

Design and Development of Beam Dump for J-PARC Hadron-hall [4]

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

A beam dump at the Hadron-hall of Japan Proton Accelerator Research Complex, J-PARC, was designed to safely absorb 750-kW beam power. Its central core was made of copper with water coolant. The temperature of the copper core was monitored by thermocouples, and the core was surrounded by iron and concrete for radiation protection. The first transportation of the primary proton beam to the beam dump was carried out successfully in Jan. 2009. A temperature distribution at the surface of the copper, measured by the thermocouples, was compared with a measurement by Residual Gas Ionization Profile Monitor, RGIPM, located at the just upstream of the beam dump. It turned out that the temperature distribution was in good agreement with the beam profile measured by the RGIPM. This was also confirmed by a measurement with horizontally displaced proton beams. The present paper reports an overview of the beam dump and development of the beam profile measurement with thermocouples at the beam dump.

J-PARCハドロンビームダンプの設計・開発 (4)

1. はじめに

J-PARC施設はKEKとJAEAと共同で建設され、現在第1期建設が完了した。大強度ビームを取り扱うこの加速器施設のビームライン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を通り、ハドロンホールまで輸送され、ホール内のターゲットを通り、最終的にはビームダンプ²⁾で吸収される。

ハドロンホール施設の建築は2007年6月に完成した。そしてビームライン機器の搬入、設置を行い、2009年1月にハドロンホール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。

2. ビームダンプ

ビームダンプ (図1) はビーム・コミッションングや実験に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機器の中で唯一フルビーム (50GeV-15 μ A、750kW) を吸収できる。

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

による熱が発生する。そのため無酸素銅はビーム軸と垂直な方向に20分割され、その中心部には円錐状の空洞を作ることにより、各無酸素銅ブロック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・配線などはビーム位置より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ている。無酸素銅コアはビーム軸方向に分割されているため、各点のエネルギー寄与による温度上昇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。

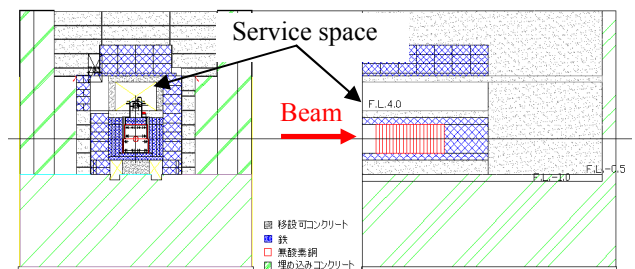


Fig.1 The beam dump

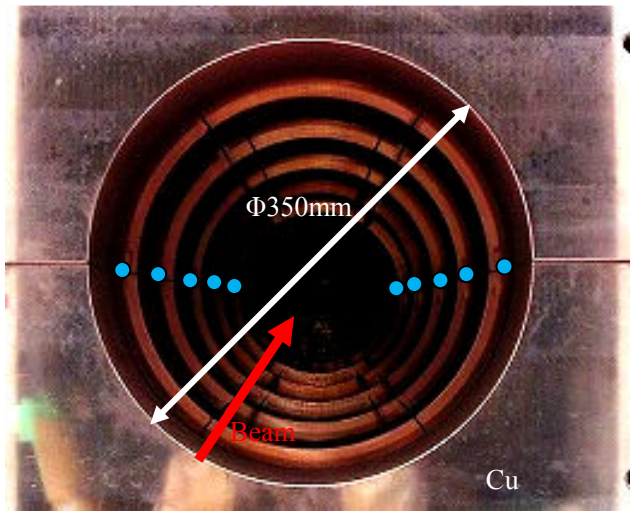
3. ビームプロファイル測定

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分布を算出し、それらを足し合わせることでビーム強度モニターとして用いることができる。これを利用するならば、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。

3.1 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40個設置されている。この温度測定は5秒周期で行っているが、現在ビーム強度が低く、生温度データおよび測定周期間温度差では温度上昇が見られなかった。しかし生データからビーム照射以前の平均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。また得られたプロファイルがガウス分布にフィッティングさせ、ビーム中心・幅なども計算した。



● : thermocouple
Fig.2 The thermocouples on the copper core

3.2 ビーム条件

陽子ビームは当初 50GeV-15μA (750kW)、3.42sec周期、0.7sec取り出しで設計されたが、現在は30GeV、6秒周期でハドロンホールへ取り出されている。

ハドロンホールではT1ターゲット上流の二次電子放出モニター (SEC) により陽子数を測定する。しかしT1ターゲットや真空窓により陽子ビームが損失す

るため、実際にダンプで吸収した値と異なる。特にT1ターゲットはニッケルで30%のビーム損失があるが、ここでの陽子数はSECで測定された値を示している。

3.3 ビームダンプ周辺装置

T1ターゲットからビームダンプ周辺の概略を図3に示す。1次ビームラインではSEC、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、RGIPM³ (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ている。

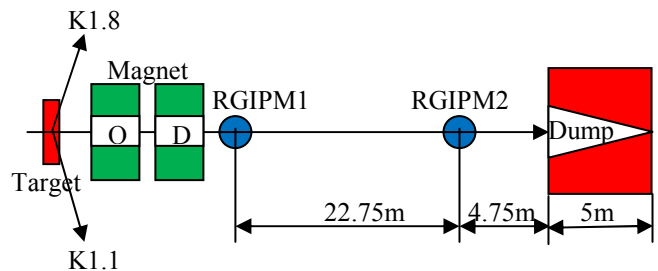


Fig.3 Layout of the beam line

3.4 ビーム強度依存性

まず加速器によりビーム強度を変化させ、ビームプロファイルを測定した。陽子ビームは6秒周期で定常状態から連続10回入射させ、入射陽子数はSEC値の平均で $1.46 \times 10^{11} - 1.02 \times 10^{12}$ ppp (protons per pulse) だった。ビーム位置は測定前にビームダンプ中心になるように電磁石を設定し、設定後は変更しなかった。

温度プロファイルとRGIPM2を比較した結果を図4に示す。この図は 1.02×10^{12} ppp の時で、中心位置は一致したが、幅はRGIPM2が温度プロファイルより大きくなった。また図5よりビーム強度が高くなるにつれて、幅が大きくなる傾向が見られた。これはRGIPMの場合、電離電子が電極までドリフトする間に残留ガス分子との弾性衝突によって拡散が起こり、実際のプロファイルより広がるためである。通常これを防ぐためにRGIPMには永久磁石により磁場をかけるが、今回は磁石を設置していないため幅が広がっている。

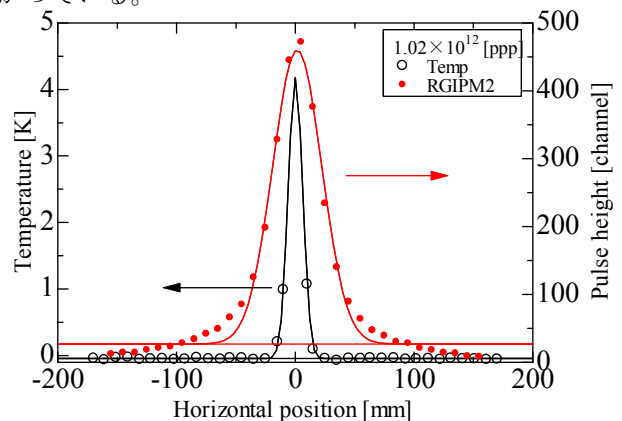


Fig.4 Horizontal beam profile (1.02T ppp)

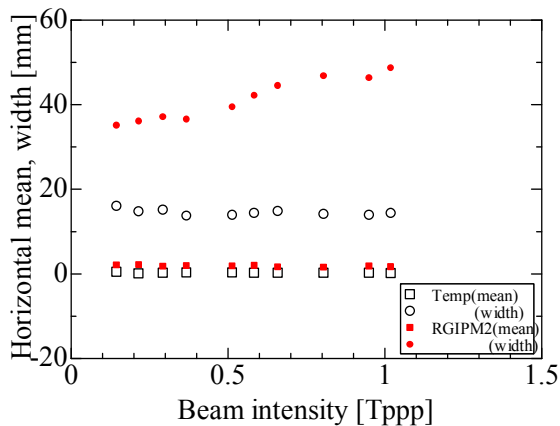


Fig.5 Horizontal beam mean, width (0.14-1.02Tppp)

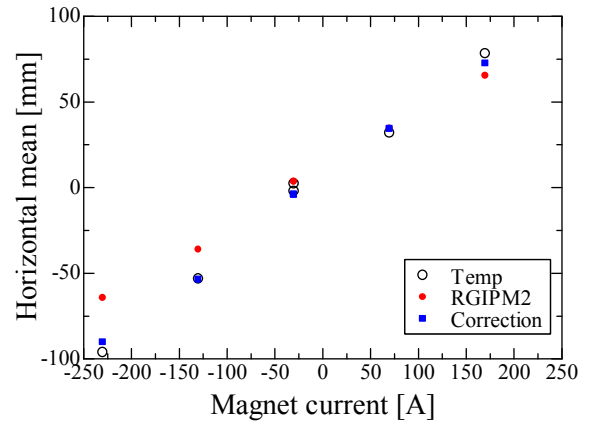


Fig.7 Correction of Horizontal beam mean

3.5 ビーム位置依存性

次にD型電磁石の電流を変化させ、ビームを垂直方向へ偏向させることにより、プロファイルの変化を測定した。平均入射陽子数は 3.22×10^{12} pppだった。

結果を図6に示す。図は電磁石の電流を-230、-30、170Aに変化させた結果を用いている。結果より、ダンプ中心付近では中心位置は一致したが、上述の通り幅は大きくなった。また電磁石で偏向することにより、温度プロファイルとRGIPM2の中心位置がずれた。これはRGIPM2、ビームダンプ間の距離が4.75mあり、磁石により偏向されることによりビームが角度を持つため、装置が下流へ行くほど中心位置の変化が大きくなり、一致しなかった。

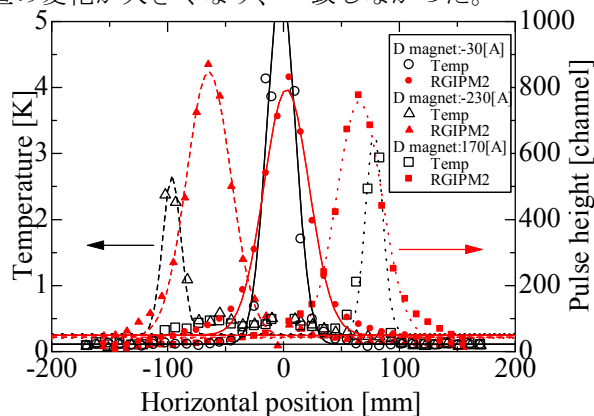


Fig.6 Horizontal beam profile (3.22Tppp)

これを考慮に入れ、RGIPM1、2のビームプロファイルの中心位置と装置間距離からダンプでの中心位置を予測し、温度プロファイルと比較した。ダンプがビーム軸方向に5mあるので、予測はダンプ中心部2.5mで行った。

2台のRGIPMから予測した結果を図7に示す。これよりビームダンプでの中心位置を補正することにより、温度プロファイルとの誤差が平均5.5%になることがわかった。また、発熱を利用したビームファイル測定がよく動作していることがわかった。

4. まとめ

ハドロンホールビームダンプで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。

- 陽子ビームのエネルギー寄与による温度上昇はビーム強度が低いため、生データおよび測定周期間温度差から見られなかった。しかし各熱電対の生データからビーム入射前の平均温度を減算することにより、温度上昇およびプロファイルを確認できた。
- ビーム強度を変化させたが、中心位置は変化せず、幅はRGIPMが大きくなった。これはRGIPMの場合電離電子が電極までドリフトする間に残留ガス分子との弾性衝突によって拡散が起るためである。
- 偏向電磁石によりビームを曲げた結果、中心位置はずれが生じた。これはRGIPM2とビームダンプ間に距離があり、偏向によりビーム軸に対してビームが角度を持ったためである。
- 2つのRGIPMの中心位置と装置間距離からダンプ付近の中心位置を予測・比較した結果、温度プロファイルほぼ一致し、誤差は5.5%と低かった。
- よって発熱を利用したビームプロファイルモニタは正しく動作していることがわかった。

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(3)”, 第6回日本加速器学会年会報告集, pp. 699-701, 2009. 8
- [3] 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