

平成 30 年 6 月 11 日現在

機関番号：82118

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2014～2017

課題番号：26800153

研究課題名(和文)大強度ビームラインにおけるビーム軌道自動制御システムの研究

研究課題名(英文)Research for automatic control system of beam optics in high intensity beam line

研究代表者

上利 恵三 (Agari, Keizo)

大学共同利用機関法人高エネルギー加速器研究機構・素粒子原子核研究所・技師

研究者番号：30391741

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 2,400,000円

研究成果の概要(和文)：この研究は加速器施設の電磁石電源制御システムとしてProgrammable Logic Controller(PLC)を採用し、Experimental Physics and Industrial Control System(EPICS)によりビームラインのビームプロファイルをPLCに取り込み、ビーム軌道を計算した後、電流・電圧の設定値を電磁石電源へ自動的にフィードバックするビーム軌道自動制御システムの開発である。開発されたプログラムを実際の加速器運転中に試験した結果、ビーム軌道を修正するステアリング電磁石の補正電流値を算出できることを確認し、実用可能であることがわかった。

研究成果の概要(英文)：We have developed a new control system of a magnet power supply to work with a Programmable Logic Controller (PLC). The control PLC handles the status of the interlock signals between a power supply and a magnet, and monitors the output voltage and the current. The PLC also controls a programmable reference voltage for the DC output current. We have also developed an automatic orbit-correction program, which cooperates with the control PLC. The horizontal position of the proton beam can automatically be adjusted at the centre of the beam dump, and the temperature rise of the copper core during the beam operation can be minimized. The optimized current of a horizontal steering magnet can be corrected with the measured horizontal displacement of the proton beam. As a result of the test of the automatic orbit-correction program with the measured data during the beam operation, the availability of the control system was confirmed.

研究分野：ビームライン制御

キーワード：大強度ビームライン 電磁石電源

1. 研究開始当初の背景

J-PARC、Large Hadron Collider (LHC)、International Linear Collider (ILC)に代表される大強度加速器施設は放射線上の安全性が重要な問題になっており、ビーム軌道を操作する電磁石電源も安定・安全な運用が求められている。加速器施設ビームラインの常伝導や超伝導電磁石は陽子や電子などのビームを偏向・発散・収束させ実験施設まで導いており、大強度加速器施設になれば常伝導直流電磁石は大電力電源 (~500kW) で通電される。電源の故障や設定値の間違いによりビームが速く取り出されたり、あらぬ方向に偏向したりすると加速器機器や施設に多大な放射化や発熱するため、電源制御システムは近年、より重要になっている。

2. 研究の目的

この研究では Programmable Logic Controller(PLC)を用い、電磁石電源を制御する新システムを構築する。PLC とはリレー回路の代替装置であり、下記の特長が挙げられる。

- CPU、リレー入出力、アナログ入出力、温度入力など様々なモジュールから構成される。
- トラブルが発生してもプログラムを書き換えることにより迅速に対処できる。
- 通信は LAN で形成することにより、100m 内を 100Mbps で PLC32 台を制御できる。
- PLC に CPU モジュールを追加することにより、多くの大型実験施設で制御用として使用されている Experimental Physics and Industrial Control System (EPICS) を利用できる。
- 操作・表示器として親和性が高いタッチパネルや iPad、Android などのタブレット端末やスマートフォンによりパソコンを使用せずとも操作・制御可能である。

電源全体をこの PLC で制御することにより安定・安全性の高いシステムが得られる。今回は実験に使用しなかったビームを吸収するビームダンプ上流のビームプロファイル情報 (ビーム中心位置、幅など) を EPICS により PLC に取り込む。次に PLC 内部でビーム軌道計算を行い、電源にフィードバックすることにより自動的にビームダンプへのビーム軌道を制御できるシステムが構築できる。もしこの研究が成功するのであれば、J-PARC、LHC や ILC に代表される世界中の大強度加速器ビームラインに安全で安定した電源制御システムを構築できる。

3. 研究の方法

(1)新しい電源制御システムは PLC を使用し、構築する。PLC はシーケンス CPU、アナログ入力(A/D)、アナログ出力(D/A)、入力、出力

モジュールから構成される。電源と制御システム間の電流・電圧値、プログラム電圧などのアナログ信号は A/D、D/A モジュールで、また電源の ON・OFF、インターロックなどの接点信号は入力、出力モジュールで通信を行う。これらの信号の制御はシーケンス CPU モジュールで行い、D/A モジュールは電源の電流値を制御するプログラム電圧を出力する。遠隔操作は PLC と LAN で接続しているタッチパネルで行い、電源の ON、OFF が可能で、設定電流値の入力もできる。PLC とタッチパネルの画像を図 1 に示す。

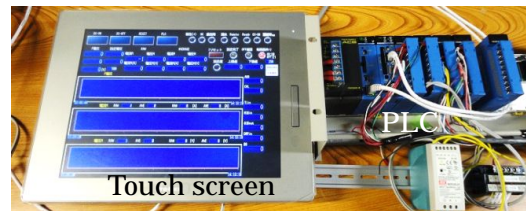


Figure 1: Photograph of PLC and touch screen.

(2)ビーム軌道自動制御システムを実際のビームライン電磁石電源で試験した。試験方法は EPICS により電磁石電源電流値、ビームプロファイル情報 (ビーム中心位置、幅など) を取得し、それらと幾何学的位置から最適な補正電流値を求める。今回の試験に関係する J-PARC ハドロン実験施設の 1 次ビームライン装置の配置を図 2 に示す。図 2 の赤色の点は二次粒子生成標的、青色の四角はステアリング電磁石、緑色の四角は四重極電磁石、そしてえんじ色の四角は残留ガス型プロファイルモニタ (RGIPM) を表している。図 2 より H18 ステアリング電磁石を自動制御しビームダンプへのビーム軌道を自動補正する電流値を算出するシステムを試験した。

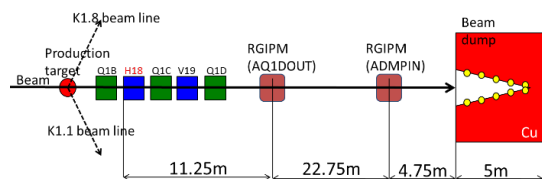


Figure 2: Illustration of the primary beam line at Hadron experimental facility. Red circle, blue, green and dark red boxes illustrate the production target, steering magnets, quadrupole magnets and RGIPMs respectively.

4. 研究成果

(1)電源制御システムを PLC のラダーで構築し、このシステムを使用し実際の電磁石電源に通電することにより、遠隔操作できることを確認した。その時電磁石に通電している電流の安定度を測定した。PLC の D/A モジュールをソース源とした電源の安定度測定を行

った結果、電流値 900[A]では通電 3 時間の安定度は 0.0286[%]であることがわかった。電流値や雰囲気温度のグラフを図 3 に示す。この安定度は電源仕様の安定度より低いため、加速器運転でこのシステムを使用できることがわかった。

また電磁石電源を現場や遠隔で制御できる PLC のプログラムを作成し、実機の電源で通電、電流・電圧制御、転極などの操作ができることを確認した。

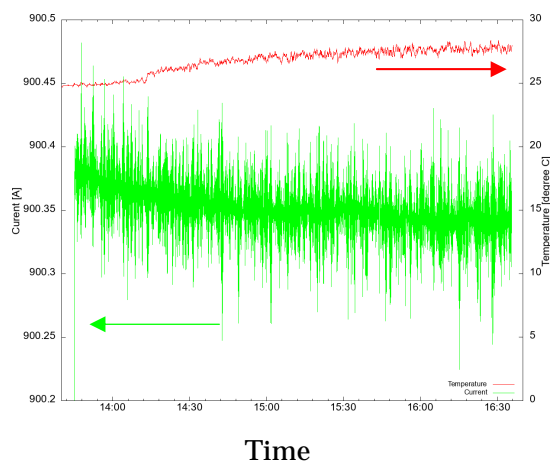


Figure 3: Trend graph of current value.

(2)電磁石電源を制御するシステムが完成したため、ビーム軌道を自動で制御するシステムの開発を行った。まず PLC にビームプロファイル(ビームの中心位置、幅など)の情報を取り込む EPICS プログラムを開発した。その取り込まれたビームプロファイルや電源の電流・電圧値から、ビームダンプへ入射するビーム軌道やステアリング電磁石の電流値を自動的に計算するプログラムもあわせて開発した。開発されたプログラムを実際の加速器運転中に試用した結果を図 4,5,6 に示す。図 4 は縦軸がビーム位置[mm]、横軸が時間で、各点はプロファイルモニターにより得られた 2 点のビーム位置とそれから計算されたビームダンプでのビーム位置である。図より PLC にビームプロファイルが入力され、ビームダンプでのビーム位置が正確に算出されたことを確認した。図 5 は縦軸がビーム位置[mm]、横軸が時間で、図 4 で計算されたビームダンプのビーム位置とビームダンプで水平方向に設置した 40 個の熱電対によって得られたビーム位置を比較している。図 5 よりモニターにより得られたビームダンプでのビーム位置はよく一致していることが分かる。図 6 は縦軸が電流[A]、横軸が時間でビームダンプでのビーム位置より計算された H18 ステアリング電磁石の補正電流値を示している。上流側のビームプロファイルモニターやそれらの設置位置より軌道計算を行い、ビーム軌道を修正するステアリング電磁石の電流値を計算でき、実際の加速器運転でも実用可能であ

ることがわかった。

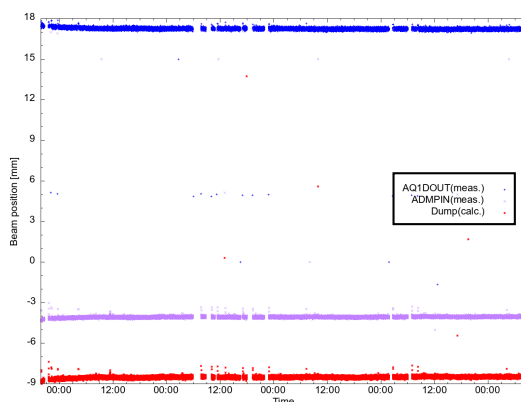


Figure 4: Trend graph of the horizontal beam positions measured with two RGIPMs (blue and purple) and calculated ones (red) by the automatic correction program.

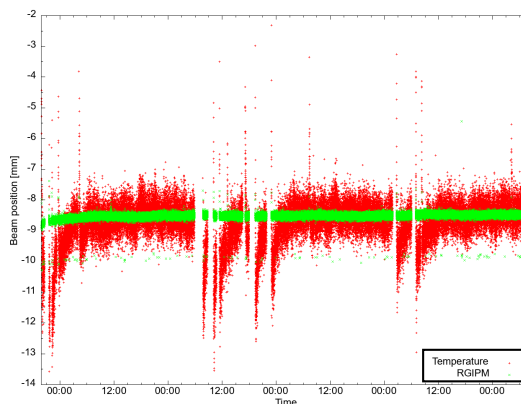


Figure 5: Trend graph of the beam positions at the beam dump. Green points are the position data calculated by the automatic correction program. Red points are the position data measured with the temperature distribution.

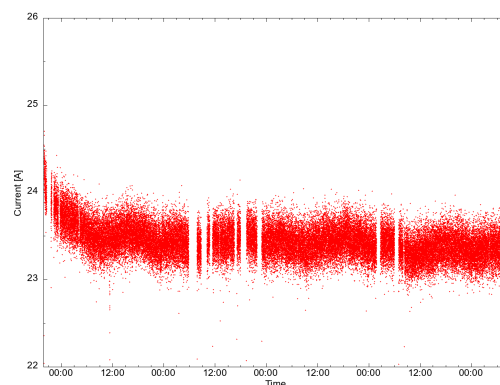


Figure 6: Trend graph of optimized current.

5 . 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

〔雑誌論文〕(計 0 件)

〔学会発表〕(計 4 件)

K. Agari, et al., “DEVELOPMENT OF THE POWER SUPPLY CONTROL SYSTEM FOR J-PARC HADRON EXPERIMENTAL FACILITY”, Proceedings of the 16th International Conference on Accelerator and Large Experimental Control Systems (ICALEPCS 2017), Barcelona, Spain, Oct. 8-13, 2017, pp 697-700

上利恵三等、”J-PARC ハドロン実験施設における電磁石用電源制御システムの開発“、第 13 回日本加速器学会年会、2016、pp 1219-1221

K. Agari, et al., “UPGRADES OF TEMPERATURE MEASUREMENTS AND INTERLOCK SYSTEM FOR THE PRODUCTION TARGET AT J-PARC HADRON EXPERIMENTAL FACILITY”, Proceedings of the 15th International Conference on Accelerator and Large Experimental Control Systems (ICALEPCS 2015), Melbourne, Australia, Oct. 17-23, 2015

上利恵三等、”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“、第 12 回日本加速器学会年会、2015、 pp 1243-1245

〔図書〕(計 0 件)

○出願状況 (計 0 件)

○取得状況 (計 0 件)

〔その他〕

ホームページ等 なし

6. 研究組織

(1)研究代表者

上利 恵三 (AGARI, Keizo)

高エネルギー加速器研究機構・素粒子原子核研究所・技師

研究者番号：30391741

(2)研究分担者

()

研究者番号：

(3)連携研究者

()

研究者番号：

(4)研究協力者

()