

DESIGN REPORT OF ACCELERATOR SAFETY INTERLOCK SYSTEM FOR XFEL

Masahiro Kago^{1,A)}, Tomohiro Matsusita^{A)}, Nobuteru Nariyama^{A)}, Yoshihiro Asano^{B)}, Toru Fukui^{B)},
Toshiro Itoga^{B)}, Choji Saji^{A)}, Ryotaro Tanaka^{A)}

A) JASRI, XFEL Joint Project /SPring-8, 1-1-1, Kouto, Sayo, Hyogo, 679-5198

B) RIKEN, XFEL Joint Project /SPring-8, 1-1-1, Kouto, Sayo, Hyogo, 679-5148

Abstract

XFEL accelerator safety interlock system is established with the purpose of protecting persons from the radiation damages. This system consists of three interlock systems; central radiation interlock system, emergency interlock system, and beam route interlock system. A PLC is basically used to control of each module. If the condition is unsafe, the system must stop the electron beam within 16.6msec. Therefore, the optical module that can transmit a high-speed stop signal is developed. We report the present status of accelerator safety interlock system for XFEL.

XFEL加速器安全インターロックシステムの設計

1. はじめに

理研・JASRI X線自由電子レーザー(以下、「XFEL」)計画推進本部は、SPring-8サイト内において、8GeVの電子線形加速器と真空封止アンジュレータを用いた大強度のX線レーザーを発生させる加速器を建設中である。500kV電子銃からビームを入射して、加速管によって最大8GeVまで加速される。加速後の電子ビームは偏向電磁石によって、各ビームライン(BL)に振り分けられる。当初は、BL1とBL3が建設される予定であるが、最終的にBL1～BL5に振り分ける予定となっている。また、最大60Hzでそれぞれのビームラインに振り分ける計画もある。振り分けられた電子ビームは、挿入光源を通過し、X線レーザーを発振させ、その後に、ビームダンプ用偏向電磁石によってビームダンプへ導かれる。

XFEL加速器安全インターロックシステムは、放射線安全管理システム^[1]を構成する1システムとして、この加速器の運転を制限し、人の安全を担保するためにアクセス制限を行う。さらに、ビームルートを監視し、不安全状態となった場合は、速やかに運転を停止する。ここでは、XFEL安全インターロックシステムの設計指針と論理、システム構成について、現状報告する。

2. 安全インターロックの論理

放射線発生装置使用室(以降、「使用室」)に立ち入る場合には、扉付近に設置されたパーソナルキーボックス(以降、「PK-Box」)に個人認証媒体をかざし、キーを一人一本抜き取り所持する。キーを抜き取ることで入室者を記録し、扉が開錠される。使用

室への出入口扉は全6箇所ある。全てのPK-Boxに全てのキーが返却され、かつ扉が開・施錠されていないと加速器は運転ができない。また、運転前に使用室内の見回り点検を行うこととする。使用室内の12箇所に退避確認ボタンを設置し、目視で残留者がいないことを確認した後、退避確認ボタンを順次確認状態にする。全ての退避確認ボタンが確認状態になると、運転を可能とする。さらに、使用室内には非常停止ボタンを約50m間隔で設置し、ボタンが押されると復帰が完了するまで運転不可とする。以下に運転条件を示し、図1に論理フローを示す。

- ✓ 全ての出入口扉が「閉」状態
- ✓ 全ての出入口扉が「ロック」状態
- ✓ 全てのパーソナルキーが「返却」状態
- ✓ 全ての非常停止ボタンが「OFF」状態
- ✓ 全ての退避確認ボタンが「確認」状態
- ✓ 放射線モニタの瞬時値、積算値が設定値以下
- ✓ 偏向電磁石(ビームダンプ、振り分け、振り戻し)が安全成立
- ✓ 放射光ビームラインが安全成立、あるいはMBSが「閉」状態

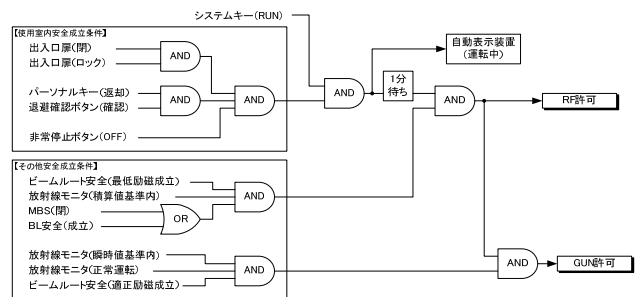


図1: 論理フロー

¹ E-mail: kago@spring8.or.jp

全ての条件が成立しシステムキーを「RUN」にすると1分後に『運転許可』となり、RFおよびGUNの出力を可能とする。運転中は使用室内に常時警報音を発報する。なお、運転中に上記条件が崩れた場合は、ただちに『運転許可』信号をOFFにして、運転を停止する。

3. システム設計思想および指針

安全インターロックの基幹部にはPLCを用い、自動表示装置、非常停止ボタン、扉状態などの分散した機器への入出力はPLCのリモートI/Oユニットを通して行う。XFEL加速器単体で運用できる閉じたシステムとし、安全系(人の安全を担保)、機器保護系(機器を保護)、運転系(運転ルールを守る)インターロックの動作は独立させ、相互の情報伝達は接点信号、およびFL-net通信によるものとする。システムの切り分けを明確にすることによりロジックをできるだけシンプルにし、動作検証およびメンテナンスを容易とすることができる。また、加速器が設置された使用室の入口扉はロックされるが、仮に在室者がいた場合に備え、内側からは扉のノブを回すだけで退出できるようにする。このような基本動作や思想は、SPring-8安全インターロックシステムで培ったノウハウ、経験を十分活用することとする。さらに安全性を高めるため、機器やケーブルについては、できるだけ二重化するように設計する。そのほか、電子ビームの振り分けは被曝状況に密接に関係する。そのため安全インターロックシステムでは、偏向電磁石の励磁量から、電子ビームが正確に振り分けられて、所定の軌道を通り、ビームダンプに廃棄されているかを監視する。異常を判断した場合には、16.6msec以内でビームを停止させる必要がある。これは、遮蔽壁の設計がビーム1発分に耐える仕様であるため、60Hzの繰り返しで出てくる電子ビームに対して、異常発生直後の電子ビームを止める必要があるからである。

以下にXFEL安全インターロックの指針を示す。

- 安全インターロックは、XFEL加速器単体で運用できるよう閉じたシステムとする。
- 機器、ケーブル、機能については、二重化とする。
- 安全条件が崩れた場合、16.6msec以内でビーム破棄できるよう高速伝送の系統を備える。
- ビーム経路は電磁石の励磁量を監視することで安全を担保する。

4. 安全インターロックシステム構成

安全インターロックシステムは、機能毎に独立した各インターロックおよびモジュールが連携することでシステムを構築するよう設計している。図2にシステム概略構成を示し、図3にシステムを構成する安全機器の配置図を示す。

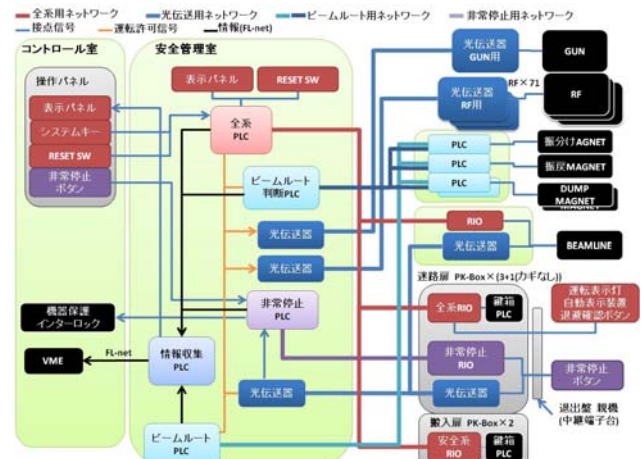


図2：安全インターロックシステム概略構成

4.1 全系統インターロック

安全管理室に設置されたPLCで一括処理を行い、使用室出入口扉付近に分散されたリモートI/Oユニットにより、自動表示装置、退避確認ボタン等の安全機器と信号入出力を行う。さらには、放射線モニタリングシステムから瞬時値、および積算値警報の信号入出力を行う。これらの情報をもとに安全状態を確認し、運転状態(運転中/準備中/停止中)の移行を行い、運転許可信号を出力する。

4.2 非常停止インターロック

使用室内の23箇所に設置された非常停止ボタンの信号入力を行う。全系統インターロックと同様、安全管理室にPLCを設置し、演算処理を行い、分散されたリモートI/Oで非常停止ボタンの信号を入力する。非常停止ボタンが操作された場合は、運転許可信号をOFFにし、加速器の運転を停止する。

4.3 光伝送モジュール

GUNと全RFに対して、運転許可信号を高速伝送するモジュールを新規開発する。モジュール間は光ファイバにて信号取合を行う。また、高速で確実に停止させる必要があることから、2つの光ファイバを使用し安全信号取合を行う。高速性を実現するために、2ファイバの片方に関しては、静的な信号を使って信号を伝送する。信号は負論理を採用する。また、確実性を実現するために、もう片方の光ファイバには、安全系PLC、非常停止系PLCで生成したON/OFF信号(方形波)を伝送する。方形波が停止した場合にも、同様に加速器を停止させる。また、モジュールの破損などのトラブル対応を行いやすくするため、ラッチ回路を内蔵する。これにより、リセット信号の伝送も行う。

光伝送モジュールは3タイプ(A,B,C)制作する。Aタイプは、PLCから2つの安全信号とリセット信号をハードワイヤで受取り、それらの信号を光信号で送信する。安全系、非常停止系のPLCと組み合わせで使用する。Bタイプは、2つの安全信号とリセット信号を光で受信し、さらに停止信号を2系統ハード

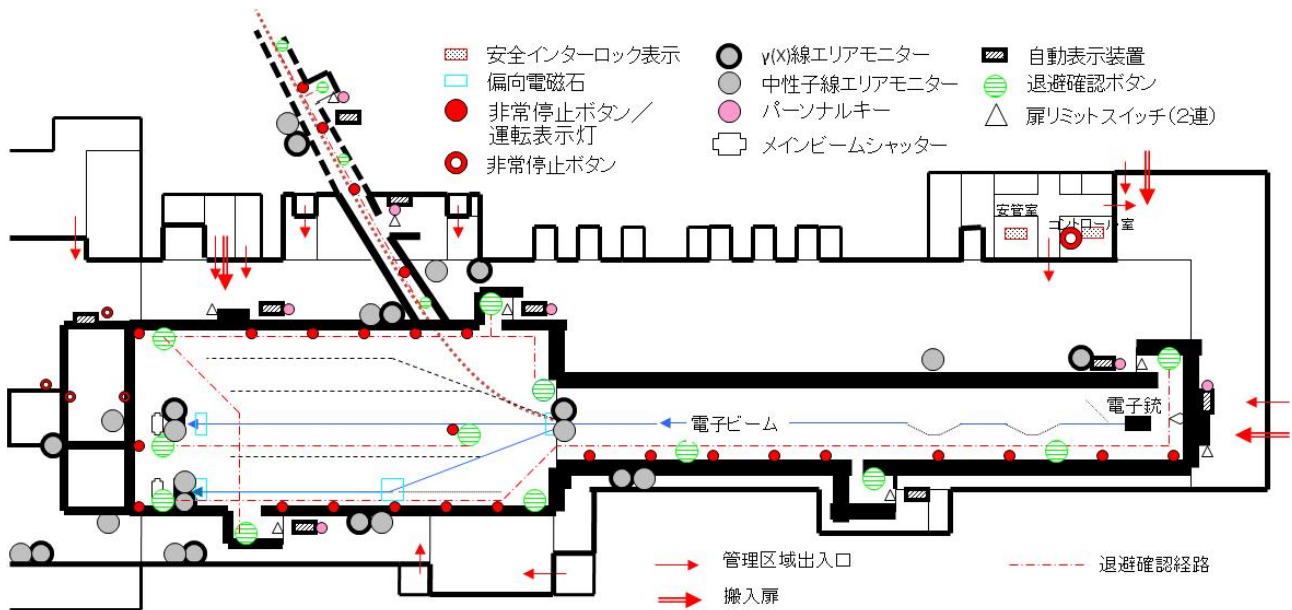


図3：安全機器の配置(予定)

ワイヤで入力し、それらの信号を光信号で送信する。Cタイプは、2つの安全信号とリセット信号を光で受信し、それらの信号を光送信する。さらにGUNおよび全てのRFに対して、停止信号を無電圧接点で出力する。

4.4 ビームルートインターロック

安全管理室に設置するビームルートPLC、ビームルート判断PLCと各偏向電磁石ラック内に設置する4台の励磁監視PLCから構成する。ビームルートPLCに対して加速エネルギーの設定を行う。ビームルートPLCと4台の励磁監視PLC間はPLCリンクを組み、ビームルートPLCに設定された値が各励磁監視PLCに送信される。各励磁監視PLCは、対象となる偏向電磁石から励磁量をAD入力し、励磁量と設定値を比較する。設定値に対して±1%以内を適正励磁量とし、比較の結果、不整合と判断した場合は異常信号を出力する。異常信号は、ビームルート判断PLCで集約し、GUNに対して運転の停止を指令する。このモジュールは高速性が要求されるため、リモートI/Oは使用せず、機能毎にPLCを設置することでスキャンタイムを極力短くし、各DIO信号は光変換して伝送する。

RF運転中は、ダンプマグネットをある程度励磁する必要があるのではないかと考える。なぜなら、電子銃を運転しなくても、RFを運転している限りは、ダークカレントが発生する。これは非常に高いスペクトルを持ち、ビームライン側へ入射しないようにしなくてはならないためである。したがって、ダンプマグネットについては最低励磁量を定め、条件が満たされなくなった場合には、GUNに加えRFも停止するよう計画している。

4.5 情報収集モジュール

安全管理室にPLCを設置し、安全系、非常停止系、

ビームルートの各インターロックからFL-net通信により情報を集約する。各インターロック間のFL-net系統は独立とする。収集された情報は、さらに別系統のFL-netで上位計算機システムに伝送する。

5. 現在の状況および今後の計画

PLCを用いたシステムは低コストで、かつ短時間に構築でき、SPring-8加速器の安全インターロックで実績があるシステムではあるものの、本システムには16.6msec以下の高速処理が要求され、さらにビームルートを監視するには新たな技術が要求される。このシステムを実現するためには、今回新たに開発する光伝送モジュールとビームルートインターロックが鍵となる。これらのインターロックやモジュールについては、さらに検討を行い、実機投入までにテストベンチなどでノイズの影響や伝送時間など様々な試験を行う予定である。

現在の進捗状況としては、アラームの分類分けやリセット方法などの詳細設計を行っている。2009年度末のシステム完成に向け、安全性の高いシステムづくりはもちろんのこと、運用面における操作性やメンテナンス性についても十分検討を行い、信頼性のある安定したシステムを目指している。

参考文献

- [1] 浅野芳裕. “Ⅲ .SPring-8における放射線管理”, RADIOISOTOPES, Vol.57, No.5, May 2008