

Design and Development of Beam Dump for J-PARC Hadron-hall [3]

Keizo Agari, Masaharu Ieiri, Yohji Katoh, Akio Kiyomichi, Yoshinori Sato, 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, 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 construction of Japan Proton Accelerator Research Complex (J-PARC) had been completed in Jun. 2007 in Tokai-mura by the High Energy Accelerator Research Organization (KEK) and the Japan Atomic Energy Agency (JAEA). An experimental hall for nuclear and particle physics (Hadron-hall) is designed to handle intense slow-extraction proton beam.

A beam dump at the end of the primary beam line in Hadron-hall is designed to safely absorb the 750-kW beam power. Its central core is made of copper with water coolant, and covered by iron and concrete for radiation protection. This beam dump's components, such as the radiation shields, the pipes for water coolant, the wires etc., had been installed in Oct. 2008, and first transportation of the proton beam to the beam dump was successful in Jan. 2009. However, the increase in temperature at the copper core was not observed with the proton beam, because of the low beam intensity and its high thermal capacity of copper.

The present paper reports the construction of the beam dump and the results of the beam test.

J-PARCハドロンビームダンプの設計・開発 (3)

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相当高温になる可能性がある。

50GeVに加速された陽子ビームは、早い取り出しでニュートリノビームラインへ、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、その後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へのビーム輸送に成功した。

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。そのため無酸素銅中心部に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。また無酸素銅を冷却する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、配管・配線などビーム位置より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。

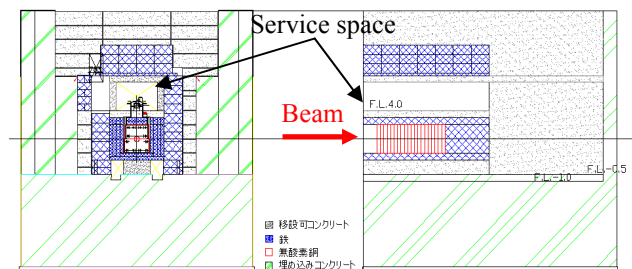


Fig.1 Beam dump

今回ビーム近傍の無酸素銅・鉄・コンクリート遮蔽体は新規に製作するが、その他の鉄・コンクリート遮蔽体にはKEKつくばキャンパス内東・北カウンターホールやトリスタンで使用されたものがリサイクルされる。

またJ-PARCは2期に分けて建設を行っているため、HDホールでは1期実験終了後拡張工事が行われる。その際ビームダンプを約50m下流に移設させ、これもリサイクルされる。

3. 設置

3.1 移設用レール

J-PARC建設は2期に分かれ、ハドロンホールの拡張の際ビームダンプも下流へ移設させ、再利用する。移設はスライドジャッキ、シリンダーなどを油圧で操作し、レールの上を走行する。移設はビーム運転後に行われ、移設機器の放射化や作業者の被曝から、作業時間が限られるため、実験前にレールを設置することにした。

このレールはH鋼に補強リブを溶接したもので、建屋建設の際、建屋の鉄筋とボルトにより締結され、その後コンクリートで埋設されることにより1000tonもの質量に耐えられることになる。

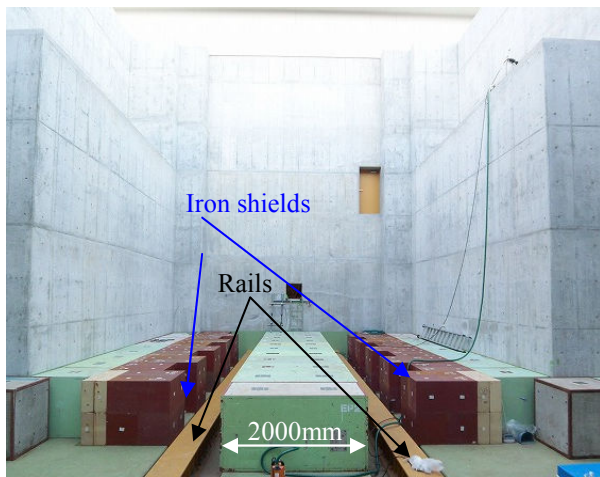


Fig.2 Rails for moving (2007.8)

3.2 鉄遮蔽体

2008年6月より本格的な遮蔽体の設置が開始され、まず下面の鉄遮蔽体を設置した。中心部の銅・鉄遮蔽体は新規に機械加工によって $\pm 0.5\text{mm}$ の加工精度で製作され、中心部の遮蔽体はピボット勘合により設置する。よって下面の鉄遮蔽体を設計どおりに設置することにより、遮蔽体の設置精度がほぼ決まるため慎重に設置された。また鉄遮蔽体は相互に溶接するため、溶接後の反りの確認を行った。溶接前後では上下流の端に最大5.3mmの反りを確認した。これは溶接の開先が両面ではなく、片面のみであり、また遮蔽体が拘束されておらず、溶接後すべての反りが両端に累積されていったと思われる。反りを減少させるために溶接の盛り量を設計値に減少させ、またこの遮蔽体に載積される最大限の遮蔽体を設置してから溶接を行った。その結果反り量は最大で1mmになり、減少することに成功した。

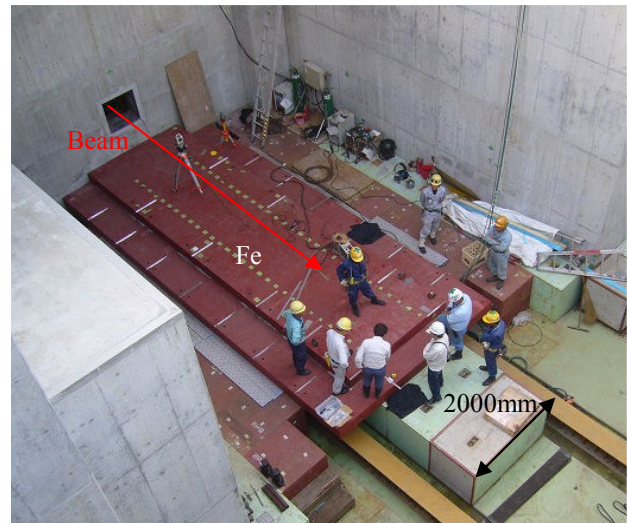


Fig.3 Iron shields (2008.6)

3.3 無酸素銅コア

次に陽子ビームのほとんどを吸収する無酸素銅遮蔽体を設置した。この無酸素銅はエネルギー寄与による多大な熱が発生するため、冷却水を流す配管加工が無酸素銅外周部に直接加工されている。その冷却水配管はサービス・スペースまで配管を延長させるが、残留放射線を低減させるために遮蔽体の隙間をクランク状に配管される。

またビームを直接吸収する中心部には温度測定用熱電対が設置され、ビームによる発熱を測定でき、この部分ではビームによる窒素酸化物の生成を防ぐため吸気ファンにより負圧管理されている。配管出口にサーモスタットを設置し、間接的に水温を常時モニターし、ある一定の温度で発報するようになっている。

無酸素銅は下流から設置するため、上流では最大1.42mmのずれが生じた。しかしビームダンプの性能としては問題がないため、このまま設置を進めた。

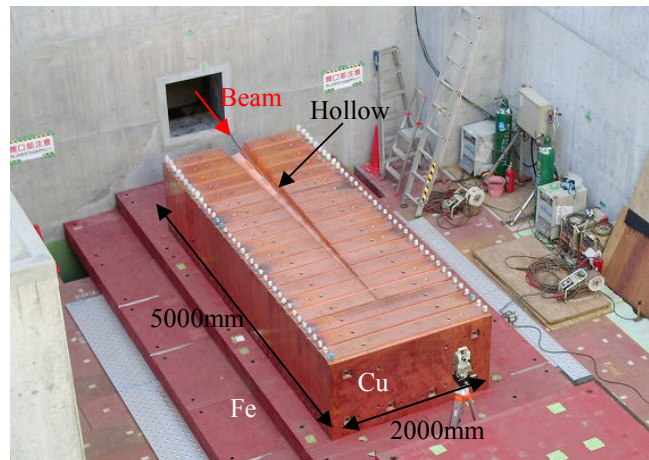


Fig.4 Copper (2008.6)

3.4 周辺遮蔽体

最後に無酸素銅コアを取り囲むように鉄・コンクリート遮蔽体を設置した。ほとんどの遮蔽体はKEKつくばキャンパス東・北カウンターホールで使用されたものを輸送し、設置した。またトリスタンで使用された電磁石のヨークも遮蔽体として設置している。

2008年10月に初期ビーム条件（1.2kW）の遮蔽形状に沿ったものを設置し（図5）、2009年8月に下流・上流側に遮蔽体を積み増したことにより、現在は計算上10kWのビームが受け入れ可能になった。またこの上部に遮蔽体を積み増すことによって受け入れ可能なビーム強度を上げることができ、最終的にはフルビームの受け入れが可能になる。

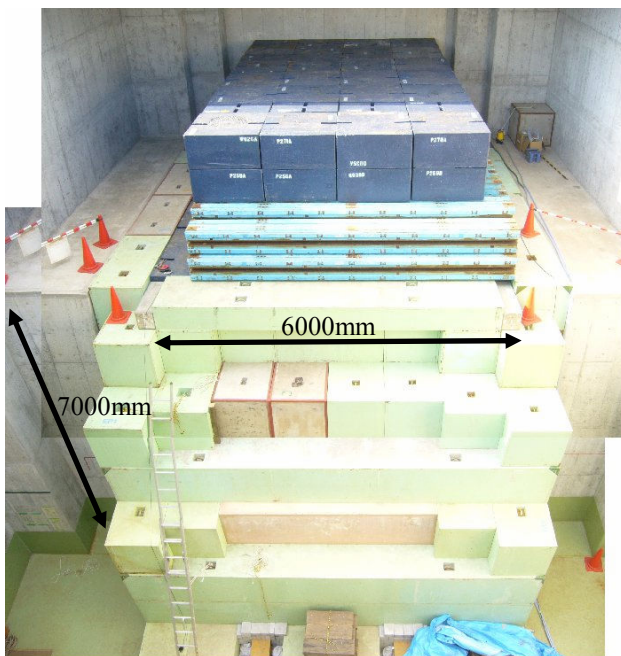


Fig.5 Overall view (2008.10)

4. ビーム試験

4.1 ビーム条件

ハドロンビームライン機器の設置完了後、このビームラインへのビーム輸送が2009年1月から開始された。輸送はルミネッセンススクリーン、RGIPM、SECなどのビームモニターを用いて行われ、2009年1月27日19時35分にダンプへの輸送が確認された。今回のビームの申請値は下記である。

- 30GeV-0.04 μ A (1.2kW)
- 1.5×10^{12} ppp
- 繰り返し周期:6sec、FT:0.7sec

4.2 エネルギー寄与による発熱

ハドロンホールへのビーム輸送成功後、陽子ビームのエネルギー寄与による無酸素銅コア中心部の発

熱を測定した。6秒周期、0.7秒取り出し、5分連続運転の条件で行った。図6より、x軸は熱電対の水平方向設置位置、y軸は熱電対による銅表面温度である。ビーム強度が低く、無酸素銅の熱容量が大きいため、銅中心部表面温度の上昇を確認できなかった。また外周部ももちろん上昇せず、配管出口部のサーモスタットの発報もなかった。

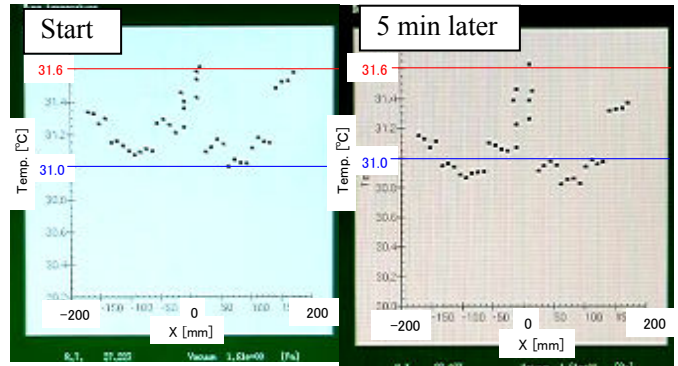


Fig.6 Beam Test for only 5 min

5. まとめ

ハドロンホールビームダンプの建設を行い、またビームを吸収した結果、下記のことがわかった。

- ◆ 2007年8月よりビームダンプの建設が開始され、2008年10月に完了し、2009年1月にダンプへの初ビームの吸収に成功した。
- ◆ 陽子ビームのほとんどを吸収する無酸素銅は水平方向に最大1.42mmのずれがあったが性能には問題が無い。
- ◆ 銅外周部には冷却水配管が直接施工されており、また銅表面や間接的に水温を常時モニターできる。
- ◆ 鉄遮蔽体に溶接ひずみが発生したが、溶接時にあらかじめ上部の遮蔽体を設置することにより、ひずみを低減できた。
- ◆ 今後遮蔽体を積み増すことにより、フルビームを吸収できるようになる。
- ◆ ビームの吸収による銅表面の発熱は見られなかった。これはビーム強度が低く、銅の熱容量が高いためである。

6. 謝辞

一連の研究は、文部科学省科学研究費「基盤研究(A): 18204026」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(2)”, 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, pp. 464-466, 2008. 8