SR MONITOR FOR SUPERKEKB DAMPING RING

Hitomi Ikeda #, Mitsuhiro Arinaga, John W. Flanagan, Hitoshi Fukuma and Toshiyuki Mitsuhashi
High Energy Accelerator Research Organization (KEK), Accelerator Laboratory,
1-1 Oho, Tsukuba 305-0801, Japan

Abstract

SuperKEKB damping ring (DR) stores 4 bunches of positron at the same time. A maximum bunch current is 8 nC. We designed a synchrotron radiation (SR) monitor to measure a beam size. Synchrotron light is extracted from a bending magnet with bending radius of 3.14m located near a straight section for beam extraction. The light is led to a monitor room through a pit under a floor in a tunnel. Level of the monitor room is same as that of the tunnel in order to make propagation distance of the light as short as possible (<10m). A horizontal and vertical beam size is 380µm and 75µm respectively at a source point of the light. A bunch length is longer than 6.5mm. The transverse beam size is measured by a gated camera and the bunch length is measured by a streak camera. Resolution of the measurement is 12µm and 1psec for the transverse and longitudinal measurement, respectively. The paper describes calculation of SR power and flux at the source point of the light as well as system architecture.

SuperKEKB ダンピングリング　放射光モニター

1.　はじめに

KEKB 加速器のルミノシティを増強するために SuperKEKB が設計され建設が始まった。電流の倍増によって 2 倍、ビームサイズを絞ることにより 20 倍、合わせて 40 倍のルミノシティ増加を目指している。ビームサイズを絞るために、陽電子ビームにはダンピングリング(DR)を新設し[1]、低エミッタンスにしてから陽電子リング（LER）に入射する。DR の主なパラメータは表 1 の通りである。DR にはメインリング(MR)と同様にビーム位置モニター（BPM）、ビームロスモニター（BLM）、電流値モニター（DCCT）、バンチ電流モニター（BCM）と放射光モニター(SRM)が準備されるが、本論文では特に SRM について紹介する。

表 1: DR のパラメータ

パラメータ		単位
エネルギー	1.1	GeV
バンチ数	4	
周長	135.5	m
最大電流	70.8	mA
横方向ダンピングタイム	10.87	ms
取出しエミッタンス(h/v)	42.5 / 3.15	nm
RF 電圧	1.4	MV
バンチ長	6..5	mm
ビームサイズ(h/v)@SRM	380/75	μm

2.　ダンピングリングの SRM

DR の SRM にはビーム出射側の直線部からアーク部に入る最初の偏向電磁石からの放射光を使用する。図 1 に示す通り、磁石の直下流に放射光取り出しチェンバーを設置し、その後の転送路は床下にピットを掘って、トンネルと同レベルの SR モニター室へ転送する。SR モニター室には、ビームサイズとバンチ長を測定するために、ゲートカメラ、ストリークカメラ、干渉計を設置する。真空チェンバーは図 2 に示す通り、コヒーレントシンクロトロン光（CSR）や光マスクによるビーム不安定性を抑えるために、高さが 24mm のアンテチェンバー型をしている[2]。放射光の取り出しは高さ 8mm のアンテチェンバー部から行うので、垂直方向のアパーチャはここで制限されるが、取り出し鏡までの距離が短いため、KEKB SRM に比較して水平、垂直方向ともアパーチャは広くなり、光測定に十分な光量が得られる。表 2 に SuperKEKB DR の SRM と KEKB LER の SRM のパラメータの比較をまとめた。

3.　測定精度

光を取出す電磁石の設置位置でのビームサイズは、放射減衰した時点で水平方向(x)380µm、垂直方向(y)75µm になり、バンチ長は最低 6.5mm 程度である。これらのサイズをどの程度の精度で測定できるか見積もった。バンチ長はストリークカメラの測定精度が 1psec なので約 5%の測定精度になる。x-y 方向の像は、光の回折によるぼけがどの程度になるか計算した。取り出しチェンバーの開口部は 8mm で、発光点から 590mm 下流にあるので、Fraunhofer 回折の式[3]

$$F(x,y)=\left(\frac{\sin(2\pi ax/\lambda L)}{2\pi ax/\lambda L}\right)^2\left(\frac{\sin(2\pi by/\lambda L)}{2\pi by/\lambda L}\right)^2$$

に代入し、図 3 の様な回折パターンを得ることが出来る。ここで a 及び b は x 及び y 方向の開口の大きさ、L は開口部までの距離、λ は使用する光の波長である。実際にカメラで測定可能な波長領域について図 4 の重みを掛け合わせて足しあげたものが図 3(b)になる。このパターンをガウスフィットすると σ=12μm となり、回折によるビームサイズ測定のぼけはビーム巾に比べて無視できる程度であることが分かった。

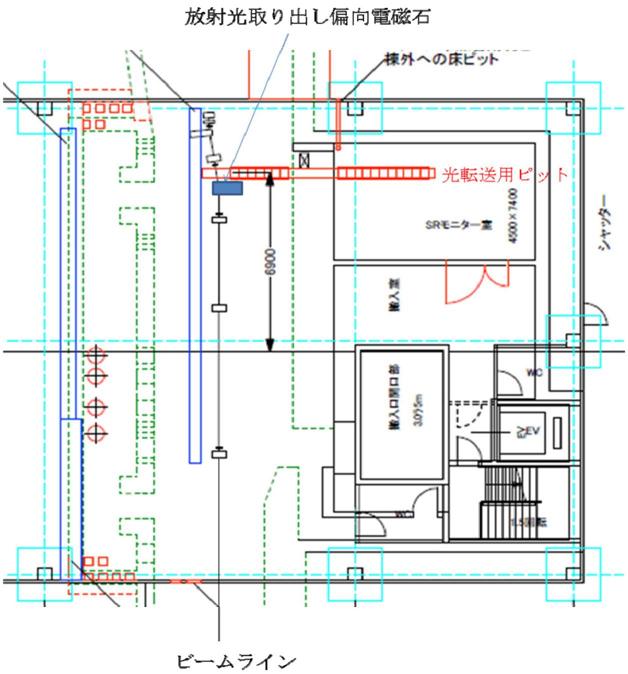

図 1:DR の光取出しラインの概略図

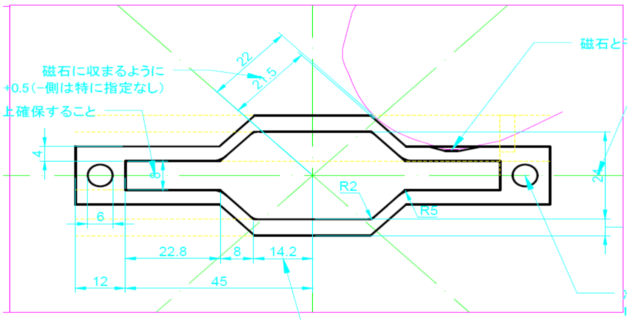

図 2:DR 真空チェンバーの形状

表 2: KEKB LER と DR SRM のパラメータの比較

パラメータ	KEKB LER	DR	単位
SR Opening Angle	1.5	3.47	mrad
Chamber Vertical Aperture	0.5	13.6	mrad
Chamber Horizontal Aperture	1.3	38.64	mrad
Bending Radius	85.7	3.15	m
Bending Angle	0.005	0.152	rad
Bending Length	0.4285	0.4794	m
SR Power	123.266	70.50	W
Forward Spectral Angular Density of Flux	7.6×10^3	8.37×10^2	photons/mr^2/0.1%band width/nC

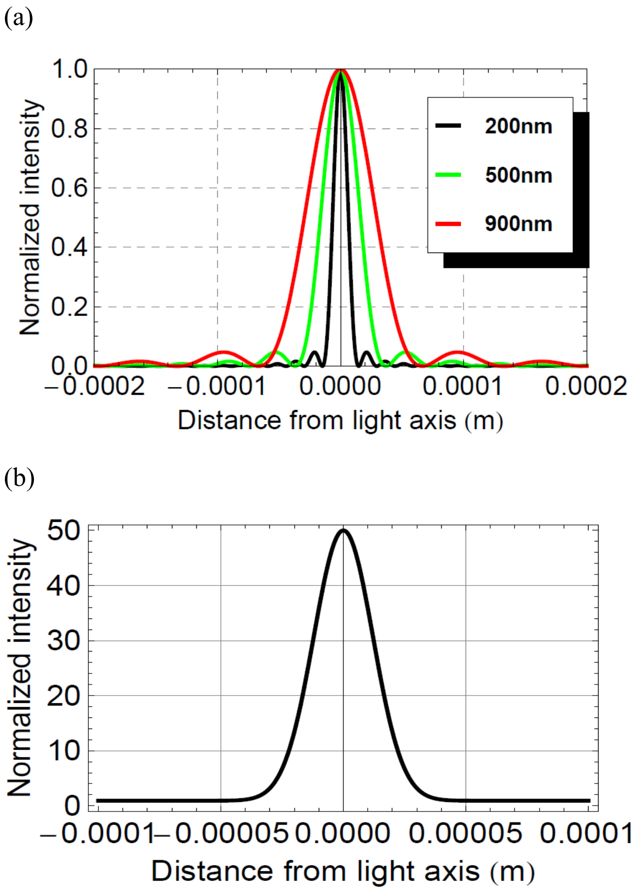

図 3: (a) SR 波長がλ=200nm,500nm,900nm の時に、DR の SR 取出しの開口部における Fraunhofer 回折のパターン、(b) λ=200nm-900nm をカメラの量子効率で重ね合わせたもの。

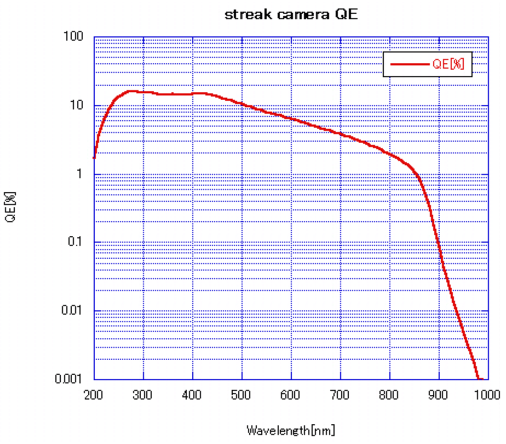

図 4: ストリークカメラの量子効率

4. 放射光パワー

放射光の取り出し鏡は KEKB で使用していた Be 鏡を再利用する予定だが、鏡に当たるパワーが強すぎると鏡の変形を招き、正確なサイズ測定が出来ない[4]。磁石からの単位角度当たりの放射パワーと全放射パワーは次式で計算される[5]。

$$\begin{pmatrix} \dfrac{d^2P_\sigma}{d^2\Omega} \\ \dfrac{d^2P_\pi}{d^2\Omega} \end{pmatrix} = \left[\frac{7}{64\pi}\frac{e^2}{\varepsilon_0}\frac{\gamma^5}{\rho}\frac{I}{e}\right]\frac{1}{(1+\gamma^2\psi^2)^{5/2}}\begin{pmatrix} 1 \\ \dfrac{5}{7}\dfrac{\gamma^2\psi^2}{1+\gamma^2\psi^2} \end{pmatrix}[W/rad^2]$$

$$\begin{pmatrix} P_\sigma \\ P_\pi \end{pmatrix} = \frac{2}{3}\frac{e^2}{4\pi\varepsilon_0}\frac{\gamma^4}{\rho^2}\frac{I}{e}l\begin{pmatrix} 7/8 \\ 1/8 \end{pmatrix}[W]$$

ここで I はビーム電流、e は電子の電荷量、ε_0 は真空誘電率、ρ は偏光電磁石の曲率半径、l は軌道の長さを表す。表 1,2 の値を代入して単位角度当たりの放射パワーを計算すると図 5 の様になり、DR に最大電流が入った際に全放射パワーは 70.5W になる。このうち取り出し鏡に当たるパワーは 17.9W になり、これは KEKB LER の鏡に当たるパワー 36.97W に比較して約半分なので、光取出し鏡及び冷却系はこれまで使っていたもので十分賄える。

5. 光量

ストリークカメラでの測定実績は KEKB LER で 5nC/bunch で、DR でも同程度の光量があれば、測定は可能である。以下の式を使って計算した角密度光子数スペクトルを図 6 に示す。

$$\begin{pmatrix} \dfrac{d^2F_\sigma}{d^2\Omega} \\ \dfrac{d^2F_\pi}{d^2\Omega} \end{pmatrix} = \frac{3\alpha}{4\pi^2}\gamma^2\frac{\Delta\omega}{\omega}\frac{I}{e}\left(\frac{\omega}{\omega_c}\right)^2(1+X^2)^2\begin{pmatrix} K_{2/3}^2(\eta) \\ \dfrac{X^2}{1+X^2}K_{1/3}^2(\eta) \end{pmatrix}$$

[photons/s/rad2/0.1%band width]

$$X=\gamma\psi,\quad \eta=\frac{1}{2}\frac{\omega}{\omega_c}(1+X^2)^{3/2},\quad \omega_c=\frac{3}{2}\frac{c\beta}{\rho}\gamma^3$$

$$\alpha = 1/137$$

ここでωと△ωは測定に使う SR の角周波数（550nm を仮定）及びそのバンド巾(0.1%で計算)である。最前方での光子数は表 2 の通りになり、それぞれのアパーチャで積分すると、KEKB LER では 4.94E+3[photons/0.1%band width/nC]、DR では 2.99E+5[photons/0.1%band width/nC] になる。従って、LER の 5nC bunch で放射する光子数と同程度の光子を放射する 0.1nC bunch までは DR での測定が可能である。

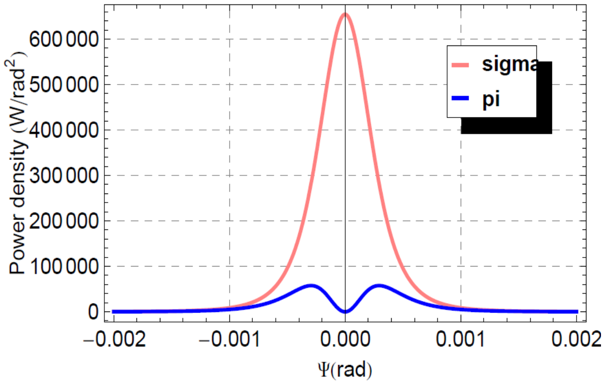

図 5：放射光取り出し電磁石からの放射パワーのσ成分とπ成分。

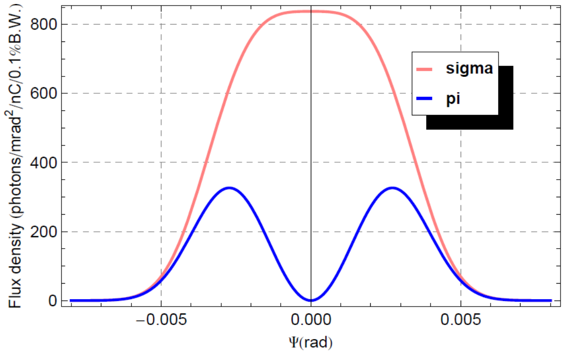

図 6：角密度光子数スペクトル（Spectral Angular Density of Flux [photons/s/rad^2/0.1%band width/A]）。

6. まとめ

SuperKEKB の DR SRM は KEKB SRM の資産を出来るだけ再利用し、バンチ長と x-y 方向のビームサイズを測定する。測定精度は十分あり、取り出し鏡の受ける放射光パワーは KEKB に比べて小さいため変形は少ない。放射光は磁石の直下流で取出し、光路も短いためアパーチャは広く光量も十分得られる。

参考文献

[1] M. Kikuchi et al., Proceedings of IPAC'10, Kyoto, Japan, TUPEB054 (2010).
[2] H. Ikeda et al., to be published in Proceedings of IPAC'11, San Sebastian, Spain, 2011.
[3] M. Born and E. Wolf, Principles of Optics, Cambridge, 1999.
[4] KEKB Accelerator Papers, NIM. A499 (2003).
[5] Kwang-Je Kim, in Proceedings of AIP 184 (1989).