

J-PARC ハドロン実験施設における一次ビームライン分岐部電磁石のメンテナンスシナリオ

A REMOTE HANDLING MAGNET SYSTEM IN A BRANCH REGION OF A NEW PRIMARY BEAM LINE AT THE J-PARC HADRON FACILITY

広瀬恵理奈^{#,A)}, 青木和也^{A)}, 上利恵三^{A)}, 家入正治^{A)}, 岩崎るり^{A)}, 加藤洋二^{A)}, 里 嘉典^{A)}, 澤田真也^{A)}, 高橋仁^{A)}, 田中万博^{A)}, 豊田晃久^{A)}, 皆川道文^{A)}, 武藤亮太郎^{A)}, 森野雄平^{A)}, 山野井豊^{A)}, 渡辺丈晃^{A)}

Erina Hirose^{#,A)}, Kazuya Aoki^{A)}, Keizo Agari^{A)}, Masaharu Ieiri^{A)}, Ruri Iwasaki^{A)}, Yohji Katoh^{A)}, Yoshinori Sato^{A)}, Shinya Sawada^{A)}, Hitoshi Takahashi^{A)}, Kazuhiro Tanaka^{A)}, Akihisa Toyoda^{A)}, Michifumi Minakawa^{A)}, Ryotaro Muto^{A)}, Yuhei Morino^{A)}, Yutaka Yamanoi^{A)}, Hiroaki Watanabe^{A)},

^{A)} KEK

Abstract

Construction of a new primary proton beam line, which is called the high-p/COMET beam line [1], started in 2013 at the J-PARC Hadron Facility. The new beam line is branched from the existing primary beam line at the middle of the beam-switching yard (SY) between the Main Ring (MR) and the Hadron experimental hall (HD-hall). Currently, twenty magnets of the new beam line have been installed in SY. Remaining twenty magnets are being installed in the HD-hall within a few years.

At the new beam line, a very tiny fraction of the primary proton beam is kicked off at 5 degree using a Lambertson magnet. At the Lambertson magnet, there is a field-off hole in the yoke of the magnet. Almost all of the beam goes through the hole and is transported to the existing primary beam line. At the edge of the field-off hole, there is a significant beam-loss. Therefore, magnets at downstream of the Lambertson magnet have to work in high radioactive environment. We developed a “mini-chimney system” for easy maintenance of such high-intensity beam line. The mini-chimney is the perpendicular tower of approximately 1m height. Water, electric power and interlock signals are supplied through the mini-chimney system. Those can be easily connected and disconnected at the top of the mini-chimney system. We also developed alignment guide system for these magnets. The magnets are close each other at the branch part, and the gap to the next vacuum flange is about 2 cm. Using the guide system, a magnet can be removed and can be installed by a crane without hitting the next vacuum flange, and placed at the correct position.

1. はじめに

J-PARC ハドロン実験施設では、50GeV 加速器から取り出された陽子ビームを、約200mのスッチャード(SY)を経由して、ハドロン実験ホール(HD-Hall)の生成標的まで輸送している。生成標的からの2次粒子を用いて、K1.8, K1.1, KL2次ビームラインで様々な実験が行われている。

2013年から、high-p/COMETビームラインと呼ばれる新しい一次陽子ビームラインの建設が開始された[1]。図1のハドロン実験施設平面図に、新しい一次陽子ビームラインを示した。既存の一次ビームラインをAライン、新しい一次ビームラインをBラインと呼ぶことにする。Bラインは、図1のスッチャード途中の(a)地点で分岐される。(a)地点には、分岐のためのセプタムシステムが置かれ、それは、1台のランバートソン磁石と2台のセプタム磁石から成る。このセプタムシステムは、30GeV の陽子ビームを大部分は既存の一次ラインに、一部分を B ラインに分ける 30GeV モードと、8GeV の陽子ビームを全て B ラインに曲げる 8GeV モードの二

つの役割をする。どちらのモードでも、ビームは5度曲げられる[2]。B ラインは、ハドロン実験ホールの(c)地点にて行き先が high-p ビームラインと COMET ビームラインの2本に分かれるが、30GeV モードのときは、high-p ビームラインへ輸送され、8GeV モードのときは、COMET ビームラインへ輸送される。ランバートソン磁石は、ヨークに磁場の無い穴が開いている磁石である。30GeV モードのとき、ビームの大部分が磁場の無い穴を通過して、既存Aラインに輸送され、ビームの一部分が、磁場のある部分で5° 曲げられ、Bラインに輸送される。ランバートソン磁石は、磁場の有無の境界部分に磁極があるので、そこでビームロスが生じる構造である。このビームロスは、約 420W と見積もられている[2]。

さらに、数年後には、“ $\pi 15$ ”という2次ビームラインが提案されている。“ $\pi 15$ ”になるときは、セプタムシステムは、2台程度の磁石システムに置き換えられ、(a)地点に 15kW ビームロスの生成標的が置かれる予定である。

図2にスッチャードの側面図を示す。既存ビームラインのAラインは、加速器から取り出された後に、2.9 m / 80 m の角度で振り上げられ、ハドロン実験ホール

[#] erina@post.kek.jp

のターゲットへ向けて振り下げ磁石により水平に戻され、ビーム高さ1mの生成標的に輸送されている。セプタムシステムは、この2.9 m / 80 m の角度で振りあげられる斜面上に設置され、ビームが分岐される。分岐されるBラインは、やや下流まで振り上げられ、ビーム高さ 1.5m になり、ハドロン実験ホールの各ビームラインに輸送される。

本件では、図1、図2のセプタムシステムの直下流の込み入った部分の電磁石に対するメンテナンスシステムを確立したので、次章で説明する。

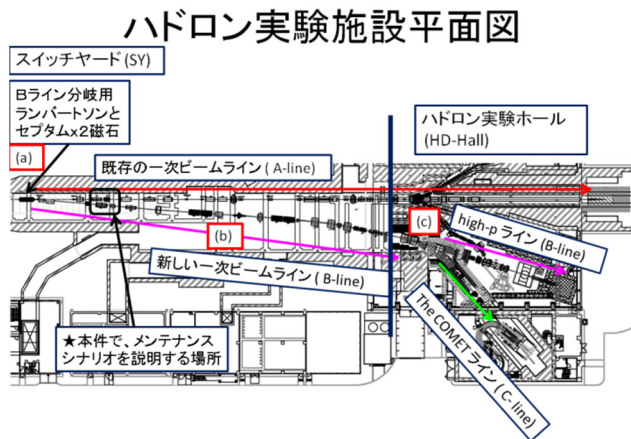


Figure 1: The floor plan of the Hadron Facility.

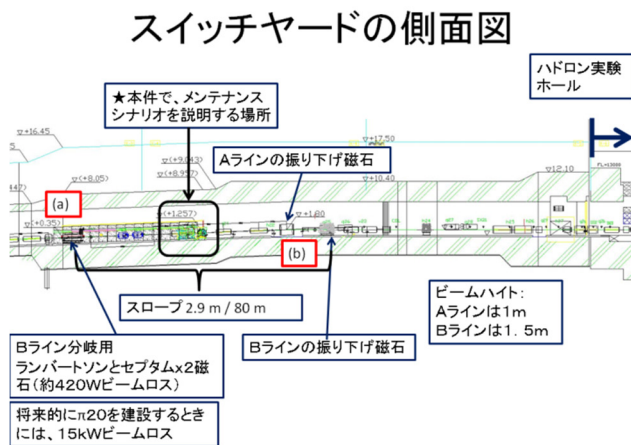


Figure 2: The side view of the SY.

2. メンテナンス計画

前章で述べたが、セプタムシステムの直下流は、ランバートソン磁石でのビームロス、および $\pi 15$ のときの生成標的に、放射線レベルが上がると予想されている。このような場所では、軽微な漏水等の故障に対しては、シールド越しのメンテナンスができること、重故障時は、電磁石を素早く交換できることが要求される。この場所の平面図を図3、断面図を図4に示すが、ここでは、AラインとBラインの磁石が非常に近接

していることが分かる。Aラインのq12電磁石と、Bラインのq23電磁石との間の距離は約500mmである。

これらの電磁石はコンクリート厚さ1mの遮蔽に囲まれる必要がある。そこで、図4に示されるように、通路との間に、幅1mの鉄遮蔽体またはコンクリート遮蔽体を、高さ2mまでBラインに沿って設置する。Aラインの壁には、高さ2m—3mに、50cm幅の空隙があるので、この空隙と通路側の遮蔽体の上に、1mの天井シールドを載せる。これらのシールドや磁石は、2台の20トンクレーンで吊ることができる。ただし、クレーンの揚程は、3.5mで、シールド最上部のさらに50cm上までしか上げられない。

このように、これらの電磁石は、シールドブロックに囲まれるので、点検やメンテナンスは、シールドの外の離れた場所から行えるようにする必要がある。そこで、我々は、ミニチムニーシステムと呼ばれる、天井シールド上からメンテナンスを行えるシステムを確立した。

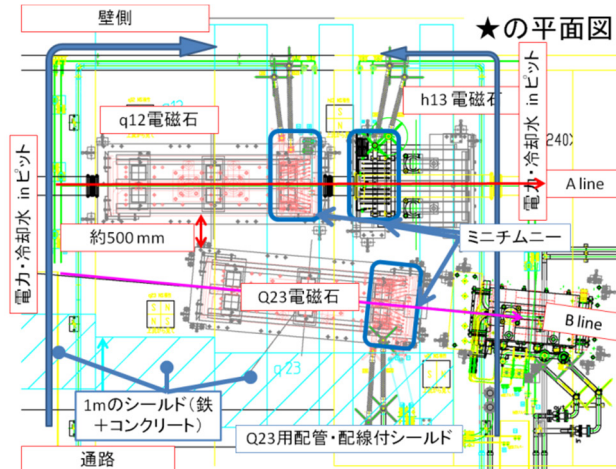


Figure 3: The floor plan of the just downstream of septum magnet system.

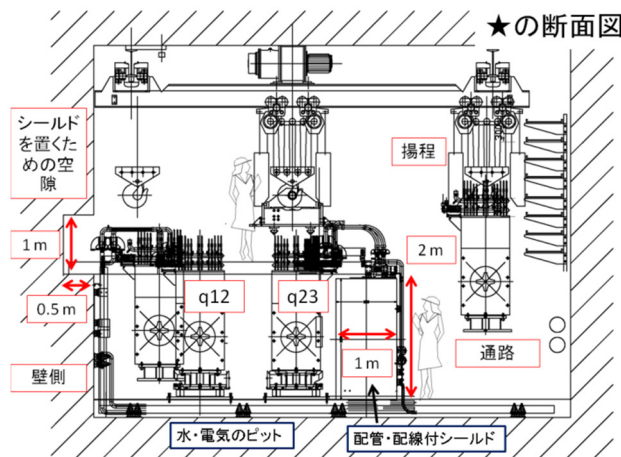


Figure 4: The cross sectional view of the just downstream of septum magnet system.

2.1 ミニチムニーシステム

我々は、既に、2種類の耐放射線電磁石を開発し

ている。1つは、吸収線量が 10^9 Gy まで耐えられるポリアイミド樹脂を使った電磁石で、もう1つは、 10^{11} Gy 以上の吸収線量に耐える完全無機絶縁ケーブル(MIC)を使用した、MIC 電磁石である。このビームラインでは、ランバートソン電磁石をMIC 電磁石として、その下流の電磁石は、全てポリアイミド樹脂絶縁の電磁石である。将来 $\pi 15$ になるときは、セプタムシステムを2台のMIC 電磁石に置きかえる予定である。

ミニチムニーシステムとは、図5のように、電磁石の背面に1mの煙突のように末端を立ち上げるもので、既にHD-Hallの一次ビームラインで採用されているチムニーシステム[6]の短いタイプである。クレーンの揚程の制限により、チムニーは1mより長くできない。電磁石の冷却水、電力、信号線が、このミニチムニーを通して、上方に延長される。具体的には、図5のようにミニチムニーの水色の箱の上まで、コイルのホロコンダクターを延ばし、箱を出たところで、銅-SUS 変換継手により、ステンレスチューブに変換される。銅-SUS 変換継手の銅部分は、コイルにロウ付けされ、SUS 側は、セラミック絶縁チューブと接続される。よって、厚さ20cmの天井シールドの上で、メンテナンスする人が、銅-SUS 変換継手や、セラミックチューブ等のメンテナンスができる。

2.2 チムニーシステムへのユーティリティライン

Aライン磁石の冷却水、電力、信号線は、壁側から供給される。これらは、通路側から、ピットを通して配線され、Aライン側の壁を登り、チムニー上で接続される。これを、図5の右下の写真に示す。ピット内、及び壁沿いは、電力ががいし絶縁のバスバー、冷却水はフランジなしの冷却水パイプ、信号は、セラミック編組線を使用し、メンテナンスフリーとしている。壁側の、2m高さにおいて、冷却水コネクタ、電力コネクタ、信号線は、既に我々が開発した即着脱コネクタを用いて、素早く着脱できる[7][8]。

Bライン側のq23磁石については、Aラインのようにユーティリティラインを固定できるような壁はない。そこで、図6のようなq23用の電力・冷却水・信号線を備えた可動式のシールドブロックを製作することにした。この可動シールド上で、Aラインと同じく、冷却水・電力・信号は、即着脱コネクタを用いて、素早く着脱できる。シールドの下の床レベルでは、ピットへの冷却水は、母管とフランジ接続され、電力バスバーはケーブル接続、信号線はコネクタ接続される。もし、シールドを動かす場合は、シールドの上下のユーティリティラインを外し、移動することができる。また戻すときは、通路側の床面にアラインメントされたピボットが設けられており、置くだけで元の位置に戻る構造になっている。

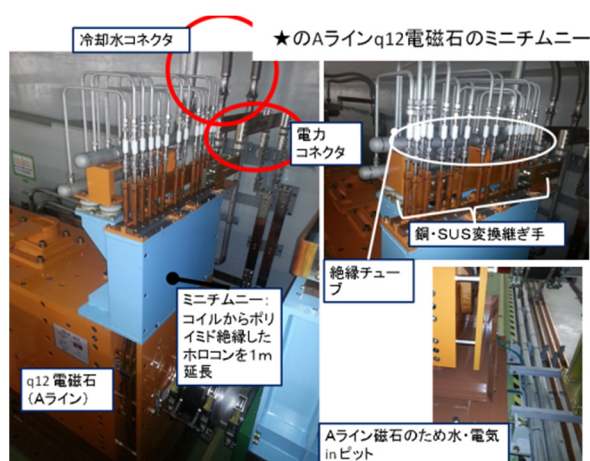


Figure 5: The mini chimney system and utility lines.

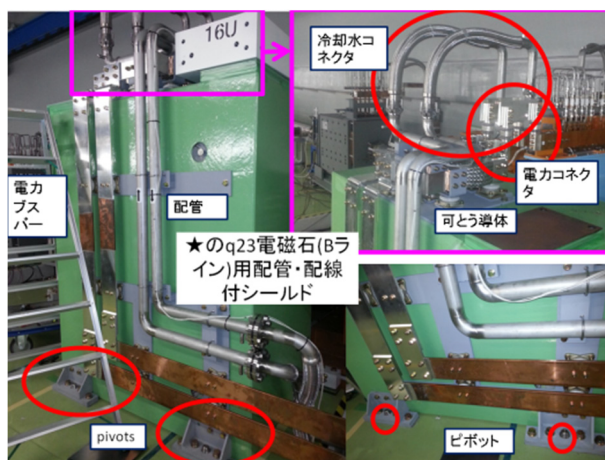


Figure 6: The removable block with cooling water and power lines.

2.3 電磁石の着脱

もし、電磁石に重故障が起こったときは、修理のために、電磁石をビームラインから外すことになる。また、修理後は元の位置へ再設置することになる。このような放射線環境下では、できるだけ簡単に行えるようにすべきである。

ここでの深刻な問題の一つは、我々の磁石は、2.9 m/80 mの斜面上に設置されていることである。当然、クレーンは垂直にしか上下しない。図7:Aラインの側面図に示す通り、この斜面が、q12電磁石とh13電磁石との間の真空ダクトの接続を難しくしていることが分かる。これらの電磁石との間が狭いために、天井シールド上から操作できるピローシール([9],[10])を採用せざるを得ない。このフランジの口径は、約500mmである。電磁石が斜面に設置されているため、フランジの傾きは12mmとなる。ピローシールは、もともととは、それほど伸縮の大きなものではないが、今後片支えて30mm伸縮するピローシールを開発することにした。しかし、30mm伸縮しても、フランジの傾きが12mmなので、電磁石を垂直上方に吊るとして、水平方向に残り

18mm の隙間しか得られない。そこで、我々は、電磁石のガイド架台を工夫することで、電磁石を外せるクリアランスを得ることとした。

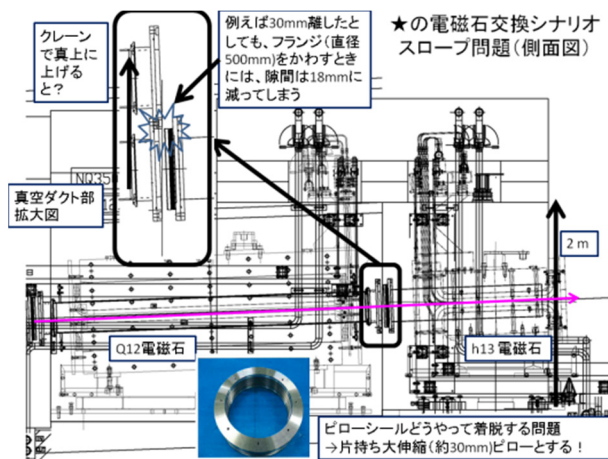


Figure 7: The side view of the just downstream of the septum system.

2.4 アライメントガイドを備えた電磁石架台

前述した通り、電磁石を垂直に吊りあげようとする、隙間が少なく隣フランジにぶつかる危険性が高い。そこで、電磁石を、ピボットをかわすだけ垂直に吊り上げ、かわした後は、横にスライドすることにした。図8、図9の矢印のように動かすため、電磁石の上流下流と、通路側に、高さ100mmのガイド板と、ピボットをかわす高さを決めるブロックを備えたガイド架台を製作した。

電磁石をラインアウトするときは、高さ55mmのピボットをかわす約60mmの高さに上げる。その後、上流下流に設けられたガイド板に沿って、真空ダクトフランジをかわすまで、横にスライドさせる。フランジをかわしたら、真上に吊り上げることができる。

電磁石を設置するときは、壁側の位置に、吊り降ろして、ピボットをかわす高さを決めるブロックまで降ろす。ブロックに当たったらほんの少し巻き上げて、上流下流ガイド板に沿って、通路側の板に当たるまでスライドさせる。上流下流ガイドの間ならば真空ダクトフランジに当たることはない。そして通路側の板に当たったら、静かに吊り降ろすと、ピボットに勘合する。ピボットに勘合すれば、 $\pm 0.1\text{mm}$ の精度で設置できる。

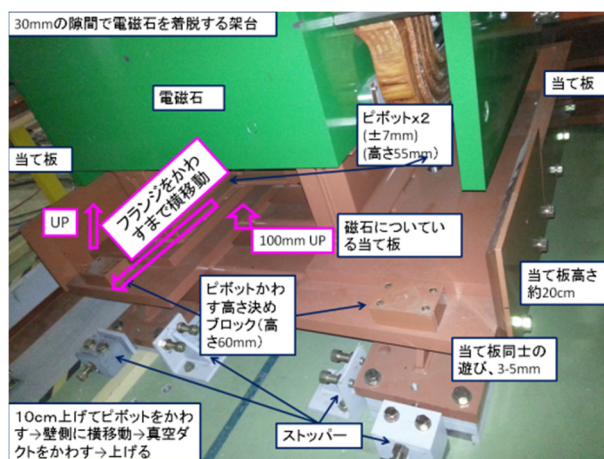


Figure 8: The mechanical support with alignment guide.

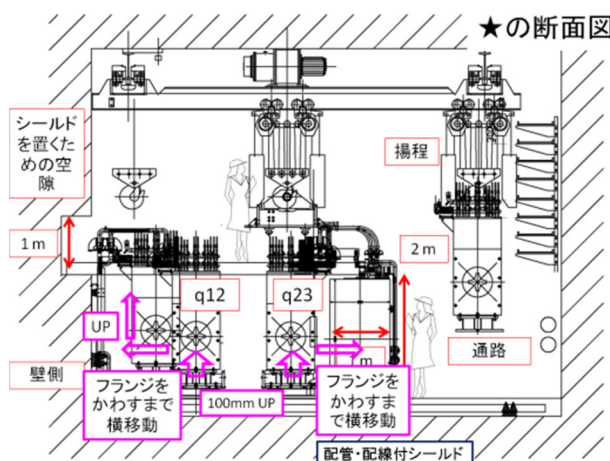


Figure 9: The cross sectional view of the just downstream of the septum system.

2.5 天井シールド

クレーンの揚程の少ない場所で、チムニー上部の端末をかわしながら、天井シールドを積むことは困難である。2mシールドの上と、壁側躯体のシールドを置く空隙に図10のような端末保護のためのシールド設置ガイドを設けた。我々は、20cmの天井鉄シールドを試験的に2m高さのシールドブロックの上に設置した。ガイドに沿ってシールドを設置すれば、端末にぶつからず安全に設置することが可能となった。

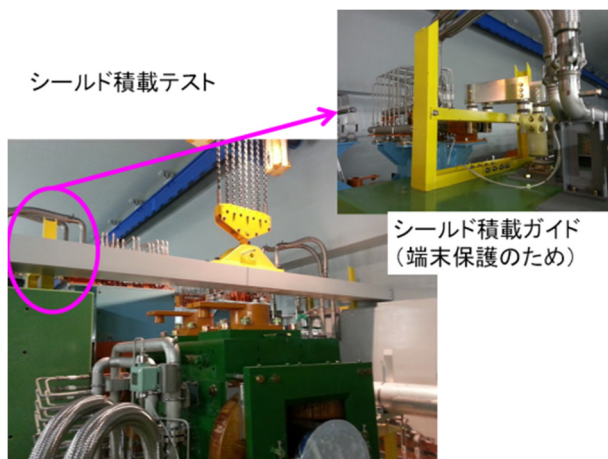


Figure 10: The guides for the ceiling shields.

3. まとめ

High-p / COMET ビームラインと呼ばれる、新しい陽子一次ビームラインが2013年から建設されている。新しいビームラインは、加速器の取り出し位置とハドロン実験ホールとのスイッチヤードの中間地点において、既存の一次ビームライン(Aライン)から分岐される。この分岐部においては、AラインとBラインの距離が近接している点、斜面に設置されている点、周りをシールドで囲まれている点において、メンテナンスが難しい。これを解決するために、ミニチュマニーシステム、アライメントガイドを備えた電磁石架台、ユーティリティラインを備えた可動式シールドブロック等を製作し、インストールと着脱テストをして、特に大きな問題は見当たらなかった。このメンテナンスシステムは確立された。

今後は、このメンテナンスシステムをもとに、セプタムシステム他をインストールし、数年後には、high-p/COMET 実験が始められる予定である。

参考文献

- [1] H.Takahashi, *Nuclear Physics A* 914 (2013) 553–558.
- [2] R. Muto *et al.*, *IEEE Trans. Appl. Supercond.*, submitted for publication at the 24th Int. Conf. Magnet Technology (MT24)
- [3] H. Noumi, in: *Proc. of 20th International IUPAP Conference on Few-Body Problems in Physics*, Aug. 2012; <http://dx.doi.org/10.1007/s00601-013-0660-y>
- [4] K. H. Tanaka *et al.*, “Development of Radiation Resistant Magnets for High Intensity Beam Line”, *Proceedings of the 11th International Conference on Magnet Technology (MT11)*, pp725-728, 1989.
- [5] K. H. Tanaka *et al.*, “Development of radiation-resistant magnets for the J-PARC”, *IEEE Trans. Appl. Supercond.*, Vol. 16, No.2 (2006), pp. 172-175.
- [6] K. H. Tanaka *et al.*, “Radiation-Resistant Magnets for J-PARC”, *IEEE Trans. Appl. Supercond.*, Vol. 18, No.2 (2008), pp. 244-227.
- [7] E. Hirose *et al.*, *IEEE Trans. Appl. Supercond.*, Vol. 16, No.2 (2006), pp. 1342-1345.
- [8] E. Hirose *et al.*, *IEEE Trans. Appl. Supercond.*, Vol. 22, No.3 (2012), #4101404.

[9] Y. Yamanoi *et al.*, *Proc. 2nd Annu. Meet. Particle Accelerator Society of Japan* 2005, p. 736.

[10] Y. Yamanoi *et al.*, *Proc. 4th Annu. Meet. Particle Accelerator Society of Japan* 2007, p. 826.