

Design and Development of Beam Dump for J-PARC HD-hall

Keizo Agari, Masami Iio^{A)}, Masaharu Ieiri, Yohji Katoh, Akio Kiyomichi, Yoshinori Sato, Yoshihiro Suzuki
Hitoshi Takahashi, Minoru Takasaki, Kazuhiro Tanaka, Akihisa Toyoda, Megumi Naruki, Hiroyuki Noumi
Erina Hirose, Michifumi Minakawa, Ryotaro Muto, Yutaka Yamanoi, Hiroaki Watanabe
High Energy Accelerator Research Organization (KEK)
1-1 Oho, Tsukuba, Ibaraki, 305-0801
^{A)} Riken
2-1 Hirosawa, Wako, Saitama, 170-0013

Abstract

Japan Proton Accelerator Research Complex (J-PARC) is now under construction 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) [1] is designed to handle intense slow-extraction proton beam and provide kaons, pions, and other secondary particles for multi-purpose physics use. The construction of this building had been completed at June, 2007 and this beam line's components such as target, electromagnet, beam dump etc. will start to be installed soon.

A beam dump at the end of the primary beam line 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.

The present paper reports the R&D status of robust and radiation-resistant cooling system and earthquake-proof construction.

J-PARC ハドロンホールビームダンプの設計・開発

1. はじめに

現在J-PARCは高エネルギー加速器研究機構と日本原子力研究開発機構で建設が進められている。この加速器施設において、大強度ビームを取り扱うビームラインは、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の高温になる可能性がある。

50GeV-PSの陽子ビームは、早い取り出しでニュートリノビームラインへ、遅い取り出しで今回の表題であるハドロンビームライン¹⁾に輸送される。陽子ビームはスイッチヤードを通り、ハドロン(HD)ホールまで輸送され、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。HDホールではT1ターゲット付近で30%吸収されるが、ビームダンプの設計目標としては加速器の最高スペックである50GeV, 15 μ A, 3.0×10^{14} pppの陽子ビームを吸収するものとして設計され、放射線的にもまた熱的にも最も過酷な条件下で運転されることになる。

今回はハドロンビームラインのビームダンプの設計・開発の現状を報告する。

2. ビームダンプの構造

ビームダンプ(図1)は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、コンクリートが設置される。無酸素銅はほとんどの陽子ビームを吸収するため多大な熱が発生するので、中心部に円錐状の空洞を作ることにより、エネルギー寄与を分散させる。無酸素銅中心部で発生した放射

線により冷却水が放射化されないため、その冷却は外周部で行われる。またメンテナンスは無酸素銅部2m上方のサービススペースから行われる。

中心部近傍の鉄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再利用される。

また本計画は2期に分けられ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。その後ビームダンプは下流へ移動するため移設を考慮に入れた設計を行わなければならない。²⁾

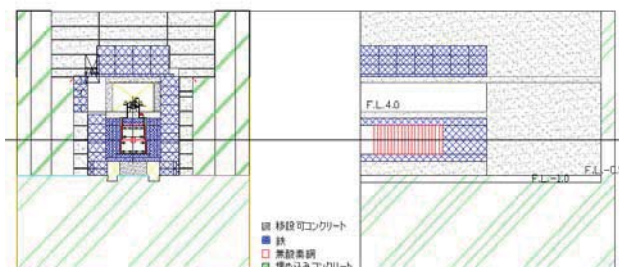


図1 ビームダンプ

3. 冷却装置の開発

3.1 概要

ビームダンプの無酸素銅は陽子ビームのエネルギー寄与により多大な発熱がある。その冷却のために無酸素銅表面近傍にガンドリルで長穴を切削し、それらを繋ぎあわせ冷却水路にしているため、冷却経路は複雑な形状をしている。この冷却装置についてはシミュレーションでの発熱・熱応力の計算や小型のモデルで冷却性能が測定された²⁾が、実機サイズでは検証されておらず、冷却試験を行った。

3.2 実験方法

無酸素銅のモックアップ（図2：1400×1000×200mm）を製作し、冷却水流量、エネルギー寄与を想定したヒータの熱量を変化させた。冷却水経路は図2に示すとおり、2系統あり、実機では1系統で水漏れが発見されても、残りの1系統で冷却できるように設計されている。ヒータ（図2の右下）には15kWまで発熱できるものを設置した。ビームシミュレーションでは1000×1000×250mmでのエネルギー寄与による発熱は11.7kWであることがわかっており、このヒータで充分対応できる。温度測定はK型熱電対を無酸素銅表面(Ch1~Ch48)、冷却水入口温度(Ch50)、出口温度(Ch51)、室温(Ch49)を設置した。

試験では冷却水を1系統のみ流し、無酸素銅全体を均一な温度にし、その後ヒータで加熱した。加熱を続けるとある温度で飽和に達するので、その後ヒータを止め、冷却水温度と無酸素銅表面温度が同等になるまで冷却水を流し続けた。

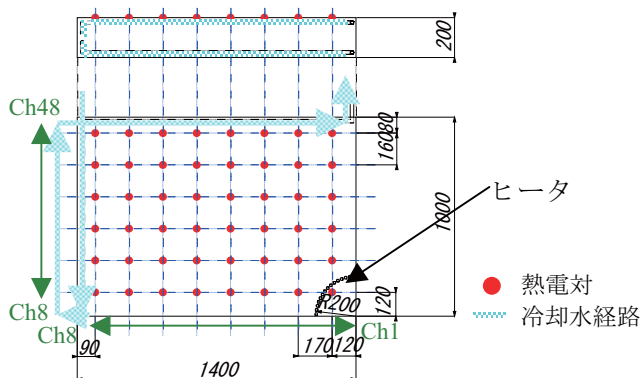


図2 冷却試験モデル

3.3 冷却性能

試験結果を図3に示す。流量が10l/min、ヒータは13.4kWであり、1系統のみ冷却した。この条件では、無酸素銅表面は最高温度が200℃以下になり、冷却水の出入口温度差が16.6Kであった。また飽和状態から常温に冷却するまでに約5時間かかった。

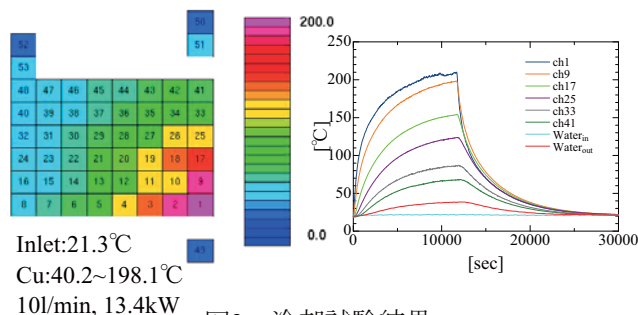


図3 冷却試験結果

3.4 冷却水OFF、ヒータONの時

ビームダンプでビームを吸収し続けている時、冷却水ポンプが故障などで停止しそれを気づかなかった場合、無酸素銅部で多大な発熱が予想される。そのため冷却水は止め、ヒータの電源を切らない場合の試験を行った。

結果より約5分後には冷却水出入口部で気泡の流動が目視で確認され、10分後では冷却水温度と約10Kの温度差で同期して無酸素銅配管部でも100℃まで温度上昇したため測定を中止した。無酸素銅中心部で温度の変化が無かったが、外周部では全体的に約10K上昇していることが確認できた。以上より冷却水が止まり、陽子ビームを吸収しつづけ無酸素銅が過度に発熱する危険を回避するなら、出口配管部表面に温度計を設置させ、間接的に冷却水温度を常時監視すればよいことがわかった。

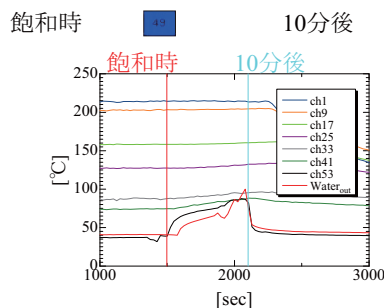
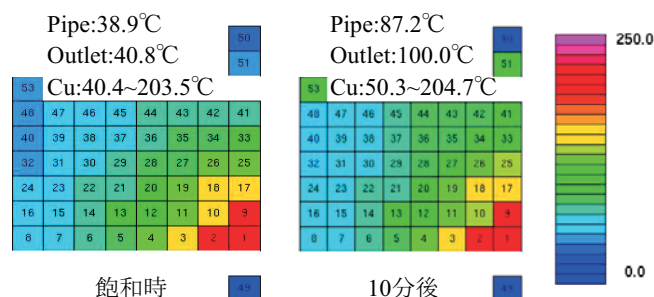


図4 冷却水停止試験結果

4. 耐震設計

4.1 概要

このビームダンプは数百個の遮蔽体から構成され、中心部分にはサービススペースがあり、そこは装置が設置される他は空洞である。そのため地震が発生

することにより、遮蔽体が倒壊し機器への損傷を与える危険性があるため、耐震解析を行った。

この解析では不連続変形法^{3,4)}を用いた。解析モデルを図5に示す。図の門型コンクリートは上部の遮蔽体の荷重を受けていないため、震動しやすい。遮蔽体設置後にできる隙間を100mmとし、震動させた。与える入力地震動としては平成7年1月神戸海洋気象台で観測された兵庫県南部地震（最大震度7、マグニチュード7.3）を用い、その地震動は水平、鉛直方向を同時に発生させ、遮蔽体の挙動、遮蔽体同士の接触などを観察した。ちなみにこの地震動の最大加速度は、水平818gal、鉛直332galである。この震動を外周部のコンクリート全体に与え、この中にある遮蔽体の挙動を観察した。

遮蔽体の挙動は摩擦係数に依存するが、遮蔽体の種類により表面の粗さが不均一であり、一定の値が得られないため、摩擦係数をある一定の値に設定し、その値を0.5から0.3まで変化させ挙動を観察した。

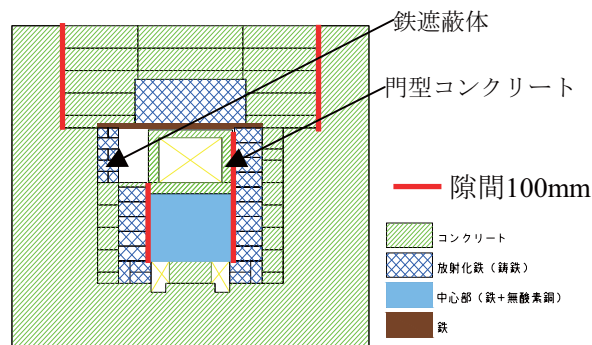


図5 耐震解析モデル

4.2 遮蔽体の挙動

図6より摩擦係数が0.5の時は、震動後遮蔽体の倒壊が発生していないが、サービススペースを囲む門型コンクリートが最大215mm左へとその近傍の鉄遮蔽体が最大303mm右への変位が確認された。摩擦係数を0.3に下げると、これらの遮蔽体の変位が大きくなり、鉄遮蔽体ではブロックが崩れそうになっていることが確認できたが倒壊はまだ発生していないため、どの摩擦係数においても倒壊しなかった。

中心部と鉄遮蔽体間の衝突が発生したが、接触した最大圧力は1.5MPaであり、鉄の降伏応力は350MPaに比べると低い値になり、破壊が発生しないと考えられる。

この解析から最悪なケースは、サービススペース近傍の鉄遮蔽体が倒壊し、その直上の遮蔽体が門型コンクリートへ乗り、その荷重に耐えられず遮蔽体が崩壊すると考えられる。これを防ぐには鉄遮蔽体を一体化させ倒壊の危険性を減少させる、もしくは隙間を埋めることにより震動を減らすことが考えられる。

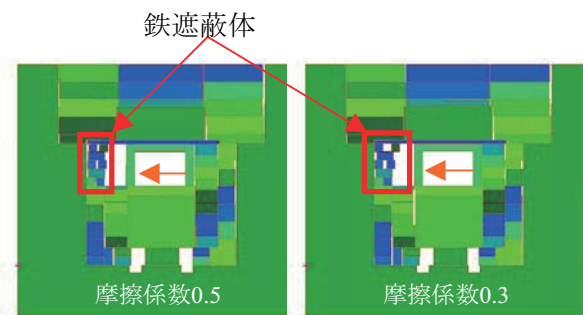


図6 耐震計算結果

5. まとめ

HDホール用ビームダンプの設計・開発を行っていることで下記のことがわかった。

- 冷却試験を行った結果、無酸素銅表面温度は10l/min、13.4kW以下では200℃を超えず、飽和状態から常温まで冷却するには約5時間かかる。
- 冷却水が止まり、ビームを吸収し続けた場合、約10分で冷却水は沸騰する。
- 出口配管の表面温度は冷却水出口水温とほぼ同期していることがわかった。これより実機では、冷却水温度を直接的に測定せず、配管温度を間接的に測定することにした。
- 耐震解析を行った結果、摩擦係数が0.5～0.3に変化させたが、倒壊は発生しなかった。
- 震動による遮蔽体同士の衝突では、遮蔽体自身は破壊しない。
- より安全性を求めるには、設置後にできる隙間を埋め、空洞近傍の鉄遮蔽体を一体化する。

6. 謝辞

一連の研究は、文部科学省科学研究費「基盤研究(A):17204019」と「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”, 第2回日本加速器学会年会第30回リニアック技術研究会報告集, pp. 772-774, 2005. 9
- [3] 佐々木猛等, “不連続変形法 (DDA) とその岩盤工学への適用に関する研究”, 土木学会論文集 No.493/III-27, pp. 11-20, 1994. 6
- [4] 赤尾悟史等, “不連続変形法の地震応答解析への適用に関する基礎的研究”, 土木学会 第36回岩盤力学に関するシンポジウム講演論文集, pp. 175-180, 2007. 1