

J-PARC Linac および RCS における監視・警報システムの製作 SUPERVISION AND ALARM SYSTEM FOR J-PARC LINAC AND RCS

高橋博樹^{#, A)}, 澤邊祐希^{A)}, 渡邊和彦^{B)}, 川瀬雅人^{B)}

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

^{A)} Japan Atomic Energy Agency

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

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 planned enhancement of beam power, such erroneous operation causes great concern. Therefore, we started to develop a system to supervise the state of the accelerator and to inform abnormality early to operators. As an initial system, we developed a system to supervise the status of Linac DTQ power supplies and etc. In this initial system, first, the function was created to make the normal range (upper and lower limit values) with reference to the current setting value. Next, the function to inform the alarm condition when the monitor value becomes outside of the normal range was realized. This function is an important function in the initial system. By this realization, we obtained the prospect of development of supervision and alarm system. In this paper, the production status and future plans of supervision and alarm system for Linac and 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 (L3BT、3NBT、3-50BT) 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 を介して遠隔制御が可能となり、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 (Linac ACS など) や安全・安定な加速器運転実現のために、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) は増加する傾向にある。このような情報量の増加は、運転員の警報やパラメータ値の見落としなどによる誤操作の原因となるものである。現時点では、PPS や MPS の安全システムが堅固であることから、誤操作により大事に至ることはないが、計画されているビームパワー増強などを考慮した場合、このような誤操作は憂慮すべきことである。

そこで、運転支援を目的とし、加速器の状態を監視し異常を早期に知らせるシステムの製作を開始した。まず、初期システムとして Linac の DTQ 電磁石電源等の状態監視システムの構築を進めた。そして、電流設定値を基準として正常範囲 (上下限值) が設定され、正常範囲を逸脱した場合に警報状態を運転員に通知する機能を実現し、本システム製作の見通しを得ることができた。本件では、Linac および RCS における監視・警報システムの製作状況と今後の計画を報告する。

2. 監視パラメータ

現在の Linac および RCS における EPICS レコード数

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

は Linac: 約 57,000、RCS: 約 29,000 である。これは制御が管理する Data Base より自動生成されているものであり、実際にはこれより多いレコード数が利用されていると想定される。これら EPICS レコードの内訳を Table 1 に示す。Table 1 において、加速器の状態を監視するために利用される EPICS レコードは主にモニタ用レコード (ai、bi、mbbi 等、waveform) であることから、中央制御室において運転員 (サブシフトリーダー) が監視すべきパラメータは少なくとも Linac: 約 35,600 レコード (34,100 + 1,500)、RCS: 22,100 レコード (20,600 + 1,500) となっていることが分かる。

Table 1: Amount of EPICS Records for Linac and RCS

EPICS record type	Linac	RCS
ao, bo, mbbo, longout, etc.	約 12,400	約 6,200
ai, bi, mbbi, longin, etc.	約 34,100	約 20,600
waveform	約 1,500	約 1,500

これらを表示する Linac および RCS の監視・操作画面を表示するディスプレイは約 17 台 (参考: MR は 6 台) となっている (Figure 1 参照)。運転員の人数は、1 運転シフト 3 人であることから、1 人当たりが監視すべきディスプレイは約 8 台にも及ぶこととなる。機器監視画面は、監視しやすく設計、製作されているが、1 台のディスプレイには複数の機器画面が表示されるため (Figure 2 参照)、運転員が監視する情報量は膨大になってしまう。常に全画面を監視する必要がある訳ではないが、運転員の機器状態や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、高い状況になっていることは否めない。そのため、運転員の運転支援を目的とした監視・警報システ

ムを製作し、整備することが重要となっている。

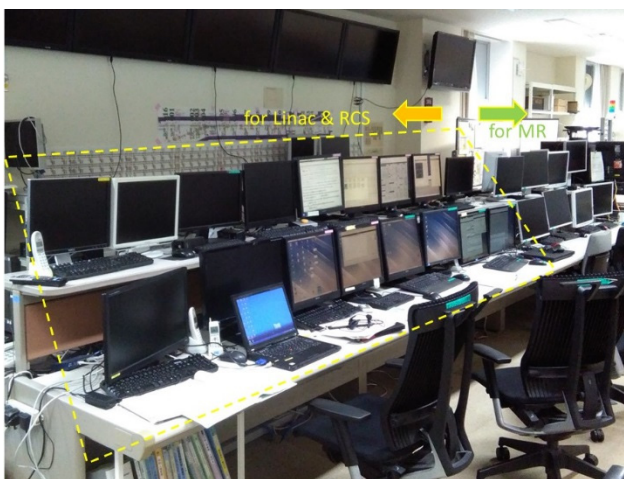


Figure 1: Displays for Operator in CCR.

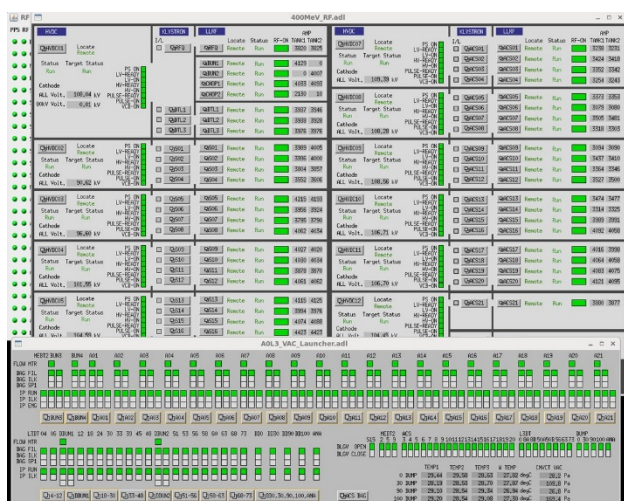


Figure 2: Example of OPI on a display.

3. 監視・警報システム

機器で異常が発生した時およびビームロスが生じた時においては、Interlock 信号が出力されMPSによりビームが停止される。このような明らかな異常発生時においては、運転員は主に異常箇所となった機器を監視しながら、ビーム停止後の対応をすることになるため、機器状態の見落とし、誤操作が生じることは少ないと考えられる。

一方、異常発生初期は、正値から少しずつれたモニタ値であるが、大きなビームロスが生じることなく運転ができていた状態と考えられる。このような状態は、運転員の監視により把握され、Interlock 信号が出力される前に適切な対応が行われることが望ましい。また、加速器立ち上げ時は多数の機器に初期値を設定するが、ネットワーク不具合などにより一部の機器に設定値が反映されてないことがないよう、運転員には設定値が正しく反映されたかの確認が求められる。しかしながら先に述べた通り、運転員が監視すべき情報量が非常に多いため、異常発生の初期状態見落としや、不完全な設定値確認による誤操作が生じることがあった。そこで、異常の初期状態や、設定値の設定ミス(不完全な設定)など、MPS 発報には至らないレベルの異常状態を検出し、運転員に知らせるこ

とを目的とした監視・警報システムの製作を行うこととした。

3.1 監視・警報システム概略

監視・警報システムは、運転支援を目的として製作し、整備される。上述した異常発生の初期状態を検知するためには、設定値を基準とし、それからどの程度異なる値になっているかを監視するのが有用と考えられる。また、設定値の設定ミスについては、設定値とリードバック値の比較および運転パラメータセットとの比較により、検出が可能となる。ここで、運転パラメータセットは運転状態(ビーム共用運転、ビームスタディなど)によって異なるため、これを基準とする監視においてはロジック等を十分に考慮する必要がある。そのため、初期システムにおいては、パラメータセットを基準とした監視機能は実装せず、システムの基本設計が進んだ後に組み込むこととした。よって、初期の監視・警報システムは

- (1) 設定値を基準とした状態監視
- (2) 設定値とリードバック値の比較

の機能に限定して製作することとした。本件のシステムの概要を Figure 3 に示す。ここに示す通り、(1)の機能では、設置値より上/下限値および上/下極限值を定義し、機器および加速器の状態を以下に分類する。

- ・正常状態: 通常運転状態
 $\text{下限値} \leq \text{モニタ値} \leq \text{上限値}$
- ・警報状態: 運転可能状態。要監視
 $\text{下極限值} \leq \text{モニタ値} < \text{下限値}$
 $\text{上限値} < \text{モニタ値} \leq \text{上極限值}$
- ・異常状態: 運転員によるビーム停止 (MPS ではない)
 $\text{モニタ値} < \text{下極限值}$ 、 $\text{上極限值} < \text{モニタ値}$

そして、正常状態から外れた状態(警報状態、異常状態)になったことを、表示と音により運転員に知らせる。但し、初期システムにおいては、上/下限値の設定のみ行う(異常状態は無く、正常状態と警報状態の 2 状態に分類する)システムとした。これは、判断ロジックがほぼ同じである警報状態と異常状態を1つにすることで、最低限の機能を有するシステムを早期に構築し、監視・警報システム実現の見通しを得るためである。

また(2)の機能では、設定値とリードバック値を比較して監視を行い、リードバック値が設定値と同値ではない(設定値とリードバック値に有意な差がある)場合に、(1)の機能と同様にして表示と音により設定値不整合状態を運転員に知らせる。

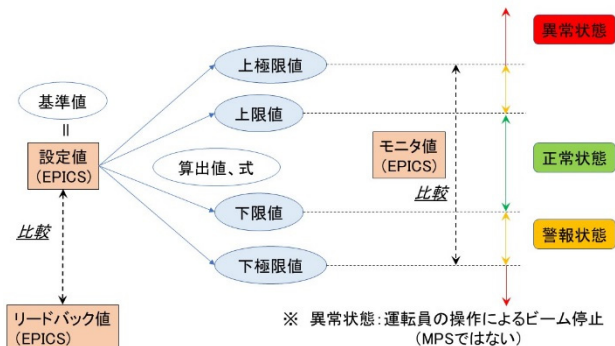


Figure 3: Outline of Supervision and Alarm System.

3.2 監視・警報システムの製作ステップ

監視・警報システムに要求される機能は、LinacとRCSでは異なる。まず、RCSでは主電磁石が共振電源により動作しており、一定の状態を維持する制御が行われている。このため、他の機器においても同様に設定状態を維持することとなる。このため、RCSにおいては、運転中のパラメータ変更はあまり行われない。つまり、警報判断値(上/下限値)は静的に決定することが可能である。

一方、Linacでは、RCSへの入射を一定にすることが重要であるため、その時の機器の状態などに応じて、入射が適切になるようなパラメータ設定が行われる。そのため、LinacではRCSよりも頻りに設定値変更が行われるため、警報判断値は動的に(設定値が変更される毎に)設定される必要がある。そこで、本システムは以下の製作ステップで進めることとした。

1. 動的に警報判断値を設定変更するシステムを製作
2. 静的な警報判断値によるシステムを製作
3. 両方のシステムを組み合わせた適切なシステムの構築。警報判断値、監視手法の最適化

4. Linac 電磁石の監視・警報システム

4.1 初期システムの機能

初期システム(3.2の1のシステム)として、LinacのDTQ電磁石電源、L3BTの電磁石電源などを対象とし、以下の機能を有する監視・警報システムを製作した。

(i) 状態監視機能

電流設定値から許容範囲(電流上/下限値)を設定し、正常状態か警報状態かを判別する機能である。各々の電磁石電源について、上/下限値の算出式を定義する。算出式としては、設定値 $\pm 10A$ 、設定値 $\times 110\%$ などが利用可能である。これにより、設定が変更される毎に、上/下限値も設定変更される。そして、算出された上/下限値とモニタ値を比較し

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

が判別され、警報状態は運転員に表示(赤表示)と音で通知される(なお、本システムでは警報状態はラッチしない)。本システムの表示画面例をFigure 4に示す。画面には設定値、算出した上/下限値などが表示され、警報状態の箇所が赤色表示となる。

なお、画面上の機器状態(正常/警報)、上/下限値等はEPICSレコードにし、本システムが可動していない計算機においても、本システムが判別した状態等がモニターできるようにしている。

(ii) 設定値不整合監視機能

運転員等が設定した電流値が、機器に正しく反映されているかを監視する機能である。各々の電磁石電源について、基本的にEPICSレコードにて定義されている設定値とそのリードバック値(RB値)を比較し、整合していない状態を警報状態として運転員に通知する(Figure 4参照)。一部の機器については、EPICSレコードでの換算等により若干の誤差が生じ「リードバック値=設定値」とならないため、

- ・正常状態: 設定値 $-\alpha \leq$ RB値 \leq 設定値 $+\alpha$ (α : 誤差)

・警報状態: RB値 $<$ 設定値 $-\alpha$ 、設定値 $+\alpha <$ RB値として判別を行う。本機能で使用する誤差 α は、各々の電磁石電源について定義可能とした。

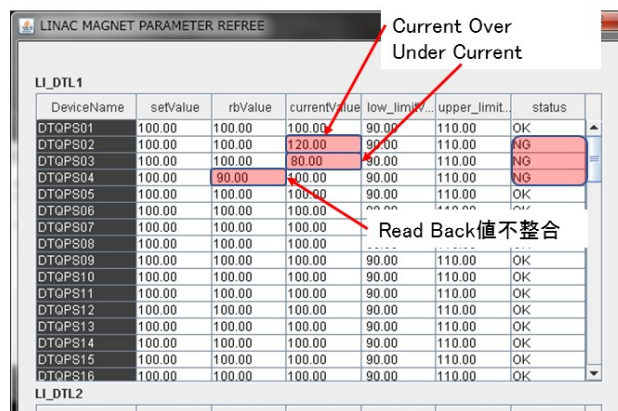


Figure 4: Sample of Supervision GUI.

(iii) ログおよびスナップショット機能

ログ機能は、設定値変更、それに伴う上/下限値の変更、状態の変更(正常 \rightarrow 警報など)等の、監視・警報システムに係るログを記録するものである。ログデータは、本システムにおいてはシステム上のcsvファイルに記録することとした。ログの例をFigure 5に示す。

また、スナップショット機能は、ある時点の設定値、上/下限値など、監視・警報システムで管理しているパラメータをcsvファイルとして記録するものである。このスナップショットにより、加速器のパラメータ調整後の設定値を、通常運転時などのパラメータセットとして保存することが可能となる。



Figure 5: Sample of Log Data.

(iv) 監視対象選択機能

(i)状態監視、(ii)設定値不整合監視において、監視対象機器を選択する機能である。

Linacのビーム行き先には、LEBT、0度ダンプ、30度ダンプ、90度ダンプ、100度ダンプなどがある。例えば、0度ダンプがビーム行き先となっている場合、30度、90度および100度ダンプにビームを入射するための偏向電磁石電源は電源OFF等になるため、設置値とリードバック値が不整合となる。しかし、これは正しい動作によるものであり、警報状態と判別すべきでは無い。このような状態を認識し、正しい情報を運転員に通知するために、監視すべき機器のみ監視対象とする機能が重要である。

本システムにおいては、監視対象機器の設定は、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とした。行き先毎の選択対象は、各機器について定義可能とした。また、手動設定は、機器が故障したときなどに使用することを想定し、監視画面から1台ずつ設定可能

とした。

(v) 状態判定時間設定機能

機器によっては、ノイズ等の影響により一瞬だけ電流モニタ値がほぼ 0 になるものがある。このような機器に対して本システムは、警報状態になり直ぐに正常状態に戻るといった不安定な状態に陥ってしまう。そこで、状態が変わった場合(正常→警報など)に、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ため、本機能を組み込むこととした。判定に必要な時間は秒単位で、各々の機器に設定可能とした。

4.2 設定パラメータ

上述の(i)~(v)における各定義に必要なパラメータは、全て config ファイル(csv 形式)に記述して定義する。config ファイルの例を Figure 6 に示す。

(i)の下限値は、-10%、-10A と定義されている。-10% は設定値の 10%マイナスの値を下限値とし、-10A は設定値-10A を下限値とすることとなる。次に、監視対象は行き先を数値化して定義されている。例えば 1 は行き先:LEBT であり、定義の「!1」は「行き先:LEBT 以外は監視対象」という意味である。

このようにして、監視に必要な定義を config ファイルにて設定することができるようになっており、機器の変更などに柔軟に対応可能なシステムとなっている。

機器情報		判定時間(s)	-α	+α	下限値	上限値	監視対象
QMFPS19	QMPS	3	null	null	-10%	10%	!1
QMFPS20	QMPS	3	null	null	-10%	10%	!1
QMFPS21	QMPS	3	null	null	-10%	10%	!1
BMPS01	BMPS	3	null	null	-10A	10A	>4
BMSPS01	BMSPS	3	null	null	-10A	10A	>4
QMFPS22	QMPS	3	null	null	-10%	10%	!1
STMHPS22	STMP	3	null	null	-10%	10%	!1
STMVPS22	STMP	3	null	null	-10%	10%	!1

Figure 6: Sample of Config.csv file.

4.3 動作試験

まずは DTQ 電磁石電源についてのみ監視するシステムを製作し動作試験を行った。その結果(i)~(iii)の機能が実現できていることが確認された。しかしながら、機器により電流モニタ値が一瞬 0 になるものがあることが判明したため、(v)の機能を組み込むこととした。そして、状態判定時間(状態を判定するまでの時間)を 3 秒に設定したところ、安定した状態判定が行われるようになった。本システムは運転支援を目的としており、警報状態は直ぐに機器を停止すべき状態ではない。一方で、状態判定の間違いによる誤動作(誤警報)は、運転員に不要な監視・作業を行わせることになるため、可能な限り排除すべきである。よって誤動作無く適切な状態を運転員に知らせるために、状態判別が 3 秒程度遅れることは問題無いといえる。

次に、Linac 全体(DTL~L3BT)の電磁石電源について監視対象を拡張し、試験を行った。DTQ 電磁石において確認された機能だけでなく、(iv)の機能により行き先に応じ、適切な機器が監視対象となることも確認できた。

2017 年 6 月、ある DTQ 電磁石の電源交換が行われた。その後の Linac 立ち上げ時、その箇所の設定値が正確に反映されなかった。これは、電源の種類が変わり、

電流値設定手順が変わったことが原因であった。この時、本システムはこの事象を検出し、運転員に設定値が反映されて無いことを的確に通知することができた。これらの実運転での試験結果より、運転支援を目的とした監視・警報システム構築の見通しを得ることができた。

4.4 今後の計画

本件では、主に Linac を考慮した動的なシステムについて述べたが、現在、主に RCS を考慮した静的なシステムの製作も平行して進めている。RCS の監視・警報システムは、パラメータをデータベースで管理し、それをベースとして状態監視するものである。現在、事前に登録された運転パラメータセットとの比較により、警報・異常状態を検出する機能の設計、製作を進めている。

一方、今回製作した Linac 電磁石電源を対象とした初期システムについては、

- ・異常状態判定(上・下極限値)の組込
 - ・計算(移動平均等)による警報機能の検討
- を行い、さらなる機能拡張を行う予定である。

これら、Linac と RCS の監視・警報システムは、何れも 2017 年中に構築する予定である。そして、双方のシステムの特徴を組み合わせ、それぞれの施設に最適な監視・警報システムを構築する計画である。

5. まとめ

Linac および RCS の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監視・警報システムの製作、整備を進めている。本件では、Linac の DTQ 電磁石電源等の状態監視を目的として製作した初期システムについて、実装した機能などの詳細を説明した。また、実際の運転において動作試験を実施し、電流値を基準として正常範囲(上下限値)が設定され、正常範囲を逸脱した場合に警報状態を運転員に通知する機能など、実装した機能が全て実現されていることが確認でき、本システム構築の見通しを得ることができた。今後、データベースを用いた運転パラメータセットの管理、異常状態判定機能の組込など、更なる機能拡張を行う予定である。さらに、機器担当者やコミッション担当者などの意見、要望も十分に取り入れ、Linac、RCS それぞれに最適な監視・警報システムの構築を進める予定である。

謝辞

本システムの検討・設計あたり、J-PARC・三浦昭彦様にはご意見、並びに、ご協力をいただきました。深く感謝致します。

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.