

令和 6 年 6 月 10 日現在

機関番号：16201  
研究種目：基盤研究(C)（一般）  
研究期間：2018～2023  
課題番号：18K09724  
研究課題名（和文）歯エナメル質生体EPR被曝線量測定装置の開発

研究課題名（英文）Development of EPR in vivo tooth Dosimeter

## 研究代表者

三宅 実 (Miyake, Minoru)

香川大学・医学部・教授

研究者番号：20239370

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 3,400,000円

研究成果の概要（和文）：電子常磁性体共鳴分光計を用いた生体内の歯の計測は、放射線曝を把握できる。同装置の安定性、精度向上を図り高線量被曝者抽出としての使用を前提とした実用性の向上を目的とした。歯科診断用X線によって生成されたラジカルのEPR計測に及ぼす影響を評価した。一定の照射回数でL-bandEPR線量測定装置においてもEPR信号が検出されることが明らかとなった。また前歯では紫外線を含む太陽光に曝露されるためEPR計測に影響を与える可能性がある。紫外線の曝露が、ラジカル計測値に有意差を与える信号強度でないことを確認した。またエネルギーの異なる線源（ $\gamma$ 線、X線）では歯のラジカル生成効率に影響を与えることを確認した。

## 研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究で、歯エナメル質からの被ばく線量計測に関して、検出感度や精度を上げるための基礎データが得られた。本研究で改良を加えたポータブルEPR口腔内測定装置は、数分の計測時間で、被曝線量の推計が可能となる画期的な技術であり、学術的意義が高い。大規模被ばく事故において放射線被曝事故対策、被曝評価法の確立、危機管理としてこの研究は創造性が高く社会的に極めて重要である。

研究成果の概要（英文）：Measurement of teeth in vivo using an electron paramagnetic resonance spectrometer can determine radiation exposure. The purpose of this study was to improve the stability and accuracy of this device and to improve its practicality for use as an extraction of high-dose exposed patients. The effect of radicals generated by dental diagnostic X-rays on EPR measurement was evaluated. It was found that EPR signals were detected by the L-band EPR dosimetry system after a certain number of irradiations. In addition, the anterior teeth are exposed to sunlight, including ultraviolet light, which may affect EPR measurements. We confirmed that exposure to ultraviolet rays did not significantly affect the signal intensity of the radical measurements. We also confirmed that different energy sources ( $\gamma$ -rays and X-rays) affect the efficiency of radical production in teeth.

研究分野：口腔外科学

キーワード：電子常磁性体共鳴 生体計測装置 歯エナメル質 放射線被曝評価

## 様式 C - 19、F - 19 - 1 (共通)

### 1. 研究開始当初の背景

電離性放射線曝露により、歯エナメル質のハイドロキシアパタイト結晶格子内部に、経時的に極めて安定なフリーラジカル( $\text{CO}_3^{3-}$ )が形成される。形成されるラジカル量は被ばく線量に比例することよりそのラジカルを EPR (Electron Paramagnetic Resonance 電子常磁性体共鳴)分光計で計測することで、被ばく線量を推計することができる。この原理を応用し、生体から直接歯のラジカルを測定できる装置(L-band *in vivo* EPR tooth Dosimeter)を開発した(図1)。実際に日本人からの計測を通して、有事の際の高線量被ばく者抽出(トリアージ)としての使用を前提とした実用性の向上を目的とした。



図1 ポータブル L-band EPR 生体線量測定装置

### 2. 研究の目的

EPR 生体線量測定装置(図1)を小型化し、様々な場所での計測を実施することが可能となった。本研究は、いくつかの問題点を改善することで同装置の安定性、信頼性の向上を図ることを目的とした。今回の研究では、歯科診断用X線の歯エナメル質におけるラジカル生成によるバックグラウンド信号の影響<sup>1)</sup>を評価・検討を実施した。また切歯の外表面は紫外線/太陽光に曝される可能性があり、切歯からの EPR 線量測定に対する紫外線の潜在的な定量的影響を明らかにした。

### 3. 研究の方法

抜去歯に、一定線量の歯科用 X 線照射装置および Cs137Co60 $\gamma$  線 Gammacell 40 Exactor Best Theratronics (137Cs 148TBq)で照射し、標本作製した。EPR は続波モードで、20kHz で 0.4mT 変調をかけた 1.15GHz 付近の励起周波数でラジカル信号強度計測を行った(図2,3)。

ヒトの歯の電離放射線照射による EPR 信号に対する紫外線の定量的影響を調べた。UV 照射にはキセノンランプ(100W)を使用した(朝日分光株式会社 LAX-C100)。太陽標準として日本の緯度付近を選択した。UV-A、UV-B 照射にはミラーモジュールとバンドパスフィルター(LX0320)を使用して、315-400 nm(A)および 280~315 nm(B)の波長を選択的に取り出した。ロッドレンズを使用し UV-A の放射照度は 1 時間あたり約 8,200mJ/cm<sup>2</sup>、UV-B の放射照度は 1 時間あたり約 4,200mJ/cm<sup>2</sup> とした。

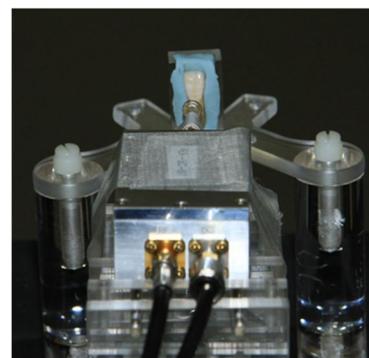


図2 人での口からの測定と同じ磁場に抜去歯を固定して計測。

### 4. 研究成果

生体内 EPR 歯エナメル線量測定において、Cs-137 からのガンマ線の検出限界は 2Gy であった。歯科診断用 X 線の検出限界は 0.5Gy であったが、これは 60kvX 線によるラジカルの感度が Cs-137 からのガンマ線の約 4 倍高いためである。歯科用口腔内 X 線写真 1 枚あたりの自由空気カーマの中央値は 3.6mGy と推定され、140 枚で 0.5Gy に達する。FOV が 40cm<sup>2</sup>

から 100cm<sup>2</sup> の歯科用コーンビーム CT では、1 回の検査におけるビーム中心の空気カーマは 29mGy であり、17 回の検査で検出限界レベルに達する。EPR 信号は歯科診断用 X 線によって生成されることが明らかとなった(図 4)。

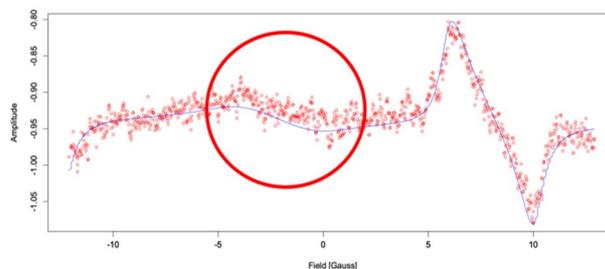


図 3 EPR 計測信号(赤丸)と PDT 標準信号。信号強度は標準信号との比率で示される。

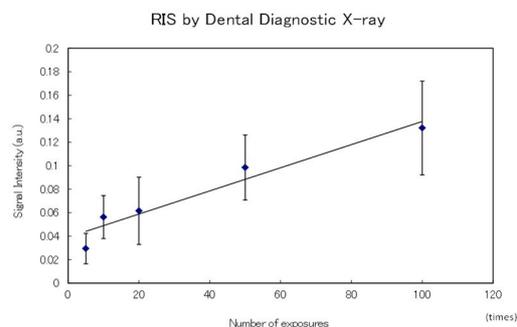


図 4 歯科診断用 X 線装置 ASAHI G6105® 60kV 10mA、X 線管 D-081、濾過フィルター 2.2mmAL による EPR 信号

紫外線によって生成された EPR 信号は、トリアージに使用される電離放射線の線量から得られる信号に比べて非常に小さかった。UV の影響に関する今回の推定値を用いると、これらの歯が生涯 50 年間曝露した場合(1 日平均 2 時間の太陽光への曝露を仮定) UV 誘発信号の期待される生涯平均影響は 0.33Gy に相当する。一般に、電離放射線への偶発的な被ばくに対するトリアージ基準は一般に 2.0Gy から始まる。従って、太陽光曝露によって生じる上顎切歯エナメル質でのラジカルは、急性高線量被ばく者の抽出には影響しないと結論した<sup>2)</sup>。

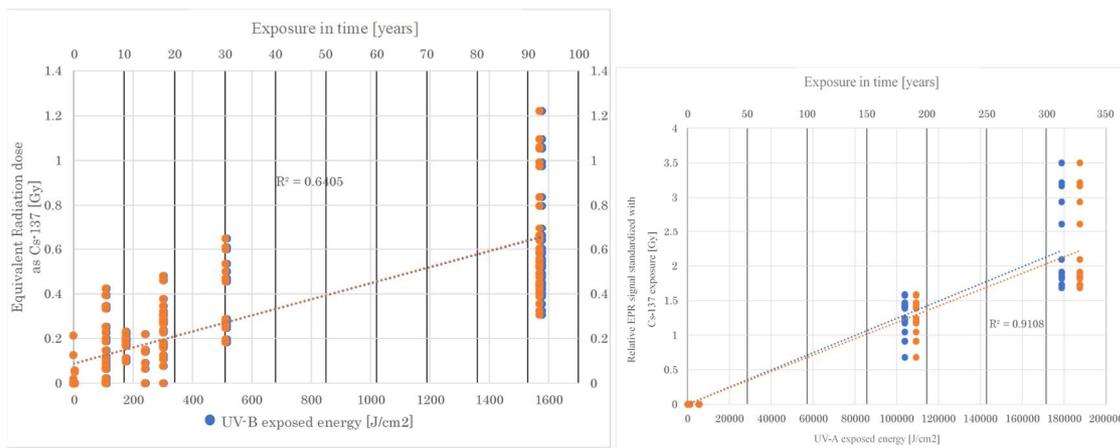


図 5 標準信号較正後の EPR 信号と単位面積あたりの UV-B および A の照射エネルギーおよび照射時間との関係。平均 2 時間/日の曝露を想定したもので、対応する曝露エネルギーに達するまでの年数を示す。

## 引用文献

- 1 ) In vivo radiation dosimetry using portable L-band EPR : On-site measurement of volunteers in Fukushima Prefecture, Japan. Radiation Protection Dosimetry, DOI: 10.1093/rpd/ncw214, 2016, Miyake M., Nakai Y., Yamaguchi I., Hirata H., Kunugita N., Williams BB., Harold MS.
- 2 ) Effects of ultraviolet rays on L-band in vivo EPR dosimetry using tooth enamel. Applied Magnetic Resonance, 2021, <https://doi.org/10.1007/s00723-021-01340-3>, Nakai Y., Yamaguchi I., Miyake M.et.al

## 5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計10件（うち査読付論文 8件 / うち国際共著 5件 / うちオープンアクセス 1件）

1. 著者名 Yamaguchi Ichiro, Ozawa Shuichi	4. 巻 61
2. 論文標題 Irradiator issues: source, dose, and waste management	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Transfusion and Apheresis Science	6. 最初と最後の頁 103407 ~ 103407
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.transci.2022.103407	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -
1. 著者名 Yamaguchi, I;Nakai, Y;Miyake, M;Hirota,S;Gonzales, C.A.B;Yasuda, H.	4. 巻 39
2. 論文標題 Signal detected by in vivo EPR tooth dosimetry in a nurse with many years of experience in endoscopic retrograde cholangiopancreatography.	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Advances in ESR Applications	6. 最初と最後の頁 55 - 56
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -
1. 著者名 Toyoda, S;Inoue, K;Yamaguchi, I;Hoshi, M;Hirota, S;Oka, T;Shimazaki, T;Mizuno, H;Tani, A;Yasuda, H;Gonzales, C.A;Okutsu, K;Takahashi, A;Tanaka, N;Todaka, A.	4. 巻 39
2. 論文標題 Interlaboratory comparison of EPR tooth enamel dosimetry with investigations of the dose responses of the standard samples.	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Advances in ESR Applications	6. 最初と最後の頁 78 - 79
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -
1. 著者名 Nakai Y., Yamaguchi I., Hirata H., Swartz H. M., Flood A.B., Williams B.B.,Schreiber W., Miyake M.	4. 巻 53
2. 論文標題 Effects of ultraviolet rays on L-band in vivo EPR dosimetry using tooth enamel	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Applied Magnetic Resonance	6. 最初と最後の頁 305 - 318
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1007/s00723-021-01340-3	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 該当する

1. 著者名 Hirota S, Gonzales CAB, Yasuda H, Yamaguchi I, Toyoda S.	4. 巻 328
2. 論文標題 Electron spin resonance signal of human nails: increase after irradiation	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry	6. 最初と最後の頁 1369 - 1373
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1007/s10967-020-07540-8	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 該当する

1. 著者名 Akiyoshi M, Do D.K, Yamaguchi I, Kakefu T, Miyakawa T	4. 巻 46
2. 論文標題 Radiation Safety Exploration Using Radio-photoluminescence Dosimeter for Crookes Tubes in Junior and Senior High School in Japan	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Journal of Radiation Protection and Research	6. 最初と最後の頁 106-111
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 該当する

1. 著者名 Yamaguchi Ichiro, Inoue Kazuhiko, Natsuhori Masahiro, Gonzales Chryzel Angelica B., Yasuda Hiroshi, Nakai Yasuhiro, Miyake Minoru, Swartz Harold M.	4. 巻 11
2. 論文標題 L-Band Electron Paramagnetic Resonance Tooth Dosimetry Applied to Affected Cattle Teeth in Fukushima	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Applied Sciences	6. 最初と最後の頁 1187 ~ 1187
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3390/app11031187	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 該当する

1. 著者名 Hirota Seiko, Gonzales Chryzel A. B., Yasuda Hiroshi, Yamaguchi Ichiro, Toyoda Shin	4. 巻 10.1007
2. 論文標題 Electron spin resonance signal of human nails: increase after irradiation	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry	6. 最初と最後の頁 1007
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1007/s10967-020-07540-8	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 該当する

1. 著者名 山口一郎, 佐藤 斉, 川村 拓, 濱野毅, 須田充, 吉井裕, 三宅実	4. 巻 1
2. 論文標題 中性子照射した歯牙のインビボEPR信号の測定	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 平成30年度共用施設 (PASTA & SPICE, NASBEE, X/ 線照射装置) 成果報告集	6. 最初と最後の頁 47 - 48
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 山口一郎, 佐藤 斉, 川村 拓, 濱野毅, 須田充, 吉井裕, 三宅実	4. 巻 11
2. 論文標題 中性子照射した歯牙のインビボEPR信号の測定	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 平成29年度共用施設 (PASTA & SPICE, NASBEE, X/ 線照射) 成果報告集	6. 最初と最後の頁 51-53
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

〔学会発表〕 計15件 (うち招待講演 0件 / うち国際学会 3件)

1. 発表者名 Minoru Miyake, Yasuhiro Nakai, Ichiro Yamaguchi
2. 発表標題 Application of EPR dosimetry to radiation exposure during dental practice.
3. 学会等名 EPR 2023 International Conference on EPR spectroscopy and Imaging of Biological Systems. (国際学会)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 Yamaguchi I, Miyake M, Nakai Y.
2. 発表標題 Can non-destructive electron paramagnetic resonance tooth dosimetry be used for posterior assessment of radiation exposure in medicine and dentistry?
3. 学会等名 Radiation Protection and Environment (国際学会)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 山口一郎
2. 発表標題 エックス線被ばく事故検討WGの活動
3. 学会等名 第4回日本保健物理学会・日本放射線安全管理学会合同大会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 山口一郎
2. 発表標題 バックグラウンドとなる自然放射線量の測定において人体が及ぼす影響.
3. 学会等名 第460回生存圏研究所シンポジウム
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 山口一郎.
2. 発表標題 バックグラウンドとなる自然放射線量の測定において人体が及ぼす影響. 福島県への支援取り組み及び放射線マッピング研究会
3. 学会等名 第9回「原発事故被災地域における放射線量マッピングシステムの技術開発・運用とデータ解析に関する研究会」 および第460回生存圏研究所シンポジウム
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 角山 雄一, 佐瀬卓也, 山口一郎, 保田浩志
2. 発表標題 海外の放射線施設の放射線事故に係る最新知見の収集
3. 学会等名 日本放射線安全管理学会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 H. Hirata, Yamaguchi I, M. Miyake.
2. 発表標題 Overview of electron paramagnetic resonance-based human tooth dosimetry.
3. 学会等名 4th Conference on Nuclear Analytical Techniques (NAT2020) Jointed with 6th Symposium on Radiation in Medicine, Space, and Power (RMSP-VI) (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 戸高安曇、豊田新、館萌々子、島崎達也、岡壽崇、山口一郎、井上一彦、保田浩志、廣田誠子、谷篤史、三宅実、水野秀之、星正治
2. 発表標題 人の歯のエナメル質の標準試料作成に向けて - 試料処理方法による信号生成効率の比較 .
3. 学会等名 ESR応用計測研究会、ルミネッセンス年代測定研究会、フィッション・トラック研究会 2020年度 合同研究会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 山口一郎、中井康博、三宅実、廣田誠子、クリーゼル ゴンザレス、保田浩志、井上一彦
2. 発表標題 人の臼歯を対象にしたLband電子スピン共鳴法を用いた線量測定法における歯の幾何学的な条件が及ぼす影響
3. 学会等名 ESR応用計測研究会、ルミネッセンス年代測定研究会、フィッション・トラック研究会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 山口 一郎, 南 佑子, 塚本 豊浩, 中井 康博, 三宅 実, ゴンザレス・クリーゼル , 廣田 誠子, 保田浩志
2. 発表標題 スペシャルニーズ歯科での放射線管理
3. 学会等名 日本保健物理学会第53回研究発表会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Inoue K, Yamaguchi I, Natsuhori M, Imai S, Hanada N.
2. 発表標題 Preliminary study on electron spin resonance (ESR) dosimetry using the teeth of cattle affected by the Fukushima Daiichi Nuclear Power Plant (FDNPP) accident.
3. 学会等名 第68回日本口腔衛生学会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Yamaguchi I, Inoue K, Natsuhori M.
2. 発表標題 L Band Electron Paramagnetic Resonance Tooth Dosimetry using affected Cattles' Teeth in Fukushima
3. 学会等名 The 19th International Conference on Solid State Dosimetry
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 山口 一郎, 井上 一彦, 夏堀 雅宏
2. 発表標題 Lバンド電子スピン共鳴法を用いた被災牛歯の非破壊的な放射線量測定
3. 学会等名 第56回アイソトープ・放射線研究発
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 中井康博、芳地祐梨、宮崎 亮、田中麻央、中井 史、岩崎昭憲、大林由美子、三宅 実
2. 発表標題 福島被災地での歯を用いたL-band EPR線量測定結果の検討
3. 学会等名 第73回NPO法人日本口腔科学会総会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 中井康博、芳地祐梨、田中麻央、中井 史、岩崎昭憲、小川尊明、大林由美子、三宅 実
2. 発表標題 歯を用いたL-bandEPR線量測定における環境ノイズと紫外線の影響
3. 学会等名 第72回日本口腔科学会総会
4. 発表年 2018年

〔図書〕 計2件

1. 著者名 山口一郎, 三宅 実, 中井康博, 保田浩志, Gonzales, Chryzel A	4. 発行年 2021年
2. 出版社 トライアングルプロジェクト 研究成果報告集 2020年度報告書	5. 総ページ数 2
3. 書名 電子スピン共鳴法を利用した医療従事者の被ばく線量評価	

1. 著者名 三宅 実, 中井康博, 樺田尚樹, 山口一郎, 保田浩志, Gonzales, Chryzel A	4. 発行年 2021年
2. 出版社 トライアングルプロジェクト 研究成果報告集 2020年度報告書	5. 総ページ数 2
3. 書名 人の歯を用いた被曝線量測定装置の開発	

〔産業財産権〕

〔その他〕

<p>EPR線量測定研究成果  <a href="https://ndrecovery.niph.go.jp/trustrad/invivo_EPR/background.html">https://ndrecovery.niph.go.jp/trustrad/invivo_EPR/background.html</a></p> <p>Covid19の影響で、感染防御のため研究で中心的な目的であった人口腔内から直接のEPR計測がほとんど実施できなかった。また研究者間交流や研究施設利用、国際学会などでの発表の機会が著しく制限された。</p>
--

6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究分担者	山口 一郎  (Ichiro Yamaguchi)  (50311395)	国立保健医療科学院・その他部局等・上席主任研究官    (82602)	
研究分担者	平田 拓  (Hirata Hiroshi)  (60250958)	北海道大学・情報科学研究院・教授    (10101)	
研究分担者	大林 由美子  (Obayashi Yumiko)  (10284374)	香川大学・医学部・客員研究員    (16201)	

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関			
米国	Geisel Medical School at Dartmouth			