

BEAM COLLIMATORS AT J-PARC HADRON FACILITY

Hitoshi Takahashi^{1,A)}, Keizo Agari^{A)}, Erina Hirose^{A)}, Masami Iio^{B)}, Masaharu Ieiri^{A)}, Yoji Katoh^{A)},
Akio Kiyomichi^{A)}, Michifumi Minakawa^{A)}, Ryotaro Muto^{A)}, Megumi Naruki^{A)}, Hiroyuki Noumi^{C)},
Yoshinori Sato^{A)}, Shin'ya Sawada^{A)}, Yoshihisa Shirakabe^{A)}, Yoshihiro Suzuki^{A)}, Minoru Takasaki^{A)},
Kazuhiro Tanaka^{A)}, Akihisa Toyoda^{A)}, Hiroaki Watanabe^{A)}, Yutaka Yamanoi^{A)}

^{A)} Institute of Particle and Nuclear Studies, KEK

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

^{B)} RIKEN

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

^{C)} Research Center for Nuclear Physics, Osaka University

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

Abstract

At J-PARC hadron facility, two beam collimators are placed downstream of a secondary-beam-production target. The aim of the collimators is to protect magnets from huge amount of radiation and heat from the target, and to reduce radiation dose downstream of the beam line by localizing the beam loss. In order to reduce the Tritium production in the cooling water, both of the collimators are made of oxygen-free copper having high thermal conductivity and are water-cooled at circumference. In the first collimator, cooling water directly flow in hollow in the copper blocks, which is made by BTA (Boring and Trepanning Association) process. As for the second collimator, stainless-steel cooling-water pipes are involved in the copper blocks by HIP (Hot Isostatic Pressing).

J-PARCハドロン実験施設におけるビームコリメータ

1. はじめに

現在茨城県東海村に建設中の大強度陽子加速器施設(J-PARC)ハドロン実験施設^[1]には、最高で50GeV、750kWの大強度陽子ビームを二次粒子生成標的T1に当て、そこから発生するさまざまな二次ビームを用いて原子核素粒子実験がおこなわれる予定である。その生成標的T1は30%ビームロス相当の物質質量を持つため、そこで $750 \times 0.3 = 225\text{kW}$ のビームパワーが開放されるが、標的自身に落とされる熱量は高々10kW程度である。残りの200kW以上は下流のビームライン機器に分散することになる。特に、標的の直下流に位置する二次ビームライン最上流電磁石は、そのままでは鉄芯の温度がキュリー温度を超え、磁石として働かなくなってしまう。それを防ぐために、標的の直後にビームコリメータを置き、余計な散乱粒子を堰き止める必要がある。また、前方に散乱した粒子は、直後の電磁石等には当たらずとも、もっと下流のビームダクト等に当たってビームロスを起こす。つまり、下流数十メートルにわたって広く放射線発生源が分布することになってしまう。これを防ぐこともコリメータの役割である。

図1が生成標的の下流部のレイアウトである。図左の標的から、K1.8、K1.1、及びKLという複数の二次ビームラインが伸びている。標的直後に置くコリメータだけでは、前方に散乱した粒子を止めること

は原理的に難しいため、コリメータを2段にし、最初のものは主に直後の電磁石を守り、2台目のものは主に下流のラインロスを減らす、というように機能を分離した。標的の直後に描かれている五角形は大型真空箱であり、この中に第1コリメータと3台の電磁石が収納される。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^[2]ものである。第2コリメータはこの大型真空箱の直後に置かれる。

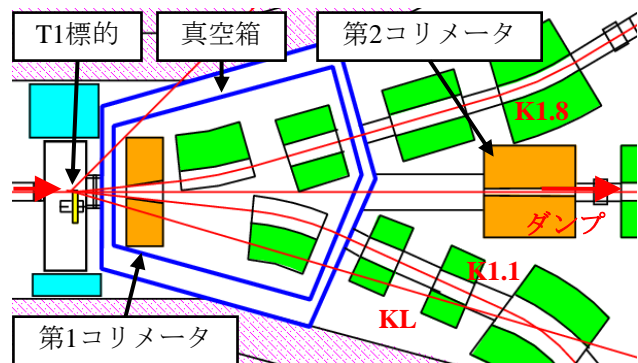


図1：生成標的の下流部のレイアウト

¹ E-mail: hitoshi.takahashi@kek.jp

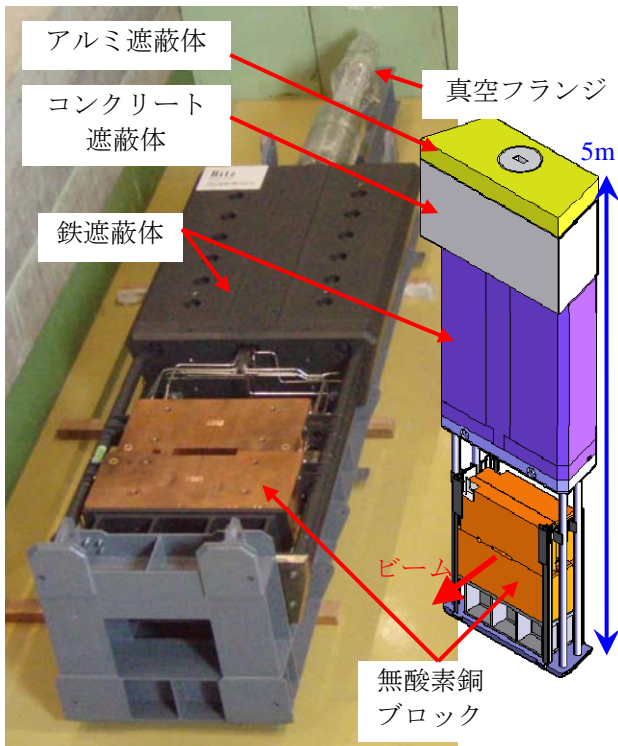


図2：T1第1コリメータ

2. T1第1コリメータ

第1コリメータの主な目的は、T1標的の直下流に位置する二次ビームライン最上流電磁石を、標的からの膨大な放射線と熱から守ることである。磁石の代わりにコリメータが受け止める熱量は約50kWにもなるため、水冷が必要である。しかし、冷却水中で大量のトリチウムが生成されてしまうので、熱伝導の良い無酸素銅のブロックで本体を構成し、ビーム中心より遠い外周部を水冷することにした。

図2に第1コリメータの写真と3次元構想図を示す。無酸素銅製のコリメータ本体の上に、鉄2m、コンクリート0.8m、アルミ0.2mの遮蔽体があった構造であり、このうち、銅本体と鉄遮蔽体とが一体で吊り上げられる。前述のように、上部遮蔽体を含む全体が大型真空箱の中に収納される。銅本体は、上下2段、前後2段の計4個のブロックから成り、厚さは上流側250mm、下流側150mm、幅は上段1000mm、下段1100mm、高さはどれも485mmである。左右に二次ビームが取り出されるため、ビームの通る開口部は横に長く、入口が横214mm×縦43mm、出口が横355mm×縦67mmというテーパ型の開口になっている。

冷却については、BTA (Boring and Trepanning Association) によって銅ブロックにφ18mmの深孔をあけ、そこに水を直接流して冷却する方式を採用した。銅ブロックの水の出入口には、HIP (Hot Isostatic Pressing) により製造した銅-SUS異材継ぎ手を銅ブロックに電子ビームで溶接し、外径10mmのシームレスSUSチューブを接続した。このような冷却水路の構造は、同じハドロン実験施設のビームダンプ^[3]の冷却のために開発研究が行われてきたも

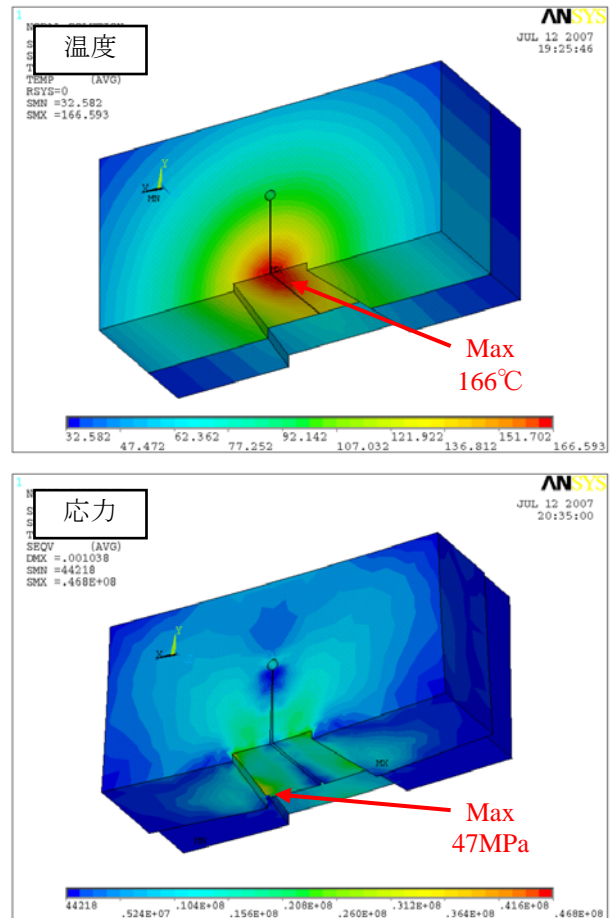


図3：第1コリメータの熱解析結果

のである。真空フランジの外側（大気側）にマニホールドを設置し、銅ブロックからそこまで鉄遮蔽体内を貫通させてφ10SUSチューブを配管した。

コリメータが膨大な熱負荷に耐えられるかどうか、有限要素法による熱解析を行った。50GeV、750kWのフルビームを想定し、銅ブロックの外周部を平均2000W/m²/Kの熱伝達率で除熱した場合の結果が図3である。中心部の最大温度は166°Cであった。熱応力を緩和するため中心部にスリットを入れたことにより、最大応力が47MPaまで抑えられている。このスリットの形状は、寸法を変えながら解析を繰り返して最適化したもので、幅約3mm、深さ250mmあり、応力集中を避けるため先端部はφ30mmの円形になっている。

3. T1第2コリメータ

第2コリメータは、第1コリメータが収納される大型真空箱の直後に置かれる。第2コリメータの役割は、下流の一次ビームライン電磁石を保護することもあるが、主には、ビームロスを局所化することで、下流でのラインロスが減らし効率的に放射線を遮蔽できるようにすることにある。

図4が第2コリメータの本体部の写真である。φ500mm×195mmの無酸素銅ブロックをビーム軸方向に

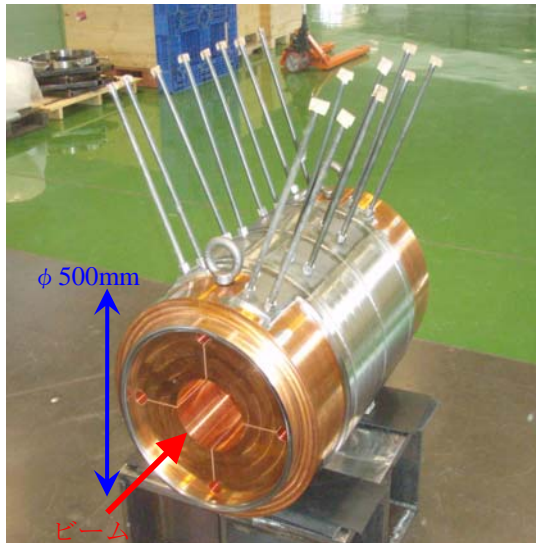


図4：T1第2コリメータの本体部

4個並べた構造である。開口部の大きさは、上流のブロックからそれぞれφ160mm、φ120mm、φ78mm、φ80mmである。この開口部の大きさは、ビームサイズによるだけでなく、発熱を各ブロックになるべく等しく分散させるように決められた。トリチウム生成量を減らすために無酸素銅ブロックの外周部を水冷するという基本構想は第1コリメータと同じであるが、銅ブロックの配置や冷却水路の構造は大きく異なる。本体全体が真空内に置かれた第1コリメータと違い、第2コリメータの本体そのものは大気雰囲気中に置かれ、ビームの通る開口部内が真空に引かれる。従って、真空气密が保てるように銅ブロック同士が接合されていなくてはならない。そのため、まず個々の無酸素銅ブロックに溝を掘って1/2インチのSUSチューブを埋め込み、HIPによって両者を接合。そのHIPの際同時に銅ブロックの周りにSUS板を接合し、そのSUSの溶接により銅ブロック同士、及び銅ブロックとビームダクトとを接合した。

第2コリメータの熱解析結果を図5に示す。銅の外周部を平均600W/m²/Kで冷却した場合の最高温度は、上流から3枚目のブロックの中心部で83℃であった。第1コリメータと同様、応力緩和のためのスリット加工を施した結果、最大応力は48MPaになった。なお、解析モデルではスリット方向が4枚とも全て同じになっているが、実際は45度ずつ交互に位相をずらしている。

4. まとめ

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を設置する。トリチウム生成を抑えるため、熱伝導の良い無酸素銅のブロックで構成し、ビーム中心より遠い外周部を水冷する。

第1コリメータはすでに完成し、これから真空箱内に設置するところである。第2コリメータは銅本

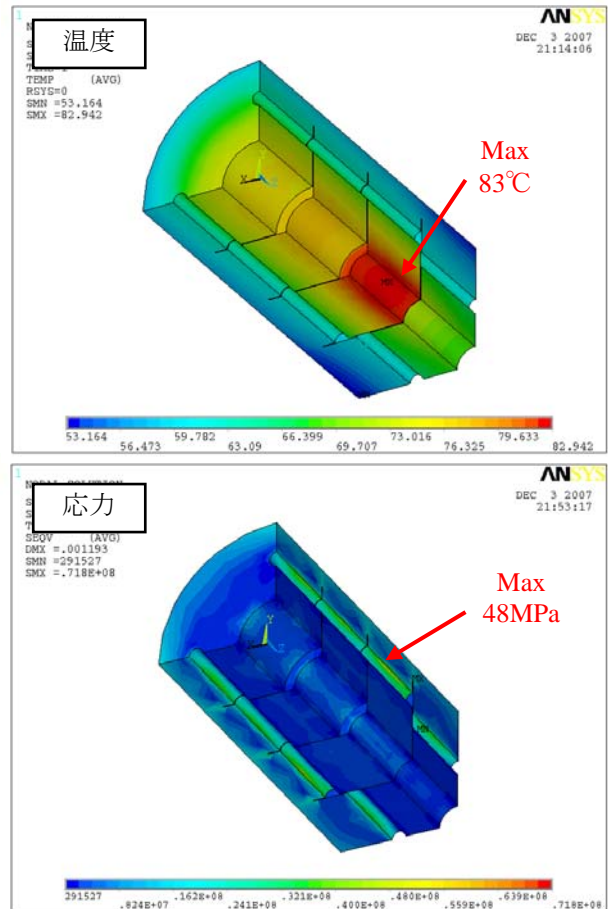


図5：第2コリメータの熱解析結果

体部の製造が完了、現在配管や架台への組み込みを行っているところで、来月には完成させてビームライン上に設置する予定である。

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。

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] H. Takahashi, et al., “Magnet Operation in Vacuum for High Radiation Environment near Production Target”, IEEE Trans. Appl. Supercond. Vol.16 No.2 (2006) pp.1346-1349.
- [3] 上利恵三他, “J-PARCハドロンホールビームダンプの設計・開発”, 第4回日本加速器学会年会・第32回リニアック技術研究会報告集 (2007) pp.793-795.