

J-PARC RCS における機器状態監視システム MACHINE STATUS MONITORING SYSTEM FOR J-PARC RCS

高橋博樹^{#, A)}, 澤邊祐希^{B)}, 渡邊和彦^{B)}

Hiroki Takahashi^{#, A)}, Yuki Sawabe^{B)}, Kazuhiko Watanabe^{B)}

^{A)} Japan Atomic Energy Agency

^{B)} Mitsubishi Electric System & Service Co., Ltd.

Abstract

The amount of monitor value (operation information) tends to increase, because of the increase of accelerator components, or in order to realize the safety and the stable operation. Then, an enormous volume of operation data increases the possibility of occurrence of erroneous operation such as overlooking of monitor value and etc. At present, since PPS and MPS are robust safety system, an erroneous operation never caused serious problems. However, in order to ensure the safe and stable operation of the J-PARC accelerator, the occurrence of such human error is alarming. Therefore, for the purpose of operation support, we started designing and producing a system that monitors the machine status and detects alarm status (not normal status) from 2017. First, for Linac, we designed and produced a function to detect the alarm status based on the set value, and we could get the prospect of constructing this system. Next, this function was applied to the machine status monitoring system for RCS. In addition, we are designing and developing functions to detect the alarm status based on the reference value or fixed value, for the purpose of detecting setting errors due to human error. In this paper, the current status and future plans of machine status monitoring system for J-PARC RCS are presented.

1. はじめに

J-APRC 加速器は、400 MeV リニアック (Linac), 3 GeV シンクロトロン (RCS)、50 GeV メインリング (MR) およびビーム輸送系で構成されている[1]。これら加速器を構成する機器 (電磁石電源、ビームモニタ等) は EPICS (Experimental Physics and Industrial Control System) を介して遠隔制御が可能となっており、主に J-PARC の中央制御室から監視・操作が行われている。

しかしながら、加速器構成機器の増加および安全・安定な加速器運転維持のために、運転員や研究者が運転時に監視すべきパラメータ (情報量) が年々増加する傾向にある。監視すべき情報が膨大であることは、運転員が全ての機器状態を完全に把握することを困難にするものである。さらには、パラメータの設定ミスなど、運転員のヒューマンエラーにもつながるものである。現時点で、人員保護システム (PPS) や機器保護システム (MPS) の安全システムが堅固であるため、大事に至ったことはないが、J-PARC の安全・安定した運転維持において、このようなヒューマンエラーの発生は憂慮すべきことである。

そこで、運転支援を目的として、機器状態を監視し、運転員にパラメータの設定ミスなどを早期に知らせるシステムの設計・制作を 2017 より開始した。最初に Linac を対象とし、設定値をベースとして警報状態を早期検出することを目的とした機能を設計・制作し、本システム構築の見通しを得ることができた[2]。そして、RCS を対象にしたシステムこの機能を適用するとともに、通常状態 (基準値、固定値) をベースとして、ヒューマンエラー等による警報状態の検出を目的とした機能の設計・制作を進めている。本件では、J-PARC RCS における機器状態監視システムの現状と今後の計画を報告する。

2. 機器状態監視の現状

2.1 運転員による機器状態の監視

機器状態の監視は、EPICS を介して主に中央制御室から行われている。Linac および RCS における EPICS レコード数は、Table 1 に示す通り Linac: 約 44,900、RCS: 約 29,400 となっている。

Table 1: Amount of EPICS Records for Linac and RCS

EPICS record type	Linac	RCS
ao, bo, mbbo, longout, etc.	約 11,600	約 6,100
ai, bi, mbbi, longin, etc.	約 29,600	約 20,400
waveform, calc	約 3,700	約 2,900

これらの情報が表示される Linac および RCS の監視・操作画面について、ワイド画面にしてディスプレイを削減し (Fig. 1 参照)、さらに機能毎に情報を集約するなどして、運転員の監視・操作性の向上を進めている。また、レコード定義の最適化などにより、EPICS レコード (監視情報) の削減も進めている (Linac については 2017 年時より約 12,000 レコード少なくなっている)。

しかしながら、Linac および RCS におけるレコード数だけで合計約 84,000 であり、さらに MR などの監視も行うことを考えると、運転員 (サブシフトリーダー) が監視すべき情報量が依然として過大となっていることは明らかである。つまり、運転員のモニタ値の見落とし、それに伴う誤操作が生じる可能性が高い環境であることは否めない。

そのため、運転員の運転支援を目的とした機器状態監視システムの整備が必要不可欠となっている。

[#] takahashi.hiroki@jaea.go.jp

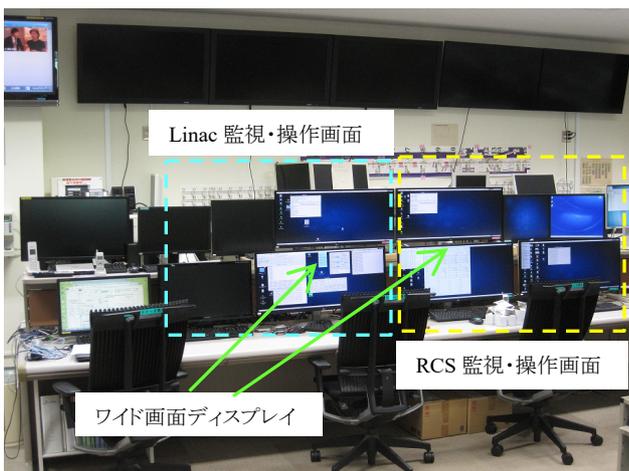


Figure 1: Picture of CCR displays for operator.

2.2 動的な上下限值による状態監視

まず 2017 年より Linac の電磁石電源を対象として、機器状態監視システムの設計・制作を開始することとした。

Linac の電磁石電源の電流値は、軌道計算ソフトウェアにより、逐次、最適な設定値が EPICS レコードに更新される。しかしながら、非常に電源の台数が多いことから、ネットワークの不具合により一部の設定値が反映されなかった場合、それを運転員の監視により見つけることは困難であった(適切な設定値とのズレが大きくなり MPS が発報することで、ようやく状況を把握)。そこで、動的に値が更新される「設定値」から、機器状態の閾値となる「上限値」及び「下限値」をもとめ、それにより正常/警報状態を判断する本機能を設計・制作することとした。

本機能は、

- (1) 設定値とリードバック値の比較
- (2) 設定値を基準としたモニタ値の比較

により機器状態を判断するものである。概要を Fig. 2 に示す。図に示す通り機能(2)では、設置値より上限値/下限値(以下「上下限值」と記す)を設定し、機器状態を

- ・正常状態: $\text{下限値} \leq \text{モニタ値} \leq \text{上限値}$
- ・警報状態: $\text{モニタ値} < \text{下限値}$ 、 $\text{上限値} < \text{モニタ値}$

と判断する。そして、警報状態になった場合は、監視画面の表示と音により運転員に知らせる。

また機能(1)では、設定値とリードバック値を比較し、リードバック値が設定値と同値ではない(あるいは、設定

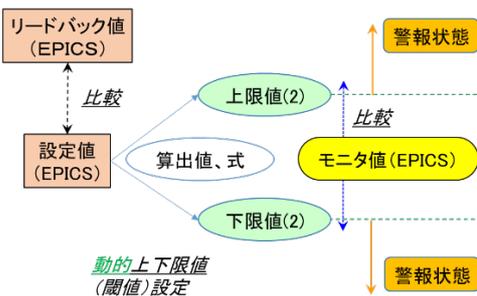


Figure 2: Main function of machine status monitoring system for Linac (first version).

値とリードバック値に有意な差がある)場合に、機能(1)と同様にして設定値不整合の警報状態を運転員に知らせる。

この「動的な上下限值による状態監視機能(1)、(2)」については、動作試験を行い、要求された性能を十分有することが確認できている[2]。

3. RCS における機器状態監視システム

そこで、まず Linac の「動的な上下限值による状態監視機能」を RCS の機器状態監視システムに適用した。その結果、Linac 同様の有用性が確認された一方で、以下の問題点が明らかとなった。

- (i) 人的ミスによる設定値の間違ひは検出不可
- (ii) 設定値がないモニタ値の異常の検出不可

何れも、上下限值が設定値により決定されることから、検出が不可能なのは明かである。そこで、この問題を解決する機能を新たに設計・制作することとした。また、RCS におけるビーム調整場所等を考慮し、システム構成の検討も行うこととした。

3.1 システム構成

RCS のビーム調整は、中央制御棟および RCS 棟の複数箇所にて行われる。よって、本システムによる機器状態の情報(正常/警報状態)は、複数箇所で見られること、並びに、その情報は同一でなければならないことを十分考慮する必要がある。

そこで、本機器状態監視システムにおいて、正常/警報状態の判断は 1 カ所(マスターPC)で行い、その判断情報を複数箇所で監視(表示)できる構成とすることとした(Fig. 3)。また、監視画面で状態判断状況も表示可能とすることを考慮し、マスターPC における正常/警報の状態情報だけでなく、判断に使用した閾値情報等も全て EPICS レコードとすることとした。また、マスターPC 上で動作する状態監視ソフトウェアは、設定値、モニタ値等の多数の EPICS レコードを取得し各機器状態を速やかに判断する必要があるだけでなく、安定した監視を実行し続ける必要がある。そこで、速い情報処理能力があり、メモリーク等の不具合が少なく信頼性が高い C 言語を用いてマスターPC の状態監視ソフトウェアを制作することとした。

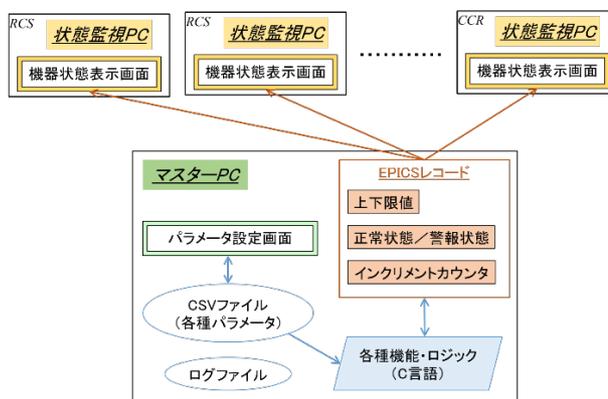


Figure 3: Configuration of machine status monitoring system for RCS.

一方、各監視場所で使用される状態表示画面については、異なるバージョンの Linux 上、OS 上で動作することを考慮し、Java で制作することとした。

3.2 静的な上下限值による状態監視

通常のビーム運転時における電源の電流値などの各機器パラメータは、ビーム調整により決定される(年数回程度)。そして決定された機器パラメータは、次のビーム調整が行われるまで変更されることは殆ど無い。よって、監視対象となるモニタ値は、通常のビーム運転において、一定期間(1~数ヶ月)、ある一定の範囲内の値になる。よって、監視すべきモニタ値(実測値)について、動的に更新される設定値ではなく、殆ど更新されない値(基準値)、または、更新されない値(固定値)より上下限值を設定することも、正常/警報状態の判断が可能である。

この様に、静的な値(基準値、固定値)より上下限值を設定して機器状態を監視することは、前述した(i)、(ii)の問題点の解決に有効であると考えられる。そこで、静的な上下限值による状態監視機能を設計・制作し、本システムに追加することとした。これにより、RCS の機器状態監視システムは以下に示す機能を有し、動的および静的な上下限値の両方を組み合わせた監視が可能となる。

- (1) 設定値とリードバック値の比較
- (2) 設定値を基準としたモニタ値の比較
- (3) 基準値を基準としたモニタ値の比較
- (4) 固定値によるモニタ値の比較

これらの機能の概略(関連性)を Fig. 4 に示す。

機能(1)、(2)は「動的な上下限值による状態監視」の機能であり、Fig. 4 において左側の部分となる。

一方、機能(3)、(4)は本システムで新たに設計・制作した「静的な上下限值による状態監視」の機能であり、Fig. 4 において右側の部分となる。これらの機能において、正常状態/異常状態の判断などの基本的なロジックについては、機能(1)、(2)の実績のあるロジックを採用して実装した。これにより、新たに追加した静的な監視機能について、誤動作のない高い信頼性を確保している。

ここで、機能(2)~(4)におけるそれぞれの正常範囲に

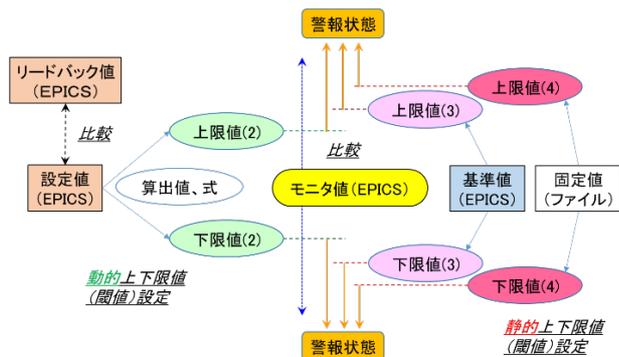


Figure 4: Main function of machine status monitoring system for RCS (latest version).

ついて、電磁石の電流値を例に考える。まず、 a [kW]~ b [kW]のビームが加速可能な範囲を正常と考えることができる。この範囲は加速器のビーム出力によって決まるものであり、加速器性能上、固定値で設定できることから、

機能(4)によって決定される正常範囲となる。次に通常運転時の c [kW] ($a < c < b$)ビームが加速可能な範囲を考慮することができる。これは、その時の加速器の運転により決まるものであり、要求されるビーム出力が変更になる時のみ(年数回程度)変更される。つまり、決定されると一定期間変更されない値(基準値)によって設定できることから、機能(3)による正常範囲となる。最後に c [kW]のビーム運転において最適な(ビームロスが少ない)範囲が考えられる。これは運転中の他の機器の状態、環境などによって変更されることから、動的な設定値をベースにした機能(2)による正常範囲となる。

必ずしも Fig. 4 に示した関係になるとは限らないが、一般に正常範囲は上述から分かるように「機能(4) > 機能(3) > 機能(2)」となる。つまり、動的な設定値について、静的な正常範囲を「許容範囲」として監視することが可能である。よって、ヒューマンエラーにより異なるビーム出力用の電流値(設定値)が設定された場合、機能(3)、(4)により、監視対象の電流値(モニタ値)が許容範囲外となっていることを検出することができ、設定ミスが発生していることを運転員に知らせることが可能となる。

3.3 その他の機能

上述の機能(1)~(4)の他に、Linac 監視システム既存の機能(5)~(7)を本 RCS 監視システム用に改良し、実装することとした。さらに、状態表示を多数で行うことを考慮し、通信状態の健全性を確認する機能(8)を新たに実装した。それぞれの機能の概略を以下に示す。

(5) ログおよびスナップショット機能

本システムに係る動作ログ、および、ある時点の基準値、上下限值など、システムで使用している状態監視用パラメータを、それぞれ csv ファイルとして記録する。

(6) 監視対象選択機能

監視対象のモニタ値等について、警報状態になった際のアラーム発報(画面表示および音)をマスク(アラームを ON/OFF)する機能である。行き先に応じて選択する自動設定と、操作による手動設定が可能である。

(7) 状態判定時間設定機能

ノイズ等によるモニタ値の一時的な変動の影響を排除するため、状態の変化があった場合、ある程度の時間同じ状態が持続されてから状態を判定する。

(8) 通信状態監視機能(インクリメント値監視機能)

機器の制御器(PLC など)およびマスターPC は、1秒周期でカウントアップする値(インクリメント値)を生成する。各インクリメント値は EPICS レコードになっており、これを監視し、数秒間カウントアップしない場合は通信状態が正常ではないと判断する。

機能(8)において、マスターPC は機器(PLC など)のインクリメントカウンタを監視することにより、監視しているモニタ値が正常に更新されている(現在値である)ことが担保できる。また、複数箇所での監視に使用される監視画面においては、マスターPC のインクリメントカウンタを監視(表示)することで、情報が正常かどうかを判断できる。例えば、Java アプリケーションにおいては、長時間の動作においてメモリーリーク等が発生することが経験上分かっている。そこで、状態表示画面にマスターPC のインクリメ

ントカウンタ表示し、それがカウントアップされることを確認することで、画面の動作状態および通信状態が正常かどうかを把握することができる。この様にして、誤情報による機器状態の誤判断を回避するとともに、同一の情報提供(表示)の確実性を高めている。

3.4 状態監視用パラメータ設定画面

各機能の状態監視用パラメータは全て config ファイル (csv 形式) に記述して定義する。しかしながら、機能が追加された本システムにおいては状態監視用パラメータが初期(Linac 用)システムの際よりも多くなり、さらに各パラメータにおいて他機能との関連性の確認も必要である。そこで、設定画面にて状態監視用パラメータを入力し、config ファイルとして保存・読み込み可能とすることとした。状態監視用パラメータ設定画面の例を Fig. 5 に示す。

図の上段(H0COL)は機能(2)、下段(RNGCOL01)は機能(3)の設定となっている。図に示す通り、監視するモニタ値、監視機能の選択(Type1~4)、上下限値の算出式など、全てのパラメータが画面上より確認・設定できることが分かる(当然、保存された csv ファイルを編集しての設定も可能である)。また、ここで変更したパラメータは直ぐに上下限値の EPICS レコードに反映することができ、

監視機能を一時停止することなく、最新の(適切な)監視を実施にすることが可能となっている。

3.5 機器状態監視画面

機器状態監視画面の例を Fig. 6 に示す。図の上段(H0COL)は機能(1)、(2)によりステッピングモータの位置を、下段(RNGCOL01)は機能(3)によりポテンシオメータの電圧値の状態を示している。まず H0COL は設定値(SetVal)が 0.00 (未設定)であることから、上下限値(MON_LO, MON_HI)が何れも 0.00 になっている。そのため、モニタ値(MonVal)は上限値外と判断され警報状態(ILK が赤色)と表示されていることが分かる。次に RNGCOL02 は基準値(BaseVal)より設定された上限値(BASE_HI)より大きいモニタ値となっている(MonVal: 405.00 > BASE_HI: 377.00)。そのため警報状態であるが、マスク設定中([M]が☑)のため、未警報(未アラーム発報、ILK が黄色)となっていることが分かる。

このように、各機器(EPICS レコード)の状態だけでなく、判断に使用した情報も表示することで、全ての監視箇所共通の状態把握を可能としている。

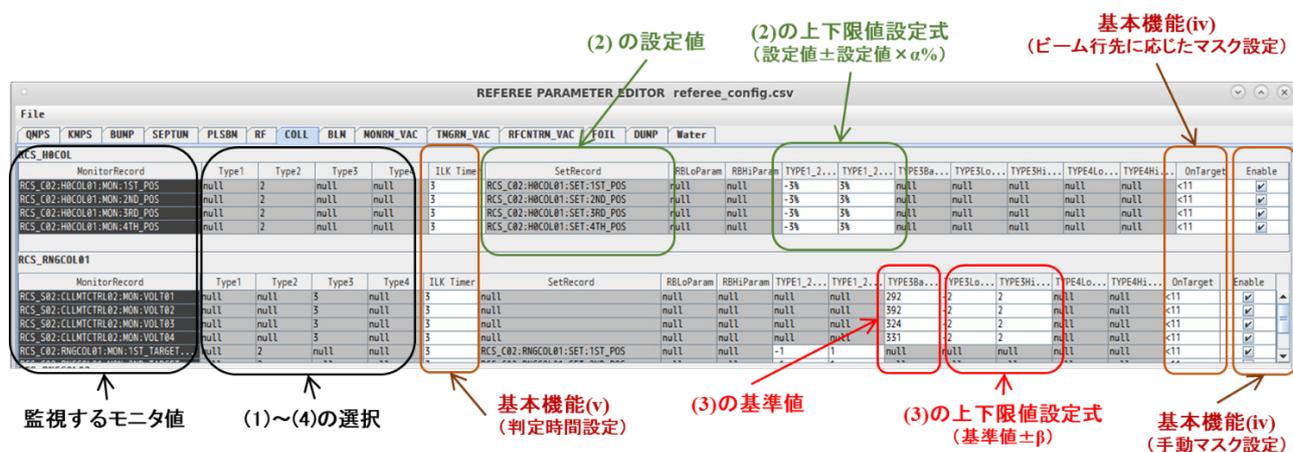


Figure 5: Sample OPI for parameters setting (H0COL and RNGCOL).

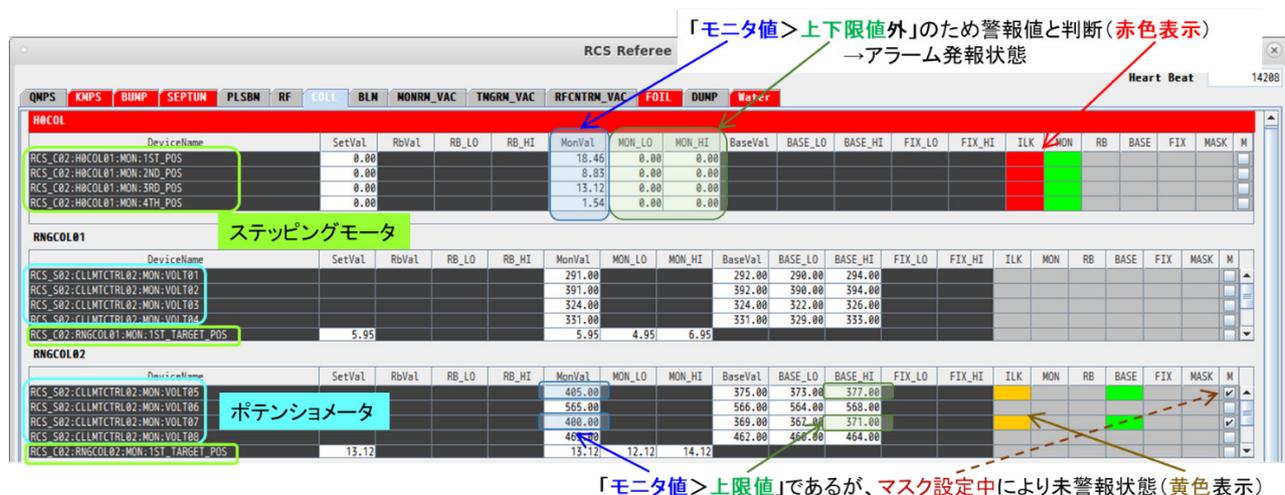


Figure 6: Sample OPI for machine status monitoring (H0COL and RNGCOL).

4. 現状と今後の計画

4.1 現状

制作した RCS 監視システムの動作確認を、実際の運転の監視により行った。そして通常運転時において、RCS コリメータのポテンショメータ用 PLC モジュールに不具合が生じ、モニタ値(電圧値・MON:VOLT)が通常値ではなくなる(マイナス値になる)という事象が発生した。この時、機能(3)の基準値ベースによる監視機能により、制作したシステムはこの事象を速やかに検出し、モニタ値が適切でない(機器状態が正常ではない)ことを的確に通知した。これより、本システムに実装した静的な監視機能が設計通りの動作をすることが確認できた。また、動的な監視機能も適切に動作していることも確認できており、動的および静的な監視機能を組み合わせた機器状態監視システムの有用性が確認できたと考えている。

4.2 今後の計画

今後、以下の機能の設計・制作を進めることを計画している。

まず「RCS 加速器状態監視機能(スナップショット監視機能)」である。通常運転(ビーム供給運転)時において、機器の各種パラメータ、機器状態が変更されることはない。そこで、通常運転開始時の加速器状態(機器ステータス等)をスナップショットとして記録し、運転中にスナップショットとの差(ズレ)の有無を監視することで、警報状態(異常状態)の早期検出を行うものである。現監視システムはアナログ値を監視対象としているが、本機能は主にデジタル値を監視対象とすることを考えている。

次に「機器状態集約機能」である。現在のシステムでは、警報状態の表示はパラメータ(EPICS レコード)毎となっており、運転員が監視すべきパラメータ多い状況となっている。そこで、警報状態の信号について、機器毎(各電源、電源種類、設置場所)、施設毎(Linac、RCS)にまとめた、警報状態集約信号(集約した EPICS レコード)を生成する。この集約信号を用いることにより、「施設」→「機器」→「詳細」という階層構造の監視画面の設計・制作が容易になり、運転員が監視すべきパラメータ数の大幅削減が可能になると考えている。

さらには、現システムに上記機能を組み込むことにより、デジタルおよびアナログを含めた機器状態を適切に把握し、ビーム運転開始の可否を判断するシステムの構築を進めたいと考えている。

5. まとめ

運転支援システムとして、加速器構成機器の状態を監視し、運転員に警報状態を早期に知らせる機器状態監視システム制作を進めている。本件では、警報の上下限值(閾値)を、「動的」および「静的」の両方を組み合わせて設定することができる、RCS の機器状態監視システムの現状について、「静的」な設定機能を中心に述べた。

また、実際の加速器運転時において、本システムの動作試験を実施した。その結果、設定値がない機器について、基準値および固定値をベースとしてモニタ値を監視し、正常範囲を逸脱した場合には警報状態を運転員に通知するなど、設計した機能が不具合なく動作するこ

とを確認した。これにより、制作した機器状態監視システムの有用性が明らかとなった。

今後、加速器状態監視機能などの設計・制作を進めるとともに、ビーム運転の可否を判断するシステムの構築を検討する予定である。

参考文献

- [1] Y. Yamazaki for J-PARC accelerator design team, "Technical design report of J-PARC", KEK Report 2003-13 and JAERI Tech 2003-44.
- [2] H. Takahashi *et al.*, "Supervision and alarm system for J-PARC Linac and RCS", Proceedings of the 14th Annual Meeting of Particle Accelerator Society of Japan, Sapporo, Japan, Aug. 1-3, 2017, pp. 1151-1154.