

# 無線 LAN システム更新のための SuperKEKB 加速器トンネル内放射線量測定 RADIATION DOSE MEASUREMENT IN THE SuperKEKB ACCELERATOR TUNNEL FOR UPDATING WIRELESS LAN SYSTEM

伊藤史哲<sup>#, A)</sup>, 塩澤真未<sup>A)</sup>

Fumiaki Ito<sup>#, A)</sup>, Mami Shiozawa<sup>A)</sup>

<sup>A)</sup> High Energy Accelerator Research Organization

## Abstract

During the summer 2024 shutdown period of the SuperKEKB accelerator, the wireless LAN system of the accelerator control network was upgraded. Since the system is also deployed within the accelerator tunnel, countermeasures against radiation exposure are required. The previous wireless LAN system had been installed prior to the start of accelerator operation; therefore, it is desirable to re-evaluate the shielding measures based on the actual radiation levels observed during operation. In preparation for the re-evaluation, radiation measurements were conducted both during accelerator operation and immediately after shutdown. Additionally, data on errors and failures of the wireless LAN system were collected and analyzed in conjunction with the radiation measurements, providing essential input for evaluating the effectiveness of the shielding measures.

## 1. はじめに

2024 年夏の SuperKEKB 加速器シャットダウン期間中に加速器制御ネットワークの無線 LAN システムの更新を行った。加速器トンネル内に敷設された無線 LAN 機器に関しては、放射線対策が必要である。更新前の無線 LAN システムは加速器運転開始前に導入されたため、運転時の実際の放射線量を踏まえた上で遮蔽に関して再評価を行うことが望ましい。そのため、加速器運転中及び停止直後に放射線量測定を行った。また無線 LAN システムのエラーや、故障についても情報を収集し、放射線測定結果と合わせることで、放射線遮蔽に対する評価材料とした。

## 2. 放射線量測定

### 2.1 運転時の放射線量測定

SuperKEKB 加速器運転中の積分放射線量をガフクロミックフィルムを用いて測定した。ガフクロミックフィルムとは、Ashland 社の商標名で、Fig. 1 のように、積算放射線暴露量による変色から線量を同定するラジオクロミックフ

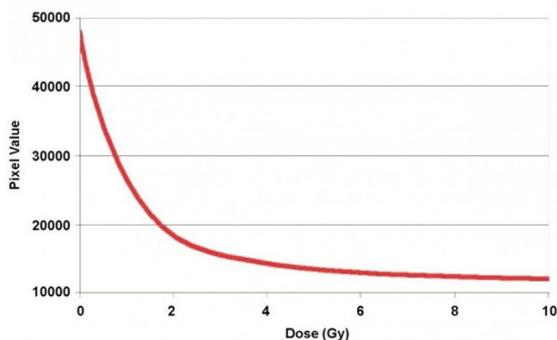


Figure 1: Sensitometric response of Gafchromic film [1].

<sup>#</sup> fumiaki.ito@kek.jp

イルムの1種である。複雑な検出器システムや、電源等も必要ないことから、手軽に積分線量を測定できる。広域の積分線量を測定可能とするため、今回は感度が 20~8000 mGy の RT-QA2 と、10~1000 Gy の HD-V2 をペアにして使用した。作業時間と手持ちフィルム枚数の制約から、約半数の無線アクセスポイント設置場所に約 20 日間フィルムを設置した (Fig. 2 参照)。回収したフィルムは富士ゼロックス社製 ApeosPort C2360 を用いて、変色度をデジタル化し積算線量を求めた[2, 3]。

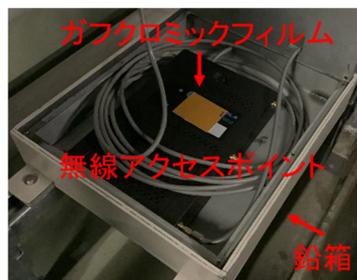


Figure 2: An example of Gafchromic film installation.

### 2.2 残留放射線量測定

SuperKEKB 加速器トンネル内の無線 LAN 機器は、放射線を考慮し全て鉛箱に収容されている。2024 年の SuperKEKB 加速器運転停止中に当該鉛箱の表面線量



Figure 3: Surface dose measurement.

を全数測定した。測定に用いたのは、可搬型の NaI シンチレーション検出器 (TCS-1172) である (Fig. 3 参照)。

### 3. 結果

#### 3.1 線量測定結果

NaI シンチレーション検出器とガフクロミックフィルムそれぞれで測定した残留放射線量と運転時の積分線量を SuperKEKB 加速器トンネルの平面図にプロットしたものが Fig. 4 である。アクセスポイント設置場所は計 24 か所である。入射点のある富士直線部 (下側直線部) と、物理口径が狭くなる衝突点 (上側直線部)、曲線部コリメータが近辺にあるアクセスポイント設置場所で線量が高くなっていた。また、残留放射線量は背景事象レベルであっても、積分放射線量は中程度あるような場所 (右側直線部) も存在した。

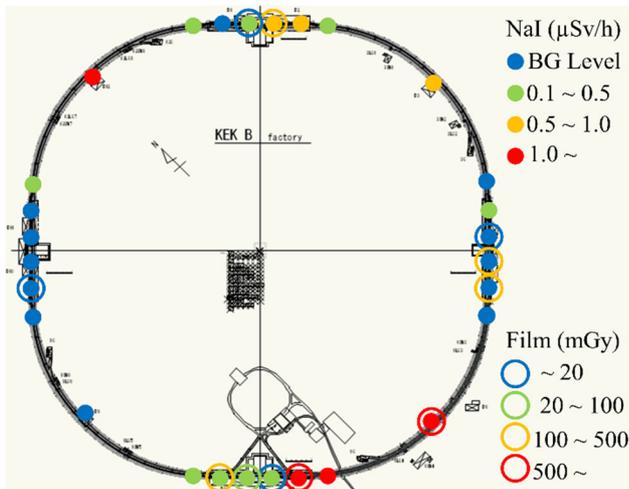


Figure 4: Planar plot of residual and integrated radiation doses at access point locations.

#### 3.2 無線アクセスポイントのエラーとの関係性

中央制御室では、アクセスポイント全数に対して、定期的に ping を送信し、その応答からアクセスポイントの死活監視を行うプログラムを稼働させていた。2024 年の加速器立ち上げから夏季シャットダウンまでの期間において、アクセスポイントの応答が一時的に途絶えた回数を調査した。これらの回数と、測定した残留放射線量と積分線量それぞれとの関係を Fig. 5 に示す。またこの際、応答が途絶えるだけでなく、完全にシャットダウンしたア

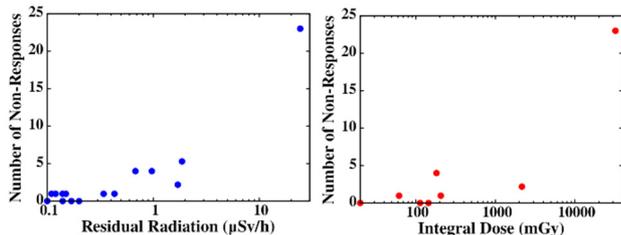


Figure 5: Relationship between the frequency of temporary access point ping failures and measured residual radiation dose (left) and integrated dose (right).

クセポイント (内 2 台が故障) については、稼働していた時間のビーム電流で規格化した。

更に、どの程度 ping への無応答回数と相関があるかを調べるため、以下の式(1)のようなピアソンの積率相関係数を計算した。

$$r = \frac{\sum(x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{\sqrt{\sum(x_i - \bar{x})^2 \sum(y_i - \bar{y})^2}} \quad (1)$$

ここで、

- $r$ : 相関係数
- $x_i$ : 変数  $x$  の各データ点
- $y_i$ : 変数  $y$  の各データ点
- $\bar{x}$ : 変数  $x$  の平均値
- $\bar{y}$ : 変数  $y$  の平均値

であり、この計数は 1 に近いほど強い正の相関、-1 に近いほど強い負の相関を示し、 $r = 0$  の場合は線形相関が無いことを意味する。ただし、残留放射線量、積分線量それぞれで、最大値のデータ点の影響が大きすぎるため、それ以外のデータ点による違いが見えず、どちらもほぼ  $r = 1$  となっていた。そのため、それぞれ最大値のデータ点は除いて計算し、残留放射線量:  $r = 0.8$ 、積分線量:  $r = 0.34$  となった。尚、設置していた無線アクセスポイントは、全て同じ製品であった。

### 4. 考察

ping 応答が一時的に途絶える事象はソフトウェアで生じていると考えられる。ソフトウェアの主原因は中性子等の光核反応等で生じる二次粒子であることから、残留放射線量と強い相関があることは妥当な結果である。加速器運転中に中性子線量分布を測定せずとも、残留放射線量分布が、電子機器の設置位置や遮蔽を、簡便に検討するための材料になるということである。また、運転中故障した 2 台のアクセスポイントの設置場所は、積分線量が最も大きかった。ハード機器の劣化は、累積線量効果によるため、これも妥当な結果である。

これらの結果を基に遮蔽に関する再検討を行った。無線 LAN 安定化のためには、ソフトウェア対策を行う必要があり、それにはボロン入りポリエチレン等の中性子遮蔽材を新たに導入することが、有用だと考えられる。しかし現在のところ、加速器トンネル内無線 LAN は運用用途にはほとんど使用されておらず、試験または加速器停止中のトンネル内作業時の利用に限られている。また、新たに遮蔽材を設置するための予算も限られるため、ひとまずは、ソフトウェア対策は行わないこととした。累積線量効果による機器故障への対策も特に追加で行わないこととした。これは、故障したアクセスポイントの設置場所の積分線量が、他と比較し一桁、または二桁大きく、この線量を下げることのコストは、アクセスポイントを数台購入するコストを上回るためである。そのため、現状故障するたびに交換するという方針とした。

### 5. まとめ

無線アクセスポイント設置場所での残留放射線量と積分線量を、NaI シンチレーション検出器と、ガフクロミック

PASJ2025 WEP030

フィルムそれぞれを用いて測定した。またその結果とアクセスポイントの死活監視プログラムの情報とを合わせることで、残留放射線量と ping への無応答回数に強い相関があることが分かった。今回特に追加の放射線遮蔽を行わなかったが、将来的に安定してアクセスポイントを運用するためには、鉛だけでなく、中性子用の遮蔽材を用いることが有用だと思われる。

### 謝辞

フィルムの設置や回収作業、残留放射線量の測定に協力頂いた、三菱電気システムサービスの中村卓也氏にこの場を借りて御礼申し上げます。また加速器トンネル内の線量測定について相談に乗っていただいた佐武氏に感謝いたします。

### 参考文献

- [1] Ashland Inc. (2013),  
[http://www.gafchromic.com/documents/PC-11804\\_Gafchromic\\_RTQA2.pdf](http://www.gafchromic.com/documents/PC-11804_Gafchromic_RTQA2.pdf)
- [2] M. Shiozawa *et al.*, “BEAM LOSS EVALUATION BY GAFCHROMIC FILM” Proc. 19th Annual Meeting of Particle Accelerator Society of Japan (PASJ2022), Kitakyusyu (Online meeting), Japan, Oct., 2022, pp. 743-747.
- [3] M. Tanaka *et al.*, “INVESTIGATION OF RADIATION EFFECTS ASSESSMENT OF KEK ACCELERATOR USING GAFCHROMIC FILM” Proc. 21st Annual Meeting of Particle Accelerator Society of Japan (PASJ2024), Yamagata, Japan, Aug., 2024, pp. 1010-1014.