

A SECONDARY EMISSION TYPE BEAM PROFILE MONITOR WITH CARBON GRAPHITE RIBBONS

Yoshinori Hashimoto^{1,A)}, Suguru Muto^{A)}, Takeshi Toyama^{A)}, Dai Arakawa^{A)}, Masahiko Uota^{A)}, Yoshio Saito^{A)}, Masashi Shirakata^{A)}, Youichiro Hori^{A)}, Jun-ichi Odagiri^{A)}, Yutaka Yamanoi^{A)}, Daisuke Ohsawa^{B)}, Shyusei Ohya^{C)}, Teruhisa Morimoto^{D)}, Minoru Mitani^{E)}

^{A)} High Energy Accelerator Research Organization (KEK), 1-1 Oho, Tsukuba Ibaraki, 305-0801

^{B)} Kyoto University, Radioisotope Research Center, Kyoto University, 606-8501 Kyoto

^{C)} Ube Industries, Ltd., Organic Specialty Materials Research Laboratory, 8-1Goi Minami Kaigan, Ichihara, Chiba, 290-0045

^{D)} Morimoto Engineering, 13-102 Iruma-River-Side, 603-1 Bushi, Iruma Shi, Saitama, 358-0053

^{E)} Minotos Engineering, 1-16-28 Naka, Kunitachi, Tokyo, 186-0004

Abstract

We developed a secondary emission type beam profile monitor with carbon graphite ribbons as a beam target. The carbon graphite is excellent in endurance against heat load, and that they are thin as 1.6-3.0 micron and low z (=6) are advantage for reducing beam loss. Furthermore, since ribbons emits larger amount of electrons than ordinal metal wires because of larger surface, the monitor has higher sensitivity. The monitors were installed in the end of 3-50 BT and injection point of MR in J-PARC, in order to measure injection beam profiles by single passing. Normal size target has 32ch ribbons with 2 or 3 mm in width and their length is 200 mm each. In this paper, basic characteristics of the carbon graphite target and results of beam measurement are reported.

カーボングラファイトリボンを用いた2次電子放出型 ビームプロファイルモニター

1. はじめに

大強度陽子加速器J-PARC Main Ring(MR)では、入射ライン(3-50BT)及びRing 入射部に、 $\phi 30 \mu\text{m}$ のタングステンワイヤーを用いたマルチワイヤータイプのビームプロファイルモニター(MWPM)^[1]を用いている。今回、3-50BT最下流部、MR入射部、及び遅い取り出しラインのそれぞれ1箇所ターゲットを、カーボングラファイト(CG)^[2](宇部興産有機機能材料研究所)に置き換え、高感度化を図った。初期のビームコミッションには、長さ250mmの大きなCGフォイルの製作が間に合わなかったためである。

2. CGターゲット

CGターゲットの特性及び製作仕様^[3]について述べる。2次電子放出型のマルチリボン型のプロファイルモニター(図1)では、両サイドに置かれた電極膜、及びリボン電極で発生した2次電子を、電極膜を正電位とすることで、すべて電極膜で収集する。リボン電極では、正電荷を検出する。3GeV陽子ビームとの衝突でCGの両面から放出する2次電子量は約2%であり、入射する陽子数に比例する。またビームロス、 $3.96 \text{ keV}/\mu\text{m}$ ^[4]なので、CGが $2 \mu\text{m}$ の厚みの場合約0.8 keVであり、設計値 $4e13\text{ppb}$ のビーム

通過時に、 $5.1 \text{ mJ}/\text{bunch}$ の熱負荷となる。CGは厚み $1.6 \sim 3.0 \mu\text{m}$ で自立でき、また $2600 \sim 3000 \text{ }^\circ\text{C}$ で焼成されているため高い耐熱性を有する(図2)。これらの特性は、ビームロスを抑える、またロスによる高温に耐えうという観点から有利である。

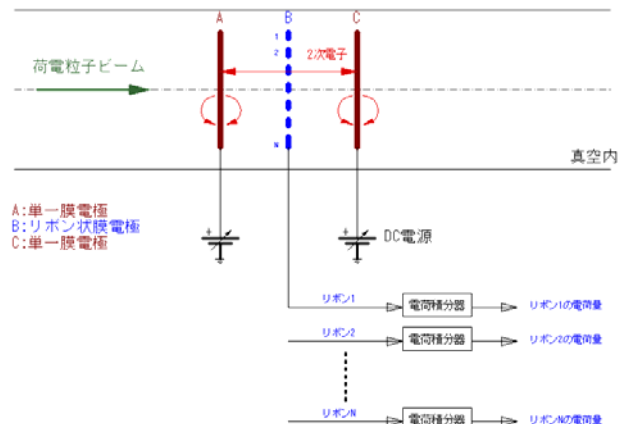


図1. 2次電子放出型ビームプロファイルモニター原理概略図。

一方、計測ターゲットとしての観点からは、CGリボンは一様に電子を放出する必要があり、まずリボ

¹ E-mail: yoshinori.hashimoto@kek.jp

ンあたりの面積が一定である必要がある。精密なリボン幅と位置を得るために、レーザーによる切断を行った。予めセラミックフレーム^[1]上の電極に耐放射線性の導電性接着剤^[5]を用いて、適当なテンションで張り付けた(ミノトス社)CGフォイルを、衝撃的破壊の少ないエキシマレーザーの3倍高調波を用い、低い光密度にて10回程度同じ場所をスイープさせて切断している。レーザースポットの大きさは、約30 μm 、位置精度は約 10 μm である (図3)。



図2. カーボングラファイトのサンプル片。

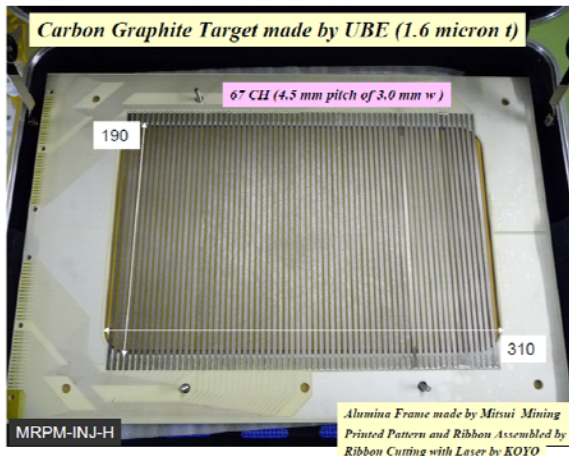


図3. MR入射部の水平ビームプロファイル用CGターゲット。入射ビームと周回後のビームを計測するために横幅が大きい。3 mm 幅のリボンが、4.5 mm ピッチで67 ch 並ぶ。図中寸法の単位はmm。

また各リボンの電子放出量が一定であることは、検出器として重要である。放射線医学総合研究所のEnergy 6 MeV/uの C^{6+} をテストビームとしての試験を行った。ビーム強度は $1e11$ ppp, パルス幅500 μs , 繰返し0.6 Hzであった。幅 1 mm にレーザーカットした複数種類のサンプルリボンを等間隔で並べた(最大11サンプルの計測)ターゲットで、断面サイズ約 3 mm ϕ のビームの断面をスイープして、それぞれのリボンでの放出2次電子量をエレクトロメータ(Keithley 6517A)で計測し、ビーム形状を求めた。測定されたプロファイルは、精度良くGaussianでfitできた。種々のサンプルを比較し、 σ をパラメータにして、1%以内で均一であることを確認した。

耐久性試験として、同上のテストビームでのCGへの12時間連続照射を行った。3GeV陽子CGに対するStopping Power: $3.96e-1 \text{ keV}/\mu\text{m}^{[4]}$ に対し、テストビームのそれは、 $4.923E+02 \text{ keV}/\mu\text{m}^{[4]}$ であり、比は

1240倍となる。このような大強度ビームのビームロスに相当する試験でも、CGからの2次電子放出量及び外的形状に変化がないことを確認した。

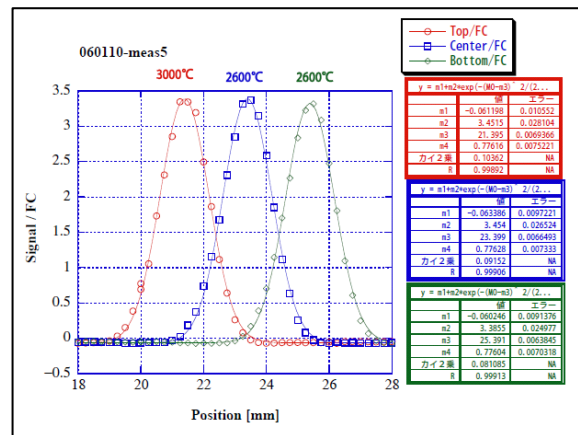


図4. サンプルCGリボンの放医研 C^{6+} ビームでの照射試験例：製造方法が異なる3つのサンプルの比較。Gaussianフィットした σ の差は0.5%以内であった。

リボン電極にフォイルを接着するために、高い耐放射線性を持ち、かつ低いアウトガ斯特性をもつ導電性接着剤^[5](シチズン時計, シチズン電子)を使用した。ハロゲンフリー化したEpoxyをベースに、Polyimide とラジカルトラップ剤を追加配合し、Ag粒子をFillerとしたものである。 ^{60}Co からの γ 線照射試験では、2枚の無酸素銅板間を面積 2 cm^2 で接着したものを被照射体に用い、50 MGy照射後の接着面方向の引張り試験で 1 MPaの強度を保っていることを確認した。アウトガスは、100時間の真空排气時に、 $1e-9 \text{ Pa}\cdot\text{m}^3/\text{s}/\text{cm}^2$ であった。

上記以外のセラミックフレーム上の読出し回路パターン、真空ケーブルなど、また容器や駆動装置は、すでにインストールされているタングステンワイヤターゲットのモニターと同じ構成である^[1]。実際のビームラインへのインストール後の、容器内圧力は、 10^{-6} Pa のオーダーであった。

3. 計測処理回路・EPICSでのデータ取得

電荷信号は、計測器まで、途中アンプなどの介在なしに34 ch同軸ケーブル(フジクラ)で運ばれる^[1]。ケーブルは最長400mに及ぶ。処理回路はKEK-NMLビームラインで実績のある10bit-32chのCAMAC-Charge ADCを転用した^[1]。入力部は2段のアンプ(400倍, 入力抵抗1 k Ω)と積分器(時定数33 μs)で構成されたHybrid-ICである。その後段ではマルチプレクサを通してターゲットリボン(33ch)からの信号との差を取った後に、AD変換される。

CAMACのCrate Controllerには、EPICSを搭載したCC/NET(東陽テクニカ)を用いIOCとした。データは、AD変換後、CC/NETにInterruptを掛けて、Crateあたり最大14モジュールの32ch \times 10bit depthの電荷データとしてEPICSサーバに送られる(図5)。

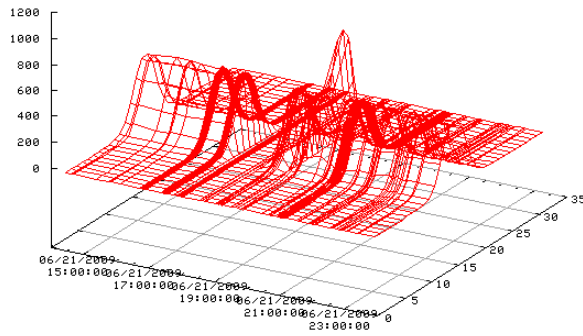


図5. 3-50 BT最下流での水平方向ビームプロファイルのトレンド図。EPICSのArchive Viewerより、 $4e11$ ppbのコミッシングが続く中、中ほどの高いピークは、一時 $8e11$ ppbにしたもの。

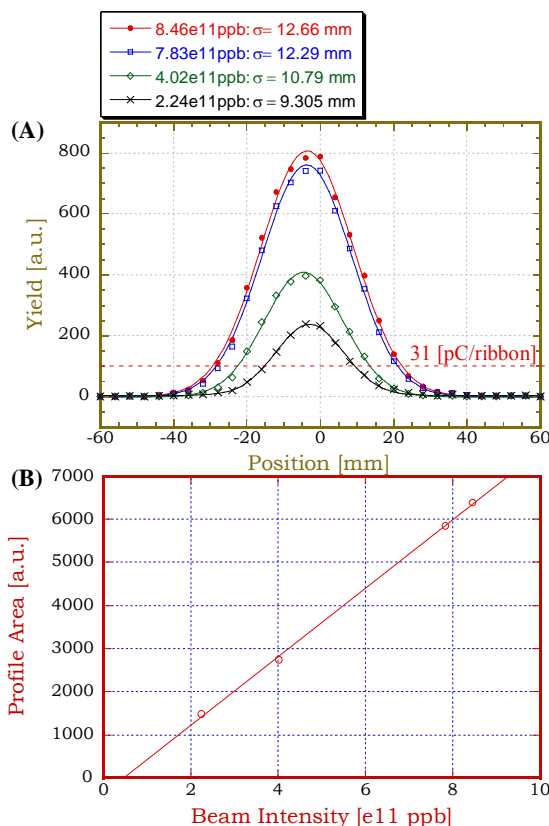


図6. ビームプロファイルとビーム強度の相関。

4. ビームプロファイル

図6に、ビーム強度を2.24~8.46e11ppbに変化させた時の3-50BT最下流での水平ビームプロファイルの変化を示す(CGリボン幅2.5 mm, ピッチ4.0 mm)。 (A)では、Gauss fit した時の σ がビーム強度が高くなるにつれて9.3~12.7 mmに大きくなっていく様子がわかる。プロファイルのテール部は、図中に示した31pCの破線ライン(別途Electrometerを用いて測定)の下まで連続に計測できている。(B)ではそれぞれの面積をMR入射時のDCCT強度との相関で示

しており、この強度範囲での直線性を確認した。

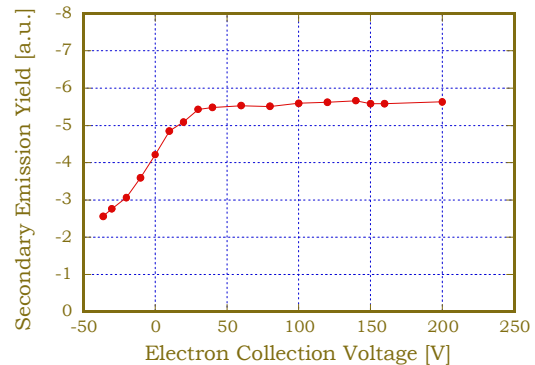


図7. ビーム強度 $4.2e11$ ppbの時のPlateau カーブ

図7には、ビーム強度が $4.2e11$ ppbの時に、リボン電極に対向する電子収集電極の印加電圧を $-36 \sim +200$ Vに変化させたときの電圧とリボン電極での電荷量の相関を示す。50V程度でPlateau 領域に入ることを確認した。実際のプロファイル計測時には、 $+150$ Vで計測を行っている。このPlateau 開始電圧は、2次電子の空間密度が高くなるにつれ高い電圧値にシフトする。今後の大強度ビームの運転ではそれに合わせて電子収集電圧値を上げてやる必要がある。尚、インストールしてあるCGターゲットのセットではリボン電極に対して、片側にのみ電子収集電極があるが、今夏には両側にセットする予定である。

5. まとめ

J-PARCにおける、1 MWクラスの陽子ビームのための2次電子放出型ビームプロファイルモニターを製作した。設計値の約1%のビーム強度においても十分なS/Nを得、100 pC以下の電荷信号を400 m遠方で計測することを可能にした。ビームロスと比較的小さいが、比例計数管タイプのロスモニターを用いて詳細に定量評価する予定である。今夏に、3-50BTの残りの4台をCGターゲットに置き換える予定である。

放射線医学総合研究所のHIMAC共同利用実験では、6MeV/uの重イオンビームを用いて有効な基礎的実験をさせていただいた。シチズン電子の赤尾祐司氏には耐放射線性接着剤の開発に、弘陽精工の中澤繁雄氏、松本義明氏には精度良いCGのレーザーカットに、そして有明マテリアルの岩永鉄平氏にはアルミナフレームの製作に、それぞれご尽力いただいた。

参考文献

- [1] Y. Hashimoto, et al., "Multi-Wire Beam Profile Monitor for J-PARC 3-50 BT and MR", proc. of the 5th Ann. Meeting of Part. Acc. Soc. of Japan, 2008, P.310.
- [2] 特許出願公開番号 特開2002-308611.
- [3] 特許出願公開番号 特開2007-101367.
- [4] SRIM: The Stopping and Range of Ions in Matter, <http://www.srim.org/index.htm>.
- [5] J. Kusano, Ed., "Collection of Radiation Irradiation Study Reports for the Candidate Materials and Instruments in the J-PARC", JAEA-Review 2008-022, 2008, P.24.