

特集：高輝度 X 線 (II) — MR 放射光利用 —

§2. 加 速 器

2-4-5. 軌道変動と軌道安定化フィードバック

三増 俊広*, 秋山 篤*, 福間 均*
飛山 真理*, 吉田 奨**

*高エネルギー物理学研究所, **関東情報サービス

The Beam Orbit Feedback System for The Tristan Light Source Study

Toshihiro MIMASHI, Atsushi AKIYAMA, Hitoshi FUKUMA,
Makoto TOBIYAMA and Susumu YOSHIDA

*National Laboratory for High Energy Physics,

**Kanto Information Service

The beam orbit feedback system was designed and built for the TRISTAN Light-Source Study. Some of the experiments which use TRISTAN Main Ring as a synchrotron-light source require beam position and slope stability at the light source. The beam orbit feedback system eliminate the vibration of the beam at the center of undulator. The feedback system was composed of 2 single path beam monitors, 4 of each horizontal and vertical steering magnets. The control system was built with EPICS.

1. 概要

今回行われたトリスタン主リングを使っての放射光実験では、電子加速器に対し、いくつかの厳しい要求があった。Low Emittance, High Current 等に加えて、光源での電子ビームの安定性もそのひとつである。これは電子ビームが、Low Emittance であることに加え、アンジュレータの置かれている場所から、放射光実験室までの距離が非常に長いこと (約100 m) による。本軌道安定化フィードバックシステムは、アンジュレータ中心 (光源) での電子ビームの位置および傾きを安定化させるために制作された。ビーム位

置および、傾きの安定性に対する要求は、各々の実験によって違い (表 1), 特に垂直方向に対して厳しくなっている。本文では、まずトリスタン主リングでの電子ビームの軌道変動について述べ、次にフィードバックシステムの性能について論じることにする。

2. 軌道変動

軌道変動の測定は、数十分から数時間程度の非常にゆっくりした変動と 3~100 Hz 程度の速いビームの振動に対して行われた。

非常にゆっくりした軌道変動は、運転するビー

* 高エネルギー物理学研究所 〒305 つくば市大穂 1-1
TEL 0298-64-5274 FAX 0298-64-3182 e-mail mimashi@kekvox.kek.jp

Table 1. The requirements from each experiment.

	光源位置安定度 (μm)	光源角度安定度 (μrad)
水平方向	± 1500	± 15
垂直方向		
筋繊維	± 500	± 10
マイクロビーム	± 50	± 10
固相成長	± 100	± 5
パラメトリック散乱	± 500	± 10
核共鳴散乱	± 500	± 5

ムのオプティックスによる。実際、各衝突点でビームをしぼる高エネルギー実験に対して、ビームをしぼる必要のない放射光実験のオプティックスでは、軌道変動は少なかった。これは、その原因が主に各衝突点でビームを収束させる四極磁石の変動に起因するためである。図1に放射光オプティックスでの水平/垂直方向の軌道変動の様子を示す。図1は、測定開始からの軌道のずれを400台のビーム位置モニターによって測定し、そのR.M.S.を各ビーム位置モニターの測定誤差による効果を差し引いて、時間の関数としてプロットしたものである。

次にアンジュレータの隣に設置されているビーム位置モニターを使って加速器のある1点での長時間に渡る軌道変動を測定した。それを示すの

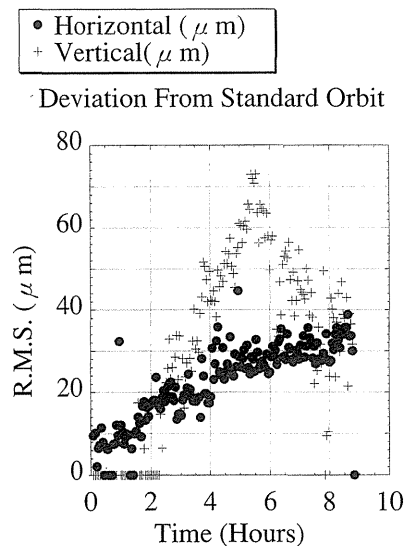


Figure 1. Closed Orbit Distortion of whole Ring.

が図2である。この変動をFFTにかけて解析したところ、垂直/水平方向とも77分の周期で変動している成分が観測された。その他、水平方向では、45分、37分、147秒、94秒付近にも変動成分が観測された。なお図2の水平方向の軌道変動で、約3時間おきに、鋭いピークがみえるが、これはビームの入射によるもので、FFT解析からは、取り除いた。次に、速い振動成分については、5 Hzにおいて、ビーム位置は水平/垂直方向に約 $0.22 \mu\text{m}/0.4 \mu\text{m}$ 、ビームの傾きは、 $0.65/0.08 \mu\text{rad}$ 振動している。しかし、これは放射光

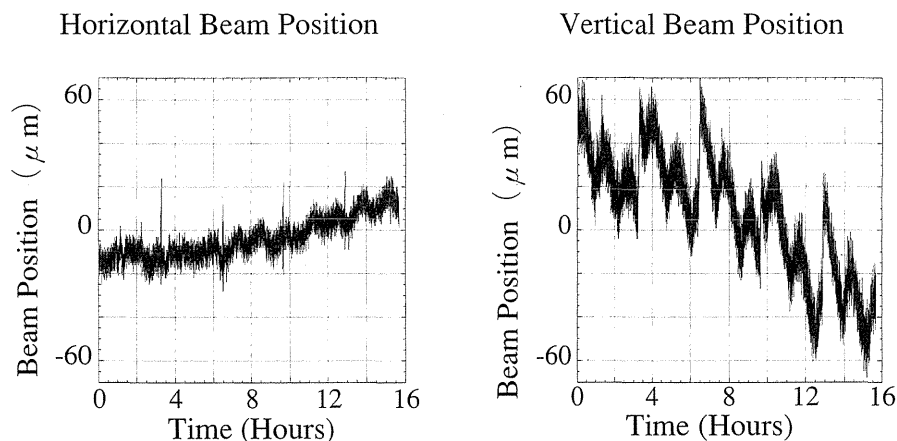


Figure 2. Orbit movement around undulator (Sharp spike of horizontal direction plot is due to beam injection).

実験において、問題を引き起こさない。

3. 主リング放射光実験のための軌道安定化フィードバックシステム

3.1 軌道安定化フィードバックシステム

アンジュレータ周辺に設置されたフィードバックシステムの概略図を図3に示す。まず、アンジュレータの両端にあるシングルパスビーム位置モニターでレボリューションごと(100 KHz)のビーム位置および傾きを100回(または、1000回)測定し平均を求める。次に水平/垂直方向各4台の高速ステアリングマグネット(STFH/STFV)で、ビーム位置および傾きが一定になるように補正する。以上のサイクルを100 Hz(または、10 Hz)で行うシステムである。

ステアリングマグネットは、速い応答速度が要求されるため、Laminated iron-core magnetを用いた。要求されたキック角の設定精度と安定性は、アンジュレータ中心でのビームの傾きを水平/垂直方向にそれぞれ、 $\pm 15 \mu\text{m}/\pm 5 \mu\text{m}$ の範囲で安定させる条件によって規定され、水平/垂直方向に $7.5 \mu\text{rad}/2.5 \mu\text{rad}$ の設定精度の要求を満たすものを作成した。

ビーム位置モニターとしては、短い時間のなかで精度良くビーム位置を測定するため、AM/PM法¹⁾を読み出し電子回路に用いたSingle Bunch Single Path Monitorが採用された。この位置測定精度は、 $\pm 100\sim 200 \mu\text{m}$ と予想され、

いま高い周波数のビーム振動は充分小さいと考え、100-1000 Revolutionのビーム位置の平均をとることによって、 $5\sim 50 \mu\text{m}$ 程度の位置精度を確保している。

また、本軌道安定化フィードバックシステムの制御システムはEPICS (Experimental Physics and Industrial Control System)²⁾を基礎に構築されている。EPICSとは、VMEボードコンピュータとUnix Workstationをネットワークでつないだ分散型データベースを持った制御システムでアメリカのロスアラモス国立研究所を中心に共同開発されているものである。

3.2 フィードバックシステムの性能

図4は、フィードバック ON/OFF 時の垂直方向のビームの変動状態を示している。図4の(A)(B)は、軌道安定化フィードバックをOFFしたときの8時間の軌道およびビームの傾きの変動を示す。(C)(D)は、100ターン分の平均をとってビーム位置、傾きを測定し100 Hzでフィードバックを行った時のビームの変動を示す。また(E)(F)は、同様に1000ターン分の平均をとって10 Hzでフィードバックしたときのビームの変動を示している。これらの測定より、フィードバックをかけた時の光源位置安定度は、100ターン分の平均をとった時、水平方向 $\pm 12 \mu\text{m}$ 垂直方向 $\pm 15 \mu\text{m}$ 。光源角度安定度は、水平方向 $\pm 2.3 \mu\text{rad}$ 垂直方向 $\pm 2.7 \mu\text{rad}$ である。1000ターン分

Tsukuba Left side

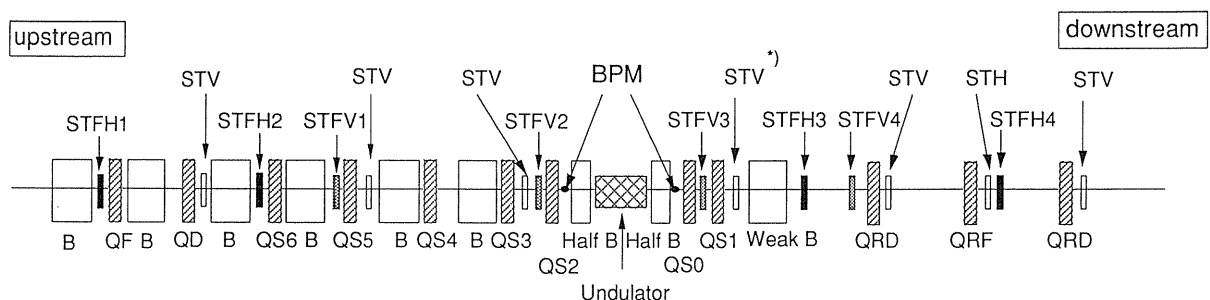


Figure 3. Schematic view of the beam line around the undulator.

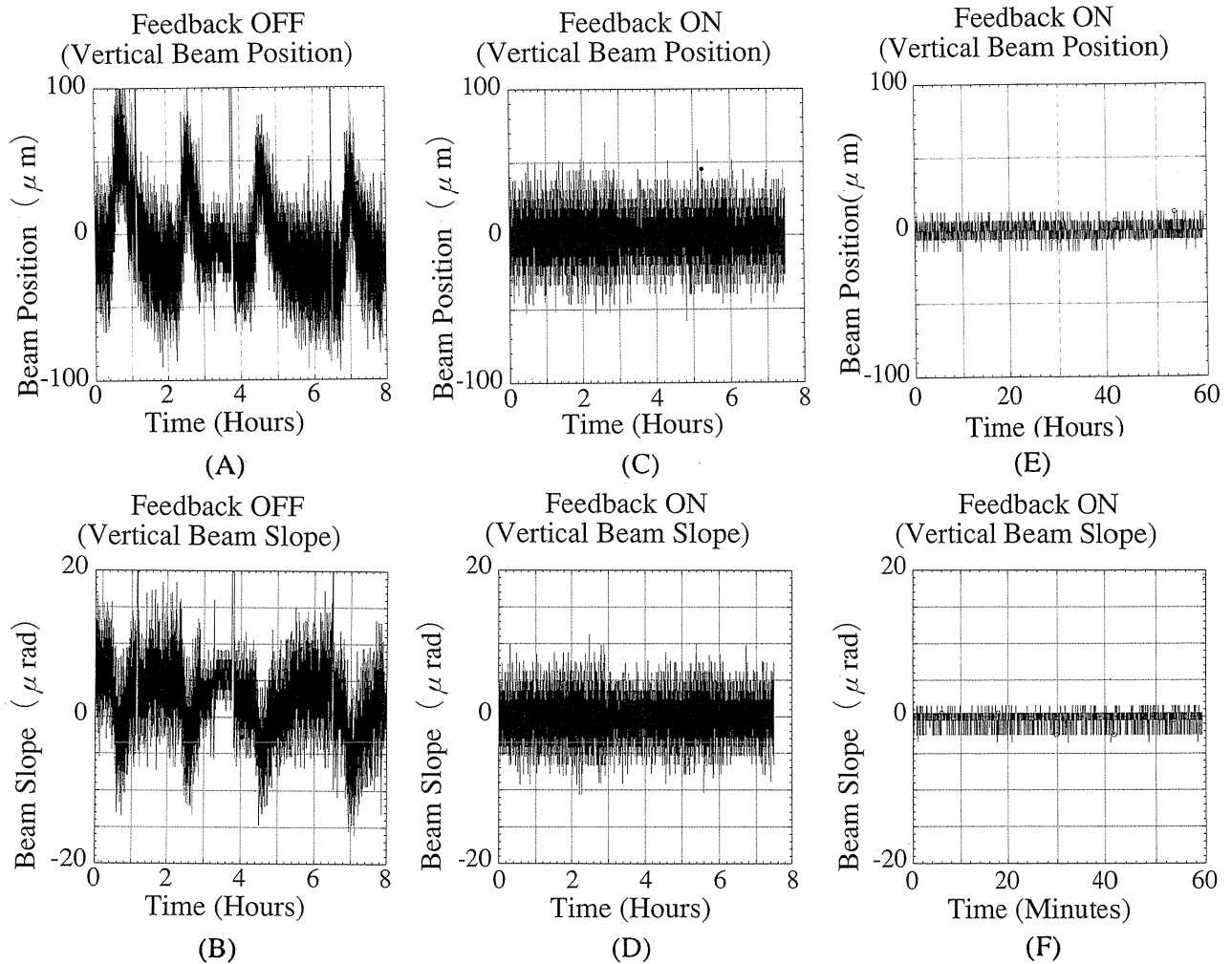


Figure 4. Vertical beam position and slope at the center of Undulator with/without feedback.

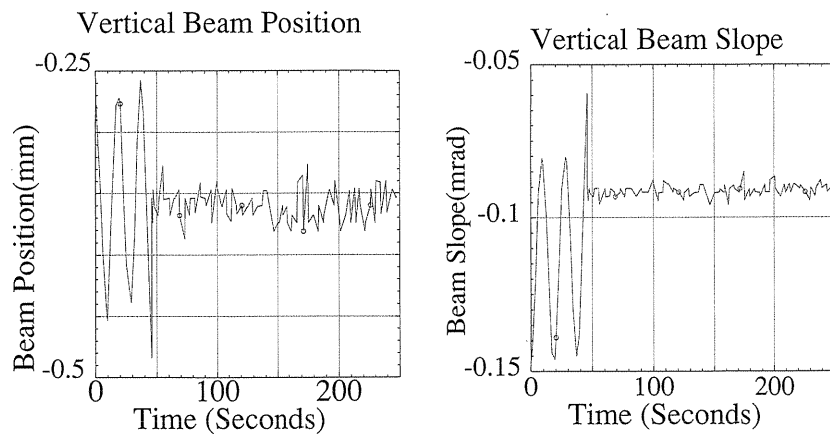


Figure 5. Kick the beam with a steering Magnet in 0.55 Hz then correct the beam position and slope with the feedback system.

の平均をとった時、水平・垂直方向とも $\pm 5.6 \mu\text{m}$ 、光源角度安定度は、水平・垂直方向とも $1.1 \mu\text{rad}$ である。これらの結果より、遅いビーム

変動に対しては、本フィードバックシステムが放射光実験からの要求を充分満たしていることが言える。次にフィードバックシステムが、どの程度

の周波数の軌道変動まで有効か、それは予測値と一致するかを見るために、1台のステアリングマグネットを使って、それぞれ5 Hz, 0.2 Hz, 0.055 Hzの周波数でビームを蹴りながら、フィードバックシステムを動作させた。(垂直方向のみで実験) 図5にその一例を示す。0.055 Hz程度の軌道変動に対しては、充分有効である。

参照

- 1) S. P. Jachim et al.: "An RF Beam Position Measurement Module for the Fermilab Energy Doubler", IEEE NS-28 (1981) pp. 2323.
- 2) L. R. Dalesio, et al.: "EPICS Architecture", ICALEPCS 91, KEK Proceedings 92-15, (1992) pp. 278.