

SuperKEKB BT BPM 読み出し系改善にかんする考察

2024年7月9日(火)

佐藤 政則

KEK 加速器研究施設 加速器第五研究系

1. はじめに

本稿では、SuperKEKB BT BPM 読み出し系システムにかんする現在の問題点および改善案について考察する。

2. 問題点

現在、SuperKEKB の電子(陽電子) BT では、54 台(61 台)の BPM 信号を 4 台のオシロスコープで読み出し、ビーム位置およびバンチ電荷量を算出し、ビーム位置およびビームエネルギーフィードバックのモニタ値として使用している。当該システムの問題点として、下記の三点が挙げられる。

- ビーム位置測定精度が $100\ \mu\text{m}$ ~ $200\ \mu\text{m}$ 程度と悪い。(入射器 BPM のビーム位置測定精度は $5\ \mu\text{m}$)
- オシロスコープで読み出しているためイベントシステムと直接連携が不可能であり、入射器ビームを含めた完全同期データ収集ができない。
- 2バンチ運転時、他の BPM からの信号と重ならずに運用できる BPM の数が少ない。2バンチ運転時に 1バンチ、2バンチ目ともに正常な信号を取得できる電子(陽電子)BPMはわずか27台(9台)である。

3. 改善案

前述の問題点を改善するため、以下に改善案を記す。

3.1 Libera Single Pass E

一つ目の改善案として、スロベニアの企業である i-tech 社の製品、Libera Single Pass E を使用する方法が考えられる^[1]。本製品は、SuperKEKB へ向けた入射器アップグレードの一環として、BPM 読み出し系改善の候補となったものである。入射器との共同開発により、2バンチ同時計測および Libera 用イベントレシーバの開発をおこなった。イベントシステムの連携は既に可能な状態になっている。入射器においてビーム試験もおこない、ビーム位置測定精度 $7\ \mu\text{m}$ ($0.3\ \text{nC}$ 電子ビーム)を達成している^[2]。世界中の加速器施設においても数多く運用されている製品であり、今後も長期間サポートを見込むことができる。1台あたり約200万円と仮定すると(陽電子 BT の BPM 61 台を考慮すると)、概算 1.2 億円で実装可能

と見込まれる。ただし、ケーブル敷設費用などは別途必要である。

Libera 製品は、BPM と読み出し系を 1 対 1 に接続する必要があるため、新規のケーブル敷設作業が必要となる。全 BPM にかんするケーブル敷設が困難を極める場合には、下記二点の工夫が考えられる。

(1) Libera 本体をトンネル内に設置し、シールドを十分に施す。

(2) Libera 本体は地上部に設置する。ただし、Libera 1 台あたりで処理する BPM 信号の数を増やす改造を施す。

(1)にかんしては、放射線シールドの具体的な検討が必要であり、現状では実現性の可否判断が難しい。(2)にかんしては、Libera 本体の改造が必要であり、費用、工期、1 台の Libera で何台分の BPM 信号が処理可能かについては別途検討が必要である。この方式であっても、ケーブル合成の再構築や新規ケーブル敷設が必要と考えられる。

3.2 KEK 入射器 BPM 読み出しシステム(VME モジュール)

二つ目の改善案として、KEK 入射器と同じ読み出しシステムを使用することが考えられる。入射器の BPM 読み出し系では、ビーム運転中に校正パルスを用いた自己校正が不可欠であるとの判断から、Libera 製品を使用することを断念し、独自設計の VME モジュールを開発し、運用している^[3]。入射器ビームを用いた試験結果から、ビーム位置測定精度は $5\ \mu\text{m}$ であることが示された。本システムを BT BPM の読み出し系に適用することにより、入射器ビームと完全同期かつ高精度の測定が可能になる。ただし、Libera 製品と同様、読み出しモジュールと BPM の 1 対 1 接続が必要である。また、本モジュールは 10 年以上前に開発したものであり、増産するためには基盤のリニューアル設計が必要になる。リニューアル設計費を除いたモジュールの量産価格は 1 枚約 100 万円と見積もられ、60 台で約 6000 万円、その他 VME 筐体、CPU、イベントレシーバなどが必要である。

入射器の予備品として、本 VME モジュールを数枚程度保有しており、これを流用することも考えられる。そのさい、FPGA 部分を書き換えることにより、1 モジュールあたり最大 20 台の BPM 信号を処理できる可能性がある。この方式を採用すれば、3 から 4 モジュールで BT BPM の読み出し系をすべて置き換えることができる。この方法においても、BPM 信号が重ならないようにケーブル合成

の再構築が必要である。

3.3 新規モジュールの開発(MicroTCA)

三つ目の改善案として、新規モジュールの開発および運用が考えられる。VMEは古いバス規格であり、現在使用しているCPU、イベントレシーバなどもEOLを迎えているため、将来的には別のシステムに置き換える必要がある。入射器では、このような状況を鑑みてMicroTCAを基盤としたシステム構築(イベントシステム、BPM読み出し系、RF制御系など)の検討を開始した。BT BPMの読み出し系も同じシステムを使用することが考えられるが、まだ開発が進んでいない段階であるため、具体的かつ詳細な検討内容の報告は別の機会におこなう。

4. まとめ

SuperKEKB BT BPM 読み出し系の問題点(測定精度、同期測定、信号の重なり)を解決するためには、3.1 で述べた Libera 製品を使用し、BPMと1対1接続ないしは1対N接続(Nは数台~10台程度)により運用することが現状では最適解であると思われる。次に考えられるのは3.3の新規開発モジュールの利用であるが、現段階では実装可能時期を明言することは困難である。これらの案の中で、最も安価かつ最速で実現可能と思われるのは3.2で述べた入射器の既存VMEモジュールを改造し、1対20接続で運用する方式である。しかしながら、予備品が枯渇することになるため、今後の維持管理体制に困難が生じると予想される。

謝辞

早乙女秀樹氏、宮原房史氏、古川和朗氏には有益な助言を頂きました。感謝申し上げます。

参考文献

- [1] <https://www.i-tech.si/products/libera-single-pass-e/>
- [2] Masanori Satoh, Takuya Kudou, Shiro Kusano, Fusahi Miyahara, Tsuyoshi Suwada, Kazuro Furukawa, "BPM DAQ System Upgrade for SuperKEKB Injector Linac (II)", in Proceedings of the 10th Annual Meeting of Particle Accelerator Society of Japan, August 2-6, 2013, Nagoya, Japan, pp.682-687 (2013).
- [3] F. Miyahara, K. Furukawa, M. Satoh, Y. Seimiya, T. Suwada, R. Ichimiya, H. Saotome, "HIGH POSITION RESOLUTION BPM READOUT SYSTEM WITH CALIBRATION PULSE GENERATORS FOR KEK e+/e-LINAC", in Proceedings of IBIC2015, Melbourne, Australia, September 13-17, pp.369-372 (2015).