

平成 30 年 6 月 28 日現在

機関番号：35302

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2015～2017

課題番号：15K00547

研究課題名(和文) 乳歯を用いた ESR 線量計測法の開発

研究課題名(英文) ESR dosimetry with deciduous teeth

研究代表者

豊田 新 (Toyoda, Shin)

岡山理科大学・理学部・教授

研究者番号：40207650

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,600,000円

研究成果の概要(和文)：人の歯のエナメルを用いて電子スピン共鳴(ESR)によって被曝線量を計測する方法において、乳歯を用いて100mGy以下の低い線量を求められるようにすることを目的とした。機械的手法と化学的手法を組み合わせることによって、測定に使用するエナメルを乳歯から適切に抽出できた。観測されたESR信号は永久歯と性質が多少異なるものの、永久歯とほぼ同様のプロトコルを用いて乳歯の線量計測を行うことができることがわかった。信号の感度の平均は永久歯とほぼ同様であるが、感度の個体差、したがってばらつきが永久歯よりも大きいことから、得られる線量の誤差は25%程度と大きくなる。

研究成果の概要(英文)：Tooth enamel dosimetry is an established method with permanent teeth. The method with deciduous teeth in the low dose range was established in the present study. Enamel was successfully extracted from deciduous teeth by combining the mechanical method with the chemical treatment. The observed ESR signal is somewhat different from that of permanent teeth, but radiation induced signal (RIS) was extracted from the spectra including the interfering signal, with the computer simulation program being used for permanent teeth. The averaged sensitivity of the RIS in deciduous teeth is similar as that of the permanent teeth while the variation is larger. In conclusion, the statistical error in estimating the dose is larger when using the same standard samples with the calibration method.

研究分野：放射線線量計測

キーワード：線量計測 乳歯 ESR 電子スピン共鳴 被曝 EPR

1. 研究開始当初の背景

人の歯のエナメル質を用いて電子スピン共鳴 (ESR) によって被曝線量を計測する方法は、放射線事故時に線量計素子を所持していなかった作業員や住民の被曝線量を個々に求めるために有用である。

ESR 被曝線量計測は、1970 年代に日本でその原理が発見された。歯のエナメル質のヒドロキシアパタイトに、放射線によって安定な CO_2 ラジカルが生成するため、これを電子スピン共鳴によって定量することによって、受けた放射線の線量を求めることができる。原爆被爆者の歯について実用的に初めて適用されたほか、チェルノブイリ原子力発電所事故、JCO 事故、旧ソ連の核実験などによる被曝について、個々の人の外部被曝線量がこの方法で求められてきた。

ESR 測定では、放射線の線量に反応する CO_2 ラジカルの信号とこれに重なって測定の妨害となる有機ラジカルの信号が観測される。有機ラジカルの信号の成分を数値的に取り除く計算プログラム開発されたことが、この手法に関して行われたさまざまな技術的改良の中で最も重要なものであった。これによって、検出できる線量が Gy オーダーから 100mGy 程度になった。このために、研究室間国際線量相互比較においても、確立した手法を用いた研究室においては整合的な結果が得られるようになった。

こうしたこれまでの歯を用いた ESR 線量計測の研究においては、人の歯の永久歯が対象とされ、乳歯はほとんど対象とされてこなかった。乳歯を用いた線量計測の可能性についての研究はわずかな例では、数 Gy という比較的大きな線量について信号の生成やその性質が調べられ、有機物の信号の形が若干異なるものの、永久歯とほぼ同様の信号が観測され、線量計測に用いられる CO_2 ラジカルの感度 (信号の線量に対する生成効率) は永久歯と同様である、と報告された。

こうした中、2011 年 3 月に福島第一原子力発電所事故によって、放射能による広域の環境汚染が発生した。これまで発表されている汚染や住民の避難の状況から考えて、直接的な健康被害が生じることは考えにくいものの、線量計素子を持たずに避難したり、汚染地域に滞在したりして被曝した可能性のある住民の中には、被曝線量の実測値がないために不安を感じているケースがある。申請者のもとには、歯を用いた ESR による線量計測の依頼が来ることがあるが、こうした場合に提供される歯の多くが乳歯である。現在の技術では正確な線量を測定する場合には抜歯してエナメルを抽出する必要があるため、永久歯の提供は、医療上の理由により抜歯した場合に限られるのに対し、乳歯は一定の時期

に必ず脱落するため、提供される機会がはるかに多い。こうした点を踏まえ、乳歯を用いた ESR 線量計測手法の開発が必要であると考えられる。

2. 研究の目的

永久歯を用いて手法が確立している ESR 線量計測の手法について、本研究では、乳歯を用いて 100mGy 以下の低い線量について、事故被曝の線量を求められるようにすることを目的とした。永久歯のエナメル質を用いた ESR 線量計測を行う方法は確立しているため、永久歯と乳歯との差異を様々な側面について検討し、適切な手法を確立することが必要である。このために、

(1) 試料の処理方法 (エナメル抽出方法) の検討

(2) 観測されるスペクトルを数値的に処理して、線量計測に使用できる信号の成分を抽出する手法の検討

(3) 適切な標準試料の選択、線量を求めるための検量線の作成 (標準試料の校正を含む)

(4) 線量測定下限、得られた線量の誤差の求め方等の統計学的検討

(5) 人為的に既知の線量を与えた試料について、線量計測のテスト

(6) 線量未知試料についてのパイロット線量計測

を行うこととした。

3. 研究の方法

(1) ドリルを用いる機械的方法、アルカリを用いる方法、またこれらを組み合わせる方法を試み、乳歯からエナメルを純度高く抽出する方法を開発する。

(2) 照射した乳歯のエナメル質の ESR 信号について、線量応答のある信号の成分を、数値処理計算プログラムを用いて抽出できることを確認する。

(3) 乳歯に照射によって生成する、信号の感度を永久歯の標準試料と比較する。

(4) 乳歯ごとにそのエナメルに生成する信号の生成効率の差異 (個体差) を検討する。

(5) 結果を総合して、乳歯を用いた ESR 線量計測の測定プロトコルを確立する。

4. 研究成果

(1) エナメル抽出方法

永久歯については、機械的に象牙質を取り除く方法が採用されているが、乳歯は小さいため、機械的には十分に取り除けない可能性が考えられた。そこで、ドリルを用いた後、1mm の篩に通るまで細かく砕き、20% 水酸化カリウムに浸し 60 分で超音波洗浄機に 2 時間かけ、脱イオン水で洗浄し乾燥させた。ESR 測定を行ったところ、機械的な処理だけを行

った試料よりも妨害となる有機物に起因すると考えられる信号が小さくなることがわかった。乳歯については化学的な処理を併用することが適切であることがわかった。

(2) 観測された ESR 信号

乳歯のエナメルの試料をガンマ線によって照射し、永久歯のエナメル試料と信号を比較した。信号を図1及び図2に示す。

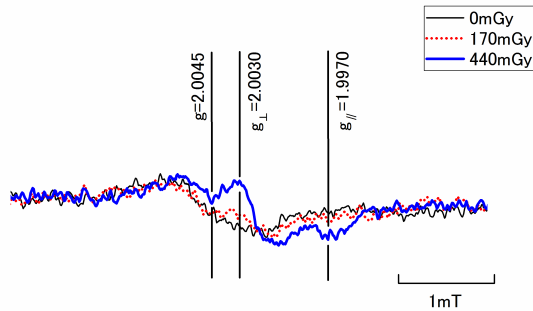


図1 乳歯の ESR スペクトル

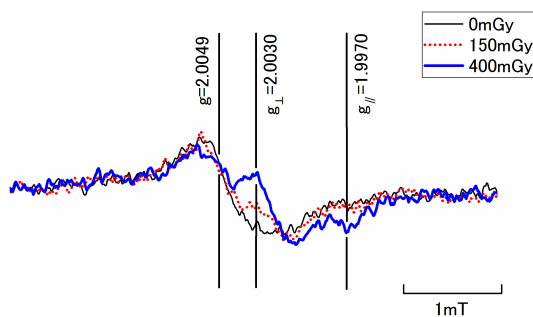


図2 永久歯の ESR スペクトル

ESR スペクトルを人の永久歯と比較した。照射により、線量応答のある CO_2^- の信号 (RIS) が増大し、信号の形も永久歯とほぼ同等であることがわかった。有機物と考えられる信号 (BGS) の線幅、また g 値をパラメータとして処理することにより、永久歯と同様に信号分離プログラムを使用できることがわかった。

(3) 信号の形、感度の比較

信号分離プログラムを用いて解析した結

果を表1に示した。BGS の position の値は $g=2.0030$ と比較した BGS と RIS (g) の差である。乳歯の BGS はわずかに高い磁場の位置にあり、この差は統計的に有意である。本研究における較正では、RIS については $g = 2.0030$ であり、乳歯の BGS の g 値の平均値は 2.0045 ± 0.0001 であり永久歯の BGS の g 値の平均値は 2.0049 ± 0.0001 である。乳歯の BGS の g 値が永久歯の g 値に比べ小さい傾向にあるのは、おそらく g 値の較正における差異に起因して幾分大きな絶対値を有するという先行研究の結果と一致する。

ガンマ線照射による吸収線量を横軸に、信号強度を縦軸にしてグラフを作成すると、ガンマ線を照射するごとに信号強度が増加した(図3)。したがって乳歯も永久歯と同様に ESR 線量計測が可能であることがわかった。

線量応答のグラフの傾きは単位線量あたりに生成する CO_2^- ラジカルの信号強度で感度にあたる。ガンマ線の線量に対する感度について、人の永久歯の感度の平均値を1としてプロットした(図4)。人の永久歯と乳歯のガンマ線の線量に対する感度を比較すると、乳歯の方が18%低く、個々の試料の感度の標準偏差は永久歯が15%で、乳歯は25%であった。統計の範囲内で永久歯と乳歯の感度は同等であった。本研究で得られた永久歯の感度の標準偏差は15%であり、数 Gy という大きい線量応答を調べた先行研究で求められた10%に近い。

(4) 乳歯を用いた ESR 線量計測

本研究では、乳歯から抽出したエナメルを用いて1Gy以下の線量応答を調べた。観測された ESR 信号は永久歯と性質が多少異なるものの、永久歯とほぼ同様のプロトコルを用いて線量計測を行うことができることがわかった。

信号の感度の平均は永久歯とほぼ同様であるため、キャリブレーション法を用いる場合には、永久歯の線量計測で用いているのと同じ標準試料を用いることができる。しかし、

表1 乳歯と永久歯の ESR 信号の性質の比較

Sample	Position		RIS sensitivity	BGS intensity	BGS line Width (mT)		BGS line Position (mT)	
Deciduous teeth								
ED1	E	Child	1.01	0.61	0.25		-0.25	
ED2	E	A	0.88	0.96	2.42		-0.27	
No.18	D	Child	0.49	0.95	2.42		-0.28	
No.19	C	B	1.01	1.14	1.08±0.33 (average)	1.61±0.99 (average)	-0.25	-0.26±0.02 (average)
No.21	E	Child C	0.87	1.22	0.94		-0.29	
No.22	E		0.65	1.59	1.06		-0.24	
Permanent teeth								
No.3	Molar	Adult A	0.80	0.74	1.01		-0.32	
No.5	Molar	Adult B	0.98	0.96	1.65		-0.31	
P3	Molar	Adult C	0.99	1.09	1.00±0.20 (average)	1.21±0.27 (average)	-0.31	-0.31±0.01 (average)
P4	Molar	Adult D	1.21	0.94	1.02		-0.31	
P5	Molar	Adult E	1.03	1.27	1.11		-0.31	

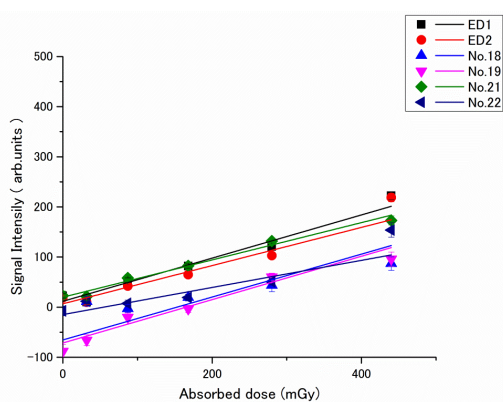


図3 乳歯のRISの線量応答

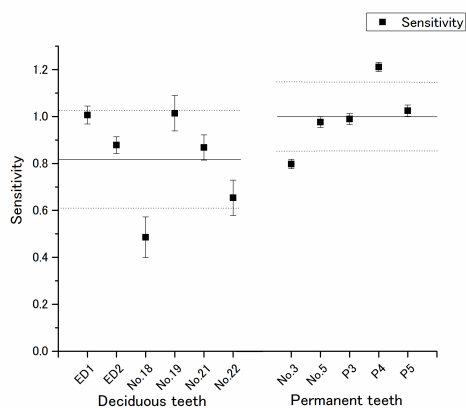


図4 乳歯と永久歯の線量応答の感度の比較

感度の個体差、したがってばらつきが永久歯よりも大きいことから、得られる線量の誤差は25%程度と大きくなることがわかった。正確な線量を求めるためには、個々に感度を補正できる付加線量法が望ましいかもしれない。しかし、抽出できるエナメル量が少いため、照射と測定を繰り返す必要があり、線量を求めるために数か月以上の時間が必要となってしまう。また、もとの試料が保存されないというデメリットもあることになる。

(5) 実際の乳歯を用いた線量計測

福島第一原子力発電所事故に伴って福島から米沢に避難した方より乳歯を提供いただき、測定を試みた。8試料を測定したところ、ほとんどが100mGy以下の有意とは言えない線量を得た。しかし、2試料について200mGyというくらい高い線量を得られたが、これが統計的に有意に高いかどうかについては今後詳細な検討が必要であると考えられる。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕(計3件)

1. M. Murahashi, S. Toyoda, M. Hoshi, M. Ohtaki, S. Endo, K. Tanaka, Y. Yamada (2017) The sensitivity variation of the radiation induced signal in deciduous teeth to be used in ESR tooth enamel dosimetry, Rad. Meas., 106,

450-454, doi: 10.1016/j.radmeas.2017.06.001.

2. V. Stepanenko, T. Rakhypbekov, K. Otani, S. Endo, K. Satoh, N. Kawano, K. Shichijo, M. Nakashima, T. Takatsuji, A. Sakaguchi, H. Kato, Y. Onda, N. Fujimoto, S. Toyoda, H. Sato, A. Dyussupov, N. Chaizhunosova, N. Sayakenov, D. Uzbekov, A. Saimova, D. Shabdarbaeva, M. Skakov, A. Vurim, V. Gnyrya, A. Azimkhanov, A. Kolbayenkov, K. Zhumadilov, Y. Kairikhanova, A. Kaprin, V. Galkin, S. Ivanov, T. Kolyzhenkov, A. Petukhov, E. Yaskova, I. Belukha, A. Khailov, V. Skvortsov, A. Ivannikov, U. Akhmedova, V. Bogacheva, M. Hoshi (2017) Internal exposure to neutron-activated ⁵⁶Mn dioxide powder in Wistar rats: part 1: dosimetry, Radiation and Environmental Biophysics, 56 (1) 47-54, doi: 10.1007/s00411-016-0678-x.
3. K. Zhumadilov, A. Ivannikov, V. Stepanenko, S. Toyoda, V. Skvortsov, M. Hoshi (2016) EPR dosimetry study for population residing in the vicinity of fallout trace for nuclear test on 7 August 1962, Radiation protection dosimetry, 172 (1-3), 260-264, doi:10.1093/rpd/ncw178.

〔学会発表〕(計30件)

1. 村橋美香, 豊田新, 星正治, 大瀧慈, A. Ivannikov, 夏堀雅宏, 山田雄大, 種々の哺乳動物の歯のエナメルにみられるESR信号の比較, 第34回ESR応用計測研究会・2017年度ルミネッセンス年代測定研究会・第42回フィッシュン・トラック研究会 合同研究発表会, 2018年2月10-12日, 国立極地研究所, 立川, 東京.
2. 豊田新, 村橋美香, A. Ivannikov, 歯のエナメルを用いたESR線量計測の標準試料, 第34回ESR応用計測研究会・2017年度ルミネッセンス年代測定研究会・第42回フィッシュン・トラック研究会 合同研究発表会, 2018年2月10-12日, 国立極地研究所, 立川, 東京.
3. S. Toyoda, A. Ivannikov, M. Murahashi, A new standard for EPR (ESR) retrospective radiation dosimetry with tooth enamel: standardization of the method, 2018 Health Physics Society Midyear Meeting & Exhibition, Feb. 4-7, 2018, Denver Marriott City Center, Colorado, U.S.A.
4. A. Harshman, S. Toyoda, T. Johnson, Suitability of tooth enamel from Japanese wild boar for use as a dosimeter with electron spin resonance dosimetry, 2018 Health Physics Society Midyear Meeting & Exhibition, Feb. 4-7, 2018, Denver Marriott City Center, Colorado, U.S.A.
5. M. Murahashi, S. Toyoda, M. Hoshi, M. Ohtaki, N. Fujimoto, C. Miyazawa, Y. Yamada, M. Natsuhori, ESR (EPR) dosimetry with human deciduous, rat, and cattle teeth, 2018 Health Physics Society Midyear Meeting &

- Exhibition, Feb. 4-7, 2018, Denver Marriott City Center, Colorado, U.S.A.
6. M. Murahashi, S. Toyoda, M. Ohtaki, N. Fujimoto, K. Zhumadilov, M. Hoshi, ESR dosimetry with rat teeth : dose response and applications, 21th Hiroshima International Symposium : Studies on health effects of exposure to radioactive micro-particles, Jan. 23, 2018, Kojon Conference Hall on Kasumi Campus, Hiroshima University, Hiroshima.
 7. 村橋美香, 豊田新, 夏堀雅宏, 三ノ上優里, ESR による牛の被曝線量計測, 日本放射線影響学会第 60 回大会, 2017 年 10 月 25-28 日, 京葉銀行文化プラザ, 千葉.
 8. 豊田新, 歯のエナメルを用いた X バンド ESR 線量計測の現状と課題, 日本放射線影響学会第 60 回大会, 2017 年 10 月 25-28 日, 京葉銀行文化プラザ, 千葉.
 9. M. Murahashi, S. Toyoda, M. Hoshi, M. Ohtaki, N. Fujimoto, S. Endo, K. Tanaka, External doses given to the rats in the ^{56}Mn inhalation experiments, measured by rat tooth ESR dosimetry, 4th Asian Congress of Radiation Research (ACRR2017), Aug. 16-18, 2017, Astana, Kazakhstan.
 10. M. Hoshi, V. Stepanenko, T. Rakhypbekov, N. Chaizhunosova, M. Ohtaki, K. Otani, N. Fujimoto, K. Shichijo, D. Shabdarbaeva, K. Zhumadilov, N. Aukenov, N. Sayakenov, D. Uzbekov, A. Saimova, Y. Kairkhanova, S. Mazhin, A. Vurim, V. Gnyrya, A. Azimkhanov, A. Kolbayenkov, B. Toikin, K. Kanapyianov, K. Satoh, N. Kawano, S. Endo, M. Nakashima, T. Takatsuji, N. Takeuchi, Y. Noso, K. Inoue, A. Sakaguchi, H. Kato, Y. Onda, S. Toyoda, H. Sato, A. Kaprin, V. Galkin, S. Ivanov, T. Kolyzhenkov, E. Yaskova, I. Belukha, A. Khailov, A. Petukhov, U. Akhmedova, V. Bogacheva, Internal exposure experiments ^{56}Mn using rats Simulating Radioactive soil dust exposure in Hiroshima and Nagasaki, 4th Asian Congress of Radiation Research (ACRR2017), Aug. 16-18, 2017, Astana, Kazakhstan.
 11. K. Zhumadilov, A. Ivannikov, A. Khailov, S. Orlenko, V. Skvortsov, V. Stepanenko, K. Kuterbekov, S. Toyoda, P. Kazymbet, M. Hoshi, Estimation of external and internal irradiation on staff of uranium processing plant by tooth enamel EPR spectroscopy, 4th Asian Congress of Radiation Research (ACRR2017), Aug. 16-18, 2017, Astana, Kazakhstan.
 12. V. Stepanenko, M. Hoshi, N. Fujimoto, N. Kawano, S. Endo, K. Shichijo, M. Nakashima, A. Sakaguchi, S. Toyoda, H. Sato, T. Rakhypbekov, N. Chaizhunosova, D. Shabdarbaeva, N. Aukenov, N. Sayakenov, D. Uzbekov, A. Saimova, Y. Kairkhanova, A. Kaprin, S. Ivanov, T. Kolyzhenkov, A. Petukhov, K. Zhumadilov, A. Azimkhanov, A. Kolbayenkov, U. Akhmedova, V. Bogacheva, Dosimetry study of internal exposure to neutron-activated ^{56}Mn dioxide powder in wistar rats: results of international cooperative research, 4th Asian Congress of Radiation Research (ACRR2017), Aug. 16-18, 2017, Astana, Kazakhstan.
 13. K. Zhumadilov, A. Ivannikov, S. Toyoda, S. Aya, V. Stepanenko, M. Hoshi, Tooth enamel EPR dosimetry study of Hiroshima atomic bomb victims, 4th Asian Congress of Radiation Research (ACRR2017), Aug. 16-18, 2017, Astana, Kazakhstan.
 14. M. Murahashi, S. Toyoda, M. Natsuhori, ESR tooth enamel dosimetry with cattle teeth, 4th Asian Congress of Radiation Research (ACRR2017), Aug. 16-18, 2017, Astana, Kazakhstan.
 15. 村橋美香, 豊田新, 夏堀雅宏, 牛歯の ESR 信号による個体の被曝線量計測, 第 4 回福島第一原発事故による周辺生物への影響に関する勉強会, 2017 年 8 月 2-3 日, 成田富里徳洲会病院, 千葉.
 16. 村橋美香, 豊田新, 星正治, 大瀧慈, 遠藤暁, 田中憲一, 宮澤忠蔵, 山田雄大, 夏堀雅宏, 歯のエナメルを用いた ESR 線量計測, 第 54 回アイソトープ・放射線研究発表会, 2017 年 7 月 5-7 日, 東京大学弥生講堂, 東京.
 17. 豊田新, 村橋美香, 小山ひより, 田中憲一, 佐藤斉, 遠藤暁, 梶本剛, 星正治, 歯を用いた ESR 線量計測における低エネルギー散乱ガンマ線の影響, 第 33 回 ESR 応用計測研究会・2016 年度ルミネッセンス年代測定研究会・第 41 回フィッション・トラック研究会 合同研究発表会, 2017 年 3 月 1-3 日, 奈良 明日香村.
 18. 村橋美香, 豊田新, 星正治, 大瀧慈, 藤本成明, 遠藤暁, 田中憲一, 動物の歯を用いた ESR 線量計測, 第 33 回 ESR 応用計測研究会・2016 年度ルミネッセンス年代測定研究会・第 41 回フィッション・トラック研究会 合同研究発表会, 2017 年 3 月 1-3 日, 奈良 明日香村.
 19. 豊田新, 歯のエナメルを用いた ESR 生体線量計測, 先端放射線化学シンポジウム (SARAC) 2017, 2017 年 2 月 28 日, 大阪大学産業科学研究所, 大阪.
 20. 村橋美香, 豊田新, ラットの歯を用いた ESR 線量計測, ^{56}Mn 内部被ばく実験とその結果 - 微粒子効果の可能性について -, Workshop in Statistical Science Research Core, 2016 年 12 月 9 日, 南区民文化センター, 広島.
 21. 村橋美香, 豊田新, 星正治, 大瀧慈, 遠藤暁, 田中憲一, 宮澤忠蔵, 山田雄大, 乳歯を用いた ESR 線量計測の基礎研究と応用, 2016 年秋期米沢市歯科医師研究会, 2016 年 11 月 12 日, 米沢小野川温泉 壽宝園, 山形.
 22. 村橋美香, 豊田新, 小山ひより, 星正治, 大瀧慈, 遠藤暁, 田中憲一, 宮澤忠蔵, 山田

- 雄大, 乳歯を用いた ESR 線量計測, 日本放射線影響学会 第 59 回大会, 2016 年 10 月 26 - 28 日, JMS アステールプラザ, 広島.
23. M. Murahashi, S. Toyoda, M. Hoshi, M. Ohtaki, S. Endo, K. Tanaka, Use of deciduous teeth for ESR tooth enamel dosimetry, 18th International Conference on Solid State Dosimetry, July 3-8, 2016, Munich, Germany.
24. K. Zhumadilov, A. Ivannikov, S. Toyoda, V. Stepanenko, V. Skvortsov, M. Hoshi, Tooth enamel EPR dosimetry study for residents of East Kazakhstan, 18th International Conference on Solid State Dosimetry, July 3-8, 2016, Munich, Germany.
25. S. Toyoda, M. Murahashi, M. Hoshi, M. Ohtaki, Advantages in using deciduous teeth for ESR tooth enamel dosimetry, 20th Hiroshima International Symposium, Challenges to Estimation of Health Risks Due to Exposure to Radioactive Fallout, Jan. 10-11, 2016, Miyajima Coral Hotel, Hiroshima.
26. M. Hoshi, V. Stepanenko, T. Rakhypbekov, M. Ohtaki, K. Otani, K. Satoh, N. Kawano, K. Shichijo, M. Nakashima, T. Takatsuji, A. Sakaguchi, H. Kato, Y. Onda, N. Fujimoto, S. Toyoda, H. Sato, A. Dyussupov, N. Chaizhunusova, N. Sayakenov, D. Uzbekov, A. Saimova, D. Shabdarbaeva, A. Azimkhanov, A. Kolbayenkov, Y. Kairkhanova, A. Kaprin, S. Ivanov, T. Kolyzhenkov, K. Zhumadilov, A. Petukhov, Internal exposure and beta rays: subjects to be considered more related to radiation exposures, 20th Hiroshima International Symposium, Challenges to Estimation of Health Risks Due to Exposure to Radioactive Fallout, Jan. 10-11, 2016, Miyajima Coral Hotel, Hiroshima.
27. V. Stepanenko, A. Petukhova, M. Hoshi, S. Endo, M. Ohtaki, N. Kawano, Y. Takihara, K. Satoh, K. Tanaka, T. Kajimoto, T. Takatsuji, H. Sato, S. Toyoda, A. Kaprin, S. Ivanov, T. Kolyzhenkov, A. Khailov, U. Khasaeva, V. Bogacheva, Estimation of beta- and gamma-dose in quartz containing samples from Hiroshima and Nagasaki cities and Fukushima Prefecture using single grain OSL technique: preliminary results, 20th Hiroshima International Symposium, Challenges to Estimation of Health Risks Due to Exposure to Radioactive Fallout, Jan. 10-11, 2016, Miyajima Coral Hotel, Hiroshima.
28. V. Stepanenko, T. Rakhypbekov, M. Ohtaki, K. Otani, K. Satoh, N. Kawano, K. Shichijo, M. Nakashima, T. Takatsuji, A. Sakaguchi, H. Kato, Y. Onda, N. Fujimoto, S. Toyoda, H. Sato, A. Dyussupov, N. Chaizhunusova, N. Sayakenov, D. Uzbekov, A. Saimova, Modeling of beta-irradiation following Hiroshima A-bombing: results of internal dose estimations in experimental animals exposed to neutron activated ⁵⁶Mn powder, 20th Hiroshima International Symposium, Challenges to Estimation of Health Risks Due to Exposure to Radioactive Fallout, Jan. 10 -11, 2016, Miyajima Coral Hotel, Hiroshima.
29. S. Toyoda, M. Murahashi, M. Hoshi, M. Ohtaki, ESR tooth enamel dosimetry, deciduous teeth, retrospective dosimetry, EPR Biodose 2015, Oct. 4-8, 2015, Hanover, Newpshire, USA
30. K. Zhumadilov, A. Ivannikov, S. Toyoda, V. Stepanenko, M. Hoshi, ESR dosimetry study for population residing in the vicinity of fallout path of nuclear test in August 7, 1962, EPR Biodose 2015, Oct. 4-8, 2015, Hanover, Newpshire, USA.
- 〔図書〕(計 1 件)
1. S. Toyoda (in press) Recent issues in X band ESR tooth enamel dosimetry, in, A. K. Shkula ed., ESR spectroscopy in medicine, Springer.
- 6 . 研究組織
- (1)研究代表者
豊田 新 (TOYODA, Shin)
岡山理科大学・理学部・教授
研究者番号 : 40207650
- (2)研究分担者
星 正治 (HOSHI, Masaharu)
広島大学・平和科学研究センター・名誉教授
研究者番号 : 50099090
- 大瀧 慈 (Ohtaki, Megu)
広島大学・原爆放射線医科学研究所・名誉教授
研究者番号 : 20110463