

# PF 直線部改造と挿入光源

山本 樹

物質構造科学研究所、放射光研究施設

## Insertion devices and improvement of the straight sections at the PF ring

Shigeru YAMAMOTO

Institute of Materials Structure Science, Photon Factory

### 1. はじめに

物質構造科学研究所ではかねて懸案であった AR の改造を 2001 年に終了し、2002 年始めから立ち上げ・焼き出し運転に入りました。詳しい報告は今後各担当グループからなされるでしょう。挿入光源についても、この改造の機会をとらえて製作・設置したテーパ型真空封止アンジュレータに関する報告をいずれ行いたいと思います[1]。

さて、PF 直線部の改造については、上記の AR 改造が一段落したこともあって着手の準備が整いつつあります[2]。今回はこの改造によって PF リングに新設される 4 つの直線部に設置可能な短周期アンジュレータについて紹介したいと思います。この直線部改造が完了した場合には、この他にも(ほ

ぼ倍増される直線部の長さを生かした)アンジュレータの新設・現行機の改造等が考えられます。さらにそのような機種更新の結果、アンジュレータの運転も現状より大幅に改良され使い勝手が良くなることが期待されますが、それらについては別に機会を設けて順次紹介していきたいと思います。

### 2. 直線部改造計画

直線部改造計画については、現在光源研究系を中心にその詳細が検討されています。ここでは、放射光利用に重要な点を復習しておきます[3]: Fig.1(改造後の PF 加速器ラティス配置)および Table1(改造による直線部増強)。この改造で最も重要な点は、1997 年に行った高輝度化改造で達成した低エミッ

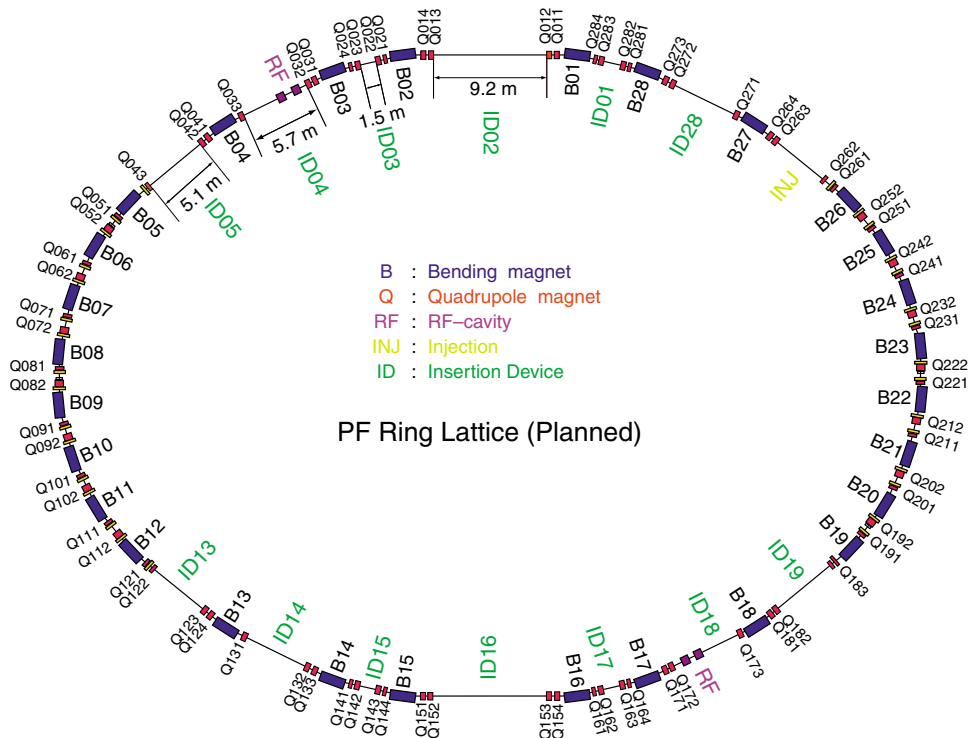


Figure 1. Lattice configuration of the PF ring after the improvement of the straight sections.  
( Refer to the color figure on p. 29. )

Straight Sections	Length (m)	Notes
B01-02	5.0 9.2	
B15-16	"	
B03-04	4.3 5.7	shared with RF cavity
B13-14	"	Vertical wiggler
B17-18	"	shared with RF cavity
B27-28	"	
B04-05	3.7 5.1	
B12-13	"	
B18-19	"	
B26-27	"	Injection
B02-03	0.0 1.5	
B14-15	"	
B16-17	"	
B28-01	"	

Table 1. Enhancement and extension of the straight sections in the PF ring.

タンスを保ちつつ、偏向電磁石の位置を固定して四極電磁石の強度を強め長さを減らすことにより光軸不変のまま、直線部の新設および既存直線部の拡張を行えるところにあります。Fig.1 に示したように、B04-05、B12-13、B18-19、B26-27 間の 3.7m 直線部が 5.1m に、B03-04、B13-14、B17-18、B27-28 間の 4.3m 直線部が 5.7m に、さらに B01-02、B15-16 間の 5.0m 直線部が 9.2m に拡張（伸長）されます。

また、特徴的なことは鉛直方向について 0.5m 以下の  $\beta_y$  を実現可能な 1.4m 直線部（短  $\beta_y$  直線部）が 4 本（B02-03、B14-15、B16-17 および B28-01 直線部）新設されることです。これらの 1.4m の直線部は、そこに短周期のアンジュレータを設置し、X 線領域のアンジュレータ光を PF2.5GeV リングにおいて利用可能にできるという点で、非常に重要です。

以上の結果として、現状で挿入光源に使用している（B04-05 を含めて）7 本の直線部に加えて、拡張された直線部において RF 空洞と同居することにより 2 本が挿入光源のために利用可能となり、さらに新設の 4 本の直線部と合わせて 13 本の直線部の利用が期待できることとなります。

### 3 . 短 $\beta_y$ 直線部における Short Gap Undulator

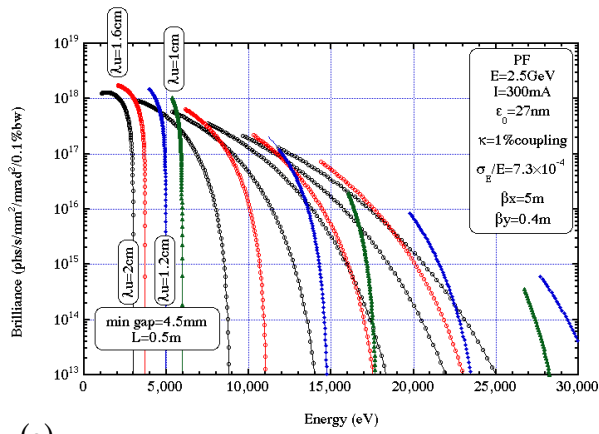
アンジュレータ放射のエネルギーはアンジュレータ磁場の周期長に逆比例して高くなるので、周期長を短くすれば数値的にはいくらかでも高いエネルギーを達成することは可能になります。しかし、無闇に短い周期長を採用しても十分な磁場強度が得られなければ、放射強度は非常に弱いものになってしまう。

います。そこで、アンジュレータの磁石列間ギャップを小さく設定（Short Gap）して必要な磁場強度を得るために、(1) ある直線部において電子ビームに小さなアパーチャを許容する鉛直方向の短いベータ関数（ $\beta_y$ ）を実現する加速器技術、および (2) 上述の短周期磁場の発生に要求される狭いギャップと電子ビームに必要なアパーチャを両立させるための真空封止型挿入光源技術が必要となります。

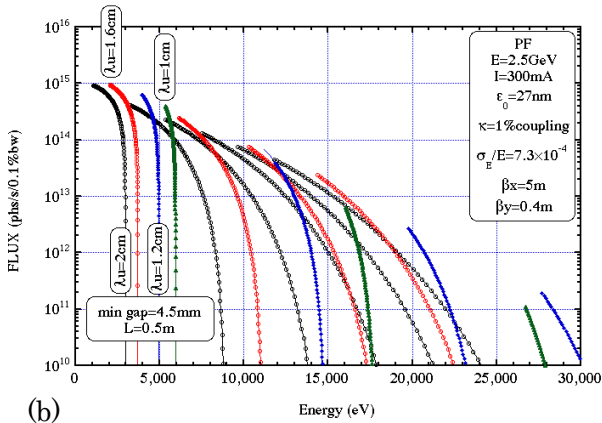
第 2 節で述べたように今回の直線部改造計画では、新たに設置する 4 本の直線部（B02-03、B14-15、B16-17 および B28-01）において上記の短  $\beta_y$  直線部（ $\beta_y=0.4m$ ）を実現できるように設計されています。現状ではこの値は、磁石列長を 0.5m とした場合、4.5mm の許容アパーチャを与えることとなります：改造前の PF リングで最小アパーチャを与える MPW#16（B15-16 直線部に設置）と同一の実効アパーチャを与えるように設定した（光源系、小林幸則氏）。

一方で、真空封止型挿入光源については、1989 年に建設し AR に設置した U#NE3 の開発で得た知識・技術を、冒頭に述べたように 2001 年末新たに AR に設置したテーバ型真空封止アンジュレータの開発・建設においてブラッシュアップしたところなので、現在検討中の真空封止型 Short gap undulator（SGU とここでは呼ぶことにします）の建設を行うことは十分に可能であると考えています。真空封止型挿入光源の最大の利点は、加速器・蓄積リングの運転状況に合わせて自由にギャップを変更できることに加え、挿入光源を構成する磁石を直接に加速器真空内に持ち込んでいるため、加速器が必要とするアパーチャに等しいギャップを設定することが可能であるということです：今回の例では許容アパーチャ 4.5mm に等しいギャップを設定できるということ。

それではこの SGU から得られるスペクトルの計算例を幾つかの周期長について紹介することにしましょう。この時の光源パラメータは：加速エネルギー  $E=2.5GeV$ 、蓄積電流  $I=300mA$ 、ナチュラルエミッタンス  $\epsilon_0=27nm$ 、エミッタンスカップリング  $\kappa=1\%$ 、 $\sigma_E/E=7.3 \times 10^{-4}$ 、 $\beta_x=5m$ 、および  $\beta_y=0.5m$  です。Fig. 2 にはこの条件で求めた SGU のスペクトルを周期長  $\lambda u=20, 16, 12$ 、および 10mm の場合について示しました：(a) 輝度 (phs/s/mm<sup>2</sup>/mrad<sup>2</sup>/0.1% bandwidth)、および (b) フラックス (phs/s/0.1% bandwidth)；ともに基本波および奇数次高調波。Fig. 2 から読みとれるように、SGU の最大の欠点は、周期長が短い



(a)



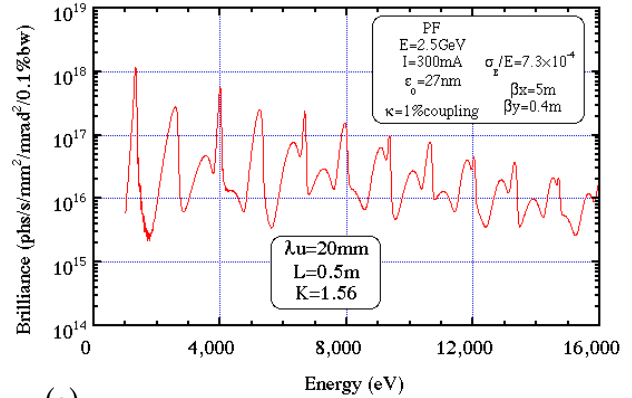
(b)

Figure 2.

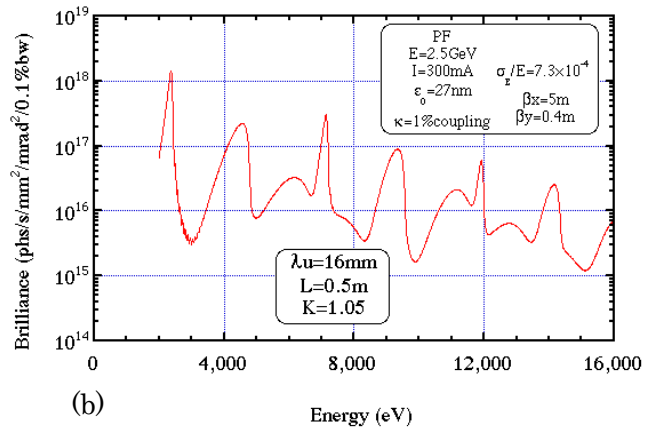
Spectra from the short gap undulators: (a) brilliance (phs/s/mm<sup>2</sup>/mrad<sup>2</sup>/0.1%bandwidth) and (b) flux (phs/s/0.1%bandwidth). Several cases with different period lengths, 20mm, 16mm, 12mm, and 10mm are shown. Parameters of the PF ring are: E=2.5GeV, I=300mA,  $\epsilon_0=27\text{nm}$ ,  $\kappa=1\%$ ,  $\sigma_x/E=7.3 \times 10^{-4}$ ,  $\beta_x=5\text{m}$ ,  $\beta_y=0.5\text{m}$ . The minimum gap of the undulator with the length of 0.5m is assumed to be 4.5mm.

ことからくる波長可変領域の狭さなのですが、それでも目的に応じて適切な周期長を選択すれば 1keV から 15keV (場合によって 20keV) 領域で十分に性能の高い光源としての役割を果たせるものと考えます。

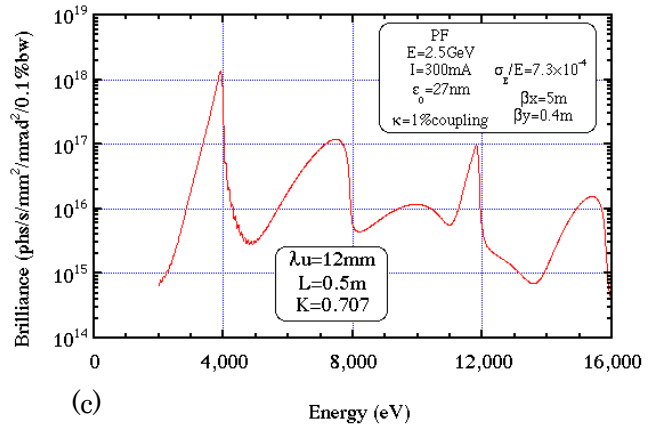
特に、蛋白質構造解析の光源として重要になる 10keV から 12keV 領域の放射光は、 $\lambda_u=20\text{mm}$  の場合 9 次光で、 $\lambda_u=16\text{mm}$  の場合 5 次光で、カバーされることがわかります。さらに、 $\lambda_u=12\text{mm}$  の 3 次光については最小ギャップを 4.0mm まで狭くした場合のスペクトル(マークの付いている部分より低エネルギー側のカーブ)を示しました。上述のように最小ギャップは現在の PF の MPW#16 と同じ実効アパーチャを与えるように決めている訳ですが、実を言うとこの値が最小値であるという確証はなく、より小さなギャップが実現できる可能性もあります。



(a)



(b)



(c)

Figure 3.

Brilliance spectra from the short gap undulators for the several cases with different period lengths: (a)  $\lambda_u=20\text{mm}$  ( $K=1.56$ ), (b)  $\lambda_u=16\text{mm}$  ( $K=1.05$ ), and (c)  $\lambda_u=12\text{mm}$  ( $K=0.707$ ). The same parameters are used for the PF ring as Fig.2.

もしも、今のところ仮に決めている最小ギャップ 4.5mm より狭いギャップを実現できるなら、より低次のアンジュレータ光によって必要なエネルギー領域をカバーできるので、今後のマシンスタディを通して、または SGU 設置後のマシンスタディを通して

て、最適の値を探索する必要があると思います。

Fig. 3 は上記の事情をより詳しく説明したものです。12keV の放射を、(a)  $\lambda_u=20\text{mm}$  の SGU の 9 次光 ( $K=1.56$ ) を用いて、(b)  $\lambda_u=16\text{mm}$  の 5 次光 ( $K=1.05$ ) を用いて、および (c)  $\lambda_u=12\text{mm}$  の 3 次光 ( $K=0.707$ ) を用いて各々得る場合のスペクトル全体を示しました(光源パラメータは Fig. 2 の場合と同一です)。波長可変性を重要視して比較的長周期長の SGU を採用するか、限られた波長範囲をなるべく低次高調波(または基本波)で実現するために短周期長を採用するかは、今後利用実験の目的と合わせて十分検討する必要があると思います。

我々は、2002 年度に上記の SGU 開発の R&D を開始する予定であります。新しい成果が得られた場合には、またこの欄をお借りして報告したいと思います。

#### 引用文献

- [1] 山本 樹, 土屋公央, および塩屋達郎, 第 15 回日本放射光学会年会・放射光科学合同シンポジウム予稿集, 268 (2002).
- [2] 野村昌治, Photon Factory News 19 (3) 8 (2001).
- [3] 小林幸則, Photon Factory News 18 (2) 17 (2000).

#### 著者紹介

山本 樹 Shigeru YAMAMOTO  
物質構造科学研究所 助教授  
〒305-0801 茨城県つくば市大穂 1-1  
TEL : 0298-64-5663  
FAX : 0298-64-2801  
email : shigeru.yamamoto@kek.jp