

平成 30 年 6 月 11 日現在

機関番号：35413

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2014～2017

課題番号：26460736

研究課題名(和文) ホウ素中性子捕捉療法のための3次元ゲル線量計を用いた線量分布評価に関する研究

研究課題名(英文) A study of the dose evaluation using three-dimensional gel dosimeter for Boron-Neutron Capture Therapy

研究代表者

林 慎一郎 (Hayashi, Shin-ichiro)

広島国際大学・保健医療学部・准教授

研究者番号：20238108

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,900,000円

研究成果の概要(和文)：放射線によるガン治療方法のひとつとして薬剤により腫瘍細胞に取り込まれたホウ素と原子炉や加速器から照射される熱中性子との核反応を利用した「ホウ素中性子捕捉療法(BNCT)」が近年注目されている。しかし、その複雑な線量分布を評価する方法はまだ充分確立されていない。本研究は3次元ゲル線量計と呼ばれる水(組織)等価で3次元での線量評価が可能な線量計を中性子線に適用し、その利用方法の確立に向けて基礎特性を評価し、臨床利用に向けた重要な基礎データを得た。

研究成果の概要(英文)："Boron Neutron Capture Therapy (BNCT)" utilizing the nuclear reaction between boron incorporated into tumor cells by drugs and thermal neutrons irradiated from nuclear reactors and accelerators as a method of treating cancer by radiation has received attention in recent years. However, a method for evaluating the complicated dose distribution has not yet been well established. In this research, we applied a dosimeter which is equivalent to water (tissue) equivalent, called a three-dimensional gel dosimeter which can evaluate the dose in three dimensions. In order to establish its use method, basic characteristics were evaluated and important basic data for clinical use was obtained.

研究分野：医学物理学・放射線化学

キーワード：ゲル線量計 放射線治療 ホウ素中性子捕捉療法 MRI リチウム6 ホウ素10 MAGAT 医学物理学

1. 研究開始当初の背景

ホウ素中性子捕捉療法 (Boron Neutron Capture Therapy, 以下 BNCT) は、熱中性子 (< 0.5 eV) を捕獲したホウ素原子核 (^{10}B) が次式のようにヘリウム原子核 (α 粒子) と反跳リチウム原子核に分裂する現象を利用する。



この反応が腫瘍細胞内で生じた場合、細胞 1 つ程度の領域 (約 $10\mu\text{m}$) にその運動エネルギーを全て放出するので (高 LET) , 高い殺細胞効果が得られる。

ホウ素 (^{10}B) は、事前に腫瘍細胞に集積しやすい性質を持つホウ素化合物として患者に投与され、その後患部に中性子線が照射される。その結果、上記の核分裂反応が生じ、その細胞を死滅させる。放出される α 粒子等は飛程が数 μm と短いので癌細胞周囲の正常組織への損傷をほとんど与えずに、癌細胞のみを死滅させることが可能であり、高精度 X 線治療や重粒子線治療と共に今後の発展が期待されている。

しかし、BNCT において与えられる線量は、上記の反応に起因する線量 (ホウ素線量) 以外に、原子炉からのガンマ線や生体内の様々な元素と中性子との反応に起因する反跳核や即発ガンマ線などの非ホウ素線量も含んでおり、これらの分布を正しく評価することは未だ容易ではない。

その一方で、粒子線治療 (PT) や強度変調放射線治療 (IMRT) 等、目的的病巣に線量を集中させる高精度放射線治療が可能となってきたことに伴い、治療計画や線量評価において、その 3 次元線量分布を直接測定できる線量計の開発が求められている。近年、その候補の一つとして、3 次元ゲル線量計が注目を集めている [1] 。

3 次元ゲル線量計は、放射線照射によって生じるラジカルによる化学反応を利用した化学線量計の一種である。代表的な 3 次元ゲル線量計としては、水溶液中におけるビニルモノマー (-C=C 基を含む有機分子) のラジカル重合反応を利用したポリマーゲル線量計と、鉄の酸化反応 ($\text{Fe}^{2+} \rightarrow \text{Fe}^{3+}$) を利用したフリッケゲル線量計があげられる。これらの反応は水溶液中では照射後、拡散や沈殿によりその空間情報が消失してしまうので、その水溶液をゼラチン等のゲル化剤により固化することによりその空間情報を保持しているのが特徴である。その反応による変化を核磁気共鳴画像化装置 (MRI) 等で読み取ることにより吸収線量の 3 次元分布を直接求めることができる。また、その組成は 90% 前後が水である事から水 (生体) 等価とみなすことができ、生体に対する吸収線量測定に適している。

筆者らはこれまで、これらの 3 次元ゲル線量計を、主に X 線 (ガンマ線) や陽子線・炭素線に適用し、特性評価と改良、および臨床

への応用に取り組んできた [2] 。

一方、3 次元ゲル線量計の BNCT (中性子線) への適用は、世界的に見ても原子炉の利用に限られること、またさらには BNCT に取り組んでいる国自体が少ないことなどからその報告は未だ少数にとどまっている [3] 。

BNCT は世界において日本が最もリードする分野であり、その実用化に向けて線量評価方法の確立は最も重要な課題のひとつである。そこで今回、我々がこれまでに蓄積してきた 3 次元ゲル線量計のノウハウを BNCT の線量測定に応用することにより、BNCT の治療計画における QC・QA の改善に貢献できるのではないかと考えた。

2. 研究の目的

3 次元ゲル線量計が中性子線に対して感度を持つことはこれまでの研究 [4] や我々の結果 [5] から確認されている。しかし、中性子線はそのエネルギー (熱、熱外、速) によって、あるいはその被照射体の元素組成によっても物質との反応性が大きく異なる。

そこでまずは原子炉から得られる中性子線の 3 次元ゲル線量計に対する線量 (率) やエネルギー分布 (スペクトル) に対する依存性、および同時に発生するガンマ線の寄与を各種フィルターにより切り分け、3 次元ゲル線量計の基礎特性を調べる。また、3 次元ゲル線量計はゲル化剤の種類や添加剤によりその元素組成を比較的自由に調整できるので、組成に対する依存性も調べ、BNCT に最適化したゲルの開発を行う。

その後、可能であれば頭部等の人体を模したサイズのゲル線量計を作製し、深部線量分布や多門照射に対して、治療計画 (シミュレーション) との比較等から BNCT に対する 3 次元線量計としての可能性を探る。また、医療用加速器中性子源から得られるビームに対しても同様の検討を行う。

これらの結果から、3 次元ゲル線量計の BNCT における QC・QA ツールとしての利用方法を明らかにする。

3. 研究の方法

(1) ゲル線量計の作製

本研究で用いたゲル線量計は、その放射線応答感度が高く、最もシンプルな組成の MAGAT タイプのポリマーゲル線量計を主として自作した。また、これに熱中性子増感剤としての ^{10}B (ホウ素 10) や ^6Li (リチウム 6) を含む塩を添加したものを作製し、有効な組成およびその応答特性について検討した。

(2) 中性子線照射

(a) 京都大学原子炉実験所 (H30.4 より複合原子力科学研究所) の研究用原子炉・1MW (KUR) から得られる速・熱外・熱中性子線を用いた。試料は石英製の試験管 (7mL) , およびトールピーカー (300mL) に充填され、空気中および水槽 (水中) に設置して照射した。

(b) 近畿大学原子力研究所の教育用原子

炉・1W(UTR-KINKI)から得られる速・熱外・熱中性子線を用いた。試料は石英製の試験管(7mL), に充填され, 原子炉の炉心中央部に設置し, 空気中にて照射した。

(3) 光子線(ガンマ線・エックス線)照射

(a) 京都大学原子炉実験所のコバルト 60 線源から得られるガンマ線を用いた。試料はガラス試験管(10mL), 石英試験管(7mL), PMMA キュベット(4.5mL)に充填され空気中にて照射を行った。

(b) 広島平和クリニック(広島市)の医療用直線加速器からの6MV X線を用いた。試料はガラス試験管(10mL), PMMA キュベット(4.5mL)に充填されタフウォーターファントム中に設置して照射を行った。

(4) 測定

照射された試料の T_2 緩和速度($R_2=1/T_2$)は核磁気共鳴画像化装置(MRI, 0.3T, 1.5T)を用いて測定し, 吸収線量評価を行った。

4. 研究成果

研究期間(2014.4-2017.3)中に京都大学および近畿大学の原子炉が2年間(2014.6-2018.4)にわたり停止し, 使用できなかったため, 研究期間を1年延長した。そのため予定していた多くの中性子照射実験が充分行えなかったが, その期間, ガンマ線・X線を用いて熱中性子増感剤を添加したゲル線量計の基本特性を調べた。また, ポリマーゲルやフリッケゲル以外の, より良い特性を持った新規な色素を用いたゲル線量計の開発も行った。

(1) 熱中性子線増感剤を添加したゲル線量計のX線・ガンマ線に対する応答特性

中性子照射を行う前に, ゲル線量計の光子線応答特性を調べた。中性子増感剤としては熱中性子捕捉核(^{10}B , ^6Li)を含むホウ酸とリチウム化合物(LiCl , Li_2SO_4 , 等)を, 濃度を変えて添加し, 最も適当な種類と量を検討した。高濃度(0.1mol/L以上)の無機塩の添加はゲル線量計の感度を増加させる働きがある事が知られているが, 結果として, 捕捉核濃度が50ppm以下の濃度の添加によるガンマ線応答への影響は極めて小さいことがわかった。また, 原子炉から, およびゲル線量計中での核反応に伴い放出される様々な線量率をもつガンマ線に対する影響を調べるため線量応答の線量率依存性も調べたところ, こちらも1桁以上異なる線量率に対してもその依存性は非常に小さいことが分かった。これらの結果は増感剤がガンマ線との相互作用に影響せず独立に扱えることを示唆している。

(2) 京都大学原子炉実験所研究用原子炉(KUR /1MW)を用いた中性子線照射実験

原子炉からの中性子線照射において, MAGAT およびホウ酸を添加したMAGATの2種類のゲルに対して異なる照射モードを用いて照射し, 深部- R2 応答を調べた。その結果, ^{10}B を含まない場合, 熱中性子(Thermal mode)に

対する応答は深部へ向けて単調な減少を示し, 一般的な熱中性子の減衰に対応した。また熱外・速中性子(Epi-thermal and fast mode)に対してはブロードなピークが見られ, 減速した熱中性子に対応していると考えられた。また, ^{10}B を含む場合は吸収が浅部へシフトしており, ^{10}B による中性子捕捉の寄与が確認できた。

(3) 近畿大学原子力研究所教育用原子炉(UTR-KINKI /1W)を用いた中性子線照射実験
ポリマーゲル線量計として感度の高いMAGAT, 中性子線量を増大するためにリチウムの添加を検討した。リチウムの安定同位体であるLi-6は, $\text{Li-6}(n,\alpha)\text{H-3}$ 反応によって中性子線量を増大することができ, また, B-10と比較して2次ガンマ線の放出が無いという特徴がある。標準的なMAGATに25 mM および50 mMの硫酸リチウムを添加した線量計を作成した。中性子の照射は, 中央ストリンガーにて行った。線量計をアルミ製フレームに固定し, 出力1 W 運転時に2および4時間の照射を行った。線量計算にはMCNP6.1ならびにPHITS2.88を用いた。MCNPを用いて臨界状態において線量計に入射する中性子および光子線束を計算し, その中性子および光子を線源として生成される荷電粒子のエネルギー付与をPHITSによって計算した。

コバルト60ガンマ線を用いた線量応答測定において, 今回用いた硫酸リチウム濃度では有意な感度上昇は認められなかった。したがって, リチウム添加による応答の変化は, 主にLi-6の(n, α)反応によるものであると考えることができる。中性子照射実験により得られた, 標準組成(Standard), 25 および50 mM天然硫酸リチウム添加ならびに25 および50 mM濃縮硫酸リチウム添加MAGAT線量計の線量応答から, 線量計中に存在するLi-6が多くなるにつれて, 単位線量あたりの応答が小さくなることが確認できた。標準組成のMAGATでは, 主に反跳陽子とN-14の(n,p)反応から成る陽子線量成分がおよそ40%であるのに対し, 50 mMの濃縮硫酸リチウムを加えた場合, アルファ粒子および三重陽子の寄与により重荷電粒子による線量割合が85%まで大きくなる。線量成分割合の変化を定量的に評価するため, 線量計中における平均LETを計算した。感度の変化についてはコバルト60ガンマ線に対する応答を基準とし, 等線量に対する応答の比(相対効率)を線量応答の傾きから評価した。平均LETに対して各線量計の相対効率を評価した。このような定量的な線質依存性評価により, 中性子照射場に対してもポリマーゲル線量計の応用が期待できる。

<引用文献>

Baldock C et al, 2010, "Polymer gel dosimetry", Phys. Med. Biol. 55 R1-R63 (フリッケゲル) e.g., Maeyama T et al, 2014, "A diffusion-free and linear-

energy-transfer-independent nanocomposite Fricke gel dosimeter”, Radiat. Phys. Chem., 96, 92-96.

(ポリマーゲル) e.g., Hayashi S et al, 2012 "Effect of inorganic salt on the dose sensitivity of polymer gel dosimeter", Radiat. Phys. Chem. 81(7) 884-888

Uusi-Simola J et al, 2007, "MAGIC polymer gel dosimetric verification in boron neutron capture therapy”, J. Appl. Clin. Med. Phys. 8 114-23

Gambarini G et al, 2010, "Fast-neutron dose evaluation in BNCT with Fricke gel layer detectors”, Radiat. Meas. 45 1398-1401

林, 他, 2013, 「ポリマーゲル線量計による BNCT 線量分布測定に向けた基礎的検討」第 10 回日本中性子捕捉療法学会学術大会(岡山)抄録集

5. 主な発表論文等

[雑誌論文](計 16 件)

Kenichi Tanaka, Yoshinori Sakurai, Shin-ichiro Hayashi, Tsuyoshi Kajimoto, Ryohei Uchida, Hiroki Tanaka, Takushi Takata, Gerard Bengua, Satoru Endo, "Computational investigation of suitable polymer gel composition for the QA of the beam components of a BNCT irradiation field”, Appl. Radiat. Isotopes, 査読有, Vol.127 (2017) 253-259
DOI: 10.1016/j.apradiso.2017.06.014

Takuya Maeyama, Nobuhisa Fukunishi, Kenichi L. Ishikawa, Kazuaki Fukasaku, Shigekazu Fukuda, "Organic-Gelatin-Free Nanocomposite Fricke Gel Dosimeter”, J. Phys. Chem. B, 査読有, Vol.121 (2017) 4238-4246
DOI : 10.1021/acs.jpccb.6b11936

Takuya Maeyama, Yasuhiro Ishida, Yoshihiro Kudo, Kazuaki Fukasaku, Kenichi L. Ishikawa, Nobuhisa Fukunishi, "Polymer gel dosimeter with AQUAJOINT as hydrogel matrix”, Radiat. Phys. Chem., 査読有, Vol.149 (2018) 121-125
DOI:doi.org/10.1016/j.radphyschem.2018.01.014

林慎一郎, 「放射線治療のための 3 次元ゲル線量計の開発と臨床応用」, RADIOISOTOPES, 査読無, Vol.66 (2017) 595-600
DOI:
doi.org/10.3769/radioisotopes.66.595

林慎一郎, 「ポリマーゲル線量計による 3 次元吸収線量分布評価に向けて」, 放射線(応用物理学会放射線分科会誌), 査読無,

Vol.43 (2017) 9-11

<https://annex.jsap.or.jp/radiation/houhasen.html>

林慎一郎, 「ポリマーゲル線量計」, 医学物理, 査読無, Vol.37 (2017) 89-94
DOI: doi.org/10.11323/jjimp.37.2_89

前山拓哉, 「フリッケゲル線量計」, 医学物理, 査読無, Vol.37 (2017) 99-106
DOI: doi.org/10.11323/jjimp.37.2_99

小野 薫, 藤本 幸恵, 林 慎一郎, 日置 一成, 宮沢 正則, 赤木 由紀夫, 廣川 裕, 「ポリマーゲル線量計を用いた 3 次元線量評価と臨床応用」, 医学物理, 査読無, Vol.37 (2017) 165-172
DOI: doi.org/10.11323/jjimp.37.3_165

渡邊 祐介, 水上 慎也, 江口 昂, 前山拓哉, 林 慎一郎, 寺崎 剛史, 山本 和正, 首藤 宣昭, 五味 勉, 「ポリマーゲル線量計を用いた高線量率 ¹⁹²Ir 線源の線量分布測定」, 医学物理, 査読無, Vol.37 (2017) 173-176
DOI: doi.org/10.11323/jjimp.37.3_173

櫻井 良憲, 内田 良平, 「ホウ素中性子捕捉療法におけるゲル線量計の利用」, 医学物理, 査読無, Vol.37 (2017) 190-194
DOI: doi.org/10.11323/jjimp.37.3_190

Kaoru Ono, Sachie Fujimoto, Shin-ichiro Hayashi, Kazunari Hioki, Masanori Miyazawa, Yukio Akagi, Yutaka Hirokawa, "Dosimetric Evaluation of the Respiratory Interplay Effect During VMAT Delivery Using IPAGAT Polymer Gel Dosimeter”, Med. Phys., 査読有, Vol.43 (2016) 3634
DOI: doi.org/10.1118/1.4956924

T. Furuta, T. Maeyama, K. L. Ishikawa, N. Fukunishi, K. Fukasaku, S. Takagi, S. Noda, R. Himeno, and S. Hayashi, "Comparison between Monte Carlo simulation and measurement with a 3D polymer gel dosimeter for dose distributions in biological samples”, Phys. Med.Biol. 査読有, 60 (2015) 6531-6546
DOI:
doi.org/10.1088/0031-9155/60/16/6531

Kaoru Ono, Sachie Fujimoto, Shin-ichiro Hayashi, Masanori Miyazawa, Yukio Akagi, Yutaka Hirokawa, "Dosimetric Evaluation of ArcCHECK and 3DVH System Using Customized Polymer Gel Dosimeter”, Med. Phys., 査読有, Vol.42 (2016) 3406

DOI: doi.org/10.1118/1.4924679

林慎一郎, 「三次元ゲル線量計」, 放射線化学, 査読無, Vol.100 (2015) 83-85
http://www.radiation-chemistry.org/kaishi/100pdf/100_83.pdf

Shin-ichiro Hayashi, Yoshinori Sakurai, Ryohei Uchida, Minoru Suzuki, Shuji Usui and Takahiro Tominaga, "Preliminary study of MAGAT polymer gel dosimetry for boron-neutron capture therapy", J. Phys.: Conf. Ser., 査読有, Vol. 573 (2015) 012074

DOI:

doi.org/10.1088/1742-6596/573/1/012074

Takahiro Tominaga, Munenori Yoshioka, Shin-ichiro Hayashi, Shuji Usui and Mitsutoshi Tada, "Availability of a containerless polymer gel detector and a gelatin container", J. Phys.: Conf. Ser., 査読有, Vol. 573 (2015) 012027

DOI:

doi.org/10.1088/1742-6596/573/1/012027

〔学会発表〕(計 26 件)

Takuya Maeyama, "MRI-based Gel Dosimeter for Heavy ion Beam Cancer Therapy", International Congress on Pure & Applied Chemistry (ICPAC) 2018, 2018 年 3 月 7 日 ~ 2018 年 3 月 10 日, 「Siem Reap, (Cambodia)」

Kaoru Ono, "Evaluation of Measurement-Guided 4D Dose Reconstruction with Motion as a Perturbation Using IPAGAT Polymer Gel Dosimeter", AAPM 59th Annual Meeting & Exhibition, 2017 年 7 月 10 日 ~ 2017 年 7 月 13 日, 「Denver (USA)」

Ryohei Uchida, "Investigation of applicability of polymer gel dosimeters with Li compounds to dosimetry in boron neutron capture therapy", The 9th Young Researchers' BNCT Meeting, 2017 年 11 月 13 日 ~ 2017 年 11 月 15 日, 「おうばくプラザ (京都府・宇治市)」

Shin-ichiro Hayashi, "Reversible radiochromic gel dosimeter based on polyvinyl alcohol-iodide complex", 8th Japan-Korea Joint Meeting on Medical Physics, 2017 年 9 月 15 日 ~ 2017 年 9 月 17 日, 「大阪大学 Convention Center (大阪府・吹田市)」

Kenichi Tanaka, "Investigation of ⁶Li compound suitable for beam component measurement using polymer gel detector for

BNCT", 8th Japan-Korea Joint Meeting on Medical Physics, 2017 年 9 月 15 日 ~ 2017 年 9 月 17 日, 「大阪大学 Convention Center (大阪府・吹田市)」

Yuto Murakami, "Survey on nuclide enhancing sensitivity of gel detector to epithermal neutrons for neutron capture therapy", 8th Japan-Korea Joint Meeting on Medical Physics, 2017 年 9 月 15 日 ~ 2017 年 9 月 17 日, 「大阪大学 Convention Center (大阪府・吹田市)」

Kaoru Ono, "Estimation of Measurement-guided 4D Dose Verification System Using Customized Polymer Gel Dosimeter", 8th Japan-Korea Joint Meeting on Medical Physics, 2017 年 9 月 15 日 ~ 2017 年 9 月 17 日, 「大阪大学 Convention Center (大阪府・吹田市)」

Nobuyoshi Tanki, "Parameter optimization for polymer gel dosimetry using 0.2T magnetic resonance imaging", 8th Japan-Korea Joint Meeting on Medical Physics, 2017 年 9 月 15 日 ~ 2017 年 9 月 17 日, 「大阪大学 Convention Center (大阪府・吹田市)」

林慎一郎, "ポリビニルアルコール - ヨウ素錯体を用いた可逆的 3 次元ラジオクロミックゲル線量計", 第 20 回 ヨウ素学会シンポジウム, 2017 年 9 月 8 日, 「千葉大学けやき会館 (千葉県・千葉市)」

内田良平, "リチウムを添加したポリマーゲル線量計による中性子線量分布測定に向けた基礎的検討", 第 14 回日本中性子捕捉療法学会学術大会, 2017 年 9 月 29 日 ~ 2017 年 9 月 30 日, 「郡山ビューホテルアネックス (福島県・郡山市)」

江口昂, "ポリマーゲル線量計を用いた前立腺癌高線量率小線源治療の線量分布測定", 第 45 回 日本放射線技術学会秋季学術大会, 2017 年 10 月 19 日 ~ 2017 年 10 月 21 日, 「広島国際会議場 (広島県・広島市)」

藤野圭介, "フラットベッドスキャナによる色素ゲル簡易線量解析システムの構築", 第 45 回 日本放射線技術学会秋季学術大会, 2017 年 10 月 19 日 ~ 2017 年 10 月 21 日, 「広島国際会議場 (広島県・広島市)」

Shin-ichiro Hayashi, "Preliminary Study for the Beam Component Separation Using Polymer Gel Detector Containing Lithium Compounds", 17th International Congress on Neutron Capture Therapy, 2016 年 10 月 2 日 ~ 2016 年 10 月 7 日, 「Missouri,

(USA)」

Ryohei Uchida, "Study of Polymer Gel Dosimeter Response in Neutron Irradiation Fields", 17th International Congress on Neutron Capture Therapy, 2016年10月2日～2016年10月7日, 「Missouri, (USA)」

Kenichi Tanaka, "Investigation of beam component monitor for BNCT using gel detector", 17th International Congress on Neutron Capture Therapy, 2016年10月2日～2016年10月7日, 「Missouri, (USA)」

林慎一郎, "ラジオクロミックゲル線量計における添加剤濃度の影響", 第59回放射線化学討論会, 2016年9月20日～2016年9月22日, 「高崎量子応用研究所(群馬県・高崎市)」

内田良平, "中性子照射場におけるポリマーゲル線量計の応答特性(2)", 第13回日本中性子捕捉療法学会学術大会, 2016年8月6日～2016年8月7日, 「東京大学伊藤国際学術研究センター(東京都・文京区)」

田中憲一, "Investigation of beam component measurement using polymer gel detector for neutron capture therapy 2", 第111回日本医学物理学会学術大会, 2016年4月14日～2016年4月17日, 「パシフィック横浜(神奈川県・横浜市)」

Shin-ichiro HAYASHI, "Preliminary study in the development of bone-equivalent polymer gel dosimeter", 15th INTERNATIONAL CONGRESS OF RADIATION RESEARCH (ICRR2015), 2015年5月25日～2015年5月29日, 「京都国際会館(京都府・京都市)」

Kaoru Ono, "Dosimetric Evaluation of ArcCHECK and 3DVH System Using Customized Polymer Gel Dosimeter", AAPM 57TH Annual Meeting & Exhibition, 2015年7月12日～2015年7月16日, 「Anaheim, (USA)」

②① 田中憲一, "中性子捕捉療法ビーム成分分布測定のためのポリマーゲル検出器の設計検討", 第12回日本中性子捕捉療法学会学術大会 2015年9月4日～2015年9月5日, 「神戸学院大学(兵庫県・神戸市)」

②② 内田良平, "中性子照射場におけるポリマーゲル線量計の応答特性", 第12回日本中性子捕捉療法学会学術大会 2015年9月4日～2015年9月5日, 「神戸学院大学(兵庫県・神戸市)」

②③ 田中憲一, "ポリマーゲル検出器を用い

た中性子捕捉療法ビーム成分測定法の検討", 第110回日本医学物理学会学術大会, 2015年9月18日～2015年9月20日, 「北海道大学(北海道・札幌市)」

②④ Shin-ichiro Hayashi, "Preliminary study of MAGAT polymer gel dosimetry for Boron-Neutron Capture Therapy", 8th International Conference on 3D Radiation Dosimetry, 2014年9月4日～2014年9月7日, 「Ystad (Sweden)」

②⑤ Takahiro Tominaga, "Availability of a container-less polymer gel detector and a gelatin container", 8th International Conference on 3D Radiation Dosimetry, 2014年9月4日～2014年9月7日, 「Ystad (Sweden)」

②⑥ 林慎一郎, "BNCTのためのポリマーゲル線量計の基礎特性(2)", 2014年秋季第75回応用物理学会学術講演会, 2014年9月17日～2014年9月20日, 「北海道大学(北海道・札幌市)」

〔その他〕

ホームページ等

<http://www.hirokoku.jp/hr/dosgel/index-j.html>

6. 研究組織

(1) 研究代表者

林 慎一郎 (HAYASHI Shin-ichiro)
広島国際大学・保健医療学部・准教授
研究者番号: 20238108

(2) 研究分担者

前山 拓哉 (MAEYAMA Takuya)
北里大学・理学部・助教
研究者番号: 70612125

(3) 連携研究者

櫻井 良憲 (SAKURAI Yoshinori)
京都大学・原子炉実験所・准教授
研究者番号: 20273534

石川 顕一 (ISHIKAWA Kenichi)
東京大学大学院・工学研究科・教授
研究者番号: 70344025