

平成29年度
放射線施設共同利用報告書

平成31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 29 年度
放射線施設共同利用報告書

平成 31 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

当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、学内の共同研究をはじめ、学外の大学や企業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16冊目となります。

現在のセンター教員10名は、物理、化学、生物、工学など広い分野で、施設を活かした特徴ある研究を行ってきました。これに加えて2013年度からは、大学院工学研究科に「量子放射線系専攻」が新設され、大学院教育も担当しています。さらに当センターでは、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きました。2012-2014年度に文部科学省原子力人材育成事業「地域に根付いた放射線施設活用による関西連携指導者人材育成」、2014-2017年度に「大規模放射線施設を利用した人材育成」事業等を行い、原子炉廃炉等に係る学生、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。これらの活動が放射線施設を独創的かつ有効に利用して社会に貢献したものであるとして2018年9月には、大学等放射線施設協議会から第2回森川記念賞を贈呈されました。これ以外にもセンターでは今年で35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。

私たちセンターの教職員は今後とも、これらの活動を継続し当施設を広く利用していただけるように願っています。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、よろしくご協力をお願いしたいと思います。

2018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29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
(阪府大地域連携) 谷口良一、宮丸広幸、小嶋崇夫	
2) 水中チェレンコフ光を利用した線源の強度推定・・・・・・・・	2
(阪府大地域連携) 谷口良一、矢羽多秀高、伊藤憲男、宮丸広幸、小嶋崇夫、岡本賢一	
3) ホウ素吸収材と光ファイバーを用いた熱・熱外中性子束の計測・・・・・・・・	3
(阪府大院工) 山本雄大、宮丸広幸、小嶋崇夫、谷口良一 (阪大院工) 村田勲	
4) 大線量ガンマ線源位置測定のための水中線量モニタリング・・・・・・・・	5
(阪府大院工) 宮丸広幸、小嶋崇夫、谷口良一	
5) InGaP 太陽電池を用いた線量計の変位損傷量法を応用した線量補正手法・・・・・・・・	6
(原子力機構) 奥野泰希 (宇宙航空研究開発機構) 今泉充 (阪府大院工) 秋吉優史	
6) 電子線照射 InGaP 太陽電池の光照射による回復効果・・・・・・・・	7
(宇宙航空研究開発機構) 柴田優一、今泉充 (阪府大院工) 秋吉優史、奥田修一 (量子科学技術研究開発機構) 佐藤真一郎、大島武	
7) アルコール添付によるアルゴンプラズマジェットへの影響・・・・・・・・	9
(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、松井良樹 (京大エネルギー理工学研) 門信一郎	
8) Zr 基金属間化合物への粒子線照射効果による微細構造変化・・・・・・・・	10
(阪府大院工) 鷹野陽弘、堀史説、岩瀬彰宏 (東北大金研) 和田 武、加藤秀実 (量研機構高崎) 斎藤勇一 (京大複合研) 徐虬	
9) B2 型金属間化合物の水素捕獲に対する粒子線照射効果・・・・・・・・	12
(阪府大院工) 角倉優雅、金野泰幸、岩瀬彰宏、堀史説 (京大炉) 徐虬 (九大応力研) 大澤一人	
10) γ /X 線照射によるベータ崩壊核種の短寿命化・・・・・・・・	14
(阪府大研究推進) 谷口良一、白井志樹、伊藤憲男、岡本賢一、小嶋崇夫、宮丸広幸	
11) 照射還元法により合成した Cu 系合金ナノ粒子の微細構造と安定性に関する研究・・・・・・・・	15
(阪府大院工) 堀史説、田中元彬、戸田晋太郎、岩瀬彰宏 (産総研) 田口昇、田中真悟 (府大推進機構) 松井利之 (京大複合研) Xu Qiu	
12) 照射還元貴金属ナノ粒子合成における担体へのイオン吸着効果・・・・・・・・	17
(阪府大院工) 堀史説、谷真海、田中元彬、戸田晋太郎、岩瀬彰宏 (東北大金研) 水越克彰 (京大複合研) Xu Qiu	

13)	塗布型有機半導体デバイスの光電特性評価と高性能化	19
	(阪府大院工) 永瀬隆、小林隆史、内藤裕義	
14)	圧電素子および電界効果トランジスタの作製	20
	(阪府大院工) 荒牧正明、一宮永、藤村紀文	
15)	外来極性分子による電極/有機半導体界面における電荷注入障壁スイッチング	22
	(阪府大院工) 野内亮	
16)	親水/疎水ナノパターンニング法による1分子液滴の大量作製	23
	(阪府大院工) 川岸啓人、川又修一、許岩	
17)	イオンビームを用いたBSCCO単結晶アンチドットの作製と磁束分布観測	25
	(阪府大院工) 三宅晴也、川又修一、藤次真幹、二ノ宮由嗣、宍戸寛明、石田武和	
18)	CMOS互換プロセスを用いたナノ共振器シリコンラマンレーザーの実証	26
	(阪府大院工) 安田孝正、高橋和	
19)	分子線エピタキシー法によるトポロジカル近藤絶縁体人工超格子の作製	27
	(阪府大院工) 幸塚祐哉、宍戸寛明、戸川欣彦 (阪大先端強磁場) 田原大夢、鳴海康雄、木田孝則、萩原政幸	
20)	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	29
	(阪府大研究推進) 松浦寛人、坂元仁 (阪府大院工) 松井良樹、トラントラングエン (京大エネルギー理工学研) 門信一郎	
21)	ガンマ線照射下の模擬地下水環境中での各種金属材料の電気化学特性	30
	(阪府大院工) 井上博之、湯川卓司 (阪府大研究推進) 小嶋崇夫	
22)	量子線化学生物学グループにおける殺滅菌関連研究の動向	31
	(阪府大研究推進) 古田雅一	
23)	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経験とした照射食品検知法の開発	32
	(阪府大院工) 石川悦子、藤山貴友、古田雅一 (大阪健康安全基盤研究所) 福井直樹、高取聡、藤原拓也、北川陽子、梶村計志	
24)	セレギリン塩酸塩ならびに関連物質のモノアミントランスポーターへの親和性および再取り込み阻害活性	34
	(エフピー株式会社) 西村哲也、塚本由夏、杉本潤哉、ト部和則、高畑和恵 (阪府大院理) 川西優喜、八木孝司	
25)	出芽酵母における重金属の毒性評価とその原因の調査	35
	(阪府大院理) 西村元志、原島小夜子、川西優喜、八木孝司	
26)	放射線や生体影響物質に応答する酵母レポータージーンアッセイの創出	36
	(阪府大院理) 八木孝司	
27)	マウス細胞のがん化によるDNA修復遺伝子の段階的な発現低下	37
	(阪府大院理) 馬場亮、川西優喜、八木孝司	
28)	オオミジンコの幼若ホルモンおよび脱皮ホルモン受容体発現酵母を用いたレポーターアッセイ系の確立	38
	(阪府大院理) 佐野恵梨花、高田英治、原島小夜子、川西優喜、八木孝司	

29)	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(Ⅲ)	39
	(阪府大高等教育) 宮本健助	
30)	蛍光分光光度法を用いたオリゴヌクレオチド鎖の損傷評価	41
	(福井大学) 泉佳伸、松尾陽一郎 (阪府大研究推進) 小嶋崇夫	
31)	サワシロギクにおける蛇紋岩適応への微生物の作用	43
	(阪府大院理) 真鍋遼、西野貴子 (阪府大研究推進) 小嶋崇夫	
32)	UV 架橋コラーゲンをを用いたマウス神経幹細胞/前駆細胞と血管内皮細胞の共培養	45
	(阪府大院理) 白岩侑馬、森英樹、原正之	
33)	エラスチンの架橋反応を利用したバイオマテリアルの開発	46
	(九工大院) 前田衣織	
34)	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	47
	(阪府大院理) 戸田邦彦、西田一貴、白石一乗、児玉靖司	
35)	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	48
	(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	
36)	クルックス管プロジェクトの進捗状況	49
	(阪府大院工) 秋吉優史、松浦寛人、安藤太一、Do Duy Khiem、山本堅士、屋敷昌也、 谷口良一、宮丸広幸	
37)	Investigation of Low Energy X-ray Radiated from Crookes Tube Used in Radiological Education	54
	(阪府大院工) Do Duy Khiem, Hirokazu Ando, Masafumi Akiyoshi	
38)	霧箱を用いた低エネルギー X 線スペクトル評価	55
	(阪府大院工) 山本堅士、Do Duy Khiem、秋吉優史	
39)	BaF2 シンチレータを用いたクルックス管からのパルス状低エネルギー X 線の測 定	56
	(阪府大院工) 安藤太一、Do Duy Khiem、秋吉優史	
40)	大規模放射線施設を利用した原子力人材育成 (3)	59
	(阪府大研究推進) 谷口良一、岡本賢一、山本雄大、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	
41)	原子力人材育成事業非密封放射性同位元素の取り扱いと除染実習	60
	(阪府大研究推進) 伊藤憲男、岡本賢一、坂元仁	
42)	さくらサイエンスプラン(S2017F0421192) 報告書 (Report on Japan-Asia Youth Exchange Program in Science	62
	(ダラット大学) Le Viet Huy, Nguyen An Son (阪府大研究推進) 松浦寛人	
43)	第 3 回ダラット大学・大阪府立大学合同シンポジウム	63
	(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	65

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・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・	67
	(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・・・・	68
1	コバルト 60 ガンマ線照射施設	68
2	高エネルギー電子線照射施設	69
3	低エネルギー電子線照射施設	70
4	非密封放射線施設および、その他の照射施設	70
5	クリーンルーム施設	71
6	放射線研究センター組織	72
7	放射線照射施設利用のてびき	73
8	クリーンルーム施設利用状況 (2017 年度)	76
9	連絡先	78

注)

○過去 2004(平成 16)年度以降、2016(平成 28)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/index.html>

研究成果タブを選択してください。

放射線研究センター施設の現状

大阪府大地域連携 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】

2017年度のライナック運転時間は120時間であった。昨年度は、初めて運転時間が0時間となったが、本年度は若干回復している。ただし、利用テーマは、Laの照射、遮へい材料の開発等であり特定の分野に限られている。

【コッククロフトウオルトン電子線加速器】

2017年の運転時間は約142時間であった。前年の79時間に比べて増加している。主として宇宙機器用の太陽電池の照射試験およびその応用研究に使用している。

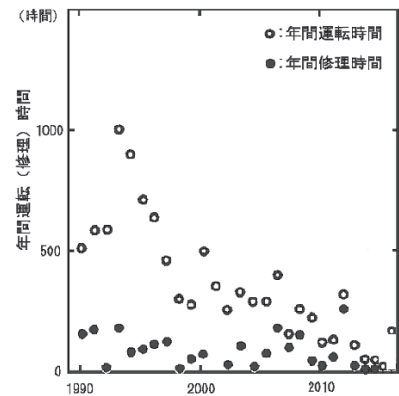


図1 ライナック年間運転時間の推移

図1 ライナックの運転時間の推移

【コバルト 60 照射施設】

2016年度のコバルト利用の状況を表1に示す。学外、学内ともに利用は減少傾向にある。

照射利用の用途として学内では、生物関係が多く、食品照射、細胞照射、

殺菌、滅菌の研究などがあげられる。その他には高分子材料の照射、放射線環境下の金属の腐食の研究等がある。学外では、放射線検出器の特性試験、通信機器等の電子機器の照射試験、光ファイバー等の耐放射線試験などがあげられる。

2014年度末から本年度まで文科省の委託事業として「大規模放射線施設を利用した原子力人材育成事業」が実施された。その結果、水中照射機器、水中放射線検出器、水中カメラ等が整備された。また放射線安全管理対策として、大画面表示の環境放射線モニターが6台設置され、コバルト60照射プールの上面にシャッターが設置され安全性が向上した。

2017年の法令改正に伴い、2019年秋までに大規模放射線施設の防護措置の強化が求められている。コバルト施設は国内有数の大規模施設であることから最大限の防護措置が要求された。ただし線源棟には加速器をはじめとした実験設備も多くあり、研究、教育での利用に制限がかかることを危惧している。そこで法令に準拠した安全設備の強化を計画した上で、規制当局と交渉の結果、コバルト照射プールおよび第4照射室の立ち入りは制限されるが、その他の施設に関しては従来どおりの利用形態が認められた。ただし、照射プールを用いた実習、見学などは、来年度から制限されることになる。

表1 コバルト 60 照射施設の利用状況

	2017年度照射時間合計	2016年度照射時間合計
学内利用	1 6 1 7時間	1 9 7 6時間
学外利用	3 6 9時間	6 9 7時間

水中チェレンコフ光を利用した線源の強度推定

阪府大放射線研究センター 谷口良一*, 矢羽多秀高、伊藤憲男、宮丸広幸、
小嶋崇夫、岡本賢一

(*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] 水中における放射線の計測は、水による遮へい効果のため遠隔測定が困難であり、これまで測定に多大の時間を要してきたが、チェレンコフ光画像を用いることで、短時間に2次元計測が可能となる。以下では、水中カメラによるチェレンコフ光の測定と、これによる線源強度の推定法について紹介したい。

[実験] 図1に水中実験体系の概略を示す。コバルト60照射プールに、高感度カメラ、放射線検出器、レーザー距離計等を沈め、これらを遠隔操作が可能な移動ステージに載せ、線源との距離を変化させることで実験を行う。図1右のように、水中に設置された線源は周囲にチェレンコフ光を伴う。この光の分布と水中での放射線の分布の関係を求めた。実験では2台の移動ステージを用い、それぞれ、高感度カメラと放射線検出器を設置し、水中での放射線の強度分布とチェレンコフ光の分布を測定した。線源の背後には、標準光源として白色ダイオードを設置し、光度の測定の基準として用いた。

図2に、様々な線源とチェレンコフ光分布の積分値の関係を示す。図のように両者は良好な線形関係を示している。このことはチェレンコフ光強度

を測定することで、遠隔で線源の強度が推定可能であることを示している。但し、この応答は線源強度がゼロの時点でもゼロになっていない。これが現時点での検出感度の限界を示している。

本研究の一部は、文部科学省の「大規模放射線施設を利用した人材育成」事業による。

[本研究に関する研究発表]

「水中チェレンコフ光を利用した線源の強度推定」、谷口良一、矢羽多秀高、伊藤憲男

宮丸広幸、小嶋崇夫、岡本賢一、平成30年度非破壊検査に関する研究発表会(2018年8月、大阪)

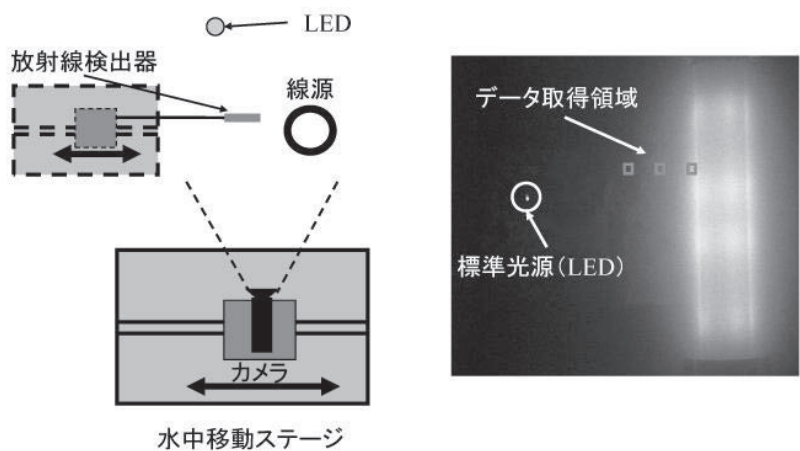


図1 水中チェレンコフ光測定体系と水中放射線計測

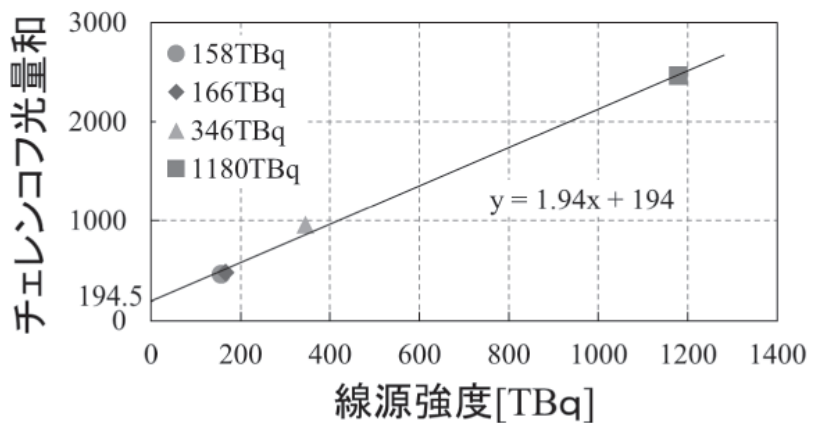


図2 線源強度とチェレンコフ光量和の関係

ホウ素吸収材と光ファイバーを用いた熱・熱外中性子束の計測

阪府大院工 山本雄大, 宮丸広幸, 小嶋崇夫, 谷口良一
 阪大院工 村田勲

(*本研究に関する連絡先: 電話 (内線) 4231、メール mb106006@riast.osakafu-u.ac.jp)

1. はじめに

今日、加速器によるがん治療法であるホウ素中性子捕捉療法(BNCT)の実現に向けて、様々な開発プロジェクトが進んでいる。加速器中性子源からの中性子束分布は、原子炉のものとは大きく異なり、治療に使われる熱外中性子だけではなく、高速成分、熱成分が含まれているため、患者の被ばく低減の目的から、中性子束分布を精度よく評価する必要がある。しかし、通常は中性子のエネルギー成分ごとの測定は困難である。そこで、本研究ではホウ素減速材と荷電粒子用シンチレータならびに光ファイバーを用いて中性子束分布計測を行う。

2. 方法

本研究で開発する検出器の原理を説明する。ホウ素の同位体であるホウ素 ^{10}B は中性子吸収材として使われており、中性子が入射すると大きな反応断面積により核反応を起こして α 線を放出する。この特性を利用し、厚みの異なる複数の窒化ホウ素材に中性子を通過させることで、熱、熱外、高速の3つの成分の寄与を大まかに分離できることが、モンテカルロシミュレーション計算コード PHITS を用いたシミュレーション計算でわかっている。核反応による α 線を銀活性硫化亜鉛 ZnS(Ag) シンチレータで計測することで、アルファ線の収量と吸収材厚みの関数からそれぞれの中性子束量を推定する。また、高線量のガンマ線の影響などを低減するため、シンチレータ光は光ファイバーで伝送して遠く離れた位置に設置された光電子増倍管にて光検出する。

3. 実験と結果

まず、原理の検証のため PHITS を用いた中性子輸送計算と検出器の設計を行った。計算では円柱型の窒化ホウ素を構成し、底面と垂直な方向から中性子束を入射させ、出口側での窒化ホウ素による中性子束の透過率に、エネルギー群の平均断面積を乗じたものを反応率として算出した。図 1 に計算結果をまとめた。縦軸が反応率、横軸が窒化ホウ

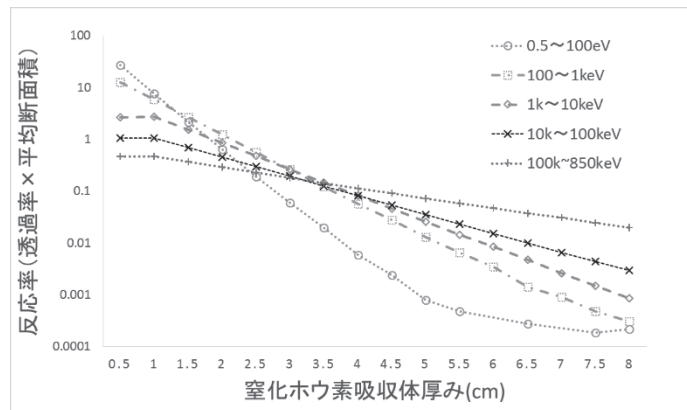


図 1 窒化ホウ素厚みと中性子エネルギー群ごとの反応率。縦軸が反応率、横軸が窒化ホウ素厚みであり、熱外、高速中性子束を5つのエネルギー群グラフである。高速群では厚みの変化に対する反応率の低下が緩やかだが、熱外群は反応率が急激に低下している。これより、窒化ホウ素の厚みによっておおまかに熱外、高速中性子成分を分離して算出することが出来た。

次に、計算をもとに、大阪大学にて Am-Be 中性子線源を用いた信号計測を行った。底面 1.0m×1.0m、高さ 0.8m の直方体黒鉛ブロックの中に線源を挿入し、検出器との間に 30cm の黒鉛ブロックを設け、吸収体の厚みを変化させながら計数率を測定した。結果は図 2 のようになった。縦軸が計数率、横軸が使用した吸収体の厚みである。吸収体を入れた場合と入れない場合とで計数率に差がある事から、低エネルギーの中性子束成分を分離することが出来た。

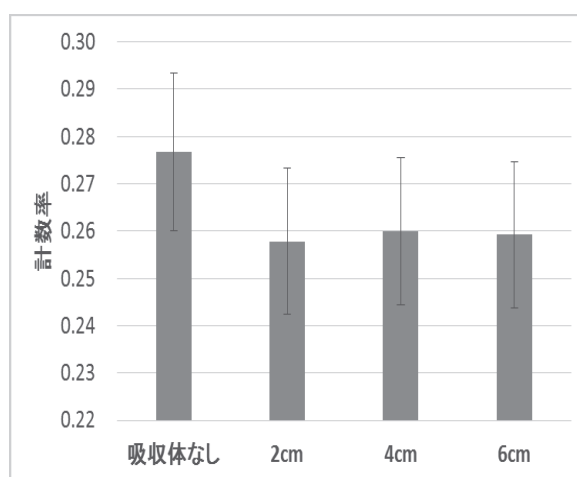


図 2 厚みの違いによる計数率の変化

4. 本研究に関する研究発表

- 1) 第 55 回アイソトープ・放射線研究発表会 「ホウ素吸収材と光ファイバーを用いた熱・熱外中性子束の計測」(東京・2018)

大線量ガンマ線源位置測定のための水中線量モニタリング

大阪府立大学大学院工学研究科 宮丸広幸, 小嶋崇夫, 谷口良一

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

1. はじめに

大線量コバルト 60 線源を所有する本学では, これを利用した照射業務や実験が常日頃行われている。この線源は水中で最大 50 kGy/h の線量率での照射が可能であり, 線源の使用や保管でもより安全な取扱いが求められている。そこで本研究では線源の不適切な取扱い等を水中にて検知し予防することを目的として, 水中保管されている線源の位置とその移動の様子をリアルタイムでモニタリングする計測システムの開発を行った。

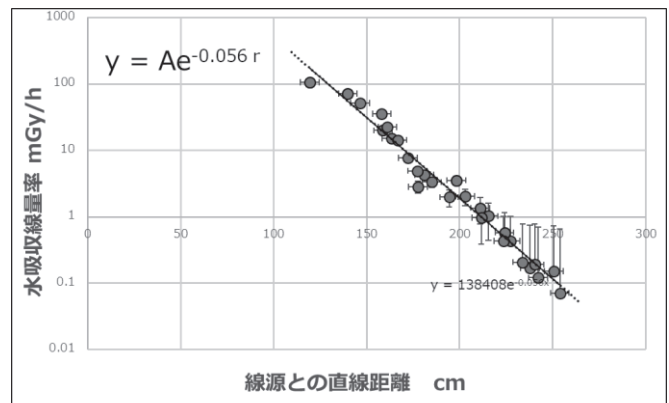
2. 実験と結果

2.1. 装置概要

水中線源からのガンマ線を計測するセンサー部には 1 cm×1 cm×3 cm の CsI(Tl) 結晶を用いた。これに集光レンズを取り付け, 全体をシールし遮光と防水処理を行った。ガンマ線応答によるシンチレーター光は長さ約 10 m, コア径 2 mm のアクリル製光ファイバーを通してプール外の光電子増倍管に伝送され, 発光量に比例した電圧出力を得る。この出力は電離箱により同環境で測定された照射線量率と対応付けがなされ, 最終的に出力値を水吸収線量率に変換して評価できる。

2.2. 線源プールでの実験

実験では長いパイプをプール内部に垂直に設置し, 異なる深さに 2 つのセンサーを固定した。線源位置を固定したままで, このパイプをプール内部で上下や左右に移動させることで, 相対的な線源位置の変化を模擬した。実験で使用したコバルト 60 線源の強度は 1.8 PBq であった。右図に示すように線源とセンサーとの直線距離に応じて指数関数的に線量率が変化することが確認できた。これにより水中の線源位置を線量率測定から評価できた。特にセンサーに近づく方向ではおよそ 2 cm のごくわずかな位置の変化も計測できることが分かった。また, 線源が水面方向へ上昇するような事態を想定した上方向の変化に対しても, 2 つのセンサーの応答の比較により水平移動と区別できた。



線源-検出器間距離と水吸収線量率の関係

本研究に関する研究発表

「Development of intense gamma-ray source monitoring system in water for radiation safety」 Miyamaru *et al.*, ISORD-9 (Jul. 2017, Nagoya)

「大線量ガンマ線源位置測定のための水中線量モニタリング」 宮丸広幸, 他
2018年日本原子力学会春の年会 (2018年3月, 大阪)

InGaP 太陽電池を用いた線量計の変位損傷量法を応用した線量補正手法

原子力機構 奥野泰希*
 宇宙機構 今泉充
 阪府大院工 秋吉優史

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

太陽電池は、放射線を照射すると、電流が発生する[1]。この電流は、線量率に応じて直線的に増加するため、太陽電池を応用した線量計の開発が進められている。先行研究において、太陽電池式の線量計は、高レベル放射線環境における線量を測定することが可能であるが、測定する放射線による損傷で検出器特性が劣化することが知られている[2]。本研究では、宇宙用3接合型太陽電池のトップサブセルとして使用されている InGaP 太陽電池を用いて線量測定を行い、その際に生じる検出器劣化を、宇宙用太陽電池の劣化予測手法により補正する手法を報告する。

図1は、400 keV 電子線照射時の変位損傷量(DDD)に伴う InGaP 太陽電池の外部量子効率の変化を示している。縦軸は、1電子あたりの電流生成量である。横軸は、宇宙用太陽電池の劣化予測手法である変位損傷量法[3]によって算出された変位損傷量である。四角点は、実験的に測定した量子効率であり、変位損傷量の増加によって、量子効率が低下している。実線は、変位損傷量法による電流劣化予測曲線であり、実験値とよく一致している。この劣化予測曲線を用いて、外部量子効率を補正した結果を、図1中の、黒い星印で示す。黒い点線は、この補正された外部量子効率を最小二乗法によりフィッティング直線であり、宇宙用太陽電池の劣化予測手法を応用した補正により、外部量子効率が一定に保たれていることがわかる。そのため、この補正手法は、長期間の線量計の使用において有用であることが示唆される。

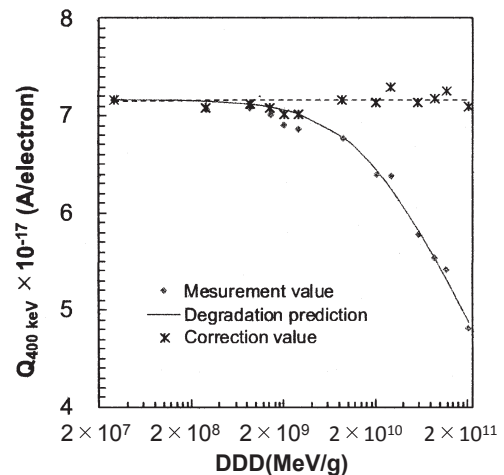


図1. 400 keV 電子線照射時の InGaP 太陽電池における外部量子効率

参考文献

[1] I. R. Edmonds, et al., Phys. Med. Biol., **35**, 571-578 (1990). [2] N. Horiuchi, et al., Nucl. Inst. Meth. A, **385**, 183-188 (1997). [3] Y. Okuno, et al., J. Appl. Phys., **122**, 114901 (2017).

本研究に関する研究発表（原著論文、その他報文、学会等報告）

- 1) [査読有論文]Y. Okuno, et al., “Radiation degradation prediction for InGaP solar cells by using appropriate estimation method for displacement threshold energy,” J. Appl. Phys., **122**, 114901 (2017).
- 2) [学会報告]奥野泰希 他、高放射線耐性 InGaP 太陽電池を用いた線量計測と変位損傷量法による信号補正、2018年 第65回応用物理学会春季学術講演会(早稲田大)、19p-P7-81 (2018).

電子線照射 InGaP 太陽電池の光照射による回復効果

宇宙航空研究開発機構 柴田 優一*、今泉 充
 阪府大研究推進 秋吉 優史、奥田 修一
 量子科学技術研究開発機構 佐藤 真一郎、大島 武

(*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

宇宙用太陽電池において、耐放射線性は特に重要な性能であり、耐放射線性の強化や軌道上放射線劣化予測を正確に行うために放射線照射効果を理解する必要がある。最近、放射線照射した InGaP 太陽電池において光照射による電気特性の回復効果があることがわかった。本研究では、この現象を理解すべく電子線を照射した InGaP 太陽電池への光照射実験を行い、電気特性の回復を調べた。

2. 実験

サンプルは InGaP 単一接合太陽電池で、大阪府立大学放射線研究センターにて加速エネルギー 0.2 および 0.4 MeV、QST 高崎量子応用研究所にて加速エネルギー 1 MeV の電子線をフルエンス 1×10^{15} および $1 \times 10^{16} \text{ cm}^{-2}$ 照射した。光照射においては、電子線照射後のサンプルに模擬太陽光(AM0、1sun)を照射し、時間変化を追跡した。なお、光照射中のサンプルステージ温度は一定に制御し、太陽電池端子間は開放状態とした。また、初期、電子線照射後および光照射後にサンプルの光電流-電圧(LIV)、容量-電圧(C-V)特性をそれぞれ測定した。

3. 考察

電子線フルエンス $1 \times 10^{16} \text{ cm}^{-2}$ 照射セルのステージ温度 60°C での光照射による LIV 変化は、初期値、電子線照射後、光照射後で、開放電圧(Voc)がそれぞれ 1.428 V、1.195 V、1.227 V であり、短絡電流(Isc)がそれぞれ 14.0 mA、12.0 mA、11.9 mA となった。フォトキャリア数(n_{photo} 、Isc 初期値と光照射時間の積とした)と式(1)より求めた光照射前後の欠陥密度比¹⁾の関係を図 1 に示す。 n_{photo} の増大と共に欠陥密度が減少し、欠陥密度の変化は光強度に依存しないことがわかる。即ち、温度を一定として光照射した場合、回復は照射フォトキャリア数のみに依存している。セル端子間開放状態においてフォトキャリアは主に内部で再結合することから、フォトキャリアの再結合が回復に寄与していることを示唆している。

$$\frac{N_{dA}}{N_{d\phi}} = \frac{\exp\left(\frac{V_{oc0} - V_{ocA}}{C}\right) - 1}{\exp\left(\frac{V_{oc0} - V_{oc\phi}}{C}\right) - 1} \dots(1)$$

Voc₀:初期 Voc、Voc_φ:電子線照射後 Voc、
Voc_A:光照射後 Voc、C:定数

C-V 特性より求めたキャリア濃度プロファイルの変化を図 2 に示す。光照射後にセル表面側のキャリア濃度が大きく回復した。放射線劣化によって拡散長が低下している場合、セル表面側で光吸収が多いことから表面側でのフォトキャリアの再結合が多くなる。これは、キャリアの再結合が回復に寄与している可能性を支持する結果である。また、光照射後のキャリア濃度勾配が反転していることから、キャリア収集効率が低下し Isc が低下したと考えられる。

0.2、0.4 および 1 MeV 電子線を照射した InGaP セルにおける回復速度 A* の温度依存性を図 3 に示す。光照射時間は 10 分間とした。回復速度 A* は式(2)を用いて求め、アレニウスプロットの傾きから活性化エネルギー Ea を求めた。0.2、0.4、1 MeV 電子線照射した場合の Ea はそれぞれ 9.5、6、8 meV となった。電子線のエネルギーと回復速度には正の相関が見られるが、活性化エネルギーは相関が見られなかった。InGaP における P、Ga、In それぞれの NIEL 値²⁾によると、電子線エネルギー 300 keV 以上では全ての元素がはじき出されるが、200 keV では P のみはじき出される。この結果より、P のはじき出しによって生成された欠陥が回復の要因となっている可能性が示唆された。

$$A^* = -\ln\left(\frac{N_{dA}}{N_{d\phi}}\right)/t \dots(2)$$

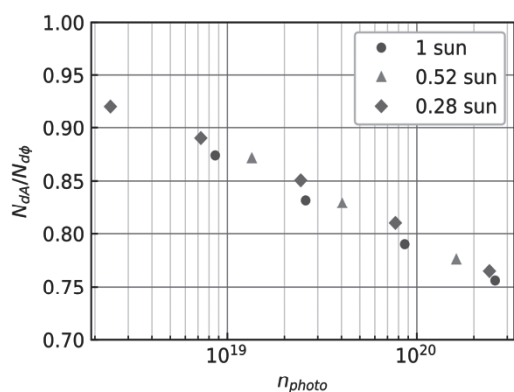


図1 フォトキャリア数と欠陥密度変化率の関係
(フルエンス $1 \times 10^{15} \text{ cm}^{-2}$ 、ステージ温度 25°C)

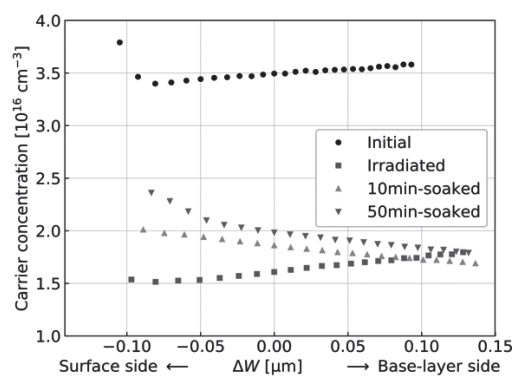


図2 照射によるキャリア濃度
プロファイル変化
(フルエンス $1 \times 10^{16} \text{ cm}^{-2}$ 、ステージ温度 60°C)

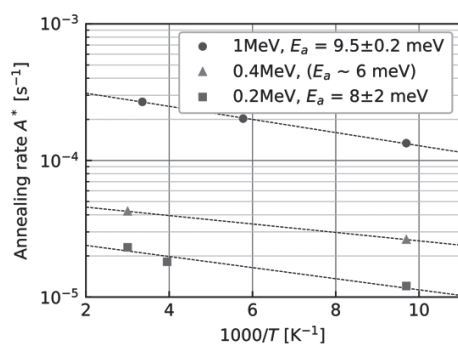


図3 回復速度の温度依存特性
(フルエンス $1 \times 10^{16} \text{ cm}^{-2}$ 、照射時間 10 分)

参考文献

- 1) Y. Shibata et al., *Appl. Phys. Express* **11**, 122301 (2018).
- 2) M. Imaizumi et al., *Proceedings of 37th IEEE Photovoltaic Specialists Conf.*, Seattle, WA (IEEE, New York, 2011), pp. 1579-1582.

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) Y. Shibata et al., *Appl. Phys. Express* **11**, 122301 (2018).
- 2) 学会発表：7th edition of the World Conference on Photovoltaic Energy Conversion (2018).

アルコール添付によるアルゴンプラズマジェットへの影響

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、松井良樹

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の応用には、放電コスト(電力および動作ガス)の低減が望まれる。同軸型電極を用いた誘電体バリア放電においては、アルゴンガスにアルコールを微量添付することで、点火電圧の低減と活性酸素ラジカルの生成量の増加が報告されており、本研究グループのアルゴンプラズマジェットにおいても、アルコール添付の影響を調べている。図1はアルミニウムターゲットを用いて評価した熱流束と浮遊電位の軸方向分布を示す。浮遊電位は、電子つまり電荷分布を反映しており、アルコール添付により、電子の分布が短くなったことを示している。

これに対して、熱流束の分布は広がっており、かなりの中性ラジカルや準安定原子が比較的遠くまで輸送されていることを示している。本研究ではこの他に、放電維持のために消費された電力値に対するアルコールの効果も評価している。

参考文献

- 1) "Characteristics of atmospheric-pressure, radio-frequency glow discharges operated with argon added ethanol", W. T. Sun, G. Li, H.P. Lia, C.Y. Bao, H.B. Wang, S. Zeng, J. Appl. Phys. 101, (2007)123302.

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) "Effect of alcohol addition on radical production of argon atmospheric plasma jet", H.Matsuura, Y.Matsui, Nguyen T.Tran, J.Chin, Y.Takemura, 2nd International Workshop on Plasma Agriculture, (2018, Takayama).
- 2) 「アルゴン大気圧プラズマジェット熱流束に及ぼすアルコール添加の効果」「プラズマ照射された液中におけるラジカルの可視化および定量化」松浦 寛人, グエントラントラン, 松井良樹, 陳健, 武村祐一郎, 第 65 回応用物理学会春季学術講演会, (2018, 東京).

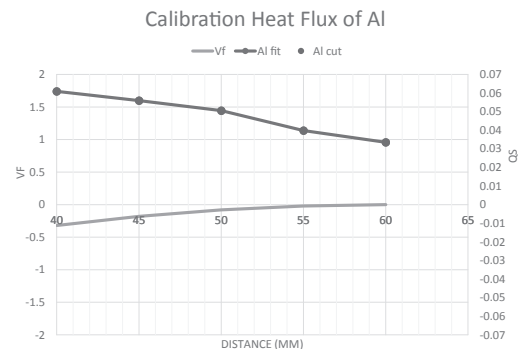


図 1. アルコール添付したアルゴンプラズマジェットの軸方向の熱流束および浮遊電位の分布

Zr 基金属間化合物への粒子線照射効果による微細構造変化

阪府大院工量子放射線分野 鷹野陽弘、堀史説、岩瀬彰宏
 東北大金研 和田武、加藤秀実
 原子力機構 斎藤勇一
 京大複合研 徐虬

(*本研究に関する連絡先：電話 090-7767-9441、メール mc106004@riast.osakafu-u.ac.jp)

1. はじめに：放射線がもたらす材料への影響については、原子力材料の劣化や脆化といった負の影響について多く研究されてきた。一方で、粒子線照射がもたらす材料へのユニークな現象をもとに、材料改質の手法として粒子線照射を利用しようとする研究も行われている。我々の研究グループは、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 基金属間化合物に粒子線を照射すると、結晶構造から非平衡相である非晶質状態に変態することを発見した[1]。しかし、非晶質化のメカニズムは未だに明らかになっていない。そこでよりメカニズムの解明に迫るために、金属間化合物の中でも元より非晶質化しやすい、つまりガラス形成能の高い合金系である $Zr_{50}Cu_{40}Al_{10}$ の結晶バルク材(以下、 $Zr_{50}Cu_{40}Al_{10}$ 合金)へ粒子線照射を行うことで非晶質化あるいは結晶構造の安定性についての知見を得ることが可能であると考えた。このようにガラス形成能の高い合金への照射効果が Ni 基金属間化合物などのように容易な構造変化や非晶質化の傾向を示すかどうか材料改質やプロセスの解明に繋がると考え、研究を行っている。

2. 実験： $Zr_{50}Cu_{40}Al_{10}$ の結晶バルク材を厚さ 0.5mm 程度のディスク状に切り出したものを用いた。粒子線照射を電子線、H イオン、Xe イオンについて行った。電子線照射は加速電圧 8MeV で照射量 $2.0 \times 10^{18}/cm^2$ 、H イオン照射は加速電圧 1.5MeV と 380keV で照射量はどちらも $5.0 \times 10^{16}/cm^2$ として照射を行った。Xe イオン照射は加速電圧 200MeV で照射量は $1 \times 10^{14}/cm^2$ 、 $5 \times 10^{14}/cm^2$ で行った。照射前後の試料に対して、X線回折測定、陽電子寿命測定、同時計数ドップラー拡がり測定、ビッカース硬さ測定を行った。

3. 結果：Fig.1 に電子線照射前後及び H イオン照射前後 Xe イオン照射前後における $Zr_{50}Cu_{40}Al_{10}$ 合金の X線回折測定のプロファイルを示す。また Table. 1 に $Zr_{50}Cu_{40}Al_{10}$ 合金への粒子線照射前後における陽電子寿命値を示す。未照射の $Zr_{50}Cu_{40}Al_{10}$ 合金については主に Zr_2Cu と Zr_7Cu_{10} の結晶構造をもつことがわかった。今回の実験ではいずれの粒子線照射の前後においても X線回折で観察されるような非晶質化は起こらず、結晶構造を維持していることが確認できた。電子線照射前後では、ピーク的位置や強度に大きな変化は見られなかった。よって構造の変化など長距離秩序構造の変化は見られなかった。H イオン照射後は Zr_7Cu_{10} のピークが一部消失し、 Zr_2Cu の構造は保持された。低エネルギーの照射ではピークシフトが見られなかったが、高エネルギーになるとどちらの構造もわずかに高角側へシフトした。よって構造そのものに変化はないものの格子ひずみが導入される効果が見られた。そこでさらに大きなエネルギーを持つ Xe イオンを照射すると構造の乱れが顕著に現れた。しかし、Ni 基金属間化合物で非晶質化が起こる照射量でも $Zr_{50}Cu_{40}Al_{10}$ 合金においては非晶質化が確認されなかった。急冷による非晶質化のプロセスと局所的な非晶質化は異なることがわかった。

一方、陽電子寿命値が増加していることから欠陥が導入され構造が乱されたと考えられる。陽電子寿命値は陽電子が見ている領域の平均寿命値であり、表面付近に限られるイオン照射による損傷が全体に及んでいると仮定すると欠陥の陽電子寿命値は約 250~400psec になる。これは、自由体積より大きな集合体になっていることを示唆し、照射領域で大きく構造が乱れ構造変化に関与したと考えられる。はじき出された原子がエネルギーを持ち、さらなるはじき出しを引き起こすカスケード損傷により、電子線照射と比較して大きな欠陥が導入されたと考える。この空孔集合体が残存していることから照射中に短範囲空孔成長が起こっている事がわかった。

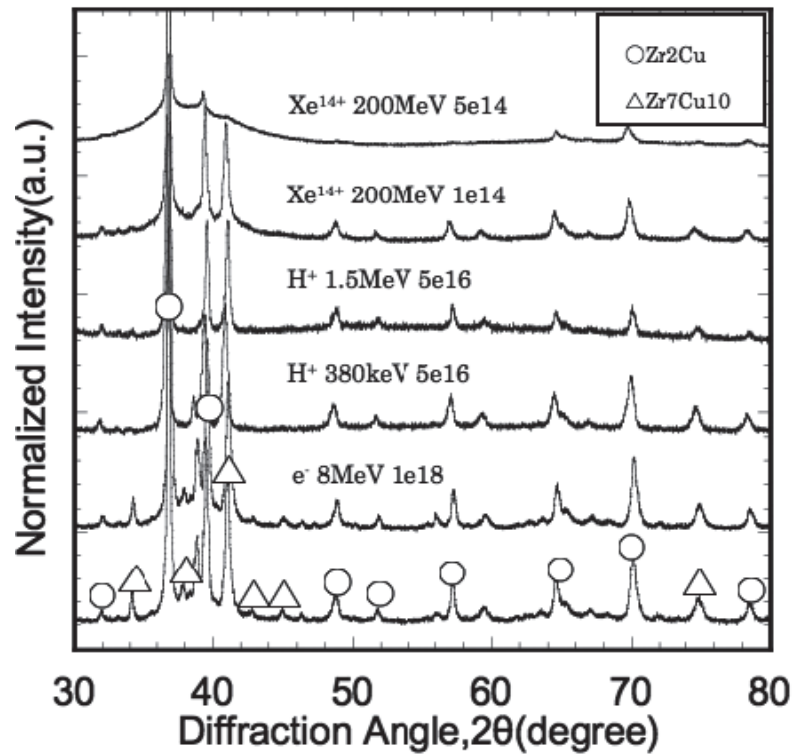


Fig.1. Result of X-ray diffraction measurement of Zr₅₀Cu₄₀Al₁₀ alloy before and after irradiation with particle beam.

Table.1. Positron lifetime before and after irradiation of particle beam to Zr₅₀Cu₄₀Al₁₀ alloy.

試料- Zr ₅₀ Cu ₄₀ Al ₁₀ 合金	陽電子寿命 (ps)
未照射	154.2
e ⁻ 8MeV 1e18/cm ²	177.7
H ⁺ 380keV 5e16/cm ²	160.2
H ⁺ 1.5MeV 5e16/cm ²	158.6
Xe ¹⁴⁺ 200MeV 1e14/cm ²	175.8
Xe ¹⁴⁺ 200MeV 5e14/cm ²	180.0

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) 2018年3月 大阪府立大学工学域物質化学系学類マテリアル工学課程 卒業論文
「ZrCuAl 合金への高エネルギー粒子線照射による微細構造と特性変化」 鷹野陽弘

B2 型金属間化合物の水素捕獲に対する粒子線照射効果

阪府大院工 角倉優雅, 金野泰幸, 岩瀬彰宏, 堀史説*
 京大原子炉 徐虬
 九大応力研 大澤一人

(*本研究に関する連絡先: 電話 (内線) 5658, メール horif@mtr.osakafu-u.ac.jp)

1. はじめに

近年、第一原理計算から金属合金中の空孔において多量に水素捕獲する可能性のある金属合金が報告されている。規則型合金においては、各空孔種と水素との相互作用が異なり、特に B2 型の化合物合金で特定の単一空孔に複数の水素が安定に捕獲されるとの計算結果がある。このような各空孔に捕獲されている水素を定性的かつ定量的に評価することができると、水素脆化の解明や新しい水素貯蔵プロセスの基盤研究につながる。しかしながら、このような化合物合金での空孔種の制御や空孔への水素捕獲を実験的に評価するのは非常に難しい。我々はこれまで Fe-Al 合金に電子線照射により空孔を導入し、照射エネルギーで導入空孔種の制御が可能であること、またこの合金において空孔への水素が捕獲されていることを陽電子消滅法を使用することで示してきた。今回は、Fe-Al 合金と同じ B2 型構造の Fe-Rh 合金における単一空孔とカスケード損傷への欠陥の評価を行った後の水素捕獲を陽電子消滅法を用いて比較、評価を行った。

2. 実験方法

アルゴンガス雰囲気中でアーク溶解によって作成した 3 cm 径のボタン型 Fe50at.%Rh を 5 mm × 5 mm × 0.5 mm に切り出し、表面を鏡面研磨した。その後、真空中にて 1073 K で 24 時間焼鈍を行った試料に対し京都大学複合原子力科学研究所にて 8 MeV の電子線照射 (照射量 $1 \times 10^{18}/\text{cm}^2$) を室温にて行った。照射後の試料に酸性下 0.01 wt% NH_4SCN 中で $0.3 \text{ A}/\text{cm}^2$ の電流値で電解水素チャージを行った。また、量子科学技術研究開発機構において 1.5 MeV プロトン照射を行った。(照射量 $1 \times 10^{16}, 4 \times 10^{16}, 1 \times 10^{17}/\text{cm}^2$) 照射前後において X 線回折測定(XRD)、陽電子寿命測定、同時計数ドップラー広がり測定を行った。

3. 実験結果

Fig.1 の CDB 測定の結果において電子線照射後に S パラメータが増加し、Rh のプロファイルに近づいていることから、照射によって主に Fe 空孔が導入されていることを示している。加えて水素チャージ後では S パラメータが減少していることから、Fe 空孔への水素捕獲が起こっていることを示している。同様に Fig.2 の陽電子寿命において、照射によって増加した陽電子寿命が水素チャージ後に減少していることから、空孔への水素捕獲が起こっていることが考えられる。これらの結果から、Fe 空孔への水素捕獲を確認することが出来た。次に水素イオン照射により欠陥と水素同時注入した試料での CDB 比率曲線の変化を Fig.3 に示す。イオン照射前後で低運動量領域にわずかに変化がみられることから空孔型欠陥が導入されていることが確認できるが、その種類は同定できず、水素の捕獲まで確認できなかった。一方、陽電子寿命でも照射後

増加していることから空孔型欠陥が導入されていることがわかるが、この際に空孔への水素捕獲は評価できない (Fig.4)。しかし、この試料を2週間後に再測定すると寿命値がわずかに増加していることから、空孔から水素脱離が起こったのではないかと考えられる。すなわち、水素イオン照射時に水素が空孔に捕獲されていたことが間接的に示すことができた。

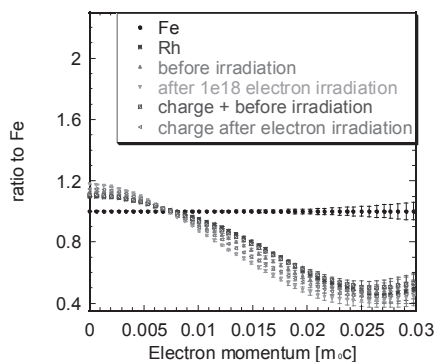


Fig.1 電子線照射前後と水素チャージ後の CDB 比率曲線

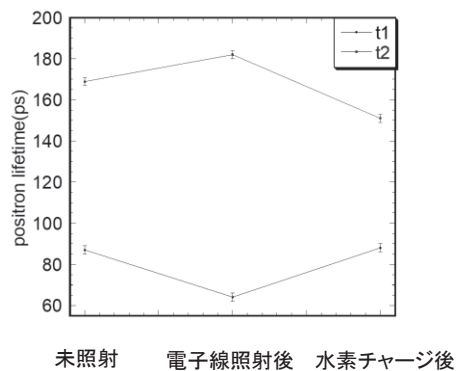


Fig.2 電子線照射前後と水素チャージ後の陽電

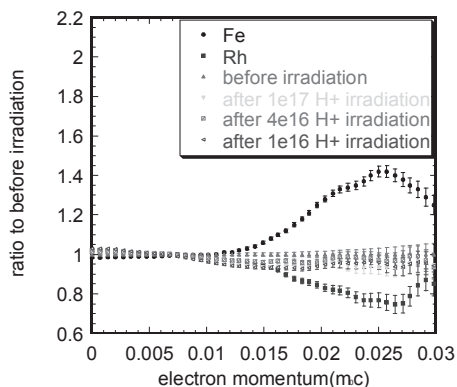


Fig.3 水素イオン照射前後の未照射試料を基準とした CDB 比率曲線

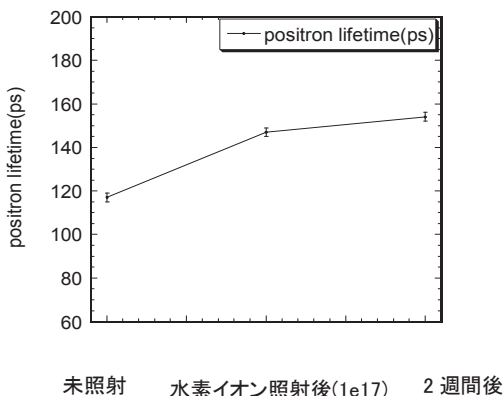


Fig.4 水素イオン照射前後の陽電子寿命

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) 「B2 型金属間化合物中の粒子線照射欠陥への水素捕獲」角倉優雅,岩瀬彰宏, 徐虬,大澤一人,斎藤勇一,堀史説 平成 29 年度第 2 回材料物性工学談話会
- 2) 「B2 型金属間化合物中の異なる欠陥種への水素捕獲」角倉優雅,岩瀬彰宏, 徐虬,大澤一人,堀史説 京都大学学術講演会
- 3) 「B2 型金属間化合物中の欠陥における水素捕獲」角倉優雅,岩瀬彰宏,鷹野陽弘,徐虬,大澤一人,堀史説 平成 30 年日本金属学会春,

γ /X線照射によるベータ崩壊核種の短寿命化

阪府大放射線研究センター 谷口良一*, 白井志樹、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 崩壊は崩壊前の原子核の状態と崩壊後の状態によって崩壊確率が決まるとされている。La138は天然の放射性核種であるが、核スピン変化3の第3禁制遷移であることから半減期1000億年という超長寿命核種である。ところがLa-138には低エネルギーの核レベルが多く存在し、これらに励起した場合は禁制度が劇的に下がり、許容遷移あるいは超許容遷移になり短寿命化すると予想される。そこで、いくつかの方法で核励起を行い、短寿命化を試みた。

[実験] 天然の金属Laを府立大学が所有するコバルト線源および電子線形加速器で照射した。

β 崩壊の測定にはGe検出器を用い、照射前後の変化を比較した。図1に照射体系を示す。Co-60の照射は図1(a)のような体系で空気中の照射を行った。線量率は約70kGy/hである。電子線形加速器の照射は図1(b)のような体系で行った。電子エネルギーは6~8MeV、平均電流は約2 μ Aであった。図2にCo-60照射前後のGeスペクトルを示す。Laのバックグラウンドには、アクチニウム系列からの放射線が多いという特徴があり、スペクトルの多くはこれらによるものである。図2の中のLa-138からの2本のピーク（図中の(1)と(2)）に注目した。Co-60照射では、(2)のピーク面積が照射量に、およそ比例して減少する現象が観測された。減少量は%程度であった。ただし、(1)のピークの減少は観測されなかった。これに対して、電子線形加速器による照射では、(2)のピークよりも(1)のピークの減少が大きいという異なった結果となっている。

本研究の一部は平成29年科学研究費助成金（挑戦的萌芽研究）による。

[本研究に関する研究発表]

「 γ /X線照射によるベータ崩壊核種の短寿命化」、谷口良一、白井志樹、伊藤憲男、宮丸広幸、小嶋崇夫、岡本賢一、第55回アイソトープ・放射線研究発表会（2018年7月、東京）

「La-138のガンマ線照射によるベータ崩壊の変化」谷口良一、白井志樹、伊藤憲男、宮丸広幸、小嶋崇夫、岡本賢一、辻本忠、原子力学会年会（2018年3月、大阪）

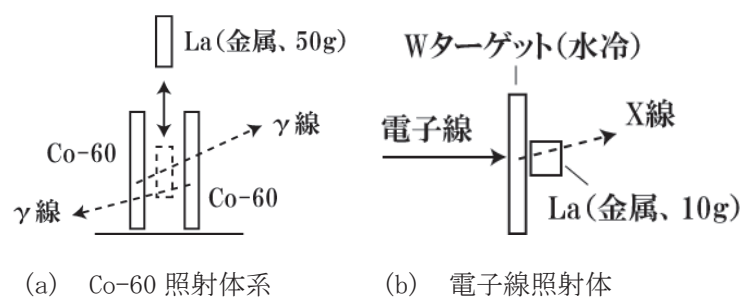


図1 La照射体系

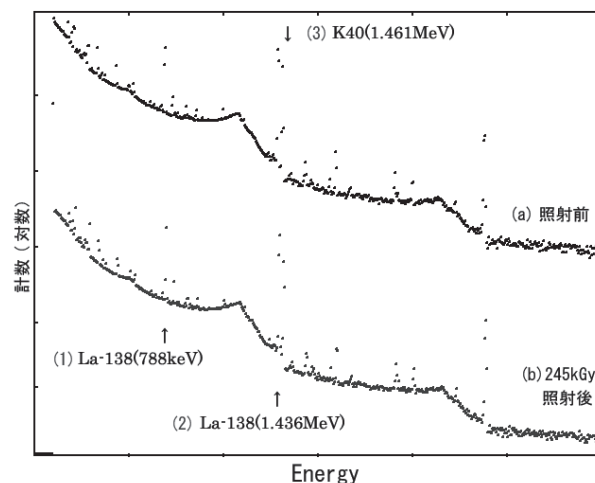


図2 Co-60照射によるLa-138のスペクトルの変化

照射還元法により合成した Cu 系合金ナノ粒子の微細構造と安定性に関する研究

堀史説、田中元彬、戸田晋太郎、岩瀬彰宏、田口昇^A、田中真悟^A、松井利之^B、XuQiu^C

大阪府大工院、産総研^A、大阪府大推進機構^B、京大複合研^C

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

【緒言】ナノ微粒子は元素戦略的に省資源化と高機能性が期待できる材料として注目を集めている。中でも Cu ナノ粒子は資源として安価で、高い電気伝導率を有しているため導電性インクとして電子デバイス回路の高機能材として期待されている。しかし銅は酸化が起こりやすく、ナノサイズ化することで比表面積が高くなり、酸化銅ナノ粒子になると電気伝導性が失われるため粒子表面の安定化が課題である。我々のグループでは非平衡還元反応を励起促進する照射場還元法を用いて、クリーンな反応場である水溶液中で金属イオンを還元することによる金属ナノ粒子合成を行ってきており、これまでに Cu と Au を合金化したナノ微粒子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性を持つことが分かっている。本実験では、合金化の構造制御と構造制御について検討するために、合成時の濃度制御により生成するナノ粒子の違いについて検討した。

【実験方法】純水に銅錯体(Cu(COOCH₃)₂・H₂O)、金錯体 NaAuCl₄・2H₂O および界面活性剤 SDS(8mM)を加えた溶液が 20 mL となるよう、イオン濃度を Cu: Au = 1:1, 2:1, 5:1 の濃度比で溶液を調整した。これらを 10 分間 Ar ガスで脱気後 γ 線照射(京大原子炉 γ 線照射施設, 線量率 2.0kGy/h, 照射線量 20 kGy)を行った。照射後の溶液は吸光度分析(UV-vis)、透過型電子顕微鏡(TEM)、高分解能走査型透過電子顕微鏡(HRTEM)による観察及びエネルギー分散型 X 線分析(EDS)による元素分析を行った。

【結果】TEM 観察では生成粒子の粒径に対する濃度比依存性が見られず直径およそ 10nm 程度の分散性の高い粒子が得られており、錯体の濃度比を変化させても粒径に影響がないことがわかった。一方で、これらの生成粒子の EDS 分析をすると、いずれも合金ではなく Au をコアとするコアシェル型の構造を有していたが、その成分のコアとシェルでの比率に違いが見られ、Cu 濃度が高くなるほどコア、シェルともに Cu 比率が増加していた。しかしその比率は仕込み組成比に比べるとはるかに小さい変化であることがわかった。これは、Cu と Au の還元力の違いによって Au が優先的に反応し Cu 濃度が高くなっても Au を優先に還元が起こるためにその過程で一部還元した Cu 原子も Au の還元を利用され、結果的に全ての Au の還元が完了した後に残留した Cu イオンは還元種の補給がすすまずにそれ以上の還元できなくなったのではないかと考えられる。

本研究に関する研究発表（原著論文、その他報文、学会等報告）

- 1) 田中元彬 修士論文「γ 線照射還元による合金化 Cu ナノ粒子の合成制御と安定性に関する研究」大阪府立大学工学研究科物質化学系専攻 2018 年 2 月

- 2) 戸田晋太郎 修士論文「放射線照射還元法を用いた Ni 基合金ナノ粒子の合成制御と微細構造」大阪府立大学工学研究科物質化学系専攻 2018 年 2 月
- 3) 田中元彬、戸田晋太郎、岩瀬彰宏、田中真悟、田口昇、徐虬、堀史説、 γ 線照射還元による Cu ナノ粒子生成時の添加イオン効果 日本金属学会 2017 年秋期大会 (北海道)
- 4) 田中元彬、戸田晋太郎、谷真海、岩瀬彰宏、水越克彰、田口昇、田中真悟、松井利之、徐虬、堀史説、 γ 線照射還元法を用いた Cu ナノ粒子合金化による耐酸化性向上に関する研究、京都大学原子炉実験所 学術講演会 2018 年 1 月
- 5) 戸田晋太郎、田中元彬、岩瀬彰宏、松井利之、田口昇、田中慎吾、徐ギユウ、堀史説、放射線照射還元法によって合成された Au-Ni 合金ナノ粒子の構造解析、日本金属学会 2018 年 3 月 (千葉)
- 6) Cu-Au nanoparticles synthesis by two steps gamma-ray irradiation reduction, IM.TANAKA, S.TODA, A.IWASE, N.TAGUCHI, S.TANAKA, Q.XU, F.HORI, UMRS/ICAM2017 Kyoto Japan
- 7) Synthesis of multicomponent nanoparticles by irradiation reduction method, S.TODA, M.TANAKA, A.IWASE, N.TAGUTI, S.TANAKA, Q.XU, F.HORI, IUMRS/ICAM2017 Kyoto Japan

原著論文

Comparison of reductive nanoparticle preparation using plasma and ultrasound irradiation in aqueous solution, Y.Mizukoshi, F.Hori, K.Okitsu, Jpn. J. App. Phys 57, (2018) 0102A5.

照射還元貴金属ナノ粒子合成における担体へのイオン吸着効果

阪府大院工 堀史説、谷真海、田中元彬、戸田晋太郎、岩瀬彰宏

東北大金研 水越克彰

京大複合研 Xu Qiu

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

【研究背景】

電子線、イオン粒子やガンマ線などの放射線を金属イオン水溶液に照射すると、水分子が分解され水素ラジカルやヒドロキシルラジカル、水和電子等が発生し、これらのラジカルは金属イオンとの反応によって金属イオンが還元するとナノ構造体が生成することが知られている[1]。そのため、水をベースとしたクリーンな反応合成法としてナノ粒子合成制御についてこれまで研究を進めてきた。一方、ナノ粒子は単独での産業利用は応用範囲が限られるため、一般的にはミクロン以上の構造体への担持により回収及び利用される。担持の方法としては高温での担持プロセスが主であるが、本手法では水溶液中でナノ粒子合成と同時に担体への担持も可能であるものがあることがわかってきている。しかしながら、照射中の担体とナノ粒子との反応形成過程についてはほとんど理解されておらず、担体種との相性や合成条件など明確な知見は得られていない。これまで我々は照射還元法におけるグラフェン担体浸漬溶液中で金属ナノ粒子の還元担持挙動について、事前に担持表面へのイオン吸着効果と担体表面での照射効果との相乗効果による担持吸着を確認してきた[2]。そこで本研究では、グラフェンを始めとする他の担体を用いて Pd イオン水溶液中での照射還元による担持合成状態の担体依存性について評価検討を行った。

【実験方法】

グラフェン、アルミナ、PMMA を担体とし、これらを混合した純水に $\text{PdCl}_2 \cdot 2\text{NaCl} \cdot 3\text{H}_2\text{O}$ および 2-プロパノールを所定濃度含む水溶液 20 mL を調製し、Ar ガスで大気をパージした後にガンマ線照射を行った。この際、溶液調整後から照射までに 0 時間と 96 時間静置したものとで担体表面へのイオン吸着効果を比較した。照射は京都大学原子炉実験所にて実施し、線量率 $10.7 \text{ kGy} \cdot \text{h}^{-1}$ 、57 min（照射線量 10 kGy）とした。照射後の試料は遠心分離によって濃縮分離・洗浄後に凍結乾燥してドライ状態で回収した。回収試料は透過型電子顕微鏡により粒子の形状、サイズおよび担体表面における分布などの観察を行った。

【結果と考察】

グラフェンを担体として照射還元した溶液中では調整直後と静置後のいずれの照射還元でも Pd が比較的良く担持されていたが、アルミナと PMMA ではグラフェンに比べ吸着粒子の割合が異なり静置後のほうが多く担持されていた。表 1 に示すようにグラフェンでは照射前の静置有無による担持粒子の粒径などにも大きな違いが見られなかったのに対し、アルミナと PMMA で粒径分布にもやや変化がみられ、静置後照射のほうが粒径が小さくなる傾向がみられた。これは、担体の持つ表面活性に依存するもので、グラフェンは他の 2 つにくらべ表面官能基を持たないことが影響していると考えられる。

表 1 各担体を浸漬して照射還元した Pd ナノ粒子の平均粒径

担体	0 時間静置	96 時間静置
グラフェン	19.1 nm	19.3 nm
アルミナ	19.8 nm	9.2 nm
PMMA	17.1 nm	8.2 nm

参考文献

- [1] N. Taguchi, A. Iwase, N. Maeda, T. Kojima, R. Taniguchi, S. Okuda, T. Akita, T. Abe, T. Kambara, H. Ryuto, F. Hori, *Rad. Phys. and Chem.* 78 (2009) 1049–1053.
- [2] A. Tokai, K. Okitsu, F. Hori, Y. Mizukoshi, Y. Nishimura, S. Seino, A. Iwase, *Mater. Lett.*, **199** (2017) 24-27.

本研究に関する研究発表

- (1) 谷真海 修士論文「励起反応場での金属ナノ粒子合成担持過程における担体表面へのイオン吸着効果」大阪府立大学工学研究科物質科学系 2018年2月
- (2) 谷真海、興津健二、水越克彰、岩瀬彰宏、Xu Qiu、堀史説、「放射線を用いたPdナノ粒子担持グラフェン合成における担体へのイオン吸着の寄与」日本金属学会 2017 秋期大会 9月北海道
- (3) 大和田めぐみ、水越克彰、堀史説、西嶋雅彦、今野豊彦、「TEM/EELSによる銀ナノ粒子/セルロースナノファイバー複合材料の界面および化学結合状態評価」2018年電顕学会 久留米
- (4) 大和田めぐみ、水越克彰、堀史説、仲西穂高、西嶋雅彦、今野豊彦、「TEM/EELSによる高分子/貴金属ナノ粒子複合材料の界面構造および化学状態の評価」第13回東北大金研講演会 仙台
- (5) Materials Modification by plasma generated in ammonia aqueous solution, M. Tani, H. Nakanishi, A. Tokai, Y. Mizukoshi, F. Hori, K. Okitsu, and A. Iwase, IUMRS2017 Kyoto, Japan (2017)
- (6) Modification of Oxide Particles by Plasma Generated in Aqueous Solution, M. Tani, F. Hori, T. Kumada, M. Ohwada, A. Iwase and Y. Mizukoshi, MRSJ2017 Yokohama, Japan

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)

溶液プロセスにより作製できる塗布型有機半導体デバイスは低コストで大量生産が可能であり、フレキシブルデバイスの実現に向けた特性改善や高機能化に関する研究開発が近年活発化している。平成29年度は、プラスチック基板に適した素子構造として注目を集めている逆構造の有機EL、有機太陽電池に関する検討を進めた。逆構造有機ELでは、大気不安定な陰極（Ca、LiF等）に替わる電子注入層として期待されるポリエチレンイミン（PEI）を用いた塗布型有機EL素子の動作機構を調べ、PEIの正孔ブロッキング機能や電気特性との相関を明らかにした[1]。また、PEIのアミン含有量と注入障壁および電流効率との関係を調べ、PEIの材料設計に対する指針を示した[2]。逆構造有機太陽電池では、バルクヘテロ接合構造を有する有機半導体層の膜厚と電力変換効率との相関およびそのエージングによる影響を明らかにした[3]。有機トランジスタでは、共同開発した前駆体型有機半導体を用いたボトムゲート塗布型有機トランジスタを高性能化する手法を開発し、短チャネル素子で良好な動作性能が得られることを示した[4]。また、トップゲート構造の塗布型有機トランジスタについて、有機半導体の化学構造やスピコート製膜条件による薄膜成長の違いを明らかにし、 $10\text{ cm}^2/\text{Vs}$ を超える高い電界効果移動度を得ることに成功した[5]。更に有機フローティングゲート構造を有する有機トランジスタメモリを塗布プロセスで作製し、光メモリ機能およびその多ビットメモリとしての応用可能性を示した[6]。

本研究に関する研究発表（原著論文、その他報文、学会等報告）

- 1) M. Takada, T. Nagase, T. Kobayashi, and H. Naito, “Electron injection in inverted organic light-emitting diodes with poly(ethyleneimine) electron injection layers”, *Org. Electron.* **50**, 290 (2017).
- 2) 真弓隆洋, 高田 誠, 森井克行, 永瀬 隆, 小林隆史, 内藤裕義, “異なる構造を有するポリエチレンイミンを電子注入層とした塗布型逆構造有機発光ダイオードの作製と特性評価”, *日本画像学会誌* **56**, 483 (2017).
- 3) S. Nakami, T. Narioka, T. Kobayashi, T. Nagase, and H. Naito, “Relation between active-layer thickness and power conversion efficiency in P3HT:PCBM inverted organic photovoltaics”, *J. Phys. Conf. Ser.* **924**, 012009 (2017).
- 4) T. Nagase, S. Abe, T. Kobayashi, Y. Kimura, A. Hamaguchi, Y. Ikeda, and H. Naito, “Solution-processed organic field-effect transistors based on dinaphthothienothiophene precursor with chemically modified electrodes”, *J. Phys. Conf. Ser.* **924**, 012008 (2017).
- 5) S. Sanda, T. Nagase, T. Kobayashi, K. Takimiya, Y. Sadamitsu, and H. Naito, “Enhanced mobility of top-gate dialkyl BTBT transistors by spin coating from non-halogen solvents”, *Proc. Inter. of the Display Workshops* **24**, 371 (2017).
- 6) F. Shiono, T. Nagase, T. Kobayashi, and H. Naito, “Solution-processed nonvolatile optical transistor memory for multi-level data storage devices”, *Proc. Inter. Display Workshops* **24**, 1575-1576 (2017).

圧電素子および電界効果トランジスタの作製

阪府大院工電子物理工学分野 荒牧 正明、一宮 永、藤村 紀文*

(*本研究に関する連絡先：電話（内線）5746、メール：fujim@pe.osakafu-u.ac.jp)

圧電 MEMS 振動発電素子の作製のため、CR クラス 10 にある手動式マスクアライナを用いて密着露光を行い、パターンニングを行った。得られたパターンを用いて上部電極を配線した。また、電界効果トランジスタ作製のフォトリソグラフィプロセスのためにスピコート及び露光機を使用した。レジストをスピコート法によりコーティングした後、露光機を用いてパターンニングし、現像液を用いて現像してパターンニングを行った。

本研究に関する研究発表

1) 論文発表 1 件

1. M. Aramaki, K. Izumi, T. Yoshimura, S. Murakami, N. Fujimura,
「HIGH EFFICIENCY PIEZOELECTRIC MEMS VIBRATIONAL ENERGY HARVESTERS
USING(100) ORIENTED BIFEO3 FILMS」
『2017 IEEE 30th International Conference on MEMS』 Proc.IEEE,16708154 pp829-832 (2017)

2) 学会発表や報告など

国際学会発表 2 件

1. M.Aramaki, K.Izumi, T.Yoshimura, S.Murakami, K. Satoh, and N.Fujimura
「Nonlinear Effect in Piezoelectric MEMS Vibration Energy Harvesters at Large Amplitude」, 『2018 PiezoMEMS』 Orlando, Florida January (2018)
2. H.Ichimiya, K.Miura, M.Takinoue, T.Yoshimura, A.Ashida, N.Fujimura and D.Kiriya
「Molecular-doping in 2D materials toward local carrier control」
18th International Union of Material Research Societies-International Conference in Asia
(2017 年 11 月) 講演予稿集 0250

国内学会発表 4 件

1. 一宮 永、三浦 光平、吉村 武、芦田 淳、藤村 紀文、桐谷 乃輔
「半導体薄膜上におけるレドックス活性分子の自発的なパターン形成」
化学とマイクロ・ナノシステム学会 第 35 回研究会 (35th CHEMINAS) 東京 (2017 年 5 月)
講演予稿集 1P 05
2. 荒牧正明、和泉享兵、吉村武、村上修一、佐藤和郎、藤村紀文
「圧電 MEMS 振動発電素子における非線形係数の評価」
第 78 回応用物理学会秋季学術講演会 8p-A504-13、福岡 (2017 年 9 月) 講演予稿集 05-304

3. 一宮 永、三浦 光平、瀧ノ上 正浩、吉村 武、芦田 淳、藤村 紀文、桐谷 乃輔
「局所的なキャリア注入を志向した分子性ドーパントの相分離構造」
第 78 回応用物理学会秋季学術講演会福岡、(2017 年 9 月) 講演予稿集 15-136
4. 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
「MoS₂ 上におけるレドックス活性分子の自発的なナノパターン形成」
第 3 回融合ナノマテリアル化学研究会 (2018 年 2 月)

外来極性分子による電極／有機半導体界面における電荷注入障壁スイッチング

阪府大院工電子物理工学分野 野内 亮*

(*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)

有機半導体を用いたトランジスタ等の電子デバイスの動作は、大気暴露により不安定化することが多い。特に水分子の影響が大きく、ゲート絶縁膜／有機半導体層界面に到達し、動作特性変化（バイアスストレス、ヒステリシス）を引き起こすと考えられている^[1]。このようなゲート絶縁膜界面に起因する動作不安定性メカニズムとは異なり、我々は、ソース・ドレイン電極表面を自己組織化単分子膜（SAM）で修飾した電界効果トランジスタにおいて、ドレイン電圧印加に伴って電極／有機半導体界面における電荷注入効率の変調が起き、結果的に特異なヒステリシスが生じることを見出している^[2]。この現象は、ドレイン電場が電極表面のSAMの電気双極子に作用し、SAM構造が変化したことによる電荷注入障壁スイッチングで理解できる^[3,4]。

しかし、本メカニズムは、SAM修飾電極のように電極表面にすでに双極子が存在する場合に限られず、外部から双極子を有する分子が供給される環境下においても起こりうる。即ち、ソース・ドレイン電極表面へと拡散してきた大気中水分子が、ドレイン電圧印加により形成される電場に応じてその双極子を配向させ、結果的に電荷注入障壁の変調を起こす、という場合である。本研究において、ルブレ単結晶を用いたボトムコンタクト型素子を使い、本メカニズム（図1）を実験的に確認することに成功した^[5]。

参考文献

- 1) C. Goldmann *et al.*, Appl. Phys. Lett. **88**, 063501 (2006).
- 2) R. Nouchi and Y. Kubozono, Org. Electron. **11**, 1025 (2010).
- 3) R. Nouchi *et al.*, Appl. Phys. Lett. **104**, 013308 (2013).
- 4) R. Nouchi and T. Tanimoto, ACS Nano **9**, 7429 (2015).
- 5) R. Nouchi, Adv. Mater. Interfaces **5**, 1801261 (2018).

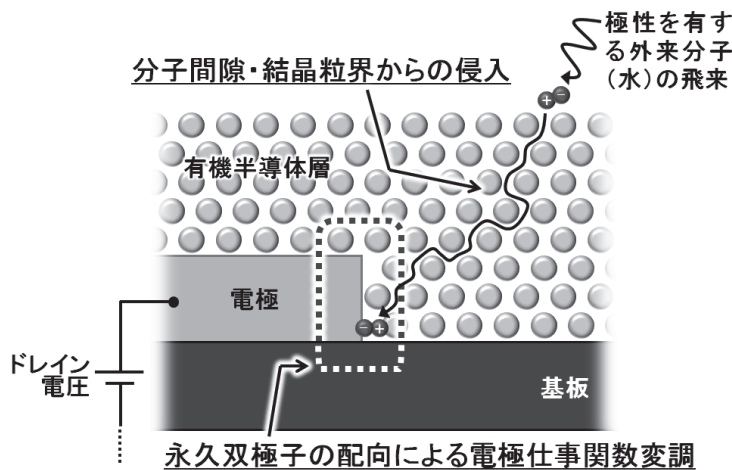


図 1. 電極／有機半導体界面に起因する大気中水分子による有機デバイスの動作不安定性メカニズム。

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, Adv. Mater. Interfaces **5**, 1801261 (2018).
- 3) R. Nouchi, 14th European Conference on Molecular Electronics (August 31, 2017, Dresden, Germany).

親水/疎水ナノパターンニング法による 1 分子液滴の大量作製

阪府大院工 川岸啓人、川又修一、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

ナノ流体デバイスは、幅や深さが $10^3\sim 10\text{ nm}$ スケールのナノ流路を有するチップデバイスである。このナノ流路内では、微小体積の流体を精密に制御することが可能であり、溶質の 1 分子操作も期待されている^[1]。1 分子単位での操作が可能となれば、1 分子精度のこれまでにない化学合成プロセスを確立出来ると期待される。通常反応濃度(μM 程度)の溶液を、溶媒内に溶質が 1 分子のみ含まれるように区画化すると、溶媒は aL(10^{-18} L)スケールとなる。このような液滴を 1 分子液滴と定義し、これを操作する事で溶質 1 分子の自由自在な制御を目指す。しかし、aL スケールの液滴は高い比表面積を持ち、水-油系での作製は難しい。そこで本研究室では水-空気系での aL 液滴作製に注目し、少数の aL 液滴作製方法について報告した^[2]。今回、本研究では 1 分子液滴の大量生成を目的とした。aL 液滴の大量生成の為に、我々は疎水性ナノ流路内に親水性ナノパターンを構築する。このナノ流路へ水を導入することで、親水性ナノパターン上のみに水が局在化し、aL 液滴が大量に生成できると考えた。今回、ナノ流路内に金属ナノパターンを nm オーダーで位置制御して構築する事が可能な、本研究室独自の Nano-in-Nano 集積化技術^[3]を用いて、疎水性ナノ流路内に親水性ナノパターンを大量に有するチップデバイスを作製した。このデバイスへ超純水を導入する事で、aL 液滴の大量生成に成功したのでこれを報告する。

2. 手法

本研究では、疎水性ナノ流路内に構築した親水性ナノパターン上に水を局在化させる事で微小液滴を生成させる。このナノ構造は Nano-in-Nano 集積化技術を用いてガラス基板上にナノ流路と金ナノパターンを構築する事で得た。この基板と流体導入路を有するガラス基板を接合し、チップデバイスとした。チップデバイスへシランカップリング剤であるトリクロロメチルシラン溶液を導入し、ガラス面のみを疎水化させた^[4]。疎水-親水界面を有したナノ流路へ圧力によって水を導入、液滴を大量生成させた。また生成した液滴の様子を顕微鏡によって観察した。

3. 結果・考察

実験の結果、今回作製したチップデバイスによって 248 個の aL 液滴生成が確認された。また生成した液滴は 1fL 付近に狭い分布が見られた。これに対し、金パターンを有さないチップデバイスでは aL 液滴はほとんど生成せず、体積分布幅も広がった。これにより液滴の生成は金パターンに依存しており、体積制御能も可能であると考えられる。しかし、生成した液滴の中には aL 以上の物も存在しており今後、体積制御が必要である。

参考文献

- 1) Y. Xu, Adv. Mater, 30(3), 1702419, (2018)
- 2) 川岸啓人、山口晃司、川又修一、河村裕一、許岩, cheminas35, (2017)
- 3) Y. Xu, N. Matsumoto, Q. Wu, Y. Shimatani, H. Kawata, Lab Chip, 15, 1989-1993, (2015)
- 4) Wong J. X. H., et al, J. Chem. Educ, 90 (9), 1203-1206, (2013)

本研究に関する研究発表（原著論文、その他報文、学会等報告）

- 1) “Fabrication of attoliter droplets by hydrophilic/hydrophobic nano-in-nano integrated structures”,
Hiroto Kawagishi, Shuichi Kawamata, Yan Xu, MicroTAS 2018, (2018)
- 2) “Fabrication of attoliter droplets in hydrophobic nanochannels with hydrophilic nanopatterns”,
Hiroto Kawagishi, Shuichi Kawamata, Yan Xu, The 10th International Symposium on Microchemistry and Microsystems, (2018)

イオンビームを用いた BSCCO 単結晶アンチドットの作製と磁束分布観測

大阪府大院工 三宅 晴也、川又 修一*、藤次 真幹、二ノ宮 由嗣、宍戸 寛明、石田 武和

(*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)

孔を開けた超伝導体に磁場を印加すると、その孔に量子化された磁束（磁束量子）がトラップされる。超伝導体に人工的に導入された孔の周期的な配列（アンチドット格子）が磁束状態へ与える影響を解明することは、基礎研究として重要であるのみでなく、磁束量子を利用したさまざまなデバイスへの応用にも寄与する。従来型超伝導体である Pb のネットワークでは、チェッカーボード・パターンに分布した磁束が観測され、磁束量子ドーピングが議論されている [1]。

本研究では、アンチドット格子を人工的に導入した Bi 系銅酸化物超伝導体 $\text{Bi}_2\text{Sr}_2\text{CaCu}_2\text{O}_{8+\delta}$ (BSCCO) 単結晶薄膜を用意し、SQUID 顕微鏡で磁束分布観測を行った。SQUID 顕微鏡とは、SQUID すなわち超伝導量子干渉計センサーを試料表面でスキャンすることにより、磁束の2次元分布を高感度で測定する装置である。図1に作製した BSCCO 単結晶アンチドットのレーザー顕微鏡共焦点画像を示す。加工は全てクリーンルーム内で行った。まずフォトリソグラフィおよび Ar イオンミリングを用いて単結晶を島状に加工した。次に収束イオンビームを用いて島状部分をほぼ正方形 $48.1 \times 48.8 \mu\text{m}$ に整形するとともに、直径 $1 \mu\text{m}$ の孔を 10×10 個（格子定数 $4.9 \mu\text{m}$ ）作製した。単結晶試料の厚さは $400 \sim 600 \text{ nm}$ である。図2に SQUID 顕微鏡による磁束の観測結果を示す。超伝導転移温度以上であらかじめ試料に磁場をかけて冷却を行ない、超伝導体試料に磁束をトラップさせた。図2で黒い部分は磁束ゼロ、白い部分は磁束が観測されている領域を示している。測定温度は 4 K 、印加磁場は (a) 0.088 Gauss 、(b) 0.22 Gauss であり、完全反磁性である磁場領域における測定である。今回、チェッカーボード・パターンのような秩序配列は観測されなかったが、(a)では2本、(b)では4本の微細構造に依存した磁束像観測に成功した。

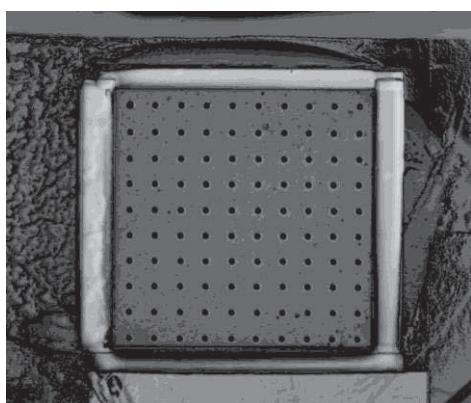


図1 作製したアンチドット格子

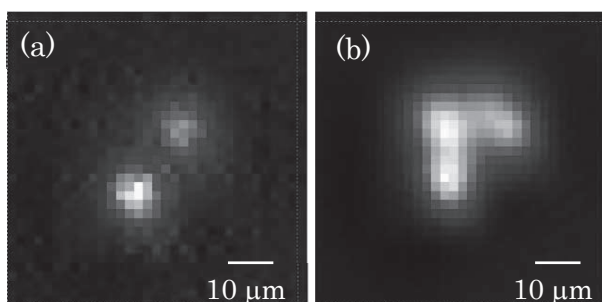


図2 SQUID 顕微鏡によるトラップ磁束分布
印加磁場: (a) 0.088 Gauss , (b) 0.22 Gauss

参考文献

[1] T. Ishida *et al.*, Physica C 460–462 (2007) 1226.

CMOS 互換プロセスを用いたナノ共振器シリコンラマンレーザーの実証

阪府大院工電子物理工学分野 安田孝正、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)

巨大データセンタなどにおける大規模情報処理は、今後、到来する IoT 社会を根幹から支える技術である。しかし、爆発的増加をつづける情報流通量を、従来の電子回路技術だけで処理することはエネルギー的に困難であり、シリコンフォトニクスを用いた超小型光回路の商業利用が始まっている。現在では、大規模産業化を検討できる段階に到達しており、我々が研究対象としているフォトニック結晶も、構成要素の1つとして期待されている。

長年の間、シリコンフォトニクス研究において最も困難な課題の1つが、実用的なシリコンレーザーの開発である。我々は2013年、世界最高 Q 値を持つヘテロ構造ナノ共振器を利用して、従来よりもデバイスサイズが1万倍以上小さく、閾値が2万倍低いシリコンラマンレーザーを開発した[1]。しかしこのサンプルは、EB リソグラフィを用いて作製されたものであった。産業応用には、シリコンチップの大量生産に用いられる CMOS 互換プロセスで作製することが必須となる。我々は2016年、産総研との共同研究により、CMOS プロセスを利用して、100万を超える Q 値を有するヘテロ構造ナノ共振器の大量作製に成功した[2,3]。そこで、現在、CMOS プロセスを用いてナノ共振器シリコンラマンレーザーを300mm SOI 基板に大量作製することに挑戦している。現在のところ、第2ナノ共振モードの Q 値が10万に達しておらず、原因の特定をクリーンルームで行っているところである。技術的な困難は多いが、来年度にはレーザー発振を達成したい。

本研究に関する研究発表

- 1) Y. Takahashi, Y. Inui, M. Chihara, T. Asano, R. Terawaki, and S. Noda, "A micrometre-scale Raman silicon laser with a microwatt threshold," *Nature* **498**, 470–474 (2013).
- 2) K. Ashida, M. Okano, M. Ohtsuka, M. Seki, N. Yokoyama, K. Koshino, M. Mori, T. Asano, S. Noda, and Y. Takahashi, "Ultra-high-Q photonic crystal nanocavities fabricated by CMOS process technologies," *Opt. Express* **25**, 18165–18174 (2017).
- 3) 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).

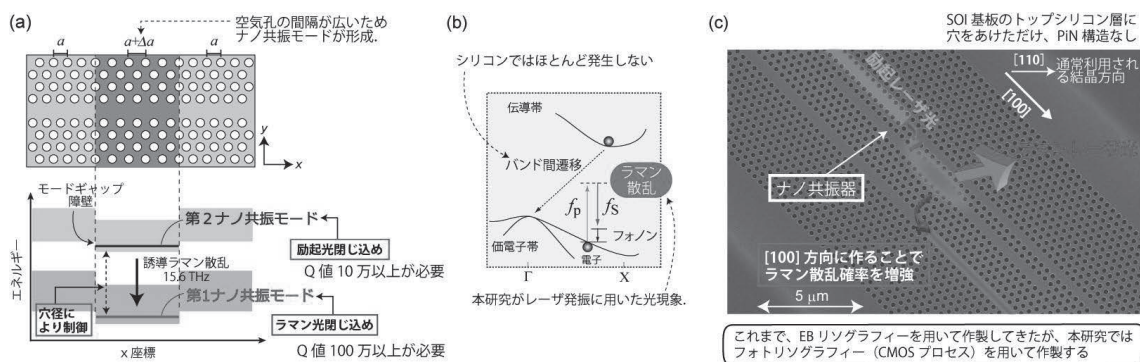


図 1. (a) ラマンレーザーに用いたヘテロ構造ナノ共振器の概略図とバンド図。(b) シリコンのバンド図と発光現象の説明。(c) シリコンラマンレーザーの電子顕微鏡写真とデバイスの動作イメージ。中央の線欠陥がヘテロ構造ナノ共振器。

分子線エピタキシー法によるトポロジカル近藤絶縁体人工超格子の作製

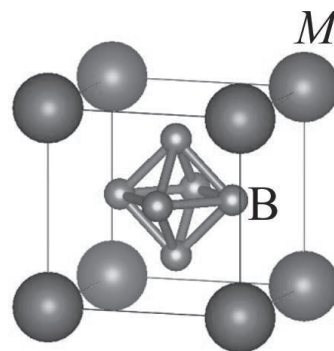
大阪府大工^A, 大阪府大ナノ拠点研^B, 阪大先端強磁場^C幸塚祐哉^A, 宍戸寛明^{A,B*}, 田原大夢^C, 鳴海康雄^C, 木田孝則^C,萩原政幸^C, 戸川欣彦^A

(*本研究に関する連絡先: 電話(内線) 6526、メール shishido@pe.osakafu-u.ac.jp)

MB_6 は図1に示すような、硼素からなる正八面体が中心に位置した単純立方晶の結晶構造を持つ化合物群であり、金属元素 M にはアルカリ土類金属、希土類やアクチノイドなど多様な原子が入ることが知られている。この化合物群に属する SmB_6 は近藤絶縁体として古くから知られており、その電気抵抗率は降温と共に半導体的に増大する[1]。しかしながら、3 K 以下の低温ではその値が一定値を示すことが知られており、その起源をめぐって様々な議論が行われてきた。近年、理論的に3次元トポロジカル絶縁体になっている可能性が指摘され[2]、様々な実験的検証も試みられている。トポロジカル絶縁体は、バルクには絶縁体であるが、その表面では金属状態が実現している。この表面だけの金属状態は、バンドが波数に対して直線的に交差するディラックコーンと呼ばれる特異なバンド構造に起因している。ディラックコーンはトポロジカルに保護されているため、安定的に存在する。トポロジカル絶縁体を原子層レベルで薄くすると、表面の電子状態間で混成が起これ、結果バンドにギャップが開く。これはトポロジカル絶縁体であることの有力な証明となる。

我々は分子線エピタキシー(MBE)法を用いて Si(100)基板上にエピタキシャル性の良い SmB_6 薄膜の作製に取り組んできた[3]。これをさらに発展させ、 SmB_6 を SrB_6 と積層させた SmB_6/SrB_6 人工超格子薄膜を MBE 法により新たに作製した[4]。 SmB_6 と同じ結晶構造を持つ SrB_6 はバンド絶縁体であることが知られており[5]、超格子に用いることで SmB_6/SrB_6 界面に SmB_6 の表面状態を実現することが可能となる。我々は SrB_6 層の厚みを 10 層に固定し、 SmB_6 層の厚みが 3, 5, 7 層の人工超格子を作製した。作製した超格子の平坦性や結晶性の評価を反射高速電子線回折(RHEED), AFM 測定, X 線回折により行った。

面間の X 線回折では $SmB_6(n)/SrB_6(10)$ の c 軸配向性が確認できた。しかし(110)反射もわずかに見られた。また超格子構造由来のサテライトピークも確認できた。面内での X 線回折からは、 $SmB_6/SrB_6[100]$ と $Si[110]$ が揃ったエピタキシャル成長をしている領域が主として存在していることが確認できた。しかしながら $SmB_6/SrB_6[110]$ と $Si[110]$ が揃った成分もわずかに混入している。

図 1 : MB_6 の結晶構造。

得られた超格子薄膜について、低温までの電気抵抗率測定を行った。SmB₆層の厚みが5, 7層の人工超格子ではSmB₆単層膜と同様の温度依存性を示した。これに対して、SmB₆が3層の人工超格子では極低温まで絶縁体的に上昇し続ける振る舞いが観測された。これはSmB₆(3)/SrB₆(10)では、ディラックコーンにギャップが開いていると考えるのが自然であり、SmB₆はトポロジカル絶縁体であると考えられる。

参考文献

- [1] A. Menth, *et al.*, PRL 22, 295 (1969).
- [2] T. Takimoto, J. Phys. Soc. Jpn. 80, 123710 (2011).
- [3] 宍戸寛明 他 日本物理学会第72回年次大会
- [4] 幸塚祐哉 他 日本物理学会2018年度秋季大会
- [5] Y. Kato *et al.*, J. Crystal Growth 312, 378 (2010).

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、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参加され、デンプン分子と化合して、青紫色を呈している様子を示している。これにより、ラジカルの生成が界面に限られていることと、液中に対流が誘起される様子がわかる。



図1. ヨウ化カリウムーデンプン溶液を含んだ水を大気圧プラズマ照射した例

本研究ではこの他に、ポリビニルアルコールを化学プローブとして用いることも検討している。

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) "Simple visualization method of oxygen radicals produced in liquid media by atmospheric pressure plasma", H.Matsuura, Y.Matsui, T.Fujiyama, M.Furuta, Y.Takemura, 10th Asia-Pacific International Symposium on the Basics and Applications of Plasma Technology, (2017, Taoyuan).
- 2) 「プラズマ照射された液中におけるラジカルの可視化および定量化」松井良樹、松浦寛人、藤山貴友、川端宏輝、武村祐一朗、古田雅一, Plasma conference 2017, (2017, 姫路).

ガンマ線照射下の模擬地下水環境中での各種金属材料の電気化学特性

大阪府大院工マテリアル工学分野 井上博之*、湯川卓司

大阪府大放射線研究センター 小嶋崇夫

(*本研究に関する連絡先：電話（内線）5708、メール hiro@mtr.osakafu-u.ac.jp)

使用済み核燃料の直接処分では、ガラス固化体の処分と比較し、インベントリや発熱量など廃棄体の特性が異なることや、地質環境の多様性に加えて濃縮度や燃焼度など燃料の多様性を考慮する必要がある。よって、閉じ込め機能の高度化や、設計の柔軟性確保等の観点から幅広い候補材料に対する適用性の検討が必要と考えられる。従来、処分容器材料として炭素鋼を対象に設計が検討されているが、チタンや銅、ニッケル基合金も代替材料として候補材料になりうる。本研究は、前述の代替材料を対象に処分環境での電気化学特性への放射線照射の影響を検討することを目的とした。

6~7 kGy/h の吸収線量率のガンマ線照射下の不活性ガス雰囲気、微量の塩化物イオンを含む、pH が 8 から 13 の炭酸水素塩／炭酸塩水溶液中で純チタンならびに純銅、ニッケル基合金の電気化学特性を測定し、非照射下での結果と比較した。検討の結果、下記の知見が得られた^{1,2)}。

- (1) いずれの材料も、検討したアルカリ性の模擬地下水において、ガンマ線照射によりカソード電流が増加し、それに応じて腐食電位が貴化した。これはラジオリシスによって生成した酸化性化学種によって、腐食の還元反応が促進されたことに起因すると推察される。
- (2) 照射によるカソード電流の増加は、純チタンと純銅で特に顕著であった。ニッケル基合金でのカソード電流の増加は、純チタンと純銅と比較すると軽微であった。
- (3) 純チタンならびに純銅、Ni 基合金のいずれの電極でも、ガンマ線照射によりファラデーインピーダンスが低下する（腐食反応が加速される）ことが確認された。また、純チタンは、非照射下を含め、pH の増加とともにファラデーインピーダンスが減少した。純銅と Ni 基合金では、逆に pH に応じてファラデーインピーダンスは増加した。高周波数域でのインピーダンス特性からガンマ線照射下での純銅の腐食反応の律速段階はカソード反応の物質輸送と推定された。

本研究に関する研究発表

- 1) ガンマ線照射下のアルカリ性模擬地下水溶液中での純チタンならびに純銅、ニッケル基合金の分極挙動、湯川卓司、井上博之、小嶋崇夫、立川博一、谷口直樹、第 64 回材料と環境討論会講演集、E-102 (2017).
- 2) ガンマ線照射下のアルカリ性模擬地下水溶液中での代替処分容器材料の電気化学挙動、井上博之、湯川卓司、小嶋崇夫、立川博一、谷口直樹、材料と環境 2018 講演集、A-308 (2018).

量子線化学生物学グループにおける殺滅菌関連研究の動向

阪府大研究推進, 阪府大院工量子放射線工学分野 古田雅一

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

放射線を用いた滅菌は我が国においては医薬品, 医療用具の滅菌保証に適用可能な滅菌法として許可され、すでに広く利用されている。一方、食品の殺滅菌へ放射線利用は我が国の食品衛生法において禁止されているが、食品の包装容器の滅菌に対する放射線利用は順調に伸びている。特に最近、飲料の PET ボトルへの無菌充填システムにおいて放射線障害防止法の規定外の 1 MeV 未満の低エネルギー電子線で PET ボトルを滅菌することが実用化され、放射線滅菌が食品工場内で拡がりつつある。これにより食品工場内における放射線滅菌と加熱など他の殺滅菌法との組み合わせ、すなわちハードルテクノロジーの構築システムの開発が現実化してきた。これにより食品の殺滅菌において最も抵抗性を示す細菌芽胞の殺滅菌の効率化、や既存の殺菌において問題となっている損傷菌の軽減などが期待できる。本研究グループではこれらを検証するために主に枯草菌芽胞を材料として研究を進めている。さらに細菌芽胞とともに食品分野に限らず、住環境や文化財保全など、多方面で問題となっているカビの放射線殺菌についても取り組んでいる

細菌芽胞は、芽胞内膜に存在する発芽レセプターと発芽誘導剤との接触にはじまる発芽 (germination) と発芽後成長 (outgrowth) を経て栄養増殖に至る。これらの過程は芽胞の培養液の濁度変化をモニターすることで追跡できる。そこで *Bacillus subtilis* 168 株の芽胞を材料とし、香辛料由来の抗菌成分や ^{60}Co γ 線と 98°C 加熱処理後の芽胞の発育パターンの変化を比較した。その結果、 γ 線は芽胞の発芽後増殖過程に影響し、他方、加熱処理や香辛料精油成分のカルバクロール、チモールは発芽過程に影響することが見出されている。これらの知見を基に現在、殺菌力の相乗効果や損傷菌の確実な殺菌を狙い、組み合わせ条件を検討している。

カビの殺菌については、水害等で汚損した古文書に発生した汚染カビの分離・定量・同定を行っており、汚染カビを殺滅するのに十分な照射が可能であることが期待される。

本研究に関する研究発表 (原著論文、その他報文、学会等報告)

- 1) Effects of heating and gamma-rays on the germination and outgrowth of *Bacillus subtilis* spores, A. Futenma, T. Sakai, J. Sakamoto, T. Tsuchido, M. Furuta, Biomicroworld 2017, October 18-20, 2017 Madrid, Spain
- 2) 枯草菌の加熱および放射線照射で生じる損傷芽胞の改変 DiVSaL 法による計数と損傷様式の差異、普天間章、阪井俊夫、坂元 仁、古田雅一、土戸哲明、損傷菌セミナー2017 2017年6月13日、東京都。
- 3) 和紙に発生したカビの放射線殺菌に関する研究、松下正和、天野真志、内田俊秀、藤田和久、酒井浩一、吉川圭太、古田雅一、日本文化財保存修復学会 2017年7月1、2日、金沢

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、藤山貴友、古田雅一*

地方独立行政法人 大阪健康安全基盤研究所 福井直樹、高取 聡、藤原拓也、
北川陽子、梶村計志

(*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切に評価・運用するためには照射履歴の検知法が不可欠である。我々は、 γ 線照射により DNA 中のチミジン (dThd) から生成する損傷ヌクレオシドである 5, 6-ジヒドロチミジン (DHdThd) を指標とし、既存の検知法では適用困難であった牛レバー (以下、レバー) を対象に新たな検知法 (DHdThd 法) を開発した。また、牛ミンチ (以下、ミンチ) を共通試料とした検証において、DHdThd 法 (以下、本法) および公定法のアルキルシクロブタン法の両法の高い正の相関性が認められ、本法の検知法としての信頼性が高まった。このたび、本法の発展・改良を目的に、①魚介類 (エビ) への適用拡大、②レバーを共通試料とした電子線照射への適用性と γ 線照射との比較および③照射試料を加熱調理した際の検知への影響について検証した。

【方法】凍結した試料 (レバー、ミンチおよびエビ) を大阪府立大学放射線研究センターで γ 線照射 (0~11 kGy) した。また、レバーは共通試料として外部機関に電子線照射委託し、出力 10 MeV の電子加速器により片面照射 (0~11 kGy) した。加熱調理には電子レンジを用いて試料の中心温度が 75°C 以上となった状態で 1 分間以上保持できるよう実施した。試料は、フェノール・クロロホルム抽出法およびヨウ化ナトリウム (NaI) 法により DNA を抽出した。抽出した DNA をヌクレアーゼ P1、アルカリホスファターゼおよびホスホジエステラーゼを用いた酵素処理によりヌクレオシドに分解した。次に、消化液をりん酸・クロロホルムによる精製後、タンデム型質量分析計付き高速液体クロマトグラフ (LC-MS/MS) により試験液中の DHdThd と dThd の濃度比 (DHdThd/dThd) を測定して検知指標とした。

【結果・考察】

レバーからの DNA 抽出に NaI 法を適用したところ、DNA の収量・純度ともに良好な結果が得られ、さらに所要時間もおよそ 1/2 に短縮された。一方、ミンチおよびエビに、フェノール・クロロホルム抽出法は適用できたものの、NaI 法は適用できなかった。

① 魚介類 (エビ) への適用拡大

エビについても、レバーおよびミンチと同様に殺菌を目的とした実用線量範囲において、DHdThd は、照射特異的かつ線量依存的に生成することが認められた。ただし、照射線量に対して DHdThd/dThd をプロットしたエビの線量依存曲線の傾きはレバーおよびミンチと比較して約 3 倍高く、エビではレバー等よりも高い効率で DHdThd が生成することが示唆された。これについて、エビの試料中の水分含有量はレバー等よりも高く、照射による間接作用で生成する DHdThd の生成に有利に働いたと考えられた。また、照射後約 100 日間凍結保管した試料から

も検知でき、加えて DHdThd/dThd は照射直後と近似した値を示し、当該検知指標は凍結保存状態で安定であることが示唆された。

② 電子線照射への適用性と γ 線照射との比較

異なる個体から供給された 3 種類のレバーを共通試料として、 γ 線と電子線照射した結果、線源に関わらず DHdThd/dThd は近似した値が得られ、殺菌を目的とした実用線量範囲において照射特異的かつ線量依存的に生成することが認められた。これらのことから、DHdThd/dThd は、個体差および線源の相違による影響を受けにくい検知指標であることが示唆された。

③ 加熱調理した際の検知への影響

加熱により DNA 抽出効率が 1/2 に低下するものの、照射後に電子レンジで加熱したレバーからも DNA は抽出可能であり、この DNA から得られた DHdThd/dThd は非加熱の場合と近似した値であった。このことから、本法は、照射後、試料が加熱されても DNA が抽出されれば照射履歴を検知できると推察された。

【まとめ】

これまでの研究結果から、本法は以下の特長を有することが確認された。

- (1) γ 線および電子線照射した試料の照射履歴を検知できる。
- (2) 線源に関わらず照射線量が同じであれば、DHdThd/dThd は近似し、かつ試料間のばらつきは小さいが、食品の種類（成分差）によって、値が異なることが考えられる。
- (3) 長期冷凍（ -20°C ）保管した試料から照射履歴を検知できる。
- (4) 照射後に加熱調理した試料からも照射履歴を検知できる。

本法は、食品に普遍的に含まれる DNA 中に生成する DHdThd を検知することから、食肉あるいは魚介類等の動物性試料のみならず、植物性試料を含めて多様な食品への適用が期待される。さらに、本法は、食品から DNA を抽出して、ヌクレオシドに分解した後、汎用分析機器の LC-MS/MS で分析することから実施が容易であるので、今後、検疫所や衛生研究所などの機関に広く普及することも期待される。

本研究に関する研究発表（原著論文、その他報文、学会等報告）

- 1) Determination of irradiation histories of raw beef livers using liquid chromatography–tandem mass spectrometry of 5,6-dihydrothymidine: Fukui, N., *et al.*, *Food Chem.*, **216**, 186-193 (2017)
- 2) Rapid and Reliable Method for Determining Irradiation Histories of Ground Beef and Prawns by Measuring 5,6-Dihydrothymidine: Fukui, N., *et al.*, *J. Agricul. Food Chem.*, **65**, 9342-9352 (2017)
- 3) 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: 福井直樹ら, 第 54 回アイソトープ・放射線研究発表会 (2017.7.5-7; 東京)
- 4) 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電子線照射食品への適用性: 藤原拓也ら, 第 113 回日本食品衛生学会学術講演会 (2017.11.9-10; 東京)
- 5) 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(電子線照射食品への適用): 藤原拓也ら, 第 53 回日本食品照射研究協議会研究発表会 (2018.1.23; 東京)

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

エフピー株式会社 西村哲也、塚本由夏、杉本潤哉、卜部和則、高畑和恵
大阪府立大学理学系研究科 川西優喜、八木孝司*

(*本研究に関する連絡先:電話(内線)072-254-9862(4210)、メール yagi-t@riast.osakafu-u.ac.jp)

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

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

今回、ヒトの MAT を安定発現させた HEK293 細胞において ^3H 標識モノアミンあるいはリガンドを用いたモノアミン取り込み実験および競合結合実験を行い、ラット脳シナプトソームを用いた実験結果との比較を行った。DAT 阻害薬 GBR-12935 は、ラット脳シナプトソームでの DA 取り込み阻害活性の IC_{50} 値が 25.8 nM であり、hDAT 安定発現細胞における DA 取り込み阻害活性の IC_{50} 値および競合結合実験の阻害定数 (K_i) はそれぞれ 23.8 nM と 57.2 nM であった。SERT 阻害薬 fluoxetine のセロトニン取り込み阻害活性の IC_{50} 値は、ラット脳シナプトソームでは 160 nM、hSERT 安定発現細胞では 23.2 nM であり、hSERT 安定発現細胞での競合結合実験の K_i 値は 29.9 nM であった。NET 阻害薬 atomoxetine のノルエピネフリン取り込み阻害活性の IC_{50} 値は、ラット脳シナプトソームでは 186 nM、hNET 安定発現細胞では 4.88 nM であり、hNET 安定発現細胞での競合結合実験の K_i 値は 5.55 nM であった。以上より、モノアミン取り込み阻害活性に関して、DAT では種差が認められなかったが、SERT および NET では種差が認められたことから、ヒトに外挿する際には注意が必要である。また、hSERT と hNET におけるモノアミン取り込み阻害活性の IC_{50} 値と競合結合実験の K_i 値が良く一致しており、hDAT でも約 2 倍程度の差であったことから、使用した各阻害薬の MAT 結合サイトは、基質のそれと共通している可能性が示唆された。

出芽酵母における重金属の毒性評価とその原因の調査

大阪府立大学 理学系研究科 西村元志、原島小夜子、川西優喜、八木孝司*

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

【背景・目的】

鉱山、精錬所、工場などから環境中に排出される重金属の一部は毒性が強く、健康被害が問題となっている。環境試料などから重金属を検出するには、機器分析法があるが、特殊な技術や分析機器を必要とする。そこで、私たちは簡便迅速に重金属を検出するためのバイオアッセイ法として酵母レポーターアッセイ法を確立した。重金属により発現が誘導される出芽酵母の遺伝子プロモーターと *lacZ* を連結したレポータープラスミドを構築し、野生株 W303a に導入して 4 種類の重金属応答レポーターアッセイ酵母を樹立した。改良を重ねた結果、現在 10 種類以上の重金属を検出可能であることを確認している。本研究では、DNA 損傷応答酵母を用いたレポーターアッセイによる遺伝毒性評価と Tali Image-Based Cytometer を用いて重金属による活性酸素種 (Reactive Oxygen Species: ROS) の発生を調べることで、出芽酵母における重金属の毒性発現機構の解明を目指している。

【実験方法】

(1) 酵母レポーターアッセイ法による遺伝毒性評価

DNA 損傷応答を検出するために構築した *HUG1-lacZ* 酵母と *RNR2-lacZ* 酵母を用いてレポーターアッセイを行い、重金属の毒性と DNA 損傷応答との関連を調べた。レポーターアッセイは以下の手順で行った。培地を加えた 96 穴マイクロプレートに重金属を添加し、菌体数を調整した酵母菌液を加えて、30°C で 18 時間培養した。新しいプレートに ONPG を含む発色液と被験物質で処理した酵母菌液を加えた。37°C で 2 時間インキュベートした後、OD₄₀₅ (レポーター発現量) と OD₅₉₅ (酵母菌体数) の測定により、レポーター活性 (Increase of induction) を算出した。

(2) 酵母細胞内の重金属により発生した活性酸素種の検出

ROS 検出試薬である 2',7'-dichlorodihydrofluorescein diacetate (DCFH-DA) は蛍光により細胞内の ROS を特異的に検出することができる。これを用いて重金属で処理した酵母細胞内で発生した ROS を検出し、重金属の毒性と ROS の発生との関連を調べた。ROS 検出は以下の手順で行った。酵母菌液に重金属を添加し、30°C で 30 分間インキュベートした。酵母菌液に DCFH-DA を加え、37°C で 15 分間インキュベートした後、Tali Image-Based Cytometer で蛍光を測定した。

【結果・考察】

レポーターアッセイの結果、*HUG1-lacZ* 酵母は Co^{2+} 、 Se^{4+} に、*RNR2-lacZ* 酵母は Cd^{2+} 、 Co^{2+} などに対して濃度依存的な応答を示した。一方、ROS 検出の結果、 Hg^{2+} 、 Ag^+ などで酵母細胞内に ROS の発生が確認された。

DNA 損傷応答酵母を用いたレポーターアッセイの結果より Cd^{2+} 、 Co^{2+} など先行研究で酵母に対して細胞毒性を示す重金属において DNA 損傷応答との関連が示唆された。加えて、ROS 検出の結果より Hg^{2+} 、 Ag^+ などの細胞毒性が特に強い重金属においては ROS の寄与が確認された。今後は ROS 消去剤を用いて、より詳しく重金属による ROS 発生について調べる予定である。

放射線や生体影響物質に応答する酵母レポータージーンアッセイの創出

大阪府立大学理学系研究科生物科学専攻／放射線研究センター 八木孝司

ダイオキシンや環境ホルモンが問題となった21世紀初頭、私たちはヒトやマウスの芳香族炭化水素受容体(AhR)やエストロゲン受容体(ER)とそれらのレポーター(LacZ:βガラクトシダーゼ遺伝子)を酵母に組み込み、βガラクトシダーゼ基質溶液が呈色することによって受容体のリガンド濃度が測定できる酵母レポータージーンアッセイを作出した。ダイオキシンや環境ホルモンは核内受容体本来のリガンドに代わって結合することにより、生体に悪影響を及ぼす。その後、ヒトのおもなステロイドホルモン受容体、およびレチノイドX受容体(RXR)とのヘテロ二量体を形成する多くの核内受容体のリガンド応答酵母を作製した。またヒトや両生類の甲状腺ホルモン受容体(TR)のリガンド応答酵母を作製して、環境化学物質に対する応答性を比較した。また、鱗翅目、鞘翅目、双翅目昆虫の脱皮ホルモンと幼若ホルモン受容体のリガンド応答酵母を作製し、これらの受容体を標的とする農薬に対する応答性を比較した。また重金属や放射線、環境変異原に応答する酵母を作製した。その結果、これまでに合計20種類を越えるレポータージーンアッセイ酵母を創出した。

これらの酵母は河川水や土壌中の未知生体影響物質の検出や、核内受容体を標的とする医薬候補物質や農薬のスクリーニングなどに利用できることを示した。

この講演ではこれらアッセイ酵母の作製法、およびその特徴や利用について解説する。

マウス細胞のがん化による DNA 修復遺伝子の段階的な発現低下

阪府大 理 分子細胞遺伝 馬場亮、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)

【背景・目的】

ヒトをはじめとする生物の体には、ゲノム安定性を維持する様々な機構が備わっている。DNA 修復機構もその一つである。この機構により、DNA に生じた損傷は修復され、突然変異へと至ることは少ないと考えられる。しかし、このような生体内で、がん細胞は突然変異を蓄積しながら段階的に悪性化して、増殖を続ける。そこで私たちは、発がんの原因の1つは DNA 修復遺伝子の不活性化であると仮定した。その仮説を証明するため、本研究では、マウス近二倍体細胞(m5S)を用いて、造腫瘍性獲得へ至る段階的な悪性化モデルを作製し、細胞の悪性化に伴って、O⁶-メチルグアニン修復酵素(MGMT)とミスマッチ修復遺伝子(MLH1)の発現がどのように変化するのかを調べることを目的とした。

【実験方法】

まず、m5S 細胞を三酸化二ヒ素に曝露することで、シャーレ上で接触阻止能を失って、形質転換し、フォーカスを形成した細胞を単離した。フォーカス形成細胞において MGMT と MLH1 の発現低下が認められたので、その細胞に突然変異を蓄積させ、さらに細胞を悪性化させるために *N*-メチル-*N*-ニトロソウレア(MNU)を複数回処理した。なお、フォーカス形成細胞と MNU 処理細胞については増殖能が m5S 細胞よりも高いことも確認した。次に、フォーカス形成細胞と MNU 処理細胞を軟寒天上に播種することで、足場非依存性細胞を得た。そして、フォーカス形成細胞、MNU 処理細胞、足場非依存性細胞に加え、m5S 細胞とその不死化前の ICR マウス由来正常二倍体細胞をヌードマウスに移植して腫瘍形成能を調べた。最後に、これらすべての細胞を用いて RT-PCR を行い、MGMT と MLH1 の発現量を定量した。また COBRA 法により、MGMT のプロモーター領域のメチル化状態を確認した。

【結果】

フォーカス形成細胞や MNU 処理細胞では m5S 細胞よりも 2 倍ほど増殖能が高いことが分かった。また、軟寒天上では、播種数に対してフォーカス形成細胞では約 2%、MNU 処理細胞では約 15%のコロニー形成頻度であった。このフォーカス形成細胞と MNU 処理細胞は *in vivo* での腫瘍形成能も確認できた。RT-PCR の結果、ICR マウス由来細胞に比べ、m5S 細胞では MGMT の発現が非常に低下し、フォーカス形成細胞、MNU 処理細胞、足場非依存性細胞の順で、段階的に発現低下することが分かった。また MLH1 については ICR マウス由来細胞に比べ、m5S 細胞で発現が上昇したものの、MGMT と同様に段階的な発現低下が認められた。それらに加え、COBRA 法の結果より、MGMT の発現低下の原因はプロモーター領域のメチル化であることがわかった。以上の結果から、DNA 修復遺伝子である MGMT と MLH1 は細胞の悪性化に伴い、発現が低下していくということが示唆される。

オオミジンコの幼若ホルモンおよび脱皮ホルモン受容体発現酵母を用いた レポーターアッセイ系の確立

大阪府大院 理 佐野恵梨花、高田英治、原島小夜子、川西優喜、八木孝司*
(*本研究に関する連絡先：電話(内線)4224、メール yagi-t@riast.osakafu-u.ac.jp)

【研究背景】

ミジンコ類は通常メスのみで単為生殖を行い、脱皮を繰り返して成長している。生育環境が悪化すると、幼若ホルモンにより仔虫のオス化が誘導され、有性生殖で耐久卵を作る。幼若ホルモンや脱皮ホルモン様活性をもつ化学物質は殺虫剤として用いられており、ミジンコ類の内分泌系にも影響を及ぼす可能性がある。ミジンコ類は生態系における一次消費者であり、こうした化学物質による個体数の大幅な増減が生態系に影響を与えることが懸念されている。本研究は酵母レポーターアッセイ法を用いて環境中から幼若ホルモンや脱皮ホルモン活性を検出できる、オオミジンコの幼若ホルモン受容体 **Met**、脱皮ホルモン受容体 **EcR-USP** 発現酵母株の樹立を目的とした。

【研究内容】

PCR によってオオミジンコの **Met**、**EcR**、**EcR** のヘテロダイマーパートナー **USP**、転写共役因子 **SRC** の **ORF** を増幅し、酵母用発現ベクターに導入してプラスミドを作製した。応答配列をもつレポータープラスミド、**SRC** 発現プラスミドを導入した株に受容体発現プラスミドを導入することで **Met**、**EcR-USP** 発現酵母株を作製した。レポーターアッセイは次の手順で行った。各種リガンドを 96 穴プレートに添加し、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 **ONPG** を含む発色溶液とリガンド曝露した酵母菌液を混合して 37°C で 18 時間インキュベートした。吸光度 **OD₄₀₅** (発色度) と **OD₅₉₅** (酵母量) 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。

【研究結果と考察】

作製した **Met** 発現酵母株では、内因性幼若ホルモンの **JHIII** と **MF**、さらに幼若ホルモンアナログであり殺虫剤として利用されているメトプレンやピリプロキシフェンなどでリガンド濃度依存的なレポーター活性が見られた。**EcR** 発現酵母株ではアイソフォーム間でレポーター活性値にほとんど差は見られず、**EcRA**、**EcRB** 発現酵母株ともに内因性リガンド **20E** やその前駆体 α -**Ecdysone**、殺虫剤として利用される **THQ** 系化合物などでリガンド濃度依存的な活性が見られた。この結果から作製したアッセイ酵母は、幼若ホルモン様および脱皮ホルモン様物質を検出する一次スクリーニング系として有用であると期待される。

【本研究に関する研究発表】

環境指標生物オオミジンコの幼若ホルモンおよび脱皮ホルモン受容体リガンドアッセイ酵母の樹立
日本環境変異原学会第 47 回大会 2018 年 京都

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 (Ⅲ)

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、茎の中を求底的に移動しつつ、光や重力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。この他の植物ホルモン類などには見られない細胞極性に従った特異的移動は、オーキシン極性移動と呼ばれている。我々は IAA の関与する生理作用機構や極性移動制御の分子機構の解明を目的に、主に (1) ~ (3) の研究を展開した。

(1) 重力屈性制御機構と植物ホルモン類に関する研究：正常な重力応答を示す Alaska エンドウと重力応答突然変異体 *ageotropum* エンドウを用い、重力刺激に応答し質的・量的変動を示す重力屈性刺激誘導性生長抑制物質として β -(Isoxazolin-5-on-2yl)-alanine の同定に成功した (原著論文 1)。

(2) 天然型 IAA 極性移動制御物質の単離・同定：多様な二次代謝産物を含むキク科植物のモッコウ (*Saussurea costus*) およびビャクジツ (*Atractylodes japonica*) を対象に、放射性 IAA とダイコン胚軸切片を用いた生物検定法を駆使して IAA 極性移動制御物質の探索を行った。その結果、コスツノライド、サンタマリンなど複数の α -メチレン- γ -ラクトン構造を有するゲルマクラン型セスキテルペンラクトンの単離・同定に成功した (原著論文 2)。

(3) *Bryophyllum calycinum* における IAA 誘導茎肥大生長の制御機構：セイロンベンケイソウ (*B. calycinum*) の茎節間上部に IAA を投与すると、投与部付近で著しい横肥大生長がおこる。この肥大生長に対する種々のオーキシン極性移動阻害剤の影響を調べた。その結果、オーキシン極性移動阻害剤によってその成長に対する影響が異なることを見出した (原著論文 3)。

本研究に関する研究発表

1) 原著論文

- (1) Hasegawa T., Omiya Y., Koide M., Shigemori H., Ueda J., Hasegawa K., Miyamoto K. (2017) A gravitropic stimulation-induced growth inhibitor, β -(isoxazolin-5-on-2yl)-alanine, is a possible mediator of negative gravitropic bending of epicotyls in etiolated *Pisum sativum* seedlings. *Plant Growth Regulation* 82: 431-438. DOI 10.1007/s10725-017-0269-0.
- (2) Toda Y., Shigemori H., Ueda J., Miyamoto K. (2017) Isolation and identification of polar auxin transport inhibitors from *Saussurea costus* and *Atractylodes japonica*. *Acta Agrobotanica* 70(3): 1700. DOI 10.1007/aa.1700.
- (3) Saniewski M., Goraj-Koniarska J., Gabryszewska E., Miyamoto K., Ueda J. (2017) Differential effect of *N*-1-naphtylphthalamic acid (NPA) and 2,3,5-triiodobenzoic acid (TIBA) on auxin control

of swelling of the shoots of *Bryophyllum calycinum* Salisb. Acta Agrobotanica 70(3):1723. DOI 10.1007/aa.1723.

2) 学会報告等

Miyamoto K., Saniewski M., Ueda J.: Gummosis and leaf abscission in Yoshino cherry (*Prunus yedoensis*) : Relevance to hormonal regulation and chemical composition of gums. VIII International Cherry Symposium 2017 (Yamagata, Japan, 2017年6月5~9日)

Kadokura Y., Inouhe M., Sakuma Y., Miyamoto K.: Changes in growth pattern and jasmonates levels in *Elodea nuttallii* in response to snail herbivory. 第58回日本植物生理学会 (鹿児島、2017年3月)

Oka M., Hayashi N., Miyamoto K.: A possible involvement of calcium dynamics in gravimorphogenesis regulated by auxin polar transport in epicotyls of etiolated pea seedlings. 第58回日本植物生理学会 (鹿児島、2017年3月)

門倉祐太、宮本健助、佐久間博、井上雅裕：水中食害に応答するコカナダモの成長パターンとジャスモン酸濃度の変化。中国四国地区生物系三学会合同大会 (高知、2017年5月13~14日)

門倉祐太、宮本健助、佐久間博、井上雅裕：コカナダモの食害応答におけるジャスモン酸伝達とフラボノイド生成の影響。日本植物学会第81回大会 (東京、2017年9月)

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天然型オーキシン極性移動阻害物質の黄化エンドウ芽生えの成長制御。(同上)

宮本健助、乾暉昇、鎌田源司、他8名：Auxin Transport 宇宙実験：宇宙微小重力環境下で生育させた黄化エンドウ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31回大会 (前橋、2017年9月)

井上理子、岡真理子、林直哉、宮本健助、他9名：Auxin Transport 宇宙実験：宇宙微小重力環境下で生育させた黄化エンドウ芽生えにおける *PsPINs* および *PsAUX* の遺伝子発現。(同上)

鎌田源司、岡真理子、宮本健助、他7名：Auxin Transport 宇宙実験：宇宙微小重力環境下で生育させた黄化エンドウ芽生えにおける *PsPIN1* の局在。(同上)

宮本健助、長谷川剛、大宮由芽、小出麻友美、繁森英幸、上田純一、長谷川宏司：重力応答突然変異体 *ageotropum* との比較解析によるエンドウ上胚軸の重力屈性制御物質の探索： β -(isoxazolin-5-on-2yl)-alanine の関与の可能性。植物化学調節学会第52回大会 (鹿児島、2017年10月)

蛍光分光光度法を用いたオリゴヌクレオチド鎖の損傷評価

福井大学 泉佳伸、松尾陽一郎

大阪府立大学 小嶋崇夫

要旨 放射線の生体影響の主要因の一つは細胞中の DNA の切断や酸化損傷である。我々の研究グループでは、オリゴヌクレオチドを蛍光修飾した試料を用い、放射線による損傷量を蛍光強度の変化から評価する手法について検討した。

はじめに

放射線の生体影響の主要因の一つは細胞中の DNA の切断や酸化損傷である。放射線安全管理のためには、汎用の個人被ばく線量計に加えて、放射線による生体の損傷を模擬しうる生体分子を試料とした線量計を併用することが理想的であると考えている。我々の研究グループでは、DNA 損傷に基づく線量評価手法の開発を目標として、①（主に高 LET）放射線を照射した場合の DNA 鎖切断収量についてリアルタイム PCR（Real-Time Polymerase Chain Reaction）を用いて評価する新しい方法を検討している。また、②オリゴヌクレオチドを蛍光修飾した試料を用い、放射線による損傷量を蛍光強度の変化から評価する手法、および③プラスミド DNA の鎖切断に伴う構造変化に起因する誘電特性をマイクロ波誘電吸収法で評価する手法についても検討している。本報告では、②について記述する。

これまでに、蛍光修飾したオリゴヌクレオチドを用いた手法を提案してきた。この手法の重要な原理は以下のとおりである。オリゴヌクレオチドに切断が生じていない状態では、蛍光修飾分子に与えられた光エネルギーがクエンチャー物質へ移動し、失活する。一方、切断などの損傷が生じれば、クエンチャー物質による抑制効果が抑えられて蛍光が増大する。このことから、放射線照射によるオリゴヌクレオチドの切断量は、励起光を照射した場合の蛍光量を介して評価できると考えられる。

実験方法

オリゴヌクレオチドの両末端を蛍光物質 6-Carboxyfluorescein (6-FAM) 及び Carboxy-tetramethylrhodamine (TAMRA) で修飾したものをサンプルとした(濃度:100nM、溶媒 TE 緩衝液)。オリゴヌクレオチドの塩基配列として(i)酵母菌の遺伝子(*URA3*)の一部の配列、(ii)T 及び G 塩基の酸化還元電位の違いから最も高感受性であると予測される T...TGT...T 配列、(iii)A のみの配列の 3 種類を選択した。サンプルに対し 0~100 mGy の γ 線を照射し、蛍光分光光度計(F2700)により蛍光物質 6-FAM の蛍光強度を測定した。また、感度の向上について検討するため、増感剤として期待できるトリブromo酢酸 (TBAA)を候補とし、6-FAM(100 nM)に対し 0~10 mM の TBAA を加えた場合の蛍光強

度を測定し、TBAA 添加による蛍光物質への影響を調べた。

結果

図 1 に 3 種類の配列の蛍光修飾オリゴヌクレオチドについての蛍光強度比の変化を示す。100 mGy までの γ 線照射による蛍光強度の上昇が確認された。また塩基配列の違いによって蛍光強度に変化があり、予想されたとおり(ii)の配列について比較的高い感受性を持つ傾向が見られた。図 2 に TBAA 添加濃度による蛍光強度の変化を示す。TBAA を加えた場合、10 μ M 以上の濃度では蛍光強度が低下する結果が示された。これは溶液の pH 変化に起因するものと考えている。今後、配列の最適化及び TBAA 添加による感度の向上を検討していく。

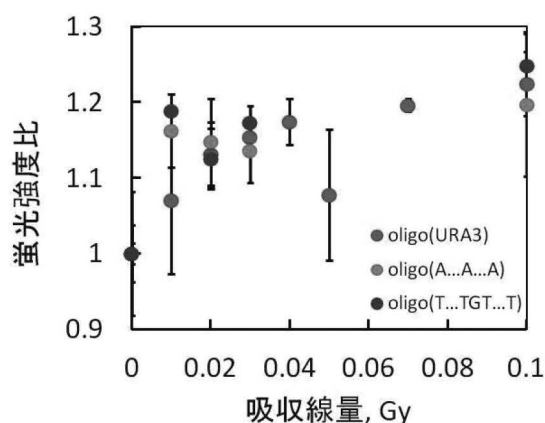


図 1 γ 線を照射した場合の蛍光修飾オリゴヌクレオチドの蛍光強度比

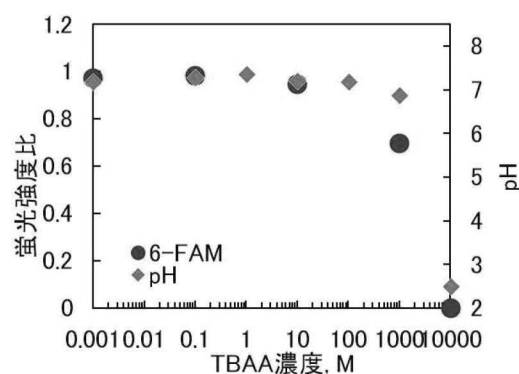


図 2 TBAA 添加に伴う蛍光物質 6-FAM の蛍光強度変化

サワシロギクにおける蛇紋岩適応への微生物の作用

阪府大院理・生物・生物多様性科学 真鍋遼、小嶋崇夫、西野貴子*

(*本研究に関する連絡先：電話（内線）3656、メール nishino@b.s.osakafu-u.ac.jp)

【目的】

貧栄養で保水力に乏しく、さらに多量の金属を含む蛇紋岩地帯への植物の局所適応は、進化研究の好例である(例えば、Kruckeberg and Ravinowitz 1985, Rajakaruna 2004, Anacker 2010)。サワシロギク *Aster rugulosus* Maxim. には、生育地に対応した湿地型と蛇紋岩型の生態型があり、さらに蛇紋岩型では集団ごとの生態的な分化が大きく、この集団ごとの生態的分化は、蛇紋岩耐性の違いに起因することを筆者らは明らかにしてきた。一方、近年、いくつかの植物分類群において蛇紋岩適応での AM 菌などの関与が示唆されている (Schechter and Brums 2008)。そこで、蛇紋岩適応における付加的な微生物の作用を検証するため、今回は、瘦果と土壤の滅菌条件を組み合わせた播種実験を行い、各生態型における発芽時の微生物の影響を調べた。

【方法】

植物体の湿地型と蛇紋岩型の瘦果は、1% 次亜塩素酸ナトリウム水溶液で滅菌した。各生育地の土壤とリファレンスの栽培用土はガンマ線照射 (60kGy 照射) にて殺菌を行った。その後、滅菌未処理と滅菌処理済みの各生態型の瘦果を各土壤に相互播種し、人工気象器にて発芽を観察した。本報告では栽培用土と蛇紋岩土壤での結果を示す。

【結果と考察】

図1に滅菌と非滅菌の土壤、および瘦果の播種実験の発芽率の結果を示す。

重金属等の土壤ストレスのない栽培用土に播種した場合には、湿地型、および蛇紋岩型の両生態型の瘦果において、発芽率に差は見られず、いずれも 75%以上の発芽率だった。一方、蛇紋岩土壤への播種の場合、湿地型植物体においては、その湿地型瘦果の滅菌状態や、土壤の滅菌状態に関係なく、いずれの場合も非常に低い発芽率を示した。この相互播種間での発芽率の有意差はなく、これまで明らかにしてきた土壤に含まれる重金属ストレスによる発芽阻

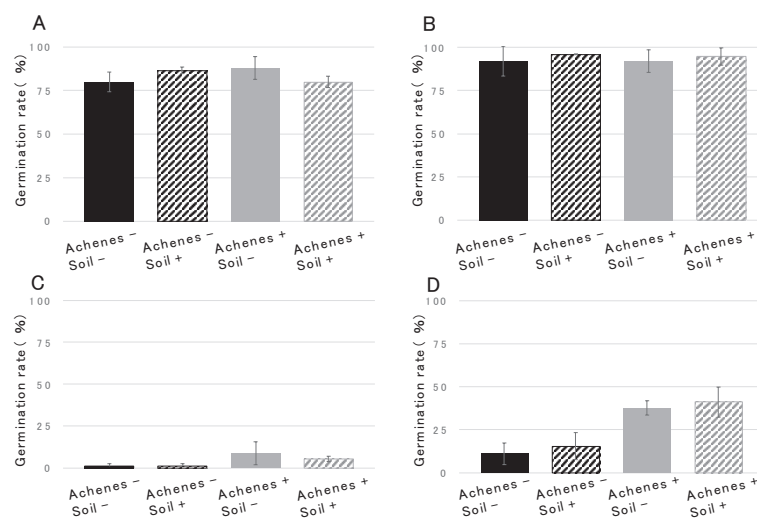


図1. 種子と土壤の滅菌と各生態型の発芽率
非滅菌で瘦果上の微生物が存在する(Achenes⁺)、滅菌により瘦果上の微生物が存在しない(Achenes⁻)、非滅菌で土壤の微生物が存在する(Soil⁺)、滅菌により土壤の微生物が存在しない(Soil⁻)。(A)湿地型種子を栽培用土に播種。(B)蛇紋岩型種子を栽培用土に播種。(C)湿地型種子を蛇紋岩土壤に播種。(D)蛇紋岩型種子を蛇紋岩土壤に播種。

害と考えられる。しかし、蛇紋岩土壌への蛇紋岩型植物体の瘦果を播種すると、土壌の滅菌と非滅菌処理間では発芽率に差が見られなかったが、瘦果の滅菌と非滅菌処理間には発芽率の差があり、瘦果を滅菌した場合に発芽率が有意に低下した。以上のことから、蛇紋岩型植物体の瘦果には発芽を補助する微生物が存在し、発芽時における蛇紋岩適応に寄与している可能性が考えられる。

本研究に関する研究発表（原著論文、その他報文、学会等報告）

- 1) Takako Nishino* (Osaka Pref. Univ.), Shota Sakaguchi (Kyoto Univ.), Naoko Ishikawa, Motomi Ito (Univ. Tokyo): Ecotypic adaptation to serpentine soil and acidic wetland in *Aster rugulosus*. XIX International Botanical Congress (Shenzhen, 23-29/Jul/2017)
- 2) 真鍋 遼* (大阪府大・院・理)・岡野 凌一(大阪府大・院・工)・徳本 勇人(大阪府大・院・理)・福島慶太郎(首都大・都市環境)・阪口 翔太(京大・院・人環)・石川 直子(東大・院・総合文化)・伊藤 元己(東大・院・総合文化)・西野貴子(大阪府大・院・理)：サワシロギクの蛇紋岩適応における発芽時の土壌微生物の影響と土壌細菌のスクリーニング. 日本植物学会第81回大会（野田、2017年9月7-10日）
- 3) 真鍋 遼* (大阪府大・院・理)・福島 慶太郎(首都大・都市環境)・阪口翔太(京大・院・人環)・石川 直子(東大・院・総合文化)・伊藤 元己(東大・院・総合文化)・西野 貴子(大阪府大・院・理)：サワシロギク生態型の発芽と生長における微生物の影響. 日本植物分類学会第17回大会（金沢、2018年3月8-10日）
- 4) 西野 貴子* (大阪府大・院・理)・真鍋 遼 (大阪府大・院・理)・中村 剛士 (大阪府大・院・理)・福島慶太郎(首都大・都市環境)・阪口 翔太(京大・院・人環)・石川 直子(東大・院・総合文化)・伊藤 元己(東大・院・総合文化)：サワシロギクの蛇紋岩適応に微生物は関与しているか. 第65回 日本生態学会大会（札幌、2018年3月14-18日）

UV 架橋コラーゲンをを用いたマウス神経幹細胞/前駆細胞と 血管内皮細胞の共培養

阪府大院理生物科学専攻 白岩侑馬、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】神経幹細胞/前駆細胞(neural stem/progenitor cells : NSPC)は自己複製能と神経細胞、グリア細胞という中枢神経構成細胞へ分化する多分化能を有し、無血清培地下で細胞集塊(ニューロスフェア)形成を伴う大量培養が可能である。故に、NSPC は毒性試験などのための中枢神経系の発生モデルの開発に応用されている。これまでに我々は細胞を接着させるコラーゲン表面の粘弾性の違いが、NSPC の分化や細胞伸展を変化させることを報告した¹⁾。本研究では、紫外線(UV)架橋によって粘弾性が変化するI型コラーゲンを、細胞の足場材料として用い、血液脳関門(BBB)モデル細胞として利用されている脳毛細血管内皮細胞株(brain microvascular endothelial cell : bEnd.3)とマウス胎児脳由来 NSPC (mNSPC)の共培養技術について検討した。

【実験】同一面上に UV 照射領域(UV 照射 254 nm)と未照射領域をもったコラーゲンゲル(UV 架橋パターンコラーゲンゲル)を作製し、bEnd.3 を播種、1 週間培養した。その後、mNSPC をニューロスフェアの状態で播種し、更に 2 週間の共培養を行った。細胞数測定、蛍光免疫染色によって培養した細胞の状態を確かめた。

【結果と考察】bEnd.3 は UV 架橋パターンコラーゲンゲル上で UV 照射領域に接着し、増殖した。しかし、未照射領域に接着した細胞は少なくあまり増えなかった。mNSPC は未照射領域や bEnd.3 が接着ししている UV 照射領域にも接着した。2 週間共培養でも両細胞の生存や増殖が確認できた。以上の結果から、コラーゲンゲル上に UV 架橋パターンを作製することにより、UV 照射領域に bEnd.3 を多く接着させることができ、さらに、その bEnd.3 が接着した UV 架橋パターンコラーゲンゲル上で、mNSPC と共培養できることが確認できた。

参考文献

- 1) H. Mori, A. Takahashi, A. Horimoto, M. Hara: Migration of glial cells differentiated from neurosphere-forming neural stem/progenitor cells depends on the stiffness of the chemically cross-linked collagen gel substrate: *Neurosci. Lett.* 555, 1-6, 2013

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、白岩 侑馬、山尾 明日美、土岐 麻菜、原 正之、コラーゲンゲル上への紫外線照射処理による脳毛細血管内皮細胞と神経幹細胞/前駆細胞のパターン化、第 69 回日本生物工学会大会(2017年9月 11-14 日、東京)

エラスチンの架橋反応を利用したバイオマテリアルの開発

九州工業大学大学院 前田 衣織

(*本研究に関する連絡先：0948-29-7830、メール iorinose@bio.kyutech.ac.jp)

エラスチンは生体内に存在する弾性線維の主成分で、コラーゲンなどと同様、我々の身体を形成するタンパク質である。エラスチンは抗原性が低いため、エラスチンを利用した種々のバイオマテリアルの開発が期待されている。本研究においては、エラスチンタンパク質やエラスチン由来ポリペプチドを γ 線架橋することにより、その物性の変化を調べ、バイオマテリアルとしての利用の可能性を検討している。エラスチンやエラスチン由来ポリペプチドの水溶液は、溶液の温度を変化させると「コアセルベーション」という、エラスチンに特異的な分子の自己集合の性質を発現する。この性質を利用し、エラスチンが自己集合する際に薬物をその分子内へ包含させる技術が開発され、これまでに多くの学術的な報告が行われている¹⁾。エラスチン由来ペプチドを用いたドラッグデリバリーシステム(DDS)用の担体については、学術的な報告は多く存在するが、医療現場での応用は報告例がない。

そこで、本研究においては、エラスチンのコアセルベーション特性と γ 線による分子架橋という特殊な技術を併用することにより、産業界で利用することのできる素材の開発を目指し、研究を進めている。エラスチンがコアセルベーション(自己集合)した状態で γ 線を照射して分子間を架橋すると、分子集合した状態のエラスチンを安定化させることができるため、さらに安定した状態でその分子内に薬物を包含させることができると考えられる。生体に対して安全な DDS 用の担体を作製するため、まず、エラスチン及びエラスチン由来ペプチドの溶液濃度や γ 線照射の条件を変化させた検討を行なった。その結果、 γ 線架橋反応を行うことにより、エラスチンのコアセルベーション能を完全に安定化させることに成功した。通常、コアセルベーションしたエラスチン溶液の温度を下げるとエラスチン分子が解離するが、 γ 線照射後はエラスチン分子が解離することなく、分子間が強固に架橋されたことが示された。また、作製されたエラスチンの粒子径は 200 nm~1,000 nm と幅広い値を示した。今後は、エラスチン溶液の濃度変化による粒子径の変化や粒子の安定性を調べていく予定である。

最後になりますが、本研究を進めるにあたり、貴センターの古田 雅一教授、森 秀信様に大変お世話になりました。心より御礼申し上げます。

参考文献

- 1) Wookhyn Kim and Elliot L. Chaikof, *Advanced Drug Delivery Reviews*, **62**, 1468-1478 (2010)

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、西田一貴、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)

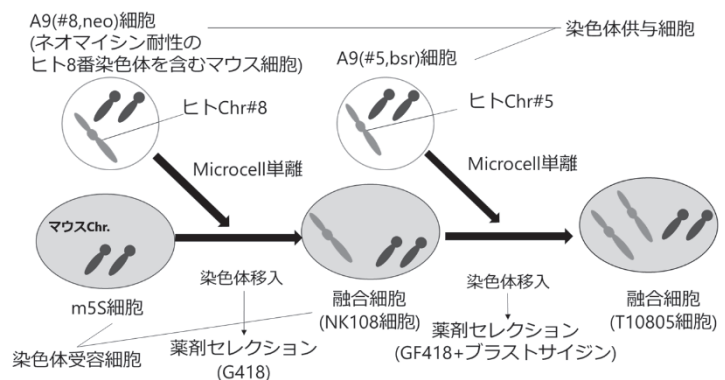
【背景と目的】

放射線に被ばくした細胞では複数の染色体異常が観察される。中でも不安定型染色体異常である環状染色体や2動原体染色体を含む細胞は正常な細胞分裂が行えないため短期間で細胞死を引き起こす。しかし、被ばく後数世代経った後の娘細胞でも2動原体染色体が観察されることが確認されている。このように、放射線被ばく細胞では、数十回もの細胞分裂を経た後の子孫細胞でも染色体異常や突然変異が、依然として高い頻度で生じていることが明らかにされている。この被ばく細胞で生じる遅延性ゲノム不安定化のメカニズムは解明されていない。当研究室ではこれまでに、被ばくしていないマウス細胞に被ばくヒト染色体を移入する方法を用いて、被ばくヒト染色体そのものが子孫細胞中で不安定化することを明らかにしている。このことから、被ばくの痕跡が染色体上に残ると考えられる。

そこで本研究では、被ばくヒト染色体と、人為的にDSB(DNA double strand break)を誘発した他のヒト染色体との転座頻度の解析を試みる。この実験系を確立するために、異なる2種のヒト染色体をマウス細胞に移入し、安定に保持できるのか明らかにする。

【材料と方法】

染色体受容細胞として不死化マウス m5S 細胞を、染色体供与細胞としてそれぞれヒト5番と8番染色体を含む2種類のA9細胞を用いた。ヒト染色体は、HVJ-Eによる微小核融合法(右図)を用いて移入した。移入直前にヒト5番染色体に放射線を照射することによって、作製した細胞中でヒト5番染色体を被ばく染色体として扱った。作製した融合細胞における2本のヒト染色体の安定性を whole chromosome painting-FISH(WCP-FISH)を用いて解析した。



【結果と考察】

被ばくしていないヒト5番染色体を移入した融合細胞(T10805細胞)では、解析した4種類の内3種類の細胞でヒト染色体安定であった(解析した計392個の細胞中に染色体異常を持った細胞が1個)。したがって、ヒト8番染色体を移入したm5S細胞にさらにヒト5番染色体を移入した細胞で、2種類の異なるヒト染色体が安定に保持されることがわかった。

本研究に関する研究発表(原著論文、その他報文、学会等報告)

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

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 (内戦) 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保有核の運命を追跡した。小核を持つ母細胞が分裂する際、稀に娘細胞が小核を持たないことがあり、これは小核が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、小核保有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について解析した。

【材料と方法】

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 細胞をダルベッコ変法イーグル培養液に 15%牛胎児血清を添加した培地で、37°C、5%CO₂条件で培養し、X線発生装置で X 線 (1Gy および 2Gy) 照射後、72 時間ライブセルイメージング撮影をした。顕微鏡のレンズには 60 倍レンズを用いた。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可になったものと最初から小核を持つものを除外した系統群中、小核が生じた細胞について、その後の運命を追跡した。

【結果と考察】

X 線未照射細胞の小核取込み率は 20.0%、照射細胞では 7.2%であった。この結果は、X 線誘発染色体断片由来小核も主核に取り込まれる可能性を示唆している。また小核保有系統は、小核を持たない系統に比べ架橋形成が 3.3~11.6 倍増加した。さらに中には核カタストロフィを示すものが見られた。小核保有細胞で、架橋形成が増えるのは、X 線照射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。また、核カタストロフィは、放射線照射による中心体の過剰複製が原因と推定されるが、小核保有との関連性は不明である。一方、アポトーシスは線量依存的に増加するが、小核の有無との関連性はみられなかった。このように、本研究の結果は、小核保有細胞に様々な染色体不安定性が生じることを示している。

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

クルックス管プロジェクトの進捗状況

阪府大院工 秋吉 優史*、松浦 寛人、安藤 太一、Do Duy Khiem、山本 堅士、屋敷 昌也、
谷口 良一、宮丸 広幸

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

平成 29 年 3 月に公布された中学校学習指導要領の改訂に伴い、「電流とその利用」単元の静電気と電流に関する内容の取扱に於いて「真空放電と関連付けながら放射線の性質と利用にも触れること」という内容が新しく追加されており、従来から用いられてきたクルックス管の活用が不可欠である。また既に平成 20 年 9 月に公布されている現行の中学校学習指導要領解説理科編においても電子の存在を理解させるためにクルックス管の利用が謳われており、現行の 5 社全ての教科書にクルックス管に関する記述がある。

ところが古い製品の一部にはエネルギーは低いが非常に高い強度の X 線を放出する製品が存在する。クルックス管から漏洩する X 線についてはこれまでに複数の報告が存在するが[1-4]、エネルギーが非常に低い X 線という観点からの評価が必要である。

- ★ 20keV 以下の低エネルギーの X 線は一般的なサーベイメーターでは線量を評価する事が困難である。電離箱やガラスバッジ、CZT 検出器と言った信頼できる測定方法での線量、エネルギースペクトルの評価を行った後に、学校教育現場でも実施可能な安全確認のための測定手法を開発する。これらの線量測定・評価を行うための研究を Task1 として位置づける。
- ★ 使用する装置や印加電圧などの運用条件によって、ガラス管外部へ漏洩する X 線量が大きく変動する。このため、全国の教育現場での実態をガラスバッジを配布することなどで調査し、極めて高い線量を発生する製品がどの程度存在するのかの調査、実演に必要な印加電圧の検証、安全に使用するための遮蔽体の検証などの、実際の教育現場での実態調査と運用方法の検討を行う研究を Task2 として位置づける。
- ★ 低エネルギー X 線は β 線と一般的な γ 線の間程度の透過力を持ち、不均一被曝をもたらすため、 $H_p(10)$ では過大評価になりすぎる。Task1 で測定された $H_p(0.07)$ とエネルギースペクトルを元に、クルックス管からの X 線による実効線量評価を行う必要がある。これは安全管理よりも、一般公衆に対して線量を伝える際に出来るだけ実態に近い値を伝えるためである。実際の安全管理上は、 $H_p(0.07)$ による皮膚と目の水晶体に対する等価線量評価が重要である。Task2 での実態調査結果を踏まえた上で教育現場での被曝線量の上限を国内外の規制、勧告などを参考として検討し、それを達成するための運用方法、測定方法などを「教育現場における放射線安全管理ガイドライン」としてまとめ、学会標準として制定する。これらの内容を、Task3 で実施する。

以下に、これまで得られた成果について列挙する。

- クルックス管に印加する電圧の変動により放出される X 線のエネルギーが大きく変わり、結果的にガラス管を透過して漏洩する線量が大きく変動する。
- 印加電圧は分圧器とオシロスコープで測定可能であり、時間変動するパルス波高の分布を取ることで印加電圧のヒストグラムを得ることが出来る。この印加電圧のヒストグラムは CZT 検出器で測定したスペクトルと良く一致していた。またより簡便には電圧ではなく電流をアナログの電流計で測定することで、線量が指数関数的に増加していくことが確認された。
- エネルギースペクトルは CZT 検出器や Be 窓の Ge 半導体検出器で評価可能であるが、誘導コイルからの出力電圧はパルス状であり、実際に高電圧がかかっている時間が 1% 程度に過ぎず、計数率を極端に落とさないとパイルアップしてしまうため、非常に小さいコリメーターを使って長時間測定する必要がある。
- GM サーベイメーターや電離箱を用いて、Al 板を挿入しながら線量を測定し、線減衰係数を求めることで実効エネルギーを知ることが出来る。エネルギーを大まかに区切ってそれぞれのエネルギーの線減衰係数を与え、核エネルギー成分の強度をフィッティングすることで、ある程度のエネルギー分布も知ることが出来る。またアクリル板を挿入しての測定では、1cm のアクリル板で強度が 1/2~1/3 程度に減少しており、このエネルギー領域での $H_p(0.07)$ と $H_p(10)$ の差を良く反映している。
- GM サーベイメーターでの測定は、実際に X 線が放出されている時間が短いため数え落としの補正が困難であり、真の計数率を求めることが出来ない。計数率が低い間は電離箱での測定結果と良く一致しているが、高くなってくると信頼できる測定とはならない。が、簡易な測定や学部生の学生実験のテーマなどには十分である。
- 線量はクルックス管表面から単純に距離の二乗に反比例して減少する。電離箱程度の大きさの測定器でも問題無く測定できている。
- 1m 距離における平面上での空間分布を測定した結果、中心から 50cm 程度離れても 70%程度の強度であり、かなりブロードな分布となっている。
- スリット付のクルックス管は、スリット上流での線量が高く、この部分は観察する場所ではないので適当な遮蔽体で遮蔽することで効果的に線量を落とすことが期待できる。
- 学校現場で用いられている機材の評価のため、ガラスバッジを用いた実態調査を行った。ガラスバッジは 10-80keV の範囲で X 線測定が可能な FX 型を使用した。フィルターに対する応答から実効エネルギーの評価も可能である。15, 30, 50cm 距離での測定を行い $y=a/(x+b)^2$ 関数でフィッティングし、生徒の居る 1m 位置での線量を外挿により評価した。なお、20keV 程度のエネルギーではファントムの有無でほとんど線量は変わらないため、空の 2L ペットボトルに線量計を貼付けることで測定条件を統一した。
- 20 校程度の評価の結果、最も高い学校で 15cm 距離では $H_p(0.07)$ は 195mSv/h にも達していた。1m 位置に於いても 5.6mSv/h あり、10 分間の実演の間に 1mSv 近く被ば

くすることになる。一方で、38 個中 18 個のクルックス管からは 15cm 距離に於いても 10 分間の照射で検出下限である 0.05mSv に達していなかった。

- ・ 今回の測定は、普段実演で使用している機材で、いつもと同じ条件で、と言う形で測定してもらった。今後、どこまで電圧を下げても実演に支障がないかを確認してもらい、その条件での測定を検討する。
- ・ 箔検電器による X 線測定の可能性が提言されている。これにより、ガラスバッジによる測定を行う必要のある学校のスクリーニングが可能であると考えられる。
- ・ 抵抗器を用いることで誘導コイルで安定的に出力可能な電圧以下に落としたり電流をバイパスすることなどが可能なことが明らかになっており、線量の高い装置についてはこれらの措置による線量低減が可能かも検討する。
- ・ 一般公衆に対する線量限度は 1990 年勧告の値についても国内法令には取込まれていない。良く言われている実効線量 1mSv/y も事業所境界の線量限度として規定されているに過ぎない。本プロジェクトは自主的な安全管理ですであるため ICRP 1990/2007 年勧告、2011 年ソウル声明 (Pub118) を取り入れる。なお、ソウル声明以後一般公衆に対する水晶体線量限度は引き下げられていない事を確認した。
- ・ クルックス管は、放射線障害防止法はもとより、電離放射線障害防止規則に於いても規制の対象外であることを確認した。これは電離則自体には記載されておらず、エックス線を発生させることを目的としていない装置は規制の対象外であるとの見解が厚生労働省から示されている事に基づく [5]。

参考文献

- [1] 学校教育における放電管の使用状況と放射線管理のあり方, 田原隆志, 新見克彦, 草間朋子, 吉澤康雄, 物理教育, 35 (1987) 150.
- [2] 学校教育における被ばく, 大森儀郎, NIRS-M-105 (1995) 107.
- [3] イメージングプレートを用いたクルックス管からの漏洩線量分布測定, 藤淵 俊王ら, 放射線安全管理学会誌, 10 (2011) 40-45.
- [4] 教育現場における冷陰極管の漏洩 X 線について, 宇藤茂憲, 福岡教育大学紀要, 66 (2017) 第 3 分冊, 1-11.
- [5] 電離放射線障害防止規則における X 線装置にかかる届出義務の簡素化, 全国規模での規制改革要望に対する見解の確認, <http://www8.cao.go.jp/kisei/siryo/030919/09-2.pdf>.

本研究に直接関係する研究発表 (原著論文、その他報告)

- 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, 谷口 良一, 松浦 寛人, 宮丸 広幸, Do Duy Khiem, 神野 郁夫, 濱口拓, 野村 貴美, 谷口 和史, 小林 育夫, 川島 紀子, 佐藤 深, 森山 正樹, 宮川 俊晴, 放射線化学, 106 (2018) 31-38. (査読有)
- つばさ基金を活用した放射線教育振興プログラムの紹介, 秋吉 優史, OPU テクノベーションニュース 61 号、2018 年 4 月
- クルックス管の安全な取り扱いとその課題, 秋吉 優史, 放射線教育フォーラムニュースレター, No.71 (2018) 10-11.

本研究に直接関連する学術講演等

- 京都府立桃山高校訪問研修 (2017年11月7日、9日、大阪府立大学 放射線研究センター), 秋吉 優史, 放射線教育基礎 ～放射線の世界をのぞいてみよう～
- 科学の祭典京都大会 交流会 (2017年11月11日、京都市青少年科学センター), 秋吉 優史, 現場に届く放射線教育コンテンツ支援プロジェクト
- 放射線教育フォーラム 公開パネル討論「エネルギー・放射線教育 in 愛知」(2017年11月23日、名古屋大学 東山キャンパス), 秋吉優史, ペルチェ冷却式高性能霧箱を用いた総合的放射線・エネルギー教育の提案 (ブース展示、ショートプレゼン)
- 日本放射線安全管理学会 12月シンポジウム (2017年11月30日-12月1日, 東京大学)
 - ・秋吉 優史、掛布 智久、谷口 和史、高島 勇二、宮川 俊晴, クルックス管を用いた放射線教育と放射線安全管理
 - ・山本堅士、松浦寛人、柚木朋也、秋吉優史, 寒剤を用いた普及可能な霧箱の開発
- 京都大学原子炉実験所専門研究会 「陽電子科学とその理工学への応用」(2017年12月8日、9日) 秋吉 優史, ペルチェ冷却式高性能霧箱による陽電子飛跡の直接観察
- 放射線教育フォーラム第2回勉強会 (2018年3月4日、東京慈恵医科大学), 秋吉 優史、クルックス管の安全な取り扱いとその課題 (招待講演)
- 日本原子力学会 2018年春の年会 (2018年3月26-28日、大阪大学 吹田キャンパス)
 - ・秋吉 優史、掛布 智久、谷口 和史, クルックス管からの低エネルギーX線の測定、評価手法の開発
 - ・山本 堅士、松浦 寛人、柚木 朋也、秋吉 優史, 塩化マグネシウムと氷による寒剤を用いた普及可能な霧箱の開発
- 静岡大学 放射線業務従事者教育訓練 (2018年04月20日、静岡大学), 秋吉 優史, 放射線安全取扱いの基礎 (依頼講演)
- 日本アイソトープ協会 放射線業務従事者のための教育訓練講習会 (2018年05月11日、名古屋商工会議所) 秋吉 優史, 教育現場における放射線安全管理の新展開 (依頼講演)
- 日本保健物理学会 第51回研究発表会(2018年6月29-30日、ホテルライフォート札幌), 秋吉 優史, 教育現場における低エネルギーX線評価方法の開発
- 日本アイソトープ協会 第55回アイソトープ・放射線研究発表会 (2018年07月04-06日、東京大学 弥生講堂)
 - ・秋吉 優史, 学校教育現場における低エネルギーX線の検出
 - ・山本 堅士、松浦 寛人、柚木 朋也、秋吉 優史, 塩化マグネシウムと氷による寒剤を用いた 塩化マグネシウムと氷による寒剤を用いた 普及可能な霧箱の開発
 - ・森 千鶴夫、緒方良至、秋吉 優史、白井俊哉、村上浩介、羽澄大介、中村嘉行、神谷 均、宮川俊晴、クルックス管からの漏洩 X線測定の試み ― 箔検電器による測定の提案 ―
- 日本エネルギー環境教育学会 第13回全国大会 (2018年08月08-10日、山形大学), 秋吉 優史 新学習指導要領における放射線教育コンテンツ開発と安全管理 ―高性能ペルチェ冷却式霧箱の活用―
- 日本原子力学会秋の大会 (2018年09月05-7日、岡山大学)
 - ・秋吉 優史、谷口 良一、松浦 寛人、宮丸 広幸、Khiem Do Duy、安藤 太一、神野 郁夫、濱口 拓、掛布 智久、谷口 和史, クルックス管からの低エネルギーX線スペクトル評価
 - ・安藤 太一、ドウ ユイ ヒム、秋吉 優史, BaF₂ シンチレータを用いたクルックス管からのパルス状低エネルギーエックス線の測定
- 放射線プロセスシンポジウム (2018年11月21-22日、東京大学 弥生講堂), 秋吉 優史, 学習指導要領改訂による放射線教育の新展開 (招待講演)

■ 日本放射線安全管理学会 第17回学術大会（2018年12月5日-7日、名古屋大学），セッションタイトル「低エネルギーX線の評価と安全管理」（クルックス管プロジェクトシリーズ発表）

・秋吉 優史、宇藤 茂憲、掛布 智久、神野 郁夫、小林 育夫、谷口 和史、野村 貴美、藤淵 俊王、宮川 俊晴、山口 一郎、横山 須美, (1) 低エネルギーX線の評価と安全管理に関する問題点と現状

・森山 正樹、秋吉 優史、掛布 智久、川島 紀子、佐藤 深、宮川 俊晴, (2) 教科書調査などを通じた教育現場現状の報告

・谷口 和史、青木 久美子、秋吉 優史、川島 紀子、小鍛冶 優、森山 正樹、宮川 俊晴、山口 一郎, (3) 教育現場での実態測定結果報告

・藤淵 俊王、秋吉 優史、小林 育夫、多田 順一郎、谷口 和史、山口 一郎, (4) 低エネルギーX線の放射線安全管理

・山本 堅士、Do Duy Khiem、秋吉 優史、緒方 良至、小鍛冶 優、松浦 寛人、森 千鶴夫, (5) 低エネルギーX線評価に関する応用事例

Investigation of Low Energy X-ray Radiated from Crookes Tube Used in Radiological Education

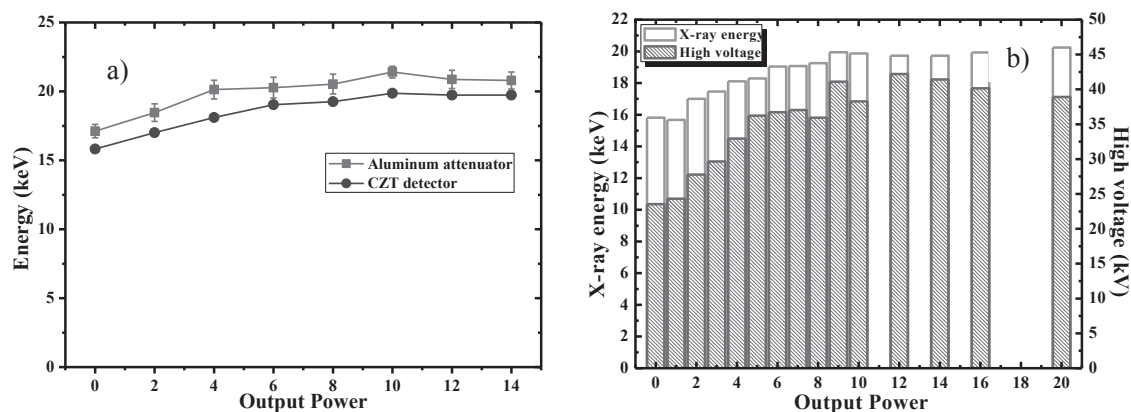
Do Duy Khiem, Hirokazu Ando, Masafumi Akiyoshi

Graduate School of Engineering, Osaka Prefecture University, Japan

(Contact email: doduy_khiem@yahoo.com)

In Japan, the radiological education guideline has been added to school's curricula by the Ministry of Education, Culture, Sports, Science and Technology (MEXT) since 2008¹⁾. Crookes tubes have been used as fundamental equipment in science education at junior-high schools in Japan. However, the radiation protection and safety guideline have not been evaluated sufficiently yet. It was reported in Japan that the X-ray radiated from the Crookes tube had very low energy (about 20 keV) but the dose was very high (up to several hundred mSv/h)²⁾. To establish the radiation safety guideline for the education using Crookes tubes, estimation of X-ray radiated by Crookes tubes at various conditions are required.

An induction coil supplies the variable high voltage to a Crookes tube, and the voltage is controlled by a discharge distance of electrodes and a voltage of the primary coil. It radiates X-rays in low energy, and spectrums were measured using a CZT detector. The applied high voltage and current were surveyed with an oscilloscope and an analog current meter, respectively. Thus, it shows correlation between the distribution of applied high voltage and the X-ray spectra. Additionally, aluminum linear attenuation coefficients estimated with an ionization chamber as the shielding evaluation. Increase of output power dial on the induction coil changed distribution of applied voltage, and that resulted in the X-ray energy shift to higher energy region. The X-ray energy estimated using both CZT detector and Al attenuator showed good agreement with an averaged difference of 7.5%. The filtration was called hardening the X-ray beam, and it caused the increase in effective energy.



a) Estimation of X-ray energy using CZT detector and Al attenuators;
b) Interrelation of X-ray spectral distribution and applied voltage distribution

References

- 1) Ministry of Education, Culture, Sports, Science and Technology (MEXT), http://www.mext.go.jp/b_menu/shuppan/sonota/detail/1311072.htm
- 2) Ohmori Giroh (1995), X-ray exposure in the teaching of science at junior and senior high schools (NIRS-M—105), Japan, 107-112 [in Japanese].

霧箱を用いた低エネルギーX線スペクトル評価

阪府大院工 量子放射線分野 山本堅士*, Do Duy Khiem, 秋吉優史

(*本研究に関する連絡先：電話（内線）4214，メール mb106005@edu.osakafu-u.ac.jp)

低エネルギーX線は線量の測定が困難であることに加えて，エネルギーの評価も困難である。CdTe や CZT 検出器，Be 窓の Ge 半導体検出器で評価可能であるが，学校教育現場などでも実施可能な簡易な手段として霧箱によるエネルギースペクトル評価手法の開発を行っている。

クルックス管から放出される低エネルギーX線をペルチェ冷却式高性能霧箱に入射させると，X線が光電効果により電子を弾き飛ばす(20keV程度の低エネルギーでは光電効果が支配的である)。この光電子はβ線と同様に高性能な霧箱であれば観察可能であり，多数の飛跡の長さからヒストグラムを作成することで，エネルギーの広がりを持つX線スペクトルを評価できないか検討を行った。

実験手順としてクルックス管から 50cm 離れたところにペルチェ冷却式高性能霧箱もしくは CZT 検出器を配置し，CZT 検出器で測定したエネルギー分布とペルチェ高性能霧箱により観察された光電子の飛跡長さのヒストグラムとの比較を行った。CZT 検出器により測定されたエネルギースペクトルを図 1 に，ペルチェ冷却式高性能霧箱による飛跡長さのヒストグラムを図 2 に示す。光電子の飛跡の長さは飛跡を円で囲み，円の直径から求めている。

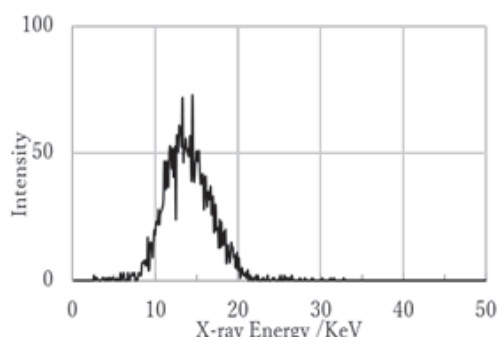


図1 CZT 検出器によるクルックス管からの低エネルギーX線エネルギースペクトルの測定結果

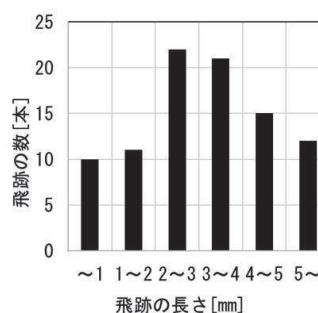


図2 霧箱により観察された図1のX線からの光電子飛跡長さのヒストグラム

CZT 検出器で得られた X 線のピークエネルギーは 15KeV であり，飛跡の長さの理論値は 4.3mm 程度である^[1]一方，飛跡の長さのピークは 2~3mm であった。理論値は直線で飛んだときの最大の長さのため計測した飛跡は理論値より短くなったと考えられる。今後はクルックス管の放電出力や線量を変えての測定や，様々な金属と Am-241 密封線源を利用した特性 X 線を観察して，入射 X 線エネルギーに対する飛跡長さの検量線作成が出来ないか検討を行う。

参考文献

[1] ICRU Report 37(1984) 「Stopping Powers for Electrons and Positrons」, pp.230, International commission on radiation units and measurements.

BaF2 シンチレータを用いたクルックス管からの パルス状低エネルギー엑クス線の測定

阪府大院工 安藤 太一*、Do Duy Khiem、秋吉 優史

(*本研究に関する連絡先：電話（内線）4214、メール ma106001@riast.osakafu-u.ac.jp)

1. 研究の背景と目的

平成 29 年 3 月に公布された中学校学習指導要領の改訂に伴い、「真空放電と関連付けながら放射線の性質と利用にも触れること」という内容が追加され、中学校の授業の現場において、クルックス管の活用が不可欠となっている。一方、古い製品の一部には低エネルギーではあるが、非常に強い強度の X 線を放出する製品が存在する。

クルックス管などの放電管からの放射線の漏えいは以前から報告されている^{1,4)}。これらの報告によると製品や使用条件によってはガラス表面から 5 cm の距離で 1cm 線量等量が 100 mSv/h を大きく超える非常に強い強度の X 線が放出されている²⁾。放射線作業従事者、労働者ではない若年層の生徒に対し、被ばくの検討がされていないことは、放射線安全管理上の問題が懸念される。

一方で、クルックス管からは短い時間領域で低エネルギーの엑クス線がパルス状に放出される。原因としてはクルックス管の起動に使用する、誘導コイルを用いた高電圧電源の電圧自体がパルス状に出力されている為である。図 1 に誘導コイルの回路図と出力電圧を示す。その為、X 線の数やエネルギーが測定できる、GM 管や NaI シンチレータ等を用いて測定を行うと、信号が重なりパイルアップしてしまい、正しいエネルギーや検出数の評価を行えない。

そこで本研究ではクルックス管由来の X 線の数やエネルギーの検討を行える新しいシステムを構築し、実際にどの程度有効であるか検討した。X 線の検出には、陽電子寿命測定等に用いられる BaF2 シンチレータを使用した。この検出器は高速応答で信号の立下りが早く、時間分解能の高い測定が可能である。

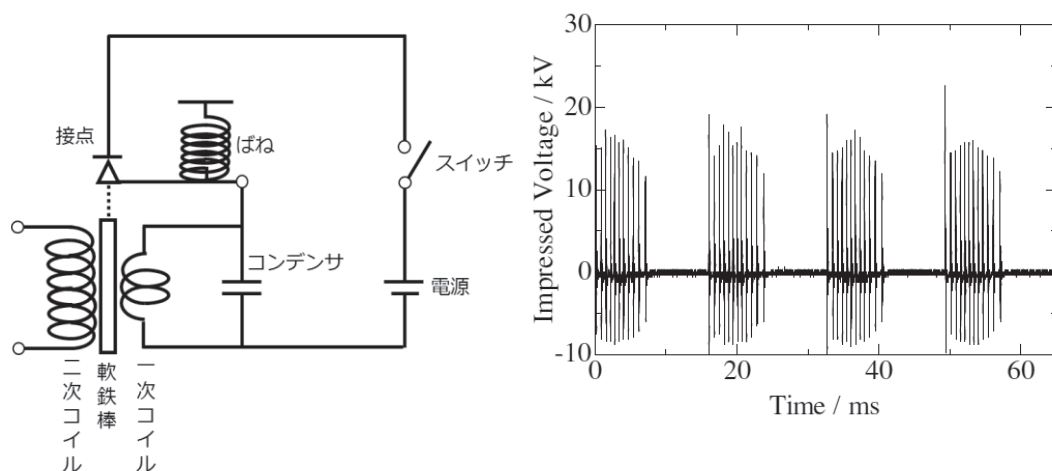


図 1 誘導コイルの回路図と出力電圧

2. 実験方法と結果

実験は $\Phi 20 \times 10$ の BaF₂ シンチレータと紫外領域の発光を検知できる光電子増倍管(浜松ホトニクス H33778-51)を用いて行った。検出した信号は高速パルスを観察する事が可能な高性能デジタルオシロスコープ(TELEDYNE LECROY HDO 4024A-MS)を用いて観察を行った。システム構成図と計測の様子を図2に示す。

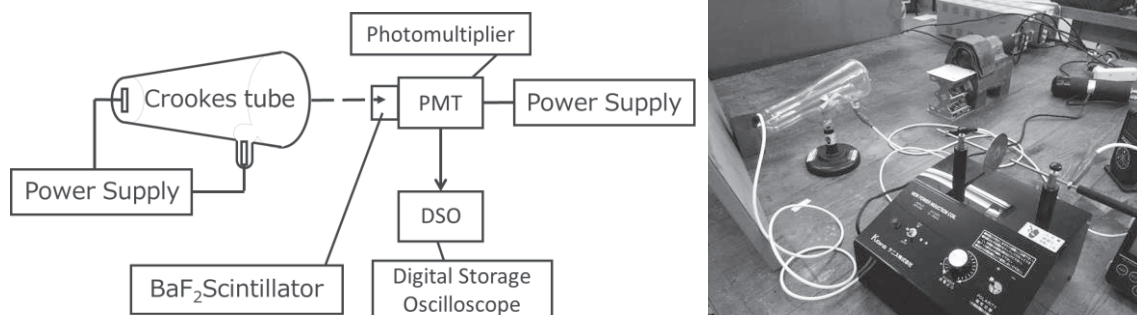


図2 システム構成図と実験の様子

図3に本システムによりクルックス管から30cmの距離で検出したクルックス管由来のX線の信号を示す。信号は数10 μ s の間に非常に多くの信号がパイルアップをしていることが分かった。またパイルアップした信号は概ね1ms置きに出力されており、誘導コイルを用いた電源の電圧周期とよく一致していた。

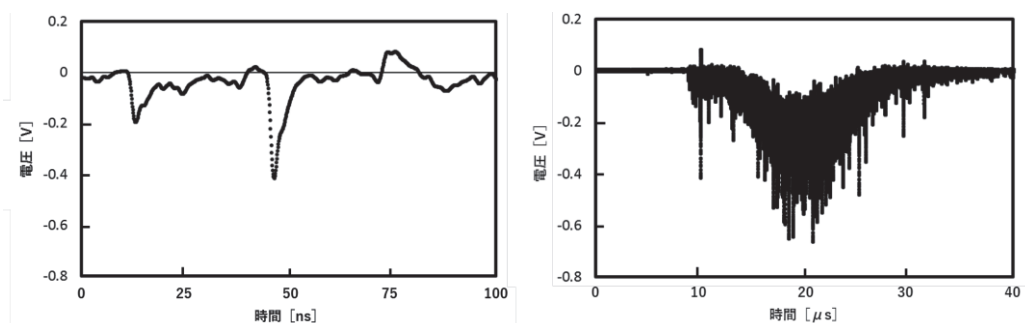


図3 クルックス管由来のX線による信号(左)とタイムレンジを拡げて測定した信号(右)

3. 考察と今後の展望

信号の立ち下がり速度が非常に低い BaF₂ シンチレータを以てしても、極端に短い時間間隔に多くの X 線が放出されているため、信号がパイルアップしている事が確認できる。このクルックス管からは概ね 20 keV の X 線が放出されている事から³⁾、パイルアップした信号の面積を積分し、 5.7×10^3 本の X 線が重なっている事が分かった。このパイルアップした X 線は 1ms おきに間欠的に放出される為、1 時間当たり 2.1×10^{10} /h 本の 20 keV X 線が $\phi 40$ mm の BaF₂ シンチレータに吸収されることになる。よって $\phi 40$ mm に入射する X 線のエネルギーフラックスは 6.7×10^{-5} J/h となり、水の厚さ 1 cm に 50% のエネルギーが吸収されるとして吸収線量率を算出すると 2.7 mGy/h となった。同じ 30 cm の距離で電離箱を使用した際の 70 μ m 線量当量の計測結

果を図4に示す。70 μ m線量当量は0.3~3.5 mGy/hの範囲であることが分かることから、今回BaF₂シンチレータを使用して測定した結果はよく一致している事が分かる。よって、本システムで波形の測定、観察を行うことでクルックス管由来のX線の当量線量の評価が行える事が分かった。

今後クルックス管の条件を変えて測定する等、他の測定との相関を確かめ、安全に使用するための実験体系の構築を目指す。

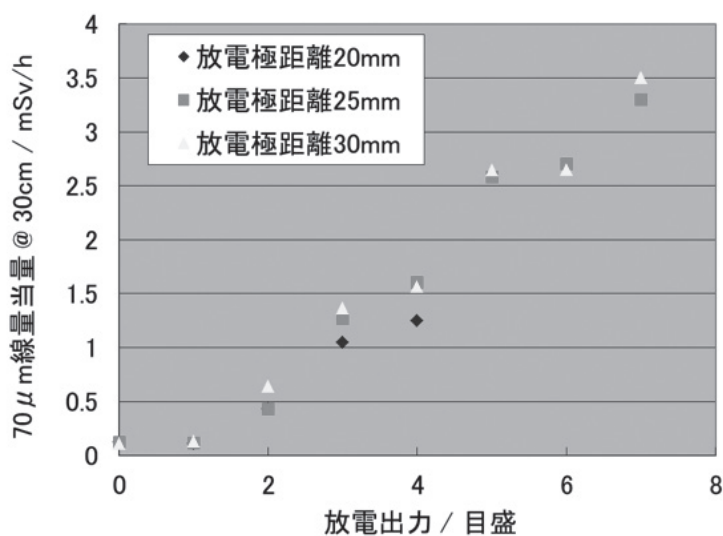


図4 放電出力と70 μ m線量当量 30 cmの相関

参考文献

- 1) 田原隆志, 新見克彦, 草間朋子, 吉澤康雄, 物理教育, 35 (1987) 150.
- 2) 大森儀郎, 第22回放医研環境セミナー「生活と放射線」, NIRS-M-105 (1995) 107.
- 3) 藤淵俊王, 井上創, 小原哲, 加藤英幸, 小林育夫, 細田正洋, 日本放射線安全管理学会誌, 10 (2011) 40.
- 4) 宇藤茂憲, 福岡教育大学紀要, 66 (第3分冊) (2017)1.
- 5) 秋吉優史, 谷口良一, 松浦寛人, 宮丸広幸, Do Duy Khiem, 神野郁夫, 濱口拓, 野村貴美, 山口一郎, 谷口和史, 小林育夫, 川島紀子, 佐藤深, 森山正樹, 宮川俊晴, 掛布智久, 放射線科学, 第106号(2018).

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) 安藤太一, Do Duy Khiem, 秋吉優史, “BaF₂シンチレータを用いたクルックス管からのパルス状低エネルギーX線の測定”, 日本原子力学会 秋の大会(2018).

大規模放射線施設を利用した原子力人材育成(3)

大阪府立大学放射線研究センター 谷口良一*、岡本賢一、山本雄大、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 4 年間実施し、昨年度で終了した。本事業では、コバルト照射プールを利用して高線量下の水中作業の研修を行った。今年度からは、工学研究科の集中講義「量子放射線計測演習」として継続されるが、外部からの研修生も受け入れる予定である。

【研修】実験では、移動ステージに防水ケースに収められた高感度カメラ、放射線検出器、レーザー距離計を載せ、水中での放射線分布を測定し、画像撮影を行い、線源周辺に発生するチェレンコフ光を観察した。またカメラを線源に近づけることで発生する放射線誘起ノイズも観察した。さらに高感度放射線検出器を用いて、水上、水中での漏えい放射線の評価も行った。

【アンケート結果】研修後のアンケート結果を下表にまとめている。表で見る限り、①よく理解できた、

[年度]	よく理解できた (%)			ほぼ理解できた (%)			あまりできない (%)			まったく (%)
	H27	H28	H29	H27	H28	H29	H27	H28	H29	
放射線安全取扱い	62.5	52.2	41.9	37.5	47.8	58.1	0	0	0	0
大規模放射線計測	62.5	47.8	45.1	37.5	47.8	54.8	0	4.3	0	0
画像計測と損傷	50	50	41.9	50	40	58.1	0	10	0	0
しゃへい計算	66.7	60	61.3	33.3	35	35.5	0	5	3.2	0
水中放射線測定	73.3	39.1	32.2	26.7	60.9	64.5	0	0	3.2	0
水中画像測定	58.8	43.5	32.2	41.2	47.8	61.3	0	8.7	6.5	0
放射線誘起ノイズ	43.7	34.8	32.2	56.3	60.9	61.3	0	4.3	6.5	0
非密封放射線、除染	56.3	75	35.5	43.7	25	58.1	0	0	0	0
水中微弱放射線測定	87.5	31.8	29	12.5	63.6	61.3	0	4.5	3.2	0
環境放射線計測	100	73.9	38.7	0	21.7	51.6	0	4.3	4.3	0

②ほぼ理解できた、という回答が大半を占めており、研修はある程度理解されたと考えて良いと思われる。ただし詳細に検討すると、放射線安全取扱、環境放射線計測の理解度が高いことが指摘できる。また、しゃへい計算、非密封実験も、かなりの程度の理解度が得られているが、画像計測、放射線誘起ノイズ関連の理解度は、いま一步であった。ちなみに、4 年間の研修参加者総数は 128 名であった。

また、本事業および、H24-H26 に実施した「地域に根付いた放射線施設活用による関西連携指導者育成人材育成」事業が、放射線施設を独創的かつ有効に放射線施設を利用した例であるとして、2018 年 9 月 10 日、大学等放射線施設協議会から第 2 回森川記念賞が贈られた¹⁾。

【本研究に関する研究発表】

1) 「地域に根付いた放射線施設活用による関西連携指導者育成人材育成および大規模放射線施設を利用した人材育成」谷口良一、森川記念賞受賞講演、大学等放射線施設協議会会報（第 2 3 号）pp65-66（2018 年 9 月、東京）

原子力人材育成事業非密封放射性同位元素の取り扱いと除染実習

放射線研究センター 伊藤憲男、岡本賢一、坂元 仁

1) 概要 放射性水溶液(^{32}P)を使用して除染実験を行った。

^{32}P を含んだ水溶液を P タイル表面上に滴下しその水溶液を、スミヤろ紙、不織布、キムワイプでふき取り、ふき取り前後の放射線強度よりふき取り効率を算出した。ふき取りに使用したものに放射性水溶液がどのように吸収され分布しているかを視覚的に確認するために、現在エックス線フィルムの代わりに使用されているイメージングプレートを使用した。イメージングプレートをふき取りに使用したスミヤろ紙、不織布、キムワイプと P タイル表面に密着させ放射線強度分布を記録し、その記録された画像より、 ^{32}P 二次元的分布を得た。以上の実験を行うことにより、研修生は、非密封放射性物質の取り扱い方、除染効率の算出方法、イメージングプレートによる放射能分布の可視化方法、GM サーベイメータでの汚染検査方法について基礎的技術を取得した。

2)目的 この実験を行うことにより以下の基礎的技術を取得する。

- ①非放射性物質の取り扱い方
- ②除染効率の算出方法
- ③イメージングプレートによる放射能分布の可視化
- ④GM サーベイメータでの汚染検査方法

3)方法 図で示す様に実験は、準備、予行実験、実験前の汚染検査、除染実験、放射能分布可視化実験、実験後の汚染検査で行った。

4)使用した放射性物質と計測装置等

[放射性物質]

^{32}P を含んだ水溶液(H_3PO_4 又は ATP, 10000Bq/ml:実験日)を使用した。

^{32}P の放射能に関するデータは以下のとおり

半減期 :14.26 日

壊変形式 : β -(1.711Mev 100%)

ガンマ線 : なし

[計測装置等]

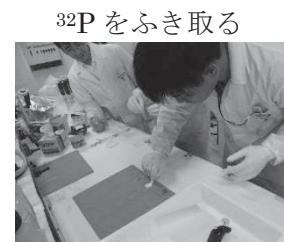
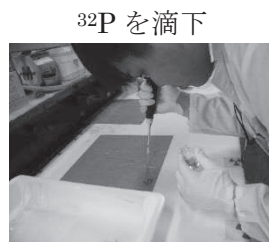
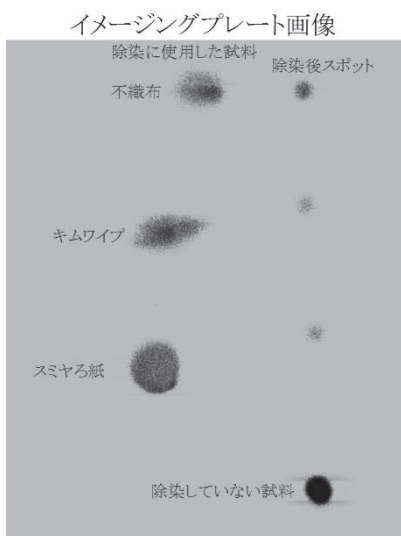
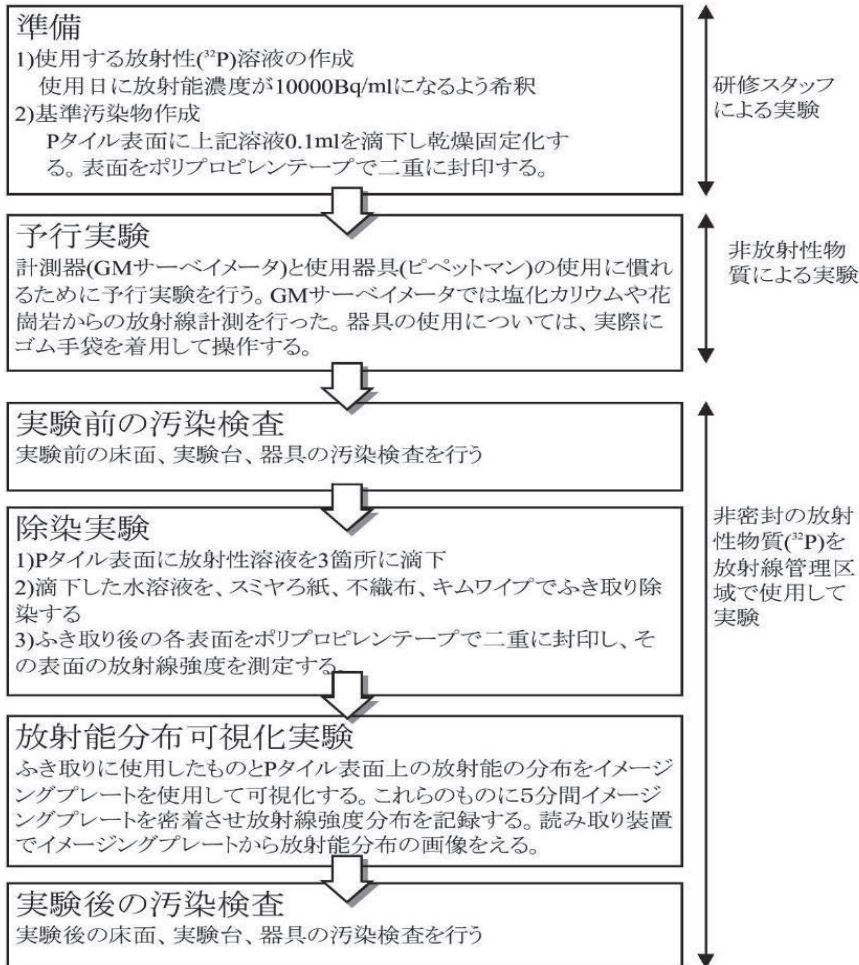
1. GM サーベイメータ

実験で使用した GM サーベイメータは、広口薄膜タイプの日立アロカ社製 TGS-146 を使用した。

2. イメージングプレート

イメージングプレートは富士フィルム社製のもの(8x10 インチ)を、読み取り装置は富士フィルム社製 PRIMA T2 を使用した。

実験手順



ふき取ったを試料をイメージングプレートにのせる



さくらサイエンスプラン(S2017F0421192)報告書
(Report on Japan-Asia Youth Exchange Program in Science)

ダラット大学 Le Viet Huy, Nguyen An Son

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 2017 Sakura Exchange Program in Science took place from August 28th to September 1st at Osaka Prefecture University, Sakai, Japan with 9 participants from the Faculty of Nuclear Engineering, Dalat University, Vietnam.

In SSP, there are academic lectures (Radiation Introduction, Radiation Safety, Radiation Measurement, etc.), technical visits to BNCT center, Clean room, Plant factory center and Labo practice with Cloud chamber and Natural radiation, Labo practice with high intensity Co-60 gamma source, participants can directly observe the advanced science and technology of Japan.

The Sakura Exchange Program in 2017 for the third and fourth year students of the Faculty of Nuclear Engineering, Dalat University is a change to broaden knowledge and scholarship opportunities in Japan.

After the Sakura Exchange Program in Science at Osaka Prefecture University in 2017, we are looking forward to the prospect of more exchanges in science, technology and culture between Osaka Prefecture University and Dalat 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) Long report: <http://www.plasma.riast.osakafu-u.ac.jp/~matsu/sakura2/ssp-2017.pdf>

第3回ダラット大学・大阪府立大学合同シンポジウム

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)

ダラット大学と大阪府立大学は、2014年5月24日に学術協力協定を締結し、さくらサイエンスプランを通じた交流や、多数の留学生の受入れを行ってきている。さらに、2014年7月22日には"Engineering and Environmental Issues"、2016年10月26日には"Radiation, Environment and Agriculture"というテーマで合同シンポジウムを行い、大阪府立大学からは奥野前学長や石井副学長が講演を行うなど大学としての交流も深めている。

これを受けて、大阪府立大学研究推進機構の支援によりダラット大学のエン・ドック・ホア (Nguyễn Đức Hòa 「阮徳和」) 学長を初めて大阪府立大学に招聘し、学生教育を議論するための第3回合同シンポジウムを主催した。当日は、在大阪ベトナム社会主義共和国総領事チャン・ドゥック・ビン氏から祝辞を賜り、日越の学生も多数聴講し大盛況であった。

以下に、シンポジウムのプログラムと両大学学長の写真を掲載する。

DLU-OPU Joint symposium on "Current status and future prospect of Education and Research on Radiation and Nuclear Engineering"

Date: 9:30-17:00, September 1, 2017

Venue: I-wing Nakamozu(Bldg.B17), Osaka Prefecture University

Chair: Prof. Hiroto Matsuura (OPU)

9:30-9:40: Opening remark (Prof. Ryouhei Yokoyama, Dean of Undergraduate School of Engineering, OPU)

9:40-9:50: Welcome message from Consulate-General of Socialist Republic of Viet Nam in Osaka

9:50-10:40: Nuclear human resource development program in Vietnam (Prof. Nguyen Duc Hoa, President of DLU)

10:40-10:55: Break

Chair: Dr. Masafumi Akiyoshi (OPU)

10:55-11:20: Educational Program in Radiation Research Center (Prof. Ryoichi Taniguchi, director of Radiation Research Center, OPU)

11:20-11:45: Nuclear human resource development program in Dalat University (Dr. Son Nguyen An, Dean of Faculty of Nuclear Technology, DLU)

11:45-12:00: Education in Quantum and Radiation Engineering Department of OPU (Prof. Hiroto Matsuura, Graduate School of Engineering, OPU)

12:00-14:00 Lunch and group photo of participant

Chair: Prof. Shuichi Kawamata (OPU)

14:00-14:10: Welcome message (Prof. Hiroshi Tsuji, President of OPU)

14:10-15:00: Human Resource Development and Educational Activities at Kyoto University Research Reactor Institute (Prof. Hironobu Unesaki, Research Reactor Institute, Kyoto University)

15:00-15:10: Break

Chair: Prof. Tamikazu Kume (DLU)

15:10-15:30: Sonochemical degradation of aromatic compounds in aqueous solutions (Prof. Kenji Okitsu, Graduate School of Humanities and Sustainable System Sciences, OPU)

15:30-15:50: Modeling of the development of cracks in structural alloys of nuclear power plant equipment (Dr. Ha Nguyen Thi Nguyet, Faculty of Nuclear Technology, DLU)

15:50-16:10: Impaired growth of Paramecia by shielding them from background natural radiation (Dr. Masanobu Kawanishi, Graduate School of Science, OPU)

16:10-16:30: Calculation and simulation of the two-phase flow and 3D void-fraction distribution in the BFBT experiments using ansys fluent code (Ms. Sang Nguyen Thi Minh, Faculty of Nuclear Technology, DLU)

Chair: Dr. Yoshiharu Tanaka (OPU)

16:30-16:45: Ceremony of Certification of “Sakura Science Plan” (SSP participants, DLU)

16:45-16:55: Closing remark (Prof. Ryoichi Taniguchi, Deliberating committee of Organization for Research Promotion, OPU)

17:30-19:30: Banquet



日時：平成 30 年 11 月 27 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（下線講演者）

（講演各 15 分、含質疑応答）

- 9:00 開会のあいさつ 研究推進機構長 山手丈至
- 9:10 - 9:55 [生物効果 1] 座長：白石一乗（阪府大院理）
- 9:10 マウス細胞のがん化による DNA 修復遺伝子の段階的な発現低下
馬場亮、川西優喜、八木孝司（阪府大院理）
- 9:25 オオミジンコの幼若ホルモンおよび脱皮ホルモン受容体発現酵母を用いたレポーターアッセイ系の確立
佐野恵梨花、高田英治、原島小夜子、川西優喜、八木孝司（阪府大院理）
- 9:40 量子線化学生物学グループにおける殺滅菌関連研究の動向
古田雅一（阪府大研究推進）
- 9:55 - 10:05 休憩
- 10:05 - 10:50 [生物効果 2] 座長：古田雅一（阪府大研究推進）
- 10:05 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、西田一貴、白石一乗、児玉靖司（阪府大院理）
- 10:20 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）
- 10:35 UV 架橋コラーゲンゲルを用いたマウス神経幹細胞/前駆細胞と血管内皮細胞の共培養
白岩侑馬、森英樹、原正之（阪府大院理）
- 10:50 - 11:00 休憩
- 11:00 - 12:00 [放射線計測] 座長：宮丸広幸（阪府大研究推進）
- 11:00 クルックス管プロジェクトの進捗状況
秋吉優史、松浦寛人、安藤太一、Do Duy Khiem、山本堅士、屋敷昌也、谷口良一、宮丸広幸（阪府大院工）
- 11:15 Investigation of Low Energy X-ray Radiated from Crookes Tube Used in Radiological Education
Do Duy Khiem, Hirokazu Ando, Masafumi Akiyoshi（阪府大院工）
- 11:30 霧箱を用いた低エネルギー X 線スペクトル評価
山本堅士、Do Duy Khiem、秋吉優史（阪府大院工）
- 11:45 BaF2 シンチレータを用いたクルックス管からのパルス状低エネルギー X 線の測定
安藤太一、Do Duy Khiem、秋吉優史（阪府大院工）
- 12:00 - 13:00 昼休み
- 13:00 - 14:00 [光物性・画像] 座長：川又修一（阪府大研究推進）
- 13:00 InGaP 太陽電池を用いた線量計の変位損傷量法を応用した線量補正手法
奥野泰希（原子力機構）、今泉充（宇宙航空研究開発機構）、秋吉優史（阪府大院工）

- 13:15 電子線照射 InGaP 太陽電池の光照射による回復効果
柴田優一、今泉充（宇宙航空研究開発機構）、秋吉優史、奥田修一（阪府大院工）、佐藤真一郎、大島武（量子科学技術研究開発機構）
- 13:30 ホウ素吸収材と光ファイバーを用いた熱・熱外中性子束の計測
山本雄大、宮丸広幸、小嶋崇夫、谷口良一（阪府大院工）村田勲（阪大院工）
- 13:45 大規模放射線施設を利用した原子力人材育成（3）
谷口良一、岡本賢一、山本雄大、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（阪府大研究推進）
- 14:00 – 14:10 休憩
- 14:10 – 15:05 【特別講演】 座長：児玉靖司（阪府大院理）
- 14:10 放射線や生体影響物質に応答する酵母レポータージーンアッセイの創出
八木孝司（阪府大院理）
- 15:05 – 15:15 休憩
- 15:15 – 16:30 【クリーンルーム】 座長：津久井茂樹（阪府大研究推進）
- 15:15 外来極性分子による電極／有機半導体界面における電荷注入障壁スイッチング
野内亮（阪府大院工）
- 15:30 CMOS 互換プロセスを用いたナノ共振器シリコンラマンレーザーの実証
安田孝正、高橋和（阪府大院工）
- 15:45 分子線エピタキシー法による $\text{SmB}_6/\text{SrB}_6$ 人工超格子薄膜の作製と評価
幸塚祐哉、穴戸寛明（阪府大院工）田原大夢、鳴海康雄、木田孝則、萩原政幸（阪大先端強磁場）、戸川欣彦（阪府大院工）
- 16:00 イオンビームを用いた BSCCO 単結晶アンチドットの作製と磁束分布観測
三宅晴也、川又修一、藤次真幹、二ノ宮由嗣、穴戸寛明、石田武和（阪府大院工）
- 16:15 親水/疎水ナノパターンニング法による 1 分子液滴の大量作製
川岸啓人、川又修一、許岩（阪府大院工）
- 16:30 – 16:40 休憩
- 16:40 – 17:40 【材料効果】 座長：松浦寛人（阪府大研究推進）
- 16:40 B2 型金属間化合物の水素捕獲に対する粒子線照射効果
角倉優雅、金野泰幸、岩瀬彰宏、堀史説（阪府大院工）、徐虬（京大炉）、大澤一人（九大応力研）
- 16:55 Zr 基金属間化合物への粒子線照射効果による微細構造変化
鷹野陽弘、堀史説、岩瀬彰宏（阪府大院工）、和田武、加藤秀実（東北大金研）、斎藤勇一（量研機構高崎）、徐虬（京大複合研）
- 17:10 照射還元法により合成した Cu 系合金ナノ粒子の微細構造と安定性に関する研究
堀史説、田中元彬、戸田晋太郎、岩瀬彰宏（阪府大院工）、田口昇、田中真悟（産総研）、松井利之（阪府大推進機構）、Xu Qiu（京大複合研）
- 17:25 照射還元貴金属ナノ粒子合成における担体へのイオン吸着効果
堀史説、谷真海、田中元彬、戸田晋太郎、岩瀬彰宏（阪府大院工）、水越克彰（東北大金研）、Xu Qiu（京大複合研）
- 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全国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 2017～2018 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) 交流協定に基づく韓国国立江原大学サイクロトロン研究所、原子力研究所との交流
- (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 28 年度共同利用報告書
- (2) ダラット大学－大阪府立大学合同シンポジウム
(2017 年 9 月 1 日、大阪府立大学 I-wing なかもず、研究推進機構との共催)

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 28 年度共同利用報告会
(2017 年 11 月 21 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が行われています。また、固体表面活性による反応促進、人工衛星搭載機器の照射効果などは、新しい研究として注目されています。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、西日本最大の照射施設を有しています。

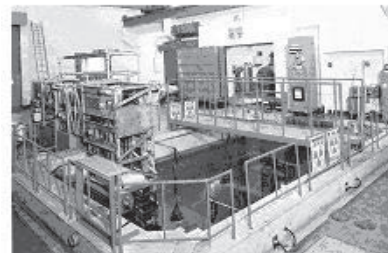


図1 コバルト 60 ガンマ線源の水プール

1.1 主な照射設備

2016年4月1日現在

	線源の数量	線量率	用途
第1照射室	97.6 TBq	1~100 Gy/h	大線量精密照射
第2照射室	78.6 TBq	10~100 Gy/h	大線量精密照射
第3照射室	0.66 TBq	0.1~1 Gy/h	小線量、非破壊検査
第4照射室	1623 TBq	100~1000 Gy/h	大線量照射
照射プール	1623 TBq	10~50 kGy/h	大線量水中照射

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

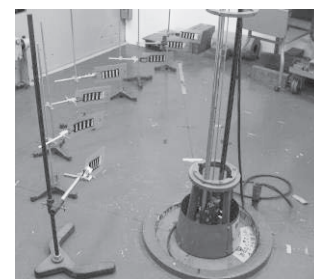


図2 コバルト 60 照射風景
(線量計の較正)

- ・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 放射線検出器の較正、線量計の特性試験
ガラス・真珠・宝石等の着色
超微粒子の生成

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。

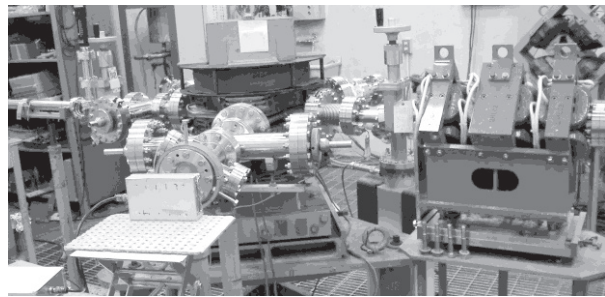


図3 電子線形加速器（OPU ライナック）

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
 - 放射線検出器の較正
 - 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
 - 加速器を利用した高輝度サブミリ、ミリ波光源の開発と利用

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

その他の照射設備 :

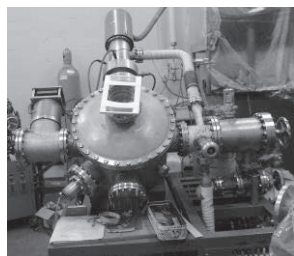


図7 低エネルギー電子線照射装置（100keV）



図8 X線照射装置



図9 X線非破壊検査装置

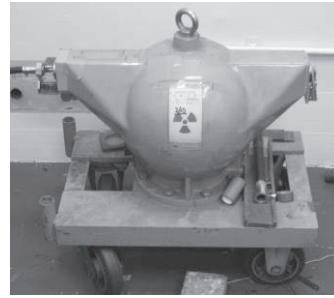


図10 γ 線非破壊検査装置

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きます。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。なお、利用については、放射線研究センター・ホームページの実験施設をご覧ください。

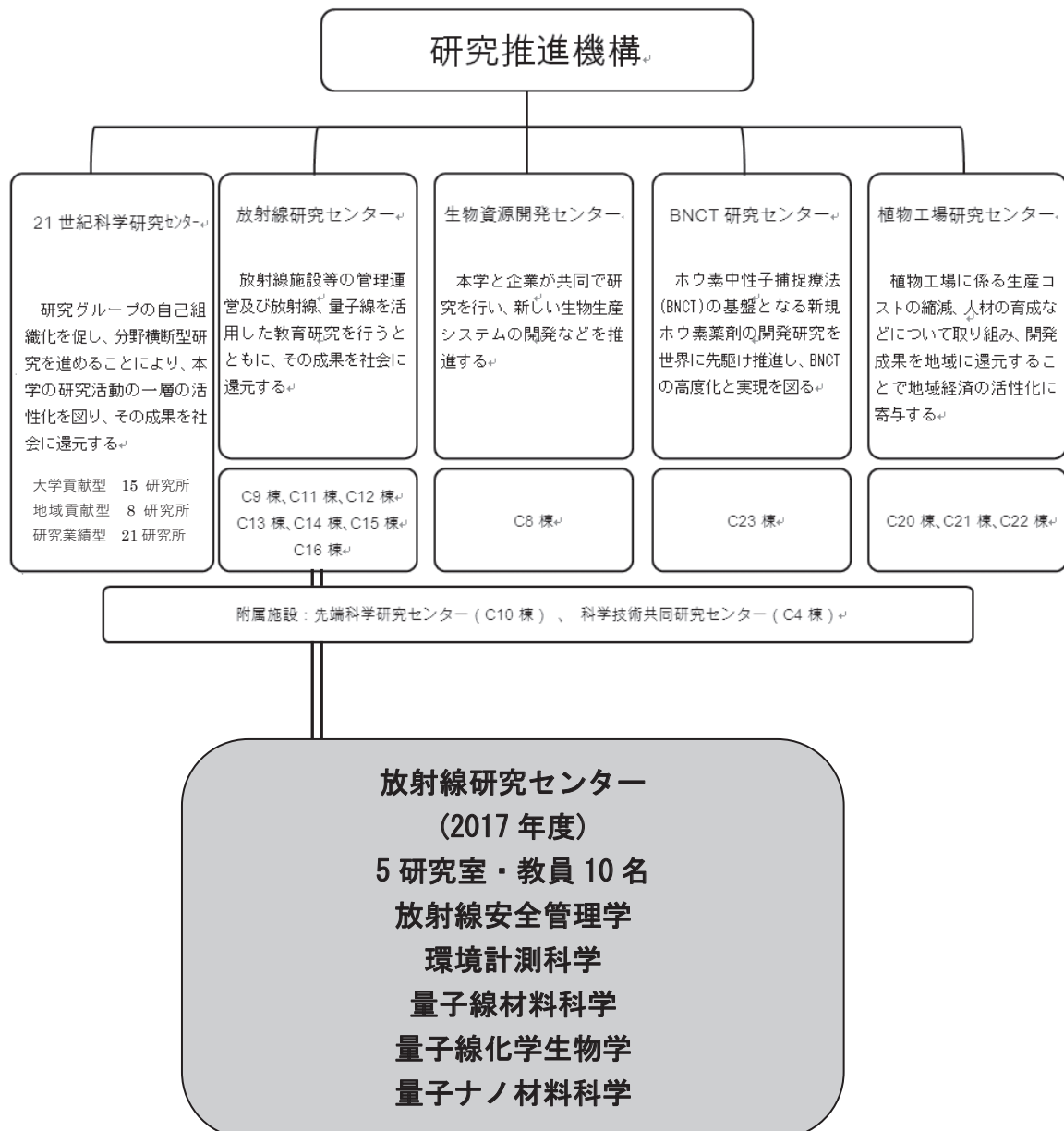
URL: <http://www.riast.osakafu-u.ac.jp/index.html>



図11 クリーンルーム(クラス1000)室内

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。



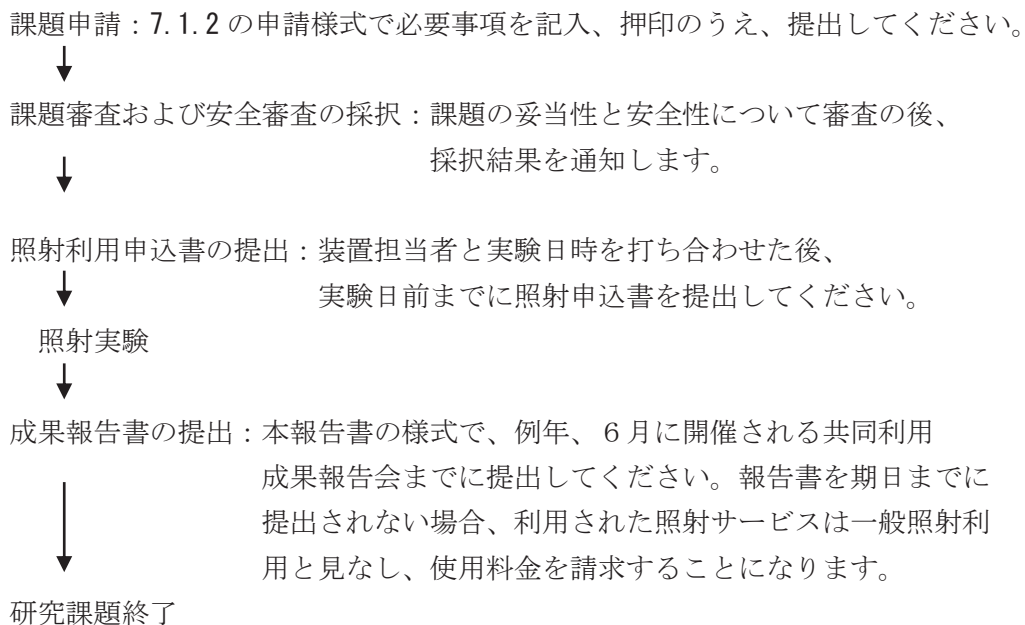
7. 放射線照射施設利用のてびき

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/index.html>

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

平成 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使用料金

研究推進機構放射線研究センターでは、保有する放射線施設を広く一般のユーザーに開放しています。一般の照射申し込みは随時受け付けています。この場合、施設の維持に要する費用の一部を負担していただくことになります。(7.2.2 の料金表を参照してください。) また、装置と実験者の安全に関する審査は不可欠ですから、実験の内容を照射申込書に記入していただく必要があります。

7.2.1 一般照射利用の手続き

照射利用申込書の提出 : 装置担当者と実験日時を打ち合わせした後、実験日前までに照射申込書を提出してください。実験日までに安全性について審査を行っています。

↓

照射利用

↓

照射終了 : 照射時間が確定した後、これに相当する照射料金が府立大学から請求されます。

7.2.2 照射手数料

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	17,480 円+2,460 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	9,770 円+4,930 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	9,770 円+9,770 円×Th
		被照射物の占有容積が 50 リットル以上	19,540 円+19,540 円×Th
	照射室占用による照射	19,540 円+19,540 円×TH	
よる生装置に放射線発射による場合	ライナックによる場合	35,380 円+1,020 円×Tm	
	コッククロフト・ウォルトンによる場合	29,620 円+510 円×Tm	
	X 線照射装置による場合	9,050 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（2017年度）

2017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」 209人

「利用テーマ」

- 1 「化合物半導体を用いた高性能赤外デバイスの研究」 地域連携研究機構 河村裕一
- 2 「銅酸化物高温超伝導体の微細加工」 地域連携研究機構 川又修一
- 3 「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」 工学研究科 津久井茂樹
- 4 「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
- 5 「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
- 6 「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
- 7 「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
- 8 「超伝導体ナノファブリケーションによる新奇物性と応用」 工学研究科 石田武和
- 9 「金ナノ粒子を用いた高感度センサの開発」 工学研究科 長岡勉、椎木弘
- 10 「リン脂質で修飾したシリコンウエハー電極を用いる分子伝導体ナノワイヤーの作製」
理学系研究科 杉本豊成
- 11 「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」
21世紀科学研究機構 松井利之
- 12 「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
- 13 「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
- 14 「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
- 15 「新規高性能熱電材料の開発」 理学系研究科 小菅厚子
- 16 「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
- 17 「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
- 18 「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
- 19 「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
- 20 「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
- 21 「マイクロ・ナノデバイスによる細胞発達制御」 21世紀科学研究機構 萩原将也
- 22 「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

- 2 3 「生体材料（歯科用チタンインプラントやセラミックス系材料）、タンパク質など生体分子用の吸着材の表面濡れ性測定（水滴接触角測定）」 工学研究科 竹内雅人
- 2 4 「表面形状を制御した酸化亜鉛ナノ粒子表面の濡れ性に関する研究（膜厚測定、水滴接触角測定）」 工学研究科 竹内雅人
- 2 5 「MEMS 型ガスセンサのシロキサン耐性を向上させう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 6 「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 7 「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

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

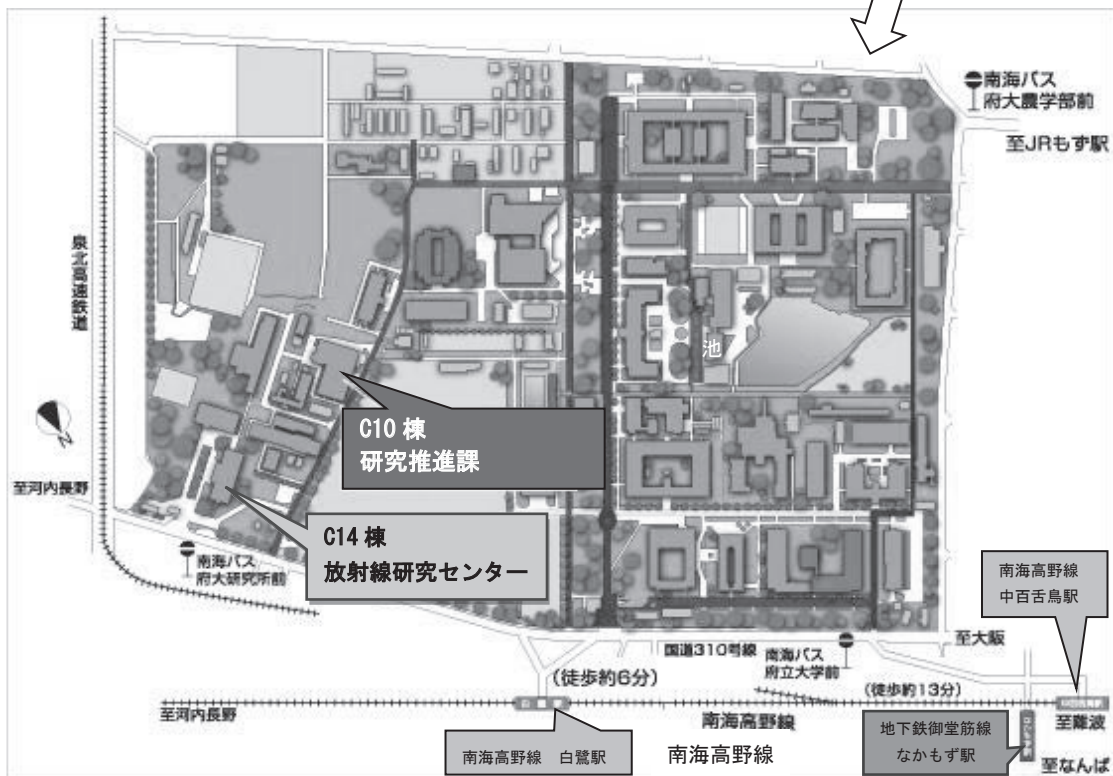
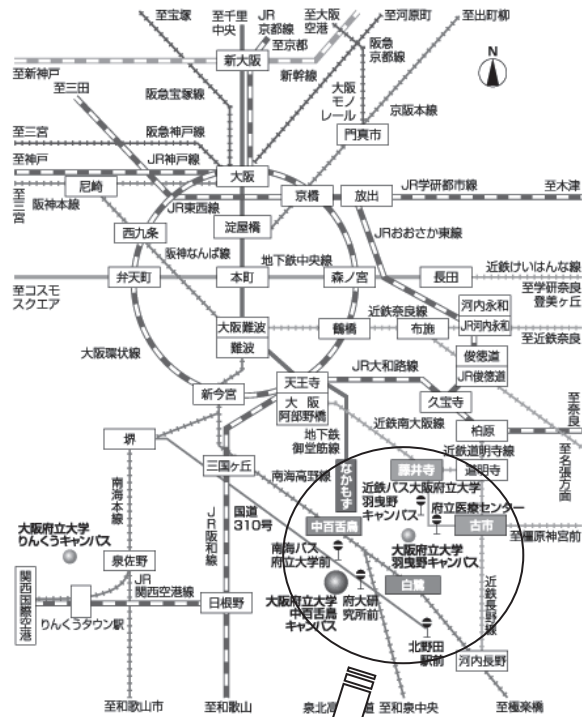
〒599-8570

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



大阪府立大学
OSAKA PREFECTURE UNIVERSITY