

PVA-KI ゲル線量計を用いた線量評価技術開発*

砂川武義^{*1}, Glenn HARVEL^{*2}, 青木祐太郎^{*1}, 柴岡 龍^{*1}, 速水醇一^{*3}, 田口光正^{*4}, 長澤尚胤^{*4},
畑下昌範^{*5}, 久米 恭^{*5}, 佐倉俊治^{*6}

Development of Dose Evaluation Technology using PVA-KI Gel Dosimeter

Takeyoshi SUNAGAWA^{*1}, Glenn HARVEL, Yutaro AOKI, Ryu SHIBAOKA,
Jun-ichi HAYAMI, Mitsumasa TAGUCHI, Naotsugu NAGASAWA, Masanori HATASHITA,
Kyo KUME, and Toshiharu SAKURA

^{*1}Faculty of Engineering Department of Applied Nuclear Technology

Cancer treatment using radiation, which has less impact on the human body, will play an increasingly important role in Japan in the super-aged society. Therefore, in cancer treatment using radiation, visualization of radiation strength and distribution is an essential technique for accurate evaluation of dose distribution. Chemical dosimeters have been researched and developed at various research institutes, but have not been put into practical use due to issues such as chemical sensitivity, safety, cost and processing. In this laboratory, we developed a low-cost PVA-KI gel dosimeter (hereinafter PVA-KI gel) that can be manufactured at low cost using a PVA (polyvinyl alcohol) aqueous solution with a KI (potassium iodide) added component. Currently, UV-visible spectrophotometer is used for measurement of PVA-KI gel which requires expensive equipment and cannot easily provide dose distribution. In order to use PVA-KI gel that can be manufactured at low cost widely, development of a photometric measurement device specialized for PVA-KI gel is desired. In this study, we developed gel analysis software using a measuring device combining an organic EL panel and a digital camera in Visual Basic, to develop a system that can measure the absorbed dose of X-ray irradiation to PVA-KI gel.

Key Words : Chemical Dosimeter, Gel Dosimeter, Radiation Therapy

1. 緒 言

人体に負担が少ない放射線を使用したがん治療は、超高齢社会の日本において、今後は増々重要な役割を果たすと考える。現在、放射線を使用したがん治療において、正確に人体内部の病巣のみへ正確に放射線照射をする為に、治療計画に沿って人体へ照射するまでに治療時に実際に使用する放射線を用いて容易に正確な線量分布を評価する手法の開発が求められている。特に線量分評価に関しては人体組成に近い線量計が理想的であり、一般的な放射線治療において1回に照射する放射線の吸収線量は約2Gyであるため、2Gy以上の吸収線量において測定できる水等価なゲル状化学線量計（ゲル線量計）が様々な研究機関で研究・開発が行われている。しかし、反応性、安全性、コストや処理等の課題により実用化には至っていない。本研究室では、PVA(ポリビニルアルコール)水溶液とKI(ヨウ化カリウム)を使用した低コストで作製可能なPVA-KIゲル線量計(以後、PVA-KIゲル)を開発した。¹⁾現在、PVA-KIゲルの測定は、紫外可視分光光度計が使用されている。低コストで作製可能なPVA-KIゲルを汎用的に使用するためには、PVA-KIゲルに特化した測定装置の開発が望まれている。本研究では、有機ELパネル及びデジタルカメラを組み合わせた測定装置及びVisual Basicを使用したゲル解析ソフトを作製し、PVA-KIゲルへのX線照射による吸収線量を測定できるシステムの開発を試みた。

* 原稿受付 2019年2月28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} 京都大学名誉教授 (〒617-0824 京都府長岡京市天神)

^{*4} 国立研究開発法人量子科学技術研究開発機構高崎量子応用研究所 (〒370-1292 群馬県高崎市綿貫町1233)

^{*5} 公益財団法人若狭湾エネルギー研究センター(〒914-0192 福井県敦賀市長谷64-52-1)

^{*6} 株式会社 NUCLEAR TECHNOLOGY (〒919-1145 福井県三方郡美浜町金山第13号22-5)

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

2. PVA-KI ゲル測定システム

Figure 1にKI 濃度 9wt% PVA-KI へ吸収線量 2Gy~12Gy の X 線を照射したときの紫外可視分光光度計により測定した吸光度の結果を示す。ここで、縦軸は吸光度、横軸は波長である。PVA-KI ゲルの吸光度は、490nm 付近に極大を示し、吸収線量の増大と共に増加する傾向を示す。

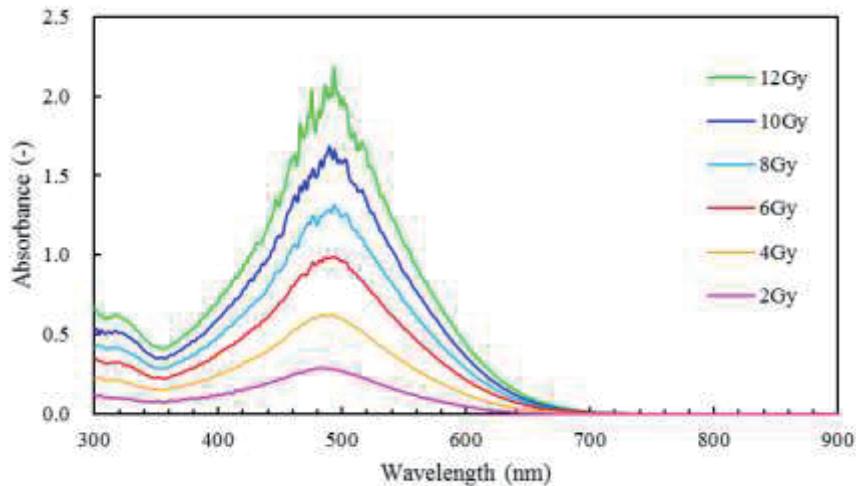


Fig.1 Result of absorption spectrochemical analysis

PVA-KI ゲル線量計に特化した測定装置のアイデアは、490nm に極大を持つ光源を用いて、放射線照射による PVA-KI ゲルの 490nm の光吸収にともなう PVA-KI ゲルの色の変化をデジタルカメラで撮影し、撮影した画像を RGB 値に数値化し、RGB 値と吸収線量との関係を明らかにする事により、吸収線量測定を可能とする測定システムの構築を目指すものである。ここで、線量測定において、物質への放射線の吸収線量は距離に依存して変化する為、広い領域を測定出来るシステムが望まれる。そのため、光源として均一に PVA-KI ゲルを照らす事が可能な面光源の使用が望まれる。現在、面光源として、電池で駆動する有機 EL パネルが容易に入手できる。本研究では、白色、青色、緑色、赤色の 4 種類の有機 EL パネルを入手し、ファイバーマルチチャンネル分光器を用いて、光スペクトル測定を行った。Figure 2 に各有機 EL パネルの発光スペクトルを示す。ここで、縦軸はスペクトル強度、横軸は波長である。点線は PVA-KI ゲルの吸収波長である 490nm を示す。

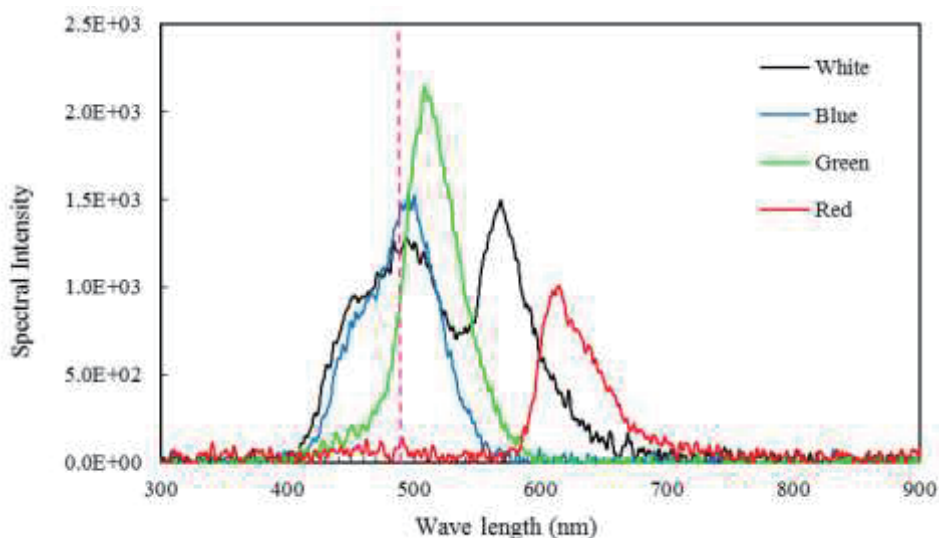


Fig.2 Emission spectrum of organic EL

Figure2 の発光スペクトルの測定結果において、各有機 EL の発光スペクトルは、白色は 490nm 及び 570nm、青色は 490nm、緑色は 520nm、赤色は 620nm に極大を示す。これらの結果より、490nm に極大を持つ白色もしくは青色の有機 EL パネルを使用良いと考える。ここで、青色の有機 EL パネルの使用は、カメラ撮影において、吸収線量の増大と共に暗くなり、距離の指標として PVA-KI ゲルと共に撮影する定規の目盛を識別する事が困難になる。このことから、PVA-KI ゲルに吸収されない 570nm の発光を併せ持つ白色の有機 EL パネルの使用が良いと考えた。

3. 実験方法

3.1 測定装置の作製

使用器具：有機 EL パネル（白色，赤色，青色，緑色）（G-take 社 パネルサイズ 10cm×10cm），カメラ本体（Canon kiss X5），レンズ（Canon EPS 18-55mm），リモートスイッチ（Canon RS-60ES），アイピースカバー（Canon EW-100DBIII），三脚（LPL WALKIE POD mini mini），カメラ用水準器，外部電源（AC アダプターキット ACKE-8），X 線照射装置（日立社製 MBR-1520R-3）

使用材料：CD ケース，アクリル板（10mm 角），アクリル板（厚さ 1mm），ダンボール板，定規，厚紙

測定試料：KI 濃度 9wt% PVA-KI ゲル

Figure 3 に作製した測定装置の写真を示す。Figure 4 に測定装置の概略図を示す。測定装置は段ボール製の箱に収納することにより遮光されている。



Fig.3 Photograph of measuring device

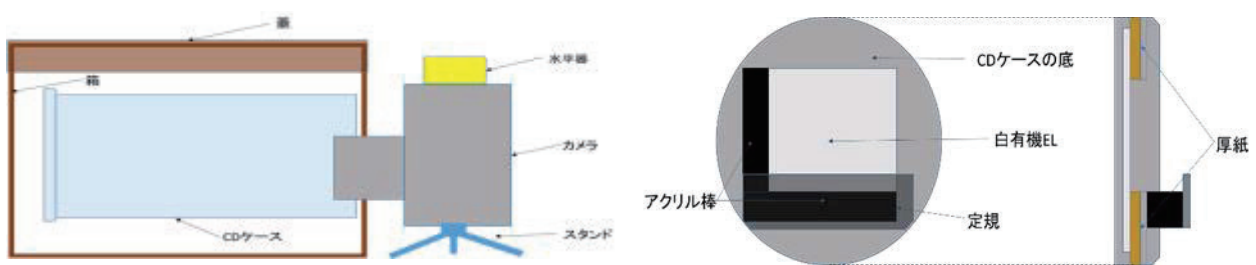


Fig.4 Schematic of measuring device

本研究で使用した矩形セルは PMMA（アクリル）を材料とし PVA-KI ゲルの充填部を 50mm×50mm×10mm とし作製した。測定装置のセル固定部では試料を定位置で撮影するためにアクリル棒を貼り、定規と共に撮影することによって、画像と距離との関係が分かるようにした。カメラの設定は、カメラレンズを 18mm に合わせ、カメラ本体の設定は、ISO 感度を 100、ホワイトバランスは RGB 値を精度よく測るために白色有機 EL を撮影した時、B 値が最大 250 付近になるように設定した。又、通常のシャッタースピードでは有機 EL の光のちらつきを撮影してしまい RGB 値に影響を与えた為、シャッタースピードを 1/6 とし、記録画素数は 17900 万画素とした。撮影時の手振れをなくすためにリモートスイッチを用いて撮影した。さらに、カメラ本体のファインダー接眼窓から光が入る事を防ぐためにアイピースカバーを取り付け遮光した。

3.2 PVA-KI ゲル解析ソフトの作製

3.1 の測定装置で撮影した画像を解析し、RGB 値を求めるソフトウェアを Visual Basic2012 により作製した。²⁾本ソフトは、bmp, jpg, gif の画像規格に対応し、画面上マウスの位置座標を示す事により、同一地点のデータの取得を可能としている。測定したデータはクリップボードを介して、Microsoft Exel のワークシートに R, G, B の値を個別に直接貼り付けることを可能とした。

4. 結果と考察

4.1 PVA-KI ゲルの吸収線量に対する RGB 値の測定結果

9wt%PVA-KI ゲルに対する X 線照射における吸収線量と RGB 値との関係を知るために、9wt%PVA-KI ゲルを矩形セル (50mm×50mm×10mm) に封入し、PVA-KI ゲルに X 線照射装置を使用し吸収線量 2Gy~14Gy の領域で 2Gy ずつ照射した。ここで、吸収線量は X 線照射装置に付属する電離箱を用いて測定した。照射の条件は、管電圧：150kV、管電流：20mA、フィルタ：Al 0.5mm + Cu 0.1mm、線量率：2Gy/min、矩形セルは Figure 5 に示すように寝かせた状態で設置した。Figure 6 に吸収線量 2Gy~14Gy の試料を本研究で作製した測定装置を用いて撮影を行った画像データを示す。吸収線量の増大と共に PVA-KI ゲルの色が赤くなり、10Gy 以上では目視において、色の変化が見られない。ここで、赤色の発色は PVA-KI ゲルの KI が X 線照射により酸化され、 I_2 を生成し、 I_2 と KI からなる I_3^- と部分ケン化型 PVA の酢酸基との錯体形成によるものである。

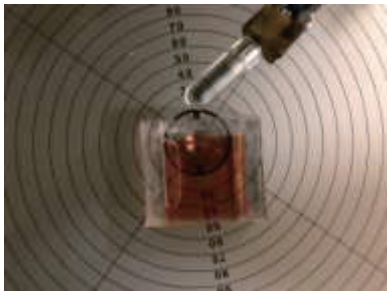


Fig.5 Photograph of X-ray irradiation to PVA-KI gel

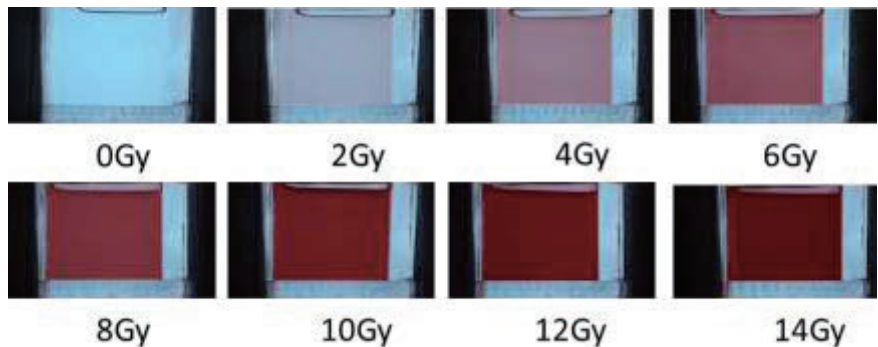


Fig.6 Image of X-ray irradiated PVA-KI gel

Figure 7 に Figure 6 の画像を解析用ソフトを用いて RGB 値に変換した結果を示す。ここで、縦軸は RGB 値、横軸は吸収線量である。

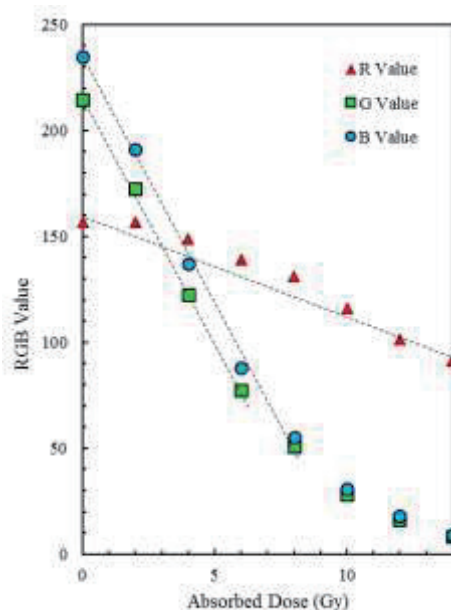


Fig.7 RGB value for absorbed dose of PVA-KI gel

Figure 7において、R 値は傾きが小さく G 値は 6Gy まで、B 値は 8Gy までの線形性があった。このことから B 値は、吸収線量との比例関係が R 値と G 値とに比べて優位であることが分かった。

4.2 PVA-KI ゲルへの X 線照射による吸収線量測定結果

Figure 7 の結果を用いて、Figure8 に示すように矩形セルを立てた状態で上方から X 線照射を行い、距離の変化による吸収線量の測定を行った。ここで、X 線照射装置の設定は 4.1 と同じである。X 線照射装置内の電離箱のプロローブをゲルの液面の高さに合わせ、電離箱のプロローブの位置での吸収線量が 8Gy になるように X 線照射を行った。Figure 9 に画像データを示す。PVA-KI ゲルとセルの間に空気層があり、ゲルの液面から下方にかけて赤色が薄くなっている。ここで、画像の下部に示す目盛は、距離の指標として PVA-KI ゲルと共に定規を置いて撮影したものである。

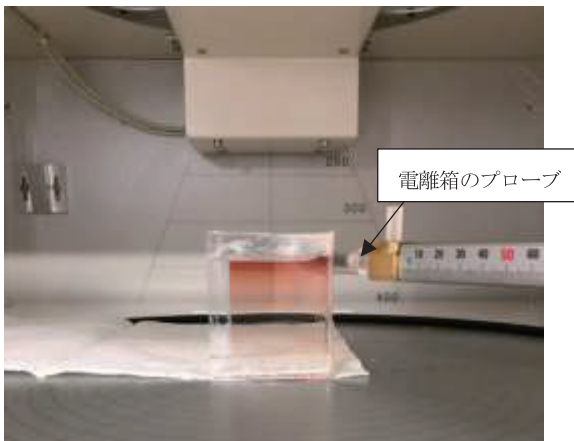


Fig.8 Photograph of X-ray irradiation to PVA-KI gel

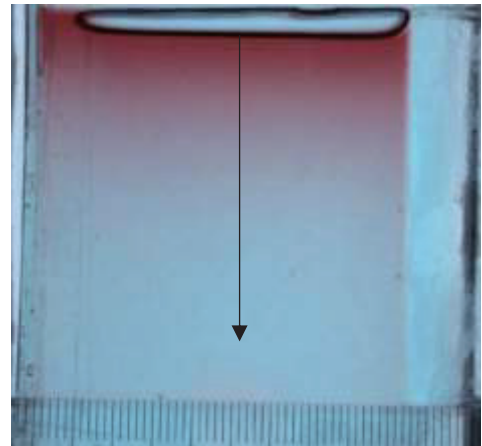


Fig.9 Image of X-ray irradiated PVA-KI gel

Figure 10 に Figure 9 の画像を解析ソフトを用いて矢印の領域で RGB 値に変換した結果を示す。ここで、縦軸は距離 (638 Pixel/cm)、横軸は RGB 値である。R 値は距離のほぼ一定であり、B 値は G 値に比べ距離に対して変化量大きい事が分かる。この結果は、吸収線量の増大と共に Figure1 に示す 490nm 付近の吸光度が増加しそれに伴い Figure2 に示す白色 EL の発光スペクトルの 490nm 付近の強度が減少し B 値と G 値もそれに伴い減少することを示唆している。しかし、白色 EL の 570nm 付近の発光スペクトルの強度は吸収されないため R 値は変化しないことを意味する。

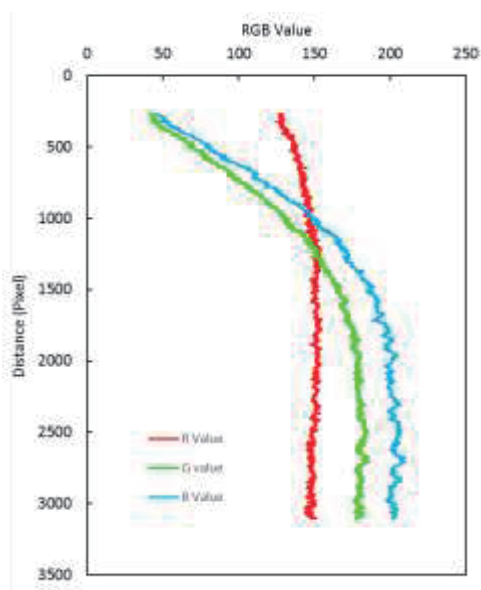


Fig.10 Distance for RGB value of PVA-KI gel

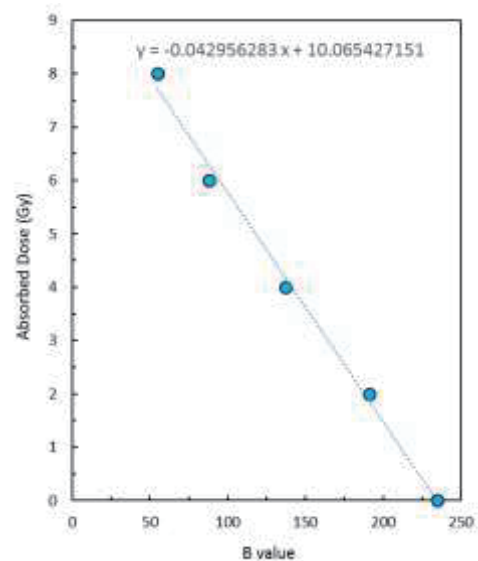


Fig.11 Absorbed dose for B value of PVA-KI gel

次に B 値の結果を用いて、吸収線量に変換する事を試みた。Figure 11 に Figure 7 の B 値の結果の x 軸と y 軸を反転させ、線形性が見られる 0Gy~8Gy の領域を多項式で近似した結果を示す。

Figure12 に Figure10 の B 値と Figure11 の B 値が重なるように、それぞれの結果を重ね合わせた図を示す。ここで、距離を Pixel から cm に変換した。Figure13 に Figure12 の結果を Figure9 の画像に距離を基に重ね合わせた吸収線量分布の結果を示す。Figure8 に示す電離箱のプロープの位置が 8Gy であり、本研究結果と良い一致を示している。

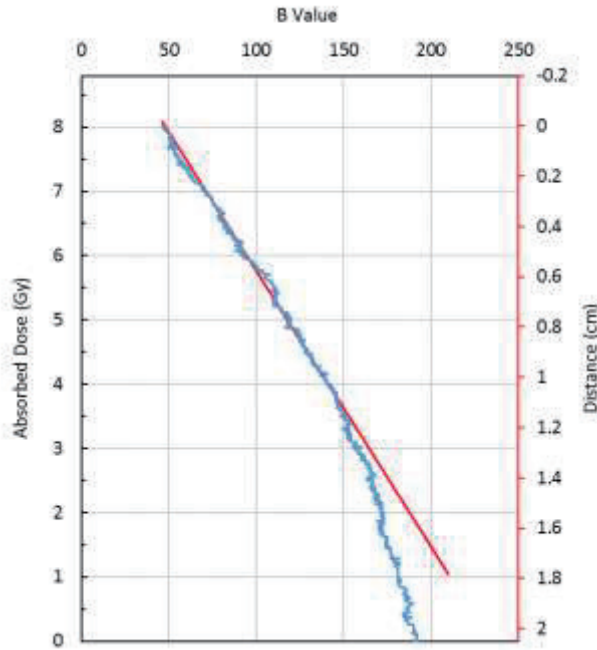


Fig.12 Relationship between absorbed dose and distance

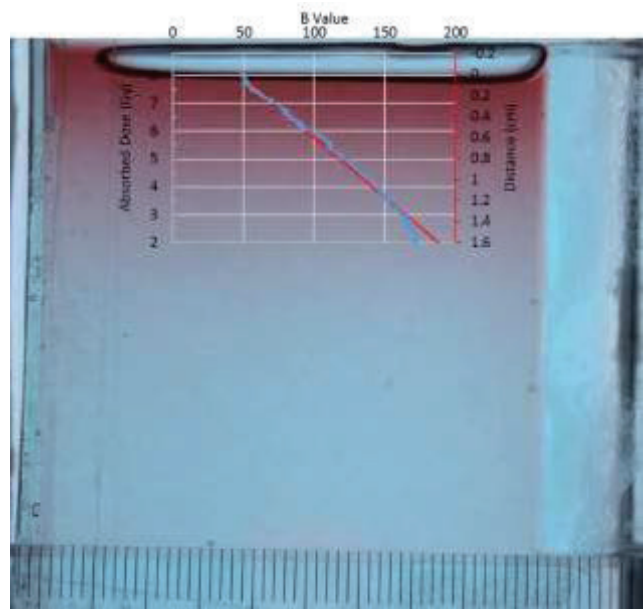


Fig.13 Absorbed dose distribution by X-ray irradiation

5. 結 言

本研究は、PVA-KI ゲルに特化した測定システムを構築し、PVA-KI ゲルへの X 線照射による吸収線量の測定を可能とする事を確認した。

文 献

- (1) 砂川武義, Glenn HARVEL, 青木祐太郎, 梅田昌幸, 速水醇一, 榊原和久, 五東弘昭, 蛭名武雄, 田口光正, 長澤尚胤, 吉橋幸子, 畑下昌範, 久米 恭, 佐倉俊治 福井工業大学研究紀要 第 47 号 (2017), pp.105-110.
- (2) 藤本 邦昭「ゼロからはじめる Visual Basic 入門」森北出版株式会社 (2012)

(2019 年 4 月 26 日受理)