

光ファイバビームロスモニタの応用

APPLICATION OF OPTICAL FIBER BEAM LOSS MONITOR

矢野喜治^{#,A),B)}, 飯田直子^{A),B)}, 帯名崇^{A),B)}, 福田茂樹^{A),B)}, 道園真一郎^{A),B)}

Yoshiharu Yano^{#,A),B)}, Naoko Iida^{A),B)}, Takashi Obina^{A),B)}, Shigeki Fukuda^{A),B)}, Shinichiro Michizono^{A),B)}

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

^{B)} Department of Accelerator Science, Graduate University for Advanced Studies (SOKENDAI)

Abstract

KEK is an accelerator complex consisting of an electron-positron injector linac and various types of circular accelerators. In order to protect instruments from radiation damage, discrete beam loss monitors have been installed inside the linac and rings. Although beam losses can be detected using the beam loss monitors (BLMs) or beam position monitors (BPMs), it is difficult to identify the exact position of the loss. The electrons, which strike the duct, lose a fraction of their beam energy, which produces a shower at the location and emits many electrons out of the duct. If an optical fiber is placed inside the beam duct, many of these electrons will pass through the optical fiber where the beam loss is generated. BLMs employing an optical fiber based on Cherenkov radiation are currently being developed and applied to our system.

An optical fiber placed into the duct also can be used as a detector for a wire scanner system. Existing wire scanner detectors are set at a fixed position, and detect signals of different beam energies that correspond to the different injection modes. However, the fixed position is not always optimal. Conversely, owing to the optical fiber's distributing nature, optical fiber detector systems containing PMTs enables the effective detection of all signals from various beam modes. We can successfully obtain the clear wire scanner signal by employing this optical fiber system.

The measurement of the beam loss at the incidence part of the circular accelerator is also described. The beam loss location as well as the turn-by-turn beam loss can be measured.

1. はじめに

ビームロスによる荷電粒子や制動放射による γ 線がダクトに当たるとダクト壁でシャワーを引き起こす。シャワーによってダクト外に出てきた γ 線、荷電粒子はビーム上流側にも飛散する。加速器のビームダクトに光ファイバを布設しておくこの荷電粒子が光ファイバ中を通過しチェレンコフ光を発する。チェレンコフ反応が光ファイバ内で起きると発光の向きによってはチェレンコフ光がファイバ端まで到達するものがある。ファイバ端からの光を光電子増倍管 (PMT) 等の光検出器で観測するとその観測波形はダクト外に出て来る荷電粒子、つまりビームロスの強度分布をあらわしている[1][2][3][4]。

これまでも光ファイバを使ったビームロスモニタの研究が進められてきた[5][6][7][8]。

光ファイバは非磁性体であることから電磁石のチェンバーやダクトに密着して布設することが出来る[9]。

ここではダクトに布設した光ファイバを分布型の検出器として利用した幾つかの応用例を上げる。

2. ビームロスモニタ

2.1 ビームロスモニタ[9]

PMT(H10721;浜松ホトニクス) 2 個を NIM モジュールに組込んだものと大口径の純粋石英光ファ

yoshiharu.yano@kek.jp

イバを組合せたものが光ファイバビームロスモニタである。Figure 1 に光ファイバ、PMT、ビームロスモニタモジュールを示す。

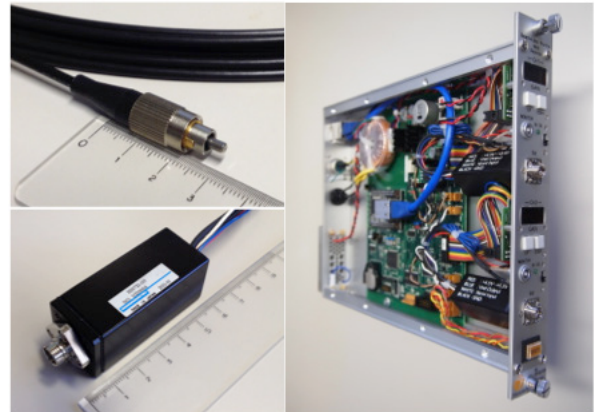


Figure1: Optical fiber, PMT and beam loss monitor module.

光ファイバのコア径は用途に応じて 400 μm 、600 μm 、800 μm のものを使用している。光ファイバをダクトに密着して布設し、ビームの上流側から出てくる光を観測すると粒子の速度と光ファイバ中の光速から 8.3 nsec/m の関係でビームロスによるシャワーの場所を推定することが出来る。オシロスコープの波形を解析する際に注意すべき点は光ファ

イバの終端では下流側に出た大量の光が反射し上流側に来ている事である。ビームロスの起き方によって差はあるが、同じ所で発生した光を上流側と下流側で観測すると下流側の方が上流側の信号より 3~4 倍大きい。

2.2 パルスマグネット下流のビームロス[9]

PF ビームを振り分けるパルスマグネット (BM_58_1)の下流で大量にビームロスが発生している事が分かっている[1]。BM_58_1 の上流にある貫

通ダクトから 30m の光ファイバ 4 本を下し、マグネット上流から約 20m 下流のベンディングマグネット(BM_61_F1)まで布設した。4 本の光ファイバはそれぞれ上下左右、ダクトに出来るだけ密着して布設した。Figure 2 に布設の概要を示す。左右の光ファイバはパルスマグネットの内部を通した。Figure 3 にそのオシロスコープの信号波形を示す。ビーム上流側から見て ch- 1 はダクトの右側、ch- 2 は上側、ch- 3 は左側、ch- 4 は下側に布設した。

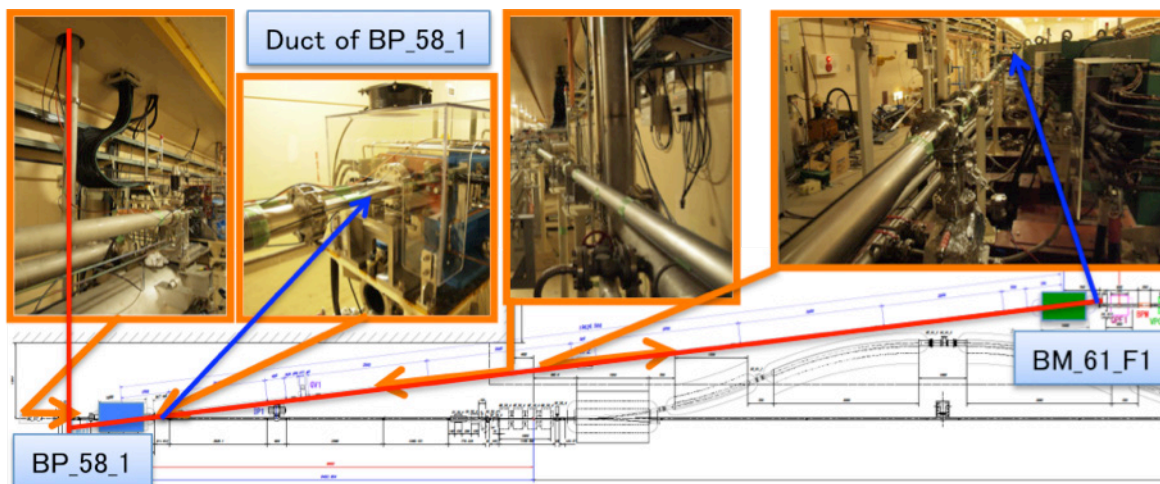


Figure 2: Layout of the PF beam line at the third switching yard.

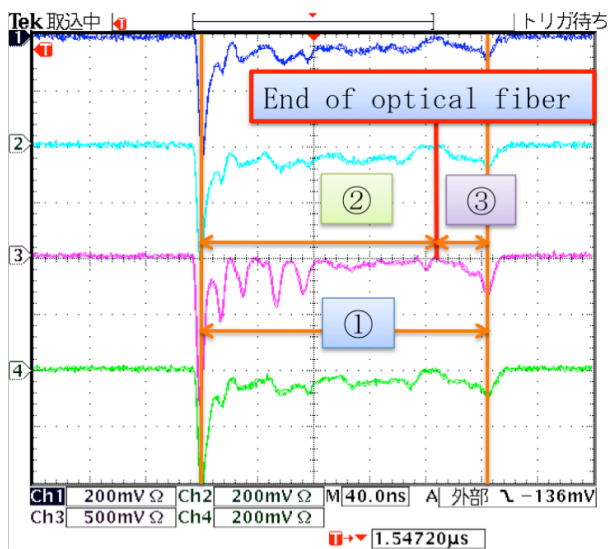


Figure 3: Oscilloscope waveform of beam loss monitor.

このオシロスコープの波形では最初のピークで非常に大きなビームロスが起きている事がわかる。最後のピークはそこで起きた大きなビームロスによるチェレンコフ光が下流側に伝搬しファイバ端で反射して戻ってきたものである。光ファイバ中の光速の逆数が 5nsec/m で、この時間間隔①が 204nsec であ

ることからビームロスの最初のピーク場所からファイバ端までは 20.4m ある事が分かる。最初のピークから図中のファイバ端まで②は 169.3nsec ある。これは直接上流側に届いたチェレンコフ光でビームロスの分布を示している。これは 8.3nsec/m の関係があるのでオシロスコープの波形から 20.4m である。ここから最後のピークまで③は 34.7nsec あり、1.7nsec/m の関係からこの距離も 20.4m である事が分かる。

2.3 PF リング入射部のビームロス[9][10]

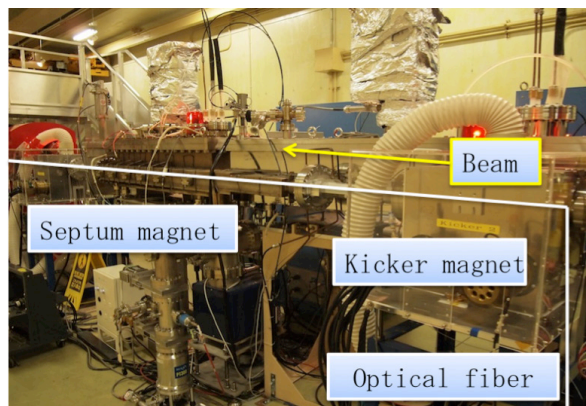


Figure 4: The photograph of PF injection septum magnet.

PF リング入射セプタム下流に残留放射能が高い場所がある。ビーム入射時のビームロス进行调查するためキッカーマグネットからセプタムマグネット下流の四極マグネットまで光ファイバを布設した。Figure 4 に PF 入射部の写真を示す。

PF リングへのビーム入射には 2 つのモードが採用されておりそれぞれ「パルス 6 極電磁石(PSM)入射モード」と「キッカー入射モード」がある。Figure 4 に示した入射セプタムマグネット近傍に布設した光ファイバで観測されたビームロス波形のモードによるビームロスの違いを示す。Figure 5 は PSM 入射時のビームロス波形で、Figure 6 はキッカー入射時のビームロス波形である。これから PSM 入射モードではセプタムマグネットの下流側で大きなビームロスが見られるがキッカー入射モードではあまりビームロスをしていないことが分かる。

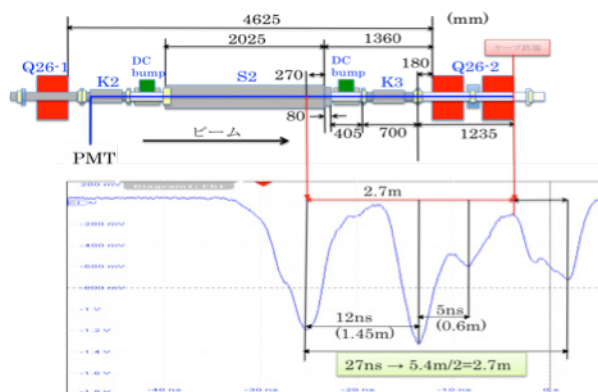


Figure 5: The beam loss waveform at PSM injection.

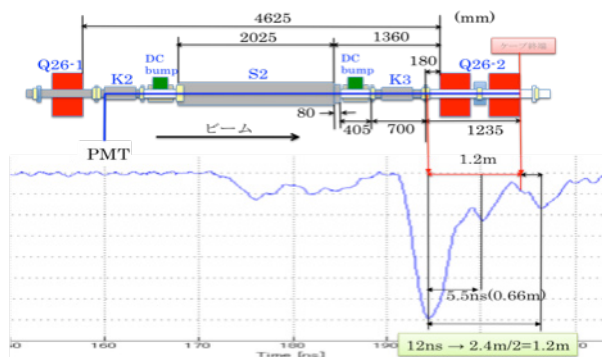


Figure 6: The beam loss waveform at Kicker injection.

この波形の時間レンジを広げリングの周回ごとのビームロスを観察したものが Figure 7 である。

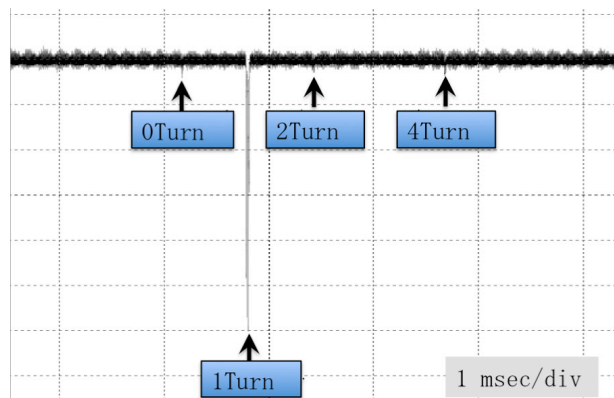


Figure 7: The beam loss waveform at beam injection near the septum magnet.

これから入射直後のビームロスは小さくリングを周回してきた後でビームロスが起きていることがわかる。

3. ワイヤスキャナ(WS)

3.1 Linac の WS システム[11][12]

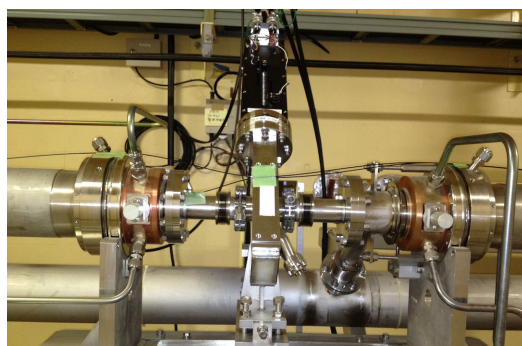


Figure 8: Wire actuator (WS_57_2).

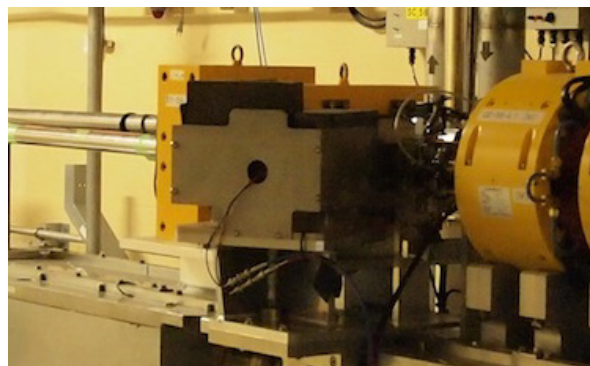


Figure 9: Sensor assembly (PMT-3).

入射器には現在 5 セットの WS システムが設置されており今後も増設予定である。これらは一部を除

きワイヤ駆動部と PMT によるセンサ部で 1 セットになっている。1 つの WS システムは駆動部 4 台とセンサ部数台がビームオプティクスを考慮して配置されている。Figure 8 にワイヤ駆動部、Figure 9 にセ

ンサ部の写真を示す。

Figure 10 に 5 セクタの WS システムの配置図を示す。

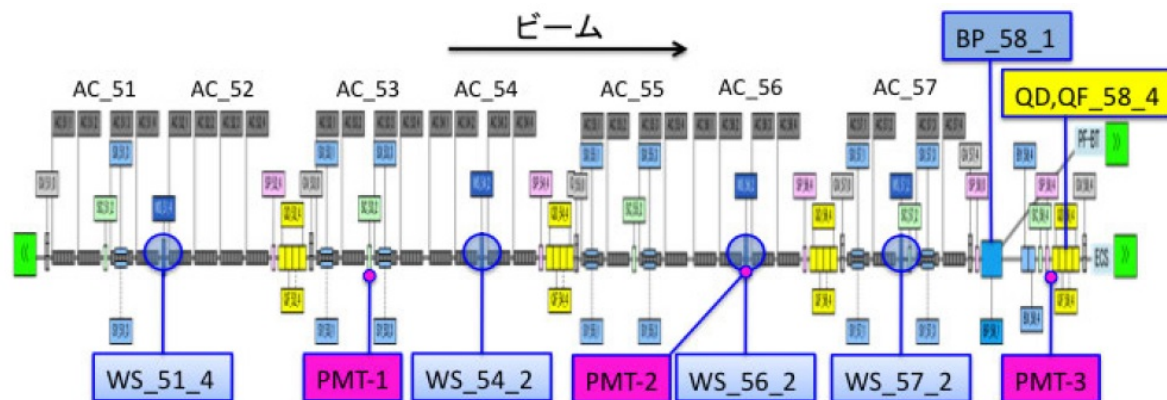


Figure 10: Layout of wire scanner system at 5 sector.

Figure 10 に示すように 5 セクタの WS は WS_51_4, WS_54_2, WS_56_2, WS_57_2 の 4 つのワイヤ駆動部とそれぞれの下流約 10 m の位置に PMT (E5996[R5990-U];浜松ホトニクス)が鉛ブロックでシールドされて設置されている。WS_51_4 は PMT-1、WS_54_2 は PMT-2、WS_56_2 と WS_57_2 については PMT-3 が対応した検出器である。この検出器の配置では PF ビーム (e-,2.5GeV) の測定は可能であるが KEKB ビーム (e-,8GeV) の場合はノイズが多く測定出来ない。

3.2 WS 用センサの最適設置場所の調査

WS 用センサの最適な設置場所を調査するためにパルスマグネット (BM_58_1) の上流から PMT-3 の下流まで光ファイバを布設した。Figure 11 に WS_57_2 のワイヤを挿入した時の信号とそれらの機器の写真を示す。

Figure 11 から分かるように検出器の設置場所は BP_58_1 の上流側ダクト、または QS,QF_58_4 の上流部が適当である。しかし、前者はパルスマグネットのすぐ上流であることとコリメータがあるため PMT を設置できない。PMT を設置できる場所は、後者の QD,QF_58_4 の上流部しかない。

3.3 既存の PMT と光ファイバの比較

Figure 11 から分かるようにワイヤを挿入した時 QD,QF_58_4 の中に信号が強く出る。ビームロスによるチェレンコフ光は下流側の方が強く出るので QD,QF_58_4 の中に光ファイバを布設し下流側に出る光を検出した。Figure 12 に既存の PMT の信号と光ファイバの信号のオシロスコープの波形を示す。

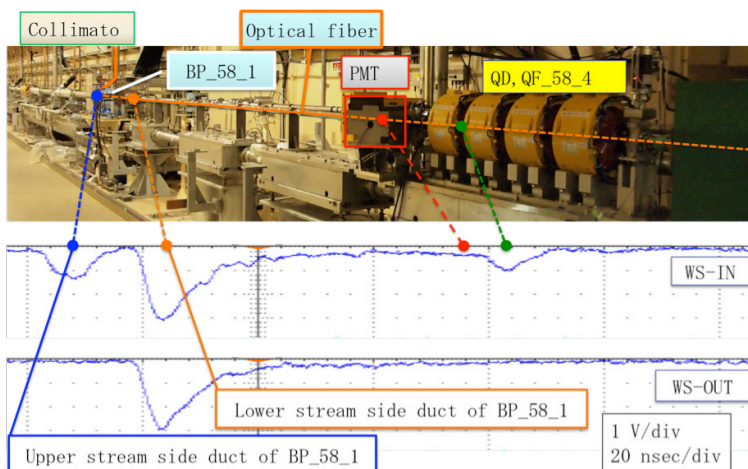


Figure 11: The photograph of the PMT-3 and waveform.

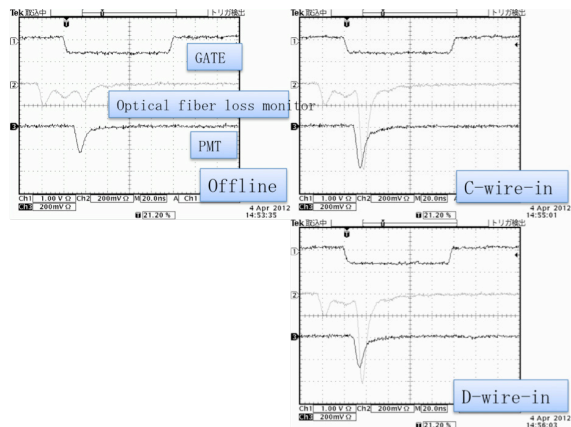


Figure 12: Comparison of the signal of the existing PMT, and the signal of an optical fiber.

C-wire は WS_56_2、D-wire は WS_57_2 を示す。光ファイバの信号でワイヤ挿入時より前のピークはパルスマグネットの分岐ダクトのビームロスによるものである。Figure 13 に測定結果を示す。

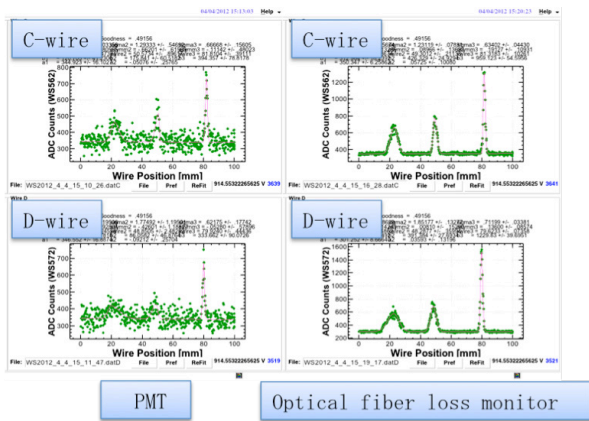


Figure 13: The measurement result in existing PMT and optical fiber.

横軸は Wire 位置、縦軸が検出器の出力信号の大きさを示す。WS は、1 台で 3 本の Wire をビームラインに挿入するため、3 つの山が観測される。各山の幅がビームサイズに相当する。既存の PMT に比べて、光ファイバロスモニターの方が明らかに S/N が良いことがわかる。

4. まとめと今後

光ファイバを分布型の検出器として利用した例としてビームロスモニタと WS のセンサ部への応用例を上げた。

ビームロスモニタに関して、現在はある特定の場所に光ファイバを布設しオシロスコープの波形を解析しビームロスの様子を観測している。ビームロスモニタとして運転に使用するためにはオペレーターが見やすい情報にまとめる必要がある。今後この

ビームロスモニタは制御グループと協力して運転に使えるモニタとして開発する予定である。モニタ系は VME を使ってシステム化されており、このビームロスモニタも組み込まれる予定である。その場合近くのモニタステーションまで光ファイバを導き高速の VME-ADC を使ってロス波形を取り込む事になる。試験運転で性能を確認した後に他の場所にも光ファイバを布設し Linac 全体にビームロスモニタを展開する予定である。

WS に関しては、光ファイバを用いてセンサの最適位置を調べ、その場所にセンサとしても光ファイバを設置する。また、既存の PMT を順次 S/N の良い光ファイバに置き換える予定である。

参考文献

- [1] P. Gorodetzky, D. Lazic, G. Anzivino, E. Chiavassa, A. Contin, G. Dellacasa, N. Demarco, R. De Salvo, M. Gallio, P. Guaita, K.F. Johnson, P. Juillot, M. Lundin, M. Marino, A. Musso, A. Piccotti, E. Scomparin, E. Vercellin "Quartz fiber calorimetry" Nuclear Instruments and Methods in Physics Research A 361, 1995, pp.161-179.
- [2] A. Intermite, M. Putignano, A. Wolski, "First calibration of a Cherenkov beam loss sensor at ALICE using SiPM", Nuclear Instruments and Methods in Physics Research A 677, 2012, pp.80-88.
- [3] G. Mavromanolakis, "Quartz fiber calorimetry and calorimeters", HEP-Cavendish/04/34, UA-NPPS/06/2003.
- [4] S.H. Law, S.C. Fleming, N. Suchowerska, and D.R. McKenzie, "Optical fiber design and the trapping of Cherenkov radiation", APPLIED OPTICS, Vol.45, No.36, 20 December 2006, pp.9151-9159.
- [5] W. Goettmann, M. Körfer, F. Wulf, "BEAM PROFILE MEASUREMENT WITH OPTICAL FIBER SENSORS AT FLASH", Proceedings of DIPAC 2007, 2007, pp.123-125.
- [6] F. Wulf, M. Körfer, "BEAM LOSS AND BEAM PROFILE MONITORING WITH OPTICAL FIBERS", Proceedings of DIPAC09, 2009, pp.411-417.
- [7] X.-M. Maréchal, Y. Asano, T. Itoga, "Design, development, and operation of a fiber-based Cherenkov beam loss monitor at the SPring-8 Angstrom Compact Free Electron ", Nuclear Instruments and Methods in Physics Research A 673, 2012, pp.32-45.
- [8] J.W. van Hoorne, "Cherenkov Fibers for Beam Loss Monitoring at the CLIC Two Beam Module, CERN-THESIS-20120112, 2012.
- [9] Y. Yano, T. Obina, S. Michizono, "光ファイバービームロスモニター", Proceedings of 9th Annual Meeting of Particle Accelerator Society of Japan, Osaka, August 8-11, 2012, pp.902-906.
- [10] T. Obina and Y. Yano, "OPTICAL FIBER BEAM LOSS MONITORS FOR THE KEK PHOTON FACTORY", Proc. of IBIC2012, TUPA10
- [11] N. Iida, Y. Funakoshi, T. Kawamoto, M. Kikuchi, T. Mimashi, T. Suwada, M. Tanaka, M. Yamauchi, S. Yoshida, "RECENT PROGRESS OF WIRE SCANNER SYSTEMS FOR THE KEKB INJECTOR LINAC AND BEAM TRANSPORT LINES", Proceedings of EPAC 2000, Vienna, Austria, 2000, pp.1738-1740.
- [12] Y. Yano, N. Iida, S. Michizono, "ワイヤ・スキャナ用センサーへの光ファイバーの応用", Proceedings of 9th Annual Meeting of Particle Accelerator Society of Japan, Osaka, August 8-11, 2012, pp.898-901.