

Magnet installation and alignment for the Fuji Test Beam Line at KEKB

Yasunobu Ohsawa, Kazumi Egawa, Mika Masuzawa
KEK

1-1 Oho, Tsukuba, Ibaraki, 305-0801

Abstract

Since the 12 GeV Proton Synchrotron ended its operation in March 2006, a GeV-class beam line for testing detectors was desired by the physics community in Japan, at least until J-PARC [1] is completed. A decision to build a new beam line, which uses the electrons circulating in the KEKB [2] ring, was made. The bremsstrahlung photons generated by the interactions of the electrons and the residual gas in the vacuum pipe are brought to a tungsten target to generate e^+e^- pairs. The electrons are then guided to the outside of the KEKB tunnel to the Fuji experimental hall by a new beam line, which has 8 dipole magnets and 4 quadrupole magnets. Due to the limited space available for extracting the beam from the KEKB tunnel, the beam line was designed to have a roller-coaster structure, with all magnets rotated in all three rotational angles, at angles of up to 40 degrees. The installation and the alignment of the FTBL magnets, which was completed during the summer shutdown of 2007, is summarized in this report.

富士テストビームライン電磁石据え付け及びアライメント

1. はじめに

2006年3月の12GeV陽子シンクロトロンシャットダウンによりGeVクラスの測定器テスト用のビームラインが国内から消えてしまった。新ビームライン建設への強い要望を受けて富士テストビームライン建設プロジェクトが立ち上がった。この新ビームラインはKEKB加速器の4カ所ある直線部のうちのひとつ、富士直線部から富士実験室側へビームを導き出すことからFuji Test Beam Line (FTBL) と命名された。FTBLではまず富士直線部で8GeV電子ビーム(HER)と真空ダクト内の残留ガスとの衝突で出てくる制動放射 γ 線をFTBL用に新規製作した窓付き真空チャンバーより大気中に取り出す。次にこの γ 線を金属標的に当て電子・陽電子シャワーを作りその電子をKEKB加速器トンネルから測定器テスト用ステージのある富士実験室側に導くものである。2007年夏のシャットダウン時に建設作業が行われ、9月に完成した。本論文ではFTBL電磁石据え付け及びアライメントについて報告する。

2. FTBL概要

KEKBは一周3kmの衝突型加速器であり上からみて時計回りに8GeV電子ビーム(HER)、反時計回りに3.5GeV陽電子ビームが周回する(図1)。衝突点と反対側にある富士直線部でHER/LERの2つのビームパイプが交差(LERが下側をくぐる)するがFTBLはこの交差部の下をくぐってトンネル外、更に富士実験室側へ出る(図2)。KEKBの狭いトンネル内でGeVクラスのビームを急激に曲げる為には強い磁場を発生する偏向電磁石が必要となる。しかもこの偏向電磁石は既存のLERビームパイプの下をくぐりかつトンネルのコンクリートシールドと干渉しないよ

うにコンパクトな構造にしなければならない。コスト削減の為大部分の電磁石と電源については再利用するか或は予備品を使ったが交差部をくぐる偏向電磁石3台については前述の条件を満たすものが無かったので新規製作となった[3]。

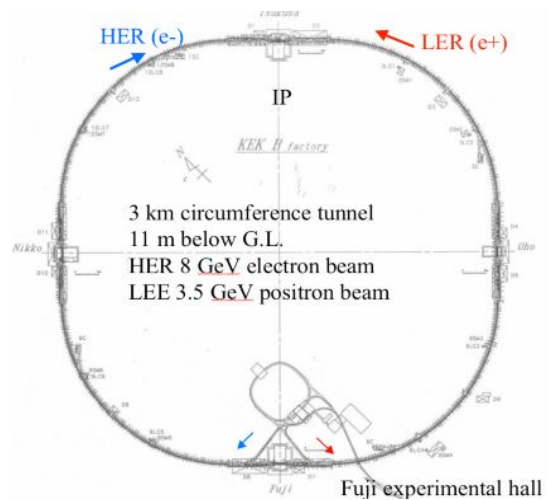


図1 KEKB加速器

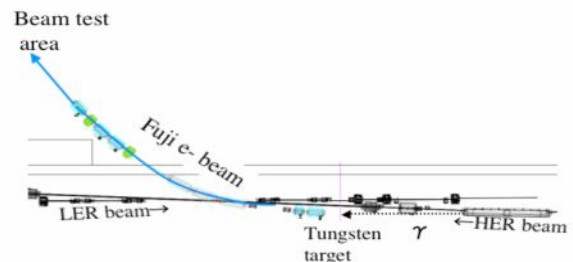


図2 FTBL top view

各電磁石の配置を図3に示す。FTBLは偏向電磁石

8台、四極電磁石4台の計12台の電磁石から成っている。電磁石を置くスペースが限られているため本来垂直、水平方向に機能を分離させて設置される電磁石を3次的に角度を付けて置くビームライン設計となった。

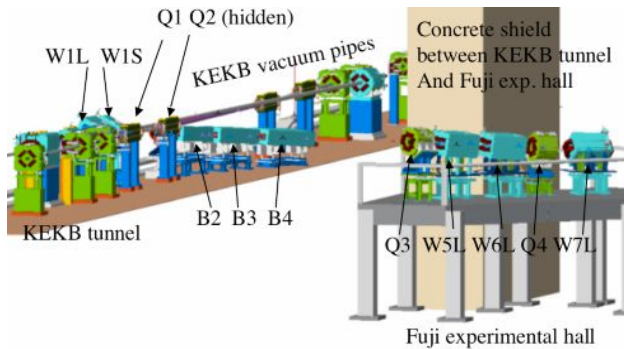


図3 FTBL 電磁石とその配置。

3. 建設工程

FTBL建設工程はトンネル外作業（プリアライメント）とトンネル内作業に分かれた。トンネル内作業には（1）レーザートラッカーを用いKEKB四極電磁石基準面座標を基にしたビームラインの野書き、（2）KEKBトンネルと富士実験室を分けるコンクリートシールドに開ける穴の位置決め、（3）電磁石架台の設計（図面）を基にしたアンカーボルト位置決め、（4）アンカーボルト打設、（5）電磁石据え付け、（6）電磁石アライメント、（7）冷却水システム及び電源繋ぎ込み、がある。工程（1）と（2）については2週間に1度のKEKBメンテナンス日を利用してシャットダウンに入る前に行なった。以下まずトンネル外作業のプリアライメントについて述べ、次に（4）のアンカー打設、（5）と（6）の電磁石据え付けアライメント工程について述べる。

3.1 新しい基準面の取付けとプリアライメント

トリスタンやKEKB加速器では磁石は水平に置かれるのでアライメント用の基準面もそれを前提に製作されている。この場合は電磁石のビーム軸方向に2つある基準面に測量用ターゲットを置き、水平方向はセオドライトやレーザートラッカーで、高さ方向はレベル（ライカ社製N3）で測量する。電磁石の傾きについては基準面に水準器（カールツァイス社製）を置いて水平出しを行うのが従来の手法である。しかし、FTBLはジェットコースターの様な軌道であることから電磁石も水平ではなく大きく傾きを持って設置される。従って水準器やレベル計等の目視型の光学系のアナログ機を使用する従来の手法は使えない。そこでレーザートラッカーで電磁石の3点を測定しその座標から電磁石の3次的傾き（電磁石平面の傾き）を求める方法をとることにした。この為には従来の2つの基準面に加えて新たに基準面を設けて3点を作る事、及び3つの基準点の相対関係

を予め測定しておく事が必要となる。3つの基準点の位置を測定した後に各電磁石所定の傾斜を予め付けて製作した傾斜架台[3]に対応する電磁石を載せる。3つの基準点をレーザートラッカーで測量しながら3点でつくる平面の傾きが所定の角度になるように高さ調整ボルトを微調整する（図4）。またこの所定の傾斜になった状態で傾斜架台に基準面2つを新たに取付け水準器で水平を確認できる様にした。つまりこの架台の基準面を水平になるようにすれば上に載っている電磁石の傾きが所定のものになるという仕組みである。ここまでの作業をトンネル内での本アライメントに対してプリアライメントと呼んだ。プリアライメントは当初はKEKB稼働中に済ませてしまう予定であったが諸工程の遅れにより7月上旬の作業となった。



図4 プリアライメント

3.2 アンカー打設

電磁石は図3にある様に7台がKEKBトンネル内のコンクリート床に、残り5台が富士実験室側にFTBL用に新しく作られた鉄骨のステージ上に設置される。レーザートラッカーを使い床面に据え付け場所のポイントを打ち寸法だしをした。将来FTBL電磁石が撤去される可能性も考え、床のコンクリートと架台とを固定するボルトには、ケミカルインサートアンカーを使用し、ボルトを抜いてしまえば床面がフラットに戻る様に考慮した。ケミカルインサートアンカーを植え込むために、床のコンクリートのコア抜きが必要である。鉄筋を避ける方法として超音波探査をして鉄筋を躲す方法があるが使用本数を考えると、鉄筋に当たってしまった場合は近傍にもう1本追加する方法をとる方が安価で且つ強度も保たれる事から、今回は鉄筋探査の工程を省いた。図5で示す様に、今回のケミカルインサートアンカーは、KEKBと同じくコンクリートの鉄筋部の深さまで植えることにした。床のコンクリート構造は、上部150mmまでは後打ちコンクリートで鉄筋が入っていない。下層の鉄筋層までアンカーを植えるために必要なアンカー長は320mmとなった。この作業では、9本鉄筋

に当たってしまったので7台の電磁石に対するアンカー使用数は計49本となった。

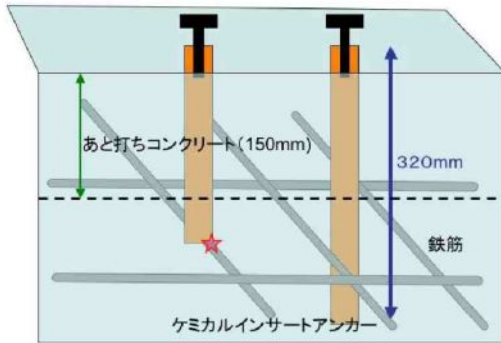


図5 アンカーと鉄筋



図6 FTBL全体

3.3 電磁石据え付け・アライメント

ビームラインを床に野書きコンクリートシールド側面にビームが通る穴の位置を印した後にシールドを撤去した。またKEKB真空チェンバーの一部も撤去しレーザートラッカーでFTBL全体が見通せる様にした。アライメント手順は、(1)まずレーザートラッカーをセットしKEKB既設四極電磁石(その座標は既知)を数台測量する、(2)これらの電磁石のトラッカー座標とKEKB設計座標を比較することにより両座標系間の変換係数を求める、(3)トラッカー座標系における電磁石設置目標値を計算し電磁石を測量しながら位置調整ボルトで目標値との誤差が許容範囲に入るまで位置の微調と測量の一連の作業を繰り返す、である。最終的には設置誤差許容範囲に収めることが出来た[4]。一連の作業が終了しコンクリートシールドが復旧されるとKEKBトンネルから実験室側を見通すことが出来なくなり実験室側からはFTBLの基準になるKEKB電磁石を見る事が出来なくなってしまう。FTBLコミッション後に再測量・再アライメントが必要となる場合に備えて新たなレーザートラッカー用基準点を実験室側にも作りKEKB四極電磁石との位置関係を測量しておいた。これを使えばKEKBとFTBL実験室側の電磁石の位置関係を何時でも確認することができる。

4. FTBLコミッショニング

9月にFTBLが完成し(図6)コミッショニングに備え各電磁石の出入り口にはシンチレーションカウンターが取付けられた。これらのカウンターでFTBL上流からビームを調整すべく秋のKEKB運転再開を待った訳であるが、2007年10月12日に各電磁石の電流をセットしたところ直ちにビームライン最下流でビームを確認した[3]。図7は初めてビームを確認した時のオシロスコープの画面である。FTBL複数箇所に仕掛けたカウンターのコインシデンス信号(上)とビームライン最下流に置いた鉛ガラスからのパルス(下)が同期して観測された。

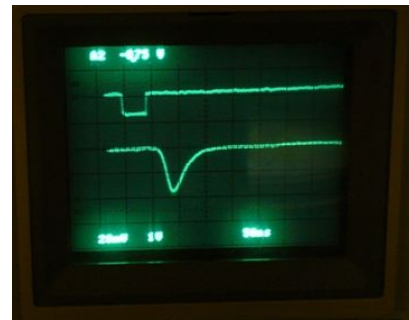


図7 初ビーム観測

5. まとめ

FTBLでは設置スペースが限られていたこともあり電磁石がビーム軸方向のみならずビーム垂直方向にも大きな傾きを持つ設計となった。このため従来の光学系の測量器機を使った目視によるアライメントが出来ずレーザートラッカーの数字と計算値のみに頼らざるを得なかった。またビーム軌道微調整用のステアリング電磁石がないのでビームが通るかどうかは一発勝負であった。工程的にも厳しかったがKEKB建設を経験した熟練作業者との密な連携により全作業を無事終了する事が出来た。無調整でビームを最下流まで通すことが出来た事は今後への我々の自信となった。この場を借りて建設に携わった多くの方々のご努力とご支援に感謝したい。

参考文献

- [1] <http://j-parc.jp/Acc/en/index.html>
- [2] KEKB B-factory design report, KEK Report 95-7, August 1995.
- [3] 江川一美, 「富士テストビームライン (FTBL) (2) -その建設-」 加速器学会誌 4 巻 4 号 2007p 318-325.
- [4] Mika Masuzawa, et al. "Magnet installation and alignment for the Fuji Test Beam Line at KEKB", Proceedings of the 10th International Workshop on Accelerator Alignment in Japan, Tsukuba, Feb. 11-15, 2008