

## Development of a movable table for a bending magnet with removable guides

T. Shibuya<sup>A)</sup>, I. Ito<sup>A)</sup>, H. Kudoh<sup>A)</sup>, N. Nakamura<sup>A)</sup>, H. Sakai<sup>1,A)</sup>, K. Shinoe<sup>A)</sup>,  
H. Takaki<sup>A)</sup>, T. Tanaka<sup>A)</sup>, T. Koseki<sup>B)</sup>, Y. Kobayashi<sup>C)</sup>

<sup>A)</sup> Synchrotron Radiation Laboratory, Institute for Solid State Physics, University of Tokyo (SRL-ISSP),  
5-1-5 Kashiwanoha, Kashiwa-shi, Chiba, 277-8581, Japan

<sup>B)</sup> The Institute of Physical and Chemical Research (RIKEN), 2-1, Hirosawa, Wako-shi, Saitama, 351-0198, Japan

<sup>C)</sup> High Energy Accelerator Research Organization (KEK), 1-1 Oho Tsukuba-shi, Ibaraki, 305-0801, Japan

### Abstract

We develop the movable table for a bending magnet with removable guides. This table has two parallel rails in order to move the bending magnet smoothly and set it precisely. Especially this table has two removable expanded rail guides. Removing this expanded rail guides allow us to make more enough spaces, for example, to install another insertion devices. We measure the reliability of setting this table by moving this table along the rails. And we found this reliability is less than  $\pm 3 \mu\text{m}$ . We also measure the long-term stability of this table setting.

## 脱着ガイドを用いた可動式偏向電磁石用架台の開発

### 1. はじめに

第三世代型放射光源、及び他の低エミッタンスを目指すリングでは、電磁石間が非常に密接した距離となっている。また、最近の小型放射光源リングにおいても、空間スペースをできるだけ削るため、同様に電磁石同士が狭く設計される傾向がある。このように、これから新しく光源加速器を設計する際には、真空チェンバーと電磁石の取り合いが非常に複雑で厳しいことになるため、建設時の初期インストールのみならず、取はずしやその後の再インストールまで考慮しておかなければならない。特に光取り出しのポートを多数設けるほど、その取り合いは余計に複雑となる。従来、このような複雑な取り合い下では、偏向電磁石を半割にすることで真空チャンバーのインストールを行うことが多いが、安定した光源を目指すためには、半割りによる偏向電磁石の磁場精度の劣化を避けることがより望ましい。さらに、半割することが無ければ、大掛かりのクレーン等も必要でなくなるため、建設コストの低減につながる。本架台は、偏向電磁石を水平に移動させることで、チャンバーのインストール作業及びチャンバー変更作業の簡便化を図り、偏向電磁石の半割りを行わずに真空チャンバーのインストールが可能となるように設計したものである。以下、本架台の基本設計及び性能評価について述べる。

### 2. 架台の基本設計

図1に架台の設計図を示す。本設計は、極紫外・軟X線高輝度光源計画 (Super SOR計画) におけるモデル偏向電磁石を設置すること基本としている。図1は、その偏向電磁石を載せた場合の図を示して

いる<sup>[1]</sup>。偏向電磁石は、1050mm × 760mmの定盤に載せられ、横方向につけられた8本のねじにより微調整が可能となっている。また、定盤はM30の3本のねじにより上下方向の微調整が可能になっている。

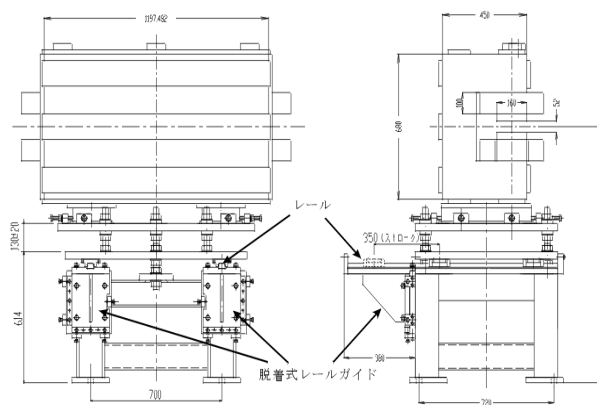


図1. 架台の全体図。右はビーム方向から、左はビーム方向に対して垂直な方向 (リング内側) から見た図である。

架台の横移動は、レールにより行われる。レールは左右2本平行に設置され、リング内側方向に350mmのストロークを持つ。このようなレールを用いた偏向電磁石架台は核理研のSTBリングにて採用されているが、本架台ではレールガイドの引っ張り部分であるレールガイド部分を図1に示すように脱着可能にしたものを考案した。その理由は、極紫外・軟X線高輝度光源計画におけるリング建設後、追加される挿入光源用の搬入通路を十分に確保できることを重視したためである。問題となるのはそ

<sup>1</sup> Corresponding author: hrsakai@issp.u-tokyo.ac.jp

の脱着時のレールの位置再現性である。特にレールを用いたシステムであるため、ガイドと架台本体のレールの接合がスムーズに行われる必要がある。そのため、まずレールのローラにはTHK社のLMガイドSSRを用いた<sup>[2]</sup>。このガイドでは100 $\mu\text{m}$ 以下のずれ(ガタ)なら、内部のベアリングはガタを気にせずスムーズに動くことが保証されている。ガイドと本体のレール同士を100 $\mu\text{m}$ 以内で再現して設置するため、ガイドの下面及び側面に50 $\mu\text{m}$ 以下の精度での機械加工を施し、本体にガイドを置く同精度加工を施した受け皿を設け、設置時の位置再現性を確保させた。ちなみにガイドと架台本体の接面にも同様の機械加工を施してある。

### 3. 架台の性能評価

#### 3.1 セットアップ

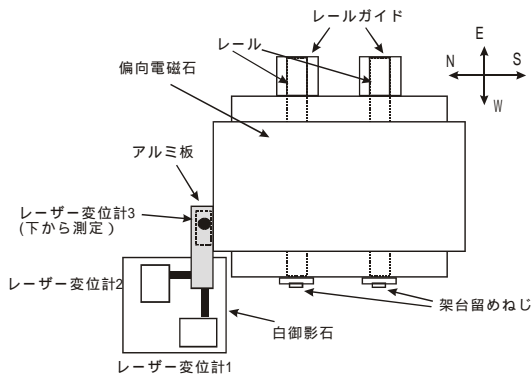


図2. 架台性能評価時のセットアップ。(鳥瞰図)

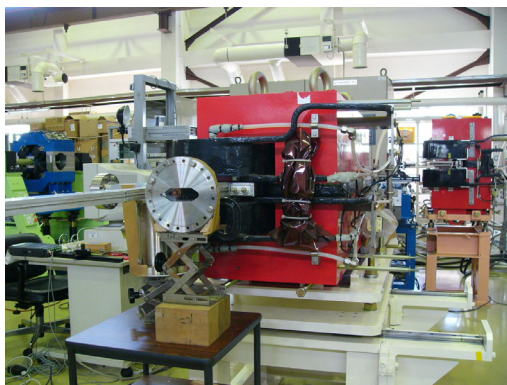


図3: 架台と電磁石の様子(写真)。右に見える2つの出っ張りがレールガイド部分である。

架台の性能評価のための測定のセットアップを図2に示す、また、図3にその架台と電磁石を乗せたときの写真を示す。今回用いた偏向電磁石は現デザインのものではなく、旧モデルのものである。重さは3.5tであり、レール上の上板とねじで固定されている。通常はこの上板とレール下の地面と接続している下板とは、レール最端の架台留めねじにて固定されている。ねじを外すことにより、レール上を偏向電磁石が動くことになる。架台の位置再現性測定にはレーザー変位計を用い、偏向電磁石に別途ねじ

止めされたアルミ板を媒介として、測定対象である偏向電磁石の側面2箇所及び下面1箇所の動きを読み取る<sup>[3]</sup>。変位計1はレール方向(正面方向とする。)を、変位計2は側面の距離(側面方向とする)を、また変位計3は垂直方向を読み取る。それぞれの測定精度は変位計1, 2が0.2 $\mu\text{m}$ 、変位計3が1.0 $\mu\text{m}$ である。レーザー変位計は図4に見られるように、電磁石の長期安定性の測定を行うため、白御影石による変位計用の台座に設置されている。

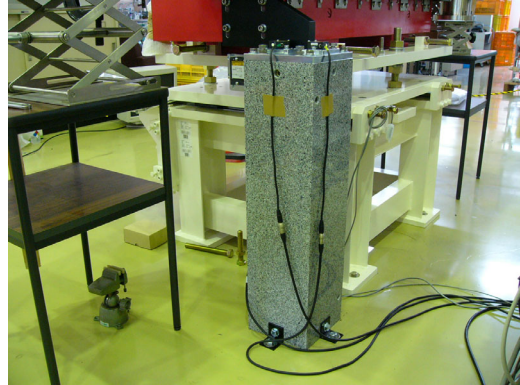


図4 変位計及び白御影石の台座。(写真)

#### 3.2 架台の位置再現性の評価

まず、レールガイド脱着時の架台の位置再現性を調べた。架台留めねじを外し、架台のレールガイドを外した後、再度ガイドを取り付ける。その後、偏向電磁石をレールに沿ってレールガイド上を末端まで動かし、元に戻し、その時戻った時の位置を変位計1, 2で読み取る。それを10回行い、位置再現性のデータの取得を行った。ただし、留めねじの締め具合により位置再現性が異なることを避けるため、トルクレンチにてねじのトルクを変えながら締め込み具合の調整を行う。図5、図6、図7が測定結果である。図5はレーザー変位計1での測定データ、図6は変位計2でのデータ、図7は変位計3でのデータを表す。

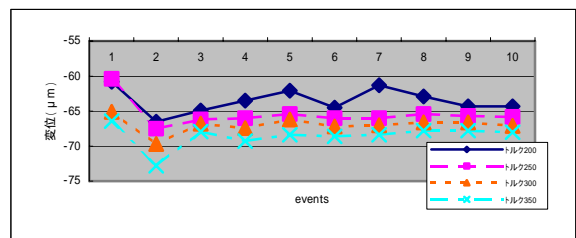


図5: 架台位置再現性測定(正面方向)

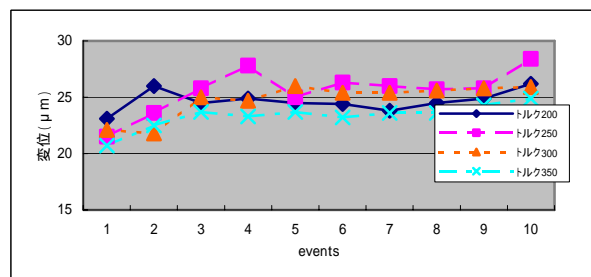


図6: 架台位置再現性測定(側面方向)

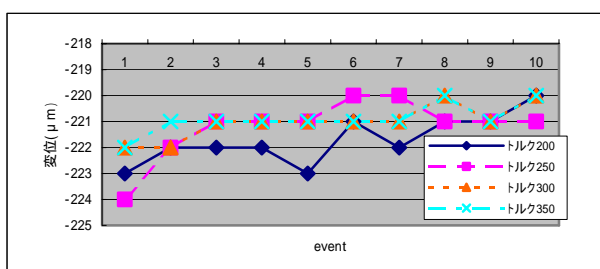


図7：架台位置再現性測定（垂直方向）

縦軸は変位を表し、横軸は回数を表す。トルクを200kgf・cmでまず締め込み、そこから更に250、300、350と締め込んだ後、ねじを外す。従って、図5に見られるように、10回測定したすべてのデータは、正面方向を締め込んだ分変位が減っていることを示している。ここではトルク200kgf・cmのデータに注目し、その10回分のデータを見ると、1回目の初期位置に対し、位置再現性は $\pm 3 \mu\text{m}$ 以内に収まっているのがわかる。また図6の側面のデータ、及び図7の垂直方向でのデータでは、トルクによる違いはなく、トルク200kgf・cmのデータを見ると位置は平均して $\pm 1 \mu\text{m}$ の再現性を見せている。特に、この実験中、レールガイドの取り外し後における電磁石の移動は重さ3.5tもあるにも関わらず、取り付け誤差を気にせず、スムーズに動いたことは、特筆すべきことであった。

### 3.3 架台の長期安定性測定

架台に取っもう一つ重要な点は、経年変化なくいかに変動せず、安定に設置できているかということである。その安定性を見るために、再現性同様の試験測定を行った。この状態でほぼ60時間以上測定を行った。図8が、その結果を示している。測定開始した時刻は、夕刻の16:00からである。

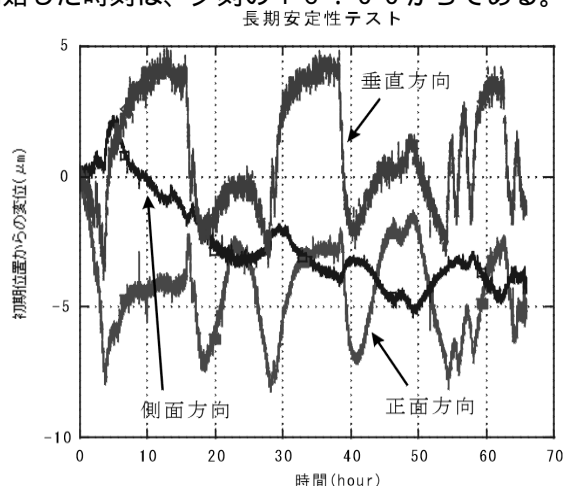


図8：長期安定性の測定結果

測定直後はねじの締め付けなどの緩和による変化が見受けられるが、その後7時間くらいしてから $1 \mu\text{m}$ 以下の安定性した領域が見受けられる。その後、15時間以降に急激に変化が見られた。これは同時

に測定していた温度モニターの変化と追従しており、空調システムの断続的な温度変化によるものであることが、後で判明した。温度変化は2度くらいである。図8より、その変化は垂直方向で $5 \mu\text{m}$ くらいと見受けられる。ただし、側面に関しては直接温度との相関は見受けられなく、3日で $5 \mu\text{m}$ のゆっくりとしたドリフトが見られた。この原因は今までの経験から日照による建屋の変形なども考えられる。これらのデータから、温度変化のない夜中では、 $1 \mu\text{m}$ 以下で非常に安定していることが読み取れる。

### 3.4 チェンバーの引き出し

上記2つの測定のほかに、実用性を考慮し、チェンバー設置時における引き出し実験を行った。図9が引き出した状態を表す。チャンバーと電磁石の間は上下0.5mmしか開いていなかったが、チャンバーと電磁石は接することなくガイドレールにより電磁石をスムーズに移動させることが可能であった。

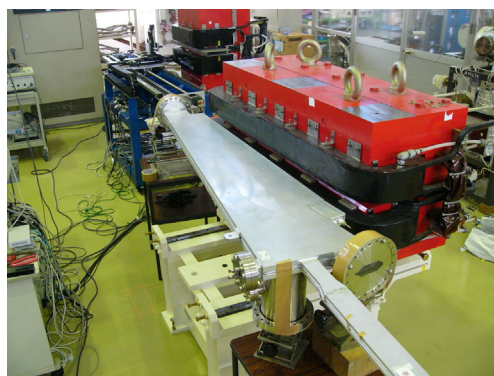


図9：チャンバー引き出し時の様子。（写真）

## 4. まとめ

脱着式ガイドによる可動式偏向電磁石の架台の評価を行った。移動の再現性は $\pm 3 \mu\text{m}$ 以内であった。また長期的な安定性は $5 \mu\text{m}$ 程度であり、特に温度変化が小さい場合は $1 \mu\text{m}$ 程度で安定であることがわかった。作業性の面においても、レールガイド取り外し時、及びチェンバー取り出し時でも、スムーズな作業が行えることがわかり、実機として十分な性能を有することが判明した。

## 5. 謝辞

本研究の遂行にあたり、東京電子田中猛氏には設計に協力頂いた。また、東大物性研軌道放射物性研究施設、柿崎明人施設長にご支援頂いた。この場を借りてお礼申し上げます。

## 参考文献

- [1] 高木宏之（加速器仕様策定ワーキンググループ），「極紫外・軟X線高輝度光源計画」、本研究会
- [2] THK株式会社，「直動システム総合カタログ」
- [3] キーエンス株式会社，LK-010シリーズ