

MEASURE TO REDUCE THE MUON KICKER NOISE AT J-PARC

Hiroshi Fujimori ^{#,A,B)}, Yoshiro Irie ^{A,B)}, Kenji Kojima ^{A,B)}, Takashi Nagatomo ^{A,B)}, Shigeo Sakata ^{C)},
Manabu Meguro ^{C)}, Noriyuki Kurosawa ^{C)}, Patrick Strasser ^{A,B)} and Yasuhiro Miyake ^{A,B)}

^{A)} Muon Science Laboratory, High Energy Accelerator Research Organization (KEK)

1-1 Oho, Tsukuba, Ibaraki, 305-0801

^{B)} Muon Science Section, Materials and Life Science Division, J-PARC center

2-4 Shirakata Shirane, Tokai-Mura, Naka-Gun, Ibaraki, 319-1195

^{C)} Nippon Advanced Technology Co. Ltd. (NAT)

3129-45 Muramatsu Hibara, Tokai-Mura, Naka-Gun, Ibaraki, 319-1112

Abstract

The double pulse proton beam from the J-PARC 3GeV Rapid Cycling Synchrotron (RCS) hits the muon production target in the Materials and Life Science Facility (MLF), and produces muon pulses. The muon pulses are then transported through the decay muon line to the two experimental areas (D1 and D2). A kicker system is used to separate the muon pulses and feed them to each experimental area simultaneously. The kicker system was installed as shown in Figure 1 in summer, 2011. Beam operation with the kicker system started in winter, 2011. Dividing the single pulse beam was successful, but measures to alleviate the noise signal by triggering kicker magnet are required for muon detector system.

J-PARC におけるミュオンキッカーのノイズ対策

1. はじめに

J-PARC 3GeV シンクロトロン (RCS) から出射された二重パルス陽子ビームは物質・生命科学実験施設のミュオン標的に当たり、二重化パルスミュオンビーム (ダブルパルスミュオン) を生成する。ダブルパルスミュオンは崩壊ミュオンライン (図 1a) を通って二つの実験エリア (D1 および D2 エリア) に導かれる。キッカーシステム (図 1b) はダブルパルスをシングルパルス 2 個に分離して、同時に二つの実験エリアに供給する。キッカーシステムは 2011 年の夏にインストールされ、当該システムを用いての運転が 2011 年の冬に開始された。

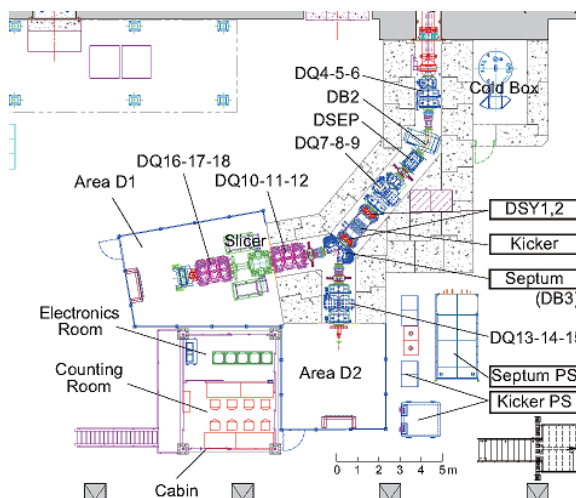


図 1a : 崩壊ミュオンライン

シングルパルスミュオンの取り出しには成功したが、実験のためには検出器に発生するキッカー由来のノイズを低減させる必要がある。

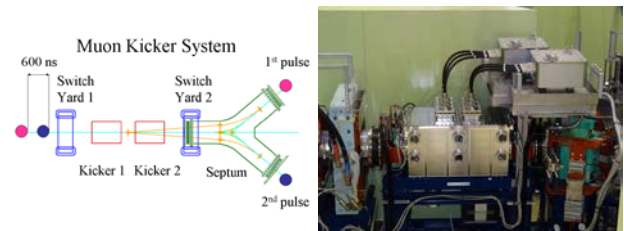


図 1b : J-PARC 物質・生命科学実験施設の崩壊ミュオンラインに設置されたキッカーシステム

2. キッカーノイズの低減対策

キッカーを励磁した時、検出器の信号には図 2 に示すような 10MHz 程度のノイズが現れる。

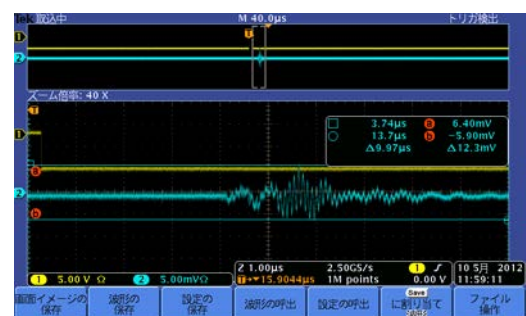


図 2 : 検出器に現れるキッカー由来のノイズ

fujimori@post.kek.jp

その後、キッカーノイズはアースラインの整備、特にキッカーシステムのアースラインを他の機器との GND と分離することにより飛躍的に改善された。図 3 は光電子増倍管を用いた陽電子検出器(DQ1 Spectrometer)におけるキッカーon/offによる出力信号(μ e-decay spectra)を示す。上段はダブルパルス、中段はキッカーを用いた最初のシングルパルス取り出しにおけるトレースである。一方、下段はキッカーシステムのアースライン整備後のトレースであり、中段(アースライン整備前)に比べ劇的なノイズ低減が見られる。 μ e-decay の検出器については、アースラインの整備およびカウンタ信号の閾値(threshold)の調整によって、キッカーシステムを用いたシングルパルス実験が可能となったが、シグナルが小さくノイズに弱い他の検出器については、更なるノイズ低減対策が必要である。

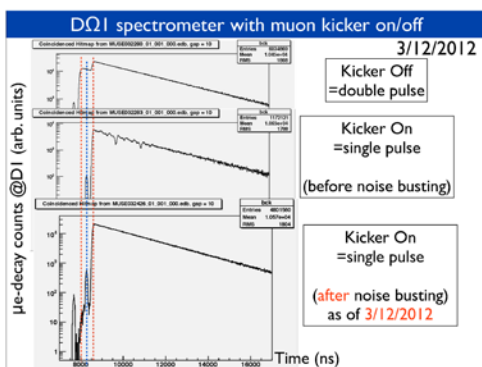


図 3：検出器の出力信号 (μ e-decay spectra)

検出器に生ずるノイズ源として、キッカー電源、キッカー電磁石および出力ケーブルからの放射ノイズが考えられる。この放射ノイズを抑えるため、図 4 のような放射ノイズ遮蔽(RF Shield)が施された。その遮蔽効果を確認するため、検出器が設置されている実験エリア内の空間ノイズが測定された。測定には同軸ケーブルの先にサーチコイルを取り付けた手製の Radio Wave Detector が用いられた。実験エリア(D2 Area)の放射ノイズ分布を図 5 に示す。



図 4：キッカー電源および周辺に施された放射ノイズ遮蔽(RF Shield)。キッカー電源の電力導入端子(feed through)部分の遮蔽(左)およびキッカー電磁石下流ビームラインと実験エリアとの境界部分の遮蔽(右)

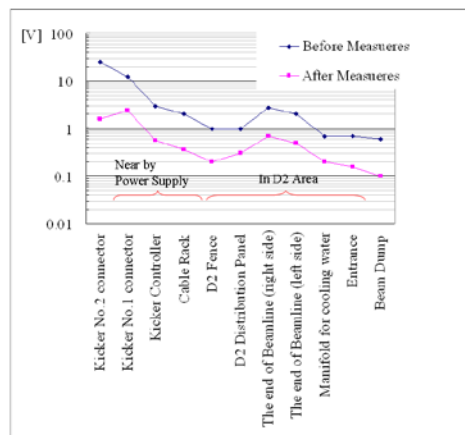


図 5：D2 Area および周辺の放射ノイズ分布

RF Shield 対策前後の比較においては、キッカー電源の出力端子(feed through)部分から発生する放射ノイズが D2 エリア内と比べて 1 桁大きく、キッカーシステムから離れるに従って放射ノイズが小さくなる。また、遮蔽の効果により、ノイズレベルは 1/10 に低減した。ここで、RF Shield の材料として厚さ 0.2mm~0.5mm の銅板が用いられた。これは周波数帯域~10MHz に対する銅の表皮深さ(skin depth)の数倍の厚さに相当する。

今後導入される検出器の一つとして、利便性、コストパフォーマンスの観点からピクセル型アバランシェフォトダイオード(p-APD)を用いた陽電子検出器があるが、従来の検出器に用いられている光電子増倍管に比べて信号レベルが小さくなるため、一層のノイズ低減が要求されている。

試行錯誤の末、検出器の出力信号に現れるノイズは放射ノイズの影響が大きい、その一方で検出器フレームの GND を何処に繋ぐか(GND の接続先)によってもノイズが大きく変化することがわかった。

図 6a は今後、光電子増倍管に代わって導入される p-APD を用いた新型検出器(Kalliope)の試作器である。

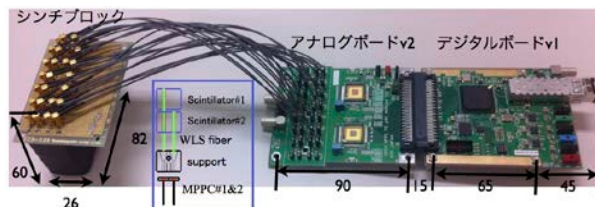


図 6a：p-APD を用いた新型検出器 (Kalliope)

図 6b は Kalliope によるノイズ測定結果であり、検出器の回路基板に繋がる GND (フレーム GND) を宙吊り(floating) (左) とビームライン GND に接続した場合(右)との比較である。フレーム GND の取り方により、ノイズレベルに大きな改善が見られる。フレーム GND の接続先として、複数の分電盤アース、ビームライン機器の筐体等への接続を試みたが、ダクト、電磁石および実験装置架台をブラ

ンチ接続されたビームライン GND に表面積の広い銅帯を用いて落とすのが一番効果的であり、フローティングとの比較では 1/100 にノイズが低減した。また、フレーム GND の接続と同時に、検出器の回路基板全体をアルミフォイルで覆う（ただし、アルミフォイルの GND は検出器のフレーム GND と同じ場所に接続する）処置を施した場合、更にファクター倍の改善が確認された。

また、ゲルマニウム X 線検出器のような入力インピーダンスが高く信号レベルが小さい検出器は、さらにノイズに対して弱いため、現在、有効な対策を検討中である。

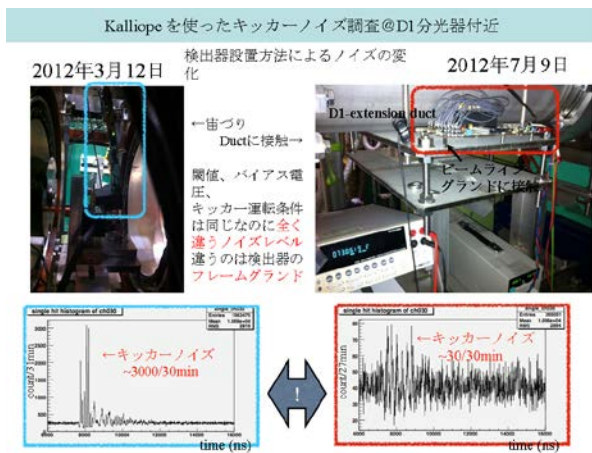


図 6b : Kalliope によるノイズ測定結果

(3) サーチコイルによる空間ノイズ測定により、キッカー電磁石、キッカー電源およびケーブルラックからの放射ノイズが確認されたが、RF 遮蔽によって効果的にノイズが低減された。放射ノイズをさらに低減するため、キッカー電磁石及び電源端末部の遮蔽、さらに、キッカー電力用同軸ケーブルの遮蔽を目的としたケーブルラックの遮蔽（図 7）など、RF 遮蔽強化を行う。

(4) アースライン整備および放射ノイズ低減等、キッカー装置側の対策を講じる一方、検出器側の対策も同時に行う必要がある。これまでの調査結果から検出器の筐体（フレーム）を絶縁するより近くの大容量の構造体に接続する方がノイズを低減できる方向性が見えてきた。すなわち、検出器のグラウンド処理がノイズ軽減の重要な鍵を握ると思われる。そこで、検出器側の対策（検出器毎の GND 処理の最適化）を 2012 年の秋からの供用運転に向けて、引き続き試行錯誤で進めていく。



図 7 : RF Shield の強化
電力ケーブルラックの RF 遮蔽

3. まとめ

(1) キッカーシステムはパンチ間隔 600ns のダブルパルスミュオンを二つのシングルパルスに分別し、同時に二箇所を実験を可能にする効率的なユーザー利用に供するために 2011 年の夏に導入された。立ち上がり時間およびフラットトップの調整等、励磁電流波形の最適化を行い、2012 年 3 月には二つの実験エリア（D1 および D2）に同時にシングルパルスミュオンを出すことに成功した。

(2) D1 エリアにおける陽電子検出器（スペクトロメータ）についてはアースラインの整備等によって、キッカーシステムを用いたシングルパルス実験が可能な段階まで来たが、シグナルが小さくノイズに弱い幾つかの検出器においては更なるノイズレベルの低減が必要である。

参考文献

- [1] H. Fujimori, et al., KEK-MSL Report 2010, 10-11
- [2] K.M. Kojima, et al., KEK-MSL Report 2010, 16-17
- [3] H. Fujimori, et al., Proceedings of the 8th Annual Meeting of Particle Accelerator Society of Japan, August 1-3, 2011, Tsukuba, Japan
- [4] P. Strasser, H. Fujimori et al., New Muon Kicker System for the Decay Muon Beamline at J-PARC, Proceedings of the International Conference on Muon Spin Rotation, Resonance (μ SR2011), May 16-20, 2011, Cancun, Mexico