

INSTALLATION OF BPM DISPLACEMENT SENSOR IN KEKB RING

Mitsuhiro Arinaga¹, Hitoshi Ishii, Masaki Tejima, Makoto Tobiyama,
Shigenori Hiramatsu, Hitoshi Fukuma, Kenji Mori
High Energy Accelerator Research Organization
1-1 Oho, Tsukuba, Ibaraki, 305-0801

Abstract

Displacement of beam position monitors (BPM) is observed in beam operation at KEKB, which is a double ring electron-positron collider for study of b-quarks. The displacement is supposed to be caused mainly by the deformation of vacuum chambers due to heating by synchrotron radiation generated by large beam current of 1.2 A for the electron ring (HER) and 1.6 A for the positron ring (LER). In order to measure the displacement systematically and to apply correction based on the displacement to the BPM data a 2-channel displacement sensor has been developed. Now 214 displacement sensors are installed in the KEKB rings. A measurement shows that the large displacement of 1mm in the horizontal and 0.15mm in the vertical is observed at BPMs immediately downstream of bending magnets at beam abort. This paper describes the installed system of the displacement sensors and the displacement data obtained so far.

KEKBリングにおけるBPM変位計の設置

1. はじめに

KEKBは、8GeVの電子リング(HER)と3.5GeVの陽電子リング(LER)で構成される2リング衝突型加速器である。高いルミノシティを得るため、LER、HERそれぞれ1.6および1.2Aという大電流で運転されている。そのため、放射光パワーによる真空チャンバーの熱変形によりビーム位置モニタが変位する問題が生じる。この変位を系統的に調べビーム位置測定データに変位の補正を行うため2チャンネル静電容量型変位計が開発され、2007年夏までに、直線部ローカルクロマテシティ補正部分に6台、リングアーク部の4トンネルに各52台、総計214台設置された。現在、これらの変位計を使ってビームによるチャンバー変形の長期観測を行っている。

2. 開発した静電容量型変位計

KEKBで開発した変位計(ギャップセンサー)[1]は、静電容量型を採用し、測定誤差を小さくするために、ブートストラップ回路を用いて浮遊容量を低減させている。また、センサー内部容量及びセンサーケーブル容量を十分に低減することで、高精度のギャップ容量測定を実現した。

変位計の仕様は表1のとおりである。実際にKEKBトンネルに設置した回路のアナログ出力の直線性と変位量の温度再現性のグラフをそれぞれ図1、2に示す。

測定範囲	0.5 ~ 2.5mm
チャンネル数	2チャンネル
応答帯域	DC-100Hz
分解能	0.2 μ m以下
温度特性	0.2 μ m/以下
非直線性	$\pm 0.3\%$ 以下
出力	-10V~+10V(測定範囲に対応)

表1 変位計仕様

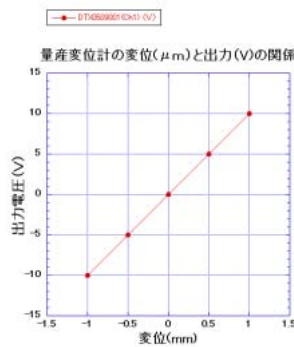


図1 出力の直線性

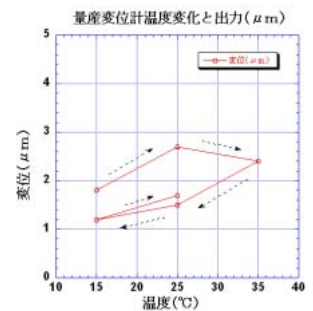


図2 温度再現性

また、校正治具によってギャップを1.5mmに固定した時の出力オフセットのばらつきを、納入されたセンサー440個について調べた結果を図3に示す。ギャップ1.5mmの出力は0.0Vが期待値であるが、センサー容量の誤差が顕著に現れ、出力にばらつきがあるのがわかる。オフセットが60 μ m(出力0.6V)以上のセンサーは作り直した。変位測定は、このオフセットからの相対測定となる。

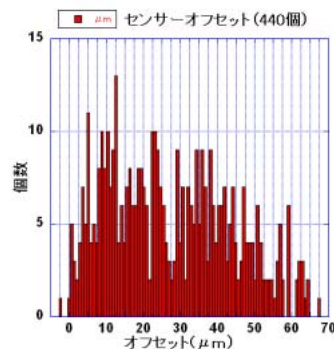


図3 1.5mm校正治具を用いたセンサーの出力オフセットのばらつき

3. センサー治具とデータ収集システム

3.1 測定セットアップ及び治具

変位計のX及びY方向測定用センサーは六極電磁石に設置されたセンサー治具に取り付けられ、BPMチェンバーに固定されたアルミ製ターゲットとセンサーの距離が測定される(図4参照)。変位量は相対位置の測定となるので、ビーム運転前の出力電圧をオフセット値として取り込み、その時の変位量をゼロとして測定が始まる。センサー固定治具には六極電磁石の向きによって「両持ち型」と「ブロック型」を用いた。

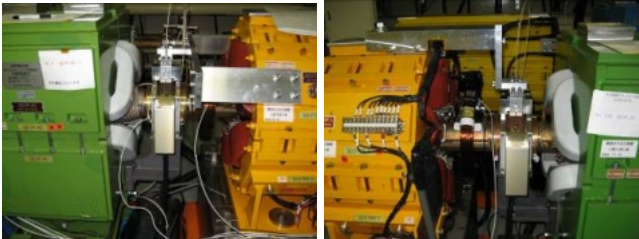


図4 治具：両持ち型(左)とブロック型(右)

ミクロンレベルの変位量測定であるため、治具の温度変化による誤差を小さくしなければならない。治具は製造コストや作業性を考慮しアルミ材とした。ANSYS解析による熱変形は、両持ち型は水平方向 $2.2\mu\text{m}/$ 、垂直方向は $0.5\mu\text{m}/$ となった(図5)。

一方、ブロック型では、センサー取り付けヘッド部の変化は水平方向が $2.2\mu\text{m}/$ であるが、垂直方向は $7\mu\text{m}/$ と大きくなった(図6)。これは、ブロック型に取り付けるセンサーヘッド部固定治具Aが、両持ち型に比べて10倍長くなったため、伸びが10倍になったことが大きな原因と考えている。

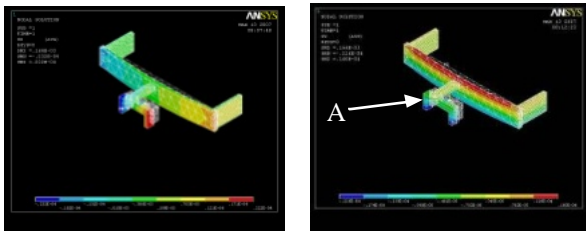


図5 両持ち型熱変形解析 X方向(左)、Y方向(右)

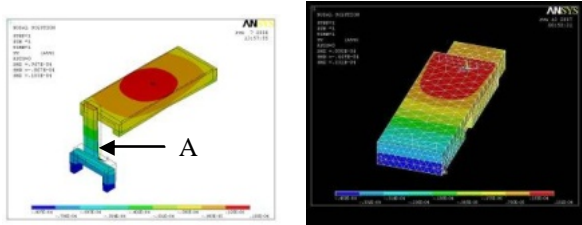


図6 ブロック型熱変形解析 (左)、改良ブロック(右)

最終的なブロック型の治具は六極電磁石のケーブルを回避する溝を持ったものとなった。溝のため垂直方向の厚み(60mm)は増したが、熱解析によるY方向の変化は試作機と同じ $7\mu\text{m}/$ 程度(図6右)であった。

3.2 データロガーによるデータ収集

測定される変位計の出力電圧は、市販の汎用データロガーを用いて、ネットワークを経由して5秒間隔で収集されている。直線部には独立に4箇所ロガーを設置した。またリングアーク部では、1/8周ごとに、LER13台、HER13台の変位計を1台のデータロガーで測定し、24時間連続データ収集を行っている。1/8周分のデータ収集ブロック図を図7に示す。

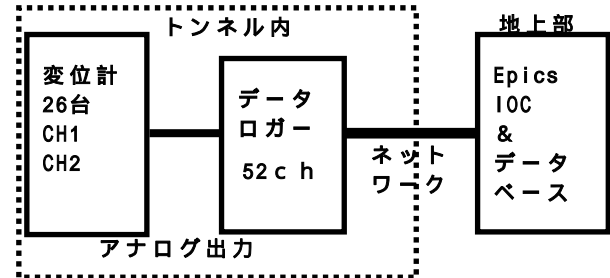


図7 データ収集ブロック図

この収集システムのデータ例として、ビーム運転中の長期(3ヶ月)変位をHER BPMについて図8に示す。ビームアポートによってビームがリングからなくなると水平方向、垂直方向共に大きな変位が起こることが確認された。

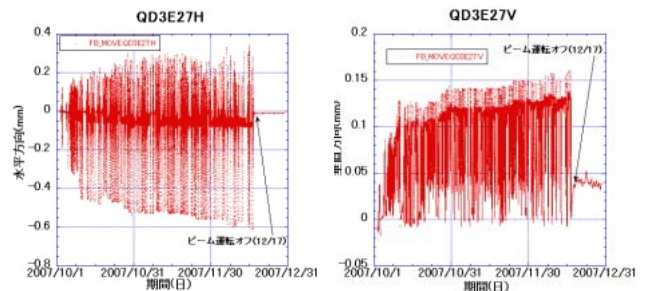


図8 ビームアポート時に大きく変位する長期運転時のHER BPMの変位例

4. 変位計の配置

図9に変位計とデータロガーの設置位置を示す。赤印が12箇所のロガー位置、緑がLER、青がHERの変位計設置領域である。アーク部及び、筑波直線部の変位計は六極電磁石近傍のBPMに、また日光直線部の変位計は、クラブ空洞近傍の四極電磁石のBPMに設置されている。



図9 KEKBリングと変位計配置

5. 測定データ

変位計により長期ビーム運転時の変位を観察していくと、ビームアポート時の水平方向変位に大きい場所があることがわかってきた。

まず、偏向電磁石との位置関係が変位の大きさに関わっていると考えられるので、図10と図11に示す変位計について変位を調べてみた。リング中で同様な位置関係にある変位計について変位量の度数分布を求めた結果を図12、13に示す。図12、13の()内は偏向電磁石からの距離を表す。図12に示すように、偏向電磁石直下流の四極電磁石Q0のところではBPMの水平方向の変位がHER、LERとも大きく、HERでは1mmほど変位している場所が認められる。また図13に示すように偏向電磁石からの距離が離れると変位量は水平、垂直方向とも小さいことがわかる。変位の原因として、偏向電磁石により放出された放射光が直接BPMチェンバーに当たり熱が発生し、チェンバーが変形すると予想される。

また、HERリングの4つのアーク部の入口及び出口に取り付けられた変位計の水平方向の変位が大きく変位することも認められる(図14)。この原因は不明中である。

6. おわりに

大量のBPM用変位計の設置により、BPMチェンバーの長期変動の観測が可能となり、ビーム運転ならびにビームアポート時のBPMチェンバーの動きが次第にわかるようになってきた。しかし、測定は始まったばかりであり、加速器のルミノシティ向上に向けてより詳細な解析が求められる。また、真空パーツ等のより大きな変位も測定できるように、測定距離を2mmから6mmに広げたタイプの変位計開発も進められている。

参考文献

- [1] M Arinaga, et al., "Proceedings of the 3rd Annual Meeting of Particle Accelerator Society of Japan, Sendai Aug. 2-4, 2006."

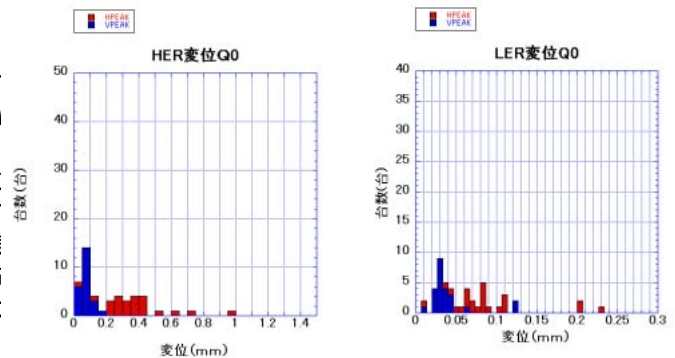


図12 変位計がQ2の位置の変位量分布
HER (3.2m) (左)とLER (5.0m) (右)
(赤：水平変位、青：垂直変位)

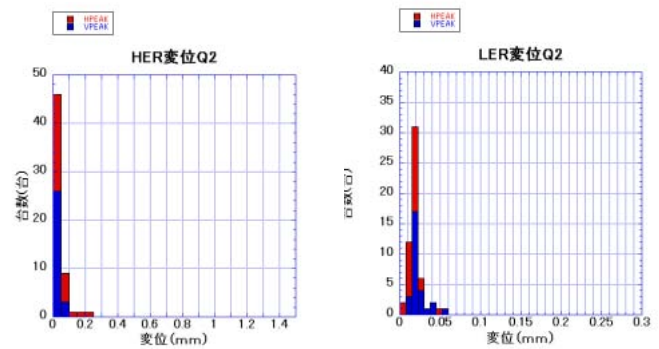


図13 変位計がQ2の位置の変位量分布
HER (8.0m) (左)とLER (11.0m) (右)
(赤：水平変位、青：垂直変位)

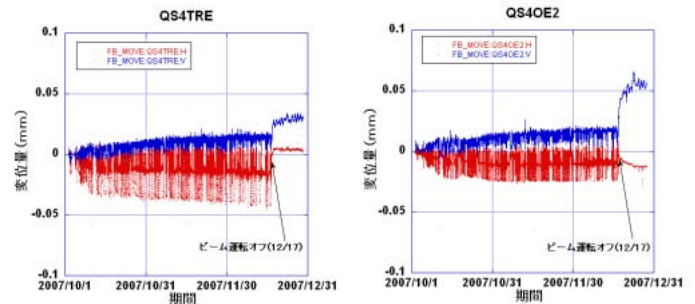


図14 HERアーク部(東トンネル)の入口(左)と出口(右)の変位(赤：水平変位、青：垂直変位)

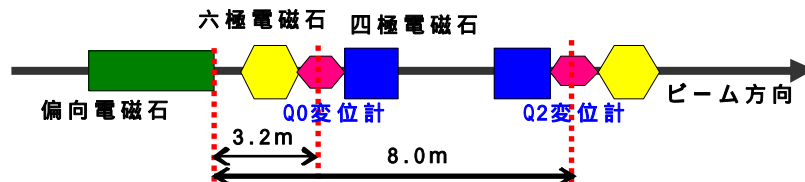


図10 HERリングの偏向電磁石、四極電磁石、六極電磁石と変位計の位置関係の例

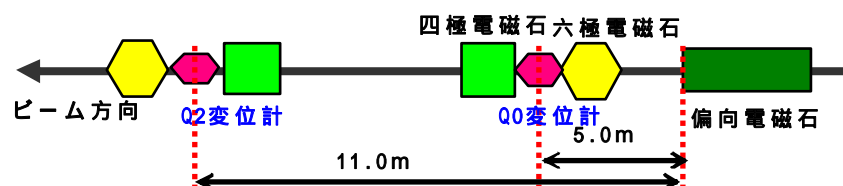


図11 LERリングの偏向電磁石、四極電磁石、六極電磁石と変位計の位置関係の例