

加速器運転中の定点線量評価に向けた電離箱と 自作シンチレータの比較

ASSESSMENT OF A HAND-MADE SCINTILLATOR RADIATION MONITOR BY AN ION CHAMBER TOWARD A POINT DOSE EVALUATION IN ACCELERATOR OPERATIONS

大和紗也香^{#, A)}, 住友洋介^{A)}, 倉田瑞希^{A)}, 木場広翔^{A)}, 境武志^{B)}, 早川建^{B)}, 早川恭史^{B)}

Sayaka Yamato^{#, A)}, Yoske Sumitomo^{A)}, Mizuki Kurata^{A)}, Hiroto Kiba^{A)},

Takeshi Sakai^{B)}, Ken Hayakawa^{B)}, Yasushi Hayakawa^{B)}

^{A)} CST, Nihon University, Chiba, Japan

^{B)} LEBRA, Nihon University, Chiba, Japan

Abstract

The demagnetization of undulator magnets by radiations in accelerators is a major problem for synchrotron radiation facilities and Free Electron Laser (FEL) facilities. In addition, there are increasing demands to know the influences of radiations in material developments. Based on these facts, we started dose assessments in our accelerator room where a high dose is expected during beam operations in order to understand the relationship between irradiation dose and changes in the properties of material. We used CsI scintillation detectors that located several places as dose monitors. In this study, we compare the measurements of radiation doses between the scintillation detectors and an ionization chamber.

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。これは原子力や核融合における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磁石を含む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、自作のシンチレーション検出器[1]と市販の電

離箱を用いてアンジュレーター周辺の線量を測定し、比較を行いながら、実際の照射線量の評価を行うことを目的としている。

2. 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

シンチレーション検出器での測定から LabVIEW で作成したプログラムでデータを記録するまでの方法について説明する。まず、シンチレーション検出器内にあるシンチレータに放射線が当たると蛍光を発する。この蛍光を光電子増倍管で電気信号に変換・増幅し、オシロスコープで読み取る。そして読み取ったデータを LabVIEW で作成したプログラムで記録する (Fig. 1)。

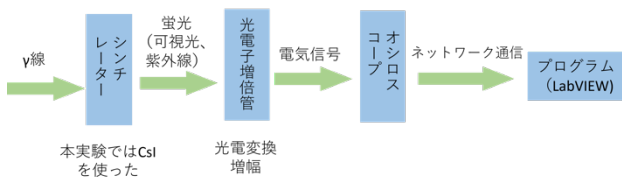


Figure 1: The scintillation detector measurement to recording process.

3. 電離箱の原理

電離箱とは、電離作用を利用した放射線検出器で、主に電離放射線の検知または測定に使われている。電離箱の中には気体が充填しており、そこに放射線が通ると気体原子に対して電離作用を起こす。すると、原子は陽イオンと電子に分離される。そして、陽イオンと電子はそれぞれ電極に引き寄せられ、電気信号に変換される。これにより、放射線量を測定することができる (Fig. 2)。

[#] cssa23029@g.nihon-u.ac.jp

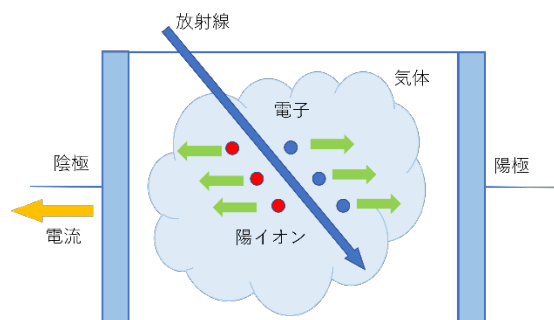


Figure 2: The principle of ionization chambers.

市販の電離箱は概ね 3 MeV のエネルギーに対して適切な線量を出すように公正されている。そのため、LEBRA にある加速器のように最大 100 MeV の放射線に対して適切な線量を出すか不明である。従って、本研究では、まずは電離箱だけでなくシンチレーション検出器を利用した比較を行い、今後、ガラス線量計やシミュレーション評価も踏まえて多角的に評価を行うことで、線量評価に近づけることを目的としている。

4. プログラムの作成

LabVIEW を用いて次に示すようなことができるプログラムを作成する。

- area 値 (波形の面積) とその積算値を重複しないようにテキストファイルへ保存する。
時間間隔が 0.55 秒以上になっている値をエラーとして表示する。
- これはオシロスコープからのデータが過不足なく記録されていることを確認するために設定した。

5. 電離箱とシンチレーション検出器での測定及び比較

5.1 実験方法

- 1) 電離箱を用いてアンジュレーター付近のバックグラウンドの線量を計測する。
- 2) 電離箱と CsI シンチレーション検出器を Fig. 3 のように密着させ、アンジュレーターの上に置く。
- 3) クライストロン高圧後に電離箱と CsI シンチレーション検出器を用いて線量を計測する。
- 4) 加速器のビームのマクロパルス幅を 4 μ s、8 μ s、12 μ s と変化させ、それぞれの場合の線量を電離箱と CsI シンチレーション検出器で計測する。
- 5) 4) で得られた値からバックグラウンドの線量を除いてグラフを作成する。

測定時間は全て 10 分とする。
グラフは経過時間と area 値 (波形の面積) の関係を表すものを作成する。

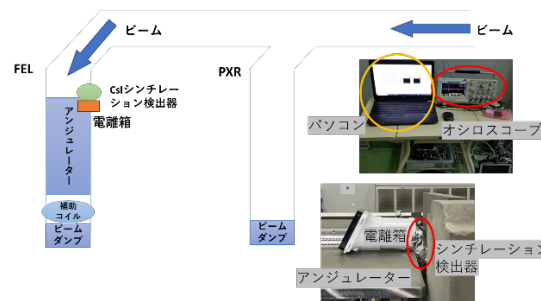


Figure 3: The outline of accelerator and photographs of the installation.

5.2 実験結果

5.1 で示した方法で実験を行い、シンチレーション検出器と電離箱で測定した area 値の積算値と経過時間の関係をグラフにした (Figs. 4, 5)。Figure 4 がシンチレーション検出器を用いた場合、Fig. 5 が電離箱を用いた場合である。電離箱を使ったときはビームのマクロパルス幅が大きくなるほど、積算値も大きくなるのが Fig. 5 のグラフの傾きから分かる。一方で、シンチレーション検出器を使ったときはビームのマクロパルス幅の違いが分かりにくくなっている。

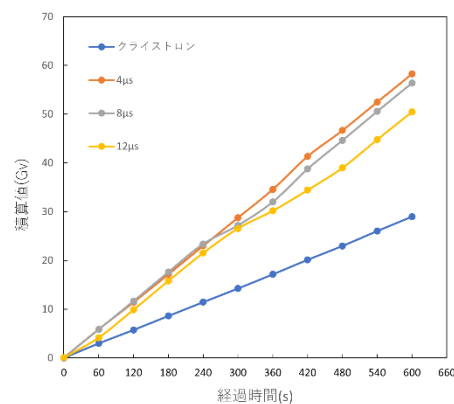


Figure 4: A graph of integrated measurements at the scintillation detector and elapsed time.

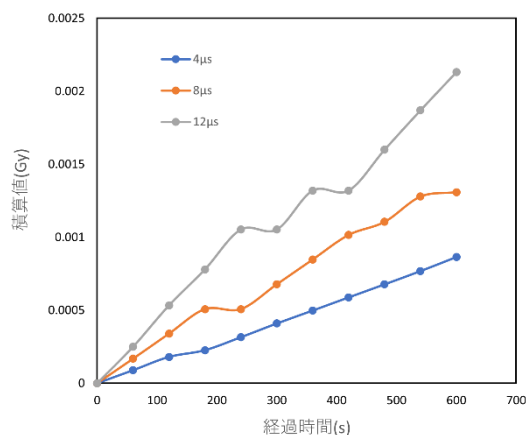


Figure 5: A graph of integrated measurements in the ionization chamber and elapsed time.

6. 結論・今後について

シンチレーション検出器を使ったとき、ビームのマクロパルス幅の違いが電離箱を使ったときより出なかった。これについて詳しい原因は分かっていないが、シンチレータの物質である CsI(ヨウ化セシウム)の特性ではないかと思われる。このことから光収率が高く、感度が良いとされている NaI シンチレーション検出器を使い、測定を行った。その時のオシロスコープの波形の様子を比較すると CsI シンチレーション検出器より NaI シンチレーション検出器の方がビームのマクロパルス幅の違いが分かりやすいことが分かった。しかし、この2つの検出器は離れた場所にあるため、一概に比較することができない。今後は条件を変え、更なる比較を行う。

また、より多角的な線量評価を行うためにシンチレーション検出器や電離箱だけでなく、ガラス線量計を用いて線量の計測と他の検出器との比較を行おうと考えている。さらに放射線計算コード「PHITS」[3]による計算値との比較も行う予定である。

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] PHITS,
<https://phits.jaea.go.jp/indexj.html>