

cERL におけるインターロック用高速ロスモニタシステムの開発

DEVELOPMENT OF THE HIGH-SPEED LOSS MONITOR SYSTEM FOR INTERLOCKS AT CERL

下ヶ橋秀典^{#,A)}, 帯名崇^{A)}, 多田野幹人^{A)}

Hidenori Sagehashi^{#,A)}, Takashi Obina^{A)}, Mikito Tadano^{A)}

^{A)} High Energy Accelerator Research Organization

Abstract

The loss monitor under high current beam operation, is needed to stop the beam at high speed when a large amount of beam loss occurs. Last time, it tested by putting the sensor and the scintillator into the actual cERL accelerator interior of the room. And feasibility as the high-speed loss monitor was considered. This time, it was based on this result and I developed the interlock loss monitor system aiming at about 1 μ s of working speed. This system consists of the next element. The sensor unit. The preamplifier unit for sensor output amplification. Loss signal processing unit. PLC unit for various settings and monitoring. High-pressure power supply unit for PMT. In addition, the alarm output signal is delivered through the existing high-speed interlock system to each device. In addition, PLC operating system is Linux. So, monitoring and configuration of the system has become operational in the EPICS • CSS. In this paper, we explain each element of a system, and we will report a result of the test use of the system.

1. はじめに

これまでcERLにおけるインターロック (ILK) 用高速ロスモニタの検出部のシステム構成を検討してきた¹⁾。この結果を踏まえ、1 μ s程度の動作速度を目指してILK用高速ロスモニタシステムの開発を行った。今回、システムを構成する各要素の説明と試験運用の結果を報告する。

2. システム構成

システム構成図を Figure 1 に示す。また、制御機器群の写真 Figure 2 に示す。本システムは、ロス検出用センサ部、センサ出力増幅用プリアンプ部、ロス信号処理部、各種設定モニタ用 PLC 部、高圧電源部で構成されている。ロス信号処理部はアナログ回路で構成され、ロス検出から警報出力まで CPU 等は介在していない。ただし、システムの設定や監視に関しては PLC を利用している。なお、警報出力信号は既存の高速インターロックシステムを經由して各装置に分配される。また、PLC は OS に Linux を使用している機器を選定し、これによりシステムの各種設定・モニタは EPICS • CSS により操作および監視可能とした。

3. 検出部周辺

検出部周辺はセンサ部、プリアンプ部、高圧電源部を指し、ビームロスを検出し電気信号に変換する機器群である。

3.1 センサ部

センサ部は光電子増倍管(PMT)とシンチレータ、

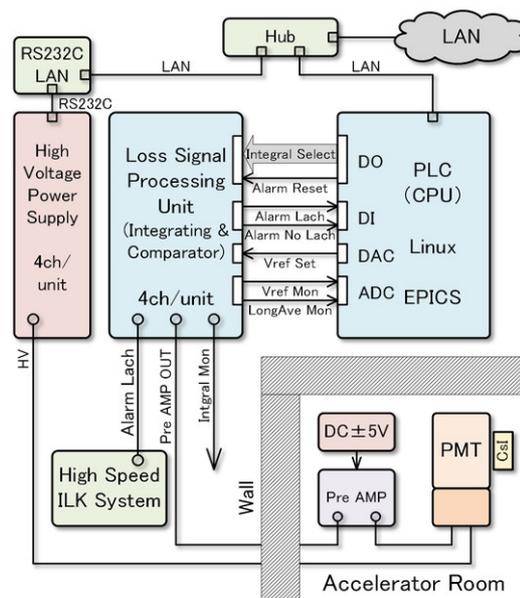


Figure 1: High-speed loss monitor system.

これらを納める遮光ケースから成る。PMT には浜松ホトニクス社製のサイズ ϕ 28mm、光電有効面 8x24mm のサイドオン型を使用した。分析機器一般に使用されるものを選定した。シンチレータは減衰時間が比較的早く、潮解性がほぼ無く、安価な CsI (Pure) を使用した。サイズは 10x10x25mm であり、10x25mm の面を PMT の光電面に向けて設置している。遮光ケースはアルミ製で、PMT およびシンチレータを容易に交換出来るように設計した。PMT がサイドオン型であるので、光電面が向いている側面にシンチレータが位置するようになっている。PMT、

[#]hidenori.sagehashi@kek.jp

シンチレータの交換等を考慮して、シリコンオイル、接着剤等は使用していない。また、シンチレータ方向のロス導入窓部には金属を使用しておらず、厚手の MDF ボードで遮光している。Figure 6 参照。

3.2 プリアンプ部

プリアンプはセンサ部から遠く (50m 程度) 離れた信号処理部に良い S/N 比で信号を送るために、各センサ部から 2m の位置にプリアンプ盤として設置している。2m 離すことで、ビームロスの直撃からなるべく避ける位置に設置する様にした。プリアンプ盤には安全ブレーカと $\pm 5V$ の DC 電源と PMT 用のプリアンプが内蔵されている。Figure 7 参照。

3.3 高圧電源部

高圧電源部は PMT を動作させるために印加する高圧(HV)電源と制御機器からなる。本システムには CAEN 社製の HV 電源装置を採用した。1 ユニットあたり 4ch の出力を有する。この装置は RS232C に対応しており、ASCII コマンドにより遠隔操作が可能である。ただし、RS232C のため近傍に LAN-RS232C 変換器設置し、LAN 経由で EPICS・CSS を用いて遠隔操作することにした。

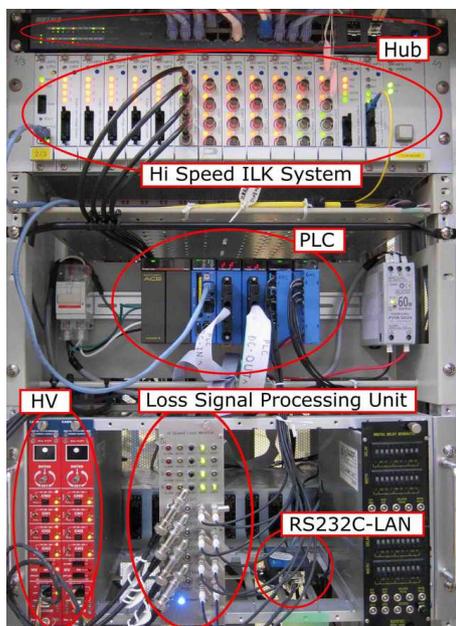


Figure 2: Control equipment group.

4. ロス信号処理部

ロス信号処理部は積分比較回路基板とラッチ回路基板で構成されており、NIM 規格のケースに納まるように設計した。1 ユニット当たり 4ch の入力を有する。積分比較回路基板は積分回路、積分定数選択回路、比較回路で構成され、ラッチ回路基板はラッチ回路、ドライバ回路、制御用 PLC へのデジタル I/O で構成されている。なお、電源についてはケースに DC ジャックを設けており、NIM ビン電源が無い状態でも AC アダプタを接続することにより使用可能とした。Figure 3 に回路基板の写真を示す。



Figure 3: Integrator comparator & latch circuit board.

4.1 積分回路

積分回路はロス信号とノイズや PMT の単発的な出力を弁別するために用いられており、入力 1ch に対して 5 つの時定数を持った積分器が用意されている。そのうち 4 つについては警報発報用として使用しており、信号の 1 つが比較回路へ選択回路によって接続される。残りの 1 つは PLC の ADC 入力でも扱い可能な長い時定数の積分器 (LongAve) であり、CW 運転時のロスを PLC で直接測定可能となる様に装備した。なお、積分回路はそれぞれの時定数につき 1 つずつ構成しており、切り替え時のスピードと安定性を確保している。

4.2 積分定数選択回路

警報発報を判断する比較回路に任意の積分回路を接続する回路である。具体的にはアナログマルチプレクサ IC を使用しており、1ch に対して 4 つの積分定数が選択可能である。PLC により遠隔操作可能となっている。また、基板には SW が設けられており、単独でも設定可能となっている。4 つの積分定数の内訳は、現在実験的に探っている途中ではあるが、時定数の短い方から 1. バースト運転時のピーク電圧見極め用、2. CW 運転時 Fast、3. CW 運転時 Slow、4. バースト運転時に発報しない程度の時定数、という意図で設定している。

4.3 比較回路

比較回路は積分定数選択回路で選択された積分出力電圧と警報用基準電圧を比較して、基準電圧より積分電圧が大きい場合に出力動作をする回路である。この時が警報発報状態である。基準電圧は外部からのアナログ電圧入力 (PLC の DAC 出力等) によって設定されるが、それぞれの積分比較回路基板内で設定する事も可能であり、単独で使用する事も出来る。なお、比較回路では発報状態を保持する機能は有していないため、次段のラッチ回路により警報状態は保持される。

4.4 ラッチ回路

ラッチ回路は比較回路から出力された警報信号を保持する機能である。単純なロジック IC で構成した。保持された警報信号は PLC からのリセット信号により解除される。また、ラッチ・ドライバ回路が搭載

されている基板には PLC からの制御監視用デジタル I/O 端子が備わっており、PLC とのインターフェース機能を有する。

4.5 ドライバ回路

ドライバ回路はラッチ回路からの警報出力を既存の高速インターロックシステムに入力（接続）するための回路である。警報の最終出力は TTL レベルで 50Ω をドライブする必要がある。そのため、高速インターロックシステム行きの出力には 50ohm ラインドライバ IC が最終段に取り付けられている。

5. PLC 部

PLC 部は PLC ハードウェアと EPICS のソフトウェアで構成されている。

5.1 ハードウェア

制御用 PLC は CPU、DI、DO、ADC、DAC、DC 電源の各モジュールで構成される。CPU モジュールには EPICS のベースプログラムが直接実行可能な Linux を OS として搭載したコントローラを使用した。DIO モジュールはロス信号処理部を制御監視するために設けており、DI 側は警報発報状態信号（ラッチ有り、ラッチ無し）があり、DO 側は積分定数選択信号、警報リセット信号、警報の発報を無効にするディセーブル信号がある。ADC モジュールは比較回路の警報用基準電圧の監視と LongAve 信号の入力に使われている。DAC モジュールは比較回路の警報用基準電圧の生成に使われている。

5.2 ソフトウェア

PLC、CPU モジュールのソフトウェアは EPICS の作法に従って作成すれば良いので、レコードを記述し、EPICS データベースを生成するのみで完成した。なお、モジュールの動作モード等の設定も EPICS で PLC のレジスタに直接アクセスが可能であるため、データベースを生成して操作することが出来る。よって、CSS 等での遠隔操作も可能である。

6. CSS での操作

Figure 4 に本システムの CSS での操作画面の例を示す。左上は PLC（ロス信号処理部）部の CSS での操作画面を示す。右側は HV 電源部の CSS での操作画面を示す。左下は PLC と HV をひとつにまとめたモニタ画面である。

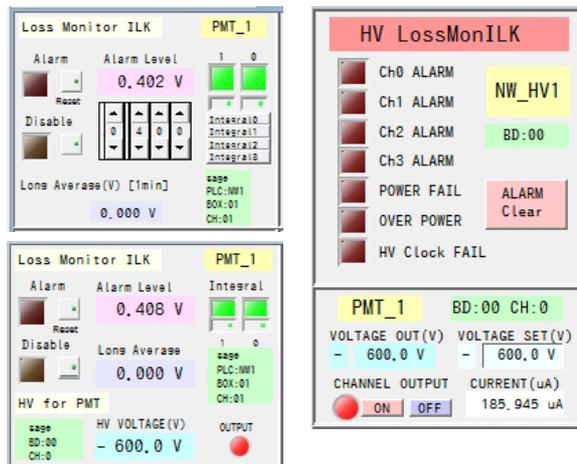


Figure 4: Examples of the operation screen in CSS.

7. テスト運用と動作確認

Figure 5 に cERL での各機器の配置を示す。Figure 6 にセンサユニットの写真、Figure 7 にプリアンプ部の写真を示す。センサユニットは 8set+1set の計 9set を設置した。+1set はテストポート用でインターロックには組み込んでいない。No.2,3,5,7,8 についてはそれぞれ近傍のコリメータによるロスも含めてモニターする目的で配置した。センサ部とプリアンプ部以外の機器は加速器室外の計測ラックに納められ (Figure 2 参照)、配線長の関係から北西(NW)側と南東(SE)側の 2 箇所に分かれている。

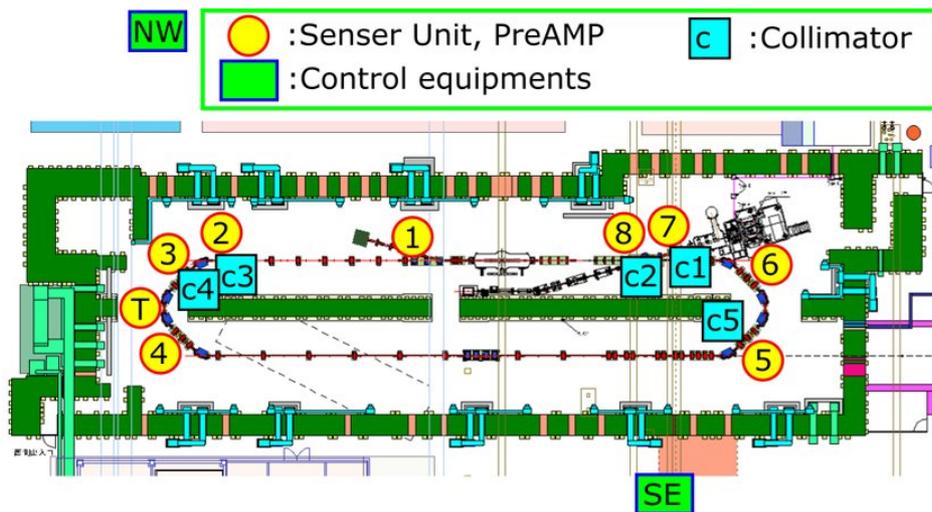


Figure 5: Placement of equipment.



Figure 6: Sensor unit.



Figure 7: PreAMP.

7.1 警報出力の動作確認

バーストモード (Ipeak=60 μ A) で No.8 のセンサを用いてテストを行った。ビームロス近傍のスクリーンを挿入し発生させている。Figure 8 に警報出力の動作確認波形を示す。ロス信号 (PreAMP OUT) が信号処理部の積分回路で積分 (Integral OUT) され、その値が設定した警報レベル (Alarm LEVEL) に達した時 (下向き矢印)、警報が出力 (Alarm OUT) している。警報出力は Normally High である。これらの波形観測から ILK 用高速ロスモニタの警報動作が確認出来た。また、今回の時定数設定ではロス発生から警報発報まで約 0.8 μ s で動作しており、目標の動作速度を満たしている。

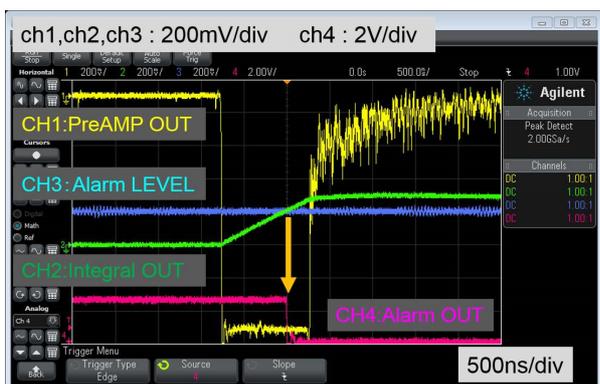


Figure 8: The operation of the alarm output.

7.2 ビーム軌道操作によるロス検出電圧の確認

テストポートにおいて、PMT の出力が最大になる様にビーム軌道进行操作し、その状態でビーム電流に対するロス検出 (Pre AMP 出力) 電圧の測定を行った。HV=-600V でピーク電流 1.2 μ A の時にプリアンプ出力は 80mV の出力を得た。およそ 1 μ A でもインターロックとして動作可能な出力電圧を得られることが確認された。

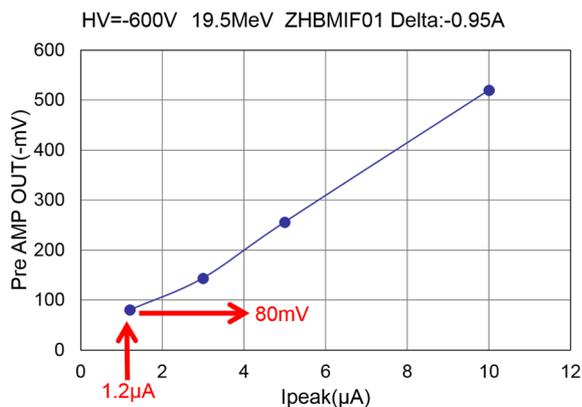


Figure 9: Peak beam current – Pre AMP OUT.

7.3 CW 運転での試験運用

CW 運転時に試験運用を行った。HV 設定電圧は原則-600V とした。警報レベルの設定はバーストモ

ドでのロス状態を観測し、そこから各センサの設定値を決めて運用した。運用の結果、警報レベルを超えたロス検出に対して、警報動作 (Beam OFF) を確認した。ただ、長時間 PMT に過大な光が当たると、破損や短寿命化が生じるので注意が必要である。

7.4 長時間積分回路 (LongAVE) 出力の動作確認

Figure 10 にビーム電流 (Dump) と市販の放射線モニタ (RadMon) と LongAVE 出力のトレンドグラフを示す。この LongAVE はセンサ No.3 であり、RadMon は No.3 に最も近い位置の加速器室内西壁に設置されている。測定時の運転モードは CW で、ビーム電流を 10 μ A, 20 μ A, 30 μ A と段階的に上げている。RadMon 出力もビーム電流に合わせて上昇している。LongAVE 出力も同様に上昇している。さらに、RadMon と LongAVE のグラフの形がほぼ同じであることが分かる。このことから、LongAVE 出力によって平均ロスレベルが PLC で直接測定可能であることが確認された。

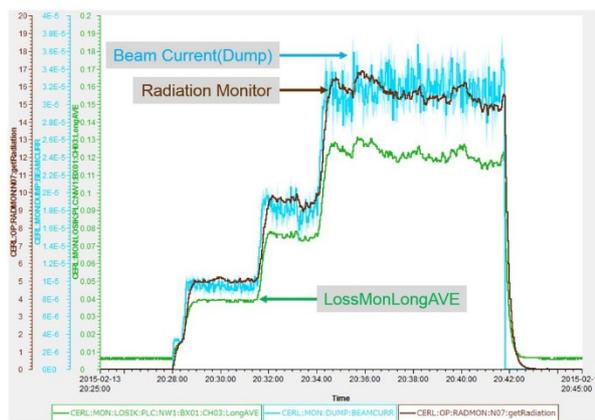


Figure 10: BeamCurrent & RadMon & LongAVEout.

8. まとめ

今回、cERL で使用される 1 μ s 程度の動作速度を目指したインターロック用高速ロスモニタシステムの開発を行った。完成したシステムは動作確認を経て、試験運用を行っており、現在、実際の運転に使用している。今後は各種設定値の決定方法や過大光による PMT の破損・短寿命化の対策、他のセンサによるテストを行っていく予定である。センサの設置数としては、今年度中に現状の 2 倍に増やす予定である。さらに、本システムを運用しながら、必要な性能と機能を見極めてシステムのコストダウンを計ることも考えている。

最後に、センサ部に使用している遮光ケースの設計と製作、ロス信号処理部の NIM ケースのパネル加工を行って頂いた、KEK 機械工学センターの皆様に感謝を申し上げます。

参考文献

[1] H.Sagehashi, et al., “cERL 高速ロスモニタ用検出系のテスト”, Proceedings of the 11th Annual Meeting of Particle Accelerator Society of Japan, Aomori, Aug. 9-11, 2014.