

Design and Development of HD-Hall Beamdump in J-PARC

Keizo Agari, Masaharu Ieiri, Yohji Katoh, Yoshinori Sato, Yoshihiro Suzuki, Hitoshi Takahashi
Minoru Takasaki, Kazuhiro Tanaka, Akihisa Toyoda, Hiroyuki Noumi, Erina Hirose
Michifumi Minakawa, Taichi Miura, Yoshikazu Yamada, Yutaka Yamanoi, Hiroaki Watanabe
High Energy Accelerator Research Organization (KEK)
1-1 Oho, Tsukuba, Ibaraki, 305-0801

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 Research Institute (JAERI). J-PARC 50GeV-PS (Proton Synchrotron) aims to provide more than 100 times higher beam power than that of KEK 12GeV-PS. An experimental hall for nuclear and particle physics (HD-hall) [1] is designed to handle intense slow-extraction proton beam and provide kaons, pions, and other secondary particles for multi-purpose physics use.

A beam dump at the aftermost 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 beam dump has to be moved to 50m downstream when HD-hall will be expanded in the future, so we design beam dump to take into account with moving device.

The present paper reports the current R&D of robust and radiation-resistant cooling system and how to move the beam dump safely.

J-PARC HD-hall ビームダンプの設計・開発

1. 概要

現在、高エネルギー加速器研究機構と日本原子力研究所の統合計画（J-PARC）の一環として、最高エネルギー50GeV強度 $15\mu\text{A}$ の大強度陽子シンクロトロン（50GeV-PS）の建設が推進されつつある。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、遅い取り出しで今回の表題のハドロンビームライン¹⁾に輸送される(図1)。ビームはスイッチヤード（SY）を通り、HDホールまで輸送され、ターゲットを通り、ビームダンプで吸収される。ビームダンプは実験で使用されなかったすべての陽子ビームを吸収し、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。

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。

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

ビームダンプの構造（図2）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。そのため中心部に円錐状の空洞を作り、エネルギー寄

与を分散させる。またその外周部には冷却装置があり、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十分離れた距離に位置している。またメンテナンスは銅部上方のサービススペース²⁾から行われる。

HDホールではT1ターゲットで30%のビームロスがあるが、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、 $15\mu\text{A}$ 、 $3.0\times 10^{14}\text{ppp}$ の陽子ビームを吸収するものとして設計を行う。

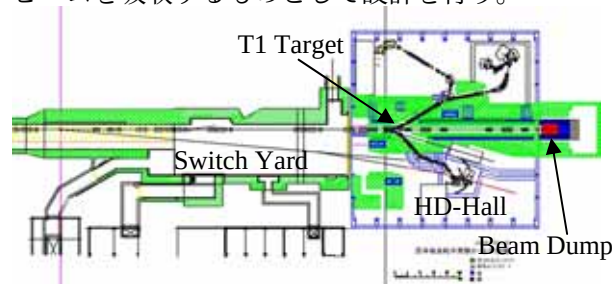


図1 HD-Hall全体図

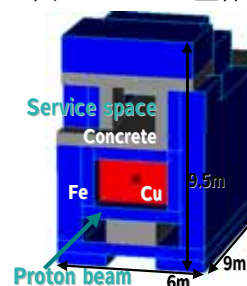


図2 ビームダンプ概略図

3. 冷却装置

3.1 エネルギー寄与による発熱と熱応力解析

ビームダンプの構造を最適化するためビームシミュレーションコードMARS³⁾と有限要素法ソフトANSYSを用いた熱解析を行った。計算条件は実機の1/4モデルの高さ1m、幅1m、奥行きそれぞれ無酸素銅5m、鉄3mのコアである。無酸素銅中心部の円錐状の空洞は直径350mm、高さ4400mmである。無酸素銅は奥行き方向に200mmずつ区切られており、それぞれの銅板には熱伝達は無く、冷却は外周から熱伝達係数 $1000\text{W/m}^2 \cdot \text{K}$ で冷却されているものとした。結果（図3）より中心部で 255°C になった。

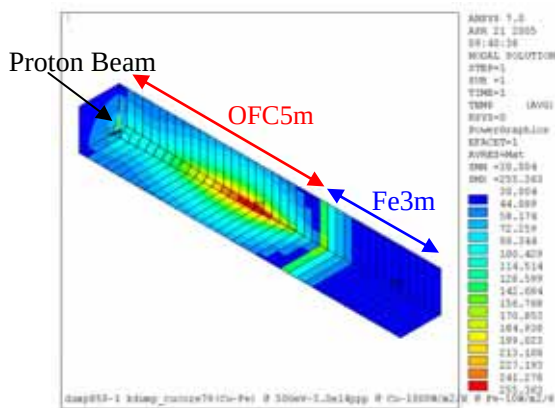


図3 温度分布

次にこの一番発熱した銅板の熱応力解析を行った。

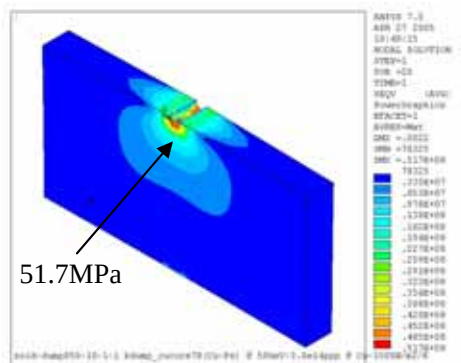


図4 熱応力解析（スリットなし）

解析の結果、最大応力51.7MPaはコア中心で発生し、この温度での無酸素銅の0.2%耐力より高くなったそこで応力集中を分散させるため、円錐部にスリットを1,2本入れた計算を行った結果を図5に示す。

図5よりスリット数を増やすと応力が分散され最大応力は低減し、0.2%耐力以下となった。しかし図6より、スリット数が2以上になると応力はそれ以上低下しない傾向が見られた。それはスリット1本の時はx軸方向のみひずみが解放され、2本ではx,y軸の両方とも開放され、それ以上スリットを増やしても応力は低減されないと考えられる。

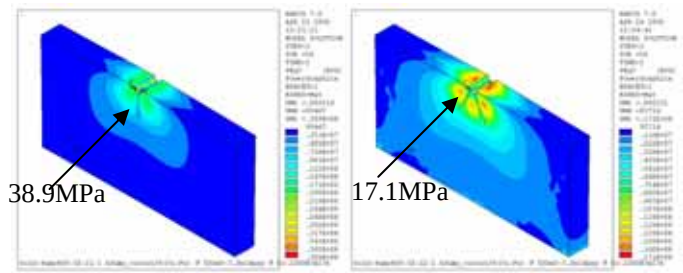


図5 応力解析（スリット1,2本）

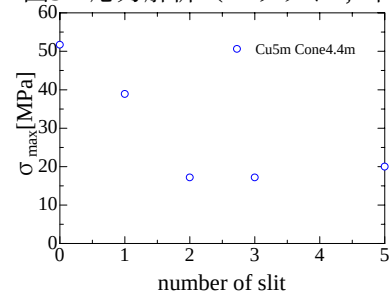


図6 最大応力とスリット数の関係

3.2 冷却方法

冷却は無酸素銅に表面に沿ってBTA(Boring and Trepanning Association)加工と言われる穴加工を行い、それらをつなげ水路とした冷却方法を選択した。BTA加工とはガンドリルと比べ径の大きな深穴加工に用いられる。今回は上述の熱解析で用いた熱伝達係数 $1000\text{W/m}^2 \cdot \text{K}$ が妥当な値か調べるため、図7のような装置で熱伝達係数を測定した。

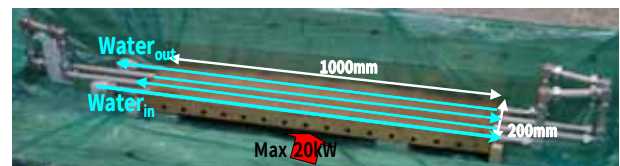


図7 BTA方式

3.3 冷却試験と結果

熱伝達係数を測定するため、冷却試験を行った。それぞれの冷却装置には入熱は~20kWまで設定できる。温度測定にはK型熱電対を使用し、銅表面を測定し、その温度勾配により熱伝達係数を計算した。

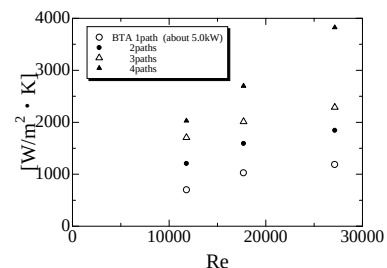


図8 入熱5kWの熱伝達係数

図8よりパス数を増やすと熱伝達係数が増加し、1パス、 $\text{Re}=20000$ 以上で $1000\text{W/m}^2 \cdot \text{K}$ を達成した。よって、BTA方式を用い、立体的に配管することによりダンプを製作することが可能となった。

3.4 配管方法

BTA加工を用いるためには、ダンプに配管とBTAで切削した穴を塞ぐため蓋を接合しなければならない。しかしダンプ側の熱容量が大きいので、溶接では十分な予熱ができず、接合できない。今回は電子ビーム溶接と真空ろう付けを用いて、実機を模擬した銅の配管を接合した(図9)。ダンプ側の体積は1500x1000x200mmと充分大きいものを用いている。どちらも接合は表面上成功したが、これから水圧をかけた後、断面を観察する予定である。



図9 (a)EBW接合 (b)真空ろう付け

4. 移設設計

4.1 移設させる構造

移設させる構造はコア部無酸素銅・鉄、周りの鉄500mmとコア部直上のコンクリートで、移設時には前部に遮蔽用鉄が配置される。コア部の下部には移設装置設置用の空洞が左右2つあり、あらかじめレールを設置することにより被曝作業が少なくなる。

ダンプの重量を計算すれば約900[ton]となり、これにサービススペースに配置される配管、移設時の前部遮蔽体を加え、設計目標荷重を1000tonとした。

4.2 移設手順

一期実験終了すると拡張工事が行われ、それに伴いビームダンプの放射線も低減される。拡張工事後に、遮蔽体を取り外し、周辺装置の養生が行われ、移設装置を設置する。その後、移設し、周辺機器・遮蔽体の再設置後、二期実験が開始する。

4.3 移設装置

走行装置は1000tonという荷重・作業性・省スペースであるスライドジャッキ(図9.a)が最適だと思われる。スライドジャッキは昇降ジャッキに方向調整ジャッキと底面にすべり材を設置し、1つで荷重支持と揚重の2つの働きをする。また移設動力は水平ジャッキ(図9.b)が最適だと思われる。この装置は走行レール上で伸縮型油圧ジャッキ先端部に反力を取り牽引し、設置精度が優れ、後進が可能である。スライドジャッキと水平ジャッキは動力源の油圧を共有し、一つにまとめて移設できる。

水平ジャッキ、スライドジャッキを図10のように配置し、ダンプ前後方向にそれぞれ牽引反力と反力盛替え用にクランプを設置する。このクランプは軌条を直接つかみ、移設時にはどちらか一方が軌条をつかんでいることにより逸走防止にもなっている。



図9 (a)スライドジャッキ (b)水平ジャッキ

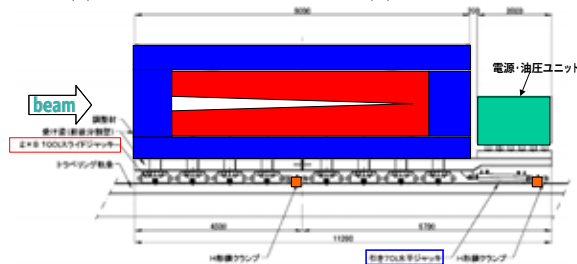


図10 移設装置の配置

移設サイクルとしては、走行方向前方クランプ開放、ジャッキ伸長、前方クランプ締付、後方クランプ開放、ジャッキ収縮、後方クランプ締付を繰り返すことにより移設可能となる。この1サイクル約3分で1m移動し、50mでは約2時間30分となり、1日の労働時間(8時間)で移設可能である。

5. まとめ

- 陽子ビームによる発熱、熱応力解析により、銅は250°Cまで上昇し応力は60Mpaになったが、スリットを入れると応力は低減できる。
- 冷却方法はBTAを用い、配管・蓋接合はEBW、真空ろう付けを用いる予定である。
- 移設装置はスライドジャッキや水平ジャッキを用い、構造や手順の最適化を行った。

6. 謝辞

一連の研究は、文部科学省科学研究費「基盤研究(B)(2):15340084」と「基盤研究(A)(2):17204019」によって支援されている。

参考文献

- [1] K. AGARI *et al.*, "Design of slow extraction beam line at 50GeV-PS in the High Intensity Accelerator Facility", Proceedings of the 13th Symposium on Accelerator Science and Technology, October 2001, p. 464-466
- [2] Y. YAMANOI *et al.*, "Development of A High-Intensity Beam Handling System at KEK-PS New Experimental Hall", KEK Preprint 89-165 (1989)
- [3] N.V. Mokhov, "The Mars Code System User's Guide", Fermilab-FN-628 (1995). N.V. Mokhov, S.I. Striganov, A. Van Ginneken, S.G. Mashnik, A.J. Sierk and J. Ranft "MARS Code Developments", Fermilab-Conf-98/379 (1998); LANL Report LA-UR-98-5716 (1998); nucl-th/9812038 v2 16 Dec 1998. N.V. Mokhov, "MARS Code Developments, Benchmarking and Applications", Fermilab-Conf-00/066 (2000).