

# CALIBRATION OF GAFCHROMIC DOSIMETRY FILMS FOR LARGE-AREA ION-BEAM DISTRIBUTION MEASUREMENT

Tomohisa Ishizaka <sup>#,A)</sup>, Koji Imai<sup>B)</sup>, Yosuke Yuri<sup>A)</sup>, Takahiro Yuyama<sup>A)</sup>, Ikuo Ishibori<sup>A)</sup>, Susumu Okumura<sup>A)</sup>

<sup>A)</sup> Takasaki Advanced Radiation Research Institute, Japan Atomic Energy Agency

1233, Watanuki-machi, Takasaki, Gunma, 370-1292

<sup>B)</sup> Radiation Application Development Association

1233, Watanuki-machi, Takasaki, Gunma, 370-1207

## Abstract

We are developing a large-area uniform beam formation/irradiation technique using multipole magnets at the ion irradiation facility TIARA of Takasaki Advanced Radiation Research Institute, Japan Atomic Energy Agency. In order to evaluate the uniformity and cross-sectional area from the two-dimensional intensity distribution of the beam, Gafchromic radiochromic films (Ashland Inc.) are used since the films have various features such as high spatial resolution, large area, and easy handling. The ion-beam irradiation experiment for the film calibration was performed. Using 10 MeV <sup>1</sup>H, 520 MeV <sup>40</sup>Ar, and 490 MeV <sup>129</sup>Xe ion beams from the TIARA AVF cyclotron, the fluence response curves were obtained from the optical densities of the film read by image scanners. It turned out that the fluence range where the optical density increased linearly was overlapped with that required for irradiation in materials and biological research, and that, thus, the relative transverse intensity distribution could be measured with this film practically.

## 大面積イオンビームの2次元強度分布測定のための ガフクロミックフィルムの校正

### 1. はじめに

日本原子力研究開発機構高崎量子応用研究所のイオン照射施設 TIARA では、多重極電磁石を用いた大面積均一ビーム形成/照射技術の開発を進めている<sup>[1,2]</sup>。大面積均一ビームの実用化を目指す上で、形成されたビームの均一度や面積を精度よく評価することが必要である。そのため、発光体を用いたリアルタイム計測に加え、ラジオクロミックフィルム線量計の一種であるガフクロミックフィルム (GAFCHROMIC Film 米国 Ashland 社製) を用いた2次元相対強度分布計測を利用している。ガフクロミックフィルムの適用範囲を明らかにするため、イオンビーム照射によるフィルムの着色応答を調べた。

### 2. フィルムの選定

ガフクロミックフィルムは、放射線治療において線量分布評価に広く利用されており、高解像度で大面積を評価できる、照射した際可視域での着色 (青色) があり現像処理を必要としない、明室で取扱が可能、任意の大きさにカットができる等の特長を有している。GAFCHROMIC Film HD-810 (以下、HD-810 と記す) については、2MeV 電子ビーム照射による線量応答特性に線形性があり<sup>[3]</sup>、イオンビームの強度分布計測にも利用可能と考えた。

強度分布の計測にあたり、HD-810 と GAFCHROMIC Film EBT2 (以下、EBT2 と記す) の2種類のフィルムを選定した。カタログ値では、HD-810 の線量レンジが 10Gy から 400Gy で、EBT2

が 1cGy から 10Gy であるため2種類のフィルムを上手く使い分けることが出来れば、低フルエンス領域から高フルエンス領域まで広範囲にわたり線量分布測定が可能と考えた。

上記に加えて、この2種類のフィルムには以下のような違いがある。1つはフィルムの色である。双方とも透明なフィルムだが、HD-810 は無色、EBT2 は黄色という違いがある。そのため、EBT2 では、4章で後述するように、照射済みフィルムから TIFF 画像のデジタルデータを読み出す際に RGB 色成分の B が使用できない。もう一つの違いはフィルムの厚さである。図1に HD-810 と EBT2 の構造を模式的に示すように、EBT2 は Active Layer (着色層) までおよそ 80 $\mu$ m の厚みがあるため、飛程の短いビームでは、フィルムが着色せず、利用できない。

### 3. イオンビーム照射とフィルムの解析

TIARA サイクロトロンで加速できるイオン種は多岐にわたる。ニーズ等を考慮し、10MeV H、520MeV <sup>40</sup>Ar 及び 490MeV <sup>129</sup>Xe の3種類のビームについて、2次元相対強度分布計測のためのフィルムの着色応答を調べた。

#### 3.1 フィルムへの照射

まず、多重極電磁石を用いて約 4cm 角の大きさの均一ビームを形成した。ビーム電流値は積分計を用いて 10 秒間計測した平均値とした。フィルムの照射時間は、フィルムの種類やビーム電流値等に合わせて 10<sup>-3</sup>~10<sup>1</sup>s のオーダーで変化させ、静電パルスチョッパーを用いて正確に制御した。また、多数

<sup>#</sup> ishizaka.tomohisa@jaea.go.jp

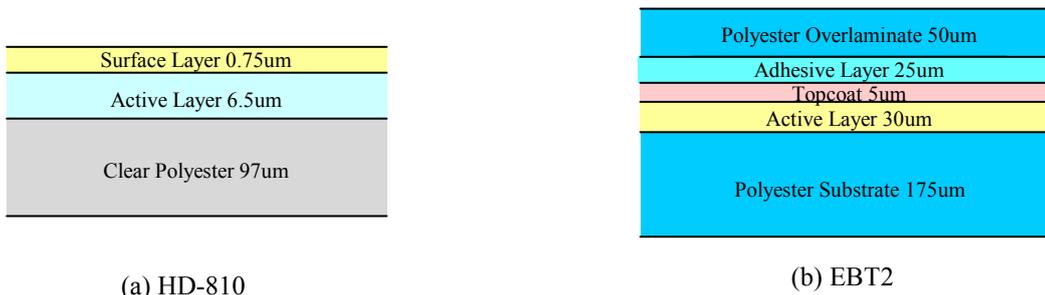


図 1 : ガフクロミックフィルムの構造。(a)HD-810、(b)EBT2。

枚のフィルムを用意し、条件毎にフルエンス量を変化させ照射した。

### 3.2 照射したフィルムの解析

照射したフィルムは、パソコン用イメージスキャナ (LiDE50 Canon 製と ES-10000G EPSON 製) で読み込みデジタル画像化した。LiDE50 は反射型のスキャナであり、前述の電子ビームによる HD-810 の着色応答を調査した際に使用したもので、応答特性が良いことが分かっている<sup>[3]</sup>。ES-10000G は反射および透過のいずれでもスキャン可能で、Ashland 社のハンドリングガイドで使用されているものと同一機種である。今回は、ハンドリングガイドを参考に透過方式でフィルムの解析を行った。

スキャナで画像を読み込む際は、スキャナ付属のソフトウェアでカラースキャンを行った。設定はデフォルトにし、その他全ての自動補正機能をオフにした。スキャンした画像データは TIFF 形式 (RGB 各 16bit) で保存した。なお、スキャンした画像の回転補正や作業効率化のために低解像度化する等のファイル操作により、RGB 値が不規則に変化する可能性があることが分かったので、127dpi でスキャンし画像補正を行わないことにした。

さらに、TIFF 形式の画像を RGB の数値データ (16bit) に変換し、RGB 各成分について、吸光度平均値を求め、フルエンスに対する吸光度の応答曲線図を作成した。RGB 値から吸光度を求める式を以下に示す。

$$\text{吸光度 (O.D.)} = \text{Log}_{10} \left( \frac{2^{16} - 1}{\text{RGB 値}} \right)$$

## 4. 実験結果

図 2 に 520MeV Ar ビーム照射に対する HD-810 の応答曲線を示す。スキャナの種類によらず、低フルエンスでは、RGB 成分のいずれにおいてもフルエンスにほぼ比例して吸光度が増加する。この線形応答領域では、R 成分の吸光度変化の感度が最も高く、B 成分が最も低い。3×10<sup>9</sup>cm<sup>2</sup>まで約 2 桁のレンジで分布測定ができることが分かった。また、透過方式で読み取った ES-10000G の方がフルエンスに対する吸光度が低くなる傾向がある。

図 3 に 10MeV H ビーム照射に対する HD-810 と

EBT2 の応答曲線を示す。HD-810 は RGB 成分のいずれにも直線性がある。EBT2 に関しては、G 成分には直線性があるが、R 成分に直線性はない。前述したように、フィルム自体が黄色のため、イオン照射による B 成分から求めた吸光度の変化は小さく、分布測定には適さない。

Xe ビームについても同様に応答曲線を求めた。表 1 に、強度分布計測に適したフルエンス範囲を 3 種類のビームについてまとめる。原子番号の小さいビームほど適用可能なフルエンスは高くなる傾向がある。読み取りに使用したスキャナは LiDE50 である。

表 1 : 強度分布計測に適したフルエンス範囲

イオン種	フィルム	有効フルエンス [cm <sup>2</sup> ]
H	HD-810	2×10 <sup>8</sup> ~ 2×10 <sup>11</sup> 程度
Ar	HD-810	4×10 <sup>6</sup> ~ 3×10 <sup>9</sup> 程度
Xe	HD-810	4×10 <sup>6</sup> ~ 5×10 <sup>8</sup> 程度
H	EBT2	5×10 <sup>7</sup> ~ 2×10 <sup>9</sup> 程度

## 5. まとめ

多重極電磁石を用いた大面積均一ビーム形成/照射技術の開発に当たり、ビームの均一度や面積を評価するため、ガフクロミックフィルムを用いた分布計測システムを開発することとし、イオンビーム照射によるフィルムの着色応答を調べた。2 種類のフィルムについて、3 種類のイオンビームおよび 2 種類のスキャナを用いて調べた。HD-810 は RGB 成分のいずれにもフルエンス応答曲線に直線性があり、EBT2 は G 成分のみ直線性があった。2 種類のフィルムにより、より広いフルエンス範囲で計測できることが分かった。イオン種によってフィルムが着色するフルエンス領域に違いがあり、重イオンほど低いフルエンスで着色した。いずれも、利用可能なフルエンス域は材料科学やバイオ技術分野のイオンビーム応用研究で必要とされるフルエンスに重なっている。スキャナに関しては、機種により吸光度と

直線性に多少の差があるものの、2機種とも使用可能であることが分かった。

今回の実験では、フィルムの状態（照射前の準備、照射からスキャンまでの経過時間、照射後の保管場所の温度や湿度依存性等）や、フルエンス率、フィルムのロット間による質の違い等、毎回の実験条件を統一することが容易ではなかったため、得られた結果は吸光度に対するフルエンスの絶対校正を必ずしも保証するものではない。しかし、本手法による分布計測を相対強度分布に限定すれば、上記のような制御が困難な条件にも関わらず、簡便な分布測定手法として有効である。実際、ビームの均一度や面積の評価という現在の目的では相対強度分布が求められれば十分である。

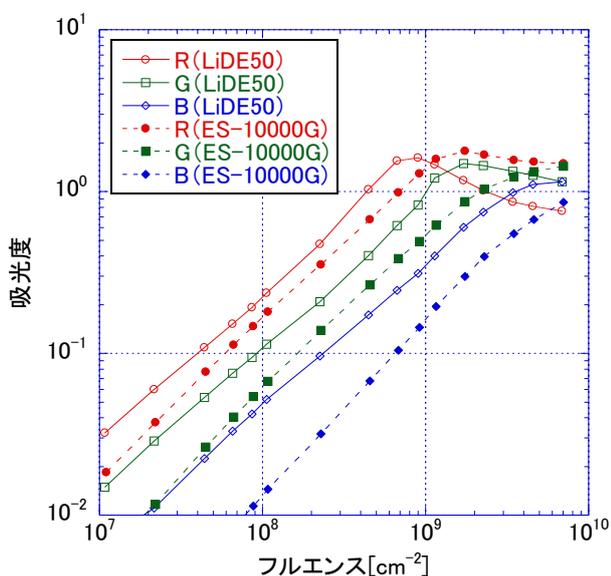


図2：520MeV Ar を HD-810 に照射し、LiDE50 と ES-10000G でスキャンした時の応答曲線。

図4に、一例として、HD-810 を用いて計測した多重極電磁石で集束したビームの相対強度分布を示す。吸光度分布から算出した、中心付近の9cm×9cmの領域における均一度は5%である。

### 参考文献

- [1] Y. Yuri et al., Nucl. Instrum. Meth. Phys. Res. A **642** (2011) 10
- [2] T. Yuyama et al., Proc. 8th Annual Meeting of Particle Accelerator Society of Japan, 2011, MOPS072
- [3] T. Agematsu et al., Radioisotopes **57** (2008) 87 [in Japanese].

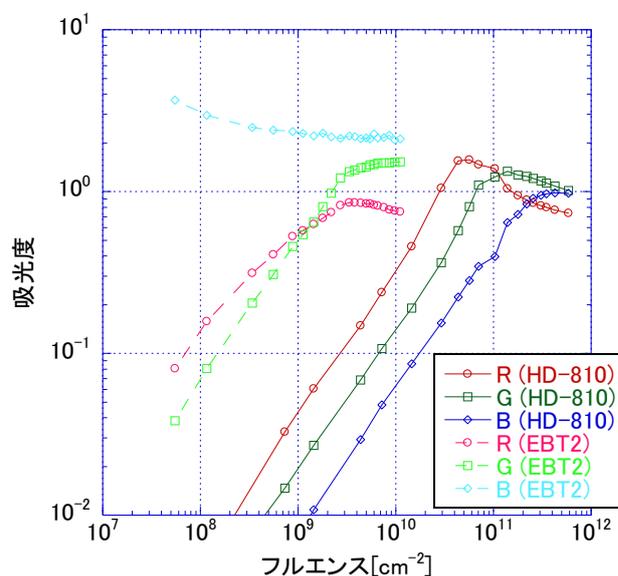


図3：10MeV H を HD-810 と EBT2 に照射し、LiDE50 でスキャンした時の応答曲線。

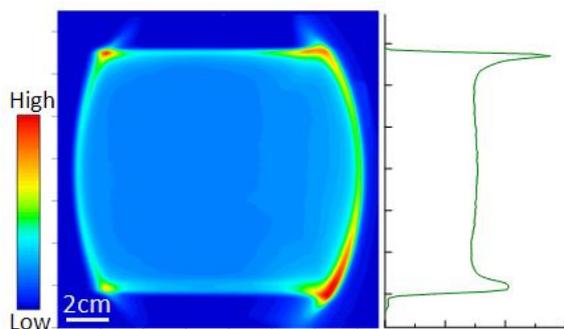


図4：ガフクロミックフィルムを用いて計測した大面積イオンビームの相対強度分布。多重極電磁石を用いて集束した10MeV H ビームを HD-810 に照射し、LiDE50 でスキャンした。左が2次元相対強度分布図、右はその垂直方向の断面図。