

## Low Emittance Optics of the Super SOR Light Source

Hiroyuki Takaki<sup>1,A)</sup>, Kentaro Harada<sup>B)</sup>, Hiroshi Sakai<sup>A)</sup>, Norio Nakamura<sup>A)</sup>  
<sup>A)</sup> ISSP, University of Tokyo, 5-1-5 Kashiwanoha, Kashiwa-shi, Chiba, 277-8581  
<sup>B)</sup> KEK-PF, 1-1 Oho, Tsukuba, Ibaraki, 305-0801

### Abstract

We had made a case study of the low emittance optics in order to improve a brilliance of the Super SOR light source without any modification of the magnet lattice. The low emittance optics is made by leaking the dispersion function at the center of long straight sections. The emittance of new optics is reduced from 8 nmrad to around 3 nmrad, and the brilliance is increased by a factor of 2-3. The momentum acceptance and the dynamic aperture show an equal performance with the basic optics.

## Super SOR光源リングの低エミッタンス・オプティクスを検討

### 1. はじめに

東京大学は、全国共同利用を目的とした第三世代の極紫外・軟X線領域高輝度光源 (Super SOR) の建設を柏キャンパスに計画している<sup>[1]</sup>。光源リングのエネルギーは1.8 GeV、周長は約280mである。光源リングは14個のセルから成り、17mの長直線部2本と、6mの長直線部12本を持つ。基本セル構造はDBAを使用し、長直線部にディスパージョンを漏らさないオプティクス (全ての長直線部をHigh- $\beta$ にしたModeと、12カ所ある6mの直線部の内4カ所のベータatron関数を絞りLow- $\beta$  セクションを持たせたHybrid Modeの2種類) を現状で用意している<sup>[2]</sup>。今回は、光源リングの基本ラティスを変更することなく、より高輝度の光をユーザーに提供することを目的とした低エミッタンス・オプティクスについて検討した結果を報告する。

表 1 : 光源リングの基本パラメータ

		New Optics	Hybrid Mode
Energy	[GeV]	1.8	
Circumference	[m]	280.55	
Emittance	[nm rad]	3.09	7.80
Energy Spread		$6.68 \times 10^{-4}$	$6.68 \times 10^{-4}$
Momentum Compaction Factor		$0.95 \times 10^{-3}$	$1.00 \times 10^{-3}$
Betatron Tune			
Horizontal		14.30	15.20
Vertical		6.25	5.86
Damping Time			
Horizontal	[msec]	19.32	19.32
Vertical	[msec]	19.4	19.4
Longitudinal	[msec]	9.72	9.72
RF Voltage	[MV]	1.4	
RF Frequency	[MHz]	500.1	
Harmonic Number		468	
Synchrotron Tune		0.00741	0.00759
Bunch Length	[mm]	3.84	3.94

<sup>1</sup> E-mail: takaki@issp.u-tokyo.ac.jp

### 2. 低エミッタンス・オプティクス

通常のDBAのラティスでは、非線形効果の補正がしやすいように長直線部のディスパージョンを消しているが、ディスパージョンを長直線部に漏らすことでより低エミッタンスのオプティクスを作る事が出来る<sup>[3]</sup>。エミッタンスを下げつつどの程度ディスパージョンを漏らす事が可能であるかは、ベータatron振動とエネルギー広がりを起因とするビームサ

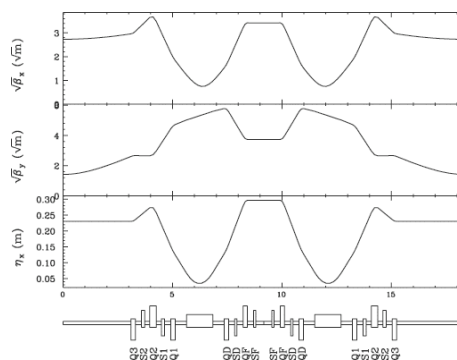


図 1 : 基本セルのオプティクス (両端は6m長直線部中央)

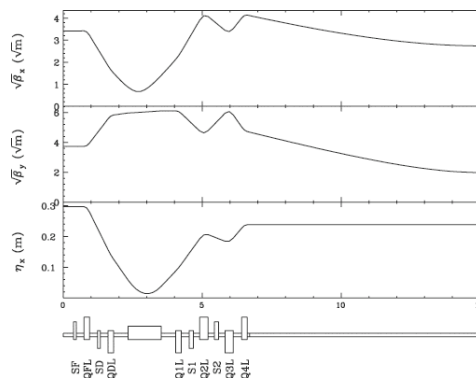


図 2 : 17m長直線部のオプティクス

イズで決まり、 $\sqrt{\beta_{k0}} \beta \Delta(dp/p)$  とすると、 $\beta_{k0}=3\text{nmrad}$ 、 $\beta=8\text{m}$ 、 $dp/p=6.7 \times 10^{-4}$ として最大  $\beta$  110.23m程度となる。

以上の条件で作った低エミッタンス・オプティクスが図1である。6mの長直線部の中央で $\beta_x=8\text{m}$ 、 $\beta_y=2\text{m}$ 、 $\beta_z=0.23\text{m}$ となっている。17mの長直線部は、Q1L, Q2L, Q3L, Q4Lに加えてQDLも使ってマッチングを取る(図2)。低エミッタンス・オプティクス(new optics)とHybrid Modeオプティクスの基本パラメータの比較を表1に示す。

### 3. クロマティシティ補正とダイナミック・アパーチャ

長直線部にディスパージョンを漏らすことで、ディスパージョンがゼロの区間に設置された六極電磁石がなくなる為、クロマチシティとビームの振幅に依存するチューンシフト量を同時に補正する必要が出て来る。

そこで、SF, SD(図1のアーチ部)とS1, S2(長直線部の両脇)の4種類の六極電磁石でこれらの補正を行った。図3は、S1, S2の $K2 = B \beta_x / B \beta_y$ の値をそれぞれ横軸と縦軸にとり、SF, SDを使って残りのクロマチシティを補正した後、 $dp/p=0$ でのダイナミック・アパーチャをトラッキングによって求めマッピ

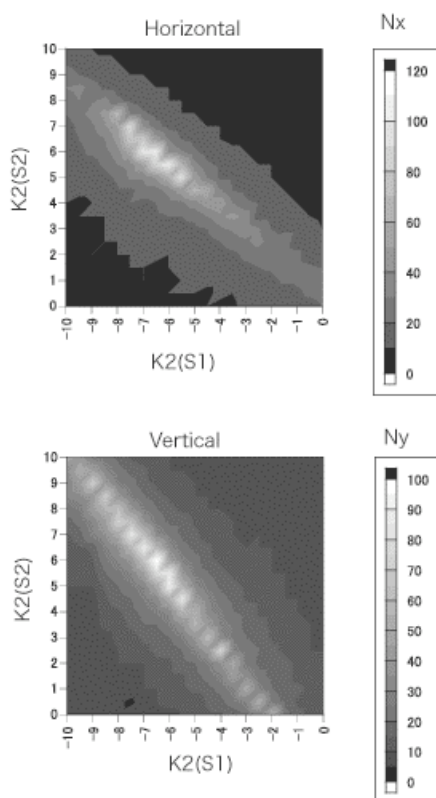


図3：六極電磁石S1,S2の強さと水平方向及び垂直方向のダイナミック・アパーチャ

ングした結果である。ここで、 $N_x$ =水平方向の振幅/ $\sqrt{\beta_x \beta_{k0}}$ 、 $N_y$ =垂直方向の振幅/ $\sqrt{\beta_y \beta_{k0}}$ である。このグラフより、水平、垂直共に大きなダイナミック・アパーチャを得るのは $K2(S1)=-6.5 \text{ m}^2$ 、 $K2(S2)=6 \text{ m}^2$ 辺りであることが解る。この時 $K2(SF)=3.93 \text{ m}^2$ 、 $K2(SD)=-4.83 \text{ m}^2$ となった。

クロマチシティ補正後の運動量依存のチューンシフト(図4下)は、ファミリー数が少ない為二次のクロマチシティが十分に補正されていないが、運動量の広がり $\pm 3\%$ の範囲では許容できるシフト量に収まっている。同時に、振幅依存のチューンシフトも小さく抑えられている(図4上)。

図5に、今回の低エミッタンス・オプティクス(実線)と今までのHybrid Modeのオプティクス(破線)のモーメント・アクセプタンスの比較を示す。水平方向のアクセプタンスは非線形磁場の影響で正と負の振幅で大きく違いが出ている。入射点におけるセプタム方向は水平方向の正の方向であり、入射点において $\beta_x=8\text{m}$ とするとアパーチャは $dp/p=0$ で14.6mmとなる。垂直方向は両オプティクスでアクセプタンスに大きな違いは無いが、水平方向は今回の低エミッタンス・オプティクスが今までのオプティクスよりもかなり大きなモーメント・アクセプタンス及びダイナミック・アパーチャを持つことを示している。

### 4. 設置誤差の影響

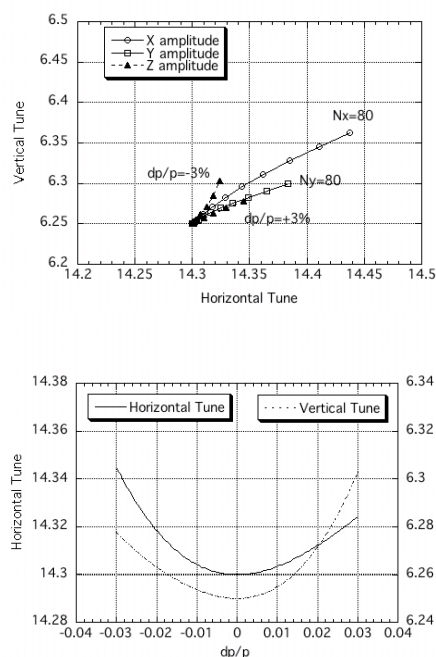


図4：チューン・ダイアグラム上で見た振幅及び運動量に依存するチューンシフト(上)と、運動量に依存するチューンシフト(下)

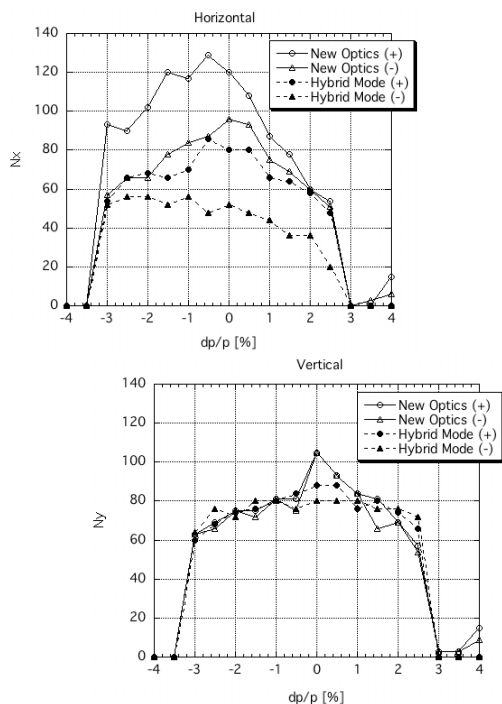


図5：水平方向のモーメントム・アクセプタンス（上）及び垂直方向のモーメントム・アクセプタンス（下）

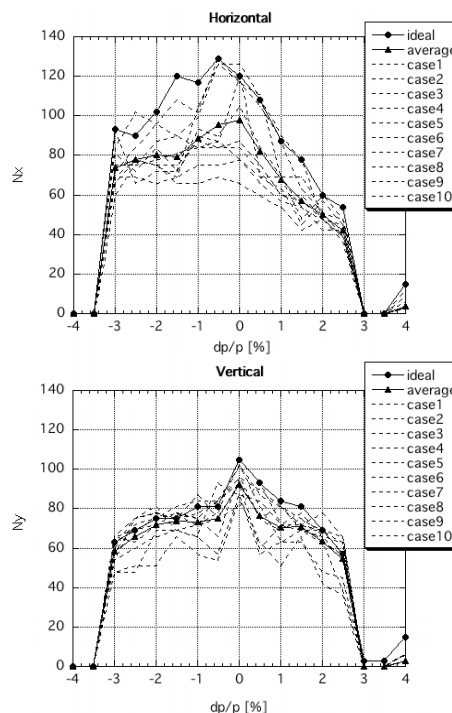


図6：設置誤差を入れCOD補正を行った後のモーメントム・アクセプタンス

標準偏差 $50\mu\text{m}$ でガウス分布する設置誤差を全ての電磁石に与え、発生したCODを補正した後、どの程度アクセプタンスが補正されるかを調べた。図6に、設置誤差無しのもの(ideal)、乱数の種を10種類変えたもの(case1-10)と10種類の平均を取ったもの(average)のモーメントム・アクセプタンスを示す。この結果から、CODの補正だけでほぼ8割のアクセプタンスの補正がされているのが解る。ただ、個別のグラフにはかなりアクセプタンスが小さくなるものもあり、今後、ベータatron関数やディスページョンの補正の検討が必要である。

## 5. パフォーマンス

### 5.1 輝度

今回のオプティクスと今まで提案してきた約8nmのオプティクスについて、電子ビーム及び放射光のサイズと発散角を考慮しアンジュレータから出てくる光の輝度を比較した。光のエネルギーが $500\text{eV}\sim 1000\text{eV}$ の領域で、15mのアンジュレータの輝度が3倍、4.5mのアンジュレータの輝度がHigh- $\beta$ セクションで3倍、Low- $\beta$ セクションでも2倍となり、今回の低エミッタンス・オプティクスの方が高輝度を期待できる結果となった。

### 5.2 入射

入射に必要なアクセプタンス $A_{inj}$ を以下の様に定義し、

$$A_{inj} = 5\sigma_{ring} + d_{septum} + 3\sigma_{sync} \quad [2]$$

シンクロトロンエミッタンスを $50\text{nmrad}$ 、光源リングの入射点において $\sigma=8\text{m}$ 、 $\sigma_z=0.23\text{m}$ とすると $A_{inj}=11.1\text{mm}$ となる。入射部におけるダイナミック・アパーチャはセクション3で計算した通り $14.6\text{mm}$ であるから、入射に必要なアクセプタンスを十分確保している。

## 6. まとめ

今回、Super SORの高輝度の化の為に低エミッタンス・オプティクスの検討を行った。長直線部のディスページョンを $0.2\text{m}$ 程度漏らすことで、エミッタンスは約 $3\text{nmrad}$ になり、アンジュレータ光の輝度もエネルギーが $500\text{eV}$ から $1000\text{eV}$ の領域で2~3倍になった。入射に関しても問題はなく、今後は、挿入光源がビームに与える影響等について検討して行く予定である。

## 参考文献

- [1] N.Nakamura, et al., "PRESENT STATUS OF THE SUPER-SOR PROJECT", in these proceedings.
- [2] H.Takaki, et al., "VUV and Soft X-ray High-brilliance Light Source (Super SOR)", Proceedings of the 1st Annual Meeting of Particle Accelerator Society of Japan and Linear Accelerator Meeting in Japan, Funabashi, Aug. 4-6, (2004), p640.
- [3] Y.Kamiya, et al., "ON THE GUIDELINE FOR THE LOW EMITTANCE SYNCHROTRONRADIATION SOURCE", KEK-83-16.