

静電セプトム上流の散乱体による周辺機器の放射化量評価

ESTIMATION OF THE ACTIVATION OF THE EQUIPMENT AROUND THE DIFFUSERS INSTALLED UPSTREAM OF THE ELECTROSTATIC SEPTUM

武藤亮太郎^{*,A)}, 木村琢郎^{A)}, 村杉茂^{A)}, 沼井一憲^{A)}, 岡村勝也^{A)}, 白壁義久^{A)},
富澤正人^{A)}, 柳岡栄一^{A)}, 松村秋彦^{B)}

Ryotaro Muto^{*,A)}, Takuro Kimurau^{A)}, Shigeru Murasugi^{A)}, Kazunori Numai^{A)}, Katsuya Okamura^{A)},
Yoshihisa Shirakabe^{A)}, Masahito Tomizawa^{A)}, Eiichi Yanaoka^{A)}, Akihiko Matsumura^{B)}

^{A)} High Energy Accelerator Research Organization (KEK), Japan

^{B)} NAT Corporation, Ibaraki, Japan

Abstract

At the J-PARC main ring, a proton beam accelerated to 30 GeV is supplied to the Hadron Experimental Facility by slow extraction using third-order resonance. So far, we have achieved beam delivery with a beam extraction efficiency of 99.5% and a beam power of 64 kW. Beam loss is mainly caused by the septum ribbons of the electrostatic septum located at the most upstream part of the slow extraction equipment. We plan to reduce the beam loss in the septum ribbons by scattering the proton beam at small angles using the diffusers. A beam test conducted in 2021 with a low-intensity beam confirmed that the beam loss can be reduced by about 60% using the diffusers, but there are concerns about increase in the activation of peripheral equipment due to changes in the position where the beam loss occurs. Therefore, by simulation using FLUKA, we evaluated the change in the activation of the peripheral equipment due to the installation of the diffusers, and examined the solutions to reduce it.

1. はじめに

J-PARC メインリングでは、30 GeV または 8 GeV ま で加速された陽子を 3 次共鳴を用いた遅い取り出し によってとりだし、ハドロン実験施設へと供給してい る [1]。この遅い取り出しにおける課題の一つに、ビー ムロスの低減がある。これまでに、99.5% という非常 に高い取り出し効率を保ったまま遅い取り出しにおけ るビームパワーを 64 kW まで増強してきた [2] が、今 後さらにビーム強度を上げていくためには、さらなる ビームロスの低減が必要不可欠である。このため、静 電セプトム (ESS) の上流に 2 つの散乱体 (散乱体 0 と散 乱体 1 と呼ぶ) を設置し、静電セプトムのリボンにおけ るビームロスを低減することを計画し、メインリング 内に散乱体をインストールした [3]。2021 年に散乱体 0 の 予備的なビーム試験を行い、10 kW のビームに対し てビームロスが約 60% 低減されるという結果を得た。 しかし、散乱体はいままでビームロスが起こっていな かった地点に設置されるため、これまででは低いレベ ルの放射化しか起きていなかった機器の放射化量が上 ってしまう懸念がある。具体的には、散乱体 0 の下流に 位置するステアリング磁石および Beam Position Monitor (BPM) である。そこで、FLUKA [4] を用いて、遅い取り 出し直線部の残留放射線量を評価し、新たな高放射化 機器の発生を抑制できるか検討した。

2. 散乱体の構成

J-PARC メインリングの遅い取り出し直線部には、散 乱体を設置できる場所が 2 箇所ある。1 つは、ESS の 上流 500 mm の位置 (散乱体 1 とよぶ) で、もう 1 つは、 ESS の上流の Q 磁石 (Q75 と呼ぶ) の更に上流の、静

電セプトムから 3115 mm 離れた位置である (散乱体 0 とよぶ)。散乱体 0、散乱体 1 と、ESS、Q75 の関係を、 Fig. 1 に示した。

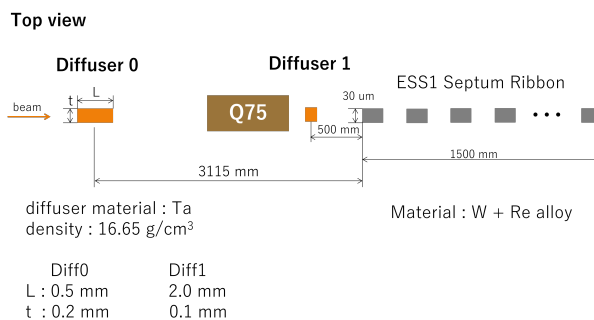


Figure 1: The schematic picture of the configuration of the diffusers.

3. 機器の放射化量の評価と、解決すべき課題

機器の放射化量の評価は、FLUKA [4] を用いて行っ た。FLUKA に入力したジオメトリを Fig. 2 に示す。

散乱体を入れない場合と、ビームロス低減効果を最 大にするために散乱体 0 と 1 を両方ビーム内に挿入し た際の機器の残留線量を比較した。FLUKA では、50 kW 相当のビームを 30 日間連続で照射したあと、6.5 時間 冷却した場合を計算し、50 kW での実際の運転後の測定 結果と合わせるために計算結果を 3 倍している。結果 を Fig. 3 に示す。散乱体を挿入すると、Q75 下流部 (図 中の”Q75d”) より下流の機器では残留放射線量が大き く低減するが、散乱体 0 周辺 (図中の”diff0d”) の残留線 量は上昇する。現在の配置では、散乱体 0 の下流にステ アリング磁石および Beam Position Monitor (BPM) が設

* ryotaro.muto@kek.jp

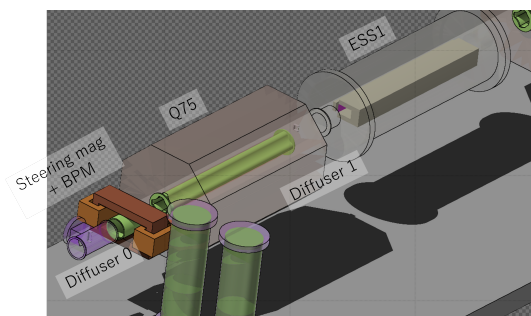


Figure 2: The geometry in FLUKA for the residual dose calculation.

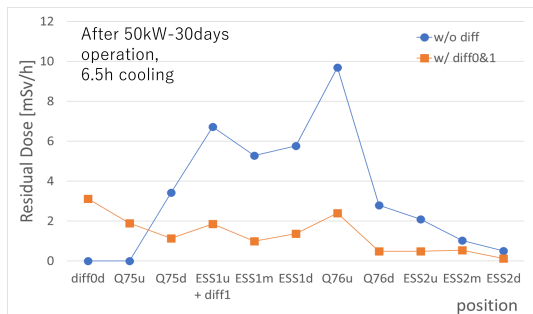


Figure 3: The blue points show the calculation results of residual dose without the diffusers. The orange points show the results with the diffusers. The calculation was performed using FLUKA for the irradiation time of 30 days and the cooling time of 6.5 hours.

置されており、これらの機器のメンテナンス作業における作業者の被曝量が増加してしまう。散乱体をビーム内に挿入したまま長期間の実験グループへのビーム供給運転を行うためには、この新たな高放射化点がメンテナンス頻度の高い機器内に発生してしまう問題を解決する必要がある。

4. 課題に対する改善策

4.1 改善策 1: ステアリング磁石と散乱体 0 の位置の入れ替え

まずは単純にステアリング磁石と散乱体 0 の位置を入れ替えて残留線量を計算してみた。Figure 4 に FLUKA に入力したジオメトリを、Fig. 5 に計算結果を示す。当

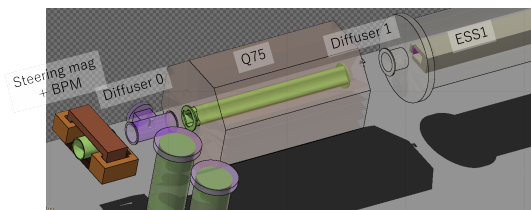


Figure 4: The geometry in FLUKA for the residual dose calculation when the positions of diffuser 0 and steering magnet + BPM are exchanged.

然の結果だが、もともと散乱体 0 があつた、ステアリ

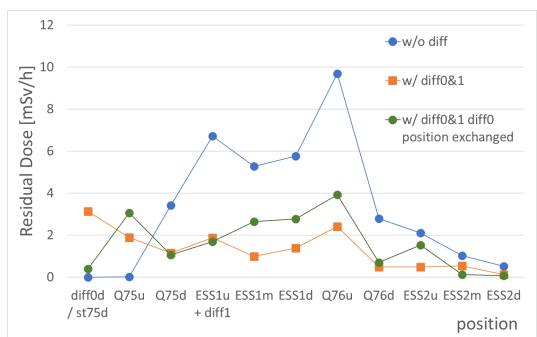


Figure 5: The green points show the calculation results of residual dose when the positions of diffuser 0 and steering magnet + BPM are exchanged. The calculation was performed using FLUKA for the irradiation time of 30 days and the cooling time of 6.5 hours.

ング磁石の位置 (図中の”diff0d / st75d”) の残留線量は大きく下がっている。残留線量が少ないながらも 0 ではないのは、下流の散乱体 0 の放射化による影響であり、メンテナンス作業時に散乱体 0 との間にシールドを設置することでさらに線量を低減することも可能である。ただし、ステアリング磁石と BPM の位置を変更することのビーム調整に与える影響は検討する必要がある。

4.2 改善策 2: 散乱体 1 のみの使用

もうひとつの改善策は、散乱体 0 を使用せず、散乱体 1 のみをビームに挿入するというものである。散乱体 1 は ESS の上流 500 mm の位置にインストールされており、ESS との間に他の機器などはないため、新たな高放射化機器を発生させることがない。Table 1 に、使用する散乱体の組み合わせと、ビームロス量との関係を示した [3]。これによれば、散乱体 1 単体でも約 50% ビーム

Table 1: Calculation Results of Beam Loss with Various Configuration of Diffusers

Configuration	Beam Loss
No diffuser	1.0
Diffuser 0 only	0.42
Diffuser 1 only	0.47
Diffuser 0 and 1	0.35

ロスを低減させることができる。散乱体 1 のみをビーム中に挿入したときの残留線量の計算結果を Fig. 6 に示した。散乱体 0 を使わないので散乱体 0 の周辺 (”diff0d” および”Q75u”) の残留線量は上昇せず、また散乱体 1 下流の領域では残留線量を半分程度に低減できていることがわかる。散乱体 1 の位置 (”ESS1u+diff1”) では散乱体 1 自身の放射化により残留線量が増加するが、放射化の激しい ESS1 の下流部の残留線量は低減できている。

5. まとめと今後の課題

新たな高放射化点をメンテナンス頻度が高い機器に発生させずに、散乱体によって遅い取り出しのビーム

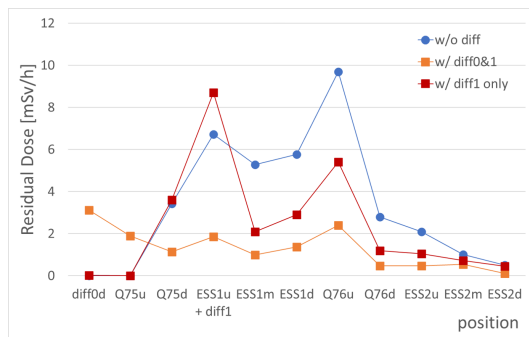


Figure 6: The red points show the calculated residual dose for diffuser 1 only case. The calculation was performed using FLUKA for the irradiation time of 30 days and the cooling time of 6.5 hours.

ロスを低減するための散乱体の配置を検討した。ありえる選択肢としては、

- 散乱体 0 と、下流のステアリング磁石+BPM の位置を入れ替える
- 散乱体 0 を使わず、散乱体 1 のみを使用する

がある。散乱体 1 の単体使用でも約 50% のビーム低減が期待できるが、最大のビーム低減量を得るには、散乱体 0 と 1 の同時使用が望ましい。今後、散乱体 1 のみの使用におけるビームロス低減量のビームテストを行うとともに、ステアリング磁石+BPM の位置を変更することのビーム調整に与える影響を検討し、位置変更が許される場合は、位置交換作業の具体的な検討をすすめていく予定である。

参考文献

- [1] Joint Project Team of JAERI and KEK, “The Joint Project for High-Intensity Proton Accelerators”, KEK Report 99-4, 1999 and JAERI-Tech 99-056, 1999.
- [2] M. Tomizawa *et al.*, “Status and Beam Power Ramp-Up Plans of the Slow Extractoin Operatoin at J-PARC Main Ring”, Proc. HB’18, Daejeon, Korea, June, 2019, pp. 347-351.
- [3] R. Muto *et al.*, “Diffusers for loss reduction in slow extraction at J-PARC Main Ring”, Proceedings of the 18th Annual Meeting of Particle Accelerator Society of Japan, QST-Takasaki Online, Japan, Aug. 9-12, 2019, pp. 470-472. https://www.pasj.jp/web_publish/pasj2021/proceedings/PDF/TUP0/TUP021.pdf
- [4] G. Battistoni *et al.*, “Overview of the FLUKA code”, Annals of Nuclear Energy, 82, 10-18, 2015.