

第8回 3Dゲル線量計研究会

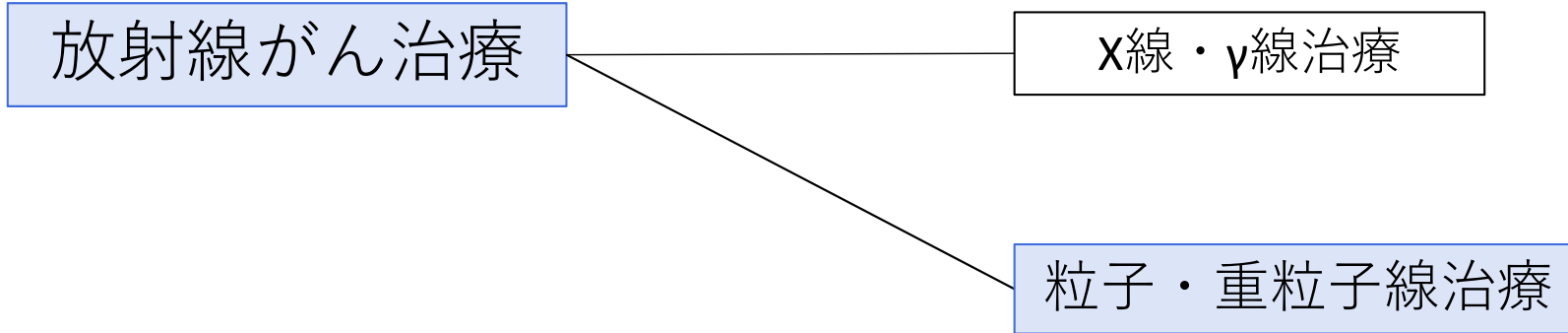


PVA-KIゲル線量計を用いた 線量評価技術開発

○青木 祐太郎¹ Glenn HARVEL² 柴岡 龍¹ 田口光正³ 長澤尚胤³ 畑下昌範⁴
久米 恭⁴ 佐倉俊治⁵ 砂川 武義¹

¹福井工業大学 ²オンタリオ工科大学 ³QST高崎 ⁴若狭湾エネルギー研究センター
⁵ニュークリアテクノロジー





ブラッグピークの特徴

より高い**治療効果**と**副作用の軽減**

	保険適用になったがん
陽子線治療	小児がん (2016年) 骨軟部腫瘍 頭頸部がん 前立腺がん
重粒子線治療	骨軟部腫瘍 頭頸部がん 前立腺がん

2018年4月

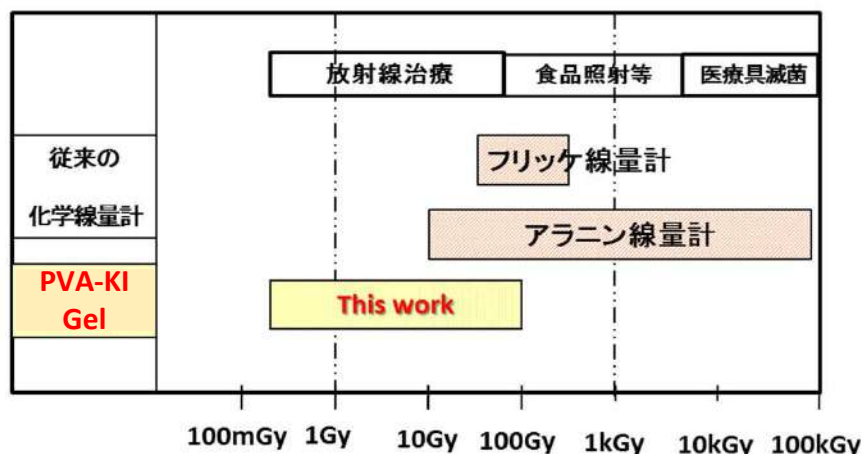
今後公的保険適用の拡大とともに施設増加が予想

低コスト、扱いが容易、高感度な線量計、インジケーターが必要

ポリビニルアルコール (PVA) と
ヨウ化カリウム (KI) の呈色反応を利用した
新規ゲル線量計 **PVA-KIゲル** を開発

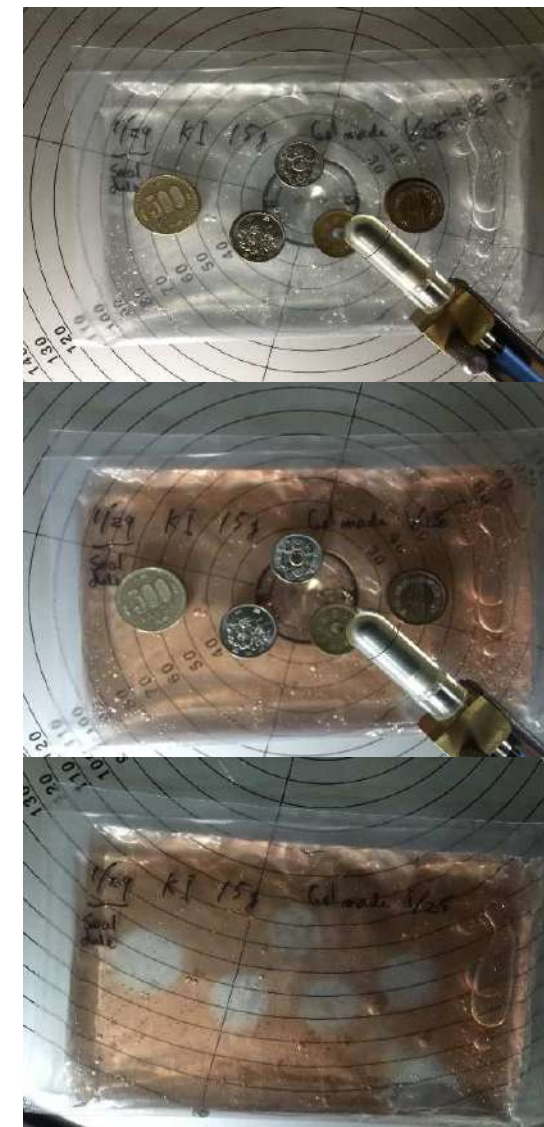
高感度 取り扱い・作製が容易
安全な廃棄処理 再利用性

X線、Co-60ガンマ線、陽子線、He粒子線に対し感度を持つ



PVA-KIゲル線量計に対する粒子線の効果を確認する

- He粒子によるブラッグピークの確認
- RGB解析からの評価手法の検討
- モンテカルロシミュレーション (PHITS) との比較



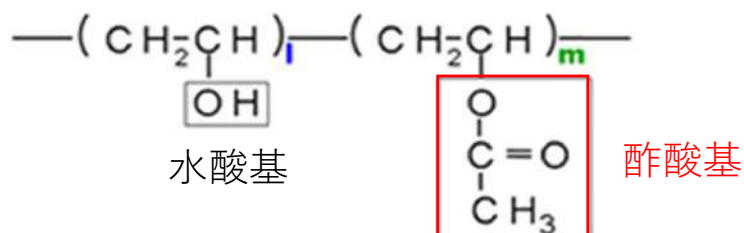
PVA-KIゲルの呈色原理

ポリビニルアルコール(PVA)

+ ヨウ化カリウム(KI)

部分ケン化PVA (ケン化度87.3mol%)

KI水溶液の酸化反応

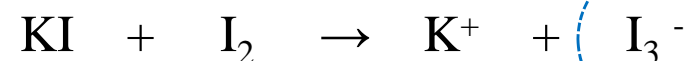
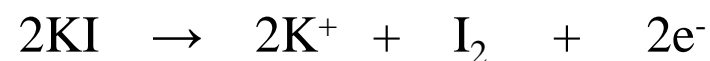


重合度・ケン化度の定義

重合度 : $l+m$

ケン化度 : $[l/(l+m)] \times 100$ (mol%)

酢酸基 : 集团的(13~14)に存在



酢酸基とポリヨウ素との錯体形成による赤の呈色反応

試料組成

10wt% 部分ケン化PVA水溶液

(重合度：2000 ケン化度：87.3mol%)

ヨウ化カリウム (KI)

ホウ砂糖液 (ホウ砂10wt% + 果糖13.6wt% + 水)

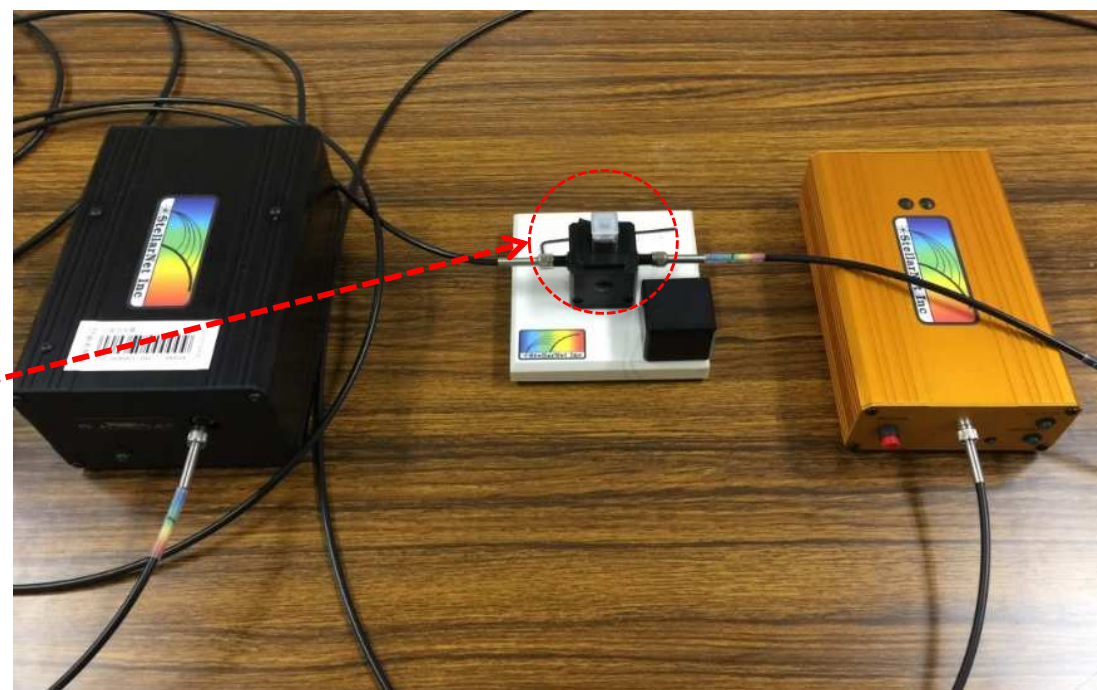
吸光度測定 300~900nm領域

PVA-KIゲルを入れる



ディスポーザブルセル

光路長 10mm



(Black-Comet spectrometer StellarNet社製)

X線照射実験

福井工業大学

日立社製 MBR-1520R-3

照射条件

管電圧：150kV

管電流：20mA

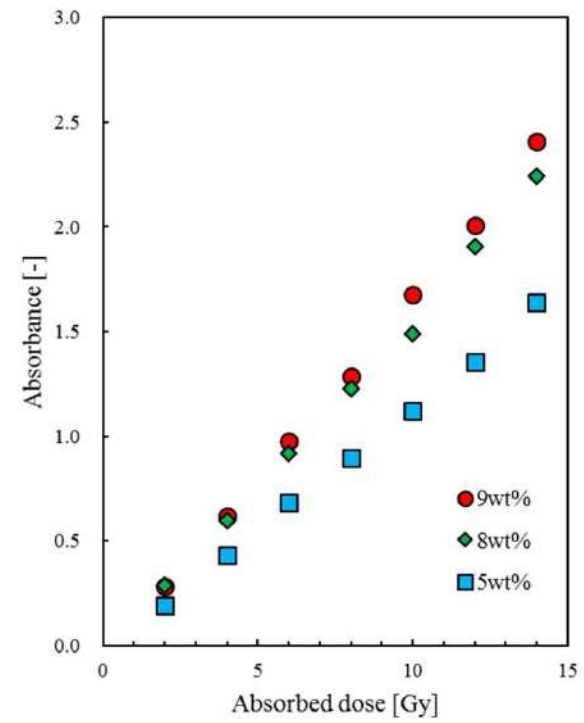
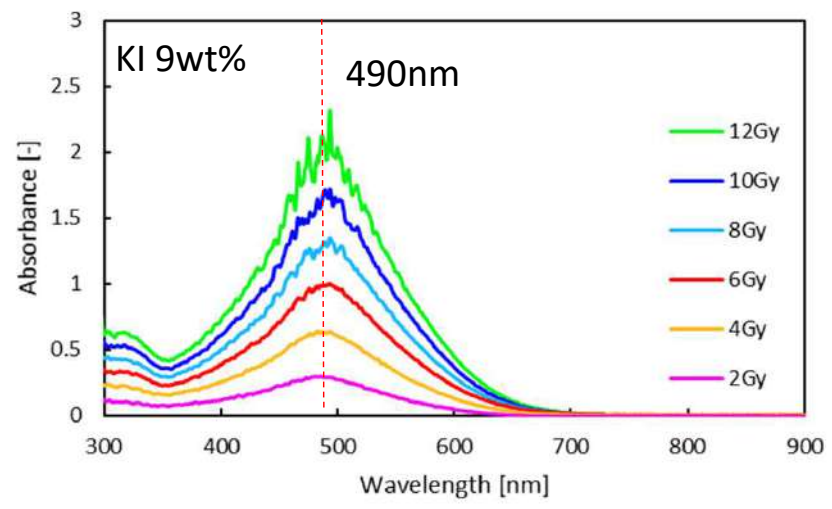
フィルタ：Al 0.5mm + Cu 0.1mm

線量率：2Gy/min

実効エネルギー：約48keV

吸収線量の増加と共に色が濃くなる

目視で確認



吸光度は吸収線量に対し、比例関係を示す

PVA-KIゲル撮影装置・RGB測定

PVA-KIゲル撮影装置

X線照射

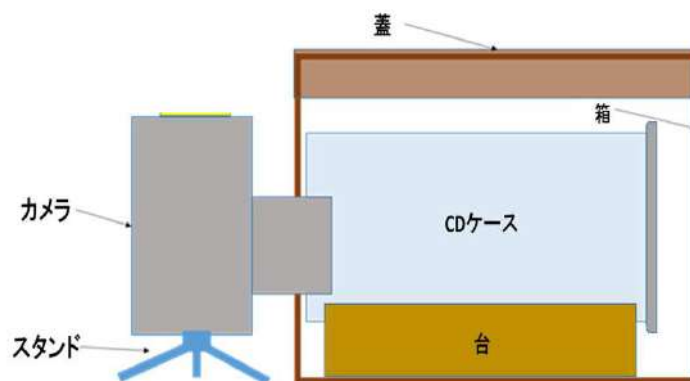
照射条件

管電圧：150kV

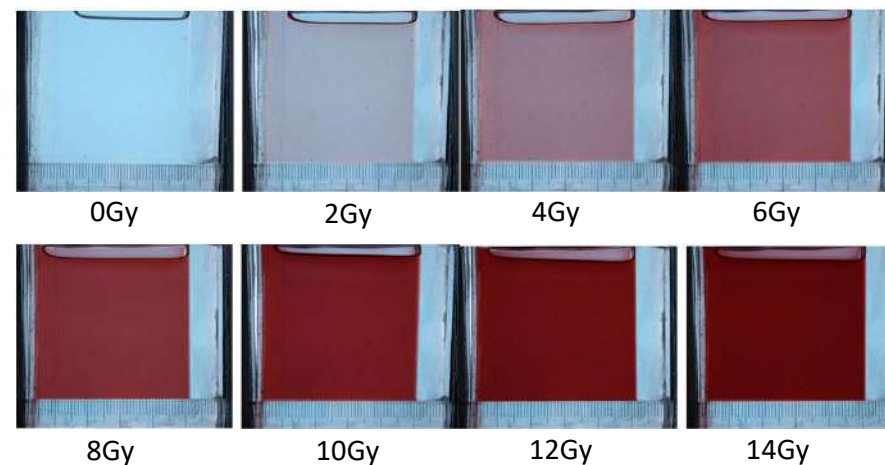
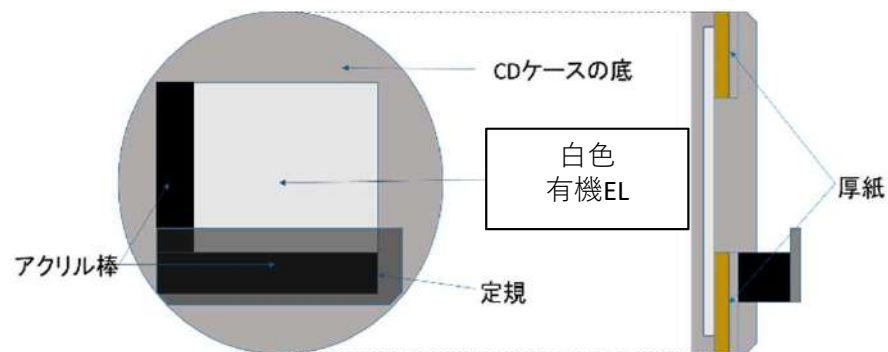
管電流：20mA

フィルタ：Al 0.5mm + Cu 0.1mm

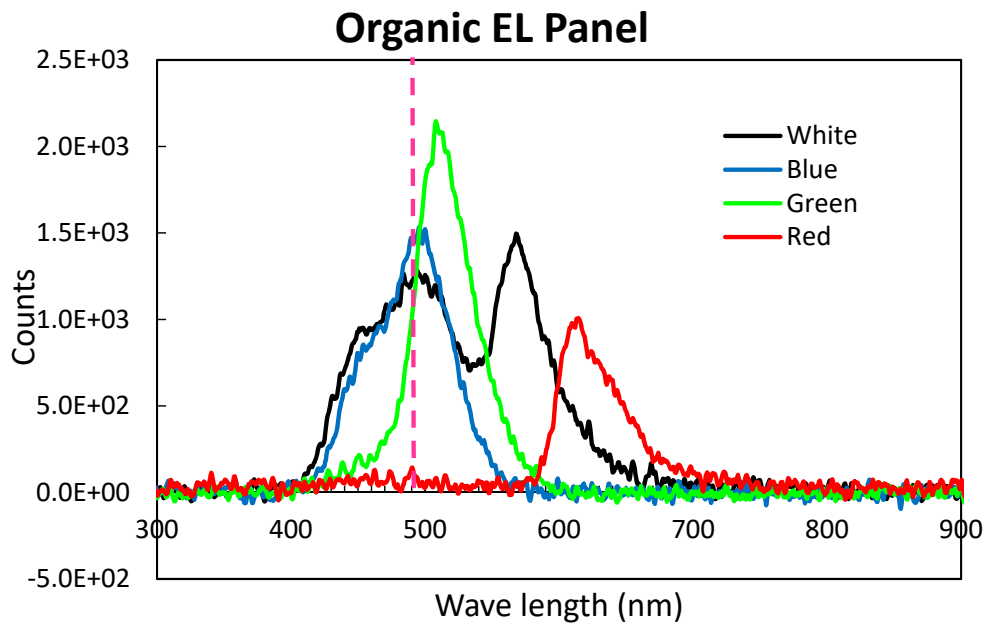
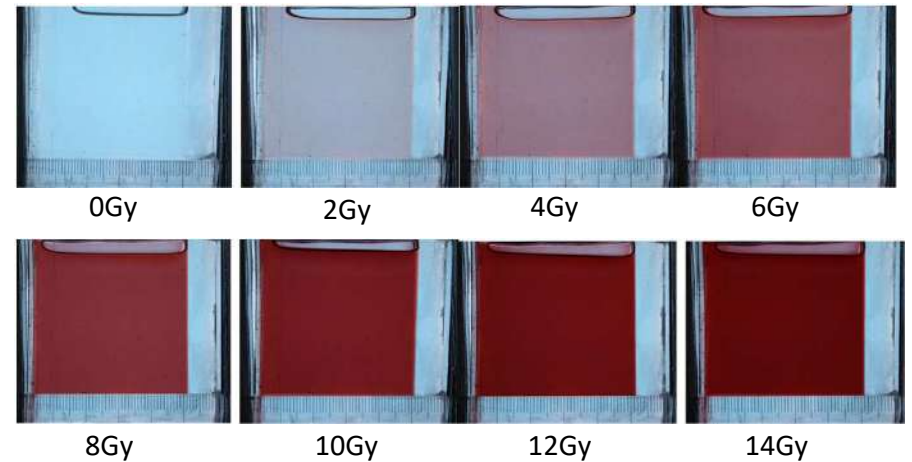
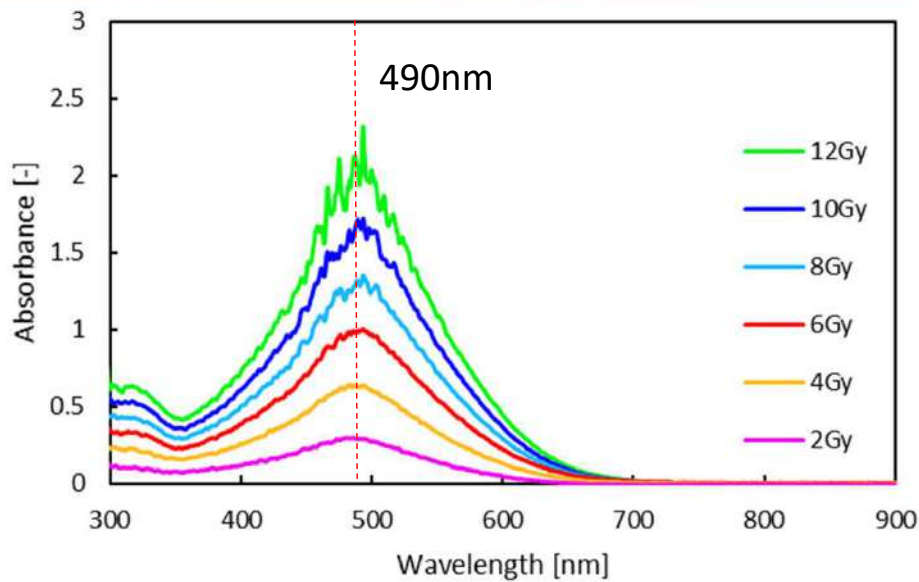
線量率：2Gy/min



カメラ(Canon kiss X5)
レンズ(Canon EPS 18-55mm)



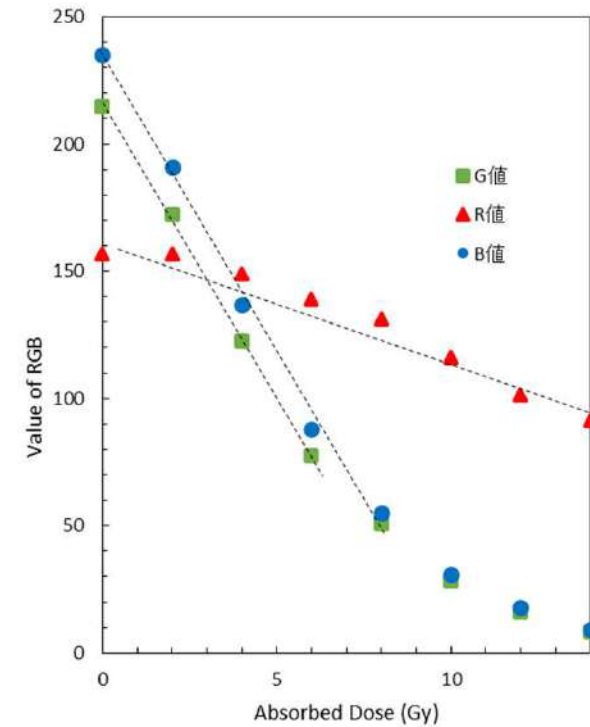
RGB測定



有機ELパネル
(電池ボックスセット)
G-take社販売

パネルサイズ：
10cm × 10cm

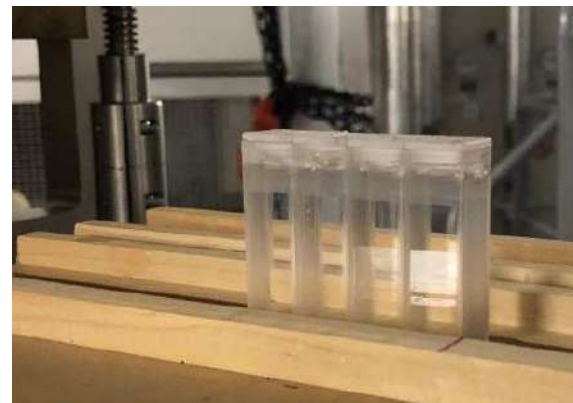
単三電池 2本



RGB値は吸収線量に対し、比例関係を示す

He粒子照射実験

若狭湾エネルギー研究センター



He beam
220MeV



多目的シンクロトロン・タンデム加速器(W-MAST)

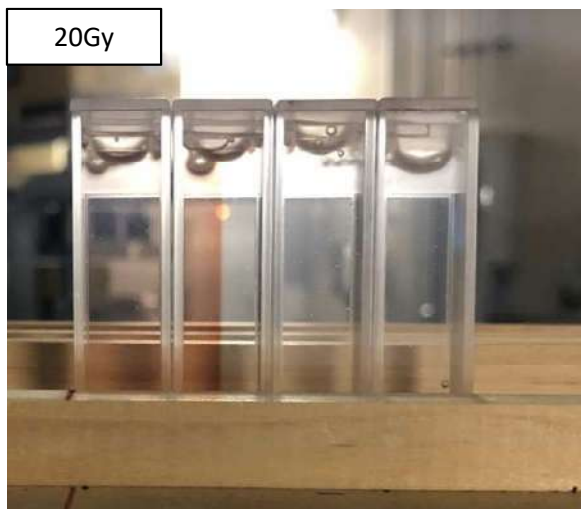
吸収線量の値は先頭試料位置における
電離箱での測定結果

エネルギー
He粒子 220MeV

照射回数・吸収線量
積算：4Gy, 8Gy, 12Gy, 16Gy, 20Gy
(4Gy × 5)

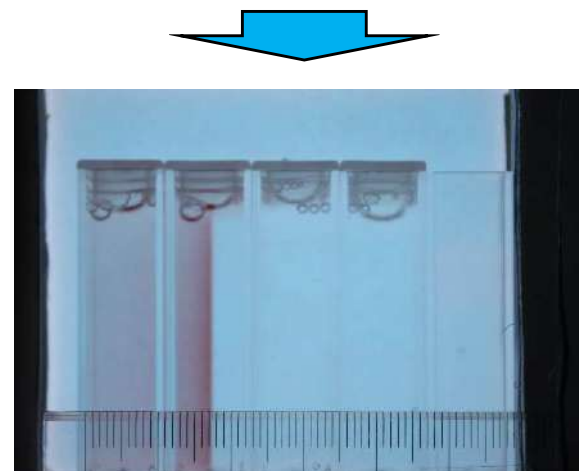
He粒子照射実験結果 測定

He beam
220MeV
→
4~20Gy



He粒子は飛程が短いためキュベットを用いた
吸光度測定は困難

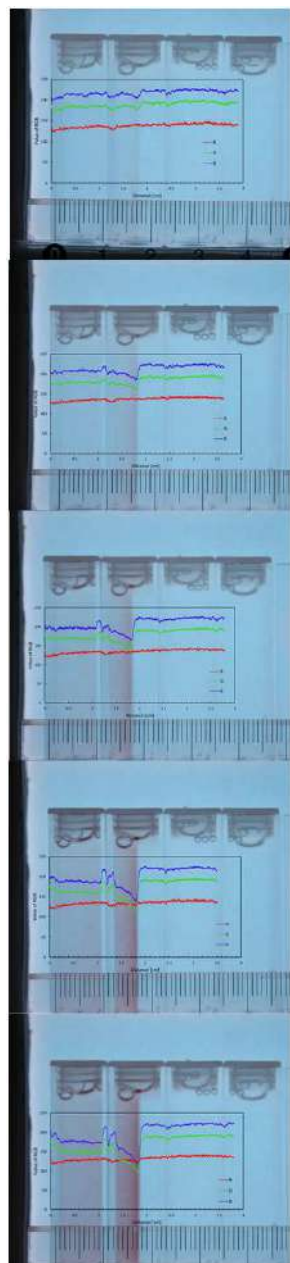
PVA-KIゲル撮影装置 RGB解析



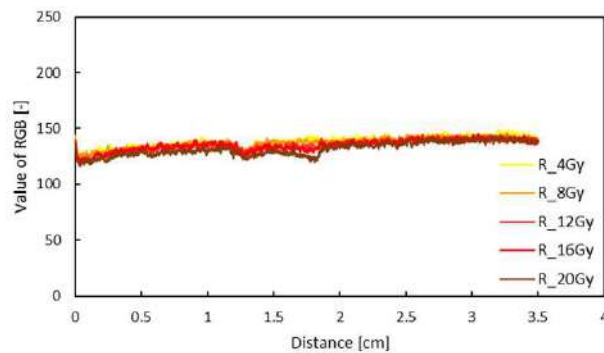
撮影装置を用いて写真を撮影

画像をRGB値に変換

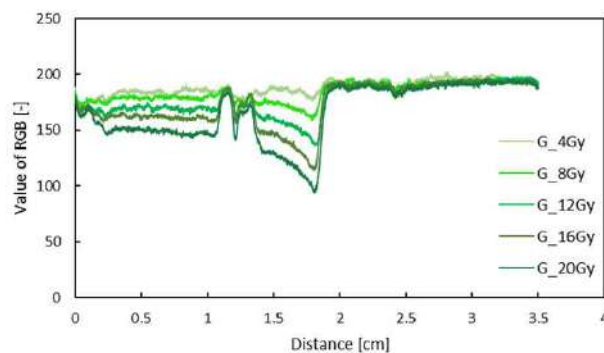
He粒子照射実験結果 RGB測定



4Gy



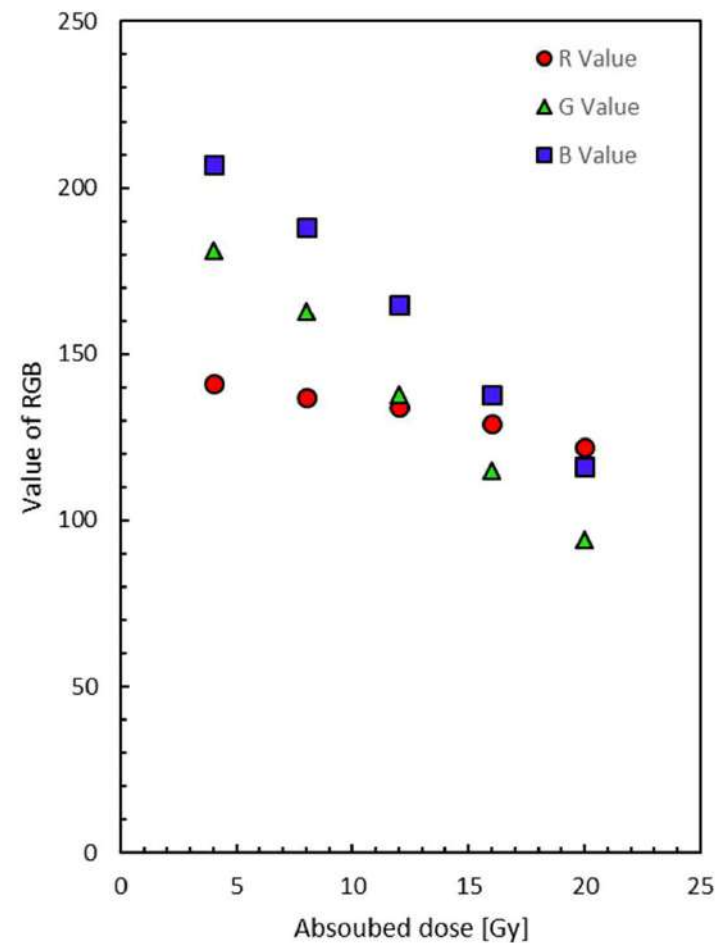
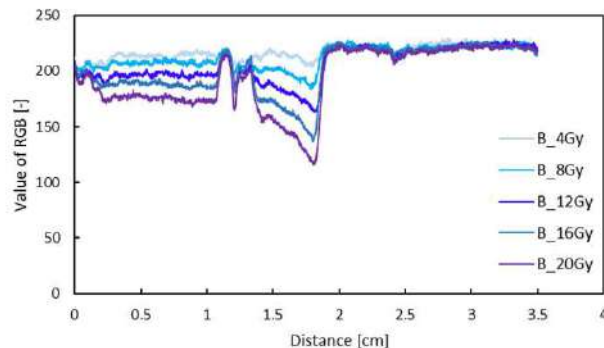
8Gy



12Gy

16Gy

20Gy



RGB値は吸収線量に対して線形性を示す

GもしくはB値で評価

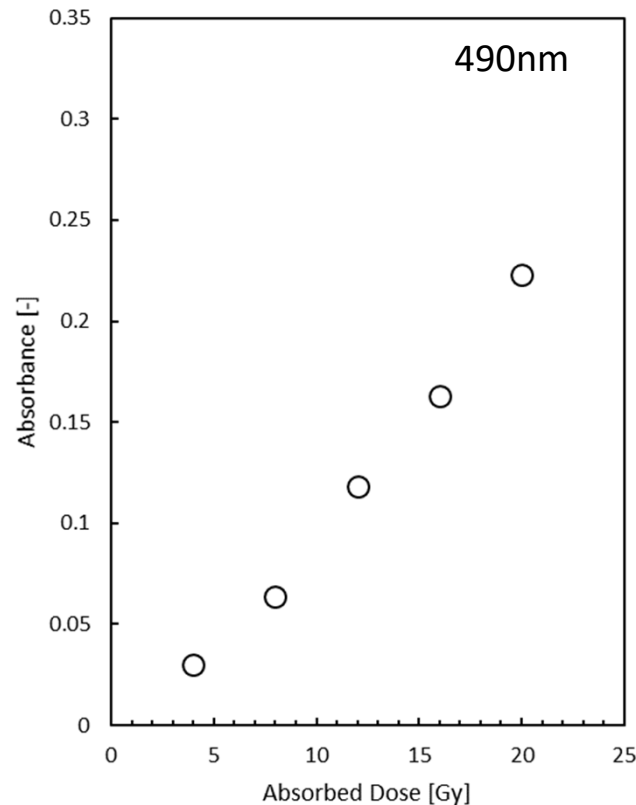
$$RGB_{Abs} = (\text{照射前のRGB値} - \text{照射後のRGB値})$$

$$\text{吸光度} = RGB_{Abs} \times \frac{\text{先頭約1cm間隔の吸光度}}{\text{先頭約1cm間隔の}RGB_{Abs}}$$

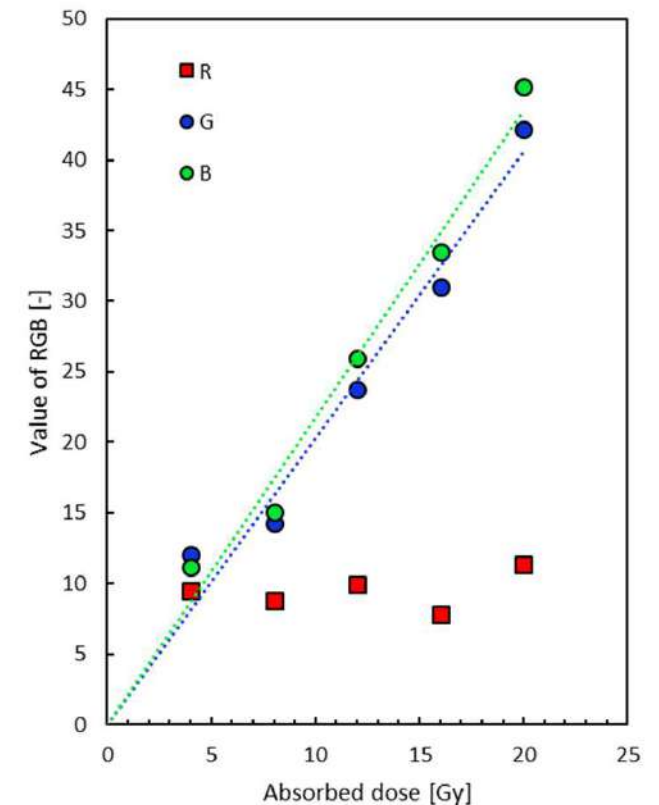
先頭1cm間隔



先頭1cm間隔の吸光度

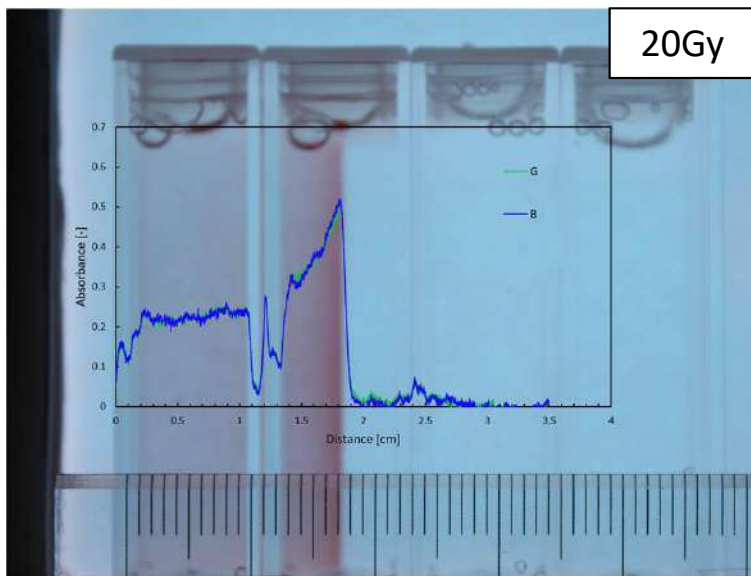
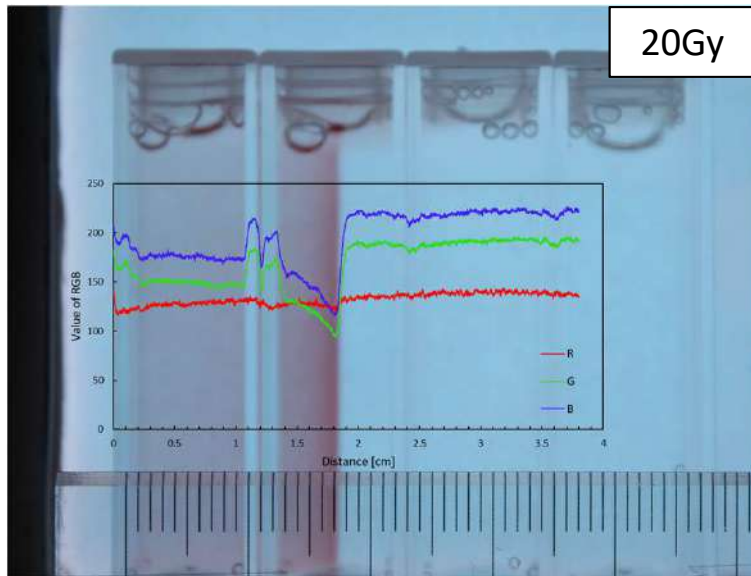


先頭1cm間隔の RGB_{Abs}



吸光度とRGB値は比例関係にある

RGB-吸光度変換 PHITS比較



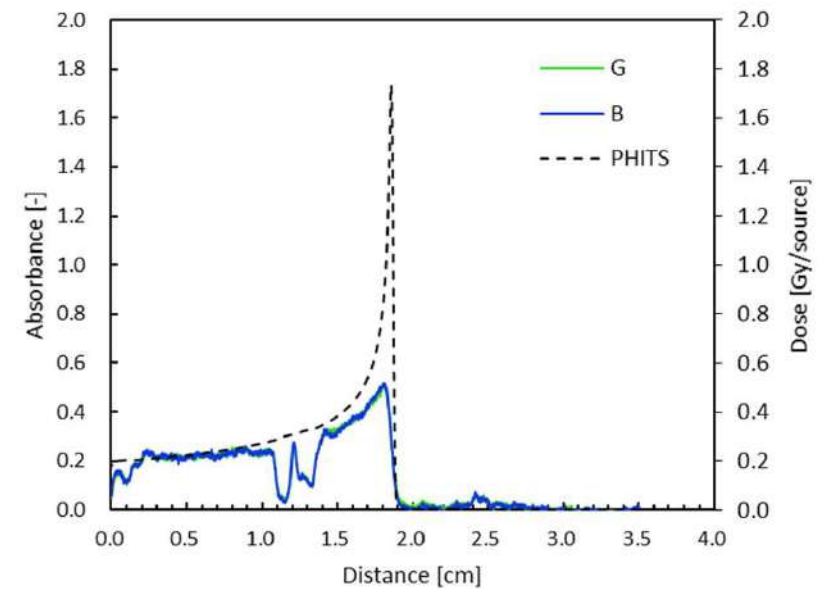
$$\text{RGB}_{\text{Abs}} = (\text{照射前のRGB値} - \text{照射後のRGB値})$$

$$\text{吸光度} = \text{RGB}_{\text{Abs}} \times \frac{\text{先頭約1cm間隔の吸光度}}{\text{先頭約1cm間隔のRGB}_{\text{Abs}}}$$

ブラックピーク

RGB測定：1.80cm

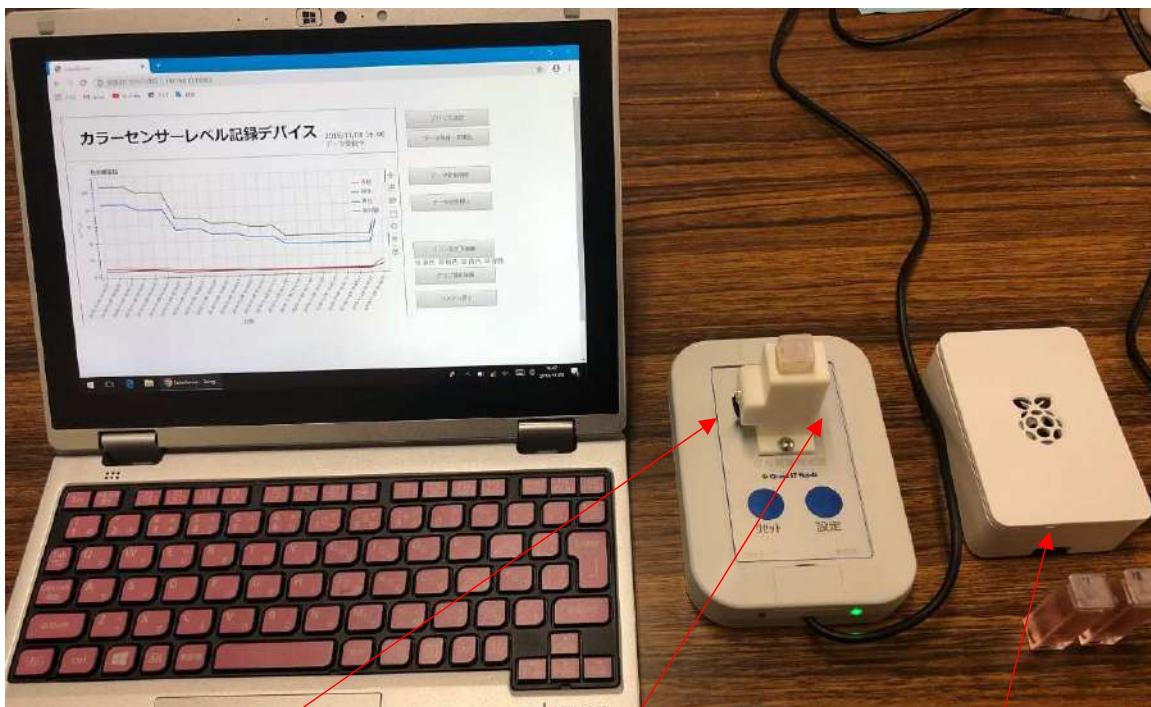
PHITS：1.86cm



ブラックピークの位置は一致

光透過量測定デバイス

開発：グラスITフィールズ株式会社
ニュークリアテクノロジー株式会社

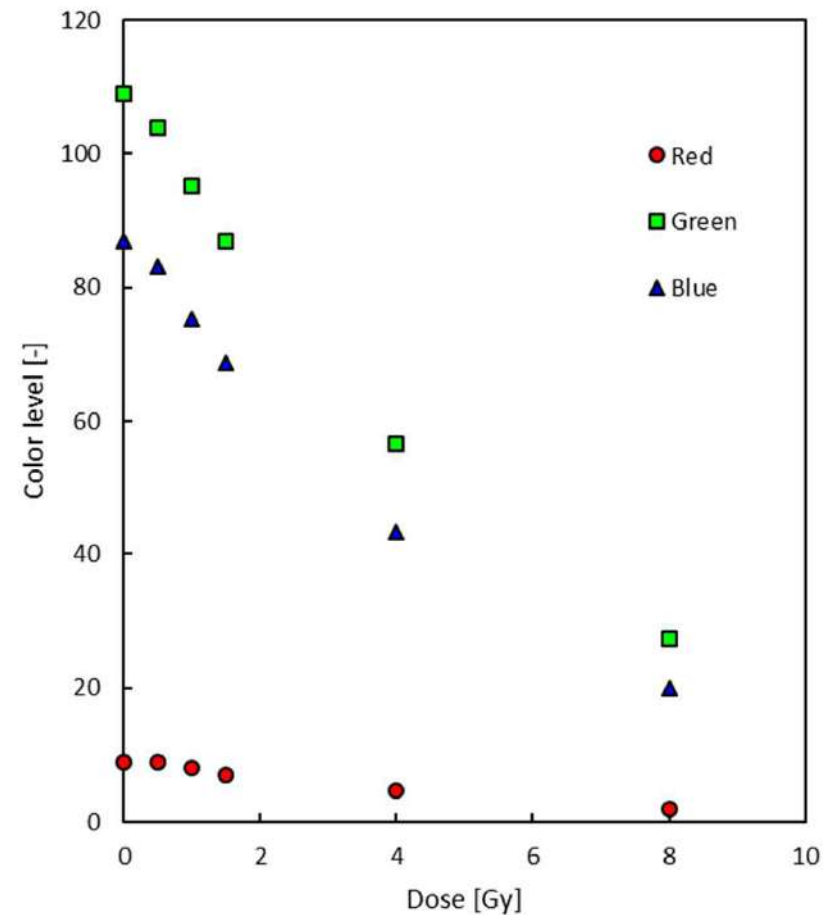


490nm単色LEDランプ

データ記録用サーバ

浜松ホトニクス社製カラーセンサ
I²C対応 S11059-02DT/-03DS

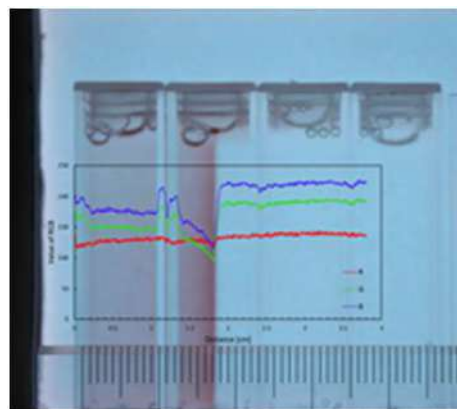
Red	615nm	Blue	460nm
Green	530nm		



X-ray irradiation
(150kV, 20mA, filter: Al 0.5mm + Cu 0.1mm)

Green、Blueにおいて約10Gyまでの吸収線量に対する直線性

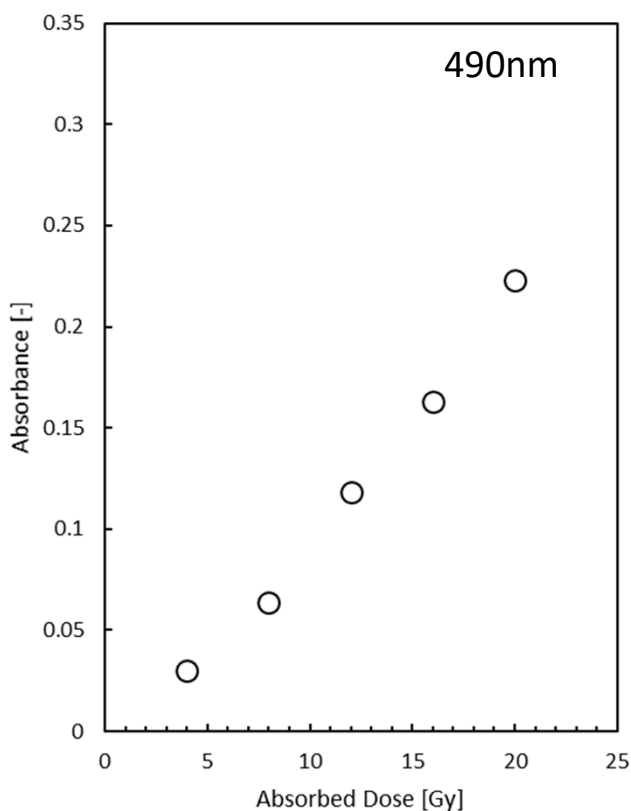
1. RGB測定システムを自作し、PVA-KIゲルに適用した。
2. RGB値と吸収線量が比例関係にあることを見出した。
3. RGB値を吸光度へ変換する手法を確立した。
4. Heイオン照射実験においてRGB画像解析から各距離における吸光度を求めた。
5. PHITSによるシミュレーションと照射実験体系との比較からブラッグピーク的位置について確認を行った。



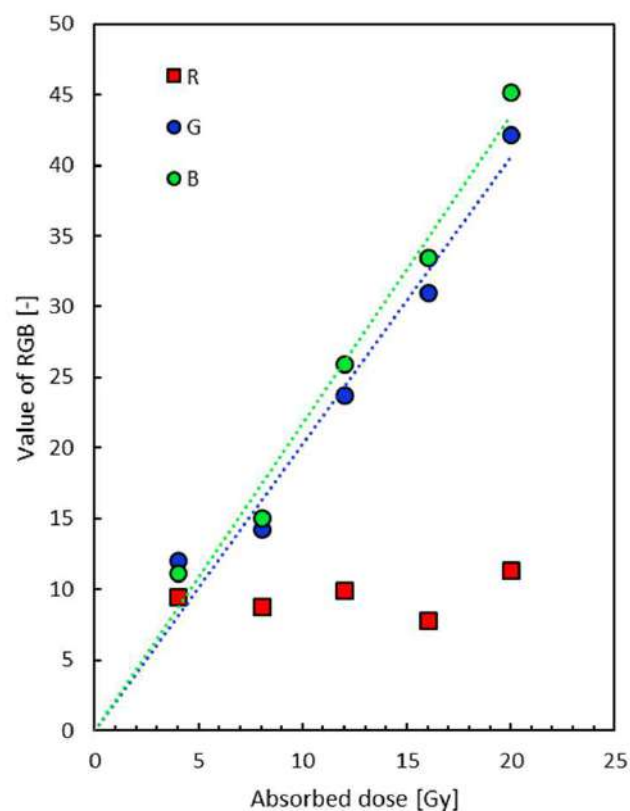
$$\text{RGB}_{\text{Abs}} = (\text{照射前のRGB値} - \text{照射後のRGB値})$$

$$\text{吸光度} = \text{RGB}_{\text{Abs}} \times \frac{\text{先頭約1cm間隔の吸光度}}{\text{先頭約1cm間隔のRGB}_{\text{Abs}}}$$

先頭約1cm間隔の吸光度



先頭約1cm間隔のRGB_{Abs}



ブラックピーク位置における吸光度

