

J-PARC MRトンネル内監視カメラの運用状況、及び耐放射線性能について OPERATION STATUS AND RADIATION RESISTANT PERFORMANCE OF SURVEILLANCE CAMERA IN J-PARC MR TUNNEL

仁木和昭^{#, A)}, 足立昌俊^{B)}, 山本昇^{A)}, 渡邊和彦^{B)}

Kazuaki Niki^{#, A)}, Masatoshi Adachi^{B)}, Noboru Yamamoto^{A)}, Kazuhiko Watanabe^{B)}

^{A)} KEK J-PARC

^{B)} Mitsubishi Electric System & Service Co., Ltd.

Abstract

In the accelerator tunnel of the J-PARC main ring (MR), 38 CCD cameras for surveillance have been installed since the beginning of MR operation in 2008. These CCD cameras are placed in a case of a lead block or a lead glass in order to reduce the influence of radiation, but cameras installed in the beam injection line part where the beam loss is large are damaged by radiation. And furthermore, some cameras have failed in less than one month with the enhancement of beam power recently. For this reason, in 2014 three cameras which are installed in the beam injection line part were changed from CCD to Charge Injection Device (CID) type and began testing. Until the summer of 2017, over 1000 Gy (Total Ionization Dose) was irradiated to one CID camera by beam operation, it was able to operate for 3 years but the deterioration is beginning to be seen in camera located at the highest dose in the MR tunnel.

1. はじめに

J-PARC 主リング(MR)の加速器トンネルには 2008 年の MR 運転当初から 38 台(入射及び取り出しのビームライン部、脱出棟、電源棟等に設置されたものは除く)の CCD カメラが設置され、トンネル内の非常停止ボタンが押された場合の対応やトンネル内作業の監視に用いられている。Figure 1 に監視カメラの配置図を示す。これら CCD カメラは放射線の影響を軽減するために鉛ブロックと鉛ガラスのケースに入れられているが、ビームロスが大きい入射直線部や取り出し部に設置されているカメラは運転時の放射線により CCD がダメージを受けるため、夏のメンテナンス時に交換することで対応してきた。このため特にビームロスが多く放射線の強い影響を受ける入

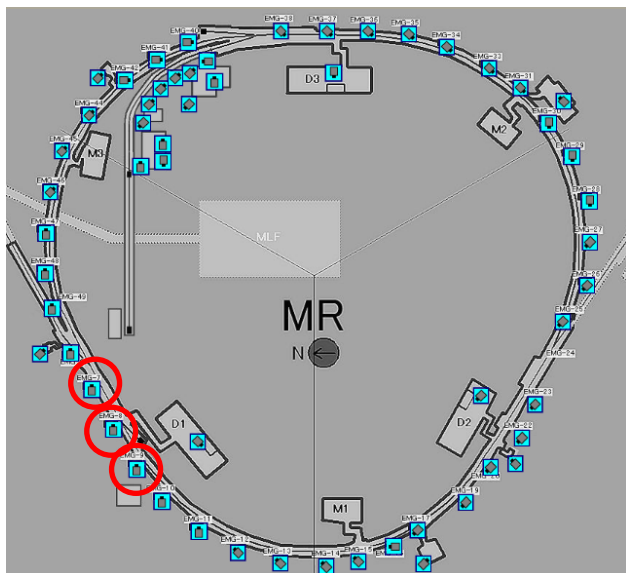


Figure 1: Location of MR surveillance cameras.



Figure 2: Lead shield of CCD camera.

射直線部に設置された 3 台のカメラを 2014 年から CID (Charge Injection Device)タイプに変えて試験を始めた。本論文では CCD カメラの運用状況と 2017 年夏までのビーム運転により最大約 1000 Gy が CID カメラに照射されたのでその結果やその他問題点について報告し、今後の検討課題等についても述べる。

2. J-PARC MRトンネル内監視カメラ

2.1 CCDカメラの概要

Figure 1 に示すように MRトンネル監視用の CCD カメラ(センテック STC-N63SBT)は MRトンネルの構成に沿って、左下入射直線部、右下 SX 直線部、上 FX 直線部と各直線部をつなぐアーク部に設置されている。全周に 38 台の CCD カメラがほぼ均等間隔に置かれており、ビデオ信号出力は BNC ケーブルで約 100~300 m 程離れた電源棟に送られている。各カメラは陽子ビームパイプやそれを取り巻く加速器の各機器からは離れた通路上の天井ラックに吊り下げられているが、放射線の影響は無視できないので、Figure 2

[#] kazuaki.niki@kek.jp

の写真のように厚さ 2 mm の鉛板のケース（レンズ前面は厚さ 9 mm の鉛ガラス）に覆われている。しかし入射直線部と SX 直線部は運転中のビームロスが多く、カメラは強い放射線にさらされる。そのため CCD がダメージを受けるので夏のメンテナンス時に毎年 5~10 台程度を定期的に交換することで対応してきた。しかし近年ビームパワーの増強と共に僅か 1 ヶ月以下で故障するカメラも出てきた。

2.2 トンネル内の放射線と CCD カメラ

ビーム運転中の加速器トンネル内の放射線量はビーム停止 4 時間後に入域して測定するサーベイ結果でおおよそ推測できる[1]。例えば 2017 年 3 月 30 日の NU 利用運転後の非常停止ボタン 8 番の監視カメラ (EMG-8 カメラ; Figure 1 の入射直線部にある 3 個の赤丸の真ん中) 付近におけるサーベイ結果から推定すると、ビーム運転中は 140 mGy/h 程度、1 週間の運転で約 20 Gy と概算できる。CCD カメラはガンマドーズで 100 Gy 程度以上は使えるため 1 ヶ月程度は使えそうだが、MR 加速器の陽子ビームからの放射線は TID (Total Ionization Dose) で評価されるべきで実際の耐放射線性能は違ってくる。CCD は通常放射線が当たると画像に白抜けが起こり最終的には真っ白となる。ただし最近我々が使用している CCD カメラでは白抜けするより前にビデオ信号が来なくなる現状も起きており、これは CCD に使われている DSP 素子が変わったことが原因と考えている。

3. 入射直線部に設置した CID カメラ

3.1 CID カメラ

ビームロスが特に大きい入射直線部の 3 台の監視カメラ (Figure 1 の 3 個の赤丸) を 2014 年 2 月から CID (Charge Injection Device) タイプに変えて試験を始めた。この CID カメラは Thermo Scientific 社の CID8725D で、ガンマドーズで 30 kGy という仕様のものである。Figure 3 は EMG-8 の監視カメラの場所に設置した CID カメラである。EMG-8 カメラは NU 運転時の MR トンネル監視カ



Figure 3: CID camera and RadMon.

メラの中で最も線量の強い場所にある。しかし CCD カメラとは違って鉛板のケースには入れずに製品そのままに運用した。また CID カメラには耐放射線性能のない CCU (Camera Control Unit) を比較的近くに置く必要があり、電源棟への接続トンネルに CCU を置き中継してからビデオ信号を電源棟に送っている。

3.2 RadMon

ビーム運転中の放射線量の評価をさらに正確にするために CERN で開発された放射線測定器 RadMon[2,3] を CID カメラの脇に設置した (Figure 3 参照)。RadMon は LHC トンネルの中に置かれた電子回路の放射線性能を見るためのもので、TID (Total Ionization Dose) を計ることができる。実際に 2017 年 3 月 30 日前 1 週間で測られた値は 22.0 Gy で、これは 2.2 節の概算値とよく一致している。RadMon で測定した TID のトレンドを Figure 4 に示す。CID カメラの運用開始から 2017 年の 3 月までで約 1100 Gy が EMG-8 の CID カメラの場所で計測されている。

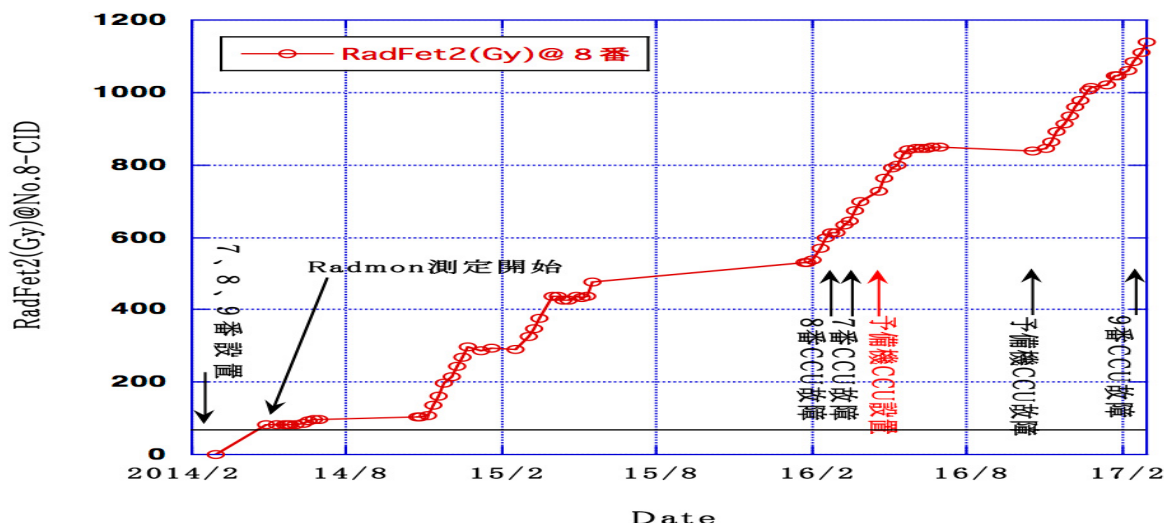


Figure 4: TID (Gy) measured by RadMon at EMG-8 camera.

3.3 CCUトラブル

2014年2月に設置して以来順調に稼働してきたが、2016年に3台、2017年1台のCCUが相次いで故障した(Figure 4参照)。内1台は予備機と交換した後、約半年で故障した。メーカー調査では入力電圧コンデンサ部分の故障で、放射線や熱の影響を調べた。しかし接続トンネル部の放射線は十分低く(10 $\mu\text{Sv/h}$ 以下[4])、熱も50度以上になることはなくコンデンサを壊すとは考え難い。加速器には様々なパルス電源なども用いられているので、電源ラインのノイズ環境を調査対策する必要があるかもしれない。

3.4 J-PARC MRでのCIDカメラの放射線劣化

2017年夏までのビーム運転により約1000 Gy以上がEMG-8のCIDカメラに照射された。ビーム下流にあるEMG-10の場所にあるCCDカメラ画像とEMG-8のCIDカメラ画像をFigure 5とFigure 6に示す。上の画像はそれぞれのカメラ設置時で、下の画像は2017年4月時のものである。EMG-10カメラはEMG-8カメラの場所より一桁以上線量の低い場所に設置されている。約8ヶ月でかなりの悪化が見られるがこれには白抜けとは違う劣化も起きている。一方Figure 6のCIDカメラについては、暗くなるのはレンズ自体の放射化の影響もあるが、3年間である程度の劣化が見られるがまだ使える状況で

はある。しかしJ-PARCの陽子ビームによる運用でTID 30 kGyの性能は厳しいと思われる。なおEMG-8カメラの前後の二つのCIDカメラは線量が数倍程度少ないため劣化はそれほどは見られない。

4. まとめと今後

J-PARC MRトンネルにおいて38台のCCDを用いた監視カメラシステムを運用している。ビーム強度の増大に伴いトンネル内の放射線量が増大し、CCDカメラの故障が問題となっている。このため線量の強い場所にある3台のCCDカメラを耐放射線性能に優れたCIDカメラに交換して試験を始めた。2014年から3年の運用はできたがMRトンネルで最も線量の強い場所にあるカメラには劣化が見え始めている。CIDカメラは高価なので今後他の線量の高い場所へも展開するかどうかは劣化の進行やCCUの故障頻度とその原因の検討も合わせて進める予定である。

参考文献

- [1] K. Satoh, private communication.
- [2] C. Ohmori *et al.*, proc. pasj11, Aomori, Japan, 2014, p. 249.
- [3] G. Spiezia *et al.*, "The LHC Radiation Monitoring System – RadMon", PoS RD 11 (2011) 024.
- [4] H. Nakamura, private communication.



2016/8/6



2017/4/14

Figure 5: Video image of CCD Camera.



2014/4/9



2017/4/14

Figure 6: Video image of CID Camera.