

大阪府立大学産学官連携機構
放射線研究センター

平成 17 年度
放射線施設共同利用報告書

平成 18 年 9 月

*Radiation Research Center
Organization of
University-Industry-Government Cooperation
Osaka Prefecture University*

1. はじめに

放射線研究センター長 溝畑 朗

本報告書は、大阪府立大学産学官連携機構・放射線研究センターの放射線施設利用に関して、平成17年度の利用実績を、実施された共同利用研究成果とともに取り纏めたものである。

放射線施設としては、第1、第2線源棟、第1、第2放射化学実験棟、植物育成棟、屋外管理棟がある。線源棟にはコバルト60などを線源とする線照射施設及びライナックなど電子線発生装置がある。線源棟では、特に線と電子線が利用でき、これら放射線と物質との相互作用を利用して、物理、化学、生物、医学などの様々な分野の研究とともに、放射線計測技術に関する研究に利用されている。この報告書に見られるように、放射線の利用とそれに関する研究は極めて多岐にわたっているが、今後、医療分野や食品照射への飛躍的な展開も期待される。

放射化学実験棟では、多種多様な非密封放射性核種が使用でき、トレーサ実験をはじめ、陽電子消滅法、元素分析などに利用されている。また、屋外管理棟には、低レベル放射能を測定できる半導体検出器と多重波高分析器、低バックグラウンド放射能測定器などがあり、学内の研究とともに企業等からの機器測定に利用されている。

大阪府立大学先端科学研究所の放射線施設は府立3大学の統合再編と法人化にともなって、平成17年度から公立大学法人大阪府立大学産学官連携機構に引き継がれ、放射線研究センターが放射線施設の維持管理、放射線利用に関する教育訓練を担っております。引き続き全学の共同利用施設として、また、広く地域に開かれた施設として産学共同研究などに活用して参ります。学内外の関係各位におかれましては、この報告書をご高覧頂きますとともに、旧倍のご指導、ご鞭撻の程をお願い致します。

平成18年9月

目 次

ページ

1 .	はじめに	
	放射線研究センター長 溝畑朗	
2 .	平成17年度共同利用研究報告	
1)	ライナックおよびコッククロフト・ウォルトン電子加速器の現状	1
	(府大産学官) 谷口良一、小嶋崇夫、岡喬、奥田修一	
2)	大阪府立大学の法人化に伴って対応した放射線管理上の諸問題	2
	(府大産学官) 奥田修一、八木孝司、松田八束、汐見信行、児玉靖司、谷口良一、岡喬、森利明、伊藤憲男、川西優喜、白石一乗、小嶋崇夫、阿賀田政吉、小嶋宏和、溝畑朗 (府大院生命) 和田野晃、乾博	
3)	線源棟照射施設の保守管理	3
	(府大産学官) 小嶋崇夫、岡喬、谷口良一、奥田修一、阿賀田政吉、小嶋宏和 (ONSA) 團野正樹	
4)	電子ビームによるコヒーレント THz 放射光源の利用	4
	(府大産学官) 奥田修一、芝山学、谷口良一、小嶋崇夫 (京大炉) 高橋俊晴 (Kangwon Univ.) S. Nam	
5)	電子線ライナックの超微弱電子ビームの開発	5
	(府大産学官) 谷口良一、田中幸夫、小嶋崇夫、奥田修一	
6)	光中性子法による極微量ウラン定量技術の開発	6
	(日立) 川崎智 (府大産学官) 谷口良一、奥田修一 (原環センター) 佐々木朋三	
7)	微弱電子線を照射した線量計材料の熱蛍光二次元計測	7
	(府大産学官) 田中幸夫、谷口良一、岡喬、小嶋崇夫、奥田修一	
8)	線照射シリカガラス照射損傷過程に及ぼす周辺材料の影響	8
	(名大院工) 小幡祥堂、吉田朋子 (九大総理工) 田辺哲朗	
9)	化合物系太陽電池の低エネルギー電子線照射効果	9
	(JAXA) 川北史朗、島崎一紀、森岡千晴、今泉充、岐部公一 (府大産学官) 岡 喬 (府大院工) 岩瀬彰宏 (ONSA) 北川通治	
10)	線による C-MOS 小型カメラのトータルドーズ耐性	10
	(府大工航空) 本田徹	
11)	過飽和合金における溶質原子の電子線照射促進偏析	12
	(府大院工) 中川将、岩瀬彰宏、堀史説 (府大産学官) 谷口良一 (ONSA) 北川通治、大嶋隆一郎 (原子力機構) 飛田徹、鈴木雅秀	
12)	B2 型 FeAl 金属間化合物中の非平衡欠陥の研究	13
	(府大院工) 堀史説、岩瀬彰宏、室田勝幸 (京大炉) Qiu Xu、義家敏正	
13)	ガンマ線照射による Au ナノ微粒子作製と 生成微粒子の照射線量および界面活性剤依存性	14

	(府大院工) 前田修大	
14)	電子線照射による貴金属担持複合ナノ粒子の合成	15
	(阪大院工) 清野智史、山本孝夫、木下卓也	
	(府大産学官) 奥田修一、谷口良一、小嶋崇夫	
15)	陽電子消滅法によるナノ微粒子の電子状態評価	16
	(府大院工) 堀史説、高谷弘枝、岩瀬彰宏 (ONSA) 大嶋隆一郎	
16)	放射線照射による微粒子共存系での液体の分解反応	17
	(府大産学官) 高柳健太郎、小嶋崇夫、谷口良一、岡喬、奥田修一	
	(阪大産研) 清野智史 (阪大院工) 山本孝夫	
17)	Si-H 基含有ポリマーブレンドからの SiC 系繊維製造における放射線不融化の影響と効果	18
	(府大院工) 北憲一郎、成澤雅紀、間淵博 (福島工業高専) 伊藤正義	
18)	ジアリールエテンの放射線照射効果	20
	(府大院工) 入江せつ子、岡邦雄 (府大産学官) 小嶋崇夫、白石一乗	
	(九大院工) 入江正浩	
19)	ジエンモノマーの固相重合における成長反応の機構解析	21
	(府大院工) 岡邦雄 (市大院工) 松本章一、森悠	
20)	線照射によるゼラチンハイドロゲルの架橋	22
	(府大院理) 別所昌彦、古田雅一、原正之 (府大産学官) 小嶋崇夫、奥田修一	
21)	線架橋コラーゲンゲルの研究	24
	(府大院理) 小清水直喜、原正之	
22)	アルキルシクロブタン類生成を指標とした種々の放射線照射食品の検知	25
	(府大院理) 古田雅一 (公衛研) 尾花裕孝	
23)	放射線を利用した温度感受性エラスチンモデルペプチドのナノ粒子化と DDS (薬物送達システム) としての応用	26
	(府大院理) 藤本真理、田中奈津子、古田雅一、原正之、中村妙子、C. Elena	
	(バイオエラスチックジャパン) 岩間真道 (JSR 筑波研) 村田充弘	
	(Univ. Minnesota) Dan W. Urry	
24)	神経幹細胞 / 前駆細胞の分化能に対する X 線照射の影響評価	27
	(府大院理) 脇亮二、原正之 (府大産学官) 白石一乗、児玉靖司	
25)	抗動脈硬化作用薬の評価系の確立	28
	3T3L1 細胞を用いたインスリン抵抗性モデルの作成	
	(エフピー株式会社) ト部和則、小林豊 (府大産学官) 川西優喜、八木孝司	
26)	ヒト細胞における 4 アミノピフェニルの損傷乗り越え DNA 合成を介した突然変異誘発	29
	(府大産学官) 澤井知子、川西優喜、八木孝司 (国立がんセンター) 高村岳樹	
27)	³²P 標識ヌクレオチドを用いた、3-ニトロベンズアントロン-DNA 付加体生成と突然変異の解析	30
	(府大産学官) 西田裕、川西優喜、八木孝司	
	(国立がんセンター) 高村岳樹、若林敬二	
28)	マウスへの高濃度亜硝酸暴露実験	32

	(府大院工) 小手石泰康, 竹中規訓, 坂東博 (公衛研) 大山正幸	
29)	嗅覚系における神経細胞の発生・分化の分子機構に関する研究	33
	(府大院理) 榎本孝幸、廣田順二	
30)	温度応答性抗がん剤デリバリーシステムの開発	34
	(府大院工) 河野健司、尾沢敏明、児島千恵、原田敦史 (阪大院理) 青島貞人 (帝京大薬) 丸山一雄 (国際医療センター) 石坂幸人	
31)	Relationship between Higher-order Structure of DNA Molecules and DNA Damage by Ionizing Radiation	35
	(府大産学官) 森利明 (名文理大短大食物栄養) 馬籠信之、吉川祐子	
32)	ヌクレオチド酸化損傷塩基の除去にかかわる酵素の探索	36
	(府大産学官) 森利明、大谷謙二 (山口大農) 滝本晃一	
33)	大腸菌変異株を用いたB型肝炎ウイルス HBX (Human Hepatic B Virus X gene) タンパクの研究	37
	(府大産学官) 森利明、大谷謙二、八木孝司 (公衛研) 小田美光	
34)	マウス放射線適応応答は2つの機構によりもたらされる	38
	(府大産学官) 白石一乗、児玉靖司 (奈良医大) 米澤司郎	
35)	培養液中の自然放射線の吸収線量への寄与(1) - 極低線量放射線に対する生物応答研究に関連して -	40
	(府大産学官) 松田八束、川西優喜、奥山勝幸、白石一乗、八木孝司、 谷口良一、汐見信行 (奈良医大) 米澤司郎	
36)	培養液中の自然放射線の吸収線量への寄与(2) - 極低線量放射線に対する生物応答研究に関連して -	44
	(府大産学官) 松田八束、川西優喜、奥山勝幸、白石一乗、八木孝司、 谷口良一、汐見信行 (奈良医大) 米澤司郎	
37)	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」の発足と概要	49
	(府大産学官) 奥田修一	
3.	平成17年度共同利用報告会プログラム	51
4.	特別公演	53
	「放射線適応応答-マウス個体の放射線抵抗性獲得-」 (奈良医大) 米澤司郎	
5.	公立大学法人大阪府立大学 産学官連携機構・放射線研究センターにおける 放射線施設の利用	57

ライナックおよびコッククロフト・ウォルトン電子加速器の現状

大阪府大産学官連携機構 谷口良一*、小嶋崇夫、岡 喬、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)

[現状] 18MeV 電子ライナックの 2005 年の運転時間は 262 時間であった。これは前年の実績である 262 時間と同じであった。図 1 に、この 25 年間の年間運転時間の推移を示す。利用内容をみると、 $10^{18}e/cm^2$ を越えるような重照射も行っているが、電源系の老朽化により、パルスラジオリシス、微弱ビームのような軽度の照射に重点が移りつつある。一方、600keV コッククロフト・ウォルトンの運転時間は 58 時間であった。これは前年の実績である 75 時間より若干減少している。

[メンテナンス] ライナックでは、これまで慢性的な真空系のトラブルが続き、修理に多大な時間を浪費してきた。この 40 年間ライナックの真空系は、部分的な補修を繰り返してきたため、超高真空の金属シール部と低真空のゴムシール部が混在し、しかも規格の異なったフランジ類が不規則に存在するという混乱した状態にあった。このため、2006 年から真空系を一新する作業に入った。フランジを単一の規格に統一するとともに、老朽化していたバルブ、ステアリングマグネット、Q マグネット等も更新した。また、真空系以外でも RF 系、入射系の修理、更新も行っている。コッククロフト型電子線加速器でも、入射系、高圧発振器の故障が発生し修理を行った。また装置以前の問題として線源棟全体の電源の故障が多くみられた。改善する必要がある。

[研究テーマ] 表 1 に 2005 年にライナックおよびコッククロフトを利用した主要なテーマを示す。このうち、金属材料照射、微弱電子ビーム、U の微量分析の 3 テーマで年間運転時間の半数近くを占めている。新たなテーマとしては、衛星部品、ナノ粒子の照射生成試験などがあげられる。

[本研究に関する研究発表]

(1. 原著論文、2. その他報文、3. 学会等報告)

3-1) 「大阪府立大学電子・イオン加速器の現状」

奥田修一、他 6 名、第 2 回日本加速器学会年会、第 30 回ライナック技術研究会(7月20日~7月22日、鳥栖)

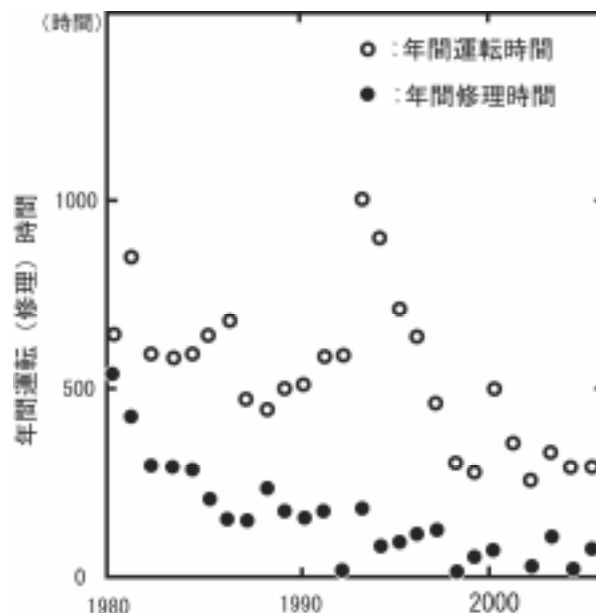


図 1 ライナックの年間運転時間の推移

表 1 2005 年の主な実験テーマ

ラジオグラフィ
微弱電子ビームの取り出しと利用
金属材料、化合物半導体の照射
衛星部品の照射
パルスラジオリシス
貴金属ナノ粒子の生成
極微量ウランの分析
ナノ粒子、薄膜の電子線照射
放射線検出器、線量計の較正

大阪府立大学の法人化に伴って対応した放射線管理上の諸問題

Various Problems on Radiation Safety Management Style Corresponding to the Structural Change from Governmental to Corporation of Osaka Prefecture University

奥田修一、八木孝司、松田八束^{*}、汐見信行、児玉靖司、谷口良一、岡 喬、森 利明、
伊藤憲男、川西優喜、白石一条、小嶋崇夫、和田野 晃¹、乾 博¹、
阿賀田政吉、小嶋宏和、溝畑 朗
府大産学官、¹府大院生命

(*本研究に関する連絡先：メール yaka@riast.osakafu-u.ac.jp)

1. はじめに

平成17年4月1日に大阪府立大学は法人化され、放射線事業所の代表者が大阪府知事から公立大学法人大阪府立大学理事長となった。国立大学では、法人に移行するための法整備がなされていたのに対し、公立大学では状況が異なり、事業所の廃止手続きおよびそれに続く新規の許可申請手続きが必要となった。平成16年11月に文部科学省科学技術・学術政策局の原子力安全課放射線規制室をおとずれ、この指導を受けた。この後約6ヶ月の間に、申請核種に合わせた遮蔽計算と許可申請書の作成、不要な放射性同位元素、放射性廃棄物の処分、施設の整備と汚染検査、放射線取扱い主任者の解任選任、予防規程の届けなど多くの手続きを行い、施設検査合格後に、新たに産学官連携機構事業所が発足し、5月3日から施設の使用を開始した。この経緯について報告する。[第4回日本放射線安全管理学会(11月23,24,25日,京都)発表]

2. 非密封放射性同位元素

この機会に、平成16年度までの許可数量を見直し、核種数を約10分の1以下の必要最小限のものにすることによって、管理の負担を低減した。旧排水施設を現状に合うよう整備した。

3. 密封放射性同位元素

平成14年度に変更申請した時点で詳細な遮蔽計算を行っていたこと、期日が迫っていたことを考慮して変更は行わなかった。使用の場所6箇所において9核種122個が用いられている。今後時期をみて整理してゆくことが必要と考えられる。

4. 放射線発生装置

使用を停止していたファン・デ・グラーフ加速器を廃止した。直線型電子線加速装置については、性能がやや低下し、フル出力での運転はできない状況であったが、遮蔽能力に問題はなく、平成14年度の見直し遮蔽計算の結果を踏襲して変更は行わなかった。

5. 核燃料物質

核燃料物質は今後使用しないとして、貯蔵のみ行う内容で法人としての許可を得た。このことにより、トレーサー棟の使用室及び排水処理室の廃止、第2線源棟の使用室の廃止、屋外管理棟の使用室の廃止を行った。工学部からの使用予定のない国際規制物質を受け入れた。

6. おわりに(今後の安全管理)

今回法人化に合わせて、使用核種の種類と数量の削減、一部加速器の廃止、一部施設の整備、核燃料物質使用の撤廃、などを行って、管理上の合理化を行ったが、平成16年6月の法令改正やこの後の機器の更新状況によって、まとまった予算を必要とする改善すべき問題も多く残されている。昨年度は、届を必要としないが厳重な管理を必要とする不要の密封標準線源(チェックソース)を日本アイソトープ協会に引取ってもらった。最近では平成18年2月16日文部科学省の立入検査があり、書類について1件指摘を受け直ちに改善した。現状の人員削減と法令改正の過渡的状況から、人員の不足の中で、管理組織と運営のみなおしを迫られている。

線源棟照射施設の保守管理

大阪府大産学官 小嶋崇夫、岡喬、谷口良一、奥田修一、
阿賀田政吉、小嶋宏和

大阪ニュークリアサイエンス協会 團野正樹

(*本研究に関する連絡先：電話(内線)4213、メール kojima@riast.osakafu-u.ac.jp)

平成 17 年度に実施した線源棟照射施設の保守管理に伴う主要な工事・作業の概要を以下に示す。

1) コバルト照射室マスタスレイブマニプレータの点検整備

平成 17 年 11 月、コバルト第 4 照射室の左側マスタスレイブマニプレータ(以下、MSM とする)の電動 Y 動作に不具合が発生したため、点検整備作業を実施した。作業は同様の不具合事象が発生し得る機器への水平展開を行い、コバルト第 1 照射室(三菱重工業(株)製 MAP-2 型)2 台、コバルト第 4 照射室(同 MAP-20 型)2 台の計 4 台について実施した。

2) 第 1 線源棟の屋上防水補修工事

第 1 線源棟屋上で防水部の劣化が発生していたため、補修工事を実施した。今年度の対象箇所は、1)ライナック第 2 照射室、2)ライナック測定廊およびライナック測定室、3)コバルト照射室増築部境界、4)コバルト照射プール、5)コバルト第 4 照射室南側であった。

3) コバルト照射プール用純水装置の更新

当該装置は設置後約 20 年が経過し、漏水・空気吸込などの不具合が顕著になりイオン交換樹脂の劣化が促進され、再生周期の短期化や樹脂寿命の短縮が発生し維持管理作業が煩雑化していた。このため、平成 18 年 2 月、装置の更新を実施しオルガノ社製自動純水装置 MBA-6000(標準純化処理量 6.0 m³/h)を設置した。

4) コバルト第 4 照射室および照射プール放射線監視装置の点検・調整

コバルト照射施設の放射線監視装置は照射室内の放射線量を常時監視し、照射室の運転操作に対するインターロック機能を有しており、線源の安全な取扱いのために重要な役割を果たしている。今年度は、コバルト第 4 照射室および照射プールに設置された監視盤、エリアモニター 4 台、水モニター 1 台の点検・調整を実施した。

謝辞

御協力頂いた大阪府立大学事務局施設課および作業従事者の方々に深く感謝致します。

電子ビームによるコヒーレント THz 放射光源の利用

阪府大産学官 奥田修一*、芝山学、谷口良一、小嶋崇夫

京大炉 高橋俊晴

Kangwon 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)

テラヘルツ (THz) 分光やイメージングは、第3期科学技術基本計画に盛り込まれ、国の基幹技術として今後発展が見込まれる重要な研究分野である。フェムト秒レーザーなどを利用した小型光源の普及で、利用が広がってきた。一方コヒーレント放射は、ライナック短パルス電子ビームから、シンクロトロン放射や遷移放射の過程で放射される。THz領域を含み広くサブミリ-ミリ波領域で連続スペクトルを持ち、他の光源に比べて高強度のパルス光である。加速器ベースで装置が大掛かりであるが、基礎研究などへの利用が期待されている。特に半サイクルの高強度電場パルスの利用は、大きな特徴である。またエネルギー回収型電子ライナック (ERL) では、最大 ~ kW におよぶ高平均強度のコヒーレント放射の利用も考えられている。

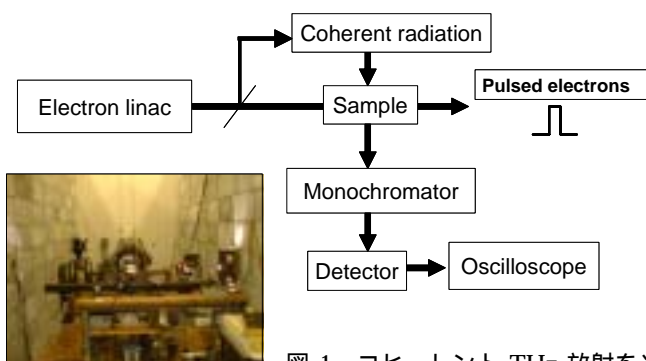


図1 コヒーレント THz 放射を光源とするパルスラジオリシス系

われわれは、コヒーレント放射光源に関する

10年以上にわたる研究をもとに、京大原子炉での放射光源利用実験、原子力機構ERLでの測定実験を行い、光源の開発と利用研究を行っている。また府大においては、18 MeV SバンドOPU電子ライナックのビームにより、コヒーレント遷移放射光源の準備を行っている。特徴ある実験として、パルスラジオリシスにおいて励起に用いる電子ビームからのコヒーレントTHz遷移放射をプローブ光とする新しいシステムの構築に向けて、準備を開始した(図1)。

参考文献

- 1) High-Intensity Far-Infrared Light Source Using the Coherent Transition Radiation from a Short Electron Bunch, S. Okuda et al., Nucl. Instrum. Meth. A528 (2004) 130-133.
- 2) Coherent radiation from high-current electron beams of linear accelerators and its applications, S. Okuda et al., Radiat. Phys. Chem. (in press).
- 3) THz 光利用に関するアメリカの DOE / NSF / NIH レポート : http://www.thznetwork.org/THz_rpt.pdf.

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) 原研エネルギー回収型ライナックにおけるコヒーレント放射光の観測、高橋俊晴ほか、日本加速器学会第2回年会(2005年7月20-22日、鳥栖)20P099, Proc. pp.498-500.
- 2) Generation of Coherent Synchrotron Radiation from JAERI-ERL, R. Hajima, E.J. Minehara, M. Sawamura, R. Nagai, N. Kikuzawa, H. Iijima, T. Nishitani, T. Takahashi, S. Okuda, Proc. 27th Int. Free Electron Laser Conf. (Aug. 21-25, Palo Alto, USA, 2005).
- 3) 京大炉におけるコヒーレント放射光源によるミリ波吸収分光、奥田修一、力安敬太郎、高橋俊晴、日本原子力学会2005年秋の大会(2005年9月13-15日、八戸)。
- 4) ライナック電子バンチの制御とコヒーレント放射光源の利用、奥田修一、Spring-8 ビーム物理研究会2005、コヒーレント放射光ミニワークショップ(2005年11月15日、西播磨)。
- 5) Pulse-radiolysis system using a light source of the terahertz radiation from electron beams, S. Okuda, T. Kojima, R. Taniguchi, Int. Workshop on Sci. and Eng. for Evolution of Valuable Resources and Energy from Organic Wastes (Sakai, Japan, Mar. 15-17., 2006).

電子線ライナックの超微弱電子ビームの開発

大阪府立大産学官連携機構 谷口良一、田中幸夫、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)

はじめに：電子線形加速器から出力される電子線は、1パルスあたり 10^{13} コ程度の電子を含む。

我々は電子線形加速器から出力される電子線を微弱化し単一電子を取り出すことをめざしている。

超微弱ビームの場合、極めて狭い間隔のスリットを使う場合が多く、小角散乱成分、2次線の混入が避けられない。それによって、ビーム中の低エネルギー成分が増加し、エネルギースペクトルが劣化することが問題となる。そのため今回、微弱ビームをマグネットで分光し、微弱化に伴う電子ビームのエネルギースペクトルの変化を調べた。

実験：微弱化した電子ビームをマグネットで偏向した後、ビームのプロフィールを NaI 蛍光板と冷却型 CCD カメラを組み合わせて測定した。ビームの微弱化はスリットを用いないでカソードの制御すなわち電子銃の出力を絞ることで行った。図1

にスペクトルの変化を示す。これらの分布は、CCD 画像のビームプロフィールの輝度分布を数値化し、さらに偏向マグネット電流を変化させた数枚のビーム画像データをつなぎ合わせて得られたもので、横軸はエネルギー、縦軸は輝度(電流値)を対数で示している。図のように数十 pC/pulse

程度のビームに比べて、それ以下の微弱ビームでは、エネルギーの広がりが大きくなっている。また 0.01pC/pulse よりも微弱化した場合、図に示すダークカレントのスペクトルとなり、それ以上微弱化することはできなかった。このダークカレントの起源を究明し軽減することが今後の課題である。

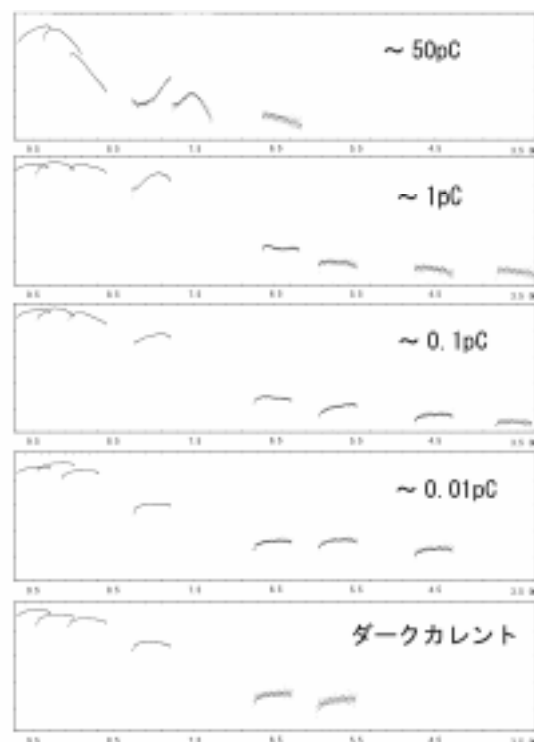


図1 微弱化に伴うエネルギー
スペクトルの変化

本研究に関する研究発表(1.原著論文、2.その他報文、3.学会等報告)

3-1)「超微弱ライナック電子線の計測」、谷口良一、若松はるか、小嶋崇夫、奥田修一、

第2回日本加速器学会年会、第30回リニアック技術研究会(2005年7月20-22日、佐賀)

3-2)「電子線ライナックの超微弱ビーム特性」、谷口良一、若松はるか、小嶋崇夫、奥田修一、

日本原子力学会2005年秋の大会(2005.9.13-15、八戸)B45

3-3)「超微弱電子ビームを用いた放射線検出器応答の測定」、谷口良一、田中幸夫、小嶋崇夫、

奥田修一、第20回放射線検出器とその応用(2006年2月1-3日、KEK)

光中性子法による極微量ウラン定量技術の開発

日立製作所 川崎 智
阪府大産学官 谷口良一、 奥田修一
原環センター 佐々木朋三

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

電子線形加速器の制動 X 線を用いて発生する光中性子の測定により極微量のウランを遠隔かつ非破壊で定量化する技術を開発している。200L ドラム廃棄物に対する計算機シミュレーション評価では、0.03Bq/g 程度の極微量ウランの定量が可能であると試算されている。

1.はじめに

ウラン取扱い施設で発生する廃棄物を処分する際には、当該廃棄物に含まれているウラン濃度が基準値以下であることを検認することが必要であり、今後制定が予想されるクリアランス基準値は 0.3Bq/g 程度以下になると考えられる。この検認作業としてはサンプル分析でも可能であるが、効率化の観点から非破壊測定での検認作業の実用化が望まれている。

種々のウラン廃棄物に対する測定性能を評価するためには計算機シミュレーションが不可欠であり、試験結果との比較から計算機シミュレーションの適用性を評価した。

2.測定体系

図 1 に示す測定体系において、ウランの光核反応による遅発中性子を検出した。X 線パルスモニタは、パルス毎の X 線強度を補正するために用いた。測定対象は天然ウラン、電子線の最大エネルギーはウランの光核反応のしきい値(約 5MeV)以上の 11MeV とし、15Hz で X 線パルスを照射した。

3.結果

遅発中性子検出の計算は、モンテカルロ計算コードである MCNP4C と MVP を用いた。測定サンプル位置での線量当量率で規格化して計算値と測定値を比較したところ、遅発中性子の検出感度の計算値/測定値は約 2.4 であり、計算値を補正することで、ウラン廃棄物に対する測定性能を評価できることが分かった。

200L ドラム廃棄物に対するウラン検出性能を計算機シミュレーションで評価し、中性子外部反射材やバックグラウンド低減化対策をすることにより、0.03Bq/g 程度の検出下限値を得られる見通しを得た。

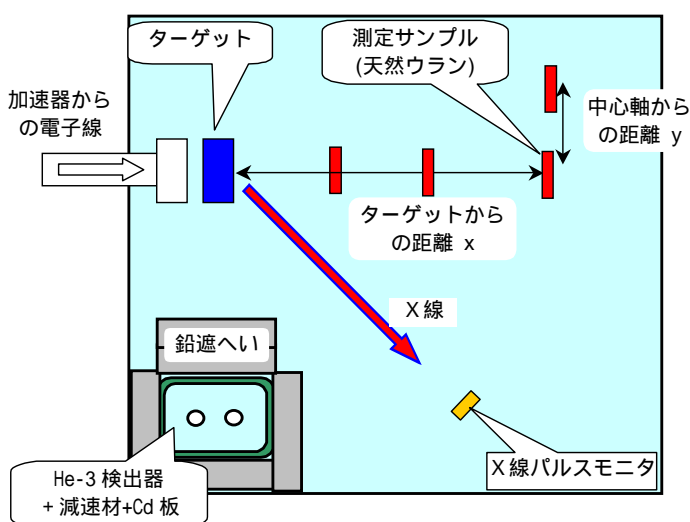


図 1 光中性子を用いた極微量ウランの測定体系

本研究は、経済産業省からの委託による開発研究の一部として行われた。

微弱電子線を照射した線量計材料の熱蛍光二次元計測

大阪府大産学官

田中幸夫*、谷口良一、岡喬、小嶋崇夫、奥田修一

(*本研究に関する連絡先：電話(内線)4213、メール ar0101@mtr.osakafu-u.ac.jp)

1. 緒言

加速器により人工的につくり出される電子線は、放射性同位元素から発生するものに比べエネルギーや方向を精密に制御することができる。そのため様々な照射条件による物質の電子線照射効果を調べることができる。加速器で微弱な電子線を発生させることができれば、低い線量での照射が可能になり、放射線検出器の応答解析や生物細胞の照射効果など、多くの研究への応用が可能となる。本実験では、通常の加速器に比べて6桁から9桁も弱い微弱ビームを発生させ、熱蛍光線量計に照射して、その応答を二次元的に解析することを目的とする。

2. 実験方法

微弱電子線の発生には、産学官連携機構の電子線形加速器を用いた。この装置の概略図を図1に示す。

スリットにより微弱化した電子線を熱蛍光線量計(TLD)に照射した。試料にはイメージングプレート(IP)を用いた。このIPはBaFX:Eu²⁺(X=Cl,Br,I)を主材料としている。大きさ2.5 cm×2.5 cmの6つのIP板にそれぞれ異なる照射条件で電子線を照射した。

図2に本研究で開発した二次元TL読み出し装置の概略図を示す。この装置で、照射された6つの試料の昇温により発生した光子の数および二次元画像を5分毎に測定した。

3. 結果

図3に電子線照射により発生した光子数と電子線の電荷量との関係をエネルギー10 MeV, 6 MeVそれぞれについてプロットした。電荷量1から100 pCの間で両者の間には線形関係がある。また、光子数はエネルギーによる差があり、10 MeVでは6 MeVの場合のときの約2倍である。この値の差は、TLD中で電子線が失うエネルギーの差からは説明できない。これは、高エネルギー電子線によるTLの励起に、低エネルギーの線あるいは電子線とは異なったプロセスが関与している可能性を示唆している。

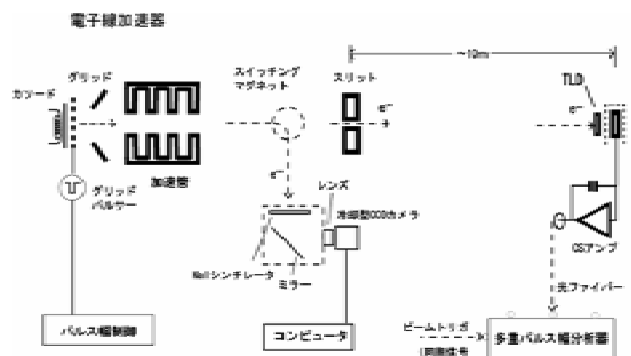


図1 微弱電子線発生装置の概略図

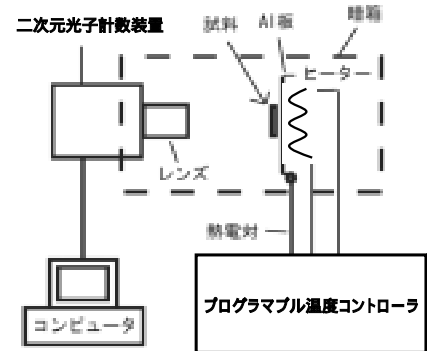


図2 二次元 TL 読み出し装置の概略図

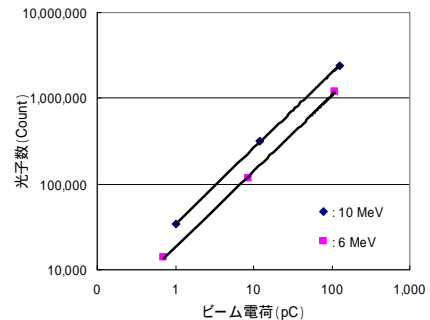


図3 ビーム電荷と光子数の関係

線照射シリカガラス照射損傷過程に及ぼす周辺材料の影響

名大院工 小幡祥堂 吉田朋子*
九大総理工 田辺哲朗

(*本研究に関する連絡先：メール tyoshida@nucl.nagoya-u.ac.jp)

1 緒言

放射線照射損傷を評価する際に、照射環境下にある試料周辺の材料から発生する二次電子や光子が照射損傷に影響を及ぼすと考えられる。これまで、金属板で挟んだシリカガラスに線照射し、金属板から発生する二次電子や光子がシリカガラス内における欠陥生成を促進することを報告してきた。今回は、線の線量率依存性を詳しく調べるために高線量率の線源で照射を行った。さらに、不純物含有量の異なるシリカガラスを用いて照射を行い、周辺材料から発生する二次電子による欠陥生成の促進効果について検討した。

2 実験

不純物含有量の異なるシリカガラス（東芝セラミックス社製：T2030(10x10x1mm³)及びT2630(10x10x1mm³)と、この試料を鉛板(10x10x0.5mm³)で挟んだものを用意し、名古屋大学⁶⁰Co線照射施設(7.5 kGy/h (H₂O))と大阪府立大学産学官連携機構⁶⁰Co線照射施設の照射プール(12.6 kGy/h (H₂O))において照射を行った。両シリカガラスの不純物含有量については表1に示す。照射前後のシリカガラスの紫外可視光吸収スペクトルを、日本分光社製V550を用いて測定した。

3. 結果及び考察 照射によりすべての試料について、2eV,4eV,5.8eVの吸収の増加が確認できた。この3つの吸収の内、E'centerに帰属される5.8eV吸収の照射時間に対する強度変化は図1のようになった。鉛板で挟んだT2030と挟んでいないものでは、吸光度の飽和値に差があったが、鉛板で挟んだT2630と挟んでいないものでは殆ど差がなかった。また、高線量まで照射したT2630についても吸光度に殆ど差がなかった。線を同程度照射した場合、T2030とT2630の照射後の吸光度を比べると、T2030のほうが高く、T2030のほうがT2630に比べて欠陥が生成されやすいといえる。MCNPコードを用いて計算を行ったところ、線照射時に発生した二次電子による酸素原子の弾き出し数は非常に小さいことが示唆された。このことから、欠陥生成は、主に二次電子による電子励起効果によって促進されることが推測される。電子励起効果による欠陥生成過程には、シリカガラス内にあらかじめ含まれる金属不純物含有量が影響を及ぼすものと考えられる。

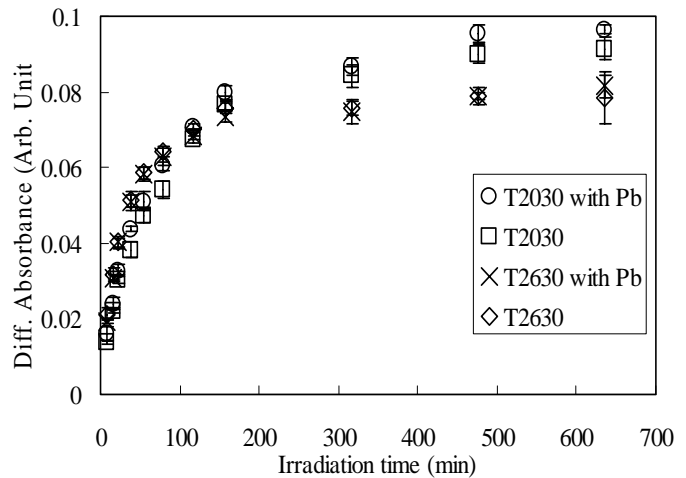


図1 5.8eVの吸収強度の照射時間に対する変化

表1 T2030とT2630における不純物含有量

	Al	F	Na	K	Cu	B	OH基
T2030	8	0.5	1	1	0.02	0.3	1
T2630	8	0.2	0.05	0.05	0.01	0.06	1

参考文献

- 1) S. Obata, T.Yoshida, T.Tanabe, C.Allen, M.Okada, Q. Xu, Nucl. Instr. and Meth. B, (2006) in revision
本研究に関する学会発表
- 1) 小幡祥堂他、日本原子力学会 2006年春の年会要旨集 日本原子力開発機構(大洗)

化合物系太陽電池の低エネルギー電子線照射効果

宇宙航空研究開発機構(JAXA) 川北史朗^{*}、島崎一紀、森岡千晴、今泉 充、岐部公一
大阪府立大学産学官連携機構 岡 喬
大阪府立大学工学部 岩瀬彰宏
大阪ニュークリアサイエンス協会 北川通治

(*本研究に関する連絡先：電話 029-868-4241，メール kawakita.shirou@jaxa.jp)

宇宙機に搭載される太陽電池は、高い変換効率を有しているのはもちろんであるが、軌道上に存在する放射線に対する高い耐性が必要とされる。近年、化合物系太陽電池は Si 以上の高い変換効率及び、Si では実現が難しかった薄膜での高効率化 (=宇宙機の軽量化) が期待されるため、JAXA でもこれらセルに対する放射線照射効果の研究を進めてきた^{1,2)}。しかしながら、我々がこれまで遂行してきた 500keV 以上の電子線照射試験では複合的な欠陥が同時に生じるため、セル劣化の起因解明が困難であった。本研究では、化合物系太陽電池に低エネルギー電子線を照射することで、構成元素のうち最も軽い元素のみをはじき出すしきいエネルギーを導出し、その際のセル劣化特性との因果関係を調査することを目的とする。

照射セルとしては、まず InGaP セルを予定している。InGaP は現在宇宙用として最も効率が高い 3 接合太陽電池 (宇宙光下で変換効率 27% 以上) のトップセルとして用いられているセルであるが、高い放射線耐性を有し、かつ照射欠陥が電流注入によりアニールアウトされセル特性が回復することが報告されている³⁾。

17 年度は、昨年度に引き続き電子線照射下での計測システムの構築を行った。特に、電子線照射量を正確に計測することを目的に、別の加速器による同照射条件での太陽電池の劣化挙動の比較評価を行った。これは、宇宙用シリコン太陽電池を対象とし、日本原子力研究開発機構の電子線照射装置を用いて、大阪府立大学の電子線加速器と同条件 (エネルギーおよびフルエンス) の照射試験を行い、その劣化特性を比較評価することである。日本原子力研究開発機構の照射装置を用いた 0.5MeV のエネルギーの電子線照射試験の結果を図 1 に示す。この照射試験結果と、大阪府立大学の加速器での試験結果とを比較評価する予定であったが、同加速器が故障したため、試験を行うことができなかった。18 年度は、引き続きシステムの構築および InGaP などの化合物太陽電池の放射線劣化メカニズムの研究を行う。

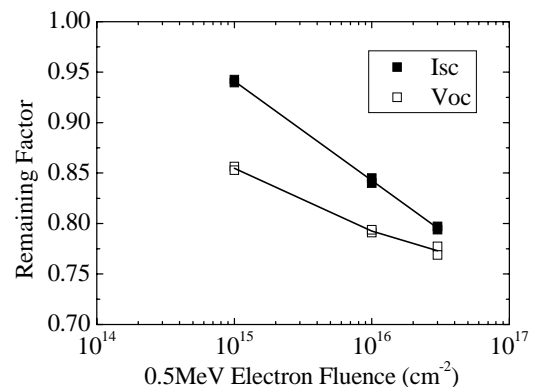


図 1 宇宙用シリコン太陽電池の 0.5MeV 電子線による電気性能の劣化挙動。

参考文献

- 1) S. Kawakita et al. *Jpn. J. Appl. Phys.*, **41** (2002) L797.
- 2) T. Sumita et al. *Nucl. Instr. Meth. Phys. Res. B* **206** (2003) 448
- 3) N. Dharmarasu et al. *Appl. Phys. Letters*, **79** (2001) 2399

線による C-MOS 小型カメラのトータルドーズ耐性

大阪府立大学工学部航空宇宙工学科 本田 徹*

(*本研究に関する連絡先：電話(内線)2250(大久保博志教授)，

メール to030209@edu.osakafu-u.ac.jp(本田))

【はじめに】

宇宙空間では人工衛星は宇宙放射線にさらされるため、搭載される機器は放射線耐性が保証されていなければいけない。放射線耐性に優れた宇宙用の部品を開発する場合、民生品に比べ、非常に多くの時間とコストを費やす必要がある。そこで、今回、小型・軽量・高性能・低コストな民生部品を人工衛星に転用すること考える。本試験を行うことにより、民生部品の耐放射線性を立証することができれば、民生部品を厳しい放射線環境下に置かれる人工衛星に転用できる可能性を確認でき、今後の宇宙開発に貢献ができると考える。

その一環として、今回は C-MOS 小型カメラのトータルドーズ試験を行った。

【試験条件】

- ・太陽活動極大期
- ・高度 700km
- ・構体及び筐体の想定シールド厚 5[mm]

この場合に受けるトータルドーズは解析の結果より約 10[Gy(Si)/year]である。

【カメラの仕様】

- ・種類：C-MOS カメラ(型番:FQY-888CSET)
- ・画素数：36.5 万画素
- ・電源：DC + 9V
- ・サイズ：41 × 38 × 32[mm]

【試験方法】

線を照射しながらカメラの映像をパソコンでモニターする。

まず、線量率 5[Gy/h]で 2 時間照射し、1 年分の線量を照射した場合の劣化を見る。次に線量率 20[Gy/h]で 2 時間照射し、影響を見る。

【試験結果】

線量率 5[Gy/h]で 2 時間照射した結果、照射中は画面上に白い点がランダムに発生したが、照射

をとめると画像は正常に戻った。図 1 に照射前の画像、図 2 に照射中の画像を示す。図 2 の白い点については SEU が発生したものと推定できる。

次に、1年分の線量を照射しても影響が見られなかったため、線量率20[Gy/h]で2時間照射した。発生する白い点は発生頻度が激しくなったが、照射をとめると正常な状態に戻った。図 3 に20[Gy/h]での照射中の画像を示す。

本試験では太陽活動極大期の照射量を仮定しているため、試験条件は現実には受けるトータルドーズ条件よりも厳しいものとなっている。それに加え、試験時間の制約から、宇宙での線量率より高い線量率に設定しているため、回復効果も条件は厳しくなっている。

結果として、トータルドーズに関しては今回の試験条件からは影響が見られなかったと判断できる。

よって、この C-MOS カメラには 50[Gy]以上のトータルドーズ耐性があると推定できる。

以下に画像を照射前後、照射中の画像を添付する



図 1 . 照射前



図 2 . 照射 5Gy/h



図 3 . 照射 20Gy/h

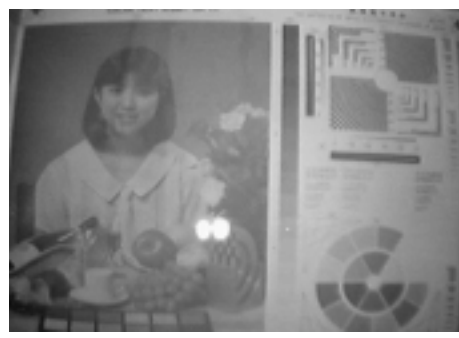


図 4 . 照射後

過飽和合金における溶質原子の照射促進偏析

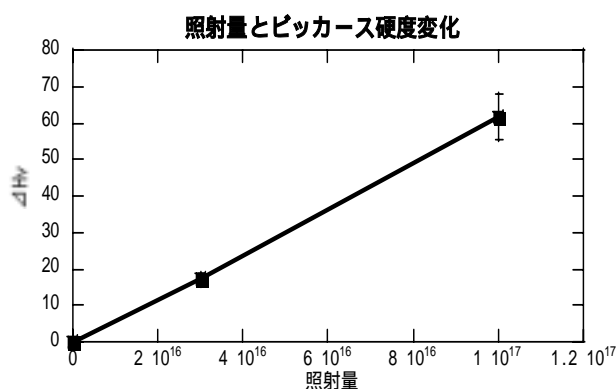
工学研究科 中川将 岩瀬彰宏* 堀史説, 産学官放射線研究センター 谷口良一,

ONSA 北川通治 大嶋隆一郎, 原子力機構 飛田徹 鈴木雅秀

(*本研究に関する連絡先: メール iwase@mtr.osakafu-u.ac.jp)

溶質原子を過飽和に含む合金に放射線を照射すると、溶質原子の偏析が促進されて材料の特性が大きく変化する(照射促進偏析という)。本実験では、高速電子線で照射したFe-Cu合金について、Cu原子の照射促進偏析を硬さと電気抵抗を用いて評価した。

1.はじめに 照射促進偏析は、時効などの熱処理とは異なり比較的低い温度でも生じるため、それによる材料の硬化・脆化は原子力材料の耐照射性に大きな影響を及ぼす。また、照射した領域においてのみその効果が生ずるため、材料に新たな特性を創生する手段として用いることができる。そこで本研究では代表的な過飽和モデル合金 Fe-Cu を用い、材料の耐照射性、放射線による物質改質、の両面から、照射促進偏析現象を調べることを目的とした。



2.実験方法 試料は銅をほとんど含まない Fe-0.02wt.%Cu ならびに銅原子が過飽和に固溶した Fe-1.2wt.%Cu である。大阪府立大学の電子線ライナック加速器において、真空中、室温から 500 度の任意の温度で材料照射できる装置を製作し、それを用いて、真空度 4×10^{-3} Pa、電子線のエネルギー 8 MeV、温度 250 において照射を行った。照射した試料について、特性を調べるため、ビッカース硬度測定を行った。また、照射時と同温度、同時間、時効した試料について

もビッカース硬度を測定した。さらに、照射試料の電気抵抗を測定して、伝導電子の散乱の銅偏析による変化を評価した。

3.結果と考察 上図は、Fe-1.2wt.%Cu の試料において照射量と照射前後のビッカース硬度の変化を示したグラフである。照射量に比例して硬度の増加が見られる。同条件で時効を行った試料はビッカース硬度に変化が無かったことから、硬度の変化は電子線の照射による照射促進偏析の影響と考えることができる。すなわち、照射により、250 という比較的低温において熱空孔よりもはるかに高濃度で発生した空孔が、それとカップリングした銅原子と共に拡散し、その結果銅原子の析出が起こり、硬化をもたらした、と考えられる。当日は電気抵抗測定の結果についても議論する予定である。

B2 型FeAl 金属間化合物中の非平衡欠陥の研究

大阪府大工学研究科 堀史説*、岩瀬彰宏

大阪府大工院 室田勝幸(現 オムロン)

京都大学原子炉実験所 義家敏正、Qiu Xu

(*本研究に関する連絡先：電話(内線)072-254-9812(5658)、メール horif@mtr.osakafu-u.ac.jp)

【研究背景】

耐腐食性、高温高強度等といった特徴から構造材料として期待されてきた金属間化合物にFeAl合金がある。この合金は等比組成付近の広い範囲にわたってB2 (CsCl) 型構造を有する。近年、この合金が急冷等により多量のナノサイズのポーラスが形成することがわかってきている。そのナノポーラス形成及び制御は難しく、融点直下でも1at.%に満たない程度の熱平衡空孔しか形成されないにも関わらず、極めて多量の過飽和空孔がどのような過程で集合するのかわかっていない。このような観点からもこの合金系での過飽和空孔の拡散・集合の挙動についての知見を得る事は、新規の機能性材料を開発する上でも極めて重要である。にもかかわらず、金属間化合物における熱的非平衡欠陥の研究はこれまでほとんど進んでいない。そこで電子照射により過飽和に非平衡欠陥を導入し、それらの移動・拡散の基礎的知見を得る事を目的とし、空孔型欠陥に対して敏感な陽電子測定を行った。

【実験方法】

実験試料はアーク溶解にてFe-40, 48, 51at.%Al の組成の試料を作成し、マイクロカッターにて切り出し、試料表面を湿式研磨した。空孔除去の熱処理を施し急冷した試料と組成Fe-48at.%Al で空孔除去の熱処理を施していない試料を用意した。照射温度や試料の組成、残留空孔濃度をパラメータに電子照射(京大原子炉LINAC: 28MeV, 77K, $10^{18}e/cm^2$)を行った。照射試料について陽電子寿命、ドップラー広がり測定を行った。

【結果】

本実験により、照射による空孔の導入によって未照射材に含まれる空孔(Fe空孔、Al空孔)の存在比に対する組成依存性が明らかになった。また、残留空孔濃度の高い試料において照射により空孔集合体形成の傾向等が確認された。この空孔集合体は濃度が1000ppm程度では室温までに解離した。そのためボイドの様な集合体形成にはこれ以上の濃度が必要であることなどがわかった。

本研究に関する研究発表

- 1) 室田勝幸、堀史説、義家敏正、Qiu Xu、岩瀬彰宏、日本金属学会秋季大会 2005 年9 月広島
- 2) 堀史説、室田勝幸、原口友秀、岩瀬彰宏、義家敏正、徐虫L、材料照射効果の解明と照射技術の高度化ワークショップ平成18 年3 月1 日大阪
- 3) 室田勝幸、堀史説、岩瀬彰宏、関西原子力懇談会 2006 年1 月23 日大阪
- 4) 室田勝幸、堀史説、原口友秀、岩瀬彰宏、義家敏正、QiuXu 材料開発研究会2005 年12 月大阪

ガンマ線照射による Au ナノ微粒子作製と 生成微粒子の照射線量および界面活性剤依存性

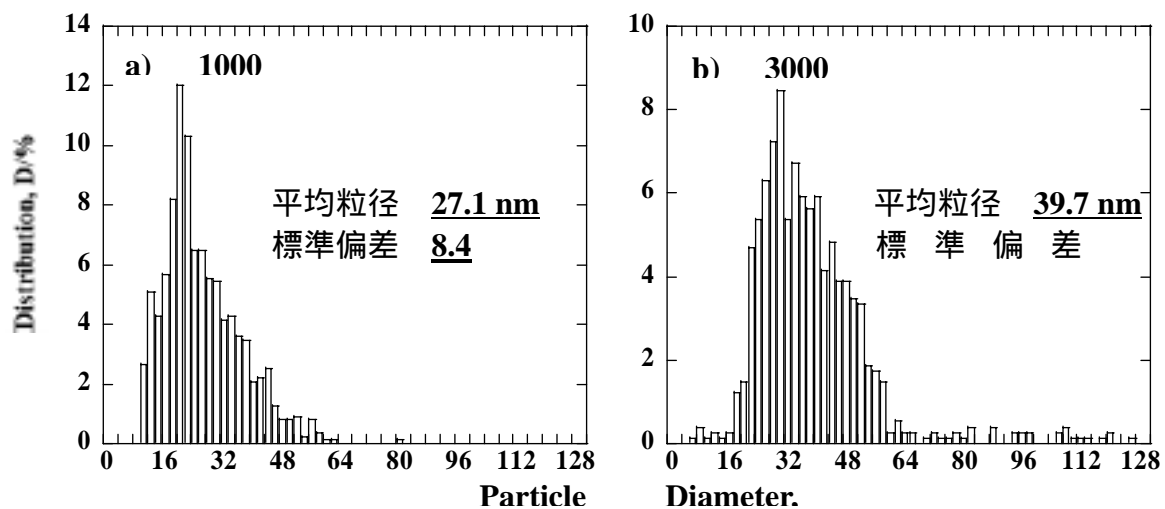
阪府大院工 マテリアル工学分野 前田修大*

(*本研究に関する連絡先: 電話(内線) 5741、メール hr103@mtr.osakafu-u.ac.jp)

目的: ガンマ線照射による還元反応場を利用することで、液相中で Au 単体のナノ微粒子を作製し、生成した微粒子に対し透過型電子顕微鏡などを用いて解析し、それぞれの照射条件における微粒子の照射線量依存性および界面活性剤依存性を調査する。

実験: 塩化金(III)酸ナトリウム 2 水和物が 0.5mM になるよう純水・界面活性剤(ポリエチレングリコールモノステアレート(PEG)・ポリビニルピロリドン(PVP)・ドデシル硫酸ナトリウム(SDS)の3種)で調整した試料を作製し、それぞれ 4ml ずつ 10mm 角のセルに入れ、室温・大気雰囲気中でコバルト 60 を線源とするガンマ線照射を行った。一定時間毎にセルを順に取り出して吸光度測定を行い、微粒子の各照射線量における生成量を推定した。

結果: Au イオンは溶液中では淡黄色であるが、ガンマ線照射することにより濃紅色に変化する。吸光度測定では 530nm 付近の波長で吸収が見られ、照射量の増加に伴い吸収量も増加する。これは Au 微粒子に特有な表面プラズモンによる吸収であり、本実験結果は、ガンマ線照射により還元反応が進み Au 微粒子が生成されたことを示している。この現象は界面活性剤の種類を変えても発現し、還元反応自体には界面活性剤依存性は見られなかった。しかしながら透過型電子顕微鏡での観察による粒径分布測定の結果、照射線量の差、界面活性剤の種類、および界面活性剤の添加濃度の違いにより、生成微粒子に影響を及ぼす可能性が示唆された。下図は Au(PEG)溶液にガンマ線をそれぞれ 1000Gy および 3000Gy 照射した場合に得られた Au ナノ微粒子の粒径分布である。本講演では他成分での生成微粒子についての結果についても報告する。



図; ガンマ線をそれぞれ a) 1000Gy および b) 3000Gy 照射した場合の Au(PEG)の粒径分布測定結果

電子線照射による貴金属担持複合ナノ粒子の合成

阪大院工 清野智史*、山本孝夫、木下卓也
阪府大産学官 奥田修一、谷口良一、小嶋崇夫

(*本研究に関する連絡先：電話 06-6879-7887、メール seino@mit.eng.osaka-u.ac.jp)

【緒言】我々は、放射線や超音波を利用した貴金属担持複合ナノ粒子の合成技術の開発を行っている。担体粒子が分散した貴金属イオン水溶液にガンマ線や超音波を照射すると、水溶液中に生成する還元種により貴金属イオンの還元反応が進行し、ナノ粒子として担体粒子上に分散・担持した複合粒子が得られることを報告してきた^{1, 2)}。今回、粒子合成に 10MeV 電子線加速器を用いた粒子合成を試みた。ガンマ線照射と比較してはるかに高線量率照射であるため、高濃度の還元種が伴う反応場となる。貴金属粒子の核生成の促進により、貴金属粒子の微細化と担体表面の被覆率の向上を狙った。

【実験方法】 γ -Fe₂O₃ ナノ粒子を HAuCl₄、ポリビニルアルコール(PVA)、2-propanol を含む水溶液中に分散し、ガラス容器に密閉した。電子線照射は、大阪府立大学の 10MeV 電子線加速器を用い、線量率約 1MGy/h で 20 秒間照射した。得られた粒子を TEM 観察により評価した。

【結果と考察】得られた複合粒子の TEM 観察結果の一例を図 1 に示す。平均粒径約 4nm の金粒子が、 γ -Fe₂O₃ ナノ粒子表面に高密度に担持した様子が確認できる。ガンマ線や超音波で合成した粒子と比較して、金粒径の微小化及び被覆率の向上が見られた。金イオン濃度、PVA 濃度、担体粒子濃度により金粒径を制御できる。また、貴金属種として白金、パラジウム等にも適用できることも確認している。貴金属粒子の微細化や被覆率の向上により、バイオ分野や触媒分野での高い性能が期待される。さらに、ベルトコンベヤによる照射試料の供給ができるので、複合粒子材料の大量生産への可能性も示されたと言える。

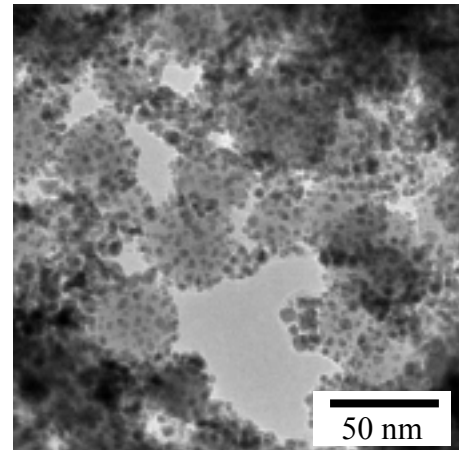


図 1 電子線照射で合成した Au/ γ -Fe₂O₃ 複合ナノ粒子の TEM 写真の一例

参考文献

- 1) S. Seino et.al., *Scripta Materialia*, 51 (2004) pp 467-472..
- 2) Y. Mizukoshi et.al., *Ultrasonics Sonochemistry*, 12 (2005) 191-195.

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) "Synthesis of Composite Nanoparticles using High Energy Electron Beam", S. Seno et.al., *The Symposium on Hybrid Nano Materials Towards Future Industries (Feb.3-5, 2006, Nagaoka Univ. Tech., Niigata, Japan)*.
- 2) 「電子線照射を用いた Au/ γ -Fe₂O₃ 系複合ナノ粒子中の Au の微細化・高密度化」、清野他、「日本金属学会 2006 年春期 (第 138 回) 講演大会 (3 月 21 日~22 日、於早稲田大学)」

陽電子消滅法によるナノ微粒子の電子状態評価

大阪府大工学研究科 堀史説^{*}、高谷弘枝(現 シャープ(株))、岩瀬彰宏
大阪ニュークリアサイエンス協会 大嶋隆一郎

(*本研究に関する連絡先：電話(内線)072-254-9812(5658)、メール horif@mtr.osakafu-u.ac.jp)

【研究背景】

近年、超音波照射法により粒径や構造を容易に制御できることがわかってきており、我々は Au-Pd 系において二層に分離していると考えられる微粒子(コア・シェル構造と呼ぶ)を作成し構造・物性評価を行っている。このコア・シェル構造の微粒子は触媒反応においても合金のそれより活性が高く、その特殊な構造ゆえに微粒子の表面電子状態が特異であることが予想される。しかしこのような微粒子の表面電子状態、あるいはその内部電子状態を直接観察する事は非常に難しい。そこで、従来格子欠陥の検出手法として用いられている陽電子消滅測定法を用いて微粒子の電子状態についての情報を得る事を目的として実験を行った。

超音波照射法で作成した構造の異なる微粒子を回収し、4.5mm x 4mm 程度の容器内に入れ陽電子線源を直接挟む状態で測定を行った。今回測定した微粒子は界面活性剤(SDS,PEG-MS)にAu³⁺、Pd²⁺をそれぞれ1mM 調整し、超音波照射したものをを用いた。また、比較のためにAu およびPd 単体の微粒子及び板材のものも陽電子測定に供し、実験を行った。

【結果】

微粒子中の陽電子の拡散(²²Na から得られる陽電子の場合最大~100nm)を考慮した場合、得られた微粒子の平均粒径(~10nm)から、殆どの陽電子は微粒子表面で消滅する。このため電子の運動量分布は表面近傍のものを観察していると考えられる。

バルク板材のPd とAuPd 合金(1:1)において、陽電子消滅同時計数ドップラー広がり測定(CDB)による電子運動量分布プロファイルに濃度依存性が見られ、Au とPdとで僅かなプロファイルの違いが見られた。一方、微粒子におけるCDB プロファイルではバルク材で観察されたピークプロファイルがブロードになりAu に特徴的なピークが殆ど見えなくなっていた。またPd のそれとも異なる分布を示していた事等から、コア・シェル微粒子の電子密度分布はその構造によりAu とは異なる状態であること等がわかった。そのためコア・シェル構造の微粒子の表面電子状態と触媒活性との間に相関があると推測される。

本研究に関する研究発表

- 1) 堀史説、広木大栄、秋田知樹、田中真悟、小嶋崇夫、岩瀬彰宏、日本物理学会春季大会(2006,3松山)
- 2) 田中真悟、堀史説、秋田知樹、香山正憲、日本物理学会春季大会(2006,3 松山)

放射線照射による微粒子共存系での液体の分解反応

大阪府大産学官 高柳健太郎、小嶋崇夫*、谷口良一、岡喬、奥田修一
大阪大学産研 清野智史
大阪大学院工 山本孝夫

(*本研究に関する連絡先：電話(内線)4213、メール kojima@mtr.osakafu-u.ac.jp)

TiO₂ や Al₂O₃ などの酸化物微粒子が懸濁する水に放射線を照射すると、水の放射線分解が促進される[1,2]。しかし、その反応機構は十分明らかにされていない。反応機構が明らかになり、材料の最適化が行えると、水素などの有用な物質の生成や、材料の高機能化による新たな応用が可能となる。本研究では、微粒子懸濁水への放射線照射により生成した水素の収量測定を行い、水素生成の反応機構を明らかにすることを目的とした。放射線研究センターの⁶⁰Co ガンマ線照射施設を利用し、以下の項目について調べた。

- 1) 微粒子懸濁水へのガンマ線照射により生成した水素の収量
- 2) 微粒子の懸濁量と化学種依存性
- 3) 微粒子にガンマ線および電子線をあらかじめ照射することによって起きる水素収量への影響
- 4) 微粒子懸濁水への電子線照射により生成した水素の収量

ガンマ線および電子線を SiO₂ 微粒子に前照射することによって、微粒子懸濁水から生成した水素の収量が増加した。また、前照射の吸収線量の増加に伴い、生成した水素の収量も増加した。今後さらに実験を行い、水素生成の反応機構を明らかにする。

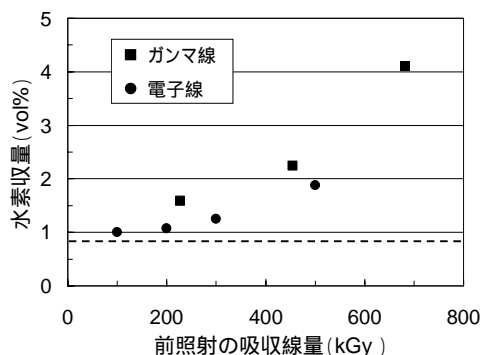


図1 ガンマ線および電子線で前照射した SiO₂ 微粒子を懸濁した水から生成した水素の収量の前照射吸収線量依存性

参考文献

- 3) Y. Wada, *et al.*, *Prog. Nucl. Energy*, **29** 251(1995).
- 4) S. Seino, *et al.*, *Radioisotopes*, **49** 354 (2000).

本研究に関する研究発表(1. 原著論文、2. その他 報文、3. 学会等報告)

- 3-1) 高柳健太郎、小嶋崇夫、谷口良一、岡喬、奥田修一、堀史説、岩瀬彰宏、清野智史、山本孝夫、第48回放射線化学討論会(2005年10月12-14、大阪)P51.

(図中の破線は、前照射を行っていない SiO₂ 微粒子を懸濁した水から生成した水素の収量)

Si-H 基含有ポリマーブレンドからの SiC 系繊維製造における放射線不融化の影響と効果

(府大院工) 北憲一郎^{*}、成澤雅紀、間渕 博 (福島工業高専) 伊藤正義

(*本研究に関する連絡先: メール hz302@mtr.osakafu-u.ac.jp)

1. 緒言

セラミックス焼結体は耐熱性や耐摩耗性などに優れている一方、脆性的な破壊を起こしやすいという欠点も持ち合わせている⁽¹⁾。これを解決する方法の一つとして、焼結体に対して繊維を複合化させて繊維強化セラミックス基複合材料(CMC; Ceramics Matrix Composite)を作る方法がある。中でも耐熱性や耐環境性を有する炭化ケイ素系(SiC)ファイバーは強化繊維として有力である⁽²⁻⁴⁾。SiC 長繊維はポリカルボシラン(PCS)を出発物質として製造されている⁽⁵⁾。当研究室ではこれまでに PCS と相溶性を示すポリマーをブレンドし、ブレンドによる紡糸性の変化、セラミックスファイバーとした場合の特性変化などの研究を行ってきた⁽⁶⁻⁸⁾。または工業用シリコンオイルの一種であるヒドロジェンシリコンオイル(H-oil)をブレンドし、熱酸化不融化処理を経て SiC ファイバーを作製したところ、ある条件下にて中空なファイバーが存在していることが確認された⁽⁹⁾。このように簡単な方法でセラミックスファイバーに特殊な形状を付与出来るということは、セラミックス加工技術の観点から高い重要性を有すると考えられる。また熱酸化不融化の代わりに放射線不融化を行い、熱酸化不融化の場合に比べてどのような変化があるか検討を行った。放射線不融化は熱酸化不融化と異なり、放射線によるラジカルの発生によって室温でも酸化が進行する。また、線量を調整することによって不融化の程度を細かく調整することも可能である⁽¹⁰⁾が、本実験では大気雰囲気下における放射線不融化について取り扱うことにする。

2. 実験方法

PCS は日本カーボン(株)製のもの(製品名:NIPUSI(R) type A)を、H-oil は信越シリコン(株)製のもの(商品名:KF-99)を使用した。ベンゼンを溶媒として PCS に H-oil を 15~40mass%混合した後に凍結乾燥によって HS ポリマーを生成し、それを 543 又は 578K で溶融紡糸して HS ファイバーを生成した。今後 578K にて紡糸した HS ファイバーを HS15~40、543K にて紡糸したファイバーを HS15~40L と表記する。これらのファイバーを放射線(線)にて不融化処理を行った。⁶⁰Co を線源として線量率を 2.5×10^5 R/h になるように大気中に静置し、72h 照射を行った。また、HS15~40L については線量率を 2.5×10^5 R/h 又は 5.0×10^5 R/h、72h で照射を行った。そしてこれらの試料について光学顕微鏡、FT-IR、FE-SEM で観察を行った。

3. 結果と考察

図 1 は HS15 と HS15L の放射線不融化前後の光学顕微鏡写真(透過光)である。不融化前の HS15 内には細かな粒子が観察されたが、不融化後にはそれらがほとんど観察されなかった。一方の HS15L では細かな粒子の他に細い筋状のものが大量に観察されたが、不融化後の HS15L 内では減少していた。これらの細かな粒子や筋状のものはファイバー内で相溶している H-oil リッチ相と考えられ、熱酸化不融化処理を行った場合でもこのような現象が観察されている。図 2 は HS15 を放射線酸化不融化したものである。全てのファイバーの表面に皺が入り、また中空は見られなかった。しかし HS20,30 の一部のファイバーにおいてはファイバー表面には皺が入っておらず、HS20 の中には中空が入っているものもあった。一方の HS15L は、 2.5×10^5 R/h 又は 5.0×10^5 R/h で照射した全ての試料において焼成時にひどい融着を起こした。さらに不融化処理前の HS15L と放射線不融化(2.5×10^5 R/h, 72h)後の HS15L の FT-IR スペクトルを比較した。放射線不融化前後において、PCS 由来である Si-H 基吸収帯(2101cm^{-1})の減少と Si-O-Si 基吸収帯(1105cm^{-1})の増加が見られたが、H-oil 由来の Si-H 基吸収帯(2169cm^{-1})や Si-CH₂-Si 基吸収帯(1025cm^{-1})の変化は見られなかった。今までの研究により、放射線照射によって主に PCS の架橋が進行している可能性があるが、本条件でもこの現象が進行したと考えられる。

4. 参考文献

- (1) 桜井良文, 小泉光恵, 松本忠恕「ニューセラミックス -材料とその応用-」
- (2) M.Narisawa, T.Shimoo, K.Okamura, M.Sugimoto and T.Seguchi, in "Fine Ceramic Fibers," edited by A.R.Bunsbell and M.H.Berger(Marcel Dekker, NewYork, 1999).
- (3) M.Takeda, A.Urano, J.Sakamoto and Y.Imai, *J.Amer.Ceram.Soc.* **83** (2000) 1171.
- (4) M.Sugimoto, Y.Morita, T.Seguchi and K.Okamura, *Key Eng. Mater.* **164-165** (1999) 11.
- (5) S.Yajima, J.Hayashi and M.Omori, *Chem. Lett.* (1975) 931.
- (6) A.Idesaki, M.Narisawa, K.Okamura, M.Sugimoto, Y.Morita, T.Seguchi and M.Itoh, *J.Mater.Sci.* **36** (2001) 357.
- (7) 西岡昌紀, 大阪府立大学大学院修士論文 (2002).
- (8) 下田一哉, 大阪府立大学学士論文 (2003).

(9) 北憲一郎, 大阪府立大学学士論文 (2005).

(10) K.Okamura and T.Seguchi, *J.Inorg.Organomet.Polym.* 2 (1992) 171.

5. 本研究に関する研究発表

- ・ 「Si-H 含有ポリマーブレンドからの炭化ケイ素系中空繊維の合成と形態制御」
(府大院工) 北憲一郎, 成澤雅紀, 間淵博, (福島工業高専) 伊藤正義, 日本セラミックス協会 第 18 回秋季シンポジウム講演予稿集. (2005) 386.
- ・ 「ポリカルボシラン-ポリシロキサブレンドポリマーからの炭化ケイ素系中空繊維の生成過程」
(府大院工) 成澤雅紀, 北憲一郎, 森龍太, 間淵博, (福島工業高専) 伊藤正義, 日本セラミックス協会 年会講演予稿集. (2006) 245.
- ・ 「Si-H 含有ポリマーブレンドからの炭化ケイ素系中空繊維の合成と形態制御」
(府大院工) 北憲一郎, 成澤雅紀, 間淵博, (福島工業高専) 伊藤正義, 日本金属学会 講演概要. 138 (2006) 291.

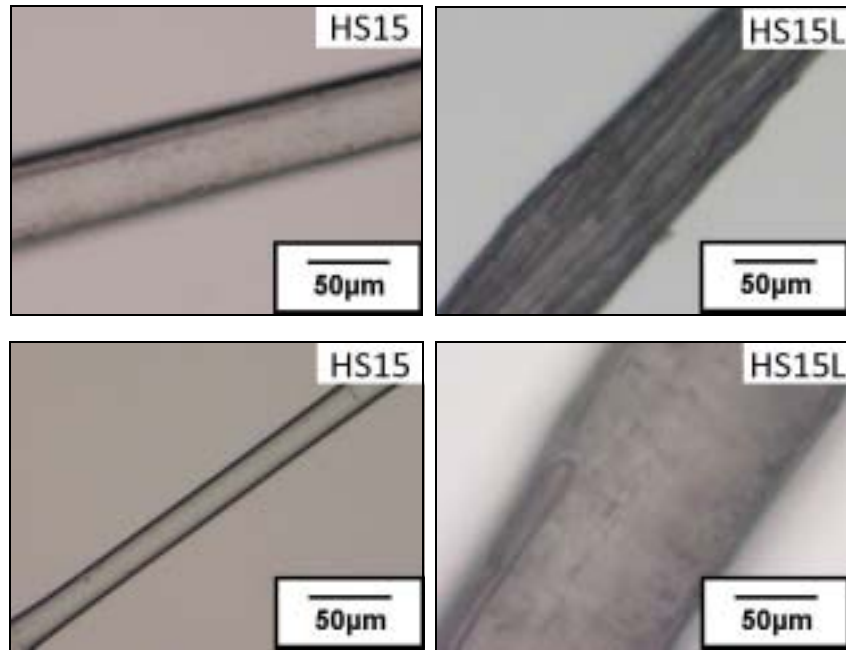


図 2 放射線不融化前後の HS15, HS15L の光学顕微鏡写真(透過光)

上段：放射線不融化前, 下段：放射線不融化後

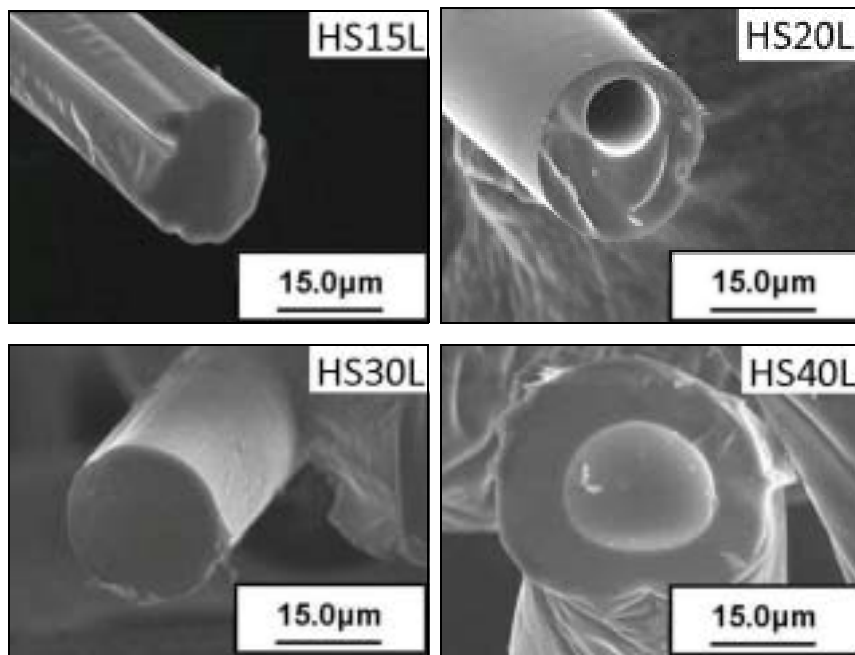


図 3 HS15 (放射線不融化条件: 2.5×10^5 R/h, 1273K 焼成後)

ジアリールエテンの放射線照射効果

阪府大院工応用化学分野 入江せつ子*、岡邦雄

阪府大産学官 小嶋崇夫、白石一乗

九大院工 入江正浩

(*本研究に関する連絡先：電話(内線)3621、メール irie@chem.osakafu-u.ac.jp)

ジアリールエテンを用いた高感度放射線カラー線量計を目指し研究を進めている。フォトクロミック分子は、励起状態において化学結合を組み替えるチャンネルをもつため、光を受けると電子状態の異なる別の異性体へ変換する。光のかわりに、放射線(γ線、X線、電子線)を用いても同様に励起状態が生成し、色変化が誘起されると考えられる。フォトクロミック化合物であるジアリールエテンは熱的に安定であるので、放射線線量計として用いることができる。今年度は放射線感受性の向上を目指して、有機、無機蛍光体添加の検討を行った。無機蛍光体を用いた際、より高感度化が認められた。蛍光体量の増加に伴い、感度は向上した。

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) S. Irie, et al., *Mol. Cryst. Liq. Cryst.*, **431**, 441-444 (2005).

“The Radiation-Induced Coloration of Dithienylethene Amorphous Films.”

2) 入江せつ子他 光化学討論会 (2005年9月, 福岡)

「ジアリールエテンを用いた放射線カラー線量計」

入江せつ子他 光化学討論会 (2005年9月, 福岡)

「1,2-ビス(2-メチル-5-フェニル-3-チエニル)シクロペンテンのフォトクロミズムと蛍光特性」

入江せつ子他 第48回放射線化学討論会 (2005年10月, 大阪)

「ジアリールエテンの放射線感受性」

ジエンモノマーの固相重合における成長反応の機構解析

阪府大院工 岡 邦雄*
 阪市大院工 松本章一、森 悠

(*本研究に関する連絡先 : oka@chem.osakafu-u.ac.jp)

不飽和化合物のトポケミカル重合は、[2+2]光二量化反応とならんで、1960年代から研究されている固相反応である。関連する分野での研究の展開や結晶構造解析装置や技術の進歩に伴い、固相重合を含めて結晶工学は新しい時代を迎えている。トポケミカル重合は多くのモノマーに適用可能であり、連鎖反応機構で進行する重合では、共通する原理に従って反応が進行するかどうかが決まる。すなわち、ジアセチレンやジエンモノマーでは、モノマー分子が5のスタッキング距離でカラム状に配列した時に重合が可能となる。同様に、トリエン、トリアセチレン、キノジメタンの重合には7.4のスタッキングが求められる。ここで、重合の可否だけでなく、反応速度もスタッキング距離によって大きく影響を受けると予想される。そこで、種々のムコン酸エステルモノマー(Scheme 1)の単結晶構造、ならびに線照射によって得られたポリマーの単結晶構造を決定した。さらに、赤外分光法によって求めた固相重合反応の一次速度定数を比較検討したところ、重合の前後での結晶格子の変化(Table 1)が重合速度を決めていることがわかった。固相重合では、反応に伴って格子定数や単位格子体積は収縮するとは限らず、膨張する例も見いだし、反応初期に体積膨張が顕著であることを明らかにした。

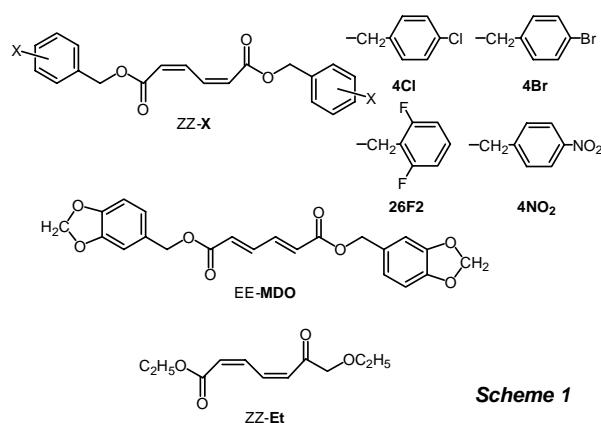


Table 1. Change in a Lattice Length and Cell Volume for Solid-State Polymerization of Muconates

Monomer and polymer	<i>b</i> axis (parallel to fiber axis) (Å)	Cell volume (Å ³)
ZZ-Et	4.9310(6)	554.29(2)
Poly(ZZ-Et)	4.8390(7) [-1.9%]	525.3(2) [-5.2%]
ZZ-4Cl	5.122(6)	923.0(4)
Poly(ZZ-4Cl)	4.8631(1) [-5.1%]	886.54(5) [-4.0%]
EE-MDO	4.4041(4)	942.0(1)
Poly(EE-MDO)	4.702(4) [+6.8%]	920.2(3) [-2.3%]
ZZ-4Br	5.21(1)	953.0(4)
Poly(ZZ-4Br)	4.856(1) [-6.8%]	927.8(5) [-2.6%]
ZZ-4NO ₂	5.2393(1)	947.61(2)
Poly(ZZ-4NO ₂)	4.855(3) [-7.3%]	927.8(1) [-2.1%]
ZZ-26F ₂	4.080(1)	850.6(4)
Poly(ZZ-26F ₂)	4.713(3) [+15.5%]	917.8(8) [+7.9%]

・論文発表 : “Stereospecific Radical Polymerization of Substituted Benzyl Muconates in the Solid State under Topochemical Polymerization”, A. Matsumoto, T. Tanaka, and K. Oka, *Synthesis*, **2005**, 9, 1479.

“Change in Crystal Structure and Reaction Mechanism for Solid-State Polymerization of Muconic Esters”, A. Matsumoto, D. Furukawa, T. Tanaka, Y. Mori, S. Kobatake, and K. Oka, in preparation

・学会発表 : The 8th SPSJ International Polymer Conference (IPC 2005), Fukuoka, July 26-29, 2005. “Revisiting Solid-State Polymerization Mechanism and Kinetics. The Shrinkage and Expansion of Crystals during a Single-Crystal-to-Single-Crystal Transformation”, A. Matsumoto, T. Tanaka, Y. Mori, and K. Oka

γ線照射によるゼラチンハイドロゲルの架橋

阪府大院理・生物科学専攻 別所 昌彦^{*}、古田 雅一、原 正之
阪府大産学官 小嶋 崇夫、奥田 修一

(*本研究に関する連絡先：電話(内線)3601, E-mail: bessho@b.s.osakafu-u.ac.jp)

(概要)

当研究室では、動物由来の繊維性蛋白質やその他の各種高分子の架橋ハイドロゲルを調製・改質して医療・衛生素材など高付加価値な素材として利用するための研究を行っている。コラーゲンの熱変性体であるゼラチンは、生分解性及び生体適合性を有する繊維性タンパク質の一種であり、水への溶解性が高く、かつ加熱・冷却によるゾル/ゲル転移能を持つ性質からハイドロゲルへの調製が容易である。しかしその反面、コラーゲンとは異なり、体温以上の温度下でゼラチンゲルは溶解する為に、DDS等の徐放材料や細胞培養器材などの高付加価値材料へ応用するには、強度の増加や分解の抑制の為に、ハイドロゲルの架橋が必要となる。そこで、本研究では、ゼラチンハイドロゲルへの放射線照射による架橋について検討した。

(架橋ゼラチンハイドロゲルの調製方法)

ブタ皮由来の Type-A ゼラチン(酸抽出)を蒸留水に溶解させ、1-10%(w/v)水溶液を調製し、バイアルに25mlずつ分注後、4℃において冷却・ゲル化させた。そして、⁶⁰Coγ線源格納プール(産学官連携機構放射線研究センター)において所定量のγ線を照射した。照射後、膨潤平衡に達するまで室温で蒸留水に浸した。

(実験結果及び考察)

照射量の増加に伴い、ゼラチンハイドロゲルは収縮する傾向がみられるが、その収縮率はゼラチン濃度に依存し、1%(w/v)の場合では、90%以上の体積収縮を示した。その後の膨潤処理により、低照射量のゼラチンハイドロゲルはさらに膨潤し、高照射量では水を排出しさらに収縮した(Fig. 1)。またγ線照射量の増加に伴い、より堅いハイドロゲルが得られている事から、照射による架橋が進行していると考えられる。

架橋度の指標として用いられる照射ゼラチンゲルの膨潤率は、いずれのゼラチン濃度においても、照射量の増加に伴い膨潤率が減少し、照射量に依存する傾向を示すが、低濃度になる程変化が激しい(Fig. 2)。

照射したゼラチンハイドロゲルの破断強度を測定したところ、いずれのゼラチン濃度においても照射量の増加に伴い、強度が増加する傾向がみられたが、Fig. 3に示すように、調製時のゼラチン濃度に関わらず、膨潤率に依存する傾向が示唆され、膨潤率の減少に伴い、破断強度が急激に増加する傾向がみられた。

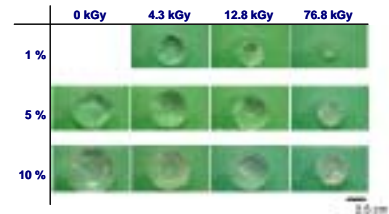


Fig. 1 膨潤処理後のγ線照射ゼラチンゲル

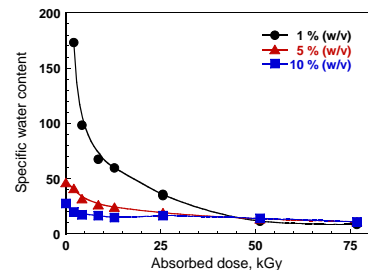


Fig. 2 照射ゼラチンゲルの膨潤特性

また、ゼラチンハイドロゲルへの吸着特性をメチルオレンジを用いて調べたところ、同体積のゲルでは、相対的にゼラチン濃度が大きくなるにつれて吸着量が増加した。ゼラチンハイドロゲルへの γ 線照射では、架橋によりゼラチンが密になるため、吸着サイトが増加すると考えられるが、ハイドロゲル中のゼラチン量と吸着量の関係をプロットすると直線的な関係が得られることから、吸着量は照射量に依存しないと考えられる(Fig. 4)。

熱に対する耐性を調べるために、照射後のゼラチンハイドロゲルを、50 に設定した恒温槽内で加熱した。30min 経過後、いずれのゼラチン濃度においても、2.0 kGy 照射したハイドロゲルは溶解した。そこで、この加熱後の溶液に含まれるゼラチンについて、SDS-PAGE を用いて分子量の変化を調べたところ、1 %(w/v)ゼラチンの場合、分子量約 100 万の α 鎖に相当するポリペプチド鎖のバンドが消失した (Fig. 3)。また、5 及び 10 %(w/v)ゼラチンにおいて、 α 鎖に相当するポリペプチド鎖のバンドが存在するが、これはゲルを形成するゼラチン量の影響により、未架橋のゼラチン (ポリペプチド鎖) の割合が大きいためと考えられる。これらの結果から、照射による架橋反応でゼラチンの分子量が増加するが、ゼラチンハイドロゲルが不溶性を有するのは、ハイドロゲル中において、架橋されたポリペプチド鎖同士が照射によりさらに結合し、ポリペプチド鎖による不溶性の架橋フレーム部を形成するためと推察される。

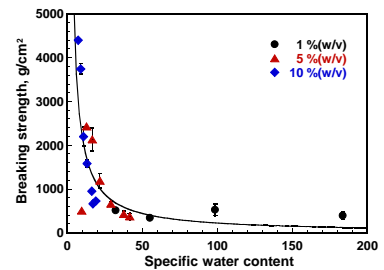


Fig. 3 破断強度結果

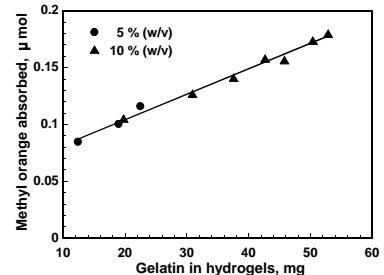


Fig. 4 メチルオレンジ吸着量とゼラチン量の関係

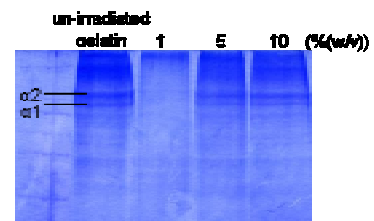


Fig. 5 SDS-PAGEにおけるバンドの変化

本研究に関する研究発表

1. 原著論文

1) M. Bessho, M. Furuta, T. Kojima, S. Okuda and M. Hara (2005) Gelatin hydrogels cross-linked by γ -ray irradiation: materials for absorption and release of dye. *J. Biomater. Sci. Polymer Edn.* 16 (6), 715-724.

3. 学会等報告

1) 「Radiation-induced cross-linking of gelatin hydrogel by using γ -rays」 M. Bessho, T. Kojima, M. Furuta, S. Okuda and M. Hara, International Workshop on Science and Engineering for Evolution of Valuable Resources and Energy from Organic Wastes, Mar. 15-17 (2006) Osaka, Japan.

2) 「ゼラチンハイドロゲルへの γ 線照射による架橋に関する研究」 別所 昌彦, 小嶋 崇夫, 古田 雅一, 奥田 修一, 原 正之, 日本化学会第 86 年会 平成 18 年 3 月 27 - 30 日 (千葉)

γ 線架橋コラーゲンゲルの研究

大阪府立大学大学院理学系研究科 小清水直喜、原正之*

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

1. 緒言

コラーゲンは生体適合性の高さから人工皮膚、人工血管などの軟組織修復材や薬剤徐放担体としてこれまで広く利用されてきた。コラーゲンを医療用材料として用いる場合、力学的強度と生体吸収性の調節を行うためコラーゲン分子同士を架橋する必要がある。架橋方法には、化学薬品を用いた化学架橋、熱による脱水架橋、放射線架橋などが用いられている。しかし、化学薬品の残留物が生体へ悪影響を及ぼす可能性があるなど改善しなければならない問題がある。医療用具の滅菌に用いられる γ 線や電子線などの電離放射線は、化学薬品を用いず、また条件に応じてコラーゲンを変性、架橋、分解させる作用を持つので、その影響や反応機構を定量的に調べることは医療用材料としての用途開発において重要である。本研究では、0.3% コラーゲン (Cell matrix Type I-A または Collagen BM; 新田ゼラチン) に γ 線を照射することにより作製された架橋コラーゲンゲルの性質について検討した。

2. 実験方法

酸性条件 (pH 3) または中性条件 (pH 7) に調整した 0.3 % コラーゲン溶液 3 mL を 12 well-plate に入れ、室温にて ⁶⁰Co γ 線を 2.3–45 kGy 照射しコラーゲンゲルを作製した。得られたゲルを蒸留水中で 48 時間膨潤させた後、ゲルの膨潤率を求めた。γ 線架橋によるコラーゲンの分子量変化を検討するため、SDS-PAGE により分子量測定を行った。また、架橋コラーゲンゲルの熱に対する耐性を評価するため、膨潤後のコラーゲンゲルをバイアルに入れ密封した後、オートクレーブを用いて 60 °C または 121 °C に昇温し 20 分間熱処理を行い、試料の変化を観察した。

3. 結果と考察

酸性条件では、ある一定の線量以上の γ 線を照射すると架橋反応により、溶液から無色透明のコラーゲンゲルが生成し、線量の増加に伴い生成ゲルの収縮が顕著であった。一方、中性条件の場合、照射前より白色・半透明のコラーゲンゲルが生成し、酸性条件の様な著しい収縮はみられなかった。膨潤率を測定した結果も、pH 条件の違いによるゲル収縮の違いを裏付けており、非繊維化ゲルと繊維化ゲルという、全く構造の異なるコラーゲンゲルが生成されていると考えられる。SDS-PAGE による分子量変化の検討では、コラーゲンサブユニットのバンドが照射線量に依存的に消滅し、低分子領域にもバンドが見られなかったことから、γ 線照射により分解反応よりも架橋反応が優先的に進行している事が分かる。また、熱に対する耐性実験では 60 °C で 20 分間熱処理をすると γ 線未照射の中性コラーゲンゲルのみ溶解した。121 °C で 20 分間熱処理をすると照射線量 2.3 kGy の酸性及び中性のコラーゲンゲルが完全に溶解したが、それ以上の線量ではゲルの状態を維持していた。以上の結果より、γ 線の照射線量が増加すると共に、コラーゲンゲル内において分子同士の共有結合による架橋が促進されていることが分かる。

4. 本研究に関する研究発表 (原著論文、その他報文、学会等報告)

A novel collagen hydrogel cross-linked by gamma-irradiation in acidic pH condition

Naoki Inoue, Masahiko Bessho, Masakazu Furuta, Takao Kojima, Shuichi Okuda,

Masayuki Hara, Journal of Biomaterials Science Polymer Edition, in press (印刷中)

Research on the radiation-induced cross-linking of collagen

Naoki KOSHIMIZU, Masayuki HARA

(Graduate School of Science, Osaka Prefecture University)

アルキルシクロブタノン類生成を指標とした 種々の放射線照射食品の検知

大阪府立大学理学部生物科学科 古田雅一*

大阪府立公衆衛生研究所 尾花裕孝

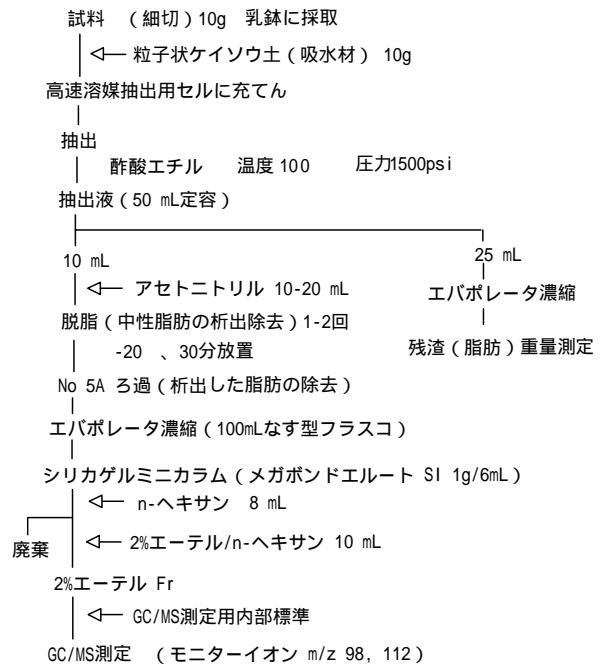
(*本研究に関する連絡先: 電話(内線)3542、メールmfuruta@b.s.osakafu-u.ac.jp)

1. 緒言

脂肪を含む食肉などに照射された放射線を検知するには、脂肪成分の分解生成物である2-ドデシルシクロブタノン(DCB)や2-テトラデシルシクロブタノン(TCB)の分析が有効であるとされている。シクロブタノン類は安定性が高いとされているが、加熱処理された後でも照射履歴を検出できることを、独自に開発したシクロブタノン分析法(下のチャート参照)により確認した。また食肉類の流通を考えた場合流通過程での保存が考えられる。そこで冷凍保存後も照射の検知ができるかを、1年の冷凍保存を目安に検討した。

生肉類では1年間の保存で、2-アルキルシクロブタノンは若干減少したが、2種類のどちらかを指標にすれば照射検知には支障はなかった。加工食品でも照射1年の冷凍保存後の照射検知は可能であったが、生肉類よりも大きく減少する例もあった。

保存温度が2-アルキルシクロブタノンの実験動物用固形飼料に線を照射し、室温と冷凍(-20)保存したところ、どちらの条件でも経時的な2-アルキルシクロブタノンの減少が認められたが、室温保存の方が濃度減少が速く進んだ。冷凍保存でも2-アルキルシクロブタノン濃度は減少したが、室温に比べれば緩やかであった。動物用試料は水分が食肉類に比べ少なく、試料中の空隙に空気が入るので酸化反応が進みやすい可能性も考えられた。



食品中の2-DC Bと2-TCBの分析法

本研究に関する研究発表(学会等報告)

1. 「アルキルシクロブタノン類生成を指標とした種々の放射線照射食品の検知」、尾花裕孝、古田雅一、第42回理工学における同位元素・放射線研究発表会(7月9日、東京)

2. 「ガンマ線照射食品を加熱調理したときの2-アルキルシクロブタノンの変化」、尾花裕孝、古田雅一、田中之雄、第40回日本食品照射研究協議会年次大会、(12月3日、東京)

放射線を利用した温度感受性エラスチンモデルペプチドのナノ粒子化と DDS としての応用

(¹大阪府立大学大学院理学系研究科・²有限会社バイオエラスチックジャパン・³JSR 筑波研究所・⁴Department of Chemical Engineering and Materials Science, University of Minnesota) 藤本 真理¹・田中 奈津子¹・古田 雅一^{1*}・原 正之¹・中村 妙子¹・Constantinoiu Elena¹・岩間 眞道²・村田 充弘³・Dan.W Urry⁴

(*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)

[緒言]本研究においては米国ベンチャー会社 BRL 社により開発された、一定温度以上で凝集し、微粒子化するエラスチンの基本構造 GVGVP を有する感温性ポリペプチドに注目し、これに残留性のない物理架橋法である 線を適応し、薬剤担持可能なナノサイズの架橋微粒子の調製を試みた。**[実験]**種々のアミノ酸組成を持ち、温度転移感受性の異なるポリペプチド水溶液を調製し、保温温度、照射量を変化させて⁶⁰Co ガンマ線を照射した。架橋粒子の生成を確認した後、粒径測定装置により粒径分布を調べ、薬剤の徐放挙動を検討した。

[結果及び考察]42 の温度条件で 8.5 kGy 以上のガンマ線照射を行うことにより、転移温度以下の温度に戻しても無菌フィルター透過可能な 200nm 以下のポリペプチドナノ粒子が安定して得られた。また、ガンマ線照射量が増すにつれて架橋ナノ粒子の収率がよくなる傾向がみられた。これは、照射量が増すにつれてペプチド間の架橋が促進されるからではないかと推測される。得られた粒子を用いた薬剤徐放について現在検討中である。

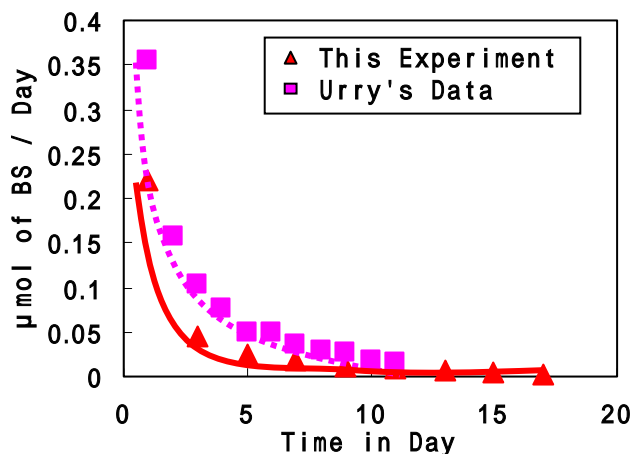


Fig.1 放射線架橋ナノ粒子からの色素 BS(Biebrich Scarlet red)徐放

本研究に関する研究発表(1. 原著論文、2. その他報文、3. 学会等報告)

1. 「エラスチンモデルペプチドの」放射線照射によるナノ粒子化と DDS への応用」藤本真理、田中奈津子、古田雅一、原正之、中村妙子、コンスタンティノウイウ エレナ、村田充弘、岩間眞道、Dan W. Urry、平成 17 年度日本生物工学会大会(2005 年 11 月 15~17 日)、つくば国際会議場、文部科学省研究交流センター、つくば)講演論文集、pp. 229.
2. 温度感受性エラスチンモデルペプチドの放射線架橋によるナノ粒子開発、藤本真理、古田雅一、田中奈津子、原正之、岩間眞道、村田充弘、Dan W. Urry、「資源循環科学・工学」に関する国際ワークショップ(大阪府大)平成 18 年 3 月 15 日~17 日(ポスター)
3. 「DDS を目的としたエラスチンモデルペプチドの放射線架橋およびナノ粒子化条件の検」藤本真理、田中奈津子、古田雅一、原正之、中村妙子、コンスタンティノウ エレナ、村田充弘、岩間眞道、Dan W. Urry、日本化学会第 86 春季年会(船橋・日大理工)平成 18 年 3 月 29 日(ポスター)
4. CHARACTERIZATION OF GLU-CONTAINING ELASTIC POLYPEPTIDE NANO-PARTICLES BY γ -IRRADIATION FOR APPLICATION TO DDS Masakazu Furuta¹, Elena Constantinoiu¹, Taeko Nakamura¹, Natsuko Tanaka¹, **Mari Fujimoto**¹, Toshio Hayashi¹, Masamichi Iwama², Mitsuhiro Murata³, and Dan W. Urry⁴ (Particles 2006), May. 13-17, 2006, Florida (Particels 2006 国際会議・ポスター)

神経幹細胞 / 前駆細胞の分化能に対する X 線照射の影響評価

阪府大理・生物科学 脇亮二、原正之*

阪府大産学官 白石一乗、児玉靖司

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

1. 要旨

X 線照射後に一定期間飼育を行ったマウスの脳より取り出した神経幹細胞 / 前駆細胞を取り出して培養し、神経細胞やグリア細胞に分化誘導し分化状態を観察したところ、神経細胞 (neuron) および星状グリア細胞 (astrocyte) への分化形態に異常が認められるかどうかについて調べた。

2. 研究目的

成体マウスの脳に非致死量の X 線を照射し、一定期間飼育した後に脳質周囲の組織中に含まれる神経幹細胞 / 前駆細胞を取り出して培養し、神経細胞やグリア細胞に分化誘導し、免疫染色などの評価方法により分化状態を観察する。この実験系により、放射線によるストレスが神経幹細胞 / 前駆細胞の分化能にどのように影響を与えているかを検討する。

3. 研究成果

ICR マウスの頭部に 10 Gy の X 線を照射した後、このマウスを 1 ヶ月間飼育する。マウスを解剖して側脳室周辺域 (SVZ: subventricular zone) の組織を取り出し、トリプシン処理にて分離した細胞を無血清培地で浮遊培養を行い、未分化な神経幹細胞 / 前駆細胞を増殖させて細胞集塊 (neurosphere) を形成させる。

上記の細胞について培養条件を 1 % のウシ胎児血清 (FBS) を含む培地に変えて細胞の分化誘導を行うと、通常の神経幹細胞 / 前駆細胞は培養皿表面に接着して neuron および astrocyte 等に分化し、それぞれ TuJ1 陽性で比較的小型の細長く分岐した形態、および GFAP 陽性で比較的大型かつ平坦に伸展した形態を示す。一方、放射線照射を行ったマウス由来の神経幹細胞 / 前駆細胞を分化誘導した場合には、しばしば大型で平坦な astrocyte 様の形態を持つが幼若 neuron のマーカーである TuJ1 陽性の細胞が観察され、あるいは TuJ1 と GFAP の共発現した細胞が観察されるなど、分化形態の異常が観察された。しかしながら非照射細胞でも同様の分化形態を持つ細胞が全く見られないわけではないので、蛋白質の発現量の定量などをさらに検討中である。

参考文献 なし

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) なし

抗動脈硬化作用薬の評価系の確立 3T3L1 細胞を用いたインスリン抵抗性モデルの作成

エフピー株式会社 ト部和則、小林豊

大阪府大産学官連携機構 川西優喜、八木孝司*

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

インスリン抵抗性はインスリン分泌不全とともに、糖尿病の発症、進展に大きく関わっており、2型糖尿病において重要な病態である。インスリン抵抗性は動脈硬化症の独立した危険因子であることが明らかにされており、抵抗性を解除する薬物の開発は重要である。2型糖尿病、インスリン抵抗性モデル動物として db/db マウスや ob/ob マウスが知られており、我々も db/db マウスの肝臓、脂肪組織においてインスリン刺激によるインスリンシグナルが異常を来していることを確認した。しかし、db/db マウスは高価であり、反応の個体間差が大きくインスリン抵抗性改善薬のスクリーニングには適切なモデルとは言いがたい。

近年、エネルギーの貯蔵庫と考えられていた脂肪細胞が種々の生理活性物質(アディポサイトカイン)を分泌し、生体の代謝や恒常性の維持に重要な役割を果たし、その産生の異常が糖尿病や高脂血症、動脈硬化を引き起こすことが示された。そこで、培養脂肪細胞(3T3L1)を用い、インスリン刺激による細胞内への 2-Deoxy-D-[³H]Glucose (2-DG) 取り込みを指標とし、インスリン抵抗性モデルの作成を行っている。培養脂肪細胞にインスリンを処置することで時間依存的に 2-DG 取り込みは増加した。インスリン抵抗性改善作用を持つピオグリタゾンの前処置すると 2-DG の取り込みはさらに増加した。アディポサイトカインの一種である Tumor necrosis factor- α を前処置するとインスリンによる 2-DG 取り込みが軽度低下した。近年 monocyte chemoattractant protein-1(MCP-1)といったケモカインがインスリン抵抗性に関与していることも示されており、今後、種々サイトカイン、ケモカインの処置で 2-DG 取り込みが変化するかを評価する。

ヒト細胞における4アミノビフェニルの 損傷乗り越え DNA 合成を介した突然変異誘発

澤井 知子^{1*}、川西 優喜¹、高村 岳樹²、八木 孝司¹

¹大阪府立大学産学官連携機構 先端科学イノベーションセンター、²国立がんセンター

(*本研究に関する連絡先: メール tomoko3y@riast.osakafu-u.ac.jp)

都市大気浮遊粒子中には幾多の変異原性・発がん性をもつ多環芳香族炭化水素が存在し、その多くが代謝活性化を受け DNA 付加体を形成し、突然変異や発がんに関わると考えられている。また、近年、付加体など損傷を乗り越えて DNA 合成 (translesion DNA synthesis: TLS と略) を行う一群のポリメラーゼが発見され、誤りがちな複製によって突然変異を生じることがわかった。(H.Omori *et al* *Mol Cell*,2001)。

誘発される突然変異の種類は作用する TLS ポリメラーゼや損傷ごとに異なるが、現在の TLS 研究はごく少数のモデル損傷でしか行われていないため、多環芳香族炭化水素のヒトへの健康影響評価を行うためには多種多様な DNA 損傷を対象として損傷ごとに TLS 率を比較し、各々の突然変異メカニズムを明らかにする必要がある。

そこで本研究では、まず4-アミノビフェニル(4-aminobiphenyl、図1左: ABP と略)に着目した。ABP は化石燃料の燃焼で生成され、染料として広く工業的に使用されていた。また、たばこ煙中にも検出されている。近年 ABP は膀胱ガンを引き起こすことがわかり全面的に工業使用は禁止された。ABP は主に DNA 中のグアニンと付加体 (dG-ABP) を形成することがわかっており、構造も決定されている。(FA Beland *et al Chem Res Toxicol*.1999)。(図1左)。さらに、発がんと深く関わる *p53* 遺伝子上での ABP による突然変異ホットスポットが確認され(Z. Feng *et al, Carcinogenesis* 2002)、注目を集めている。

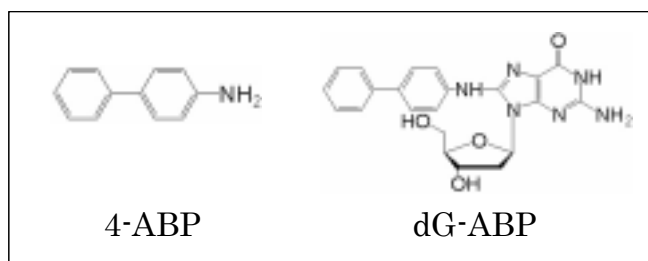


図1 4-アミノビフェニル(4-ABPとそのDNA付加対)

本研究では、ヒト *in vivo* TLS アッセイ系を確立し、dG-ABP を用いてヒト細胞で誘発される TLS の解析を行うことを目的と

とした。具体的には本研究室で行われている大腸菌の部位特異的修飾プラスミドを用いた TLS アッセイ法をヒトに応用し、それぞれの付加体を持つプラスミド DNA を複製する際の TLS の頻度 TLS の際に誘発する突然変異 TLS に関与する DNA ポリメラーゼを明らかにすることである。

現在、アッセイ系の確立を終え、ヒト細胞での ABP、TLS 率を測定中である。本研究会では途中経過ではあるが、現在までのデータを紹介します。

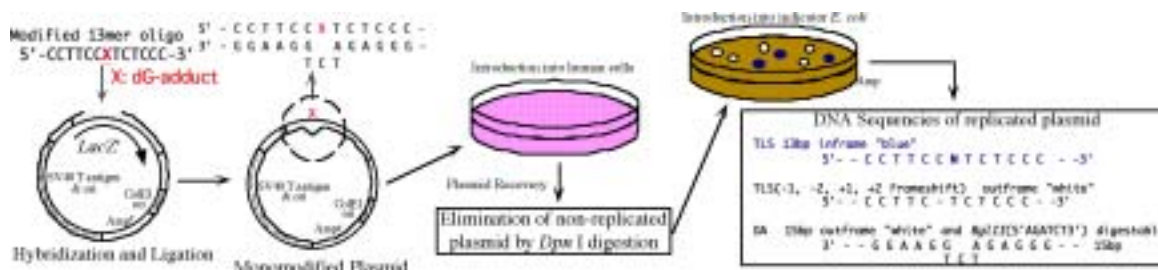


図.2 部位特異的修飾プラスミドを用いたヒト細胞内 TLS 実験の概略

³²P標識ヌクレオチドを用いた、 3-ニトロベンズアントロン-DNA付加体生成と突然変異の解析

大阪府大産学官 西田裕^{*}、川西優喜、八木孝司
国立がんセ研 高村岳樹、若林敬二

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

ディーゼル排気微粒子等に含まれる 3-ニトロベンズアントロン (3-NBA; 図 1) は、Ames 試験において強力な変異原性を示す大気汚染物質として同定された。これまでに、実験動物に対する発がん性が明らかにされ、それ故ヒトへの発がん性が疑われている。NBA は、体内に取り込まれると代謝活性化を受け DNA 付加体を形成し、これが突然変異や発がんにつながると考えられている。通常の DNA ポリメラーゼは DNA 複製に際し DNA 付加体のような損傷に対応することができないが、近年これらの DNA 損傷を乗り越えて DNA 合成 (TLS) を行ういくつかの DNA ポリメラーゼが明らかにされた。これらのポリメラーゼは損傷の種類に応じて使い分けがなされることが明らかにされている。

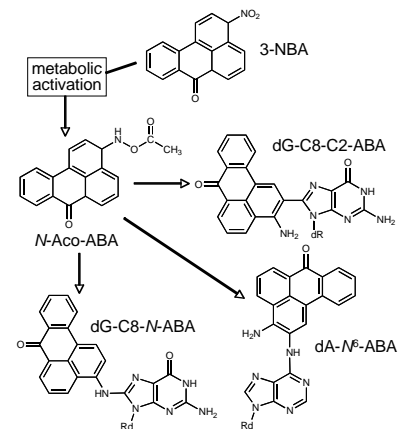


図1 NBAの代謝活性化とその付加体

そこで本研究では、NBA の活性中間体である *N*-アセトキシ-3-アミノベンズアントロン (*N*-Aco-ABA; 図 1) を対象にして、突然変異の解析を行った。

Polymerase stop assay による *N*-Aco-ABA 由来の DNA 付加体生成部位の特定

突然変異解析の標的である *supF* 遺伝子を持つプラスミド pMY189 と *N*-Aco-ABA を試験管内で反応させ、プラスミド上にランダムに付加体を作った。続いて、放射性標識したプライマーを用いて、*supF* 領域を PCR 用 DNA ポリメラーゼで複製させた。DNA 付加体が存在するとその部位で伸長反応が停止するので、ポリアクリルアミドゲル電気泳動後、停止位置をオートラジオグラフィによりバンドとして検出し、DNA 付加体生成部位として決定した。その結果、ポリメラーゼ伸長反応はほとんどがグアニンでストップしており、全体の 92% を占めた。この結果から *N*-Aco-ABA は主にグアニン付加体を形成することが示唆された。

部位特異的に ABA 付加体を持つプラスミドの、大腸菌における TLS 解析

N-Aco-ABA 由来の付加体 (dG-C8-C2-ABA, dG-C8-N-ABA, dA-N⁶-ABA; 図 1) を部位特異的に持つプラスミドを作製し、大腸菌内で複製させた。大腸菌では、SOS 誘導時に発現する Pol II, IV, V が TLS に関わっている。まず、SOS 誘導・非誘導の大腸菌に ABA 付加体を持つプラスミドを導入、複製させ、付加体による DNA 合成阻害について調べた。

その結果、dA-N⁶-ABA は、通常型 DNA ポリメラーゼ (Pol I, Pol III) を阻害せず、dG-C8-N-ABA は通常型ポリメラーゼによる DNA 合成をやや阻害することがわかった。一方 dG-C8-C2-ABA は通常型ポリメラーゼによる DNA 合成を強力に阻害した。このことは ABA の

付加する塩基や、結合様式の違いがポリメラーゼの DNA 合成阻害に影響することを示している。

また、各付加体につき 96 クローンの複製プラスミドの塩基配列を解析したところ、dG-C8-N-ABA は G:C T:A の塩基置換型突然変異を 1 つ誘発しただけで、他の付加体では変異が見つからなかった。すなわちこれら付加体に関わるポリメラーゼは error-free に働く可能性を示している。

次に DNA 合成阻害がみられた 2 種の付加体について、SOS 誘導ポリメラーゼを欠損させた大腸菌株を用い、ABA 付加体を TLS する DNA ポリメラーゼの特定を試みた。しかしながら、どの欠損株についても TLS 率に有意な差は見られなかった。このことは ABA 付加体には単一の DNA ポリメラーゼが特異的に働くのではなく、複数の DNA ポリメラーゼが関与してこれら付加体を TLS する可能性を示している。

本研究に関する研究発表

「MUTAGENIC SPECIFICITY OF *N*-ACETOXY-3-AMINOBENZANTHRONE, A DERIVATIVE OF 3-NITROBENZANTHRONE」Nishida,H, Kawanishi,M, Takamura,T, Wakabayashi,K, Yagi,T , 9th International Conference on Environmental Mutagens (2005 年 9 月 San Francisco, California, USA)

「3-ニトロベンズアントロンの活性体 *N*-アセトキシ-3-アミノベンズアントロンがヒト細胞に誘発する突然変異」西田裕、川西優喜、高村岳樹、若林敬二、八木孝司、第 18 回 変異・発癌抑制機構研究会 (2005 年 7 月、愛知県)

「大気汚染物質 3-ニトロベンズアントロンに由来する DNA 付加体のヒト細胞における突然変異スペクトルの解析」西田裕、川西優喜、高村岳樹、若林敬二、八木孝司、日本環境変異原学会第 34 回大会 (2005 年 11 月、東京都)

マウスへの高濃度亜硝酸暴露実験

大阪府大院工応用化学分野 小手石泰康、竹中規訓^{*}、坂東 博
大阪府公衆衛生研究所 大山正幸

(*本研究に関する連絡先:(内線)5817、メール takenaka@chem.osakafu-u.ac.jp)

1. 要旨

マウスに高濃度亜硝酸ガスを暴露した。5 ppm の亜硝酸を 14 時間～4 日間暴露し、肺の組織学的検索を行なったところ、14 時間の暴露および 24 時間暴露の肺組織はわずかに、気管支上皮の goblet 細胞が膨化して、分泌が亢進していることがわかった。しかし、別の 24 時間暴露のマウスには特に変化は見られなかったことから、さらに実験を繰返し、より正確に評価する必要があることがわかった。

2. 研究目的

気体の亜硝酸は、これまで、NO₂ と区別できなかつたため、その人体への影響は調べられていなかった。特に、近年喘息と NO₂ の関係がはっきり現れないこと、亜硝酸の動態から、喘息に亜硝酸ガスが関与している可能性が考えられる。そこで、亜硝酸ガスが健康に影響があるかを判断するために、マウスに高濃度亜硝酸ガスを暴露させ、マウス肺の組織学的検索を行なう。

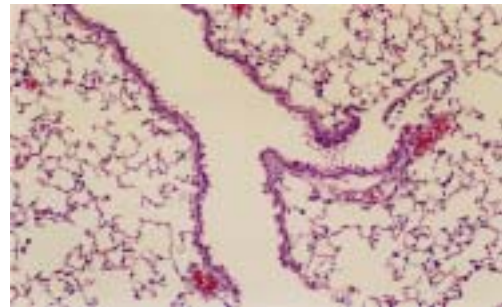


写真1 暴露群マウスの抹消気管支

3. 研究成果

4～6 ppm になるように調製した亜硝酸ガスを、マウスに 14 時間、24 時間、3 日間暴露させた。マウスを入れたケージに亜硝酸ガスを導入し、インとアウトの亜硝酸濃度、二酸化窒素濃度、一酸化窒素の濃度を測定したところ、インの亜硝酸濃度が 4～6 ppm であったのに対し、アウトの濃度はほぼ 0 となった。これは、マウスを入れたケージ内が、導入気体の湿度プラス尿により結露を起こしその水滴に亜硝酸が吸収されたものと考えられる。相模女子大の安達修一教授に肺の組織学的検索を行なって頂いたところ、14 時間、亜硝酸を暴露させたマウスは、対照のマウスと比較して、肺組織はわずかに、気管支上皮の goblet 細胞が膨化して、分泌が亢進しているように見えるという所見を頂いた。また、24 時間暴露したマウスの肺組織(写真1)で、同様の影響がよりはっきり得られた。しかし、別の期間に行なった 24 時間暴露、日中のみに 4 日間暴露を行なった時には、対照との差はあまり見られなかった。今後、暴露ケージ通過後の亜硝酸濃度が減少しないような系を構築し再実験を行ない、また亜硝酸の長期暴露実験も行ない、肺洗浄液中の分泌物や炎症細胞数を計り、影響の程度を数値化し、亜硝酸の肺への影響を評価する予定である。

本研究に関する研究発表

1) 小手石泰康, 平成 17 年度大阪府立大学工学部機能物質科学科卒業論文.

嗅覚系における神経細胞の発生・分化の分子機構に関する研究

大阪府立大学 理学系研究科 生物科学専攻 榎本孝幸、廣田順二*

(*本研究に関する連絡先：電話(内線)3612、メール hirota@b.s.osakafu-u.ac.jp)

研究目的：

ヒトやマウスの嗅覚神経系は、**嗅覚受容体 (odorant receptor: OR)** によって数十万もの匂い分子を識別している。OR 遺伝子はゲノム上最大の遺伝子ファミリーを形成する多重遺伝子であり、その総数はマウスにおいて約千個に及び、全遺伝子の4%を占める。嗅神経細胞におけるOR 遺伝子の発現は、免疫系の抗原受容体遺伝子と同様に、1つの細胞で1種類の遺伝子が、対立遺伝子の一方からのみ発現するという極めて興味深い発現様式をとる。しかしながら、嗅覚系の根幹とも言える OR 遺伝子発現の分子機構は未解明のままである。2004年にマウスクローン技術を用いた実験によって、遺伝子組換えなどにより遺伝子再構成が、OR 遺伝子発現機構にはあてはまらないことが示された。この結果、OR 遺伝子発現機構に関する研究は、転写因子による発現制御・エピジェネティックな発現制御の解明に研究の中心が移行しつつある。

これまで申請者は、OR 遺伝子発現制御領域の同定と解析を行い、複数の OR 遺伝子に保存されているホメオドメイン配列に結合する転写因子として LIM ホメオドメイン型転写因子 Lhx2 を同定した(文献3,4)。Lhx2 欠損マウスにおいては、調べたすべての OR 遺伝子が発現しておらず、嗅神経細胞が成熟分化の停止を起こしていることを明らかにした。本研究課題では、これまで得られた知見をもとに、嗅覚系における Lhx2 の機能・役割を分子レベルで解明することを目的とする。

研究成果と状況：

平成17年度に大阪府立大学に赴任し、新たに上記研究のセットアップを行った。動物施設においては、実験に用いるマウスの準備とコロニーの維持を行っている。

参考文献

- 1) The LIM-homeodomain protein Lhx2 is required for complete development of mouse olfactory sensory neurons. Hirota, J. and Mombaerts, P, *Proceeding of National Academy of Science, USA* (2004) 101, 8751-8755
- 2) The promoter of the mouse odorant receptor gene M71. Rothman, A., Paul Fineststein, P., Hirota, J. and Mombaerts, P. *Molecular and Cellular Neuroscience* (2005) 28, 535-548

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) 特に無し
- 2) 特に無し
- 3) The 3rd International Symposium on Molecular and Neural Mechanisms of Taste and Olfactory Perception, Nov. 4th 2005, Fukuoka, Japan

温度応答性抗がん剤デリバリーシステムの開発

阪府大院工 河野健司*、尾沢敏明、児島千恵、原田敦史

阪大院理 青島貞人、帝京大学薬学部 丸山一雄、国立国際医療センター 石坂幸人

(*本研究に関する連絡先：電話(内線)5800、メール kono@chem.osakafu-u.ac.jp)

[緒言]我々はこれまでに、鋭敏な温度応答性を示すリポソームの構築を目指して、2-エトキシエトキシエチルビニルエーテル(EOEOVE) - オクタデシルビニルエーテル(ODVE)ブロック共重合体を複合化したリポソームを設計、調製し、ポリ(EOEOVE)鎖の親水性から疎水性への転移にともなってリポソームの内包物質が放出されることを明らかにした。本研究では、抗癌剤アドリアマイシン(ADR)を内封したPEG修飾リポソームにEOEOVE-ODVEブロック共重合体を導入することによって、血中滞留性に優れ、しかも抗がん剤の放出を温度制御できる機能性リポソームの構築を試みた。ここではこのリポソームの抗がん剤放出挙動の制御およびマウスを用いたリポソームの体内動態とガン抑制効果について検討した。

[実験]EOEOVE-ODVE共重合体、PEG (MW5000) 脂質、卵黄ホスファチジルコリンおよびコレステロールの混合薄膜にpH5に調製した緩衝液を加え、エクストルーダー(孔径100nm)を用いて共重合体およびPEG脂質で修飾したリポソームを得た。このリポソーム分散液にADRを加え、インキュベートすることでリポソーム内部にADRを封入した。リポソームからのADRの放出は、ADRの蛍光強度を測定することで評価した。マウス体内におけるリポソームの血中滞留性および体内分布は、¹²⁵Iでラベル化したイヌリンを含有したリポソームをマウスに尾静脈投与し、種々の時間におけるリポソームの血液および各臓器における放射線量を測定することで評価した。また、アドリアマイシン含有リポソームのガン抑制効果は、ADR内封リポソームを担ガンマウスに尾静脈投与しその後の腫瘍径の変化を測定することで評価した。

[結果と考察] 共重合体を複合化したリポソームは、共重合体の転移温度(約40℃)以上において、極めて速く、著しいADRの放出を引き起こした。また、PEG鎖をもたない共重合体修飾リポソームに比べ、PEG鎖と共重合体の両方をもつリポソームは、共重合体の転移温度以上においてより高い放出率を示した。これは、PEG鎖と共重合体鎖の相互作用がADRの放出をより促進したものと考えられる。さらに、PEG鎖と共重合体鎖の両方をもつリポソームはPEG修飾リポソームと同等の高い血中滞留性 (Fig. 1) と低い肝臓集積性を示すことがわかった。

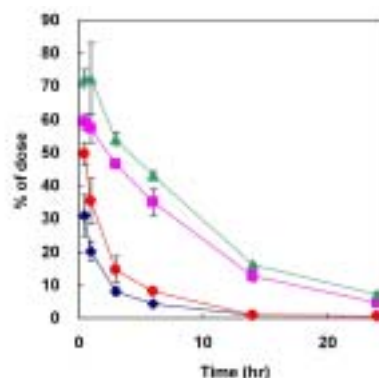


Fig. 1. Time-course of blood residence of [¹²⁵I]-loaded bare (●), PEG-modified (■), copolymer-modified (▲), and PEG- and copolymer-modified (◆) liposomes.

4. 本研究に関する研究発表

1) K. Kono, et al, Bioconjugate Chem., 16, 1367-1374 (2005).

Relationship between Higher-order Structure of DNA Molecules and DNA Damage by Ionizing Radiation

Toshiaki MORI^{1*}, Nobuyuki MAGOME², and Yuko YOSHIKAWA²

¹Radiation Research Laboratory, Osaka Pref. University

²Department of Food and Nutrition, Nagoya Bunri College

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

Types of DNA damage induced by ionizing radiation are characterized as base modifications, strand breaks and cross-linking. It is well known that these damages are induced mostly by hydroxyl radical. Hydroxyl radical is thought to attack DNA bases more extensively than the sugar-phosphate backbone of DNA; however, one fifth of hydroxyl radicals attack DNA backbone to produce the scission of deoxyribose-phosphate bonds, leading to single- and double-strand breaks. If not repaired, double-strand breaks (DSB) may lead to cell death, genomic instability, and carcinogenesis. Thus, studies of the formation mechanisms of DSB induced by ionizing radiation are of utmost importance. Recently, by controlling DNA structures in aqueous solutions, we produced compactly folded DNA and unfolded forms of DNA by addition of polyamine compounds. We selected T4 DNA as a suitable model for the observation of higher-order structure of DNA. We irradiated dilute DNA solutions having different structures by cobalt-60 γ -rays. DSBs induced by γ -rays were observed using fluorescence microscopic technology. In this work, we will present the technical details of our studies, and the results of the relationships between the higher-order structures of DNA and DNA damage by ionizing radiation.

本研究に関する研究発表

IXth International Workshop on Radiation Damage to DNA, May 13-17, 2006, Tekirova, Antalya, Turkey.

ヌクレオチド酸化損傷塩基の除去にかかわる酵素の探索

阪府大産学官 森 利明*、大谷謙二（理・生物 M2）

山口大学農学部 滝本晃一

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

1. はじめに

地球上の生物は日常的に酸化的なストレスをうけている。DNA の酸化によって不正常的な修飾塩基が生成すると、複製の過程で DNA 塩基の置換がおこったり、DNA の複製そのものが阻害されることがある。修飾塩基は突然変異や細胞死の原因になるため、生物には DNA 損傷を修復するシステムが幾重にも備わっていて、酸化損傷から生体を防御している。

DNA 合成にかかわるヌクレオチドは DNA より、酸化損傷を受けやすいと考えられている。大腸菌で発見された MutT 修復酵素は、酸化した不正常的なヌクレオチドが DNA に取り込まれることを防いでいる。同様の働きをもつ酵素は植物にも存在することが予想される。今回はセンチュウを用いて、酸化修飾したヌクレオチドを除去する酵素蛋白の探索をおこなった。

2. 基質の合成

酸化ヌクレオチドとして使用した 8-hydroxy-2'-deoxyguanosine 5'-triphosphate (8-oxodGTP)、8-hydroxy-2'-deoxyguanosine 5'-diphosphate (8-oxodGDP)、8-hydroxy-2'-deoxyguanosine 5'-monophosphate (8-oxodGMP)は、それぞれ対応する 2'-deoxyguanosine 5'-triphosphate (dGTP)、2'-deoxyguanosine 5'-diphosphate (dGDP)、2'-deoxyguanosine 5'-monophosphate (dGMP)から合成した。合成は、出発物質のヌクレオチド（50 mg）を 40 ml の 20 mM リン酸緩衝溶液（pH 7）に溶解し、アスコルビン酸 100 mg と過酸化水素（30%）0.5 ml を加え、暗条件下、37 °C で 3 時間反応させた。過剰の過酸化水素はカタラーゼ 120 μg 加え、37 °C で 30 分インキュベートして分解した。反応溶液は減圧下で 60 °C に加熱し、エバポレーションで乾燥した。この際、温度が 65 °C 以上になると収率が減少するので、エバポレーション中の温度管理は慎重におこなった。これに純水 1 ml を加え、0.45 μm のフィルターでろ過した反応溶液を液クロで分析すると、出発物質が溶出した後に、目的の 8-位の水素が水酸基に置換した酸化ヌクレオチドが溶出してくることを UV スペクトルで確認した。これを分取し、再度、エバポレートして濃縮した後、凍結乾燥した。合成した 8-oxodGTP、8-oxodGDP、8-oxodGMP はフリーザーで保管した。

3. MutT 関連の酵素活性をもつ蛋白の探索

基質として 30 ~ 50 μM の 8-oxodGTP 溶液 100 μl を作成し（pH 7）、センチュウから抽出したタンパク質を加え、37 °C で 30 分間反応させたのち、液クロで 8-oxodGTP、8-oxodGDP と 8-oxodGMP の濃度を測定して、Mut T 関連の酵素活性を調べた。

大腸菌変異株を用いた B 型肝炎ウイルス HB X タンパクの研究

阪府大産学官 森 利明^{*}、大谷謙二、八木孝司

阪府公衆衛生研 小田美光

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

B型肝炎ウイルス(HBX)は肝炎のみならず肝ガンの発症に関与しているウイルスである。このウイルスのゲノムは約3.2Kbの不完全2重鎖の環状構造をしており、4種類のORFをもつ遺伝子(S, C, X, P)からなっている。これらの遺伝子のうちX遺伝子産物のXタンパク質はトランジェニックマウスに肝ガンを引き起こしたり、細胞の遺伝子やウイルス遺伝子の転写を活性化させたり、DNAの紫外線による損傷を修復する遺伝子に影響をあたえるなど多様な作用をもつことがわかっている。

われわれはHBX遺伝子を組みこんだ大腸菌の変異株をもちいて、突然変異の特徴や活性酸素発生の有無をHPLC-EC法で調べてきた。この研究はアジア地域において発生頻度のたかいB型肝炎発症の原因究明に寄与するものとして意義がある。またB型肝炎や肝ガンの予防と治療方法の開発や病気の治療にも寄与する可能性がある。

参考文献

Zhen-Liang Qu, Sheng-Quan Zou, Nai-Qiang Cui, Xian-Zhong Wu, Ming-Fang Qin, Di Kong, and Zhen-Li Zhou, Upregulation of human telomerase reverse transcriptase mRNA expression by in vitro transfection of hepatitis B virus X gene into human hepatocarcinoma and cholangiocarcinoma cells, *World J. Gastroenterol*, 2005, **36**, 5627-5632.

本研究に関する研究発表

1) B型肝炎ウイルスの癌化に関するX蛋白質の解析、大阪府立公衆衛生研究所公衆衛生部 小田美光、財団法人ウイルス肝炎研究財団 平成5年度研究助成 研究業績集 pp.12-15.

マウス放射線適応応答は2つの機構によりもたらされる

Low-dose radiation-derived adaptive response involves 2 mechanisms in mouse

阪府大産学官 白石一乗^{*}、児玉靖司

奈良医大 米澤司郎

(*本研究に関する連絡先: 072-254-9861 (内線) 4227、メール shiraish@riast.osakafu-u.ac.jp)

要旨

これまでの報告で、マウス骨髄細胞における放射線適応応答は事前照射8日後に現れる細胞レベルと14日後の個体レベルから成ることを示した。今回、事前照射8、14日後の骨髄細胞が異なる性質を持つものか否か検証した。外因性脾臓コロニー形成法による放射線抵抗性試験では両者に差がなかった。一方、60日生存曲線による骨髄死抑制の観察では、事前照射14日後の骨髄を移植することで高い生存率を示した。この結果から、骨髄死抑制は骨髄細胞の事前照射14日後の機能変化によってもたらされることが明らかになった。また、real time RT-PCR法による遺伝子発現量の検証の結果、事前照射によってp21遺伝子発現量が抑えられていることが示された。この抑制は恐らく、細胞レベルの放射線抵抗性に関与するものと考えられる。

研究目標

C57BL/6マウスは予め0.5Gy照射されると、約2週間後に致死線量の放射線に対して抵抗性を獲得する。この現象はマウス個体における放射線適応応答の一つと考えられる。昨年度の研究では骨髄移植による外因性脾臓コロニー形成法を用いて、骨髄死抑制における骨髄幹細胞の役割を検討した。その結果、放射線抵抗性獲得機構は細胞レベルと個体レベルから成ることが示唆された。今回、放射線適応応答現象における、骨髄幹細胞の役割とその分子機構を明らかにすることを本研究の目的として以下の実験を行った。マウス個体の放射線抵抗性が骨髄細胞によってもたらされるか否かを骨髄移植されたマウスの生存曲線から検討した。また、抵抗性を獲得した骨髄細胞において、放射線応答遺伝子の発現が変化するか否か検証した。

得られた成果

事前照射8日目と14日目の骨髄細胞における放射線適応応答

0.5Gy事前照射8,14日目のマウスから骨髄細胞を回収し、移植に適当な濃度に希釈し、2回目の照射を行い、続いて骨髄移植を行った。その骨髄細胞の放射線抵抗性は移植後、12日目の外因性脾臓コロニー形成率によって求められた。移植される骨髄細胞数の増加に伴って、脾臓コロニー数は増加したが、事前照射8と14日目の細胞間で統計的な有意差(T-test)は観察されなかった。

事前照射8日目と14日目の骨髄細胞移植後の生存率

事前照射 8 日目と 14 日目の骨髄細胞移植後の 60 日生存率について検討した。マウスは前述と同様の方法で 1×10^5 細胞個骨髄移植された。移植後 10 日前後に観察される骨髄死による生存率低下は事前照射することで減少したが、事前照射 14 日目の骨髄細胞の方が 8 日目の骨髄細胞より生存率は高かった。また、*invitro* 照射後の骨髄細胞移植では事前照射 14 日目の骨髄細胞は最も高い生存率を示した。マウスは各実験において、15 匹以上用いられた。観察は 60 日間行われたが、20 日以降、新たに死亡するマウスはいなかった。これまでの結果から、非事前照射マウスでは 10^5 個の骨髄細胞当たり 8.57 個の脾臓コロニーが、事前照射マウスでは 10^5 個の骨髄細胞当たり 3.85 個の脾臓コロニーが形成される。このことを考慮して骨髄細胞を調整した細胞数 ($1 \times 10^5 \times (3.85/8.57) = 4.5 \times 10^4$) をマウスに移植して 60 日生存曲線を求めた。この結果から事前照射 14 日目の骨髄細胞は幹細胞当たりで、高い骨髄死抑制を持っていることが示された。

放射線適応応答を起こす骨髄細胞での放射線応答遺伝子の挙動

これまでの結果から、0.5Gy 事前照射後、骨髄細胞は 8 日目に細胞の放射線抵抗性、14 日目に骨髄死抵抗性を獲得することが示唆された。しかしながら、その分子生物学的機構は明らかでない。この機構を明らかにするため、放射線に応答する遺伝子が、事前照射を行うことで変化するか否かを検討した。今回、ガン抑制遺伝子と知られる、p53 遺伝子と細胞周期制御に関わる p21 遺伝子の発現変化を real-time RT-PCR 法を用いて調べた。7Gy 照射されたマウスから骨髄細胞を経時的に回収した。ここから得られる mRNA を試料として遺伝子発現量を求めた。p53 遺伝子発現について、非事前照射群、事前照射群ともにほとんど変動しなかった。一方、p21 遺伝子発現量について、非事前照射群では強い発現応答が観察されたが、事前照射群では非常に緩やかに応答した。このことから、放射線適応応答における分子機構の一部に p21 遺伝子発現制御が関わっていることが示唆された。

本研究に関する研究発表（原著論文、その他報文、学会等報告）

- 1) 電力中央研究所成果発表会
- 2) 日本影響学会第 48 回大会 2005 年 11 月 15 - 17 日（広島）

培養液中の自然放射能の吸収線量への寄与 (1)
極低線量放射線に対する生物応答研究に関連して
Contribution of Natural Radiation Dose with Culture Solution
to Total Natural Radiation Dose (1)

松田八束^{*}、川西優喜、奥山勝幸、白石一乗、八木孝司、谷口良一、汐見信行
米沢司郎¹

府大産学官、¹奈良医大

(*本研究に関する連絡先：メール yaka@riast.osakafu-u.ac.jp)

1 . はじめに

小線量放射線の生物応答に関する関心が高く継続している。その発端となった Planel 等の実験[1]が検討され、追試が行われた[2]。鉄遮蔽箱の内外において 線を計測すると、自然放射線の約 50 分の一の線量率をもつ空間が得られることが分った。このような環境いわゆる極低線量放射線に対する生物応答実験で概略の実効線量率の明細を見積もる必要がある。そのため培養液中における 線および 線の吸収線量率計算を行った。その方法並びに結果について述べる。

2 . 実験条件

2 . 1 鉄箱の内外における 線計測

遮蔽用の鉄箱の遮蔽壁とその大きさは次のとおりである。

鉄箱の内容積： 85cm × 85cm × 52cm

鉄板の厚さ： 18cm

パラフィン層の厚さ：上部 50cm × 横 25cm × 下部 10cm、

箱の後ろ側面は壁と接近しており空間的余裕がないためパラフィン層は無し。

線計測器は次のとおり。

NaI シンチレーションカウンター：2in × 2in

MCA：CANBERRA 社製 InSpector

Personal Computer：PANASONIC Let's note LIGHT

Software：GENIE, GExplorer

2 . 2 培養液中の ⁴⁰K の定量

ゾウリムシの飼育に用いる培養液中の ⁴⁰K の濃度を実測するため、10 倍濃縮した培養液 60ml を用意し、ポリスチレン容器に移し、低バックグラウンド型 線計測装置(鉛遮蔽箱：鉛厚 10cm、内容積 32cm[W] × 32cm[D] × 42cm[H])である HPGe 検出器による計測を行った。試料及びポリスチレン空容器の計測時間は共に 4 日間(345600 秒)であった。定量結果は原液に換算して

$$2.76 \times 10^{-3} \text{ Bq/g} \pm 15.7\%$$

3 . 実効線量率計算

3 . 1 線による実効線量率

⁴⁰K が放出する放射線の種類とその性質を以下に示す。

Nuclide	Radiation	Energy(MeV)	Branch(%)
⁴⁰ K		1.461	10.7
		1.310(max)	89
	EC		11

培養液は 10～60ml を用いることが多いと仮定して（実際、55mm × 10mm 深さのポリスチレンシャーレに約 5mm 深さに液を充たしている）培地中の ⁴⁰K から放出される線の生物に与える実効線量率を概算する。

強度 1Bq の点線源から 1m の距離における 1 時間当りの単一エネルギーを持った光子のフルエンス率は、286.5m⁻²hr⁻¹ である。線源と評価位置との間に遮蔽体が無い場合、実効線量率定数 E_E [μSv · m² · MBq⁻¹ · hr⁻¹] の定義から、ある放射性同位元素の E_E は

$$E_E = \sum_i 10^6 \times 286.5 \times p_i \times (E/\phi)_i \times 10^{-6} \times 10^{-4}$$

$$= \phi_0 \times \sum_i [p_i \times (E/\phi)_i] \quad [\mu\text{Sv} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{MBq}^{-1} \cdot \text{hr}^{-1}] \quad \dots\dots\dots (1)$$

$$\phi_0 \equiv 0.02865 \quad \dots\dots\dots (2)$$

で与えられる。ここに

- p_i : i 番目の γ 線の放出割合
- $(E/\phi)_i$: 単位フルエンス当りのその γ 線がもつエネルギーに対応する実効線量率（単位は[μSv · hr⁻¹]

強度 S [MBq] の点線源から x [m] 離れた位置での実効線量率 [単位： μSv / hr] は

$$\dot{E}(x) = \Gamma_E \times \left(\frac{S}{x^2} \right) \quad \dots\dots\dots (3)$$

で与えられる。一様な密度で線源が分布している空間における実効線量率を求めよう。

遮蔽効果を見捨てる場合について、そして計算を単純化するために小球体の中心を原点にとり、原点における周りからの自然放射線源による実効線量率を求める。球の半径を R (m) とすると、自然放射線密度 ρ と全培地の自然放射線源強度 S (MBq) とは次の関係で結ばれる。

$$\frac{4}{3} \pi R^3 \rho = S \quad \dots\dots\dots (4)$$

原点における球殻状線源 $\int_{r=r_1} \rho dv$ による実効線量率 $\dot{E}(r_{01})$ は次式で表わされる。

$$\dot{E}(r_{01}) = \Gamma_E \times \frac{\int_{r=r_1} \rho dv}{r_1^2} \quad \dots\dots\dots (5)$$

$$\int_{r=r_1} \rho dv = \rho \int_{r=r_1} \int_{\theta=0}^{2\pi} \int_{\phi=0}^{\pi} r^2 \sin \phi dr d\theta d\phi = 4\pi r_1^2 \quad \dots\dots\dots (6)$$

(6)を(5)に代入して

$$\dot{E}(r_{01}) = \Gamma_E \times 4\pi \rho \quad \dots\dots\dots (7)$$

球R全体からの寄与を積分すると

$$\dot{E}_R = \int_{r=0}^R \Gamma_E \times 4\pi\rho dr = 4\pi\rho\Gamma_E R \quad \dots\dots\dots (8)$$

(4)式の $\rho = \frac{3}{4} \frac{S}{\pi R^3}$ を(8)式に代入して

$$\dot{E}_R = 4\pi \Gamma_E R \times 3 \frac{S}{4\pi R^3} = \frac{3\Gamma_E}{R^2} S \quad \dots\dots\dots (9)$$

一方、

$$\frac{4}{3} \pi R^3 = 60[ml] \quad \dots\dots\dots (10)$$

から $R = \left(\frac{180}{4\pi}\right)^{\frac{1}{3}} [cm]$ が得られる。実測値から $S=0.166 \times 10^{-6}(MBq)$ を、データブック[2]

から $\Gamma_E=0.0183$ を(9)式に代入すると

$$\dot{E}_R = 1.55 \times 10^{-5} [\mu Sv / hr] = 0.0155 nSv / hr$$

この値はビルドアップ効果を無視したものである。遮蔽体のある場合は実効線量率は次式で与えられる。

$$\dot{E} = \sum_i \frac{3600 S_i}{4\pi(r+t)^2} (p_i / 100)(K_a / \Phi)(E_0 / K_a) F_i \times 10^{-6} \quad \dots\dots\dots (11)$$

ここに、

\dot{E} : 遮蔽体透過後の実効線量率 [$\mu Sv / hr$]

S_i : 放射能 [Bq]

r : 点線源から遮蔽体内表面までの距離 [cm]

t : 遮蔽体の厚さ [cm]

p_i : 光子 i の放出割合 [%]

K_a / Φ : 光子 i の単位フルエンズあたりの空気カーマ [$pGy \cdot cm^2$]

E_0 / K_a : 光子 i の単位空気カーマあたりの実効線量 [Sv / Gy]

F_i : 光子 i に対する実効線量透過率

^{40}K については $i=1, p_1=10.7, S_i=0.166$ (実測), $K_a / \Phi = 6.015, E_0 / K_a=0.995$ である。こうして、

原点Oにおける球殻状線源 $\int_{r=r_1} \rho dv$ による実効線量率は

$$\dot{E}(r_{01}) = \sum_{i=1} 4\pi\rho \times \Gamma_i \times B_i e^{-\mu_i r} \quad \dots\dots\dots (12)$$

球全体からの寄与を積分すると

$$\dot{E}_R = \sum_{i=1} 4\pi\rho \times \Gamma_i \times B_i \left[\frac{-1}{\mu_i} e^{-\mu_i r} \right]_0^R = \sum_{i=1} \frac{3\Gamma_i S_i}{R^2} B_i \frac{1 - e^{-\mu_i R}}{\mu_i} \quad \dots\dots (13)$$

B_i は i 番目の 線のビルドアップ係数である。1.461MeV 線の水中における平均自由行程は

10.441cm である。今仮想している培養液球の直径を 4.86cm とすると、平均自由行程の 2 分の 1 以下である。

ここでビルドアップ効果を少し大きめに見積もることとなるが、平均自由行程の半分の距離に対するビルドアップ値を用いる。

$$\begin{aligned} \dot{E}(x) &= \sum_i \frac{3600S_i}{4\pi} (p_i/100)(K_a/\Phi)(E_0/K_a)F_i \times 10^{-6} \frac{1}{x^2} \\ &= \sum_i \Gamma_i \times F_i(x) \times \frac{S_i}{x^2} \quad \dots\dots\dots (14) \end{aligned}$$

ここに、

$$\Gamma_i = \frac{3600}{4\pi} (p_i/100)(K_a/\Phi)(E_0/K_a)F_i \times 10^{-6}$$

従って $\Gamma_1 = 1.834 \times 10^{-4}$, $\mu_1 = 0.05826$, $B_1 = 1.414$, $R = 2.429$ を(14)式に代入すると

$$\begin{aligned} \dot{E}_R &= 3.759 \times 10^{-4} \times \left(1 - \frac{1}{e^{0.14149}} \right) \\ &= 0.0496 [nGy/hr] \end{aligned}$$

が得られる。ここで、特に組織等価物質を考えないので Sv でなく Gy を用いた。

培養液中の自然放射能の吸収線量への寄与 (2)
 極低線量放射線に対する生物応答研究に関連して
 Contribution of Natural Radiation Dose with Culture Solution
 to Total Natural Radiation Dose (2)

松田八束^{*}、川西優喜、奥山勝幸、白石一乗、八木孝司、谷口良一、汐見信行
 米沢司郎¹
 府大産学官、¹奈良医大

(*本研究に関する連絡先：メール yaka@riast.osakafu-u.ac.jp)

3.2 線による実効線量率

高速電子に対する電離及び励起による比エネルギー損失(衝突損失)を示す式がベータによって与えられている。すなわち

$$-\left(\frac{dE}{dx}\right)_c = \frac{2\pi e^4 NZ}{m_0 v^2} \left[\text{Log} \left[\frac{m_0 v^2 E}{2I^2 (1-\beta^2)} \right] - \text{Log}[2] \times (2\sqrt{1-\beta^2} - 1 + \beta^2) \right. \\ \left. + (1-\beta^2) + \frac{1}{8}(1-\sqrt{1-\beta^2})^2 \right] \dots\dots\dots (15)$$

ここに

- V : 一次粒子の速度
- e : 電荷
- N : 単位体積中の吸収物質原子の数
- Z : 吸収物質原子の原子番号
- m₀ : 電子の静止質量
- I : 吸収物質原子の平均励起及びイオン化ポテンシャル(eV 単位)
- v/c
- E : 運動エネルギー、後に T と表記する。

電子はまたクーロン相互作用と同様に、放射過程によってもエネルギーが失われる点で荷電重粒子と異なっている。この放射過程による損失は制動放射即ち電子の飛跡上の任意の場所から電磁放射線を放射する形をとる。古典理論によれば、どんな電荷でも加速される際にエネルギーの放射が起こる。吸収物質との相互作用による偏向はこうした加速に対応する。この放射過程による比エネルギー損失は次式で表わされる。

$$-\left(\frac{dE}{dx}\right)_r = \frac{NEZ(Z+1)e^4}{137m_0^2 c^4} \left(4\text{Log} \left[2 \frac{E}{m_0 c^2} \right] - \frac{4}{3} \right) \dots\dots\dots (16)$$

ここで、分子の E 及び Z² は電子のエネルギーが高い場合と吸収物質の原子番号が大きい場合に、放射損失が非常に重要になることを示している。典型的なエネルギーの電子については、制動放射線の平均エネルギーは非常に低いので、光子は通常発生点のかなり近傍で再吸収されてしまう。

電子に対する全阻止能は衝突損失と制動放射損失の和である。

$$\frac{dE}{dx} = \left(\frac{dE}{dx}\right)_c + \left(\frac{dE}{dx}\right)_r \dots\dots\dots (17)$$

この両者の比は近似的に次式のようなになる。

$$\frac{(dE/dx)_r}{(dE/dx)_c} \cong \frac{EZ}{700} \dots\dots\dots (18)$$

ここで E は MeV 単位で表した値である。対象とする電子、例えば 線や、線の相互作用による二次電子の典型的なエネルギーは数 MeV 以下である。従って放射損失は通常電離や励起によるエネルギー損失に比べると小さな割合にしかならず、吸収物質が大きな原子番号を持つ場合にだけ重要になる。

⁴⁰K の線の最大エネルギー1.31MeV が水中の平均的な小行程ごとに変化する様子を計算によって求めることが出来ると仮定する。運動エネルギー-E を改めて T で表わす。電子の運動エネルギーは(15)式に従って ((16)式を無視できるとして)

$$T(x) = T(0) - \int_0^x Abs \left[\frac{dT}{dx} \right] dx = T(0) + \int_{T(0)}^{T(x)} dT \dots\dots\dots (19)$$

で与えられる。一方、相対論的粒子の運動エネルギーは粒子の全エネルギーの平方から静止質量エネルギーの平方を差し引きその平方根を取ったものとなるから

$$T(x) = \sqrt{m^2 c^4 - m_0^2 c^4} = \frac{m_0 c^2 \beta}{\sqrt{1 - \beta^2}} \dots\dots\dots (20)$$

で求められる。(15)式の右辺の v、 β 、E はどれも x の関数である。初期値は次のとおりである。

$$E_0 = \sqrt{E_{e0}^2 + T(0)^2} = \sqrt{0.511^2 + 1.312^2} MeV = \frac{m_0 c^2}{\sqrt{1 - \beta^2}}$$

ここに E_{e0} は電子の静止質量エネルギーで 0.511MeV であるから電子の全エネルギー E₀=1.408MeV であり、

$$\beta_0 = \sqrt{1 - \left(\frac{E_{e0}}{E_0}\right)^2} = 0.93187947$$

である。線の運動エネルギーは β の関数として

$$T = \frac{\beta}{\sqrt{1 - \beta^2}} E_{e0}$$

で表わされ、逆に β は運動エネルギーによって

$$\beta = \sqrt{\frac{T^2}{T^2 + E_{e0}^2}}$$

で表わされる。H₂O に対して、Z=10、A=18.01528、 \bar{I} =13.5(eV)とする。(15)式右辺の因子

$$\frac{2\pi e^4 NZ}{m_0 v^2} = \frac{2\pi e^4 NZ}{m_0 c^2 \beta^2} = K$$

とおく。K の初期値を求めると、

$$K = 2.459 \times 10^{-7} \frac{Z}{\beta^2 A} = 1.48135 \times 10^{-7} [\text{erg}/(\text{g} \cdot \text{cm}^{-2})]$$

一方(15)式右辺のファクターK 以外の因子を B とすると

$$B = \text{Log} \left[\frac{E_{e0} T \beta^2 \times 10^{12}}{2\bar{I}^2 (1 - \beta^2)} \right] - \left(2\sqrt{1 - \beta^2} - 1 + \beta^2 \right) \text{Log}[2] + 1 - \beta^2 + \frac{1}{8} \left(1 - \sqrt{1 - \beta^2} \right)^2$$

$$= 22.9892 [\text{無次元}]$$

これにより阻止能 S は次式で与えられる。

$$S = K \times B = 3.61392 \times 10^{-6} [\text{erg}/(\text{g} \cdot \text{cm}^{-2})]$$

原点 O を中心とする半径 $i \, dr$ と $(i + 1) \, dr$ の球殻の中に存在する放射性同位元素の放出する線が、原点を中心とする半径 $d \, r$ の球の中で吸収されるエネルギーを I_i とする。線の最大飛程 0.578cm を多分割し、1 区間でのエネルギー損失が一定であると見做すことが出来ると仮定する。

中心 O から距離 r のところにある点 P から放出される線は四方に均一に放出されるから飛程内の距離にある場合の O 点 (単位面積 $d \, s$) に当る確率は

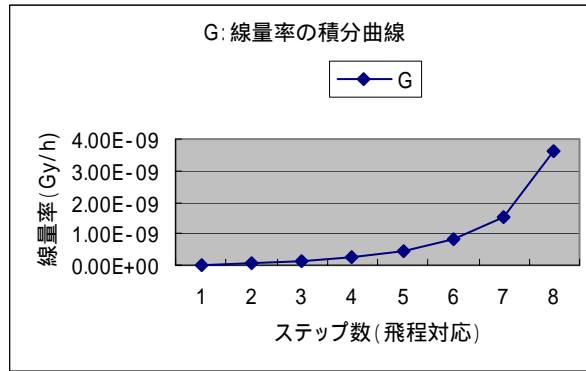
$$\text{Pr ob.} = \frac{ds}{4\pi r^2} \dots\dots\dots (21)$$

である。この点 P は球殻全体に分布しているから積分すると、

$$I_i = S_i \int \frac{ds}{4\pi r^2} = S_i \dots\dots\dots (22)$$

I_i を $i = 1$ から n まで合計したものを G_n とする。分割数 n を変えて実際に計算した結果を以下に示す。 $n=10$ についての計算結果は次表のようである。

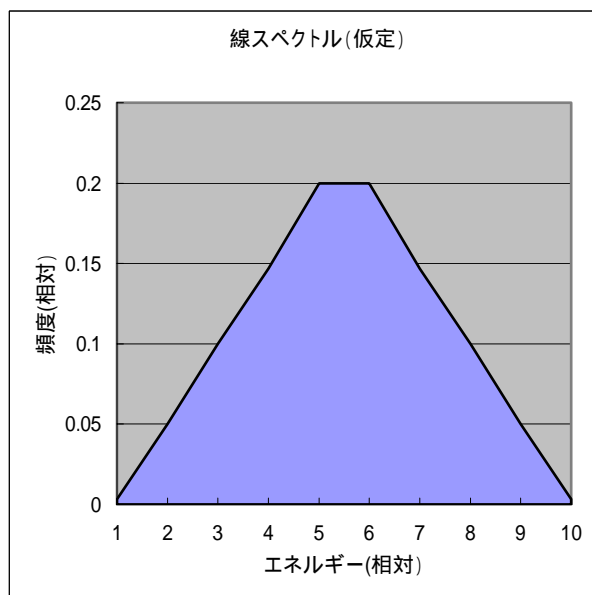
n		K	B	S	G	T
1	0.9318179	1.57E-07	22.989161	3.61E-06	7.80E-12	1.1816241
2	0.9178493	1.62E-07	22.666511	3.67E-06	3.95E-11	1.049136
3	0.8990295	1.69E-07	22.30489	3.77E-06	1.13E-10	0.9132461
4	0.8726762	1.79E-07	21.891141	3.92E-06	2.48E-10	0.7717002
5	0.833775	1.96E-07	21.402204	4.20E-06	4.75E-10	0.6201014
6	0.7717297	2.29E-07	20.78998	4.76E-06	8.45E-10	0.4482083
7	0.6594068	3.14E-07	19.91883	6.25E-06	1.51E-09	0.2226327
8	0.3994183	8.56E-07	18.05017	1.544E-05	3.64E-09	-0.334502



このような計算結果をまとめると、

max (MeV)	球殻厚 μm	ステップ数	Most prop steps	Reason nGy/hr	Range (μm)	dr_L (cm)	Residual Energy(keV)	Residual nGy/hr	Total nGy/hr
1.312	11.56	500	332	1.6E+00	3837.9	0.7444	60.73	3.5E-02	1.6E+00
0.7872	6.044	500	270	1.8E-01	1631.9	0.4566	46.98	2.7E-02	2.1E-01
1.1808	10.132	500	323	1.1E+00	3272.6	0.5938	56.05	3.2E-02	1.1E+00
1.0496	8.758	500	309	6.9E-01	2706.2	0.6029	19.18	1.1E-02	7.1E-01
0.9184	7.392	500	292	4.1E-01	2158.5	0.5310	5.17	3.0E-03	4.1E-01
0.656	11.815	200	98	7.9E-02	1157.9	0.1576	43.86	2.5E-02	1.0E-01
0.5248	3.456	500	207	3.0E-02	715.4	0.0894	42.01	2.4E-02	5.4E-02
0.3936	2.266	500	165	5.6E-03	373.9	0.0432	11.263	6.5E-03	1.2E-02
0.2624	1.2056	500	113	4.4E-04	136.2	0.0157	26.22	1.5E-02	1.6E-02
0.1312	0.3718	500	61	5.9E-06	22.7	0.0031	15.93	9.2E-03	9.2E-03

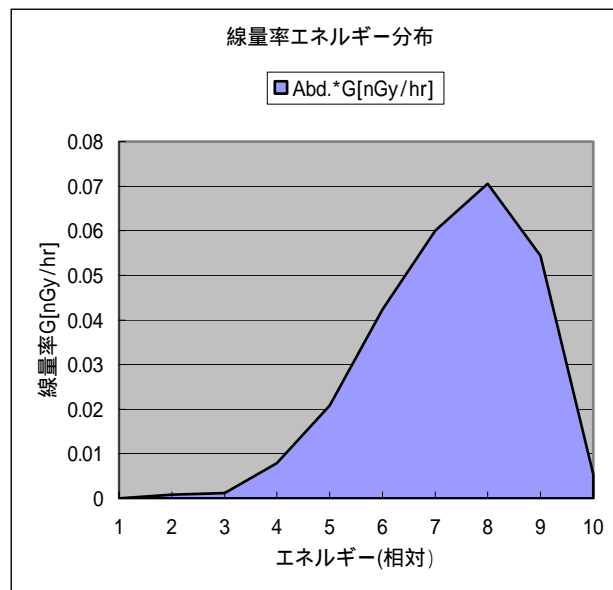
さて、 ^{40}K から放出される 線スペクトルを計算を簡単に見積もるためにエネルギーに関して図のような形に近似されると仮定する。



これらをまとめると、次表が得られる。

n	max(MeV)	Abundance	G[nGy/hr]	Abd.*G[nGy/hr]
1	0.1312	0.003333333	0.009194182	3.06473E-05
2	0.2624	0.05	0.015560584	0.000778029
3	0.3936	0.1	0.012076365	0.001207636
4	0.5248	0.146666667	0.053740869	0.007881994
5	0.656	0.2	0.103897927	0.020779585
6	0.7872	0.2	0.2119	0.04238
7	0.9184	0.146666667	0.4089	0.059972
8	1.0496	0.1	0.706	0.0706
9	1.1808	0.05	1.087	0.05435
10	1.312	0.003333333	1.624	0.005413333
			Sum	0.263393226

ベータ線による線量率のエネルギー分布は図のようになる。



4. 今後に残された問題

計算により概算した培養液中の⁴⁰Kのβ線及びγ線の吸収線量率0.05及び0.26[nGy/hr]のほかに空気中に残留する放射体の寄与についても検討する必要性が残されている。

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」の発足と概要

大阪府立大学産学官連携機構 奥田修一*

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

大阪府立大学では、教育・研究上の枠組を超えた分野(部局)横断型の研究グループの自己組織化を誘導するため、「21世紀科学研究所」を設置することになった。設置を希望するグループからの申請に対し、それぞれの名称を持つ「21世紀科学研究所」として認定し、組織運営に一定の便宜を図ろうとするものである。この研究所はいわゆるバーチャルであるが、「研究所」の形に強く縛られない自由な活動が期待できる。

大阪府立大学では、放射線と関係を持ち、また学内外の放射線施設を利用して研究を行っている教職員、学生数は200名を超えると推定される。研究分野は多岐にわたり、情報交換と研究推進のためにはまさに分野横断的な交流が必要である。また加速ビーム、光量子ビームの高度利用などの最近の動きに対応して、放射線の枠を拡大した「量子ビーム」の利用研究が、原子力開発や科学技術において国の政策として重要とされている。

このような背景のもと、量子ビーム誘起反応を、量子ビームと物質との相互作用の基礎からとらえてその反応過程を解析し、複雑な生体における反応の解明にまで結び付ける目的で、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」の申請を行った。この研究所は設立が認められ、平成18年2月1日に発足した。

研究所の目的と研究概要を次に示す(<http://www.osakafu-u.ac.jp/research/21science/>)。

21世紀科学研究所「量子ビーム誘起反応科学研究所」の概要

Research Institute for Quantum Beam Science (RIQBS)

研究内容の概要

本研究所では、固体、液体、固液複合系、生物などの物質内で量子ビームによって誘起される反応を、エネルギー付与、励起などの物理的な初期過程を基礎として、その後の反応過程全体を明らかにします。反応過程の理解は、また新たな応用研究につながると考えられます。

現在行われている研究では、溶液や固液複合系でナノ微粒子に関する特徴的な反応が明らかになりました。また量子ビームプローブ分析、超微弱電子ビームの発生と利用、低線量放射線の生物影響などユニークな研究の準備が進められており、今後の研究成果が期待されています。

設置目的

量子ビームは、ガンマ線、エックス線、電子線、中性子線などの放射線と、イオンビーム、

高性能レーザーなどの総称です。最近大型加速器からの放射光、陽子・重イオンビームや中性子線を用いた科学分析、医療分野の研究の進展は特に著しく、21世紀の原子力政策においても、量子ビームテクノロジーへの期待が示されています。

大阪府立大学でも、多くの教員や学生が内外の施設で量子ビームを利用していますが、種々の物質内で量子ビームによって誘起される反応を研究するためには、広い分野の研究者の連携・協力が不可欠です。本研究所は、異なる分野の研究者で組織し、学際的研究としてこの量子ビーム誘起反応に取り組みます。また学内研究活動の活性化のため、新たな量子ビームの開発指針を提言します。

研究員

産学官連携機構先端科学イノベーションセンター教授・奥田修一（研究所長）

産学官連携機構先端科学イノベーションセンター助教授・谷口良一

産学官連携機構先端科学イノベーションセンター講師・岡喬

産学官連携機構先端科学イノベーションセンター助手・小嶋崇夫

産学官連携機構先端科学イノベーションセンター教授・児玉靖司

産学官連携機構先端科学イノベーションセンター助手・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

大学院工学研究科物質・化学系専攻助教授・堀史説

大学院理学系研究科生物科学専攻教授・原正之

大学院理学系研究科生物科学専攻助教授・古田雅一

研究所連絡先

学部・分野等：産学官連携機構先端科学イノベーションセンター

量子線材料科学研究室 奥田修一

電話番号：072-236-2221（代表）

E-mail：okuda@riast.osakafu-u.ac.jp

設立年月日 平成 18 年 (2006 年) 2 月 1 日

3.

大阪府立大学産学官連携機構

放射線研究センター平成 17 年度共同利用報告会プログラム

主催：大阪府立大学産学官連携機構・放射線研究センター
大阪府立大学・量子ビーム誘起反応科学研究所

日時：平成 18 年 6 月 28 日（水）9:40-17:55

場所：大阪府立大学産学官連携機構・放射線研究センター講堂

9:40-9:50 開会の挨拶 放射線研究センター長 溝畑 朗

9:50-11:00 【一般講演】 [座長：谷口良一（府大産学官）]

* 過飽和合金における溶質原子の電子線照射促進偏析 中川将（府大院工）

* ガンマ線照射による金ナノ微粒子の生成 - 線量、界面活性剤依存性 - 前田修大（府大院工）

* B2 型金属間化合物 FeAl 中の非平衡欠陥の挙動 堀史説、室田勝幸、QiuXu*、義家敏正*、
岩瀬彰宏（府大院工、*京大炉）

* 超音波照射法で作成した AuPd ナノ微粒子の陽電子消滅法による電子状態評価 堀史説、
高谷弘枝、大嶋隆一郎*、岩瀬彰宏（府大院工、*ONSA）

* Si-H 基含有ポリマーブレンドからの SiC 系繊維製造における放射線不融化の影響と効果
北憲一郎、成澤雅紀、間淵博、伊藤正義*（府大院工、*福島工業高専）

11:00-12:00 【一般講演】 [座長：伊藤憲男（府大産学官）]

* 放射線照射による微粒子共存系での液体の分解反応 高柳健太郎、小嶋崇夫、谷口良一、岡喬
奥田修一、清野智史*、山本孝夫*（府大産学官、*阪大院工）

* 電子線ライナックの超微弱電子ビームの開発 谷口良一、田中幸夫、小嶋崇夫、奥田修一（府
大産学官）

* 微弱電子線を照射した線量計材料の熱蛍光二次元計測 田中幸夫、谷口良一、奥田修一、
小嶋崇夫、岡喬（府大産学官）

* 電子ビームによるコヒーレント THz 放射光源の利用 奥田修一、芝山学、谷口良一、小嶋崇夫、
高橋俊晴*、S. Nam**（府大産学官、*京大炉、**Kangwon Univ.）

12:00-13:00 施設見学と昼食

13:00-13:50 【現状・活動報告】 [座長：大嶋隆一郎（ONSA）]

* 大阪府立大学の法人化に伴って対応した放射線管理上の諸問題 奥田修一、八木孝司、松田八束、
汐見信行、児玉靖司、谷口良一、岡喬、森利明、伊藤憲男、川西優喜、白石一乗、小嶋崇夫、
和田野晃*、乾博*、阿賀田政吉、小嶋宏和、溝畑朗（府大産学官、*府大院生命）

* ライナックおよびコッククロフト・ウォルトン電子加速器の現状 谷口良一、小嶋崇夫、岡喬、
奥田修一（府大産学官）

* 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」の発足と概要 奥田修一（府
大産学官）

13:50-14:35 【特別講演】 [座長：児玉靖司（府大産学官）]

* 放射線適応応答 - マウス個体の放射線抵抗性獲得 - 米澤司郎（奈良医大）

14:35-14:50 休憩

14:50-15:50 【一般講演】 [座長：森利明（府大産学官）]

* 培養液中の自然放射能の吸収線量への寄与 - 極低線量放射線に対する生物応答研究に関連して -

松田八束、川西優喜、奥山勝幸、白石一乗、八木孝司、米澤司郎*、谷口良一、汐見信行（府大産学官、*奈良医大）

* マウス放射線適応応答は2つの機構によりもたらされる 白石一乗、米澤司郎*、児玉靖司（府大産学官、*奈良医大）

* ヒト細胞における4アミノピフェニルの損傷乗り越えDNA合成を介した突然変異誘発 澤井知子、八木孝司、川西優喜、高村岳樹*（府大産学官、*国立がんセンター）

* ³²P 標識ヌクレオチドを用いた、3-ニトロベンズアントロン-DNA 付加体生成と突然変異の解析 西田裕、川西優喜、八木孝司、高村岳樹*、若林敬二*（府大産学官、*国立がんセンター）

15:50-16:35 【一般講演】 [座長：川西優喜（府大産学官）]

* ヌクレオチド酸化損傷塩基の除去にかかわる酵素の探索 森利明、大谷謙二、滝本晃一*（府大産学官、*山口大農）

* Relationship between Higher-order Structure of DNA Molecules and DNA Damage by Ionizing Radiation

森利明、馬籠信之*、吉川祐子*（府大産学官、*名文理大短大食物栄養）

* 大腸菌変異株を用いたB型肝炎ウイルスHBX（Human Hepatic B Virus X gene）タンパクの研究 森利明、大谷謙二、八木孝司、小田美光*（府大産学官、*公衛研）

16:35-17:50 【一般講演】 [座長：八木孝司（府大産学官）]

* 線照射によるゼラチンハイドロゲルの架橋 別所昌彦、小嶋崇夫*、古田雅一、奥田修一*、原正之（府大院理、*府大産学官）

* 線架橋コラーゲンゲルの研究 小清水直喜、原正之（府大院理）

* 放射線を利用した温度感受性エラスチンモデルペプチドのナノ粒子化とDDS（薬物送達システム）としての応用 藤本真理、田中奈津子、古田雅一、原正之、中村妙子、C. Elena、岩間眞道*、村田充弘**、Dan W. Urry***（府大院理、*バイオエラスチックジャパン、**JSR 筑波研、***Univ. Minnesota）

* 温度応答性抗がん剤デリバリーシステムの開発 河野健司、尾沢敏明、児島千恵、原田敦史、青島貞人*、丸山一雄**、石坂幸人***（府大院工、*阪大院理、**帝京大薬、***国際医療センター）

* 光中性子法による極微量ウラン定量技術の開発 川崎智、谷口良一*、佐々木朋三**、奥田修一*（日立、*府大産学官、**原環センター）

17:50-17:55 閉会の挨拶 奥田修一

18:00-19:00 交流会（報告会と同会場）

（発表者下線、一般講演各15分(含質疑応答)）

4. 特別公演



生物は放射線に「適応応答」する

元大阪府立大学 教授 米澤 司郎

はじめに

刺激に対する「慣れ」の現象は、生物、細胞の持つ基本的な応答特性の一つである。細胞のレベルでも、個体のレベルでも、生物はある一つの刺激を反復して受けると、次第にその反応に対する応答が弱くなる傾向を示す。このような現象を生物学用語では「適応応答」と呼ぶ。

適応応答を示すものとしては、“におい”、“熱”、“味覚”などがよく知られている。ここでは低線量の放射線にも同じような適応応答が見られる事実を紹介し、放射線も少量であれば“におい”や“熱”などと同じように生体を刺激してその後の強い放射線に対して感受性を下げる効果が生じることを示す。またその効果が発現するメカニズムについてもふれてみたい。

細胞に見られる適応応答

放射線適応応答の現象が最初に観察されたのは1982年に遡る。当時、カリフォルニア大学の教授であったウォルフ(Wolff)博士は、ヒトのリンパ球を使って、一方には、事前に少量の放射性物質(トリチウム)を加えてベータ(β)線で照射しておいたもの、もう一方には無処理のリンパ球をわけて置き、それぞれのグループに1500mGy(大地からの自然放射線量は年間1mSvと1mGyと言われており、この約1500倍の量)の放射線を照射したところ、トリチウムで放射線照射しておいた方が明らかに染色体異常の発生頻度が下がる現象を見出した。この結果は、低線量の放射線が高線量の放射線とは全く異質の作用を示すことを示唆しており、放射線生物の研究に携わる多くの人々を強く刺激したのである。

生物の個体に見られる適応応答

私たちは、放射線適応応答が細胞だけでなく哺乳類の個体でも起こるかどうかを検討することが重要であると考えた。そこで1988年度から大阪府立放射線中央研究所(合併により現在は大阪府立大学)でマウスを使った照射実験を開始した。

適応応答の指標としてはマウスの生存率を選んだ。実験には緑膿菌に感染していないSPFマウスを使用した。マウスの種類は多いが、私どもでは、まず入手しやすいICR系マウスを用いることにした。

生後6週齢のマウスに対して、一方は少量のX線を事前に照射した群、他方は非照射群という2種類に分け、2ヵ月後に7750mGyの高線量放射線をそれ

図1 低線量X線によるマウスの放射線抵抗性の誘導 (括弧内の数字は用いたマウスの匹数)

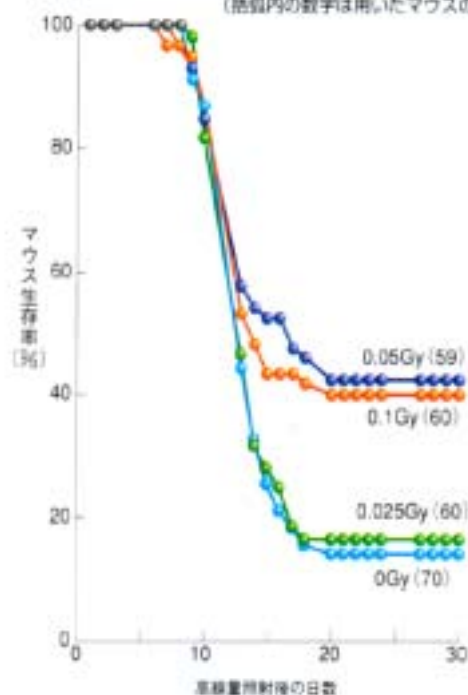
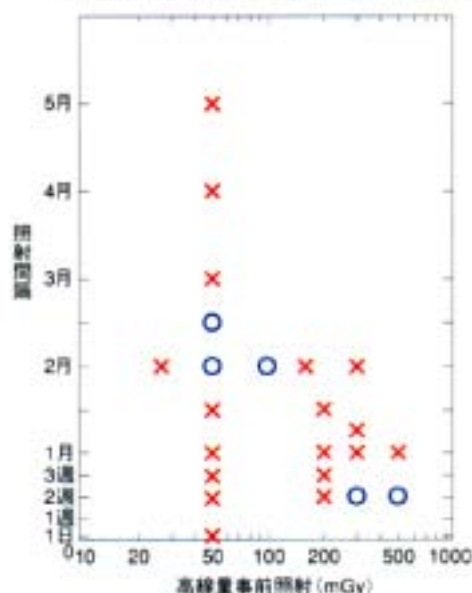


図2 マウスの放射線抵抗性獲得における
 事前照射線量と照射間隔の影響
 ○：抵抗性を獲得した；×：抵抗性を獲得しなかった

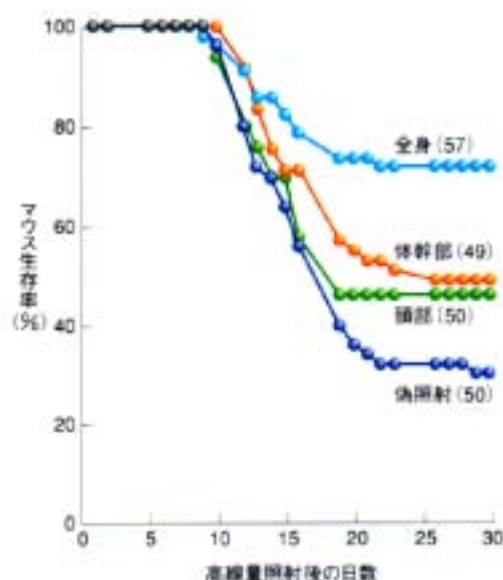


それに再照射し、その後の生存率を観察した。図1に実験結果の一例を示す。健常なマウスは、高線量放射線を全身照射されると、骨髄死(照射後約10～20日の間に観察される死)によって30日後には約86%が死亡する。しかし、事前に50～100mGyの低線量放射線を照射しておく、生存率は有意に増え、マウスに予め50～100mGyの低線量放射線を照射しておく、約2ヵ月後に放射線抵抗性が誘導されることがわかった。

事前照射の線量と再照射までの時間の影響

事前の照射線量と再照射までの時間を変えてマウスが放射線抵抗性を獲得する条件を詳細に調べた。図2に結果を取りまとめて示す。同図から、①事前照射線量が50～100mGyの場合には2ヵ月後、②事前照射線量が300～500mGyの場合には2週間後、放射線抵抗性が誘導されたことがわかる。興味深いことに事前の照射線量がちょうど中間にある200mGyの場合には放射線抵抗性は誘導されておらず、生体は200mGy前後を境として、それ以上の放射線とそれ以下の放射線を、それぞれ異なる刺激として認識している可能性がある。

図3 X線0.05 Gyを部分照射して2ヶ月後に
 8.0Gy再照射したときの生存率



事前照射の部位の影響

1994年に宮地幸久博士(当時電力中央研究所)からマウスの頭部に低線量のX線を照射すると覚醒作用を示すという興味ある報告がなされた。この研究に触発されて、放射線抵抗性の誘導が2ヵ月後に見られた50mGyの事前照射、および2週間後に見られた500mGyの事前照射のそれぞれについて、マウスの体の一部を遮蔽して再照射する実験を行い、放射線があたる部位の影響を調べてみた。

放射線の遮蔽には厚さ6mmの鉛板を使用した。図3には事前照射線量を50mGyとした場合の実験結果を示す。

同図からわかるように、事前照射線量が50mGyの場合には、全身をくまなく照射した場合には骨髄死が有意な減少を示すが、頭部や胴体だけの部分照射では有意な減少は認められず、抵抗性の誘導には頭部(神経中枢)および胴体(造血系、免疫系、消化器系など)を同時に照射する必要があることがわかった。

図4は事前照射線量を500mGyとした場合の実験結果である。この場合には、胴体の部分照射で抵抗性の誘導が認められたのに対して、頭部の部分照射だけでは変化を観察できず、500mGyの事前照射による

図4 X線 0.50Gyを部分照射して2週間後に7.35Gy再照射したときの生存率

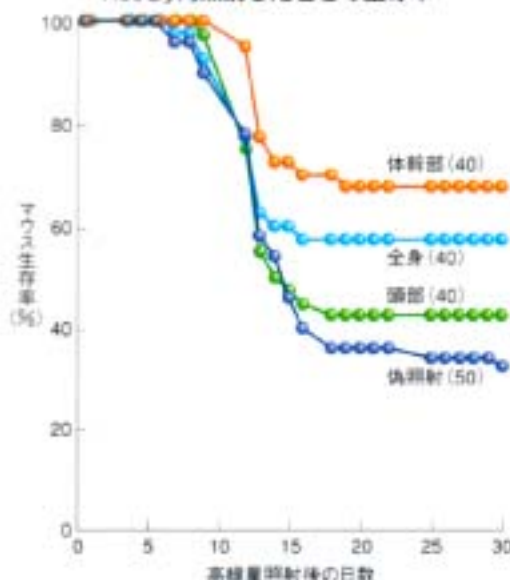


表1 放射線抵抗性獲得における事前の照射線量、照射間隔、照射部位の関係

事前照射線量 (mGy)	放射線抵抗性誘導の有無		放射線抵抗性の誘導に必要な事前照射の部位
	2週間後	2ヵ月後	
25以下	無	無	全身 (頭+胴体)
50~100	無	有	
150~200	無	無	胴体
300~500	有	無	

抵抗性の誘導に中枢神経は関与していないと言える。

放射線抵抗性誘導のまとめ

実験はC57BL系マウスでも行いICR系マウスの変化を再現している。表1には、これまでのC57BL系およびICR系マウスの実験結果を取りまとめた。

低線量の事前照射を受けた方が、死亡率が低いという一連の実験結果は、放射線の影響は量によらず悪いだけ、とする従来の常識とは著しく矛盾しており、500mGy以下の比較的少量の放射線と、高線量の放射線では、生物に対する応答がまったく異なると言えるであろう。

放射線抵抗性誘導メカニズムの推論

- (1) 抵抗性誘導の時期には免疫活性が上昇する事実
 私たちの実験結果は、松原純子博士(当時東京大

図5 高線量X線照射後の造血幹細胞数の回復に及ぼす事前照射の影響

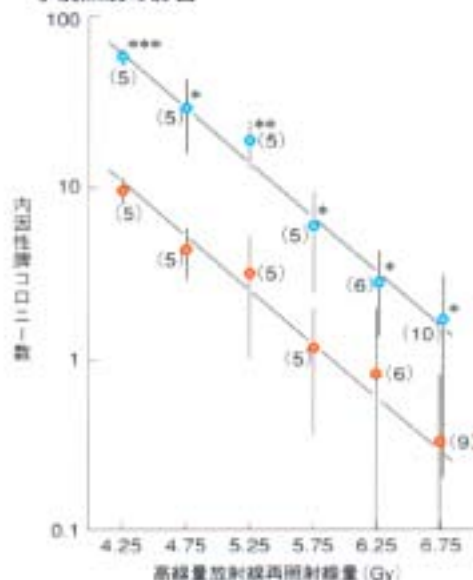


表2 事前照射による亜致死線量誘発出血の抑制

再照射線量 (mGy)	ヘモグロビン含有量 (乾燥質量10mg当りμg)		有意差
	事前照射なし	事前照射あり	
6120	3.57±0.22	2.49±0.10	p<0.05
6680	7.42±0.64	4.03±0.63	p<0.05

註) 0.5 Gy(500Gy)事前照射の14日後に再照射。無照射マウスのヘモグロビン量は0.44±0.21 μg/10mg。

学医学部、元原子力安全委員会委員長代理、放射線影響協会)らのグループによって追試・確認されている。松原博士らはさらに、免疫活性に着目して実験を行い、ヒツジ赤血球を抗原とした抗体産生能(脾臓PFC)が、放射線抵抗性の誘導される時期と一致して増加する事実を報告している。

(2) 造血幹細胞の回復を促進する事実

大量の放射線による生物の骨髄死は、体内の造血幹細胞(血液を造る元になる細胞で増殖分化によって赤血球、白血球、血小板に分化する)の個数が密接に関係する。そこで500mGy事前照射の14日後に高線量(4250~6750mGy)を再照射し、その12日後に造血幹細胞数の指標となる「内因性造血幹細胞数」の推移を調べてみた。図5に結果の一例を示す(図中の*印は結果に有意差があることを示し、*印の個数が多いほど顕著であることを意味する)。事前照射した方が事前照射しなかった場合よりも約5倍も増えており、事前照射が造血幹細胞数の増加回復を

強く促進するという結果を得た。

(3)高線量照射後の出血傾向を抑制する事実

放射線医学総合研究所の中村弥博士らにより、骨髄死は脳の生命中枢における出血と深く関わっており、その出血傾向は黄梗中のヘモグロビンの定量測定により判別できることがわかっている。私たちはその論文を参考にして実験し、表2に示す通り低線量放射線の事前照射には、出血傾向を抑制する効果があることを明らかにした。

(4)放射線適応応答には「がん抑制遺伝子」(p53遺伝子)が必要

京都大学放射線生物研究センターの丹羽太真教授から、がん抑制遺伝子と呼ばれるp53遺伝子を欠損したC57BL系マウスを頂戴して自家繁殖させ、造血幹細胞数の回復促進効果を調べてみたところ、再現性は得られず、放射線適応応答の誘導には、p53遺伝子が必要と評価した。

(5)放射線適応応答で生き延びたマウスの余命

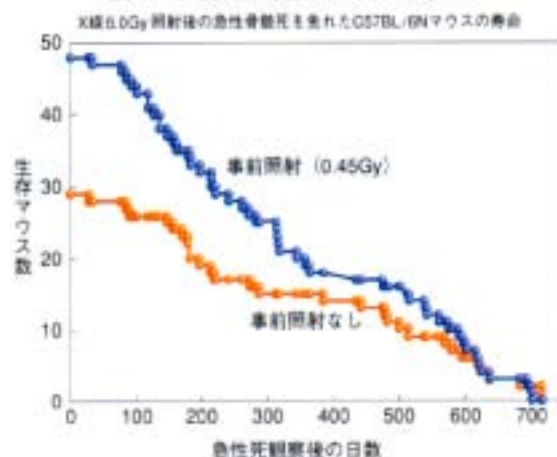
生き延びたマウスに、将来、がんなどが多発して短命になるならば放射線適応応答の魅力はなくなる。そこで、その確認実験を行った。実験ではC57BL系マウス100匹を2群に分け、一方だけに450mGyの放射線を事前照射し、14日後に6000mGyで再照射してからマウスが全部死ぬまでの約700日にわたって生存日数の観察を行った。その結果を図6に示す。同図から低線量放射線の事前照射によって適応応答を示したマウスの余命が、がんの発症などにより、有意に短くなることはないと言えよう。

おわりに

低線量放射線の事前照射により、細胞と哺乳類個体が放射線抵抗性を獲得する現象は「適応応答 (adaptive response)」として、1994年の国連科学委員会レポート (UNSCEAR 1994 REPORT) に記載された。この現象が、ただちに放射線管理基準に影響を与えるものではないが、引き続き注目すべき事項と位置づけられた。

私たちによる放射線適応応答誘導のメカニズム研究のほとんどが、事前の照射線量を500mGyとする条件で行われたものであり、詳細なメカニズムの解

図6 骨髄死観察後のマウスの余命



明にあたっては、さらに50mGyより低い事前照射線量に対する実験研究の積み重ねが必要である。

しかし、これまでの研究だけでも放射線適応応答は、極めて奥の深い現象であることがわかる。

例えば、骨髄死を防ぐには、造血幹細胞の移植や放射線障害回復促進物質を投与して血球産生を促進させ、あるいは新鮮な血小板を輸血することが有効であることが知られている。そこで、私たちは、低線量放射線の事前照射によって高線量照射後の血球数の回復が促進されているだろうと考えていたが、予想に反して血球数の回復が促進されるというデータを得ることができなかった。

すなわち低線量放射線の事前照射は、造血幹細胞数の回復を顕著に促進し、また出血傾向を抑制したのだが、それは血球数の増加回復によってではなかった。

それでは造血幹細胞はいったい何を産生したのだろうか？ これは、造血幹細胞の定義にもおよぶ新たな謎である。造血幹細胞が血球産生以外に働いて骨髄死を抑制する未知の(あるいは既知の)因子を誘導している可能性があると考えざるを得ない。この因子が解明された際には、がんの放射線治療や化学療法を進めるうえで、有効な手段の開発につながるかもしれない。

放射線適応応答は、自然放射線を受けて生活している生物に対して備えられた生体防御の仕組みかもわからない。この解明が進めば低線量放射線の有効利用の道を拓げることも夢ではない。

5. 公立大学法人大阪府立大学 産学官連携機構・放射線研究センターにおける 放射線施設の利用

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。

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	50~100kGy/h	大線量照射
照射プール	5PBq	5k~100kGy/h	大線量水中照射

1.2 コバルト線源の主な照射対象

- ・ 生物分野
 - 植物の突然変異種発現
 - 微生物の特性改良
 - 医療器具・動物飼料等の滅菌
- ・ 化学分野
 - 放射線分解と有用生成物の生成
 - 架橋反応の利用による電線被覆材の開発
 - 楽器の弦の改良



図 2 コバルト 60 照射風景
(線量計の較正)

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

2 . 高エネルギー電子線照射装置 (ライナック)

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

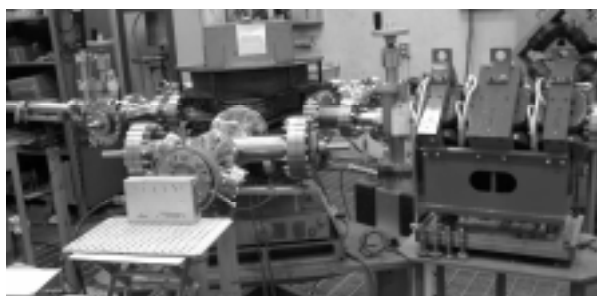


図 3 電子線形加速器 (OPU ライナック)

2.1 主な照射設備

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

2.2 ライナックの主な照射対象

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

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

3. 低エネルギー電子線照射装置（コッククロフト・ウオルトン型加速器）

エネルギー：60～600 keV

用途：表面照射、表面処理

照射対象例：人工衛星部品の照射

物質の表面改質（硬化、濡れ性の変化）



図4 低エネルギー電子線照射装置

4. 非密封放射線施設および、その他の照射装置

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



図5 非密封放射線施設

- 用途：
- 放射性同位元素によるトレーサー実験
 - 材料の陽電子利用分析
 - 放射性同位元素による年代測定
 - 環境汚染物質の元素分析
 - 環境放射線の測定



図6 トレーサー実験に用いられる RI 標識化合物

その他の照射設備：



図7 低エネルギー電子線照射装置（100keV）



図8 X線照射装置



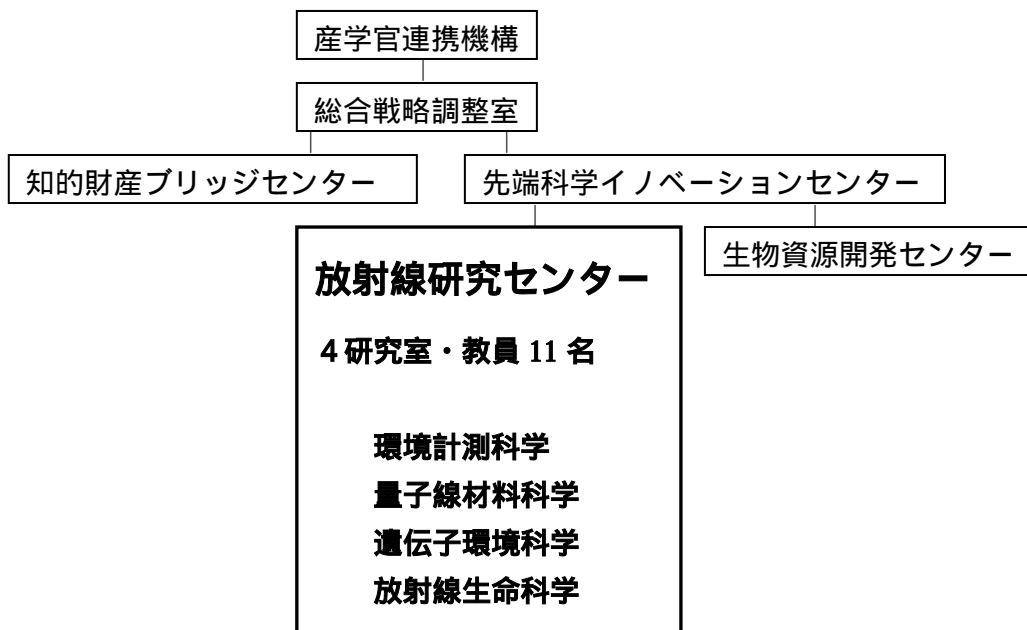
図9 X線非破壊検査装置



図10 γ 線非破壊検査装置、

5. 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ました。



6. 放射線照射施設利用のてびき

放射線センターでは、保有する放射線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。

6.1 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。

6.1.2 学内共同利用の手続きの流れ

課題申請：6.1.3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た後、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、共同利用報告書等の書式は、ホームページからダウンロードが可能です。UTL: <http://www.riast.osakafu-u.ac.jp>

6.1.3 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 _____ ④

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 _____

6.2 一般照射利用の手続きと使用料金

産学官連携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。(6.2.2 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。

6.2.1 一般照射利用の手続き

照射利用申込書の提出：装置担当者の実験日時を打ち合わせ後、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。

6.2.2 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	
生装置による放射線発射の場合	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。

7. 放射線施設の位置と経路

大阪府立大学 産学官連携機構、

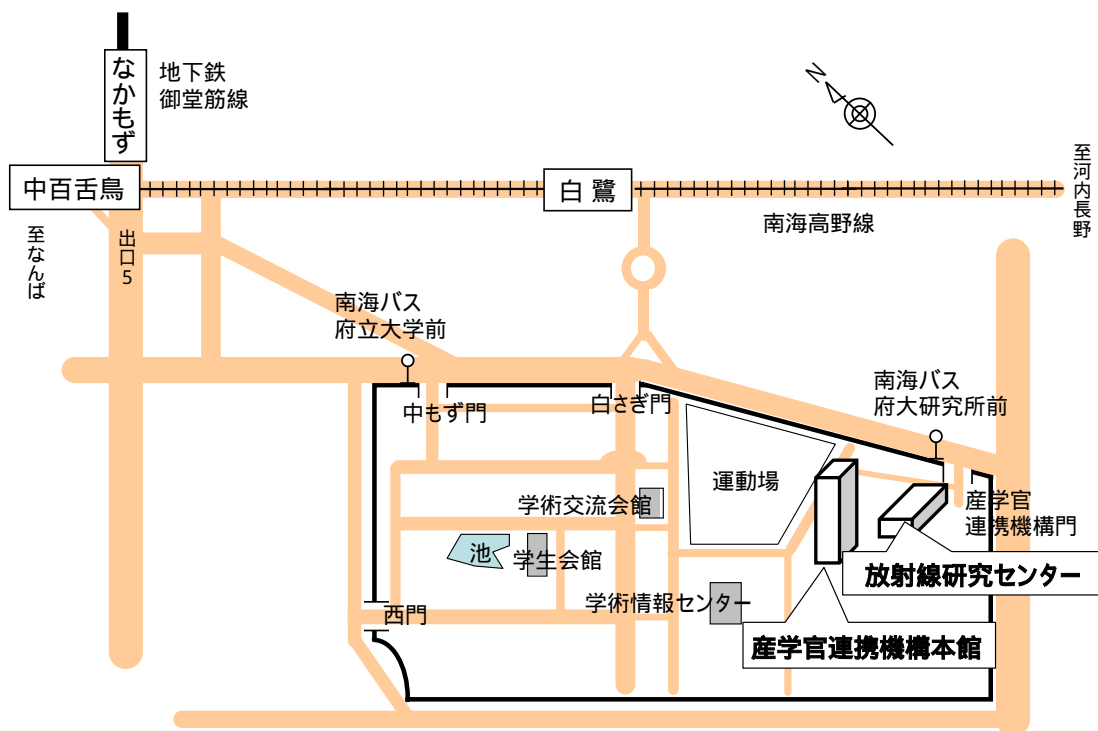
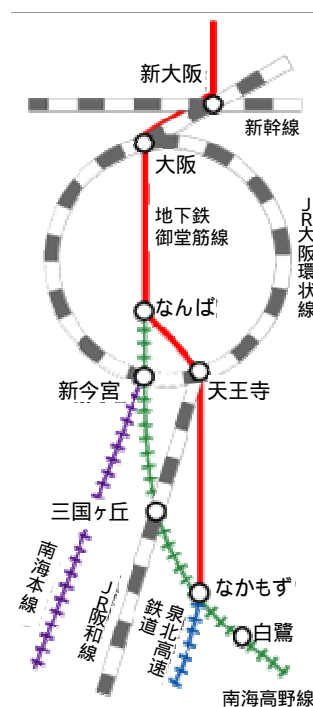
放射線研究センター

〒599-8570 大阪府堺市中区学園町1-2

Tel : (072) 236-2221 (代)

Fax : (072) 254-9938

ホームページ : <http://www.riast.osakafu-u.ac.jp>



- ・ 地下鉄御堂筋線 なかもず駅下車 5番出口 徒歩20分
- ・ 南海高野線 白鷺駅下車 徒歩15分

