

DESIGN AND DEVELOPMENT OF THE BEAM DUMP FOR J-PARC HADRON-HALL [5]

Keizo Agari, Masaharu Ieiri, Yohji Katoh, Yoshinori Sato, Shinya Sawada, Yoshihisa Shirakabe, Yoshihiro Suzuki, Hitoshi Takahashi, Minoru Takasaki, Kazuhiro Tanaka, Akihisa Toyoda, Megumi Naruki, Hiroyuki Noumi^{A)}, Erina Hirose, Michifumi Minakawa, Ryotaro Muto, Yutaka Yamanoi, and Hiroaki Watanabe

High Energy Accelerator Research Organization (KEK)

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

^{A)}Osaka University

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

Abstract

The beam dump at the Hadron hall of Japan Proton Accelerator Research Complex, J-PARC, was designed to safely absorb 750-kW proton beam. The central core of the beam dump was made of water cooled copper. The temperature at the surface of the copper core is monitored by the thermocouples. A beam profile at the beam dump was measured by the temperature distribution. The loss rate of proton beam calculated by comparing the beam profiles between T1-target on and off was 62.8%. In addition, the beam profiles were measured with several beam intensities (1-4.5[Tppp]). As a result the areas of the beam profiles, which were fitted to Gaussian curve, were proportional to the beam intensities. This paper reports the detail of the beam profile measurements with the thermocouples at the beam dump.

J-PARCハドロンビームダンプの設計・開発 (5)

1. はじめに

J-PARC施設は大強度ビームを取り扱う加速器施設で、このビームラインの機器は未曾有の高放射線場において運転されると同時に高いビームパワーによって高温になる可能性がある。

50GeVに加速された陽子ビームは遅い取り出しでハドロンビームライン¹⁾に輸送される。加速器から取り出された陽子ビームはスイッチヤード、ハドロンホール内のターゲットを通り、最終的にはビームダンプで吸収される。

ハドロンホール施設の建築は2007年6月に完成し、ビームライン機器の搬入・設置を行い、2009年1月にビームダンプへのビーム輸送に成功し、実験が開始された。しかし2011年3月11日に発生した東日本大震災により実験中断を余儀無くされているが、2011年内の復旧を目指している。

2. ビームダンプ

ビームダンプ (図1) はビーム・コミッションング時や実験時使用されなかったビームを吸収する装置であり、ビームのエネルギー寄与による多大な発熱や放射線の発生が懸念される。この装置は1次ビームラインの最下流部に位置し、J-PARC機器の中で唯一、単体でフルビーム (50GeV-15 μ A、750kW) を吸収できる装置である。

このビームダンプはほとんどのビームを直接吸収する無酸素銅、その周辺に放射線遮蔽体として鉄、コンクリートから構成される。無酸素銅ではほとんどの陽子ビームを吸収し、ビームのエネルギー寄与により発熱する。無酸素銅は2000×2000×5000mmで設計されたが、この大きさで単体では製作不可能

なため、ビーム軸方向に20分割、鉛直上下方向に2分割され、各無酸素銅ブロックは2000×1000×250mmの大きさとなった。無酸素銅中心部には円錐状の空洞を作ることで発熱を平均化させる。また無酸素銅の冷却水配管は冷却水の放射化を抑えるため無酸素銅外周部に施される。配管・配線はビーム位置より2m上方のサービス・スペースへつなげ、そこでメンテナンスすることにより作業員の被曝を最小限に抑えている。

またビームダンプ無酸素銅コアの直接ビームを吸収する円錐状空洞表面に予め熱電対が設置され温度が測定できる。よって各点のエネルギー寄与による発熱からビームプロファイルがわかり、今回は実際のビームを用いて試験を行った。

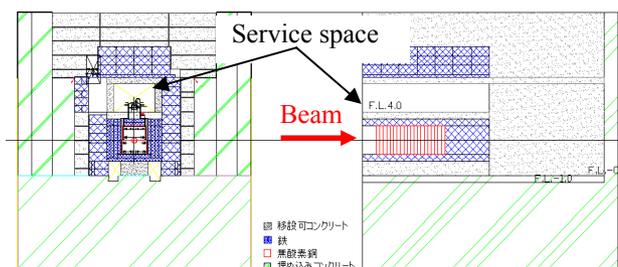


Figure 1: The beam dump

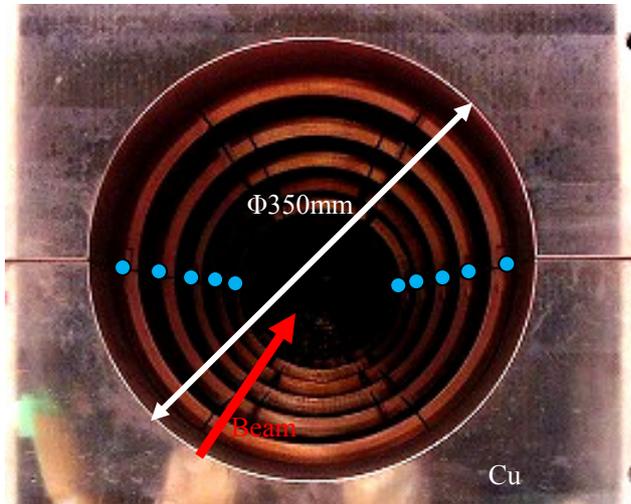
3. ビームプロファイル測定

3.1 目的

J-PARCやLHCに代表されるビームの大強度化により、ビームライン機器はより放射化され、多大な発熱が予想される。大強度に対応したビーム吸収体のビームを吸収する表面の温度を複数点計測することで、ビーム入射前後の温度差からビームプロファイルを算出できる。これが開発できたなら、ビーム吸収体と上流にあるモニターが一括化され、安価な熱電対でビームプロファイルを測定でき、装置数が減少することによりコストダウンが見込め、被曝作業も減少する。

3.2 測定方法

ビームダンプ無酸素銅コアには予め熱電対（図2）が水平方向に40個設置されている。ビームプロファイルはある一定時間ビームをダンプへ入射させ、飽和した時のものを用いている。ビーム強度が設計値より低い場合生温度データからビーム照射以前の温度を減算することにより、温度上昇およびビームプロファイルを確認できた。得られたプロファイルをガウス分布にフィッティングさせ、ビーム中心・幅なども計算している。またダンプ直上流のプロファイルモニターにより正確にプロファイルを測定できることは確認された。²⁾



● : thermocouple
Figure 2: The thermocouples on the copper core

3.3 ビームダンプ周辺装置

T1ターゲット³⁾からビームダンプまでの概略を図3に示す。1次ビームラインではT1ターゲットを通り、QおよびD型電磁石でビームを発散・収束・偏向し、RGIPM⁴⁾（残留ガスビームプロファイルモニター）2台でビームプロファイルを測定できるように機器が設置され、ダンプへ正確に入射しているか確認している。

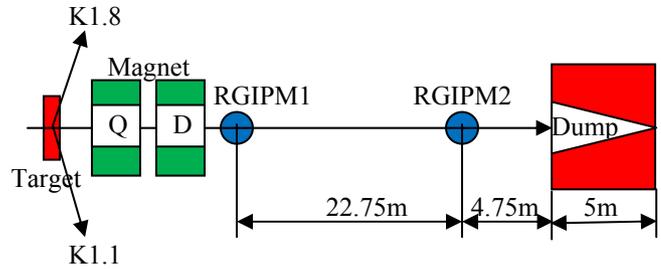


Figure 3: Layout of the beam line

3.4 T1ターゲットでのビームロス

T1ターゲットは白金製の直径6mm、高さ60mmからなる円柱で、ターゲット本体が移動できるように設計されている。計算よりターゲットを挿入することにより約50%のビームロスが発生することが予測されている。ビームダンプではターゲット挿入前後のプロファイルを測定することにより、ターゲットからビームダンプまでのターゲット挿入時のビームロスを計算した。

ターゲット挿入前後のビームプロファイルを図4に示す。図の線は得られた温度点をガウス分布でフィッティングした結果であり、その結果を表1に示す。また下式はガウス分布を表しており、右式の第一項を x で積分すると A となるため、 A はこのプロファイルの面積を表している。

ターゲット挿入時は多重散乱の影響により発熱温度が低く、ビーム幅が広がった。またビームプロファイルの面積が A なので、挿入時は挿入前の37.2%の陽子ビームがビームダンプに到達した、つまり言い換えれば62.8%の陽子ビームがターゲットを挿入することにより、ターゲット、コリメータ、遮蔽体などへビームロスしていることがわかった。

$$f(x) = A \cdot \exp\left[-\frac{(x - \mu)^2}{2\sigma^2}\right] + B$$

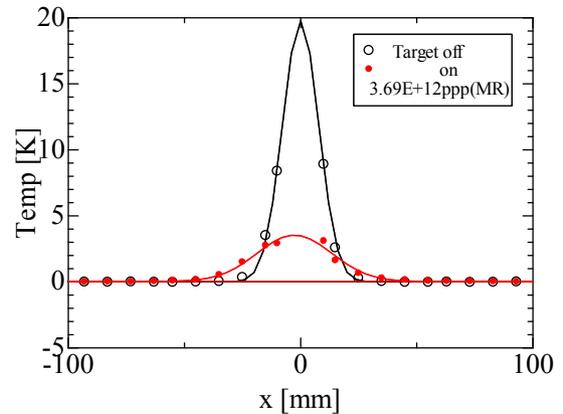


Figure 4: Comparison between T1-target on and off

Table 1: Gaussian parameters w/ and w/o T1 target

Target	μ [mm]	σ [mm]	B [K]	A [mm·K]
On	-2.7	16.2	-0.02	143.1
Off	0.0	7.8	0.00	384.8

3.5 ビーム強度依存性

現在ハドロンホールでは実験が開始され、適切なビームチューニングによりビームロスが少なく強度を増加させることが可能となった。ビーム強度を様々な値に設定し、ビームダンプでのビームプロファイルの強度に対する依存性を調べた。用いた強度は主リングのDCCTの値で1.26-4.52[Tppp]である。

図5は強度毎の温度上昇によるビームプロファイルであり、表2はフィッティングによる結果である。図・表よりビーム中心位置・幅はほとんど変化せずプロファイルの面積Aのみ変化していることがわかった。

また図6は縦軸をプロファイルの面積、横軸をMRでのビーム強度である。図より、プロファイルの面積はビーム強度に比例していることがわかった。

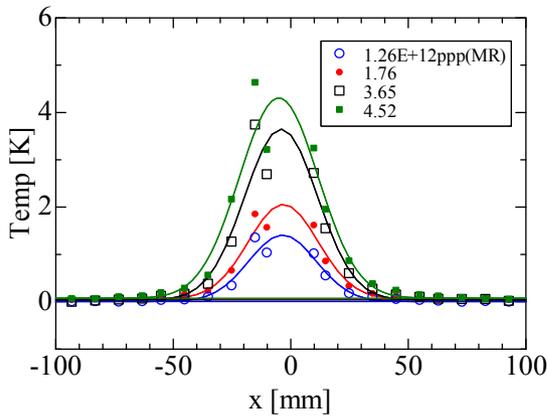


Figure 5: Comparison of beam profiles

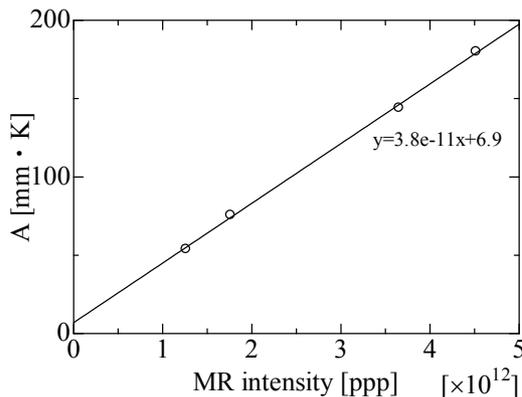


Figure 6: Dependence of beam intensities

Table 2: Gaussian parameters of beam intensities

Intensity [Tppp]	μ [mm]	σ [mm]	B [K]	A [mm·K]
1.26	-3.6	15.1	-0.04	54.0
1.76	-3.2	15.1	0.04	75.7
3.65	-4.1	15.8	-0.01	144.2
4.52	-5.1	16.9	0.05	180.1

4. まとめ

ハドロンホールビームダンプで2010年10-11月にエネルギー寄与による発熱を熱電対で測定した結果、以下のことがわかった。

- ターゲットによる下流へのビームロスを温度上昇によるプロファイルモニタにより調べた。
- ターゲットが挿入されていない時より62.8%のビームロスが発生した。
- 様々なビーム強度で実験が行われ、温度プロファイルモニタで測定した。
- ガウス分布にフィッティングされたプロファイルの面積はビーム強度に比例することがわかった。

5. 謝辞

一連の研究は、文部科学省科学研究費「若手研究(B): 22740184」によって支援されている。

参考文献

- [1] <http://www-ps.kek.jp/jhf-np/hadronbeam/>
- [2] 上利恵三等, “J-PARC HD-Hall ビームダンプの設計・開発(4)”, 第7回日本加速器学会年会報告集, pp. 386-388, 2010. 8
- [3] 山野井豊等, “ハドロンビームラインにおける二次粒子生成標的の計画”, 第7回日本加速器学会年会報告書, pp.1132-1134, 2010. 8
- [4] 里嘉典等, “大強度陽子ビームのための残留ガスを用いたビームプロファイルモニタの性能評価”, 第3回日本加速器学会年会報告書, pp.118-120, 2006. 8