

# J-PARC RCS ビーム運転のための様々な機器の時系列監視 THE TIME SERIES MONITORING OF VARIOUS EQUIPMENTS FOR THE BEAM OPERATION OF J-PARC RCS

畠山 衆一郎<sup>#, A)</sup>, 山本風海<sup>A)</sup>  
Shuichiro Hatakeyama<sup>#, A)</sup>, Kazami Yamamoto<sup>A)</sup>  
<sup>A)</sup> JAEA J-PARC Center

## Abstract

J-PARC Rapid Cycling Synchrotron (RCS) accelerates the 400 MeV beam from LINAC to 3 GeV and distributes the beam to the Materials and Life Science Experiment Facility (MLF) and Main Ring Synchrotron (MR) in rapid cycle (25 Hz). Since the accident of Hadron experiment facility, J-PARC facilities have to achieve further safety operation and if some equipment fails it is required to make a quick and overall diagnosis about the influence of the beam loss to the environment. In this presentation, it is described the development of the application software to gather the various RCS equipment's data (beam current, beam loss, closed orbit distortion, radioactivity in the area, temperature of beam dump, cooling water flow and temperature, charge exchange rate, and vacuum pressure in the beam duct) and show them in time series. Also it is presented an example of the operation data and described a consideration of the data.

## 1. はじめに

大強度陽子加速器施設(J-PARC)は、400MeV 線形加速器(LINAC)、3GeV 速い繰り返しのシンクロトロン(RCS)、30GeV 主リングシンクロトロン(MR)の3つの加速器で構成され、実験施設としては RCS からのビームを受け入れる物質生命科学実験施設(MLF)と、MR からのビームを受け入れるニュートリノ実験施設(NU)、ハドロン実験施設(HD)の3つの施設がある。

J-PARC では 2013 年 5 月に発生したハドロン実験施設の事故を受け、想定外のリスクに対する見直しが図られた。その結果特にリスクが高いと評価された事象に関しては、特別な機器保護システム(MPS)のインターロックに組み込まれることとなった[1]。

加速器施設の中で RCS に関しては、

- (1) MLF の中性子ターゲットに通常運転の設定を超えた強度のビームを出力するリスク
- (2) 加速器真空容器、ダンプに異常なビームが当たり融解させるリスク
- (3) 放射化した冷却水が配管の劣化で漏れるリスク

の3つのリスクが考えられ、これらに対する MPS が導入された[2]。

MPS が発報する原因は、機器の不調、ビームパラメータの誤設定、ノイズによる誤発報など様々であり、それらを特定するには関係する機器の履歴を比較調査する必要がある。そこで RCS に関する様々な機器からのデータ(ビーム電流、ビームロス、ビーム閉軌道の歪み、エリア内の放射線強度、ビームダンプ温度、冷却水流量・温度、荷電変換効率、ビームダクト真空圧力)を一つにまとめて、リアルタイムで時系列で表示し、必要であれば過去の履

歴も参照できるソフトウェアシステムを開発した。開発は三菱電機システムサービス株式会社によって行われた。

## 2. システム構成

J-PARC 加速器の主要な機器の設定値、モニタ値などの情報は、EPICS [3]とよばれる分散制御システムを用いて加速器の制御ネットワーク内で参照可能となっている。放射線情報に関しては JAEA 側の施設(LINAC, RCS, MLF)と KEK 側の施設(MR, NU, HD)で個別に監視し加速器のネットワークから参照不可能であったが、ハドロン事故後には組織横断的な情報共有が求められ現在は加速器側から参照可能となった[1]。

今回開発したソフトウェアシステムでは、Figure 1 に示すように、各機器のデータは入出力コントロール計算機(IOC)から RCS のローカル制御室に設置されたサーバー計算機へ EPICS レコードを介して収集される。

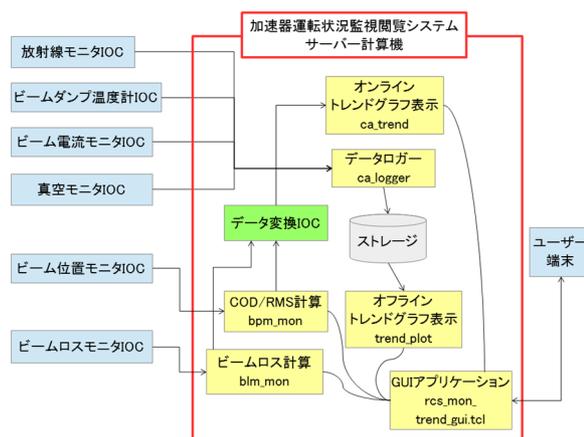


Figure 1: Overview of the system configuration.

<sup>#</sup> hatake@post.j-parc.jp

収集されたデータのうち、ビームロスモニタに関しては、設置数が多いので、サーバー計算機内で全周のロスモニタの値の総和の情報に集約される。同じくビーム位置モニタに関しては閉軌道の歪み(COD)のRMSを入射時、加速時、出射時それぞれ計算してそれらの平均値として情報集約される。これらのデータは過去 2 時間までリアルタイムで時系列でグラフに表示される。またデータは別プロセスでサーバー計算機上のディスクに逐次保存され、後に任意の期間のグラフを時系列で表示できる。

### 3. データの例と考察

以下サーバーに保存された 2016 年 3/29 から 6/13 までの時系列のデータを例として示す。

#### 3.1 ビーム電流・ロス・COD-RMS

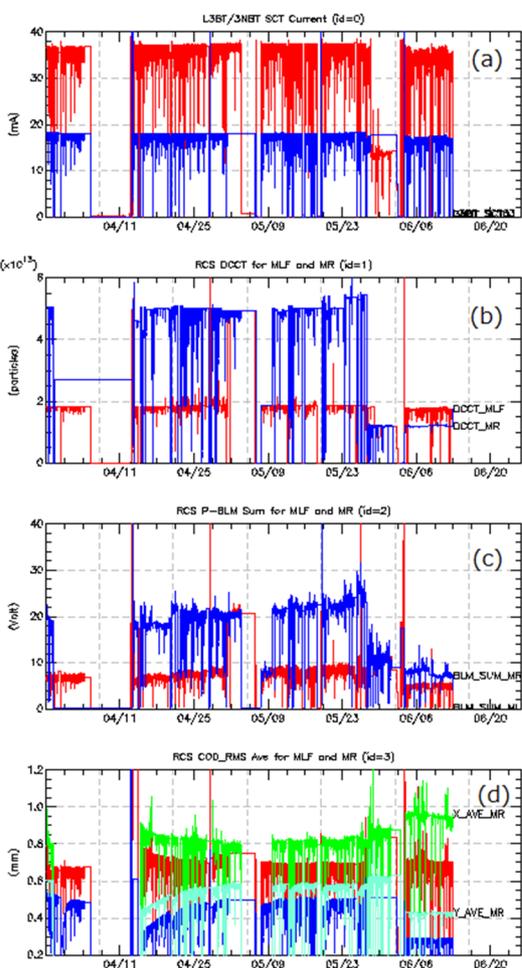


Figure 2: Trends of beam currents, loss, COD RMS.

Figure 2 (a)は、LINIAC から RCS へのビーム輸送ライン(L3BT)の最下流のビーム電流モニタ(CT)のモニタ値 (mA) (赤)、RCS から MLF へのビーム輸送ライン(3NBT)の上流部の CT のモニタ値( $10^{12}$ protons) (青)。

Figure 2 (b)は、RCS の DCCT で測定した粒子数で、それぞれ MLF 行(赤)と MR 行(青)である。

上の例では2回ほど長期間ビームが停止しており、4/5

～4/13 は入射コリメータ内真空リークのため遮蔽体の撤去作業(3.3 章参照)がありビーム運転が停止していた。また 5/3～5/9 は MR 入射セプタムのトランスが小動物の侵入による短絡で故障しビーム運転が停止していた。

ビーム強度は MLF 行はこの期間中は 200kW で、MR 行は 5/27 まで NU 利用運転で 380kW(5/23～5/25 は 400kW)、5/28 から HD 利用運転で 40kW であった。

Figure 2 (c)はビームロスモニタ値の総和で、それぞれ MLF (赤)、MR (青)である。ビームロスはおおよそビーム強度に比例している。

Figure 2 (d)は COD の RMS の平均値で、それぞれ水平方向 (MLF: 赤、MR: 緑)、垂直方向 (MLF: 青、MR: 水色) である。水平方向の COD の RMS がたまに 10～20%大きくなるときがあり、ビームロスも増えている。この現象は入射タイミングのみ顕著であり、原因は入射電磁石機器の磁場の一時的な変化、上流の LINAC からのビームエネルギーの一時的な変化などが考えられるがまだ特定できていない。垂直方向の COD の RMS は長期ビーム停止からビーム運転を再開した後、主電磁石系の磁場が安定するまで徐々に大きくなる傾向があるが、ビームロスには影響していない。

#### 3.2 放射線モニタ

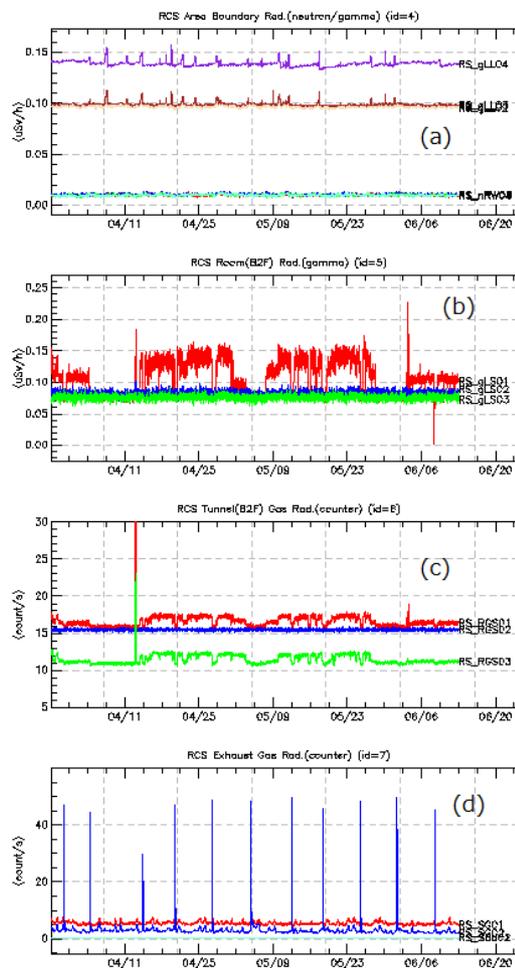


Figure 3: Trends of radiation monitors.

Figure 3(a)は地上部の RCS 棟の周辺エリアに設置されたガンマ線モニタ(紫、茶など)と中性子モニタ(水色、青など)で単位は  $\mu\text{Sv/h}$  である。ガンマ線に関してはビーム運転と関係なく値が変化することがあるが、この傾向は降雨の時間帯と同期しており、大気中の天然放射性核種を含んだ塵が雨で地表に落とされるためであると考えられる。中性子モニタに関しては上記期間中に関しては大きな変化は見られなかった。

Figure 3(b)は、第1種管理区域内の冷却水ホット機械室(赤)、及び空調ホット機械室(青、緑)に設置されたガンマ線モニタで単位は  $\mu\text{Sv/h}$  である。冷却水からのガンマ線は警報レベル( $\sim 10 \mu\text{Sv/h}$ )の 1/100 程度で推移しておりビーム運転と同期して値が変化している。

Figure 3(c)は、電離計数管を用いた加速トンネル内の循環空気の数値(カウント毎秒)で警報レベルの 2/3 程度で推移しており、ビーム運転と同期して値が変化している。Figure 3(d)は、同じく、空調の排気空気中の数値(カウント毎秒)で、メンテナンスでトンネル内の空気を排気するときに一時的に数値が上がっている。

### 3.3 冷却水流量、H0/3NBT ダンプ温度、H0 ダンプ電流、ビームダクト内圧力

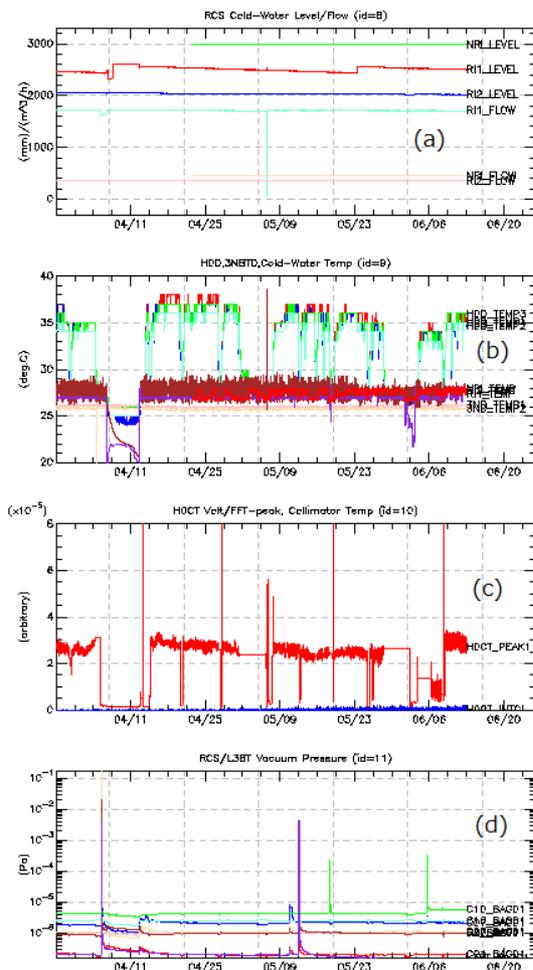


Figure 4: Cold water, dump temperature, dump current, vacuum pressure.

Figure 4 (a)は、冷却水タンクの液面(RI-1 系: 赤、RI-2 系: 青、N-RI 系: 緑)と流量(RI-1 系: 水色、RI-2 系: 桃色、N-RI 系: 肌色)である。メンテナンス時の流量調整などで変化している。

Figure 4 (b)は、H0 ダンプの温度(赤、青、緑、水色)と 3NBT ダンプの温度(桃色、肌色)、冷却水の温度(茶、紫)である。H0 ダンプには入射時に荷電変換されなかった粒子がダンプされるためビーム運転と同期して温度が変化している。

Figure 4 (c)は、H0 ダンプラインに設置された CT の波形をフーリエ変換して中間バンチの周波数の一次高調波のピークを検出したもので荷電変換されなかった粒子の相対的な量を測定している。H0 ビームダンプの温度とおおよそ同じ傾向であることがわかる。4 か所ほどグラフの範囲を超えて値が大きくなっているが、これはビーム試験時に荷電変換効率を測定するため荷電変換フォイルを抜き入射ビームが全て H0 ダンプに行っているからである。

Figure 4 (d)は、ビームダクト内の圧力である(入射部 C01: 赤、第1アーク C07: 青、出射部 C10: 緑、第2アーク C16: 水色、RF 直線部 C20: 桃色、第3アーク C27: 肌色、H0 ダンプ: 茶、L3BT: 紫)。4/5 に入射部、H0、L3BT ラインの真空が悪化した原因は入射部コリメータ内の真空が破れたため、修復のためこの部分のコリメータ遮蔽体が撤去された。6/5 の出射部 C10 での真空の悪化はターボポンプが不具合で停止したため、このとき一時的な圧力上昇により出射部のビームロスが局所的に増大しロスモニタの MPS が発報した。これを踏まえて圧力の悪化時に警報が鳴るようにしロスが起こる前に異常が検知できるような対策がなされた。

## 4. まとめ

RCS のビーム運転でリスクが高い事項に関わる様々な機器からのモニタ値を収集し時系列で監視するソフトウェアシステムを開発した。またこのシステムを用いた 2016 年 3/29 から 6/13 までの時系列のデータを例として示した。

## 参考文献

- [1] N. Kamikubota *et al.*, "NEW SURVEILLANCE SYSTEM TO ENHANCE SAFETY OF J-PARC ACCELERATORS", Proceedings of 11th Annual Meeting of PASJ, Aug. 2014, Aomori Japan.
- [2] K. Yamamoto *et al.*, "INCREMENT OF THE MACHINE PROTECTION SYSTEM IN J-PARC RAPID CYCLING SYNCHROTRON", Proceedings of 11th Annual Meeting of PASJ, Aug. 2014, Aomori Japan.
- [3] <http://www.aps.anl.gov/epics/>