

[P 30–15]

Fine Alignment of Magnets on Mover Table for the ATF Damping Ring

M. Takano, Y. Funahashi^a, S. Araki^a, T. Matsui^b, J. Urakawa^a

Toho University

2-2-1 Miyama, Funabashi, Chiba 275, Japan

^a KEK, National Laboratory, for High Energy Physics

1-1 Oho, Tsukuba, Ibaraki 305, Japan

^b E-CUBE Co., Ltd.

5988-8 Hino, Hino-shi, Tokyo 191, Japan

ABSTRACT

The ATF damping ring is under construction at KEK. The arc section consists of 36 active support tables. To obtain a low emittance vertical positions of magnets on these tables need to be aligned within 60 μm . We finished positioning magnets on 14 tables using a 3D mobile tracking system. These magnets were aligned within 31 μm .

ATF ダンピング・リング用位置制御架台上における電磁石の精密設置

1. はじめに

高エネルギー物理学研究所では電子・陽電子衝突実験用線型加速器のための試験加速器(ATF)を建設している。ATFは1.54 GeV インジェクター・ライナック、低エミッタンス・ダンピング・リングとそれらをつなぐビーム・トランスポート・ラインから成る。現在はビーム・トランスポート・ラインまで完成していて、ダンピング・リングを建設中である。

ダンピング・リングは高周波空洞やウイグラー電磁石などを含む直線部と偏向電磁石、四極電磁石、六極電磁石などを含む曲線部から成る。煩雑なバンプ・チューニングなしで目標とする低エミッタンスのビームを得るためにはこれらの電磁石を約60 μm の位置精度で設置しなければならない。ここでは曲線部の電磁石の精密設置についての方法とその結果を報告する。

2. 曲線部電磁石の架台

ATF ダンピング・リングの曲線部は36台の位置制御架台で構成されている。それらのうちの標準的な位置制御架台には図1に示すように1台の偏向電磁石(BEND)、一対の四極電磁石(上流からQ1とQ2)、一対の六極電磁石(上流からSDとSF)、一対の補助電磁石(上流からSTHとSTV)を載せる。

2.1. 曲線部用位置制御架台^[1]

位置制御架台は基礎底板、位置調整機構、電磁石支持用定盤から成る。定盤は2310 mm × 800 mm × 30 mm厚のステンレス鋼の上板を逆T字型の梁で補強してある。この定盤はそれぞれ異なる連結機構を持つ3台の位置調整機構によってビーム上流側で2点と下流側1点で基礎

底板の上に支えられている。ビーム下流側の位置調整機構は定盤の支点をビーム方向(Z方向)と動径方向(X方向)に、ビーム上流側の位置調整機構はX方向にそれぞれ±20 mmだけ移動させることができる。これによってヨー(Y軸回転)を変化させることができる。また各位置調整機構は定盤の支点の高さ(Y方向)を独立に±20 mmだけ変化させることができる。これによってロール(Z軸回転)とピッチ(X軸回転)を変化させることができる。これらの位置調整機構はパルス・モーターによって駆動する精密ボールねじを使用しており、位置調整は2 μm 以下の精度で制御できる。

各電磁石は定盤上に固定された、それぞれの間位置調整架台の上に取り付けられる。中間位置調整架台などの取り付け穴は定盤の動径方向内側の辺と下流側の辺を基準にして位置決めされている。

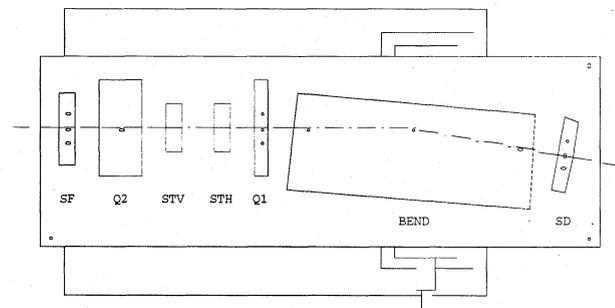


図1. 定盤上の電磁石の配置.

2.2. 中間位置調整架台

中間位置調整架台は3本の細目ねじ(0.5 mmピッチ)で定盤からの高さとロール、ピッチを調整することができるようになっていて、スプリング・ワッシャーを通し

た別の3本のボルトで定盤に固定する。中間位置調整架台上的電磁石はマイクロ・メーター・ヘッドでZ方向とX方向の位置とヨーを調整した後ボルトで中間位置調整架台に固定する。

偏向電磁石の中間位置調整架台は6本のターンバックルを用いている。3本のY方向のターンバックルで高さと同軸、ピッチを調整することができる。これらのターンバックルは1回転当たり3mm伸縮する。2本のX方向のターンバックルでX方向の位置とヨーを、また1本のZ方向のターンバックルでZ方向の位置を調整できる。これらのターンバックルは1回転当たり0.5mmだけ伸縮する。

3. 曲線部電磁石の設置方法

バンク・チューニングなしの場合、 $\epsilon_x = 3 \mu\text{m}$ 、 $\epsilon_y = 30 \text{ nm}$ の規格化エミッタンスを達成しようするとき曲線部電磁石の設置誤差の許容範囲は95% CLでX方向に対しては $\sigma_x = 90 \mu\text{m}$ 、Y方向に対しては $\sigma_y = 60 \mu\text{m}$ 、傾斜に対しては $\sigma_\theta = 0.2 \text{ mrad}$ であると推定されている^[1]。このような設置精度を実現する簡便な方法として三次元計測器を用いた精密設置を試みた。

3.1. 三次元計測器^[2,3]

三次元計測器としてLeica SMART 310を用いた。SMARTはレーザー干渉計、回転鏡とそれを回転させる2軸のサーボ・モーターとエンコーダー、位置検出器などで構成されている。回転鏡によってSMARTはレーザー・ビームを任意の方向に送ることができ、そのレーザー・ビームは、入射角に平行な反射角でレーザー・ビームを反射する反射プリズムでSMARTに送り返される。反射されて来たレーザー・ビームのずれを位置検出器によって検出して、レーザー・ビームがいつも反射プリズムに入射するように回転鏡を制御する。

こうしてSMARTはレーザー干渉計によって反射プリズムまでの距離を計測し、2軸のエンコーダーによって天頂角と方位角を測定する。角度分解能は0.7 sec、距離分解能は1.26 μm である。静止している反射プリズムに対する位置測定の精度は $\pm 10 \text{ ppm}$ である。

SMARTのアプリケーション・プロセッサの機能として、極座標系で表現された計測値を直交座標系に座標変換することができる。また測定点のうちの任意の3点で直交座標系を定義し、計測値をそれに座標変換することもできる。計測中の座標を連続的にモニターに表示することができるので精密設置作業のときに便利である。

3.2. 設置手順

磁極と真空チェンバーの隙間は設計上1mmなので、真空チェンバーを挿入するために0.1mm程度の精度で電磁石を位置制御架台上に設置する。四極電磁石と六極

電磁石を上下に二分割し、偏向電磁石はジャッキで定盤から持ち上げて、真空チェンバーを挿入する。各電磁石を復元した後、SMARTを用いて電磁石の精密設置を行う。できるだけ短期間に36台の位置制御架台に電磁石を設置したいので、初期設置と精密設置を並行して行えるようにした。ただしSMARTは大変高価なため1台しかないので精密設置にのみ使用する。

3.2.1. 電磁石の初期設置

真空チェンバー組み込み前までの電磁石の設置にはテイルテイング・レベル(TOPCON, SOKKISHA)、マイクロ・アライメント・テレスコープ(Taylor-Hobson)またはセオドライト(TOPCON)、気泡管、ストレート・エッジ、ノギスなどを用いる。以下にその手順を示す。(1)定盤の動径方向内側の上流端と下流端の2箇所と外側の上流端に1箇所にターゲット・ホルダー設置用穴があり、これら3箇所にターゲット・ホルダーを設置する。ターゲットをホルダーに置き、テイルテイング・レベルで床からの高さを計測しながら定盤上面の高さが770mmになるように位置制御架台を動かす。床面は必ずしも水平にはなっていないのでひとつのターゲット位置を基準にして他の2点はそれに合わせる。(2)天井にピアノ線を張り、そこから定盤の上流端と下流端に錘球を下ろす。定盤の動径方向内側の辺から490mmの位置に錘球が来るように位置制御架台を水平方向に動かす。(3)各電磁石の上には基準面が設けられていて鉛直中心軸上にターゲット・ホルダー設置用穴があり、設計上、それぞれに専用のターゲット・ホルダーを設置することによってターゲットの高さが定盤上面から805mmで揃うようにしてある。四極電磁石(Q1)と六極電磁石(SDとSF)の基準面には動径方向内側と外側にも中心から $\pm 60 \text{ mm}$ 離れたところにターゲット・ホルダー設置用穴がある。また偏向電磁石にはビーム軌道にターゲット・ホルダー設置用穴が3箇所あり(上流からB1, B2, B3)、それらはB2を頂点とした角度170°の二等辺三角形を成す。テイルテイング・レベルでターゲットの高さを計測しながら中間位置調整架台の高さを調整する。同時に気泡管を用いて基準面を水平にする。(4)ピアノ線の真下にマイクロ・アライメント・テレスコープまたはセオドライトを設置する。B2, B3, Q1, Q2, SFに設置したターゲットがビーム軸に平行な直線上に並ぶように、中間位置調整架台に取り付けてあるマイクロ・メーター・ヘッドで各電磁石をX方向について位置調整する。Z方向についてはターゲット・ホルダー間の距離をノギスで測って位置調整する。(5)上流側の六極電磁石(SD)と偏向電磁石のB1とB2にそれぞれターゲット・ホルダーを設置して、B1とB2にストレート・エッジを押し当てながらSDの位置調整をする。以上により真空チェンバー組み込み前までの電磁石の初期設置が終了する。

3.2.2. 電磁石の精密設置

真空チェンバーを挿入し、復元した後の電磁石の精密設置には三次元計測器、ティルト・レベル、気泡管などを用いる。その手順は以下の通りである。(1) 定盤上の基準3点の高さをティルト・レベルで確認し、必要であれば位置制御架台の高さが揃うように再度調整する。これらの基準3点について SMART で位置を測定する。これらの測定点で定盤の座標系を定義する。

(2) 専用のターゲット・ホルダーを用いて電磁石の基準面に反射プリズムを設置する。定盤の座標系に座標変換した SMART の計測値をモニターに表示し、それを見ながら中間位置調整架台の高さを調整する。同時に気泡管を用いて基準面を水平にする。(3) 同様にして X 方向と Z 方向の位置を調整する。

4. 曲線部電磁石の設置結果

電磁石の設置作業にかかる時間は、初期設置にはおよそ2人で6時間ほどかかる。真空チェンバー組み込みには4人で2時間程度かかる。また電磁石の精密設置には2人で8時間程度かかる。初期設置と精密設置は同時にそれぞれ別の位置制御架台の電磁石について行うことで全体的にはおよそ1日1台分の位置制御架台が仕上がるようになった。

電磁石を位置制御架台上に精密設置した後、SMART で定盤上の基準3点と各電磁石の基準点の位置を計測した。これまでに精密設置した14台の位置制御架台上的電磁石の各基準点の設計上の位置からのずれを図2と3に示す。図2は X 座標と Y 座標に関する設計値からのずれを示している。X 座標についてのずれの分布の RMS は $31\ \mu\text{m}$ 、Y 座標に関しては $26\ \mu\text{m}$ であった。また Z 座標については図3に示した。Z 座標に関する設計値からのずれは $33\ \mu\text{m}$ であった。

5. まとめ

位置制御架台上的電磁石の初期設置と SMART を用いた精密設置の方法を確立し、1日に位置制御架台1台分の電磁石の精密設置が可能になった。精密設置の精度は SMART で計測した基準点の Y 座標に関しては $31\ \mu\text{m}$ 、X 座標に関しては $26\ \mu\text{m}$ であり、バンプ・チューニングなしで低エミッタンスを達成しようとするときの設置誤差の許容範囲内で電磁石を設置できた。

電磁石を精密設置した位置制御架台をビーム軌道上の決められた位置に移動した後、また配線や配管を施した後、設置位置がどのように変化するかはこれから調査する。

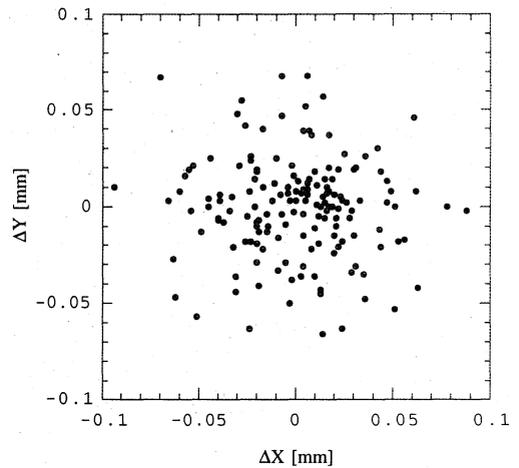


図2. X座標とY座標の設置誤差。

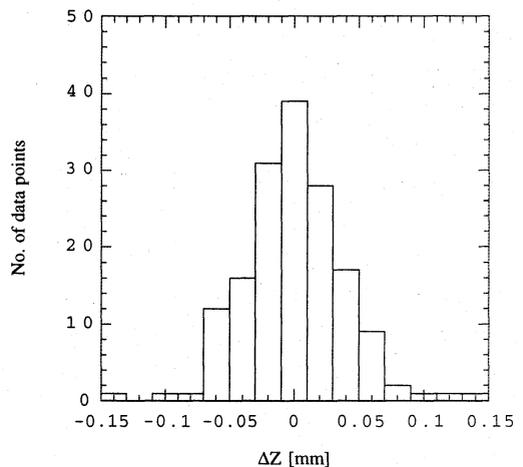


図3. Z座標の設置誤差

謝辞

電磁石の設置作業などに当たりご協力していただいた ATF グループの皆様と (有) E-CUBE の松井隆明氏、(有) 双葉工業の串田和宏氏、芝崎一郎氏に心より感謝いたします。

参考文献

- [1] F. Hinode et al., KEK Internal 95-4 (1995).
- [2] Leica, SMART310 How to use (U2-248-0EN III.95).
- [3] Leica, SMART310 Hardware Guide (U2-259-0EN III.95).