

## DEVELOPMENT OF THE POSITIONING SYSTEM FOR FIELD MEASUREMENTS OF J-PARC RCS MAGNETS

Koichi Haga<sup>1,A)</sup>, Norio Tani<sup>A)</sup>, Yasuhiro Watanabe<sup>A)</sup>, Hirohiko Someya<sup>B)</sup>, Toshikazu Adachi<sup>B)</sup>

<sup>A)</sup> Japan Atomic Energy Agency

2-4 Shirakata-shirane, Tokai-mura, Nakagun, Ibaraki, 319-1195

<sup>B)</sup> KEK

1-1 Oho, Tukuba-shi, Ibaraki, 305-0801

### Abstract

We are now performing the magnetic field measurement of J-PARC RCS magnets. We tried various inventive ideas on aligning magnets before performing the magnetic field measurement. In the device, We developed a system to justify which could improve by positioning and work efficiency in high precision with an magnet easily when I aligned a large quantity of magnets. As a result, We were able to plan work efficiency and improvement of measurement precision.

In addition, application of this system will be applied to 3GeV Synchrotron in case aligning magnets.

### J-PARC RCS 電磁石の磁場測定における位置調整システムの開発

#### 1. はじめに

現在、高エネルギー加速器研究機構及び日本原子力開発機構 共同において、J-PARC 3GeVシンクロトロン棟に高精度に設置される電磁石の磁場測定を行っています。

電磁石群は、加速器の中核を占め、目標とする仕様の陽子ビームをコントロールするため、高精度な電磁石の磁場分布測定が必要です。そのため、電磁石の機械中心に対する磁場分布との関係を正確に把握することが重要となってきます。そのためには、当然、磁場測定前の電磁石のアライメントを精密に行う必要があります。そこで今回、多くの電磁石のアライメントを行う時に電磁石を易しく・高精度に位置決め、及び作業効率を向上することが可能な位置調整システムを開発した。また、3GeVシンクロトロン棟に電磁石への据付・アライメント時の際も同時にこれらの位置調整システムが使用・応用が可能となるようにした。

#### 2. 電磁石の低摩擦駆動機構の開発

RCS電磁石は架台及び電磁石本体から構成されている。偏向電磁石本体は6本のジャッキボルトでレベル及び水平を調整している。また、電磁石の横方向の位置決めはジャッキボルト上で電磁石を横向きの大口径ボルト等で押し引き、電磁石を滑らせ、位置決めを行っていた。

今回、電磁石を磁場測定前に最大質量0.37MNの偏向電磁石25台を精密にプローブに対し、位置決

めする必要がある。通常の電磁石位置調整機構は前に述べた様に、架台のジャッキボルト上に電磁石が搭載しているため、質量が大きくなるにつれ横駆動に対する金属間摩擦が大きくなる。そのため、電磁石本体に対する局所的に大きな負荷が電磁石に加わり、内部歪等を発生させる危険性がある。

低摩擦駆動を実現するために、架台上に1軸用フラットローラ2機を平板で挟んだモジュールを水平面上に設け、その上にオイルジャッキを搭載し(図1)、電磁石本体質量をオイルジャッキ・フラットローラに受けさせた結果、電磁石駆動力を小さくすることができた。

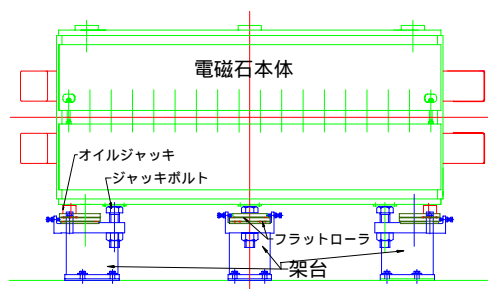


図1：偏向電磁石の低摩擦駆動機構

摩擦係数は、約1/250となり、手動でも駆動できるほどである。

また、四極・六極・補正電磁石等を載せる共通架台はフラットローラ・オイルジャッキを据付けるス

ペースが狭隘なためフラットローラが入らない。  
そのため、偏向電磁石で使用したフラットローラよりさらにコンパクトな2軸駆動を可能とする、ボールベアリング式転動体を製作した。(図2)

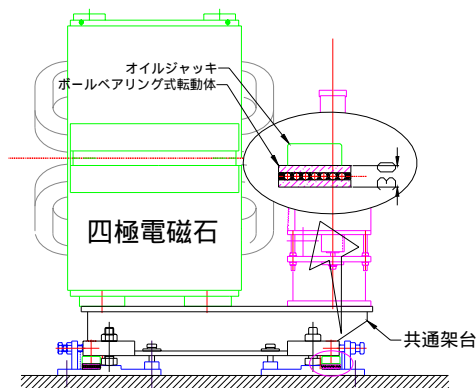


図2：ボールベアリング式転動体

フラットローラは、転動体が円筒状のもので回転方向が1軸専用に対し、ボールベアリング式転動体は形状が球体であるため、コンパクトでかつ2軸(平面)駆動が可能となった。

当然、オイルジャッキも耐負荷に合う、サイズが最小なものを選択した。

これら2種類の転動体により、高負荷重のものはフラットローラで受け、また低負荷重(約12~3ton)で小スペースの場合にはボールベアリング式転動体を用い、電磁石位置調整を行った。

本機構の重要な効果としては、従来の平板金属上で電磁石を駆動することで、金属の弾性変形(ジャッキボルト等)による内部歪が発生し、時間経過とともに、内部歪が電磁石の移動として現れることが無いことと考える。

安全対策としては、低駆動力でも電磁石が動いてしまうため、機械的の停止装置は必ず必要である。

### 3. アライメント用ターゲットの製作

電磁石の据付位置を測量機材等で定量的に確認するためには測量用ターゲットが必要となります。

測量用ターゲットは一般的にケガキ線や目盛りなどが記載されたものが使用される。

今回、計画した測量用ターゲット(図3)は電磁石上基準座の上に精度良く作られたターゲット座の頭部の円錐状受け部に球径状で中心に精度良く目盛りの入った球体を載せることで一義的に電磁石位置が精度良く測量できるものにした。

磁場測定時のアライメント精度は、今回0.1mmを目標に行うため、測量用ターゲットはさらに厳しい条件で製作する必要があります。

アライメントターゲット精度は測量精度0.1mmの1/3程度の30 $\mu$ m程度に設定しました。

設計上での留意点として、測量用ターゲット本体は、レーザートラッカーのリフレクターと同じ外形

寸法(38.1mm)を持ちターゲット座の共有化を計った。ターゲット面は実際のトンネル内測量を考慮して約20m離れた所からでも使用できるような微細目盛り(図4)を石英板上にクローム蒸着した。

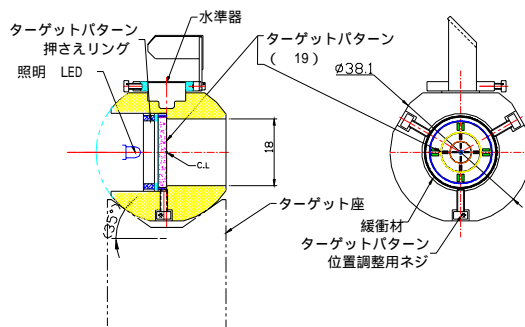


図3：アライメント用ターゲット

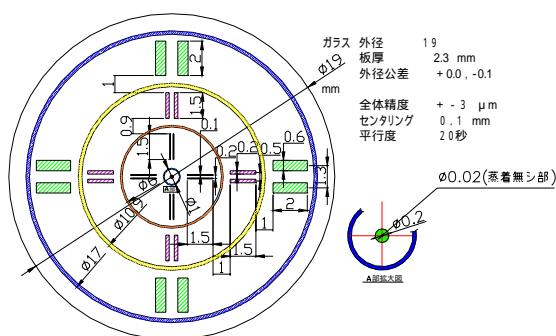


図4：ターゲットパターン目盛り

石英板の背面には有色のLEDを装着することも可能とし目盛りの識別がし易いようにした。

製作上の留意点としては、ターゲット目盛り板の蒸着面の中心を球体中心に合わせ込むことが重要となる。このときの中心合わせ操作方法を図-5に示す。

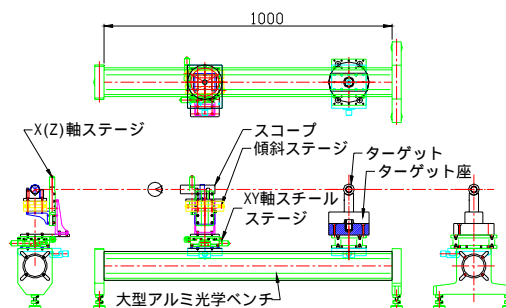


図5：ターゲット組立て調整方法

図5の様に、スコープ(十字線付)とターゲット中心を粗調整し、ターゲットをターゲットホルダ上で360°回転させながら、スコープで確認しながら

中心のズレが極小になるように、ターゲットパターンを3本の押しネジにより少しずつ調整する。

このとき、石英板は非常に割れ易いので、ターゲットパターンの円周廻りに薄い金属板 $t=0.2$ を割れ防止として行った。

また、ターゲットパターンのネジと直角方向の調整は、加工代を $0.1\text{mm}$ 深めに切削し、シムによりネジと直角方向の中心位置あわせを行った。

ターゲット球体へのターゲット目盛り板の中心合わせの結果、約 $30\mu\text{m}$ 以下の精度を確保した。

また、測量用ターゲットには識別番号を付け、単体精度を記録し管理した。

#### 4. 軸視準式高精度アライメント

ハーモニック磁場測定装置で電磁石の磁場測定を行う電磁石は80台以上あります。

そのため、短時間で多台数の磁場測定を行うには、アライメントを手際よく行う必要があります。

今回、電磁石の仮想ビームライン（ハーモニック用プローブ）から並行に一定量離れた位置に1軸を想定した位置に望遠鏡（アライメントテレスコープ）を設置し、ビーム軸及びレベル高さを同時に測量が可能な測量システムとした。図6参照。

四極電磁石には4タイプの型があり、その他に六極電磁石があり、六極電磁石の場合、四極電磁石と比較すると、ビームラインから基準座高さまで約 $30\text{cm}$ ある。そのため、仮想測定用ビームラインを2軸とし、治具の変更のみで両電磁石のセッティングを可能とした。

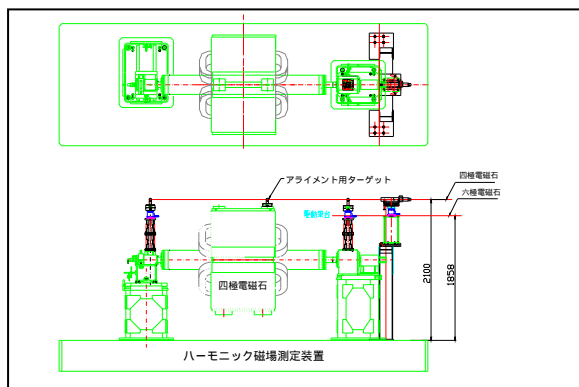


図6：1軸視準式アライメント方式

この時、前記したアライメント用ターゲットを電磁石基準座上に載せ、電磁石のアライメントを行い、電磁石本体下部にボールベアリング式転動体を設置し、高精度測量（微小送り）が可能となり、作業性の向上にも役立っている。

また、望遠鏡の内部測量用十字線とアライメントターゲットの目盛りを同時にモニタに映すことで、作業員単独の技量に因らない、客観的な評価を得る

こともできる。

#### 5. まとめ

本論文のまとめとして、磁場測定における位置調整システムの開発と題し、作業効率の向上及び測定精度の確保を念頭に作業を行ってきた。以下に実績をまとめると、

##### 5.1 作業効率の向上

- 1) 軽い力で電磁石本体を駆動・停止が容易できるようにすることによって、位置決め作業の労力及び時間の短縮を図ることができた。
- 2) アライメントターゲット本体を電磁石に位置決めすることなく、電磁石に置くだけで一義的に位置が決定してしまう。作業の簡便化。
- 3) 3GeV電磁石ユニット全般について、低摩擦駆動機構を展開する見通しを得られることができた。

偏向電磁石についてはフラットローラを適用し、四極電磁石・補正電磁石のユニットに関してはボールベアリング式のものを適用した。

##### 5.2 測定精度の向上・確保

- 1) 電磁石の低摩擦駆動機構は電磁石の位置を $0.1\text{mm}$ 以下の範囲で容易に設定することができた。
- 2) 電磁石の低摩擦駆動機構による位置決めによる方法は電磁石機器類の内部歪の発生を抑える効果がある。経時変化による電磁石の変位が無い。
- 3) 高精度な測量用ターゲットを使用することにより、測定時に発生する誤差要因を減らすことができた。
- 4) 測量用ターゲット単体の精度を押さえることにより、測定時のヒューマンエラーが発生した時に、要因を特定することができる。