

VACUUM SYSTEM RENEWAL FOR THE PF RING STRAIGHT SECTIONS UPGRADE PROJECT

Yasunori Tanimoto, Takashi Uchiyama, Takashi Nogami, Takashi Obina, Yoichiro Hori
High Energy Accelerator Research Organization (KEK)
1-1 Oho, Tsukuba, Ibaraki 305-0801

Abstract

A large-scale reconstruction to upgrade straight sections in the KEK-PF storage ring is in progress. For this upgrade, quadrupole magnets and vacuum chambers in two-thirds of the whole ring are to be renewed. In this paper, a brief summary of the new vacuum system, progress of the reconstruction work, and estimation of the beam lifetime after the upgrade are described.

PFリング直線部増強のための真空系更新

1. はじめに

KEK放射光科学研究施設の2.5GeV放射光源リング Photon Factory(PF)では、現在直線部増強計画の改造作業が進行中である^[1]。周長187mのリングの約3分の2を占める南北直線部の四極電磁石を更新・配置換えすることにより、新たに4か所の短直線部を作り出し、既存の直線部分も延長する。その結果、挿入光源の設置可能な箇所は現在の7か所から13か所にほぼ倍増し、既存の挿入光源もより長尺なものに増強することが可能となる。

四極電磁石の更新に伴い、真空ビームダクトも更新される。更新範囲は1997年に高輝度化のために改造されたノーマルセル部以外の南北直線部領域で、偏向部ダクト(Bダクト)12台を含む(図1)。

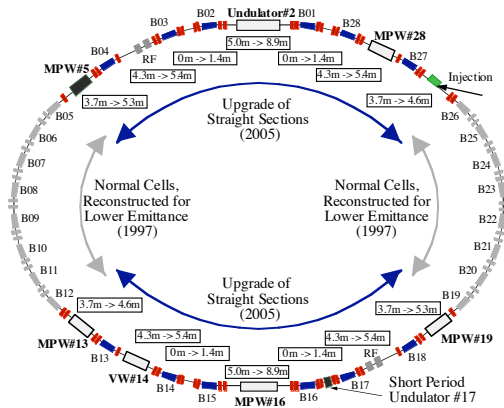


図1 直線部増強計画改造範囲

また、本改造に先行して2004年夏に真空制御系をPLC(Programmable Logic Controller)およびEPICS^[2](Experimental Physics and Industrial Control System)ベースのシステムに更新し、操作性、信頼性、およびメンテナンス性を向上させた。

リング内改造作業は2005年3月から7か月弱の期間運転を停止して行われ、6月中旬の時点では電磁石の再配置や主要ビームダクトの設置が完了している。

放射光ユーザ運転は、約4週間のコミッショニングを経た後、10月18日から開始される予定である。

2. PFリング真空系の更新

2.1 ビームダクト

直線部四極電磁石の設置位置が変更され、かつボア径も縮小されるため、それに伴いビームダクトも更新される。図2に新ビームダクトの概念図を示す。

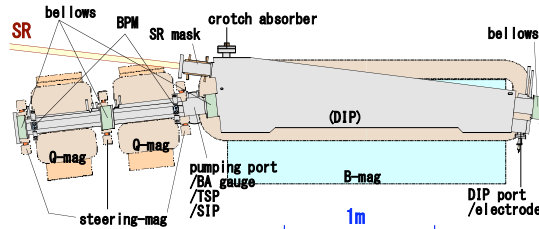


図2 新ビームダクトの概略図

ビームダクトは、ステンレス製のベローズやフランジなどの一部を除いて改造前と同じアルミ合金製とし、ダクト側面に放射光を直射させる部分には冷却水チャンネルを設けた。放射光を切り分けてビームラインへ取り出すためのクロッチアブソーバには熱負荷対策のためアルミナ分散強化銅を採用した。

ビーム位置モニタ(BPM)については、ビームダクトを組み上げる前、電極が四極電磁石部ダクト(Qダクト)へ溶接された段階で全数校正を行った。BPM部においてビームダクトは四極電磁石に固定される。

ビームダクトのベーキングに関しては、これまでのPF高輝度化改造(1997)やPF-AR高度化改造(2001)の場合と同様に放射光照射による光焼出しを主とし、ダクト設置後の現場ベーキングは行わない^{[3][4]}。また、今回の改造では南直線部のダクトに対してのみインストール前のプリベークを行い、運転開始後の南北直線部の圧力変化を比較して運転初期のガス放出率に対するプリベークの効果を評価する。

2.2 真空ポンプ

直線部Bダクトの更新に伴い、偏向磁場を利用する分布型イオンポンプ(DIP)は全28台中12台が更新される。印加電圧も排気速度の向上と電子ビーム路へのダスト進入低減を考慮し、+5kVから-7.5kVへ変更する。スパッタイオンポンプ(SIP)とチタンサブリーメーションポンプ(TSP)の設置については、四極電磁石移設により空間的な制約を受ける箇所もあるが、改造前とほぼ同数を確保することとした。SIPはほぼ全てを流用し、TSPはチタンヘッドを交換する。

2.3 真空ゲージ

PFリングには全周にわたって約50台のBAゲージが設置され、リング内圧力の監視や圧力異常時のインターロックに利用されている。近年の運転では、超高真空下で使用していたにも拘わらずフィラメント寿命が数年程度しかないことが問題となっていた。その対策として、この改造期間中に全数のフィラメントの交換とコントローラの更新を行う。フィラメントは、これまでのタングステンよりも低温度で動作可能なトリアコートイリジウムに変更する。

全数のBAゲージに対して、リングダクトヘインストールする前にテストベンチで圧力校正を行う。

2.4 真空制御系

本改造に先行して2004年夏に真空制御系をPLC/EPICSベースのシステムに更新した^{[5][6]}。

粗排気系を除く全ての真空機器コントローラはPLCに接続され、EPICSの提供するソフトウェアと通信手段によってPLCを操作する(図3)。

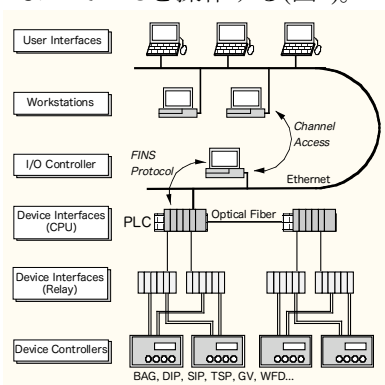


図3 PLC/EPICSベース真空制御系の構成

EPICSからEthernet経由でPLCと通信する手段は、KEKB制御グループによって開発されていた「EPICS Device/Driver Support for OMRON PLC」^[7]を利用した。これにより、ネットワーク接続されたコンピュータ(X端末)上の操作パネルから、真空機器の遠隔操作・監視が可能となった(図4)。EPICSにおいて全ての機器情報を管理するIOC(Input/Output Controller)は、従来のVME/IOCよりも安価なLinux上で動くソフトウェアIOCを採用した。

真空インターロックシステムは、PLC内のシーケンスプログラムによって構築した。

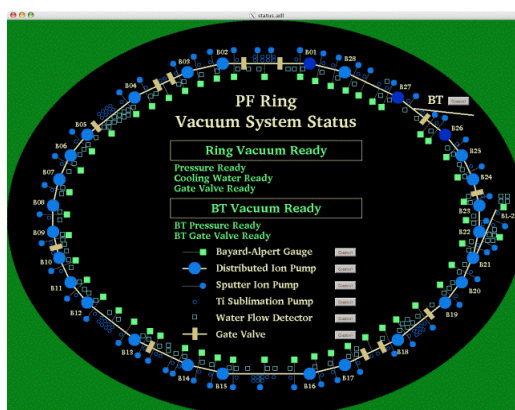


図4 真空機器操作・監視パネルの一例

3. 改造作業進捗状況

2005年2月28日に運転を停止し、直線部改造作業を開始した。最初の約1か月で、直線部の四極電磁石と偏向電磁石を半割し、旧ビームダクトと旧四極電磁石を撤去した。そして、新ベースプレート設置と新四極電磁石据付の後、新ビームダクトを設置した。6月中旬の時点で電磁石のアライメントはほぼ完了し、6月中にリング全周の精密測量を行う。

また、同じく6月中旬には、新しく作り出された4本の短直線部の内の1か所(BL-17用)に真空封止型短周期アンジュレータも搬入された。

6月から7月にかけて、真空ダクトの接続、真空立上げ、配線・配管を行い、制御系の試験などを経て9月20日の加速器立上げに備える。



図5 改造作業の様子

4. ビーム寿命予測

今回、大半の真空ダクトを改造することにより、運転開始直後のビーム寿命は改造前の $I\tau$ (蓄積電流値×ビーム寿命)で1700Aminという値から大幅に短くなる。多くのユーザを抱えるPFリングでは、蓄積ビームの短寿命化が放射光実験に与える影響は大きい。また、入射頻度が増えることは入射器を共有するKEKBやPF-ARの運転に対しても影響を及ぼす。

1997年にノーマルセル部を改造した高輝度化後の運転においては、約1か月間のコミッションング後のビーム寿命が $I\tau$ で200Amin程度であり、ユーザ運

転は1日3回入射で開始した。その約1か月後に $I \cdot \tau$ は400Amin程度になり、1日2回入射とした。1日1回入射を開始したのは、その更に1年後であった($I \cdot \tau$ で600Amin程度)。この段階ではTouschek効果が支配的であり、1999年以降はRF位相変調によりパンチ長を伸ばして運転し、ビーム寿命を延長させた¹⁸⁾。

直線部改造後のビーム寿命に影響する項目のうち、前回と比べて条件の異なる項目を以下に示す。ビーム寿命予測は極力これらの条件を考慮して行った。

- × 改造範囲：約120m (ノーマルセル部：約60m)
- × 平均Photon Dose密度：ノーマルセル部の約半分
- × 直線部Qダクトコンダクタンス(1m)：0.02m³/s (ノーマルセル部Qダクト：0.04m³/s)
- × ビームエミッタンス：36nmrad (高輝度化立上げ後半年間は130nmradで運転)
- × 北直線部はプリベークせずにインストール
- RF位相変調によるTouschek効果の低減
- DIP12台を更新 (印加電圧：+5kV → -7.5kV)
- 蓄積電流値：Max450mA(2000年7月まで400mA)

蓄積ビームの寿命は、平均圧力とビーム条件から、ビーム-残留ガス散乱とTouschek効果によるビームロス計算して見積ることができる。図6にPFリングにおける平均圧力とビーム寿命の関係を示す。

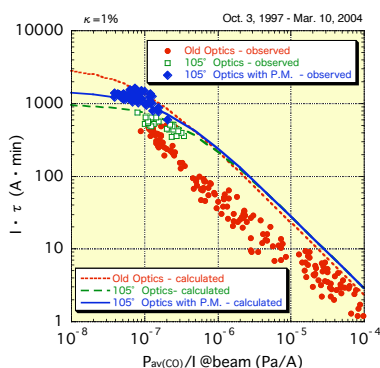


図6 平均圧力とビーム寿命の関係

次に、リング内平均圧力を計算するため、ビームに沿った圧力分布を、ガス放出率分布と排気速度分布およびダクトコンダクタンスから次元有限要素法シミュレーションにより求めた。ビーム蓄積中のダクト内壁からのガス放出率は放射光照射による光刺激脱離が支配的であり、その量は照射光子数と光脱離係数 η (molecules/photon)に比例する。一般に運転初期の η はPhoton Doseが増えるにつれて減少するが、過去の放射光照射履歴や表面状態によって振舞いが異なる。ここでは高輝度化後の立上げ時におけるいくつかの異なる条件のダクトに対する η を元に計算した。今回プリベークを行わずに設置する北区間の η は、初期値としてプリベークを行う南区間の η の1倍、3倍、10倍の3種類を考え、いずれの場合も積分電流値が200Ahで南側と同等になるとした。図7に例として積分電流値が10Ahのときの南直線部の圧力分布計算結果を示す。

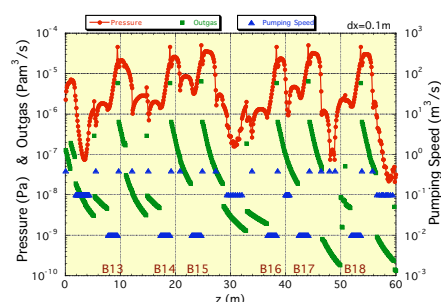


図7 圧力分布計算結果(南直線部)

その他の区間についても積分電流値の異なる場合について圧力分布を計算し、平均圧力から予想されるビーム寿命を求めた(図8)。図より、直線部改造後も前回の高輝度化立上げ時と概ね同等なビーム寿命の回復が期待できると考えられる。

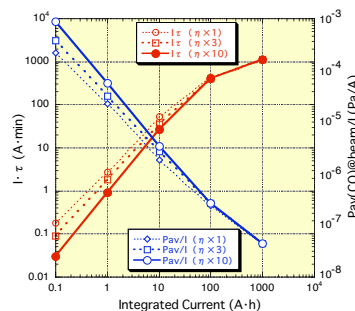


図8 平均圧力とビーム寿命回復の予測

5. まとめ

現在進行中のPFリング直線部増強計画において真空系は大幅に改造される。改造後はビーム寿命が短くなることが予想されるため、その見積りを行い、高輝度化立上げ時と同等なビーム寿命の回復が期待されることを確認した。

参考文献

- [1] T.Honda *et al.*, "Reconstruction of Photon Factory Storage Ring for the Straight-Sections Upgrade Project", Proceedings of PAC 2005
- [2] <http://www.aps.anl.gov/epics/>
- [3] Y. Hori, "Operation of the PF ring vacuum system without an in situ bake-out", Applied Surface Science 6646 (2000) 1
- [4] Y.Tanimoto *et al.*, "Vacuum Control System of the Synchrotron Light Source PF-AR and Progress of the Accelerator Commissioning", J. Vac. Soc. Jpn. (2003) 441
- [5] Y.Tanimoto *et al.*, "Upgrade of the PF Ring Vacuum Control System", Proceedings of PAC 2005
- [6] T.Obina *et al.*, "Present Status and Upgrade of KEK-PF Control System", these proceedings
- [7] J.Odagiri *et al.*, "EPICS Device/Driver Support Modules for Network-based Intelligent Controllers", Proceedings of ICALEPCS 2003
- [8] S.Sakanaka *et al.*, "Improvement in the beam lifetime by means of an rf phase modulation at the KEK Photon Factory storage ring", Phys. Rev. ST Accel. Beams 3, 050701 (2000).