

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 25 年度  
放射線施設共同利用報告書

平成 27 年 3 月

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

## 1. はじめに

地域連携研究機構・放射線研究センター長 奥田修一

放射線研究センターは、大規模な放射線施設を継承して、設立以来55年目になります。施設の更新のための予算要求を行っており、まず主要なコバルト60ガンマ線源が10年ぶりに更新され、古い線源が廃棄されました。

2013度に工学研究科に新設された「量子放射線系専攻」は、当センターの全教員と他機構の教員1名が担当し、おおむね定員を上回る学生を指導しています。ベトナム、ラオス、中国からの留学生がおり、新たに締結された本学とベトナムダラット大学との交流協定に基づく留学生の増加が今後見込まれます。

密封・非密封放射性同位元素取扱い施設、加速器施設、実験動物施設、クリーンルーム施設などの大規模な学内利用施設は、学外にも広く利用されています。これらを活用した基礎研究の課題に、多くの大学院学生が取り組むようになりました。

放射線知識普及活動「みんなのくらしと放射線展」は、2014年8月に第31回を迎え、原子力発電所事故以降の新たな実施の形が定着してきました。また、文部科学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」は、3年目の最終年度を迎えて順調に成果をあげると共に、同じく「大規模放射線施設を利用した人材育成」が2014年度の単年度で採択されました。今後の継続が望まれます。このように、教育研究、地域貢献、国際交流の拠点としてフル活動しています。

この報告書は、2013年度以降の放射線研究センターの共同利用の成果を、関連情報と共にまとめたものです。是非ご覧いただきますと共に、放射線研究センターの今後の活動に、一層のご協力、ご支援をお願い申し上げます。

2015年1月

# 目 次

ページ

## 1. はじめに

放射線研究センター長 奥田修一

## 2. 平成25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  
(府大地域連携) 谷口良一、岡喬、松浦寛人、宮丸広幸、小嶋崇夫、奥田修一
- 2) コバルト 60 によるガンマ線照射利用の現状・・・・・・・・・・・・・・・・ 2  
(府大地域連携) 小嶋崇夫
- 3) 自然放射線を利用した中性子ラジオグラフィ・・・・・・・・・・・・・・ 3  
(府大地域連携) 谷口良一、伊藤憲男
- 4) IP による線量測定と二次元線量計への応用・・・・・・・・・・・・・・ 4  
(府大院工) 下邨広元  
(府大地域連携) 谷口良一、奥田修一、宮丸広幸、松浦寛人、小嶋崇夫  
(Kangwon National Univ.) S. Nam
- 5) 冷却型 CCD 素子の白点ノイズの研究・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・ 5  
(府大地域連携) 谷口良一、奥田修一 (京大炉) 岡本賢一 (近畿大) 小川喜弘  
(電子研) 辻本忠
- 6) RO 膜に関する研究(共同研究機関 株式会社関電工 平成 25 年 2 月～26 年 7 月)・・・ 6  
(府大地域連携) 伊藤憲男 (株関電工) 岡村浩樹 (水道機工株) 岩崎宗城
- 7) 高強度コヒーレント遷移放射光源による吸収分光・・・・・・・・・・・・ 7  
(府大院工) 斉藤秀輝 (府大地域連携) 奥田修一 (京大炉) 高橋俊晴  
(Kangwon National Univ.) S. Nam
- 8) 放射線照射した原子炉材料表面のイオンビーム分析による評価・・・・・・・・ 8  
(府大院工) 倉橋慎太郎 (府大地域連携) 奥田修一、宮丸広幸
- 9) Degradation of Jatropha Phorbol Esters in Aqueous Solution by Sunlight, UV and  
Gamma Irradiation・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・ 9  
(府大院工) Santi Kongmany、奥野泰希  
(府大地域連携) 奥田修一、松浦寛人、古田雅一、今村清、前田泰昭
- 10) 大気圧放電プラズマジェットの改良と照射試験・・・・・・・・・・・・・・ 11  
(府大地域連携) 松浦寛人、古田雅一 (府大院工) Santi Kongmany
- 11) CIGS 太陽電池の低エネルギー電子線照射効果の EL イメージングによる評価・・・・・・・・ 12  
(宇宙航空研究開発機構) 川北史朗、今泉充、舩分宏昌  
(府大地域連携) 奥田修一、小嶋崇夫、岡喬
- 12) InGaP 太陽電池の低エネルギー電子線照射効果・・・・・・・・・・・・・・ 13

	(府大院工) 奥野泰希 (府大地域連携) 奥田修一、小嶋崇夫、岡喬 (宇宙航空研究開発機構) 川北史朗、今泉充、艸分宏昌	
13)	ZrCuAl バルク金属ガラスへの重イオン照射による硬度変化の組成依存性	15
	(府大院工) 石井康嗣、石山大志、岩瀬彰宏、堀史説 (東北大金研) 横山嘉彦 (原子力機構) 石川法人、斎藤勇一	
14)	過共晶バルクアモルファス合金中の自由体積にみる局所構造の組成依存性	17
	(府大院工) 石山大志、石井康嗣、岩瀬彰宏、堀史説 (東北大金研) 横山嘉彦、今野豊彦	
15)	照射励起反応場における生成酸化種捕捉による純銅ナノ微粒子の創製	19
	(府大院工) 堀達朗、永田光一郎、岩瀬彰宏、堀史説 (京大炉) 阪本雅昭 (産総研ユビキタス) 秋田知樹、田中真悟	
16)	窒素ガス脱気された塩化物水溶液中でのガンマ線照射による酸化性化学種の生成と鉄 の放射線腐食への影響	21
	(府大院工) 神田泰寛、井上博之、岩瀬彰宏 (府大地域連携) 小嶋崇夫	
17)	電気化学法を用いた塩化物水溶液中での鉄の放射線腐食機構の検討	23
	(府大院工) 井手原龍一、井上博之、岩瀬彰宏 (府大地域連携) 小嶋崇夫	
18)	Propylaminopentane関連化合物のhERGチャンネルへの親和性	25
	(エフピー株) 高畑和恵、卜部和則、西村哲也、片山未佳、松本麻依、東垣由夏 (府大院理) 川西優喜、八木孝司	
19)	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	26
	(エフピー株) 高畑和恵、卜部和則、西村哲也、片山未佳、松本麻依、東垣由夏 (府大院理) 川西優喜、八木孝司	
20)	DNA 損傷に応答するレポーターアッセイ酵母の作製	27
	(府大院理) 山本幸希、芳川智哉、原島小夜子、川西優喜、八木孝司	
21)	オオミジンコの脱皮ホルモン・幼若ホルモン受容体を発現する内分泌攪乱物質 検出酵母レポーターアッセイ系の確立	28
	(府大院理) 高田英治、原島小夜子、川西優喜、八木孝司	
22)	3-ニトロベンズアントロン由来付加体をもつ DNA の損傷乗り越え複製に伴う 突然変異誘発の解析	30
	(府大院理) 金山尚裕、川西優喜、八木孝司 (神奈川工大) 高村岳樹	
23)	放射線による DNA 二重鎖切断の定量的計測と理論モデルの構築	31
	(府大地域連携) 森利明 (京大) 下林俊典 (同志社大) 吉川研一	
24)	網目状ナイロン繊維を用いた神経幹細胞/前駆細胞の培養	32
	(府大院理) 中亮介、森英樹、原正之	
25)	$\gamma$ 線架橋 poly(vinyl alcohol) ゲル上での神経幹細胞/前駆細胞の培養	33
	(府大院理) 森英樹、原正之	
26)	培養地衣菌の増殖及び二次代謝に対するガンマ線照射の影響	34
	(府大地域連携) 古田雅一 (秋田県立大) 小林優維、原光二郎、小峰正史、山本好和	

27)	エラスチンポリペプチドの放射線照射による新規バイオマテリアルの開発	35
	(九州工大) 前田衣織 (府大地域連携) 古田雅一	
28)	照射試料を用いた 2-アルキルシクロブタノン測定における技能試験	36
	(阪府公衛研) 起橋雅浩、北川陽子、高取聡、梶村計志、尾花裕孝 (府大地域連携) 古田雅一	
29)	<sup>60</sup> Co ガンマ線、加熱処理後の <i>Bacillus subtilis</i> 芽胞の増殖挙動に対する パブリカの影響	37
	(府大院工) 阪井俊夫 (府大地域連携) 古田雅一	
30)	2-アルキルシクロブタノンを指標とした食品の照射履歴の簡易分析法の検討	38
	(阪府公衛研) 北川陽子、起橋雅浩、福井直樹、高取聡、梶村計志、尾花裕孝 (府大地域連携) 古田雅一 (関西医大) 西山利正	
31)	出芽酵母の放射線ストレスに対するカタラーゼの影響	39
	(府大地域連携) 古田雅一 (府大院生命) 西本琢登、片岡道彦、岸田正夫	
32)	高等植物におけるオーキシン極性移動に関する研究	40
	(府大高等教育) 宮本健助 (府大院理) 上田純一	
33)	放射線/水素水併用によるヒト食道由来のがん細胞・正常細胞へ及ぼす影響の比較研究	42
	(府大高等教育) 田中良晴 (大阪物療大) 李強、三羽信比古	
34)	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」の活動	44
	(府大地域連携) 奥田修一	
35)	「平成 26 年度第 31 回みんなのくらしと放射線展」活動報告	45
	(府大地域連携) 奥田修一 (「みんなのくらしと放射線」知識普及実行委員会) 委員	
3.	平成 25 年度共同利用報告会プログラム	47
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	48
	(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・放射線センターにおける施設の利用	49



## 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\*、岡喬、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】

2013年の運転時間は94時間であった。前年の349時間よりも大幅に減少している。図1に年間運転時間の、この25年間の推移を示す。運転時間は長期的に見ると確実に減少している。2012年の修理時間は294時間であり、2013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。2011年4月から放射線障害防止法が改正され、高エネルギー加速器の放射化物の管理が強化された。2013年度は、この対策に追われた。X線ターゲット類を放射化物として保管する体制を整えるとともに、対策が難しい空気の放射化に対しては、X線ターゲット使用時に、ターゲット遮へいを確実に併用するなどの対策をとり、2013年6月の施設検査の後、認可された。

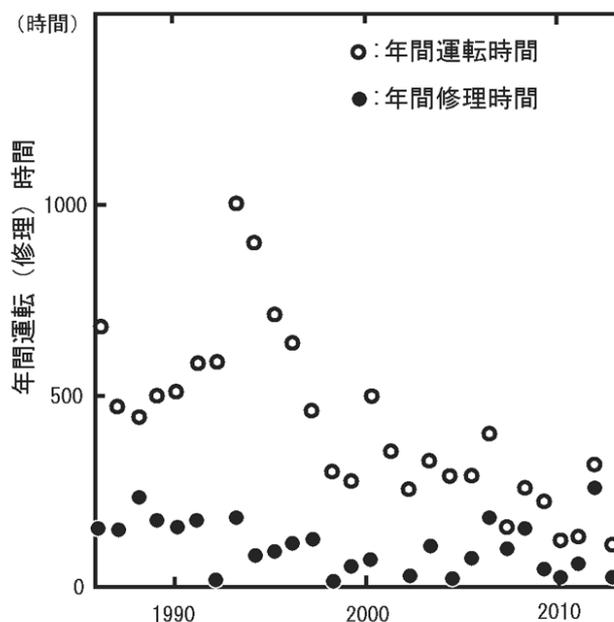


図1 ライナック年間運転時間の推移

### 【コッククロフトウオルトン電子線加速器】

2013年の運転時間は約175時間であった。主として太陽電池の照射試験に使用している。2010年に高周波系で大規模な修理を要したが、ここ数年は、おおむね順調に稼働している。最近では高電圧絶縁ガスであるSF<sub>6</sub>のリーク対策に追われた。さらに最近、大電力高周波回路系にもトラブルがあり、修理を要した。

### 【コバルト 60 照射施設】

10年ぶりに新線源が補充された。2014年1月29日に、380TBqのCo60線源が4本搬入され、センターが保有するCo60線源は合計2.4PBqとなり倍増した。照射利用は増加している。機器の耐放射線評価の照射が目立っており、今後も増大する傾向が見られる。

コバルト60の照射施設の中では、マニピュレータの老朽化が目立っており、修理ないしは更新が望まれている。また照射室内の放射線モニターのトラブルが目立ってきたのも最近の傾向である。照射室の放射線モニターは、インターロック系と直結しており、安全上、トラブルの放置は許されない。これらの放射線モニターは各照射室に2台ずつ設置されており、数も多く、さらに高線量に晒されることから、耐用年数も限られる。修理体制を含めた抜本的な対策が必要である。

## コバルト 60 によるガンマ線照射利用の現状

放射線研究センター線源棟コバルト照射設備の利用状況について、平成 17 年度の法人化以降の実績を表 1 に示す。

学外利用は放射線検出器の特性試験、電子機器の耐放射線試験（カメラ、センサ、信号伝送器など）、電線、光ファイバーなどケーブルの照射試験などが主要な利用目的である。照射室や照射プールから計装ケーブルを引き出して照射室外でモニタリングを行う照射中その場計測による利用が多く、基礎研究よりも実機での使用を対象とした機器の開発や特性試験の割合が高い傾向は変わらない。年度毎の学外利用時間の増減は 50 時間以上の長時間照射の依頼の件数の変動の影響を受ける傾向がある。

学内利用は①放射線架橋による生体材料開発の基礎研究、②食品照射の基礎研究、③動物細胞、酵母、ハエ、実験動物の放射線影響、④塩水中での金属腐食への照射効果（平成 23 年度開始）、⑤高分子の改質の基礎研究などが主要な研究対象である。学内利用時間、申込者数ともに①、②の生物系の研究が多く、φ 20 cm 線源集合体が主に利用されている。この線源集合体は照射容器内径が 180 mm と比較的大きな試料が装荷可能で、計画的に放射エネルギーを揃えて受け入れた 8 本の線源により線量率数 kGy/h の均一な照射場が得られる。しかし、線源の減衰のため 1 日で利用可能な照射量の上限は現在約 20 kGy である。さらに高い線量率での照射を希望される場合はより小口径の照射容器の利用を推奨している。（平成 25 年度に受け入れた新線源 4 本（総放射能 1.5 PBq）は φ 20 cm 線源集合体を構成した場合は照射容器内の線量率分布が無視できなくなるため、小口径の照射容器での利用や線源集合体の周囲に被照射試料を配置する形態で供用している。）

表 1 法人化（平成 17 年度）以降の照射利用時間と申込の状況

年度	学外利用時間	学外申込件数	学内利用時間	学内申込者数
平成 25 年度	1,110	48	7,684	14
平成 24 年度	819	51	10,659	14
平成 23 年度	802	64	3,311	15
平成 22 年度	897	51	1,256	9
平成 21 年度	684	62	1,292	5
平成 20 年度	1,180	73	1,226	11
平成 19 年度	566	50	1,802	12
平成 18 年度	324	66	1,505	18
平成 17 年度	848	45	1,536	18

注）表中の「利用時間」は各照射室および照射プール内の各線源集合体の照射時間（1 時間未満切上）の合計を年度別に示した。放射性同位元素の使用許可の条件である「使用時間」は使用する線源の組み合わせや使用状態によって異なるため、表中の利用時間とは一致しない。

（放射線研究センター 小嶋崇夫

\*本報告に関する連絡先：電話（内線）4213 または 4261、メール [kojima@riast.osakafu-u.ac.jp](mailto:kojima@riast.osakafu-u.ac.jp)）

# 自然放射線を利用した中性子ラジオグラフィ

大阪府立大地域連携研究機構 谷口良一\*、伊藤憲男

(\*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]** 特別な中性子源を用いないで宇宙線由来の環境中性子のみを用いた中性子ラジオグラフィの開発を行っている。図1にこれまで開発した中性子ラジオグラフィ装置を図示している。弱い中性子場においても長時間露光が可能であれば中性子画像は得られる。図1(1)、(2)は、長時間露光によって得られた中性子画像である。本研究では、高感度画像装置を長時間露光することで、図1の左端の領域である自然中性子の強度でも中性子画像を得ることを目指している。

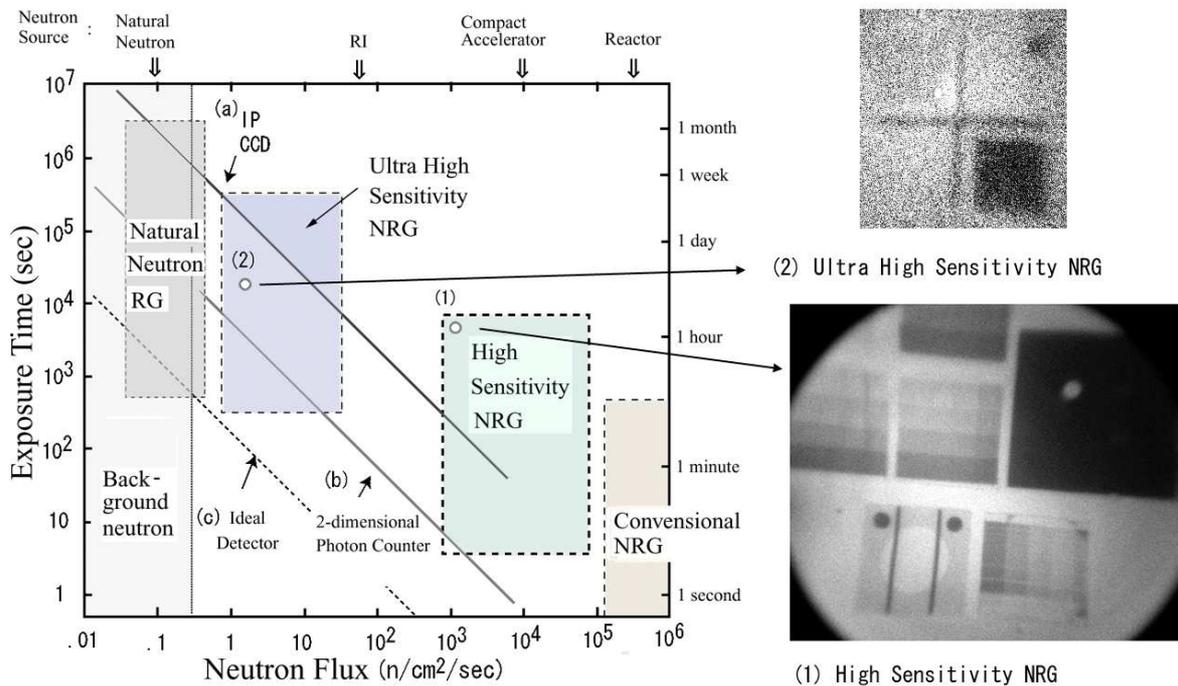


図1 高感度中性子ラジオグラフィ装置の中性子量と照射時間の関係

**[実験]** 試作した中性子画像装置を図2に示す。図のように暗箱中にシンチレータを設置し、これを2次元光子計数装置で画像化した。約600時間環境放射線で計測し中性子画像を得た。

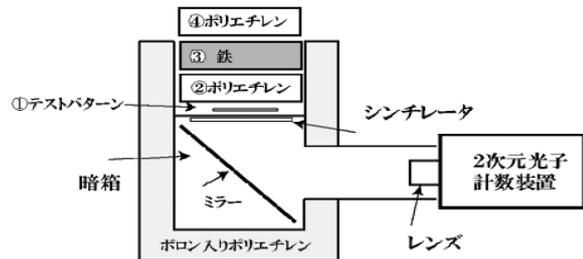


図2 自然中性子を用いた中性子画像装置

本研究の一部は、科学技術振興機構、研究成果展開支援プログラム(A-Step)による。

## [本研究に関する研究発表]

- 1) 「自然放射線を利用した画像検査と分析法」、谷口、伊藤、第9回放射線による非破壊評価シンポジウム講演論文集 (2014年2月、東京。) pp71-76
- 2) "Neutron Radiography Using Environmental Neutrons", Proc. 5<sup>th</sup> Us-Japan NDT symp. on emerging NDE capability for safer world (2014.6.16-19, hawii,US) 28

## IP による線量測定と二次元線量計への応用

府大院工

下邨広元\*

府大放射線研究センター

谷口良一、奥田修一、宮丸広幸、松浦寛人、小嶋崇夫

Kangwon National University S. Nam

(\*本研究に関する連絡先：電話（内線）4214、メール dw105008@edu.osakafu-u.ac.jp)

イメージングプレート（IP）は、温度と時間の経過に依存する Fading 特性を持つ。Fading 特性に関しては、様々な研究が行われてきた。本研究では、用いた IP (CR SR-VI、富士フィルム製) の Fading 特性を知るために校正された  $\gamma$  線照射場、X 線発生装置、超微弱ライナック電子線照射場を用いて、照射終了から読み取りまでの時間を変えてその影響を調べた。その結果を基に、最適な時間で IP の読み取りを行った。そして、X 線の照射線量と PSL value との対応を基にして  $\gamma$  線や超微弱ライナック電子線を照射した場合の照射線量と PSL value との対応を調べて、各照射場における二次元線量分布の評価を行った。

X 線、 $\gamma$  線照射実験では、X 線、 $\gamma$  線の照射と、IP の PSL value との間の直線関係を得た。X 線、 $\gamma$  線の照射時の IP の Fading 特性を得た。超微弱電子線照射の実験において、電子線のエネルギーが 8 MeV、電荷量は 10 pC~100 pC であった。電子線の照射線量と IP の PSL value との間に直線関係を得た。電子線の照射時の IP の Fading 特性を得た。これらの結果は、超微弱電子線二次元線量分布が IP を用いて Fading を補正して比較的高い精度で得られることを示した。

この研究の一部は、平成 24-26 年度の KEK 大学等連携支援事業によって行われた。

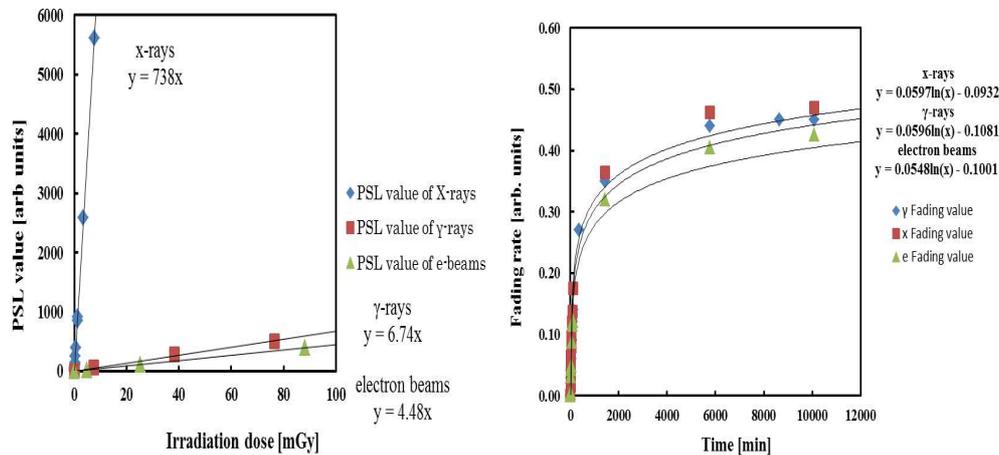


Fig.1 The relation of Irradiation dose and PSL value      Fig.2 The relation of Time and Fading

### 参考文献

[1] K. Tanaka, T. Yabuuchi, T. Takahashi, T. Ikeda, and S. Okuda, Calibration of imaging plate for high energy electron spectrometer, *Rev. Sci. Instrum.* 76, 013507 (2005), pp. 1-5.

### 本研究に関する学会発表

1) 日本原子力学会 2014年 春の年会 講演番号 J-50 2014年 03月 28日(金)

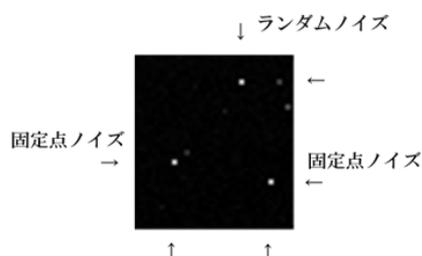
## 冷却型 CCD 素子の白点ノイズの研究

大阪府立大 地域連携研究機構 谷口良一\*、奥田修一  
 京都大学 原子炉実験所 岡本賢一  
 近畿大学 小川喜弘  
 電子科学研究所 辻本 忠

(\*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】** 冷却型 CCD の白点ノイズには、外見は同じであるが、ランダムノイズと固定パターンノイズ (FPN) の 2 種類がある。FPN は放射線損傷の一種と考えられ、ランダムノイズは放射線誘起ノイズの一種であると考えられている。ただしランダムノイズに関しては不明な点が多い。本研究では中性子、ガンマ線等の照射を行い、ランダムノイズの生成の原因を追求した。

**【実験】** 実験結果の一例の拡大画像を図 1 に示す。図の左側と右下に明るい FPN があり、右上に明るいランダムノイズが見える。わずかに見える、比較的暗い、いくつかのノイズはランダムノイズであることが確認されている。



ランダムノイズと FPN の外見は同じであり、どちらも極めて輝度の高い 1 画素ノイズである。FPN の出現率は中性子照射で極端に高いことが知られているが、ランダムノイズでは明らかではない。

図 2、図 3 に近畿大学原子炉で行った照射実験の結果を示す。実験では、冷却型 CCD カメラの角度を変えて照射した。図の下の方が炉心の方向であり、大部分の中性子およびガンマ線はこの方向から入射するものと考えられる。図のように

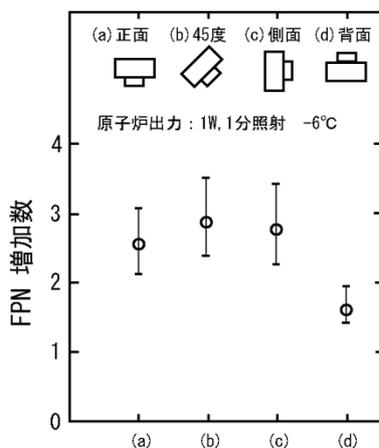


図 2 FPN の角度応答

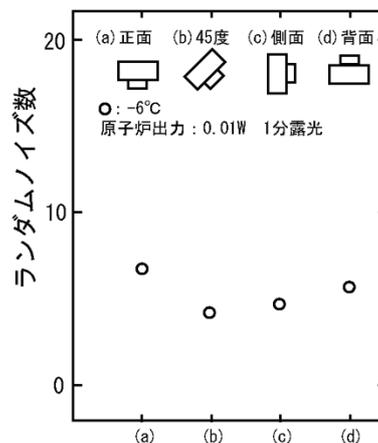


図 3 ランダムノイズの角度応答

FPN では背面照射の場合出現率が低くなっている。

これに対してランダムノイズでは明確な傾向を示していない。これは、ランダムノイズの大半がガンマ線由来であることを示していることを暗示している。

これまでの実験結果から見て、ランダムノイズが放射線誘起ノイズであることは確実であるが、どのようなプロセスで、あのような高輝度な応答を出力するかという点は謎であり、今後の研究課題である。

### 【本研究に関する研究発表】

- 1) 「冷却型 CCD の放射線誘起ノイズの解析」 谷口良一、奥田修一、岡本賢一、小川喜弘、辻本忠、第 9 回放射線による非破壊シンポジウム講演論文集 (2014 年 2 月、東京) pp19-24

RO 膜に関する研究(共同研究機関 株式会社関電工 平成 25 年 2 月～26 年 7 月)

大阪府立大学放射線研究センター 伊藤憲男

株式会社関電工 岡村浩樹 水道機工株式会社 岩崎宗城

4種(A,B,C,D)の逆浸透膜(RO膜)で放射性セシウム( $^{137}\text{Cs}$ )溶液(約1000Bq/kg)に対して除去率試験を行った。試験を行った膜の塩除去率は全て99%以上であるが、放射性物質で同等の除去率(99%以上)が得られるかの確認を本研究の目的とした。

結果としてA,B,D膜について放射性セシウムについての除去率が99%以上となった。低い運転圧(1MPa)でD膜が最も良い除去率(99.3%)となった(Fig.1)。このD膜については、約5000Bq/kg、約10000Bq/kgの放射性セシウムの試験水についても除去率試験を行い、目標とする99%以上の除去率を得た(Fig.2)。

放射性ヨウ素( $^{131}\text{I}$ )についてもD膜で放射能濃度1000Bq/kg,5000Bq/kg,10000Bq/kg、運転圧力1M,1.5M,2MPaで試験を行い、99%以上の除去率を得た(Fig.3)。

A膜についても放射性セシウム海水相当試験水で試験を行い、99%以上の除去率がえられた(Fig.4)。

課題として、膜への付着物として水道水由来または装置由来のものが認められ、それが除去率低下を引き起こす可能性、水洗した使用膜の残留放射能が示唆された。

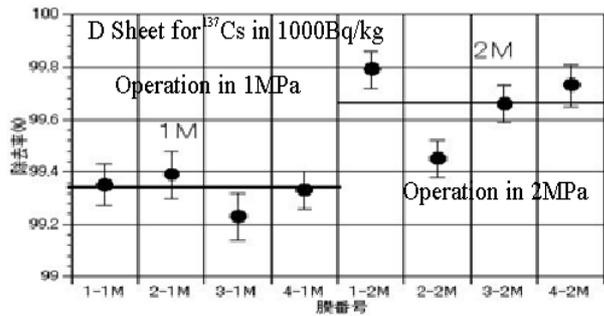


Fig.1 Removing efficiency of D sheet for 1MPa and 2MPa operation

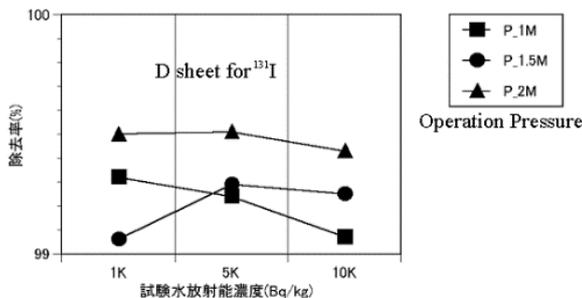


Fig.3 Removing efficiency of D sheet for  $^{131}\text{I}$ .

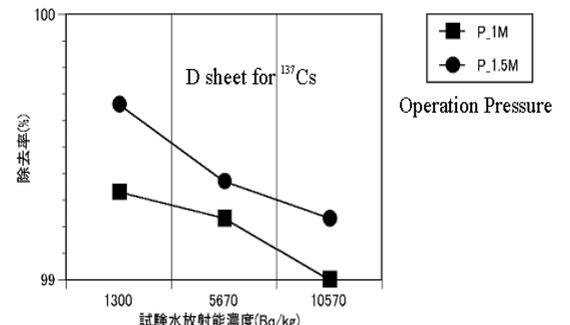


Fig.2 Change in removing efficiency of D sheet for radio activity ( $^{137}\text{Cs}$ ) concentration.

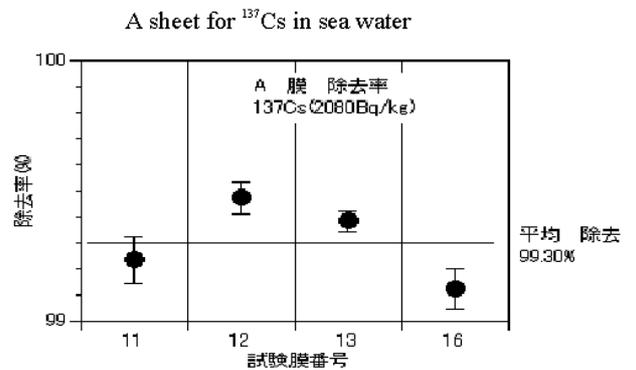


Fig.4 Removing efficiency of A sheet for  $^{137}\text{Cs}$  in sea water.

# 高強度コヒーレント遷移放射光源による吸収分光

大阪府立大学工学研究科 齊藤秀輝、奥田修一\*

京都大学原子炉実験所 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** バンチ長が短い高エネルギー電子から得られる強力な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。東北大学で初めて観測されて[1]以来、光源としての開発や利用研究が行われてきた。また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]。この光源を用いて行った吸収分光の研究の概要と、最近行っている比較的強い吸収がある液体を試料とした実験の結果を報告する。

**2. これまでの研究の概要** 液体、固体、無機物のナノ微粒子、植物など、さまざまな物質に対する吸収分光を行うとともに、ガンマ線照射の影響や光強度による変化を観測した。またコヒーレント放射が持つ、パルスピーク強度が極めて強いという特徴が、現象に与える影響を調べた。

**3. 実験方法** 光スペクトルの測定には、KURRI の高輝度ミリ波 THz 放射分光装置を利用した。アルミニウム箔から放射されたコヒーレント遷移放射を、光学窓を通して実験室へ輸送した。マーチンパレット型の干渉計を用い、直径 8 mm の光コリメータの位置に集束した。試料は、このコリメータのすぐ後方に設置した。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  $0.1 \text{ cm}^{-1}$  である。4-13  $\text{cm}^{-1}$  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ている。

**4. 最近行っている液体の吸収分光実験の結果** 水、食塩水とグルコース水溶液に対する光の透過率の波数依存性を測定した。NaCl はイオンとして水に溶けている。水と NaCl 水溶液では、同じ体積で水分量がほとんど同じである。このため、濃度を変化させても、水の透過率に近い結果になった。一方、高分子であるグルコースは、濃度が高くなるにつれて光の吸収が減少した。

**5. まとめと今後の課題** KURRI の Lバンド電子ライナックの CTR による種々の試料に対する吸収分光を行った。これらを総合的に解析することで、新しい知見が得られると期待される。また大阪府立大の S バンド電子ライナックで、強度依存性について調べるための時間分解分析実験を行う。

この研究の一部は、京都大学原子炉実験所の共同利用研究として、また平成 24-26 年度の KEK 大学等連携支援事業によって行われた。

## 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、その他報文、学会等報告)

- 1) 電子ビームからの高強度 THz コヒーレント放射による液体の吸収分光、齊藤秀輝、奥田修一、高橋俊晴、S. Nam、第 20 回 FEL と High Power Radiation 研究会 (2014.3.13-14、東京) .
- 2) 高強度 THz 半サイクル光が誘起する物質の変化、奥田修一、齊藤秀輝、高橋俊晴、S. Nam、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 24 年度放射線施設共同利用報告書 (2014 年 2 月) p.5.
- 3) 大阪府大放射線研究センターの加速器施設と研究の現状、奥田修一、宮丸広幸、谷口良一、小嶋崇夫、第 11 回日本加速器学会年会 (2014.8.9-11、青森) FSP008.
- 4) 電子ビームからの高強度コヒーレント遷移放射による液体の吸収分光、齊藤秀輝、奥田修一、高橋俊晴、S. Nam、第 11 回日本加速器学会年会 (2014.8.9-11、青森) SUP023.
- 5) 電子ビームからの高強度 THz コヒーレント放射による液体の吸収分光、齊藤秀輝、奥田修一、高橋俊晴、S. Nam、日本赤外線学会 (2014.11.27-28、堺) P16.
- 6) 高強度コヒーレント遷移放射光源による吸収分光、齊藤秀輝、奥田修一、高橋俊晴、S. Nam、第 21 回 FEL と High Power Radiation 研究会 (2014.12.11-12、吹田) .

# 放射線照射した原子炉材料表面のイオンビーム分析による評価

大阪府立大学工学研究科 倉橋慎太郎\*

大阪府立大学地域連携研究機構 奥田修一、宮丸広幸

(\*本研究に関する連絡先：電話（内線）4214、メール my106001@riast.osakafu-u.ac.jp)

**1. 緒言** 原子炉の燃料被覆管に用いられる材料は、高温・高圧に耐え、中性子吸収が少ない必要がある。現在多くの原子炉では Zr が用いられている。原子炉の運転に伴い、被覆管は放射線環境下で酸化し、生じた水素によってできた Zr 水素化物で比較的小さな割れが生じ、脆化の原因となる[1]。これまで材料の特性向上や腐食挙動改善の研究が進められてきたが、酸素や水素などの不純物の拡散機構は十分に解明されていない[2]。また、放射線環境下で、金属の表面状態の変化についての研究が必要である。不純物元素の情報が得られる優れた方法の一つであるイオンビームによる表面分析法を用いて表面状態を調べる研究はこれまでほとんど行われていない。本研究では、粒子線励起 X 線分析法(PIXE)およびラザフォード後方散乱分析法(RBS)を用いて、材料表面における不純物の情報を得ることでその挙動を解明し、放射線照射の影響を調べる。

**2. 実験** 理論的に基づいて後方散乱スペクトルを計算した。また、測定実験により、材料の表面状態を評価した。試料は、フルウチ化学株式会社製純度 99.2 % のジルコニウムで、 $9 \times 9 \times 1 \text{ mm}^3$  の板である。 $^{60}\text{Co}$  の  $\gamma$  線照射およびイオンビーム分析に関しては、それぞれ大阪府立大学の放射線施設[3]および 1 MeV 静電加速器を用いて行った。 $\gamma$  線照射の線量は、2.1 kGy で、イオンビーム分析のプローブ水素イオンは、入射エネルギー 950 keV、ビーム電流 0.7-0.8 nA であった。

**3. 結果・考察** 試料表面に厚さ 10  $\mu\text{m}$  の  $\text{ZrO}_2$  被膜が存在すると仮定した計算結果と、実験結果を、図 1 に示す。横軸は散乱粒子のエネルギー、縦軸は粒子数を表す。表面で散乱された粒子のエネルギーを境に、スペクトルは立ち上がっているが、検出器の分解能に対応する広がりが見られる。低エネルギーでのスペクトルが、計算に比べて低いのは、多重散乱の影響によると考えられる。また、実験結果ではスペクトル上に酸素の信号が確認できなかった。この原因として、表面に被膜が十分に形成されていないと考えられる。長時間測定して不純物元素の測定感度を高め、またプローブイオンを水素からヘリウムに変えて、よりエネルギー分解能を向上させて測定する予定である。また、今回の予備実験で  $\gamma$  線照射した材料のスペクトルには、変化が見出されなかった。より長時間の照射を行い、 $\gamma$  線の影響を調べる。また、材料の表面状態の情報についてさらに詳しい情報を得る。

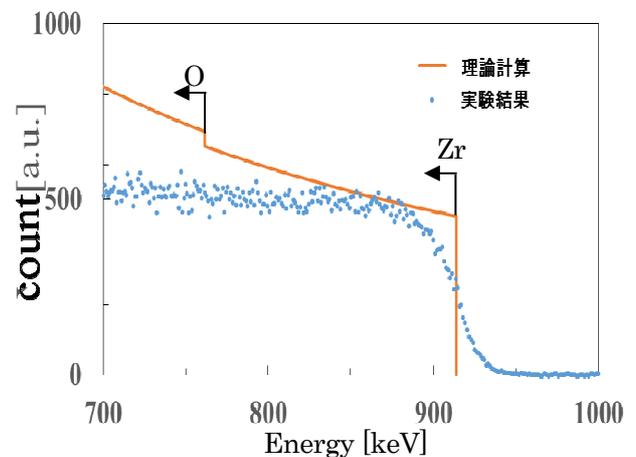


図 1 RBS の理論計算及び実験結果

この研究の一部は、平成 24-26 年度の KEK 大学等連携支援事業によって行われた。

参考文献

[1] Y. Udagawa, et al, Acta Materialia **58**, 3927 (2010).

[2] K. Takai, SCAS NEWS **30**, 3 (2009).

[3] 大阪府立大学地域連携研究機構放射線研究センター [http://www.riast.osakafu-u.ac.jp/facility/co60.html].

# Degradation of Jatropha Phorbol Esters in Aqueous Solution by Sunlight, UV and Gamma Irradiation

<sup>a</sup> Graduate School of Engineering, Osaka Prefecture University

Santi Kongmany<sup>a\*</sup>, Yasuki Okuno<sup>a</sup>

<sup>b</sup> Radiation Research Center, Osaka Prefecture University

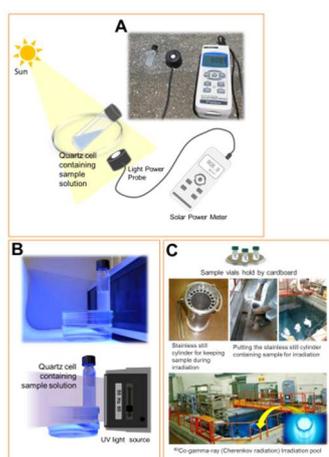
Shuichi Okuda<sup>b\*</sup>, Hiroto Matsuura<sup>b</sup>,

(\* 4227, okuda@riast.osakafu-u.ac.jp)

Masakazu Furuta<sup>b</sup>, Kiyoshi Imamura<sup>b</sup>,

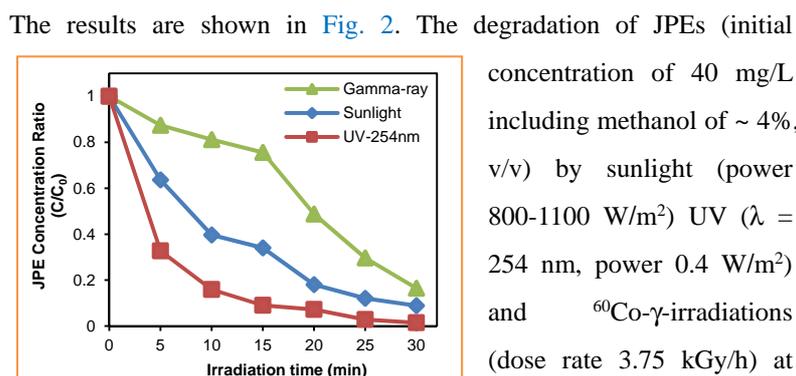
Yasuaki Maeda<sup>b</sup>

Non-edible seed oil of *Jatropha curcas* Linnaeus (hereinafter JCL) plant has gained worldwide popularity as promising alternative of vegetable oil for biodiesel production [1]. The JCL seed oil is non-edible due to the presence of phorbol esters (JPEs). To human, these compounds activate protein kinase C in improper way which leads to unwanted biological actions including skin irritancy, inflammation, tumor promotion, etc. [2]. As there are possibilities of releasing JPEs into environment [3], the study on the degradation of



**Fig. 1** Schematic drawing of experimental setup for irradiations of JPE solution with (A) sunlight, (B) UV and (C) gamma-ray.

these compounds in water by sunlight, UV and <sup>60</sup>Co- $\gamma$  irradiations has been carried out (Fig. 1).



**Fig. 2** Comparison of the degradation of JPEs in aqueous solution by sunlight, UV and <sup>60</sup>Co- $\gamma$  irradiation.

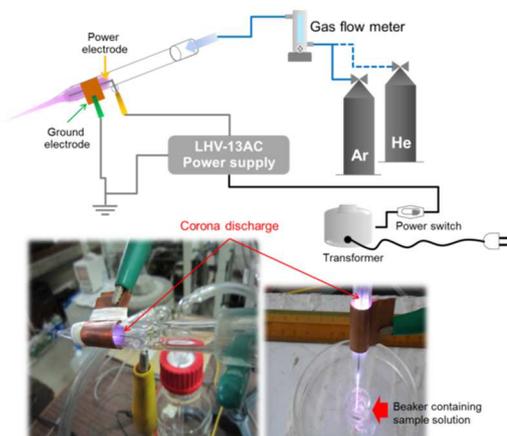
The results are shown in Fig. 2. The degradation of JPEs (initial concentration of 40 mg/L including methanol of ~ 4%, v/v) by sunlight (power 800-1100 W/m<sup>2</sup>) UV ( $\lambda = 254$  nm, power 0.4 W/m<sup>2</sup>) and <sup>60</sup>Co- $\gamma$ -irradiations (dose rate 3.75 kGy/h) at treatment times 0 – 30 min was observed.

At a specified treatment time for 30 min, the 91%,

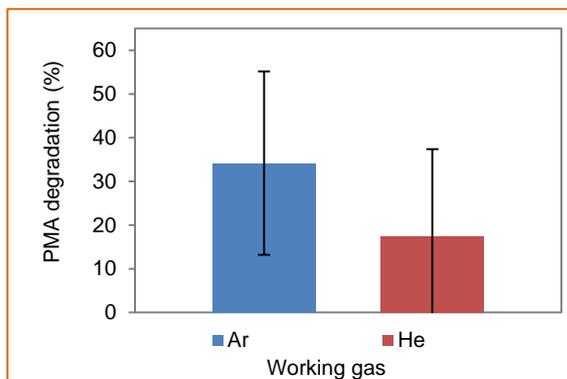
98% and 84% JPE degradations sunlight, UV and gamma-ray irradiations, respectively could be achieved. To completely degrade JPE, longer irradiation time is required. Either Sunlight or UV degrades JPEs by direct effect. In contrast, the degradation of JPEs by gamma irradiation would be through the indirect effect (action of  $\bullet$ OH radicals). Methanol present in the solution would scavenge  $\bullet$ OH radicals, leading to slow degradation of JPEs at irradiation times less than 15 min.

In previous report, the degradation of phorbol 12-myristate 13-acetate (PMA) in aqueous solution by dielectric barrier discharge (BDB) plasma was demonstrated. This work was further studied by using Corona-discharge-assisted plasma generated with argon (Ar) gas (Fig. 3) for improving degradation efficiency and reducing economic constraint in producing plasma source. As shown in Fig. 4, the PMA

degradation efficiency was ~ 35% at treatment time for 5 min. As compared to 16% PMA degradation by DBD plasma using helium (He) as working gas, the PMA degradation efficiency by new plasma source was increased 2 folds even though the treatment was conducted for 5 min.



**Fig. 3** Corona-discharge-assisted plasma source for irradiating the sample solution.



**Fig. 4** Experimental result on the plasma-induced degradation of PMA in aqueous solution by Corona-discharge-assisted plasma irradiation for 5 minutes using different working gases.

## References

- 1) G. Goel, et al., 2007, *International journal of toxicology* 26: 279–88. doi:10.1080/10915810701464641.
- 2) W. Haas, et al., 2002, *J. Nat. Prod.* 59: 1434–1440.
- 3) R. K. Devappa, et al., 2010, *Biomass and Bioenergy* 34: 1125–1133. doi:10.1016/j.biombioe.2010.03.001.

## Papers and Conferences

- 1) **S. Kongmany**, et al., 8<sup>th</sup> ICRP and 31<sup>st</sup> SPP, Fukuoka, Japan (2014).
- 2) **S. Kongmany**, et al., Technical Meeting on Plasma Science and Technology, IEE Japan, Osaka, (2014).
- 3) **S. Kongmany**, et al., Plasma Science and Technology (PST-14), pp. 49-53 (2014).
- 4) H. Matsuura, Y. Onishi, **S. Kongmany**, et al., *Plasma Medicine*, (accepted, 2014).

## 大気圧放電プラズマジェットの改良と照射試験

阪府大地域連携 松浦寛人\*、古田雅一

阪府大院工量子放射線工学分野 サンティコンメイ

(\*本研究に関する連絡先：電話（内線）4212、メール [matsu@me.osakafu-u.ac.jp](mailto: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>は安定したヘリウムプラズマを供給し、放電中に生成される電子と周辺ガスや溶液との相互作用で多数の活性ラジカルが生成される。そのため、熱を使わない溶液中の有害化学物質の分解や滅菌等のプラズマの生物学的応用についても研究を進めていた。しかし、所蔵の低周波電源ではピーク電圧が小さく、ヘリウム以外の動作ガスでの放電が不可能であった。針状電極の周りに生じるコロナ放電を積極的に用いるプラズマ放電装置を新たに試作しその特性を調べている。

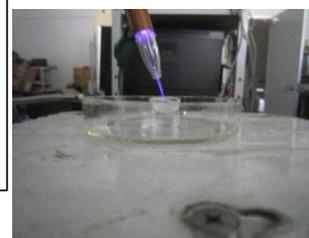
新しいプラズマジェット装置での放電の様子は下の写真(アルゴン(上)、ヘリウム(下))に示されている。アルゴンであっても 2kV 程度の低いピーク電圧でコロナ放電が始まり、3.5kV 程度の電圧で写真に見えるようなジェットが放出される。このプラズマはフォルボール水溶液や黒胡椒の種子への照射試験に使われ始めている。これまでのところ、古い誘電体バリア型装置に比べて放電電流が大きく、ラジカル生成が効率的に行われていることが確かめられているが、電極の温度が急速に増大するため、5 分以上の連続照射を試みるとしばしば、アーク放電に似た現象を呈し、場合によっては電極材料の熱破壊を起こした。リング状接地電極の温度を常時、熱電対でモニターし、ガス量を増やすか、いったん放電を停止して電極温度を 170 度以下に保つことで、照射試験を行っているが、電極形状の再検討も進めている。

### 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.
- 2) "Plasma application for Detoxification of Jatropha phorbol esters", S. Kongmany, H. Matsuura, M. Furuta, K. Imamura, Y. Maeda, S. Okuda, Journal of Physics: Conference Series, 441 (2013)012006.



Argon



Helium

### 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) 「[ジャトロファオイル処理のための大気圧アルゴンプラズマ源の開発](#)」, 松浦寛人、大西雄馬、コンメイ サンティ、奥田修一, 第 74 回応用物理学会学術講演会(2013, [同志社](#)) 19p-C2-3.
- 2) "[Calorimetric Estimation of Atmospheric Pressure Plasma Jet Heat flux onto Aqueous Solution Samples](#)", H. Matsuura, Y. Onishi, S. Kongmany, and S. Okuda, 9th Asian-European International Conference on Plasma Surface Engineering(2013, Jeju).

## CIGS 太陽電池の低エネルギー電子線照射効果の EL イメージングによる評価

宇宙航空研究開発機構 川北史朗、今泉充、艸分宏昌

大阪府立大学・放射線研究センター 奥田修一\*、小嶋崇夫、岡 喬

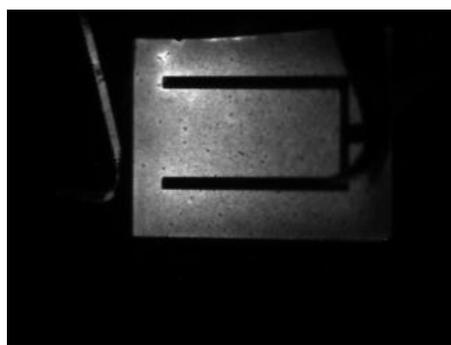
(\*本報告に関する連絡先：電話（内線）4227、メール okuda@riast.osakafu-u.ac.jp)

CIGS 太陽電池は、放射線耐性が高いことから、次世代の宇宙用太陽電池として注目されている。この CIGS 太陽電池の放射線特性に関して多くの研究が行われているが、そのメカニズムは解明されていない。そこで、我々は CIGS 中に選択的に欠陥を生成することができる 1 MeV 以下の電子線照射試験装置を用いた照射試験を行い、CIGS 結晶中に特定の欠陥を生成し、その欠陥が CIGS 太陽電池の性能に及ぼす影響を測定することで、性能を低下させる照射欠陥の起源の解明に向けた研究を行っている。

電子線照射前の EL 像は、粒状の模様が観測され、またその発光が局所的であることが分かる(図 1(a))。それに対して、電子線を照射すると、発光が太陽電池全体に広がり、粒状の模様が不明確になっているのが分かる(図 1(b))。また、EL 強度が電子線照射によって増加することを観測した。これは、電子線照射によって発生した欠陥が、真性の非発光再結合中心となる欠陥を補償することにより、発光性の再結合割合が増加しているものと考えられる。これまでに同エネルギーの電子線照射によって、キャリア濃度の増加および光電流電圧特性における Roll Over の改善が観測されている。ここで観測された EL 発光の増加も含めて、これらの現象は CIGS 太陽電池の光照射効果の現象と挙動が一致している。この光照射効果は、CIGS 中の準安定欠陥である VSe-VCu 複合欠陥によるものと言われている。



(a) 照射前



(b) 照射後

図 1 電子線照射による CIGS 太陽電池の EL 像の変化。測定温度は 120K。電子線の照射量は  $3 \times 10^{15} \text{ cm}^{-2}$ 。

### 本研究に関する研究発表（原著論文、その他報文、学会等報告）

1) S. Kawakita, M. Imaizumi, H. Kusawake, S. Okuda, S. Ishizuka and S. Niki, “Characterization of Electron-Induced Defects in Cu (In, Ga) Se<sub>2</sub> Thin-Film Solar Cells using Electroluminescence” MRS Spring Meeting (Sun Francisco) 2013.

# InGaP 太陽電池の低エネルギー電子線照射効果

阪府大院工量子放射線工学分野 奥野泰希\*

阪府大地域連携研究機構 奥田修一、小嶋崇夫、岡喬

JAXA 川北史朗、今泉充、艸分宏昌

(\*本研究に関する連絡先：電話（内線）4214、メール mx106003@riast.osakafu-u.ac.jp)

## 1、緒言

人工衛星などに用いられる宇宙太陽電池は、宇宙放射線の影響によって性能が劣化する。そのため太陽電池の劣化を予測し、人工衛星の運用時間を決定するために様々な太陽電池の照射試験がこれまでに行われてきた[1]。

3 接合型太陽電池は、高効率、軽量および高放射線耐性といった特徴を持っているため、現在宇宙太陽電池として用いられている[2]。またトップセルである InGaP セルは、特に放射線耐性が高いとされている。そのため現在の 3 接合型太陽電池の高放射線耐性を超える新しい太陽電池を提案するために、InGaP 太陽電池の放射線劣化機構と回復現象等の解明が行われてきた[3]。

InGaP 太陽電池は、多元素化合物であり、放射線照射による劣化機構は非常に複雑なものである。従来放射線耐性の照射試験として用いられる線源では、セル内部で複数種の欠陥が同時に生じるため欠陥評価は容易ではない。

InGaP 半導体の構成元素の電子線に対する NIEL 値を計算したところ、各元素のはじき出しエネルギー閾値がことなっていることが明らかになった[3]。そのため低エネルギー（600 keV 以下）電子線を用いることによって軽い元素からはじき出すことができる。本研究では、各元素のはじき出しエネルギー閾値を超えた電子線を照射したときに、太陽電池の性能に変化があることを調査することによって、InGaP 太陽電池の劣化機構を調査する。

## 2、実験

電子線源として大阪府立大学コッククロフトウォルトン型電子線加速器システムが用いられた。InGaP 太陽電池（10×10 mm<sup>2</sup>）へ、60、150 および 400 keV の電子線を照射した。フルーエンスは、3×10<sup>14</sup> - 3×10<sup>16</sup> cm<sup>-2</sup>であった。温度および気圧は、それぞれ室温および 1×10<sup>-6</sup> Torr 以下であった。AM0 ソーラーシミュレーターを用いて光電流電圧(LIV)特性の測定を行い、InGaP 太陽電池は評価された。この測定は、照射後すぐに試料台に設置したまま行われた。また電子線照射の他に大阪府立大学大規模  $\gamma$  線照射施設を用いた InGaP 太陽電池への  $\gamma$  線照射も行った。試料温度、線量率はそれぞれ室温および 3.7 kGy/h であった。

## 3、結果および考察

InGaP 太陽電池の各元素におけるはじき出しエネルギー閾値に対して電子線を照射した場合、I<sub>sc</sub> の保存率の低下に違いが見られた。P のはじき出しが生じるエネルギーの電子線を照射した場合、I<sub>sc</sub> は低下することが明らかになった。P に加えて In および Ga のはじき出しが生じるエネルギーの電子線をフルーエンスが 1×10<sup>15</sup> cm<sup>-2</sup> 以下で照射した場合、P のみのはじき出される

エネルギーの電子線を照射したときに比べて、 $I_{sc}$  の保存率の低下が抑制されることが明らかになった。また 60 keV の電子線を照射した場合、はじき出しが生じないと考えられているが、 $V_{oc}$  および  $P_{MAX}$  の劣化が確認された。また 60 keV の LIV 特性の変化は  $\gamma$  線照射時の変化と類似している。そのため、60 keV での劣化は、イオン化損傷によるものと考えられる。

#### 参考文献

- 1) M. Yamaguchi, Solar Energy Materials & Solar Cells 68, 31 (2001).
- 2) S. Sato, T. Ohshima and M. Imaizumi, JOURNAL OF APPLIED PHYSICS 105, 044504 (2009).
- 3) M. Imaizumi, C. Morioka<sup>1</sup>, T. Sumita<sup>1</sup>, T. Ohshima and S. Okuda, IEEE (PVSC) 37, 1579 (2011).

#### 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) EL による CIGS 太陽電池の低エネルギー電子線照射効果、川北史朗、今泉充、艸分宏昌、奥田修一、小嶋崇夫、岡喬、奥野泰希、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 24 年度放射線施設共同利用報告書（2014 年 2 月）p.10.
- 2) 宇宙用太陽電池の低エネルギー電子線照射実験、奥野泰希、奥田修一、小嶋崇夫、岡喬、川北史朗、今泉充、艸分宏昌、第 10 回日本加速器学会年会（名古屋、2013. 8. 3-5）SAP004.
- 3) 低エネルギー電子線照射が InGaP 太陽電池の電気特性へ及ぼす影響、奥野泰希、奥田修一、小嶋崇夫、岡喬、川北史朗、今泉充、艸分宏昌、第 11 回日本加速器学会年会（青森、2014. 8. 9-11）SAP127.
- 4) Electrical performance of the InGaP solar cell irradiated with low energy electron beams, 19th International Conference on Ternary and Multinary Compounds (2014, Sept. 1-5, Niigata, Japan).
- 5) 大阪府大の放射線照射施設と宇宙関連機器の試験、奥田修一、第 11 回宇宙環境シンポジウム（2014.12.10-11, 大阪）.
- 6) InGaP 太陽電池の放射線照射効果、奥野泰希、奥田修一、小嶋崇夫、岡喬、川北史朗、今泉充、艸分宏昌、第 11 回宇宙環境シンポジウム（2014.12.10-11, 大阪）
- 7) 日本関西支部 第 9 回若手研究者による研究発表会（福井）、口頭発表

## ZrCuAl バルク金属ガラスへの重イオン照射による硬度変化の組成依存性

大府大院工 石井康嗣、石山大志、岩瀬彰宏、堀史説\*

東北大金研 横山嘉彦

原子力機構 石川法人、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、その変化は内部構造や強度に対して極め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金属は組成比によっても単範囲局所構造に違いがあることが示唆されており、そのことが特性にも影響することなどが報告されている[2]。そこで、本研究では ZrCuAl バルク金属ガラスに対する重イオン照射効果に対する合金組成比の効果を明らかにするために、局所構造の重要な因子である自由体積と硬度のイオン照射による変化の相関に着目して、陽電子消滅法による自由体積およびビッカース硬度による照射前後の変化について測定した結果を報告する。

### 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  $Zr_xCu_{(90-x)}Al_{10}$  ( $x = 50, 55, 60, 65$ ) バルク金属ガラスを作成し、厚さ約 0.5 mm 程度のディスク状に切り出して用いた。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にて室温で 200 MeV の Xe イオン照射を行った。照射量は  $5 \times 10^{13}$  ions/cm<sup>2</sup> である。照射前後の各試料について X 線回折、マイクロビッカース硬さ、陽電子消滅寿命、同時係数ドップラー広がり測定を行った。

### 3. 結果と考察

X 線回折測定ではいずれの組成においても照射による結晶化は確認されなかったが、ビッカース硬さはいずれの試料についても表面付近で小さくなった。しかし、その変化は Zr50%の合金で最も大きく、Zr 濃度が高くなるにつれその変化量が小さくなる組成依存性が観察された。その際の自由体積の変化に対しても、同様の変化が陽電子寿命の変化として観察された。すなわち、照射による陽電子寿命値は全ての合金組成において減少し、Zr50%の合金で最も変化量が大きく 9 psec 値が減少し、Zr 濃度が高くなるにつれその変化量  $|\Delta \tau|$  は小さくなり Zr 組成 65% では殆ど変化しなかった。この陽電子寿命変化の傾向は構造緩和時の寿命変化と良い一致を示している。

以上の結果より、重イオン照射による硬度変化は自由体積の緩和的变化との関連性が示唆された。しかし、熱的な構造緩和の場合は僅かではあるが硬さは上昇するため、照射による自由体積の緩和効果は単純な熱的緩和ではなく、電子励起による原子の局所的励起状態-急冷効果であ

ると考えられる。これが組成依存性を有する事は、照射前の各組成での局所構造、すなわち局所的な原子組成比の違いによるものと考えられる。

#### 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
- 2) Y. Yokoyama, T. Yamasaki, P. K. Liaw and A. Inoue, Acta Mater. 56 (2008) 6097-6108.

#### 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) Koji Ishii, Taishi Ishiyama, Naoto Onodera, Akihiro Iwase, Yoshihiko Yokoyama and Fuminobu Hori “Surface hardness modification for ZrCuAl bulk glassy alloy by heavy ion irradiation” Joint Symposium on Advanced Materials and their Applications shanghai, Shanghai, China, August 2-3, 2013
- 2) 石井康嗣、小野寺直利、岩瀬彰宏、横山嘉彦、石川法人、斎藤勇一、堀史説、「ZrCuAl バルク金属ガラスへの Xe イオン照射による硬度と局所構造変化の組成依存性」日本金属学会第 153 回秋季講演大会（2013 年 9 月 17-19 日）
- 3) 石井康嗣、小野寺直利、岩瀬彰宏、横山嘉彦、石川法人、斎藤勇一、堀史説、「ZrCuAl バルク金属ガラスへの重イオン照射による硬さと局所構造変化の組成依存性」日本鉄鋼協会・日本金属学会関西支部 材料開発研究会 平成 24 年度第 4 回研究会（2013 年 12 月 25 日）
- 4) Koji Ishii, Taishi Ishiyama, Akihiro Iwase, Yoshihiko Yokoyama and Fuminobu Hori “Study of heavy ion irradiation induced softening in various compositional ZrCuAl bulk glassy alloys” 19th International Conference on Ion Beam Modification of Material, Leuven, Belgium, September 14-19, 2014

## 過共晶バルクアモルファス合金中の自由体積にみる 局所構造の組成依存性

大阪府立大工学研究科 石山大志、石井康嗣、岩瀬彰宏、堀史説\*  
東北大金研 横山嘉彦、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】

アモルファス合金の一種であるバルクアモルファス合金は、その優れた特性から実用材としても数多く用いられている[1]。しかし、現在、バルクアモルファス合金の原子レベルでの構造の解明には至っておらず、金属ガラスの本質を理解する上ではこの構造の解明が必要不可欠となってくる。近年の研究で、Zr 基バルク金属ガラス中に極微細クラスターを構成する局所構造が存在していることが確認されており[1]、この局所構造がバルクアモルファス合金の特性の由来であると考えられている。さらに、過共晶領域と亜共晶領域では熱膨張計数などの変化の仕方に違いがみられることから[2]、過共晶領域と亜共晶領域とでは異なる局所構造が存在していることが予測されている。本研究では、過共晶バルクアモルファス合金の自由体積周囲の構造の組成依存性について陽電子消滅測定を用いて評価した結果を報告する。

### 【実験方法】

傾角鋳造法により  $Zr_xCu_{90-x}Al_{10}$  ( $x=49, 48, 47, 46, 45$ ) 過共晶組成領域でのバルクアモルファス合金を作製した。試料サイズはロッド状試料(6mmφ×約 60mm)で、このロッドから厚さ 0.5mm に切り出したものを X 線回折(XRD)、密度測定、陽電子消滅寿命測定、同時計数ドップラー拡がり測定(CDB)を行った。

### 【結果と考察】

Fig. 1 に各組成の陽電子寿命を示す。この図からわかるように、過共晶組成バルク金属ガラスの陽電子寿命は組成に依らずほぼ一定であることが示された。これは共晶・亜共晶の組成領域でも同じ傾向を示し[3]、この合金系の自由体積の相対的な電子密度がほぼ同じであることを示している。次に同時計数ドップラー拡がり測定より求めた過共晶バルクアモルファス合金の Al 元素の電子密度分布に対する相対比率曲線を Fig. 2 に示す。この比率曲線のプロファイルは組成によらず同じであることに注目すると、過共晶バルクアモルファス合金の自由体積内の電子状態は組成に依らず同じであることがわかる。この結果は陽電子寿命測定の結果と良く一致しており、

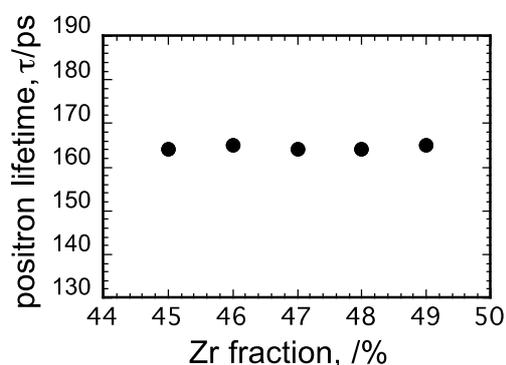


Fig. 1 過共晶バルク金属ガラスの陽電子寿命値

過共晶組成領域のバルクアモルファス合金中に存在する陽電子が検出している自由体積の構造は組成によらず同じであることが示された。このような自由体積周囲の構造に関する組成依存性は、亜共晶組成ではみられない [3]。すなわち、Zr 組成比の多い亜共晶組成では Zr 濃度が増加するにつれ CDB スペクトルも変化する（自由体積内の電子状態が変化する）。したがって自由体積周囲の構造に着目すると、亜共晶組成では Zr 濃度が増加するにつれ自由体積周囲の Zr 原子の存在比率が増加し、過共晶組成では Zr 濃度の変化によらず自由体積周囲の Zr 原子比率がほぼ一定であることが示された。以上の結果から、Zr 基のアモルファスにおける局所構造を形成すると考えられているナノ構造体に偏在している Zr 原子は、亜共晶組成では組成比に依存して濃度が変化するためナノ構造体自体も組成により変化するが、過共晶で形成されるナノ構造体は組成依存性を示さずに同じ構造であると考えられる。

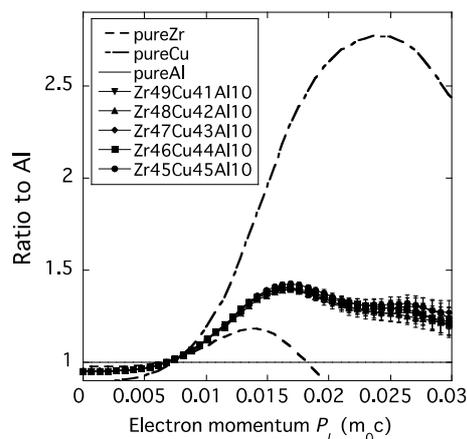


Fig. 2 過共晶バルク金属ガラスの Al に対する CDB 比率曲線

### 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., J. Non-Cryst. Solids 355(2009) 317-322
- [3] A. Ishii, et al., J. Phys. Conf. Ser., 225(2010) 012020

### 本研究に関する研究発表

- 1) 石山大志、石井康嗣、石井顕人、横山嘉彦、今野豊彦、岩瀬彰宏、堀史説「Zr-Cu-Al バルク金属ガラスにおける局所構造の組成依存性」材料物性談話会（2014年1月、京都）
- 2) T. Ishiyama, K. Ishii, Y. Yokoyama, T J Konno, A. Iwase and F. Hori, “Study of local structure in hyper-eutectic Zr-Cu-Al bulk glassy alloys by positron annihilation technique” The international workshop on Positron Studies on Defects 2014 (PSD-14) Kyoto, September, 2014

## 照射励起反応場における生成酸化種捕捉による 純銅ナノ微粒子の創製

阪府大工 堀達朗、永田光一郎、岩瀬彰宏、堀史説\*

京大原子炉 阪本雅昭

独立行政法人産総研 秋田知樹、田中真悟

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

【緒言】銅ナノ微粒子は資源として安価であり、単体金属としては銀に次ぐ導電率を持つため、銀ナノ微粒子に代わる導電性ナノインクや電気的材料等の幅広い分野での利用が期待されている。また可視光域の 560~580 nm 付近に局在表面プラズモン共鳴に起因するピークを持つことから、光学的な応用も期待できる材料であり、元素戦略的観点から特に重要な粒子の一つである。一般に銅微粒子は化学的手法などを用いて有機溶媒系で合成されているが、表面活性が高いため液相還元では酸化・再溶解が起こりやすく、ナノサイズレベルでの合成が非常に難しい。我々のグループではこれまで非平衡還元反応を励起促進する  $\gamma$  線照射還元法を用いて銅ナノ微粒子の合成を試み、純水に銅錯体と界面活性剤のみを添加した溶液において 10~20 ナノメートル程度の銅ナノ微粒子の生成に成功している[1]。しかし、この方法では酸化銅と純銅が同時に混在して生成しており、このうち酸化銅は導電性が低いため導電性材としては利用できない。水溶液中の  $\gamma$  線照射還元では、酸化性の OH ラジカルも発生するため還元と酸化が同時に起こり、銅と酸化銅が生成したと結論付けられた。そこで、ラジカル捕捉剤を溶液に添加して照射することにより、還元過程で発生する酸化性ラジカルによる銅原子の還元の阻害を抑制することで酸化銅を含まない純銅ナノ微粒子のみの合成ができると考え、ラジカル捕捉剤としてアルコール系の溶媒の添加効果について検討した。本研究では添加剤の種類を変えた水溶液に対して  $\gamma$  線照射還元で生成した粒子を抽出し、微細構造の評価などを行い添加剤の酸化抑制効果について検討した。

【実験方法】イオン交換水に  $\text{Cu}(\text{COOCH}_3)_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$  0.50 mM、界面活性剤 SDS 10 mM を調製した溶液にラジカル捕捉剤としてエチレングリコール (EG) もしくはジエチレングリコール (DEG) 8.5 vol% をそれぞれ添加した溶液 20 ml を調製後、10 分間 Ar ガスで脱気し、大阪府立大学放射線研究センターにて線量率 4.40 kGy/h、照射線量 20 kGy、照射時間 4 時間 33 分の  $\gamma$  線照射を行った。照射後に溶液の吸光度測定を行い、生成した粒子は回収して透過型電子顕微鏡 (TEM) による観察を行った。

【結果】 $\gamma$  線照射後の溶液は EG 及び DEG を添加した溶液ともに赤色を示しているが、明らかに色あいが異なっていた。TEM 像から生成した粒子はいずれもラジカル捕捉剤を添加していない場合に比べ分散性が向上していた。特に EG を添加した溶液では粒径が 30 nm を超える大きな粒子は見られず、生成した粒子は平均粒径 10 nm 以下であった(図 1)。また EG 添加の生成粒子は電子線回折から完全な fcc 構造の純銅のみが観察され、完全に酸化が抑制されていることがわかった(図 2)。吸光度スペクトルからもこのことは確認でき、両溶液とも可視光域の 570 nm 付近に銅ナノ微粒子の吸収ピークが見られたが、DEG を添加した溶液では 370 nm 付近に亜酸化銅ナノ微粒子の生成に対応するピーク確認されたのに対し、

EG を添加した溶液では酸化銅のピークはほぼ完全に消失していた。このような無酸化銅生成の励起反応場における還元プロセスについて考察する。溶媒にラジカル捕捉剤である DEG や EG など添加すると、 $\gamma$  線照射による水分子の分解によって発生するヒドロキシラジカル( $\cdot\text{OH}$ )によってヒドロキシ基が酸化される。これにより照射溶液中のヒドロキシラジカル濃度は減少するとともに、酸化されたラジカル捕捉剤も還元種として作用するため、還元種濃度の割合が急激に増加し、イオンの酸化が抑制される。一方、還元種とイオンの反応断面積が増加し、還元速度が速くなることで核生成密度が増加したため、分散性の良い銅ナノ微粒子が生成したと考えられる。

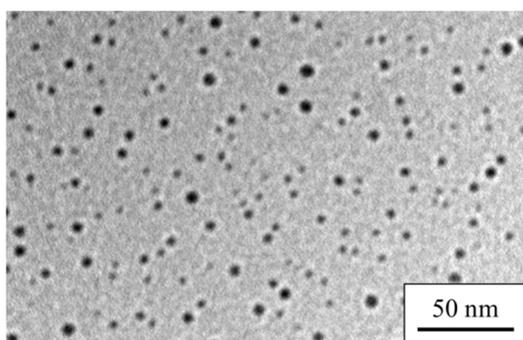


図 1  $\gamma$  線照射によって合成した銅ナノ微粒子の TEM 像(EG 添加)

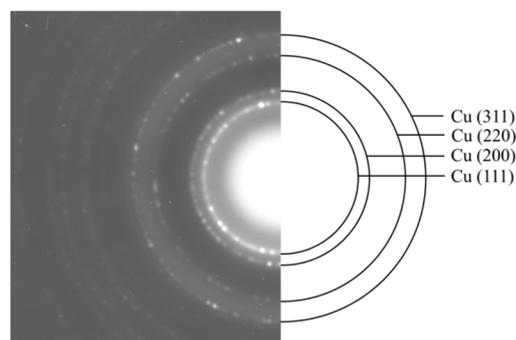


図 2 合成した粒子の電子線回折パターン (EG 添加)

#### 参考文献

[1] T. Hori, K.Nagata, A.Iwase, and F.Hori 2014 Jpn. J. Appl. Phys. 53 05FC05

#### 本研究に関する研究発表

##### 発表論文

1. T.Hori, K.Nagata, A.Iwase and F.Hori 2014 Jpn. J. Appl. Phys. 53 05FC05

##### 学会・研究会発表

1. 「照射励起反応場における銅イオンの還元及びナノ微粒子の生成」ナノ学会第 11 回大会 (2013 年 6 月東京工業大学) 堀達朗、永田光一郎、岩瀬彰宏、堀史説

2. “Synthesis of monometallic Cu nanoparticles using gamma-ray irradiation reduction method”, 2013 JSAP-MRS Joint Symposia (2013, Oct., Kyoto), T.Hori, K.Nagata, A.Iwase and F. Hori

3. 「銅イオン水溶液への  $\gamma$  線照射励起還元による銅ナノ粒子の生成」量子線理工学センター公開シンポジウム (2013 年 10 月京都) 堀達朗、永田光一郎、小林直暉、岩瀬彰宏、堀史説

4. 「 $\gamma$  線照射還元による銅ナノ微粒子生成におけるラジカル捕捉剤添加効果」日本金属学会 2014 年春季講演大会 (2014 年 3 月東京工業大学) 堀達朗、永田光一郎、小林直暉、岩瀬彰宏、堀史説、阪本雅昭、秋田知樹、田中真悟

# 窒素ガスで脱気された希薄な塩化物水溶液中での ガンマ線照射による酸化性化学種の生成と鉄の放射線腐食への影響

阪府大院工マテリアル工学分野 神田泰寛、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 hiro@mtr.osakafu-u.ac.jp)

## はじめに

一般の水溶液腐食では、窒素(N<sub>2</sub>)は希ガスのアルゴンやヘリウムと同じく不活性ガスとして溶液の脱気処理に使用されている。しかし、放射線照射下の純水中では、水のラジオリシスにともない、溶存の N<sub>2</sub> が NO<sub>3</sub><sup>-</sup>に酸化されることが報告<sup>1</sup>されている。NO<sub>3</sub><sup>-</sup>は、水のラジオリシスによって生成される H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> などと同じく、酸化剤として鉄の腐食を加速する可能性がある。また濃厚な塩化物水溶液中ではあるが<sup>2</sup>、同じくラジオリシスにともなって酸化性化学種である ClO<sub>3</sub><sup>-</sup>が生成すると報告もある。

本研究では、表題に関する検討の第1段階として、照射後の溶液中の酸化性酸素化合物ならびに H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> の濃度を分析した。あわせて、今後の検討の基礎資料とするため、N<sub>2</sub> ガスならびに Ar ガス、大気雰囲気下での純鉄の腐食速度の pH に依存性を測定した。

## 実験方法

試験液には 1 mM の NaCl 水溶液 (80 mL) を用いた。雰囲気ガスには通常純度の N<sub>2</sub> ガスを用い、脱酸素カラムを通してから、照射セルの気相部に連続導入した。腐食速度の測定では、同水溶液に所定量の HCl や NaOH を添加して pH を調整した試験液も用いた。試験液は、雰囲気ガスを直接吹き込みで予め飽和させてから実験に供した。酸化性化学種の分析を目的とした実験では、鉄試料は浸漬せず、窒素ガス雰囲気下において試験液に 32~34 kGy/h で 1 日間、ガンマ線を照射した。腐食速度の測定では、試験液に純鉄試料を浸漬し、N<sub>2</sub> ガスあるいは Ar ガス、大気雰囲気下において、いずれも 3 日間、照射をおこなった。

酸化性酸素化合物はイオンクロマトグラフィーで分析した。クロマトグラフにはメトローム社製 883 型を使用した。測定条件は次のとおりとした。(分離カラム: Metrohm Metrosep A supp4, 溶離液: 1.7 mM NaHCO<sub>3</sub> / 1.8 mM Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>, カラム温度: 40°C, 流量: 1.0 mL/min, 試料注入量: 20 μL) 電気伝導度の変化で測定したクロマトグラムから ClO<sub>3</sub><sup>-</sup>, ClO<sub>2</sub><sup>-</sup>, NO<sub>3</sub><sup>-</sup>, NO<sub>2</sub><sup>-</sup>, Br<sup>-</sup>, BrO<sub>3</sub><sup>-</sup>の濃度を分析した。上記の各イオンを、単独あるいは混合でそれぞれ 0.12 ならびに 0.15, 0.16, 0.22, 0.13, 0.079 mM 含む標準溶液を用意し、その原液および 10 倍ならびに 50 倍の希釈溶液のクロマトグラムを測定し、イオン種毎に 3 点の測定点からなる検量線を作成した。過酸化水素の測定には、よう素電量滴定法を原理とする迅速測定装置 (平沼産業製 HP-300 型) を用いた。腐食速度の測定の試料の材料や方法は前報<sup>3)</sup>と同様とした。

## 結果と考察

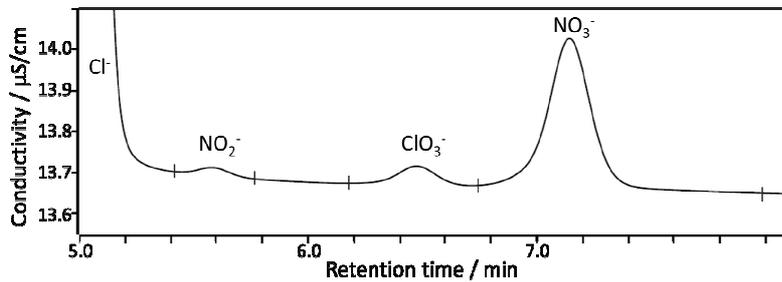


Fig.1 32 kGy/h × 1 日間のガンマ線照をおこなった 1 mM NaCl 溶液のクロマトグラムの主要部分

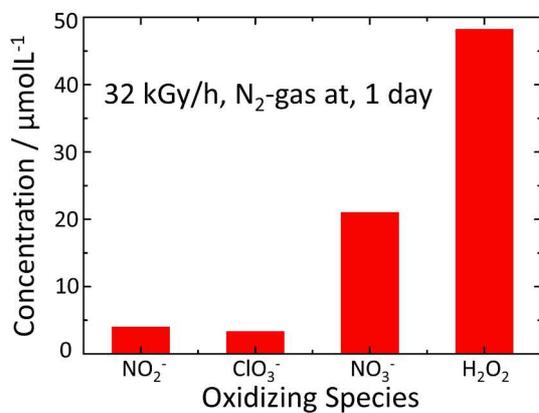


Fig.2 1 日間の 32 kGy/h のガンマ線照射によって窒素ガス雰囲気中の 1 mM NaCl 水溶液中に生成した酸化性化学種の種類と濃度

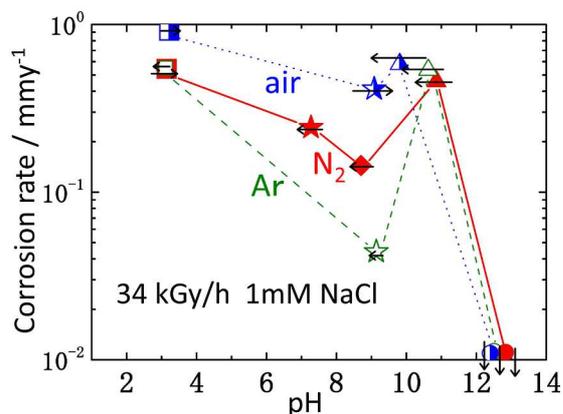


Fig.3 1 mM NaCl 溶液中での純鉄の放射線腐食速度の pH 依存性 (添加: ■; 1 mM HCl, ★; 添加なし, ▲; 1 mM NaOH, ◆; 0.1 mM NaOH, ●; 100 mM NaOH)

Fig.1 に照射後の試験液のクロマトグラムの一例を示す。Fig.2 に酸化性酸素化合物ならびに  $\text{H}_2\text{O}_2$  の分析結果を示す。クロマトグラムでは  $\text{NO}_2^-$  ならびに  $\text{NO}_3^-$ ,  $\text{ClO}_3^-$  に対応するピークが確認できた。 $\text{ClO}_2^-$  と  $\text{BrO}_3^-$  については確認できなかった。酸化性化学種の中では  $\text{H}_2\text{O}_2$  の濃度が最も高いが、 $\text{NO}_3^-$  も  $\text{H}_2\text{O}_2$  の約 40% の物質質量で含まれている。

Fig.3 に、 $\text{N}_2$  ガス雰囲気中の 1 mM NaCl 溶液中での純鉄の放射線腐食速度の測定結果を示す。比較のため測定した、Ar ガスならびに大気雰囲気での結果もあわせて示す。図に示したとおり、pH を調整していない試験液中での  $\text{N}_2$  ガス雰囲気での腐食速度は、同じく Ar ガス雰囲気の場合と比較し約 3 倍大きくなった。

本結果の範囲内では酸化性化学種の濃度と腐食速度との定量的な相関を検討するまでには至らなかったが、 $\text{N}_2$  ガス雰囲気下では、 $\text{H}_2\text{O}_2$  だけではなく、N や Cl の酸化性の酸素化合物が生成しており、それらによって鉄の腐食が加速されている可能性があることが確認できた。

## 参考文献

- 1) Y. Etoh, H. Karasawa, E. Ibe, S. Masahara, T. Yasuda, *J. Nucl. Sci. Technol.*, **24**, 672 (1987)
- 2) M. Kelm, E. Bohnert, *Nucl. Technol.*, **129**, 119 (2000)
- 3) 井手原龍一, 井上博之, 小嶋崇夫, 岩瀬 彰宏 第 59 回 材料と環境討論会講演集, Paper No. A-208 (2012)

# 電気化学法を用いた 塩化物水溶液中での鉄の放射線腐食機構の検討

阪府大院工マテリアル工学分野 井手原龍一、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 hiro@mtr.osakafu-u.ac.jp)

## 1. はじめに

我々の研究グループでは、原子炉の廃止措置の安全確保に資する基礎データを提供することを目的として、希薄な塩化物水溶液を中心に様々な環境条件下での鉄ならびに鋼電極の放射線照射下での腐食（放射線腐食）の速度や機構の検討をおこなってきた<sup>1)</sup>。本研究では、1 mM の NaCl を基本組成とするいくつかの pH 条件で、電気化学法を用いて鉄の放射線腐食への溶液 pH の影響について測定し、その機構について検討した。

## 2. 実験方法

試験極には、表面を#1500 のエメリー研磨で仕上げした鉄線(純度：>99.5%)を用いた。直径 1 mm、長さ 146 mm の鉄線を、直径が約 6 mm のコイル状電極とした。試験極の露出面積は前報<sup>2)</sup>と同様に 4.6 cm<sup>2</sup> とし、露出部以外はパイレックス製のガラス管で被覆した。

Fig.1 に電気化学測定系の概略図を示す。参照電極には内部溶液が飽和 KCl 水溶液の Ag/AgCl 電極を用い、対極は白金とした。Ag/AgCl 電極はガンマ線を照射しても電位に有意な変化は生じないことが報告されている<sup>2)</sup>。試験溶液は、1 mM NaCl を基本組成とし、1 mM あるいは 100 mM の NaOH を添加することで pH を調整した。試験溶液の容量は 80 mL とし、Ar ガスを吹き込み脱気した。試験セルならびに電極をセットしたステンレス鋼製の照射容器を、水深 5 m のプール底に設置された <sup>60</sup>Co 線源に差し込み、32~35 kGy/h のガンマ線照射下で電気化学測定をおこなった。また、測定中にも照射容器の気相部に Ar ガスを導入した。液温は 22 から 32 °C であった。

動電位分極測定は 3 日間のガンマ線照射後、照射下で自然電位から 240 mV 卑な電位から貴側へ 480 mV 掃引して測定した。掃引速度は 20 mV/min とした。また、分極測定前後に FRA で作用極と参照電極間の溶液抵抗を測定し、分極測定の前電位に含まれていた IR 損を補正した。交流インピーダンス測定は 3 日間のガンマ線照射後、照射下において自然電位上で周波数 20 kHz~10 mHz、振幅 10 mV で測定した。動電位分極ならびに交流インピーダンスのいずれもソーラトロン製 1280 型電気化学測定システムを用いて測定した。

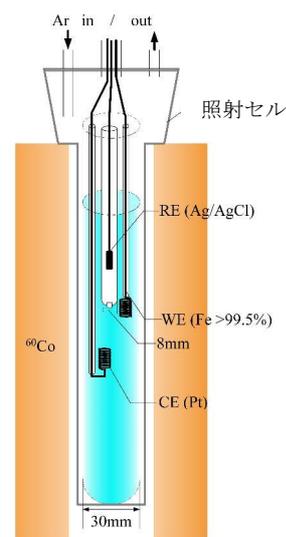


Fig.1 照射セルと電気化学測定系の概略図

### 3. 結果と考察

Fig.2 に動電位分極測定の結果を示す。ここで pH 8 は基本溶液のみ、pH 11 ならびに pH 13 はそれぞれ 1 mM、100 mM の NaOH を添加した溶液中での結果を示す。pH 13 においてはアノード側の分極で  $0.6 \mu\text{A cm}^{-2}$  程度の限界電流が測定されており、アノード反応律速であると考えられる。一方、pH 8 ならびに pH 11 において電位に対する依存性が見られるもののカソード側の分極で限界電流が測定されており、カソード反応律速であることが推察される。また、pH 8 と比べて pH 11 での限界電流値が大きいことから、ガンマ線によって生成された酸化性化学種の濃度が大きいと推察される。

Fig.3 に各 pH の試験液中で測定された鉄電極の交流インピーダンスを Cole-Cole プロットで示す。図中の右上に pH 11 での測定結果の拡大図を示す。pH 13 では非常に大きな容量性の半円が見られる。Fig.2 の結果より pH 13 においてはアノード反応律速であると考えられることから、鉄の保護皮膜の形成によって腐食が抑制されていると考えられる。一方、pH 8 ならびに pH 11 では、低周波数領域に実数方向へ伸延された応答が確認できる。動電位分極測定の結果から、これはガンマ線によって生成された酸化性化学種の拡散によるワールグインピーダンスと考えられる。また、それぞれ 10 倍程度スケールが異なるものの、偏平な半円を描く応答が 1 つ確認できる。同様な応答を示すことから、腐食速度は大きく異なるが同様の腐食機構で腐食が進行していると推察される。

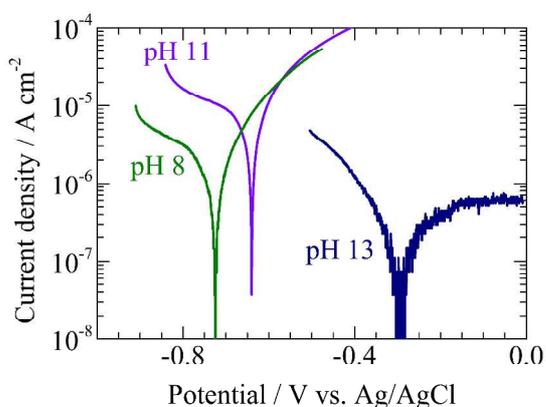


Fig.2 各溶液 pH の 1 mM NaCl 中での 35 kGy/h のガンマ線照射下における鉄電極の分極曲線

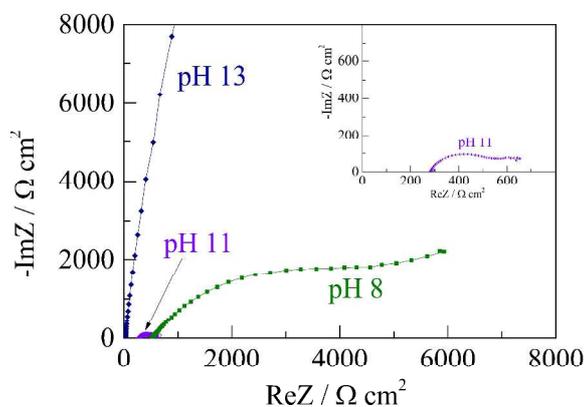


Fig.3 各溶液 pH の 1 mM NaCl 中での 32 kGy/h のガンマ線照射下における鉄電極の Cole-Cole プロット

#### 参考文献

- 1) 井手原龍一, 井上博之, 小嶋崇夫, 岩瀬彰宏, 第 60 回材料と環境討論会講演集, A-202 (2013)
- 2) M.J. Danielson, Corros. Sci., 45(6), 51 (1995).

#### 本研究に関する研究発表

- (1) 井上博之, 井手原龍一, 小嶋崇夫, 岩瀬彰宏, 日本原子力学会 2013 春の学会, 大阪(2013/3)
- (2) 井手原龍一, 井上博之, 小嶋崇夫, 岩瀬彰宏, 材料と環境 2013, A-307, 東京(2013/5)
- (3) 井手原龍一, 井上博之, 小嶋崇夫, 岩瀬彰宏, 第 60 回材料と環境討論会, A-202, 福島(2013/9)

## Propylaminopentane 関連化合物の hERG チャンネルへの親和性

エフピー株式会社 高畑和恵、卜部和則、西村哲也、片山未佳、松本麻依、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)

薬物による QT 間隔の延長は Torsades de Pointes (TdP) という致死性の心室頻拍の原因となる。薬物の安全性および医薬品開発後期における開発中止リスクの評価などの観点から、医薬品開発の早期段階での心室再分極過程に対するリスク評価を実施することは重要であると考えられている。QT 間隔延長を誘発する薬剤の多くは、遅延整流性 K<sup>+</sup>電流 (IKr) チャンネルの  $\alpha$  サブユニットである hERG チャンネルを阻害し、活動電位の再分極を抑制する。そのため、医薬品開発時には、薬物の QT 間隔への影響を評価する *in vitro* 評価系として、hERG チャンネル発現細胞を用いた電気生理学的評価が安全性薬理試験として実施されている。近年、hERG 発現細胞株を用いたリガンド結合実験による評価が、一般的に実施される電気生理学的評価と高い相関性を示すことが報告され<sup>1)</sup>、創薬スクリーニング初期段階での化合物の QT 間隔延長のリスク評価に用いられている。さらに、hERG 発現細胞株を用いたリガンド結合実験による評価は、化合物の hERG チャンネルへの親和性に関する構造活性相関の研究に有用なツールであると考えられる。本研究では、hERG チャンネル阻害活性の評価系を確立し、propylaminopentane 関連化合物の安全性および構造活性相関に関する評価を行うことを目的とする。

hERG チャンネルの基質タリウムの細胞内への透過性を利用した蛍光測定法により、作出した hERG 安定高発現 HEK293 細胞株における hERG チャンネルが機能的に発現していることを確認した。hERG 安定高発現細胞株において、<sup>3</sup>H]dofetilide を用いた飽和結合実験を行ったところ、解離定数 (Kd) が 20 nM であり、既報とほぼ一致した値が得られた。評価系の妥当性を判断するため、既報にて hERG 阻害定数 (Ki) が明らかにされている 6 種の化合物 (Haloperidol, E-4031, Cisapride, Risperidone, Fluoxetine, Imipramine) の Ki 値は、既報の値と比較し、約 3 倍程度高値であったが、相対的な阻害強度は既報とほぼ一致していた。このことから、現在の評価系は定性的な評価系として利用可能と考えられた。

現在、propylaminopentane 関連化合物の安全性および構造活性相関を明らかにするため、種々の propylaminopentane 関連化合物について評価中である。

### 参考文献

- 1) Diaz GJ, Daniell K, Leitz ST, Martin RL, Su Z, McDermott JS, Cox BF, Gintant GA. The [<sup>3</sup>H]dofetilide binding assay is a predictive screening tool for hERG blockade and proarrhythmia: Comparison of intact cell and membrane preparations and effects of altering [K<sup>+</sup>]<sub>o</sub>. J Pharmacol Toxicol Methods. 2004;50(3):187-99.

## 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 高畑和恵、卜部和則、西村哲也、片山未佳、松本麻依、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)

膜貫通蛋白質であるモノアミントランスポーター (MAT) による、シナプス間隙から神経終末への急速なモノアミン再取り込みは、シナプス前および後受容体活性化の持続時間の制御、周辺の他のシナプスへの拡散の制限、また、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。

パーキンソン病治療薬のセレギリン塩酸塩は、B 型モノアミン酸化酵素阻害作用によるドパミン (DA) 代謝抑制により抗パーキンソン作用を発現すると考えられるが、弱い DA 再取り込み阻害作用を有することが報告されている<sup>1)</sup>。パーキンソン病患者では黒質線条体 DA 神経系の変性・脱落が生じており、DA 代謝抑制と共に DA 再取り込み阻害作用を有する化合物は、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、DA 前駆物質 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、パーキンソン病では、運動症状発現前から、うつ症状など様々な精神疾患が高率で併存することが明らかになっている。多くの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精神症状に対する効果が期待できる。本研究では、MAT への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。

hMAT 安定発現 HEK293 細胞あるいはラット脳シナプトソームにおいて、セロトニントランスポーター (SERT) 阻害薬 [<sup>3</sup>H]paroxetine およびノルエピネフrintransポーター (NET) 阻害薬 [<sup>3</sup>H]nisoxetine を用いた競合結合実験、また、 [<sup>3</sup>H] セロトニン (5-HT) および [<sup>3</sup>H]ノルエピネフリン (NE) を用いたモノアミン取り込み実験を行った。SERT 阻害薬 fluoxetine では、hSERT 安定発現細胞における 5-HT 取り込み阻害活性 IC<sub>50</sub> 値は、ラット脳シナプトソームにおける IC<sub>50</sub> 値と約 7 倍乖離していた。同様に、NET 阻害薬 atomoxetine においても、hNET 安定発現細胞とラット脳シナプトソームにおける IC<sub>50</sub> 値は約 38 倍乖離しており、SERT および NET 機能において種差が認められた。また、fluoxetine および atomoxetine では、hSERT および hNET に対する阻害定数 (K<sub>i</sub>) と IC<sub>50</sub> 値とは良く一致していたことから、fluoxetine および atomoxetine の hSERT および hNET 結合サイトは、基質の結合サイトと一致することが示唆された。

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.

## DNA 損傷に応答するレポーターアッセイ酵母の作製

阪府大理(放射線セ) 山本幸希、芳川智哉、原島小夜子、川西優喜、八木孝司\*  
(\*本研究に関する連絡先：電話 (内線) 4216、メール yagi-t@riast.osakafu-u.ac.jp)

環境中の DNA 損傷物質は、細胞内で DNA 損傷応答遺伝子の発現を誘導する。本研究では、DNA 損傷物質を簡便に検出するために、出芽酵母 DNA 損傷応答遺伝子 HUG1,RNR2 のプロモーター領域の下流にレポーター遺伝子 lacZ を繋いだプラスミドを構築し、これを酵母に導入することで、DNA 損傷応答レポーターアッセイ酵母を樹立した。

DNA アルキル化剤メチルメタンサルフォネート (MMS)、トポイソメラーゼ阻害剤カンプトテシン (CMPT)、リボヌクレオチドレダクターゼ阻害剤ヒドロキシ尿素 (HU)、紫外線、 $\gamma$ 線 など様々な変異原を用いてアッセイをおこなった。なお $\gamma$ 線は地域連携研究機構  $^{60}\text{Co}$  照射施設で照射した。その結果、これらに対し、いずれのアッセイ酵母も濃度依存的な応答性を示した。HUG1 発現酵母は MMS、紫外線に、RNR2 発現酵母は CMPT, HU,  $\gamma$ 線にそれぞれ高い応答性を示した。また、薬剤透過性変異株を用いてアッセイ酵母の高感度化も図った。

このアッセイ系で DNA 損傷物質を簡便に検出することが可能であり、環境試料などに対する一次スクリーニング系としての有用性が期待できる。

### 本研究に関する研究発表

- 1) DNA 損傷応答レポーターアッセイ酵母の樹立, 山本幸希, 芳川智哉, 原島小夜子, 川西優喜, 八木孝司, 変異機構研究会・第 27 回夏の学校, 2014 年 6 月 21-22 日, 小牧市
- 2) HUG1 および RNR2 遺伝子の発現誘導を指標とした DNA 損傷応答レポーターアッセイ酵母の樹立, 山本幸希, 芳川智哉, 原島小夜子, 川西優喜, 八木孝司, 日本環境変異原学会第 43 回大会, 2014 年 12 月 4-5 日, 東京

## オオミジンコの脱皮ホルモン・幼若ホルモン受容体を発現する 内分泌攪乱物質検出酵母レポーターアッセイ系の確立

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

### 【研究背景】

内分泌攪乱物質は、生体内に存在するホルモンなどの生理活性物質と類似した作用を示し、核内受容体を介した遺伝子発現に異常を引き起こす。甲殻類であるオオミジンコは環境指標生物として世界中で水溶性化学物質の安全性試験に用いられており、繁殖への影響を指標として被験物質の毒性が調査されている。また、バイオアッセイ法を利用した環境管理手法 WET は、原因物質を同定せずに排水中の毒性の有無を総合的に評価する方法として注目されており、その試験生物の一つとしてもオオミジンコが用いられている。

オオミジンコの増殖は昆虫と同様に脱皮ホルモン Ecdysone と幼若ホルモン(JH)及びその受容体である EcR や MET を介して調節されている。通常では単為生殖により増殖するが、生存環境の悪化により単為生殖から有性生殖へ移行して、オス仔虫が出現する。Ecdysone は胚発生や脱皮に重要な役割を果たしており、Ecdysone 類縁物質の処理で脱皮阻害が生じて成熟前に死に至らせることから、EcR を介した遺伝子発現の異常は産仔数に影響すると考えられる。また、オスの誘導は JH 様物質によっても誘導されることが知られている。JH や Ecdysone 活性を持つ人工化合物は殺虫成分として農薬に使用され、環境中に排出されていることから、これらの物質を検出するための簡便・迅速な検出系を確立し、オオミジンコに対する影響を把握する必要がある。そこで、本発表ではオオミジンコの EcR、MET を発現する遺伝子組み換え酵母株を樹立し、環境試料などからリガンド活性を検出するための酵母レポーターアッセイ系の確立を目的とした研究の現状について述べる。

### 【研究計画】

オオミジンコの EcR、EcR とヘテロダイマーを形成する USP、転写共役因子である SRC の遺伝子を PCR で増幅し、EcR-USP、SRC を酵母細胞内で発現するプラスミドを作製する。EcR 応答配列を上流に持つ lacZ レポータープラスミドを、SRC 発現プラスミドとともに野生酵母株に導入し、さらに EcR-USP 発現プラスミドを相同組み換えで酵母ゲノムに組み込むことにより EcR-USP 発現レポーターアッセイ酵母を作製する。同様に、MET 発現レポーターアッセイ酵母も作製する。

これらの酵母株を用いて既知リガンドに対する応答性を調べて有用性の評価を行い、当研究室ですでに樹立されている昆虫の EcR-USP、及び MET 発現レポーターアッセイ酵母とリガンド応答性を比較する。さらに環境試料をアッセイすることでリガンド様物質の検出、分析を試みる。また、酵母株のリガンド応答性を上昇させるために、細胞壁マンナンタンパク質遺伝子や薬剤排出ポンプ遺伝子を欠損させ、薬剤透過性が向上したアッセイ酵母株を樹立し、レポーターアッセイ

イ系の高感度化を試みる。

**【期待される研究成果】**

オオミジンコに対する内分泌攪乱物質として脱皮ホルモン様物質や幼若ホルモン様物質を検出できる酵母レポーターアッセイ系を用いて環境試料のアッセイを行う。陽性の場合には高速液体クロマトグラフィー(HPLC)などの機器分析と併用することにより、原因物質の詳細な分析が可能となり、一次スクリーニング系として有用であると考えられる。また、今後日本でも導入が検討されている WET 法における影響物質同定の一助となることも期待できる。

参考文献

- 1) Hitoshi Miyakawa et al.: A mutation in the receptor Methoprene-tolerant alters juvenile hormone response in insects and crustaceans : Nature communications (2013) 4 1856
- 2) Yasuhiko Kato et al.: Cloning and characterization of the ecdysone receptor and ultraspiracle protein from the water flea *Daphnia magna*. : Journal of Endocrinology (2007) 193,183-194

### 3-ニトロベンズアントロン由来付加体をもつ DNA の損傷乗り越え複製に伴う突然変異誘発の解析

大阪府立大・理学部 生物 金山尚裕、川西優喜\*、八木孝司  
神奈川工大・工学部 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)

細胞には DNA 損傷に効率的に対処する機構を備えており、その一つに損傷乗り越え合成 (TLS) が存在する。TLS は誤りがちな DNA 複製機構であるため突然変異を誘発しやすい。3-ニトロベンズアントロン (3-NBA) は都市大気中に存在し、発がん性を示す変異原性多環芳香族炭化水素であり、体内に取り込まれ代謝活性化された後 DNA 付加体を形成する。3-NBA 由来 DNA 付加体は、微生物を用いた Ames 試験ではフレームシフト型突然変異を高頻度に誘発することが知られている(1)。しかし 3-NBA 由来 DNA 付加体を 5'-CGT-3'中(下線を付した G)に持つ部位特異的修飾したプラスミドをヒト細胞内で複製させた当研究室のこれまでの研究では、TLS に際して塩基置換型変異が卓越することが分かっている(2)。この違いは突然変異解析の標的塩基配列が Ames 試験とヒト細胞実験では突然変異解析の標的塩基配列が異なることに由来する可能性がある。

今回我々はフレームシフト型突然変異検出を目的にした部位特異的修飾プラスミドを新たに構築した。これまでの研究で、微生物では多環芳香族-DNA 付加体が 5'-GGG-3'中に (下線を付した G)あると TLS に際して GGG→GG の 1 塩基欠失(フレームシフト)型突然変異が高頻度におこることが知られている(3)。そこで 3-NBA 由来 DNA 付加体を持つ 5'-GGG-3'配列を *LacZ* 遺伝子に組み込み、1 塩基欠失するとアミノ酸の読み枠が正しく機能する *LacZ* 蛋白質を産生するプラスミドを作製した。この部位特異的修飾プラスミドをヒト細胞内で複製し、娘プラスミドを大腸菌に導入、青白コロニー比でフレームシフト型突然変異率を評価する実験系を樹立した(Fig.1)。その結果、意外なことに付加体が 5'-GGG-3'中にある場合は 5'-CGT-3'の場合と比べ、フレームシフト型突然変異頻度率は低下した。ヒトでは 5'-GGG-3'配列は必ずしもフレームシフトを誘発しやすい配列ではないことがわかった。一方、TLS 率は上昇したことから、3-NBA 由来 DNA 付加体では 5'-GGG-3'配列は TLS されやすい配列であることがわかった。このように標的塩基配列は TLS 時の突然変異頻度に影響を与えることが示唆された。

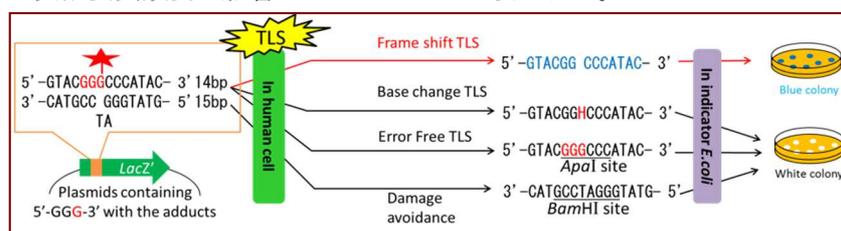


Fig.1 3-NBA 由来付加体部位特異的修飾プラスミドを用いた TLS に伴う突然変異の解析の概略

#### 参考文献

- (1) T.Enya, H.Suzuki, T.Watanabe, T.Hirayama, Y.Hisamatsu (1997) Environ. Sci. Technol. **31**, 2772-2776
- (2) M.Kawanishi, Y.Fujikawa, H.Ishii, H.Nishida, Y.Higashigaki, T.Kanno, T.Matsuda, T.Takamura, T.Yagi (2013) Mutat. Res. **15**, 93-100
- (3) R.L.Napolitano, I.B.Lambert, R.P.P.Fuchs (1994) Biochemistry, **33**, 1311-1315

## 放射線による DNA 二重鎖切断の定量的計測と理論モデルの構築

阪府大地域連携研究機構 森 利明\*

京都大学院理 下林俊典

同志社大生命医科学 吉川研一

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

放射線照射によって生じる DNA の二重鎖切断 (DSB) は生命にとって重篤な損傷である。しかし DSB の生成を定量的に説明する理論モデルは提案されてこなかった。DNA の濃度や長さなどの基本的なパラメーターが研究者によってまちまちであり、定量的なデータが蓄積されてこなかったことが理論的なアプローチを困難にしていた理由の一つである。そこで我々は DSB の生成を高感度で検出できる単一分子観察手法を活用して、 $\gamma$  線照射によってゲノムサイズの DNA (166 kbp) に生じた DSB の線量と DNA 濃度依存性を調べることによって理論モデルの構築をこころみた。考察にあたり一定の塩基対に生じる DSB の個数  $P_0$  を(1) 式のように定義した。 $\eta$  は塩基間の距離で 3.4 Å、 $L(I)$  は線量  $I$  のときの DNA の切断数である。

$$P_0 = \frac{L(0)/L(I) - 1}{L(0)} \cdot \eta. \quad \text{----- (1)}$$

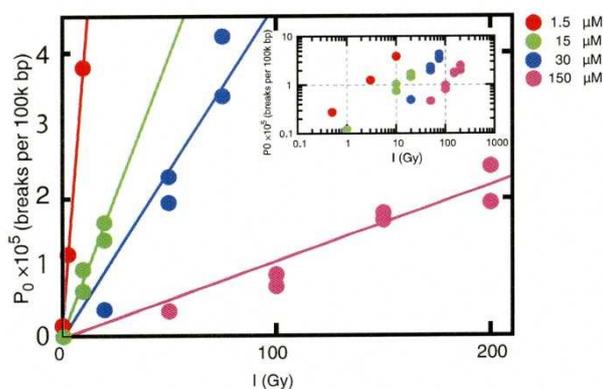


Fig. 1. Number of DSBs per base pair,  $P_0$ , as a function of radiation dose,  $I$ . The concentration given are base-pair concentrations of T4 phage DNA.

依存することを考慮した新しいモデルを提案した。

### 本研究に関する研究発表（原著論文）

Probability of double-strand breaks in genome-sized DNA by  $\gamma$ -ray decreases markedly as the DNA concentration increases, Shunsuke F. Shimobayashi, Takafumi Iwaki, Toshiaki Mori, Kenichi Yoshikawa, *J. Chem. Phys.*, **138**, 174907 /1-5 (2013).

DNA の切断数を測定したところ、DNA 濃度が 1.5~300  $\mu\text{M}$  の範囲では  $P_0$  は照射線量  $I$  に依存して図 1 のように直線的に変化することが明らかになった。

この結果にもとづいて 1 Gy 当たりの DSB 生成量 ( $P_1$ ) を推定したところ DNA の濃度が少ないと  $P_1$  は DNA 濃度に関係なくほぼ一定だが、DNA 濃度が増加するにつれて  $P_1$  は DNA 濃度に逆比例して減少することが分かった。

放射線による DNA 損傷は直接作用と間接作用によって引き起こされるが DNA 濃度が希薄な場合、放射線のエネルギーはほとんどが溶媒に吸収される。そこで放射線による DNA 損傷が DNA の濃度

## 網目状ナイロン繊維を用いた神経幹細胞/前駆細胞の培養

阪府大院理 生物科学専攻 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](mailto:hara@b.s.osakafu-u.ac.jp))

### 【緒言】

神経幹細胞/前駆細胞 (NSPC) は未分化状態を維持しての自己複製能と、ニューロン、アストロサイト、オリゴデンドロサイトへと分化できる多分化能を併せ持つ細胞であり、中枢神経疾患治療や薬効・毒性試験への応用が期待されている。NSPC の選択的培養法として、増殖因子を含む無血清培地で *neurosphere* と呼ばれる細胞集塊を形成、増殖させる浮遊培養法が広く用いられている。この培養法は *neurosphere* どうしの接着や融合による巨大化を防ぐために頻繁な継代を必要とする。細胞集塊を材料に接着させた状態で未分化状態を維持して培養できれば NSPC 培養の増殖効率の向上が期待できる。本研究ではナイロン繊維表面にグラフト重合によりポリアクリル酸 (PAA) の導入を行い、NSPC の接着性や増殖条件の検討を行った。

### 【方法】

窒素封入瓶中で 6,6-ナイロン (PA66) 繊維に 0-60 kGy の  $^{60}\text{Co}$  ガンマ線を照射した後、0-100% (v/v) アクリル酸水溶液に 25°C で 24 時間浸し、PA66 繊維表面に PAA をグラフト重合した。PAA 重合前後の PA66 繊維の乾燥重量から重量増加の割合 (グラフト率) を求め、さらにフーリエ変換赤外分光 (FT-IR (ATR 法)) スペクトルを測定した。胎生 14 日目の ICR マウス大脳皮質から採取した NSPC を使い、ポリマー (PAA、ポリアクリルアミド (PAAm)、ポリビニルピロリドン (PVP)) 重合 PA66 繊維上に播種し、無血清培地で培養し、顕微鏡で観察して接着性を調べた。また、播種後 14 日目の PA66 繊維へ接着した細胞の凍結切片を作製し、蛍光免疫染色したサンプルを蛍光顕微鏡で観察して細胞の分化状態を調べた。

### 【結果および考察】

60% (v/v) アクリル酸水溶液を用いた条件で最も高いグラフト率を得ることができた。また、FT-IR スペクトルにおいてカルボキシル基に起因するピークが観察され、PA66 繊維への PAA の導入が確認できた。さらに、PAAm、PVP をグラフト重合した PA66 繊維も含めて接着細胞の形態観察を行ったところ、PAA をグラフト重合した条件だけ細胞集塊を形成しない細胞接着が観察された。また、培養した細胞の蛍光免疫染色の結果、グラフト重合条件間で未分化な NSPC から各分化細胞への分化状態の大きな違いは観察されなかった。

### 本研究に関する研究発表

- 1) ポリアクリル酸修飾ナイロン繊維に対する神経幹細胞/前駆細胞の接着性の評価、日本バイオマテリアル学会、第9回関西若手研究発表会 (2014/8/5 京都大学)
- 2) 網目状ナイロン繊維に対する神経幹細胞/前駆細胞の接着性評価、中亮介、森英樹、原正之、日本第36回バイオマテリアル学会大会 (2014. 11. 17-18 タワーホール船堀)

## γ線架橋 poly(vinyl alcohol)ゲル上での神経幹細胞/前駆細胞の培養

阪府大院理 生物科学専攻 森英樹、原正之\*

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

### 【緒言】

神経幹細胞/前駆細胞(NSPC: neural stem/progenitor cell)は、自己増殖能と、神経細胞やグリア細胞への多分化能を併せ持つ細胞である。細胞移植治療や、薬効評価系への利用の為に大量培養技術が必要である。ポリビニルアルコール(PVA: poly(vinyl alcohol))は生体適合性の高い親水性高分子であり、γ線架橋によりハイドロゲルを調製できる。我々は PVA ゲルが、NSPC の未分化状態を維持した増殖に用いる接着培養基材として優れた性質を持つ事を発見したので報告する。

### 【方法・結果】

γ線架橋 PVA ゲルの膨潤特性や、弾性などの物性は PVA 濃度と γ線の線量の両者に依存して変化する。詳しい条件検討の結果、3.75%(w/v)PVA/10kGy、7.5%(w/v)PVA/20kGy、15%(w/v)PVA/40kGy の3条件で調製したゲルは、硬さが異なるが何れも培地中での膨潤による変形が少なく、培養基材としての実験に適していた。

次にマウス胎仔(E14)脳由来の NSPC をこのゲル上で培養し、その性質を調べた。PVA ゲル上に接着した細胞は集塊を作りながら、通常の浮遊培養系よりも僅かに遅い程度の速度で増殖した。未分化細胞マーカー(nestin, Sox 2)、神経細胞マーカー( $\beta$ III tubulin)、グリア細胞(astrocyte)マーカー(GFAP, S100 $\beta$ )の発現を免疫組織化学的に調べた結果、NSPC は概ね未分化状態を維持していた。

定量的 RT-PCR により各マーカーの遺伝子発現を調べた実験でも、同様に細胞が未分化な状態を維持している事を支持する結果を得た。以上より、γ線架橋 PVA ハイドロゲルは、NSPC の接着培養に適した新規の培養基材であると結論した。従来の浮遊培養系よりも培地交換が容易であり、培養系の大型化や自動化等への応用が期待される。

### 本研究に関する研究発表

- 1) ポリビニルアルコールハイドロゲル上での神経幹・前駆細胞の培養、森英樹、大田愛里、原正之、第66回日本生物工学会大会、(2014. 9. 9-11. 札幌コンベンションセンター)
- 2) 幹細胞を培養する器材としてのハイドロゲル、大阪府立大学・大阪市立大学・ニューテクフェア、森英樹、原正之、(2014. 12. 9. 大阪市・産創館)

## 培養地衣菌の増殖及び二次代謝に対するガンマ線照射の影響

阪府大放セ 古田雅一\*

秋田県立大 小林優維、原光二郎、小峰正史、山本好和

(\*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))

地衣類は菌類と藻類またはシアノバクテリアの共生生物で、地衣類特有の二次代謝産物である地衣成分を産生する。本研究では分離培養した地衣菌に、ガンマ線を照射することによってその二次代謝を変化させ、新規成分を生合成させることを目的としている。

実験には、研究室で継代培養している培養地衣菌の中からランダムに選抜した40種を用いた。照射実験の一週間前に0~8 kGyの4段階の照射条件を設定し、各条件に対し反復数3個のサンプルを用意した。サンプルは、麦芽酵母エキス(MY)培地を分注した60 mmシャーレに約50 mg 秤量した地衣菌を移し、4分割後、これらが等間隔になるように植え付けた。サンプルを照射施設でコバルト-60ガンマ線を照射した後、20°Cの環境下で培養した。4週間後、重量の測定と相対増殖比の算出と比較をした。次いで、重量を測定した地衣菌のおよそ半量を一昼夜凍結乾燥し、乾物をアセトンで一晩抽出した。抽出後、フォトダイオードアレイ付き高速液体クロマトグラフィー(PDA-HPLC) 島津製作所製 HPLC 10A-DP、カラム YMC-Pack ODS-A、流出溶媒 MeOH : H<sub>2</sub>O : H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub>=80 : 20 : 1、流量 1 ml/min、カラム温度 40°C、フォトダイオードアレイ検出器(180~700 nm)で分析した。解析は、標品ライブラリとのUVスペクトル、保持時間の比較により行った。

その結果、相対増殖比の比較の結果、2 kGyの照射で50%以上の値を示した、*Psilolechia lucida*、*Aspicilia contorta*、*Physcia phaea* は放射線耐性が高いと分かった。また、相対増殖比と照射量の関係から、地衣菌の生育限界放射線量は2~8 kGyであると考えられ、この値は高い放射線耐性を持つクマムシやネムリユスリカの幼虫とほぼ同等であると分かった。

PDA-HPLCを行った結果、放射線耐性が高かった3種に特別な成分産生は見られなかった。また、照射量が多くなるにつれて成分の産生量は減少していた。これは細胞の死滅やDNAの損傷によって成分が産生されなくなったものだと考えられる。

### 本研究に関する研究発表(原著論文、その他報文、学会等報告)

- 1) 培養地衣菌の増殖及び二次代謝に対するガンマ線照射の影響、小林優維、古田雅、原光二郎、小峰正史、山本好和、日本地衣学会第12回大会(2013年7月,京都)
- 2) 地衣類に対するガンマ線の殺菌効果、小林優維、原光二郎、小峰正史、古田雅一、山本好和、日本防菌防黴学会第40回年次大会(2013年9月,大阪) 要旨集,19
- 3) 培養地衣菌の二次代謝に対するガンマ線照射の影響、小林優維、古田雅一、原光二郎、小峰正史、山本好和、日本農芸化学会2014年度大会(2014年3月,東京)

## エラスチンポリペプチドの放射線照射による新規バイオマテリアルの開発

九州工大 前田衣織

阪府大放セ 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))

心筋、血管、関節など弾力性が要求される生体組織においてはエラスチンと呼ばれる男性たんぱく質が機能している。エラスチンの弾性の原因とされているポリペプチド、 $(VPGVG)_n$ は温度上昇により可逆的に凝集し、ナノ粒子を形成する特徴があり、これに放射線照射を行うことにより安定な架橋ナノ粒子が得られることが知られている<sup>1)</sup>。

本研究においては本ポリペプチドのアミノ酸配列を変化させた人工ポリペプチドを合成し、放射線照射におけるナノ粒子化の特性を調べ、新規なドラッグデリバリーシステム構築の基礎となるナノ粒子を得ようとすると共に放射線架橋のメカニズムに迫ろうとするものである。今年度は $(FPGVG)_5$ について検討し、ナノサイズの微粒子を得ることに成功した。

### 参考文献

1) Effect of heating process on the formation of nanoparticles of elastin model polypeptide,  $(GVGVP)_{251}$ , by gamma-ray crosslinking, Mari Fujimoto, Masayuki Hara, Toshio Hayashi and Masakazu Furuta, Polymer bulletin, 64, (2010) 707-716.

### 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) Preparing of Phenylalanine Containing Elastin-derived Pentapeptide Based Biomaterials, Asako Inoue, Suguru Taniguchi, Yuko Yamasaki, Masakazu Furuta, Takeru Nose and Iori Maeda, 第4回アジア-太平洋国際ペプチドシンポジウム/第50回ペプチド討論会 (Osaka, Japan, November, 2013)

## 照射試料を用いた 2-アルキルシクロブタノン測定における技能試験

阪府公衛研 起橋雅浩、北川陽子、高取聡、梶村計志、尾花裕孝

阪府大放セ 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))

食品への放射線照射履歴を判別する方法は、対象食品に応じて各種存在するが、我々はこれまで脂肪含有食品に適用される 2-アルキルシクロブタノン法に着目し、簡易分析法を開発した<sup>1)</sup>。本研究では、この分析法を利用した場合の、食肉加工食品における照射履歴鑑別の可能性を判断する目的で、当所を含め 8 機関の地方衛生研究所（岩手県環境保健研究センター、愛知県衛生研究所、奈良県保健環境研究センター、堺市衛生研究所、和歌山県環境衛生研究センター、広島市衛生研究所、高知県衛生研究所）に協力を得て技能試験を実施した。

対象食品は加熱前状態のハンバーグパテを使用し、陽性試料は線量を 0.8 kGy、2.0 kGy とした 2 種を作成した。これと非照射の陰性試料の合計 3 種を、フードプロセッサーで細切し、ミキサーで混合しつつ食用タール色素を加えて着色の上、配布用試料とした。

参加機関が同時に行った添加回収試験結果は、67～122%と概ね良好であった。各機関より報告された 2-DCB、2-TCB の測定値については、中央値を目標値として  $\bar{X}$ -R 管理図により平均値と範囲を評価した。8 機関中 3 機関が 1 項目以上で管理限界を超えたが、照射履歴の判定に関しては、全ての機関で適正な回答を得た。さらに照射線量に比例して 2-DCB、2-TCB 量も増加した。また、平均値が管理限界を超えた機関を調査した結果、標準品測定時に良好なピーク形状が得られなかったことと、夾雑物の影響を受けたことが主な原因であった。

【考察】2-DCB、2-TCB 共にモニターイオンが小さく妨害を受け易いこと、一部の機関で標準品でも良好なピーク形状が得られず測定条件が合わなかったこと等の問題点は見られたが、食品照射検知を全く経験したことがない各機関が実施した試験において、誤検知が全く無い結果を得ることができたことから、今回使用した照射検知法は実用性が極めて高いと判断できた。本研究は厚生労働科学研究費補助金「検査機関の信頼性確保に関する研究」により実施した。

### 参考文献

1) 北川、起橋他、第 103 回日本食品衛生学会学術講演会講演要旨集 p.55(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) 照射試料を用いた 2-アルキルシクロブタノン測定における技能試験、起橋雅浩、北川陽子、高取聡、梶村計志、尾花裕孝、古田雅一、第 105 回日本食品衛生学会学術講演会（2013 年 5 月、東京）

## **<sup>60</sup>Co ガンマ線、加熱処理後の *Bacillus subtilis* 芽胞の増殖挙動に対する パプリカの影響**

阪府大放セ 阪井俊夫、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)

香辛料には菌の増殖を抑制する効果があることが経験的に知られている。しかし、香辛料自身も雑菌（特に芽胞形成菌）の汚染を受けているため、食品製造に香辛料を用いる場合には、芽胞形成菌の数を 1000 個/g 以下に抑えなければならない。本研究ではパプリカ粉末が芽胞形成菌への抗菌効果を有している可能性に着目して、パプリカ粉末と *Bacillus subtilis* 芽胞を培地に混合し、増殖の経時変化を熱測定により定量的に解析した。更に *B. subtilis* 芽胞に対して加熱処理またはガンマ線照射を単独で行った場合と、これらの処理とパプリカ粉末を併用した場合の相乗効果について検討した。解析した。熱測定とは、微生物の増殖に伴う細胞内の代謝熱を測定する熱量測定法の一つであり、指標として微生物の増殖パターンを定量的に評価することができる。

25 ml ガラスバイアルに Trypase Soy 寒天培地を 5 ml 入れ、葉さじで細かく刻んで粉碎した。そこに <sup>60</sup>Co ガンマ線で滅菌したパプリカ粉末を一定量加えて混合し、予め加熱処理 (85~100°C・5 分) またはガンマ線照射 (3~10 kGy) した *B. subtilis* 芽胞液 (1.0×10<sup>6</sup> CFU/ml) を 0.1 ml 加えてよく攪拌した。バイアルの蓋を固く締めて 30°C で培養し、生じる熱量を経時的にモニターした。

その結果、パプリカ粉末の添加と加熱処理は、いずれも処理量の増加に応じて増殖速度が減少した。<sup>60</sup>Co ガンマ線照射は 5 kGy 以下では誘導期の延長のみが起こったが、7 kGy 以上では増殖速度の減少も同時に見られた。90°C 加熱処理とパプリカ粉末 0.5 g を併用した場合は、100°C 加熱処理のみを行った時と同程度まで増殖速度が低下した。この時、単独処理による増殖速度の低下の合計よりも更に約 20% 増殖速度が低下した。

また、<sup>60</sup>Co ガンマ線 5 kGy 照射とパプリカ粉末 0.5 g を併用した場合には、7 kGy 照射のみを行った時と同程度まで増殖速度が低下した。この時、単独処理による増殖速度の低下の合計よりも増殖速度が約 10% 低下した。いずれの組み合わせにおいても、誘導期の遅延の割合に有意な差は見られなかった。

### **本研究に関する研究発表（原著論文、その他報文、学会等報告）**

- 1) <sup>60</sup>Co ガンマ線、加熱処理後の *Bacillus subtilis* 芽胞の増殖挙動に対するパプリカの影響、阪井俊夫、古田雅一、第 50 回アイソトープ会議（2013 年 7 月、東京）
- 2) The synergistic effect of paprika powder with decontamination treatments on the growth behavior of *Bacillus subtilis* spores, Toshio Sakai, Masakazu Furuta
- 3) <sup>60</sup>Co ガンマ線、加熱処理後の *Bacillus subtilis* 芽胞の増殖挙動に対するパプリカ粉末の影響、阪井俊夫、古田雅一、日本防菌防黴学会第 40 回年次大会（2013 年 9 月、大阪）要旨集、26

## 2-アルキルシクロブタノンを指標とした食品の照射履歴の簡易分析法の検討

阪府公衛研 北川陽子、起橋雅浩、福井直樹、高取聡、梶村計志、尾花裕孝

阪府大放セ 古田雅一\*

関西医大 西山利正

(\*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))

食品への放射線照射は、発芽防止や殺菌、殺虫等を目的として、諸外国で許可されている。現在、厚生労働省から通知されている食品の照射履歴の検知法のうち、ACBs 法は、脂肪を含む食品に適用可能な方法であり、放射線照射により、脂肪からラジカル反応を介して特異的に生成する ACBs を測定する方法である。現在、厚生労働省より通知されている方法は、抽出にソックスレー抽出法、精製にオープンカラムを使用する方法であるため、6 検体の前処理に約 2 日必要である。さらに溶媒の使用量も多く、カラムの活性化等も煩雑な方法であることから、多検体を測定する方法としては課題が多い。

本研究では、多検体の同時処理が可能であり、かつ簡易で迅速な分析法を考案し、様々な脂肪を含む食品において本簡易分析法が適用可能かどうかを調べた。

簡易分析法は、*n*-ヘキサンを用いて振とう抽出、アセトンおよびアセトニトリル転溶後の冷却による脱脂、シリカゲルカラムによる精製から構成した。本分析法を用いて、非照射の牛肉、豚肉、パルメザンチーズ、鶏唐揚げ、ハンバーグ、餃子および牛丼試料からそれぞれ抽出した脂肪に ACBs を添加し、回収試験を行った結果、DCB および TCB の平均回収率はそれぞれ 67~88%、70~86%であった。また RSD も 12%以下となり良好であった。

冷凍条件下で照射（1.0 kGy および 2.6 kGy）した上記食品中の ACBs を分析した結果、全ての照射食品から線量に依存して DCB および TCB が検出され、非照射食品からは検出されなかった。本分析法を用いて 6 検体を前処理するのに必要な時間は約 8 時間であり、前処理に約 2 日を要する通知法と比較して迅速な方法であった。また、溶媒の使用量も少なく、特殊な装置も使用しない汎用性の高い方法であった。

### 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) Rapid and simple method for the determination of 2-alkylcyclobutanones in the irradiated meat and processed foods, Yoko Kitagawa, Masahiro Okihashi, Satoshi Takatori, Keiji Kajimura, Hirotaka Obana, Tosimasa Nishiyama, Masakazu Furuta, Food Analytical Methods, 7(5), (2014)1066-1072.

2) 簡易分析法による照射生レバー中 2-アルキルシクロブタノンの測定 北川陽子、起橋雅浩、高取聡、梶村計志、尾花裕孝、西山利正、古田雅一、第 105 回日本食品衛生学会学術講演会（2013 年 5 月、東京）

## 出芽酵母の放射線ストレスに対するカタラーゼの影響

阪府大放セ 古田雅一\*

阪府大院生命環境 西本琢登、片岡道彦、岸田正夫

(\*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))

近年、医療・食品において殺菌などに用いられている放射線の関与するストレス作用が生活との密接な関わりから焦点が集められている。放射線による影響には生体内高分子を直接損傷する直接作用と生体内および培地中の水分子を励起することで生じる ROS（主に・OH）による間接作用が存在する。そのために放射線の作用機序について詳細に解析することは困難とされてきた。

本研究では真核生物で有りながら放射線に抵抗性が高く、生化学的研究が最も進められている出芽酵母を使用した。また、出芽酵母は ROS に対する防御機構としてグルタチオンやトレハロースなどの抗酸化物質によるスカベンジや SOD・カタラーゼなどの抗酸化酵素による分解が存在する。そこで、出芽酵母が持つ抗酸化酵素の中でも研究が最も進められているカタラーゼに着目し、間接作用で発生する ROS の影響を解析することを目標とした。

### 本研究に関する研究発表（原著論文、その他報文、学会等報告）

- 1) 出芽酵母の放射線ストレスに対するカタラーゼの影響、西本琢登、古田雅一、片岡道彦、岸田正夫、第 65 回 日本生物工学会大会（2013 年 9 月、広島）講演要旨集, 130

## 高等植物におけるオーキシン極性移動に関する研究

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) は特異な移動 (いわゆる極性移動) を示すことが知られている。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 STS-95 植物宇宙実験 (Ueda et al. 1999, J. Plant Res. 112: 487-492) によって示唆してきた。今年度は、(1) 植物の重力応答反応とオーキシン極性移動との関係、(2) オーキシン極性移動の化学物質による制御を目指した天然型オーキシン極性移動制御物質の探索に関する実験を遂行した。

(1) 植物の重力応答反応とオーキシン極性移動: 重力応答が正常な Alaska と重力応答突然変異体 *ageotropum* エンドウの黄化芽生えを対象とし、オーキシン極性移動に対する3次元クリノスタット上の擬似微小重力の影響を放射性オーキシン ( $[1-^{14}\text{C}]$ IAA, American Radiolabeled Chemicals Inc., 3.7 MBq/mL) を用いて調べた。その結果、擬似微小重力環境、あるいは *ageotropum* エンドウで認められる黄化芽生え上胚軸の自発的形態形成様の成長・発達と IAA 極性移動との密接な相関関係を見出した。

また、黄化トウモロコシ芽生えの成長に対する IAA 極性移動の役割を明らかにするために、経時的生長解析、放射性 IAA 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を行った。その結果、オーキシンの排出を担う ZmPIN タンパク質により制御されている IAA 極性移動が幼葉鞘ならびに中胚軸の成長に重要であることを示唆した。

(2) 天然型オーキシン極性移動制御物質の探索: 放射性 IAA とカイワレダイコン下胚軸を用いたオーキシン極性移動の生物検定法を駆使し、キク科植物のニガヨモギ (*Artemisia absinthium* L.) の地上部から 4-hydroxy- $\beta$ -thujone と dehydrocostus lactone を天然型オーキシン極性移動制御物質として単離・同定した。加えて、オーキシン極性移動制御物質として、新規 germacranolide 型の sesquiterpene lactone を単離した。各種機器分析スペクトルよりその化学構造を 3-hydroxy-4,6,7(H)-germacra-1(10),11(13)-dien-6,12-olide (arababolide と命名) と決定することに成功した。

### 本研究に関する研究発表

#### 1) 原著論文

Arai T., Toda Y., Kato K., Miyamoto K., Hasegawa T., Yamada K., Ueda J., Hasegawa K., Shigemori H. Artabolide, a novel polar auxin transport inhibitor isolated from *Artemisia absinthium*. *Tetrahedron* 69: 7001-7005 (2013)

Miyamoto K., Marasek-Ciołakowska A., Góraj J., Węgrzynowicz-Lesiak E., Ueda J., Saniewski M. Morphactin stimulates stem elongation and thickening in decapitated *Bryophyllum calycinum*. *Acta Agrobot.* 66: 21-28 (2013)

Miyamoto K., Oka M., Uheda E., Ueda J. Changes in metabolism of cell wall polysaccharides in oat leaves during senescence: Relevance to the senescence-promoting effect of methyl jasmonate. *Acta Physiol. Plant.* 35:2675-2683 (2013)

Ueda J., Miyamoto K., Uheda E., Oka M., Yano S., Higashibata A., Ishioka N., Close relationships between auxin polar transport and graviresponse in plants. *Plant Biol.* 16 (Suppl.1): 43-49 (2014)

Ueda J., Sakamoto-Kanetake M., Toda Y., Miyamoto K., Uheda E., Daimon H. Auxin polar transport is essential for the early growth stage of etiolated maize (*Zea mays* L. cv. Honey Bantam) seedlings. *Plant Production Sci.* 17(2): 144-151 (2014)

Ueda J., Toda Y., Kato K., Kuroda Y., Arai T., Hasegawa T., Shigemori H., Hasegawa K., Kitagawa J., Miyamoto K., Uheda E.  
Identification of dehydrocostus lactone and 4-hydroxy- $\beta$ -thujone as auxin polar transport inhibitors. *Acta Physiol. Plant.*  
35:2251-2258 (2013)

Węgrzynowicz-Lesiak E., Góraj J., Miyamoto K., Ueda J., Saniewski M. Effects of auxin polar transport inhibitors on the growth  
of the excised 4<sup>th</sup> internode in tulips. *J. Horticult. Res.* 21(2): 31-39 (2013)

## 2) 学会報告等

Miyamoto K., Oka M., Uheda E., Ueda J. Effect of simulated microgravity conditions on a 3-dimensional clinostat on lateral bud  
growth induced by removal of shoot apex in Alaska pea seedlings. 34th Annual Meeting International Gravitational  
Physiology "Gravitational Effects from Micro to Macro Biology" June 23 (Sun) - 28 (Fri), 2013 Honokuni Toyohashi Art  
Center, Toyohashi City, Aichi, Japan

黒田裕一、宮本健助、上田英二、上田純一. 植物の重力応答反応はオーキシン動態から説明可能か. 第3回植物  
生理科学シンポジウム (神戸、2013年7月13日)

宮本健助、岡真理子、上田英二、上田純一. オートムギの葉の老化過程における細胞壁多糖類の変化: ジャスモン  
酸メチルの影響. 日本植物学会第77回大会 (北海道、2013年9月13日~15日)

鎌田源司、上田純一、東端 晃. エンドウおよびトウモロコシのオーキシン排出キャリアー抗体を用いた形態形成  
の解析. 第27回日本宇宙生物科学学会 (筑波、2013年9月27日~28日)

宮本健助、Anna Jarecka Boncela、Marian Saniewski、上田 純一. 球根植物におけるガム物質の形成制御およびその  
化学組成: ヒアシンズ (*Hycinthus orientalis* L.) を中心として. 植物化学調節学会第48回大会 (新潟、2013  
年10月31日~11月1日)

宮本健助、上田英二、岡真理子、上田純一, 宇宙植物実験「宇宙環境を利用した植物の重力応答反応機構および  
姿勢制御機構の解析」に向けて. 宇宙WG/RT合同研究会 (東京、2013年12月5日)

## 放射線／水素水併用によるヒト食道由来のがん細胞・正常細胞へ及ぼす影響の比較研究

府大高等教育・工 田中良晴\*

大阪物療大 李強、三羽信比古

(\*本研究に関する連絡先：電話[内線]3869、メール yoshitan@las.osakafu-u.ac.jp)

一昨年度および昨年度の本報告書で、培養ヒト食道がん細胞株 KYSE70 および対照 Esophageal Epithelial Cell (Epi-C：ヒト正常食道上皮細胞, Cosmo Bio, SCR2720)を用い、白金コロイド処理とガンマ線照射により、がん細胞に対する殺傷効果が高まることを報告した。今回は、KYSE70 と Epi-C に対して水素水と放射線との併用により、相乗効果および種々の薬剤ですでに報告されているような、がん細胞選択的殺傷効果がみられるかを検証した。

いずれの細胞も、対数増殖期に 21 mm 直径の細胞培養用 12 well plate に  $1.0\sim 2.0\times 10^3$  cells/cm<sup>2</sup>の濃度で撒き、1 日後に Micro-cluster Hydride silica を 0.125%および 0.25%となるように加え、3 時間後に大阪府立大学地域連携研究機構・放射線研究センターのコバルト-60 線源から発するガンマ線を 0 R, 300 R (≒3 Gy), 700 R (≒7 Gy) 照射した。担体である silica 自体の影響も評価するため、培養液に Hydride silica を 0.25%となるように加え 1 晩放置して H<sub>2</sub>濃度が 0 ppm になったもの（溶存水素濃度計で測定）を加えた培養液でも照射を行った。

KYSE70 細胞では 2 日後に、Epi-C では 3 日後に WST-8 により細胞の生残率を、ヘキスト染色により細胞死（ネクロシスおよびアポトーシス様変化）率の割合を観察した。

細胞の生残率に関しては、正常細胞、がん細胞共、線量依存的に減少した。しかし、silica のみ、Hydride silica 0.125%、Hydride silica 0.25%添加のいずれにおいても同程度に生残率が減少した。

死細胞出現率に関しては、概して正常細胞、がん細胞共、線量／用量依存的に増加した。

以上の結果から、水素水による殺傷効果増強はみられるものの、担体自体の影響も大きい為、今後別の方法で作成した水素水とガンマ線の組み合わせでも研究を行なう予定である。

### 参考文献

1.Saitoh Y, Okayasu H, Xiao L, Harata Y, Miwa N. Neutral pH hydrogen-enriched electrolyzed water achieves tumor-preferential clonal growth inhibition over normal cells and tumor invasion inhibition concurrently with intracellular oxidant repression.

Oncol. Res. 17(6):247-55, 2008

2. Asada R, Kageyama K, Tanaka H, Matsui H, Kimura M, Saitoh Y, Miwa N: Antitumor effects of nano-bubble hydrogen-dissolved water are enhanced by coexistent platinum colloid and the combined hyperthermia with apoptosis-like cell death.

3. Shinya Kato, Yasukazu Saitoh, Keizou Iwai, Nobuhiko Miwa

Hydrogen-rich electrolyzed warm water represses wrinkle formation against UVA ray together with type-I collagen production and oxidative-stress diminishment in fibroblasts and cell-injury prevention in keratinocytes.

Journal of Photochemistry and Photobiology B: Biology 106 (2012) 24–33

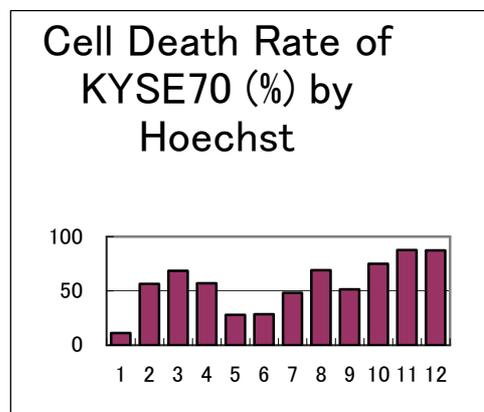
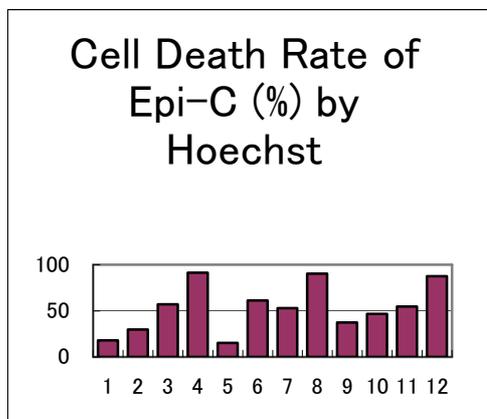
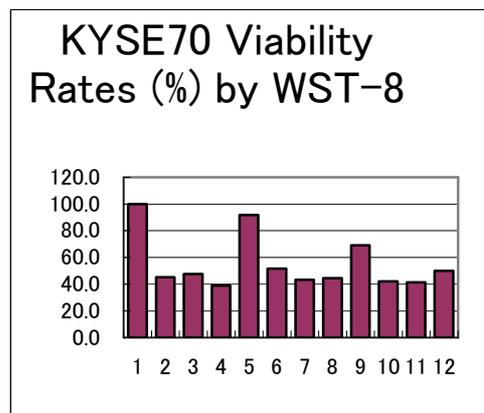
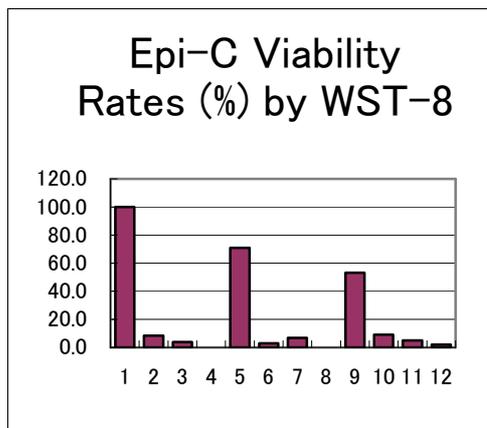
左上：ガンマ線/水素による Epi-C への影響(WST-8)

左下：ガンマ線/水素による Epi-C への影響(Hoechst)

右上：ガンマ線/水素による KYSE70 への影響(WST-8)

右下：ガンマ線/水素による KYSE70 への影響(Hoechst)

いずれも左から、0 R:非添加、0 R:脱 H<sub>2</sub>、0 R:0.125% H<sub>2</sub>、0 R:0.250% H<sub>2</sub>、300 R:非添加、300 R:脱 H<sub>2</sub>、300 R:0.125% H<sub>2</sub>、300 R:0.250% H<sub>2</sub>、700 R:非添加、700 R:脱 H<sub>2</sub>、700 R:0.125% H<sub>2</sub>、700 R:0.250% H<sub>2</sub>



## 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」の活動

大阪府立大学・放射線研究センター 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)

放射線研究センターでは、文部科学省の原子力人材育成等推進事業の復興対策特別人材育成事業に採択され、本学の提案した事業「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（2012-2014 年度）」の活動を行っている。研修実績は、2012 年度の 196 名に引き続き、2013 年度は 204 名であった。その概要を報告する。

**実施機関：**公立大学法人大阪府立大学地域連携研究機構

**協力機関：**みんなのくらしと放射線知識普及実行委員会、関西の放射線・原子力関連団体および機関等

**事業の目的：**放射線に関する高い安全技術を有し、また、住民の不安に対して適切に対処できる指導者としての人材を育成する。特に、放射線防護を基盤とした放射線危機管理に関する知識経験をもとに、リスクコミュニケーションの力を身につけた人材の育成と技術向上をめざす。関西の関連機関が連携し、教育研修を行う。本学の放射線施設や放射線測定機器などを活用した実践的指導を通して、放射線に関する幅広い知識と技術を習得させる。

**育成対象者：**社会で活動する組織で指導者としての立場にある人々、大学院学生など

**事業内容：**少人数のグループで、ニーズに合った効果的研修、講習および実習の内容の更新と事業モデルの構築  
**研修の内容：**

#### 1. 消防署員の研修

放射線事故対応を背景に、計測器や装備の利用技術や放射線安全取扱い技術の習得のため、特に模擬訓練を加えた実践的研修（基礎知識を中心とする研修の要請が強かった）

#### 2. 中等教育学校教員の研修

環境・エネルギーと放射線についての教育を行う中等教育学校理科教員を対象とし、授業の方法や使用教材を考慮した研修

#### 3. 保健所職員、自治体職員などの研修

放射線に関する基礎知識の習得と、一般市民へのリスクコミュニケーション能力の向上をめざす研修。

#### 4. 民間技術者の研修

放射線安全取扱い技術の習得と、専門性に適合した効果的な研修

#### 5. 一般市民（市民グループの代表者など）の研修

放射線についての正しい知識に基づき、メディアなどからの情報を正しく理解し、それを一般の人々に伝えるための研修

#### 6. 大学院学生等の研修

将来原子力に関連する分野のリーダーとなる契機になる研修（本学大学院工学研究科に新設された量子放射線系専攻の学生が中心）

#### 本研究に関する案内

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

#### 本研究に関する研究発表（論文、報文、学会等報告）

- 1) 大阪府立大学における放射線知識普及活動の現状、奥田修一、日本放射線安全管理学会誌 13 (2014) pp.132-134
- 2) 大阪府立大学放射線研究センターにおける放射線知識普及活動、奥田修一、非破壊検査 63 (2014) pp. 486-490
- 3) 大阪府立大学大学院工学研究科新専攻における放射線安全管理学の教育、奥田修一、日本放射線安全管理学会第 13 回学術大会 (2014. 12. 3-5、徳島) P35



## 「平成 26 年度第 31 回みんなのくらしと放射線展」活動報告

大阪府立大学・放射線研究センター<sup>1)</sup> 奥田修一\*

「みんなのくらしと放射線」知識普及実行委員会 委員

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

毎年夏休みに開催される「みんなのくらしと放射線展」は、31 回目を迎えた。放射線に関する正しい知識が長期的にまた広い年齢層に求められる中で、2012 年度までの結果を踏まえ、また関西の大学や研究機関の活動紹介を行うなど、より内容を充実させての開催となった。その概要を報告する。

### 第 31 回みんなのくらしと放射線展「くらしの放射線サマースクール 2014」

#### 【目的】

小・中学生、保護者及び高校生を中心に放射線に関する正しい知識を学び、ともに考える機会を提供することで、「放射線としっかり向き合い、正しく怖がる」ための環境を整える。

【主催】「みんなのくらしと放射線」知識普及実行委員会、(事務局) 公立大学法人大阪府立大学 協力団体：放射線知識普及連携プロジェクト

【後援】文部科学省、近畿経済産業局、大阪府、大阪市、堺市、大阪府教育委員会、大阪市教育委員会、堺市教育委員会、(一財)大阪科学技術センター

【開催日と会場】2014 年 8 月 8～10 日(3 日目中止)、大阪科学技術センター

#### 【内容】

#### ■「放射線親子セミナー2014」小・中学生及び保護者対象

親子で放射線の知識を学ぶ体験型の講座(サイエンスショー・ガイドツアー・フィールドワーク・霧箱工作・ミニツアー(保護者対象))

#### ■「第 3 回ハイスクール放射線サマークラス」高校生対象(出場 9 校、9 月 26、28 日に延期して実施)

特別授業、高校生対抗のプレゼンテーション(テーマ：放射線の測定方法、人体影響、利用など)、発展学習

#### ■「みる・はかる・わかる 放射線なっとく展」広く一般の方対象

放射線のくらしへの利用やかかわり、福島の影響と今後、そこが知りたい!放射線 Q&A、放射線測定体験、食品の放射能モニタリング、わくわくサイエンスショー、放射線トピックス、科学工作教室

#### ■「放射線クイズラリー&ガイドツアー」子供たちや一般の方対象

放射線展の会場を巡りながらの放射線についての解説と会場に設置してあるクイズのラリー

#### ■「特別展示、関西の原子力・放射線研究施設」広く一般の方対象

大阪府立大学、京都大学、近畿大学、福井大学の施設と活動の説明と、動画による紹介

今年は、大阪科学技術センターでの科学技術関連の催しやフォーラムに開催時期を合わせ、参加者がさまざまなイベントを同時に楽しむことができた。最初の 2 日間では、参加者が延べ 1000 人を超え、昨年を上回る盛況であったが、10 日は台風の直撃でやむなく中止となった。「ハイスクール放射線サマークラス」は、延期して行った。全体として、大変充実した放射線展であった。

本活動に、後援などの形でご支援、またご協力いただいた関係各機関の皆様、また関係団体、グループや個人として毎年ご協力いただいている皆様に感謝します。

### 参考資料

1) みんなのくらしと放射線展：<http://www.housyasenten.com/>

### 本研究に関する研究発表(原著論文、その他報文、学会等報告)

- 1) 第 31 回みんなのくらしと放射線展報告、大嶋隆一郎、ONSA ニュース Vol. 24-2 (2014)
- 2) 大阪府立大学における放射線知識普及活動の現状、奥田修一、日本放射線安全管理学会誌 13 (2014) pp.132-134
- 3) 大阪府立大学放射線研究センターにおける放射線知識普及活動、奥田修一、非破壊検査 63 (2014) pp. 486-490
- 4) 「平成 25 年度第 30 回みんなのくらしと放射線展」実施報告、JAPI Newsletter 2014. 2. 1、放射線照射利用促進協議会、pp. 5-6



### 3. 平成 25 年度共同利用報告会プログラム

日時：平成 26 年 12 月 25 日（木）13:20-17:25

場所：大阪府立大学学術交流会館多目的ホール

参加費：無料

#### プログラム（下線講演者）

13:20 開会の挨拶 放射線研究センター長 奥田修一

13:30-15:10 〔一般講演〕 座長：松浦寛人（阪府大地域連携）

1. 放射線研究センター施設の現状  
谷口良一（阪府大地域連携）
2. 照射励起反応場における生成酸化種捕捉による純銅ナノ微粒子の創製  
堀達朗、永田光一郎、岩瀬彰宏、堀史説（阪府大院工）  
阪本雅昭（京大炉）秋田知樹、田中真悟（産総研）
3. 電気化学法を用いた塩化物水溶液中での鉄の放射線腐食機構の検討  
井手原龍一、井上博之、岩瀬彰宏（阪府大院工）  
小嶋崇夫（阪府大地域連携）
4. 窒素ガス脱気された塩化物水溶液中でのガンマ線照射による酸化性化学種の生成と鉄の放射線腐食への影響  
神田泰寛、井上博之、岩瀬彰宏（阪府大院工）  
小嶋崇夫（阪府大地域連携）
5. ZrCuAl バルク金属ガラスへの重イオン照射による硬度変化の組成依存性  
石井康嗣、石山大志、岩瀬彰宏、堀史説（阪府大院工）  
横山嘉彦（東北大金研）石川法人、斎藤勇一（原子力機構）

15:10-15:20 休憩

15:20-17:20 〔一般講演〕 座長：白石一乗（阪府大院理）

6. 網目状ナイロン繊維を用いた神経幹細胞/前駆細胞の培養  
中亮介、森英樹、原正之（阪府大院理）
7.  $\gamma$ 線架橋 poly(vinyl alcohol)ゲル上での神経幹細胞/前駆細胞の培養  
森英樹、原正之（阪府大院理）
8. 放射線による DNA 二重鎖切断の定量的計測と理論モデルの構築  
森利明（阪府大地域連携）下林俊典（京都大）吉川研一（同志社大）
9. 放射線/水素水併用によるヒト食道由来のがん細胞・正常細胞へ及ぼす影響の比較研究  
田中良晴（阪府大高等教育）李強、三羽信比古（大阪物療大）
10. オオミジンコの脱皮ホルモン・幼若ホルモン受容体を発現する内分泌攪乱物質  
検出酵母レポーターアッセイ系の確立  
高田英治、原島小夜子、川西優喜、八木孝司（阪府大院理）
11. 3-NBA 由来付加体部位特異的修飾プラスミドを用いた TLS に伴う突然変異の解析  
金山尚裕、川西優喜、八木孝司（阪府大院理）高村岳樹（神奈川工大）

17:20 閉会

（発表者下線、一般講演各 20 分、含質疑応答）

## 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

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「量子ビーム誘起反応科学研究所」の活動目的は、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である。地域連携研究機構・放射線研究センターと密接に連携している。2013 年度新設の大学院工学研究科「量子放射線系専攻」には、国内外の学生が所属しており、センター施設を利用した量子ビーム利用の基礎研究の担い手となっている。当研究所とこの専攻との関係から活動の方針を今後見直すことになるが、なお他専攻、他研究科の教員との連携組織としての、当研究所の意義は続いている。以下に 2013-2014 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) 韓国、国立江原大学校サイクロトロン研究所、原子力研究所との交流
- (4) 韓国 Food and Bio-Industry Research Institute, Kyungpook National Univ. 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 24 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 24 年度共同利用報告会  
(2014 年 12 月 25 日開催、放射線研究センターとの共催)
- (2) 広報活動：研究所季刊誌 RIQBS No.5 の準備
- (3) 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. 研究活動とその成果の公表

[http://chokai.riast.osakafu-u.ac.jp/~housya3/contents/riqbs\\_syokai.html](http://chokai.riast.osakafu-u.ac.jp/~housya3/contents/riqbs_syokai.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。

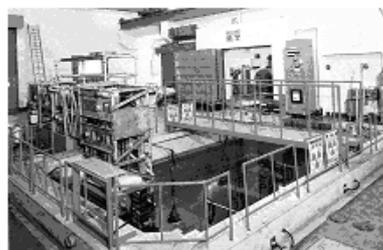


図1 コバルト 60 ガンマ線源の水プール

##### 1.1 主な照射設備

	線源強度	線量率	用途
第1照射室	1 PBq	1~100Gy/h	大線量精密照射
第2照射室	500TBq	10~1kGy/h	大線量精密照射
第3照射室	3TBq	0.05~5Gy/h	小線量、非破壊検査
第4照射室	5PBq	50~10kGy/h	大線量照射
照射プール	5PBq	1k~10kGy/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

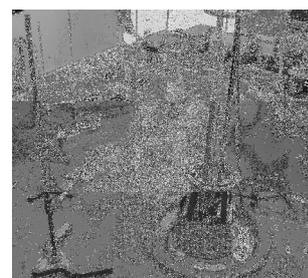


図2 コバルト 60 照射風景  
(線量計の較正)

- 楽器の弦の改良
- ・ 工学分野      トランジスタ・IC などの電子部品・機器の照射試験  
原子力発電所で使用する電子機器、光学部品、ケーブルの試験  
人工衛星に搭載する電子機器の照射試験
- ・ 物理分野      放射線検出器の較正、線量計の特性試験  
ガラス・真珠・宝石等の着色  
超微粒子の生成

## 2. 高エネルギー電子線照射装置（ライナック）

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

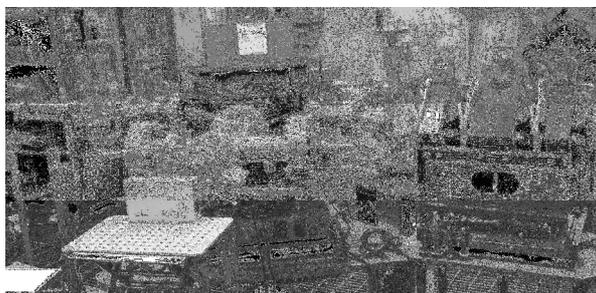


図3 電子線形加速器（OPU ライナック）

### 2.1 主な照射設備

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

### 2.2 ライナックの主な照射対象

- ・ 生物分野      医療器具等の滅菌  
微弱電子線の生物影響
- ・ 化学分野      放射線照射による光吸収過渡現象の研究（パルスラジオリシス）  
架橋反応の利用によるタイヤ、被覆材等の開発  
液体窒素の照射効果の観測
- ・ 工学分野      耐放射線性の高い金属、合金の大線量照射  
人工衛星に搭載する機器の耐久性加速試験

- 超微量のウラン検出法の開発
- ・物理分野 放射線検出器の較正
- 電子線による材料中への欠陥導入と、それを利用した分析
- 貴金属ナノ微粒子の生成
- 加速器の高性能化、超微弱電子線の開発
- 加速器を利用した高輝度サブミリ、ミリ波光源の開発と利用

### 3. 低エネルギー電子線照射装置（コッククロフト・ウオルトン型加速器）

エネルギー : 60~600 keV

用途 : 表面照射、表面処理

照射対象例 : 人工衛星部品の照射

物質の表面改質（硬化、濡れ性の変化）



図4 低エネルギー電子線照射装置

### 4. 非密封放射線施設および、その他の照射装置

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



図5 非密封放射線施設

用途 : 放射性同位元素によるトレーサー実験

材料の陽電子利用分析

放射性同位元素による年代測定

環境汚染物質の元素分析

環境放射線の測定



図6 トレーサー実験に用いられる RI 標識化合物

その他の照射設備 :

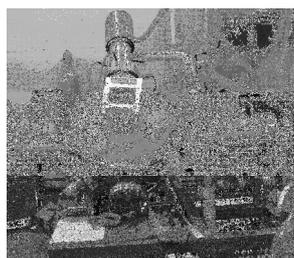


図7 低エネルギー電子線照射装置（100keV）

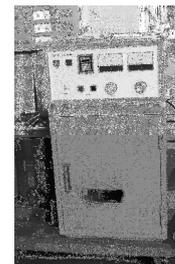


図8 X線照射装置



図9 X線非破壊検査装置

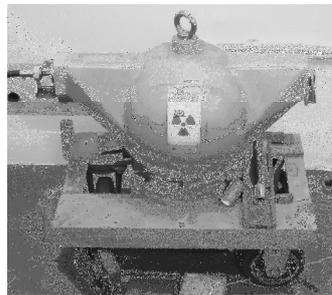


図10  $\gamma$ 線非破壊検査装置

## 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（ダウンフロー方式）を採用しています。クリーンルームは空調設備のある天井、全面アルミダイキャスト製グレーティングの作業室、各種ガスや超純水の配管のある床の3層構造となっています。またクリーンルーム内では超純水や、各種の高純度ガスが使用出来るようになっていきます。クリーンルーム内には先端材料や先端デバイスを作製するための最新の装置が設置されており、学内のみならず企業など外部との共同研究が活発に行われています。なお、利用については、放射線研究センターHPの共同利用施設案内をご覧ください。

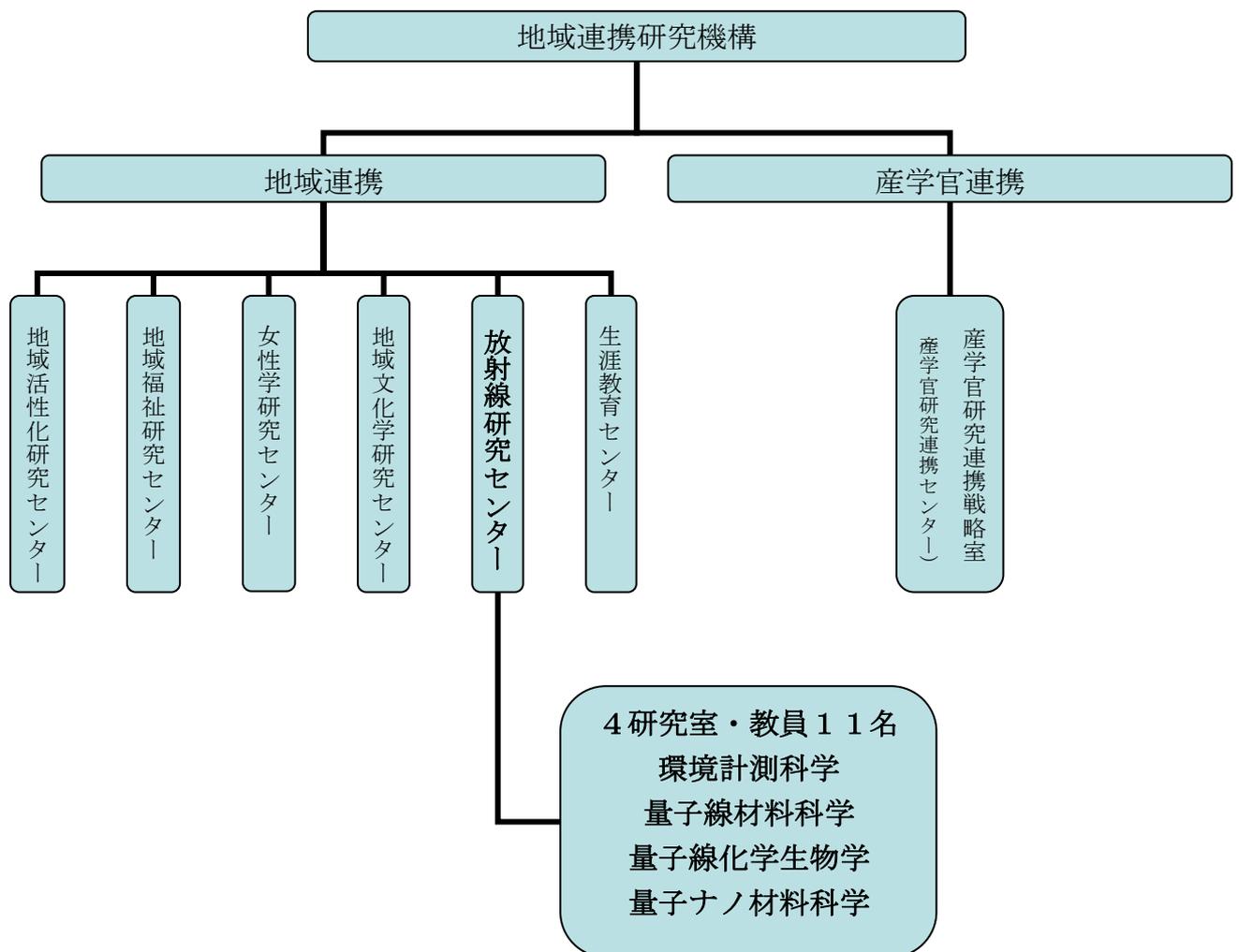
<http://www.riast.osakafu-u.ac.jp/facility/index.html#clean>



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

課題申請：7.1.2の申請様式で必要事項を記入、押印のうえ、提出してください。



課題審査および安全審査の採択：課題の妥当性と安全性について審査の後、採択結果を通知します。



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の後、実験日前までに照射申込書を提出してください。



照射実験



成果報告書の提出：本報告書の様式で、例年、6月に開催される共同利用成果報告会までに提出してください。報告書を期日までに提出されない場合、利用された照射サービスは一般照射利用と見なし、使用料金を請求することになります。



研究課題終了

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/facility/co60.html>

## 7.1.2

### 放射線施設利用研究課題申請書（学内共同利用）

放射線研究センター長 殿

下記の通り申請します

平成 年 月 日 申請者 所属 \_\_\_\_\_ 氏名 \_\_\_\_\_ ⑩

1. 提案課題の種類（該当する項目に○印）

新規                      継続                      緊急                      継続の場合は前課題名を記入

2. 実験責任者

氏名 \_\_\_\_\_ 所属 \_\_\_\_\_ 内線番号 \_\_\_\_\_

3. 実験課題名

--

4. 共同研究者（所属機関、部局、身分）

--

5. 使用希望装置（該当する項目に○印）

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

6. 使用希望条件

使用日数： \_\_\_\_\_ 占有照射室： \_\_\_\_\_

利用条件： \_\_\_\_\_

7. 実験概要（含、従来 of 成果、期待される成果）

8. 備考

9. 放射線研究センター内 連絡者

氏名 \_\_\_\_\_ 内線番号 \_\_\_\_\_

## 7.2 一般照射利用の手続きと使用料金

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の後、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		$17,000 \text{ 円} + 2,400 \text{ 円} \times V \times Th$
	照射室での照射	被照射物の占有容積が 10 リットル未満	$9,500 \text{ 円} + 4,800 \text{ 円} \times Th$
		被照射物の占有容積が 10 リットル以上 50 リットル未満	$9,500 \text{ 円} + 9,500 \text{ 円} \times Th$
		被照射物の占有容積が 50 リットル以上	$19,000 \text{ 円} + 19,000 \text{ 円} \times Th$
	照射室占用による照射		$19,000 \text{ 円} + 19,000 \text{ 円} \times TH$
生放射線装置による場合	ライナックによる場合		$34,400 \text{ 円} + 1,000 \text{ 円} \times Tm$
	コッククロフト・ウォルトンによる場合		$28,800 \text{ 円} + 500 \text{ 円} \times Tm$
	X線照射装置による場合		$8,800 \text{ 円} + 300 \text{ 円} \times Tm$
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. 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

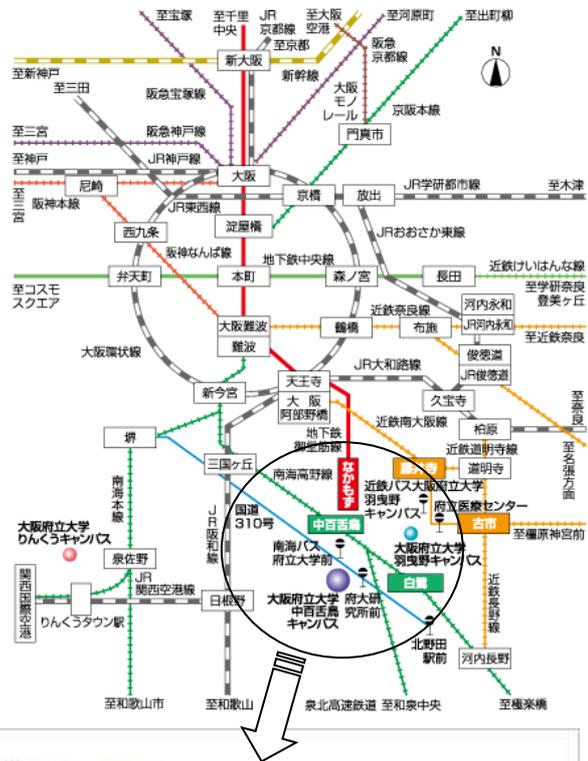
〒599-8570

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