

DEVELOPMENT OF BEAM LOSS MONITOR AND DATA ACQUISITION SYSTEM FOR J-PARC LINAC

Mikio TANAKA^{1,A)}, Seishu LEE^{C)}, Hironao SAKAKI^{B)}, Yuko KATO^{B)}, Masato KAWASE^{A)},
Hiroki TAKAHASHI^{B)}, Yuichi ITOH^{B)}, Kazuhiko WATANABE^{B)}, Hiroyuki SAKO^{B)}, Yasuhiro KONDO^{B)},
Susumu SATO^{B)}, Zenei IGARASHI^{C)}, Junichi KISHIRO^{B)}, Takeshi TOYAMA^{C)}, Hiroshi YOSHIKAWA^{B)}

^{A)} Accelerator Engineering Center, Mitsubishi Electric System & Service Co., Ltd (MELCO SC)

2-8-8 Umezono, Tsukuba, Ibaraki, 305-0045 Japan

^{B)} Tokai Establishment, Japan Atomic Energy Research Institute (JAERI)

2-4 Shirakata-Shirane, Tokai, Naka, Ibaraki, 319-1195 Japan

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

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

Abstract

In order to protect accelerator equipments from thermal and/or radiation damages due to beam losses, a machine protection system (MPS) has been developed in J-PARC. The MPS requires the beam loss monitor (BLM) fast response of less than several microseconds and good reliability. In this paper, results of beam loss experiments in KEK 20MeV DTL and a data acquisition system for BLM are discussed.

J-PARC LINAC のビームロスモニター(BLM)とそのデータ収集システム

1. はじめに

加速器は安定した運転中であっても制御機器のゆらぎや突発的な異常により、ビームロスが変化することがある。J-PARCのような大強度陽子ビームのロスは加速器構成機器に対し、放射化および熱的なダメージを大きくする。そこでJ-PARCではビームロスによるダメージから機器を保護するためのインターロックシステム (Machine Protection System, MPS) が導入される。

MPSの発報はビームロスモニター (Beam Loss Monitor, BLM) からの信号を基準とするため、BLMの開発はビームロスに対するその出力信号の特性を考慮しながら進める必要がある。本発表では、最近のビームロスモニター試験の結果および試験・製作中のVMEを用いたデータ収集システムについて報告する。

2. ビームロスモニター

2.1 概要

MPSは設定されたロス量の値を超えるとビームを停止させる。MPSの中でBLMはロス量を検出し、インターロック信号を発報する役割を担っている。

陽子ビームの熱衝撃破壊に対する許容時間がJ-PARC Linac 上流のRFQ, MEBT部では $\sim 2\mu\text{s}$ 、またDTL部では $\sim 15\mu\text{s}$ 程度との試算があり、熱衝撃を回避するにはそれより速い時間でビームを止める

動作をMPSに要求しなければならない。よってMPSユニットはノイズなどによる誤動作の防止を考慮に入れた高速処理設計がされている^[1]。

MPS用BLMは性能として応答速度($\sim 1\mu\text{s}$)、S/N比、耐久性、長期使用における信頼性が優れていることが要求される。特に検出器の性能がBLMの性能を左右するため、適切な検出器を選定することは重要である。J-PARCでの使用にあたり先述したすべての性能基準を満たす検出器は存在しない。このため従来から定評があり、また、これまでKEK-PSにおける使用実績や感度、応答性、耐久性などの試験の結果を踏まえ、シンチレーション式、ガス増幅比例計数管式などそれぞれ特性の異なる検出器の長所を活かし組み合わせることでBLMシステムを作製する計画である^[2]。

2.2 試験開発状況

J-PARC Linacにおいて陽子ビームエネルギーが100MeV以下、特に低エネルギーになるほど高速応答性能が要求されるため、MPS用主検出器に一般的に応答性の良いシンチレータ、副検出器(校正用)に比較的耐久性の良い比例計数管を使用する。以下にKEK-DTL 20MeVでの試験を中心にそれぞれの特性を述べる。

シンチレータ(S-BLM)

検出器はシンチレータ GSO (Ce:Gd₂SiO₅、大きさ $10 \times 10 \times 100\text{mm}$)、またはSCSN-81 (大きさ 10

¹ E-mail: mikio@linac.tokai.jaeri.go.jp

×10×200mm)と石英窓を装備した光電子増倍管(PMT:浜松フォトニクス H3695-10)を組み合わせて用いた。GSOは耐放射線強度が1MGy, 蛍光減衰時間が30~60nsである。

比例計数管 (P-BLM)

ステンレス (SUS316L) 製の2重管構造で芯線にタングステン (径 60 μ m, 有効長850mm), 計数ガスにアルゴン-メタン (90%:10%) を用いる。

アルゴン-メタン封入管は放射線源を用いた試験結果から長期使用により芯線に付着物が生じ, 著しい信号低下が見られた^[2]。このため付着物が生じないと予想されるアルゴン-二酸化炭素 (99%:1%) を用いた計数管の試験も行っている。

KEK-DTLにおける試験

陽子ビームエネルギー ~20MeVに対するBLMの応答性, 感度などを調べる試験を行った。

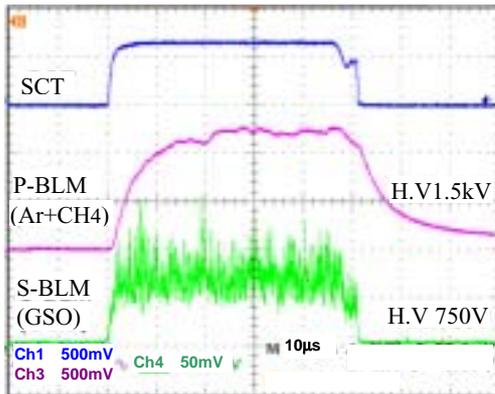


図1 ビームロス波形
比例計数管 (アルゴン-メタン封入) および
シンチレータ (GSO) + 光電子増倍管

図1にKEK DTL20MeVにおけるビームロスモニターの出力を示す。Linacの運転条件は電流値6mA, ビーム幅50 μ s, 繰り返し周期5Hzであった。それぞれの検出器をDTL出口から約30cm下流側のビームダクト中心直下約30cmに設置した。検出器からの出力をプリアンプ (入力インピーダンスを10k Ω) を通し計測した。

S-BLMは電流モニタ(SCT)の出力波形に対して時間的に追従している。処理回路を含め1 μ s以下の応答性の実現へ期待できる。非常に応答性が速いため, 図1ではオシロスコープで4回アベレージを掛けている。またDTLの透過率が100%に近いときはアベレージ回数を増加させると, S-BLMの出力波形はビーム電流波形と極似した。ロス量だけでなく, ロス波形によりビーム診断を行える可能性も考えられる。ビームエネルギー20MeVでは応答性, 感度とも実用的であるが, さらに高速性能の必要な3MeV以下での実証が今後必要である。

P-BLMは電流モニタの出力波形に対してジッターと立ち上がりで数 μ s程度かかっている。また立ち下がり時はなだらかである。比例管とプリアンプの性能に依るところが大きい。入力インピーダンスを50 Ω にすると立ち上がりは速くなる。ただし増幅率が約1/2となる。

図2にオシロスコープで計測した比例計数管のバイアス電圧に対する出力を示す。アルゴン-メタン封入管, アルゴン-二酸化炭素封入管ともにバイアス電圧を上昇とともに, 信号出力が増加した。

同バイアスの印加でアルゴン-二酸化炭素封入管はアルゴン-メタン封入管の約2倍の出力が得られることが分かった。

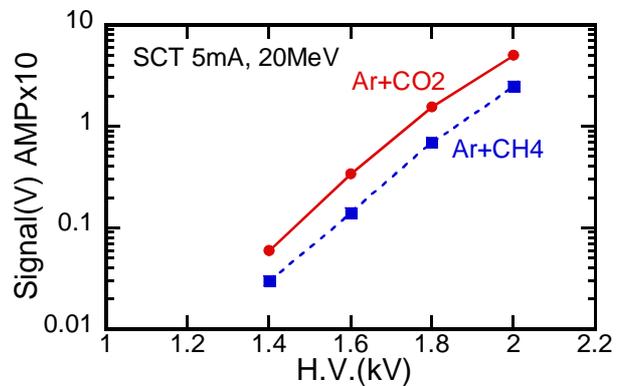


図2 ビームロス出力のバイアス電圧依存性
(P-BLM: オシロスコープによる測定)

日本原子力研究所 高崎研究所における試験

加速器施設では長期にわたるビームロス試験が困難である。そこで長期使用を想定したBLMの感度特性を調べるため, 線 (Co-60) 放射線源を用いて試験を行った。それぞれの検出器を線源から3.3-3.5mの距離に設置した。また照射線量率は0.24-0.27Gy/hで, 26時間照射した。

P-BLMについてアルゴン-二酸化炭素封入管は試験開始時から電荷収集量3mC/mmまでの出力低下が約3%で, アルゴン-メタン封入管に比べて非常に良い結果が得られた^[2,3]。

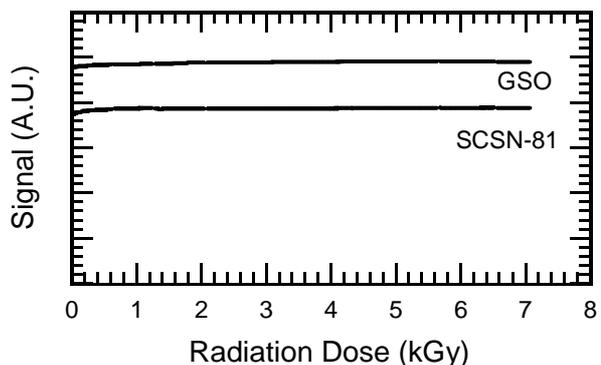


図3 線照射中のS-BLMの出力特性

シンチレータについてはそれぞれ2個ずつ用意し、積算で線7kGy, 1MGyの照射を行い、このうち7kGyの照射試験についてはPMTと組み合わせて出力計測を行った。図3にS-BLMへの線照射(7kGy)試験の結果を示す。GSO, SCSN-81とも照射開始直後から若干(2~3%)出力が増加し、その後ほぼ一定値となった。GSOの仕様耐性は1MGyでありこの時点では大きな感度変化は見られないものと思われる。今後それぞれ線照射後の検出器に対しDTL試験における応答性や感度の測定を行い、使用開始直後の特性との比較検証する。

7kGy: DTL付近で想定されているロスレベル 0.1W/m²下で約2年間の照射量に相当する。

3. データ収集システム

BLM, MPSに関わるデータ収集および制御のためにVMEを用いたシステムを作製している。

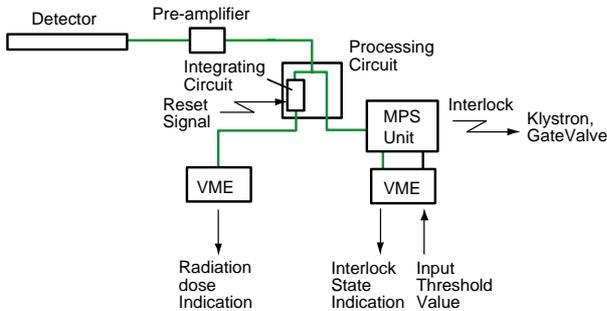


図4 BLM-MPSのシステム概図

図4にBLM-MPSのシステム概図を示す。ロス検出器からの信号はまずプリアンプで増幅を受ける。次に処理回路内で、MPSユニットへの系統と積分回路の系統に分岐される。MPS系統はビームロスが設定されたしきい値を越えたときMPSユニットにインターロック信号を送る。MPS側のVMEはMPSのためのBLMレベルしきい値の入力やインターロック作動状態の取得等の制御に用いられる。また積分回路の系統はある一定時間ロス出力を積算し、外部トリガ信号によって出力をリセットす

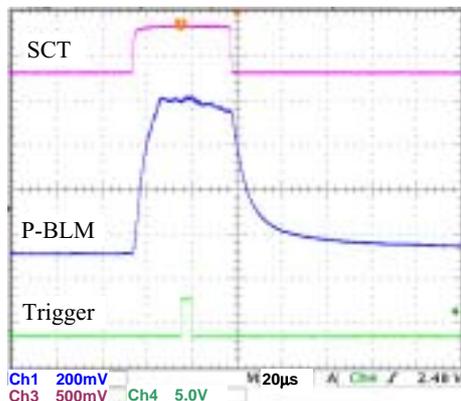


図5 ロス波形とADC変換スタートトリガタイミング

る。VMEで取得したデータは加速器室内各所の放射線量レベルの表示などに用いる計画である。

現在、KEK-DTL 20MeVにおけるBLM試験に合わせて、データ収集システムの動作試験を行っている。図5に計測対象となるP-BLMの信号(波形)例を示す。ここでは積分回路は使用していない。VMEのAD変換タイミングとしてビームのトリガ信号を基にディレイを調整して対象の波形に合わせた。図6にVMEで計測した比例計数管のバイアス電圧に対するロス出力を示す。図2のオシロスコープで計測した場合と同様、縦軸(信号)を対数にすると、測定範囲内ではバイアス電圧に対してほぼ直線的な変化が見られた。ただし出力の絶対値に相違があった。原因について現在調査中である。

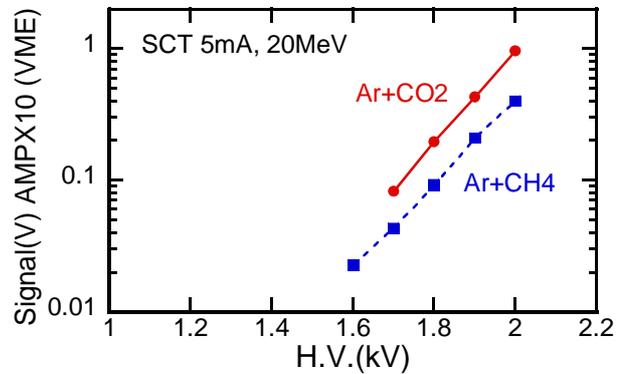


図6 ビームロス出力のバイアス電圧依存性 (P-BLM: VMEによる測定)

4. まとめ

BLM試験において、P-BLM用ガスとしてアルゴン-二酸化炭素は従来のアルゴン-メタンと比べて有効性が認められた。またS-BLMは高速応答性が確認された。今後、線照射試験後の特性評価やビームエネルギー20MeV以下の領域における試験を行う。

データ収集システムについては引き続き基礎的な動作確認および、表示・制御ソフトウェアの開発を行うことが課題である。

参考文献

- [1] H. Sakaki et al., "Design for the Prototype-unit for J-PARC Machine Protection System", 2004-022 JAERI-Tech, 2004 (Japanese)
- [2] S. Lee et al., "The Beam Loss Monitor System of the J-PARC Linac, 3GeV RCS and 50GeV MR", Proceedings of the 9th European Particle Accelerator Conference, 2004
- [3] M. Tanaka et al., "Investigation of sensitivity property of gas filled proportional counters for J-PARC Beam Loss Monitors", Proceedings of the 29th Linear Accelerator Meeting, 2004 (Japanese)