

電子・陽電子入射器報告

2017 年 1 月、古川和朗

概要

2016 年秋には 10 月 3 日から 12 月 19 日まで、PF リングへの入射運転を順調に行うことができた。並行して、SuperKEKB フェーズ 2 コミッショニングや、PF-AR 直接入射路コミッショニングの準備も進めているところである。年度内にはフェーズ 2 コミッショニング向けの設備の準備を進め、来年度には集中的に設置を行うため、5 月から 10 月にかけて連続 5 ヶ月弱の建設期間を確保する必要がある。装置の詳細設計や図面作成を内部で行い、部品分割調達を追求するなどスケジュールの最適化を行うことよって資源節減をさらに進めているところである。KEKB の建設時期にも、光源の改造時期と合わせることによって、9 ヶ月連続の停止期間をいただいております、複数のプロジェクトに対する入射器の更新の難しさを感じるとともに、関係者の協力をお願いしたい。

高精度ビーム位置モニタ読み出し

SuperKEKB 計画においては衝突性能を向上させるために、電子及び陽電子ビームについて双方ともに 20 mm・mrad 以下のエミッタンスを確保する必要がある。これを実現するためには、ビーム光学設計上、0.1 mm 以下の加速管のアライメント精度が必要となる。また、同程度のビーム安定性、さらにはビームによるアライメントも安定して達成する必要があり、ビーム位置モニタ (Beam Position Monitor, BPM) には 10 μ m 以下の単バンチ位置分解能が必要と考えられる。

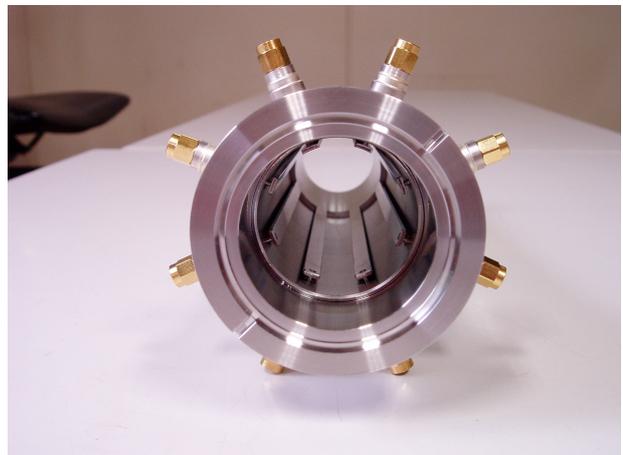
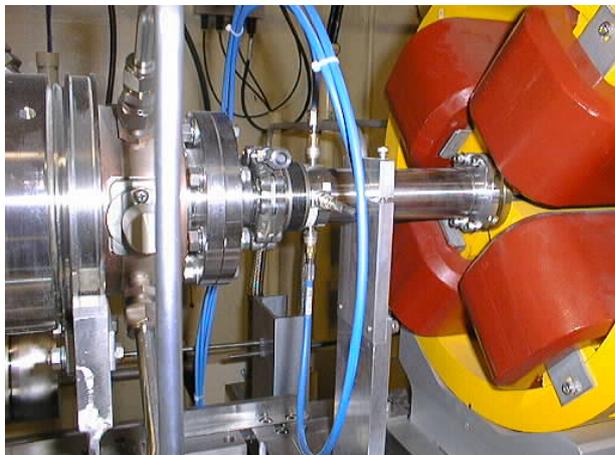


図 1：収束電磁石の磁極に固定されたビーム位置モニタ (左) と 8 電極タイプのビームモニタ (右、通常は 4 電極であるが 8 電極タイプを用いるとビーム形状情報も取得できる)。

KEKB 計画においては、位置分解能が 50~100 μ m で充分であったために、複数の BPM からの信号を一台の市販のオシロスコープに接続することによってコストを最適化し、1 秒間に 50 回の読み出しを行っていたが、更新を迫られることになった。SuperKEKB 向けの精度の高い読み出し回路として、2 通りの回路を試験検討し、また、外部研究者にも評価してもらった結果、バンドパス・フィルタと高速 ADC を組み合わせた回路を開発することになった。

入射器のビーム位置モニタはストリップライン型の 4 つの電極を持ち、インピーダンスを 50 Ω 整合させることにより、シングルバンチのビームから約 1 ns 間隔の一組の双極信号を生成する (図 1、図 3(上))。ビームは 1 秒間に 50 パルス加速されるが、一つのパルスには 1 つまたは 2 つのバンチが含まれ、また入射先の蓄積リングによって約

0.2 nC から 10 nC の電荷のビームがパルス毎に切り替わる可能性がある。

このような信号を読み出す回路を VME 規格の 2 幅のモジュールとして構成し、複数段のフィルタ、増幅器、可変減衰器を組み合わせて、250 MSa/s の 16 ビット ADC によって読み出しを行う (図 2)。ビーム信号をフィルタで整形することによって、精度が高く、フィルタと整合性の良い高サンプルレートの ADC を通して位置精度の高い読み出しを行う (図 3)。1 つのパルス内の 2 つのバンチが 96 ns しか離れていないため、その 2 つの信号が重ならないよう、慎重にフィルタの係数が選ばれた。

一方、位置確度を高めるためには、さまざまな素子の特性のドリフトによる影響を補償する必要がある。このため、較正信号発生装置をモジュール内に実装することにし、ビーム測定間隔の 20 ms の間に BPM の一電極に対して較正パルスを与え、隣接する一対の対向電極に誘起されたパルス信号を測定することによって、チャンネル間の特性の変動を監視し、ビーム位置演算に補正を加えることとした。

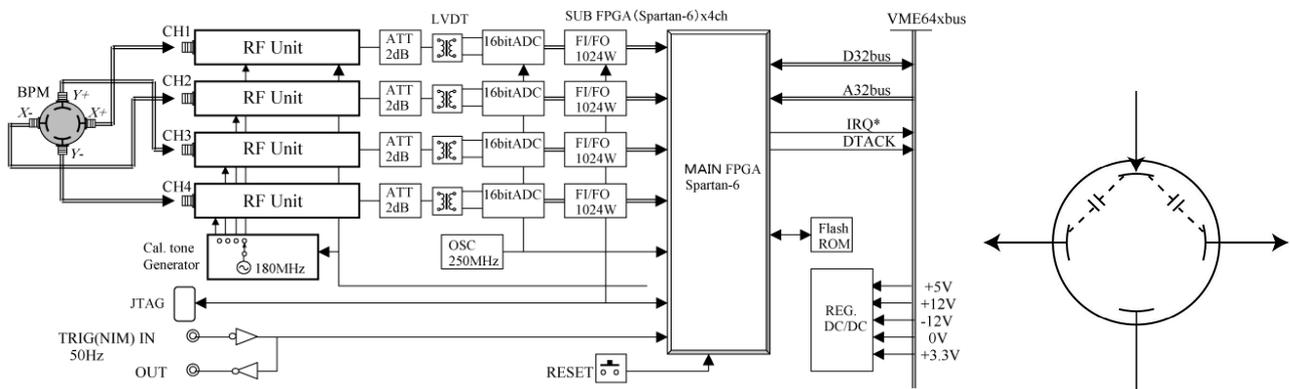


図 2 : BPM 読み出し回路のブロックダイアグラム (左) と、較正信号誘起の仕組み (右)。

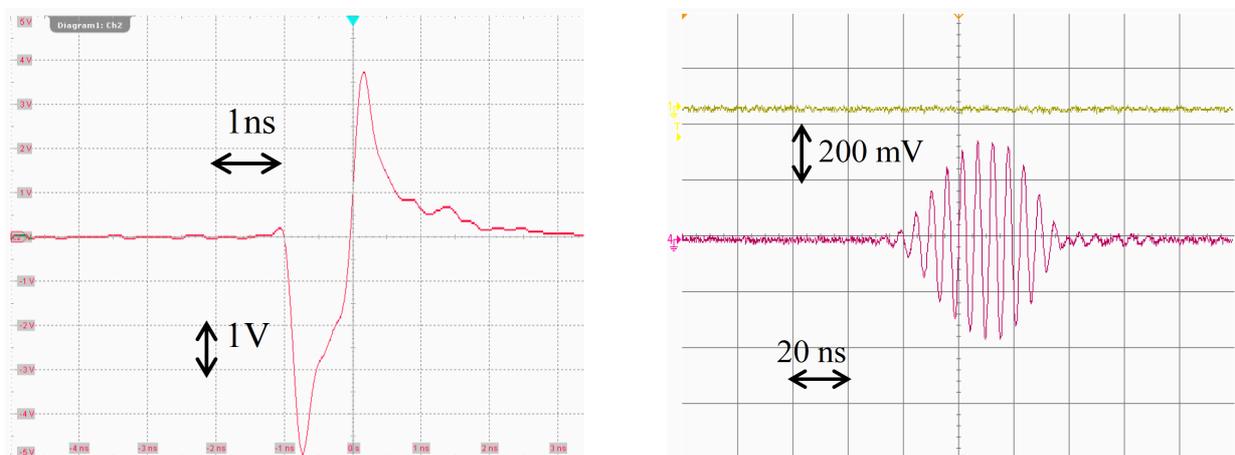


図 3 : ビーム位置モニタの電極から得られる信号 (左) と、回路を通して ADC に取り込まれる信号 (右)。処理回路を通すことによって、情報を取り込みやすくなっている。

読み出し回路は多数の試験によって、温度特性や位置精度を改善するための改造を加えられた後、入射器内の BPM 向けに 100 台余りが量産され、昨年度末から設置が行われている。モニタと読み出し回路との配線接続が以前の仕組みとは変更されたことによって、これまでの較正係数が使えないため、ダイナミックレンジの広い多数の較正係数について一台ずつ慎重に検討を加えながら設置を進めている。

読み出し回路内の FPGA のファームウェアの動作や、VME システム内のソフトウェアの動作も順調で、現在のところ大きな障害なく運用出来ている (図 4)。入射器全体のイベント制御システムから、パルス毎 (20 ms 毎) に次のパルスの入射ビーム種類を

受け取り、減衰器の設定を変更するとともに適切な較正係数を選択し、入力された信号処理を行い、ビーム位置と電荷量を算出し、さらに入射器を全体を通したビーム軌道を得る。

さまざまな入射ビームを用いた動作試験を重ね、既に放射光施設への入射にも利用を始めている。また、位置精度の確認も進めており、ビームを用いた収束電磁石に対する相対位置の再測定には大きな時間を割いている。これまでのところ、約 8 割の回路を置き換え、数 μm の位置精度が得られることの確認を進めている。



図4：VME 装置内に実装された BPM 読み出し回路 (灰色のパネル) と CPU やイベント受信器。

ところで BPM は、水平方向、垂直方向の位置、そして電荷量という 3 つの情報を取得するために、4 つの電極から得られる信号を使用するわけであるが、情報量としては 1 つ冗長である。BPM 信号の読み出しの精度が向上したことにより、この情報を利用した将来の拡張性も期待されている。例えば、信頼性の向上やビーム形状の取得なども試みられており、また、ビーム・エミッタンス測定への応用も試みる予定である。

また、入射器からダンピングリングへの接続部や蓄積リングへのビーム輸送路など、ビームラインの場所によっては、電極の数を増やし 8 つの電極からの信号を使用することにより、位置のダイナミックレンジを広げている。電極の形状も複数あり応用も広がる可能性もある。