

高エネルギー放射線照射環境構築のためのシミュレーションと線量計評価

Simulation of Radiation Dose and Evaluation of Glass Dosimeters for High-Energy Irradiation Environment

○倉田 瑞希¹, 住友 洋介², 大和 紗也香¹, 土屋 颯太³, 日南 健³, 境 武志⁴, 早川 建⁴, 早川 恭史⁴*Mizuki Kurata¹, Yoske Sumitomo², Sayaka Yamato¹, Sota Tsuchiya³, Ken Hinami³, Takeshi Sakai⁴, Ken Hayakawa⁴, Yasushi Hayakawa⁴

We believe that radiation resistances of materials and equipments is important for the recent and future rapid space developments, where high-energy radiations cause serious damages. Therefore, we are conducting a research to establish a high-energy radiation environment using the electron linear accelerator at Nihon University, which can accelerate up to 100 MeV. The electron linear accelerator uses two bending magnets for an oscillator free electron laser system. Irradiation tests are conducted using radiations generated mostly at the first bending magnet. In this presentation, we will report simulation results on the energy spread of the electron beam during the accelerator operation, the radiation dose generated by the first bending magnet, and a high-energy response of glass dosimeters.

1. はじめに

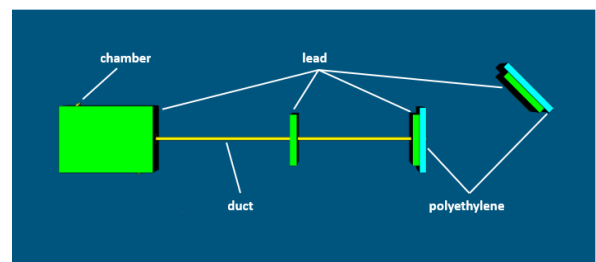
近年、活発に行われている宇宙開発において宇宙環境下での高エネルギー放射線による材料や機器への放射線耐性が重要となり国内での高エネルギー放射線による照射環境は需要が高まってくると思われる。そこで、日本大学にある 100MeV まで加速可能な電子線形加速器を利用した高エネルギー放射線照射環境構築を目指し研究を行っている。加速器がある船橋校舎は都心からのアクセスが良く気軽に試験が行えることや、首都圏では高いエネルギーの生成が可能な稀な施設となっている点が利点となっている。ベンチャーを始めとした多くの企業にとって、今後の宇宙開発が容易になるような照射環境の構築を目指している。本電子線形加速器では、45度偏向電磁石を2つ使い電子ビームを90度に曲げてから共振型自由電子レーザー装置に送っている。自由電子レーザーに適した電子ビームを作成するため、電子ビームにエネルギー差を設けており45度偏向電磁石の真空ダクト内を通過出来ない電子が存在し放射線が発生する。この放射線を利用して照射試験を行う予定である。本研究では、加速器運転中の線量をガラス線量計で測定し、PHITS^[1]でのシミュレーションによる結果と比較を行うことを目的としている。

2. シミュレーションによる線量評価

加速器運転中の線量をガラス線量計で測定したのでシミュレーションによる線量評価を行う^[2,3]。まず、自由電子レーザー利用時の運転状況をシミュレーションで用いるため、Astra^[4]を使用し加速部での電子のエネルギー広がりを出算した^[5]。電子ビームは、±5%程度

のエネルギー幅を持っており、偏向部でのチャンバーから±4%程度が削れて放射線として放出されていることがわかった。実際には、最初に加速しきれていない電子が多存在するためより多くの線量生成となる。

次に、ガラス線量計の吸収線量(γ線)についてPHITS^[1]でシミュレーションを行い測定結果と比較する。ジオメトリーは最初のチャンバーと次のチャンバーまでのダクト、遮蔽も含めたものとした(Fig.1)。これは、最初の偏向部で電子のほとんどが削られ放射線の発生源となるからである。粒子数を 7.41×10^{12} 、電子ビームのエネルギー幅を±5%程度とし、粒子分布はガウス分布を仮定した。試行回数を3500万回で計算を行った。電子とγ線の飛跡は以下ようになった(Fig.2,3)。γ線の飛跡は出ているが数値は出なかったため測定結果と比較は難しい。数値が出なかった理由としては、タリーするガラス線量計が全体に比べて小さいこと、複雑な設定であるため試行回数が足りなかったことが考えられる。また、偏向部の遮蔽についても完璧ではないため、全ての設定を見直し、試行回数を増やして再度計算を行うことを計画している^[6]。

Figure 1: The geometry of dose assessment.^[6]

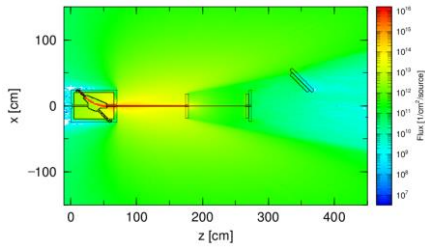


Figure 2: electron track.^[6]

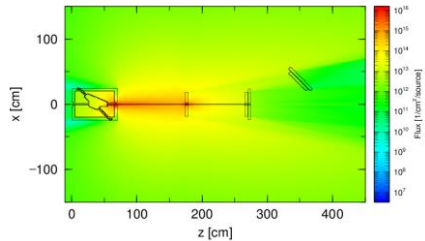


Figure 3: photon track.^[6]

3. ガラス線量計の校正について

加速器運転中の線量を測定する際に使用した線量計は市販のものであり、Cs-137を用いた低エネルギーでの校正となっている。10MeVを超えるような高エネルギー環境での測定が正確に行えているかは不明であるため、10MeVを超える γ 線による照射実験を行い、高エネルギー放射線に対するガラス線量計の校正について検討することにした。

兵庫県にあるニュースバル加速器施設ではでのレーザーコンプトン散乱による34MeV準単色ガンマ線生成を行っており、生成される光子数もわかっていることから、ガラス線量計の高エネルギー γ 線に対する応答を見るうえでは適した環境であると言える。そこで、この準単色 γ 線を用いて、7分、15分、30分の異なる時間でガラス線量計に照射実験を行った。結果は以下となる(Table.1)。

Table 1: Measurement results of irradiation experiments

7min	79 μ Gy
15min	134 μ Gy
30min	274 μ Gy

この実験についてもPHITSでシミュレーションを行い測定結果と比較をした結果を報告する。

4. まとめと今後の展望

PHITSでのシミュレーションが上手くいかなかったため、測定結果と比較することは出来なかった。様々な要因を考え、もう一度シミュレーションを行っていく。また、原子力機構にある照射設備でガラス線量計に照射する予定もあるので引き続き高エネルギー環境下でのガラス線量計の校正について考えていく。

5. 参考文献

- [1] T. Sato, et al., Recent improvements of the Particle and Heavy Ion Transport code System - PHITS version 3.33, J. Nucl. Sci. Technol.
- [2] S. Yamato, et al., “ASSESSMENT OF A HAND-MADE SCINTILLATOR RADIATION MONITOR BY AN ION CHAMBER TOWARD A POINT DOSE EVALUATION IN ACCELERATOR OPERATIONS”, Proceedings of the 20th Annual Meeting of Particle Accelerator Society of Japan August 29 - September 1, 2023, Funabashi, PASJ2023 THP44.
- [3] S. Yamato, et al., “DEVELOPMENT OF DOSE ASSESSMENT AROUND ACCELERATOR FOR HIGH-ENERGY IRRADIATION EXPERIMENTS”, Proceedings of the 21th Annual Meeting of Particle Accelerator Society of Japan July 30 - August 3, 2024, Yamagata, PASJ2024 THP020.
- [4] K. Floettmann, “Astra user manual, see <http://www.desy.de/~mpyflo/>,” Astra- dokumentation.
- [5] M. Kurata, et al, “Dose Evaluation for High Energy Irradiation Environment toward Space Development”, The 61st Annual Meeting on Radioisotopes and Radiation Researches.
- [6] M. Kurata, et al., “SIMULATION DOSE EVALUATION FOR A HIGH-ENERGY RADIATION IRRADIATION ENVIRONMENT”, Proceedings of the 21th Annual Meeting of Particle Accelerator Society of Japan July 30 - August 3, 2024, Yamagata, PASJ2024 THP019.