

RGB 解析法を用いた PVA-KI ゲル線量計の線量評価研究*

砂川 武義^{*1}, Glenn HARVEL^{*2}, 日紫喜 理子^{*1}, 吉橋 幸子^{*3}, 青木 祐太郎^{*1}

Dose evaluation study of PVA-KI gel dosimeter using RGB analysis method

Takeyoshi SUNAGAWA^{*1}, Glenn HARVEL, Chisako HISHIKI, Sachiko YOSHIHASHI,
and Yutaro AOKI^{*1} Faculty of Engineering, Department of Applied Nuclear Technology

In cancer treatment using radiation, radiation visualization is an essential technology for accurately evaluating dose distribution. In this research, we developed a new measurement system that combines a blue organic EL light source specialized for PVA-KI gel dosimeters and a digital camera using a macro lens. Using this system, we imaged a PVA-KI gel irradiated with X-rays. The captured image was converted to RGB values. By comparing the photon count results obtained by ultraviolet-visible spectroscopy with the B value of RGB values, we clarified the relationship between the B value and the absorbed dose.

Key Words : Chemical Dosimeter, Gel Dosimeter, RGB analysis, X-ray

1. 緒 言

近年、放射線がん治療の治療計画において吸収線量分布を正確に予測するために、コンピュータシミュレーションだけでなく人体成分等価なゲル状化学線量計を用いた線量評価が必要とされている。本研究室で開発した PVA-KI ゲルは、X線等の放射線照射により約 490 nm に吸収極大を持ち赤色に発色する。490 nm における吸光度測定において約 1 - 20 Gy の吸収線量領域で線形性を示すことが知られている¹⁾。一般的な紫外可視分光光度計を使用した測定においては、正確な吸光度の測定を用いた線量決定が可能であるが、空間的に線量が異なる線量分布測定を行うことが出来ない。本研究室では、PVA-KI ゲルを用いた線量分布測定を可能とする、PVA-KI ゲルに特化した線量評価手法研究を行ってきた²⁾。本研究では、490 nm に発光極大を持つ青色有機 EL パネルと市販のデジタルカメラを用いて撮影した画像を RGB 変換し、変換した RGB 値から線量評価するシステムの構築を試み、RGB 解析結果を用いて線量評価が可能であることを明らかにすることを目的とした。

2. 市販デジタルカメラを測定に使用するための問題点³⁾

一般的な市販のデジタルカメラは1枚の撮像素子上にマトリクス状のカラーフィルターを貼り合わせた単板式撮像素子を使用している。このカラーの単板式撮像素子は、Bayer フォーマットと呼ばれる R (赤), G (緑), B (青), G (緑) のカラーフィルターを2×2に配列し、カラーフィルターの4つの画素を1つのグループとしている。なお、各画素には R, G, B のいずれか1色のカラーフィルターが割り当てられており、1つの画素で1色の濃度だけを受け取る。これは、物理ピクセルと呼ばれ、周辺の物理ピクセルと色情報を補い合い、マトリクス計算によって色を特定し、RGBの3色を重ねた仮想ピクセルを作る。この仮想ピクセルの集まりが、画像と

* 原稿受付 2024年5月20日

^{*1} 工学部原子力技術応用工学科

^{*2} オンタリオ工科大学 (2000 Simcoe Street North Oshawa, Ontario, Canada L1H 7K4)

^{*3} 国立大学法人東海国立大学機構名古屋大学大学院 (〒464-8601 名古屋市千種区不老町)

E-mail: sunagawa@fukui-ut.ac.jp

して認識しているデータとなる．このことは、市販のデジタルカメラは、正確な被写体の画像を得る装置ではなく、人の目で見えて美しい画像を作る装置であることを意味している．それゆえ、デジタルカメラで撮影した画像データを基に RGB 値に変換したデータが PVA-KI ゲルの線量測定に使用可能かを明らかにする必要があると考える．本研究では、X 線照射した PVA-KI ゲルを対象にファイバーマルチチャンネル分光器と重水素・ハロゲン光源を組み合わせた測定装置を用いて光吸収測定を行い、本研究で得られた測定画像から得られる RGB 値との比較を通して検討を行った．

3. 実験方法

3. 1 PVA-KI ゲル

本研究で使用した KI 濃度 9 wt% の PVA-KI ゲルの作製に使用した薬品について以下に記す．部分ケン化 PVA（日本酢ビ・ポパール社製 JP20R 重合度 2000 ケン化度 86.5 - 89.0 mol%），KI（ナカライテスク製純度 99.5%），ホウ砂（松葉薬品製 ホウ酸ナトリウム $\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$ 粉末），果糖（日新製糖製 フルーツシュガー），および蒸留水である．PVA-KI ゲルの配合比は、PVA 5.5 wt%，KI 9.0 wt%，ホウ砂 3.6 wt%，および果糖 4.9 wt% である．

3. 2 RGB 測定システム

Fig.1 に RGB 解析のための撮影システムの写真を示す．遮光した箱の中に、490 nm の波長に発光極大を持つ青色有機 EL パネル（J&J. World 製）とデジタルカメラ（本体：Canon EOS M2（有効画素数約 1800 万画素 高精細 CMOS センサ使用）、レンズ：Canon EF 50mm F2.5 単焦点マクロ、ライフサイズコンバーターEF）、PVA-KI ゲルを封入した光路長 1 cm のディスポセルを設置し試料を封入したディスポセルを撮影した．ここで、デジタルカメラの設定はマニュアル設定でシャッタースピード 1/4 秒 ISO1600 であり、光路長 1 cm のディスポセルの前面と背面にピントが合うように被写界深度を設定した．シャッターはリモートによる電子シャッターを用いた．撮影画像は SD カードに保存された．画像解析は、撮影画像を Microsoft Visual Basic 6.0 により自作⁴⁾した RGB 変換ソフトを用いて RGB 変換した．

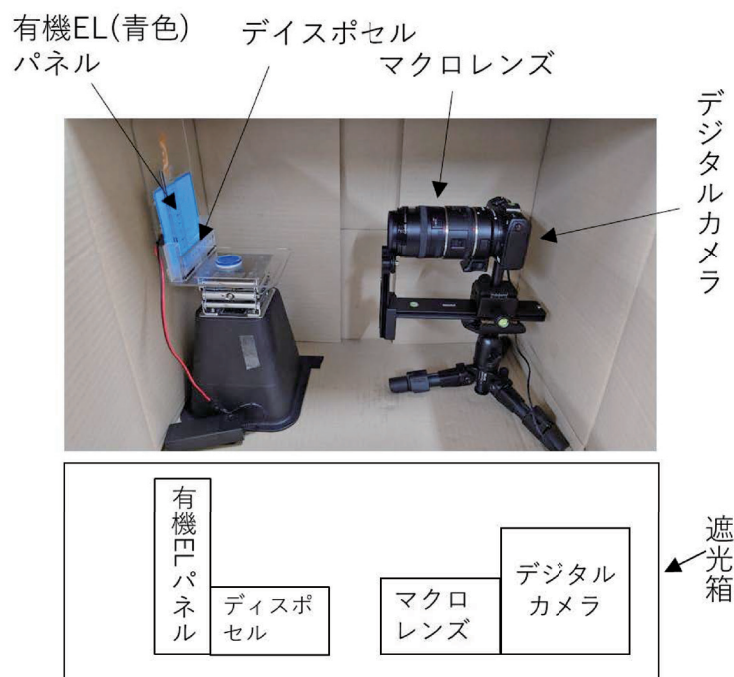


Fig.1 Photograph and schematic diagram of RGB measurement system

3. 3 光吸収測定

Fig.2 に光吸収測定装置を示す．本測定装置は、ファイバーマルチチャンネル小型分光器 BLACK-Comet UV-VIS Spectrometer（Stellarnet 社製）、セルホルダー、および重水素・ハロゲン光源 SL5（Stellarnet 社製）から構成される．RGB 測定後の PVA-KI ゲルを本装置により光吸収測定を行い、490 nm における光カウントを測定した．



Fig. 2 Photograph of the ultraviolet-visible spectroscopy device

Fig.3 に PVA-KI ゲルを光路長 1 cm のディスポセルに封入し X 線未照射 0 Gy と 20 Gy 照射した試料の光吸収測定結果を示す．ここで縦軸は光カウント、横軸は波長である．波長 490 nm（赤点線）において X 線照射された PVA-KI ゲルは光吸収し光カウントが減少することが分かる．吸収波長を基にモニターとして 490 nm に発光極大を持つ青色有機 EL パネルを選定した．

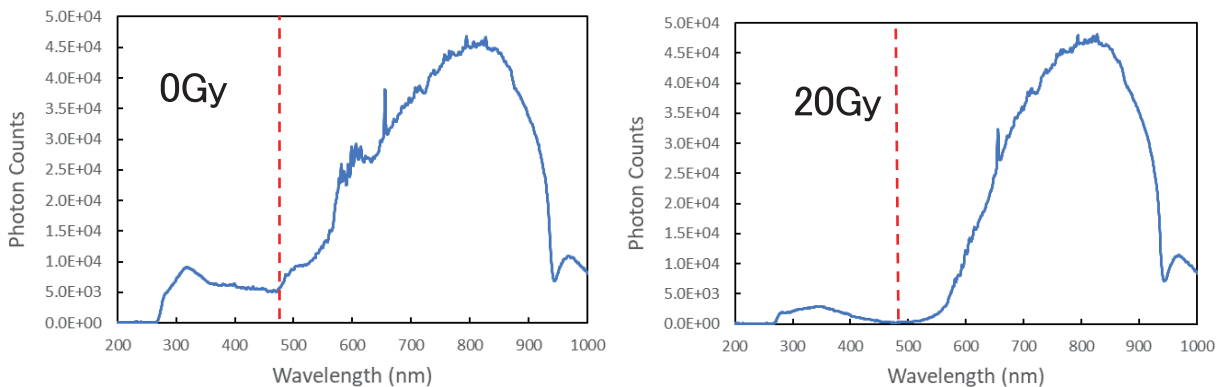


Fig. 3 Results of photon count measured using ultraviolet-visible spectroscopy device

3. 4 X 線照射

試料への X 線照射は X 線照射装置（日立社製 MBR-1520R-4）を使用した，照射条件は，フィルタ：Al 0.5 mm + Cu 0.1 mm を使用し，管電圧 150 kV，管電流 20 mA，線源からの距離 400 mm，線量率 2 Gy/min である．本照射において光路長 1cm のディスポセルに PVA-KI ゲルを充填し照射を行った．X 線照射装置の装備する電離箱線量計による空気カーマの測定で 2 Gy となる照射を行った．X 線照射後，RGB 値の測定と画像解析を行った．この操作を 10 回行い積算で 20 Gy まで照射を行った．

4. 結果と考察

4.1 PVA-KI ゲルの線量計としての特性

Fig.4に吸収線量に対するRGB解析値の結果を示す．ここでFig.5の左図は縦軸のRGB解析結果を等分目盛で示し、右図は対数値で示している．RGB値のB及びG値は吸収線量の増大と共に減少する傾向を示した．R値は吸収線量には依存せず、ほぼ一定の値を示した．Fig.4の左図のB値は0-8 Gyの吸収線量領域において線形性（点線）を示すが、8 Gy以上吸収線量域において大きく線形性から外れる傾向を示した．そこで、Fig.4の右図に示すように縦軸を対数値にとりB値と吸収線量との関係を見ると0-20 Gyの領域で線形性（点線）を示す結果が得られた．この結果はPVA-KIゲル線量計への γ 線照射における*in-situ*測定を行った結果と同様である⁵⁾．

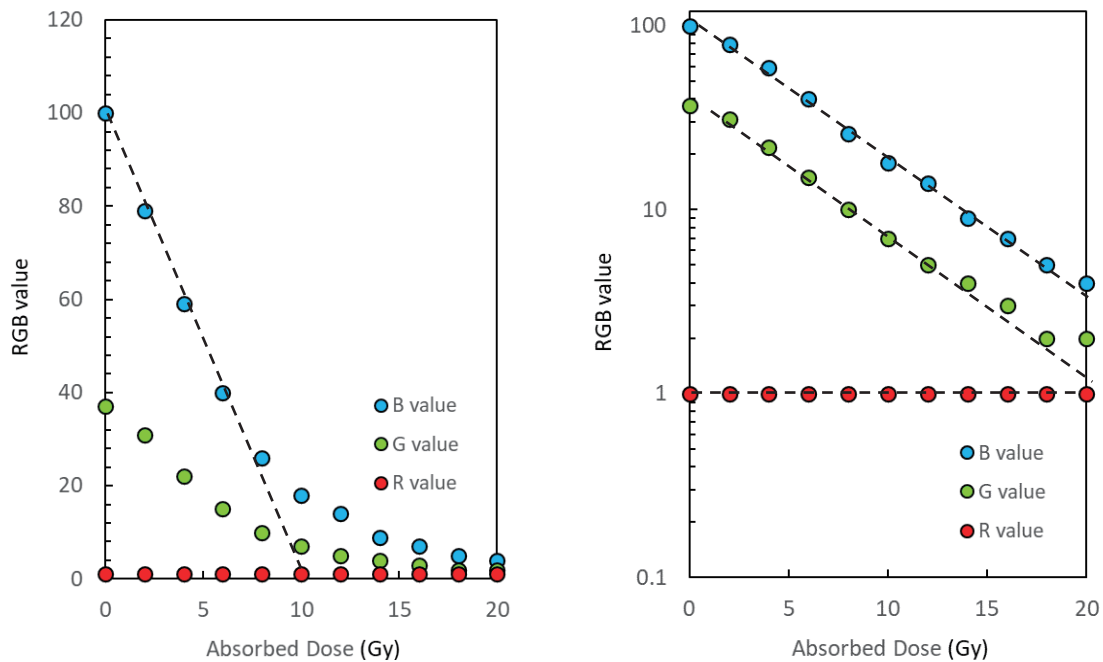


Fig.4 Result of absorbed dose dependence of RGB value

Fig.5にFig.2の光吸収測定システムを用いて測定した490nmにおける光吸収測定結果を示す．ここでFig.5の左図は縦軸の光カウントを等分目盛で示し、右図は対数値で示している．光カウントは吸収線量の増大と共に

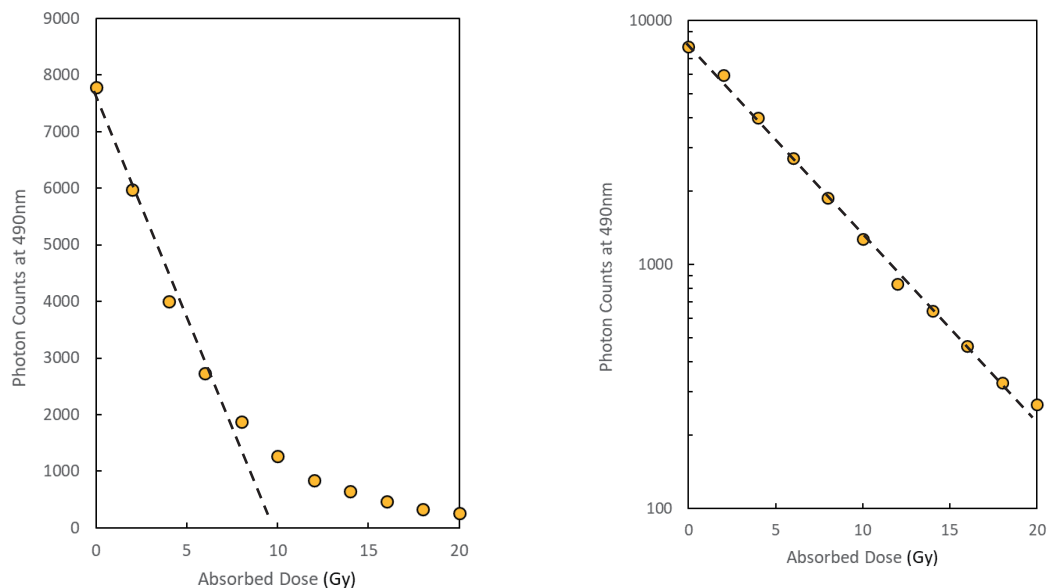


Fig.5 Result of absorbed dose dependence of photon counts at 490nm

減少する傾向を示した。Fig.5の左図の光カウントは0-8 Gyの吸収線量領域において線形性（点線）を示すが、8 Gy以上吸収線量域において大きく線形性から外れる傾向を示した。Fig.5の右図に示すように縦軸を対数値にとり光カウントと吸収線量との関係を見ると0-20 Gyの領域で線形性（点線）を示す結果が得られた。これは、Fig.4のB値と同様な傾向を示している、

Fig.6に490 nmにおける光カウントとRGB値のB値の値を示す。490 nmの光カウントとB値の間には、強い相関と線形性がみられた。ここで、相関係数は0.998であった。

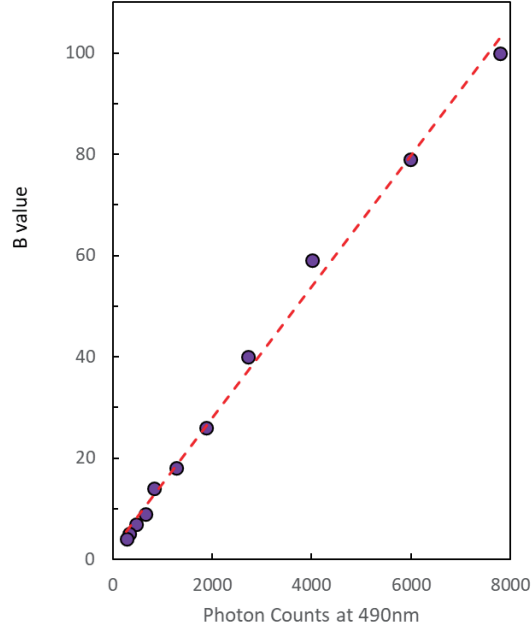


Fig.6 Comparison of photon counts at 490nm and B value

Fig.7にFig.6の結果を基にRGB値のB値および光カウントを式1に示す Lambert – Beer 則⁹⁾を用いて物理量である吸光度に変換した結果を示す。ここで、式1の I_0 は0 GyにおけるRGB値のB値および光カウントであり、 I は2-20 GyのRGB値のB値および光カウントである。

$$A = \log_{10} \frac{I_0}{I} \quad (1)$$

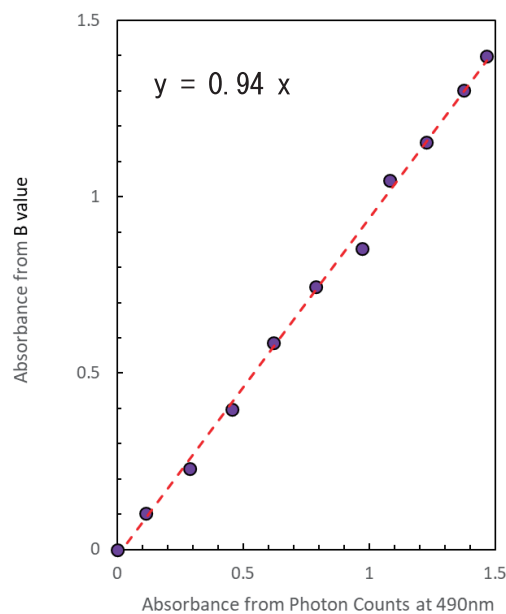


Fig.7 Comparison of absorbance from photocount at 490nm and absorbance from B value

Fig.7の結果より、光学的手法である光吸収法で得られた吸光度と市販のデジタルカメラで撮影した画像データを基にRGB値に変換したデータをプロットした図の傾きは0.94であった。このことは、市販のデジタルカメラを用いて、光吸収法とほぼ同等に物理量である吸光度を求めることが可能であることを示唆しており、吸光度と吸収線量の関係から線量分布を明らかにすることが可能であると考ええる。

5. 結 言

本研究では、490 nmに発光極大を持つ青色有機ELパネルと市販のデジタルカメラを用いてPVA-KIゲルの線量計の線量分布評価を行う手法の構築を試みた。市販のデジタルカメラで撮影した画像をRGB変換し、変換したRGB値のB値を用いて物理量である吸光度に変換し、光吸収法から求めた吸光度と比較した結果から、市販のデジタルカメラを用いて線量評価を行うことが可能であることを明らかにした。

文 献

- (1) 砂川, 青木「可逆的ラジオクロミックゲル線量計の開発」放射線化学 112号 (2021) p.p.53-60
- (2) 砂川, Harvel, 青木, 柴岡, 速水, 田口, 長澤, 畑下, 久米, 佐倉「PVA-KIゲル線量計を用いた線量評価技術開発」福井工業大学研究紀要 第49号 (2019) p.p. 93-98
- (3) 安藤幸司「カメラとレンズのしくみがわかる光学入門」株式会社インプレス (2019) p.p. 97-99
- (4) 松田猛「Visual Basic 6.0 300の技」技術評論社 (1999) p.p.170-171
- (5) 砂川, 吉橋, HARVEL, 青木「PVA-KIゲル線量計への γ 線照射におけるin situ測定研究」福井工業大学研究紀要 第53号 (2023) p.p.46-51
- (6) 勝村, 工藤「原子力工学 放射線化学」丸善 (2020) p.p.35-36

(2024年8月2日受理)