

パルス大強度相対論的電子ビーム利用のためのビーム特性の計測

MEASUREMENT OF BEAM CHARACTERISTICS FOR APPLICATION OF PULSED INTENSE RELATIVISTIC ELECTRON BEAM

佐竹勇人^{A)}, 中野竜也^{A)}, 高橋一匡^{A)}, 佐々木徹^{A)}, 菊池崇志^{#,A)}, 今田 剛^{B,C)}
Hayato Satake^{A)}, Tatsuya Nakano^{A)}, Kazumasa Takahashi^{A)}, Toru Sasaki^{A)}, Takashi Kikuchi^{#, A)}, Go Imada^{B,C)}
^{A)}Nagaoka University of Technology
^{B)}Niigata Institute of Technology
^{C)}Extreme Energy-Density Research Institute, Nagaoka University of Technology

Abstract

In this study, we aimed to construct a system to measure three-dimensional dose distribution, kinetic energy, and divergence angle as pulsed intense relativistic electron beam (PIREB) irradiation characteristics. To construct a measurement system for the three-dimensional dose distribution, we made a dose distribution measurement system in the beam traveling direction using a CTA film dosimeter and LEGO[®] blocks. As a result of measuring PIREB generated by "ETIGO-III", which is a linear induction accelerator installed at Extreme Energy-Density Research Institute, Nagaoka University of Technology, the irradiation pattern of PIREB is annular. It has been confirmed that the irradiation pattern breaks up as the transport distance increases. Next, PIREB cut out by pinhole was measured with a CTA film dosimeter, and the divergence angle was measured from the dose distribution. In addition, the trajectory of the electron beam was calculated, and it was confirmed that only the PIREB cut out by the pinhole reached the detector as in the experimental result. Finally, PIREB cut out by a pinhole was deflected by a magnetic field to measure the kinetic energy. From the dose distribution, it was clarified that PIREB of 400 keV or more is 65.4% or more of the whole.

1. はじめに

水環境では医薬品の流出による水質汚染や人為的に他地域から移動してきた外来種による生態系の影響等が問題となっている[1,2]。パルス大強度相対論的電子ビーム(Pulsed Intense Relativistic Electron Beam: PIREB)を用いた処理方法を検討[3-5]しているが、PIREB の特性が明確ではないため、被照射体の最適な寸法や位置を決定することが難しい[6,7]。

本研究では、PIREB の照射特性として、三次元線量分布や運動エネルギー、発散角を計測するシステムの構築を目的とした。各計測系を設計・製作し、長岡技術科学大学・極限エネルギー密度工学研究センターに設置されている PIREB 発生装置"ETIGO-III" [8]から発生する PIREB について、製作した各計測系により測定を試みた。

2. PIREB 計測系の開発

PIREB の照射特性として、三次元線量分布、運動エネルギー、発散角を計測するシステムを構築した。以下に製作した各計測系を示す。

2.1 三次元線量分布の計測系

三次元線量分布の計測系の構築では、CTA フィルム線量計[9]と LEGO[®]ブロックを用いて、ビーム進行方向に線量分布を計測できるシステムを構築した。Figure 1 に製作した三次元線量分布の計測系を示す。

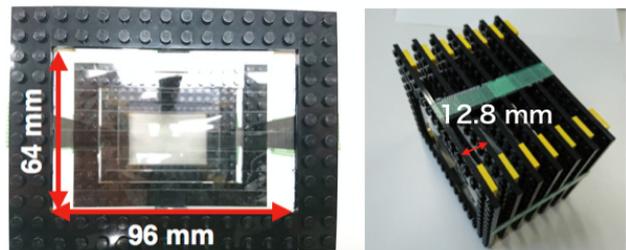


Figure 1: 3D dose measurement system.

2.2 発散角の計測系

Figure 2 に PIREB の発散角を測定するために、アクリル板とフィルム線量計で製作した治具を示す。

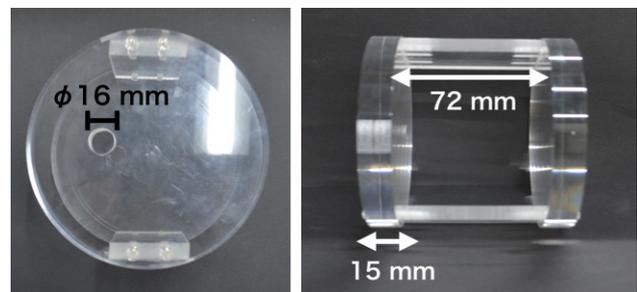


Figure 2: Divergence angle measurement system.

#tkikuchi@vos.nagaokaut.ac.jp

2.3 運動エネルギーの計測系

Figure 3 に PIREB の運動エネルギー計測系の概略を示す。ネオジウム磁石 (30×30×10 mm、表面磁束密度: 317 mT) を用いて PIREB を偏向し、偏向距離によって運動エネルギーを測定する。偏向した PIREB の分布は CTA フィルム線量計により測定する。

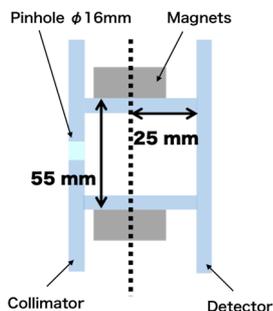


Figure 3: Kinetic energy measurement system.

3. PIREB 特性の計測結果

長岡技術科学大学・極限エネルギー密度工学研究センターに設置されている“PIREB 発生装置” ETIGO-III” から発生する PIREB を用い、開発した各計測系により三次元線量分布、発散角、運動エネルギー分布の測定を試みた。

3.1 三次元線量分布の計測結果

Figure 4 に、Fig. 1 で示した計測系を用いて測定し

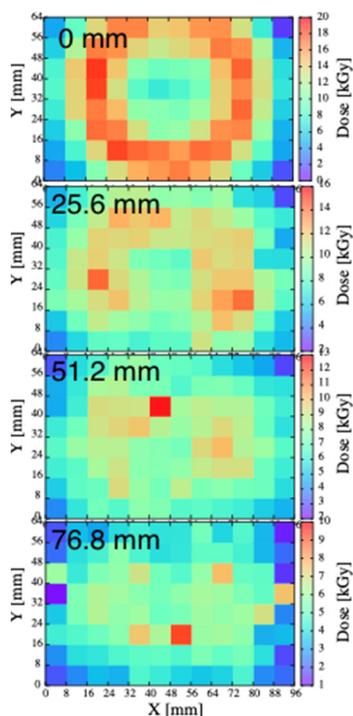


Figure 4: Dose distribution at each propagated position of PIREB.

た PIREB の三次元線量分布を示す。

計測系に入射した直後 (0 mm) の位置では、電子ビームダイオードの形状を反映した円環状の線量分布が確認できる。その後はガイド磁場を設置していないため、ビームの進行とともに大気中で拡散する様子が分かる。

3.2 発散角の計測結果

Figure 5 に、Fig. 2 で示した計測系を用いて測定した線量分布を示す。これより、発散角は最大で 21 deg となることがわかった。

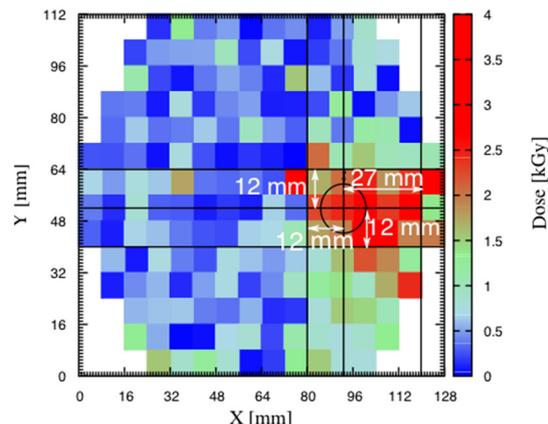


Figure 5: Dose distribution using divergence angle measurement system. Black circles indicate the position of pinhole.

3.3 運動エネルギーの計測結果

Figure 6 に、Fig. 3 で示した計測系によって測定した PIREB の運動エネルギー分布を示す。磁石あり・なしの場合の線量比から、400 keV 以上の運動エネルギーを持つ電子は全体の 65.4 %であることが確認できた。

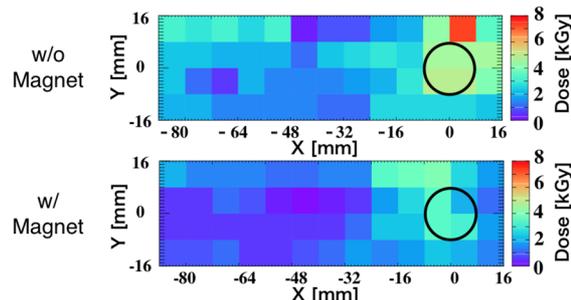


Figure 6: Dose distribution using kinetic energy measurement system with and without magnet. Black circles indicate the position of pinhole.

4. まとめ

本研究では、PIREB の照射特性として、三次元線量分布や運動エネルギー、発散角を計測するシステムの構築を目的とした。三次元線量分布の計測系の

構築では、CTA フィルム線量計と LEGO®ブロックを用いて、ビーム進行方向に線量分布を計測できるシステムを構築した。長岡技術科学大学・極限エネルギー密度工学研究センターに設置されている線形誘導加速器”ETIGO-III”から発生する PIREB について計測した結果、PIREB は大気に取り出された直後の照射パターンは円環状であるが、輸送距離が長くなるにつれて照射パターンがくずれ、広がることが確認できた。次に、ピンホールによって切り出した PIREB を CTA フィルム線量計で計測し、線量分布より発散角を測定した。また、電子ビームの軌道計算を行い、実験結果と同様にピンホールによって切り出された PIREB のみディテクタへと到達することを確認した。最後に、ピンホールによって切り出した PIREB を磁場で偏向させ、運動エネルギーを計測した。線量分布より、400 keV 以上の PIREB が全体の 65.4 %以上であることを明らかにした。

参考文献

- [1] 小森行也ら, "河川流域における医薬品の存在実態調査", *Journal of EICA*, 17 (2013) pp.41-44.
- [2] 大沼あゆみ, 栗山浩一, "生物多様性を保全する", 岩波書店 (2015) pp146-151.
- [3] G. Imada and K. Yatsui, *IEEE Trans. Plasma Sci.*, Vol.31, (2003) p.295.
- [4] T. Kikuchi *et al.*, *Plasma Fusion Res.*, Vol.6, (2011) p.1206021.
- [5] T. Kazetoh *et al.*, *IEEJ Transactions on Fundamentals and Materials*, Vol.135 No.6 (2015) pp.355-356.
- [6] S. Umemura and T. Aso, ICET2016 (2016) S-32.
- [7] H. Satake *et al.*, "水環境保全のためのパルス大強度相対論的電子ビームの運動エネルギー計測", *Proceedings of the 14th Annual Meeting of Particle Accelerator Society of Japan*, Sapporo, Japan, Aug. 1-3, 2017, TUP123.
- [8] A. Tokuchi *et al.*, *Proc. 12th Intl'l Conf. High Power Particle Beams*, Vol.1 (1998) pp.175-178.
- [9] R. Tanaka *et al.*, *Manual of CTA Dose Meter* (1982).