

# DEVELOPMENT OF THE REAL-TIME BEAM PROFILE SYSTEM FOR UNIFORM BEAM FORMATION USING MULTIPOLE MAGNETS

Takahiro Yuyama<sup>#</sup>, Yosuke Yuri, Tomohisa Ishizaka, Ikuo Ishibori, Susumu Okumura  
 Takasaki Advanced Radiation Research Institute, Japan Atomic Energy Agency  
 1233 Watanuki-machi, Takasaki-shi, Gunma, 370-1291, Japan

## Abstract

A real-time beam profile measurement system has been developed for uniform beam formation using multipole magnets. The system is configured with a video camera, a Gd<sub>2</sub>O<sub>2</sub>S:Tb fluorescence plate and an image analysis system with PXI. An uniform beam profile was obtained as a fluorescence image by this system, the image was analyzed to one-dimensional and two-dimensional profile in real time. The analysis results of this system were estimated by comparing the result with the analysis using radio-chromic film. As a result, we confirmed that the one-dimensional analysis result of the system accorded with the result of this film.

## 多重極電磁石による大面積均一ビーム形成用リアルタイムビーム分布計測システムの開発

### 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 AVF サイクロトロン(K110) では、宇宙用半導体の耐放射線性評価や生物細胞への低線量照射の影響など、材料・バイオ技術の研究のために、多様なエネルギーのイオンビームを提供している<sup>[1]</sup>。これらの様々な材料・バイオ技術に関する研究のニーズに応えるため、カクテルビーム加速技術、マイクロビーム照射技術、大面積均一照射技術など高度な加速技術及び照射技術開発を行ってきた<sup>[2]</sup>。この内、近年開発を進めている多重極電磁石を用いた大面積均一照射技術<sup>[3]</sup>では、均一ビーム形成のためワイヤ式プロファイルモニターや蛍光体を用いてビーム形成を行っている。形成された大面積均一ビームの評価にはラジオクロミックフィルム線量計(ISP 製 GAFCHROMIC HD810、以後 GAF フィルム)を用いており、照射したフィルムの吸光度を解析することでその均一度を求めている<sup>[4]</sup>。しかしながら GAF フィルムではリアルタイムで均一性の評価が行えないことから、ビーム形成中に均一性やビームサイズの評価が可能なシステムとして、蛍光体の発光画像を基にビーム分布の解析が可能なリアルタイムビーム強度分布計測システムの開発を行っている。本稿ではその構成とビーム評価を行った結果に関して報告する。

### 2. リアルタイムビーム分布計測システム

#### 2.1 計測系の構成

図 1 にリアルタイムビーム分布計測システムの基本構成を、表 1 に各構成機器一覧を示す。

イオンビームを蛍光体に照射し、その発光をビデオカメラにより画像情報として取得する。蛍光体は

発光効率の良さ並びに残光時間の短さから三菱化学製の DRZ-high(Gd<sub>2</sub>O<sub>2</sub>S:Tb)を用いている。カメラの画像は通常のモニター信号兼解析用の画像信号として、PXI(ナショナルインスツルメンツ製)に内蔵されている画像収録ボード(PXI-1409 および PXI-1411)により取り込む。取り込む画像信号は 8bit のモノクロ画像及び 32bit カラー画像の信号である。取り込んだ画像情報の解析を行うシステムは LabVIEW(ナショナルインスツルメンツ製)を用いてプログラム構築し、視覚的に分かりやすいよう構成した。

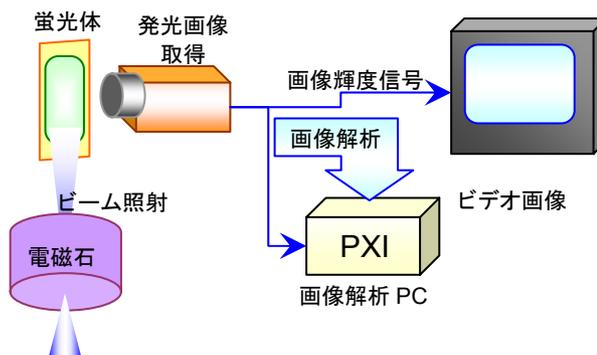


図 1 : ビーム分布計測システムの基本構成

表 1 : ビーム分布計測システムの構成機器

表 1 : ビーム分布計測システムの構成機器			
画像解析 機器 (PXI)	本体	PXI-1031	
	CPU ユニット	PXI-8106	ナショナル
	画像収録機器	PXI-1409	インスツルメンツ
	"	PXI-1411	
蛍光体	DRZ-high	三菱化学	
画像計測 機器	水平カメラ	ICD42VP	池上通信機
	鉛直カメラ	Cs8420	東芝テリー

<sup>#</sup> yuyama.takahiro@jaea.go.jp

## 2.2 オフライン画像解析

リアルタイムビーム分布計測システムの構築に伴い、オフラインで画像解析を行う解析ツールを作成した(図 2)。取り込むファイルは BMP 形式もしくは画像の配列情報を持った CSV 形式のファイルで、配列化した数値(ここでは輝度情報)を元に画像表示ウィンドウ(同図①)に任意の画像として表示される。この画像表示ウィンドウは画像上で任意の関心領域 ROI が設定でき、マウス等を利用して視覚的に座標を指定することが出来る。解析には直線及び矩形の ROI を用い、直線 ROI では選択範囲における両端の座標を指定し、画像情報より得られた ROI 上の 1 次元輝度分布グラフを表示させる(同図②)。矩形の ROI では対角の座標を指定し、座標間の長方形の領域において 2 次元の輝度分布グラフを表示させる(同図③)。また矩形の ROI を用いて指定した領域内の 2 乗平均平方根を 3 つまで同時に計算でき、領域内の均一度として表示させることが可能である(同図④)。

## 2.3 リアルタイム画像解析

リアルタイム解析はオフライン画像解析ツールを元に構成されており、取り込む画像ファイルの代わりに対象の画像情報を常に外部より入力し、逐次解析を行うことでリアルタイム画像解析が可能なシステムとして構築している。主な解析内容はオフラインツール同様であるが、取得する画像情報をアナログ及びデジタルビデオカメラにより取得し、解析の容易さから動画ファイルではなく連続の静止画ファイルとして収録する。構築したプログラムでは、一定の待機時間後静止画ファイルが新しくなるたびにプログラム上で再計算されるため、蛍光体の発光を観測しながら、常時 1 次元及び 2 次元プロファイルの表示および均一度の計算が可能であり、効率的なビーム調整が可能である。

多重極電磁石による均一ビーム形成は、照射試料の近傍でビーム形状を確認することが好ましく、蛍

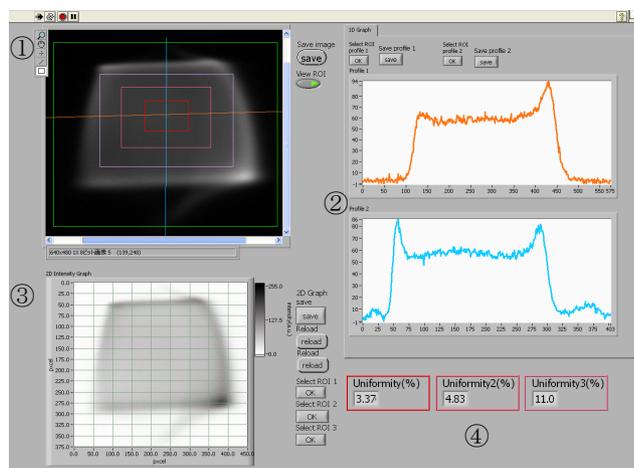


図 2: LabVIEW により構築したオフライン画像解析ツールのスクリーンショット

光体はターゲット位置においてビームに垂直に設置される。そのため、蛍光体を観測するカメラは蛍光体からみて斜め方向に設置されることになる。観測対象の均一ビームは照射に用いる条件では通常 6cm × 6cm 以上の面積をもつため、斜めから観測しているカメラではビームの手前と奥側で 1~2 割程の歪みが生じ、正対画像の取得は難しい。そのため歪みの補正を行う必要があるが、大面積であるがゆえに補正により欠損する画素が多く、欠損部分の補填などに若干複雑な解析が含まれるため、リアルタイムで精度良く均一度の評価を行うことは難しくなる。そこで、精度良く円滑に均一度評価が行えるよう水平方向と鉛直方向にカメラをそれぞれ設置し、水平のカメラでビーム軸に対して鉛直方向の 1 次元プロファイル、鉛直のカメラでビーム軸に水平の 1 次元プロファイル、計 2 軸の 1 次元プロファイルの解析を行うことで、大面積均一ビームの形状調整に用いている(図 3)。なお、本計測において設置位置のスペースの問題から、表 1 にあるように水平、鉛直の両カメラはサイズや型の異なるものを使用している。

## 3. 計測データの解析及びシステムの評価

### 3.1 1 次元プロファイル測定精度の評価

リアルタイムビーム分布計測システムにより実ビーム分布を測定し、システムの信頼性を評価する。同条件のビームを蛍光体および GAF フィルムに照射し、それぞれの計測結果を比較することで計測精度の評価を行った。図 4 に多重極電磁石を用いて形成された H<sup>+</sup>10MeV の大面積均一ビームの計測結果を示す。図 4 中において(a)が GAF フィルムの照射データ、(b)がビームライン鉛直方向の位置に設置されたカメラにより取得した蛍光画像、(c)がビームライン水平方向に設置したカメラにより得られた蛍光画像である。図 5 はフィルムと各カメラの解析結果から得られた 1 次元ビームプロファイルである。ビームの水平分布結果を図 5(a)に、鉛直分布結果を図 5(b)に示す。このカメラから得られた分布のグラフは図 2 と同様に、画像上で任意の位置を選択した直線状 ROI 上のデータである。本データは前述の通り、ビーム軸に対して、水平及び鉛直方向の分布

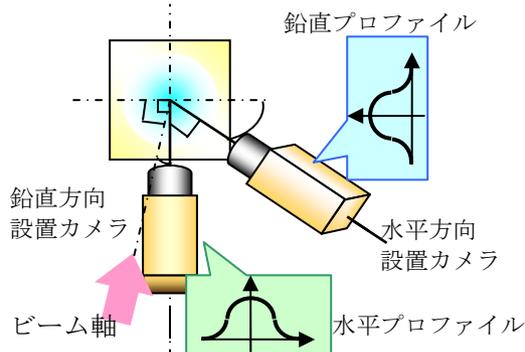


図 3: リアルタイム画像解析におけるカメラ配置及び測定 1 次元プロファイル

を計測した。この画像から得られたデータ自体は画素に対応した輝度値の羅列であるため長さの情報を持たず、事前にターゲット上で実スケールの映像を取得し、後に画素と長さを対応させることで、長さに対する輝度値のグラフを作成している。この結果に関しては水平、鉛直カメラから得られた両分布ともにフィルムと同様のビーム形状が観測でき、GAFフィルムの結果と良く一致することが確認できる。

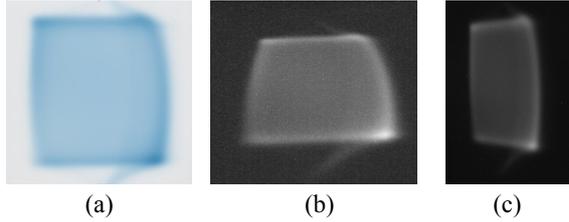
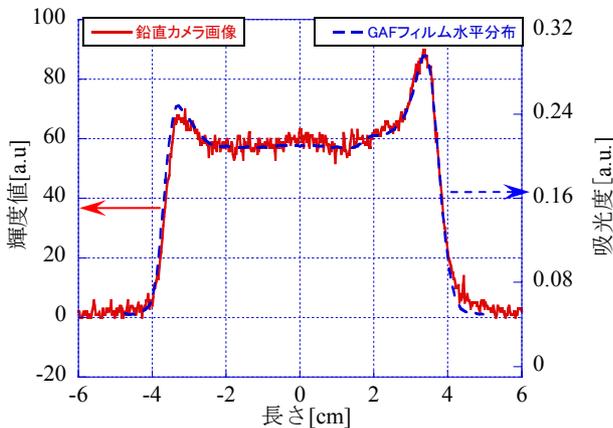
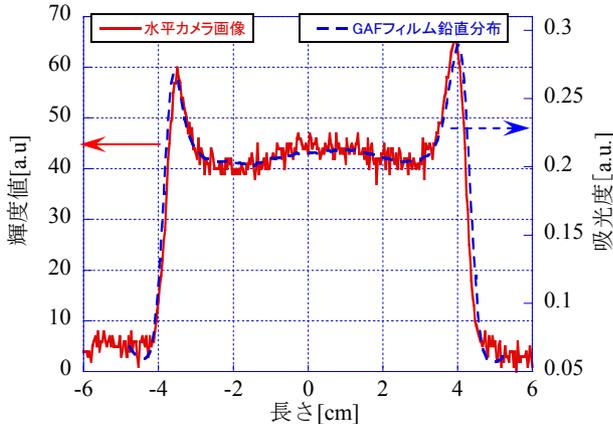


図4：均一ビーム計測結果  
 (a) GAFフィルム：電流値 103[nA]  
 使用電流減衰メッシュ( $10^{-4}$ )、照射時間 120[s]  
 (b)鉛直カメラ画像、(c)水平カメラ画像



(a) ビームの水平方向 1次元プロファイル



(b) ビームの鉛直方向 1次元プロファイル

図5：1次元プロファイル評価

### 3.2 均一度測定精度の評価

表2にフィルム及び画像から算出した均一度を示す。計算領域はビーム軸を中心とした任意の面積を指定している。カメラからの画像解析結果は矩形のROIを使用して任意の領域から求めている。各カメラの画像は、斜めから観測しているため歪みが生じることは前述したとおりであるが、本評価では歪みの補正は実施していない。そのため、カメラの解析結果の値がGAFフィルムの解析結果に比べ大きくなっている。しかしながら、2つのカメラ解析の結果は比較的一致している。また表から中心に向かうほど均一分布が良くなる傾向にある事がフィルム及びカメラの結果から読み取れ、この傾向はこれまでの多重極電磁石による大面積均一照射の結果と同様の傾向である。そのため、今後歪み補正、もしくは正対画像の取得などを行い、GAFフィルムのビーム分布と同じ形状の発光画像が得られれば、より精度良く解析が行えると考えられる。

表2：均一度計算結果評価

	GAF 均一度[%]	鉛直カメラ 均一度[%]	水平カメラ 均一度[%]
2cm×2cm	0.87	3.39	3.79
4cm×4cm	2.33	4.89	5.05
6cm×6cm	7.38	10.54	10.19

## 4. まとめと今後の課題

多重極電磁石による大面積均一照射のためのリアルタイムビーム分布計測システムの開発を行い、実際に  $H^+10MeV$  ビーム分布を計測した結果、1次元プロファイルに関してはGAFフィルムの解析結果と良く一致した結果を得ることが出来た。2次元プロファイルを利用した均一度の解析に関しては画像の歪み補正を行っていないため、同じ値にはならないが、中心に向かうほど均一度が良くなるという傾向は同様に確認できた。

今後はカメラの歪み補正を行いより均一度の評価の精度を向上させると共に、重イオンビームを用いた解析結果、発光強度のフルエンス依存性の確認などに取り組み、より実用度の高い計測システムの構築を進める。

## 参考文献

- [1] K. Arakawa, et al., Proceedings of the 13th International Conference on Cyclotrons and their Applications, Vancouver, Canada, pp 119, 1992
- [2] T. Yuyama et. al., Proceedings of the 19th International Conference on Cyclotrons and their Applications (2010) MOPCP019M.
- [3] Y. Yuri et. al., Nucl. Instrum. Methods A 642 (2011) 10
- [4] T. Agematsu et al., Radioisotopes, 57, 87 (2008).