

最近の研究から

PF リング直線部増強計画

小林 幸則

放射光源研究系

Improvement of the straight sections at the PF ring

Yukinori Kobayashi

PF Light Source Division

1. はじめに

早いものでPFリングの高輝度化改造が終了してから、すでに3年が経過しようとしています。ユーザー運転では、リングのエミッタンスはまだ計画の最終目標値 (27nm·rad) には至っておりませんが、現在水平方向のエミッタンスは約36nm·radで運転されており、改造前の1/4程度になっています。また、14台のねじれ4極電磁石によってXYカップリングは1%以下に補正されていて、垂直方向のビームサイズはデザイン値 (2%カップリング) より小さくなっているはずですが、それにもかかわらず、ビーム寿命は改造前とほぼ遜色のないところまでできています。図1に改造前後の $I \cdot \tau$ の経過を示します。寿命が著しく伸びた主な要因は、高周波加速電圧にシンクロトロン周波数の2倍の周波数で位相変調をかけることにより、効果的にバンチ長を伸ばすことができ、Touschek 寿命を改善することができたからです。しかも、この位相変調は縦方向のビーム不安定性も抑制する効果もあり、ビームの安定化に大きく寄与しています。また、軌道安定化についても大きな進歩がありました。このことについては、PF ニュース前号に記載されておりますので、そちらを参照してください。この3年の間には、単バンチ運転や3GeV運転もすでに何度か行われており、運転モードに関しても改造以前と同じになっています。我々光源系スタッフとしては、高輝度化改造による9ヶ月間のシャットダウンによるロスはありませんでしたが、そのロスを大幅に上回る改造のメリットをユーザーの方々に供給できたのではないかと考えております。

このようにPF高輝度化計画はほぼ予定通り実現し、

リングは順調に運転されています。今後も、この安定した状態を維持し、ユーザーの方々に良質の放射光を供給していくことも重要であると考えて努力していくつもりではありますが、それだけでは第3世代の高輝度リングと競っていくために十分ではないと感じております。それは、リングは確かにアーク部の改造によりエミッタンスが小さくなりましたが、そのメリットを引き出すアンジュレータが少ないということです。第2世代リングとして設計されているため構造上の制限は確かにあります。しかし、その制限の中でも最大限にアンジュレータ設置の場所を増やせないだろうかという観点から立案したのが今回の直線部の増強計画です。

2. 直線部改造の詳細

まず計画の概要は以下ようになります。PF高輝度化で改造されたアーク部以外の直線部の4極電磁石および真空ダクトを改造することで、直線部を新たに4本増やし、現在の10本から14本にします。さらに既存の10本の直線部はその長さを1.5mから最大4mほど長くします。そうすることで、PFリングにもっと多くのアンジュレータ設置場所を確保しようという計画です。ハードウェア改造のポイントは、4極電磁石の増強および配置換えで、偏向電磁石は高輝度化改造時と同様に基本的にそのままとします。4極電磁石は、それらのポーア径を小さくし磁場勾配を上げ、さらに磁石長を現在より短くします。さらに偏向電磁石にできるだけ近づけます。そのため、4極電磁石間が長くなり、新たな直線部ができる、あるいは長くなります。もちろんその4極電磁石の配置換えに関連し

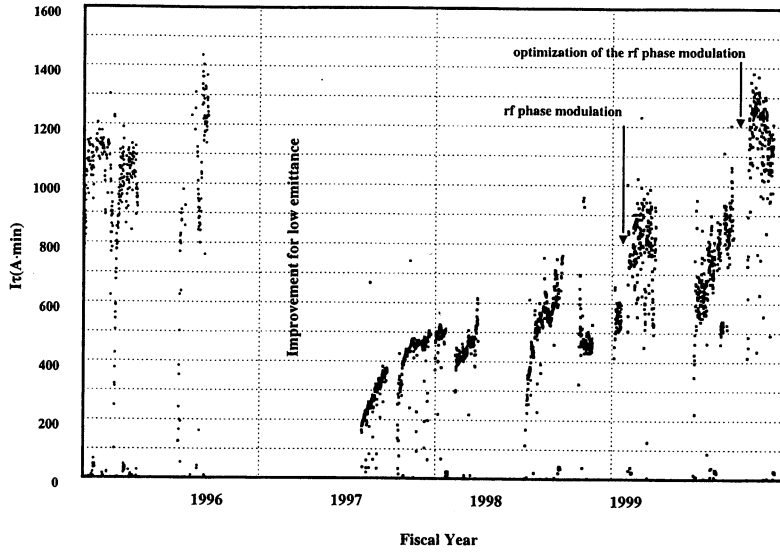
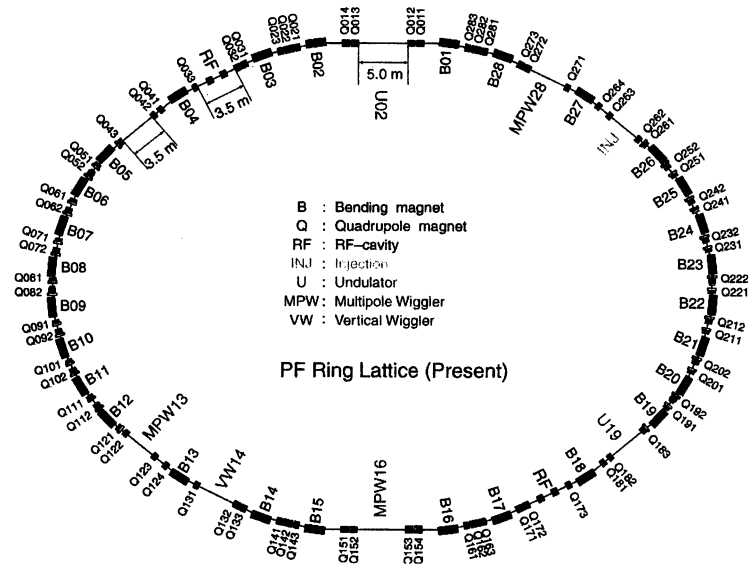
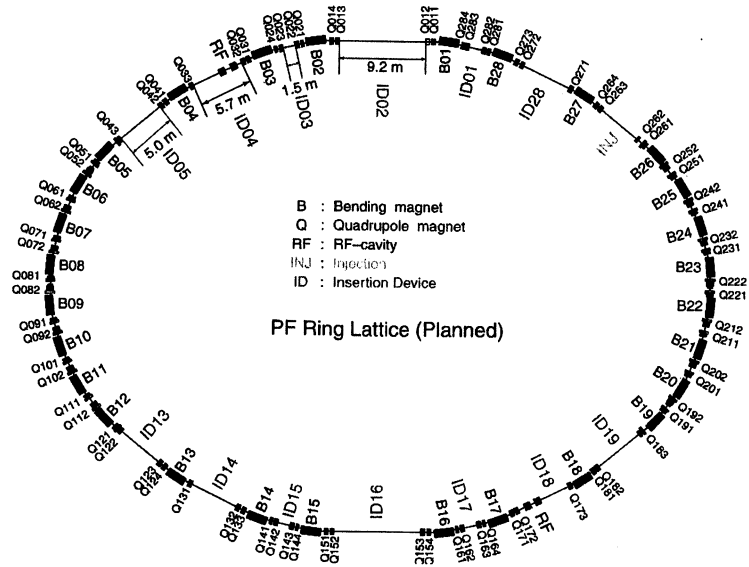


Fig. 1 Progress of $I \cdot \tau$ ($A \cdot min$) around the high brilliant project of the PF ring.

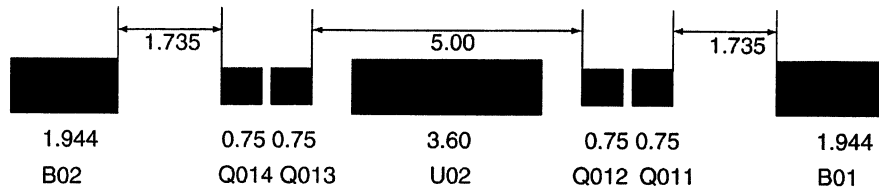


(a) Before the improvement of the straight sections.

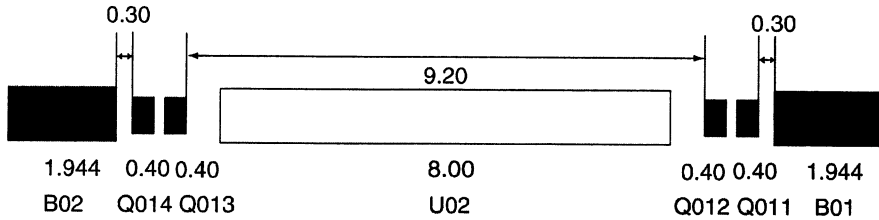


(b) After the improvement of the straight sections.

Fig. 2 Lattice configurations of the PF ring.



(a) Before the improvement of the straight sections.



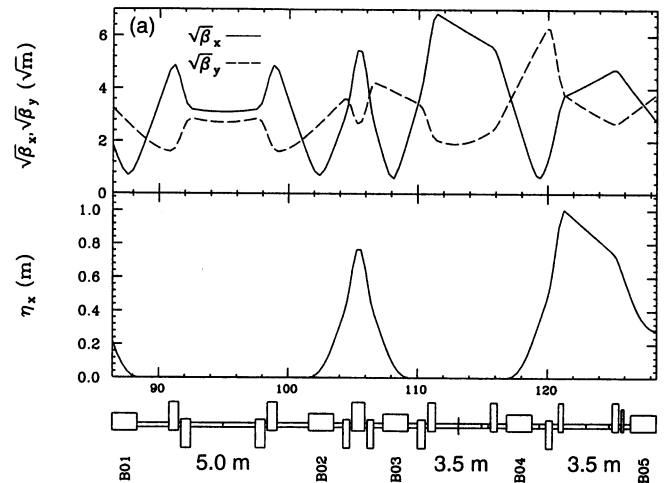
(b) After the improvement of the straight sections.

Fig. 3 Lattice configurations between B01 and B02 bending magnets.

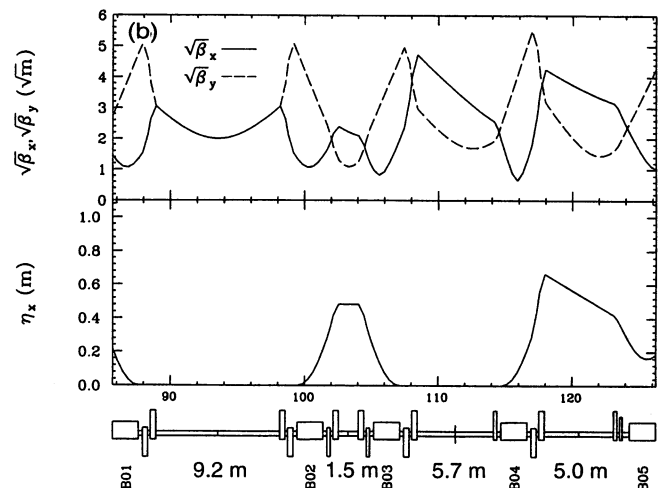
て、真空ダクト、チャンネル、モニターも改造しなくてはなりません。図2に改造前後のPFリングのラティス（電磁石配置）を示します。図2(b)に示したように、B02-03, B14-15, B16-17, B28-01間に新たに約1.5mの直線部が増えます。さらにB01-02, B15-16間の5.0mの直線部が9.2mに、B03-04, B04-05, B12-13, B13-14, B17-18, B18-19, B26-27, B27-28間の3.5mの直線部が5.0~5.7m程度まで長くなります。したがって、1.5mの新たな直線部に4台のアンジュレータが設置できるようになります。さらに既設直線部においてもその長さが長くなることで、より長いアンジュレータに入れ替えることもできるようになります。例としてB01-B02間の改造前後の配置を図3に示します。現在この直線部は、Q-Q間が5.0mで、3.6m長のアンジュレータが設置されています。そこが改造によってQ-Q間を最大9.2mにすることが可能で、その結果、既設アンジュレータの2倍の長さのものが設置できるようになります。同様にして、現在直線部に置かれているリングのコンポーネント（RF空洞、セパタム、キッカー、モニター等）との取り合い如何によっては、RF空洞、入射部にもアンジュレータ設置のスペースが確保できる可能性もできます。

3. 改造後のビームサイズ

図4に直線部改造によって得られるPFリングのオプティクスを現在のオプティクスと比較して示します。オプティクスに関しては、改造前後での大きな違いはそれほどありませんが、直線部におけるベータ関数および分散関数はできるだけ小さくなるように最適化されています。特に、1.5mの直線部はミニポールアンジュレータの設置を配慮して、垂直方向のベ-



(a) Before the improvement of the straight sections.



(b) After the improvement of the straight sections.

Fig. 4 Typical beta functions and dispersion functions between B01 and B05 bending magnets. Top and bottom views show the root of beta functions and the horizontal dispersion function, respectively. In the top view, solid and dashed lines indicate the root of horizontal and vertical beta functions, respectively.

Table 1. Beam sizes and beam divergences in a center of the straight sections obtained by the improvement. Horizontal phase advance in a cell of the arc section is set to be 105 degree.

| 直線 (既設ビームライン) | 長さ (m) 現在・改造後 | σ_x (mm) | σ'_x (mrad) | σ_y (mm) | σ'_y (mrad) |
|---|------------------|--------------------|-----------------------|--------------------|-----------------------|
| B01-02(U02 : BL02) B15-16(M16 : BL16) | 5.0→9.2 | 0.332 | 0.083 | 0.033 | 0.008 |
| B02-03(B : BL03) B14-15(B : BL15) B16-17(B : BL17) B28-01(B : BL01) | 0.0→1.5 | 0.510 | 0.082 | 0.018 | 0.016 |
| B03-04(B : BL04) B13-14(VW14 : BL14) B17-18(B : BL18) B27-28(M28 : BL28) | 3.5→5.7 | 0.588 | 0.080 | 0.031 | 0.010 |
| B04-05 B13-14(M13 : BL13) B18-19(U19 : BL19) B26-27(B : BL27) | 3.5→5.0 | 0.721 | 0.068 | 0.030 | 0.011 |

タ関数を 1.0m 程度に絞ってあります (要求があればもっと小さくすることは可能です)。アーク部の水平方向の位相の進みを現在と同じ 105° にして、直線部に改造を施すと、エミッタンスは 36nm・rad から 27.5nm・rad まで下がります。表 1 にこのオプティクスで得られる直線部の中心でのビームサイズを示します。XY カップリングは 1% で計算しています。ここに示したビームサイズは、アンジュレータを念頭においていますので、すべて直線部の中心での値です。(注意：例えば BL4 のように現在偏向電磁石からの光を使用しているビームライン等では、改造後にアンジュレータを利用するようになった場合、その発光点が直線部に移るため、ビームサイズもしくは角度発散の値が現在の値より大きくなることもあります)。

4. 光源側のメリット

直線部を全面的に改造すると、アーク部を中心に行われた高輝度化改造とほぼ同規模の改造になりますので、それなりの予算と日程が必要になります。しかし、これら直線部のコンポーネントは、高輝度化改造の対象外であったため、建設当時のままの状態です。20 年が経過しようとしています。したがって、老朽化による故障が今後多くなることが予想され、リングを今後さらに 10 年 (~ 20 年) 運転していくことになれば、いつかどこかでこれらのコンポーネントを入れ替えることは必須と考えられます。老朽化対策と言う意味でも、直線部増強計画を早いうちに実現できれば、光源として大きなメリットがあることは確かです。

5. 今後の予定

今回述べたことは、まだアイデアの段階であります。もし計画を推進すべきというのであれば、今後さらにリングのコンポーネントの取り合いやビームダイナミクスに関してもっと詰めていく必要があります。しかし、現実的には予算や人手のことも考慮しなくてはなりません。実際、光源系スタッフは、現在加速器施設のスタッフと合同で PF-AR 高度化計画を進めており、来年 2 月末から改造作業に入り、11 月はじめからコミショニングを予定していますのできわめて忙しい時期に入りますし、PF-AR を安定化させるまではしばらく時間がかかることも予想されます。したがって、PF リングはできる限りそのままにしておきたいという思いも正直あります。このような状況にありますが、光源系スタッフの一員としては、PF リングおよび PF-AR リングを、放射光研究施設の将来としてどのように維持発展させていくべきかを、改造計画や新計画を含めて議論して行くことが大事であると思っておりますので、今回の提案をさせていただきました。

小林 幸則 Yukinori KOBAYASHI

昭和 34 年 8 月生

高エネルギー加速器研究機構 物質構造科学研究所 放射光源研究系 電子軌道部門

〒305-0801 茨城県つくば市大穂 1-1

TEL : 0298-64-5630

FAX : 0298-64-2801

e-mail : yukinori.kobayashi@kek.jp

略歴：1990 年東北大学大学院理学研究科原子核理学専攻博士課程終了、1990 年高エネルギー物理学研究所放射光実験施設助手、現在に至る。理学博士。

専門：加速器物理学