電磁石電流変動監視システム Curs-BIS の開発

DEVELOPMENT OF A MONITORING SYSTEM FOR ELECTROMAGNET CURRENT FLUCTUATIONS

熊谷桂子^{#, A)},内山暁仁^{A)},福澤聖児^{B)} Keiko Kumagai ^{#, A)}, Akito Uchiyama^{A)}, Seiji Fukuzawa^{B)} ^{A)} RIKEN Nishina Center ^{B)} SHI Accelerator Service Ltd.

Abstract

More than 850 electromagnet power supplies are used in the operation of the RI Beam Factory at the RIKEN Nishina Center. Beam operation and experiments can be maintained only when all magnet power supplies on the beamline used for the experiment are in stable operation. The Beam Interlock System (BIS) is used to protect the accelerator components from the beam. The system stops the beam when it detects various anomalies, such as an abnormal status or off signal of the magnet power supply, or abnormal values of baffle signals installed in the injection and extraction sections of cyclotrons. There was an accident in which the vacuum chamber was damaged due to unintended changes in the current of the magnet power supply. To prevent such events, the current as well as the status of the magnet power supply must be constantly monitored, and the beam must be stopped if an unintended change occurs. Since 2018, we have developed and installed the magnet current fluctuation monitoring system Curs-BIS in all power supplies. We will report on the system, its operational status, and future issues.

1. はじめに

理研仁科センターRI ビームファクトリーは、44 年前に 稼働開始した RILAC、38 年前に稼働開始した旧施設 (RARF)と 2007 年に稼働開始した新施設(RIBF)とで構 成されている[1]。旧施設は主にイオン源、リングサイクロ トロン(RRC)(1986~)、AVF サイクロトロン(1989~)を中 心として各実験室にビームを輸送する複数のトランスポ ートラインで構成されている。新施設はイオン源、新入射 器 RILAC2、RRC 出射後のビームを再加速する fRC、 IRC、SRC という3 台のサイクロトロンと、それらに付随す るビームトランスポートラインで構成されている。これらの 施設で使用されている電磁石用電源は Table 1 で示した 通り850 台余りに上る。これらの電源の遠隔制御の方法 は、それぞれの電源の製作年代に開発された数種類の インターフェイスを使用しているが、基本的には 16 ビット の電流設定、14 ビットの電流モニタ、最大 16 ビットのス テータス取得、数ビットの操作指令で構成されている。

加速器制御システムの一環として、電磁石用電源や その負荷のトラブル等で電源がダウンしたとき、あるいは 高周波加速系のトラブル、ビーム軌道の逸脱などの際に、 速やかに加速中のビームを停止するために「ビームイン ターロックシステム(BIS)」が全系で整備されている[2]。 電磁石用電源の場合、すべての電源に、電源にエラー が起きた時あるいは電源がオフになった時に接点が開と なるリレーまたはシーケンスが組み込んであり、ハードワ イヤーで BIS に信号を送るようになっている。BIS は各種 機器から送られる信号を検知するとビームを止めにいく 構成となっている。

一方電磁石電源の状態監視の面では、電源のデジタ ルインターフェイスを介したデータは全てEPICSシステム に取り込まれているので、必要な時にデータを調べること はできるが、出力電流値は14ビットの分解能に制限され ている。電源のメンテナンスや、挙動不審の電源の状態 を調べるために必要な精度の高い出力電流測定は、担 当者レベルの閉じられた測定系のみしか存在せず、測 定している電源数も限られていた。

長年このような電磁石電源制御システムでビーム運転 を続けている中、RIビームファクトリーの進化により年々 ビーム強度が増してきた。2020年には [™]Zn加速におけ るビーム強度は加速最終段では 20 kW に迫る強度とな り、何らかのトラブルでビーム軌道が変化するとビームが 真空容器に当たり短時間で大規模な損傷につながるリス クが年々大きくなってきた。

2017年4月8日、マシンタイム中に突然実験者に供

Table 1: Number of Power Supplies

| Туре | Current Range (A) | Old Facility (RARF) | New Facility (RIBF) | RILAC |
|--------------------------|-------------------------|---------------------------|---------------------------|-------|
| Cyclotron Main | 450-5200 | 2 | 4 | 0 |
| Injection, Extraction | 800-3500 | 12 | 21 | 0 |
| Trim Coil | 100-1200 | 50 | 110 | 0 |
| Dipole | 300-400 | 37 | 32 | 38 |
| Quadrupole | 150-260 | 118 | 108 | 42 |
| Steering | 7-10 | 142 | 94 | 30 |
| High Voltage (kV) | 100-130 | 5 | 6 | 0 |
| TOTAL | 851 | 366 | 375 | 110 |

[#] kkumagai@riken.jp

給していたビームがいなくなり、最終段の超伝導サイクロ トロン SRC の真空が悪化する事象が起きた。調査の結果、 SRC にビームを入射する直前の入射軌道の曲がりを補 正する電磁石の電源電流値が、-24 A から -97 A に勝 手に動いたために、入射ビームラインと SRC バレー箱を 繋ぐベローズにビームが当たり、穴が空いたことがわかっ た。事後の調査で原因は、電源のスイッチング素子のノ イズが、盤内の電流値設定用のデジタル I/F 基板に乗る ことがあり、電流設定と設定ストローブに同時にノイズに よる誤った信号が入ったことによる電流値の変化だった と考えられた。I/F基板の交換と基板のデジタル入出力ケ ーブルにノイズ低減用フェライトを装着したことによって、 以後同様の事象は起きていないが、この経験から電源 のエラー、オフだけでなく、電源電流値の変動を直接監 視し、意図しない電流値の変動がある場合にも、速やか にビームを止めるシステムが必要であることを痛感し、対 策となる電磁石電流変動監視システム(Curs-BIS)を開発 することにした。

2. Curs-BIS システム

2.1 システムの概要

Figure 1 に本システムの全体図を示す。プログラマブ ルコントローラーで電源電流値を常時モニターし、電流 値があらかじめ設定された上限下限を超えるとインター ロック信号を発し、それを全系の BIS に送るシステムであ り、Curs-BIS と名づけている。プログラマブルコントローラ ーは、横河電機株式会社の FA-M3 V シリーズを使用し ている。搭載モジュールは、1ユニット(48 電源に対応)あ たり、シーケンス CPU (F3SP71-4S) 1、リアルタイム OS CPU (F3RP71-1R 他、Linux 対応) 1、リレー出力モジュ ール 1、16ビットアナログ入力モジュール 6である。シス テムの動作環境として、電源台数が多い上に、実験によ って使用する電源が変化する、各電源の電流設定値は



Figure 1: Block Diagram of Curs-BIS.

都度異なり、実験中にもビームを出しながら電磁石電流 値を随時調整するなどの状況下であることから、設計の 方針として、加速器オペレータによる設定が不要で、勝 手にシステムが動作し、異常時だけ速やかにインターロ ック信号が発出できるものを目指した。

例えば、運転者が人為的に電源を操作した場合にも 電流値は変化するが、その場合にはインターロック信号 は発出されないようにしなければならない。電流値の変 化が操作によるものかどうかを判別するために、リアルタ イム CPU モジュールを搭載した。CPU 上で EPICS CA ク ライアントが動作しており、EPICS ネットワーク上で電源 操作が行われると、数ミリ秒以内にその情報を検出し、 FA-M3 バスを介してシーケンス CPU レジスタに書き込み が行われる。この値から、電流の変化が運転操作による ものなのか、何らかのトラブルによるものなのかを判別し、 ビームインターロック信号を発出するかどうかを決める。 運転操作によって電流が変化した後は、あらかじめパラ メータで設定した不動作時間(電源の特性により設定値 を決めている。おおよそ数 10 秒)後に基準となる電流値 とそれに対する許容範囲(上限、下限)が自動的に再設 定される。

ステアリング電源以外の電源の場合、出力電流値が 0A 近辺である場合には電流は設定されていない(=電 源を使用していない)ということを示すので、その場合に もインターロック信号は発出されない設計になっている。 また0Aから使用電流値に設定する場合は、ビーム運転 中に電流値を微調する場合に比べて、設定値までの電 流到達時間が長くかかるため、インターロックの不動作 時間も長くなるようパラメータを決めている。

2.2 動作模式図とラダープログラム

Figure 2 に各電源の電流値判定の動作模式図を示す。 人為的に電源電流値を調整した場合にはインターロック 信号は発出せず、不作為の電流値変動の場合のみ信 号を発出する。電流の上限、下限値の幅は、パラメータ ーとしてシーケンス CPU 内に記入しており初期値は、ス テアリング電源は定格電流値の±5%、それ以外の電源 は定格電流値の±1%としている。さらに後述するように Web の監視画面上で電源個別に変更が可能である。

本システムのアルゴリズムが書かれているシーケンス CPU 内のラダープログラムは、全ユニット共通とし、各電



Figure 2: Operation Diagram of Curs-BIS.

源の名称や上限、下限、不動作時間などの各種パラメ ーターは、全てプログラム内の「共通信号定義」に記入 することとし、この部分だけ書き換えれば誰でも簡単に電 源の変更などができる設計とした。電源-電磁石対応デ ータ、電源の諸元などは制御ネットワーク上のデータベ ースを利用して得ている。「電源名称」の登録は FAM3 のシーケンス CPU のレジスターの容量を多く占有するが、 パラメータがあちこちあることで電源やパラメータの変更 時に変更し忘れ、不整合が起きることのないよう全てレジ スター内に保持することにした。

最大48 電源を監視する1台のシーケンス CPU のラダ ープログラムの1周のスキャンタイムは定常状態で1.1ms である。通常と異なるイベント(電流値の上源、下限超え など)があった場合は、事象が起きている電源台数に伴 って増え、1周で最大4ms程度まで延びる。

各電源のアナログ電流値は上記 Curs-BIS システムに 取り込まれると同時に、最大 60 ch の測定が可能なマル チプレクサ型 DVM (34972A または DAQ970A、 Keysight)にて高精度に電流値を測定している。このデ ータは簡易データ収集システム MyDAQ2[3]に保管され ており、過去の電源電流値を確認でき、Curs-BIS システ ムの動作と連携し補完するデータを蓄積している。

Figure 3 は 2 ユニット分の Curs-BIS である。このセット で 96 台の電源の電流を監視できる。



Figure 3: Two units of Curs-BIS. 96 power supplies can be monitored with this equipment.

2.3 電流値測定

各電源電流値の測定方法は大別して3種類の方法を 利用している。(1)電源内蔵モニター用 DCCT。(電源に フィードバック用 DCCT とは別にモニター用 DCCT が備 わっている場合) この方法では、電流フィードバックと同 程度の性能の DCCT が使われているため、高精度の電 流測定が可能である。(2)簡易型の DCCT を外付け。モ ニター用の DCCT 等がない電源には、ホール素子を用 いた汎用直流電流センサー(U_RD 社 HCS シリーズな ど)を用いている。これらは電源のフィードバック制御に 使用されているDCCTより測定精度(直線性、応答性)が 悪く、電流値変化が大きい時の検出値のドリフトは大きい が、一定電流に達した後の微小な電流変化を測定する 目的には十分な性能がある。何より価格が高精度の物 の 1/10 以下であるため経済的である。(3)電源のフィー ドバック用 DCCT あるいはシャントの出力を分岐したもの。 これらの出力は、精度はそれなりにあるが、電源と独立し た測定系でないため、インターロック信号を発出する目 的のみには使用できるが、電源の動作の不安定など細 部の電源動作の検証には不向きである。

電流値の測定にあたって、上記(1)と(3)の方法の中 で、電源本体の設計によってはアナログ電流値出力の ベースとなる電圧が、電源の出力電流にともなって上下 するものがある。電流の測定値(差動電圧)が±10V 以 下であっても、ベース電圧の上下があるとFA-M3のアナ ログ入力モジュールの入力信号レンジ(±11V)を逸脱し てしまって正しく測定できないことになる。その場合は測 定手段を(2)に変更するか、アイソレータ(VJH1、横河電 機)を介して電流値を測定するようにしている。

2.4 Web 監視画面

Curs-BIS 自身はプログラマブルコントローラーFA-M3 ユニットを ON にするだけで自動的に動作するが、その 動作内容は、Web 画面で監視できるようになっている。

```
現在は FA-M3 のユニットは 26 台稼働している。Web
サーバーとなる PC は1秒に1回 FA-M3 の全ユニットに
アクセスし、現在の各種データと過去のインターロック発
出/解除を取得し、画面表示する。電源-負荷の対応、電
流の現在値、基準値、上限下限、マスク状態、電源を人
が操作しているかどうか、ネットワークの異常等が表示で
きる。インターロック信号を発出している電源はすぐにわ
かるよう当該電源の欄が赤く光る。インターロック発出/解
除の履歴は 10 ms の分解能で記録されており、最新の
30 件は画面で表示し、過去の全履歴は PC 内に保存さ
れる。FA-M3 の仕様上 10 ms 以上の精度で発出/解除
の時間を記録することは難しい。また Web 画面から、
個々の電源の電流の基準値、上限、下限値や、BIS 出
力のマスク等の変更の操作を行うことができ、変更内容
は FA-M3 に反映される。FA-M3 のシーケンス CPU は
長期間連続動作する上に、時刻精度があまり良くないの
で、1日1回、CPU内の時刻データをPCの時刻に自動
で補正している。Figure 4 が Curs-BIS の1ユニットの監
視画面である。
```

Web 画面上の個々の電源の電流の現在値から MyDAQ2 に記録された最大 6.5 桁の DVM で取得した 精度の良い電流値の時系列グラフに直接リンクできるた め、当該電源の現時点までの安定度等の動作確認が瞬 時に行える。電源が突然ハンチングを起こしたりした場 合、インターロックの発出と、時系列データ確認によって すぐに状況が分かり、対処することができる。さらに、デ ータベース上にある電源の仕様・図面・故障履歴・写真 などのデータ(PSmgmt: Power Supply management [4]) にもリンクしているので、電源の仕様確認等もすぐに行う ことができる。

| 4 | 5 | 6 7 | 11 | 12 | 1 | 3 14 28 C-1 | 15 15 | | 16 | 17 E4Ma | | 18 | 19 20 2 | 21 | 22 : | 31 32 | | | | | × | | × |
|----------|---------|---------------------------|-----------|-----------|------|----------------|---|-------|--------------|------------|-----------------|-----------|--------------------------------|-----------|----------|-----------|---|--|----------------------------------|-----------------|---------------|--------------------------------------|--------|
| (980.84 | A (BC) | /BCI /Bup Bell) | nno | nnu | (R) | -3 C-F | 0 E-F | 3 E | -F3 | (IBC) | е і <i>п</i> | 2108) | NILAO2 NILAO2 JU | UNC J | | | | 電源名 | R_T45 | | | H_145854X (REP1) 2002-08-19 11:2 | ,2.25) |
| (0110)10 | 4 (210) | for each for the transfer | | | | ., (3. | , ,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,, | | ,, | (| v | | | | | | | SKR电磁G 雷波里体名 | PPIC_45 | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | | | | | 整体設置場所 | 仁和日電源室の中の | | | | |
| | Curs-B | IS-11 | 2024/0 | 7/03 | 3 09 | :36:34 | | | ver. 4.2 | 2 | | | 基準值再設定 | 2,変更, | マスク | | | 最大電流信 | 600 [A] | | | 1 1 S | |
| | | | | | | | | | | | | | | ,, | | | | 電圧値 | 20 [V] | | | | |
| No. | PS Name | Mag Name | Max (A) |) 有効 | 操作 | 0A Mask | BIS Now | 現在値 | 基準值 | 上限 | 下限 | マスク | No. 1 | 0 | Ø | _ | _ | EPICS IOC | vmetarget6 | | | DA THERAT WAS AND A | |
| 1 | R_T5W | RRC_5W | 60 | 0 1 | 0 | 0 | 0 | 277.2 | 277.2 | +6.0 | -6.0 | 0 | 1 其進結を再設空す | + Z | _ | | - | フドレス(NO) コメント (単形見所日 2022-08-19 16:01: | 9C0 S13 | | | 11,21:37 | |
| 2 | R_T5N | RRC_5N | 60 | 0 1 | 0 | 0 | 0 | 308.4 | 308.4 | +6.0 | -6.0 | 0 | 1. 整中国之内政定生 | 2.5 | | submit | - | メーカー 住重 品名 FIPCトリムコイル電源 | | | | | |
| 3 | R_T5E | RRC_5E | 60 | 0 1 | 0 | 0 | 0 | 361.8 | 361.8 | +6.0 | -6.0 | 0 | 2. BIS田川をマスク | 90 | | submit | _ | 型式 CI-600/20-WDSD1-4 シリアル 01991 製造番号 WWFP071113Y05A | | | | | |
| 4 | R_T5S | RRC_5S | 60 | 0 1 | 0 | 0 | 0 | 411.6 | 411.9 | +6.0 | -6.0 | 0 | BIS出力マスクを | :解除する | | submit | _ | 定格出力 600A/20V 受電 三相 AC415V 50/60Hz 1440 製造年月 2013/11 | A | | | | |
| 5 | R_T4W | RRC_4W | 60 | 0 1 | 0 | 0 | 0 | 309.0 | 309.0 | +6.0 | -6.0 | 0 | 4. 上限を変更する | | | ^ Y | _ | 重量 120kg 電圧モニタ 22V/10V 管理モニタ 200411V | | | | | · An |
| 6 | R_T4N | RRC_4N | 60 | 01 | 0 | 0 | 0 | 320.4 | 320.4 | +6.0 | -6.0 | 0 | 5. 下限を変更する | | | × ^ | | 2021.9 第子台カバー アクリル化 | | | | | |
| 7 | R_T4E | RRC_4E | 60 | 0 1 | 0 | 0 | 0 | 402.9 | 402.9 | +6.0 | -6.0 | 0 | Output (Y) | | | | | 電源開達BIS情報 | 75-1-1 | | | RRC_T3背面中上(便創日 2022-06- 11:21:29) | -19 |
| 8 | R_T4S * | RRC_4S | 60 | 0 1 | 0 | 0 | 0 | 475.5 | 475.5 | +6.0 | -6.0 | 0 | 0 atpat (1) | | | | - | PS_RRC_T3 (PE_RRC_T3) | | DI | 75 | | 8.8 |
| 9 | R_T6W | RRC_6W | 50 | 0 1 | 0 | 0 | 1 | 288.3 | 280.2 | +5.0 | -5.0 | 0 | BIS ALL | | | 1 | _ | 電源のステークスピット情報 | | | | AL SAL | |
| 10 | R_T6N | RRC_6N | 50 | 0 1 | 0 | 0 | 0 | 262.2 | 262.2 | +5.0 | -5.0 | 0 | BIS ALL +258C. | | | 1 | - | CON Current zero | | | | | |
| 11 | R_T6E | RRC_6E | 50 | 0 1 | 0 | 0 | 0 | 273.0 | 273.0 | +5.0 | -5.0 | 0 | Bis changed +2sec. | | | 0 | - | | | | | | |
| 12 | R_T6S | RRC_6S | 50 | 0 1 | 0 | 0 | 0 | 271.5 | 271.5 | +5.0 | -5.0 | 0 | Network Enhon | | | 0 | | | | | | | |
| 13 | R_T26W | RRC_26W | 50 | 0 1 | 0 | 0 | 0 | 46.5 | 46.5 | +5.0 | -5.0 | 0 | Histories | | _ | | | MyDAQ2: J | RRC_6W | /curi | rent | [A] | |
| 14 | R_T26N | RRC_26N | 60 | 0 1 | 0 | 0 | 0 | 30.9 | 30.9 | +6.0 | -6.0 | 0 | Stats 1:BIS発報 0:BIS | S解除 | | | | Home Index Plot | History Help ⁽⁾ | tyDAQ2) C | oms (| 43DAQ2, RIBFCAS, AA) COFFE | elatio |
| 15 | R_T26E | RRC_26E | 60 | 0 1 | 0 | 0 | 0 | 9.0 | 8.7 | +6.0 | -6.0 | 0 | Date | Sta | ts PS No | . PS name | - | | | | - 1 ARC | 6W/current[A] | |
| 16 | R_T26S | RRC_26S | 50 | 0 1 | 0 | 0 | 0 | 14.1 | 14.1 | +5.0 | -5.0 | 0 | 2024/07/03 09:13:10.4 | 43 1 | 9 | R T6W | - | 288 - | | | | | |
| 17 | R_127W | RHC_27W | 500 | 0 1 | 0 | 0 | 0 | 6.3 | 6.3 | +5.0 | -5.0 | 0 | 2024/06/29 20:35:01.2 | 26 0 | 21 | R_T28W | - | 286 - | | | | | |
| 18 | R_127N | RRC_27N | 60 | 0 1 | 0 | 0 | 0 | 20.7 | 20.7 | +6.0 | -6.0 | 0 | 2024/06/29 20:35:01.2 | 26 0 | 20 | R_T27S | | | | | | | |
| 19 | H_12/E | RH0_27E | 60 | 0 1 | 0 | 0 | 0 | 00.0 | 00.0 | +6.0 | -6.0 | 0 | 2024/06/29 20:35:01.2 | 26 0 | 24 | R_T28S | | 284 - | | | | | |
| 20 | R_12/5 | PPC 28W | 50 | 0 1 | 0 | 0 | 0 | 14.1 | 14.4 | +5.0 | -3.0 | 0 | 2024/06/29 20:35:01.2 | 26 0 | 17 | R_T27W | | | | | | | |
| 21 | D T28N | PPC 28N | 40 | 0 1 | 0 | 0 | 0 | 49.2 | 49.2 38.6 | +4.0 | -4.0 | 0 | 2024/06/29 20:35:01.2 | 25 1 | 20 | R_T27S | | 282 | | | | | |
| 22 | B T28F | BBC 28E | 40 | 0 1 | 0 | 0 | 0 | 17.0 | 17.0 | +4.0 | -4.0 | 0 | 2024/06/29 20:35:01.2 | .25 1 | 24 | R_T28S | | 280 | | | | | |
| 24 | R T28S | BRC 285 | 30 | 0 1 | 0 | 0 | 0 | 48.4 | 48.4 | +3.0 | -3.0 | 0 | 2024/06/29 20:35:01.2 | 25 1 | 17 | R_T27W | | 05:30:00 06:00:00 06- | 0.00 07:00:00 07:00 | 00 08:00:00 | 08:30:00 | 09:00:00 09:30:00 10:00:0 | |
| 25 | | BRC_8 | 40 | - | - | | 0 | | - | | -4.0 | ~ | 024/06/29 20:35 | | 01 | R_T28W | _ | 07/03 07/03 07 2024 2024 21 | /0.3 07/03 07/0 124 2024 2024 | 3 07/03 2024 | 07/03 2024 | 07/03 07/03 07/03 2024 2024 2024 | _ |

Figure 4: Web monitoring screen of Curs-BIS and samples of related information links.

2.5 システムの問題点

当然のことながら、人が操作した場合はインターロック 信号を発出しない仕様であるため、オペレーションミスで 過大な電源電流値を設定してしまった時などは防ぎよう がない。また、このシステムでは人が操作したことを検知 する信号は、EPICS ネットワーク上で電源操作を行なっ た後にシステムに伝わるため、操作信号がシーケンス CPU レジスタに至るまでの間に数ミリ秒の間、先に実電 流が動き、インターロック信号が出てしまう電源がある。 電流値がランプアップしない上に操作時の値の変更が 大きい小型電源の一部にそのような現象が起きている。 対策としては問題がある個々の電源のインターロック出 力にわずかな Delay を入れざるを得ないと考えている。

3. インストールと応用、今後の予定

3.1 インストール履歴

Curs-BIS システムのインストールは 2018 年から開始 し、基本となるシーケンスプログラムと監視プログラムに 改造を加えつつ、毎年数ユニットずつ設置・配線・接続・ 調整した。電磁石用電源は、施設の多くの場所に点在し ているため、電源設置エリアごとに Curs-BIS システム用 の 19 インチラックを設置した。2023 年に 26 ユニット(新 施設 11 台、旧施設 11 台、RILAC 4 台)の設置を完了 し、RILAC を含め 851 台の全電源を網羅した。

3.2 EIC、EDCの放電検出システムへの応用

サイクロトロンの入出射部には、静電偏向チャンネル (EIC, EDC)を装備している。これは入射、出射するビー ムの最内周、最外周だけを取り込み、取り出す装置であ り、薄いセプタムと電極間の 10 数ミリのギャップに 100~ 120 kV 程度の直流高電圧が印加されている。放電により印加電圧が下がることがしばしば起きるが、電圧低下中はビーム位置も変化するため、放電が起きたら直ちにビームを止め、回復すればビームを出す必要がある。今回開発した Curs-BIS のシステムを 4 つのサイクロトロンの EIC,EDC 用高電圧電源にも適用し、放電時の過渡的な電圧降下、電流上昇時にインターロック信号を出してビームを都度停止している。電圧が自動で回復すれば信号も復帰するので、ビームが復旧する。放電の履歴は通常の Curs-BIS と同じように Web 監視画面で見ることができ、1 時間ごとの放電回数や電圧、電流は MyDAQ2 に記録されている。Figure 5 が EIC/EDC の電圧と放電の 監視画面である。

| 3 RC | 4 BT (SRC,Net | 5 BT (NC) | 6 BT (110) | 7 BT (Dyp./het) | 11 RRC | 12 RRC | 13 C-PS (87) | 14 C-PS (87) | 15 E-PS (NC,81) | 16 E-P3 (RC.8 | 5 I | 17 E4Mae (110) | 18 fRC (1100) | 19 RILAC2 | 20 RILAC2 | 31 AVF | 32 AVF | 33 AVF (ON) | E |
|---------|---------------------|-----------------|------------------|-----------------------|-----------|-----------|----------------------|------------------------|-----------------------|---------------------|------------|-----------------------------|---------------------|--------------|--|---------------|------------------|-----------------------|-------|
| Cu | rs-BI | S-EIC,I | EDC | 20 |)24/07/ | 09 1 | 13:50: | 09 | ver. 3. | .30/ver. 3 | 3.29/w | er. 3.30/ve | r. 3.30 | | 上下限 | 逐更 | <u>i</u> ,マス | ク | |
| | | Item | Volta | age (kV) | Current | (mA) | BIS Counts | BIS Counts /hour | Set Val (kV) | 上限 (kV) | 下限 (kV) | Current 上限 (mA) | BIS Now | Mask | ● RRC ○ ○ EIC ● | FRC O | IRC 〇 SF について | IC Ф | |
| _ | | EIC | 6 | 5.69 | 0.0 | 01 | 0 | 0 | 62.91 | +10.0 | -9.0 | 0.40 | 0 | 0 | 1. BIS出: 2. BIS出 | カをマス カマスク | :クする を解除す: | <mark>ا</mark> ۲ ک | .omt |
| к | RC | EDC | 6 | 64.58 | 0.0 | 34 | 0 | 0 | 64.16 | +10.0 | -9.0 | 0.36 | 0 | 0 | 3. 上限を | 変更す | 6 | | |
| | | EIC | | 0.25 | 0.0 | 05 | 0 | 0 | 0.01 | +8.0 | -4.0 | 0.40 | 0 | 0 | 4. 下限を 5. 電流値 | 変更す。 上限を] | 6 変更する | × | |
| fl | RC | EDC | | 0.27 | 0.0 | 04 | 0 | 0 | 0.01 | +6.0 | -4.0 | 0.40 | 0 | 0 | 6. 発報し る | た日にち | リセット | 5 🖪 | ubmit |
| | | EIC | 8 | 37.62 | 0.0 | 08 | 0 | 0 | 87.70 | +5.0 | -3.0 | 0.40 | 0 | 0 | Outpu | ıt (Y) | | | |
| | RC | EDC | 8 | 35.77 | 0.1 | 61 | 0 | 0 | 85.62 | +5.0 | -5.0 | 0.46 | 0 | 0 | BIS BIS +2ser | c. | 00 00 0 | 0 00 C | |
| | | EIC | | 0.00 | 0.0 | 00 | 0 | 0 | 0.00 | +5.0 | -2.0 | 0.40 | 0 | 0 | Histor | ies | | | |
| S | RC | EDC | | 0.02 | 0.0 | 00 | 0 | 0 | 0.00 | +5.0 | -2.0 | 0.50 | 0 | 0 | go Historie Scant | ime | | | |
| 1 | Show | Display | | | | : *B | * BIS Co BIS Cour | ountsはá | 身正時に はその | :クリア 前の1時 | 'され 間積) | ます。 庫値です | 0 | | Scantime= | 100, 10 | 0, 100, 10 |) (µsec) |) |

Figure 5: The Curs-BIS applied as a discharge detection system for the electrostatic deflection channel of cyclotrons.

3.3 今後の予定

一部の電源について操作信号の到達が遅れることで 短時間の誤信号が発生してしまう問題を個々の電源で 対策する必要性と Web 監視画面の改良が必要であると 考えている。本方式でのビームインターロックの発出まで の速さは数 ms から 10 ms 程度であるが、FAM3 シリーズ を使用した現在のシステムでは、記録できる時間分解能 が 10 ms であることもあり、将来これ以上の速さが必要な 状況になった場合は新たに別のシステムを考えなけれ ばいけない。

4. まとめ

電磁石電源の不意の電流値変化から加速器を守るための監視システム Curs-BIS の概要について述べた。システムの問題点で述べた改善事項を修正する必要があるが、本来の目的は果たせていると思われる。

加速器をビームによる損傷から守るための監視システムとして開発されたものではあるが、それ以外のメリットが

大きかった。多数の電源の電流値の状態が一覧で確認 可能なこと、例えば一部の電源が何らかの不具合でハン チングし始めたり、電流がドリフトし始めたりした時などに インターロック信号が出ることですぐに気がつけること。電 源の安定度が精度良く時系列ですぐに確認でき、電源 の諸元や写真、図面との対比がすぐにできることなどで ある。

参考文献

- Y. Yano, "The RI Beam factory Project: A status report", Nucl. Instrum. Meth. B (2007). doi:10.1016/j.nimb.2007.04.174
- [2] https://www.pasj.jp/web_publish/pasj2_lam30/ Proceedings/21P037.pdf
- [3] T. Hirono *et al.*, Proceedings of PCaPAC08, Ljubljana, Slovenia, (2008), pp. 55.
- [4] https://conference-indico.kek.jp/event/184/ contributions/4447/