

高いエネルギーの放射線照射環境構築に向けた加速器まわりの線量評価 DEVELOPMENT OF DOSE ASSESSMENT AROUND ACCELERATOR FOR HIGH-ENERGY IRRADIATION EXPERIMENTS

大和紗也香^{#, A)}, 住友洋介^{A)}, 倉田瑞希^{A)}, 土屋颯太^{A)}, 日南健^{A)}, 境武志^{B)}, 早川建^{B)}, 早川恭史^{B)}
Sayaka Yamato^{#, A)}, Yoske Sumitomo^{A)}, Mizuki Kurata^{A)}, Sota Tutiya^{A)}, Ken Hinami^{A)}, Takeshi Sakai^{B)},
Ken Hayakawa^{B)}, Yasushi Hayakawa^{B)}
^{A)} CST, Nihon University, Chiba, Japan
^{B)} LEBRA, Nihon University, Chiba, Japan

Abstract

Recent rapid developments of space science suggest the near-future demands of radiation dose assessments for the materials used in space. In fact, the radiation circumstance in space is severe not only by the high-dose environment, but also the higher energy radiations from the sun and the outer region of the solar system. Hence, it is important to know how various devices and the materials are damaged by radiation. Now we are constructing an environment in which radiation assessment can be performed using the existing accelerator that generates high-energy radiations up to 100MeV. In this study, we report the irradiation dose around the undulator is measured using an ionization chamber, scintillation detectors, and glass dosimeters. We illustrate a development of the measurement of precise irradiation time by the scintillation detectors since sometimes the electron beams are not operated suitably due to the discharges occurred at klystron windows.

1. はじめに

アンジュレーターとは、永久磁石で周期的な磁場を作ることによって放射光の生成や X 線レーザーの発振を実現する装置のことで、放射光施設や X 線自由電子レーザー(X-ray Free Electron Laser : XFEL)施設などで重要な役割を果たしている。しかし、高線量の放射線にさらされることによって磁力を失う「放射線減磁」が問題となっている。日本大学電子線利用研究施設 (Laboratory for Electron Beam Research and Application : LEBRA)では、共振型自由電子レーザー(FEL)の運用に使用しているアンジュレーターの磁石が最大で 30%程減磁していることが発覚した。そのため、アンジュレーターの磁石列を交換し、保護のために CsI シンチレーション検出器の製作・設置を行った[1]。また、大型放射光施設 SPring-8 及び XFEL 施設 SACLA でもアンジュレーターにおける永久磁石の放射線減磁は問題視されており、その原因と対策について議論されている[2]。

また、企業における材料開発で物質の放射線耐性を調べたいという要望が年々増加している。これは放射線耐性素材の開発や、近年急速に高まりつつある宇宙開発が背景にある。特に宇宙空間では高エネルギーの放射線にさらされるため、様々な装置やそれを構成している物質がどのように放射線損傷するかを知ることは重要である。そのため、高エネルギーの放射線を発生させることができる加速器を用いて放射線影響評価が行える環境を整えることが、今後の宇宙開発において重要である。

以上のことから放射線照射線量と物質の性質変化の関係についての評価をする必要があると考え、その評価をするための環境構築に着手している。本研究ではシンチレーション検出器で計測したデータを解析するプログラムの改良を行い、クライストロン窓で起こる放電とその後に行う回復エージングの時間の間、ビームが出ないこ

とも含めて、正確なデータの記録が可能となった。

2. プログラムの作成

本研究ではシンチレーション検出器のデータの解析・保存のためのプログラムを作成している。シンチレーション検出器での測定から記録までのプロセスは Fig. 1 で示した通りである。詳細は前回の加速器学会のプロシーディング[3]に記載してある。

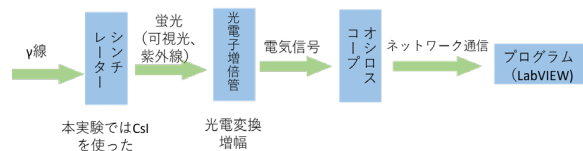


Figure 1: Our recording process of the scintillation detector measurements.

プログラムには LabVIEW を使い、次に示すようなことができるようにした。

2.1 データの重複の防止

Area 値(波形の面積)とその積算値が重複しないようにテキストファイルに保存する。ケースストラクチャを使うことで同じ値のデータを取り除いた。

2.2 RF 放電による不要なデータの除去

日本大学の加速器では数分に 1 度 RF 放電が起こり、回復エージングプロセスの間はビームが出なくなる。そのため、しきい値を設け、ビームが出ていないときの値を取り除き、より正確なデータを記録できるようにした。

しきい値は NaI シンチレーション検出器を使ってビームが出ている場合と出ていない場合の Area 値を測定し、その結果から決定する。Figure 2 は電子エネルギー 60.6 MeV、マクロパルス幅 11 μ s のビーム(バーストモー

ド)を出した時の Area 値のグラフである。また、Fig. 3 はビームが出ていない場合の Area 値のグラフである。

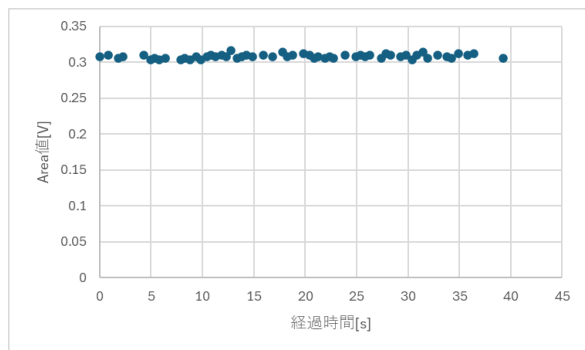


Figure 2: An illustration of the measured values with an electron beam operation.

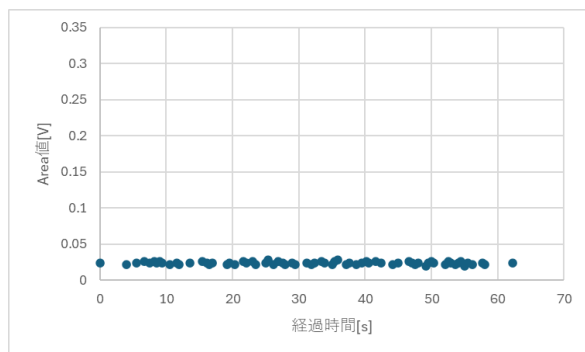


Figure 3: An illustration of the measured values without the beam operation.

Figure 2 と Fig. 3 からビームが出ている時、Area 値は 0.3 V 付近に集中しており、ビームが出ていない時は 0.02 V 付近に集中していることが分かる。このことからしきい値は 0.1 V に設定すれば良いと考えられる。

Figure 4 は NaI シンチレーション検出器を使って Area 値を記録したときのグラフである。なお、この時の運転状況は電子エネルギー 86.6 MeV、マクロパルス幅 11 μ s でバーストモードだった。

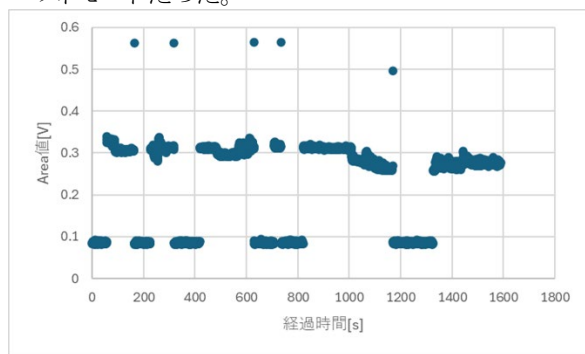


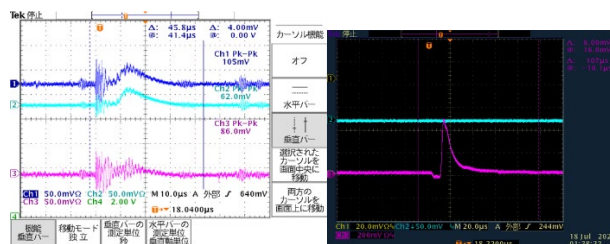
Figure 4: An illustration of measured values with the beam operation in the presence of discharges.

このグラフから数分に 1 度 RF 放電が発生し、ビームが出ず、Area 値が 0.1 V 以下まで低くなっていることが分かる。また、ビームが出なくなる直前に 0.5 V を超える値が出ている。これは RF 放電に伴うビームロスにより瞬間

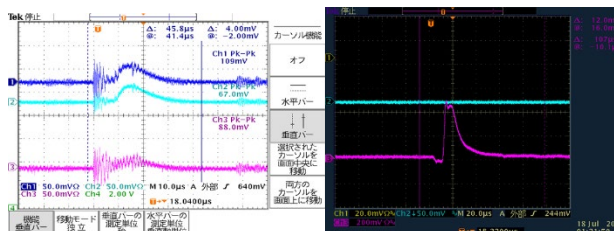
的に高線量の γ 線が測定されたためと考えられる。なお、Figure 2 と Fig. 4 を比較した際、電子エネルギーが異なるにもかかわらずビームが出ている時の Area 値がどちらも 0.3 V 程度となった。これは FEL ラインの電流値の違いなど他の要因が関係していると考えられるため、今後シミュレーションも含めて検討を行っていく予定である。

2.3 波形のパルス幅の記録

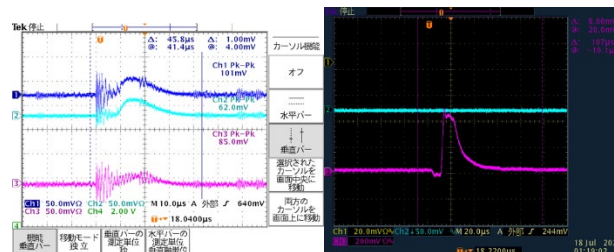
Figure 5 は CsI シンチレーション検出器と NaI シンチレーション検出器で測定を行ったときのオシロスコープの写真である。



(a) Macro pulse width 4 μ s (left CsI, right NaI)



(b) Macro pulse width 8 μ s (left CsI, right NaI)



(c) Macro pulse width 10.5 μ s (left CsI, right NaI)

Figure 5: Oscilloscope measurements with the scintillation detectors.

これらの図からビームのマクロパルス幅が大きくなると CsI はほとんど変わらないのに対し、NaI は波形のパルス幅が大きくなっていることが分かる。これは NaI の方が CsI より時定数が短いためと考えられる。このことから NaI シンチレーション検出器で測定した際の波形のパルス幅を記録することでビームのマクロパルス幅の違いをより明確にわかるのではないかと思ひ、今後パルス幅も正確に測れるよう発展させていく予定である。

3. 放射線検出器の設置場所

本研究ではガラス線量計とシンチレーションを Fig. 6 のように設置し、測定を行った。

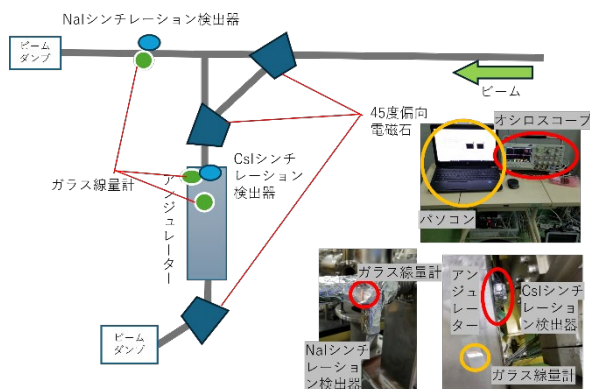


Figure 6: The outline of accelerator and photographs of the installation.

4. ガラス線量計による照射線量評価

LEBRA では電子を 2 つのモードで加速している。クライストロンの加速周波数に従うフルバンチモードと電子ビームを間引いてバンチ当たりの電荷量を増やしたバーストモードである。本研究ではバーストモードで電子を加速し、電子ビームエネルギー等を変えてガラス線量計による線量評価を行った。

	11月28日	2月13日～15日	5月27日～28日
運転モード	バースト	バースト	バースト
電子エネルギー [MeV]	78.1	96.9	68.1
メインコイルの電流値[A]	55.4	68.8	48.4
FELラインの電流値[mA]	30.6 (153)	13日 28.6(143) 14日 29.4(147) 15日 29.4(147.2)	記録なし
マクロパルス幅 [μ s]	12	11	11
線量値 (側面) [mGy/h]	4.806	記録なし	3.941
線量値 (上面) [mGy/h]	7.197	5.732	10.819

Figure 7: Irradiation dose evaluations using glass dosimeters.

Figure 7 はアンジュレーターの上面と側面に設置したガラス線量計の測定結果をまとめたものである。なお、FEL ラインの電流値のカッコ内はストレートラインの電流値である。結果を見ると 11 月 28 日と 2 月 13 日～15 日の上面の線量値を比べると 11 月 28 日の方が低いエネルギーにもかかわらず、線量が高くなっている。これは FEL ラインの電流値が高く設定されているためと考えられる。しかし、高エネルギー下でガラス線量計の校正が

されていないため、この結果は不正確な可能性がある。

5. まとめと今後の展望

プログラムの改良を行ったことでこれまでの研究より正確なデータを効率よく記録することができるようになった。今後はデータの記録の途中で電子エネルギー等の加速器の運転状況が変化した場合、別にデータが記録されるようにしたいと考えている。また、作成したプログラムを使って NaI シンチレーション検出器で測定した際の波形のパルス幅を記録し、ビームのマクロパルス幅の違いを明確に把握したいと考えている。

本研究で用いたガラス線量計は 3 MeV 程度のエネルギーまでで正しく測定できるよう校正されているものである。そのため、高エネルギーの放射線下で正確に測れているか不明である。そこでニュースバル等の施設で予め線量が分かっている高エネルギーの放射線をガラス線量計に照射し、測定を行う予定である。そして測定結果と理論値のズレを確認し、日本大学の加速器での測定結果の校正を行う。また、放射線計算コード「PHITS」[4]を用いてガラス線量計に γ 線を当てた際の吸収線量をシミュレーションし、実際の測定結果との比較も考えている[5]。

本研究では加速器の運転モードがバーストモードの時のみで測定を行ったが、今後はフルバンチモードでも測定を行い、バーストモードとの違いを比較する。

謝辞

本研究は、金属技研株式会社より頂いた支援を使用させて頂いています。

参考文献

- [1] H. Okazaki *et al.*, “Development of a radiation monitor for undulator demagnetization at Nihon University”, Proceedings of the 17th Annual Meeting of Particle Accelerator Society of Japan, 2020, pp.837-839.
- [2] T. Seike *et al.*, “Radiation Damage of SPring-8/SACLA Undulators and Its Countermeasures”, Journal of the Particle Accelerator Society of Japan, vol.20, No.1, 2023, pp.35-42.
- [3] 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, pp.778-780.
- [4] PHITS, <https://phits.jaea.go.jp/indexj.html>
- [5] M. Kurata *et al.*, “Simulation dose evaluation for a high-energy radiation irradiation environment”, The 21st Annual Meeting of Particle Accelerator Society of Japan, Yamagata, Japan, July 31 – August 3, 2024, THP019, this meeting.