

Measurement of the photon beam position using a vertical polarized visible SR beam of the compact electron storage ring HiSOR

I.Sakai^{A)}, M. Arita^{A)}, K. Goto^{A)}, T. Nakahara^{B)} and T. Hori^{A)}

^{A)}Hiroshima Synchrotron Radiation Center, Hiroshima University, 2-313 Kagamiyama, Higashi-Hiroshima, 739-8526

^{B)}Graduate School of Science, Hiroshima University, 1-3-1 Kagamiyama, Higashi-Hiroshima, 739-8526

Abstract

A simple method to detect the motion of the photon beam using visible components of the vertical polarized SR has been proposed. Efficiency of this method was examined by observing the photon beam position, variation of which occurred due to the electron beam instability. In addition, a possible monitor assembly suitable for VUV beamlines of compact ring was investigated.

小型電子蓄積リングHiSORにおける可視光域の垂直偏光角度分布を利用する放射光ビーム位置測定

1. はじめに

可視光を利用する放射光源のモニター類は、その取り扱いが容易である点で優れており、可視光域の光学素子、検出器なども豊富であることから、低予算で簡便な新しいモニターの開発が期待される。

小型蓄積リングHiSOR [1-4]の放射光ビームの位置や角度の測定法として、可視領域における垂直偏光角度分布の動きを検出することにより光ビーム位置を測定する方法を開発した。本手法はHiSORの日常運転時における光ビーム位置計測に適用され、性能を実証する合理的な結果が得られた。本報告では測定の原理と試験結果について述べ、また、本手法をユーザービームラインにおいて活用する方法について議論する。

2. 測定原理

偏向電磁石からの放射光において、垂直方向の偏光成分の強度分布は図1に示すように電子軌道面を挟んで上下に対称な二山の分布である。図1に3種類の波長について角度分布を計算した結果を示す。波長が長くなるほど、角度分布の広がりが大きくなる。

本手法による光ビーム位置の測定の原理は、垂直偏光ビームの上下2箇所を検出器を配置して、光ビームが動いたときのそれぞれの光強度の差を検出し、光位置を測定するものである。図2に測定系の概略を示す。このモニターによる光ビームの位置信号Pは

$$P = C \frac{(I_u - I_d)}{(I_u + I_d)} \quad (1)$$

と表される。Cは検出器の感度やその間隔で決まる比例定数、 I_u と I_d はそれぞれ光ビームの上側と下側で検出される光強度である。

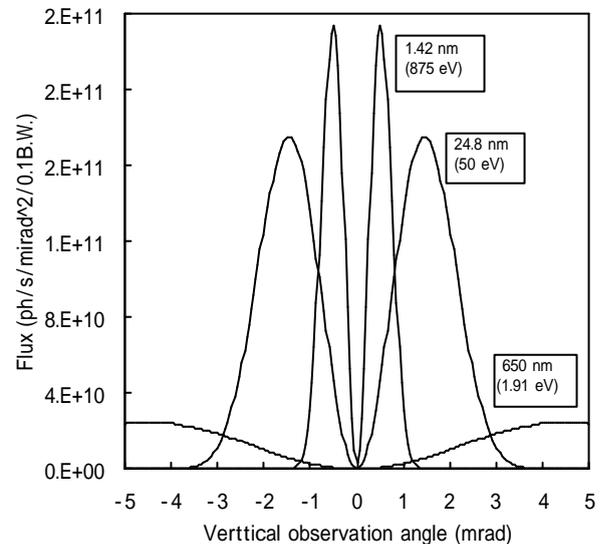


図1: 放射光の角度分布の計算値

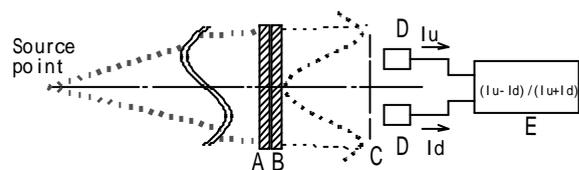


図2: 可視放射光垂直偏光を用いた光位置測定系の概略 A:バンドパスフィルター、B:偏光板、C:スリット、D:フォトダイオード対、E:ピコアンメータ

図3に光ビームが動いたときの、位置感度 $= (I_u - I_d) / (I_u + I_d)$ について計算した結果を示す。計算では検出器間隔を1mradとした。このモニターが光源から10mの位置に設置されている条件で、観測角として ± 0.1 mrad (± 1 mm)の範囲内で十分に線形性が保たれていることがわかる。

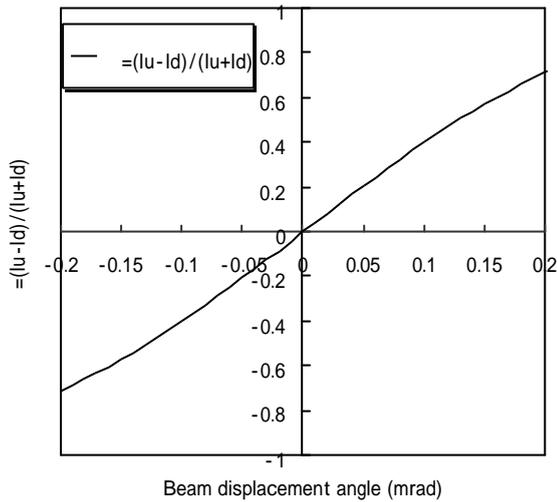


図3：位置感度の計算値

3. 実験

3.1 垂直偏光の角度分布測定

光ビームは光源から7175 mmに設置された光取出し用の銅製ミラーで下方に反射され、ガラス窓を通して大気中へ取出され、アルミ製ミラーにより光源の向きへ90度折り返されることにより測定系へと導かれる。波長650 nm (幅10 nm)のバンドパスフィルター(BPFと記す)を用いて単色化し、偏光板(PFと記す)を用いて垂直偏光を抽出した。光強度の検出器としてIRD社製のフォトダイオード(AXUV100、以下PDと記す)を採用した。光源から8515 mの位置にPDを置き、上下方向に0.5 mm間隔(1 mm)で約40 mm程度動かしながらピコアンメータ(ADVANTEST R8240)を用いて光電流を測定した。図4に波長650 nmの角度分布を示す。測定値は計算値とよく一致していることがわかる。

3.2 光ビーム位置変動の測定

本手法により実際に光ビームの動きが検出できるどうかを調べるため、HiSORのビーム診断専用のビームライン(BL-8)に設置された光学ベンチ上に図2に示すような光学計測系を整備した。光源から8515 mmの地点にPD対を上下(垂直)方向に7.7 mmの間隔で置いた。PD対が光を見込む角度は0.9 mradとなる。図5(a)に観測された光電流 I_u 、 I_d 、(b)にユーザーの真空紫外光電子分光ビームライン(BL-9)で計測された光強度 V を示す。 V はBL-9の前置鏡からの光電流を電圧として読み込み、蓄積電流値の減少に対する補正を施した後の値である。これらの変化を比較することにより本測定法

の応答を検証することにした。図5中央部の縦線は電子ビームの振動状態の変化(dipole振動quadrupole振動[5-6])が起きた時刻 T_1 を表している。 T_1 を境界にして、上側の光電流 I_u の減少の傾きは小さくなり、下側 I_d の傾きは大きくなっていることがわかる。これは光ビームが垂直下向きに動いたか、または非対称な垂直方向のビームプロファイルの変化が生じたことを意味している。

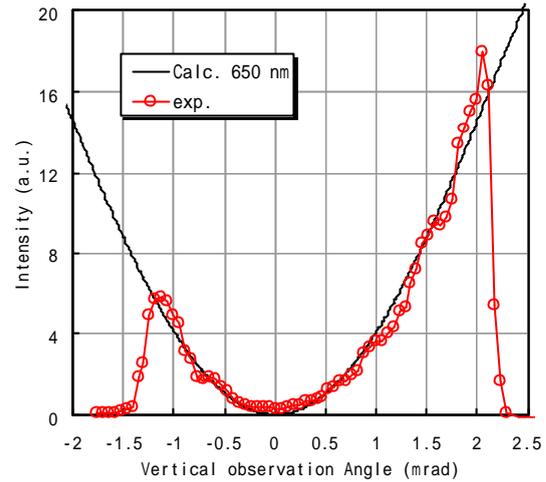


図4：角度分布の計算値と実測値

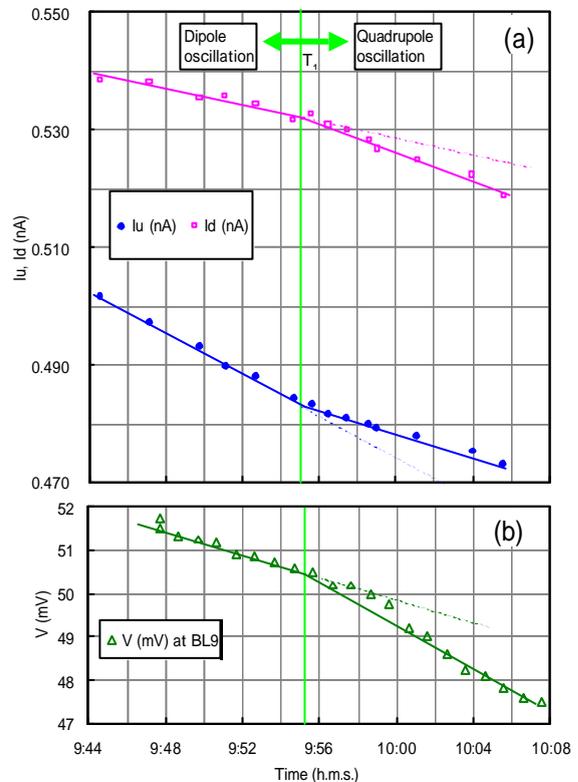


図5：時刻 T_1 付近での(a)上下の光電流 I_u 、 I_d 、(b)BL-9の光強度 V の変化

図6(a)は(1)式と測定された I_u と I_d を用いて導き出さ

れた光位置Pであり、(b)はBL9の光強度Vである。Pの傾きは T_1 の前後で負から正へと転じている。一方、 T_1 以降BL9の光強度の減少の傾きが急激に大きくなっていることがわかる。このことは本手法により光ビーム位置変動(またはプロファイルの変化)を捕らえることができたことを示している。

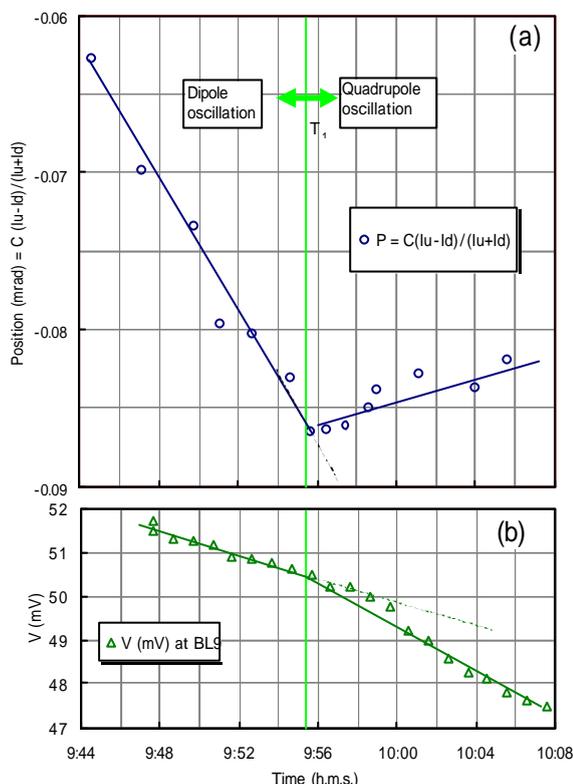


図6：時刻 T_1 における(a) 光位置P、(b) BL-9の光強度Vの変化

4. 議論

放射光の可視領域の垂直偏光分布を利用する新しい光ビーム位置測定手法を創案し、実際にHiSORの光ビーム計測に適用し、その有効性を確認した。

光位置信号の応答は光取出用ミラーの熱変形のため動くバックグランドを含む可能性を持っている。これを低減するためには、冷却機能を備えたBe製ミラーの採用が求められる。その他バックグランドとして影響が大きいものには、可視光取出しミラーの面精度や上流側に設置されているスリットやワイヤーによる回折効果などが挙げられる。

今回の実験条件では光電流の読み取り精度は1 pA程度であった。これは光位置の動きとして20~50 μ mに相当すると見積もられた。本実験の後、シリンダカルレンズによる横方向の集光や可視域に高感度なPD (IRD UVG20)の採用により、光電流の測定精度が向上し、位置分解能は大幅に改善された。

本手法の特徴は垂直方向の光ビーム中心の追跡

を可能にする点である。ユーザーのビームラインにおける日常的なモニターとしてだけでなく、特に偏光を利用する実験に向けた光ビームの垂直方向の中心軸を探るようなアライメントに有効であると考えられる。図7は本手法をビームラインに導入する際必要となる可視光取出し機構の概念図である。冷却機能を備えた小さな長方形Beミラー(面積10×30mm程度で充分)の採用など、ビームライン後方での放射光実験への影響を出来る限り小さくするための設計上の工夫が考慮されねばならない。

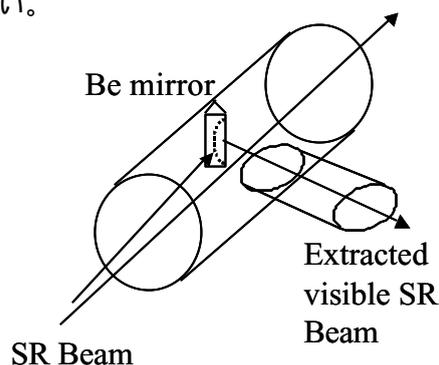


図7：ビームライン上流部での可視光取り出し機構の概念図 ビームライン上流部に可視光取り出し用の小さな長方形Beミラーを挿入する。光ビームの大部分は後方の観測系へ向かい、一部は光位置測定のため大気中へ取り出される。

謝辞

本研究を実施するにあたり谷口雅樹広島大学放射光科学センター長から多大なご支援をお受けいたしました。

参考文献

- [1] T. Hori, Proceedings of IEEE Particle Accelerator Conference, 1999, p. 2400-2403.
- [2] M. Taniguchi and J. Ghijsen *J. Synchrotr. Radiat.* **5** (1998), p. 1176.
- [3] K. Yoshida, T. Takayama and T. Hori, *J. Synchrotron Rad.* **5**, 345(1998).
- [4] K. Goto, K. Umemori, K. Yoshida, S. Takenaka, F. Masakai, T. Fujita, K. Yadomi, T. Kasuga, M. Kato, Y. Kobayashi, T. Obina, M. Tobiyama, H. Kobayakawa, S. Oki, Y. Takashima, D. Amano, T. Hori and K. Takayama, Activity Report of HSRC, Hiroshima University, 1998-1999, pp.15-17.
- [5] T. Fujita, K. Goto, T. Kasuga, M. Katho, Y. Kobayashi, F. Masaki, T. Obina, M. Tobiyama, K. Umemori, K. Yadomi and K. Yoshida, *Nucl. Instrum. Methods A*, 467-468, 2001, pp.95-98
- [6] I. Sakai, M. Arita, K. Goto, T. Takahara and T. Hori, Proceedings of the 14th Symposium on Accelerator Science and Technology, 2003, Tsukuba, pp. 437-439, available at <http://conference.kek.jp/sast03/>, 2P-010(S-086)