

水棲微生物処理のためのパルス大強度相対論的電子ビームの 螺旋状標的を用いた水中への侵入深さ計測

MEASUREMENT OF PENETRATION DEPTH INTO WATER USING HELICAL TARGET OF PULSED INTENSE RELATIVISTIC ELECTRON BEAM FOR AQUATIC MICROORGANISM TREATMENT

庄司健太^{#,A)}, 皆川勇^{A)}, 今田剛^{A,B)}, 梅村将太^{C)}, 阿蘇司^{C)}, 高橋一匡^{A)}, 佐々木徹^{A)}, 菊池崇志^{A)},
原田信弘^{A)}

Kenta Shoji^{#,A)}, Isamu Minagawa^{A)}, Go Imada^{A,B)}, Shota Umemura^{C)}, Tsukasa Aso^{C)}, Kazumasa Takahashi^{A)},
Toru Sasaki^{A)}, Takashi Kikuchi^{A)}, Nob. Harada^{A)}

^{A)} Nagaoka University of Technology

^{B)} Niigata Institute of Technology

^{C)} National Institute of Technology, Toyama College

Abstract

To consider the effect of pulsed-intense-relativistic electron beam (PIREB) irradiation to zooplankton, a penetration depth of PIREB into water was measured with a helical target and film dosimeters. Maximum acceleration voltage of PIREB was irradiated under the conditions of 2,4,6 and 8MeV. And beam current was 0.2 ~ 0.6 kA. PIREB was irradiated to a helical target into artificial sea water. Film dosimeters attached to the surface of the helical target and entire surface of the Ti foil as the lid. The helical target after irradiation was discolored. When the acceleration voltage became higher, the discoloration range was spread and dose was detected up as far as deep position. Moreover, the dose of discolored position was detected as high. From the maximum penetration depth measurement, the affecting range of PIREB irradiation was considered as the penetration depth of 18.7mm.

1. はじめに

野生生物の本来の移動能力を超えて、人為によって意図的又は非意図的に国内や国外の他の地域から移動してきた水棲微生物の外来種が、在来生物の捕食及び捕食による水産業などへの被害を及ぼしている。外来種の導入経路の例としては、船舶のバラスト水に混入、船体に付着することで、遠方の海域まで運ばれる。また、現地に元々存在しない種を導入して養殖する場合、この種が逃げ出す場合などがある^[1]。

対策として、パルス大強度相対論的電子ビーム (pulsed intense relativistic electron beam : PIREB) を用いた水棲微生物の処理方法が検討されている。これまでに水棲微生物 (アルテミア) の卵^[2]及び幼生^[3]に PIREB を照射することで、不活化することを確認している。PIREB が水棲微生物に与える影響として、直接作用と間接作用がある^[4]。直接作用は電子線や PIREB から発生した制動 X 線が、ターゲットの DNA に損傷を与える。間接作用は、PIREB や制動 X 線が水分子にエネルギーを付与することで発生する OH ラジカル等の活性種を介して、ターゲットの DNA へ損傷を引き起こす。

本研究では、水棲微生物へ影響を与える PIREB の水中への侵入深さを、螺旋状標的を用いて計測し明らかにする。計測方法は、照射による螺旋状標的の変色の範囲と、CTA フィルム線量計“FTR-125”^[5]を用いた線量測定より評価した。

2. 実験方法

Figure 1 は PIREB の水中への侵入深さ計測実験の概略図である。PIREB 発生装置には、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、極限エネルギー密度発生・応用装置“ETIGO-III”^[6]を用いた。Figure 2 に ETIGO-III の外観を示す。ETIGO-III は 4 段の線形誘導加速器であり、加速電圧を 2, 4, 6, 8MV に可変することができる。ビーム電流は 0.2 ~ 0.6kA である。PIREB は真空中で加速され、40 μ m の厚さのチタン箔を通過し大気側に引き出され、人工海水で満たされた容器内に設置した螺旋状標的へ照射される。Figure 3 に典型的な加速電圧波形、Figure 4 にビーム電流波形を示す。

螺旋状標的は 3D プリンタ“アジリスタ”により製作した。素材はアクリル系 UV 硬化樹脂であり、螺旋部分の寸法は半径 55mm、深さ 40mm であり、90° で 10mm 深さが変化する。Figure 5 に、実際の螺旋状標的の全体像を示す。封入容器はポリプロピレン製であり、内径 110mm、深さ 84mm の円筒形の物を使用した。フィルム線量計は螺旋状標的の照射面側に深さ 2.5mm 毎、また、容器の蓋全面に貼り付けている。本実験では、PIREB を各最大加速電圧で 10shot 積算させて照射し、照射後の変色範囲及び線量測定から侵入深さを評価した。

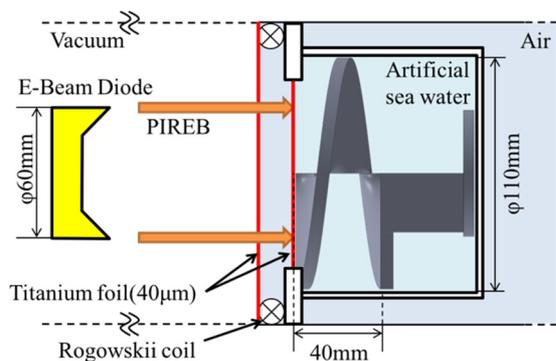


Figure 1: Experimental setup for PIREB irradiation.



Figure 2: Linear induction accelerator "ETIGO-III".

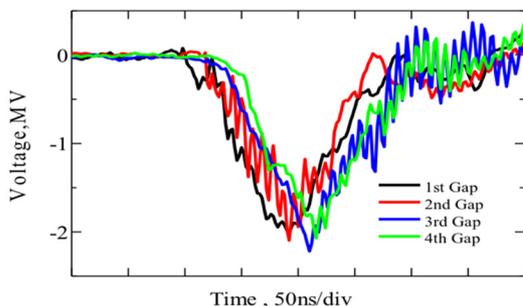


Figure 3: Typical waveforms of acceleration voltages.

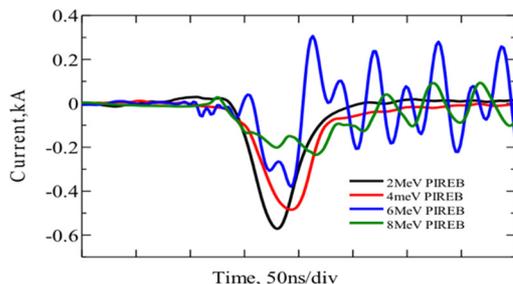


Figure 4: Typical waveforms of PIREB current.



Figure 5: Helical target for electron penetration depth measurement into water.

3. 実験結果

3.1 螺旋状標的の変色範囲

照射前及び各加速電圧における照射後の螺旋状標的を Figure 6 に示す。照射後の螺旋状標的は濃い橙色に変色した。赤枠で囲んだ部分に変色部分を示している。2, 4, 6, 8MeV でそれぞれ 1.5, 6.3, 7.0, 14.4mm 程の深さまで変色し、加速電圧が高い程広い範囲で変色することが確認できた。

3.2 線量測定結果

ETIGO-III のカソード半径は 30mm のため、螺旋状標的に貼り付けたフィルム線量計は、螺旋状標的の中心から 30mm の点を測定し、同時に 15, 45mm の点も測定した。また、カソード形状が円環状のため、PIREB も円環状に照射されるが、Figure 7 のように PIREB は不均一に分布している^[7]。そのため、螺旋状標的の深さ毎の線量を入射面の線量で規格化する必要がある。

各加速電圧における侵入深さ毎の規格化した線量の結果を Figure 8 に示す。線量は深くなる毎に低くなるが、一定の値に収束していくことが確認できた。これは、PIREB により発生した制動 X 線が、電子が侵入していない領域にも侵入するため、線量が発生したと考えられる。また、中心から 15mm の 4, 6, 8MeV, 45mm の 8MeV において 30mm と似た傾向を確認できた。Figure 6 の変色の範囲と比較すると、変色箇所において線量が高くなっていることが分かった。ETIGO-III から照射される PIREB の水中への侵入深さについて、カソード半径である 30mm の点で考える。線量が収束した値の範囲より高い値の範囲を最小二乗法により傾きを求め、収束範囲で最も線量が高い値に水平な線をとる。2 線の交点までを PIREB 侵入範囲とすると、2, 4, 6, 8MeV でそれぞれ 2.8, 10.1, 8.7, 18.7mm となった。6MeV が 4MeV の PIREB 侵入範囲と近い値になった。ETIGO-III の 6MeV 照射時の構成において、4MeV 構成時と似た運動エネルギーを持った電子が多く占めており、4~6MeV の運動エネルギーを持った電子が少なかったためと考えられる。

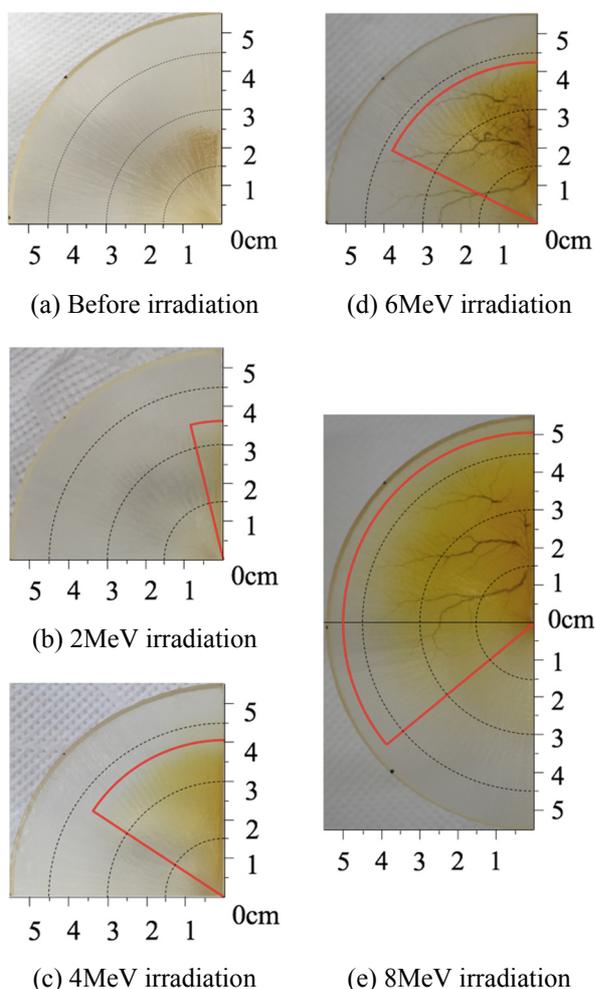


Figure 6: Helical target before irradiation and after irradiation at each acceleration voltage.

4. まとめ

各加速電圧におけるPIREBへの水中への侵入深さを、螺旋状標的を用いて評価した。照射後の螺旋状標的の変色範囲及び線量測定の結果から、加速電圧が上昇することで侵入深さ距離は長くなり、最大で18.7mmとなった。この範囲まで、水棲微生物へ影響を与えられると考えられる。

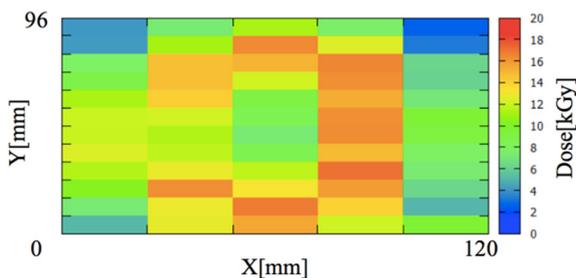
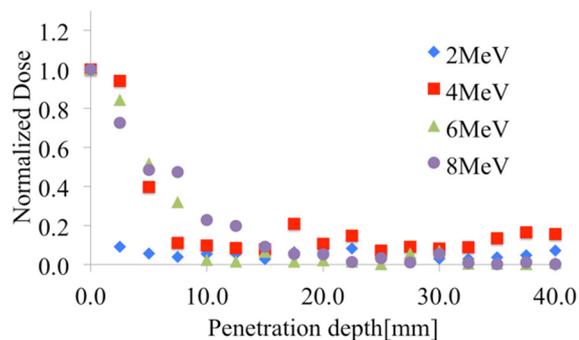
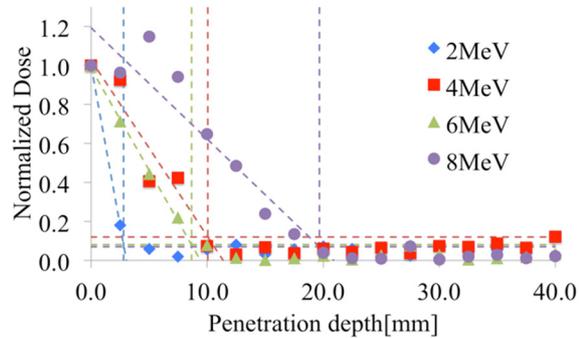


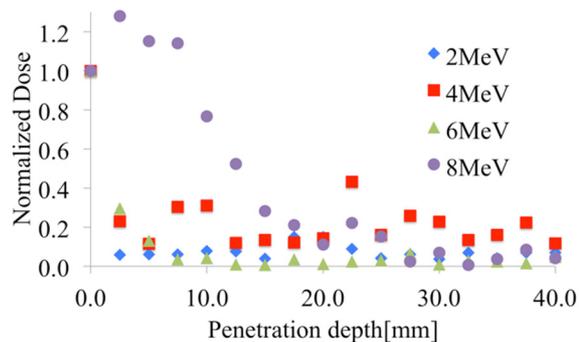
Figure 7: Distribution of dose in the air as 4MeV.



(a) 15mm from the center.



(b) 30mm from the center.



(c) 45mm from the center.

Figure 8: Normalized dose at each penetration depth as 2,4,6 and 8MeV.

参考文献

- [1] https://www.env.go.jp/nature/biodic/kaiyohozen/pdf/pdf_honbun.pdf
- [2] H. Kondo *et al.*, Plasma Fusion Res., Vol.5, p.036(2010).
- [3] T. Kazetoh *et al.*, IEEJ Transactions on Fundamentals and Materials, Vol.135, pp.355-356 (2015).
- [4] 杉浦紳之, 放射線概論, pp257, 通商産業研究社, (2013).
- [5] Ryuichi TANAKA *et al.*, Manual of CTA Dose Meter(1982).
- [6] A. Tokuchi *et al.*, Proc. 12th Int'l Conf. on High-Power Particle Beams, pp. 175-178(1998).
- [7] I. Minagawa *et al.*, HEDS2015., HEDSp8-11(2015).