

# SURVEY AND ALIGNMENT OF THE MAGNETS FOR THE PF AND PF-AR

Kentaro Harada<sup>#A)</sup>, Shinya Nagahashi<sup>A)</sup>, Miho Shimada<sup>A)</sup>, Akira Ueda<sup>A)</sup>,  
Toshiyuki Ozaki<sup>A)</sup>, Norio Nakamura<sup>A)</sup>, Yukinori Kobayashi<sup>A)</sup>  
<sup>A)</sup> KEK-PF, 1-1 Oho, Tsukuba-shi, Ibaraki, 305-0801

## Abstract

The survey and the alignment of the quadrupole magnets were conducted during summer shutdown in 2011 in order to survey and fix the movement of the magnets due to the earthquake of 2011.3.11. In this presentation, the recovery of the magnetic system of the PF ring and the PF-AR from the earthquake damages is shown.

## PF 及び PF-AR の電磁石測量とアライメント

### 1. はじめに

2011年3月11日、PFリング、PF-ARが朝9時に停止された日の午後、東日本大震災が起こった。震災時、電磁石電源及び制御系はブレーカ切りの状態であった。この発表では、震災後のPF及びPF-ARの電磁石及び電源の復旧作業<sup>[1,2]</sup>について、主に測量とアライメント作業を中心に述べる。

### 2. 調整運転開始前まで

3月11日の震災後、職員は自宅待機、施設は停電中であった放射光施設は、3月末に建屋の復電と共に職員の自宅待機が解け、本格的な被害調査及び復旧作業が開始された。

PFリングの大型電磁石電源の筐体内には、多くの部品が設置されているが、震災後とはいえ、それを完璧に精査することは電源の新規製作よりも手間がかかる。そこで、電源メーカーとも相談の上、まずはできる限りの目視及び手でガタや緩みの点検を行い、次は電源入り試験、通電試験へと移ることにした。万が一、部品故障や脱落、接触不良などがあった場合でも、電源自体は回路保護の為にインターロックが働き、破壊されることはないだろうとのことであった。目視及び接触点検では特に異常はなく、ブレーカON、冷却水インターロックをバイパスさせての運転状態ON（電流ゼロ）チェックでも、特に異常はなかった。制御系、小型電源系についても位置がずれたラック（図1）などを元の位置に戻し、ネットワーク及びサーバの復旧と共に同様の試験を行い、とりあえず応急的に異常がないことを確認した。また、トンネル内の電磁石ケーブルについては、リング数カ所でカバーを外して精密に点検、全体についてはゴムカバーは外さず、そのまま目視及び手で触ってのガタや緩みの点検を行った。施設冷却水系の復旧後に、漏水チェックをしながら電磁石への通水を開始し、制限付きで一定の電力使用が許可された後、4月の第4週に電源の短時間のフル通電試験を1台ずつ行った。試験は無事に完了した。

入射系については、位置がずれてしまった電源を



図1：位置のずれたPF小型電源ラック。幸い、断線などはなかった。

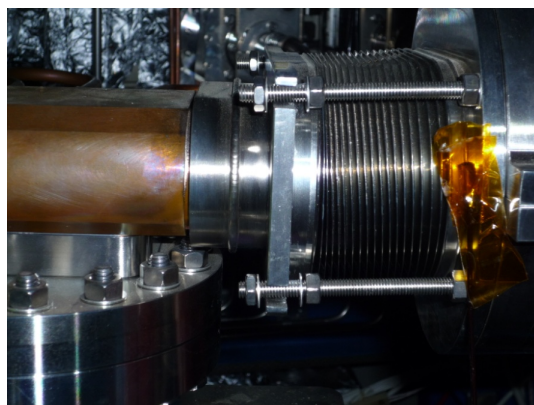


図2：PF-ARの「くの字」に曲がってしまったベローズ部分。

元の位置に戻し、内部の目視点検を行った。冷却用のオイル配管や高圧ケーブルを同様に点検し、その範囲では特に問題なさそうであることが分かった。パルス電磁石の励磁には真空の復旧が不可欠である為、真空の仮立ち上げ後、励磁試験が行われ、キッカーセプタムともに試験を完了することができた。

PF-ARについては、老朽化もあり、緩みや漏水についてより入念な点検が行われた。リングの主4極及び偏向電磁石については、ケーブルを大型電源か

<sup>#</sup>kentaro.harada@kek.jp

ら外し、電磁石側の絶縁抵抗測定、小型電磁石を繋いで通電試験が行われた。電磁石本体及び水冷電源に対する通水試験についても、過去に老朽化による漏水もあり、より慎重に点検がなされた。幸い、電磁石及び電源系には、漏水を除き、試験運転開始の準備としては応急修理で十分であった。

電源、電磁石とも、筐体内外に多くの部品が立体的に配置され、接続されている。運搬設置時を含めて、通常の場合、仮に移動する可能性があったとしても、衝撃や振動に対して非常に気を遣って作業が行われる。今回の震災では装置に全く容赦なく振動と衝撃が加わっている為、応急的に試験運転が可能であっても、必ずしも損傷がないとは言い切れなかった。しかし、不安を抱えながらも運転しながら様子を見ることが、痛んだ箇所を探すことにも繋がる為、調整運転を含め、長期の運転を試すこととした。

さて、震災により、PF リング、PF-AR、それぞれの BT ラインの電磁石に位置のずれが生じた。何方所かはダクトのベローが明らかに「くの字」に変形しており（たとえば図 2）、大きな力でトンネルが動いたことが想像された。ただし、予定された調整運転開始前に全体の位置の再調整（アライメント）を行うことは期間及び人手の問題から難しかった為、運転が安全に行えるか、運転が可能かを確かめる最低限の措置として、PF リング及び PF-AR の電磁石の垂直方向の位置測量のみが行われた（図 3、図 4）。これは、垂直方向に軌道が大きくずれると、誤ってベローなどの弱い部分に放射光が当たってしまう可能性があった為である。測量の結果、PF リングに関しては真空問題を引き起こす様なずれは観測されず、PF-AR リングに関しては、加速器トンネルのジョイント毎にずれが生じているが、最大でも 0.5mm 程度であり、応急的な運転に支障はないと判

断された。

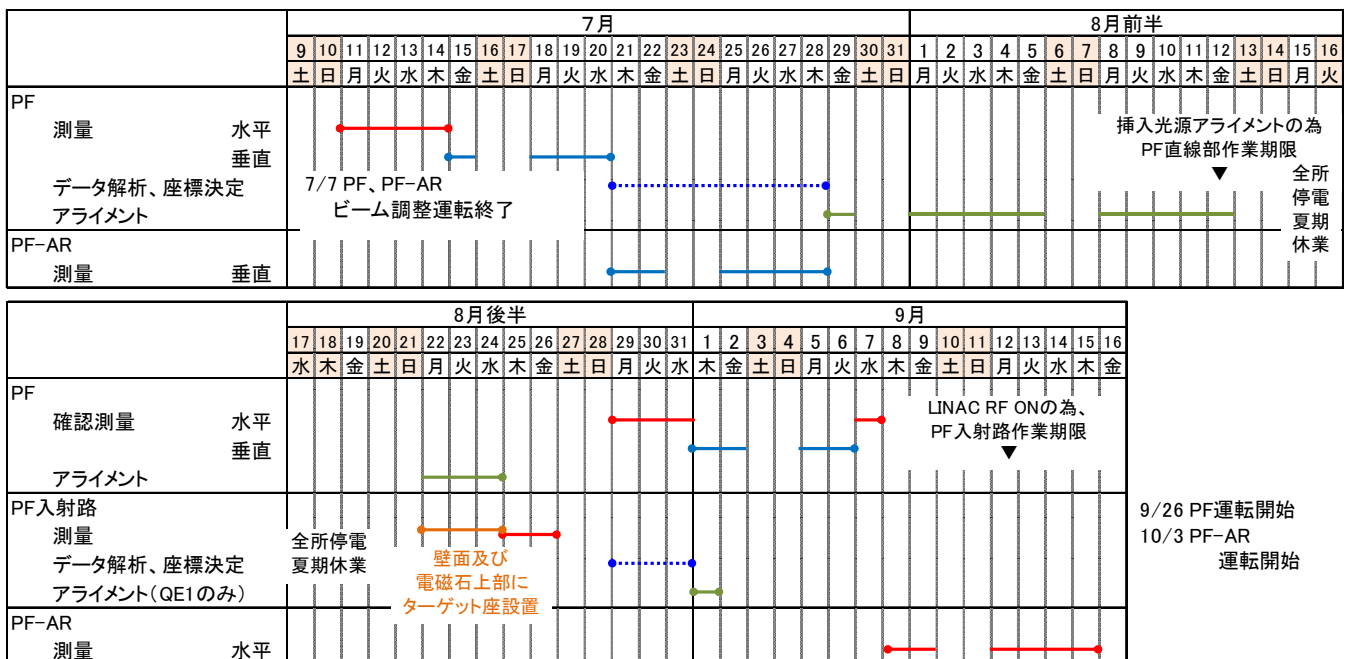
### 3. 調整運転

PF は 5 月 16 日から、PF-AR は 6 月 1 日から立ち上げが開始され、両リングとも 7 月 7 日まで調整運転が行われた。PF-AR については BT、リングとも、立ち上げ時に大幅なパラメータ変更やスキャンなどは必要なく、今までと同じパラメータで調整運転を開始できた。一方、PF リングについては、BT 途中で大きくビーム位置をずらし、リング入射パラメータも大きく変更する必要があった。原因は、BT トンネルの建て屋継ぎ目における大きなずれと、セプタム電磁石の位置のずれであり、セプタムについてはできる範囲で位置の再調整が行われた。入射ビームの軌道が変わってしまった為に、入射ビームの損失の様子も変化し、実験ホールの一部領域で普段よりも放射線量が高くなるという現象が観測された。これは、ビーム入射点付近にバンプを立てることで応急処置がなされ、PF リングも調整運転を開始した。

### 4. 夏期シャットダウン中の復旧作業

夏のシャットダウン期間に入ると、秋の運転開始までの期間に集中して復旧作業が行われた。PF リングについては、水平、垂直方向の測量、再アライメントが行われ、PF-BT ラインについてもターゲット座の新規設置から始めて測量と部分的な再アライメントが行われた。ただし、PF-AR に関しては、全体の作業人員の確保とスケジュール調整が厳しく、また、春の立ち上げ、運転ともほとんど問題なかった為、水平、垂直方向の再測量のみを行い、アライメントは見送られた。全体の作業スケジュールを表 1 に示す。

表 1: 夏期シャットダウン中の電磁石測量、再アライメントスケジュール



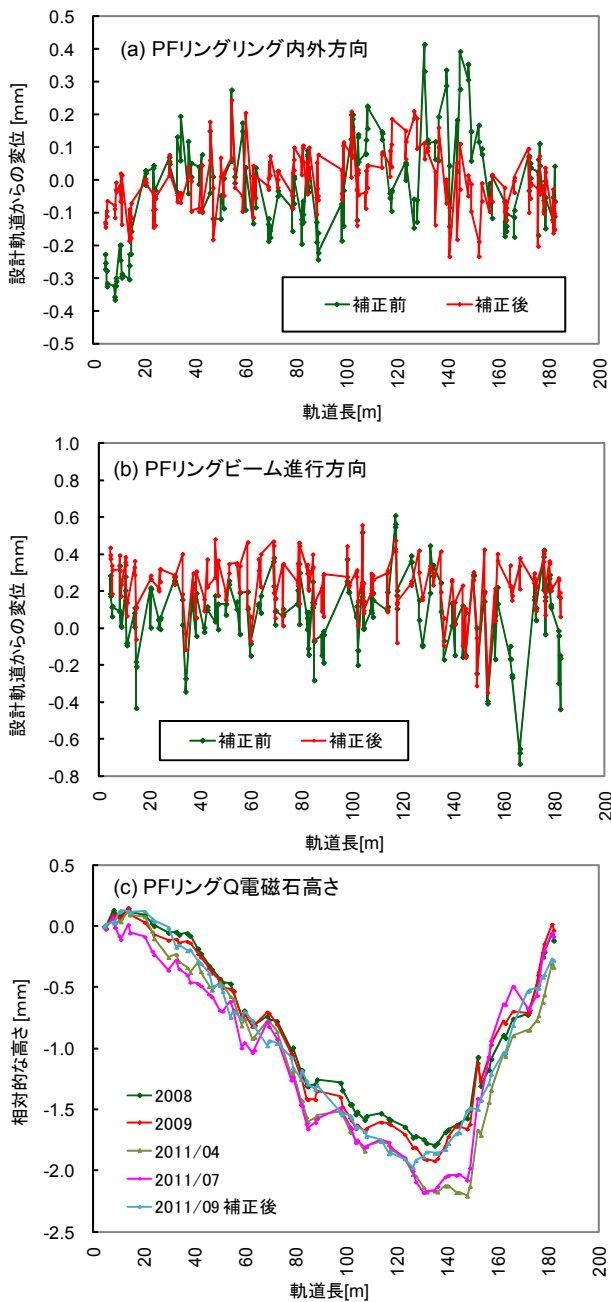


図3：PFリングの測量および再据付の結果。

PFリングの測量、アライメント後の再測量の結果を図3に示す。直線部増強改造時と同様に、垂直方向は全電磁石が変位量最小の同一平面（既存の平面とは別）に載る様にアライメントし、水平方向はモニュメントと偏向電磁石を基準にアライメントを行った。作業により、リングの電磁石の位置のゆがみを直すことに成功したが、ビームライン側との調整なしにリング側のみを調整してしまった為、一部のビームラインで光軸のずれが生じてしまった。特に、ビームラインは重力に対して水平面上にアライメントされているが、リングは斜めの平面上にある為、リングで坂になる部分に光源点がある挿入光源

(a) PF-AR電磁石レベル

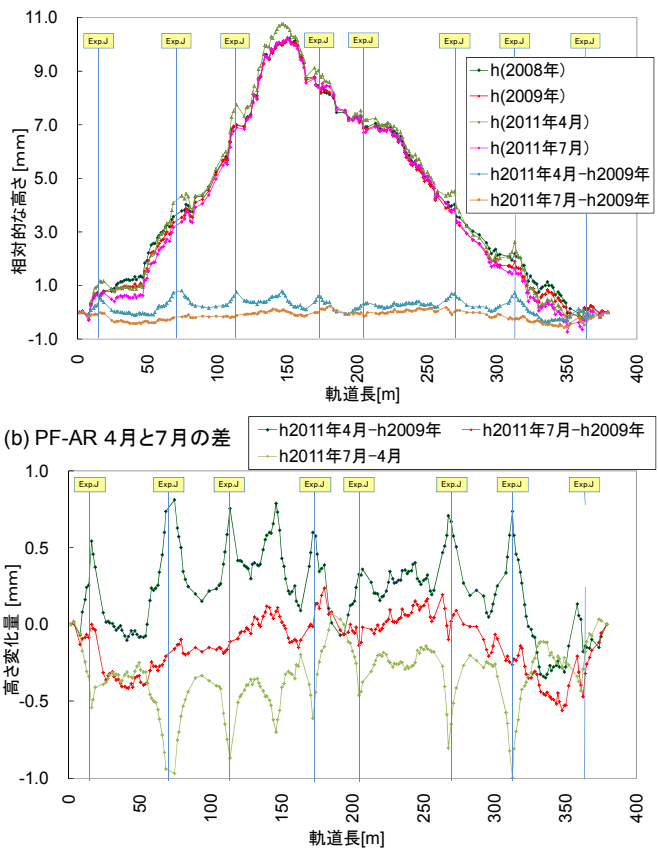
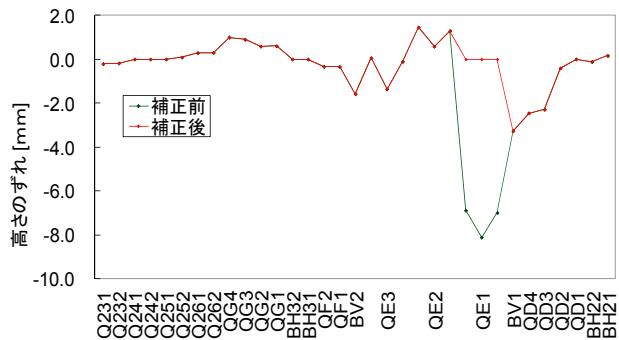


図4：PF-ARの高さ測量の結果



のかは不明である。

PF-BT ラインの測量結果を図 5 に示す。BT の偏向電磁石には、上部にけがき線の入ったターゲット座が設置されていたが、今回の測量の為、既存のターゲット座を基準に、現場で新たなレーザートラッカー用のターゲット座の取り付け加工を行った。また、BT 壁面にも、座標をつなげる為に約 1m 間隔でおよそのビーム高さにターゲット座を取り付けた。測量は KEKB-BT グループの協力で、可搬レーザートラッカーを用いて行った。さて、BT ライン上流の入射器は地下 1 階、PF リングは地上の高さに存在する為、PF リング手前で BT は坂になっている(図 5 の BV1-BV2 間)。坂の途中、ちょうど QE1 電磁石の下流部分に光源棟と BT トンネルとの建屋の境目が存在し、そこは PF-AR のジョイントとは異なり、フレキシブルではない構造になっている。その境界で震災によって生じた大きな段差が、解消されることなく残っており、真空ダクトも目で見て十分わかるほど大きく変位していた。調整運転の為に立ち上げ時にも、ステアリングを大きく調整し、真空ダクトの端を通す必要があった。補正としては、段差直上流の 4 極電磁石 QE1 のみを上に 8mm 動かし、軌道を滑らかに補正した。電磁石アライメント後、真空ダクトとモニタ系の精密アライメントも各担当者によって行われた。

## 5. 秋の立ち上げと本格的な運転再開

秋の運転開始時、PF-AR については大きな故障が発見されることなどはなく、立ち上げ及び運転が可能であった。PF リングについては、光源のみが再アライメントを行った為、何カ所かのビームラインでは光軸が大きく変化してしまい、ビームライン側での調整範囲を超えてしまった場合には光源側での軌道調整が必要であった。BT に関しては、震災前のパラメータでビームが滑らかに通過する状態に戻ったが、入射パラメータに関しては、特にセプタム電磁石内部の被害状況が完全に把握できていないことや、設置位置の復元が完全ではないこと等、様々な検討課題や問題が残っている。

## 6. 今後の課題

現在、PF リングにおいては、ビームラインの光軸調整の為にリングの数カ所に大きな局所バンプが作られている。また、実験ホールの放射線量増大を抑制する為、入射点でも蓄積ビームの軌道をセプタムに寄せる様な局所バンプを作っている。今後、それらのバンプを解消する為に、挿入光源内の軌道を水平にする様な直線部単位の再アライメントの検討や、入射セプタムの被害状況把握、復旧方法の検討などを行う予定である。

また、PF-AR については、測量データを詳細に検討し、ビームラインに対する影響も考慮しながら再アライメントの必要性について検討を行う予定である。

電源、電磁石などの装置については、震災による衝撃、振動により、痛んだ部分があることは確実に

あり、その影響がいつ出てくるかは、運用を続けてみなければ分からない。これからは今まで以上に注意深く、立ち上げや点検を行っていくつもりである。

## 謝辞

本震の後、大きな余震が繰り返される中でいち早く復旧作業を開始されました施設部の方々や入射器の方々のご努力なしに 5 月からの調整運転はできなかつたろうと思います。それらの方々の勇気に敬意を払い、ご努力に感謝いたします。電磁石、電源関連の復旧作業につきましても、真空グループや制御グループをはじめとする放射光研究施設の方々、BT グループや電磁石グループをはじめとする KEKB のの方々、作業依頼を受けて下さった業者の方々など、多くの方々の努力と協力、支援なしにはできませんでした。皆様に感謝いたします。また、困難な状況にもかかわらず機構の復旧を強力に先導されました機構執行部(機構長、理事、主幹)のパワーにも感謝いたします。皆様ありがとうございました。

## 参考文献

- [1] T.Honda et al., "Post-earthquake Recovery of PF ring and PF-AR", Proc. of IPAC2011, (2011), pp.2984-2986
- [2] T.Obina et al., "PF-Ring 及び PF-AR の現状", 第 8 回加速器学会年会, つくば, 2011, pp.855-857