

OBSERVATION OF BPM VACUUM CHAMBER MOVEMENT AT THE SAGA-LS ELECTRON STORAGE RING

Yoshitaka Iwasaki #, Tatsuo Kaneyasu, Yuichi Takabayashi, Shigeru Koda

SAGA Light Source

8-7 Yayoigaoka, Tosu, Saga, 841-0005

Abstract

The movements of the Beam Position Monitor (BPM) vacuum chamber have been monitored using high-precision contact sensors at the SAGA Light Source (SAGA-LS) electron storage ring. The resolutions of the sensors are 0.5 μm . The sensors were installed in eight sections of the storage ring for both horizontal and vertical direction. At the SAGA-LS the electrons are injected into the storage ring at the energy of 255 MeV. After accumulated by 300 mA, the electrons are ramped up to 1.4 GeV in the storage ring. The maximum variations of the BPM vacuum chamber movements in a day were horizontally 1.2 mm and vertically 0.1 mm respectively. To confirm the thermal effect of synchrotron radiation to the movement of BPM vacuum chamber, the temperatures of the BPM vacuum chamber has been also monitored. We discuss the relation between measured electron position and BPM chamber movement.

SAGA-LS 電子蓄積リングにおける BPM 真空槽設置位置変動の観測

1. はじめに

SAGA-LS 電子蓄積リングでは、線形加速器により 255 MeV まで加速した電子を、約 300 mA まで蓄積後 1.4 GeV まで加速し、ユーザーに放射光を提供している。グローバル Closed Orbit Distortion (COD) 補正は、1.4 GeV 到達後に 1 回、超伝導ウイグラー励磁後の 1 回の計 2 回行っている。COD は基準軌道に対し $\pm 20 \mu\text{m}$ 以下となるように補正している。またフィードバックによる COD 補正は実施していないが、ユーザーサイドからの自由なアンジュレーターの運用が可能ないように、アンジュレーターに追従したフィードフォワード方式による COD 補正を実施している^[1]。

現在は 1 日 1 回入射による加速器の運転を行っており、放射光ユーザーからビーム軌道の変動に起因すると考えられる影響は報告されていない。しかし、今後、1 日 2 回入射による加速器の運用も検討されており、再入射後のビーム軌道の位置再現性が必要とされている。

1.4 GeV における放射光による熱負荷は、255 MeV における熱負荷の約 900 倍以上にもなる。そのため、BPM が設置された真空槽の設置位置は、放射光による熱負荷の大幅な変化に伴い変動することが予想された。そこで、電子蓄積リングの代表的な 8 箇所に変位計を設置し、水平方向・垂直方向の BPM 真空槽の位置変動を観測した。また同時に、真空槽の温度も計測し、蓄積電流値と BPM 真空槽温度の関係について調査した。本稿において、変位計システム、蓄積電流値と BPM 真空槽変動の関係、冷却水温度と BPM 真空槽温度の関係について記述する。

2. 変位計システム

変位計のセンサーヘッドには、一般に市販されて

いる接触式変位計センサーであるキーエンス GT2-H12^[2]を選定した。GT2-H12 は、分解能 0.5 μm 、精度 2 μm (20°C peak to peak)の石英ガラススケール C-MOS イメージセンサ投影方式センサーである。BPM 真空槽変動の観測用としては十分な分解能が得られると判断した。センサーヘッドのアンプユニットには、アナログ出力タイプ(GT2-71MCN)を採用した。アンプユニットの 4-20 mA 電流出力を、National Instruments FieldPoint AI110 (16bit ADC)に取り込み、イーサネット経由で位置情報を上位制御系に送っている。システム全体としての読み取り速度は、AI110 のサンプリングレートが決められており、約 1 Hz である。図 1 に、変位計センサーの設置状態を、図 2 に BPM 真空槽変位計システムの概要図を示す。

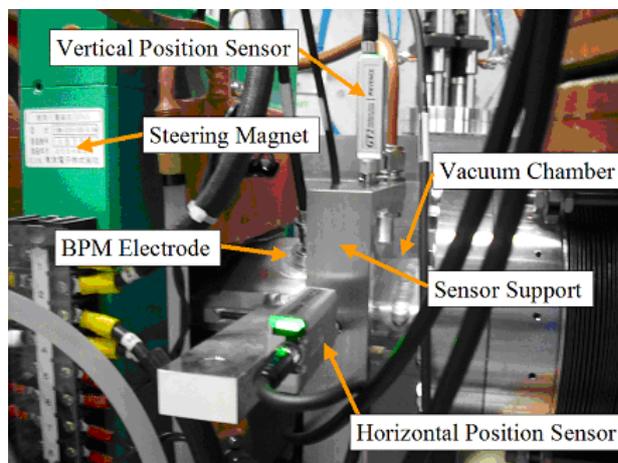


図 1: 変位計システム設置状態

iwasaki@saga-ls.jp

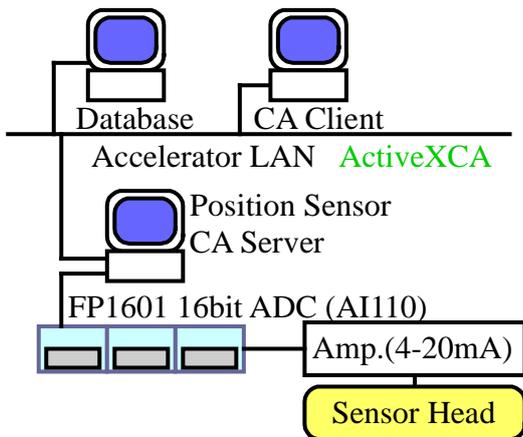


図 2: 変位計システム概要

変位計センサーは、真空槽の形状の関係から BPM 電極の約 50 mm 下流に設置した。センサーヘッドは 4 極電磁石の架台に対し SUS304 製治具を介し固定した。上位制御系へのデータ送信には ActiveX CA^[3] を用いている。Process Variable として読み込んだデータを、データベース(MySQL)に 1 分間隔で保存している。熱電対を用いた真空槽の温度測定も同様なシステムにより実施している。

3. 1 日単位の位置変動

例として、通常ユーザー運転における BPM 真空槽の変動の様子を図 3 に示す。図 3 は、最も変動量の大きかった、BPM20 の水平方向変位、BPM14 の垂直方向変位をプロットしたものである。水平方向に関しては最大で約 1.2 mm、垂直方向は最大で約 0.1 mm の変動があった。水平方向、垂直方向のどちらも、ユーザー運転の終了時刻 (21 時) を過ぎた午前 0 時には、ほぼ前日の午前 0 時における位置に復帰していた。

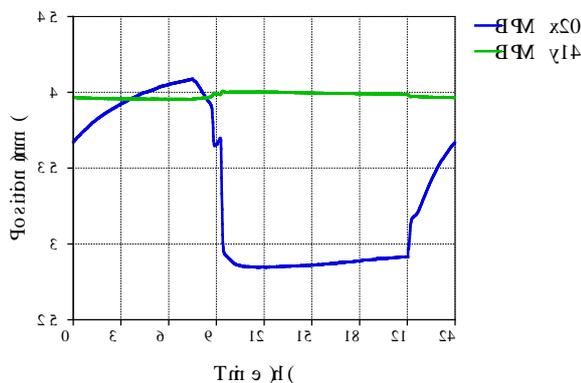


図 3: 1 日の加速器運転サイクルにおける BPM 真空槽の変動の様子。水平方向(BPMx20)、垂直方向(BPMy14)。水平方向のプラス方向の変位はリング内側への変位、垂直方向プラス側への変位はリング下方側への変位を示す。

変動幅は場所により異なるが、加速器の運転により水平方向は一律にリング外側、垂直方向はリング上下両方向に移動していた。図 4 に、同じ日時の BPM 真空槽温度、冷却水温度および蓄積電流値を示す。BPM 真空槽の温度は、蓄積リング内周側の (冷却水が通水されていない側) 大気側で計測した。BPM 真空槽の材質はアルミ合金 (A6063) である。

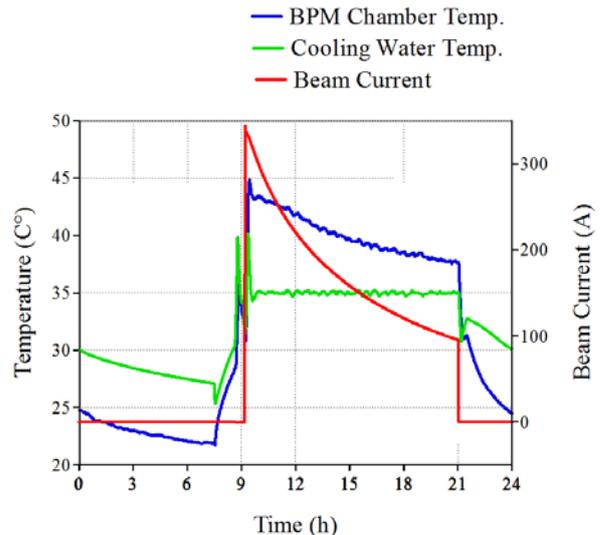


図 4: 1 日の加速器運転サイクルにおける BPM 真空槽温度、冷却水温度および蓄積電流値。

加速器が運転されていない時間帯 (午前 9 時前までと 21 時以降) において、BPM 真空槽の温度と、冷却水温度には相関が見られる。午前 9 時頃の冷却水温度の小さな上昇ピークは、蓄積リング電磁石電源のウォーミングアップを目的として、ビームがない状態で 1.4 GeV まで蓄積リング電磁石を励磁したことが原因である。電磁石、電磁石電源および真空槽の冷却は同一の冷却水システムであり、その温度安定度は約 $\pm 1^{\circ}\text{C}$ である。電子ビームが蓄積された状態での加速時には、電磁石の発熱による過渡的な冷却水温度の上昇 (約 5°C) に加え、急激な放射パワーの増大による熱負荷が加わり、BPM 真空槽が大きく温度上昇していると考えられる。蓄積電流値の減少と共に BPM 真空槽温度は低下している。

図 5 に 1.4 GeV ランプアップ終了後の蓄積電流値と、変動が最も大きな BPM20 真空槽の水平方向位置変動、およびビーム軌道のドリフトを示す。BPM 真空槽の位置変動の原点は比較しやすいように適当にオフセットさせている。BPM の読み値は、基準軌道のオフセットを差し引いてない素データである。1.4 GeV に到達してからの BPM 真空槽位置変動の最大量は、約 $75 \mu\text{m}$ 程度であった。また、BPM 真空槽の水平方向位置変動とビーム軌道ドリフトは、どちらも蓄積電流が減少するに従い下降し (BPM 真空

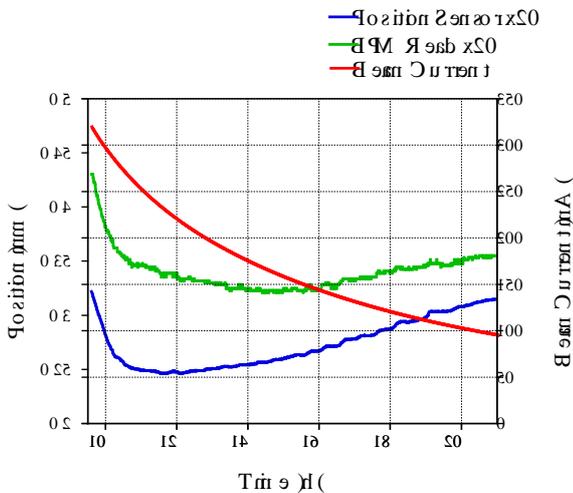


図 5: 1.4 GeV ランプアップ後の BPM 真空槽位置変動 (Position Sensor x20)、ビーム軌道ドリフト (BPM Read x20)、蓄積電流値 (Beam Current) を示す。

槽がリング外側に移動しビーム軌道はリング内側にシフトするように観測される)、その後、上昇 (BPM 真空槽がリング内側に向けて収縮しビーム軌道がリング外側にシフトするように観測される) する傾向があった。BPM 真空槽の位置変動を考慮に入れた BPM システムを構築することにより、安定した軌道再現性が得られると期待される。

ただし、BPM 真空槽の位置変動とビーム軌道ドリフトは変曲点がやや異なっていた。BPM 真空槽の位置変動が最大となるのは、加速後、約 2 時間半後なのに対し、ビーム軌道のドリフトが最大となるのは、約 5 時間半後であった。BPM 真空槽の位置変動幅と、ビーム軌道ドリフト幅は完全には一致しない。水平方向 BPM 真空槽変位幅と、ビーム軌道のドリフト幅の間には最大で 50 μm 程度の違いが生じる。蓄積リングトンネル内の気温、電磁石ヨーク温度、ステアリング電磁石電源のドリフト等、ビーム軌道ドリフト要因の多角的な調査が必要かと思われる。

4. 中期的な位置変動

2012 年 5 月 1 日から 2012 年 5 月 31 の期間における時刻午前 0 時の BPM 真空槽 (BPM2) の水平方向位置を図 6 に示す。この期間のうち、14 日間は通常の放射光ユーザー運転、4 回あった月曜日にはマシンスタディーが行われた。マシンスタディーの内容によっては多数回の蓄積リングへの入射を行ったが、スタディーの内容によって BPM 真空槽の位置が大幅に変動することはなかった。1 日の加速器運転のサイクルにおいては、最大で水平方向に 1.2 mm ほど位置変動する BPM 真空槽であるが、熱的な平衡状態に移行するに従い、ほぼ定常位置に可逆的に復帰するようである。1 ヶ月の期間における最大変

位は 110 μm であった。週単位の周期性が見られる。5 月前半はゴールデンウィークで加速器は停止していた。この期間においては熱平衡状態にあったと思われる。通常の放射光ユーザー運転が行われる火曜日から金曜日にかけての変動は少ない。しかし、マシンが終日停止する土曜日、日曜日明けに実施される月曜日のマシンスタディーにおいては電子ビームの軌道がユーザー運転時と最大 100 μm のオーダーで変化している可能性がある。

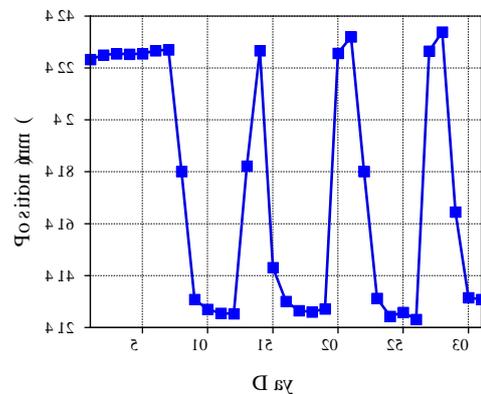


図 6: 水平方向 BPM 真空槽変位センサー(x2)の 2012 年 5 月の午前 0 時における位置の記録。

5. まとめと課題

全 24 台ある BPM に対し 8 箇所 (水平・垂直各 8 台) に変位計を設置し、常時 BPM 真空槽の位置変動を観測するシステムを作成した。位置の読み取り精度は 2 μm 、読み取り速度は約 1 Hz である。BPM 真空槽の位置変動はビーム軌道のドリフトを生む要因のひとつである。しかし、両者には最大で 50 μm 程度の違いが生じる。ビーム軌道のドリフトを生じる原因について多角的に検討する必要がある。また、放射光による熱負荷が BPM 真空槽設置位置変動を生じさせる定量的なメカニズムについては不明である。3D シミュレーションなどで検証したい。全ての BPM について変位計を設置し、BPM 真空槽の位置変動を考慮に入れた COD 補正システムを構築するのが今後の課題である。

参考文献

- [1] Y.Iwasaki, et al., "CORRECTION SYSTEM OF CLOSED ORBIT DISTORTION INDUCED BY UNDULATORS AT THE SAGA LIGHT SOURCE", Proceedings of Particle Accelerator Society of Japan, Tokai, 481-483, 2009.
- [2] <http://www.keyence.co.jp/appli/contact/gt2/menu/2403/>.
- [3] ActiveX CA Tools, <http://www.slac.stanford.edu/grp/cd/soft/epics/extensions/ActiveXCA/readme.htm>.