

J-PARC ハドロン実験施設ビームダンプ温度測定システムの改修 UPGRADE OF TEMPERATURE MEASUREMENT SYSTEM FOR BEAM DUMP AT J-PARC HADRON EXPERIMENTAL HALL

上利恵三[#], 里嘉典, 豊田晃久, 森野雄平
Keizo Agari[#], Yoshinori Sato, Akihisa Toyoda and Yuhei Morino
High Energy Accelerator Research Organization (KEK)

Abstract

A beam dump at the J-PARC Hadron experimental hall was made of copper with coolant channels, and surrounded with iron and concrete for radiation protection. Forty thermocouples were horizontally attached at the centre of the copper structure to measure the temperature distribution. We upgraded the temperature-measurement and interlock system of the beam dump to detect the damage and stop the beam operation as soon as possible. The temperature-measurement and interlock system were designed to work with a Programmable Logic Controller (PLC). The beam operation was restarted on April, 2015 with the upgraded system. This paper reports the current status of the temperature-measurement and interlock system of the beam dump at the J-PARC Hadron experimental hall.

1. はじめに

J-PARC は大強度ビームを取り扱う加速器施設で、そのビームライン機器は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。

30GeV 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²⁾で吸収される。

ビームダンプでは機器の状態を把握するため、熱電対によりビームダンプ表面温度を測定している。しかし安全性の向上や機器状態をいち早く検知するため測定・制御システムについて改修を行った。

2. ビームダンプ

ビームダンプ (Figure 1) は実験時使用されなかったビームを吸収する装置であり、陽子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陽子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。無酸素銅は陽子ビームを吸収し、エネルギー寄与により発熱する。無酸素銅は 2000×2000×5000mm で、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 の大きさになった。このような分割方法になったのは発熱部と冷却部の間に隙間が無いように設計されたためである。無酸素銅中心部には円錐状の空洞を作ることにより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を行うことにより作業者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。これよりエネルギー寄与による発熱の温度分布からビームプロファイルが確認できる³⁾。また温度を測定することにより機器の状態を把握できる。

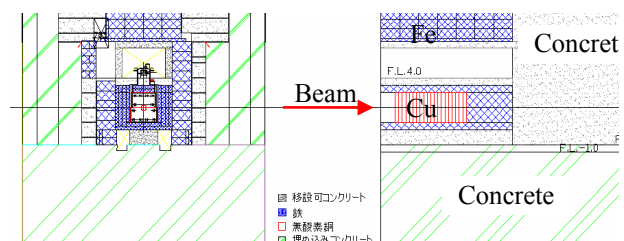


Figure 1: Beam dump.

3. 制御システム

3.1 機器の概要

ビームダンプの安全性向上と機器状態をいち早く検知するため、ビームダンプ温度測定制御システムの改修を行った。

改修にあたり、測定・制御機器として横河電機製 Programmable Logic Controller (PLC) FA-M3V シリーズを採用した。PLC の詳細については 3.2 で述べる。安全性向上のため無酸素銅表面温度により作動するインターロックシステムを導入した。これは 3.3 で述べる。

3.2 PLC

今回温度測定制御機器として横河電機製 PLC である FA-M3V シリーズを採用した。Figure 2 に PLC の外観を示す。この PLC は豊富なモジュールが用意され、今回は CPU、出力、温度計測モジュールから構成されている。特に CPU モジュールは Sequence-CPU と EPICS-CPU の 2 つからなり、共有メモリによって互いのデータ、信号を共有している。Sequence-CPU は温度計測、温度としきい値の判別、インターロック信号の出力での全ての測定・制御を行っている。EPICS-CPU は Linux 対応 CPU モジュールである F3RP61 上に EPICS が組み込まれたモジュール⁴⁾で、Sequence-CPU で得られたデータ・信号を共有メモリを経由し EPICS レコードを作成し、ChannelArchiver によりデータを記録している。EPICS レコードによりデータを取得し表示用ソフトウェアを作成している。

またこれまで他機器により 5 秒周期で温度を測定していたが PLC の温度計測モジュールにより 0.2 秒周期で計測可能なため高速化できる。



Figure 2: PLC.

3.3 インターロック

J-PARC では機器を保護するためにインターロック信号として Machine Protection System(MPS)を導入している。これは機器の異常を検知し MPS 信号を発報することにより、加速器運転を自動的に停止させることができる。

これまでビームダンプでは配管に設置した温度スイッチにより安全性を確認してきた。今回は安全性や即応性を訴求するため、直接ビームを吸収するダ

ンプ無酸素銅表面温度 40 点全てに MPS を設定した。またこれら温度に 2 段階のしきい値を設定した。1 段階目のしきい値を超えるとアラーム音（注意報）が鳴り注意を喚起し、2 段階目のしきい値を超えると MPS 発報（警報）し、加速器運転は自動的に停止する。

4. 表示画面

4.1 温度分布

熱電対で測定しているビームダンプ表面温度は無酸素銅の円錐状空洞内に水平方向で 40 箇所配置されている。この温度分布を計測することにより、ビームプロファイルが確認できる。Figure 3 に無酸素銅の円錐状空洞内に設置した熱電対を示す。

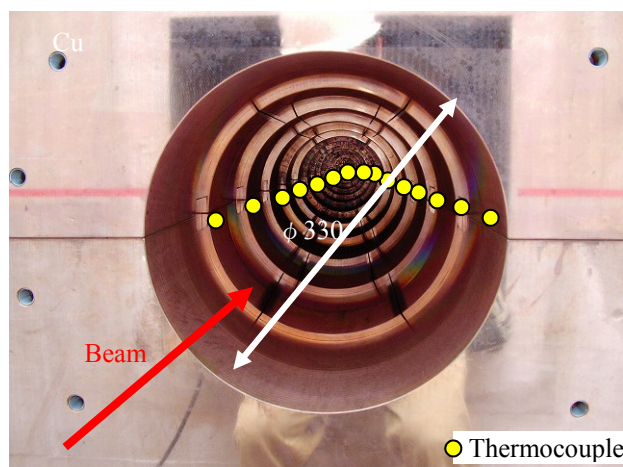


Figure 3: Thermocouples on the surface of the copper structure.

Figure 4 に示す温度分布の表示画面を作成した。この画面は wxPython⁵⁾で作成された。Figure 4 の左上はダンプコア温度と水平方向の位置の関係を、右上はコア温度からビーム入射前の温度を引いた値と位置の関係を、左下は無酸素銅外側温度と位置の関係を示している。左上と右上は温度と水平方向の位置関係をガウス分布にフィットした結果を線でそれぞれ示し、右下にフィットしたガウス分布の係数（平均、 σ ）などを示している。ガウス分布より求めたビーム中心位置とビームダンプ上流にある 2 台の残留ガスプロファイルモニター⁶⁾と位置関係より求められたビームダンプでのビーム中心位置を比較している。またフィットされたガウス分布を計算することにより無酸素銅の円錐状空洞にビームが入射した比率を表示している。

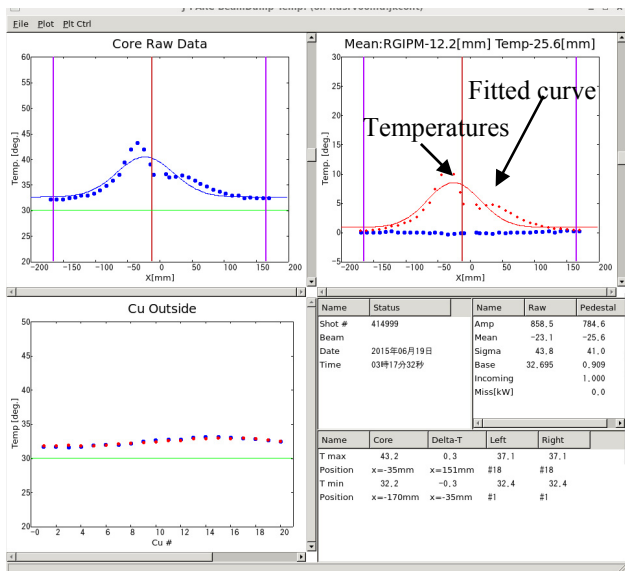


Figure 4: Display of temperature distribution.

4.2 トレンドグラフ

加速器運転時、ビームダンプ温度を監視し、状態を把握するため、トレンドグラフを常時表示している。トレンドグラフは StripTool⁷⁾というソフトウェアで作成した。このソフトウェアは EPICS レコードを入力するのみでトレンドグラフを作成でき、下部ボタンによりグラフ軸を変更できる。Figure 5 にトレンドグラフを示す。縦軸はビームダンプ温度[°C]、横軸は時間である。横軸に水平で上部にある 2 線は上限値 (注意報・警報) を示している。

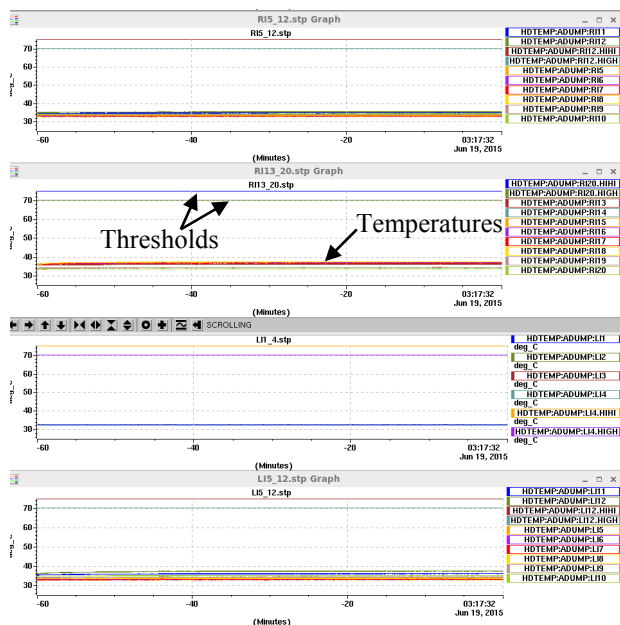


Figure 5: Trend graphs.

4.3 インターロック

ビームダンプ表面のある温度がしきい値を超えると MPS を発報する。この MPS が一旦発報すれば加

速器運転は自動的に停止し、リセットしない限り MPS 信号は自己保持され、加速器運転は再開できない。

Figure 6 に MPS の画面を示す。この画面は緑色が正常で、赤色になると異常を警告している。例えば図のように RI18 という熱電対の温度がしきい値を超えた場合、赤く点灯し MPS を発報したことを示している。

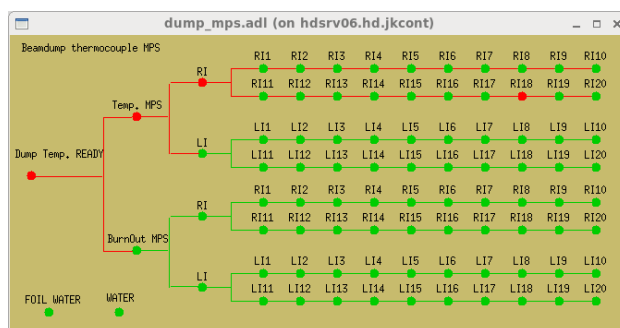


Figure 6: Display of interlock system.

5. まとめ

J-PARC ハドロン実験施設ビームダンプ温度測定システムの改修を行った。主な内容は次の通りである。

- 測定・制御機器である PLC を設置・配線し、ラダーや EPICS-IOC のプログラムを作成した。
- 温度測定を高速化することにより、機器の状態をより早く把握できる。また MPS をより早く発報できることにより安全性が向上した。
- 温度分布、MPS、トレンドグラフの画面を作成し、視覚的に機器の状態を把握できるようになった。

現在このシステムが約 2 カ月間正常に動作していることを確認した。

6. 謝辞

本研究は、JSPS 科研費 26800153 の助成を受けたものです。

参考文献

- [1] K. Agari, et al., "Secondary charged beam lines at the J-PARC hadron experimental hall", Progress of Theoretical and Experimental Physics (PTEP), 2012.
- [2] K. Agari, et al., "Development and Construction of The Beam Dump for J-PARC Hadron Hall", Proceedings of the 2nd International Particle Accelerator Conference (IPAC) in San Sebastian, Spain, Sep. 4-9, 2011.
- [3] K. Agari, et al., "Development of Beam Profile Monitor Measured by Temperature Distribution of Beam Absorber", the 9th Annual Meeting of Particle Accelerator Society of Japan, in Osaka, Japan, Aug. 8-11, 2012.
- [4] <http://www-linac.kek.jp/cont/epics/f3rp61/>
- [5] <http://www.wxpython.org/>
- [6] Y. Sato, et al., "Development of Residual Gas Ionization Profile Monitor for High Intensity Proton Beams", IEEE Nuclear Science Symposium Conference, Oct. 23-29, 2005.
- [7] <http://www.aps.anl.gov/epics/extensions/StripTool/>