

J-PARC ハドロン high-p ビームライン用 高感度残留ガスプロファイルモニタの開発(2)

DEVELOPMENT OF HIGH SENSITIVITY RESIDUAL GAS IONIZATION PROFILE MONITOR FOR J-PARC HADRON HIGH-P BEAMLINE (2)

豊田晃久[#], 青木和也, 上利恵三, 秋山裕信, 家入正治, 加藤洋二, 倉崎るり, 小松雄哉, 里嘉典, 澤田真也,
白壁義久, 高橋仁, 田中万博, 広瀬恵理奈, 皆川道文, 武藤史真, 森野雄平, 山野井豊, 渡辺丈晃
Akihisa Toyoda[#], Kazuya Aoki, Keizo Agari, Hironobu Akiyama, Masaharu Ieiri, Yohji Kato, Ruri Kurasaki,
Yuya Komatsu, Yoshinori Sato, Shinya Sawada, Yoshihisa Shirakabe, Hitoshi Takahashi, Kazuhiro Tanaka,
Erina Hirose, Michifumi Minakawa, Fumimasa Muto, Yuhei Morino, Yutaka Yamanoi, Hiroaki Watanabe
KEK

Abstract

A B-line (high-momentum beamline) is a beamline split from an A-line, the primary proton beamline of the J-PARC Hadron Experimental Facility. This beamline has a high radiation level because of the beam loss at the branch point, and the B-line beam intensity is relatively low, so that a profile monitor with both high sensitivity and radiation tolerance is required. For this requirement, we now develop a monitor that measures the profile by converting the ionized electrons generated in the residual gas by the beam passage into light with low background and amplifying the light. We are currently working on R&D for practical use. In this presentation, we will describe the luminescence efficiency measurement experiment using electrons in the test chamber and electron generator.

1. はじめに

J-PARC[1]ハドロン実験施設[2]の B ライン(高運動量ビームライン)は、A ラインの一次陽子ビームの一部を分岐させ使用するビームラインである。このビームラインは分岐部でビームを削り出すのでビームロスがあり、放射線レベルは高い。しかし、輸送するビーム強度は比較的低いいため、高感度でかつ放射線耐性の高いプロファイルモニタが必要となる。そこでビーム通過により残留ガスで生じた電離電子をバックランドの低い光に変換し、光増幅してプロファイルを測定するモニターを考案した[3]。現在実用化に向けて R&D を進めている。今回の発表ではテストチェンバーおよび電子発生装置による電子を利用した発光体の発光効率測定実験について述べる。

2. 蛍光体効率測定実験実施の動機

開発の当初は 100 V 程度の電場でゆっくり取り出した電子を蛍光体に入射して、発生した光を光学系+IIT(Image Intensifier)+カメラで観測する予定だった。しかし、その後 S/N 評価を進めた結果、蛍光体の厚さを 60 μm 以下に抑えると同時に発光量を大幅に増大する必要があることが分かった。そこで収量を増やすために、加速電圧を 5 kV まで増大するように設計を変更した。その際に 5 kV より低い加速電圧での発光量についての情報が得られなかったので、実際に電子を蛍光体に入射して発光量を測定することにした。

3. 実験装置

3.1 電子発生装置

電子発生装置としては、Photonis 社[4]の EGA

(Electron Generator Array、Fig. 1 参照)を利用した。EGA は MCP (Micro Channel Plate)に電圧をかけて電子を発生し、2 次電子カスケードを起こして増幅する装置である。今回使用したのは MCP が 2 段のタイプで、最大定格が 3 nA/cm² のものである。最大定格の場合で予想される発光量は 0.4 lx であり、十分な収量が得られるため IIT は使用せずに CCD カメラで発光を観測した。ちなみに放出される電子のエネルギーは最大で 100 eV 程度である。



Figure 1: EGA picture.

3.2 実験レイアウト

EGA は 1.33×10^{-2} Pa より真空度が悪化すると emission current が急増することが分かっている。よってテストチェンバー内に EGA および内部電極を入れてターボポンプで排気した。試験中の真空度はおよそ 1.5×10^{-3} Pa 程度であり、定常的な運転ができた。Figure 2 に実験レイアウトの概念図を示す。EGA で発生した電子(図中の赤線)は内部電極によって加速され蛍光面に入射する。蛍光面で発生した蛍光(図中のオレンジ線)は EGA とは反対側に設置されたカメラによって観測した。

[#] akihisa.toyoda@j-parc.jp

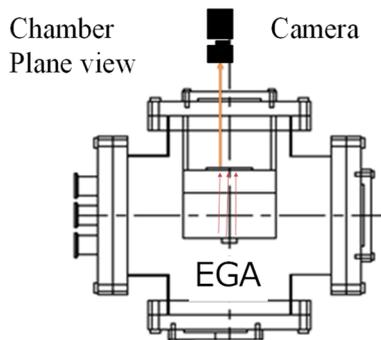


Figure 2: Schematic view of the experimental layout.

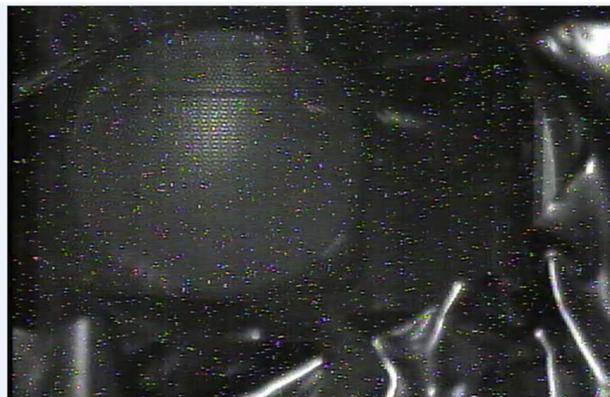


Figure 4: Example of the captured image.

3.3 内部電極詳細

Figure 3 に内部電極の写真を示す。内部電極を横から撮影した写真となっており、モニターに設置する際には右から左に陽子ビームが通過することになる。陽子ビームによって発生する電子イオン対を模擬するために、図の上部に設置された EGA から電子を放出する。EGA の図の上側には最大-2.2 kV の電圧をかけ、下側の出口には-200 V の電圧をかけている。EGA 出口のすぐ下に電子収集用の電極がある。図の-100 V と 0V の間が電子収集領域になる。0 V から+5 kV の間が加速電圧領域になる。蛍光面および蛍光面上下のメッシュ電極に+5 kV までの高電圧を印可して電子を加速し蛍光面に入射している。

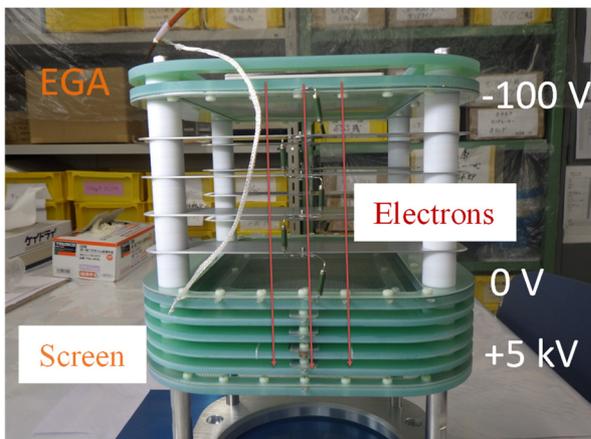


Figure 3: Picture of the internal electrode.

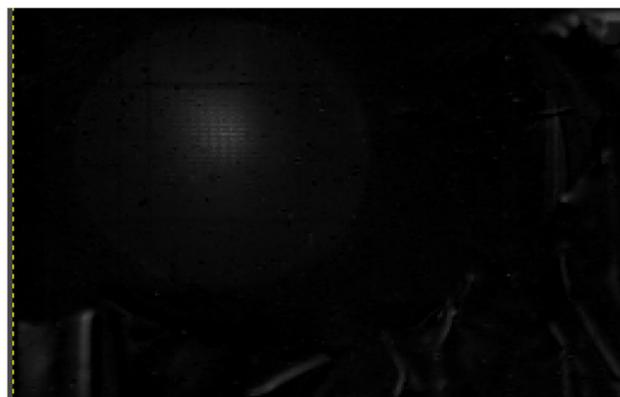


Figure 5: Example of the background-subtracted image.

4. データ取得および解析

4.1 画像の例と解析手法

Figure 4 に典型的な画像の例を示す。取得された画像は 50 frame 分の平均画像となっている。この画像から EGA off で取得し 50 frame 平均したバックグラウンドを差し引いた画像が Fig. 5 である。

Figure 5 の画像を X 射影して 1 次元多項式のバックグラウンドとガウシアンでフィットしたのが Fig. 6 である。Y 射影についても同様に実施した。図を見ると電子ビームによる発光が矩形ではなくガウシアン状に出ている

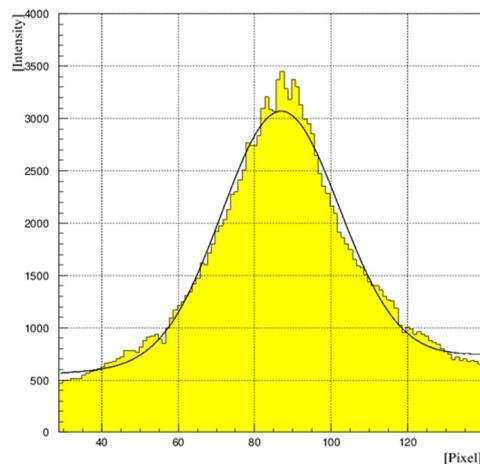


Figure 6: Fitting example of the X-projected histogram. The unit of the X axis is pixel.

ることが分かる。なんらかのガウシアンに擾乱する成分があることになる。

4.2 加速電圧依存性

蛍光板の前後に電子加速用のメッシュ電極がある。その 2 枚のメッシュ電極にかかる電圧を加速電圧と呼ぶ。Figure 7 にイメージ射影波高の加速電圧依存性を示す。4 kV まで加速電圧を上げるとともにイメージ波高が増大

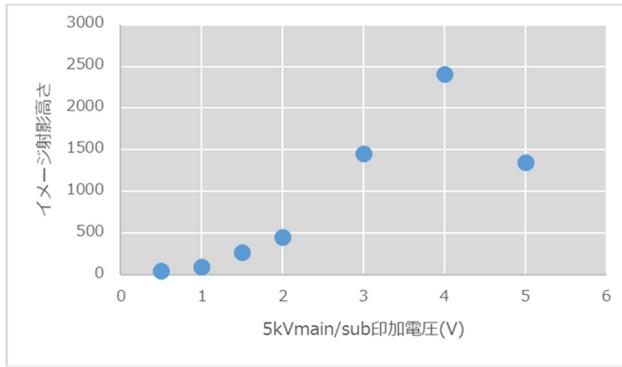


Figure 7: Acceleration high voltage dependence of the image height in pixel.

していることが分かる。これにより加速電圧によって発光量を増やすことができることが確認できた。

次にイメージ射影幅の加速電圧依存性を Fig. 8 に示す。幅については、加速電圧にあまり依存していないことが分かる。よって、加速電圧の不均一性などに伴うイメージ幅の増大が生じていないことが分かる。また発生している EGA の形状は X/Y で非対称だが、観測されている X/Y の幅はほぼ同等であることが分かる。よって、X/Y に関係なく同じぐらいのガウシアンに擾乱する成分があることが分かる。

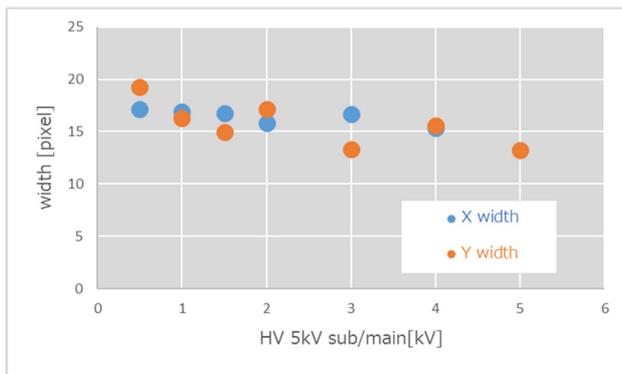


Figure 8: Acceleration high voltage dependence of the X and Y width in pixel.

4.3 EGA の健全性確認

EGA 出口の目の前には -100 V の電極があるので、例えば EGA 出口に -50 V の電圧をかけると 50 V の逆バイアスがかかることになり、50 eV より低い電子は蛍光体まで到達できなくなる。これを利用して EGA から出力される電子のエネルギー分布を評価してみる。Figure 9 に EGA 出口の電圧を変化させた場合のイメージ射影波高高さの変化をプロットした。EGA 出口電圧を減らしていく、つまり逆バイアス電圧を高くしていくと EGA 出力を変えるための EGA 入口印可電圧を高くしないとイメージが見えなくなることが分かる。ちなみに EGA 出口電圧を 0 V にすると EGA 入口印可電圧を上げて EGA 出力を上げても全く目視できなくなった。これにより、EGA から出力される電子は 0-100 eV 程度であると見積もることができ、この値はスペックシート通りであるため、正しく電子が放出されていることが分かる。

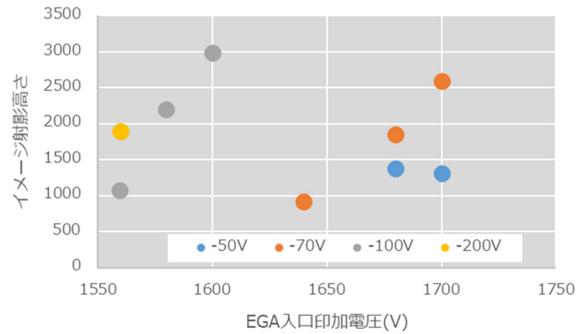


Figure 9: EGA exit voltage dependence of the image height in pixel. Horizontal axis is for the EGA entrance applied voltage which corresponds to the EGA output.

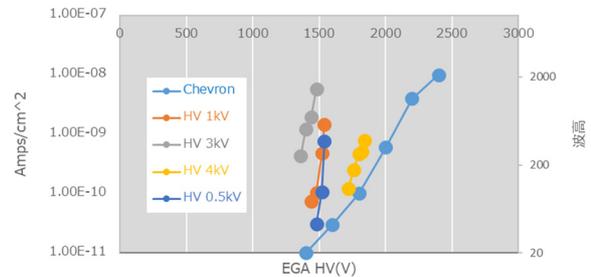


Figure 10: EGA high voltage dependence of the image height in pixel. Chevron points show the applied high voltage dependence of the electron output intensity described in the spec sheet. The others are for the measured EGA applied voltage dependence of the image height for each acceleration voltage.

最後に EGA 出力の印可電圧依存性を Fig. 10 に示す。加速電圧が 0.5 kV から 4 kV のいずれの場合でもスペック以上に印可電圧に対して出力が急上昇していることが分かる。よって何らかの原因で電子が増倍されていることが分かる。一つの可能性としては、真空度を測っている場所と EGA が離れているので実際にはもう少し真空度が悪い状態だったかもしれないと考えている。実機では電場と平行に磁場も印可されるので擾乱の影響は避けられると考えられる。

5. まとめ

電子発生器 EGA を利用して蛍光体発光量測定実験を実施した。EGA からの電子を観測することはでき、加速電圧依存性や加速電圧一様性を確認することはできた。一つ問題があり、EGAからの電子が何らかの原因で擾乱を受け増倍されていることが分かった。一つの可能性は真空度が悪かったことがあげられる。実機では磁場も印可されるので擾乱は避けられると考えられる。今後は EGA 試験を切り上げてビームラインに設置し、ビームを利用して試験を実施する予定である。

謝辞

本研究の一部は、文部科学省科学研究費基盤研究 (B) (18H01238) を受けてなされた。

参考文献

- [1] J-PARC Web page; <http://www.j-parc.jp>
- [2] K. Agari *et al.*, Prog. Theor. Exp. Phys., 2012, pp 02B009-1 – 02B009-16.
- [3] A. Toyoda *et al.*, “第 16 回日本加速器学会年会プロシーディングス”, Proceedings of the 16th Annual Meeting of Particle Accelerator Society of Japan, Kyoto, Japan, July. 31-Aug. 3, 2019, pp. 498-500.
- [4] Photonis 社 Web page; <http://photonis.com>