

## 光ファイバビームロスモニタとワイヤスキャナ-2

### OPTICAL FIBER BEAM LOSS MONITOR AND WIRE SCANNER-2

矢野喜治<sup>#A),B)</sup>, 福田茂樹<sup>A),B)</sup>, 道園真一郎<sup>A),B)</sup>, 明本光生<sup>A),B)</sup>

Yoshiharu Yano<sup>#A),B)</sup>, Shigeki Fukuda<sup>A),B)</sup>, Shinichiro Michizono<sup>A),B)</sup>, Mitsuo Akemoto<sup>A),B)</sup>

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

<sup>B)</sup> Department of Accelerator Science, Graduate University for Advanced Studies (SOKENDAI)

#### Abstract

The beam loss monitors using Ionization chamber, Photo-diode, Scintillator, etc are widely used at accelerators. Usually, we need more than one sensor to measure the distribution of the beam loss. By using an optical fiber as a sensor of a beam loss monitor, the distribution of the beam loss can be measured with single optical fiber. Especially this optical-fiber based beam loss monitor is valuable for the beam commissioning of the accelerator.

This optical fiber beam loss monitor is applied to the SuperKEKB linac as a sensor of a wire scanner. We predicted the place where a signal of a wire scanner goes out by a simulation. We confirmed that a signal goes out to the place expected by a simulation using an optical fiber beam loss monitor.

#### 1. はじめに

ビーム源である電子銃は HER 用にエミッタンスの小さなビームを作る RF 電子銃、LER 用には大強度の安定なビームを作る熱電子銃を採用している。ビームラインの 1 階を RF 電子銃のライン、2 階を熱電子銃のラインとし 2 階建て構造にし下流で合成する方式を取っている。熱電子銃直後の A セクタに光ファイバを布設し立上げ時のビームロスの様子を観測した。またアーク部及び陽電子ターゲットの前後である 1 セクタと 2 セクタにビームロスモニタを布設しビームロスを観測した。

また、ワイヤスキャナのセンサを設置する最適な場所を決めるためにシミュレーションで信号の出る場所を予測し、光ファイバビームロスモニタで確認した。Linac 最下流の 5 セクタのワイヤスキャナは様々なエネルギーのビームに対応する必要がある。ここでは PF ビーム (2.5 GeV の電子) と SuperKEKB ビーム (7 GeV の電子) 其々に最適なセンサの設置場所を決定した。

#### 2. Linac の光ファイバビームロスモニタ<sup>[1] [2] [5] [6] [7]</sup>

(ダクトの左右に1本ずつ)、1セクタ(ダクトの左右に1本ずつ)、2セクタ(ダクトの左右に1本ずつ)、5セクタ後半からビームダンプ(ダクト上に1本)の光ファイバを布設している。ビーム上流側の光ファイバ端には光電子増倍管(PMT)を組み込んだロスモニタ(NIM モジュール)が接続されている。ロスモニタはネットワークに接続されリモートで PMT のゲインを調整することができる。現在ロスモニタの信号はネットワーク接続されたオシロスコープで観測しているが、高速の ADC (VME モジュール 4channel 1.25GS/s 10-bit SIS3305) の導入が制御グループによって進められている。

ここで、光ファイバはビームダクトに密着して布設することが非常に重要である。特に偏光電磁石のダクトは通常の場合に比べてダクト径が小さいためビームロスが起きやすい。ダクト上で発生したシャワーによる荷電粒子は光ファイバを通過しチェレンコフ光を発生する。チェレンコフ光は光ファイバ内でコーン状に出るため特定の角度で入射した荷電粒子によるチェレンコフ光しかファイバ端まで届くことはない。光ファイバがダクトに密着しているとシャワーの発生場所とチェレンコフ光の発生場所を同一視することができるが、2者が離れていると不可能になる。

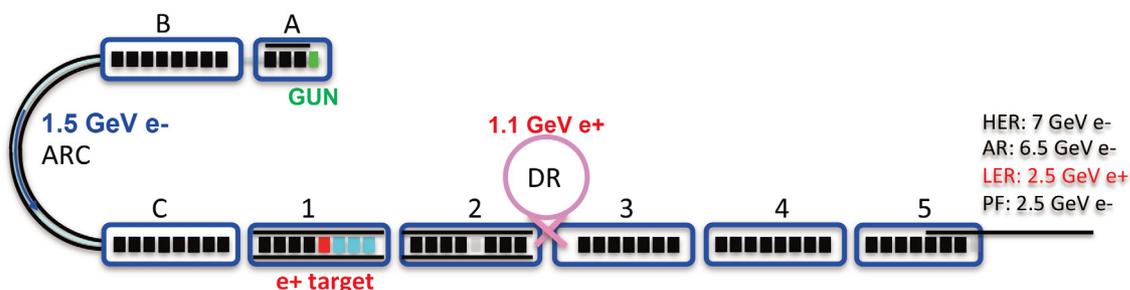


Figure 1: Layout of linac.

Figure 1 に示すように A セクタ(ダクト上に1本)、ARC

<sup>#</sup> yoshiharu.yano@kek.jp

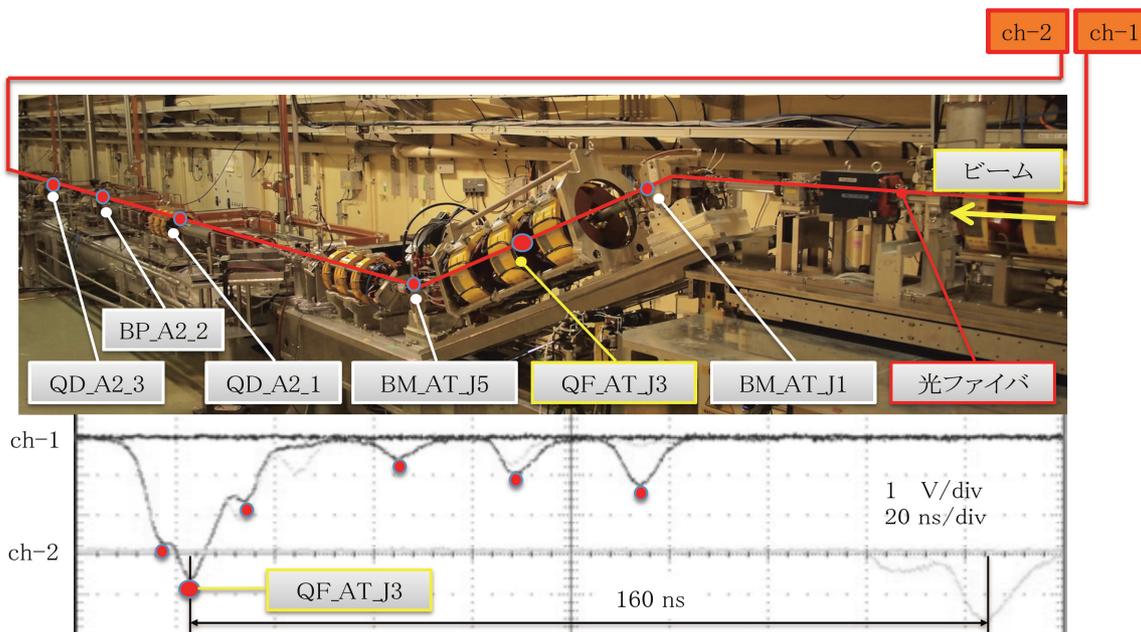


Figure 2: Beam loss at A sector.

### 3. Aセクタ立上げ時のビームロス

昨年、電子銃ラインを2階建構造にして初めてのビームチューニングを開始した時のビームロスの様子をFig. 2に示す。ch-1の波形はビーム上流側の光ファイバ端から見た信号。ch-2は下流側のファイバ端からの信号である。この波形からch-1とch-2のピークの時間差が160 nsecと読み取れる。布設した光ファイバの全長は62 mなのでTOFの原理から上流側ファイバ端から15 mの所にビームロスのピークがあるとと言える。この場所は光ファイバ布設時の実測値からQF\_AT\_J3の中であることが分かる。その他のピークはQF\_AT\_J3からの相対値で示すことができる。この場合ピーク間の時間差を8.3 nsecで割ればピーク間の距離(m)となる。このルールでビームロスが発生している場所を特定すると偏光電磁石と四極電磁石でビームロスが発生していることが分かる。

Figure 3はビームチューニングの状態によってビームロスが変わる様子を示している。①はFig. 2の波形である。②はQF\_AT\_J3の下流にあるスクリーンをラインに挿入した時の波形である。スクリーンで大量にビームロスが起きているため下流までビームが届いていないことがわかる。③と④を比較すると③はBM\_AT\_J5でのビームロスが多く下流までビームが届いていないが、④はBM\_AT\_J5を通過し下流のQD\_A2\_1とBP\_A2\_2で多くビームをロスしQD\_A2\_3までビームが届いていない。⑤は上流のビームの条件が異なっているためBM\_AT\_J5で多くのビームをロスしている。

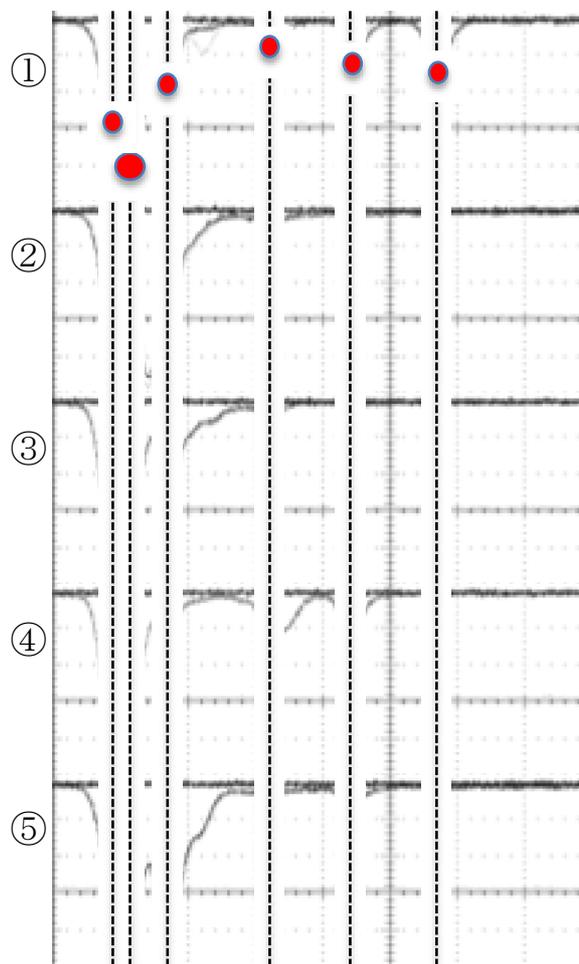


Figure 3: Variation of beam loss.

## 4. 5セクタのワイヤスキャナ(WS)

### 4.1 シミュレーション[7]

Figure 4 に示すように半径 10 mm のステンレスのダクトに厚さ 100  $\mu\text{m}$  のタングステンの板が付いた系を考える。タングステンの板に垂直にペンシルビームが入射し散乱と制動放射により出てくる荷電粒子と $\gamma$ 線の分布をシミュレートした。入射ビームのエネルギーは 2.5 GeV と 7.0 GeV について行った。



Figure 4: Model of a simulation.

シミュレーションの結果を 5 セクタのワイヤスキャナの配置図に重ね合わせたものを Figure 5 に示す。2.5 GeV の電子の場合は荷電粒子のピークが約 8 m、 $\gamma$ 線のピークが約 10 m にあるが、7.0 GeV の電子の場合は荷電粒子のピークが約 20 m、 $\gamma$ 線のピークが約 30 m である。この図は A ワイヤに対応しているが B、C、D ワイヤに対してはグラフの起点をそれぞれの場所に移す事でダク

ト上でシャワーを引き起こす荷電粒子や $\gamma$ 線のピークの位置を予測する事ができる。

### 4.2 ワイヤスキャナとロスモニタの信号[3][4][6]

Linac の 5 セクタのワイヤスキャナシステムは 4 箇所 (A、B、C、D) のワイヤ駆動部とそれらに対応して設置された 3 台の PMT の組み合わせで運用している。A ワイヤのセンサは AC\_53 に設置された PMT、B ワイヤのセンサは AC\_56 に設置された PMT、C ワイヤと D ワイヤのセンサは Q\_58\_4 上流に設置された PMT の組み合わせで運用している。現在の PMT の設置場所とこれらの組み合わせでは PF ビーム(e- 2.5 GeV) は正常に計測できるが、SuperKEKB ビーム(e- 7.0 GeV) の場合は SN が悪く正常に計測できていない。

これらのビームに対してセンサの最適な設置場所を調査するために Fig.5 に示すように Q\_58\_4 の上流から光ファイバを引き入れダクトの上部に敷設した。

シミュレーションの結果から予測すると 2.5 GeV の電子ビームに対しては A ワイヤと B ワイヤの信号は期待できない。これに関しては別途上流部にセンサを設置する。

異なるエネルギーの電子ビームについて WS のワイヤを挿入した時にダクトから出てくる荷電粒子の分布を光ファイバビームロスモニタで観測した。光ファイバをダクトに密着させているのでダクトに当たる荷電粒子と $\gamma$ 線が引き起こすシャワーの密度分布と光ファイバを通過する荷電粒子、つまり光ファイバ内のチェレンコフ光の強度分布は比例関係にある。エネルギー 2.5 GeV の電子ビームの測定結果を Fig.6 にエネルギー 7.0 GeV の場合を Fig.7 に示す。この場合電荷量は共に 1.0 nc である。

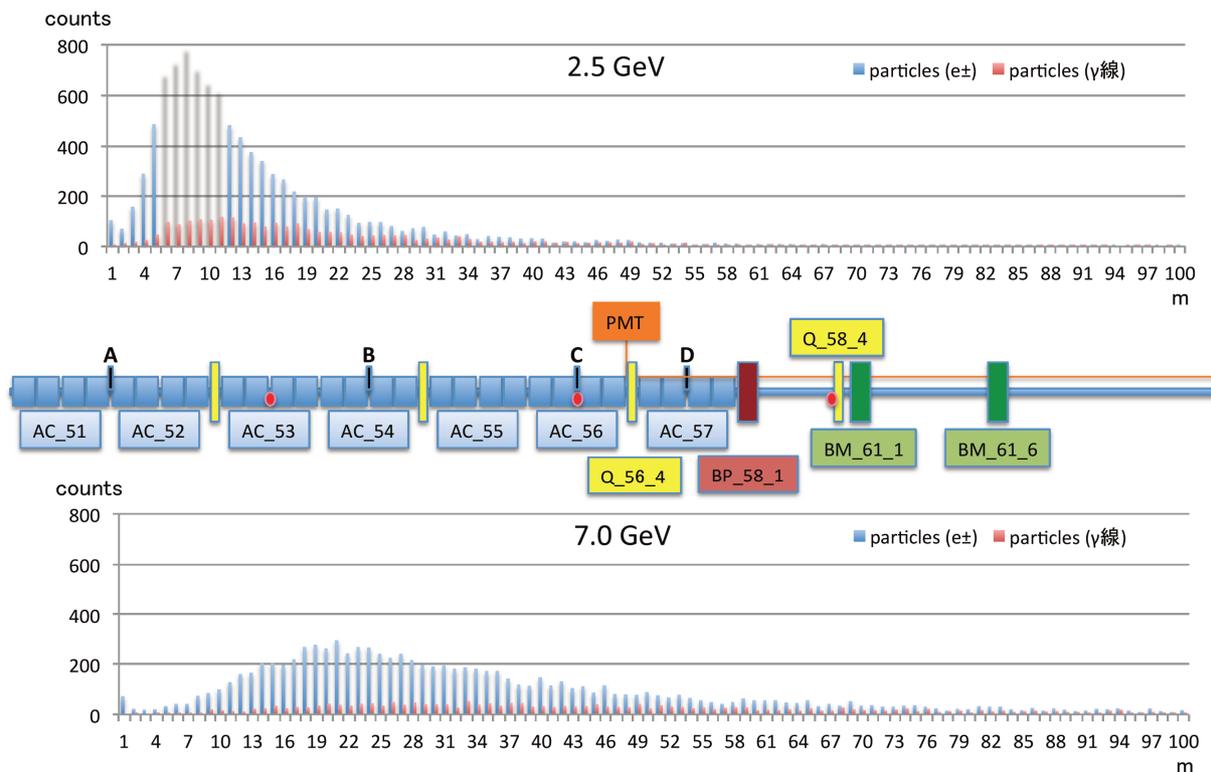


Figure 5: Signal prediction by a simulation.

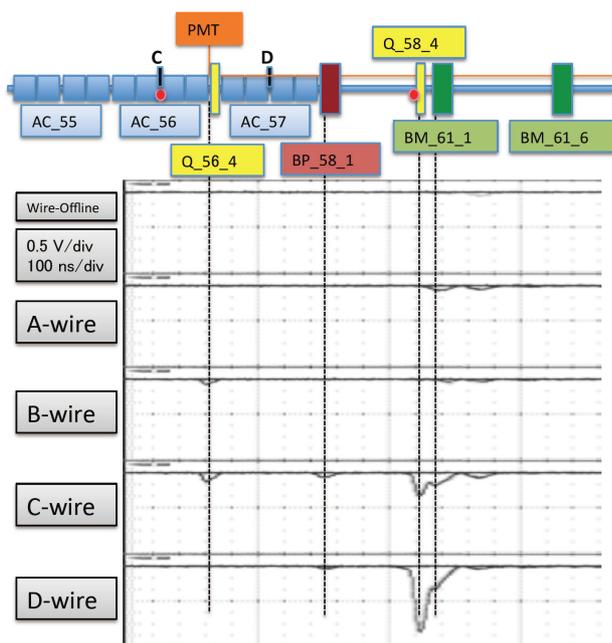


Figure 6: Measured signal of beam loss monitor.  
(Energy = 2.5 GeV, Charge = 1 nc)

ビームエネルギーが 2.5 GeV の場合はシミュレーションでの予測通り A ワイヤと B ワイヤではほとんど信号が見られない。C ワイヤと D ワイヤでは Q\_58\_4 の中で強い信号が見られる。7.0 GeV ビームでは全ワイヤの場合で Q\_58\_4 と BM\_61\_1 の中でシャワーが起きている事がわかる。

これから WS のセンサは Q\_58\_4 と BM\_61\_1 の中に光ファイバを設置すれば良い事がわかる。光ファイバを

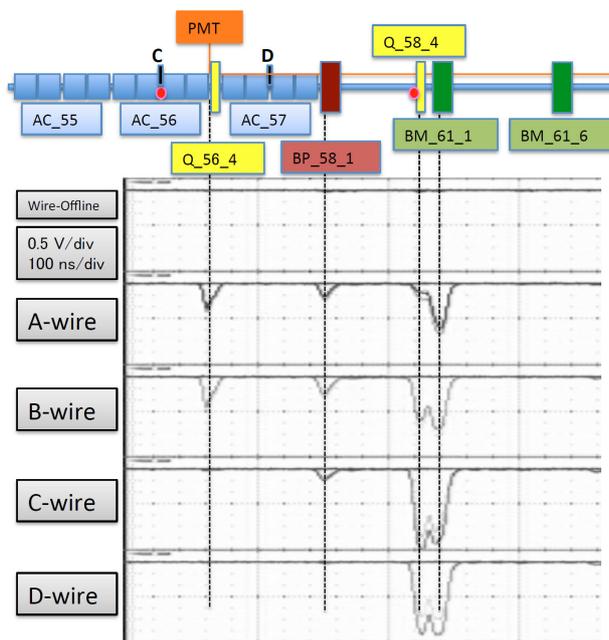


Figure 7: Measured signal of beam loss monitor.  
(Energy = 7.0 GeV, Charge = 1 nc)

WS のセンサとして使用する場合はビームの下流側のファイバ端から読みだすのが良い。何故なら上流からの信号に比べ信号強度も強く時間軸方向に圧縮されているのでゲート巾を狭くすることができる。2.5 GeV のビームを A, B ワイヤで測定する場合は別途 B ワイヤ下流の Q マグネットの中にビーム下流側から光ファイバを設置するのが良い。

## 5. まとめと今後の方針

大きく改造した A セクタのビームチューニング時にビームロス場所が手に取るように分かるのは非常に心強かった。しかしオペレーターに活用してもらうにはオシロスコープで観測するだけではなく、ユーザーインターフェースを充実しなければならない。現在、制御グループによって高速の ADC による読み出しが精力的に進められており間もなく ARC、1 セクタ、2 セクタのデータ取得が可能になると思われる。WS のセンサも B セクタ、C セクタ、2 セクタ及び 5 セクタの設置が済んでいる。今後、既存の PMT との入れ替えが進んで行くものと思われる。

SuperKEKB Phase-1 で HER/LER リングの入射部に光ファイバを布設してビーム入射時のビームロスを観測した。現在データの解析中である。来年から始まるダンピングリングの運転に備えダンピングリングのビームロスを観測するために光ファイバを布設する予定である。

## 参考文献

- [1] 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.
- [2] T. Obina and Y. Yano, “OPTICAL FIBER BEAM LOSS MONITORS FOR THE KEK PHOTON FACTORY”, Proc. of IBIC2012, TUPA10
- [3] 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.
- [4] 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.
- [5] Y. Yano, S. Michizono, S. Fukuda, T. Sanami, “BEAM LOSS INVESTIGATION NEAR THE PULSE BENDING MAGNET OF KEKB INJECTOR LINAC”, Proceedings of 10th Annual Meeting of Particle Accelerator Society of Japan, Nagoya, August 3-5, 2013, pp.403-405.
- [6] Y. Yano, N. Iida, T. Obina, S. Fukuda, S. Michizono, “光ファイバビームロスモニタの応用”, Proceedings of 11th Annual Meeting of Particle Accelerator Society of Japan, Aomori, August 9-11, 2014, pp.443-447.
- [7] Y. Yano, S. Fukuda, S. Michizono, “光ファイバビームロスモニタとワイヤスキャナ”, Proceedings of 12th Annual Meeting of Particle Accelerator Society of Japan, Fukui, August 5-7, 2015, pp.915-919.