

石英の OSL 特性変化に関する物理的履歴の影響 (II)

大阪大学大学院 理学研究科

長田 章良、山中 千博

The effects of physical weathering on OSL properties in quartz (II)

Department Earth and Space Science, Graduate School of Osaka University

Akira Osada and Chihiro Yamanaka

Optically stimulated luminescence (OSL) using radiation-induced centers in solids has been used for the dating of buried age in the Quaternary period. Quartz is a typical sample for OSL dating and buried time of the sample after zero set of luminescence centers by sunlight is considered the start of clock for dating. However, the properties of OSL is different in each quartz particle, which is dependent on the source and history of samples. Assuming weathering of minerals causes such difference in OSL properties, we have performed irradiation of ion beams to quartz samples and studied the OSL properties.

OSL 年代測定では、自然放射線被曝によって蓄積した発光中心の再結合を観測している。石英は長石と並ぶ OSL 年代測定に用いられる試料であるが、産地や履歴により、あるいは粒子ごとに OSL の感度の違いがある。そのため、SAR (single aliquot regenerative-dose) 法などが経験的に用いられており、また弱い青色光のもとで短時間に発光する、いわゆる Fast 成分が卓越した試料が年代測定に適しているとされている。実際、同じ放射線被曝量に対する OSL 発光量と同様に Fast 成分の割合も試料によって異なっており、また繰り返し標準的な OSL 測定を行うことにより OSL 感度が増加することも知られている⁽¹⁾。

本研究では、試料に依存する OSL 発光量および Fast 成分の割合に注目し、これと不純物または構造的な欠陥との関連の解明を目的とした。まず履歴の異なる 4 種の石英砂を準備し、イオン照射により構造欠陥および不純物元素を注入した。イオン種は He^+ 、 O^+ 、 Li^+ 、 Eu^+ の 4 種類を用意し、高崎量子応用研究所および大阪大学理学研究科バンデグラフ加速器施設にて、加速電圧 400kV、1.8MV、3.0MV でそれぞれ照射 (100nA-1

μA , 0.2 – 200s) を行い、照射後それぞれの試料に 500°C 1 時間の加熱操作を行った。

イオン照射のみを行った試料では OSL 発光量に変化は見られなかったが、その後 500°C 1 時間の加熱を行った試料では、イオン種・照射エネルギーに関わらずイオン照射量とともに発光量が増加し、特に Li^+ を照射した試料で 40 倍まで増加した。また元々 Fast 成分の観測されなかった石英砂に対して、照射後の加熱によってイオン照射量の増加に相関して Fast 成分の割合が最大 7 倍まで増加し、その後一定値に収束する傾向が見られた。その収束値は試料によって異なり、試料中の Al 不純物元素濃度と相関する結果が得られた。

結果として、イオン照射により形成された発光中心の増加と不純物としての Li の存在、あるいは熱処理による構造的な妨害中心の緩和が OSL 発光量の増加に寄与するらしきことがわかった。また Fast 成分の存在しなかった試料に Fast 成分を付与することができた。

References

- (1) F. Preusser et al., *Radiation Measurements* **41**, pp.871-877. (2006)

核融合炉用超電導磁石絶縁材料の照射効果に関する研究

工学研究科 環境エネルギー工学専攻^a

西嶋 茂宏^{a*}、秋山 庸子^a、三島 史人^a、高橋 知寛^a、小林 浩二^a

Study of Irradiation Effect on Insulation Material for Superconducting Magnet of Nuclear Fusion Reactor

Graduate School of Engineering^a

Shigehiro Nishijima^{a*}, Yoko Akiyama^a, Fumihito Mishima^a, Tomohiro Takahashi^a, Koji Kobayashi^a,

The insulating materials to be used for the superconducting magnets in the nuclear fusion reactor are needed to have the high mechanical strength at cryogenic temperature under neutron and gamma ray. We have previously investigated the irradiation effect of the glass fiber reinforced plastic (GFRP) by means of gamma ray at the room temperature (RT). Interlaminar shear stress (ILSS) of GFRP, whose matrix consists of cyanate ester and bisphenol A epoxy resin, in liquid nitrogen temperature (77K) was measured. ILSS increased slightly by gamma ray, whereas the molecular chain scission was observed in its matrix. However, the actual irradiation environment of insulating materials is cryogenic temperature. Thus we should evaluate whether the similar phenomena above are also observed under the radiation environment at cryogenic temperature. In this study, we examined the irradiation effect of GFRP at 77 K. Based on the results, the difference of irradiation effect between at RT and at 77 K was discussed.

1. はじめに

現在開発が進められている国際熱核融合実験炉 (International Thermonuclear Experimental Reactor, ITER) で使用される超電導磁石の中で、トロイダル磁場 (Toroidal Field, TF) コイルは、核融合反応由来の高速中性子フルエンスは 3.2×10^{21} n/m² に達する。また、電磁力によって最大 45 MPa のせん断応力が TF コイルには負荷される。さらに、冷媒には超臨界ヘリウムが使用されることから、核融合炉で使用される超電導磁石の構成要素は、放射線環境下、極低温において優れた機械的強度を維持することが要求されている。

超電導磁石の構成要素のうち、絶縁材料はガラスクロスとポリイミドフィルムを積層し、隙間を有機高分子材料である樹脂を含浸させた複合材料であるが、有機高分子は一般的に放射線感受性が高い。また、層間せん断強度 (Interlaminar Shear Stress, ILSS) が低いという問題点もあることから、絶縁材料のマトリックスの照射効果と界面の照射効果の評価は非常に需要である。

2. 室温照射による照射効果の検討

我々はこれまでに、シアネートエステル (Cyanate ester, CE) とビスフェノール A 型エポキシ樹脂 (Diglycidyl Epoxy resin of Bisphenol A, DGEBA) の混合樹脂をマトリックスとしたガラス繊維強化プラスチック (Glass Fiber Reinforced Plastics, GFRP) を作製し、大気雰囲気環境下 (RT) で γ 線を照射して照射効果を調査してきた。ILSS 試験では目違い切欠き試験片を使用し、試験温度は液体窒素温度 (LNT, 77 K) とした。図 1 に試験の様子と試験片の概略図を示す。放射線照射は、⁶⁰Co 線源により γ 線を最大 10 MGy まで照射した。

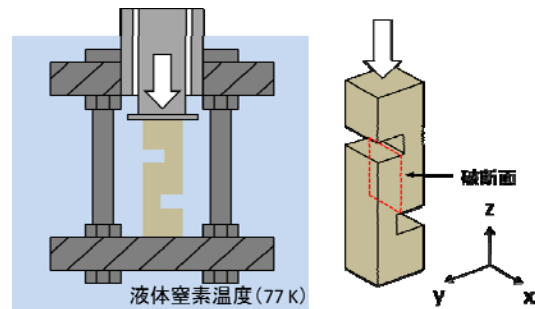


図 1 ILSS 試験の様子と目違い切欠き試験片

* S. Nishijima, 06-6879-7896, nishijima@see.eng.osaka-u.ac.jp

図2にILSS試験の結果とマトリックス樹脂に対して実施した動的粘弾性測定(Dynamic Mechanical Analysis, DMA)で得たガラス転移温度Tgの結果を示す。γ線照射後、ILSSは若干増加し、Tgは低下した。またFT/IRを実施したところ、カルボニル化合物の増加が見られ、結果として分子鎖の切断が確認された。同様な結果は先行研究でも確認されている¹⁾。

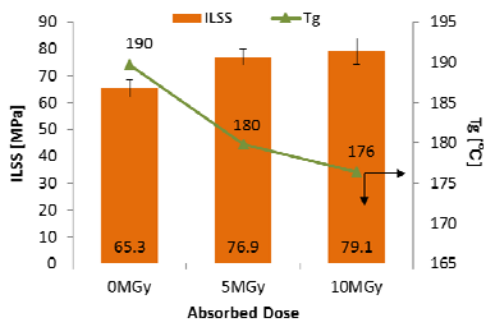


図2 ILSS と Tg の関係

3. 現在の問題点と研究目的

ITERでの使用環境を考慮すると、実際の絶縁材料に対する照射環境は極低温である。また、ITERの稼動と停止を考慮すると、絶縁材料がさらされる温度は変化することが考えられる。したがって、本研究ではILSSの上昇と分子鎖切断という2つの事実に対して、

(i) 極低温環境下でのγ線照射でも同様な現象が起きるのか

(ii) 極低温環境下における照射後の温度変化によってこの現象は影響されるのか

という2つの観点を評価することが重要であると考えた。そこで、GFRPに対して大気雰囲気環境下(以下、室温照射)と液体窒素環境下(以下、低温照射)でγ線をそれぞれ照射し、試験片に対して温度変化を与えた後ILSS試験を実施することで、照射効果について評価することとした。

4. 低温照射の検討

実験に使用したGFRPは、マトリックスにDGEBAとポリエーテルアミン硬化剤を混合したものを使用した。

今回は室温照射と低温照射による照射効果の違いに注目するため、室温照射において吸収線量が増加するにつれてILSSが大きく低下することが確認されているDGEBAによるGFRPで実験を行った。試験片に対しては、大気雰囲気環境下と液体窒素環境下でそれぞれγ線を照射してILSS試験を実施した。また、ILSS試験での試験片の形状、および試験方法は図1に示した方法と同様な手法とし、⁶⁰Co線源によりγ線を最大3 MGyとした。

表1にγ線照射温度と試験片の温度履歴を示す。温度履歴については、AはRTからLNTまで冷却、BはRTまで昇温し再度LNTまで冷却、CはLNT維持をそれぞれ示している。Bの昇温方法としては、24時間以上RT乾燥させた。

表1 照射温度と温度履歴

コンディション	照射温度	温度履歴	実験温度
①	RT	A	LNT
②	LNT	B	LNT
③	LNT	C	LNT

図3にそれぞれの温度条件におけるILSS試験の結果を示す。吸収線量が3 MGyまでは照射温度および温度履歴の違いによるILSSの有意な変化は見られなかった。ただし、Condition②についてはややILSSが低下する傾向が見られた。この現象については有意な差であるかどうかを含め検討中である。また、吸収線量を10 MGyとした実験を現在進めている。

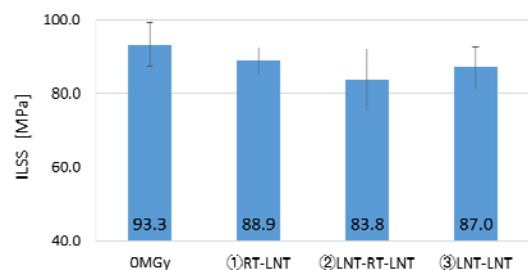


図3 RT照射とLNT照射によるILSS

References

1) Jingwen Li, et al : Fusion Engineering and Design, VOL.89, Issue 12, pp.3112-3116, 2014

電離放射線による突然変異生成の分子機構の解析

ラジオアイソトープ総合センター^a、産研量子ビーム科学研究施設^b、福井大学附属国際原子力工学研究所^c

清水喜久雄^{a*}、藤乗幸子^b、松尾陽一郎^c

Molecular analysis of ionizing radiation induced mutations in the budding yeast

Kikuo Shimizu^a, Sachiko Tojo^b, Youichirou Matuo^c

Radioisotope Research Center^a, Research Laboratory for Quantum Beam Science^b, RINE, University of Fukui^c,

Our research group has been studying ionizing radiation induced mutation of the budding yeast, S288c (*RAD⁺*) as model of eukaryote cell. The yeast cells were irradiated with carbon ions (¹²C⁵⁺; 290 MeV). Carbon ion beam was generated from synchrotron in HIMAC. When we analyzed the survival rate with different radiations, the survival rate was reduced along with the LET. While the mutation frequencies were enhanced along with the LET. The mutation frequency increased consistently with LET. This result indicates the high LET ion beam is more mutagenic than low LET ion beam. Moreover, we examined the new method to evaluate DNA lesions caused by low or high LET radiation using a polymerase chain reaction. We obtained the result that the efficiency of DNA synthesis decreased with increasing LET. It means that DNA lesions, in particularly double-strand breaks, affect the rate of DNA synthesizing reaction. This result shows the possibility that this method will be used to evaluate simultaneously the biological effects caused by various radiations with low or high LET.

【研究の目的とバックグラウンド】

現在、がん治療をはじめとして、粒子線の医学応用や遺伝子資源の開発への利用が急速に広がっている。我々は電離放射線照射による生体効果の研究、特に細胞致死及び突然変異生成に関する基礎的なメカニズムの解明のために、出芽酵母をモデルとした生存率、突然変異率、シーケンス解析による突然変異スペクトルを調べた。また、粒子線に特徴的な DNA 損傷を評価するための手法を開発するために、ポリメラーゼ連鎖反応を用いた DNA 鎖損傷量の解析方法について検討を行った。

【すでに得られている結果】

1) 電離放射線による *URA3* 突然変異スペクトルの解析；粒子線照射による突然変異生成機構を

解析するために出芽酵母の S288c 株を用い、LET:13 ~107 keV/μm の炭素線を照射した場合の致死率・突然変異率を評価した。この結果から、致死率及び突然変異率は LET に依存することが示された。また、シーケンス解析の結果から、炭素線及びガンマ線では一塩基置換が起こるが、炭素線ではガンマ線とは異なり変異部位が主にヌクレオソーム構造のリンカーDNA 領域に局在して生じることが示された。

2) ポリメラーゼ反応を利用した DNA 損傷の評価；電離放射線を照射した DNA の損傷量を評価するために、照射した DNA を PCR の鋳型として、リアルタイム PCR 法を用い評価した。PCR 法の原理から、鋳型となる DNA に放射線照射による

* K. Shimizu, shimizu@irc.osaka-u.ac.jp, 06-6850-6103

損傷があれば、ポリメラーゼ連鎖反応を阻害すると考えられる。すなわち、ポリメラーゼ連鎖反応での DNA 合成効率から、鋳型として機能する未損傷の DNA 量を評価できると考えられる。

【研究結果】

電離放射線照射による *URA3* 突然変異スペクトルの解析；高 LET 粒子線に独特の突然変異を明確にすることを目的とし、LET が 13、25、107 keV/μm の場合での変異スペクトルを評価した。結果を表 1 に示す。炭素重粒子線及びガンマ線に共通する特徴として、主に置換変異 G・C→T・A トランスバージョンが起こることが示された。また、13、25 keV/μm の炭素重粒子線の照射では、A・T→T・A トランスバージョンの割合が高くなることが示唆された。2-OH-dATP は G・C→T・A トランスバージョンの他に、5'-TA*A-3' (A*=2-OH-Ade)配列の場合に A→T のトランスバージョンを誘発することが報告されている。また、ガンマ線および 13、25 keV/μm の炭素重粒子線の照射により誘発した突然変異は、すべて 1 塩基の置換・欠失・挿入変異であった。一方で、LET が 107 keV/μm (290 MeV)の炭素重粒子線(JAEA、TIARAにて照射。比較のために実施)については、数 bp 以上の欠失が見られた。LET によって生じる突然変異のサイズが異なることが示唆された。

2) ポリメラーゼ反応を利用した DNA 損傷の評価；炭素線及びガンマ線を照射した DNA の損傷量を評価した。1)の実験で用いている出芽酵母 S288c の *URA3* 領域(804 bp)を PCR 法によって増幅し精製した反応物を DNA サンプルとした。DNA サンプルに対し、放射線医学総合研究所 HIMAC で炭素粒子(290 MeV, LET:50 keV/μm)を照射した。吸収線量は 0.05Gy-1 Gy である。照射したサンプル DNA を鋳型とし、MiniOpticon システム®(Bio-Rad)を用い、未損傷の鋳型 DNA の量を評価した。ここで、解析対象となる *URA3* 配列は、我々の先の研究により突然変異のホットスポットが確認された領域(約 200bp)である。さらに、リアルタイム PCR 法での通常の操作では 1 種類のプライマー(十数塩基の短い DNA)を用いて特定の領域の DNA 領域を合成するが、本研究では 1 種類のプライマーセットならびに 3 種類のプライマーセットを用いて解析を実施した。

表 1. シーケンス解析による出芽酵母での変異スペクトル

	炭素線 LET:107keV/μm JAEA・TIARA	炭素線 LET:25keV/μm NIRS・HIMAC	炭素線 LET:13keV/μm NIRS・HIMAC	ガンマ線 LET:0.2keV/μm 大阪大学・産研	
トランスバージョン	G:C to T:A	21 41.2%	2 20.0%	11 22.0%	13 43.3%
	G:C to C:G	12 23.5%	0 0.0%	6 12.0%	3 10.0%
	A:T to C:G	1 2.0%	1 10.0%	0 0.0%	4 13.3%
トランジション	A:T to T:A	1 2.0%	2 20.0%	12 24.0%	0 0.0%
	G:C to A:T	7 13.7%	1 10.0%	9 18.0%	6 20.0%
	A:T to G:C	0 0.0%	0 0.0%	0 0.0%	0 0.0%
	欠失	※8 15.7%	1 10.0%	9 18.0%	2 6.7%
挿入	1 2.0%	3 30.0%	3 6.0%	2 6.7%	
Total	51 100.0%	10 100.0%	50 100.0%	30 100.0%	

※数bp以上の欠失を含む

加速器を用いた材料改質と新規機能性材料創製に関する研究 ～低エネルギー電子線照射装置安全対策と実験室整備～

産研ナノ極限ファブ리케이션研究分野^a、阪大ダイキン共同研究講座^b

近藤孝文^{a*}、吉田陽一^{a**}、足達健二^b、佐藤数行^b、

Study of the material modification and the invention of new functional materials using an accelerator

Dept. of Advanced Nanofabrication^a, Daikin Industries Joint Research^b,

Takafumi Kondoh^{a*}, Yoichi Yoshida^{a**}, Kenji Adachi^b, Kazuyuki Sato^b

For modification of various polymeric materials (mainly fluorine-based polymer), high dose radiation by using a low energy electron beam accelerator was used at ISIR, Osaka University. And also establishes a novel ultra-fine processing technology using an electron beam nanoimprinting. Samples after irradiation, the evaluation of physical properties in the laboratory.

電子線を用いた高分子材料の架橋や官能基のグラフト重合が、高分子材料の改質や高機能化のために、幅広く行われている。高分子基材とその架橋やグラフトする官能基の種類と量を制御することにより種々の有用な機能を付加することができる。例えば高分子フィルムに低エネルギー電子線を照射することにより架橋・接着して、木材表面の装飾と高強度化、耐水性強化を図ることができる。

このような架橋やグラフト重合の初期過程は、放射線照射により基材のイオン化を経たラジカルの生成により、“継ぎ手”の基材への導入である。その後官能基をもった分子の溶液に含浸してラジカル反応させることによりグラ

フト重合する。グラフト量は、放射線の線量と基材のラジカル生成G値、ラジカルの反応経路および寿命に依存する。ラジカルはラジカル-ラジカル終端反応するので高線量では失活するが、基本的にはラジカル量をより多く発生させられれば機能制御の幅を広くできる。

低エネルギー電子ビーム加速器は、DC電子銃が発生する電子を加速することにより空気中に取り出して電子線を照射し、ほぼすべての電子が基材に入り数十マイクロメートルでエネルギーをすべて付与するために、線量が非常に高いことが特徴である。線量が高ければ、基材中のラジカル量を増やすことが可能となる。本研究では、低エネルギー電子加速器からの電子

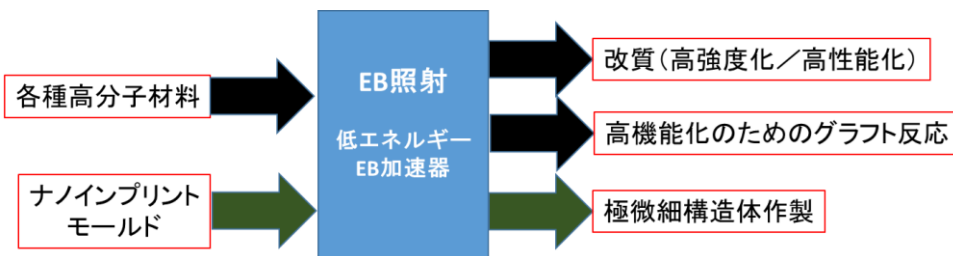


Fig.1 Functionalization of various polymer materials by irradiating of low energy electron beam

* T. Kondoh, 06-6879-4285, t-kondo@sanken.osaka-u.ac.jp; **Y. Yoshida, 06-6879-4284, yoshida@sanken.osaka-u.ac.jp



Fig.2 Development of chemical laboratory

ビームを用いて、主にフッ素系高分子材料に高線量照射を行い、材料を架橋させることによる改質やグラフト重合による機能付与を行う。また、電子ビームナノインプリント法による新規な極微細加工技術を確立する。

電子線照射装置は、量子ビーム科学研究施設に設置した岩崎電気製 EC250/15/180L を用いる。マルチフィラメント方式により大量の電子を発生し、垂直下方に加速照射する。有効照射幅は、150 mm で加速電圧は、150 ~ 250 kV、ビーム電流は1~10 mA であり、吸収線量は、1800 kGy×m/min である。Selfshield 方式により本体表面で漏洩線量は、2.6 μ Sv/hr 以下に抑えられており設置に放射線管理区域を設定する必要がない。本装置の特徴は、経済性、信頼性、安全性が高く、保守・運転の容易な装置であることと、250 kV の加速電圧と1800 kGy×m/min の非常に大きな処理能力を持つことであり、広範囲の実験を可能としている。この低エネルギー電子線照射装置は、四国経済産業局から大阪大学産業科学研究所への無償貸付による物品であり、今後、試験・研究目的のために、有効活用される予定である。

本年度は、化学実験室としての整備を行い、安全チェックを行って指摘事項を対策した。化学薬品庫およびドラフトを設置し、冷蔵庫、実験台、器具乾燥機の設置を行った。また安全対策として、電子線照射装置の試料搬入部にカーテン状のセ



Fig.3 Curtain-like sensor for finger pinch prevention at the sample entrance of accelerator

ンサーを取付けて、指詰め防止対策をした。また、本装置は、照射部の冷却と、酸素によるラジカル捕捉を抑制するために5 m³/h程度の窒素を流す。そのための窒素ポンペを設置したが、排気ポートはなく、装置から自然流出するということから、酸欠防止のために本装置全体を囲む簡易排気ブースを設置し、排気するように工事を行った。今後フッ素系高分子基材への照射を行い、改質や機能化の実験を行う。



Fig.4 Exhaust booth around the electron beam accelerator for oxygen deficiency prevention

γ線照射したバサルトファイバーの ESR 測定

大阪大学 大学院理学研究科^a、日本原子力研究開発機構^b

谷 篤史^{a*}、坂之上 聖史^a、深澤 裕^b

ESR measurements on gamma-irradiated basalt fiber

Dept. of Earth and Space Science, Osaka University^a,
Japan Atomic Energy Agency^b

Atsushi Tani^{a*}, Masafumi Sakanoue^a, Hiroshi Fukazawa^b

We investigated gamma-irradiated basalt fiber by electron spin resonance (ESR) at room temperature. ESR spectrum of unirradiated basalt fiber shows two broad ESR signals at 160 mT ($g = 4.3$) and 340 mT ($g = 2.0$). They are typical ESR signals due to ferric iron ion (Fe^{3+}). ESR spectra did not change obviously after gamma irradiation even at high dose about 46 kGy. Although we expected to detect radiation-induced point defects, they may be thermally unstable and release trapped electron and/or hole at room temperature.

バサルトファイバー(バサルト繊維)とは玄武岩を原料とした繊維状の素材(図1)で、密度が 2.75 g/cm^3 とシリカ繊維の 2.15 g/cm^3 に比べて大きな値を持つのが特徴である[1]。原材料が玄武岩であることから安価で、環境に優しいとされており、耐火素材や補強材等に使用されている。また、有機素材に比べ放射線に対する高い耐性が期待されることから、放射性廃棄物の保存容器への使用も検討されている。しかし、バサルトファイバーの照射効果について検討した研究がないことから、本研究ではγ線照射によりバサルトファイバーに誘起される欠陥の有無や種類について、ESR法による検討を行った。



図1. バサルトファイバーの写真。

バサルトファイバーをアルミ製の袋にいれ、産研の ^{60}Co を線源とするγ線により常温で照射を行った。照

射距離を変えることにより複数の照射線量率で照射し、照射時間は6時間、24時間、48時間とした。照射後の試料をラボに持ち帰り、ファイバーをはさみで約1.5 cmの長さに切ったものをESR測定試料とした。計測にはXバンド(9 GHz) ESR分光器(JEOL JES-FA200)を用い、ESR試料管にバサルトファイバー試料を入れて測定を行った。磁場変調は100 kHz、0.1 mT、マイクロ波強度は1 mWとした。

異なる照射量のバサルトファイバーのESRスペクトルを図2aに示す。磁場が160 mT($g = 4.3$)と340 mT($g = 2.0$)の2ヶ所に主な幅広のESR信号が確認され、両者とも Fe^{3+} に起因するESR信号であることがわかった[2]。鉄イオンを含む主要な玄武岩の構成鉱物はカンラン石($(\text{Mg,Fe})_2\text{SiO}_4$)や輝石($(\text{Mg,Fe})\text{SiO}_3$)で、両者ともマグネシウムと鉄が固溶するケイ酸塩鉱物である。鉄を含むカンラン石のESR測定を行ったところ Fe^{3+} の信号は皆無であったことから[3]、鉄イオンは Fe^{3+} ではなく Fe^{2+} で存在していることがわかる。カンラン石を空气中で加熱し一部の鉄イオンを酸化させた場合、 $g = 2.0$ 付近のESR信号が増加することが知られている[3]。図2に見られた Fe^{3+} は、原料に含まれる鉄イオンの一部がファイバー製造時に酸化されたことによるものであると考えられる。また、γ線照射前後でESRスペクトルに優位な違いは見られなかった。

図2bに340 mT近傍のESRスペクトルを示す。石英などケイ酸塩鉱物に放射線により生成する点欠陥のESR信号(Fe^{3+} の信号に比べ細い線幅をもつ)は主にこの磁場範囲に見られるが[4]、図3には Fe^{3+} に起因

* A. Tani, 06-6850-5540, atani@ess.sci.osaka-u.ac.jp

する信号(バックグラウンドの傾きとなっている)のみが計測された。図2b)に用いた試料の最大照射線量は46 kGyであった。石英では数十Gyの照射量から石英のダングリングボンドであるE'中心や酸素正孔中心が見られることから、顕著なESR信号が見られなかった理由は照射線量不足ではない。

カンラン石のマグネシウム単成分であるフォルステライト(Mg_2SiO_4)への γ 線照射では酸素空孔などに起因すると見られるESR信号が観察されている[5]。一方、鉄を含むカンラン石への γ 線照射では顕著なESR信号が見られていない。このことは、同じ結晶であるカンラン石でも γ 線照射により生成する点欠陥の熱安定性は鉄イオンの有無により大きく変化し、常温で容易に緩和していることを示している。バサルトファイバーでも鉄イオンを含むことが一つの理由で、放射線により誘起される欠陥が観察できなかったのではないかと考えられる。

一方、バサルトファイバー製造時に何らかのバインダーが用いられているとのことであった。もし、バインダーが有機物であれば、有機ラジカルの信号が計測できるのではと期待していたが、あらわに見ることはできなかった。よって、有機物が混入しているとしても微量であると予想される。

γ 線照射によりバサルトファイバーに起こる変化をESRでとらえるべく実験を行ったが、優位な変化を計測することはできなかった。欠陥を生成するには十分な線量を照射しているため、緩和がすでに起こっていると考えてよいと思われる。照射前と同じ状態へ戻っているか、あるいは不対電子を持つ状態がないだけで、異なるものへ変化しているのか、現時点では判断できないが、もし前者であるなら、バサルトファイバーは放射線による耐性が高く、高い放射線量の現場での素材として有効である可能性がある。

Reference

- 1) M. Swink: *Techtextil North America Symposium*. Atlanta (2002).
- 2) U. Schwertmann: *Iron in Solid and Clay Minerals*. Dordrecht: NATO ASI series (1985).
- 3) Y. Yamanoi: *Ph.D Thesis*. Osaka University (2008).
- 4) M. Ikeya: *New Applications of Electron Spin Resonance - Dating, Dosimetry and Microscopy*. Singapore: World Scientific (1993).
- 5) 外内宏樹: 卒業論文. 大阪大学 (2009).

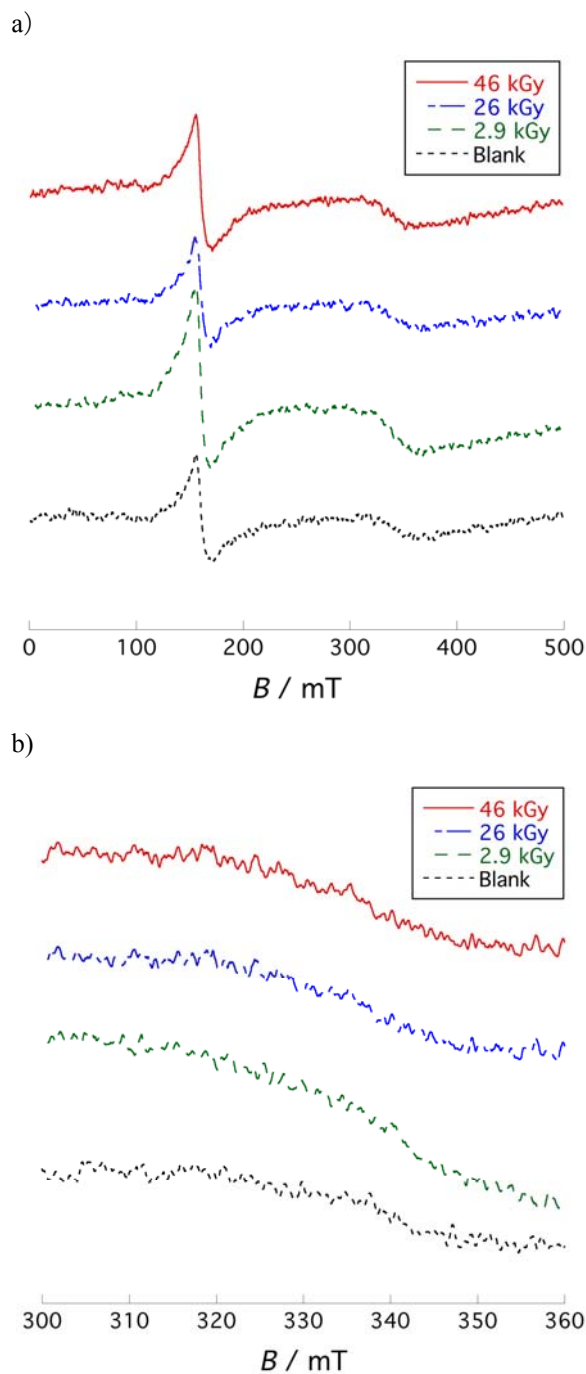


図2. バサルトファイバーのESRスペクトル。a)は磁場範囲が0-500 mTのスペクトル、b)は300-360 mTのスペクトル。各図の下から順に未照射、2.9 kGy照射、26 kGy照射、46 kGy照射の試料である。