

## cERL 高速ロスモニタ用検出系のテスト

### TEST OF DETECTION UNIT FOR THE CERL HIGH-SPEED LOSS MONITOR

下ヶ橋秀典<sup>#,A)</sup>, 帯名崇<sup>A)</sup>, 多田野幹人<sup>A)</sup>

Hidenori Sagehashi<sup>#,A)</sup>, Takashi Obina<sup>A)</sup>, Mikito Tadano<sup>A)</sup>

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

#### Abstract

In the High Energy Accelerator Research Organization (KEK), ERL (Energy Recovery Linac) which is a next-generation synchrotron orbital radiation light source is studied. Now, at KEK, various researches and technical development are performed by compact ERL (cERL) built for technical verification of ERL. Loss monitor development for protecting accelerator apparatus from damage by the beam collision of high energy as one of the interlocks for apparatus protection in it is performed. This loss monitor needs to stop a beam at high speed at the time of beam operation by high intensity (high current). This time, it tested by putting a sensor and a scintillator into the actual cERL accelerator interior of a room. As for these sensors and a scintillator, use by high-speed loss monitor is considered. Since implementability as a high-speed loss monitor was examined based on the test result, it is reported.

#### 1. はじめに

インターロック用高速ロスモニタの検出部として使用可能なセンサとして光電子増倍管 (PMT) がある。PMT とは光電効果を利用して光エネルギーを電気エネルギーに変換する光電管に、電流増幅機能を付加した高感度光検出器である。これを用い、シンチレータの有無、プリアンプの設置位置、シンチレータの種類、高電圧 (HV) 設定値のテストを行い、ERL 用高速ロスモニタ検出部のシステム構成を検討した。

#### 2. 光電子増倍管とプリアンプ

本今回のテストに使用した PMT は浜松ホトニクス社製の高利得で低暗電流のものを使用した。代表的な仕様を Table 1<sup>[1]</sup>に示す。

Table 1: PMT Specifications

Parameter	Description/Value
Size	φ 28.5 mm
Type	Side-on
Spectral Response	300 to 650 nm
Photocathode Material	Bialkali
Photocathode Area	8×24 mm
Dynode Number of stage	9
Maximum Supply Voltage	1250V(A-C)

また、今回のテストに使用したプリアンプは PMT と同様に浜松ホトニクス社製のものを使用した。代表的な仕様を Table 2<sup>[2]</sup>に示す。

<sup>#</sup> hidenori.sagehashi@kek.jp

Table 2: AMP Specifications

Parameter	Description/Value
Frequency Bandwidth(-3db)	DC to 150MHz
Voltage Gain	38dB(80times)
Current-Voltage Factor	4mV/μA(50Ω)
Rise Time (Typ.)	2.3ns
Maximum Output Voltage	±1.4V(50Ω)

#### 3. 機器の配置とテストビーム

Figure 1 に機器の配置図を示す。テストは KEK の cERL を用いて行われた。オシロスコープおよび高電圧電源装置は加速器室外の計測ラックに設置し、センサ類 (PMT、シンチレータ (CsI)) およびプリアンプは加速器室内のスクリーンモニタ (SCM) の近傍に設置した。SCM は破壊型ビームモニタであり、スクリーン挿入時に発生するビームロスを用いてロスモニタのテストを行った。センサ類は厚紙で作られた暗箱に納められており、その箱は遮光されている (Figure 2)。センサ類設置位置から計測ラックまではケーブル長で 50m 離れている。加速器室内のセンサ類設置状況を Figure 16 (本文最後) に示す。

テストに使用したビームの仕様はバースト (パルス) モード、エネルギー 5.6MeV、ピーク電流 1mA、平均電流 5nA、パルス幅 1μs である。ロス状態とは先にも述べたとおり、ビームが ON でセンサ近傍の SMC のスクリーンが挿入された状態であり、ロス無し状態とはビームが ON でスクリーンが挿入されていない状態の時である。

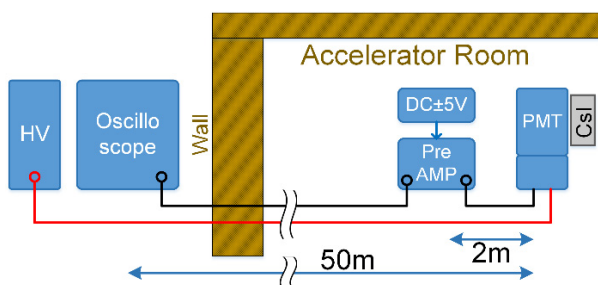


Figure 1: Placement of equipment.

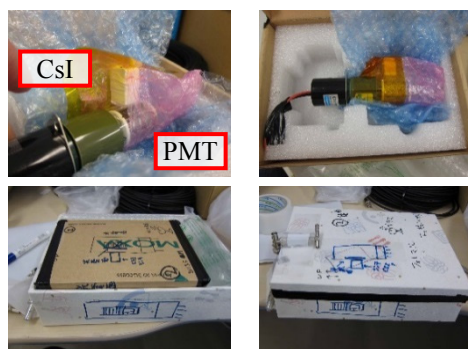


Figure 2: Preparation of sensors.

#### 4. シンチレータについて

シンチレータはCsI (13×13×25mm) を13×13の面をPMTの光電面に密着させて使用した。ただし、シリコンオイル、接着剤等は使用していない。その他の5面は白いテフロンテープを巻き、反射光を得るようにした。PMTとCsIシンチレータの暗箱収納の様子を写真1に示す。CsIの種類は不明であるが、観測結果等からPureCsIであると思われる。

##### 4.1 シンチレータ無し

シンチレータを用いると、シンチレータ自身の経年変化(放射線による劣化、湿度による影響)が心配される。そのため、シンチレータ無しでロスモニタとして使えるかテストをした。シンチレータは取り外された状態でテストを行った。Figure 3,4に結果を示す。発光源が無いので、出力を得るためにHVの値を-800Vに設定した。ロス状態を検出することは確認できたが、高いHV設定値によりゲインが高くなる<sup>1)</sup>ため、ロス無し状態でも目的以外の出力が多く出力された。そのため、誤検出が頻発される懸念が生じる。

##### 4.2 シンチレータ有り

Figure 5,6に結果を示す。発光源があるため、ロス状態の時は出力が大きく得られ、HV設定値を-400V

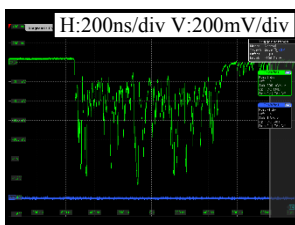


Figure 3: No scintillator, On loss.(HV=-800V)

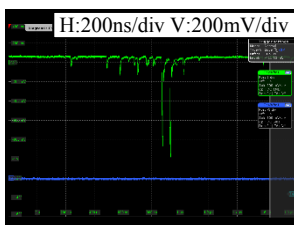


Figure 4: No scintillator, No loss.(HV=-800V)

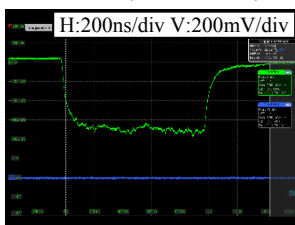


Figure 5: With scintillator, On loss.(HV=-400V)

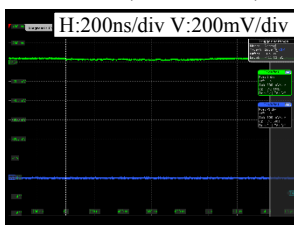


Figure 6: With scintillator, No loss.(HV=-400V)

に設定しても良好な出力が得られた。立ち上がりも100ns程度と高速ロスモニタとして期待できる。シンチレータがあるとHV設定値は低く抑えられるため、目的以外の出力は非常に低減される。ロス無し状態での出力はほとんど無く、誤検出の可能性が低いと言える。

##### 4.3 シンチレータの種類

PureCsIに比べ発光強度の大きいシンチレータCsI(Tl)を用いてテストを行った。シンチレータのサイズは10×10×3mmで10×10の面をPMTの光電面に密着させて使用した。他の条件はCsIと同様とした。Figure 7に結果を示す。結晶のサイズが異なること、ロスの時間幅が1μsであり、波形の立ち上がりが1μs内に収まらなかったことで、強度の比較は出来なかったが、CsIに比べて結晶サイズが小さいにもかかわらず、出力信号が大きくなることを確認した(HV=-400V)。ただし、波形の立ち上がり時間が遅いため、今回の高速動作を必要とするロスモニタには使用が不向きである。

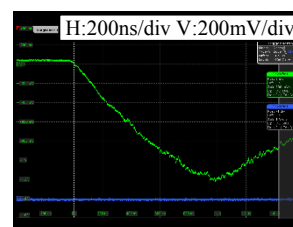


Figure 7: Change to CsI (Tl), On loss.(HV=-400V)

#### 4. PMTのHV設定値について

PMTのHV値を変化させたときの出力信号の波形観測結果をFigure 8-12に示す。波形観測から得られたHV設定値と信号出力の関係をFigure 13に示す。今回のビームロス量ではHV設定値が-300V~-450Vまでほぼニアに出力電圧が変化している。-450Vから信号出力が頭打ちになるのは、プリアンプの最大出力電圧が±1.4Vのため、そこで制限がかかったためである。HV値を大きくすると、PMTのゲインが上がり、少ないロス量を検出するときに良いが、HV値を上げ過ぎると、4.1シンチレータ無しのテストの時にも述べたように、目的以外の出力が多く出力されるため、誤検出の可能性が高くなるので注意

が必要である。テストを行って来た結果、インターロック用のロスモニタとして使用する場合、HV 設定値は-600V~-700V 程度までとした方が良いと思われる。

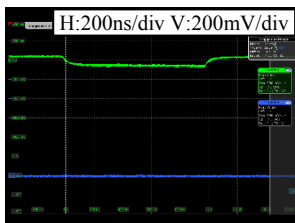


Figure 8: HV= -300V  
With scintillator, On loss.

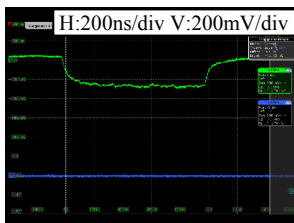


Figure 9: HV= -350V  
With scintillator, On loss.

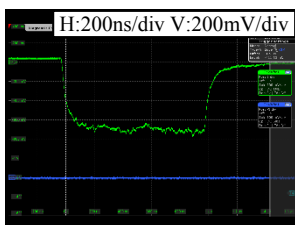


Figure 10: HV= -400V  
With scintillator, On loss.

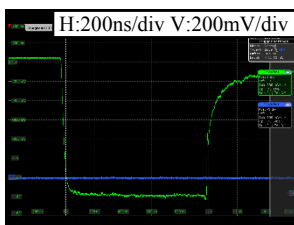


Figure 11: HV= -450V  
With scintillator, On loss.

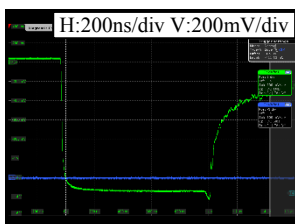


Figure 12: HV= -500V  
With scintillator, On loss.

## 5. プリアンプの位置について

プリアンプはセンサ類近傍にあった方が、加速器室外の遠く離れた測定器に信号を送るためには S/N は有利である。しかし、当然のことながらロスモニタのセンサ類は放射線場で使用するため、可能であればアンプ等の半導体を使用した電子機器類は放射線損傷をさけるため、加速器室内の設置を避けたい。そこで、PMT のプリアンプをセンサ類側では無く、50m 離れた計測ラック側に設置してテストを行った。結果を Figure 14,15 に示す。ノイズもしくは他の機器の影響で 1/3 程度不要な波形が重畳している。微弱な信号を長距離伸ばしたため、外乱の影響が無視で

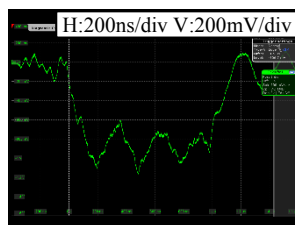


Figure 14: Away AMP,  
On loss.(HV=-400V)

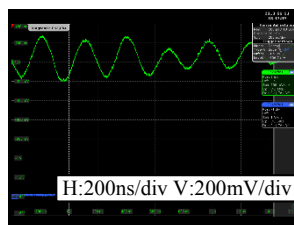


Figure 15: Away AMP,  
No loss.(HV=-400V)

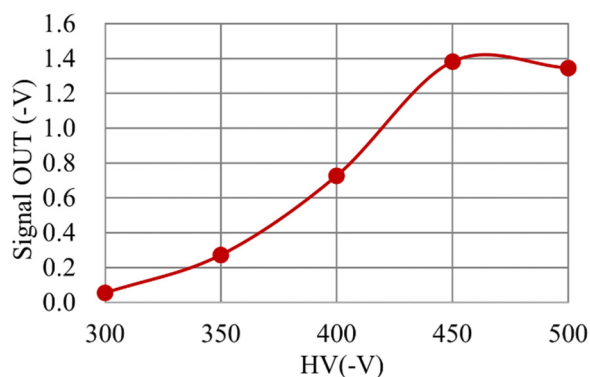


Figure 13: HV - Signal OUT, On loss.

きなくなった。ノイズ低減等の処置を行えば加速器室外での使用が実現可能かもしれないが、現状では難しいと考える。

## 5. まとめ

今回のテスト結果から Figure 1 のような機器配置で高速ロスモニタを構築していくこととした。プリアンプが加速器室内に設置されてしまうが、今回のテストでも PMT からプリアンプまで 2m のケーブルで接続している。2m あればビームダクトから離すことが出来る。必要であれば遮蔽等の対策も講じることが可能である。

Pure CsI のシンチレータを用いれば 100ns~程度の時間でロスを検出することが可能であると確認できた。HV 設定値によるゲイン調整と検出信号の閾値によって、ロスの警報発報レベルを制御可能であることを確認した。

今後は今回のテストを参考にして、高速ロスモニタの信号処理（警報出力）および警報発報システムを開発してゆく予定である。

## 参考文献

- [1] [http://www.hamamatsu.com/resources/pdf/etd/R11558\\_TPMS1078E01.pdf](http://www.hamamatsu.com/resources/pdf/etd/R11558_TPMS1078E01.pdf)
- [2] [http://www.hamamatsu.com/resources/pdf/etd/C9663\\_TACC1046E02.pdf](http://www.hamamatsu.com/resources/pdf/etd/C9663_TACC1046E02.pdf)
- [3] [http://www.hamamatsu.com/resources/pdf/etd/PMT\\_handbook\\_v3aJ-Chapter4.pdf](http://www.hamamatsu.com/resources/pdf/etd/PMT_handbook_v3aJ-Chapter4.pdf)

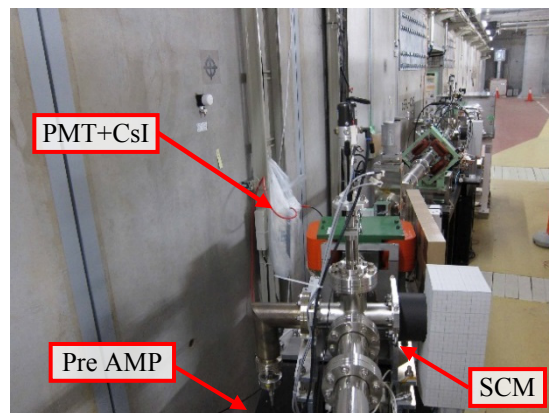


Figure 16: Apparatus installation situation.