

# MONUMENT SET FOR KEKB MR TUNNEL SURVEYING NETWORK

Yasunobu Ohsawa and Mika Masuzawa

KEK

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

## Abstract

A new set of monuments was installed for the SuperKEKB project. SuperKEKB is a next-generation B-factory which uses the same tunnel as KEKB. Many magnets will be replaced or relocated for SuperKEKB in order to realize collisions with extremely small beams. Placing survey monuments in the accelerator tunnel, which was built three decades ago, was not an easy task for many reasons, as will be discussed in this report.

## KEKB MR 測量網構築用モニュメント設置

### 1. はじめに

KEKB は周長約 3km の旧トリスタン加速器トンネルに電子(8GeV,HER)・陽電子(3.5GeV,LER)の二つのリングを並べた衝突型加速器である。KEKB は 1998 年に運転開始して以来、小林・益川理論を実験的に証明する等の大きな成果をあげ、2010 年 6 月 30 日に運転を終了した。現在ルミノシティーを更に大幅に上げる計画(SuperKEKB 計画)が検討されている<sup>[1]</sup>。この SuperKEKB ではビームエミッタンスを絞るために電磁石の入れ替え、並べ替えを行う予定である。限られた建設期間で効率・精度良く多くの電磁石を据え付け・アライメントする為には測量網を予め構築しておくことが有効である。今回測量網を作る上で必要となるモニュメントの設置方法、作業及びモニュメントに置くターゲットについて報告する。

### 2. 電磁石の据え付け

トリスタン建設では、トンネル床面のモニュメントを基準に電磁石の位置出し・据え付けを行い、更にインバール線、レベル計、水準器を使って各々の電磁石の精密アライメントを行った。

KEKB 建設では、レーザー 3 次元測定装置 (以降レーザートラッカーと呼ぶ) を導入しレベル計との併用によって 3 次元アライメントを行った。電磁石据え付けの際には、あらかじめトンネル内壁 (通路側) に移しておいたトリスタン四極電磁石の高さと床面のモニュメントを基準とした。次に、図 1 の様に、KEKB 電磁石をリング一周測量しながら調整を行うという作業を繰り返すことによりアライメント精度を上げて行った<sup>[2]</sup>。

SuperKEKB では予めトンネル内に測量網を構築 (座標系を決定) し、その座標に基づいて電磁石を設置することを考えている。測量網が既に精度良く構築されていれば、アライメントを収束させる作業が省けアライメント全体の時間を短縮することができる。測量網の精度を上げるためには基準点の配置



図 1 : KEKB アライメント風景

に工夫が必要である。次のセクションでは測量網構築用モニュメント設置について述べる。

### 3. 測量用モニュメントの製作

今回の測量網では、リングを囲むように四角形が連続する形で網を構築する。四角形の一辺を約 8 m とし、その間隔でリングの外側壁面と内側壁面に基準モニュメントを設置していく。このモニュメントは、その上に置くターゲットの形状や大きさを考慮して設計する必要がある。KEKB では Leica のレーザートラッカーを 2 台使用して電磁石のアライメントを行なった。因にこの時は 75 mm コーナーキューブ、キャッツアイをターゲットとして使用していた。しかしこれらのレーザートラッカーに老朽化が見られ、更に一部故障してしまった事もあり、今回新規にレーザートラッカーを購入する決断をした。新レーザートラッカーは今まで使用していたタイプのターゲットに対応していない為、新たに 1.5 インチターゲット対応のモニュメントを組み込んだ測量網を作る事にした。

# ohsaway@post.kek.jp

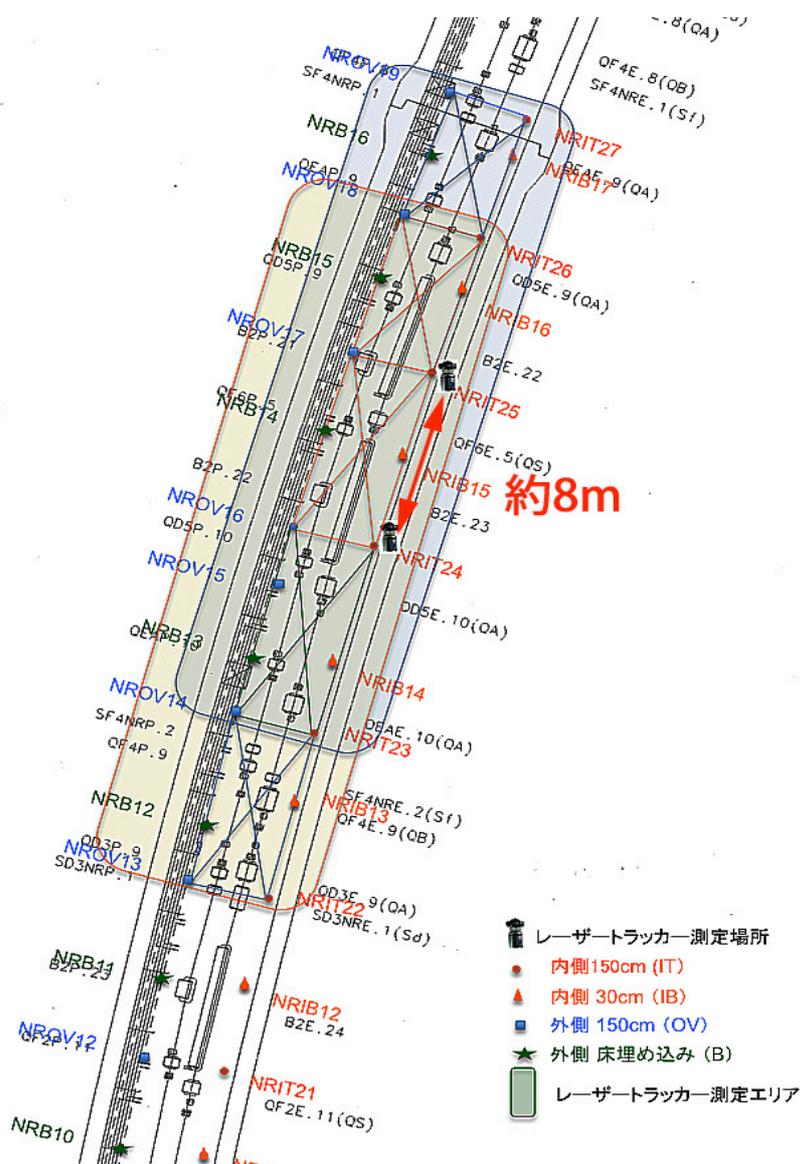


図2：測量網とレーザートラッカー

レーザートラッカーを使った測量では図2で示す様に、測量網 8m 間隔で作られる四角を両側で4つ分の約32mを1回の測定エリア（1ステーション）とした。一回で8m移動するので隣のステーションとのオーバーラップは24mとなる。

### 3.1 リング内側のモニユメント

トンネル内側の壁面高さ約1.5mに8m間隔で、HUBBS社のターゲットホルダーを取付けた。これは、HERの4極マグネットの基準面より160cm高い位置に対応する。取り付けはHUBBS社のターゲットホルダーの中心の穴にステンレスコンクリート4mmネジを入れて固定しネジの回りの回転を防ぐためにさらにエポキシ系接着剤で直接コンクリート面に固定をした。このモニユメントの総称としてIT(Inner Top)モニユメントとした。トンネル全体でこのITタイプを約350個設置した。また、隣り合うITモニユメントの間にも高さを変えた(床面より高さ30cm)モニユメントを作った。このモ

ニユメントの総称としてIB(Inner Bottom)モニユメントとした。IBモニユメントの総数は約270個になった。このITとIBの両タイプを用意することで測量網に立体的なバリエーションを持たせた。

### 3.2 リング外側のモニユメント

設置するにあたり一番問題に成ったのは外側のモニユメント設置法・場所である。このKEKBのトンネルそのものが何十年も前の発想で作られておりトンネル内の適当な場所には十分な測量モニユメントを設置するような場所が確保されていない。更にトリスタン、KEKB、SuperKEKBと3世代の加速器で再々利用されるため、例えば、トンネル外側には、ケーブルラックや冷却水配管が既にあり、それらが邪魔になるため直接コンクリートの壁にターゲットホルダーを取り付けモニユメントとする事は不可能である。そこで止むを得ず8m間隔の冷却水配管のラックに固定することにした。このラックは、鉄の130×130mm(t15)と100×100mm(t10)アン

グルの溶接構造で、ケミカルアンカー(M12) 8本で床と壁のコンクリートから固定されたものである。ただ冷却水増強工事の際にこの冷却水配管ラックが撤去され新しいものに置き換えられる可能性もあることからラック上のターゲットホルダーにはステンレス厚座金をエポキシ系接着剤で固定した安価なものにし、あくまでも外側モニUMENTの補助点とすることにした。このモニUMENTの総称としてOV(Outer Vertical)モニUMENTとし約300カ所に設置した。

また、IBモニUMENTのリング外側対称点には、冷却水ラックと電磁石の間の床にモニUMENTを埋め込むタイプのもの(図3)を採用した。このモニUMENTの総称としてB(Base)モニUMENTとし約340カ所に設置した。但し、電磁石がトンネル内にある状態ではこのIBモニUMENTそのものを見ることが出来ないのでLeica NL鉛直機を使い見通せる高さまで上げて測量した。



図3：BモニUMENT

### 3.3 各種ターゲット

SuperKEKBでは、レーザートラッカーの1.5インチターゲットを標準に使用する事に決めたので、今まで使用していた75mm用測量アタッチメント類は以下に述べるように全て製作しなおした。製作する測量のターゲットについては、脱着の再現性能が±0.03mm以内である事を仕様とした。

#### 3.3-1 Leica DNA03用ターゲット

測量網のモニUMENTの高さがLeica DNA03で測量できる様に、1.5インチの球面を持ったバーコー



図4：DNA03用ターゲット

ドインバール標尺の製作をした。インバール標尺が垂直にセットされていることを保障するために、小型の水準器を装備した。インバール標尺の背面にはインバールの反りや変形が無い様に背板を添えた。図4・5に示す様に、球面は測定モニUMENTの取り付け状況により、水平にも垂直にも取り付けられる様に、1.5インチベアリングの約1/4をワイヤーカットし、標尺の印刷面が球の中心に成る様な加工を行った。

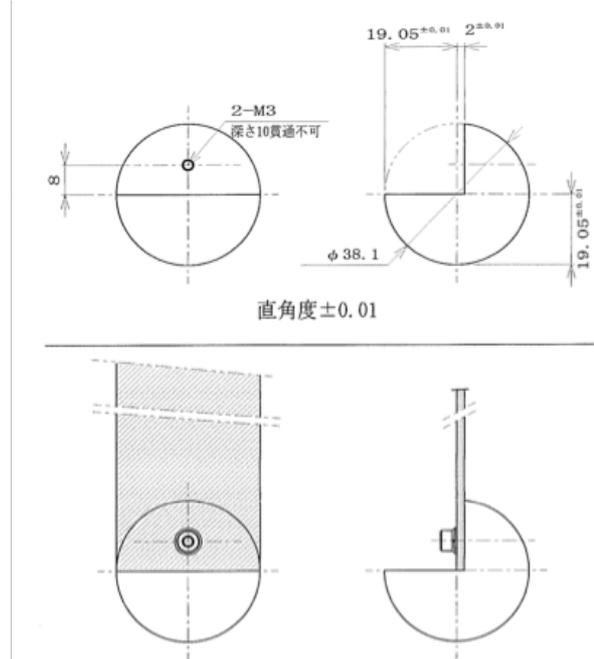


図5：DNA03ターゲット図

このDNA03用ターゲットをモニUMENTにセットする際の再現性については、約2mと8mとの距離に於いてそれぞれ25回ずつ脱着・測量を繰り返して調べた。図6に示す様に、2mではDNA03の測定限界以下のばらつきであった。8m離れて(図7)もばらつきが±0.01mm以下で我々の仕様を十分満たしていることが確認され合格とした。

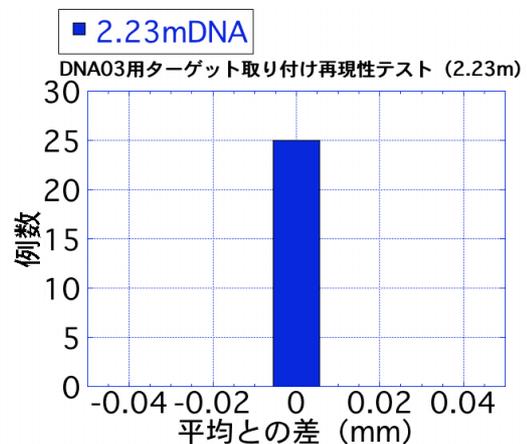


図6：DNA03再現テスト(2.23m)

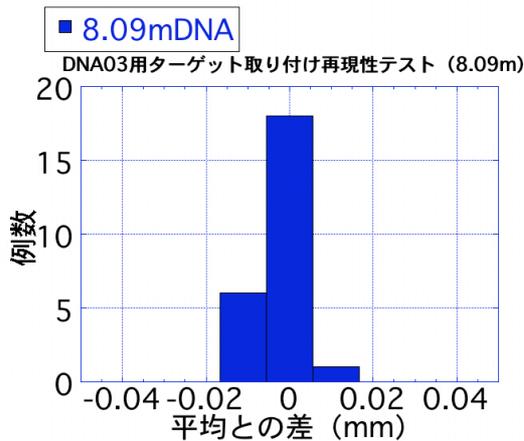


図7：DNA03再現テスト（8.09m）

### 3.3-2 Leica N3 用ターゲット

アナログ光学系（Leica N3）の測量器のメリットはアライメント中の電磁石の動きを随時見ることができる点にある。また視覚的に直ちに確認できるという事は、アライメント作業する側にとっての安心感につながる。図8に示す様に、DNA03 同様に 1.5 インチの球面を持ったスケール標尺を製作した。



図8：N3用ターゲット

DNA03 用ターゲットと同様に、約 3m の距離で脱着を繰り返し、25 回の繰り返し測定を行った。図9に

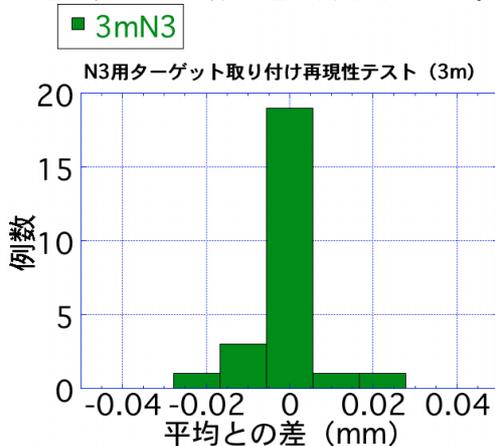


図9：N3再現テスト（3m）

読み取り値をプロットした。ばらつきは DNA03 よりもやや大きく peak to peak で $\pm 0.02$  mm である。これは、値を読み取る際に生じるばらつきが主であると考えられる。脱着の再現性も含めて測定値が $\pm 0.03$  mm を満たすのでこのターゲットを採用することにした。

## 4. まとめ

既存のトンネルの限られたスペースで、なるべく精度が上がるような測量網を構築するためのモニュメントを設置した。トリスタン、KEKB と再利用されているトンネルには既に様々な機器が設置されていてモニュメント設置は容易ではなかった。新規設置のモニュメントと KEBK 電磁石を同時に測量することにより精度の良い測量網の構築が可能になると期待される。

今回トンネル全体におよそ 1300 カ所の新モニュメントを設置した。この新モニュメントと既存の KEBK 主要電磁石群を同時測量するにあたり、費やした時間は 2 チームでおおよそ 2 ヶ月であった。測量時間は測量する点数にも依るが、移動先々でのトラッカーの調整（補正等）にかかる時間も無視できない。

現在測量網の解析が進んでいる。今後この測量網を利用して、電磁石の正確な位置だしを行い設置を行う。SuperKEKB 建設に於ける電磁石アライメントを精度を落とすことなく建設期間内に行える様、今回設置したモニュメントを活用して行きたい。

## 参考文献

- [1] M.Masuzawa.“Next Generation B-factories”, Proceedings of the 1<sup>st</sup> International Particle Accelerator Conference (IPAC10), Kyoto,May 2010
- [2] R.Sugahara. et al., “Installation and Alignment of KEBK Magnets”. Proceedings of the 6<sup>th</sup> International Workshop on Accelerator Alignment (IWAA 1999), Grenoble,October. 1999