-22)
- 4: 藤原拓也ら, ジヒドロチミジンを指標とした多様な食品における放射線照射履歴の検知, 第 55 回全国衛生化学技術協議会年会, 横浜 (2018. 11. 29-30)

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 (IV)

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った求底的な移動 (オーキシン極性移動) をしつつ、重力や光刺激に対する屈性反応など多面的成長・発達の制御に重要な役割を担っている。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解明を目的に主に (1) ~ (3) の研究などを展開した。

(1) セイロンベンケイソウの葉の上偏・下偏成長の制御を特に IAA とジャスモン酸類との相互作用の観点から解析した。IAA 投与は上偏・下偏成長を誘導するが、ジャスモン酸メチルは IAA 誘導の上偏・下偏成長を阻害したことから両植物ホルモンの相互作用を明らかにした。また、IAA 極性移動阻害剤 (TIBA や HFCA) を投与すると葉柄の屈曲が阻害されることを見出した。放射性 IAA を用いた IAA 移動実験よりこれらの薬剤は葉柄における IAA 極性移動を阻害した。以上の結果から、葉柄内での内生 IAA の移動に起因する IAA 動態変化が葉の上偏・下偏成長の制御に重要であることを示唆した (原著論文 1 および 3)。

(2) 我々は、宇宙微小重力環境下における放射性 IAA を用いた IAA 移動実験の結果などから、IAA 極性移動は重力の制御下にあることを見出してきた。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その分子機構解明のため抗体作成を試み、エンドウの PsPIN1 抗体の作成に成功した。この抗体を用いて PsPIN1 タンパク質のエンドウ上胚軸における細胞内局在を明らかにした (原著論文 2 および 4)。

(3) ルバーブ (*Rheum rhabarbarum* L.) の葉柄にジャスモン酸メチルを投与すると著しいガム物質の形成が誘導される。そ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 3)。

本研究に関する研究発表

1) 原著論文

- (1) Ueda J., Goraj-Koniarska J., Miyamoto K., Saniewski M. (2018) Epinasty and/or hyponasty, and petiole growth in *Bryophyllum calycinum*: Focus on the interaction of indole-3-acetic acid and methyl jasmonates. *Acta Biologica Cracoviensia Series Botanica* 60(1): 73-81. DOI 10.24425/118049.
- (2) Kamada M., Miyamoto K., Oka M., Uheda E., Ueda, J., Higashibata A. (2018) Procedures for chemical fixation in immunohistochemical analyses of PIN proteins regulating polar auxin transport: relevance to spaceflight experiments. *Life Science in Space Research* 18: 42-51. DOI 10.1019/j.lssr.2018.05.005.

- (3) Goraj-Koniarska J., Saniewski M., Ueda J., Miyamoto K. (2018) Effect of methyl jasmonates on gummosis in petioles of culinary rhubarb (*Rheum rhabarbarum* L.) and the determination of sugar composition of the gum. *Acta Physiologiae Plantarum* 40: 30. DOI 10.1007/s11738-018-2609-8.
- (4) Kamada M., Miyamoto K., Oka M., Ueda, J., Higashibata A. (2018) Regulation of asymmetric polar auxin transport by PsPIN1 in endodermal tissues of etiolated *Pisum sativum* epicotyls: focus on immunohistochemical analysis. *Journal of Plant Research* 131: 681-692. DOI 10.1007/s10265-018-1031-z.
- (5) Ueda J., Miyamoto K., Goraj-Koniarska J., Saniewski M. (2018) Petiole bending in detached leaves of *Bryophyllum calycinum*: Relevance to polar auxin transport in petioles. *Acta Biologica Cracoviensia Series Botanica* 60(2): 25-33. DOI 10.24425/118056.

2) 学会報告等

- (1) Miyamoto K., Goraj-Koniarska J., Oka M., Ueda J., Saniewski M. (2018) Gummosis in petioles of culinary rhubarb (*Rheum rhabarbarum* L.): Relevance to methyl jasmonates as its key chemical compound and chemical composition of gum polysaccharides. 第 59 回日本植物生理学会 (札幌、2018 年 3 月)
- (2) 東端 晃、嶋津 徹、宮本健助、他 8 名 (2018) Auxin Transport 宇宙実験 : (1) 宇宙実験に至る経緯、背景および実験概要. 日本宇宙生物科学会第 32 回大会 (仙台、2018 年 9 月)
- (3) 宮本健助、乾 暉昇、上田英二、他 9 名 (2018) Auxin Transport 宇宙実験 : (2) 宇宙微小重力環境下で生育させた黄化エンドウ芽生えおよび黄化トウモロコシ芽生えの成長とオーキシン極性移動. 日本宇宙生物科学会第 32 回大会 (仙台、2018 年 9 月)
- (4) 鎌田源司、岡 真理子、井上理子、他 10 名 (2018) Auxin Transport 宇宙実験 : (3) エンドウおよびトウモロコシ黄化芽生えにおけるオーキシン極性移動関連遺伝子の発現とその産物の細胞内局在に対する宇宙微小重力環境の影響. 日本宇宙生物科学会第 32 回大会 (仙台、2018 年 9 月)
- (5) 戸田雄太、岡田一穂、上田純一、宮本健助 : α -メチレン- γ -ラクトン構造を有するグルマクラン型セスキテルペンラクトンであるデヒドロコスタスラクトンの茎成長抑制機構. 植物化学調節学会第 53 回大会 (札幌、2018 年 11 月)

マウス神経幹細胞における放射線架橋 PVA ゲルの粘弾性に 応答する接着分子の発現解析

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）3618、メール morihide@b.s.osakafu-u.ac.jp)

【緒言】中枢神経系を構成するニューロン、アストロサイト、オリゴデンドロサイトへの多分化能と自己複製能をもつ神経幹細胞/前駆細胞 (NSPC) を、高密度接着培養できる足場材料の開発は、再生医療分野での応用が期待できる中枢神経発生モデルや移植用担体の構築に重要である。我々は軟らかい放射線架橋ポリビニルアルコール (PVA) ゲル上で、NSPC を集塊形成した状態で接着培養できることを既に報告した^[1]。しかし、放射線架橋 PVA ゲルへの NSPC の接着、増殖維持機構は分かっておらず、また PVA ゲルの軟らかさ (粘弾性) の違いによって細胞集塊の形態が変化する要因についても明らかにしていなかった。そこで本研究では、粘弾性の異なる放射線架橋 PVA ゲル上で培養した NSPC における接着関連分子の発現を解析し、NSPC の PVA ゲルへの接着機構に関する理解を深めることを目的とした。

【実験】濃度が異なる 3 種類の PVA 水溶液を調製し、大阪府立大学 Co-60 ガンマ線照射施設にて其々に適切な線量のガンマ線を照射することによって、硬さの異なる 3 種類の放射線架橋 PVA ゲル (3.75%(w/v) PVA/10 kGy (ヤング率: $E = 1$ kPa)、7.5%(w/v) PVA/20 kGy ($E = 10$ kPa)、15%(w/v) PVA/40 kGy ($E = 22$ kPa)) を作製した。マウス胎仔脳由来 NSPC を各々の PVA ゲル上に播種し、無血清培地下で培養した。1 週間培養後の細胞から RNA を抽出し、定量的 RT-PCR 法で接着関連分子の遺伝子発現を調べた。また、遺伝子発現の変化が顕著であった接着分子に関してはウェスタンブロットでタンパク質の発現量も比較した。

【結果・考察】PVA ゲル上で培養した NSPC は対照群に比べて神経幹細胞マーカーであるネスチンの発現が高く、PVA ゲルが軟らかい方がよりネスチンの発現が高かった。インテグリンやある種の細胞外マトリクス (ECM) 構成タンパク質の発現は PVA ゲルが軟らかい方が高くなる傾向を示した。NSPC は PVA ゲルの足場の軟らかさに応じて自ら細胞の足場として必要な ECM タンパク質を発現し、接着に関与していることが考えられる。

参考文献

- 1) H. Mori, M. Hara: Clusters of neural stem/progenitor cells cultured on a soft poly(vinyl alcohol) hydrogel crosslinked by gamma irradiation: *J. Biosci. Bioeng.* 121(5): 584-590, 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) 森英樹、原正之、放射線架橋ポリビニルアルコールゲル上で培養した神経幹細胞/前駆細胞の接着関連分子の発現解析、第 70 回日本生物工学会大会、2018 年 9 月 7 日、関西大学

化学プローブ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 松井良樹、オウアンサビンサブニャン、
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は液中のヨウ素イオンが酸化され生まれたポリヨウ素イオンが、ポリビニールアルコール (PVA) 分子と錯体形成して、青紫色を呈している様子を示している。これにより、プラズマ生成された活性酸素ラジカルがガス対流によって長距離輸送されていることが確かめられた。

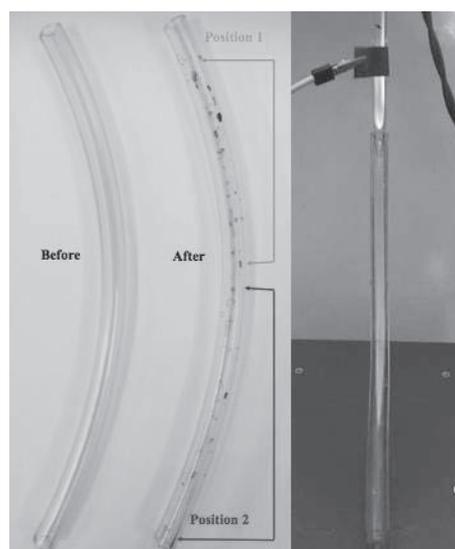


図1. PVA-KI 溶液を内壁に塗布したチューブに大気圧プラズマを導入した例

参考文献

- 1) "Detection of reactive oxygen species supplied into the water bottom by atmospheric non-thermal plasma jet using iodine-starch reaction", T. Kawasaki, W. Eto, M. Hamada, Y. Wakabayashi, Y. Abe, K. Kihara, Japanese Journal of Applied Physics 54, (2015) 086201.

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) "Chemical Probe Calibration for Reactive Oxygen Radicals with Hydrogen Peroxide and Low Energy X-Ray", H.Matsuura, Y.Matsui, J.Sakamoto, Tran Trung Nguyen, Kheim Do Duy, and M.Akiyoshi, 7th International Conference on Microelectronics and Plasma Technology, (2018, Incheon).
- 2) 「ポリビニールアルコール - ヨウ化カリウムを用いた活性酸素ラジカルの計測化」松浦寛人、松井良樹、オウアンサビンサブニャン、トラントラングエン、坂元仁, 第 66 回応用物理学会春季学術講演会, (2019, 東工大).

リサージュ図形解析によるプラズマ放電維持電力の評価

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。通常、低周波(数十 Hz)の電源を用いても、放電電流は数マイクロ秒のパルス的であり、平均的な放電電力を電流と電圧の時系列データから求めることは困難である。印加電極に直接接続したキャパシタでの電圧降下をモニターすると電流の積分値が評価され、これと印加電圧の長時間データを用いると図 1 の様なリサージュ曲線が得られる。その面積をプログラム評価すると、1 電圧パルスでの平均吸収電力が評価できる。

新しく導入した高圧電源 PS2 は、既存のもの PS1 に比べて、ピーク電圧が大きいわりに電極への電荷の蓄積が少ない。このことは、不規則な絶縁破壊が起こりにくく、より高い電圧を要するアルゴンプラズマの生成に有利であることを意味している。本研究ではこの他に、絶縁油を用いた放電の安定化効果も評価している。

参考文献

- 1) "Improvement of Electrical Measurement of a Dielectric Barrier Discharge Plasma Jet ", D. B. Nguyen, Q. H. Trinh, M. M. Hossain, W. G. Lee, Y. S. Mok , IEEE Trans. Plasma Sci. 47 (2019)2004-2010.

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) "Power Source Improvement for Atmospheric Plasma Jet Production", H.Matsuura, Trung Nguyen Tran, Y.Matsui, Y.Takemura, 10th International Symposium on Advanced Plasma Science and its Applications for Nitrides and Nanomaterials, (2019, Nagoya Institute of Technology).
- 2) "Effect of alcohol addition on properties of argon atmospheric nonthermal plasma jet", Tran T.Nguyen, H.Matsuura, Y.Matsui and Y.Takemura, Plasma Research Express, Vol. 1, (2019) 015009.

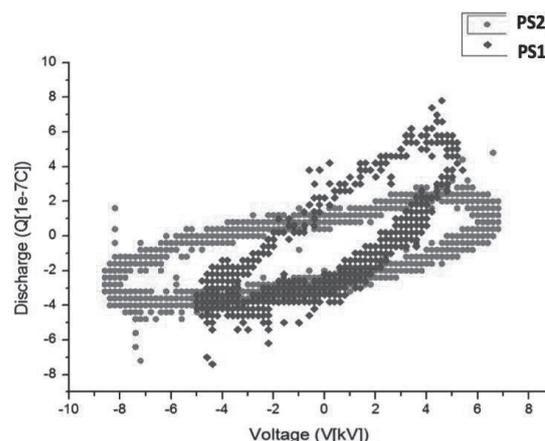


図 1. 異なる高電圧電源(PS1 と PS2)を用いたアルゴンプラズマジェットの電荷－電圧リサージュ図

ダイバーター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 山本優矢、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）の開発が必要となる。図 1 は、既存の熱流束解析モデルが仮定した熱流束パルスをどの程度まで再現できるかを検討している。

センサーターゲット内での熱パルスの伝搬時間は、これまでのところ核融合プラズマの時間変化に比べてかなり長い場合が多く、熱流束変化のモニタリングには限界があった。本研究では、京都大学のヘリオトロン J 装置のセンサーに熱拡散時間を低減した薄膜型カロリメーターを組み込むことを進めている。これを用いて、100 ミリ秒程度の放電時間の同装置での熱流束変化を初めて計測することを目指している。

参考文献

- 1) 「非接触ダイバータープラズマ実験研究」, 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) "Heat flux evolution in GAMMA 10/PDX divertor experiment", H.Matsuura, T.Iijima, N.Ezumi, Y.Nakashima, M.Sakamoto, M.Shoji, K.Nagaoka, 12th International Conference on Open Magnetic System for Plasma Confinement, (2018, Tsukuba).
- 2) 「ヘリオトロン J における複合プローブアレイの改良」, 山本優矢、松浦寛人、村岡英樹、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 35 回年会講演会 (2018, 阪大) .

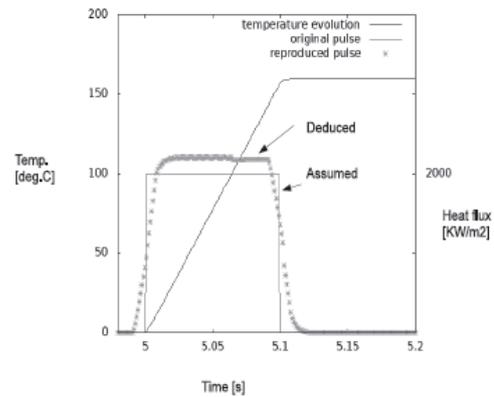


図 1. 薄膜型カロリメーターの温度応答と熱流束再評価計算例。

学校教育現場における放射線安全管理体制の確立

阪府大研究推進	秋吉 優史*、松浦 寛人
阪府大院工量子放射線工学分野	Do Duy Khiem、安藤太一
保健医療科学院	山口 一郎
JAEA	橋本 周
東大 環境安全	飯本 武志
福井県志比小	小鍛冶 優
札幌白石中	森山 正樹
長崎大付属中	前田 勝弘
ケニス株式会社	若松 巧倫
株式会社島津理化	増子 寛
放射線教育フォーラム	田中 隆一、宮川 俊晴

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

キーワード：放射線教育、放射線安全管理、クルックス管、低エネルギーX線

1. はじめに

クルックス管はレントゲンがX線を発見した際に用いた装置であり、最も古くから放射線を放出していることが知られていた装置であると言う事ができ、国内に於いても1994年に一部の製品では表面からの距離5cmでの70 μ m線量当量が250mSv/hにも達することが報告されているが[1]、現在中学や高校の理科の授業に於いてクルックス管を使っている教員の間ではどの程度の放射線が放出されているかということはほとんど認識されていない。我々の研究においても、15cmの距離における10分間の測定で70 μ m線量当量が32.6mSv(196mSv/hに相当)という極めて高い線量を漏洩する装置が発見されている。このため、放射線が放出されていることを知らずに不注意な取扱いを行うと大きな線量を被ばくする恐れがある。その一方で、H29年に公示された新学習指導要領に於いては、クルックス管などの真空放電と関連づけながら放射線の性質と利用にも触れることが新たに追加された。当該単元は2年生で取り扱われ、全ての生徒が放射線について学習することになるため極めて画期的なことであるが、今後クルックス管の取扱いが全国で増えることで、不要な被ばくを子供達に与えないために安全管理体制の確立が強く望まれる。

2. どのように放射線安全管理を行うか

ほとんどの場合学校現場の教員は放射線に関する教育を受けておらず、測定器なども持っていない。一般的な測定器を持っていても放出されるX線のエネルギーが20keV程度と低く、20 μ s程度の短い時間にパルス状に放出されるという特徴があるため、電離箱や固体線量計など電流モードや積算型の測定機を用いる必要がある[2]。また個々のクルックス管毎に大きく特性が異なり、さらにはその日の天候などによっても漏洩線量は左右される。

以上のように個々の現場毎に対応を行う事は極めて困難であるため、誘導コイル及びクルックス管の特性を動作原理から本質的に理解し、どうすれば漏洩線量を抑えることが出来るのかを、全国的な有志の集まりであるクルックス管プロジェクトにより検討を行ってきた[3]。その中で、クルックス管から漏洩する X 線は 20keV 前後と低エネルギーであり、ごく僅かな印加電圧の変化で漏洩線量が大きく変化することが明らかとなった。ところが、個々のクルックス管毎に封入されているガスの状態によって、電流の流れやすさ（コンダクタンス）が大きく異なり、電源側の設定と実際に印加される電圧が異なる場合がある。このため、印加される最大電圧を抑える安全装置としての放電極の設定が極めて重要であることが明らかになった。また、2mm 厚程度の薄くて軽く、教師にとって取り回しが苦にならないガラスの水槽が安価に販売されており、それらを用いることで 1/20~1/50 程度までの極めて有効な遮蔽を行う事も可能であった。その一方でアクリルは 1cm 厚さでも 1/3 程度にしか減衰しなかった。光電効果しか起こらない低エネルギー領域では原子番号 Z の 4~5 乗で透過率が変化するためである。

3. 実態調査

現在既にクルックス管を教育に利用している現場での漏洩線量の実態を調査するため、低エネルギー X 線の実効エネルギー評価も可能な蛍光ガラス線量計を 2018 年度に全国 19 校の学校に郵送し、これまでに授業で行なっていた実験条件での測定を依頼することで実際の教育現場での実態調査を行った。その結果 37 本中 25 本のクルックス管は 1m の位置、10 分間の実演で 70 μ m 線量当量が 50 μ Sv 未満であり、そのうち 18 本では 15cm の位置でも検出限界 (50 μ Sv) 未満であった。高い線量を示した学校の多くは、放電出力を高くして実演を行っていたが、その一方で 1 本だけ、放電出力を最低としているのにもかかわらず、1m 位置、10 分で Hp(0.07)が 690 μ Sv にも達した装置が存在したため追加調査を行った。その結果、放電極の距離が 50mm の時はクルックス管から 30cm の位置で 30mSv/h にも達したが、30mm では 2mSv/h, 20mm では 40 μ Sv/h に低減できることが分かった。実験の際にアナログ電流計での平均電流測定も行っており、一般的なクルックス管よりもはるかに電流量が低い（放電極距離 30mm で 10 μ A 程度）一方で、放電極間で強い空中放電が起こっていた。これは、クルックス管では図 1 に示すようなしくみで電子ビームを放出しているため、管内のガス圧が低く冷陰極で二次電子の放出が少ないと電流が流れにくいいため、誘導コイルに電磁エネルギーが蓄積して意図したよりも高い電圧が印加され、断続的で電流量は小さいが高エネルギーの電子線により、透過力の高い X 線がガラス管外部に漏洩していると考えられる。しかし放電極距離を短くすることにより電圧が高くなる前に空中放電により電流がリークするため、印加電圧を低く抑えることが可能であり、漏洩線量を十分低く抑えることが可能であった。ただし、空中放電が非常に激しく、また電子ビームは断続的で暗いため、授業で実用的に使用できるとは言い難く、このような製品については現実問題として買い換えを行う必要があると考えられる。

4. 暫定ガイドラインの策定と検証

これまで得られた知見をまとめて、以下の様な暫定ガイドラインを策定した。

- ・誘導コイルの放電出力(一次側印加電圧)は電子線の観察が出来る範囲で最低に設定する
- ・放電極を必ず使用し、電極間の距離は 20mm 以下とする。
- ・出来る限り距離を取り生徒への距離は 1m 以上とする。
- ・演示時間は 10 分程度に抑える

この暫定ガイドラインを遵守することで本当に安全を確保することが出来るのか、2019 年度にサイド全国の中高の学校に蛍光ガラス線量計を配布して測定してもらった実態調査を行っている。8 月期は、27 校での 92 本のクルックス管について暫定ガイドライン準拠での測定を行った。そのうち一本で、1m 位置で 10 分間観察を行った場合、ICRP Pub-64 や IAEA BSS など示されている国際的な免除レベルである実効線量 $10\mu\text{Sv}$ をわずかに上回り、 $15\mu\text{Sv}$ と評価された(測定は Hp(0.07)で行っており、実効線量への換算は現在詳細に検討中であるが、暫定的に 20keV での 1/10 という値を使用している)。これは半導体式の発振を行う誘導コイルに於いて、発振周期を最大としていたためであると考えられる。それ以外の装置では、69 本に於いて 20cm 距離 10 分の測定で、Hp(0.07)が検出限界である $50\mu\text{Sv}$ を下回っており、有意な値が出た 23 本の装置の中での平均でも、1m 位置では $2\mu\text{Sv}$ にしか過ぎず、極めて低い線量に抑えることが可能であることが実証された。

9 月期、10 月期も測定を続けており、大阪府教育委員会の協力なども得ているため、今後より多くのデータを収集し、また結果をガイドラインにフィードバックさせることでより確実なガイドラインとしていく。

プロジェクトは現在日本保健物理学会の「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」において公的な活動を行っており、2021 年 4 月には同学会の標準化委員会において学会標準とする準備を行っている。さらには ICRP Pub36 の改訂などを視野に、国際的な情報収集を開始している。最後に、クルックス管プロジェクトは様々な立場の方々の多大な協力無くしては成立し得ませんでした。この場を借りて感謝を申し上げますと共に、今後の更なる発展のため、更なる協力をお願い致します。

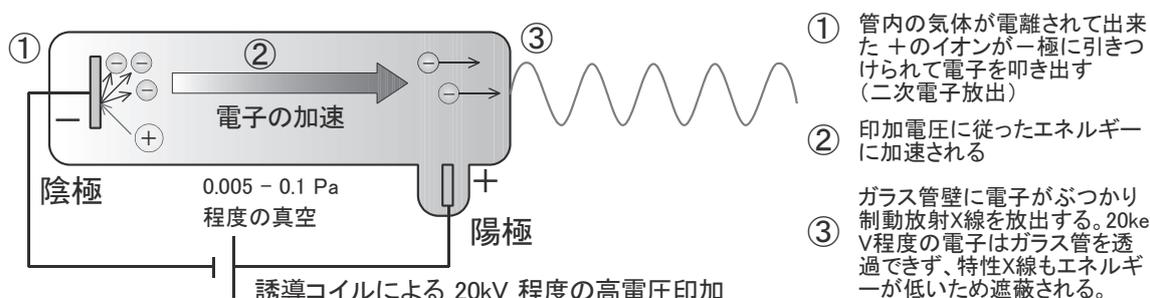


図 1. クルックス管における冷陰極からの電子の放出と X 線の漏洩

参考文献

- [1] クルックス管から漏洩する X 線の実態とその対策, 大森儀郎, 神奈川児立教育センター研究集録, 13(1994)21-24.
- [2] クルックス管からの低エネルギーX線評価手法の開発, 秋吉 優史ほか, 放射線化学, 106 (2018) 31-38.
- [3] 秋吉 優史 研究教育紹介サイト クルックス管プロジェクトのご紹介
<http://bigbird.riast.osakafu-u.ac.jp/~akiyoshi/Works/CrookesTubeProject.htm>

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.
- Investigation of Low-energy X-ray Radiated from the Crookes Tube Used in Radiological Education, Do Duy KHIEM, Hirokazu ANDO, Hiroto MATSUURA, Masafumi AKIYOSHI, Radiation safety management, 18 (2019) 9-15. (査読有)
- 2) 報文.
- 放射線教育を中心とした総合的理科教育教材の創出, 秋吉 優史, マツダ財団助成 研究報告書, 31 (2019) 42-51.
 - クルックス管プロジェクトの現状と課題, 秋吉 優史, 放射線教育フォーラムニュースレター (印刷中) (査読無)
 - 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 (6月シンポジウムプロシーディング、印刷中) (査読無)
- 3) 学会発表や報告など.
- 放射線教育フォーラム第2回勉強会 (2019年3月3日、慈恵医大), 秋吉 優史, クルックス管プロジェクトの現状と課題. (招待講演)
 - 「放射線に関する教職員セミナー及び出前授業実施事業」第2ワーキンググループ会議 (2019年3月12-13日、科学技術館), 秋吉 優史, クルックス管プロジェクトと新規放射線教育コンテンツの紹介 (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 (招待講演)
 - 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- (招待講演)
 - 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 (依頼講演)
 - 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～ (招

待講演)

- 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 (招待講演)
- 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 (招待講演)

- The 2nd Joint Symposium on Advanced Mechanical Science & Technology (Nakamozu, 28th Nov. - 1st Dec., 2018), D.D. Khiem, H. Ando, M. Akiyoshi, Investigation of low energy X-ray radiated from Crookes tube used in radiological education (Poster).
- 3rd International Conference on Dosimetry and its Applications(ICDA-3)(Lisbon, Portugal, 27-31 May 2019),
 - ・Masafumi Akiyoshi, Do Duy Khiem, Ryoichi Taniguchi, Hiroto Matsuura, Measurements of low energy X-rays radiated from Crookes tubes in education field by using radiophotoluminescence dosimeter (Oral).
 - ・ Do Duy Khiem, Hirokazu Ando, Masafumi Akiyoshi, Transmission properties of X-ray radiated from Crookes tube used in Teaching of Science through shielding materials (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)
 - ・ Masafumi Akiyoshi, Kenji Yamamoto, Spectrum estimation of low-energy X-rays radiated from Crookes tube using Peltie type cloud chamber(Poster).
 - ・ Do Duy Khiem, Masaya Yashiki, Hiroto Matsuura, Masafumi Akiyoshi, Measurement of Dose Distribution from a Crookes Tube Using TL Dosimeter(Poster).

- 放射線教育フォーラム 愛知・岐阜・三重地区 新年勉強会 (2019年1月5日、名古屋大学), 秋吉 優史, 関西地区における放射線知識普及活動の紹介.
- 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
- 全国中学校理科教育研究会 (2019年8月8-9日、ホテルメトロポリタン秋田), 秋吉 優史, クルックス管プロジェクトの成果紹介に関するブース展示
- 日本原子力学会 2019年秋の大会 (2019年9月11-13日、富山大学), 秋吉 優史, 高い漏洩線量を示すクルックス管に対する放射線安全管理

大規模放射線施設を利用した原子力人材育成(4)

大阪府立大学放射線研究センター 谷口良一*、岡本賢一、坂元仁、伊藤憲男、秋吉優史、
宮丸広幸、小嶋崇夫、松浦寛人、古田雅一

(*本研究に関する連絡先：電話（内線）4293、メール tan@riast.osakafu-u.ac.jp)

【はじめに】放射線研究センターでは、文科省の原子力人材育成事業として「大規模放射線施設を利用した人材育成事業」を平成 26 年度から開始した。本事業はコバルト照射プールを利用して高線量下の水中作業の経験を積んだ人材を育成することが目的である。一昨年度からは、工学研究科の集中講義「量子放射線計測演習」として大学院のカリキュラムとなった。

【研修】

研修は 2 日間の日程で行い、放射線安全教育、放射線計測等の講義を行った後に、水中での放射線分布測定、水中での画像計測とカメラの放射線損傷実験、非密封放射線施設を利用した表面汚染の測定、徐染等の実験を行った。

【事後評価】

表 1 に、ここ 6 年間の参加人数の推移を示す。初年度は FS（フィージビリティスタディ）であることから学外者は受講していない。また原子力人材育成研修は 2017 年度で終了し、その後は工学研究科の集中講義「量子放射線計測演習」に移行している。また 2019 年度は申込者数である。

2018 年度末の、最終評価では、

- ・大学が有する大線量コバルト 60 線源などを利用し、学生や大学院生だけでなく、他大学の学生や企業技術者への研修環境を整備し、安全に専門家以外でも実験や研修ができるようにした点が評価できる。
- ・本事業による研修が平成 28 年度から大学の正式なカリキュラムとして認められ平成 30 年度以降も同様の内容で実施されている点は、継続性の観点から評価できる。

という評価があり、総合評価は

A:計画以上の優れた成果があげられた。

であった。ただし、ヒアリングでは、放射線を専攻しない学生の受講者数が少ないという点が指摘された。皮肉なことに、その後、表 1 のように放射線を専攻しない学生の受講者数は急増している。

表 1 人材育成の参加者

年度	科目	一般企業	放射線を 専攻する学生	放射線を 専攻しない学生
2014	人材育成(FS)	0名	8名	12名
2015	人材育成	4名	13名	2名
2016	人材育成	6名	14名	5名
2017	人材育成	6名	28名	4名
2018	量子放射線計測演習	4名	7名	12名
2019	量子放射線計測演習	4*名	4*名	15*名

*印：申込数

さくらサイエンスプラン(S2018F0531393)報告書 (Report on Japan-Asia Youth Exchange Program in Science)

National Univ. of Laos (ラオス国家大学) Lemthong Lathdavong

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.: S2018F0531393) was held from 1 to 6 October 2018 at Organization for Research Promotion, Osaka Prefecture University. Eight students and two teachers from Faculty of Natural Science, National University of Laos took part in the program.

In this program, students took classes on the basic concepts of nano-technology, radiation and radioactivity, and cryogenics and superconductivity. They also did experiments of photolithography and ion-beam etching in the clean room, and that of cloud chamber. They visited the Co60 radiation facility at Radiation Research Center. They also visit Center for Advanced High Magnetic Field Science, Osaka University. Through this program, the participants had the opportunity not only to learn the advance 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. M. Hagiwara's kind explanations on the facilities in Center for Advanced High Magnetic Field Science, 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/report2018/k_vol244.html

Fig. 1. Setting samples at the ion-beam etching equipment in the clean room.



さくらサイエンスプラン(S2018F0831571)報告書
(Report on Japan-Asia Youth Exchange Program in Science)

ダラット大学 Dang Lanh

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 2018 Sakura Exchange Program in Science was held from 25 Feb. 2019 to 2 Mar. 2019 at Osaka Prefecture University, Sakai, Japan with 7 participants of the Nuclear Engineering Faculty, Dalat University, Vietnam: Dang Lanh, Le Thi Ha Lan, Doan Phan Thao Tien, Duong Nhat Minh, Phan Thanh Son, Thai Bao Dang Khoa, Woong Vinh Phu.

The Sakura Exchange Program in 2019 is a valuable and rewarding opportunity for the fourth year students of 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.

Lastly, I would like to express my gratitude to Professor Dr. Matsuura for his dedicated help not only at scientific work but also in daily life in Japan. I would also like to thank the President of Osaka Prefecture University, Sakai for his kind support, and the Japanese professors who enthusiastically taught and trained us on advanced Japanese scientific and technical knowledge.

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/sakura3/ssp-2018.pdf>

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

日時：2019 年 11 月 5 日（火）9:00 - 17:45

場所：大阪府立大学 C 1 3 棟講堂

プログラム

- 9:00 開会のあいさつ 研究推進機構長 山手丈至
- 9:10 - 10:10 [生物効果 1] 座長：川西優喜（阪府大院理）
- 9:10 X 線誘発 DNA2 本鎖切断修復動態における DNA ligase IV 阻害効果
平戸結佳子、白石一乗、児玉靖司（阪府大院理）、田村志宣（和歌山県立医科大血液内科）
- 9:25 マウス神経幹/前駆細胞における遅延性染色体転座生成と X 線被ばく時年齢との関係の解明
中村月覇、白石一乗、児玉靖司（阪府大院理）、坂口健太（近大病院放射線科）
- 9:40 ライブセルイメージングを利用した X 線誘発小核の運命追跡
湯川瑠夏、白石一乗、児玉靖司（阪府大院理）、杉本憲治（阪府大院生命）
- 9:55 染色体移入を用いた被ばく染色体による転座形成の新しい検出系の構築
戸田邦彦、白石一乗、児玉靖司（阪府大院理）
- 10:10 - 10:20 休憩
- 10:20 - 11:20 [生物効果 2] 座長：白石一乗（阪府大院理）
- 10:20 環境試料を用いた変異型ヒト糖質コルチコイド受容体発現酵母の有用性の評価
大西穂波、原島小夜子、川西優喜、八木孝司（阪府大院理）
- 10:35 本邦の大腸がん患者から単離されたコリバクチン産生大腸菌が誘発する遺伝毒性の評価
植嶋亜衣、久富優太、小田美光、下原千昌、八木孝司、川西優喜（阪府大院理）恒松雄太、
佐藤道大、平山裕一郎、渡辺賢二（静岡県立大薬）、三好規之、
吉川悠子（静岡県立大）、岩下雄二、梶村春彦（浜松医大医）、武藤倫弘（国立がん研究セ）、石
川秀樹（京都府立医大医）、若林敬二（静岡県立大）
- 10:50 Using gamma rays for inactivation of fungi from contaminated Japanese old books and
documents damaged by floods
Nguyen Thị Thùy Linh、古田雅一（阪府大院工）、久米田裕子（大阪衛生協会）、松下正和、
吉川圭太（神戸大）、天野真志（国立歴史民俗博）、内田俊秀（京都造形芸術大）、
藤田和久（産業創成大）、酒井浩一（里灯都）
- 11:05 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
傳大輝、普天間章、阪井俊夫、前田伸彦（阪府大院工）、坂元仁、土戸哲明、
古田雅一（阪府大研究推進）
- 11:20 - 11:30 休憩
- 11:30 - 12:00 [教育、宇宙] 座長：宮丸広幸（阪府大研究推進）
- 11:30 学校教育現場における放射線安全管理体制の確立
秋吉優史、松浦寛人（阪府大研究推進）、Do Duy Khiem、安藤太一（阪府大院工）、
山口一郎（保健医療科学院）、橋本周（JAEA）、飯本武志（東大環境安全）、
小鍛冶優（福井県志比小）、森山正樹（札幌白石中）、前田勝弘（長崎大付属中）、
若松巧倫（ケニス）、増子寛（島津理化）、田中隆一、宮川俊晴（放射線教育フォーラム）
- 11:45 超小型衛星「ひろがり」ミッション部における展開板構造物用テープヒンジのガンマ線照射後の
強度評価
勝又暢久、樋口健、林夏澄、橋本真之介（室蘭工業大）、○小木曾望、前田紘孝、
飯田輝澄（阪府大院工）

- 12:00 – 13:15 昼休み
- 13:15 – 14:10 【特別講演】 座長：松浦寛人（阪府大研究推進）
- 13:15 古墳と放射線
谷口良一（阪府大研究推進）
- 14:10 – 14:20 休憩
- 14:20 – 15:20 【放射線計測】 座長：秋吉優史（阪府大研究推進）
- 14:20 高線量ガンマ線場における照射効果のリアルタイム計測
大和直樹、宮丸広幸、小嶋崇夫、谷口良一（阪府大院工）
- 14:35 ホウ素吸収材によるエネルギーフィルタリングを利用した中性子計測法の開発
磯部祐太、中西健太、宮丸広幸、小嶋崇夫、谷口良一（阪府大院工）
- 14:50 MAPMT を用いた中性子束のエネルギー群別測定法の開発
中西健太、磯部祐太、宮丸広幸、小嶋崇夫、谷口良一（阪府大院工）
- 15:05 大線量放射線モニターのための半導体プリアンプの試作
史豊銓、小嶋崇夫、谷口良一（阪府大院工）
- 15:20 – 15:30 休憩
- 15:30 – 16:30 【クリーンルーム】 座長：津久井茂樹（阪府大研究推進）
- 15:30 1分子制御化学に向けたアトリットル液滴のハイスループット作製と操作
川岸啓人、許岩（阪府大院工）
- 15:45 高 Q 値シリコンナノ共振器を用いた抗原抗体反応
保田賢志、高橋和（阪府大院工）
- 16:00 キラル結晶 Te の非相反電気輸送特性
塩田航平、宍戸寛明、戸川欣彦（阪府大院工）、青木瑠也、小林夏野（岡山大学大異分野研）
- 16:15 多重量子井戸構造を有する半導体 InGaAs/GaAsSb へのガンマ線照射効果
五月女瑞貴、川又修一（阪府大院工）
- 16:30 – 16:40 休憩
- 16:40 – 17:40 【材料効果】 座長：川又修一（阪府大研究推進）
- 16:40 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
鷹野陽弘、岩瀬彰宏、堀史説（阪府大院工）、和田武、加藤秀実（東北大金研）、斎藤勇一、石川法人（原子力機構）、徐虬（京大複合研）
- 16:55 γ 線照射還元による Cu 系合金ナノ粒子の合成制御におけるイオン濃度効果
内村祐也、山田智子、戸田晋太郎、松井利之、田中慎吾、田口昇、堀史説（阪府大院工）、徐虬、阿倍尚也（京大複合研）
- 17:10 高エネルギーガンマ線を用いた対生成陽電子による陽電子消滅測定法の開発
杉田健人、梅澤憲司、堀史説（阪府大院工）、宮本修司、寺澤倫孝（兵庫県立大高度研）
- 17:25 透明ガラスへのイオン注入法によるナノ構造体合成と光吸収特性
山田智子、鷹野陽弘、杉田健人、岩瀬彰宏、堀史説（阪府大院工）、前川雅樹、河裾厚男（量研機構高崎）
- 17:40 閉会のあいさつ 放射線研究センター長 谷口良一

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*

(*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 2018~2019 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 29 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 29 年度共同利用報告会
(2018 年 11 月 27 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

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	0.2~0.5	
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。

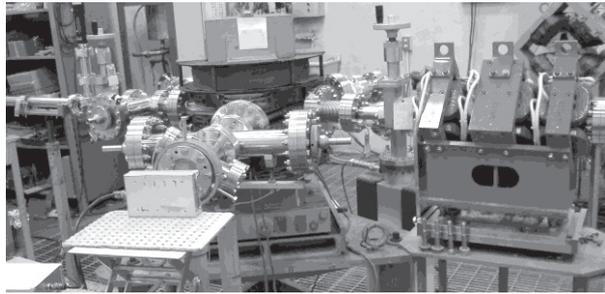


図3 電子線形加速器（OPU ライナック）

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）

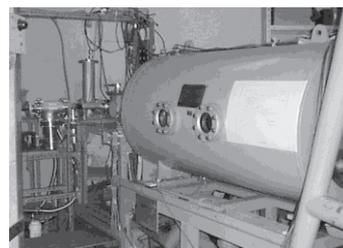


図 4 低エネルギー電子線照射装置

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（ダウンフロー方式）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。

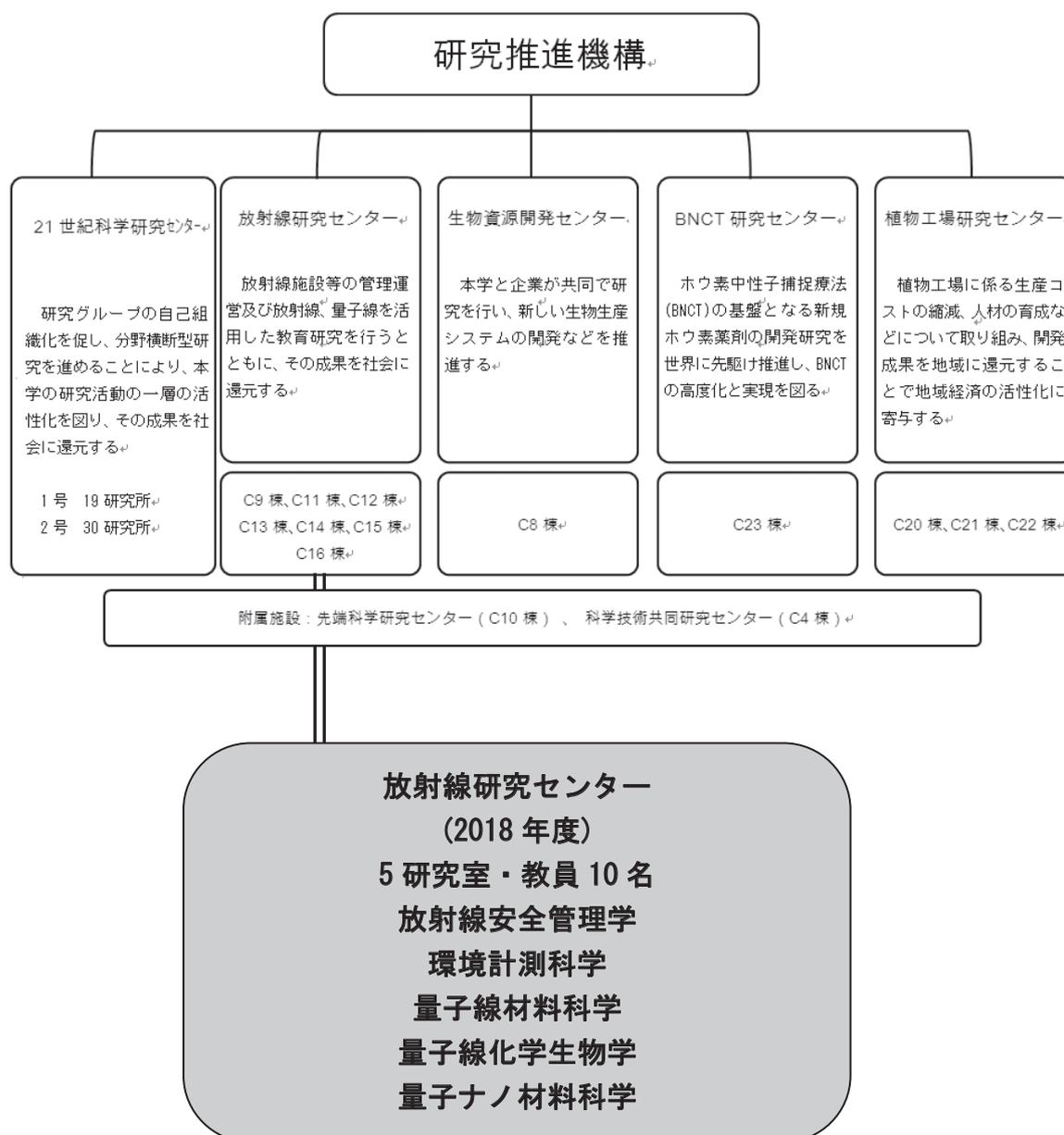
<http://www.riast.osakafu-u.ac.jp/>



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。



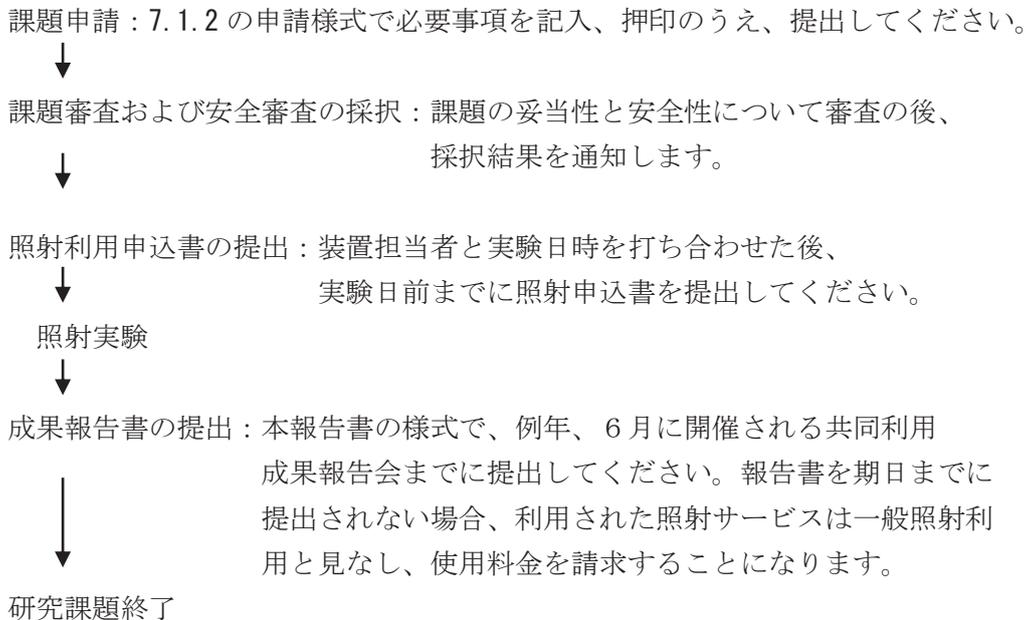
7. 放射線照射施設利用のてびき

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
生装置に放射線発による場合	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（2018年度）

2018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ン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

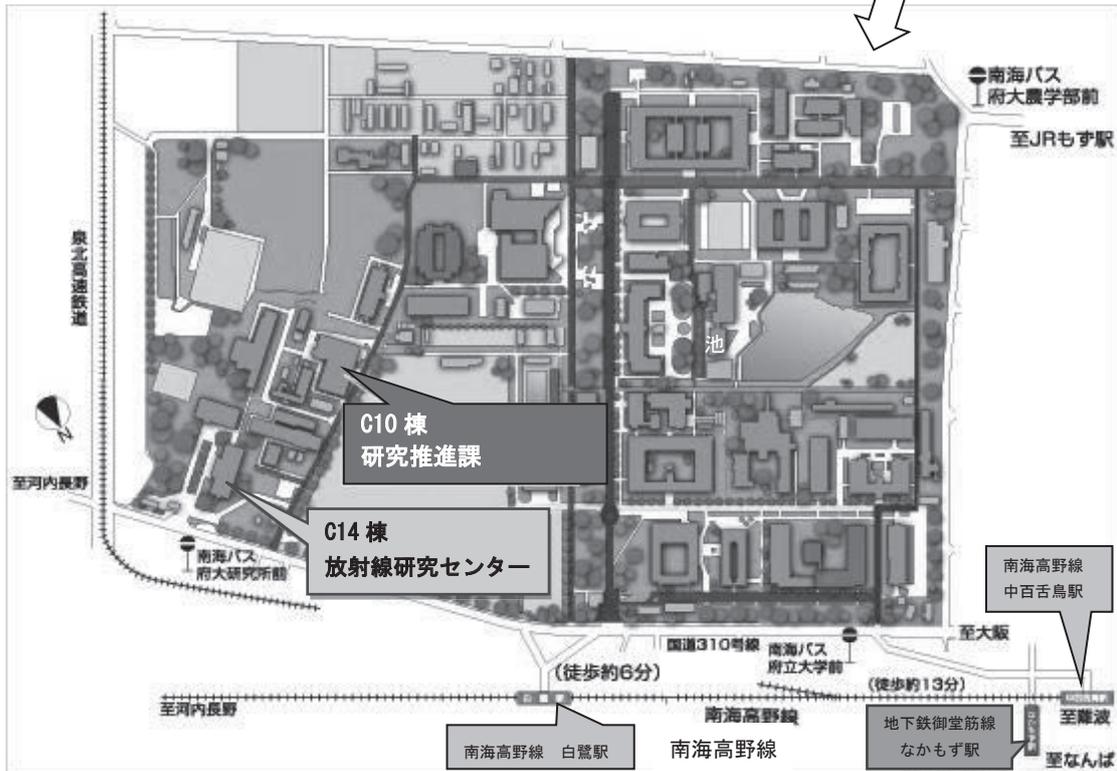
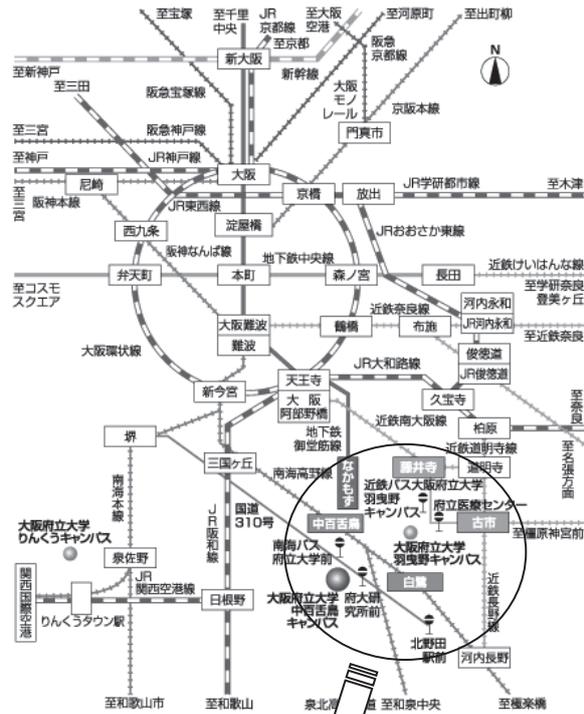
〒599-8570

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
2017(平成 29)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