

平成27年度  
放射線施設共同利用報告書

平成29年3月

*Radiation Research Center  
Research Organization  
for University-Community Collaborations  
Osaka Prefecture University*

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 27 年度  
放射線施設共同利用報告書

平成 29 年 3 月

*Radiation Research Center  
Research Organization  
for University-Community Collaborations  
Osaka Prefecture University*

## 1. はじめに

大阪府立大学地域連携研究機構・放射線研究センター長 谷口良一

大阪府立大学地域連携研究機構の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極めて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14冊目となります。

現在のセンター教員11名は、物理、化学、生物、工学など広い分野で、施設を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。

原子力分野では、2011年の事故を契機に様々な議論が交わされ、様々な見直しが行われていますが、今後この種の事故に適切に対応できるよう、国民の様々なレベルでの放射線知識の向上が必要であること、将来に渡ってこの分野の技術レベルを維持し得る人材の育成が必要であることは共通認識として認められつつあると思われまます。ただし大学の限られた物的、人的資源では、限られた貢献にとどまることは、仕方がないかも知れません。その中でも当センターでは、前述の学生の教育に加えて、2012-2104年度には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年度からは「大規模放射線施設を利用した人材育成」事業を始め、将来の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。

現在、放射線研究センターは、文部科学省の共同利用、共同研究拠点として認められることを目標に活動を行っています。これまでの本報告書等を見られても分りますが、これまでも当センターは共同研究拠点的な活動を続けてきました。本施設が共同利用拠点として認められた場合でも、その活動は本質的には変化しません。ただし、活動の規模と広がりには期待できると思ひます。

今後とも、当施設を利用していただき、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。

2016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27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、松浦寛人、宮丸広幸、小嶋崇夫、奥田修一	
2) 1 MeV イオン加速器を用いた PIXE 法の開発・・・・・・・・	2
(阪府大院工) 安達脩 (阪府大地域連携) 宮丸広幸、谷口良一、奥田修一	
3) 水中放射線場での距離測定と線量測定・・・・・・・・	3
(阪府大地域連携) 谷口良一、小嶋崇夫、岡本賢一、伊藤憲男、宮丸広幸 (阪府大院工) 豊蔵悠史	
4) チェレンコフ光を用いた水中線量分布の測定・・・・・・・・	4
(阪府大地域連携) 矢羽多秀高、豊蔵悠史、谷口良一、伊藤憲男、宮丸広幸、小嶋崇夫	
5) チェレンコフ光を利用した水中非破壊検査・・・・・・・・	5
(阪府大地域連携) 谷口良一、矢羽多秀高、豊蔵悠史、伊藤憲男、宮丸広幸、小嶋崇夫	
6) CCD カメラの放射線誘起ノイズの研究・・・・・・・・	6
(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	
7) 堺市で観測した大気エアロゾルに含まれる金属成分の粒径分布・・・・・・・・	7
(阪府大地域連携) 伊藤憲男、溝畑朗	
8) 大気エアロゾルの粒径別水溶性放射性物質・・・・・・・・	8
(阪府大院工) 瀬戸川晃、伊藤憲男	
9) エックス線照射下における熱電特性の測定影響・・・・・・・・	9
(阪府大院工) 春元雅貴 (阪府大地域連携) 谷口良一	
10) 核融合炉ダイバータ材料熱物性評価のためのφ3微小試験片測定技術開発・・・・・・・・	10
(阪府大地域連携) 秋吉優史 (ORNL) Wallace D. Porter, 加藤雄大	
11) 大気圧プラズマジェットによる活性ラジカル生成の研究・・・・・・・・	11
(阪府大地域連携) 松浦寛人 (阪府大院工) 奥野泰希 (近畿大理工) 武村祐一郎 (京大エネルギー理工学研) 門信一郎	
12) 大気圧プラズマジェットを用いた細管内壁の滅菌法の開発・・・・・・・・	12
(阪府大地域連携) 松浦寛人、古田雅一、坂元仁、土戸哲明 (阪府大院工) 藤山貴友 (京大エネルギー理工学研) 門信一郎	
13) 高強度コヒーレント放射の水および微生物への作用に関する研究・・・・・・・・	13
(阪府大院工) 奥田修一、田中良晴、木田侑 (京大炉) 高橋俊晴 (Kangwon National Univ.) S. Nam	

14)	Ionization Effects on Cu(In,Ga)Se <sub>2</sub> Thin-Film Solar Cells . . . . .	14
	(JAXA) S. Kawakita, M. Imaizumi, S. Ishizuka, H. Shibata (Radiation Research Center, Osaka Prefecture Univ.) S. Okuda	
15)	紫外線・放射線照射による高透明ポリマーの架橋と分解 . . . . .	15
	(阪府大院工) 今泉涼太、岡村晴之、松本章一、古田雅一	
16)	ガンマ線照射下における模擬地下水溶液中でのチタンの全面腐食速度への溶液 pH の 影響 . . . . .	19
	(阪府大院工) 湯川卓司、井上博之、岩瀬彰宏 (阪府大地域連携) 小嶋崇夫	
17)	構造緩和過程における過共晶バルクアモルファス合金の自由体積及び局所構造の 変化 . . . . .	21
	(阪府大院工) 谷真海、石山大志、岩瀬彰宏、堀史説 (東北大金研) 今野豊彦	
18)	B 2 型 Fe Al 金属間化合物中の水素の状態における水素導入過程の影響 . . . . .	23
	(阪府大院工) 上野陽平、岩瀬彰宏、堀史説 (京大炉) 徐虬 (九大応力研) 大澤一人 (原子力機構) 斎藤勇一	
19)	Cu-Au 二元系ナノ粒子の $\gamma$ 線照射還元による合成と構造特性評価 . . . . .	24
	(阪府大院工) 田中元彬、戸田晋太郎、岩瀬彰宏、堀史説 (産総研) 秋田知樹、田口昇、田中真悟 (京大炉) 阪本雅昭、徐ギョウ	
20)	ZrCuAl バルクアモルファス合金に対するイオン照射効果の組成依存性 . . . . .	26
	(阪府大院工) 小林一基、石井康嗣、岩瀬彰宏、堀史説 (東北大金研) 加藤秀実 (原子力機構) 石川法人 (量研機構) 斎藤勇一、	
21)	低エネルギー電子線発生装置を用いた滅菌検証 . . . . .	28
	(阪府大地域連携) 古田雅一、土戸哲明 (京大産官学連携) 福田直晃 (日立造船株) 吉良典子、長谷川剛史、生杉浩一、上野絵理	
22)	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検知指標とした新規照射食品 検知法の開発 . . . . .	29
	(阪府大地域連携) 福井直樹、古田雅一 (大阪府立公衆衛生研) 高取聡、北川陽子、梶村計志、尾花裕孝	
23)	水損和紙資料(古文書)に発生したカビの放射線殺菌に関する基礎的検討 . . . . .	30
	(姫路大教育) 松下正和 (東北大災害科学国際研) 天野真志 (京都造形芸術大) 内田俊秀 (光産業創成大学院大) 酒井浩一、藤田和久 (神戸大院人文) 吉川圭太 (阪府大院工) 古田雅一	
24)	Protective effect of DMSO against DNA double-strand break induced by different injury sources: photo and gamma-ray irradiations and freezing . . . . .	31
	(同志社大) 野田雅美、菊池駿人、吉川祐子、吉川研一、剣持貴弘 (阪府大地域連携) 古田雅一 (京大) 鶴山竜昭	
25)	高レベル放射性廃液からの長寿命核分裂生成物(パラジウム)のバイオ分離・回収技術 の研究開発 . . . . .	32
	(阪府大院工) 斎藤範三、小西康裕、古田雅一	

26)	マウス神経幹細胞における X 線誘発 DNA2 本鎖切断のフローサイトメータを用いた新しい定量系の開発	33
	(阪府大院理) 山田聖、白石一乗、児玉靖司	
27)	キイロシヨウジョウバエ核内受容体 DHR96 のリガンド物質を検出するレポーター酵母の樹立	34
	(阪府大院理) 河野太輔、原島小夜子、川西優喜、八木孝司	
28)	HeLa MR 細胞を用いた新規検出系によるヒ素の脱メチル化活性の解析	35
	(阪府大院理) 池上紗穂、谷口美由紀、川西優喜、八木孝司	
29)	TLS ポリメラーゼを欠損させた XP 細胞における 3-NBA 由来部位特異的付加体の突然変異解析	36
	(阪府大院理) 福本航大、炬口茜、藤川芳宏、川西優喜、八木孝司 (神奈川工大) 高村岳樹	
30)	CRISPR/Cas9 による DNA ポリメラーゼ欠損細胞の作製	37
	(阪府大院理) 炬口茜、福本航大、川西優喜、八木孝司	
31)	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	38
	(エフピー株) 西村哲也、高畑和恵、卜部和則、笠井智香、東垣由夏 (阪府大院理) 川西優喜、八木孝司	
32)	タンパク質修飾網目状繊維を用いたヒトおよびマウス神経幹細胞/前駆細胞の接着培養法の評価	40
	(阪府大院理) 藤田雅徳、中亮介、森英樹、原正之	
33)	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	42
	(阪府大高等教育) 宮本健助 (阪府大院理) 上田純一	
34)	ガンマ線照射後の大腸菌の遊泳能と化学走性	44
	(阪府大院理) 大久保祐汰 (阪府大院理・高等教育) 加藤幹男	
35)	InGaAsN/GaAsSb タイプ II 量子井戸構造における 2 次元電子の有効質量	45
	(阪府大院工) 川又修一、日比野暁、田中章、河村裕一	
36)	ウェットエッチングを用いた SOI 基板のサブナノメートル精度薄膜化	46
	(阪府大院工) 高橋和	
37)	スピン位相エレクトロニクス of 創成	47
	(阪府大院工) 戸川欣彦	
38)	キラル磁性体 CrNb <sub>3</sub> S <sub>6</sub> の磁気相図の角度依存性	48
	(阪府大院工) 米村潤一郎、戸川欣彦	
39)	グラフェンナノメッシュ構造の作製と評価	49
	(阪府大院工) 関口卓弥、竹井邦晴、秋田成司、有江隆之	
40)	遷移金属ダイカルコゲナイドへの電極接合に対する端の効果	50
	(阪府大 21 機構) 野内亮	
41)	EB リソによる Nano-in-Nano 疎水界面の構築と aL 流体制御	51
	(阪府大院工) 許岩、山口晃司	

42)	細胞位置制御による細胞組織の分岐発達メカニズム解析	53
	(阪府大 21 機構) 萩原将也	
43)	放射線教育での普及を目指したペルチェ冷却式高性能霧箱の開発	54
	(阪府大地域連携) 秋吉優史 (阪府大院工) 奥野泰希、安藤太一	
44)	人材育成教育のための大阪府立大学照射用 Co60 線源プールの線量測定	55
	(阪府大地域連携) 宮丸広幸、小嶋崇夫、谷口良一、奥田修一	
45)	大規模放射線施設を利用した原子力人材育成	56
	(阪府大地域連携) 谷口良一、矢羽多秀高、伊藤憲男、秋吉優史、宮丸広幸、小嶋崇夫、松浦寛人、古田雅一	
46)	平成 24-26 年度原子力人材育成事業における地域の放射線施設活用の意義	57
	(阪府大院工) 奥田修一、古田雅一、伊藤憲男、宮丸広幸、小嶋崇夫、谷口良一、松浦寛人、秋吉優史 (阪府大院理) 児玉靖司	
47)	「平成 28 年度 33 回みんなのくらしと放射線展-くらしの放射線探検隊-」の開催報告	58
	(阪府大地域連携) 秋吉優史、古田雅一	
3.	平成 27 年度共同利用報告会プログラム	60
4.	大阪府立大学 21 世紀科学研究所「量子ビーム誘起反応科学研究所」活動報告	62
	(阪府大地域連携) 奥田修一	
5.	公立大学法人大阪府立大学地域連携研究機構・放射線研究センターにおける施設の利用	63

## 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、松浦寛人、宮丸広幸、小嶋崇夫、奥田修一

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

### 【電子線ライナック】

2015年の運転時間は28時間であった。前年の29時間と同様に運転時間は低空飛行を続けている。図1に年間運転時間の、この25年間の推移を示す。昨年度は電子機器の耐放射線試験に利用されたが運転時間は長期的に見ると単調減少している。ただし修理時間は2012年が294時間であるのに対して、2014年、2015年は0時間であることから修理のピークは過ぎたものと思われる。また2015年4月はじめに安全技術センターによる施設検査があり、無指摘で合格であった。次の検査は4年後の2020年の3月の予定である。

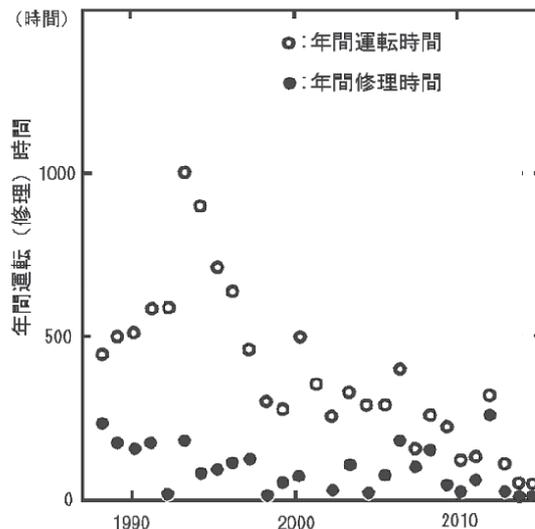


図1 ライナック年間運転時間の推移

### 【コッククロフトウォルトン電子線加速器】

2015年の運転時間は約55時間であった。前年の67時間に比べて若干減少している。主として宇宙機器用の太陽電池の照射試験に使用している。

### 【コバルト60照射施設】

2014年1月29日に、380TBqのCo60新線源が4本搬入された結果、照射利用は増加している。2015年度のコバルト利用の状況を表1に示す。主な用途として学内では、殺菌、滅菌の研究、生体材料の照射、放射線環境下の金属の腐食の研究等があげられる。学外では、放射線検出器の特性試験、カメラ等の電子機器の照射試験、光ファイバー、ケーブル等の耐放射線試験などがあげられる。

2014年度末から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」が開始された。コバルト60照射プールを利用した水中実験研修を中心の

表1 2015年度コバルト60照射施設利用状況

	照射時間合計	件数
学内利用	3952時間	177
学外利用	2683時間	39

課題としており、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多数設置され、コバルト60照射プールの上面にシャッターが設置された。この人材育成研修は、今後2年以上継続される予定である。学内の学生だけでなく、他大学の学生、企業の技術者等の多数の参加が見込まれており、安全対策の強化と老朽化した照射装置の補修が求められている。

## 1MeV イオン加速器を用いた PIXE 法の開発

阪府大院工量子放射線工学分野 安達脩\*

阪府大地域連携 宮丸広幸、谷口良一、奥田修一

(\*本研究に関する連絡先：電話（内線）4231、メール mz106001@riast.osakafu-u.ac.jp)

**[はじめに]** 近年、大阪府立大学地域連携研究機構放射線研究センターでは 1MeV イオンビーム加速器を整備して、環境計測などに向けた PIXE 分析装置としての利用を始めた。PIXE 分析は未知試料表面の元素分析に有効であり、本研究では現状について報告する。

**[実験と結果]** PIXE 分析を精度良く行うにはビーム電流の時間的な安定性が求められる。図 1 には照射位置におけるビーム電流の時間的変動を測定した例を示す。このように概ねビーム電流は 1.5nA を中心に安定しており、安定している時間帯だけを見るとの変動幅は平均値からの相対誤差 4%程度である。しかし図中の急激な電流低下に見られるように、加速電圧の一時的な低下がまれに生じその間の数秒間についてはビーム電流に大きな低下が見られることが分かった。加速電圧の一時的な低下は抑制することが難しいため、これらの対策として高電圧の値を反映したアナログ出力値をモニターし変動があった際には、X 線の計測にゲートをかけるような仕組みを加えると有効である。

現状、環境分析に関連した鉱物や植物試料をビデオカメラで視覚的に分析位置を選択し、その位置の PIXE 分析を行えるようになった。炭酸カルシウムを主成分とした鉱物ではカルシウムの K 線に加え、図 2 のようにイオンビームにより誘起された 2 次電子の制動放射によるブロードな信号が観測されている。軽元素を主成分とした低密度材料の表面からは制動放射による信号が大きく、微量分析に影響することが分かった。また表面状態の違いによってもこの制動放射の測定量に差異があることが分かった。

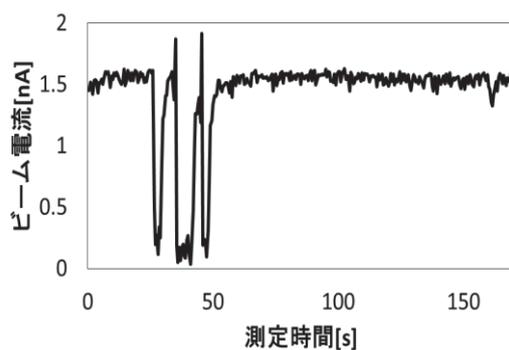


図 1: ビーム電流時間変化図.

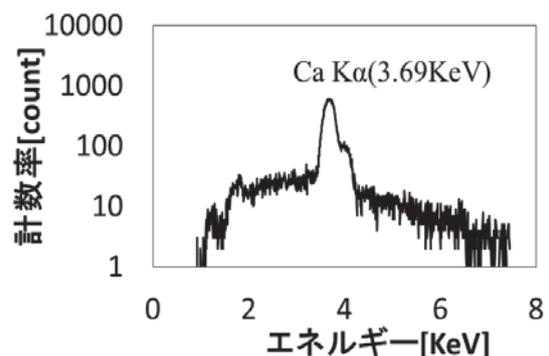


図 2: 天然鉱物(方解石)の PIXE スペクトル

### [本研究に関する研究発表]

「1 MeV イオン加速器による PIXE 分析システムの開発と教育への適用」宮丸広幸、安達脩、谷口良一、奥田修一、第 13 回加速器学会(2016 年 8 月、千葉)

## 水中放射線場での距離測定と線量測定

阪府大産学官 谷口良一, 小嶋崇夫, 岡本賢一, 伊藤憲男, 宮丸広幸

阪府大院工 豊蔵悠史\*

(\*本研究に関する連絡先: 電話(内線) 4231, メール mz106007@riast.osakafu-u.ac.jp)

水中大線量場での線量分布計測を目指して、水の遮蔽効果を利用してレーザー距離計を水中に適用し、CCDカメラと組み合わせることで、線源までの距離測定並びに三次元形状評価を行った。また、レーザー距離計の放射線影響を評価した結果、10Gy/hの高線量下でも高精度な距離測定が可能であることがわかった。

**【はじめに】**大線量を取り扱う水中放射線場での作業では線量分布測定が重要である。しかし、従来の放射線計測方法では、計測範囲が狭く遠隔操作が困難であるため、非常に労力のかかる作業となる。また、大放射線量場における位置、長さ等の空間計測法は、耐放射線の観点から、メジャーなどの接触計測方法に限られている。そこで本研究グループでは、水の放射線遮蔽効果を利用してレーザー距離計を水中放射線場に導入することで、水中放射線場における距離測定と線量分布測定を容易かつ高精度に行うことを目指して、研究を行っている。

**【実験方法】**本実験は、大阪府立大学地域連携研究機構の放射線施設にあるコバルト60照射プール(深さ4.7m, 最大許容量3.7PBq)で行っている。図1に実験体系の一例を示す。直方体型の移動ステージの上に半導体機器を設置し、図1のようにプールの底に沈めながら、線源に対して距離を変化させて実験を行う。

**【結果及び考察】**レーザー距離計を水中放射線場に導入することで、線源までの距離を高精度に測定でき、水中線量測定に応用できることがわかった。また、CCDカメラとレーザー距離計を組み合わせることで、観察像と奥行き方向の三次元的な線源形状を高精度に評価することができた。さらに10Gy/hの高線量下でも通常の距離測定が可能であった。ただし、高線量領域では測定距離の誤差の増加が見られた。図2に示すように、測定値の標準偏差とレーザー距離計の位置での吸収線量は比例関係にあることが示されている。この誤差の原因を考察した結果、測定距離に相関のない誤差であることから、距離算出後に生じているのではないかと検討した。

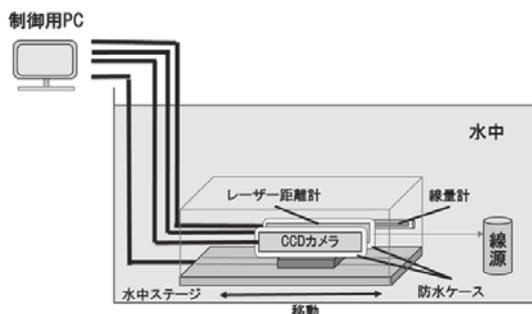


図1 水中実験体系

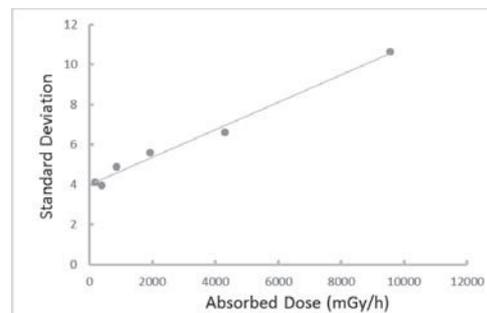


図2 放射線影響による誤差の増加

### 本研究に関する研究発表

- 1) 第10回 放射線による非破壊評価シンポジウム「水中放射線場でのレーザー計測と線量評価」
- 2) 第53回 アイソトープ・放射線研究会「水中放射線場での線量計測」
- 3) 日本原子力学会 2016年秋の大会「大線量水中放射線場での距離測定と線量測定」

## チェレンコフ光を用いた水中放射線分布の測定

大阪府立大学放射線研究センター、 矢羽多秀高、豊蔵悠史、 谷口良一\*、 伊藤憲男、  
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)

【はじめに】大線量線源が水中で発するチェレンコフ光を超高感度カメラで観測することで、水中での放射線量分布を一挙の測定を試みている。本研究では、チェレンコフ光の総和と線源強度の関係に着目し比較を行った。その結果、チェレンコフ光の総和と線源強度に良好な比例関係が見られたので報告したい。

【実験】実験は水深4.7mのプールの底で行った。カメラはAVT社製STINGRAY-F146Cを用いた。カメラは線源から2.5m以上離れた位置に設置し、水中でチェレンコフ画像を撮像した。図1にチェレンコフ光分布の水平断面の例を示す。図は横軸にX軸、縦軸に輝度を示している。中央やや右の位置に線源があり、その部分は平坦に近い分布であるが、両側は指数関数的な輝度の減少を示している。両端では、ほぼ一樣な輝度に収束しており、この値をバックグラウンドとしてチェレンコフ光強度を推定した。

図2は線源強度の異なる4種類の線源に対して同様の画像測定を行い。画像中のチェレンコフ光の光量積和を縦軸、線源強度を横軸にとってプロットしたものである。図のように、良好な比例関係が得られている。4つの線源は、それぞれ強度が異なるうえに、線源の本数、線源容器の表面状態も異なっている。そのような条件でも、図2のような比例関係が得られたことは驚くべきことであるが、実用的には極めて有用な結果であると言える。ただし図2のように、得られた直線はゼロ点ではなく、僅かなオフセットを伴っている。現時点では、このオフセット値が感度を決定しており、およそ50TBqという値になる。カメラの高感度化あるいは撮影環境の調整を行い感度の向上を進めたい。

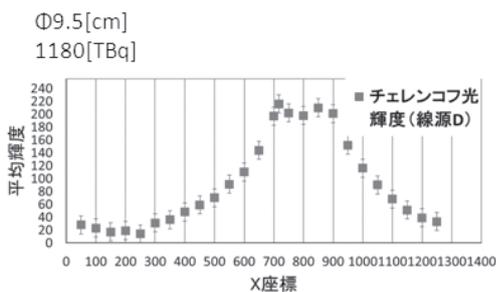


図1 チェレンコフ光の分布断面

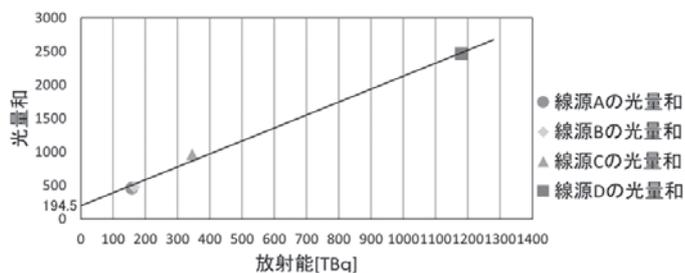


図2 チェレンコフ光量積和と線源強度の関係

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」事業によるものである。

### 【本研究に関する研究発表】

- 「画像測定による水中放射線測定」矢羽多秀高、宮丸広幸、古田雅一、伊藤憲男、松浦寛人、小嶋崇夫、谷口良一、非破壊検査協会第10回放射線による非破壊評価シンポジウム論文集(2016年2月、東京)pp19-22

## チェレンコフ光を利用した水中非破壊検査

大阪府立大学放射線研究センター 谷口良一\*, 矢羽多秀高、豊蔵悠史  
伊藤憲男、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)

【はじめに】水中に置かれた大線量線源の発するチェレンコフ光を用いて金属表面のクラックを検出する方法を提案した。線量率の高い試験体の表面検査に有効であると考えられる。

【実験と結果】浸透探傷あるいは磁気探傷などの表面探傷法は、キズの感度が極めて高く、様々な分野で広く適用されている。ところが原子炉材料をはじめとした強い放射線を持つ材料の表面探傷を行う場合、通常の表面探傷技術がそのまま適用できる場合がほとんどないのが現状である。目視による検査は不可能であるうえにカメラの使用も制限される。さらに浸透剤の放射線による変質が危惧される。そこで本研究では水中で大線量線源の発するチェレンコフ光を利用した表面探傷の可能性を検討した。実験ではコバルト 60 線源の前に置かれたスリット付きの鉄試料を水中で高感度カメラを用いて撮像した。チェレンコフ光は専ら透明材料から放出され、鉄等の不透明材料からは放出されない。スリット中に浸透した水はチェレンコフ光を放射することからスリット部分のみが高い輝度となることで認識できる。この場合、水は浸透探傷における蛍光浸透剤の働きをすることになる。

図 1 に水中で試料をコバルト 60 線源のカメラ側に吊下げた時の画像を示す。鉄製ブロックには長さ方向に幅 1.5mm のスリットが刻まれている。使用したカメラは AVT 社製の Stingray, F146C であり、露光時間は 1/15 秒である。図 2 はスリット部分の輝度変化を図 1 中の枠に沿って 16 ライン積算した分布である。スリット部分の輝度ピークが明確に確認できる。ただし輝度分布の幅は約 2mm であり、スリットの幅よりも若干広がっている。また、画像の画素幅が約 0.5mm であり、位置分解能が画素の大きさによって制限されていることも推測される。より拡大した撮影が有効であろう。

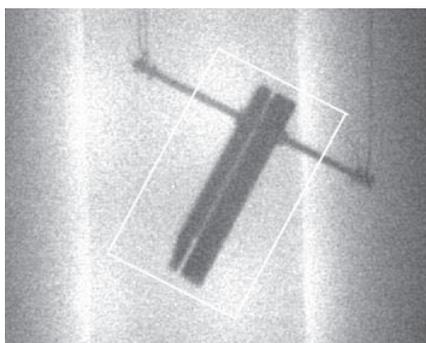


図 1 鉄試料の水中画像

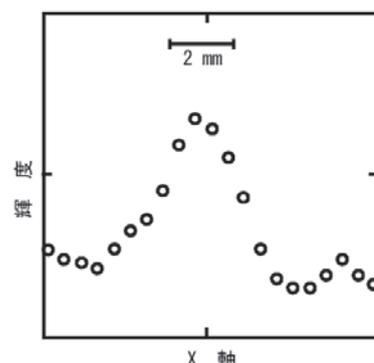


図 2 スリット部分の輝度分布

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」事業によるものである。

### 【本研究に関する研究発表】

- 1) 「水中チェレンコフ光測定と非破壊検査への応用」谷口良一、矢羽多秀高、伊藤憲男、宮丸広幸、小嶋崇夫、松浦寛人、古田雅一、非破壊検査協会第 10 回放射線による非破壊シンポジウム論文集 (2016 年 2 月、東京) pp23-26

## CCD カメラの放射線誘起ノイズの研究

大阪府立大学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

(\*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】大阪府立大学のコバルト 60 照射プール施設を用いて CCD カメラの水中照射を行い、放射線誘起ノイズと放射線線量率の関係を求めた。CCD 撮像素子に放射線照射によって発生する白点ノイズには外見が同じでも、同じ位置に出現する定点ノイズと、ランダムに出現するランダムノイズの 2 種類があることが知られている。固定点ノイズは照射損傷として理解されている。一方ランダムノイズは放射線誘起ノイズの一種とされているが、不明な点も多く、その原因を含め研究が続けられている。コバルト 60 線源からの放射線は半価層が水中で約 10cm であり、水中照射は試料を僅かに移動させるだけで線量を大きく変化でき、幅広い線量率の照射が一举に可能であるという特徴がある。今回、試料を約 1m 移動させて照射を行った。

【実験】 図 1 に白点ノイズ画像の例を示す。カメラは AVT 社製 STINGRAY-F146C を用いた。画像の中央にコバルト線源が見え、周囲にはチェレンコフ光が確認できる。また線量率の測定は小型の電離箱検出器を用いた。図 2 にカメラを移動させた時の 100×100 ピクセル中の白点ノイズ数の変化と、その位置での線量率の関係を示す。図のように良好な直線関係が見られた。ただし、ノイズ出現率は画像中の位置によって変化していることが注目された。画像中の平均の輝度を平坦化する処理を行うことで、この違いは、ほぼ無くなることも同時に明らかとなった。これは、放射線誘起ノイズもある程度の輝度分布が存在することで理解できた。すなわち、明るい部分の領域では見かけ上、多くのノイズが見えるということになる。

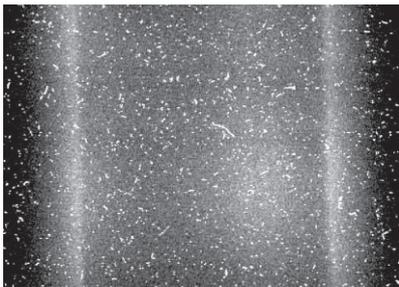


図 1 線源の水中画像と白点ノイズ（距離 1 m）

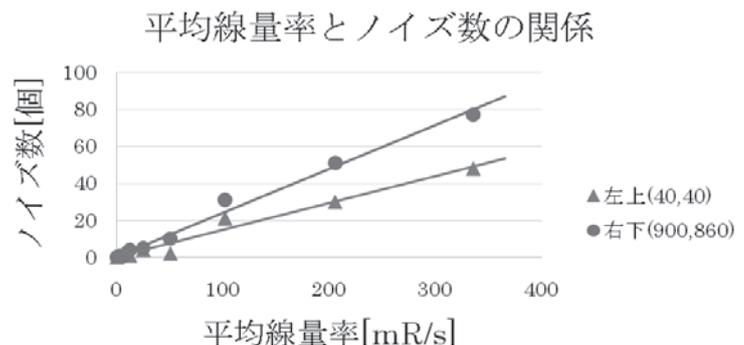


図 2 線量率とノイズ数の関係

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」事業によるものである。

### 【本研究に関する研究発表】

- 1) 「水中照射時の CCD カメラの放射線誘起ノイズ」谷口良一、矢羽多秀高、伊藤憲男、宮丸広幸、小嶋崇夫、松浦寛人、奥田修一、小川喜弘、辻本忠、岡本賢一、非破壊検査協会第 10 回放射線による非破壊シンポジウム講演集（2016 年 2 月 東京）pp41-44

堺市で観測した大気エアロゾルに含まれる金属成分の粒径分布

大阪府立大学地域連携研究機構 伊藤憲男、溝畑 朗

(本研究に関する連絡先: e-mail ito\_no@riast.osakafu-u.ac.jp)

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

金属成分の分析は、京都大学原子炉実験所の中性子照射設備で照射を行い、その試料を屋外管理棟のGe検出器によりガンマ線エネルギースペクトルを測定することにより行なった。照射試料からのガンマ線のエネルギースペクトルは、Ge半導体検出器と4096チャンネル波高分析器で行い、測定時間(2000-20000秒)と開始時刻は、測定試料のガンマ線強度により決定した。

各粒径範囲の成分濃度の結果より、各成分の中心粒径(d50)を決定した。d50は、粒径の小さいから積算した積算濃度が50%に達した粒径とした。Kの例をFig.1に示す。

6捕集期間それぞれについて、各金属成分のd50と濃度(全粒径範囲総計)の関係を示した図をFig.2に示す。Fig.2より、d50が微小粒径範囲(<=2.5 $\mu$ m)にある元素は、Zn, V, Br, Mo, Sb, Asであることが分かった。それぞれのd50は、Zn(0.9~1.8 $\mu$ m), V(0.28~0.48 $\mu$ m), Br(0.34~0.59 $\mu$ m), Mo(0.24~1.1 $\mu$ m), Sb(0.957~0.94 $\mu$ m), As(0.53~1.5 $\mu$ m)であった。

一方、粗大粒径範囲(>=2.5 $\mu$ m)にある元素は、Al,Na,Fe,Ca,Ti,Ba,Cr,Ce,Co,Th,Hf,Euとなった。それぞれのd50は、Al(4.6~6.0 $\mu$ m), Na(3.7~4.3 $\mu$ m), Fe(3.5

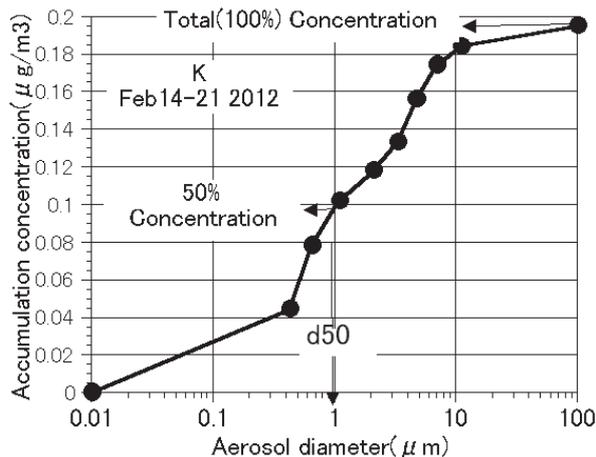


Fig.1 Example of accumulation curve and central diameter(d50) on concentrations of K(Feb14-21 2012) by aerosol diameter in 9 size ranges.

本研究に関する研究発表

1) Central Diameters and Concentrations of Element in the Atmospheric Aerosols At Sakai, Osaka N. Ito, A. Mizohata, R. Okumura, Y. Iinuma, KURRI Progress Report 2014 pp211

2) 「堺市で観測した大気エアロゾルに含まれる金属成分の粒径分布」、伊藤憲男、溝畑 朗 第56回大気環境学会年会(9月15~17日 2015 東京)

~5.1 $\mu$ m), Ca(4.7~6.2 $\mu$ m), Ti(4.0~5.9 $\mu$ m), Ba(2.2~4.1 $\mu$ m), Cr(2.6~4.9 $\mu$ m), Ce(3.0~4.7 $\mu$ m), Co(2.4~4.6 $\mu$ m), Th(4.0~6.2 $\mu$ m), Hf(4.5~5.4 $\mu$ m), Eu(4.4~5.6 $\mu$ m)であった。Cl,K,Mo,Ni,W,La,Csは、捕集期間によりd50が微小と粗大の範囲であったりした。このことにより、捕集期間により微小粒径範囲において金属成分の主成分が次のとおり変化した。K,Zn,Mn(P1), Zn(P2), K,Zn(P3), Zn(P4), K,Zn(P5), Cl,K,Zn(P6)。捕集期間にもよるが、微小粒径範囲での成分は濃度の高い順におおむね、Cl,K,Zn,Mn,V,Br,Ni,Mo,Sb,As,W,Laとなった。

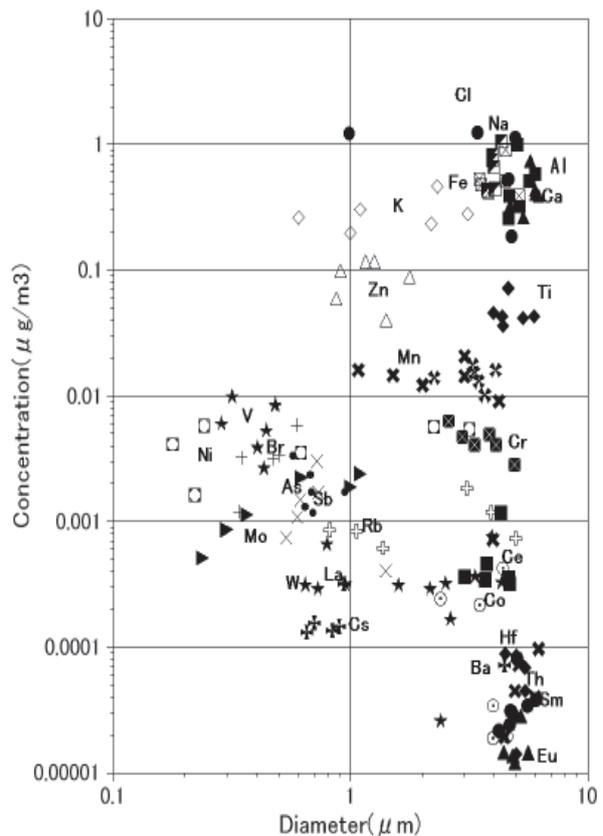
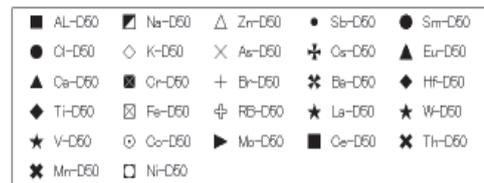


Fig.2 Scatter graph of d50 and total concentrations for each elements in the aerosols collected 2012 at Sakai.

## 大気エアロゾルの粒径別水溶性放射性物質

大阪府立大学大学院 工学研究科 量子放射線分野 瀬戸川 晃、伊藤憲男

(\*本研究に関する連絡先：電話 (内線) 4231、メール mz106005@riast.osakafu-u.ac.jp)

**【はじめに】** 大気エアロゾルとは、空気中に存在する固体及び液体の粒子の総称であり、発生過程は燃焼、破碎、気体から粒子を形成するなど様々である。粒子の特性は粒径、形状、密度によって決定される。また大気エアロゾル中にはラドン (Rn) の娘核種である自然放射性物質が存在する。ここで私が注目したのは身体への負荷が大きい水溶性と微小領域に分布するといった特徴を有する核種である。本研究では放射性物質がどのような粒径分布で存在しているかを調査、分析を行っている。

**【実験と結果】** サンプルの採取場所は、日本の地方都市堺市である。採取には大気中浮遊粒子状物質分級捕集サンプラー (アンダーセンサンプラー) を用いて、石英繊維フィルター (PALLFLEX 2500QAT-UP 80mmφ) 上に捕集した。この装置は 0 から 8 のステージを有し、粒径別に分離することができる。抽出には粒子が付着したフィルターを装置から取り出し半分に切り、一方を保存、もう一方を 10ml の純水に浸し超音波抽出を 15 分行った。抽出液をろ過フィルター (DISMIC-FILTER 0.20 μm) でろ過した後、液体クロマトグラフィーを用い分析し各粒径毎のイオンの定量を行った。また抽出ろ過を行ったサンプルを 5ml 取り 25mmφ の試料皿に入れ乾燥により薄膜を形成させガス封入型高感度放射能計測器 (Hitachi Aloka LBC-451 形) を用い放射能強度 (β線) の計測を行った。

サンプルの放射線強度の結果を表 1 に示す。表 1 より粗粒子の範囲 (ステージ 0 から 4) では、バックグラウンド (BG) との差はあまりみられないことがわかる。しかし微小粒子の範囲 (ステージ 5 から 8) では放射能強度に顕著な増加が見とれる。天然放射性核種で β 線を放出するカリウム

ステージ(μm)	cpm	ステージ(μm)	cpm
0(11以上)	0.73±0.03	5(1.1~2.1)	0.79±0.03
1(7~11)	0.58±0.03	6(0.65~1.1)	0.88±0.03
2(4.7~7)	0.70±0.03	7(0.43~0.65)	0.97±0.03
3(3.3~4.7)	0.73±0.03	8(0.43以下)	0.97±0.03
4(2.1~3.3)	0.75±0.03	BG	0.73±0.03

表 1 サンプルの各粒径別放射能強度

ム (K) は微小領域には微量にしか存在しておらず、つまり微小領域で確認されている放射能は <sup>40</sup>K 由来のものとは考えにくい。微小領域での放射能強度の増加は、図 1 に示す放射性壊変系列から推測すると、β線放出核種でありかつ、微小領域に親核種が存在し 22.3 年という他のものに比べて長い半減期を有する鉛 210 (<sup>210</sup>Pb) であると考えられる。<sup>210</sup>Pb の親核種であるラドン 222 (<sup>222</sup>Rn) はウラン系列核種であり気体である。大気中で大気エアロゾルに吸着、凝縮し微小粒子となるため <sup>210</sup>Pb は微小領域に存在すると考えられる。

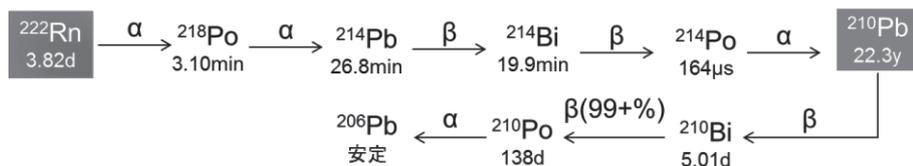


図 1 ウランの放射性壊変系列

### 【本研究に関する研究発表】

「大気エアロゾルの粒径別水溶性放射性物質」 瀬戸川 晃、伊藤憲男

第 53 回アイソトープ・放射線研究発表会要旨集 (2016 年 7 月 東京) p97

## エックス線照射下における熱電特性の測定影響

阪府大院工 春元 雅貴\*

阪府大産学官 谷口 良一

(\*本研究に関する連絡先：電話（内線）4231、メール mx106007@riast.osakafu-u.ac.jp)

[はじめに] 半導体である熱電材料はその熱電特性に光誘起キャリアあるいは放射線誘起キャリアの影響を受けると考えられる。しかも、熱起電力の測定は放射線誘起電流や電離空気の影響を受けやすい。そこで、放射線照射下における熱電特性を測定するため、X線照射装置を用いて測定影響を調べた。また、Si(100)基板を用いて、照射下での熱起電力を測定した。

[実験 1] X線照射による電離空気の影響を調べるため、照射方向と垂直に抵抗体を置き、試料の両端に発生する起電力を測定した。X線の管電圧は60kV、ビーム径約10cm、線量率約100mGy/sの条件で、試料を横方向に動かしながら抵抗体両端の電圧を測定した。結果、図1のような結果が得られた。小さな金属電極を試料に隣接させ、電位をわずかに変化させることで、誘起電圧が大きく変動することも確認した。このことから試料に流れる放射線誘起電流には空気との電位差による影響があることが推察された。

[実験 2] 定常状態法による、厚さ方向熱起電力測定装置を作製した。試料として厚さ0.5mmのSi(p)を使用し、温度差をつけずに、試料厚さ方向と平行にX線を照射し、横方向へ動かしながら電圧測定した。その結果、照射範囲中央で最も大きな電圧が得られた。

[実験 3] 実験2と同じ装置を用い、照射方向から加熱することで、Si(n)とSi(p)の照射時と非照射時の熱起電力を求めた。これによりSi(n)、Si(p)共に起電力が負の方向にシフトし、本来の起電力に放射線誘起電流による起電力が足されたような結果が得られた。その結果を図2に示す。また、熱起電力と放射線誘起電流による起電力を比較すると、誘起電流は熱起電力により増減することがわかった。

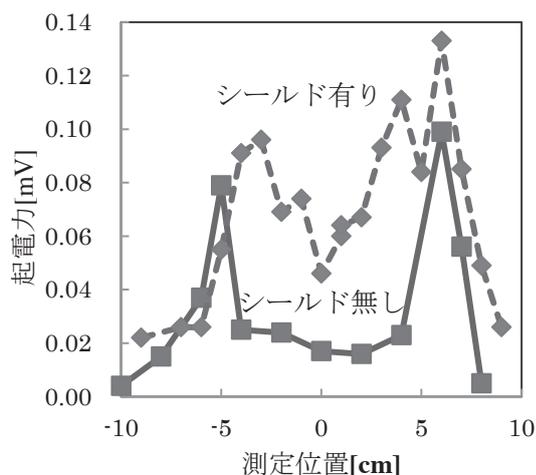


図1 X線照射位置による放射線誘起電力

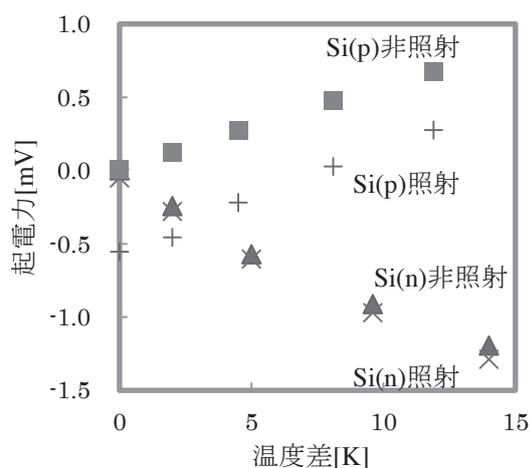


図2 X線照射によるSiの起電力影響

### 本研究に関する研究発表

- 1) 第77回応用物理学会秋季学術講演会

[エックス線照射下における熱電特製の測定影響] 春元雅貴、谷口良一、

## 核融合炉ダイバータ材料熱物性評価のためのφ3微小試験片測定技術開発

阪府大地域連携・放射線研究センター 秋吉 優史\*

ORNL Wallace D. Porter, 加藤 雄大

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

現在、ITER, DEMO などの核融合炉開発が行われているが、 $10\text{MW}/\text{m}^2$ を超える極めて高い熱負荷を中性子照射環境で受けるダイバータ材料の熱物性評価が極めて不十分な状況である。日米科学技術協力事業核融合分野での PHENIX プロジェクト (PFC evaluation by tritium Plasma, HEat and Neutron Irradiation eXperiments) においても、照射時の熱物性評価の重要性が認識され、その評価が急がれている。2016年11月時点で PHENIX プロジェクトではアメリカ・オークリッジ国立研究所 (ORNL) の研究炉である HFIR で 1dpa 程度までの中性子照射を行っている最中である。Gd により熱中性子をシールドしての照射という極めてユニークな計画であるが、照射キャプセルの体積が非常に限られており、また放射能を低減する必要性などから、試料の体積を減らす必要があるため、 $\phi 3 \times 0.5\text{t}$  という微小試料を用いて熱拡散率測定を行う事が決定されている。W は照射により生じる放射能が大きく、研究開発上の大きな制約となっているため、微小試験片で測定が行えることは非常に大きなメリットであり、今後の照射後試験のスタンダードとして非常に期待されている。

しかしながら  $\phi 3$  試料の測定は一般的な測定装置では測定できないため、専用の治具開発と、厚さ 0.5mm という薄さの影響評価を行った。その結果、試料面積の減少に伴う放出赤外線強度の低下のため、室温付近ではばらつきが大きく正常に評価できなかったが、 $150^\circ\text{C}$  以上で測定を行えば系統的な温度依存性評価が可能であり、室温への外挿も可能であるが、純タングステン試料の場合で、2割程度標準試料の結果とずれていた。これはレーザーフラッシュのパルス幅と、熱伝導により試料背面の温度が上昇する時間の比が小さいためであり、 $\phi 3 \times 0.5\text{t}$  にフォームファクターを統一した上で様々な熱拡散率を持つ試料を測定することで、補正式を求める必要があることが明らかとなった。

## 本研究に関する研究発表

1) Preliminary results of thermal diffusivity measurements of PHENIX specimens (Thermal diffusivity measurement on 3mm diameter small W specimen using Netzsch LFA-457), PHENIX Workshop (ORNL, USA), M. Akiyoshi, 2015.

2) 高熱流束照射されたタングステン材料の特性評価、平成26年度日米科学技術協力事業核融合分野 事業報告会、秋吉 優史、2015.

3) Task 1 PIE Plan - Irradiated specimens, detail of PIE, status of PAL facility for HLT, PHENIX Task 2 Workshop (Uji, Japan), M. Akiyoshi, 2016.

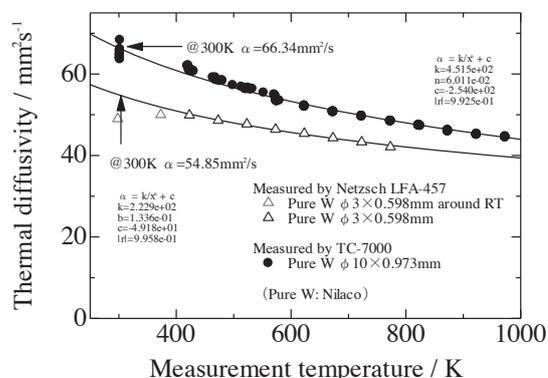


図: 純 W  $\phi 3$  試料と  $\phi 10$  試料の熱拡散率温度依存性の比較

## 大気圧プラズマジェットによる活性ラジカル生成の研究

阪府大地域連携 松浦寛人\*

阪府大院工量子放射線工学分野 奥野泰希

近畿大学理工学部 武村祐一郎

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)

C14 棟 111-2 室(プラズマ実験室)の誘電体バリア型大気圧プラズマジェット装置<sup>[1]</sup>を改良し、ヘリウムプラズマの他にアルゴンプラズマの安定した生成が可能となった。高電圧を印加する電極を針状にしてガラスチューブ内部に設置すると電極周りの電界集中効果のため、極めて低い電圧でコロナ放電が発生し、少し電圧を上げると電極端から伸びたジェットが形成される。

このジェットにより生成される水酸基ラジカルの生成を分光的に調べた。光ファイバー (P400-2-UV-VIS, Ocean Optics) 先端にピンホール絞り (hole radius:  $1\phi$ ) を接続し分光器 (Maya2000 Pro, Ocean Optics) により水酸基ラジカルからの 309nm 周りのスペクトル強度をラジカル強度の指標とした。同じヘリウムガスを使用しても、新電極 (Type B) を用いた場合必要な電圧は約 50% であるのに生成されるラジカル量はむしろ増大する。(図 1) さらに、アルゴンガスを用いた場合、ラジカル生成量はこれらの 2~3 倍になる。放電ガスを供給するガラス管の出口からの距離が増大するにつれて、生成されるラジカル量が減少している。これは、放電部から供給される高速な電子が次第に減少することを反映していると思われる。

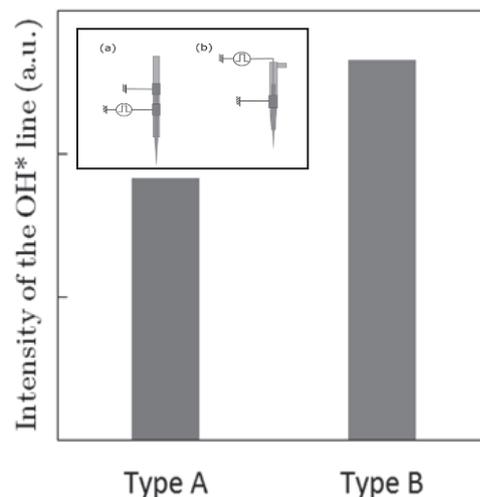


図 1. 放電電極の違いと OH ラジカル生成量

### 参考文献

- 1) "High-Speed Photographs of a Dielectric Barrier Atmospheric Pressure Plasma Jet", M. Teschke, et al., IEEE Trans. Plasma Sci. 33, (2005)310-311.

### 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 electrode shapes and the working gases on production amount of hydroxyl radicals in atmospheric-pressure plasma jets", Y. Okuno, H. Matsuura, S. Okuda, T. Fujiyama, M. Furuta, Y. Takemura, S. Kado, 25th International TOKI Conference on Plasma Physics and Controlled Nuclear Fusion (2015, Toki).
- 2) 「気液界面が大気圧プラズマジェットの放電およびヒドロキシラジカル生成へ及ぼす影響」、奥野泰希、松浦寛人、奥田修一、藤山貴友、古田雅一、武村祐一郎、門信一郎、第 5 回バイオ・メディカル・フォーラム / 第 5 回産学連携ヘルスケアナレッジセミナー (2016、府大)。

## 大気圧プラズマジェットを用いた細管内壁の滅菌法の開発

阪府大地域連携 松浦寛人\*、古田雅一、坂元仁、土戸哲明

阪府大院工量子放射線工学分野 藤山貴友

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)

プラズマは放射線に比べて透過性が極めて弱いため、医療用に用いられるチューブ内の滅菌にはマイクロ電極の導入が必要とされていた。

我々は大気圧プラズマジェットを長いビニールチューブ内部に導入し、プラズマ照射による滅菌効果を調べた。放電電極を取り付けたガラス管の先端に内径7ミリのチューブを接続し、内部に大腸菌を含んだ溶液を塗布した綿糸またはろ紙を設置した。いわゆるプラズマフレームの長さは、供給するヘリウムのガス流量で変化するが、今回の実験条件(2L/min)ではおよそ10cmである。図1はその一例を示す。プラズマフレームが直接当たっている点Aでは約10分の照射で完全に除菌が可能で、フレームが全く到達しないパイプ出口(点C)でも、30分程度の処理で除菌が可能と予想できる。

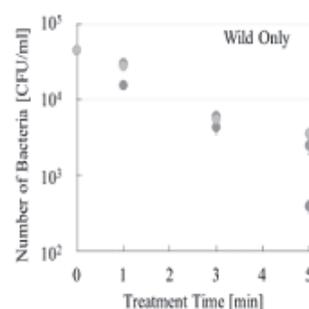


図1. チューブ内の大腸菌のプラズマ処理 (A:チューブ入口、B:中央、C: 出口)

### 参考文献

- 1) "The Effect of Active Radical Production on the Plasma Degradation of Phorbol Esters in Bio-diesel Fuel Industry", H.Matsuura, Y.Onishi, S.Kongmany, M.Furuta, K.Imamura, Y.Maeda, S.Okuda, Plasma Medicine 4(1-4), (2014)29-36.

### 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) "Biological Test of Escherichia coli Sterilization by Remote Plasma Treatment", T.Fujiyama, H.Matsuura, J.Sakamoto, T.Tsuchido, M.Furuta, 9th Asia-Pacific International Symposium on the Basics and Applications of Plasma Technology/ 28th Symposium on Plasma Science for Materials(2015, Nagasaki).
- 2) 「遺伝子変異株を用いた細管内へのプラズマ照射による殺菌効果の検討」、藤山貴友、坂元仁、松浦寛人、土戸哲明、古田雅一、第5回バイオ・メディカル・フォーラム/第5回産学連携ヘルスケアナレッジセミナー(2016、府大).

## 高強度コヒーレント放射の水および微生物への作用に関する研究

大阪府大学院工 奥田修一\*、田中良晴、木田侑 京大原子炉 高橋俊晴 Kangwon National Univ. S. Nam

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

**1. はじめに** バンチ長が比較的短い高エネルギー電子から得られる強力でコヒーレントなシンクロトロン放射や遷移放射は、特徴ある THz 光源として利用できる。京都大学原子炉実験所 (KURRI) では、L バンド電子ライナックを用いて、コヒーレント遷移放射(CTR)による吸収分光系が確立された[1,2]。コヒーレント放射の特徴である、極めて高いパルスピーク強度の、生物に対する影響については、ほとんど研究が行われていない。本研究は、生体の基本である水や NaCl 水溶液、さらに菌、細胞や微生物への CTR の作用を調べる目的で開始された。

**2. 実験条件と光源特性** KURRI 電子ライナックを実験に用いた。代表的なビーム条件は、エネルギー 42 MeV、マクロパルス幅 47 ns、パルス繰り返し 60 Hz、マクロパルスにおける平均電流 14 A であった。干渉計のインターフェログラムから、光パルス幅は、約 3 ps と推定される。光のスペクトルは、波数約  $7 \text{ cm}^{-1}$  においてピークを持ち、サブミリ・ミリ波領域に広く分布している。高圧水銀灯の光強度の約 10000 倍である。ただ、パルスピーク強度にはさら

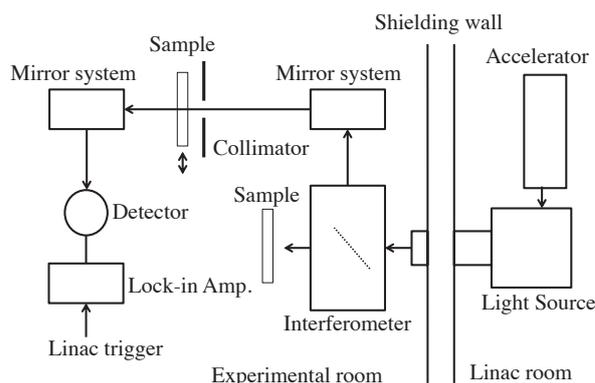


図1 CTR の分光系の概念図

さらに大きな差がある。測定系全体の概念図を図 1 に示す。アルミニウム箔から放射された CTR を、光学窓を通して実験室へ輸送する。Martin-Puplett 型干渉計で分光し、光を直径約 8 mm のコリメータの位置に集束する。試料は、すぐ後方に設置する。検出器は、液体ヘリウム冷却のシリコンボロメータである。波数分解能は可変で、通常は  $0.1 \text{ cm}^{-1}$  とした。波数  $4 \sim 13 \text{ cm}^{-1}$  の範囲で、光強度の変動が  $\pm 2 \sim 3\%$  以内の安定なスペクトルが得られるが、さらに広げることが可能である。純水と、濃度を変えた NaCl 水溶液に対する光の透過率の波数依存性を、様々に条件を変えて測定している。また菌、細胞、微生物への予備的な照射を行っている。

**3. まとめと今後の予定** KURRI の L バンド電子ライナックの CTR により、純水、NaCl 水溶液などの吸収分光を行っている。今後、菌、細胞、微生物の増殖率、生残率、挙動などに対する光照射の影響を調べる。また大阪府大のライナックも利用を予定している。

この研究の一部は、KURRI の共同利用研究、2015 年度 KEK 大学等連携支援事業として行われ、JSPS 科研費 15K04733 の助成を受けた。

### 参考文献

[1] T. Takahashi, J. Particle Accelerator Soc. Japan 2 (2005) 11-15.

[2] S. Okuda and T. Takahashi, Infrared Phys. Technol. 51 (2008) 410.

### 本研究に関する研究発表(原著論文、その他論文、学会等報告)

- 1) 大阪府大放射線研究センターにおける加速器とその利用研究の現状、奥田修一、宮丸広幸、谷口良一、秋吉優史、小嶋崇夫、第 13 回日本加速器学会年会(千葉、2016.8.8-10) FSP014.
- 2) 高エネルギー電子ビームによるコヒーレント遷移放射光源とその特性評価、奥田修一、高橋俊晴、日本赤外線学会誌 25 巻 2 号 (2016.) 49.
- 3) 高強度パルスコヒーレント放射の水および微生物への作用に関する研究、奥田修一、高橋俊晴、田中良晴、木田侑、第 22 回 FEL と High-Power Radiation 研究会 (2016.1.21-22、つくば.)
- 4) 高強度パルスコヒーレント放射の水および微生物への作用に関する研究、奥田修一、高橋俊晴、田中良晴、木田侑、KEK Proceedings 2015-11 Feb. 2016 A pp. 111-113.
- 5) 低線量放射線とテラヘルツ波のヒト正常培養細胞に対する遺伝毒性影響、木田侑、古田雅一、奥田修一、高橋俊晴、田中良晴、第 33 回日本東方医学会学術大会 (2016 年 2 月 21 日、東京) .
- 6) Study of the Scientific Properties of Water and the Physiological Activation Phenomena by Using High-Intensity Pulsed Coherent Radiation, S. Okuda, Y. Tanaka, T. Kojima, S. Kurahashi, Y. Kida and T. Takahashi, KURRI Progress Report (2015) CO4-6.

## Ionization Effects on Cu(In,Ga)Se<sub>2</sub> Thin-Film Solar Cells

JAXA S. Kawakita, M. Imaizumi, S. Ishizuka, H. Shibata

Radiation Research Center, Osaka Prefecture Univ. S. Okuda

(共同研究の成果として、ICTMC-20 (Sept., 2016, Halle, Germany)の要旨を掲載した。)

(\*本報告に関する連絡先：電話 (内線) 4227、メール okuda@riast.osakafu-u.ac.jp)

High-radiation tolerance of Cu(In,Ga)Se<sub>2</sub> (CIGS) solar cells has been reported [1]. Radiation-induced defects, which can impair cell performance, were said to be indium-related [2]. We investigated these defects in CIGS solar cells induced by low energy electrons, enabling the type of radiation defect in the solar cells to be selected.

Electrons (up to  $1 \times 10^{16} \text{ cm}^{-2}$ ) with the energy of 100 keV or 250 keV improved the electrical performance due to the change in conductive type in the metastable defect, which is an effect equivalent to the light-soaking effect. However, the electrons (over  $1 \times 10^{16} \text{ cm}^{-2}$ ) caused the cell performance of the CIGS solar cell to deteriorate. The high electron fluence decreased the carrier density in CIGS solar cells. This result indicates that the radiation defects are donor like defects.

Red-on-bias measurements were conducted to investigate the characteristics of defects induced by high amounts of electrons [3]. The results indicate that defects may be InCu defects. However, it is not unveiled that why 100 keV electrons were able to produce the InCu defects, since the electrons can not produce displacement defects. Therefore, the degradation in CIGS solar cells by high amounts of electrons would be caused by ionization effect rather than displacement effect.

Electrons with 70 keV, 100 keV and 250 keV were irradiated to CIGS solar cells. The relative defect introduction rate induced by electrons was estimated from the degradation of I<sub>sc</sub> in the cells (Fig.1). The relationship between the rate and electron energy is in agreement with the calculation by the ionization energy loss model. This result implies that the electrons degrade CIGS solar cells due to ionization effect.

### References:

[1] T. Hisamatsu et. al., 2nd World Conf. on Photovoltaic Energy Conversion, 3568 (1998).

[2] J. F. Guillemoles et. al., J. Phys. Chem. B. 104, 4849 (2000).

[3] S. Kawakita et. al., Thin Solid Films, 582, 91 (2015)

### 本研究に関する研究発表 (原著論文、その他報文、学会等報告)

1) 宇宙環境におけるエネルギーハーベスティング、中村徹哉、大島武、奥田修一、宇宙エネルギーシンポジウム(2015.3.6、相模原)。

2) Study of energy harvesting from space environment, T. Nakamura, S. Kawakita, T. Sumita, M. Imaizumi, S.-i. Sato, H. Abe, S. Okuda and T. Ohshima, JAEA-Review 2015-022, p.3.

3) Ionization effects on Cu(In, Ga)Se<sub>2</sub> thin-film solar cells, S. Kawakita, M. Imaizumi, S. Ishizuka, H. Shibata and S. Okuda, 20th Int. Conf. on Ternary and Multinary Compounds (Sept. 5-9, 2016, Halle, Germany).

4) Degradation of Cu(In, Ga)Se<sub>2</sub> Thin-Film Solar Cells due to the Ionization Effect of Low-Energy Electrons, S. Kawakita, M. Imaizumi, S. Ishizuka, H. Shibata, S. Niki, S. Okuda, H. Kusawake, Thin Solid Films 582 (2015) 91.

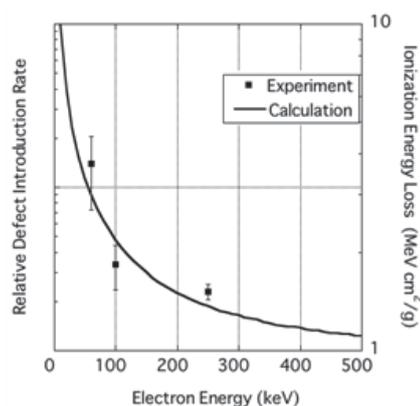


Fig. 1: Relative Defect Introduction Rate and Ionization Energy Loss Induced by Electron Irradiation.

## 紫外線・放射線照射による高透明ポリマーの架橋と分解

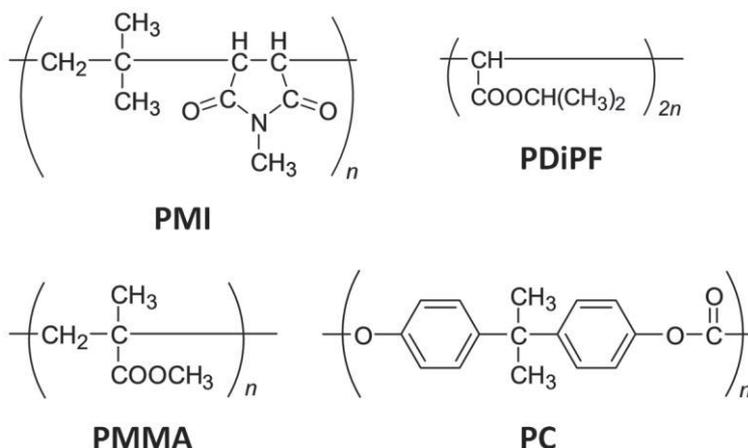
阪府大院工 応用化学分野 今泉涼太, 岡村晴之, 松本章一\*  
 阪府大院工 量子放射線工学分野 古田雅一

(\*本研究に関する連絡先: 電話 (内線) 5862、メール matsumoto@chem.osakafu-u.ac.jp)

## 1. 緒言

オレフィン-マレイミド共重合体は、耐熱性、光学特性、機械特性に優れ、高耐熱透明ポリマー材料として応用が期待されている。共重合反応性、シークエンス制御、前末端基効果などの重合反応に関する研究に加えて、耐熱性ならびに光学・機械特性に対するオレフィンの種類やマレイミドの N-置換基構造の効果についてこれまで詳しい検討が行われてきた<sup>1)</sup>。これらポリマーの優れた高耐熱透明性を活用し、航空・宇宙関連分野や高出力 LED 関連部材などの過酷な環境での利用など今後様々な用途に展開するため、まずオレフィン-マレイミド共重合体の光劣化挙動を明らかにすることが必要である。一般に、ポリマーへの紫外線や放射線照射によって、高分子鎖の切断による分子量低下、架橋、酸化による構造変化などが避けられず、機械特性や光学特性の低下などを引き起こすことが知られている。本研究では、紫外光・放射線照射によるマレイミド-イソブテン交互共重合体(P(MMI-*alt*-IB))の耐紫外線・耐放射線特性を明らかにし、

劣化挙動ならびに反応機構について考察を行った。また、同じく透明ポリマーであるポリフマル酸ジイソプロピル(PDiPF)<sup>2)</sup>についても同様の検討を行い、透明樹脂としてよく知られているポリメタクリル酸メチル(PMMA)やポリカーボネート(PC)の結果と比較検討した (Figure 1)。これら高透明ポリマーの化学構造と劣化挙動の関係について考察を行った。



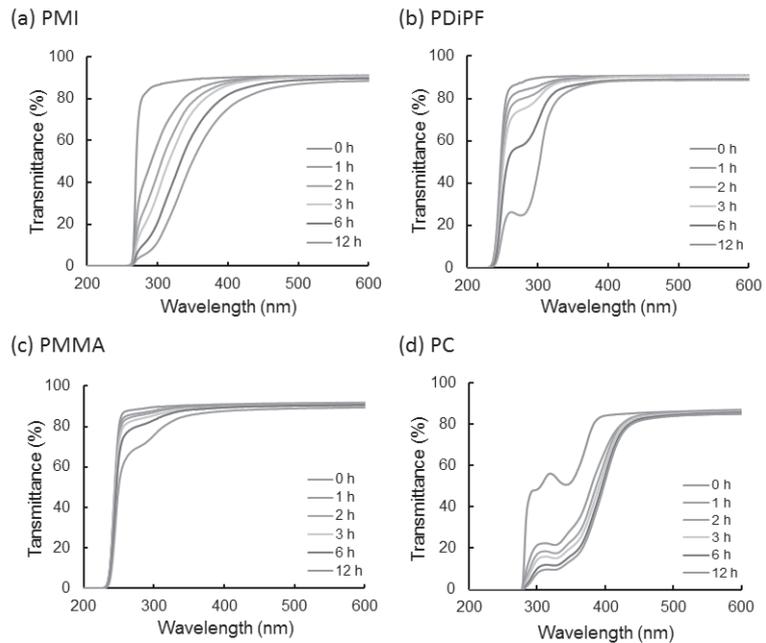
**Figure 1.** Repeating unit structures of the polymers used in this study.

## 2. 実験

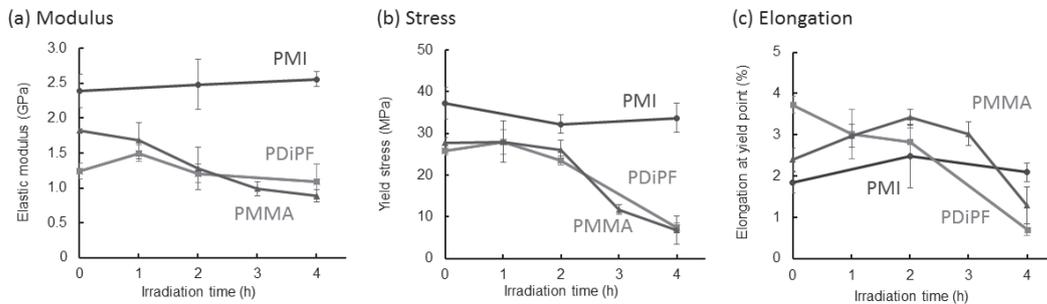
ポリマーの 5wt%クロロホルム溶液をガラス板上にキャストし、室温常圧下で乾燥後、さらに真空乾燥してポリマーフィルムを作製した。フィルムに高圧水銀ランプを用いて UV 光照射、あるいはコバルト 60 を線源として  $\gamma$  線照射を行い、所定時間照射前後の光学特性、機械特性、分子構造、分子量、分子量分布を比較した。

### 3. 結果と考察

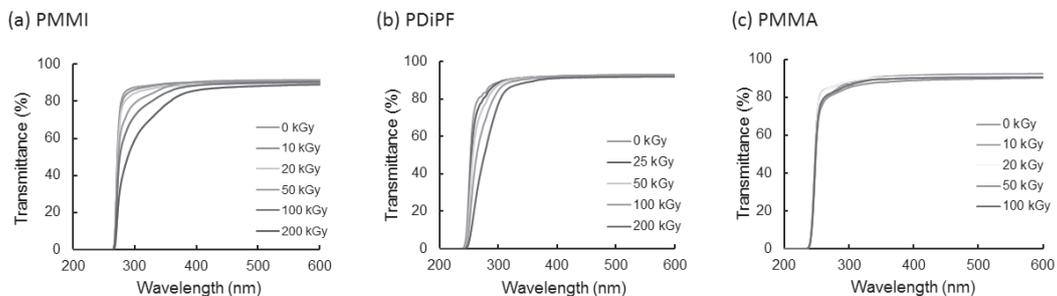
P(MMI-*alt*-IB)のUV照射中の光透過率特性の変化をFigure 2に示す。照射量が増すにつれ吸収端が長波長側に移動し、カルボニル励起で開始されるラジカル連鎖反応によるポリマー鎖の切断などの反応で共役構造が生成していることを示唆する。UV照射前後のフィルムの引張破断試験結果を比較したところ、P(MMI-*alt*-IB)は、UV照射後も初期値に近い最大応力を示し、破断伸びはわずかに増大する



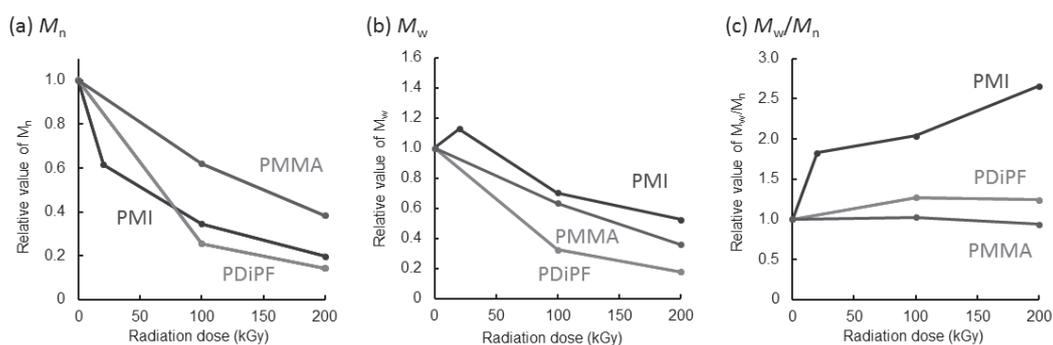
**Figure 2.** Change in the transmittance of various polymer films during UV irradiation at 254 nm using a low-pressure Hg lamp for 1–12 h (8–96 J/cm<sup>2</sup>). (a) PMI, (b) DiPF, (c) PMMA, and (d) PC. Film thickness: 37–45  $\mu$ m.



**Figure 3.** Changes in (a) elastic modulus, (b) maximum tensile strength, and (c) elongation at maximum stress of the polymers as a function of the UV irradiation time.



**Figure 4.** Change in transmittance of the polymer films during  $\gamma$ -radiation (0–200 kGy). (a) PMI, (b) DiPF, and (c) PMMA.



**Figure 5.** Changes in relative values for the molecular weights and molecular weight distribution of the polymers during  $\gamma$ -radiation as a function of the radiation dose.

に留まった。一方、同条件下で照射後の PDiPF や PMMA の最大応力は、それぞれ初期値の 2/1 および 4/1 まで低下した。最大応力だけでなく、破断伸びや弾性率の変化もそれぞれ異なる特徴を示した (Figure 3)。P(MMI-*alt*-IB)は、最大応力、破断伸び、弾性率の全てにおいて最も変化が小さく、PDiPF や PMMA に比べて、耐 UV 特性に優れていることがわかった。 $\gamma$  線照射でも同様の傾向が確認された (Figure 4 および Figure 5)。これら結果は、PDiPF や PMMA では、照射量に応じて分子量が低下し、主鎖切断が主反応であることを示す。PMMA の多分散度はほぼ一定であり、ランダムな主鎖切断のみが起こっているのに対し、PDiPF では多分散度が大きくなる傾向にあり、最大応力や弾性率が一時的に増加したことからも、一部で架橋構造も生じていると推察される。一方、P(MMI-*alt*-IB)では、主鎖切断と架橋が競争して起こっていると考えられる。

#### 4. 参考文献

- 1) 松本章一ら, 高分子論文集(総合論文), **72**, 243 (2015). 2) A. Matsumoto, N. Maeo, E. Sato, *J. Polym. Sci., Part A: Polym. Chem.*, **54**, 2136 (2016)

---

#### UV and $\gamma$ -Radiation Resistance of Transparent Maleimide Resin

Ryota IMAIZUMI, Masakazu FURUTA, Haruyuki OKAMURA, Akikazu MATSUMOTO

(Departments of Applied Chemistry and Quantum and Radiation Engineering, Graduate School of Engineering, Osaka Prefecture University, 1-1 Gakuen-cho, Naka-ku, Sakai, Osaka 599-8531, Japan) Tel/FAX: 072-254-9292, E-mail: matsumoto@chem.osakafu-u.ac.jp

Key Word: maleimide copolymer / ultraviolet irradiation/  $\gamma$ -radiation / photodegradation / transparent material / mechanical property

**Abstract:** Olefin-maleimide copolymers are expected as new transparent polymer materials due to their excellent thermal, optical, and mechanical properties. The degradation of polymer materials is usually caused by bond scission, crosslinking, and oxidation during radiation, leading to a decrease in the performance of polymers. A change in the partial chemical structure also induces a significant color change of transparent polymers. In this study, the degradation of several transparent polymers, i.e., an alternating copolymer of *N*-methylmaleimide and isobutene (P(MMI-*alt*-IB)), poly(diisopropyl fumarate) (PDiPF), and poly(methyl methacrylate) (PMMA), during UV irradiation and  $\gamma$ -radiation was investigated.

本研究に関する研究発表（原著論文、その他報文、学会等報告など）

- 1) “UV- and  $\gamma$ -Radiation Resistance of Transparent Polymer Films Obtained from Maleic and Fumaric Acid Derivatives”, Ryota Imaizumi, Masakazu Furuta, Haruyuki Okamura, and Akikazu Matsumoto\*, *J. Polym. Sci., Part A: Polym. Chem.*, to be submitted. (原著論文)
- 2) “高透明マレイミド樹脂の紫外線および放射線耐性”, 今泉涼太, 古田雅一, 岡村晴之, 松本章一, 第 65 回高分子学会年次大会, 神戸国際会議場・展示場, 神戸, 2016 年 5 月 25-27 日, 講演番号 3Pd082. (ポスター発表)
- 3) “高透明マレイミド樹脂の紫外線および放射線耐性”, 今泉涼太, 古田雅一, 岡村晴之, 松本章一, 第 62 回高分子研究発表会(神戸), 高分子学会, 兵庫県民会館, 神戸, 2016 年 7 月 15 日, 講演番号 D9, 講演要旨集 p. 65. (口頭発表)
- 4) “紫外線・放射線照射による高透明ポリマーの架橋と分解”, 今泉涼太, 古田雅一, 岡村晴之, 松本章一, 精密ネットワークポリマー研究会第 10 回若手シンポジウム, 高分子学会, 近畿大学東大阪キャンパスブロッサムカフェ, 東大阪, 2017 年 3 月 3 日. (ポスター発表, 予定)

## ガンマ線照射下における模擬地下水溶液中での チタンの全面腐食速度への溶液 pH の影響

阪府大院工 マテリアル工学分野 湯川卓司、井上博之、岩瀬彰宏

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 swb02173@edu.osakafu-u.ac.jp)

### 1. 緒言

使用済み核燃料を再処理せずに埋設する直接処分では、廃棄体中に、U や Pu ならびにそれらの娘核種や、 $^{14}\text{C}$  や  $^{36}\text{Cl}$ 、 $^{129}\text{I}$  などの長寿命の核種が残される。このため、処分場全体での核種の閉じ込め機能にさらに高い裕度を持たせるため、オーバーパックスの耐食寿命を、炭素鋼で実現可能な現行の 1000 年から、さらに延長することが期待されている。オーバーパックスの材料にチタンを適用すれば、同環境で穏やかに全面腐食する炭素鋼と比較し、その耐食寿命を大幅に延長できる可能性がある。しかし、チタンは、強アルカリ性でかつ過酸化水素 ( $\text{H}_2\text{O}_2$ ) を含む水溶液中ではその耐全面腐食性が大きく低下する場合があることが報告されている<sup>1-4)</sup>。オーバーパックスの外表面では、内部の廃棄体からの放射線によって、ラジオリシス反応による  $\text{H}_2\text{O}_2$  の生成が予想される。また、地下水は、本来は、NNpH の希薄な重炭酸水溶液であるが、処分場のような大規模な地下構造ではコンクリート支保の使用が前提となるため、処分場内に浸透する地下水は、コンクリートのアルカリ成分の溶脱によってアルカリ性となっている可能性がある。

本研究では、pH の異なる、微量(50 mM)の塩化物イオンを含む炭酸水素塩/炭酸塩水溶液中で、ガンマ線照射下で純チタン試料の浸漬試験を行い、純チタンの腐食速度を測定した。

### 2. 実験方法

試料には、面積が  $10 \times 20$  mm、厚さ 1 mm の純チタン(純度:99.5%以上)の平板、ならびに直径 1.0 mm のチタン線(純度:99.5%以上)を、直径が約 6 mm のコイル状に加工したもの(以下、コイル試験片とする)の 2 種類を用いた。試験溶液は、50 mM NaCl 水溶液を基本組成とし、同水溶液に (1) 1 M  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  あるいは(2) 0.8 M  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  と 0.2 M  $\text{NaHCO}_3$ 、(3) 1 M  $\text{NaHCO}_3$ 、(4) 1 M  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  と 0.1 M  $\text{NaOH}$  をそれぞれ添加した 4 種類(以下、それぞれ pH8、10、12、13 と呼ぶ)を用いた。試験はステンレス容器に試験溶液を入れた試験管を収め、軟質ガラス製の治具で試験片を垂直に吊り下げて行った。試験片を浸漬した溶液に対し、吸収線量率が 7.7 kGy/h のガンマ線を連続照射した。照射下での浸漬時間はいずれも 72 h とした。温度は室温(プール水温)とした。浸漬中は、試験溶液の気相部へ Ar ガスを導入した。

浸漬試験後の溶液に対して蛍光式溶存酸素計(WTW 社製 FDO925 型)を用いて、溶存酸素量を測定した。また、ヨウ素電量滴定法(平沼産業製 HP-300 型)を用いて、過酸化水素の濃度を測定した。試料の腐食速度(3 日間の浸漬期間中における平均の腐食速度)は、ICP による試験後の試験溶液中の Ti の分析結果から算出した。

### 3. 結果と考察

Fig. 1 に腐食速度の測定結果を示す。ガンマ線照射下での腐食速度は、溶液の pH に応じて増加した。pH12 と 13 の溶液中では、ガンマ線照射による腐食の加速は大きく、非照射下と比較し、5 から 10 倍となった。平板試験片とコイル試験片のガンマ線照射下での腐食速度の pH 依存性は、全体では同様の傾向を示した。つまり、試験片の形状による違いは認められなかった。Fig. 2 にガンマ線照射下でコイル試験片を浸漬させた溶液の、試験後の酸化性化学種の濃度を示す。溶存酸素濃度は、どの pH の溶液においても 300  $\mu$  M 前後であった。過酸化水素濃度は pH の上昇に応じ増加し、pH 13 の過酸化水素濃度は pH 8 の濃度の 3 倍程度大きかった。Fig.1 と Fig. 2 を比較すると、純チタンの腐食速度は、溶液中の過酸化水素濃度に応じて高くなっている。これが、溶液の pH あるいは過酸化水素濃度のいずれが支配的要因なのかを明らかにするため、今後は、ガンマ線照射下でのアノード分極測定を行い、腐食機構を検討したい。

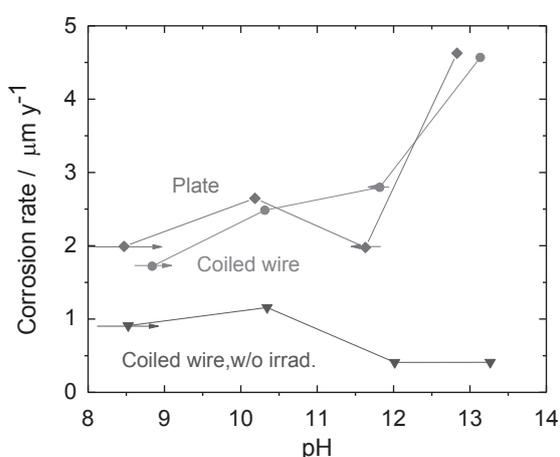


Fig.1 ガンマ線照射下及び非照射での平板とコイル試験片の腐食速度と溶液 pH の関係

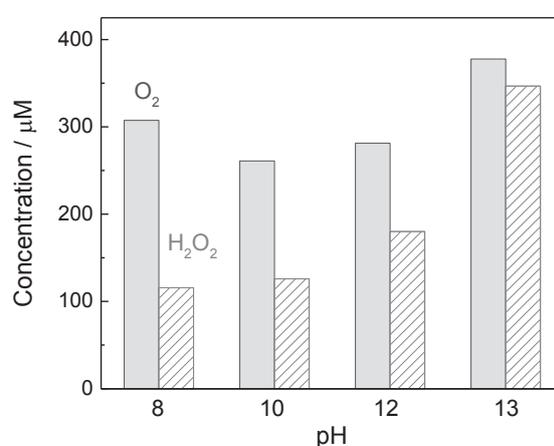


Fig.2 コイル試験片でのガンマ線照射下における浸漬試験後の溶液中の溶存酸素と過酸化水素の濃度

#### 4. 結言

7.7kGy/h のガンマ線照射下において、50mM の塩化物イオンを含む pH 8 から 13 の 1M の炭酸水素または炭酸塩水溶液中で、純チタンの全面腐食速度を測定した。その結果、

- (1) 溶液の pH の増加とともに照射後の溶液中の過酸化水素濃度が増加した。
- (2) 過酸化水素濃度の増加に応じて純チタンの腐食速度は増加した。
- (3) pH 12 と 13 の溶液中での照射下の腐食速度は非照射と比較し 5 から 10 倍程度大きかった。

#### 参考文献

- 1) J. Been and D. Tromans, CORROSION, 56, 8 (2000), 809-818
- 2) J. Pjescic, S. Mentus and N. Blagojevic, Materials and Corrosion, 53, 44-50 (2002)
- 3) 深谷 祐一、明石 正恒、木下 弘、材料と環境 2003 講演集 p295 (2003)
- 4) H. Inoue, T. Lee, and R. Nishimura, Corrosion / 2006, Paper No. 06612 (2006)

#### 本研究に関する研究発表

- 1) 湯川卓司、井上博之、小嶋崇夫、岩瀬彰宏、谷口直樹、立川博一、材料と環境 2016、D-203

## 構造緩和過程における過共晶バルクアモルファス合金の 自由体積及び局所構造の変化

大阪府立大学工学研究科 谷真海、石山大志、岩瀬彰宏、堀史説  
東北大金研 今野豊彦

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

### 【研究背景】

バルクアモルファス合金 (BA 合金) は、アモルファス合金として分類される新規材料であり、高強度・高耐食性・耐摩耗性・高成型性などの優れた特性を持つことから、精密機械の部品など様々な分野への応用が期待される[1]。

アモルファス材料に熱的エネルギー付与を行うことで、平衡状態へと遷移する現象を構造緩和といい、材料の強度などの物性に大きな影響を与える [2]。しかし、原子レベルでの構造緩和現象のメカニズムは未だ解明されておらず、材料の安定性の観点からも、この構造緩和現象のメカニズムの解明はアモルファス合金の重要な課題となっている。

我々のグループでは、共晶・亜共晶バルクアモルファス合金で陽電子消滅法を用いて、自由体積に着目した詳細な評価を行ってきた[3,4]。しかし近年、過共晶 BA 合金においても、熱膨張係数などの特性の組成依存性の傾向が亜共晶と異なることが報告され、過共晶 BA 合金ではこれまでの共晶・亜共晶 BA 合金とは異なる内部構造を持つことが示唆された。[5]

本研究では過共晶 BA 合金の構造緩和過程における局所構造の元素比率の変化、自由体積サイズの変化を調べる。また、構造緩和過程の詳細な検討により、過共晶 BA 合金の内部構造について共晶のものと比較することで評価する。

### 【実験方法】

$Zr_xCu_{90-x}Al_{10}$  ( $X=49, 45$ ) の 3 元系 BA 合金試料を傾角鋳造法により作製した。試料の大きさは 6mmφ、長さ 10cm 程度である。作製したロッド試料を厚さ 0.5mm 程度の円盤状に切り出した。

DSC 測定から算出した  $T_g$  に基づき、真空中 ( $2 \times 10^{-3}$  Pa 以下) にて最大 40000 秒までの等温焼鈍によって構造緩和を行った。焼鈍温度は合金組成それぞれにおいて  $T_g-30$  K で行った。この構造緩和過程を X 線回折測定、密度測定、DSC 測定、同時計数ドップラー拡がり測定、陽電子寿命測定により測定した。

### 【結果と考察】

はじめに、構造緩和前の BA 合金における自由体積周囲の元素比率を評価するために、 $Zr_xCu_{90-x}Al_{10}$  ( $X=49, 45$ ) 及び、その構成元素である純 Zr、純 Cu、純 Al について CDB 測定をした。これらの結果を用いてフィッティングを行うことで、実際の空隙周囲の元素比率の評価を行った。この結果から、過共晶 BA 合金の自由体積周囲の元素比率は組成依存性を有するが、その傾向は共晶を境に異なることが示され、Al の偏在度合いの変化から、自由体積周囲の局所構造に Al の偏在が起こっていることが考えられる。

図 1 に過共晶 BA 合金の構造緩和時間に対する密度と陽電子寿命の変化量を示す。過共晶 BA 合金は等温焼鈍によって密度の増加を示したことから、構造緩和現象が起こっていると見える。その変化量は組成に依らずほぼ同じであった。また、これらの過共晶 BA 合金の密度変化量はこれまでに報告されている共晶のものとは比べて小さいことが示された[3]。

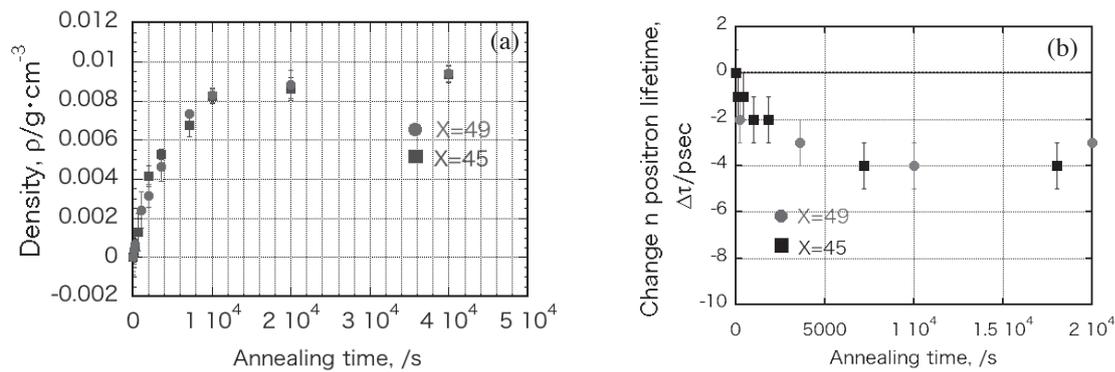


Figure 1. Change in (a) density and (b) positron by annealing for  $Zr_xCu_{90-x}Al_{10}$  ( $X=49, 45$ ) bulk amorphous alloys

CDB 測定の結果から自由体積周囲の元素比率に変化がないことが示されたので、本研究における陽電子寿命の値の変化は自由体積のサイズの変化と対応していると考えられる。過共晶 BA 合金の構造緩和による変化は 10000s で飽和し、その変化量はこれまでに報告されている共晶 BA 合金の構造緩和による変化量と比べても非常に小さい[3]。この傾向は上述した密度の変化の組成に対する傾向とよく一致しており、陽電子が評価する自由体積は、構造緩和によって減少する過剰自由体積と大きく関連していると考えられる。

陽電子寿命測定によって得られた陽電子寿命変化を式(1)に示すKohlraush-Willias-Watts (KWW)関数によるフィッティングを用いて、 $Zr_xCu_{90-x}Al_{10}$  ( $X=50, 49, 45$ ) の構造緩和過程を評価する。

$$\phi(t) = \phi_0 \exp(-[t/t_0]^\beta) \quad \dots(1)$$

ここで  $t$  は緩和の時定数であり、 $t_0$  は焼鈍時間、 $\beta$  は緩和過程の広がりを示すパラメータである。

$Zr_xCu_{90-x}Al_{10}$  ( $X=50, 49, 45$ ) の陽電子寿命変化を KWW 関数でフィッティングした結果、合金組成により全く異なる値であった。この KWW 関数を用いたフィッティングの結果から、過共晶 BA 合金における陽電子のみる自由体積サイズの構造緩和過程の組成依存性に大きな関連がみられた。つまり、Al が偏在する局所構造がその構造緩和現象に密接に関連しており、この構造は共晶のものに比べて過剰自由体積が少ないため、密度や自由体積サイズの変化も少ないと考えられる。

## 参考文献

- 1) 金属ガラスの基礎と産業への応用、監修 井上明久、テクノシステム,2009.
- 2) Y. Yokoyama, et, al., Acta Mater., 56 (2008) 6097
- 3) A. Ishii, et. al., Mater. Trans., 49(2008) 1975-1978
- 4) A. Ishii, et. al., Mater. Sci. Forum 654-656 (2010) 1070-1073
- 5) Y. Yokoyama, et. al., J. Non-Cryst. Solids 355(2009) 317-322

## 本研究に関する研究発表

- 1) T. Ishiyama, K. Kobayashi, Y. Ueno, Y. Yokoyama, T. J. Konno, A. Iwase and F. Hori "Structural relaxation of open volume in hyper-eutectic Zr-Cu-Al bulk amorphous alloys measured by positron annihilation" 17th International Conference on Positron Annihilation (ICPA-17) Wuhan, September, 2015

## B2型FeAl金属間化合物中の水素の状態における水素導入過程の影響

阪府大院工 上野陽平、岩瀬彰宏、堀史説  
 京大原子炉 徐虬  
 九大応力研 大澤一人  
 原子力機構 斎藤勇一

(\*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：金属間化合物は特有の原子比と規則構造を持つ化合物合金であり、高温高強度や高耐食性といった特有の性質を示すため数多くの研究が行われている。その中でFeAl金属間化合物は水素脆化を示すなど水素との間に強い相互作用を持つことが知られている。そのため、本合金では水素貯蔵に関しての可能性も有している。特にB2型のFeAl金属間化合物中では第一原理計算により空孔中の水素が特異な状態で安定化し、構造欠陥の種類によってもそれらは異なるという結果も得られている。そのため、水素化物形成ではなく空孔型欠陥との相互作用についての知見が重要であるが、空孔種にまで言及した水素との相互作用に関する実験はほとんど行われていない。金属材料中への水素の注入方法としては電解水素チャージ、高圧水素チャージ、水素イオン照射などがあるが、このうち水素イオン照射は欠陥の導入と水素の注入を同時に行える手法である<sup>1)2)</sup>。そこで、本研究では水素イオン照射および電解水素チャージを行い、水素の導入時の空孔の導入の有無による水素の状態変化と空孔種（Fe空孔とAl空孔など）との関連性などについて陽電子消滅測定法により調べた。

2. 実験：試料はアーク溶解により作製したFe48at.%Alボタン材を板状に切り出した後、873 Kにて120時間の均一化熱処理を行った。この試料に高崎量子応用研究所において1.5 MeVの水素イオン照射をそれぞれ行った。照射量はいずれも $1 \times 10^{16}$  /cm<sup>2</sup>である。また、電解水素チャージを別の試料に行い、注入前後のX線回折測定、陽電子消滅同時計数ドップラー広がり測定を行った。注入後の時間経過についても同様の測定を行った。また、昇温脱離分析(TDS)による水素放出挙動による違いも測定した。

3. 結果：X線回折では、照射前の試料で均一なB2相を確認しており、照射によっても構造変化は起こらない事を確認している。一方、ドップラー広がり測定からは水素イオン照射、電解チャージ共にS値の減少が見られた。これは水素注入により陽電子消滅サイトでの電子密度が増加したことを意味している。照射では空孔型欠陥が導入されているにもかかわらず減少したのは、空孔への水素捕獲が起こっているためと考えられる。また、注入後のS値は電解チャージでは時間と共に回復したが、照射では数時間経過後も回復するような変化がみられず、空孔への捕獲の有無と安定性の違いが現れたものと考えられる。

### 参考文献

- 1) S. Komagata et al., Physics Procedia 35 (2012) 75 – 79.
- 2) F. Lukae et al., Journal of Physics: Conference Series 505 (2014) 012013.

### 本研究に関する研究発表（原著論文、その他報文、学会等報告）

学会発表

- 1) FeAl金属間化合物への電子線照射による欠陥生成のエネルギー依存性 上野陽平、石山大志、小林一基、谷真海、大澤一人、岩瀬彰宏、徐虬、佐藤 紘一、堀史説 京大原子炉学術講演会 (2016年1月)
- 2) Study of defects introduced by electron irradiation in B2 type Fe-Al alloy, Y.Ueno Y.Ueno, A.Iwase, X.Qiu, K.Sato, N.Ishikawa, K.Ohsawa and F.Hori, Int. Conf. of Positron Annihilation (Wuhan,China, 2015 Spt.)

Cu-Au 二元系ナノ粒子の $\gamma$ 線照射還元による合成と構造特性評価

大阪府立大学大学院 工学研究科 田中元彬、戸田晋太郎、岩瀬彰宏、堀史説  
産業技術総合研究所 秋田知樹、田口昇、田中真悟  
京大原子炉 阪本雅昭、徐ギユウ

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

## 【緒言】

近年、ナノ微粒子は省資源かつ高機能な材料として注目を集めている。中でも、Cu ナノ微粒子は資源として安価であるのに加え、高い電気伝導率を有しているため Ag ナノ微粒子に代わる幅広い分野での利用が期待されている。しかし、Cu ナノ微粒子は酸化・再溶解が起こりやすくナノサイズで安定な銅粒子の合成は難しい。我々はこれまでに $\gamma$ 線照射還元により 10nm 以下の銅ナノ粒子の合成に成功した<sup>[1]</sup>が、大気中で瞬時に酸化することが確認されていた。また、耐酸化性を有する元素との合金化に着目し、 $\gamma$ 線照射還元法によって Cu-Au 二元系ナノ微粒子の合成に成功しており、Cu 単体のナノ粒子と比較しても耐酸化性を持っていることがわかっている<sup>[2]</sup>。本実験では二段階の還元を行うことで二元系ナノ微粒子の構造制御を試みた。

## 【実験方法】

純水に銅錯体( $\text{Cu}(\text{COOCH}_3)_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$ (5.0mM)、界面活性剤 SDS(8.0mM)、エチレングリコール(0.84ml)を加えた溶液 20 mL を PET バイアル瓶に入れ、10 分間 Ar ガスで脱気後 $\gamma$ 線照射(線量率 1.0kGy/h、照射線量 10 kGy)を行い、照射後に金錯体  $\text{NaAuCl}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ (1.0mM)を添加し照射を行った。また、先に金イオンのみの水溶液を $\gamma$ 線照射後に銅錯体を添加照射してナノ粒子合成を行った。照射直後の溶液を吸光度分析(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(HR-STEM)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】

吸光度測定の結果から、Cu 錯体に $\gamma$ 線照射を行った試料に Au 錯体を添加すると、Cu 粒子の存在を示す 530nm<sup>[3]</sup>付近のピークが短波長側に変化した。この試料に対して $\gamma$ 線照射した後の吸光度も添加直後と比べてピーク位置が長波長側に変化しており、添加により粒子が変化しその後の照射によって更に粒子が変化していることがわかった。最終的に生成した粒子の TEM 像を図 1 に示す。TEM 像と EDS による元素分析からこの粒子は平均粒径が 7nm で Cu が Au の表面を覆うコアシェル型のナノ微粒子であることが分かった。一方、Au と Cu の還元を逆の順序で合成した粒子についても、TEM と EDS による元素分析から、Cu を先に還元合成して Au を添加した場合と同様に Cu が Au を覆うコアシェル構造になっていた。その粒径は約 40nm で逆の順序で合成した粒子よりも大きく成長していた。これは、Au 粒子生成後、粒子の表面で Cu が生成、成長したことによる。還元順序を変えることに

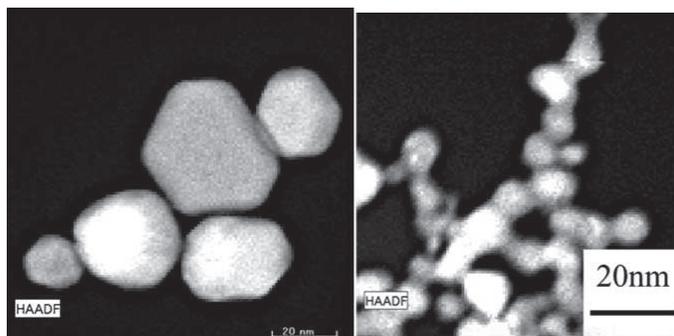


図 1.生成粒子の TEM 像 (左)Au 錯体照射→Cu 錯体添加 (右)Cu 錯体照射→Au 錯体添加

より、生成粒子の形状に大きな変化が見られた。粒子と錯体の反応によってこの違いが表れたと考えられ、コアシェル構造の制御の可能性を見出すことができた。

## 参考文献

- [1]堀達朗 修士論文(2015)
- [2]田中元彬 卒業論文(2016)
- [3] 前田修大 修士論文(2007)

## 本研究に関する研究発表

- (1) 金属イオン水溶液への $\gamma$ 線照射による水分解生成ラジカルを利用したナノ構造体合成、堀史説、資源素材学会 (2015年3月千葉)
- (2)  $\gamma$ 線照射還元法によるCu<sub>2</sub>元系合金ナノ微粒子の作成、田中元彬、岩瀬彰宏、田口昇、秋田知樹、阪本雅昭、堀史説、材料物性工学談話会 (2016年1月京都)
- (3)  $\gamma$ 線照射還元での銅ナノ粒子合成における異種元素添加による安定化、堀史説、堀達朗、田中元彬、岩瀬彰宏、阪本雅昭、秋田知樹、田口昇、日本金属学会 (2016年3月東京)

## ZrCuAl バルクアモルファス合金に対するイオン照射効果の組成依存性

大府大院工 小林一基、石井康嗣、岩瀬彰宏、堀史説\*  
 東北大金研 加藤秀実  
 原子力機構 石川法人  
 量研機構 斎藤勇一

(\*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

急冷によって準安定状態で作製されるバルク金属ガラス合金は熱などのエネルギー付与により緩和や結晶化を起こすことが知られている。そのため局所的なエネルギー付与方法の一つである高エネルギー粒子線照射によってその状態が変化することを我々の研究グループでは報告してきている。その変化は線種や照射量といった種々の照射条件に強く依存し、内部構造や強度に対して敏感に現れる事がわかってきている[1]。一方、近年バルク金属ガラス合金は組成比によっても短範囲局所構造に違いがあることが示唆されており ZrCuAl バルクアモルファス合金への様々な粒子線照射により主に共晶から亜共晶組成合金について内部構造に起因する特性変化が起こること、照射効果が組成依存性を有することを本研究室では報告している。しかし、照射効果が組成依存性を有することの原因や詳しいメカニズムについては報告がほとんどなく、未知の部分が多くある。そこで本実験では3元系 Zr-Cu-Al バルクアモルファス合金のこれまでと異なる組成域である過共晶組成合金に注目して重イオン照射を行い、照射効果による特性変化の組成依存性について調べた。

### 2. 実験方法

試料は傾角鋳造法により直径 6 mm のロッド状の  $Zr_xCu_{90-x}Al_{10}$  ( $x = 45, 47, 49, 50$ ) アモルファス合金を作成し、厚さ約 0.5 mm 程度のディスク状に切り出し鏡面研磨した。これらの試料に対して日本原子力機構東海研究所タンデム加速器を用いて室温で Xe イオン照射実験を行った。エネルギーは 200MeV、照射量は  $5 \times 10^{13} \text{ e}^-/\text{cm}^2$  である。照射前後の各試料について X 線回折、陽電子消滅寿命測定、同時計数ドップラー広がり測定(CDB)、マイクロビッカース硬さ試験を行った。

### 3. 結果と考察

X 線回折測定ではいずれの合金組成においてもイオン照射による結晶化は確認されなかった。次にビッカース硬さ試験と陽電子寿命測定の結果を亜共晶組成合金の結果と比較したものをそれぞれ Fig1, 2 に示す。過共晶組成合金では照射によって硬度は減少するが明確な Zr 濃度依存性を示さないことが分かった。また陽電子寿命はいずれの合金でも減少するが Zr50%から Zr45%へ Zr 濃度が小さくなるにつれてその変化量は減少することがわかった。一方、これまでの亜共晶組成合金への同様の照射効果の結果でも、硬度は減少する傾向を示すがその組成依存性は Zr 濃度に対する変化の傾向が過共晶組成合金とは異なる依存性を示していた。さらに陽電

子寿命の変化では過共晶と亜共晶では逆の組成依存性を示した。亜共晶組成合金では硬度の変化と空隙の変化により対応が見られるが、過共晶組成合金では照射効果として現れる空隙の変化と硬度の変化は必ずしも対応していない。

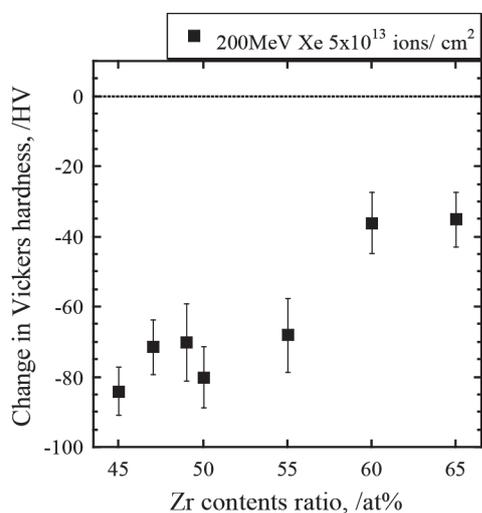


Fig.1 Change in hardness as a function of Zr contents ratio by ion irradiation

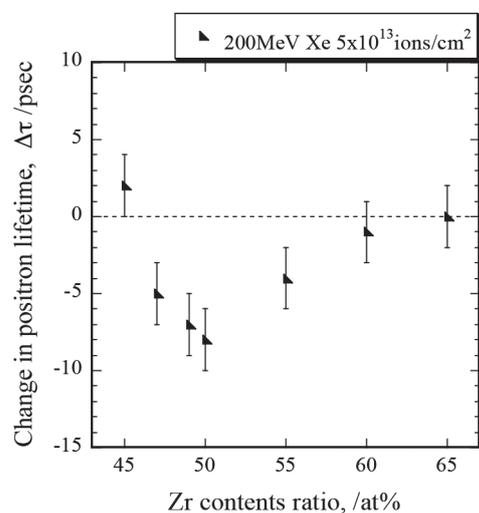


Fig.2 Change in positron lifetime as a function of Zr contents ratio by ion irradiation

以上の結果から、過共晶組成合金と亜共晶組成合金の内部構造は未照射の段階で本質的に異なることが示唆された。またこの内部構造の違いから、亜共晶組成合金では空隙の収縮と関連する構造変化が、過共晶組成合金では空隙の収縮以外に関連する領域の構造変化が支配的に硬度の減少に寄与したと考えられる。

#### 参考文献

- 1) N. Onodera, A. Ishii, K. Ishii, A. Iwase, Y. Yokoyama, Y. Saitoh, N. Ishikawa, A. Yabuuchi, F. Hori, Nucl. Instrum. Method B 314 (2013) 122-124

#### 本研究に関する研究発表 (原著論文、その他報文、学会等報告)

- 1) K. Kobayashi, K. Ishii, T. Ishiyama, A. Iwase, H. Kato, Y. Saitoh, N. Ishikawa and F. Hori, "Open volume and hardness change in Zr-Cu-Al bulk amorphous alloys after ion irradiation " 23rd International Symposium on Metastable, Amorphous and Nanostructured Materials (ISMANAM 2016) Nara, July, 2016

## 低エネルギー電子線発生装置を用いた滅菌検証

大阪府立大学地域連携研究機構・放射線研究センター 古田雅一、土戸哲明

京都大学・産官学連携 福田直晃

日立造船(株) 吉良典子、長谷川剛史、生杉浩一、上野絵理

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

### 1. はじめに

日立造船(株)はPETボトルの表面のみに照射可能で、より素材への影響が少ない低エネルギーの電子線を用いた滅菌方法を検討し、PETボトル外面用のOTB(Outside The Bottle)および内面用のITB(In The Bottle)の2種類の装置を開発した。ITBではPETボトルキャップ部の口径より小さい電子線照射ノズルを使用し、ボトルの肉厚に関わりなく内表面のみをダイレクトに滅菌することが可能である。本検証ではITBを用い、PET素材への滅菌効果について確認を行った。

### 2. 実験方法

放射線に耐性のある*Bacillus*属の細菌3株(*Bacillus pumilus* ATCC 27142、*B. subtilis* ATCC35021、*B. atrophaeus* ATCC9372)の芽胞を対象とし、 $10^5 - 10^6$  CFU/0.1 mLとした芽胞懸濁液をPET基板に0.1 mL塗布して、乾燥させ検体を作製した。電子線の出力条件は125 kV、1.0 mAとした。照射部を固定し、一軸の搬送スライダ上PET基板を設置し、搬送速度を変更することによって線量を調整した。B3フィルム線量計(GEX社製)を検体とともに照射後、吸収線量の実測を行った。照射後の検体から微生物をスワブ法で回収し、平板法によるコロニー計数により生残菌数を求めた。

### 3. 結果および考察

*Bacillus*属の細菌芽胞の生残率は図1に示すように指数関数的に減少し、その際の $D_{10}$ 値は1.61 - 2.00 kGyとなった。この値は高エネルギーの電子線を用いた場合の検討結果<sup>1)</sup>と同様の値であった。

低エネルギーの電子線を用いた滅菌装置を開発し、滅菌検証を実施した結果、*Bacillus*属の細菌芽胞を対象にした場合、500 mL容のPETボトルに対して $10^6$ の滅菌保証を達成するために2秒以下の照射で十分な滅菌効果が得られることが確認できた。また、PETボトルの雑菌汚染において問題となる真菌や他の細菌に対する効果についても検討中である。

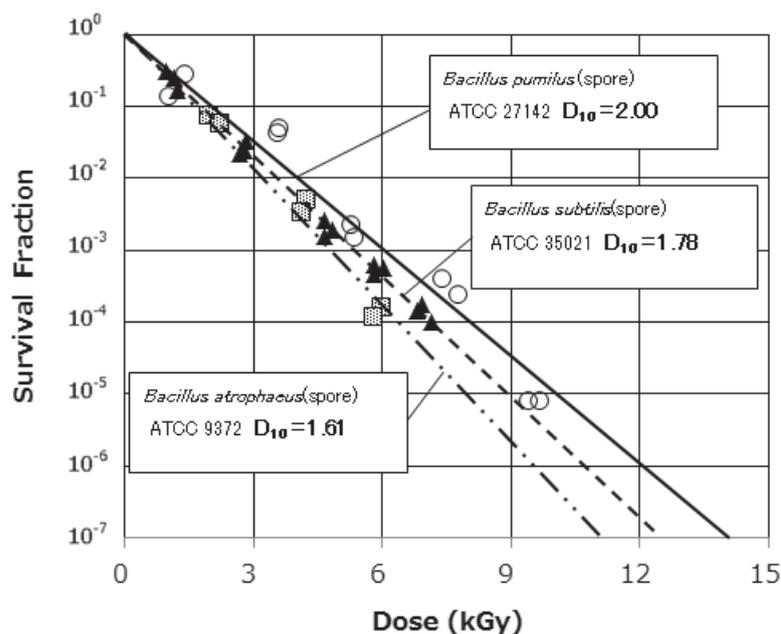


図1 *Bacillus*属の細菌芽胞に対する低エネルギー電子線照射の効果

<sup>1)</sup> 古田雅一ら：10MeV電子線を用いた放射線滅菌，食品照射，22，2，(1987)

\*1 HITACHI ZOSEN CORPORATION;

\*2 KYOTO UNIVERSITY

\*3 OSAKA PREFECTURE UNIVERSITY

## 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検知指標とした 新規照射食品検知法の開発

大阪府立大学地域連携研究機構 福井直樹、古田雅一\*

大阪府立公衆衛生研究所 高取 聡、北川陽子、梶村計志、尾花裕孝

(\*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】平成 23 年にユッケを原因食品とした病原性大腸菌による集団食中毒事件が発生した。これを契機に食品衛生法が改正され牛生レバー（以下、レバー）の提供が禁止された。このため近年、レバーのように従来の衛生管理技術では完全な殺菌処理が不可能な食品に対する殺菌方法として $\gamma$ 線等の放射線照射が着目されている。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が、レバーに適用できる検知法はない。そこで我々は、放射線照射により DNA 中のチミジン (dThd) から生成する損傷ヌクレオシドある 5,6-ジヒドロチミジン (DHdThd) を検知指標とした新規照射食品検知法の開発に着手した。

【方法】凍結した試料（レバー）を大阪府立大学放射線研究センターで $\gamma$ 線照射（0～11 kGy）した。フェノール・クロロホルム抽出により試料から DNA を抽出した。DNA を酵素処理によりヌクレオシドに分解し、固相により精製した。DHdThd および dThd を含む分画を回収・濃縮して試験液とした。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】DHdThd は、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。また、DHdThd は、凍結保存状態の試料中において、少なくとも 7 か月間にわたり安定であった。照射線量に対して DHdThd/dThd をプロットした線量依存曲線は、異なる牛個体から得た試料間において近似していた。これらのことから、DHdThd/dThd は、特異性・線量依存性があり、安定でかつ試料間のばらつきが少ない堅牢な検知指標であることが示唆された。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、レバー以外の多様な食品への適用も可能と考えられる。また、本法は食品から常法により DNA を抽出して、ヌクレオシドに分解した後、食品中の残留農薬検査等に汎用されている LC-MS/MS で分析することから、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) 5,6-ジヒドロチミジンを指標とした新規照射食品検知法の開発：高取 聡ら，第 52 回全国衛生化学技術協議会年会（2015.12.3-4；静岡）
- 3) 放射線損傷塩基である 5,6-ジヒドロチミジンを指標とした新規照射食品検知法の開発：福井直樹ら，第 110 回日本食品衛生学会学術講演会（2015.10.29-30；京都）

## 水損和紙資料（古文書）に発生したカビの放射線殺菌に関する基礎的検討

姫路大学教育学部 松下正和

東北大学災害科学国際研 天野真志

京都造形芸術大 内田俊秀

光産業創成大学院大 酒井浩一、藤田和久

神戸大院人文学 吉川圭太

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、メール [mfuruta@b.s.osakafu-u.ac.jp](mailto:mfuruta@b.s.osakafu-u.ac.jp))

水害、地震、津波などの自然災害により、被災地域の家屋に所蔵されていた古文書などの甚大な水損・汚損被害が発生している。被災した古文書を救出する作業が鋭意行われているが、水損・汚損した資料にはカビが発生し、悪臭とともに解読作業にも支障をきたし、保管にも悪影響を与えている。さらに作業従事者の健康被害も懸念される状況である。

本研究は科学研究費基盤研究(S)「災害文化形成を担う地域歴史資料学の確立—東日本大震災を踏まえて—」の分担研究として、古文書など和紙資料に発生したカビの放射線殺菌の可能性を検討している。現在までに、古文書に汎用されている和紙の40 kGyまでの照射における強度劣化は軽微であり、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。今後は本資料に対する滅菌線量の決定を目指して研究を進める予定である。

### 参考文献

- 1) Abdel-Salam El-Esseily ; Masamitsu Inaba. Gamma Irradiation of *Washi*. RESTAURATOR. 2004,pp.40-46
- 2) 江前敏晴, 講座「紙の科学—紙の物性・構造の基礎と印刷適性」,2006, p.10  
<http://www.enomae.com/Paper%20Science%20seminar2/>
- 3) 動産文化財救出マニュアル編集委員会編『動産文化財救出マニュアル』（クバプロ、2012）pp.57-58

### 本研究に関する研究発表（原著論文、その他報文、学会等報告）

- 1) 松下正和・河野未央編『水損史料を救う—風水害からの歴史資料保全』（岩田書院、2009）

研究課題名 : Protective effect of DMSO against DNA double-strand break induced by different injury sources: photo and gamma-ray irradiations and freezing

同志社大学 野田雅美\*、菊池駿人、吉川祐子、吉川研一、剣持貴弘

大阪府立大学 古田雅一

京都大学 鶴山竜昭

\*電話 0774-65-6131、メール meron515@gmail.com

DMSO (dimethylsulfoxide) が、細胞や組織の放射線障害、さらに凍結時の損傷を保護する作用のあることは経験的に知られている。DNA 二本鎖切断は細胞に重篤な損傷を引き起こすことから、DMSO の保護作用には、DNA 二本鎖切断の防護作用が関係しているものと思われる。しかしながら、DMSO の DNA に対する保護効果については不明な点が多く残されている。

本研究では、水溶液中に存在するゲノムサイズの DNA に対して、様々な損傷刺激による DNA 二本鎖切断反応が、DMSO の存在によりどのような影響を受けるかを、蛍光顕微鏡を用いた一分子観察の手法により、定量的な計測を行ったので報告する。測定には、T4-DNA(166kpb)を用い、蛍光色素 YOYO-1 を用いて染色し、溶液中の DNA 分子の一分子観察を行った。これまでの私たちの研究により、YOYO-1 に青色(450-490nm)の励起波長の光を照射すると、溶液中で活性酸素を生成し、DNA の切断反応を引き起こすことが明らかとなっている。そこで、蛍光顕微鏡で一定強度の青色(450-490nm)の照射条件下で、DNA の計測を行った。溶液に共存させる DMSO 分子の濃度を変化させて、DNA の二本鎖切断の効率を調べた。さらに、DNA に対してのガンマ線照射による損傷に対する DMSO の効果も計測した。γ線、光誘起活性酸素、いずれの場合も、DMSO 2%以上の条件では、顕著に損傷を防護することがわかった。一方、凍結損傷に対しては、DMSO 2%程度では損傷の減少率は6割程度にとどまることが明らかとなった。

#### 参考文献

Y. Yoshikawa, et al., Chem. Phys. Lett., 501, 146–151 (2010).

Y. Ma, et al., Chem. Phys. Lett., 638, 205-209(2015).

#### 本研究に関する研究発表

超音波医科学研究センター 研究成果公開シンポジウム, 同志社, Aug.29, 2016

第39回分子生物学会, 横浜, Nov.11-Dec.2, 2016

Annual Meeting of Cell Biology, San Fransico, Dec. 3-7, 2016

## 高レベル放射性廃液からの長寿命核分裂生成物（パラジウム）の バイオ分離・回収技術の研究開発

阪府大院工 物質・化学系専攻 化学工学分野 斎藤範三、小西康裕\*

阪府大院工量子放射線系専攻 古田雅一

(\*本研究に関する連絡先：電話（内線）5773、メール yasuhiro@chemeng.osakafu-u.ac.jp)

原子力発電における使用済み核燃料の再処理によって、核分裂生成物の大半が溶出した高レベル放射性廃液（HLLW）が発生する。この HLLW は、ガラス溶融炉内においてホウ珪酸ガラスとともに処理された後、ガラス固化体として深地層処分される。しかしながら、HLLW ガラス固化工程における深刻な問題は、HLLW 中に存在する白金族元素（Pd, Rh, Ru）の溶融炉への沈積によって、ガラス固化プロセスの連続運転が不可能になる点である。本研究は、HLLW に含まれる長寿命核分裂生成物（LLFP）である白金族元素（Pd）を対象に、放射線環境場でも使い易い Pd(II)イオンバイオ分離・回収技術を創出することを研究目的としている。

平成 27 年度には、HLLW のガラス固化体表面の放射線量を模擬する放射線量率（1500 Gy/h 程度）を目安に、本学・放射線研究センターにおいて最大線量 3000Gy の  $^{60}\text{Co}$  ガンマ線照射実験を次の微生物試料に対して行った結果、次の成果が得られた。

- ① バイオ分離剤となる金属イオン還元細菌（*Shewanella algae*）やパン酵母（*Saccharomyces cerevisiae*）の懸濁液（中性溶液）に対して線量範囲 20 Gy～3000 Gy の  $^{60}\text{Co}$  ガンマ線照射を行った場合でも、電子供与体（ギ酸塩）の存在下、これら微生物の Pd(II)イオン還元・ナノ粒子化回収能力は非放射線環境下と同レベルに維持されることを見出した。
- ② 電子供与体（ギ酸塩）が無添加の場合でも、Pd(II)溶液と上記微生物（*S. algae*, *S. cerevisiae*）の混合液（中性溶液）に対して  $^{60}\text{Co}$  ガンマ線照射（1000 Gy）を行うだけで、Pd(II)イオンを還元・ナノ粒子化回収できることを見出した。これは、放射線の作用によって電子供与体が反応液中に生成したために、Pd(II)イオンのバイオ還元が進行したと推測される。
- ③ バイオ分離剤となる微生物（*S. algae*, *S. cerevisiae*）の懸濁液（酸性溶液）に対して線量範囲 20 Gy～3000 Gy の  $^{60}\text{Co}$  ガンマ線照射を行った場合には、これら微生物の Pd(II)イオン吸着・回収能力は非放射線環境下と同レベルに維持されることが明らかになった。

上記の微生物（*S. algae*, *S. cerevisiae*）は非放射線環境下では Pd(II)イオンの優れた分離回収剤（特許登録・第 5090697、特願 2013-273690、特願 2015-063337）であるが、これら微生物の放射線耐性については全く未知であることから、上記の研究成果を特許出願するに至った。

### 本研究に関する研究発表（原著論文、その他報文、学会等報告）

- 1) 特許出願、「放射性の白金族金属の回収方法」、発明者：小西・斎藤・古田、権利者：大阪府立大学、出願日：平成 27 年 11 月 17 日

## マウス神経幹細胞におけるX線誘発 DNA2 本鎖切断の フローサイトメータを用いた新しい定量系の開発

大阪府大・院・理 放射線生物学分野 山田 聖、白石一乗、児玉靖司

(\*本研究に関する連絡先：電話（内線）4241、メール mz304019@edu.osakafu-u.ac.jp)

### 【背景・目的】

これまでマウス神経幹細胞の DNA 損傷を測定するには、神経幹細胞を培養してニューロスフェアを形成させる必要があった。この場合、胎児由来組織で数日、成体由来組織で 10 日程度の培養期間を要することになる。そのため、神経幹細胞の被ばく後の DNA 損傷修復過程を調べるには、ニューロスフェアに *in vitro* 照射して解析するしか方法がなかった。そこで、本研究では、マウス個体で被ばくした後の神経幹細胞における DNA 損傷を計測するために、培養を介さずにフローサイトメータを用いて直接計測する新しい定量法の確立を目指した。

### 【実験方法】

リン酸化ヒストン H2AX ( $\gamma$ -H2AX) に対する蛍光抗体を用いて、細胞当たりの X 線誘発 DNA2 本鎖切断 (DSB) を定量した。はじめに、ニューロスフェアを用いて細胞当たりの  $\gamma$ -H2AX フォーカス数を蛍光顕微鏡で計測する従来法と、細胞当たりの  $\gamma$ -H2AX 蛍光強度をフローサイトメータで測定する新しい方法との比較を行った。

フローサイトメータを用いた方法では、幹細胞マーカーと  $\gamma$ -H2AX の 2 重染色を行った。その際、幹細胞マーカーは、これまで多用されてきた CD133 ではなく、新しいマーカーとして糖タンパクの一種である SSEA-1 を用いた。また、蛍光 2 重染色において、それぞれの蛍光色素が干渉しない組み合わせを選択した。すなわち、幹細胞マーカーとして SSEA-1、蛍光色素には Alexa647 の組み合わせと、DNA 損傷マーカーとして  $\gamma$ -H2AX、蛍光色素には Alexa488 の組み合わせを用いた。

### 【結果と考察】

ニューロスフェアに、X 線を 0、1、2 Gy 照射し、 $\gamma$ -H2AX フォーカス数を計測したところ、細胞当たりそれぞれ、5.0、11.0、17.2 であり、線量依存的に増加した。次にニューロスフェアに、X 線を 0、0.5、1、2、3 Gy 照射し、すぐにフローサイトメータで相対的な  $\gamma$ -H2AX 強度を定量した。その結果、相対強度は、それぞれ、1.0、1.4、2.4、2.9、3.7 を示し、フォーカス数の定量と同様な線量依存的増加を示した。この結果は、フローサイトメータを用いた新しい DSB 定量法が、神経幹細胞における線量依存的な DSB 増加を計測できることを示している。この新しい定量法では、神経幹細胞を培養せずに直接 DSB を計測できるため、被ばくしたマウス個体の神経幹細胞に残る DSB を計測することが可能であり、これまで解析が不可能であった *in vivo* での神経幹細胞中の DSB 修復動態を解析することができる。したがって、幹細胞の DSB 修復研究において有用な定量系を確立できた。

### 【参考文献】

- 1) 中濱友哉、不死化マウス神経幹/前駆細胞株の樹立とその性質解析、大阪府立大学大学院理学系研究科 修士論文(2015)

## キイロショウジョウバエ核内受容体 DHR96 の リガンド物質を検出するレポーター酵母の樹立

大阪府立大学 理学系研究科 河野 太輔、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 072-254-9862 (内 4210)、yagi-t@riast.osakafu-u.ac.jp)

### [緒言]

私達の研究室では内分泌攪乱物質を検出するために、種々の核内受容体を発現するレポーターアッセイ酵母株を樹立してきた。ヒトの核内受容体 PXR (pregnane X receptor) は、生体異物をリガンドとして薬物代謝酵素である CYP3A4 の遺伝子発現を誘導し、それらを体内で水溶性の高い物質に変換して体外への排出を促進する。PXR の生体異物リガンドとしては、各種医薬品に加え、殺虫剤や除草剤などの各種農薬が報告されている。本研究では、当研究室で樹立したヒト PXR レポーター酵母の農薬に対する応答性を調べるとともに、キイロショウジョウバエのヒト PXR ホモログである DHR96 を発現するレポーター酵母株を樹立した。DHR96 レポーター酵母は、環境試料から農薬等のリガンド物質を検出するアッセイ系として利用できる。そのためにまずキイロショウジョウバエの核内受容体 DHR96 の応答配列、二量体の形成様式、転写共役因子の必要性など、まだ不明である核内受容体としての特性を明らかにした。

### [実験方法]

#### (1)ヒト PXR アッセイ酵母の各種農薬に対する応答性

私達が作製したヒト PXR アッセイ酵母株が、殺虫剤 (フィプロニル) および除草剤 (プレチラクロール、アラクロール、オキサジアゾン、メトラクロール) に応答するかどうかを調べた。

#### (2)キイロショウジョウバエ DHR96 発現酵母株の作製

キイロショウジョウバエの mRNA から RT-PCR 法により核内受容体 DHR96 cDNA を増幅させ、酵母用発現ベクターに組み込んで DHR96 発現プラスミドを構築した。また DHR96 のヘテロダイマーパートナーと考えられる USP を発現するプラスミドに DHR96 遺伝子を導入し、DHR96-USP 共発現プラスミドも構築した。酢酸リチウム法により酵母 W303a にこれら核内受容体発現プラスミド、応答配列【direct repeat (DR), inverted repeat (IR), everted repeat (ER)、Glucocorticoid response element (GRE)】を連結した *lacZ* レポータープラスミド、転写共役因子 Tai 発現プラスミドをそれぞれ導入してレポーターアッセイ酵母を作製した。

#### (3)レポーターアッセイによる DHR96 発現酵母株の選択

昆虫体内で DHR96 と結合することが知られているコレステロールをリガンドとして 96 穴マイクロプレートに添加し、アッセイ酵母を加えて 30°C で一晚培養した。新しいプレートに ONPG を含む発色基質溶液とリガンド曝露した酵母を混合して 37°C でインキュベートした。吸光度 OD<sub>405</sub> と OD<sub>595</sub> を測定して  $\beta$ -ガラクトシダーゼ (*lacZ*) 活性を算出した。レポーター活性を示した応答配列をもつ酵母株を選択したのち、DHR96 発現酵母株と DHR96-USP 共発現酵母株との活性値を比べて、最も優れたレポーター酵母株を選択した。また転写因子 Tai の必要性も検討した。

### [結果と考察]

ヒト PXR アッセイ酵母株において各種農薬に対する応答がみられた。コレステロールを用いて、DHR96 の応答配列の検討をおこなったところ、DR-2 (direct repeat with 2bp) を保有する酵母株でのみ高いリガンド応答性を示された。また DHR96 の濃度依存的なリガンド応答性には USP と転写共役因子 Tai の発現が必須であった。このことからキイロショウジョウバエ核内受容体 DHR96 は USP とヘテロダイマーを形成して応答配列 DR-2 に結合し、転写因子 Tai とともに下流の遺伝子発現を制御していると考えられる。今後は各種農薬を用いてアッセイをおこない、樹立した DHR96 発現酵母株がリガンド物質のスクリーニング系として有用かどうかを検討する。またヒト PXR 発現酵母と応答性を比較し、生物種間での PXR ホモログのリガンド特異性に差があるかどうかを調べる。

HeLa MR 細胞を用いた新規検出系による  
ヒ素の脱メチル化活性の解析

大阪府立大学 理学系研究科 池上紗穂 谷口美由紀 川西優喜 八木孝司\*

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

エピジェネティックな変化である DNA のメチル化は、シトシンメチル基転移酵素 (DNMT) が遺伝子プロモーター領域の CpG 配列のシトシンへメチル基を付加することで起こる。HeLa MR 細胞は O<sup>6</sup>-メチルグアニン修復酵素 (MGMT) が不活化しており、O<sup>6</sup>-メチル化剤である *N*-メチル-*N*-ニトロソウレア (MNU) に対し高感受性である。この細胞を DNMT 阻害剤の 5-アザシチジン (5-AzaC) および、5-アザデオキシシチジン (5-AzaCdR) で処理したところ MNU 抵抗性になったため、MGMT の不活化はプロモーター領域のメチル化に伴う発現抑制によると考えた。そして、この HeLa MR 細胞の MNU 抵抗性回復現象を利用した 5-メチルシトシン脱メチル化活性の新しい検出系を構築した。

この検出系を用いて、3 価ヒ素として三酸化二ヒ素 (As<sub>2</sub>O<sub>3</sub>)、毒性の弱い 5 価ヒ素として五酸化二ヒ素 (As<sub>2</sub>O<sub>5</sub>) の脱メチル化活性をそれぞれ測定した。その結果 As<sub>2</sub>O<sub>3</sub> において MNU 抵抗性コロニーの増加が見られた。また、As<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 処理で生じた MNU 抵抗性細胞では、MGMT mRNA とタンパク質の発現回復を確認した。さらに現在、Combined Bisulfite Restriction Analysis(COBRA)法を用いてゲノム上の MGMT プロモーター領域の脱メチル化状態、6 価クロムの脱メチル化活性も同様に評価中である。

TLS ポリメラーゼを欠損させた XP 細胞における  
3-NBA 由来部位特異的付加体の突然変異解析

大阪府立大学 理学系研究科 福本航大、炬口 茜、藤川 芳宏、川西優喜\*、八木孝司  
神奈川工大 応用化学科 高村岳樹

(\*本研究に関する連絡先：電話 072-254-9830(内 4224)、kawanishi@riast.osakafu-u.ac.jp)

損傷乗り越え DNA 合成 (TLS) ポリメラーゼは突然変異生成に重要な役割を担っている。ヒトでは 5 種類の TLS ポリメラーゼ (Pol  $\eta$ 、Pol  $\kappa$ 、Pol  $\iota$ 、Pol  $\zeta$ 、Rev1) が知られており、これら DNA ポリメラーゼの働きを理解することが突然変異生成のメカニズム解明に必要である。本研究では DNA 付加体を除去できないヌクレオチド除去修復欠損色素性乾皮症細胞株 (XP2OS(SV)) を用いて、ゲノム編集ツールによりこれらポリメラーゼを欠損させた細胞株を作製した。そして部位特異的 DNA 損傷修飾プラスミドをそれら細胞株に複製させ突然変異の頻度と種類を解析した。部位特異的修飾プラスミドとして 5'-CGT-3' 配列中 (下線を付した G) に 3-ニトロベンズアントロン (3-NBA) 由来 DNA 付加体 (dG- $N^2$ -ABA、dG-C8- $N$ -ABA) を持つものを用いた。これらプラスミドを親株の XP2OS(SV) と各ポリメラーゼ欠損株 ( $\Delta$  Pol  $\eta$ 、 $\Delta$  Pol  $\iota$ 、PIP-box を欠く Pol  $\kappa$  を発現する Pol  $\kappa$   $\Delta$  PIP) に導入し、複製させた。その結果、dG- $N^2$ -ABA 修飾プラスミドの TLS 率は XP2OS(SV)、 $\Delta$  Pol  $\eta$ 、Pol  $\kappa$   $\Delta$  PIP、 $\Delta$  Pol  $\iota$  株で順に 76.3、68.2、36.5、59.4 % であり、dG-C8- $N$ -ABA 修飾プラスミドの TLS 率は順に 18.1、9.8、14.6、17.0 % であった。dG- $N^2$ -ABA 修飾プラスミドは Pol  $\kappa$   $\Delta$  PIP において有意に TLS 率が低下していたことから、dG- $N^2$ -ABA の損傷乗り越えには Pol  $\kappa$  が関与していることが示唆された。一方、dG-C8- $N$ -ABA 修飾プラスミドでは  $\Delta$  Pol  $\eta$  において有意に TLS 率が減少していたことから、dG-C8- $N$ -ABA の損傷乗り越えには Pol  $\eta$  が関与していることが示唆された。

#### 参考文献

(1) Volker M. Arlt, Heinz H. Schmeiser, Martin R. Osborne, Masanobu Kawanishi, *et al.*, (2006) Identification of three major DNA adducts formed by the carcinogenic air pollutant 3-nitrobenzanthrone in rat lung at the C8 and N2 position of guanine and at the N6 position of adenine, *Int. J. Cancer*, 118, 2139–2146

## CRISPR/Cas9 による DNA ポリメラーゼ欠損細胞の作製

大阪府立大学 理学系研究科  
 炬口茜、福本航大、川西優喜、八木孝司

(本研究に関する連絡先: 072-254-9830 (内線 4224), kawanishi@riast.osakafu-u.ac.jp)

### [目的]

損傷乗り越え DNA 合成 (TLS) に関与する DNA ポリメラーゼは、誤りがちな複製により突然変異を生じさせる。環境中や生体内に存在する変異原物質によって生じる DNA 損傷が引き起こす突然変異のメカニズムを理解するためには、TLS をおこなう DNA ポリメラーゼの働きを理解することが必要である。そこで本研究ではヌクレオチド除去修復機構が欠損した XP2OS(SV)細胞において、ゲノム編集ツールである CRISPR/Cas9 を用いて DNA ポリメラーゼ(Pol  $\eta$ , Pol  $\kappa$ , Pol  $\iota$ , Pol  $\zeta$ )欠損細胞の作製を試みた。

### [実験方法]

CRISPR/Cas9 法によるゲノム編集を用いて欠損細胞を樹立した。まず DNA ポリメラーゼ(Pol  $\eta$ , Pol  $\kappa$ , Pol  $\iota$ , Pol  $\zeta$ )の遺伝子内でターゲット配列を決め、それらの配列を含むオリゴヌクレオチドを合成した。これらオリゴヌクレオチドを線状化した Cas9 タンパク質発現プラスミドに組み込み、各 DNA ポリメラーゼをノックアウトするプラスミドを構築した。これらプラスミドをヌクレオチド除去修復機構が欠損したヒト細胞である XP2OS(SV)に導入し、Puromycine 抵抗性を指標にプラスミドが導入されたコロニーを単離した。単離した細胞からゲノム DNA を抽出し、両アレルの塩基配列を解析し、ターゲット配列に変異が導入された細胞株を選択した。それらの細胞株を TA クローニング法によりアレルごとに遺伝子をサブクローニングし、片アレルずつ塩基配列を解析した。次いで、ポリメラーゼの欠損をウエスタンブロットによりタンパク質レベルで確認した。最後に、細胞レベルでの機能欠損をコロニー形成試験で紫外線感受性を指標に評価した。

### [結果と考察]

ゲノム解析の結果から、Pol  $\eta$ 、Pol  $\iota$ 、Pol  $\kappa$ はターゲット部位で編集された細胞株( $\Delta$  Pol  $\eta$ 、 $\Delta$  Pol  $\iota$ 、Pol  $\kappa$   $\Delta$  PIP)が作製できたことがわかった。Pol  $\zeta$ は片側アレルのみの遺伝子が破壊されたヘテロ接合体しか得られず、Pol  $\zeta$ は細胞の生存に必須であることが示唆された。ウエスタンブロットによって  $\Delta$  Pol  $\eta$ 、 $\Delta$  Pol  $\iota$ はそれぞれ遺伝子発現の低下が確認されたが、 $\Delta$  Pol  $\kappa$ では低下は確認できなかった。これは  $\Delta$  Pol  $\eta$ 、 $\Delta$  Pol  $\iota$ は N 末にある触媒ドメインをゲノム編集のターゲット領域としたが、Pol  $\kappa$   $\Delta$  PIP は C 末側の PCNA 結合配列である PIP-box をターゲット領域としたため、バンド強度の減少がみられなかったと考えられる。 $\Delta$  Pol  $\eta$ 、Pol  $\kappa$   $\Delta$  PIP 細胞は親株の XP2OS(SV)細胞より紫外線高感受性を示したが、 $\Delta$  Pol  $\iota$ 細胞は高感受性を示さなかった。Pol  $\iota$ は紫外線により誘発される DNA 損傷に対する TLS に関与していないのかもしれない。

## 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、高畑和恵、卜部和則、笠井智香、東垣由夏  
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、主に各々のモノアミン作動神経終末の細胞膜上に局在している。膜貫通蛋白質であ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神経伝達物質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担っている。

パーキンソン病は安静時振戦、筋強剛、無動、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合併する多系統変性疾である。病理学的には黒質線条体ドパミン (DA) 神経の変性・脱落が認められ、それに起因し線条体 DA 不足が生じる。B型モノアミン酸化酵素阻害作用による DA 代謝抑制と共に DA 再取り込み阻害作用を有するセレギリン塩酸塩は<sup>1)</sup>、シナプス間隙での DA 濃度を効率的に増加させると考えられ、また DA 前駆物質である L-DOPA の効果の増強および効果持続時間の延長が期待できる。また、抗うつ薬のターゲット分子である MAT への親和性を修飾することにより、パーキンソン病患者での運動症状の改善に加え精神症状に対する効果が期待できる。本研究はラットシナプトソームを用いた MAT 親和性および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構造活性相関を行うことを目的とする。

これまでに SERT に高親和性を示す抗うつ薬や、DAT に高親和性を示す注意欠如多動障害 (ADHD) 及びナルコレプシー治療薬である methylphenidate を用いて本評価系の妥当性を示した。今回、NET に高選択性を示すことが報告されている<sup>2, 3)</sup> atomoxetine (ADHD 治療薬) で評価を行った。<sup>3</sup>H]DA、<sup>3</sup>H]ノルエピネフリン (NE) または<sup>3</sup>H]セロトニン (5-HT) を基質として用いた *in vitro* 取り込み実験を行った結果、モノアミン再取り込み阻害の IC<sub>50</sub> 値 (nM) は NE (186) > 5-HT (602) > DA (2072) となった。また、3 mg/kg atomoxetine 単回腹腔内投与後のシナプトソームを用いて、*ex vivo* で DAT 阻害薬である<sup>3</sup>H]WIN35428 および NET 阻害薬である<sup>3</sup>H]nisoxetine を用いて競合結合実験を行ったところ、阻害定数 (K<sub>i</sub>; nM) は NET (399) > DAT (1738) となった。これらの結果は *in vitro* でのトランスポーター親和性の結果と一致していた。

現在、関連物質の取り込み阻害活性およびトランスポーターへの親和性の評価を実施し、構造活性相関について評価している。

### 参考文献

- 1) Zsilla G et al. The effect of repeated doses of (-) deprenyl on the dynamics of monoaminergic

transmission. Comparison with clorgyline. *Pol J Pharmacol Pharm.* 1986;38(1):57-67.

- 2) Tsuruda PR et al. Influence of ligand binding kinetics on functional inhibition of human recombinant serotonin and norepinephrine transporters. *J Pharmacol Toxicol Methods.* 2010 ;61(2):192-204.
- 3) 日本イーライリリー株式会社『医薬品インタビューフォーム ストラテラカプセル(5, 10, 25, 40 mg)、ストラテラ内用液(0.4%)』2015年11月改訂、P65

## タンパク質修飾網目状繊維を用いたヒトおよびマウス 神経幹細胞/前駆細胞の接着培養法の評価

理学系研究科生物科学専攻 組織工学分野 藤田雅徳、中亮介、森英樹、原正之\*

(\*本研究に関する連絡先：電話（内線）3602、メール hara@b. s. osakafu-u. ac. jp)

### 【緒言】

神経幹細胞/前駆細胞(neural stem/progenitor cells: NSPC)は未分化状態で増殖可能な自己複製能と3種の中枢神経構成細胞(neuron、astrocyte、oligodendrocyte)へ分化する多分化能を持ち合わせ、中枢神経疾患への細胞移植治療および神経系の細胞毒性試験への利用が期待されている。これらの利用には多くの細胞を必要とするが、従来の NSPC の浮遊培養法(Nesrosphere法)では、増殖する細胞数の上限は培養底面積に依存してしまうため、培養空間を3次元的に利用できれば、培養効率の改善が期待できる。将来の3次元基材への接着培養系による NSPC の大量培養を目指し、現段階では polyamide 66(PA66)にポリアクリル酸をグラフト重合させ、タンパク質を修飾し作製したタンパク質修飾網目状繊維を用いた新規 NSPC 接着培養法を試み、細胞の評価を行った。

### 【実験手順】

網目状 PA66 に対し 10 kGy の Co<sup>60</sup> ガンマ線を照射し、60%(v/v)アクリル酸溶液中に 25°C で 24 時間浸し PA66 表面に出来たラジカルを元にポリアクリル酸をグラフト重合した。網目状 PA66 のグラフト重合前乾燥重量とグラフト重合後乾燥重量から算出される、グラフト重合の割合を示す指標であるグラフト率が 6-8%のポリアクリル酸グラフト重合網目状 PA66 に、弱酸性条件下で 0.05 M *N*<sup>3</sup>-(3-(dimethylamino)propyl)carbodiimide および *N*-hydroxy-succinimide を用いて Gelatin、BSA、Matrigel を化学修飾した。作製したタンパク質修飾網目状繊維に対しヒトおよびマウス神経幹細胞/前駆細胞を播種・培養し、細胞の接着性および増殖性を確認するとともに蛍光免疫染色法により細胞の分化状態を確認した。

### 【結果】

ポリアクリル酸グラフト重合網目状 PA66 の表面構造を原子間力顕微鏡により観察したところ、PA66 へのポリアクリル酸の重合が確認された。また、網目状繊維への修飾タンパク質量はグラフト率に比例することが分かり、グラフト率 6-8%の網目状繊維一枚当たり BSA 0.6-1.6 μg、Gelatin 0.6-3.9 μg、Matrigel 1.5-5.5 μg が修飾された。いずれの細胞も全ての繊維に接着したが、各繊維どうしの間では接着の程度と細胞集塊の形状に違いがあり、特に Matrigel 修飾繊維では細胞が薄い層の状態では線維を被覆する状態で接着した。次に、細胞数測定を行った結果、細胞増殖率の順は Matrigel > Gelatin > BSA > Neurosphere 法となった。蛍光免疫染色により培養最終日の両細胞は、未分化幹細胞マーカー Nestin に対して陽性であることが確認された。

#### 本研究に関する研究発表（学会発表）

1. 網目状線維を用いた神経幹細胞／前駆細胞の培養、森英樹、原正之、第 15 回日本再生医療学会総会、平成 28 年 3 月 17 日～19 日（大阪国際会議場）
2. Neural stem/progenitor cells cultured on the Matrigel-immobilized polyacrylate-grafted polyamide mesh, Masanori Fujita, Ryosuke Naka, Hideki Mori, Masayuki Hara, 9th International Conference on Fiber and Polymer Biotechnology (IFPB2016), Sept. 7-9, 2016, Osaka, Japan
3. ポリアミド繊維上における神経幹細胞／前駆細胞の接着と三次元的な伸展、森英樹、藤田雅徳、原正之、第 68 回日本生物工学会大会（2016）平成 28 年 9 月 28 日～30 日（富山国際会議場）

## 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

大阪府立大学・高等教育推進機構 宮本 健助\*

大阪府立大学大学院・理学系研究科 上田 純一

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

植物の成長・発達の制御に重要な役割を担っている植物ホルモンのオーキシン (Indole-3-acetic acid, IAA) は、主に茎頂分裂組織や若い葉でつくられ、茎の中を求底的に極性移動する。この特異な移動は細胞の極性に依存することから、従来その移動は重力の影響を受けないとされてきた。しかしながら、我々はオーキシン極性移動が重力の支配下にあることをスペースシャトルを利用した STS-95 植物宇宙実験によって示してきた。現在、国際宇宙ステーションの日本の実験棟「きぼう」を利用したさらなる宇宙実験を提案し、その制御機構の分子生理学的解析を目指している。加えて、オーキシン極性移動を人為的に制御することは、植物生理学的知見を得ることのみならず化学物質による植物の成長制御のための基礎的資料を提供するものと考えられる。今年度は、オーキシン極性移動の重要性を明らかにする目的で植物の重力応答とオーキシン極性移動との関係に関する分子生物学的側面からの研究を展開するとともに、オーキシン極性移動制御物質の探索、重力刺激に応答する重力屈性制御物質の探索を行った。研究成果の概要は以下の通りである。

(1) 植物の重力応答とオーキシン極性移動：黄化トウモロコシ芽生えと黄化エンドウ芽生えを対象に、放射性 IAA ( $[1-^{14}\text{C}]$ IAA, American Radiolabeled Chemicals Inc.) を用いた IAA 極性移動の経時解析、IAA 極性移動関連遺伝子発現解析等の結果、オーキシンの排出を担う PIN タンパク質、および取り込みを担う AUX1 タンパク質をコードする遺伝子の発現が IAA 極性移動制御に重要であることを示した。

(2) 天然型オーキシン極性移動制御物質の探索：多様な二次代謝産物を含むキク科植物のモッコウを対象に、放射性オーキシンとカイワレダイコン胚軸切片を用いた生物検定法を駆使してオーキシン極性移動制御物質の探索を行い、デヒドロコスタスラクトンの単離・同定に成功した。現在、その生理作用機構を成長生理学的側面から解析を遂行している。

(3) 重力屈性制御機構：重力応答が正常な Alaska と重力応答突然変異体 *ageotropum* エンドウ黄化芽生えを対象とし、クリノスタット上の擬似微小重力環境を用い、重力刺激に応答して質的・量的変動を示す生理活性物質の探索を試みた。その結果、重力刺激に応答して反重力側で増量する成長抑制物質を見出した。この成果は重力屈性が反重力側の成長抑制に基づくという新たな知見である。

### 本研究に関する研究発表

#### 1) 原著論文

Miyamoto K., Kotake T., Boncela A. J., Saniewski M., Ueda J.: Hormonal regulation of gummosis and composition

of gums from bulbs of hyacinth (*Hyacinthus orientalis*). J. Plant Physiol. 174: 1-4 (2015)

Yamada Y., Koibuchi M., Miyamoto K., Ueda J., Uheda E. : Breakdown of middle lamella pectin by  $\cdot\text{OH}$  during rapid abscission in *Azolla*. Plant Cell Environ. 38: 1555-1564 (2015)

宮本 健助 : 植物における多糖性物質の溢泌に関する生理化学的研究. 植物の生長調節 50 : 2-11 (2015)

上田 純一、黒田 裕一、鎌田 源司、岡 真理子、宮本 健助、上田 英二、東端 晃 : 植物の重力応答反応におけるオーキシン極性移動の重要性. Space Utilization Research 29: 31-34 (2015)

宮本 健助、山崎 隆弘、岡 真理子、上田 英二、上田 純一 : 黄化エンドウ芽生え上胚軸鉤状部の成長・発達に対する重力の影響 : 3次元クリノスタットおよび *ageotropum* を用いた解析. Space Utilization Research 29: 71-74 (2015)

## 2) 学会報告等

上田純一、黒田裕一、鎌田源司、岡 真理子、宮本健助、上田英二、東端 晃 : 植物の重力応答反応におけるオーキシン極性移動の重要性. 第 29 回宇宙環境利用シンポジウム (相模原、2015 年 1 月 24・25 日)

宮本健助、山崎隆弘、岡 真理子、上田英二、上田純一 : 黄化エンドウ芽生え上胚軸鉤状部の成長・発達に対する重力の影響 : 3次元クリノスタットおよび *ageotropum* を用いた解析. 第 29 回宇宙環境利用シンポジウム (相模原、2015 年 1 月 24 日~25 日)

長谷川 剛、小出麻友美、繁森英幸、長谷川宏司、上田純一、宮本健助 : 黄化エンドウ上胚軸の重力屈性制御に関わる生長調節物質の探索 : 重力応答突然変異体 *ageotropum* を用いた解析. 日本植物学会第 79 回大会 (新潟、2015 年 9 月 6 日~8 日)

村山忠隆、上田英二、上田純一、宮本健助 : 黄化エンドウ芽生え上胚軸の成長・発達、およびオーキシン極性移動に対する過重力の影響. 第 5 回植物生理化学会シンポジウム (つくば、2015 年 9 月 12 日)

山崎隆弘、上田英二、上田純一、宮本健助 : 黄化 Alaska エンドウ上胚軸頂端鉤状部の成長・発達に対する重力の影響—オーキシン極性移動およびエチレンの関与—. 第 5 回植物生理化学会シンポジウム (つくば、2015 年 9 月 12 日)

村山忠隆、上田英二、上田純一、宮本健助 : 黄化エンドウ芽生え上胚軸の成長・発達およびオーキシン極性移動に対する過重力刺激の影響. 日本宇宙生物科学会第 29 回大会 (東京、2015 年 9 月 26・27 日)

林 直哉、宮本健助、上田英二、上田純一、鎌田源司、東端 晃、岡 真理子 : オーキシン極性移動関連遺伝子の発現に対する重力の影響. 日本宇宙生物科学会第 29 回大会 (東京、2015 年 9 月 26・27 日)

上田純一 : 植物の重力応答反応—特にオーキシン極性移動を中心として—. 日本宇宙生物科学会第 29 回大会 (東京、2015 年 9 月 26・27 日)

戸田雄太、岡田一穂、七村明宏、上田純一、宮本健助 : 「モッコウ (*Saussurea costus*) に含まれるオーキシン極性移動抑制物質とその作用機構」. 植物化学調節学会第 50 回大会 (東京、2015 年 10 月 23 日~25 日)

## ガンマ線照射後の大腸菌の遊泳能と化学走性

阪府大院理 大久保祐汰 阪府大院理・高等教育 加藤幹男

(\*本研究に関する連絡先:電話(内線)4097、メール mkato@b.s.osakafu-u.ac.jp)

放射線照射は、医療用具や研究機器類の滅菌や、食品等の品質劣化防止を目的として広く利用されている。放射線照射によって、生体分子を化学修飾したり化学結合を切断したりすることで、細胞増殖能の喪失がもたらされる。しかしながら、照射を受けた細胞においては、ただちにそのすべての生理機能が停止するわけではない。本研究では、ガンマ線照射後の大腸菌に残存する生理機能を測定し、照射の影響の評価を行った。すなわち、照射後のコロニー計数法に基づく生残率測定と、べん毛運動による遊泳能、および化学物質に応答する化学走性について解析した。

我々のグループの既報 (*Appl. Phys. Letters* **100**: 193702, 2012; *Cent. Eur. J. Biol.* **9**: 909-914, 2014) と同様に、べん毛モーターは放射線照射に対して頑強で、個々の菌体の遊泳速度には未照射と照射後試料の間に有意差は見られなかった。それに対し、グリセロールへの忌避応答(高濃度領域から低濃度領域への逃避)は、未照射と 0.5 kGy 照射試料においては観察されたものの、それ以上の線量を受けた試料では観察されなかった。いずれの線量においても照射試料中の大腸菌の生残数は認められなかった。

化学走性は、菌体細胞膜表面の化学受容体から細胞質の可溶性因子を経て情報が伝達され、菌体表面にあるべん毛モーターへ方向転換の指令が伝わることによって起こる。遊泳速度の結果から、べん毛モーターそのものは照射に対して頑強であるが、受容体からべん毛モーターまでの情報伝達過程において、何らかの機能が損なわれたものと思われる。今後、単一のべん毛モーターの働きを観察するテザードセル法を用いて、べん毛モーターの自発的な方向転換の頻度の計測や化学応答を観察することで、ガンマ線照射による損傷がどの段階に効いているのかを明らかにすることを目指す。

### 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) Mikio Kato. Effect of ionizing radiation on the motility of *Escherichia coli*. In "Microbes in the spotlight: recent progress in the understanding of beneficial and harmful microorganisms" Edited by A. Méndez-Vilas ISBN-10: 1627346120, ISBN-13: 9781627346122, Brown Walker Press (2016)

2) 大久保祐汰, 加藤幹男. ガンマ線照射後の大腸菌の遊泳能と化学走性.  
日本防菌防黴学会第 43 回年次大会年度年会, 2016 年 9 月 品川.

## InGaAsN/GaAsSb タイプ II 量子井戸構造における 2 次元電子の有効質量

大阪府大・院工 川又修一\*、日比野暁、田中章、河村裕一

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

InGaAs/GaAsSb 系タイプ II 量子井戸構造を用いて波長 2  $\mu\text{m}$  帯光素子の開発が行われている。InGaAs 層に窒素をドーピングすると、対応する光の波長帯が長波長化することがわかっている[1]。本研究では、分子線エピタキシー法により作製された窒素をドーピングしていない InGaAs/GaAsSb シングルヘテロ、および窒素をドーピングした InGaAsN/GaAsSb タイプ II 多重量子井戸について、電気抵抗の磁場依存性に観測されるシュブニコフ・ドハース効果から有効質量を求めた。

図 1 に有効質量  $m^*$  と自由電子質量を  $m_0$  として、質量比  $m^*/m_0$  の窒素濃度依存性を示す。図 2 に光吸収測定から得られたバンドギャップ  $E_g$  の窒素濃度依存性を示す。InGaAs 層に窒素をドーピングすると、有効質量が増加し、バンドギャップが減少することがわかった。これらの結果は、元々の伝導バンドと窒素順位が混成することにより、伝導帯の最低エネルギーが低下するとともに、 $E(k)$  曲線が平坦化し有効質量が増加するという Band Anticrossing モデル[2,3]により説明される。

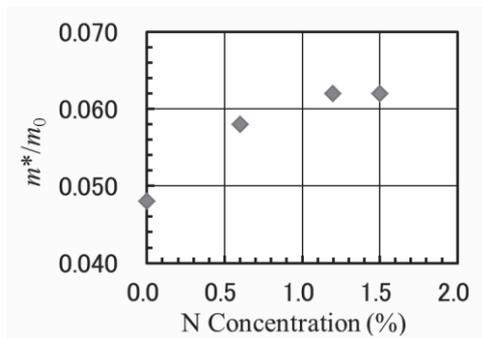


図 1 有効質量の窒素濃度依存性

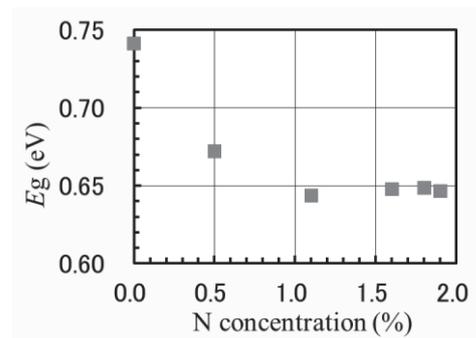


図 2 バンドギャップの窒素濃度依存性

### 参考文献

- [1] Y. Kawamura and T. Sahashi: Jpn. J. Appl. Phys., 53 (2014) 028004.
- [2] W. Shan et al.: Phys. Rev. Lett., 82 (1999) 1221.
- [3] C. Skierbiszewski et al.: Appl. Phys. Lett., 76 (2000) 2409.

### 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) Effective Mass of Two-dimensional Electrons in InGaAsN/GaAsSb Type II Quantum Well by Shubnikov-de Haas Oscillations.  
S. Kawamata, A. Hibino, S. Tanaka and Y. Kawamura, J. Appl. Phys., 120 (2016) 142109\_1-3.
- 2) Annealing effects on the properties of InGaAsN/GaAsSb type-II quantum well diodes grown on InP substrates.  
Y. Kawamura, I. Shishido, S. Tanaka and S. Kawamata, Phys. Status Solidi A, in press.

## ウェットエッチングを用いた SOI 基板の サブナノメートル精度薄膜化

阪府大院工電子物理工学分野 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)

### 1. 概要

近年シリコンフォトニクス分野では、その発展した微細加工技術を用いて、従来よりも1桁以上小型な光デバイスを作製して、様々な情報機器に応用する試みが進められている。光デバイスが取り扱う情報量を増大するには、動作波長域の拡大と多重化が重要である。一般的に、動作波長はデバイスのコアサイズに比例して変化するので、性能を下げずに動作波長を変えるには、3次元方向にわたる高い精度での構造制御が必要となる[1]。成熟したリソグラフィ技術により、水平方向の構造制御はナノメートル精度が可能だが[2]、垂直方向のナノメートル構造制御は困難であり、シリコンフォトニクス素子の動作波長域は、SOI基板を購入したときのトップシリコン層の厚みにより制限を受けてきた。そこで、我々は、アルカリ溶液を用いたシリコンのウェットエッチング[3]と、光干渉膜厚計測を組み合わせ、サブナノメートル精度でトップシリコン層を薄膜化する技術を開発し、さらに位置選択エッチングを試みた。実験は全て、阪府大クリーンルームで行った。

### 2. 実験と結果

図1が薄膜化手法の原理を示している。エッチング溶液中に部分的に保護膜を塗布したSOI基板を入れ、膜厚計から照射された白色光の反射スペクトルを一定間隔で繰り返し観測することにより、トップシリコン層をエッチングしながら、膜厚のリアルタイム測定が行われる。溶液が透明で、溶液層の厚みが数mm以上あれば、測定対象が溶液中に置かれていても高い精度での膜厚測定が可能である。図2に、サイズ1cm<sup>2</sup>のSOI基板をエッチングしたときの測定結果を示す。シリコン膜厚が、エッチング時間に線形に比例して減少していること、サブナノメートル精度で膜厚がリアルタイム測定されていることがわかる。この技術を用いて、2種類の膜厚を持つSOI基板を作製して、異なる通信バンドで動作するシリコンフォトニクス素子の1チップ集積の基礎実証に、世界で初めて成功した。

#### 参考文献

- [1] R. Terawaki, et al., Opt. Express 20, 22743 (2012).  
 [2] H. Sekoguchi, et al., Opt. Express 22, 916 (2014).  
 [3] K. Yamamoto, et al. IEEE Trans. Semicond. Manuf. 12(3), 288–294 (1999).

#### 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) 桑原充輝、高橋和、「ウェットエッチングを用いたSOI基板のサブナノメートル精度薄膜化」  
 応用物理学会 2016 秋、朱鷺メッセ、15p-B10-3.  
 2) 桑原充輝、高橋和、野田進「1310/1550nm 波長帯で動作する高Q値ナノ共振器の1チップ集積」  
 応用物理学会 2016 秋、朱鷺メッセ、16a-B4-5.

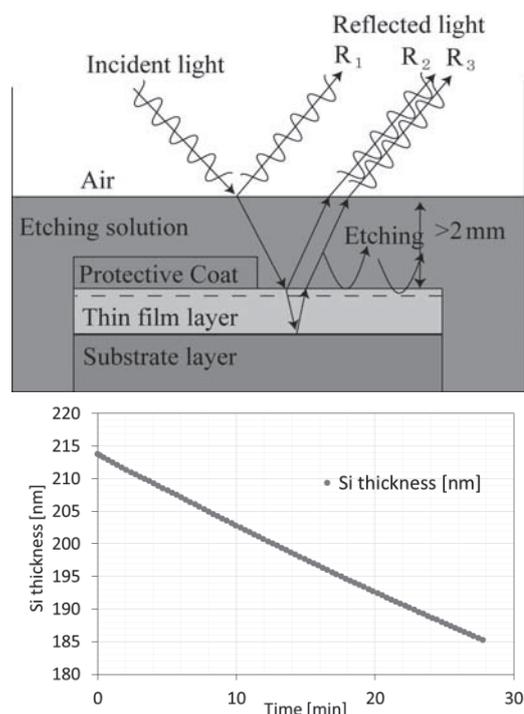


Fig.2 Time change of the top silicon layer.

## スピン位相エレクトロニクスの創成

大阪府立大学 院工 電子物理工学分野 戸川欣彦

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

われわれは、キラリティは物質における機能発現の鍵になると考え、キラル磁性結晶に固有に現れる“キラルスピソリトン格子”に着目し、その“スピン位相”を制御することを目指して研究を進めている。キラルソリトン格子は、スピソリトンが片巻きならせん状に周期配列したキラルな磁気秩序であり、その秩序配列に対して位相が定義される。巨視的なスケールにわたって位相コヒーレンスを示し、そのため、キラルソリトン格子の位相周期はらせん軸に垂直な磁場を用いて連続的もしくは離散的に変えることができる。また、結晶キラリティにより頑強に保護されており、結晶欠陥などの外的擾乱に対して極めて強靱かつ安定に振舞う。動的にも位相物体として集団ダイナミクスを示す。これらの特性を活用してスピン位相物体の機能を開拓することで、スピン位相制御に基づくスピソリトンエレクトロニクス応用を進展させることが期待されている[1, 2]。

研究グループでは、特に、キラル空間群に属する単軸性層状カルコゲナイト単結晶 CrNb<sub>3</sub>S<sub>6</sub>に注目して、キラルソリトン格子に関する研究を進めている。高規格クリーンルーム内に設備された微細加工装置を駆使して計測用ナノデバイスを作製し、透過型電子顕微鏡法を用いた実空間および逆空間での精密磁気構造解析、輸送特性の精密計測などの実験を行っている。これにより、キラルソリトン格子が周期可変・非線形・非対称・離散性といった固有の性質を持つことが明らかになってきている。今回、研究成果の一例として、磁気相図の角度依存性の研究を紹介する。

### 参考文献

- 1) Y. Togawa, Y. Kousaka, K. Inoue, J. Kishine, “Symmetry, structure and dynamics of monoaxial chiral magnets”, *J. Phys. Soc. Jpn.* **85**, 112001 (2016).
- 2) Y. Togawa et al., *Phys. Rev. Lett.* **108**, 107202 (2012).

### 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. Togawa, T. Koyama, Y. Nishimori, Y. Matsumoto, S. McVitie, D. McGrouther, R. L. Stamps, Y. Kousaka, J. Akimitsu, S. Nishihara, K. Inoue, I. G. Bostrem, V. E. Sinitsyn, A. S. Ovchinnikov, J. Kishine, “Magnetic Soliton Confinement and Discretization Effects Arising from Macroscopic Coherence in a Chiral Spin Soliton Lattice”, *Phys. Rev. B* **92**, 220412(R)/1-6 (2015), *Rapid Communication*, *Editors' Suggestion*, 文部科学省プレスリリース, 日刊工業新聞 33 面 (2015/12/18), 日本経済新聞 13 面 (2016/1/11), *AlphaGalileo* (2016/2/10), *EurekAlert!* (2016/2/11) など.
- 2) 戸川欣彦, 松本悠, 十河忠幸, 米村潤一郎, 特願 2015-039016 「磁性体装置及び高周波デバイス」.
- 3) 戸川欣彦, “キラルソリトン格子におけるスピン位相コヒーレンスの制御”, *まぐね* **10**(4), 199-205 (2015).

## キラル磁性体 $\text{CrNb}_3\text{S}_6$ の磁気相図の角度依存性

大阪府立大学 院工 電子物理工学分野 米村潤一郎、戸川欣彦

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

キラル磁性体  $\text{CrNb}_3\text{S}_6$  では、結晶構造のキラリティに起因するジャロシンスキー・守谷 (DM) 相互作用と交換相互作用の競合により、磁気モーメントがらせん状に配列したキラルらせん磁気秩序が形成される。らせん周期は磁場強度に応じて増減し、零磁場下では連続的に、らせん軸に垂直な磁場下では周期的かつ非線形にねじれた磁気秩序であるキラルソリトン格子へと変化する[1,2]。一連の現象は透過型電子顕微鏡(TEM)を用いた手法で実験的に示された[3]。

キラルソリトン格子は垂直磁場中における基底状態であり、臨界磁場以上で磁化が一樣に揃った強制強磁性状態へと相転移する。このキラル磁気秩序が示す相転移現象の解明を目的として熱力学量の一つである磁化の精密測定を行った。また、らせん軸に平行な磁場下では磁気モーメントがコーン状に配列したコニカル相が形成されることも指摘されている[1,2,4]。二つの相転移現象の差異を明らかにする、また、その中間領域について振舞いを調べることを目的として、印加磁場の角度依存性を測定している。

磁気トルク測定は微細試料の相対的な信号変化を測定するのに適した実験手法である。本講演では、キラル磁性体  $\text{CrNb}_3\text{S}_6$  における磁気トルク測定結果について報告し、本測定手法の検出感度及び微細化試料の磁気特性について議論する。

### 参考文献

- 1) For a review, Y. Togawa, Y. Kousaka, K. Inoue, J. Kishine, J. Phys. Soc. Jpn. **85**, 112001 (2016).
- 2) For theoretical details, J. Kishine, A. S. Ovchinnikov, Solid State Physics, **66**, 1-130 (2015).
- 3) Y. Togawa *et al.*, Phys. Rev. Lett. **108**, 107202 (2012).
- 4) V. Laliena, J. Campo, J. Kishine, A. S. Ovchinnikov, Y. Togawa, Y. Kousaka, K. Inoue, Phys. Rev. B **93**, 134424 (2016).

### 本研究に関する研究発表（原著論文、その他報文、学会等報告）

- 1) 米村潤一郎, 木田孝則, 吉澤大智, 高阪勇輔, 秋光純, 西原禎文, 井上克也, 岸根順一郎, 戸川欣彦, 萩原政幸, “カイラル磁性体  $\text{CrNb}_3\text{S}_6$  の磁気トルク特性” 日本物理学会 2015 年秋季大会、関西大学、9/16-9/19, 2015.
- 2) J. Yonemura, T. Kida, D. Yoshizawa, Y. Kousaka, J. Akimitsu, S. Nishihara, K. Inoue, J. Kishine, M. Hagiwara, Y. Togawa, “Magnetic torque measurements in a chiral magnet  $\text{CrNb}_3\text{S}_6$ ”, APS March meeting, Baltimore, USA, March 14-18, 2016.
- 3) 米村潤一郎, 木田孝則, 吉澤大智, 高阪勇輔, 秋光純, 西原禎文, 井上克也, 岸根順一郎, 萩原政幸, 戸川欣彦, “キラル磁性体  $\text{CrNb}_3\text{S}_6$  単結晶における磁気トルク信号の角度依存性”, 日本物理学会 2016 年秋季大会、金沢大学、9/13-3/16, 2016.
- 4) J. Yonemura *et al.*, in preparation.

## グラフェンナノメッシュ構造の作製と評価

大阪府立大学 工学研究科 関口卓弥、竹井邦晴、秋田成司、有江隆之\*

(\*本研究に関する連絡先：電話（内線）6618、メール arie@pe.osakafu-u.ac.jp)

### 1. はじめに

グラフェンの熱伝導は主にフォノンが担っているため、グラフェン内に導入した異なる同位体のヘテロ界面や構造欠陥により熱伝導度が低下することが知られている。本研究では、電気伝導を極力損なうことなく熱伝導を大幅に低下させることを目的として、グラフェン内に細孔を配列したナノメッシュ構造を作製し熱伝導率を評価した。

### 2. 実験

化学気相成長法により作製した単層グラフェンを、電極を蒸着した  $\text{SiO}_2/\text{Si}$  基板に転写し、電子線リソグラフィと酸素プラズマエッチングによりさまざまなピッチサイズ（細孔と細孔の間隔）を有するグラフェンナノメッシュを作製した（図 1）。熱伝導率の測定は、グラフェンチャンネルのサイズを  $2 \times 1.4 \mu\text{m}^2$  とし、グラフェン直下の  $\text{SiO}_2$  を BHF によりエッチング、超臨界乾燥を経て、架橋構造を用いて行った。チャンネル全体をレーザー（波長：532nm、パワー  $3.2 \text{mW}/\mu\text{m}^2$ ）照射し、それぞれの位置からのラマン 2D ピークシフトから温度を見積もった。

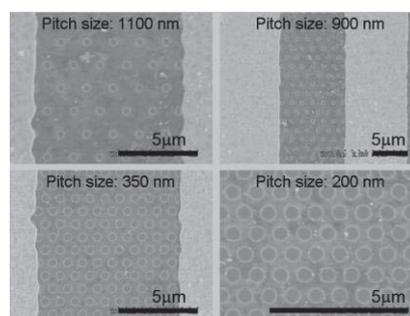


図 1 作製したグラフェンナノメッシュの電子顕微鏡写真

### 3. 結果と検討

ラマン 2D ピークシフトの温度係数を用いて、グラフェンナノメッシュの温度分布を求めた。ここから算出された熱伝導率と、ナノメッシュ構造をもたない通常のグラフェンの熱伝導率を比較すると、ナノメッシュ構造を有するグラフェンの方がおよそ 65%低下した。これはナノメッシュ構造により、空孔界面でフォノンの散乱が起これ、その結果として熱伝導率が低下したためだと考えられる。

本研究の一部は村田学術振興財団研究助成、科学研究費補助金により行われた。

#### 本研究に関する研究発表（原著論文、その他報文、学会等報告）

- 1) 「グラフェンナノメッシュ構造による熱輸送制御」関口卓弥、安井悠馬、安野裕貴、竹井邦晴、秋田成司、有江隆之、新学術領域「ハイブリッド量子科学」第2回領域会議（2016年3月、大阪）
- 2) 「グラフェンナノメッシュ構造による熱輸送制御」関口卓弥、安井悠馬、安野裕貴、竹井邦晴、秋田成司、有江隆之、第63回応用物理学会春季学術講演会（2016年3月、東京）
- 3) 「Phonon Modulated Graphene Nanomesh for Thermal Transport Control」 T. Sekiguchi, Y. Yasui, Y. Anno, K. Takei, S. Akita, and T. Arie, Frontiers in Quantum Materials and Devices Workshop (Saitama, Japan, June, 2016)

## 遷移金属ダイカルコゲナイドへの電極接合に対する端の効果

阪府大 21 機構 野内 亮\*

(\*本研究に関する連絡先：電話（内線）3628、メール r-nouchi@21c.osakafu-u.ac.jp)

トランジスタの究極的な微細化を可能にすると期待されている極薄半導体層として、層状半導体である遷移金属ダイカルコゲナイド (TMDC) から剥離して得られる薄片を用いた研究が盛んである。電界効果トランジスタ (FET) 等の電子デバイスにとって重要な要素である電極接合は、電荷キャリアが電極から半導体へと注入される際のエネルギー障壁 (Schottky 障壁) により、デバイス動作性能の優劣を決める。層状物質を母物質に持つ TMDC は基本的に面内にダングリングボンドを有さないため、電極金属の仕事関数と TMDC の伝導帯下端や価電子帯上端とのエネルギー的位置関係により Schottky 障壁高さが決まる<sup>1)</sup>。しかし、面内欠陥を多く有する TMDC 薄片においては、仕事関数の異なる電極金属種を用いても Schottky 障壁高さが変化しない Fermi 準位ピンニングに近い状態が観測されている<sup>2)</sup>。従って、TMDC の有する欠陥が電極接合に及ぼす影響の理解が肝要である。

本研究においては、面内欠陥の有無とは無関係に不可避な“欠陥”として、TMDC 薄片の端に着目した。端は TMDC の並進対称性が破れる点であり、ダングリングボンドの影響を強く受けると考えられる。本研究では、端の影響を調査するために、幅の異なる多層 MoS<sub>2</sub> 薄片に対する Au 電極接合における Schottky 障壁高さを調査した。その結果、薄片幅が  $\mu\text{m}$  以上の領域であっても、薄片幅が狭くなるに従い、障壁高さが増加していることが分かった。これは、端に局在する電子状態のために、端においては Fermi 準位がバンドギャップ中央付近にピン留めされているためと理解できる。本研究の結果は、種々の層状半導体から得られる薄片に対して普遍的な特性であると考えられる。

### 参考文献

- 1) H. Fang, S. Chuang, T. C. Chang, K. Takei, T. Takahashi, and A. Javey, *Nano Lett.* **12**, 3788 (2012).
- 2) S. Das, H.-Y. Chen, A. V. Penumatcha, and J. Appenzeller, *Nano Lett.* **13**, 100 (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) 野内亮, 「金属/カルコゲナイド系層状物質接合形成におけるエッジ効果」上野啓司・安藤淳・島田敏宏 監修「カルコゲナイド系層状物質の最新研究」(シーエムシー出版、2016) 第2編第9章.
- 2) Ryo Nouchi, *J. Appl. Phys.* **120**, 064503 (2016).
- 3) 野内亮, 「遷移金属ダイカルコゲナイドへの電極接合に対する端の効果」第76回応用物理学会秋季学術講演会, 2015年9月13日, 愛知県名古屋市(名古屋国際会議場).

## EB リソによる Nano-in-Nano 疎水界面の構築と aL 流体制御

阪府大院工 物質・化学系専攻 化学工学分野 許岩\*

阪府大院工 量子放射線系専攻 量子放射線工学分野 山口晃司

(\*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

近年、単一分子の研究が盛んに行われており、生物学的現象とプロセスを解明するためにはナノ流路内での操作が必要とされている。しかし現状では、ナノ流路内に物理的、化学的な流体制御機構を構築することは困難であり、精密なナノ流体制御は nanofluidics 分野の発展において重要な課題になっている。そこで、本研究では本研究室が開発した Nano-in-Nano 集積化技術<sup>1)</sup>を用いてナノ流路内に高精度金ナノパターンを作製し、疎水性アルカンチオールを自己組織化させることでナノ流路内に局所的に親水-疎水 SAM（自己組織化単分子膜）界面を構築し、その界面に働くラプラス圧力差の原理により超微小量のナノ流体制御手法を開発した。今回はナノ流体制御のためのチップデバイスの作製とナノ流体制御手法について報告する。

### 2. 実験

本研究では、空気導入用マイクロ流路と液体導入用マイクロ流路を2本ずつ有するマイクロ基板と横20本、縦1本の十字ナノ流路を有するナノ基板を作製し、それぞれのガラス基板を低温ボンディング技術により接合させチップにする。マイクロ流路はフォトリソグラフィ、プラズマエッチングにより作製した。一方、ナノ流路は電子ビームリソグラフィ、プラズマエッチングで十字ナノ流路を作製した後、再び電子ビームリソグラフィ、プラズマエッチング及び真空蒸着、リフトオフといった工程を経てナノ流路内に金ナノパターンを作製した。続いて、チップに20 mMの1H,1H,2H,2H-Perfluorodecanethiol (PFDT) 溶液を導入し、ナノ流路内の金パターン表面にSAMを形成した。次にナノ流体制御実験を行った。横方向のナノ流路につながる液体導入用マイクロ流路に超純水を毛細管力で導入し疎水性SAM界面で止めることができるかどうか観察した。さらに圧力コントローラーを用いてバルブの耐圧性や再現性について評価した。

### 3. 結果・考察

マイクロ流路は幅400  $\mu\text{m}$ 、深さ3  $\mu\text{m}$ と設計し、表面形状測定装置で設計通りに流路が作製できたことを確認した。走査型電子顕微鏡や表面形状測定装置で、横方向、縦方向の長さ1800  $\mu\text{m}$ 、幅800 nm、深さ210 nmの十字ナノ流路を確認した。また、10  $\mu\text{m}$ 間隔で並んだ20本の横流路内には十字角から850 nmの位置に長さ10  $\mu\text{m}$ 、幅600 nmの高精度な金パターンの作製が確認できた。疎水性SAMを形成したチップのナノ流体制御実験では、毛細管力で超純水を導入し、一部の疎水性SAM界面で超純水を止めることに成功した。今後はアトリトル液滴切れ取り圧力の検討、液滴の操作についてナノ流体制御の研究を進めていく。また、このチップを乾燥後と、

チップ再生工程<sup>2)</sup>を経てチップ内金表面を再生し再び SAM 形成した後に、それぞれ毛細管力で超純水を導入する同様の実験を数回行ったが、毎回同じ場所の疎水性 SAM 界面で止まるという結果が得られた。これらの結果よりバルブとしての再現性が高いことが確認できた。

#### 参考文献

- 1) Xu Y. et al. , Lab Chip, 15, 1989-93, 2015.
- 2) Xu Y. Yamaguchi K. et al. , Lab Chip, 15, 3856-61, 2015

#### 本研究に関する研究発表

- 1) Site-specific nanopatterning of functional metallic and molecular arbitrary features in nanofluidic channels. Yan Xu,\* Nobuhiro Matsumoto, Qian Wu, Yuji Shimatani and Hiroaki Kawata, Lab on a Chip, Volume 15, Issue 9, 2015, Pages 1989-1993
- 2) Regeneration of glass nanofluidic chips through a multiple-step sequential thermochemical decomposition process at high temperatures. Xu, Y., Wu, Q., Shimatani, Y., Yamaguchi, K., Lab on a Chip, Volume 15, Issue 19, 2015, Pages 3856-3861
- 3) 化学とマイクロ・ナノシステム学会第 32 回研究会 ポスター発表

## 細胞位置制御による細胞組織の分岐発達メカニズム解析

阪府大 21 機構 萩原将也

(\*本研究に関する連絡先：電話 (内線) 3578、メール m-hagiwara@21c.osakafu-u.ac.jp)

### 1. 緒言

気管支の分岐形成についてはその実験系の複雑さから気管支全体が同一のパターン形状へと成長する分岐形成ロジックはほとんど分かっていない。そこで数理モデルを用いて、分子の時空間変化を解析することにより発達のメカニズム解明に大きく寄与することが期待されている一方、数理モデルの正当性を主張するには実験による立証が不可欠である。しかしながら *in vitro* による実験系では、実験条件のバラつきに起因するノイズが多く含まれ、発達する分岐パターンの再現性の点で課題が残る。そこで本研究では、正常ヒト気管支上皮細胞のみにより 2 次元平面にて分岐形成する実験系を用いる。本実験系にて微細加工により培養初期条件を制御することで、*in vitro* の実験を数理モデルの理想的な培養環境に限りなく近づけることが可能となり、シミュレーションの能力を最大限引き出して気管支分岐形成メカニズム解析を行うことを目的とする。

### 2. 実験

我々のこれまでの研究により、2 次元平面において高濃度勾配を持つよう細胞を配置してゲルで被膜することにより、気管支上皮細胞の 2 次元分岐形成を行うことができる。次にフォトリソグラフィにより細胞の初期位置を制御し、初期条件を合わせた反応拡散系モデルによるシミュレーションと繰り返し比較することにより、モデルの精度を大幅に高めた上で、分岐方向の決定機構を解析した。

### 3. 結果・考察

幾何形状を持つように細胞を配置したところ、分岐の方向は再現性高く細胞群の頂点から伸びていることが確認できた。こちらも先ほど同様、活性因子の拡散速度が抑制因子の拡散速度より非常に小さいために、周りの抑制因子の影響を避けるように頂点部位から分岐発生していることが明らかになった。

以上のように数理モデルと実験のギャップを取り除き、実験・理論の両面から複雑形状をもつ組織がどのように発達方向を決定しているのかというメカニズムを理解することにより、体外組織再生に向けても大きく貢献することが可能となる。

#### 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) M. Hagiwara, An in vitro-in silico interface platform for spatiotemporal analysis of pattern formation in collective epithelial cells, *Integrative Biology*, 8, pp861-868

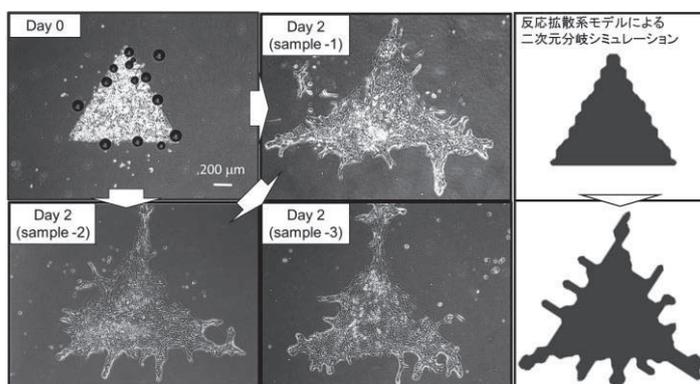


図 1：三角に配列した細胞群からの分岐形成と反応拡散モデルによるシミュレーション

## 放射線教育での普及を目指したペルチェ冷却式高性能霧箱の開発

阪府大地域連携・放射線研究センター 秋吉 優史\*

阪府大院工量子放射線工学分野 奥野 泰希、安藤 太一

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

霧箱による放射線の観察は目で見て直感的に放射線の存在を知ることが出来るため、教育的効果が大変大きく、様々な教育者により改良が成されて来た。しかしながら、一般的なタイプの霧箱の展示を行うためには、ドライアイスの準備が必要であり、天候などにより飛跡が観察できないこともしばしばあった。

そこで、簡単に $-20^{\circ}\text{C}$ 以下の低温を得る手段として、ペルチェ素子を使用した高性能霧箱の開発を行った。最大の特徴は長時間安定してクリアな飛跡の観察が可能であるという点で、これにより一般的な霧箱での $\alpha$ 線の飛跡の観察に加えて、 $\beta$ 線の飛跡の観察も可能であり、さらには $\gamma$ 線により弾き出された光電子なども観察可能である。これにより、放射線の種類による物質との相互作用の違いを直感的に学習することが出来るため、ただ単に飛んでいるのが見えた、に留まらない奥が深い放射線の世界を紹介することが可能である。

今回開発したのは Amazon 等でも入手可能な汎用のペルチェ素子と、パソコン用の高性能 CPU クーラーと ATX 電源、100 円均一ショップなどで売られているパーツなど民生品を活用したもので、極めて安価で高性能な霧箱を容易に作成可能であるため、全国の教育者により放射線教育に活用可能である。また、このペルチェ冷却霧箱には、ペルチェ素子による熱輸送、熱電対による温度測定、ヒートパイプや熱伝導グリースを含めた物質の熱伝導、蒸気圧と過飽和・核生成、電離とイオン化、電気工作などの要素に加えて、雑イオン除去のための静電気発生、高電圧発生装置による加速器の基礎など、極めて多様な工学的要素を含んでおり、放射線安全教育を中心とした、レベルの異なる育現場での展示、解説を行うことが出来る教育プログラムが開発可能である。平成 28 年度には高等教育推進機構プロジェクトにおいて、学部 1 回生向け学生実験プログラム開発が行われており、12 月に実施予定である。

### 本研究に関する研究発表

- 1) 高性能ペルチェ冷却霧箱を使用した放射線教育プログラム、放射線安全管理学会 14 回大会、秋吉 優史、2015、1A2-2.
- 2) 高性能ペルチェ霧箱を用いた $\beta$ 線観察による放射線教育の高度化、日本原子力学会 2015 年春の年会、秋吉 優史、2016、3B03.
- 3) 高性能ペルチェ霧箱の開発、大阪府立大学 テックソン、秋吉 優史、2016、#02.



図：量産型の本体ユニット

## 人材育成教育のための大阪府立大学照射用 Co60 線源プールの線量測定

阪府大地域連携・放射線研究センター 宮丸広幸\*、小嶋崇夫、谷口良一、  
奥田修一

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

### [緒言]

文部科学省の機関横断的な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”という本学の提案が採択され、照射用プールのガンマ線高放射線場を使った実習・研修を本格的に行っている。本実験では実習プログラムの充実を目的として、水の遮へい効果の実習に関連し、線源と一定距離に保たれた検出器との間の水の経路をアクリルパイプとエアークンプレッサーを用いて気泡を送り込み、実質的な遮へいを弱める効果を実習に取り入れることを検討し、予備的な実験を行った。

### [実験内容と結果]

実験では有感体積 0.3cc の小型電離箱 (PTW 社 Type 31013) と同軸ケーブルがシリコン製の防水用チューブに納められている。検出器の外側に 40mm $\Phi$  のアクリル製の長さが 1m の円筒中空パイプを配置し、パイプの端部から 50 cm 内側の位置に検出器が配置されている。また端部には気泡を発生させる高温焼結エアーストーンを配置し、ベビコンにて気泡を発生させる。気泡はその吐出量に従ってパイプ内部を空気に部分的に置換することができる。これにより通常は水で満たされている線源と検出器の間の水の量を減らし、実質的な遮へい効果に動的に変化を加えることを目的としている。測定器は (PTW 社 UNIDOSE E) を用いた。実験ではこのパイプを水中内に配置し、静置させた後に線量率を計測した。コバルト 60 線源は円筒形で直径 26 cm、高さ 33cm のものを用いた。

弱い線源を用いた予備の実験では、気泡が多い状態では最大 10% 程度の線量の上昇が測定された。実験を模擬した体験でのシミュレーション計算結果では、直接線としてのガンマ線フラックスとしてはより明確に増大する結果が得られているが、実験の線量の増大は小さいものであった。これに関しては線源強度が弱く、間接線の寄与が大きい条件での予備実験であったことが考えられる。実習の教育的効果の観点からはより直接線の影響が大きい実験環境を作った上での線量測定を行い、線量の差異がより明確になる改良が必要であり、今後実習装置の工夫を重ねる予定である。

### 本研究に関する研究発表

1) 「人材育成教育のための大阪府立大学照射用 Co60 線源プールの線量測定」宮丸広幸、小嶋崇夫、谷口良一、奥田修一 日本放射線安全管理学会第 14 回術大会 (2015 年 12 月、つくば)

## 大規模放射線施設を利用した原子力人材育成

大阪府立大学放射線研究センター 谷口良一\*, 矢羽多秀高、伊藤憲男、秋吉優史  
宮丸広幸、小嶋崇夫、松浦寛人、古田雅一

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

【はじめに】放射線研究センターでは、文科省の原子力人材育成事業として「大規模放射線施設を利用した人材育成事業」を平成 26 年度から開始した。本事業はコバルト照射プールを利用して高線量下の水中作業の経験を積んだ人材を育成することが目的である。昨年度からは、非密封放射線実験も追加し、工学研究科のカリキュラムとして「量子放射線計測演習」という名称で登録された。

【研修】実験は、図 1 のような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、水深 4.7m のプール底に沈め、水中で遠隔操作で、水中での放射線分布の測定を行い、レーザー距離計を水中で使用し距離を測定するとともに水中で画像撮影を行い、線源周辺に発生するチェレンコフ光を観察する。またカメラを線源に近づけることによって、放射線影響で画像上に特徴的な白点ノイズが発生する様子を観察する。水中で撮影された画像の一例を図 2 に示す。図 3 は実験風景である。

研修は 2 日間の日程で行い、放射線安全教育、放射線計測等の講義を行った後に、水中での放射線分布測定、水中での画像計測とカメラの放射線損傷実験、非密封放射線施設を利用した、表面汚染の測定、徐染等の実験を行った。研修は 6 回行い、参加者総数は 19 名であった。

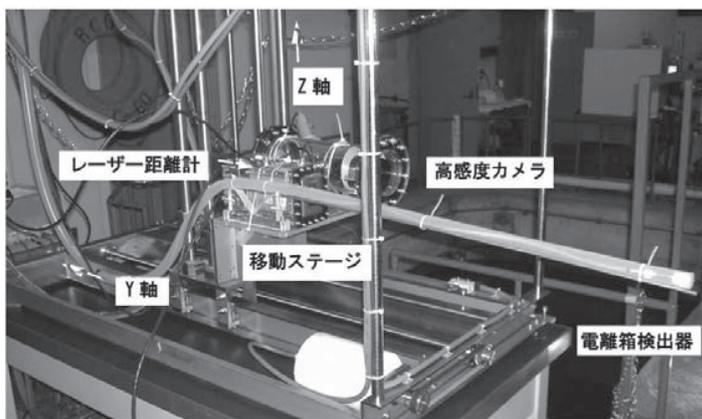


図 1 水中移動ステージと検出器

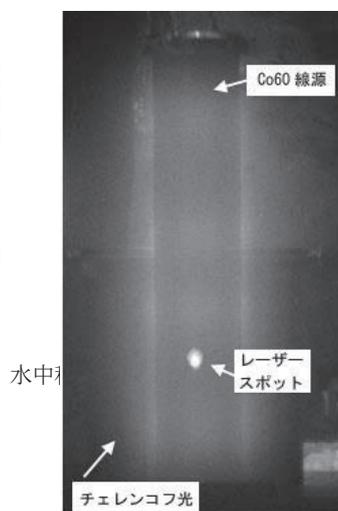


図 2 水中で撮影した線源とチェレンコフ光

### 【本研究に関する研究発表】

- 1) 「大線量下の水中実験研修」谷口良一、伊藤憲男、宮丸広幸、小嶋崇夫、松浦寛人、古田雅一、原子力学会春の大会予稿集（2016 年 3 月、仙台）3B13



図 3 非密封放射線実験風景

## 平成 24-26 年度の原子力人材育成事業における地域の放射線施設活用の意義

阪府大院工 奥田修一、古田雅一、伊藤憲男、宮丸広幸、小嶋崇夫、谷口良一、  
松浦寛人、秋吉優史

阪府大院理 児玉靖司

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

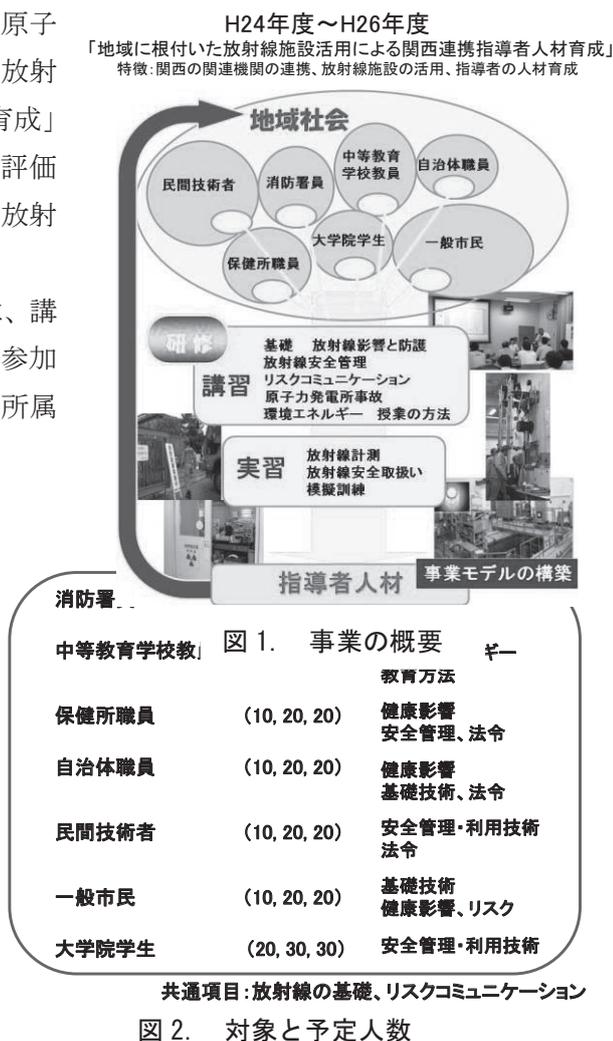
はじめに：本学の平成 24-26 年度文科省原子力人材育成等推進事業「地域に根付いた放射線施設活用による関西連携指導者人材育成」(図 1) は、極めて優れた成果 (S) と評価された。この主な要因として、地域での放射線施設の活用があげられる。

事業の主な成果：施設での実践的研修は、講習と実習 3 時間ずつが基本で、3 年度の参加者は、予定の 2.1 倍で 662 名であった。所属に応じた研修モデルを構築できた。

成果の要因：歴史の長い放射線施設と、地域のグループとの関係から、ニーズに合った研修がスムーズに行えたことが、成果につながったと結論できた。特に自治体、消防署、中等教育学校教員、民間技術者等とはつながりが深い。  
まとめと今後の展開：長年の活動で地域と結びついた放射線施設の重要性が明らかになった。堺市との連携による人材育成等事業「放射線施設活用による地域指導者人材育成」(平成 27 年度)、平成 27-29 年度文部科学省原子力人材育成事業「大規模放射線施設を利用した人材育成」を続けて行っている。

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) 大阪府大の放射線施設を活用した原子力人材育成事業とその成果、奥田修一、古田雅一、伊藤憲男、児玉靖司、宮丸広幸、小嶋崇夫、谷口良一、日本放射線安全管理学会第 14 回学術大会 (2015.12、つくば) P07.
- 2) 大阪府大の平成 24-26 年度原子力人材育成事業における地域の放射線施設活用の意義、奥田修一、古田雅一、伊藤憲男、児玉靖司、宮丸広幸、小嶋崇夫、谷口良一、松浦寛人、秋吉優史、日本放射線安全管理学会第 15 回学術大会 (2016.11-12、岡山) P38.



## 「平成 28 年度 33 回みんなのくらしと放射線展 -くらしの放射線探検隊-」 の開催報告

大阪府立大学・地域連携研究機構・放射線研究センター

秋吉優史、古田雅一\*

(\*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)

### 1. 緒言

2011年3月11日の東日本大震災に伴う東京電力福島第一原子力発電所事故以来、放射線汚染や健康影響などの風評被害が重大な問題となり、放射線に対する正しい知識の普及がより一層求められている。関西地域においては大阪府立大学を事務局として9機関の放射線関連団体が「みんなのくらしと放射線」知識普及実行委員会を組織し、毎年夏休みの時期に「みんなのくらしと放射線展」を大阪市内の百貨店などオープンスペースを会場として開催し、32年間延べ50万人以上の来場者に対して様々なアトラクションを交えた知識普及活動を行ってきた。特に原子力発電所事故発生以降は、混乱や誤解を避けるために、「小・中学生と保護者に対する体験実習」及び「高校生によるプレゼンテーション」に的を絞り、きめ細かな放射線の知識普及を行うとともに、一般参加者を対象とした展示も継続して行っている。右図は2015年度の案内チラシである。



### 2. 実施内容

#### 2-1. 小・中学生と保護者に対する体験実習(放射線親子セミナー)

霧箱工作や掃除機で集めた空気中のチリや野外での放射線測定など、「体験」を通して楽しく放射線について訴求した。また分かりやすいサイエンスショーを実施した。さらに、保護者を対象とした「放射線ミニツアー」を実施することで、大人に対しても、放射線の正しい知識を訴求した。

#### 2-2. 高校生によるプレゼンテーション (ハイスクール放射線サマークラス)

放射線について高校生自らが調べ、学び、考えたことを学校対抗形式で発表する「第4回ハイスクール放射線サマークラス」を実施した。過去最多の9校が出場し、今年度は最優秀賞1校、審査員特別賞2校が選出され、各校は発表終了後、放射線展の展示コーナーの見学、交流会で親交を深めた。

#### 2-3. 放射線利用の実物展示、パネル展示

一般の来場者向けには、様々な展示や実演を楽しめるスペースを設け、霧箱や食品の放射線測定、韓国からの輸入切り花の放射線殺虫など、実演や放射線クイズラリーにより身近な放射線や放射線利用の知識普及を行った。さらに関西地域の原子力、放射線関連の学部、施設を持つ大学や研究機関の紹介も行った。

### 3. 結論

アンケート調査の結果、参加者の満足度は8割以上に達している。

#### 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) 関西地域の「みんなの暮らしと放射線展」における知識普及活動 Information transfer activity through “Radiation and our daily life fair” in Kansai region、古田雅一、「みんなの暮らしと放射線展」知識普及実行委員会 放射線展専門部会メンバー、第53回アイソトープ・放射線研究発表会（2016/7/6(水)～8(金)、東京）
- 2) 関西地域の「みんなの暮らしと放射線展」における知識普及活動 Information transfer activity through “Radiation and our daily life fair” in Kansai Region、古田雅一、みんなの暮らしと放射線知識普及実行委員会（大阪府立大学，日本原子力研究開発機構，（一財）電子科学研究所，（一財）日本原子力文化財団，（一社）大阪ニュークリアサイエンス協会，（公社）大阪府放射線技師会，（公社）日本アイソトープ協会，日本原子力学会関西支部）、日本原子力学会 2016 年春の年会（2016 年 3 月 26～28 日，仙台）

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 27 年度共同利用報告会

日時：平成 28 年 11 月 18 日（金）9:10 - 17:50

場所：大阪府立大学 C 1 3 棟講堂

参加費：無料

プログラム（下線講演者）

（講演各 15 分、含質疑応答）

- 9:10 開会のあいさつ 谷口良一
- 9:15 - 10:30 [生物効果] 座長：白石一乗（阪府大院理）
- 9:15 タンパク質修飾網目状繊維を用いたヒトおよびマウス神経幹細胞/前駆細胞の接着培養法の評価  
藤田雅徳、中亮介、森英樹、原正之（阪府大院理）
- 9:30 マウス神経幹細胞における X 線誘発 DNA2 本鎖切断のフローサイトメータを用いた新しい定量系の開発  
山田聖、白石一乗、児玉靖司（阪府大院理）
- 9:45 低エネルギー電子線発生装置を用いた滅菌検証  
古田雅一（阪府大院工）、土戸哲明（阪府大 21 機構）、福田直晃（京大産官学連携）、吉良典子、長谷川剛史、生杉浩一、上野絵理（日立造船(株)）
- 10:00 水損和紙資料（古文書）に発生したカビの放射線殺菌に関する基礎的検討  
松下正和（姫路大教育・人権教育研）、天野真志（東北大災害科学国際研）、内田俊秀（京都造形芸術大）、酒井浩一、藤田和久（光産業創成大学院大）、吉川圭太（神戸大院人文）、古田雅一（阪府大院工）
- 10:15 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検知指標とした新規照射食品検知法の開発  
福井直樹、古田雅一（阪府大地域連携）、高取 聡、北川陽子、梶村計志、尾花裕孝（大阪府立公衆衛生研）
- 10:30 休憩
- 10:45 - 11:45 [コバルト施設他] 座長：宮丸広幸（阪府大地域連携）
- 10:45 水中放射線場での距離測定と線量測定  
豊蔵悠史、谷口良一、岡本賢一、宮丸広幸、伊藤憲男、小嶋崇夫（阪府大地域連携）
- 11:00 大気エアロゾルの粒径別水溶性放射性物質  
瀬戸川晃、伊藤憲男（阪府大地域連携）
- 11:15 核融合炉ダイバータ材料熱物性評価のための φ3 微小試験片測定技術開発  
秋吉優史（阪府大地域連携）、Wallace D. Porter、加藤 雄大（ORNL）
- 11:30 エックス線照射下における熱電特性の測定影響  
春元雅貴、谷口良一（阪府大院工）
- 11:45 共同研究拠点申請について 松浦寛人
- 11:50 昼休み

- 13:30 - 15:00 [クリーンルーム] 座長：河村裕一（阪府大地域連携）
- 13:30 Development of Scanning SQUID system for recovering vector magnetic fields  
Vu The Dang, Ho Thanh Huy, Atsuki Ito, Hiroki Miyoshi, Masaki Toji, Shigeyuki Miyajima, Hiroaki Shishido (阪府大院工), Masaaki Maezawa, Mutsuo Hidaka (産総研), Masahiko Hayashi (秋田大), Masaru Kato and Takekazu Ishida (阪府大院工)
- 13:45 キラル磁性体  $\text{CrNb}_3\text{S}_6$  の磁気相図の角度依存性  
米村潤一朗、戸川欣彦 (阪府大院工)
- 14:00 ウェットエッチングを用いた SOI 基板のサブナノメートル精度薄膜化  
高橋和 (阪府大院工)
- 14:15 EB リソによる Nano-in-Nano 疎水界面の構築と aL 流体制御  
山口晃司、許岩 (阪府大院工)
- 14:30 InGaAsN/GaAsSb タイプ II 量子井戸構造における 2 次元電子の有効質量  
川又修一、日比野暁、田中章、河村裕一 (阪府大院工)
- 14:45 PVD 法を用いた薄膜・ナノ粒子合成の燃料電池および熱電材料への応用  
津久井茂樹、田島聡一郎、井上陸、古川暢昭、森本隆之、山中俊弥、鈴木一輝、山本遼 (阪府大院工)
- 15:00 休憩
- 15:15 - 16:45 [量子ビーム] 座長：秋吉優史（阪府大地域連携）
- 15:15 ガンマ線照射下における模擬地下水溶液中でのチタンの全面腐食速度への溶液 pH の影響  
湯川卓司、井上博之、小嶋崇夫、岩瀬彰宏 (阪府大院工)
- 15:30 構造緩和過程における過共晶バルクアモルファス合金の自由体積及び局所構造の変化  
谷真海、石山大志、岩瀬彰宏、堀史説 (阪府大院工)、今野豊彦 (東北大金研)
- 15:45 B 2 型 FeAl 金属間化合物中の水素の状態における水素導入過程の影響  
上野陽平、岩瀬彰宏、徐虬、大澤一人、斎藤勇一、堀史説 (阪府大院工)
- 16:00 Cu-Au 二元系ナノ粒子の  $\gamma$  線照射還元による合成と構造特性評価  
田中元彬、東海旭宏、仲西穂高、水越克彰、興津健二、岩瀬彰宏、堀史説 (阪府大院工)
- 16:15 ZrCuAl バルクアモルファス合金に対するイオン照射効果の組成依存性  
小林一基、石井康嗣、岩瀬彰宏、加藤秀実、石川法人、斎藤勇一、堀史説 (阪府大院工)
- 16:30 1 MeV イオン加速器を用いた PIXE 法の開発  
安達脩、宮丸広幸、谷口良一、奥田修一 (阪府大地域連携)
- 16:45 休憩
- 17:00 - 17:45 [人材育成・教育] 座長：松浦寛人（阪府大地域連携）
- 17:00 放射線教育での普及を目指したペルチェ冷却式高性能霧箱の開発  
秋吉優史 (阪府大地域連携)、奥野泰希、安藤太一 (阪府大院工)
- 17:15 大規模放射線施設を利用した原子力人材育成  
谷口良一、宮丸広幸、伊藤憲男、小嶋崇夫、松浦寛人、秋吉優史、古田雅一 (阪府大地域連携)
- 17:30 平成 24-26 年度原子力人材育成事業における地域の放射線施設活用の意義  
奥田修一、古田雅一、伊藤憲男 (阪府大院工)、児玉靖司 (阪府大院理)、宮丸広幸、小嶋崇夫、谷口良一、松浦寛人、秋吉優史 (阪府大院工)
- 17:45 閉会のあいさつ 河村裕一

# 大阪府立大学 21 世紀科学研究所 「量子ビーム誘起反応科学研究所」活動報告

大阪府立大学地域連携研究機構 奥田修一

(\*本報告に関する連絡先：電話（内線）4227、メール okuda@riast.osakafu-u.ac.jp)

大阪府立大学 21 世紀科学研究所の第 1 群研究所に所属する「量子ビーム誘起反応科学研究所」は、量子ビームによって誘起される反応の過程を、量子ビームと物質との相互作用の基礎に基づいて解析し、複雑な生体における反応の解明にまで結び付けることを目標に掲げている。これまで地域連携研究機構・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。2013 年度新設の大学院工学研究科「量子放射線系専攻」が教育・研究の組織として完成年度を迎えて充実し、また放射線研究センターも全国の共同利用・共同研究拠点としての飛躍を目指しており、研究所も今後の活動の方向を模索している。以下に 2015-2016 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) 主な外部資金：科学研究費補助金、高エネルギー加速器研究機構大学等連携支援事業
- (3) 交流協定に基づく韓国、国立江原大学サイクロロン研究所、原子力研究所との交流
- (4) 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
- (5) 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（下記にまとめられている）

- (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 26 年度共同利用報告書

## 3. その他の活動

- (1) 大阪府立大学地域連携研究機構・放射線研究センター平成 26 年度共同利用報告会  
(2016 年 12 月 21 日開催、放射線研究センターとの共催)
- (2) 放射線研究センター活動への参画：将来計画への提言と加速器の整備

## 4. 研究所と研究活動の紹介

[http://www.riast.osakafu-u.ac.jp/~housya3/virtual\\_lab.html](http://www.riast.osakafu-u.ac.jp/~housya3/virtual_lab.html)

## 研究所員

地域連携研究機構放射線研究センター	教授・奥田修一（研究所長）	教授・谷口良一
	教授・古田雅一	助教・小嶋崇夫
大学院理学系研究科生物科学専攻	教授・児玉靖司	教授・原正之 助教・白石一乗
大学院工学研究科物質・化学系専攻	教授・岩瀬彰宏	准教授・堀史説

## 研究所連絡先

地域連携研究機構放射線研究センター 量子線材料科学研究室 奥田修一  
電話番号：072-252-1161（代表） E-mail：okuda@riast.osakafu-u.ac.jp

## 5. 公立大学法人大阪府立大学

### 地域連携研究機構・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。

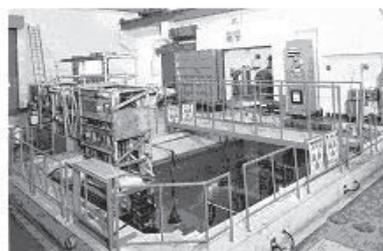


図1 コバルト 60 ガンマ線源の水プール

##### 1.1 主な照射設備

	線源の数量	線量率	用途
第1照射室	145 TBq	1~100 Gy/h	大線量精密照射
第2照射室	113 TBq	10~100 Gy/h	大線量精密照射
第3照射室	0.933 TBq	0.1~1 Gy/h	小線量、非破壊検査
第4照射室	2436 TBq	100~1000 Gy/h	大線量照射
照射プール	2436 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。

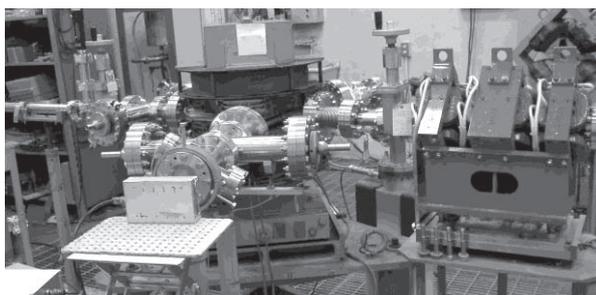


図3 電子線形加速器（OPU ライナック）

### 2.1 主な照射設備

	粒子束密度	用途
地下照射室	～ $10^{13}$ e/cm <sup>2</sup> /sec	水平照射、大面積照射
第2照射室	～ $10^{12}$ e/cm <sup>2</sup> /sec	精密照射
第3照射室	～ $10^{14}$ e/cm <sup>2</sup> /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）

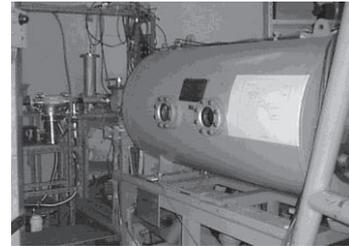


図4 低エネルギー電子線照射装置

### 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  $\gamma$ 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HPの実験施設をご覧ください。

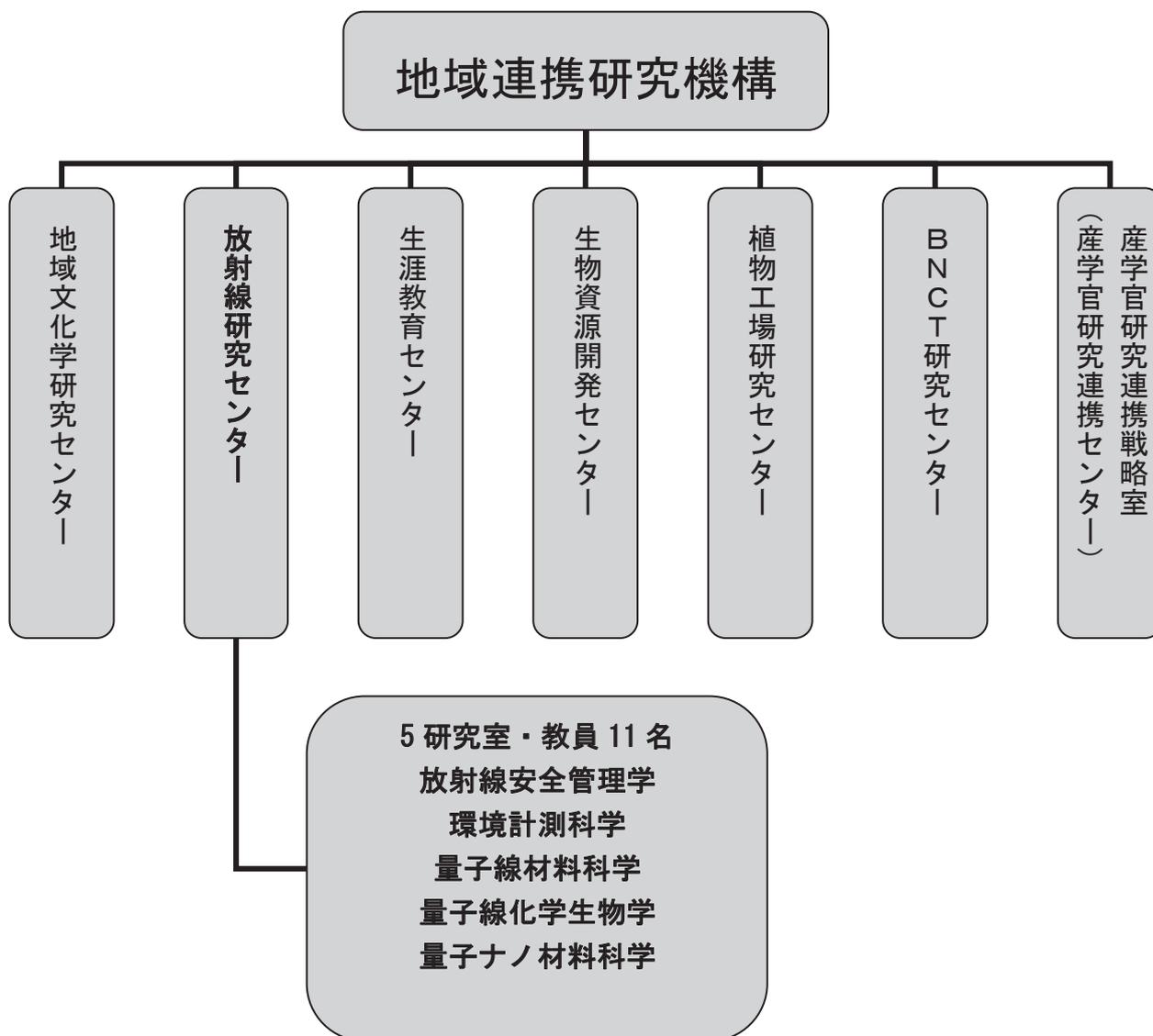
<http://www.riast.osakafu-u.ac.jp/index2.html>



図11 クリーンルーム室内図

## 6. 放射線研究センター組織

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



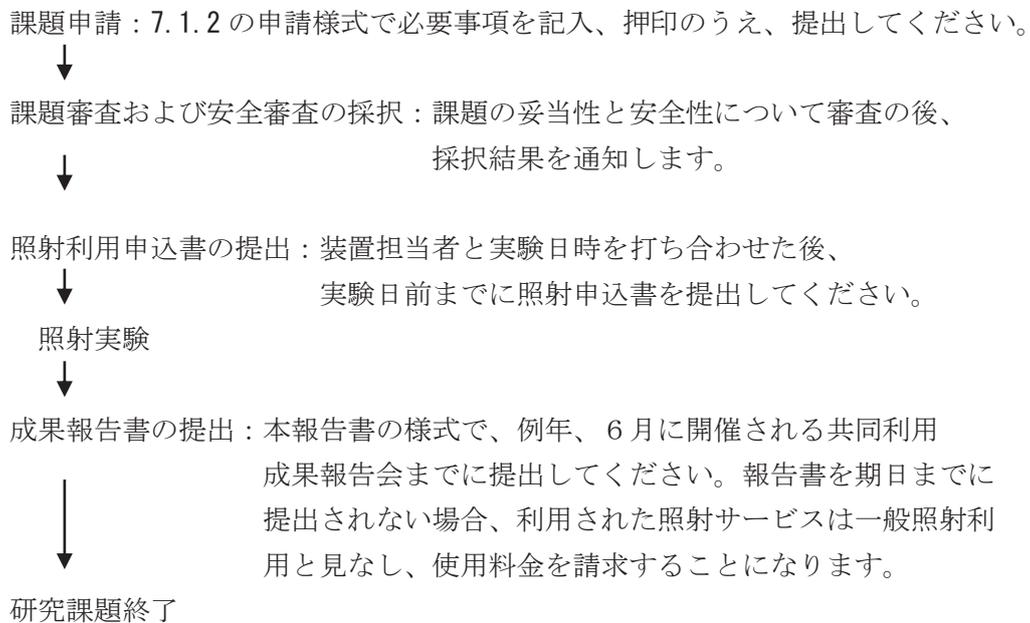
## 7. 放射線照射施設利用のてびき

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/index2.html>



## 7.2 一般照射利用の手続きと使用料金

地域連携研究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	17,000 円+2,400 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	9,500 円+4,800 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	9,500 円+9,500 円×Th
		被照射物の占有容積が 50 リットル以上	19,000 円+19,000 円×Th
	照射室占用による照射	19,000 円+19,000 円×TH	
生 装 置 に よ る 場 合	ライナックによる場合	34,400 円+1,000 円×Tm	
	コッククロフト・ウォルトンによる場合	28,800 円+500 円×Tm	
	X 線照射装置による場合	8,800 円+300 円×Tm	
照射証明書の交付		1 通につき 1,500 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（H27年度）

平成27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。

「利用申請書数」 175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 「太陽エネルギーを利用する光触媒, 太陽電池, 熱電変換素子の薄膜化」 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 「TEOS/Ozone 減圧 CVD における膜形成の高速化」 工学研究科 足立元明
- 6 「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
- 7 「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
- 8 「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
- 9 「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
- 10 「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
- 11 「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
- 12 「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
- 13 「強誘電体デバイスの信頼性を向上させるために各素子の改善を進める研究」 工学研究科 齋藤丈靖
- 14 「シリコンフォトリ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
- 15 「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
- 16 「新規高性能熱電材料の開発」 21世紀科学研究機構 小菅厚子
- 17 「合成したナノ材料の観察と評価」 21世紀科学研究機構 八木俊介
- 18 「単一分子のキラル識別法の確立」 工学研究科 西野智明
- 19 「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
- 20 「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」 21世紀科学研究機構 許岩
- 21 「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

- 2 2 「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
- 2 3 「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
- 2 4 「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
- 2 5 「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 6 「可視光応答型の酸化物半導体薄膜を用いた水からの水素製造」工学研究科 竹内雅人
- 2 7 「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剤の表面濡れ性測定」工学研究科 竹内雅人
- 2 8 「表面形状を制御した酸化亜鉛ナノワイヤ薄膜表面の濡れ性に関する研究」工学研究科 竹内雅人

以上

## 9. 連絡先

### 大阪府立大学 地域連携研究機構 放射線研究センター

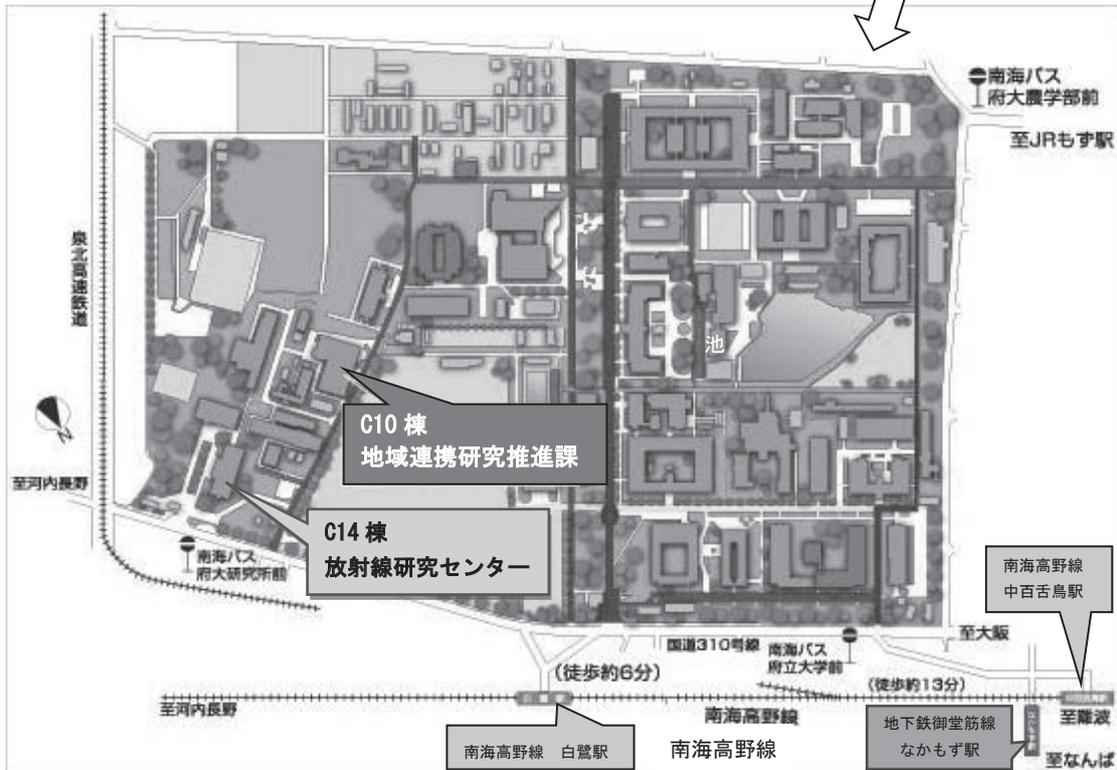
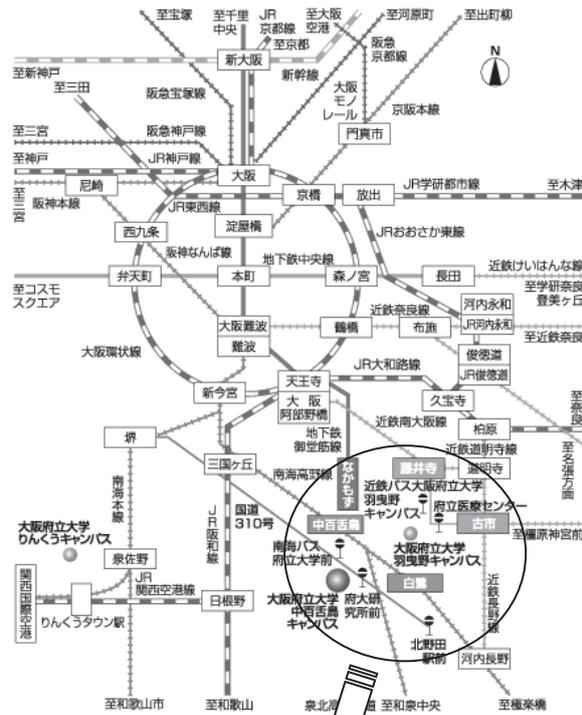
〒599-8570

大阪府堺市中区学園町1-2

Tel: (072) 252-1161 (代)

Fax: (072) 254-9938

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



#### 【駅から徒歩の場合】

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

#### 【駅からバスをご利用の場合】

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

過去 2004(平成 16)年度以降  
2014(平成 26)年度までの  
共同利用報告書 PDF ファイルは  
大阪府立大学 地域連携研究機構  
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。



大阪府立大学  
OSAKA PREFECTURE UNIVERSITY