

# REMOTE MAINTENANCE OF BEAM COLLIMATORS AT J-PARC HADRON FACILITY

Hitoshi Takahashi<sup>#,A)</sup>, Keizo Agari<sup>A)</sup>, Erina Hirose<sup>A)</sup>, Masami Iio<sup>B)</sup>, Masaharu Ieiri<sup>A)</sup>, Yoji Katoh<sup>A)</sup>, Michifumi Minakawa<sup>A)</sup>, Ryotaro Muto<sup>A)</sup>, Megumi Naruki<sup>A)</sup>, Hiroyuki Noumi<sup>C)</sup>, Yoshinori Sato<sup>A)</sup>, Shin'ya Sawada<sup>A)</sup>, Yoshihisa Shirakabe<sup>A)</sup>, Yoshihiro Suzuki<sup>A)</sup>, Minoru Takasaki<sup>A)</sup>, Kazuhiro Tanaka<sup>A)</sup>, Akihisa Toyoda<sup>A)</sup>, Hiroaki Watanabe<sup>A)</sup>, Yutaka Yamanoi<sup>A)</sup>

<sup>A)</sup> Institute of Particle and Nuclear Studies, KEK

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

<sup>B)</sup> RIKEN

2-1 Hirosawa, Wako, Saitama, 351-0198

<sup>C)</sup> Research Center for Nuclear Physics, Osaka University

10-1 Mihogaoka, Ibaraki, Osaka, 567-0047

## Abstract

At J-PARC hadron facility, two beam collimators are installed downstream of a secondary-beam-production target. The first collimator is lifted up by a dedicated remote lifting tool, "twist lock," together with radiation-shielding blocks in which water pipes are involved. As for the second collimator, cooling water is supplied through "chimney" pipes mounted on the collimator. Long socket wrenches involved in the chimney enables remote connection and disconnection of the piping. The collimator and the chimney are separately lifted up by a common twist lock.

## J-PARC ハドロン実験施設における ビームコリメータのリモートメンテナンス

### 1. はじめに

J-PARC ハドロン実験ホール<sup>[1]</sup>には現在、二次粒子生成標的が 1 個置かれ、そこから発生する二次ビームを用いて、様々な原子核素粒子実験が行われている。その生成標的 T1 では、最大で 750kW の 1 次陽子ビームの 30% が反応するが、標的自体への熱負荷はそのうちの 10kW 程度であり、残りの 200kW 超は下流のビームライン機器へ分散することになる。そこで、この莫大な熱と放射線から下流の機器を守るために、T1 の下流に 2 台のビームコリメータを設置している。

図 1 が T1 標的の近傍のレイアウトである。第 1 コリメータは、T1 直後の大型真空箱に収納される。これは、磁極よりもビーム中心近くに位置するビームパイプの冷却が、トリチウム生成の問題もあるため極めて困難であるために、ビームパイプを置く代わりに大型の真空箱の中にコリメータや電磁石全体を入れるシステムにした<sup>[2]</sup>ものである。この大型真空箱の直後に第 2 コリメータが置かれる。

コリメータは、ほかの機器を熱と放射線から守るためのものであるから、逆にコリメータ自身への負荷は非常に大きい。熱に対しては、トリチウムの発生を抑えながらいかに効率的に除熱するかが問題であったが、それに対する答えについては先の学会で報告した<sup>[3]</sup>。本論文では、もう一つの問題=放射化について報告する。

ハドロン実験ホールの 1 次ビームラインは、床から 1m の高さであり、その上に鉄 2m とコンクリート 1m の遮蔽ブロックが積まれていて、その上が「サービススペース」と呼ばれるメンテナンスエリアになっている。動力や冷却水等は全てこのサービススペースからビームライン機器へ供給される。機器本体は極度に放射化されるため、サービススペースより下に人が近づかなくともメンテナンス作業が可能であるように設計されている。

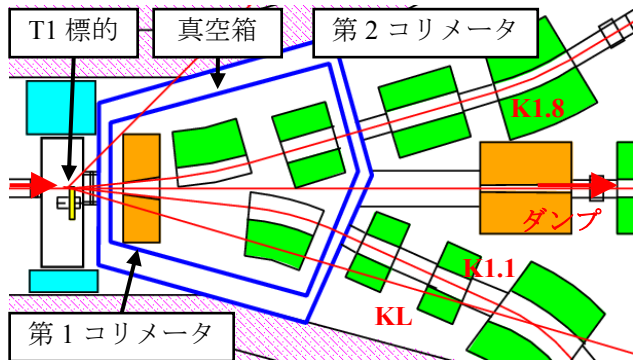


図 1 : 生成標的の下流のレイアウト

### 2. T1 第 1 コリメータ

T1 第 1 コリメータは、銅本体の上部に冷却水配管を埋め込んだ鉄遮蔽体に取り付けられており、その遮蔽体まで含めた全体が、大型真空箱に収納される。真空箱の上蓋はサービススペースの高さに位置

<sup>#</sup> hitoshi.takahashi@kek.jp

し、真空内では全ての配管が溶接もしくは HIP (Hot Isostatic Pressing) で接続されていて、配管の脱着作業はサービススペースだけで行われる。真空フランジの上に冷却水マニホールドが固定されていて、細かい枝管を外さなくとも真空箱の上蓋が開けられるように注意深く配管がレイアウトされている。また、そのマニホールドと主配管との接続にも、電磁石用に開発したフルメタルレバーカプラ<sup>[4]</sup>を用いて、短時間に脱着が可能になっている。



図2：第1コリメータ用ツイストロックと、それを用いて T1 第1コリメータを吊り上げている様子。

銅本体近傍には配管のコネクタはないため、第1コリメータは、埋め込み配管を含む上部鉄遮蔽体と一体でクレーンで吊り上げられる。遠隔吊り上げ機構としては、電磁石用に開発されたツイストロック<sup>[4]</sup>の方式を踏襲している。鉄遮蔽体の角柱部の上面に嵌合穴が設けられており、ここにツイストロックのハンマーヘッドを嵌め込むことによって、遠隔操作で玉掛けが可能になっている。しかし、嵌合穴のピッチが電磁石とは異なっている上、嵌合穴の上に円柱型鉄遮蔽体と真空フランジ、さらに冷却水マニホールドがあるため、第1コリメータにはそれ専用のツイストロックを製作した。図2がその専用ツイストロックの写真である。基本的な構造は電磁石用4点吊りツイストロックと同じであるが、円柱部を跨ぐようにハンマーヘッドまでのシャフトを伸ばしたため、全高が約3mにもなっている。長いシャフトを支えるフレーム部にはガイドローラーを取り付け、円柱部と真空箱の内壁を使ってガイドされるようにした。将来ビーム強度が増した場合にはコリメータ

本体はキャスクに入れて移動させなければならないため、ツイストロックの吊り上げ荷重は天井クレーンの定格と同じ40トンである。

### 3. T1 第2コリメータ

#### 3.1 コリメータ本体

T1 第2コリメータの銅ブロック本体の構造と製造方法については以前報告したとおりである<sup>[2]</sup>。銅本体を架台に組み込み、冷却水マニホールドを配管して現場に設置した第2コリメータの写真を図3左に示す。

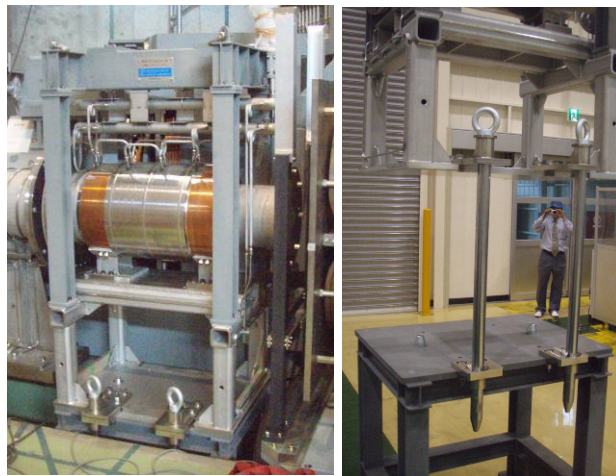


図3：(左) ビームライン上に設置された第2コリメータ。(右) フリーガイドポールとアリジゴク穴を用いた第2コリメータの位置決め機構。

第2コリメータの吊り上げには、電磁石用の2点吊りツイストロック<sup>[4]</sup>を用いる。遠隔操作での位置決めには、これもツイストロックのガイド機構と同じやり方を用いる。すなわち、吊り下ろす本体から長いポールを下ろし、それが床に固定された下架台のテーパ穴(通称「アリジゴク」)と嵌合することでガイドされる(図3右)。ポイントは、ガイドポールは本体と固定されておらず、ただ穴を通してぶら下がっているだけになっていることである。そうすることで、吊り下ろし中にポールが何かにつかかった場合でも本体がバランスを崩す危険性を低くすることができる。また、本体だけを床上に仮置きする場合にもわざわざポールを外さなくて済む。このフリーポールによってガイドされたコリメータは、最終的にピボットの嵌合で0.1mmの精度で位置決めがなされる。

#### 3.2 遠隔脱着型チムニー

第2コリメータへの給水は、本体上部に搭載される煙突(チムニー)型の配管を通して行われる。同じ実験ホール内の電磁石は、チムニー配管が電磁石本体のコイルと溶接で接続されており、分離せずに一体で吊り上げる構造になっている<sup>[5]</sup>。それに対し、第2コリメータのチムニーは、遠隔で配管を脱着する機構を有し、本体と分離して別々に吊り上げられ

る。これは、将来キャスクが必要になった時にチムニー一体ではキャスクの構造に大きな制約が生じると、本体を交換して廃棄する際の減容のためである。

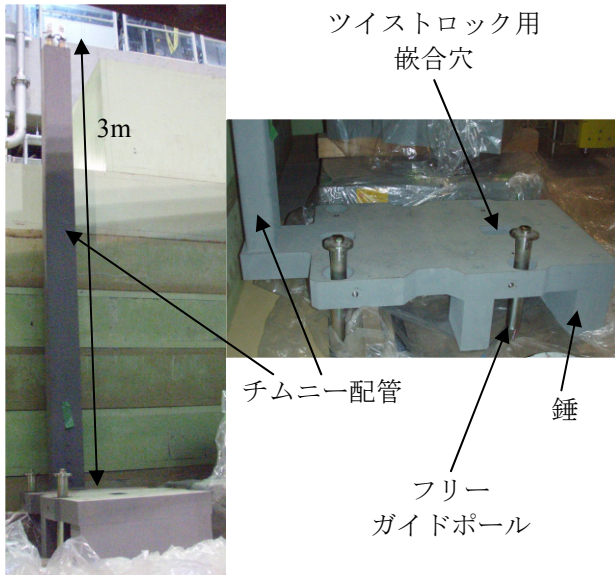


図4：T1 第2 コリメータ用遠隔脱着型チムニー。

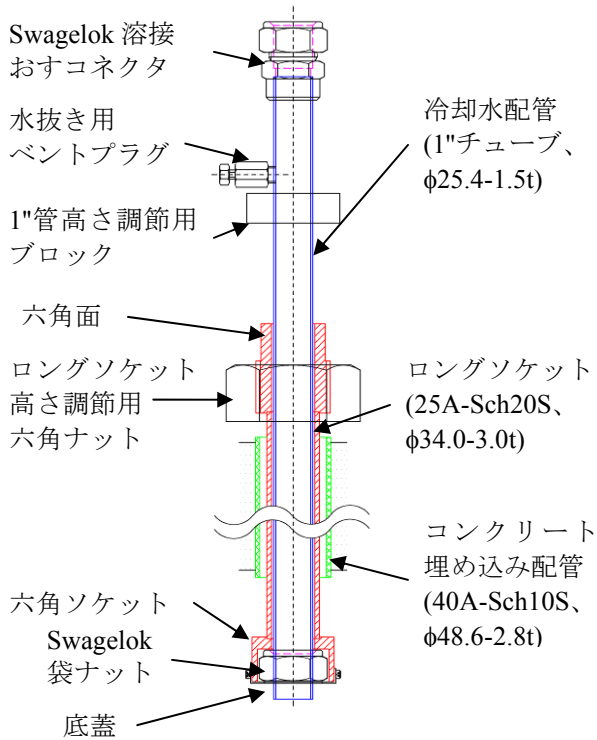


図5：第2 コリメータ用チムニーの配管遠隔脱着機構。

図4が T1 第2 コリメータ用チムニー装置の写真である。高さ 3m のチムニー配管とそれを支えるベース板とから成る。吊り上げ時のバランスを取るため、チムニー配管と反対側には錘が取り付けられている。

配管の接続には、ガスケットが不要な Swagelok を用いている。遠隔脱着のしくみは、長さ 3m のロングソケットレンチを用意して 3m 上からレンチを回して Swagelok の袋ナットを回転させる、というものである。具体的な配管の図面を図5に示す。チムニーの内部配管は、内側から冷却水配管 (1 インチ SUS チューブ、 $\phi 25.4-1.5t$ )、ロングソケット (25A-Sch20S、 $\phi 34.0-3.0t$ )、コンクリート埋め込み管 (40A-Sch10S、 $\phi 48.6-2.8t$ ) の 3 重管構造になっている。放射線遮蔽のため、IN と OUT の 2 組の 3 重管を 200mm x 100mm の角パイプ内を通してすき間をコンクリートで埋めた。ロングソケット最上部の六角面を適当なレンチで回すと、そのトルクが 25A 管を通して 3m 下の六角ソケットに伝わり、それにより Swagelok 袋ナットが回転する。その際、作業者は袋ナットを直接見ることができないので、六角ソケットが一度袋ナットから外れてしまうと袋ナットがどこまで締まっているのか分からなくなってしまう。そこで、六角ソケットの下面に底蓋を取り付けて、袋ナットがソケットから外れないようにし、常に袋ナットの位相と 3m 上の六角面の位相と同じになるようにした。

チムニーの高さが 3m もあるので、わずかな傾きでも引っかかって回すことが出来なくなってしまう。そのために配管同士の間や袋ナットとソケットとの間に適度な遊びが必要となる。我々は、つくばの北カウンターホールに実際に高さ 3m のモックアップを作り、試作チムニーで実際に作業しながら最適な寸法を決定した。

チムニーの吊り上げには、コリメータ本体と同じく、電磁石用の 2 点吊りツイストロックを用いる。位置決めもコリメータ本体と同じ方式を採用し、コリメータ本体上部に取り付けられたツイストロックガイド用の嵌合穴 (アリジゴク) にフリーガイドポールを差し込むことでガイドされる。クレーンによる吊り下ろしの際、配管接続部がぶつかることのないよう、上部の配管高さ調節用ブロックと六角ナットを用いて配管を上を持ち上げた状態で保持できるようにしている。

#### 4. まとめと今後

二次粒子生成標的の下流のビームライン機器を熱と放射線から守り、またビームロスを局所化させて下流での放射線発生を抑えるため、標的の下流に 2 台のビームコリメータが設置されている。第1 コリメータは、配管内蔵の上部鉄遮蔽体ごと、専用の 4 点吊りツイストロックで吊り上げられるようになっており、配管の接続はビームレベルから遮蔽されたサービススペースだけで行われる。第2 コリメータは、上部に搭載したチムニーを通して水が供給される。水配管はロングソケットによって遠隔から脱着が可能である。チムニーと本体とはそれぞれ別々に磁石用 2 点吊りツイストロックで吊り上げられる。

前にも触れたが、今後ビーム強度が上がると、コリメータ本体の残留放射能が高くなって、移動にはキャスクに入れる必要が出てくる。現状では遠隔か

らの吊り上げは可能であるが、キャスクはまだ作られていない。第 1 コリメータに関しては、上部鉄遮蔽体の角柱部の肩に引っかけて、コリメータ本体と一緒に今回のツイストロックで吊り上げる、というおおまかな構造は描かれているが、具体的な設計はこれからである。第 2 コリメータについても検討はまだこれからであり、今後の課題となっている。

## 謝辞

この研究は、文部科学省科学研究費補助金若手研究(B) No.15740166、基盤研究(A) No.15204024、基盤研究(B) No.15340084、基盤研究(A) No.17204019、及び基盤研究(A) No.18204026 の支援を受けて行われた。第 2 コリメータ用チムニーの配管遠隔脱着機構は、J-PARC ニュートリノ(T2K)グループによる電磁ホーンモジュールの設計と R&D の成果を参考にさせて頂いた。

## 参考文献

- [1] 田中万博他, “J-PARC 原子核素粒子実験施設技術設計報告書 ハドロンビームラインサブグループ第 3 次中間報告書”, KEK-Internal 2007-1, August 2007.
- [2] 高橋仁他, “J-PARC ハドロンターゲットステーションにおける大型真空箱"ペンタゴン"”, 第 6 回日本加速器学会年会報告集 (2009) pp.73-75.
- [3] 高橋仁他, “J-PARC ハドロン実験施設におけるビームコリメータ”, 第 5 回日本加速器学会年会・第 33 回リニアック技術研究会報告集 (2008) pp.292-294.
- [4] E. Hirose, et al., “The Beam-Handling Magnet System for the J-PARC Neutrino Beam Line”, IEEE Trans. Appl. Supercond. Vol.16 No.2 (2006) pp.1342-1345.
- [5] K. H. Tanaka, et al., “Radiation-Resistant Magnets for Hadron Experimental Hall of J-PARC”, IEEE Trans. Appl. Supercond. Vol.20 No.3 (2010) pp.340-343.