

NanoTerasu 加速器安全インターロックシステムの構築

CONSTRUCTION OF NanoTerasu RADIATION SAFETY INTERLOCK SYSTEM

前川和久^{#,A)}, 安積隆夫^{B)}, 杉山翔一^{B)}, 萩原雅之^{B)}, 保坂勇志^{B)}, 西森信行^{B)}, 松田洋樹^{B)},
櫻井辰幸^{C)}, 佐治超爾^{C)}, 糸賀俊朗^{C)}, 仲谷光司^{A)}

Kazuhi Maekawa^{#,A)}, Takao Asaka^{B)}, Shoichi Sugiyama^{B)}, Masayuki Hagiwara^{B)}, Yuji Hosaka^{B)},
Nobuyuki Nishimori^{B)}, Hiroki Matsuda^{B)}, Tatsuyuki Sakurai^{C)}, Choji Saji^{C)}, Toshiro Itoga^{C)}, Koji Nakatani^{A)}

^{A)} Hitachizosen

^{B)} National Institutes for Quantum Science and Technology (QST)

^{C)} Japan Synchrotron Radiation Research Institute (JASRI)

Abstract

The accelerator safety interlock system for monitoring and controlling the radiation safety equipment of the next-generation synchrotron radiation facility NanoTerasu promoted by the National Institutes for Quantum and Radiological Science and Technology (QST) is shown. This system consists of safety equipment such as door limit switches, emergency stop buttons, exit control buttons, automatic display devices, and operation indicator lights installed in the linear accelerator area and storage ring area, and these can be monitored and controlled in an integrated manner. When a person leaves each accelerator area and the area is closed, the operation permit is granted to the RF power supply belonging to each area. Exit confirmation is performed in conjunction with the personal key cabinet of the access control system that manages entry and exit to the radiation controlled area. When the closure of the two accelerator areas is completed, or when the linear accelerator area is closed in a state separated from the storage ring area, the operation permit is granted to the electron gun. If an abnormality occurs in the state of the safety equipment monitored by this system, the operation permit will be suspended immediately. This report is an overview of the facility's safety system, system configuration, and operation sequence.

1. はじめに

東北大学青葉山新キャンパス内の次世代放射光施設 NanoTerasu は 2024 年度のユーザ利用運転に向けて、整備が進められている[1]。NanoTerasu は全長 110 m のライナック加速器と周長 348.8 m の蓄積リングで構成され、軟 X 線領域において高精度の放射光を生成する。本施設では、放射線から人を保護する目的で放射線安全設備を設け、その監視・制御を行うための加速器安全インターロックシステムの概要を報告する。

2. 加速器安全インターロックシステム

2.1 概要

本施設では線型加速器エリアと蓄積リングエリアの 2 つの放射線管理エリアが設定されている。システム構成の概要を Fig. 1 に示す。本システムは、各エリアから人が退避してエリア閉鎖が完了したことを確認した後、各エリアに属する RF 電源に対して運転許可を出力する。また 2 つのエリアの閉鎖が完了、または線型加速器エリア閉鎖完了で、SR 切り離し状態であれば、加速器安全インターロックシステムは電子銃に対して運転許可を出力する。エリアの閉鎖が何らかの問題で解除された場合、直ちに運転許可出力を停止し、加速器を停止させる。

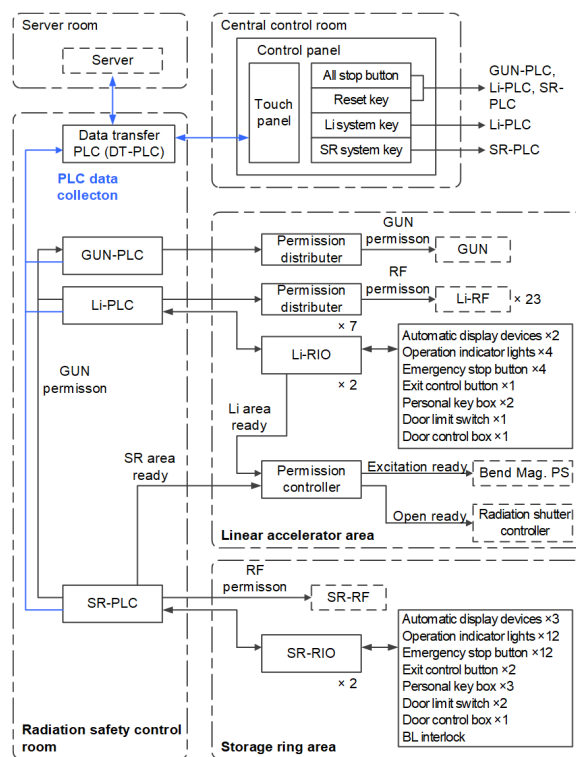


Figure 1: Schematic diagram of the radiation safety interlock system.

[#] maekawa_k@hitachizosen.co.jp

2.2 放射線安全設備配置

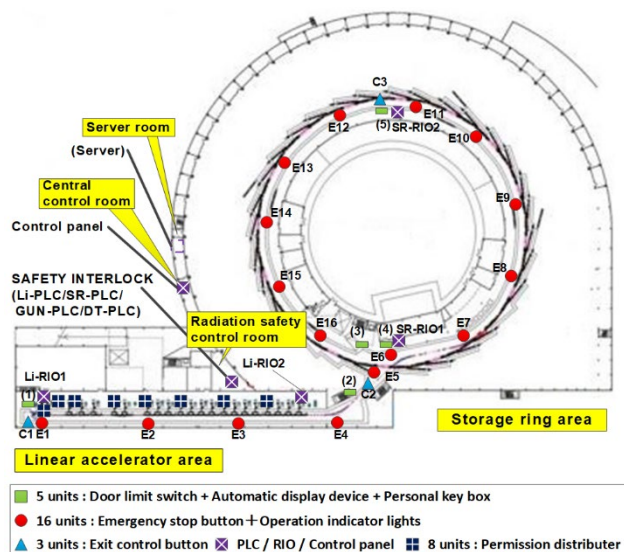


Figure 2: Equipment layout of the radiation safety interlock system.

本システムが監視する主要な放射線安全設備の配置を Fig. 2 に示し、各設備の概要を下記に示す。

- 自動表示装置(Automatic display device) :
加速器トンネルに入室する扉前に配置し、加速器運転状態を「運転中:赤色」「準備中:黄色」「停止中:緑色」で表示する。
- 運転表示灯(Operation indicator lights) :
加速器トンネル内に配置し、加速器運転状態を赤、黄、緑の3色で表示する機能とブザーを備える。
- 非常停止ボタン(Emergency stop button) :
加速器トンネル内に配置し、収納部閉鎖時、内部に取り残された人がいた際に、ボタンを押すと加速器は緊急停止する。
- 退避確認ボタン(Exit control button) :
加速器トンネル内に配置し、収納部閉鎖時の見回り確認の際に使用する。
- パーソナルキー盤(Personal key box:PK 盤) :
加速器トンネルに入室する扉前に配置されており、加速器トンネルに入室する際、PK 盤に設置された QR コードリーダーで各個人へ配布された QR コードを用いて認証を行い、キーを抜いて携行する。加速器安全インターロックシステムは、キーが全て返却されない状態ではエリア閉鎖を行えないよう監視している。よって、加速器運転中は、QR コード認証を行ってもキーを抜くことが出来ない。
- 扉リミットスイッチ(Door limit switch) :
加速器トンネル出入口に設置し、扉の閉状態を監視する。
- 搬入扉制御盤(Door control box) :
搬入扉付近に配置され、本制御盤を経由して搬入扉の閉止状態監視と搬入扉操作許可出力を行う。

2.3 線型加速器 PLC

本エリアを管理する線型加速器 PLC は、放射線安全管理・中央設備監視室に設置した Li-PLC、線型加速器棟 GUN 部に設置した Li-RIO1、および BT 部に設置した Li-RIO2 で構成される。各ユニット間は光ケーブルで接続して CC-Link IE Control で通信を行う。

Li-PLC は、線型加速器エリアの放射線安全設備状態を監視し、Fig. 3 に示す線型加速器エリア RF 許可が成立した際に、線型加速器エリアの RF 電源に対して運転許可出力を行う。本許可信号は Li-RIO1 から出力し、線型加速器クライストロンギャラリー7 箇所におよそ等間隔に配置された許可分配ユニットへ入力する。許可分配ユニットは 1 入力を 4 出力に分配して、付近の RF 電源へ出力許可を与える。また線型加速器エリア GUN 許可が成立した際に、GUN-PLC へその信号を伝達する。

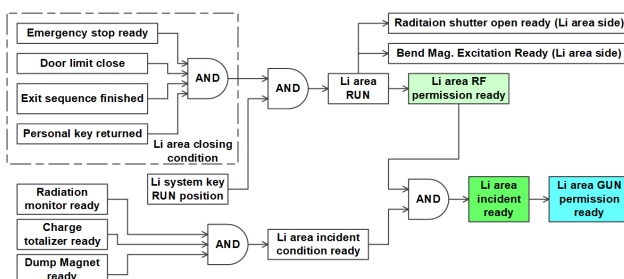


Figure 3: Li-PLC block diagram.

2.4 蓄積リング PLC

本エリアを管理する蓄積リング PLC は、放射線安全管理・中央設備監視室に設置した SR-PLC、蓄積リング棟内周通路南側に設置した SR-RIO1、および内種通路北側に設置した SR-RIO2 で構成される。各ユニット間は線型加速器 PLC と同様に光ケーブルで接続して CC-Link IE Control で通信を行う。

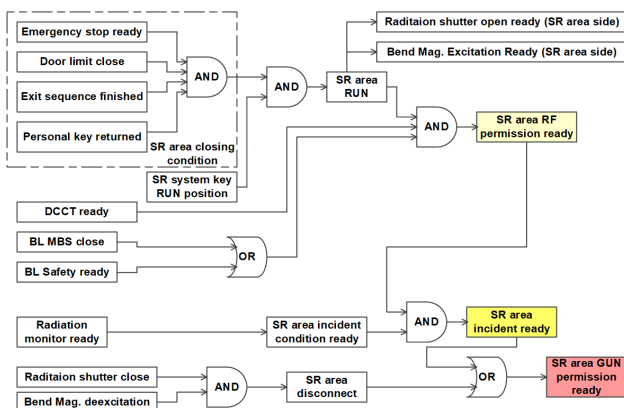


Figure 4: SR-PLC block diagram.

SR-PLC は、蓄積リングエリアの放射線安全設備状態を監視し、Fig. 4 に示す蓄積リングエリア RF 許可が成立した場合に、蓄積リングエリアの RF 電源に対して運転許可出力を行う。

蓄積リングエリア RF 許可成立条件の一つに実験ホールに設置された各ビームラインの放射線安全を監視する BL-Safety-PLC との接続が有り、加速器安全インターロックシステムに出力される BL 安全信号を監視する。加速器安全インターロックシステムが BL-Safety-PLC の BL 安全信号 OFF を検出した際、MBS 状態を確認し、MBS 閉で無いときは、RF 電源と電子銃の許可信号を停止する。加速器安全インターロックシステムから BL-Safety-PLC へは各ビームライン使用許可を与える BL Permission 信号を出力する。BL Permission 信号 OFF の際は、各ビームラインの MBS を開することが出来ない。

蓄積リングエリア GUN 許可が成立した際に、GUN-PLC へその信号を伝達する。

2.5 放射線シャッターと偏向電磁石電源

線型加速器と蓄積リングの間にはビームを遮断する放射線シャッターとビームを蓄積リングへ入射するための偏向電磁石が設置されている。放射線シャッターが閉じている時は、蓄積リングは線型加速器から切り離されていると判断し、蓄積リング側の安全条件が成立していない状態でも電子銃に対して運転許可を与えることが出来る。

放射線シャッターは放射線シャッターコントローラから開閉操作を行う。放射線シャッターを開けるためには、放射線シャッターコントローラが線型加速器 PLC と蓄積リング PLC の両方から開許可信号を受け取り、両エリアの安全が確保されたことを条件に開操作が許可される。

偏向電磁石を励磁するためには、偏向電磁石電源が線型加速器 PLC と蓄積リング PLC の両方から励磁許可信号を受け取り、両エリアの安全が確保されたことを条件に励磁操作が許可される。線型加速器 PLC が励磁許可信号を与える条件に、放射線シャッターが開いていることも含まれている。すなわち、偏向電磁石でリング方向へ偏向されたビームが放射線シャッターに当たらないよう設計されている。

2.6 電子銃 PLC

電子銃 PLC は、Fig. 5 に示すとおり、線型加速器 PLC と蓄積リング PLC から入力される GUN 許可信号の成立を受けて、電子銃に運転許可を出力する。

ただし、放射線シャッターが閉まっている場合は、蓄積リングエリアの開鎖が完了していなくても、電子銃 PLC は GUN 許可信号を出力する。蓄積リングエリアへビームを入射する時は、線型加速器エリアと蓄積リングエリアの開鎖が完了し、放射線シャッター開操作と偏向電磁石励磁操作を行うことで電子銃 PLC は GUN の運転許可を出力する。

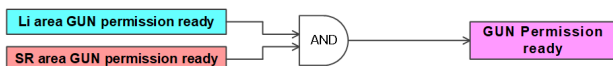


Figure 5: GUN-PLC block diagram.

2.7 コントロールパネル

中央制御室に設置されたコントロールパネルのタッチパネルにて加速器安全インターロックシステムの状態を確認出来る。コントロールパネルにはLiシステムキー、SRシステムキー、リセットキー、全停止ボタンが設置されている。各システムキーは、各エリアの安全条件が成立していることを条件に運転状態を「停止中」、「準備中」、「運転中」に切り替えることが出来る。リセットキーはアラーム発生後にアラーム発生原因が解消した後に回すとアラームをリセットすることが出来る。全停止ボタンは加速器安全インターロックシステムが運転許可を与えている全ての機器に対して運転許可を停止する。

タッチパネルのTOP画面をFig. 6に示す。TOP画面で電子銃(GUN)、線型加速器(Li)、蓄積リング(SR)、ダンプ電磁石(DUMP MAG. / B_BT1_01)、偏向電磁石(BEND MAG. / B_BT1_02)、および放射線シャッターの状態を確認出来る。また上部タブを押すことにより、電子銃、線型加速器、蓄積リングの放射線安全設備状態の詳細を確認することが出来る。

タッチパネル上部ボタンの Li を押した際は Li-PLC が管理する情報を表示する。Li 画面を Fig 7 に示す。画面左側に閉鎖条件、RF 許可条件、入射許可条件を表示し、正常時は緑色、異常時は赤色、運転中以外に発報した一部の ALARM はインターロック動作を行わないが注意喚起のため黄色表示を行う。画面右側は線型加速器エリアの STATUS を表示する。同様に SR ボタン押下時は SR-PLC が管理する情報の表示、GUN ボタン押下時は GUN-PLC が管理する情報の表示を行う。

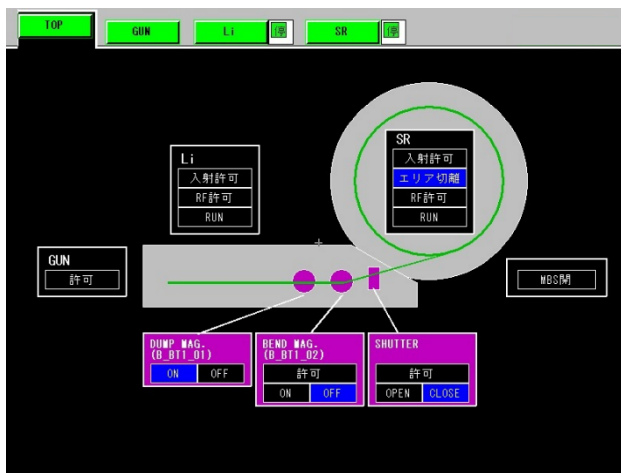


Figure 6: Top screen of the radiation safety interlock control panel.

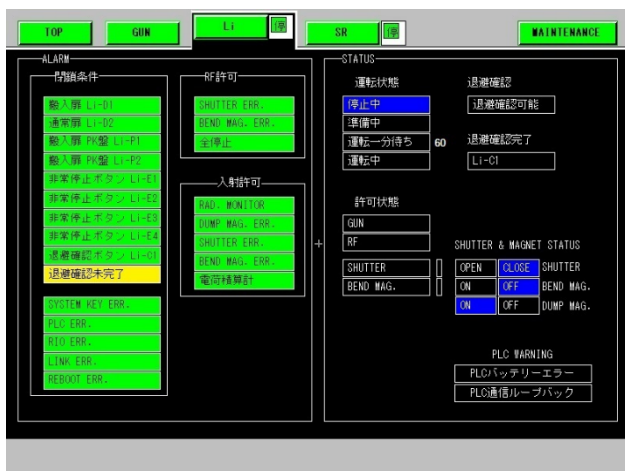


Figure 7: Li area screen of the radiation safety interlock control panel.

3. まとめ

次世代放射光施設 NanoTerasu 内に加速器安全インターロックシステムを構築した。現地にて放射線安全設備機器の設置および配線を行い、想定した機能の健全性を確認した。その後、加速器安全インターロックシステムを稼働した状態でコンディショニングが進められ 2023 年 7 月に蓄積リングでの電子蓄積に成功した。引き続き NanoTerasu ではファーストビームに向けた調整が進められる[2]。

参考文献

- [1] <https://www.nanoterasu.jp/>
- [2] <https://www.qst.go.jp/site/press/20230714.html>