

日大におけるアンジュレーター減磁対策のための放射線モニター開発

DEVELOPMENT OF A RADIATION MONITOR FOR UNDULATOR DEMAGNETIZATION AT NIHON UNIVERSITY

岡崎大樹^{#, A)}, 黒澤歩夢^{A)}, 早川恭史^{A)}, 境武志^{A)}, 住友洋介^{A)}, 早川建^{A)}, 野上杏子^{A)}, 田中俊成^{A)}

Hiroki Okazaki^{#, A)}, Ayumu Kurosawa^{A)}, Yasushi Hayakawa^{A)}, Takeshi Sakai^{A)}, Yoske Sumitomo^{A)},

Ken Hayakawa^{A)}, Kyoko Nogami^{A)}, Toshinari Tanaka^{A)}

^{A)} Laboratory for Electron Beam Research and Application (LEBRA), Nihon University

Abstract

It was found that the magnet array of the undulator device at Laboratory Electron Beam Research and Application (LEBRA), Nihon University was deteriorated due to radiation damage. The damaged magnet array was replaced by a new one for the repair of the undulator. To avoiding the radiation damage on the new magnet array, we have developed a radiation monitor for the radiation dose around the undulator. The radiation detector, which is constituted with a CsI(Tl) scintillator and a photomultiplier-tube, was calibrated using a small sealed-¹⁷³Cs source. Several detectors of the same specification will be prepared and be installed around the entrance of the undulator to analyze the source point of the radiation.

1. はじめに

日本大学電子線利用研究施設(Laboratory for Electron Beam Research and Application : LEBRA)では、125MeV 電子線形加速器を基に作られる電子ビームとアンジュレーターと光共振器から構成される共振器型自由電子レーザー(FEL)[1, 2]を運用している。この共振器型 FEL は基本波 1300 nm~6000 nm の間で自由に波長を変えることができ、近赤外から中赤外のパルス光の生成を行い、多くの実験に供給している。共振器型 FEL では、アンジュレーター装置が作り出す周期磁場によって電子ビームが蛇行運動を行い、発生した放射光が光共振器に蓄積される。蓄積された光と後続の電子ビームを相互作用させることによって、単色かつ短いパルス幅の光が生成される。そのため、アンジュレーター装置の作り出す周期磁場の周期性が失われると、共振器型 FEL の強度の低下や発振の不安定性の要因となる。LEBRA のアンジュレーター装置は、20 年以上にわたる放射線ダ

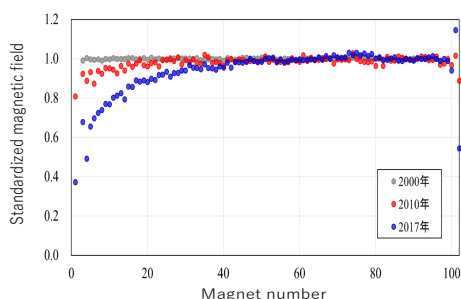


Figure 1: Reduction of the magnet field. The vertical and the horizontal axes indicate the normalized magnetic field and the magnet number from the undulator entrance, respectively.

[#] cshi19002@g.nihon-u.ac.jp

メージの蓄積により、上流側 1/3 が最大で 30%ほど減磁していることが、アンジュレーター装置の磁石の表面磁場の測定により発覚した(Fig. 1)[3]。そのため、令和元年度にアンジュレーター装置の磁石列の交換を行った(Fig. 2)。この磁石列の保護をするために、新たに放射線検出器を製作して設置し、線源の正確な場所を特定、遮蔽に役立てる。また、この検出器の設置により、リアルタイムでの線量測定を行うことができるようになり、加速器運転の指標とすることを目標としている。

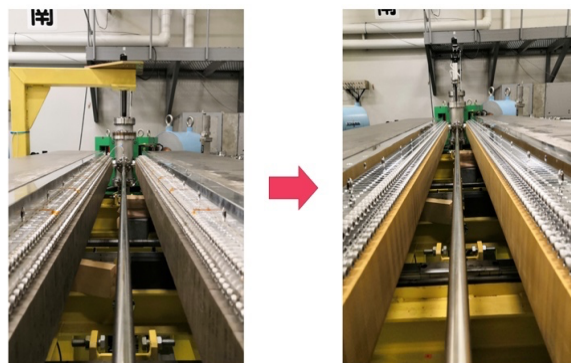


Figure 2: The photographs of the undulator magnet array before and after the repair.

2. 小型シンチレータ式放射線検出器の製作

2.1 光電子増倍管

浜松ホトニクス社製のメタルパッケージ光電子増倍管と高圧電源回路、低雑音アンプを内蔵した型番号 H10722-210[4]を使用した。内蔵されているアンプにより、光電子増倍管の電流出力は電圧出力に変換されるため、信号の処理が容易になるタイプである。使用した光電子増倍管の代表的な仕様を Table1 に示す。

Table 1: Specification of Photomultiplier-Tube

Effective area	φ 8 mm
Spectral response	230 nm~700 nm
Size	60×22×22 mm
Weight	90 g
Input voltage	±4.5 V~±5.5 V
Maximum input current	6.2 mA
Control voltage range	0.5 V~1.1 V

2.2 シンチレータ

サンゴバン社の比較的安価に売られているヨウ化セシウム CsI(Tl)固体シンチレータを使用した[5]。CsI(Tl)は、4.51 g/cm³という高い密度によりガンマ線に対する強い級数係数を示し、入射時の発光輝度はNaI(Tl)結晶と比較して、およそ45%高い。タリウムの添加によって、潮解性が下げられている。使用したCsI(Tl)シンチレータの代表的な仕様をTable 2に示す。

Table 2: Specification of CsI(Tl) Scintillator Crystal

Size	10×10×10 mm
Density	4.51 g/cm ³
Hygroscopic	Slightly
Wavelength of maximum emission	550 nm
Refractive index	1.79
Primary decay Time	1000 ns

2.3 放射線検出器の構成

シンチレータは、光電子増倍管の受光面に向く面以外は白いテープで覆って遮光し、光ガイドなどを使わず直接光電子増倍管に固定した。強い放射線環境下で用いるため、固定には放射線に耐性のあるカプトンテープを用いた(Fig. 3)。完全に遮光するために、アルミホイルを検出器全体に巻いてから設置した。



Figure 3: Photograph of the detector constituted with a CsI(Tl) scintillator and a photomultiplier-tube.

3. 放射線検出器の特性評価

製作した放射線検出器の特性を調べるために、¹³⁷Csのチェックソースを使用して特性評価を行う。測定時のセットアップの簡単な図をFig. 4に示す。¹³⁷Csのγ線は661.7 keVの単色線で、そのピーク的位置を基準として検出器のエネルギーに対する応答を校正していく。アンプとマルチチャンネルアナライザの線形性が良いと仮定し光電子増倍管で得られた電気信号を外部のアンプで増幅し、マルチチャンネルアナライザを用いてスペクトル測定を行った結果をFig. 5に示す。この結果から、CsI(Tl)結晶の吸収線量を計算して線量率を求め、市販のサーベイメーターと比較しながら校正を続けていく予定である。また、検出器は複数台製作して設置する予定で、それらを定量的に比較するために、個々の光電子増倍管の電圧依存性を調べている(Fig. 6)。

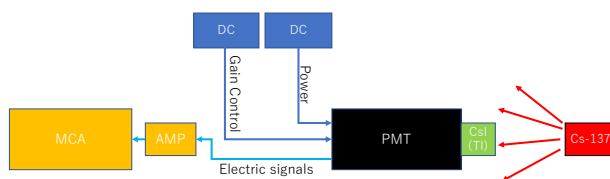


Figure 4: Schematic diagram of the setup for the spectroscopy measurement using a ¹³⁷Cs sealed source.

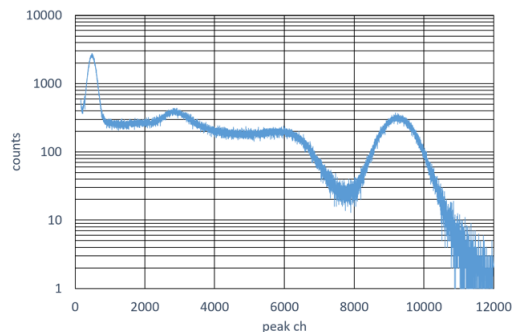


Figure 5: Typical spectrum of γ-rays from ¹³⁷Cs source taken by the detector.

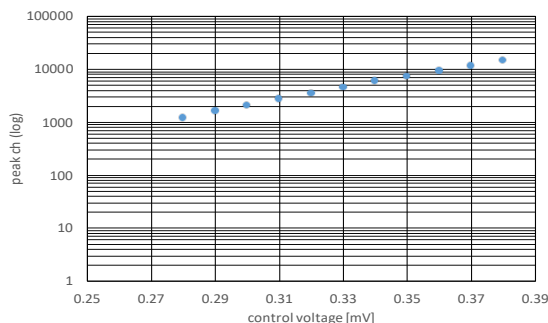


Figure 6: Voltage dependence of the photomultiplier-tube gain.

4. 検出器の設置場所

今回製作した放射線検出器は、アンジュレーターにダメージを与える放射線を測定するためのものである。主な放射線源と推定されているのがビームライン偏向部にあるスリット(Fig. 7)であるのを考慮し、今回の検出器を Fig. 8 の赤四角の場所に設置した。また、Fig. 8 の黄色丸の部分にも検出器を設置して、アンジュレーター周辺以外での放射線の検出を行う予定である。

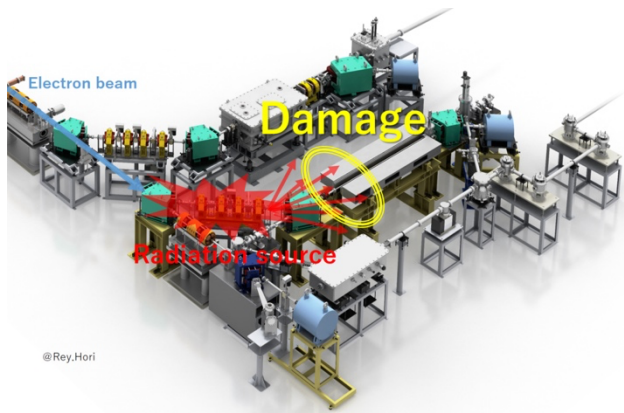


Figure 7: Explanation of the radiation source point affecting the undulator device.

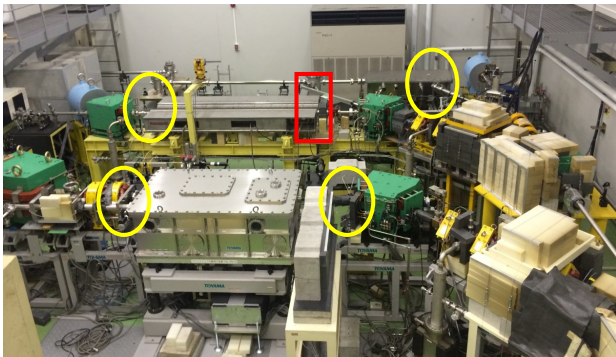


Figure 8: Installation points of the detectors for radiation monitoring.

5. 今後の計画

校正した複数台の検出器を使用して、加速器本体室内で加速器運転中の測定を行う。それぞれの場所での測定値から、アンジュレーター周辺で放射線源となっている場所の特定を試みる。この結果を参考にして、アンジュレーター周辺の遮蔽強化を検討していく。遮蔽強化を検討するにあたって、放射線挙動のシミュレーションを行うことができる計算コードである PHITS の利用も考えている。遮蔽強化後も、設置した放射線検出器は常時モニターとして運用し、加速器運転において、アンジュレーター磁石列の放射線損傷のリスクを減らす調整に役立てる予定である。

謝辞

本研究は文部科学省光・量子飛躍フラッグシッププログラム (Q-LEAP) JPMXS0118070271 の助成を受けたものです。

参考文献

- [1] K. Hayakawa *et al.*, "Operation of Near-infrared FEL at Nihon University", Proceedings of FEL 2007, Novosibirsk, Russia, pp. 114-117, 2007.
- [2] Y. Hayakawa *et al.*, "First lasing of LEBRA FEL at Nihon University at a wavelength of 1.5 μm ", Nucl. Instrum. Methods Phys. Res., A 483, pp. 29, 2002.
- [3] 野上杏子. アンジュレーター永久磁石による FEL 発進への影響. 第 24 回 FEL と High Power Radiation 研究会.
- [4] <https://www.hamamatsu.com/jp/ja/product/type/H10722-210/index.html>
- [5] <https://www.crystals.saint-gobain.com/products/csitl-cesium-iodide-thallium>