

令和 3 年 6 月 14 日現在

機関番号：32607

研究種目：基盤研究(C)（一般）

研究期間：2017～2020

課題番号：17K07013

研究課題名（和文）蛍光ゲル線量計の開発

研究課題名（英文）Development of fluorescent gel dosimeter

研究代表者

前山 拓哉（Maeyama, Takuya）

北里大学・理学部・助教

研究者番号：70612125

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 3,700,000円

研究成果の概要（和文）：放射線化学分野では化学線量計の開発が主要テーマの一つである。特に、水溶液線量計をゲル化することにより得られる線量計は放射線治療への利用に向けて研究が進められている。ゲル線量計は水を主成分としており、生体等価材料中での3次元線量分布評価は、放射線治療時に計画される複雑な線量分布の検証手法として有用となる。一般に、照射後のゲル線量計はMRIや光CTなどによって3次元情報の読み取りが行われる。本研究では新たに、蛍光法を用いて読み取ることができる蛍光ゲル線量計の開発に成功した。蛍光法は吸光度法に比べ、原理的に1000倍の高い感度での評価が可能であり、高感度な測定が期待される。

研究成果の学術的意義や社会的意義

放射線治療の高精度化に伴い、複雑な線量分布を一回の照射で測定できる線量計の開発が求められている。本研究では、これまでにない新しい原理にもとづくゲル線量計の開発に成功した。すなわち、ナノクレイ添加蛍光ゲル線量計である。蛍光法は吸光度法に比べ、原理的に1000倍の高い感度での評価が可能であり、本研究成果によって、今後さらなる化学線量測定法の発展が期待される。

研究成果の概要（英文）：In the radiation chemistry, developing chemical dosimeters has been promoted, especially those that are prepared by gelling aqueous chemical dosimeters that have been studied for their use in radiotherapy. In the radiotherapy, it is necessary to concentrate the dose on cancer cells only and to reduce its exposure to the surrounding healthy tissues. Therefore, a complicated dose distribution has made with developing the irradiation method. Gel dosimeters are expected to be QA tools for complex dose distributions for only the tissue-equivalent 3D dosimetry, since the gels are made with water, which is the main component of the human body. The 3D dose distribution is read by imaging the irradiated gel with a 3D scanner, such as either magnetic resonance, optical computed tomography. In this research, we have developed a nanocomposite fluorescent gel dosimeter that enables readout by the fluorometry, which is more sensitive than absorption method in principle.

研究分野：放射線化学

キーワード：蛍光ゲル線量計 ゲル線量計 ナノクレイ 蛍光 放射線化学 3次元線量計 放射線治療

1. 研究開始当初の背景

新規ナノ材料を体内に導入することで放射線増感剤、MRI 造影剤やドラッグデリバリーシステムとして作用させる応用研究が進められている。これに対して、本研究ではナノ材料が持つ高い吸着機能に着目した、新規の放射線検出器の開発を進めている。特に、ほとんどが水 (97wt%以上) で作られたゲル中での放射線分解生成物の拡散を抑制し 3 次元的に評価できることを報告している (Maeyama *et al.*, 2014; Maeyama *et al.*, 2016)。より詳細には、2wt% のナノサイズの粘土 (ナノクレイ) と 1 mM の鉄イオンを含んだ水溶液から調製されるゲル状の線量計 (NC-FG) はチキソトロピーにより固形状態を保ち、放射線の線質 (LET) に依存しない感度特性を有する固体・ゲル状の線量計では唯一の線量計となった。LET とは放射線の線質を表すパラメーターであり、放射線が物質中を通過する際の単位長あたりのエネルギー付与 (eV/nm) である。

NC-FG は重粒子線を用いたがん治療において計画される 3 次元線量分布の評価に有効な手法として期待されている。その測定原理は、NC-FG 内に含まれる少量の Fe²⁺ が Fe³⁺ となる放射線誘起の酸化反応を利用している。この鉄イオンの価数の変化が MRI (核磁気共鳴画像法) によって得られる緩和速度 [s⁻¹] を変化させるため、MRI 画像から線量分布情報を評価することができる。酸化反応メカニズムは水の放射線分解生成物 (e_{aq}⁻, OH⁻, H₂O₂) に対して図 1 に示すような反応スキームであることを明らかにしつつある。図 1 はこれまでに報告されている酸性水溶液中の鉄の酸化反応を利用したフリッケ線量計の反応スキームと異なり、e_{aq}⁻ による鉄の再還元反応がチキソトロピックゲル中で特異的に進行しており、この再還元反応が LET に非依存な感度特性を示す主要因である。つまり、LET 増加によりラジカル同士の再結合反応が進み、水分解ラジカルの収率 [mol/J] (G(OH), G(e_{aq}⁻)) などが減少し、一般的な線量計の感度は低下するが、NC-FG では LET 増加に従うラジカル収率の減少が再還元反応にお互いに相殺される。この反応メカニズムからもわかる通り、生成物の定量には数 100 Gy もの線量が必要であり、放射線治療線量領域での評価が困難であった。

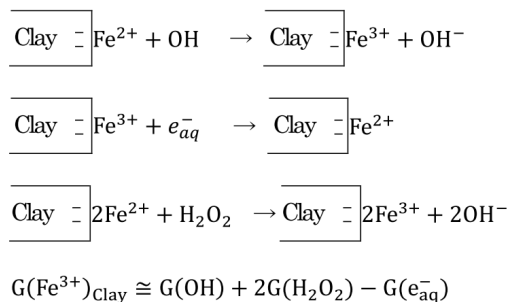


図 1. NC-FG の反応スキーム

2. 研究の目的

本研究ではチキソトロピックゲルに加える放射線感受性化合物として鉄イオンの代わりに新たに蛍光プローブの導入を行い検出の大幅な高感度化を目指した。蛍光プローブは蛍光光度計により数 nM オーダーの低濃度でも定量が可能であり、例えば、分光光度計や MRI を用いた測定法に比べると 100 倍程度の感度の増大が期待される。具体的には、下記、2 つの項目に関して研究を進めた。

- (1) チキソトロピックゲル中の蛍光プローブの基礎特性の評価
- (2) イオンビーム照射時のチキソトロピック蛍光ゲル線量計の特性評価

3. 研究の方法

3.1 チキソトロピックゲル中の蛍光プローブの基礎特性の評価

これまでに報告されているゲル線量計は大きく分けて放射線誘起の酸化反応を利用するフリッケゲル線量計と重合反応を利用するポリマーゲル線量計がある。全てのゲル線量計のゲル化剤はこれまでにゼラチンなどの有機ゲル化剤が利用されてきた。一方で、申請者は近年、少量の水分散クレイをゲル化剤として放射線感受性化合物を加えたチキソトロピックゲル線量計の開発に成功した。従来のゲル線量計では有機ゲル化剤が水の放射線分解ラジカルと高い反応性を有するため、有機ゲル化剤自体が強力なラジカル捕捉剤となり、蛍光プローブの導入が困難であった。一方で、チキソトロピックゲルでは少量のナノクレイのみをゲル化剤としており、このナノクレイは化学的安定性が高く、水分解ラジカルとの反応性が低いため、蛍光プローブを利用した水溶液線量計の適用が可能であることが期待される。本研究では、水溶液線量計としていくつか報告されている蛍光プローブをチキソトロピックゲルに応用する。ただし、ナノマテリアル分野における報告では、ナノクレイによる吸着効果により蛍光プローブの溶解性が改善するものの、蛍光特性を変化させ、さらに、放射線誘起の化学反応自体を変化させることも想定される。そのため、蛍光分光光度計を用いた蛍光・紫外可視スペクトルの測定を行い、放射線照射によるスペクトルの変化や水分解ラジカルとの反応性などの基礎的なデータの取得を行った。

3.2 イオンビーム照射時のチキソトロピック蛍光ゲル線量計の特性評価

チキソトロピックゲル中の蛍光プローブの基礎特性の評価を元に、チキソトロピックゲルに最適な蛍光プローブを決定後、イオンビーム照射における特性を評価する。イオンビーム誘起の得意な放射線化学反応を評価し、適宜、ラジカル捕捉剤を加えることで、反応系を制御することで、LET 依存性依存性を任意に制御することを試みた。

4. 研究成果

図2に Coumarin-3-carboxylic acid (CCA) 0.1 mM に対して、ゲル化剤を変化させた場合の蛍光強度の線量依存性を示す。それぞれ、ゲル化剤がナノクレイ 1.5 wt%、ゼラチン 5, 0.1, 0.01 wt%の4種類のゲル線量計の蛍光スペクトルの最大波長 448 nm 付近の値を読み取り、吸収線量に応じた蛍光強度の増加量をプロットした。それぞれ同じ測定条件(スリット幅 励起側: 2.5 nm、蛍光側: 10 nm、ホトマル電圧: 700 V)で得られた実験結果であり、傾きの違いが感度特性の違いを意味する。ゼラチン 5 wt% では 25 Gy 未満の線量を照射しても蛍光強度に変化を観測することはできなかった。しかし、ゼラチンを 0.1, 0.01 wt% と減らすことで線量に対する蛍光強度の増加が観測できた。0.1, 0.01 wt% では完全に液体であり蛍光ゲル線量計への利用は見込めない。一方、ナノクレイを用いたものは、1.5 wt%入れても高い線量応答性を有することが分かった。以上より、予測した通り、ナノクレイは蛍光ゲル線量計において優れたゲル化剤となることが分かった。多様な蛍光プローブへ適用した結果は論文 (Maeyama and Hase, 2018) を参照されたい。

上述、研究結果から線量に応じた蛍光強度の増加を観測できたものの、ゲル中に生成した蛍光物質は拡散していく様子が見られており、拡散が抑制された2次元の蛍光強度分布を観測することが困難であった。そこで、NC-FG 線量計 (Maeyama *et al.*, 2017) を参考に、蛍光ゲル線量計における照射後の生成物の拡散の抑制並びに 2D 解析を進めるため、新規にカチオン性の蛍光プローブの適用を検討した。ここではクレイ層間にカチオン性化合物がインターカレーションされることにより、拡散が抑制されることを期待している。用いた蛍光プローブは生化学的に活性酸素の検出手法として広く知られているジヒドロローダミン 123 (DHR123) であり、活性酸素との反応により酸化され、無蛍光から蛍光物質である rhodamine 123 (RD) となる。

図3(a)には DHR123 蛍光ゲル線量計を封入した板状の容器へ X 線照射を行い、照射後のサンプルを蛍光ゲルスキャナーにより撮像した画像を示す。図3(b)は画像の縦軸方向に 1 mm と 5 mm ピクセル分を積算した蛍光強度分布を示している。また、それぞれ、照射領域の平均値を照射線量に対してプロットすると図3(c)が得られる。このように2次元画像においても照射線量に応じた蛍光強度の増加が観測された。また、照射領域と未照射領域の境界線ははっきり保たれており、73 日たっても、蛍光物質が拡散する影響はほとんどないことが考えられた。

上述の DHR123 を用いた蛍光ゲル線量計のより詳細な感度特性評価並びに高感度化と医療応用

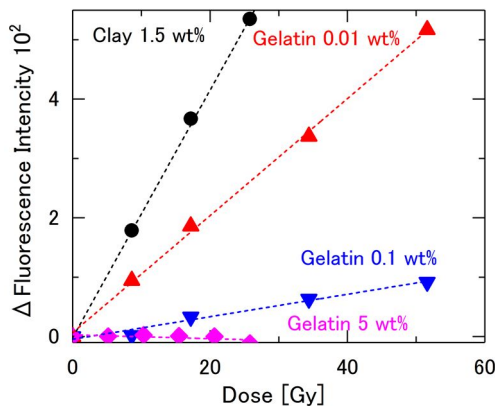


図2. Comparison of dose sensitivities of 0.1-mM CCA under several gelling conditions. Changes in fluorescence intensity are measured on the vertical axis to account for gel matrix-dependent differences in the fluorescence intensity of the unirradiated samples. (Maeyama and Hase, 2018)

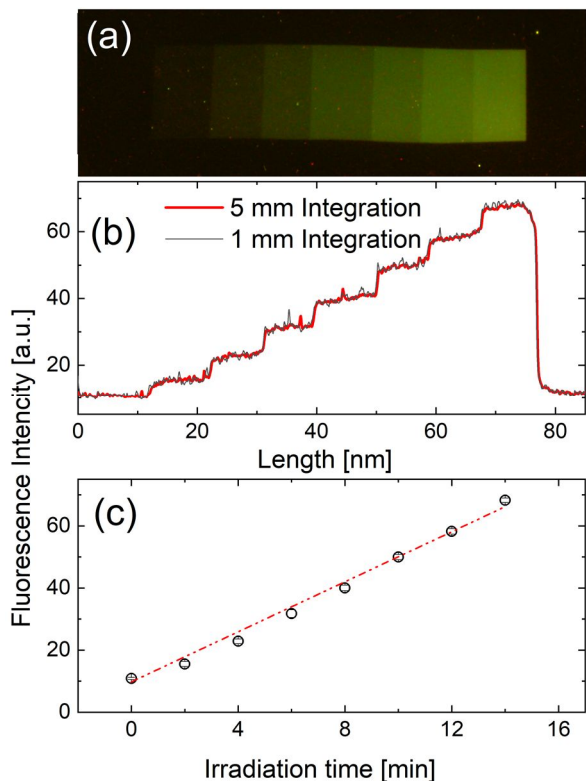


図3. Evaluation of 2D dose distribution using gel layer containing NC-RFG employing DHR 123. (a) a photograph obtained by scanning the inhomogeneously irradiated gel with a fluorescence gel scanner. (b) Fluorescence intensity profile at 5 and 1 mm integration along the vertical axis. (c) Dose response curve of fluorescence intensity obtained from 2D fluorescence scanner. (Maeyama *et al.*, 2019)

に関しては論文(Mochizuki *et al.*, 2020; Watanabe *et al.*, 2020)を参照されたい。2次元的な評価が可能となったため、重粒子線への特性評価を進めることが可能となった。現在、重粒子線を用いた結果については論文としてまとめている。

研究計画当初では水溶液線量計として知られている蛍光水溶液線量計をゲル化することにより得られる蛍光ゲル線量計の開発を進めていたものの、照射後の生成物の拡散が抑制された最適な蛍光プローブの選定は、非常に苦労した部分であった。また、定量的な2次的撮像法自体はこれまでに確立されておらず、困難な課題の一つであった。試行錯誤の末、生化学用途に用いられている市販の蛍光ゲルスキャナーを利用することにより、撮像面内の均一性や再現性のあるデータを取得できることが分かった。今後は、より詳細な放射線誘起の反応メカニズムの解明、並びに、測定系のカスタマイズにより、さらなる高精度化が期待される。

<引用文献>

- Maeyama T, Fukunishi N, Ishikawa K L, Fukasaku K and Fukuda S 2016 Radiological properties of nanocomposite Fricke gel dosimeters for heavy ion beams *J. Radiat. Res.* **57** 318-24
- Maeyama T, Fukunishi N, Ishikawa K L, Fukasaku K and Fukuda S 2017 Organic-Gelatin-Free Nanocomposite Fricke Gel Dosimeter *J. Phys. Chem. B* **121** 4238-46
- Maeyama T, Fukunishi N, Ishikawa K L, Furuta T, Fukasaku K, Takagi S, Noda S, Himeno R and Fukuda S 2014 A diffusion-free and linear-energy-transfer-independent nanocomposite Fricke gel dosimeter *Radiat. Phys. Chem.* **96** 92-6
- Maeyama T and Hase S 2018 Nanoclay gel-based radio-fluorogenic gel dosimeters using various fluorescence probes *Radiat. Phys. Chem.* **151** 42-6
- Maeyama T, Kato A, Mochizuki A, Sato N, Watanabe Y and Mizukami S 2019 Dose-rate-independent and diffusion-free nanoclay-based radio-fluorogenic gel dosimeter *Sens. Actuators A Phys.* **298** 111435
- Mochizuki A, Maeyama T, Watanabe Y and Mizukami S 2020 Sensitivity enhancement of DHR123 radio-fluorogenic nanoclay gel dosimeter by incorporating surfactants and halogenides *RSC Advances* **10** 28798-806
- Watanabe Y, Maeyama T, Mochizuki A, Mizukami S, Hayashi S, Terazaki T, Muraishi H, Takei H, Gomi T and Shimono T 2020 Verification of dose distribution in high-dose-rate brachytherapy using a nanoclay-based radio-fluorogenic gel dosimeter *Phys. Med. Biol.* **65** 175008

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計10件（うち査読付論文 7件 / うち国際共著 0件 / うちオープンアクセス 3件）

1. 著者名 T. Maeyama, A. Mochizuki, T. Takanashi	4. 巻 1305
2. 論文標題 Radiation induced degradation of rhodamine 6G and 7-Diethylamino-4-methylcoumarin in nano-clay gel for use in dosimeter	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Journal of Physics: Conference Series	6. 最初と最後の頁 12045
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1088/1742-6596/1305/1/012045	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 -

1. 著者名 Takuya Maeyama, Ayumi Kato, Anri Mochizuki, Naoki Sato, Yusuke Watanabe, Shinya Mizukami	4. 巻 298
2. 論文標題 Dose-rate-independent and diffusion-free nanoclay-based radio-fluorogenic gel dosimeter	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Sensors and Actuators A: Physical	6. 最初と最後の頁 111435
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.sna.2019.06.015	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 Maeyama Takuya, Hase Shinnosuke	4. 巻 151
2. 論文標題 Nanoclay gel-based radio-fluorogenic gel dosimeters using various fluorescence probes	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Radiation Physics and Chemistry	6. 最初と最後の頁 42 ~ 46
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.radphyschem.2018.05.009	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 前山 拓哉	4. 巻 68
2. 論文標題 LET依存性のないゲル線量計の開発 MRI (磁気共鳴画像) を用いたフリッケルゲル線量計	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 RADIOISOTOPES	6. 最初と最後の頁 267-276
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3769/radioisotopes.68.267	査読の有無 無
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 -

1. 著者名 Maeyama Takuya, Ishida Yasuhiro, Kudo Yoshihiro, Fukasaku Kazuaki, Ishikawa Kenichi L., Fukunishi Nobuhisa	4. 巻 146
2. 論文標題 Polymer gel dosimeter with AQUAJ0INT as hydrogel matrix	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Radiation Physics and Chemistry	6. 最初と最後の頁 121 ~ 125
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.radphyschem.2018.01.014	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 Maeyama Takuya, Fukunishi Nobuhisa, Ishikawa Kenichi L., Fukasaku Kazuaki, Fukuda Shigekazu	4. 巻 121
2. 論文標題 Organic-Gelatin-Free Nanocomposite Fricke Gel Dosimeter	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 The Journal of Physical Chemistry B	6. 最初と最後の頁 4238 ~ 4246
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1021/acs.jpcc.6b11936	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 前山 拓哉	4. 巻 37
2. 論文標題 フリッケゲル線量計	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 医学物理	6. 最初と最後の頁 99 ~ 106
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.11323/jjmp.37.2_99	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 Mochizuki Anri, Maeyama Takuya, Watanabe Yusuke, Mizukami Shinya	4. 巻 10
2. 論文標題 Sensitivity enhancement of DHR123 radio-fluorogenic nanoclay gel dosimeter by incorporating surfactants and halogenides	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 RSC Advances	6. 最初と最後の頁 28798 ~ 28806
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1039/d0ra02717k	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 -

1. 著者名 Watanabe Yusuke, Maeyama Takuya, Mochizuki Anri, Mizukami Shinya, Hayashi Shin-ichiro, Terazaki Tsuyoshi, Muraishi Hiroshi, Takei Hideyuki, Gomi Tsutomu, Shimono Tetsunori	4. 巻 65
2. 論文標題 Verification of dose distribution in high-dose-rate brachytherapy using a nanoclay-based radio-fluorogenic gel dosimeter	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Physics in Medicine & Biology	6. 最初と最後の頁 175008 ~ 175008
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1088/1361-6560/ab98d2	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24件 (うち招待講演 2件 / うち国際学会 7件)

1. 発表者名 溝口孝大, 橋本健人, 阿部澄絵, 岩澤星弥, 綿貴陸, 中村美葉, 水上慎也, 渡邊祐介, 福西暢尚, 石川顕一, 福田茂一, 前山拓哉
2. 発表標題 ナノコンポジットフリックゲル線量計のMRI三次元線量データ取得の試み
3. 学会等名 第9回3次元ゲル線量計研究会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 吉田 和輝, 前山拓哉, 渡邊祐介, 水上慎也
2. 発表標題 蛍光ゲル線量計の光安定性の評価と新規分散剤の検討
3. 学会等名 第9回3次元ゲル線量計研究会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 井上幹太, 渡邊祐介, 前山拓哉, 吉田和輝, 村石浩, 水上慎也, 大内結希乃, 金子睦美, 下野哲範
2. 発表標題 3D蛍光断層スキャナ開発の初期検討
3. 学会等名 第9回3次元ゲル線量計研究会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 井上 幹太, 渡邊 祐介, 前山 拓哉, 水上 慎也, 寺崎 剛史, 林 慎一郎, 村石 浩, 五味 勉, 下野 哲範
2. 発表標題 高線量率小線源治療における蛍光ゲル線量計を用いた線量分布測定
3. 学会等名 第81回応用物理学会秋季学術講演会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 T. Maeyama, A. Mochizuki, N. Fukunishi, K. L. Ishikawa
2. 発表標題 Preliminary investigation of nanoclay gel-based fluorescent gel dosimeters under carbon ion beam
3. 学会等名 8th Asia Pacific Symposium on Radiation Chemistry (APSRC2020) (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 前山拓哉
2. 発表標題 ゲル線量計を用いた医療放射線の線量分布測定研究
3. 学会等名 医療放射線技術研究会「様々な時間的・空間的スケールの量子線計測技術」(招待講演)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 望月杏莉 前山拓哉 福西暢尚 石川顕一
2. 発表標題 重粒子線治療用蛍光ゲル線量計の開発
3. 学会等名 第8回3Dゲル線量計研究会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 渡邊祐介 前山拓哉 望月杏莉 寺崎剛史 水上慎也 清水大地 志賀伊吹 武田小瑚 森瑞喜
2. 発表標題 高線量率小線源治療における蛍光ゲル線量計による線量分布測定 of 初期検討
3. 学会等名 第8回3Dゲル線量計研究会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 前山拓哉 望月杏莉 磯村りお 渡邊祐介 水上慎也 福西暢尚 石川顕一 福田茂一
2. 発表標題 高LET放射線照射時のナノコンポジットフリックゲル線量計の基礎特性
3. 学会等名 第8回3Dゲル線量計研究会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 寺崎剛史 渡邊祐介 水上慎也 前山拓哉 橘英伸 林慎一郎 板野正信 上原隆三 村石浩 五味勉 下野哲範
2. 発表標題 192Ir線源停留位置の精度管理におけるポリマーゲル線量計の有用性
3. 学会等名 第8回3Dゲル線量計研究会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 橘英伸 橘理絵 渡邊祐介 前山拓哉 水上慎也 三浦季子 上間亜紗果 加藤由佳 石垣絢子 長田燎平 飯嶋亮平 中村彩花 白石貴博 遠山尚紀 小玉卓史 幡野和男
2. 発表標題 包括的なゲルドシメトリ体制の確立
3. 学会等名 第8回3Dゲル線量計研究会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 笠井勇作 渡邊祐介 水上慎也 前山拓哉 寺崎剛史 林慎一郎
2. 発表標題 高線量率小線源治療におけるDeformable gel dosimetryの初期検討
3. 学会等名 第8回3Dゲル線量計研究会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 望月杏莉 前山拓哉 渡邊祐介 水上慎也
2. 発表標題 ジヒドロローダミン 6G と123 蛍光ゲル線量計の増感剤・界面活性剤の影響
3. 学会等名 第62回放射線化学討論会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 前山拓哉 望月杏莉 福西暢尚 石川顕一 福田茂一
2. 発表標題 NC-FG 線量計へのラジカル捕捉剤の添加効果
3. 学会等名 第62回放射線化学討論会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Anri Mochizuki Takuya Maeyama
2. 発表標題 Radiological properties of coumarin derivative fluorescent gel dosimeter
3. 学会等名 The 19th International Conference on Solid State Dosimetry (SSD19) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Anri Mochizuki Takuya Maeyama
2. 発表標題 Fluorescent gel dosimeter using 7-diethylamino-4-methylcoumarin: Effects of radical scavengers on radio-degradation yield
3. 学会等名 16th International Congress of Radiation Research (ICRR2019) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Takuya Maeyama Ayumi Kato Anri Mochizuki Yusuke Watanabe Shinya Mizukami
2. 発表標題 Nanoclay gel-based radio-fluorogenic gel dosimeters using Dihydrorhodamine 123
3. 学会等名 16th International Congress of Radiation Research (ICRR2019) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 K.Eguchi Y.Watanabe S.Mizukami T.Maeyama S.Hayashi T.Gomi
2. 発表標題 A Verification of High-Dose-Rate Brachytherapy Dose Distributions for Prostate Cancer with a VIPET Polymer Gel Dosimeter
3. 学会等名 American Association of Physicists in Medicine 2018 Annual Meeting (AAPM 2018) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 T. Maeyama A. Mochizuki T. Takanashi
2. 発表標題 Radiation induced degradation of rhodamine 6G and 7-Diethylamino-4-methylcoumarin in nano-clay gel for use in dosimeter
3. 学会等名 10th International Conference on 3D and Advanced Dosimetry (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 前山拓哉 加藤歩実 佐藤直樹 望月杏莉
2. 発表標題 蛍光ゲル線量計の2D解析手法の初期検討
3. 学会等名 第7回3Dゲル線量計研究会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 望月杏莉 前山拓哉
2. 発表標題 クマリン誘導体蛍光ゲル線量計～ラジカル捕捉剤の影響～
3. 学会等名 第7回3Dゲル線量計研究会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 T. Maeyama
2. 発表標題 MRI-based Gel Dosimeter for Heavy ion Beam Cancer Therapy
3. 学会等名 International Congress on Pure & Applied Chemistry (ICPAC) 2018 (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 前山拓哉, 長谷真之介
2. 発表標題 蛍光プローブを用いたゲル線量計の開発
3. 学会等名 第6回3Dゲル線量計研究会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 前山拓哉
2. 発表標題 蛍光プローブを用いた放射線線量測定ゲルの開発
3. 学会等名 第10回北里化学シンポジウム(AKPS2017)
4. 発表年 2017年

〔図書〕 計0件

〔出願〕 計2件

産業財産権の名称 放射線線量測定用組成物及びその製造方法、並びに放射線線量計	発明者 前山拓哉, 福西暢尚, 石川顕一	権利者 学校法人北里研 究所, 国立研究 開発法人理化学
産業財産権の種類、番号 特許、特願2019-157190	出願年 2019年	国内・外国の別 国内

産業財産権の名称 放射線線量測定ゾル又はゲル、及びそれを放射線線量の計測材料として備える放射線線量計	発明者 前山拓哉, 櫻葉汀ダ ニエルアントニオ, 高梨宇宙	権利者 理化学研究所, 北 里研究所, 日産 化学株式会社
産業財産権の種類、番号 特許、PCT/JP2018/036694	出願年 2017年	国内・外国の別 国内

〔取得〕 計0件

〔その他〕

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	余語 克紀 (Yogo Katsunori) (30424823)	名古屋大学・医学系研究科(保健)・助教 (13901)	

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
---------	---------