

SACLA から SPring-8 へのビーム輸送系放射線安全インターロックシステム RADIATION SAFETY INTERLOCK SYSTEM FOR BEAM TRANSPORT LINE FROM SACLA TO SPRING-8

佐治超爾^{#,A)}, 籠正裕^{A)}, 松下智裕^{A)}, 浅野芳裕^{B)}, 糸賀俊朗^{B)}, 江口重文^{C)}, 大石真也^{A)}, 大竹雄次^{B)}, 佐々木茂樹^{A)}, 早乙女光一^{A)}, 高雄勝^{A)}, 田中均^{B)}, 都筑之彦^{A)}, 橋本勇次^{A)}, 満田史織^{A)}, 田中良太郎^{A)}, Choji Saji^{#,A)}, Masahiro Kago^{A)}, Tomohiro Matsushita^{A)}, Yoshihiro Asano^{B)}, Toshiro Itoga^{B)}, Shigefumi Eguchi^{C)}, Shinya Oishi^{A)}, Yuji Otake^{B)}, Shigeki Sasaki^{A)}, Koichi Soutome^{A)}, Masaru Takao^{A)}, Hitoshi Tanaka^{B)}, Yukihiro Tsuduki^{A)}, Yuji Hashimoto^{A)}, Chikaori Mitsuda^{A)}, Ryotaro Tanaka^{A)}

^{A)} JASRI/SPring-8

^{B)} RIKEN SPring-8 Center

^{C)} RIKEN

Abstract

We updated the radiation safety interlock system enabling to transport electron beam from X-ray free electron laser facility (SACLA) to synchrotron radiation accelerator facility (SPring-8). The aim of a radiation safety interlock system is to protect personnel from radiation hazard induced by electron beam and synchrotron radiation. This system manages access control for persons to move into accelerator areas, and permission of accelerator operation. In order to transport electron beam from SACLA to SPring-8, the new beam transport line (XSBT) was newly constructed, and the safety system for this new area was newly developed. Safety logic of all area (SACLA, SPring-8 and XSBT) is modified as whole system is cooperated. For designing the new system, the safety management method, "Area management design method", was applied. This method enables to simplify safety management of accelerator complex system by defining a combination of independent accelerator areas. The construction of the new radiation safety interlock system was finalized in September 2013. We will report the design of the new system and results.

1. はじめに

SACLA (SPring-8 Angstrom Compact Free Electron Laser) から SPring-8 に電子ビームを輸送するための放射線安全設備である加速器安全インターロックシステムを構築した。これは、加速器収納部内へのアクセス制御を行い、監視機器状態に応じて、加速器に運転許可を与えるシステムである。

SACLA から SPring-8 蓄積リングに電子ビームを輸送するにあたり、両施設を接続するビーム輸送ライン(XSBT)と、これを安全管理する放射線安全インターロックシステムが新たに設置された。さらに既存の SACLA と SPring-8 安全システムとの接続により、全体システムが統一的に運用可能となった。

本システムは、安全性を確保しつつ柔軟かつ拡張可能な運転形態を実現するエリア管理が特徴である。この複合加速器をエリア単位で安全制御する手法を取り入れ、SPring-8 の加速器放射線安全インターロックシステムが開発された。今回は、SACLA と XSBT のエリアを追加し、全体を再構成した。安全性はもちろんのこと、運用性とメンテナンス性の両立を図り、SACLA と SPring-8 について、一方の施設が運転中に他方の施設のメンテナンス（電源断を含むシステム停止やインターロック動作検査）を実施可能なデザインとなっている。

新システムは 2013 年 9 月に完成、安全審査に合

格し、SACLA と SPring-8 を接続または独立して運用が可能となった。ここでは、エリア管理の概念設計、システム構築状況、構築後の運用実績について報告する。

2. 加速器放射線安全インターロックシステム

2.1 加速器放射線安全インターロック概要

SPring-8 サイトには、2つの加速器施設 (SPring-8, SACLA) が存在する。Figure 1 に SPring-8 サイトの加速器構成とインターロック関連機器配置の概略を示す。SPring-8 側の各エリアを青色、SACLA 側の各エリアを橙色で表している。

1) SPring-8

4つの加速器エリア（線形加速器(Li)、ブースターシンクロトロン (Sy)、蓄積リング (SR)、ニュースバル蓄積リング (NS)）と1つのビームトランスポートライン (L3 ビームトランスポート (L3)) で構成される。電子銃 (GUN) は Li エリア、高周波加速空洞 (RF) は Li, Sy, SR, NS の 4 エリアに設置されている。

2) SACLA

1つの加速器エリア (SACLA) で構成される。GUN と RF とともに SACLA エリアに設置されている。

3) XSBT

[#] saji@spring8.or.jp

今回新しく設置されたビームトランスポートラ

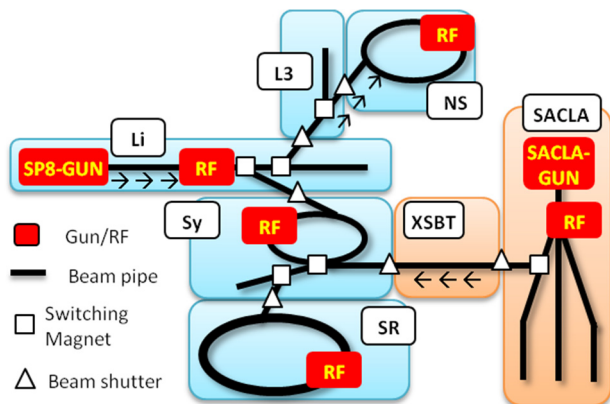


Figure 1: Accelerator complex in SPring-8 site.

インである。SACLA から SPring-8 へのビーム輸送用エリアの機能を持つ。1つの加速器エリア (XSBT) で構成される。本エリアには電子ビームを生成・加速する機能は無い。

ここで加速器エリアは人が立入れる独立な空間を意味している。隣接する2つのエリアはビームトランスポート用ビームパイプで接続され、放射線シャッターで分離されている。電子ビームの輸送ルートは振り分け偏向電磁石の励磁状態の組合せで決まる。電子は GUN で生成され、RF で加速される。加速器放射線安全インターロックシステムは、GUN と RF の許可を制御することにより、インターロック発報時に加速器を停止し安全を担保している。また、放射線シャッターと振り分け偏向電磁石状態を監視することにより、各エリアにビームが輸送されるか否かを判断している。これは単独エリア独立で判断でき、ビーム直上流に設置された放射線シャッターが開状態、または振り分け偏向電磁石電子の励磁状態によって、電子ビームまたは二次放射線が該当エリアに入射される可能性があるかと判断している。

2.2 エリア管理

エリア管理導入の経緯とその手法について述べる。SPring-8 運用開始時には、数少ない加速器エリアの組合せを監視する方法で問題なく運用していた。その後新規加速器エリアの追加、Top-up 運転や複数加速器への振り分け運転等のさらに高度な加速器運転が採用されたが、既存の安全管理ではさらなる加速器運転の高度化を許容することは困難になっていた。この問題を解決するために、新しい安全管理手法「エリア管理システム」を適用した。エリア管理システムは、SPring-8 において 2011 年に導入された。Figure 2 は SPring-8 におけるエリア管理の概念図である。各エリアシステムの独立性を担保するために、各エリアシステム間は直接通信を行わないデザインとなっている。このため、RF を要するエリアでは、当該システムに接続された機器信号のみで、RF 許可の安全インターロックロジックを構築できる。また、各エリアシステムと GUN システムの通信は、片方向の通信 (各エリアからの GUN 運転許可信号)

となっているため、GUN システムが各エリアシステムに影響を与えることは無い。このように、各エリアシステムの独立性を高め、各エリアの安全ロジックの組合せがシンプルであることが、この手法の特徴である^[1]。

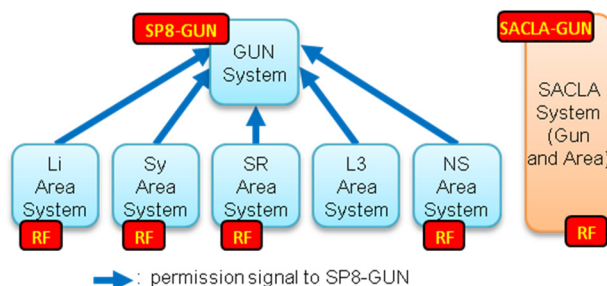


Figure 2: Schematic view of interlock system before the upgrade.

3. システム更新 : SACLA から SPring-8 へのビーム輸送系放射線安全インターロックシステム

更新されたシステムが必要な安全条件を満足することはもちろんのこと、加速器運用性 (運転やメンテナンス) を考慮して、システムのアップグレードを実施した。本更新においても前述のエリア管理手法を適用し、SACLA と SPring-8 が一体となった安全管理が可能となった。

3.1 システム更新

1) XSBT エリア

本エリアはビーム輸送のために新しく追加された建屋である。インターロックロジックは、エリア管理システムのデザインルールに基づき他エリアと同様に構築されている。また、本エリアの上流 (SACLA エリア) と下流 (Sy エリア) に設置された放射線シャッターと振り分け偏向電磁石についても既存のルールを適用している。

2) SACLA エリア

既存システムについては^[2]を参照のこと。本更新では、エリア管理システムのフレームを適用するために既存システムから GUN を制御するシステムを独立化することにより、Figure 3 に示す構成を可能とした。

2-1) GUN システム

SACLA の GUN システムは SPring-8 の GUN システムと同様に SACLA-GUN 許可の最終判断を行う。SACLA、XSBT、Sy、SR のエリアから GUN 許可が得られた時、SACLA GUN の使用が最終的に許可され、SPring-8 蓄積リングへのビーム入射が可能となる。

2-2) エリアシステム

SACLA エリアは既存の機能を継承した上でエリア管理のルールを適用した。システムも既存構成

と同じく全系インターロック、非常停止インターロック、ビームルートインターロックから成り、各々が判断した安全状態を元に RF と GUN 許可を制御する。ここで生成した GUN 許可信号を GUN システムに伝達する。

3) SPring-8

既存システムについては¹⁾を参照のこと。SPring-8 側は既にエリア管理が適用されているため、導入時に期待したとおり最小限の変更で更新が可能であった。具体的には、本更新において SACL A から Sy エリアと SR エリアにビーム輸送が可能であるため、この2エリアが更新対象となり、その他のエリアは変更が不要であった。

3-1) Sy エリア

Sy エリアは、ビームの入射口が1つ追加されて2つとなった。具体的には、既存 Li エリアに加えて、新規 XSBT エリアからのビームルートが追加された。また Sy エリア内部ではそれぞれの入射口から入射されたビームを下流の SR へ輸送するための偏向電磁石が新規設置された。これに伴い以下のインターロック動作を追加した。

ビームルートの不整合を防ぐインターロック

ビーム上流エリアと SR へ輸送するための偏向電磁石状態が不整合の場合は、正しくビームが SR に導かれなため、これを防ぐ必要がある。具体的には、3-1) a)と同様に2つの放射線シャッター状態を監視することにより現在のビーム上流エリアを認識し、これを対象の偏向電磁石状態と比較することにより、GUN 不許可となるインターロックを導入した。

3-2) SR エリア

本エリアは、インターロック動作追加等の変更はなく、既存のインターロック動作を SACL A 側の GUN 許可に適用した。

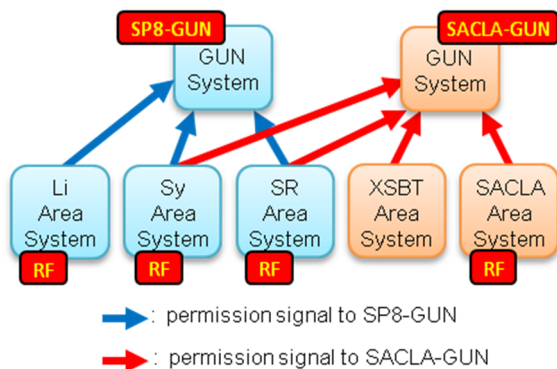


Figure 3: Schematic view of SACL A and SPring-8 interlock system after the upgrade.

3.2 システム間信号点数

Table 1 にシステム間の信号点数を示す。エリア管理の適用により少数の信号点数で各システムが接続

され、シンプルかつ見通しの良いシステムであることがわかる。

Table 1: Number of Communication Signals between Systems

システム間信号	信号点数 (点)
Li→SP8 GUN	2
Sy→SP8 GUN	2
SR→SP8 GUN	4
L3→SP8 GUN	2
NS→SP8 GUN	2
Sy→SACL A GUN	1
SR→SACL A GUN	2
SACL A→SACL A GUN	2
XSBT→SACL A GUN	2

4. 加速器運転への影響

前述のとおり安全関連機能が実装されたが、その上で必要な加速器運転や運用が可能であることも重要である。本更新について特に考慮した機能について述べる。

4.1 SPring-8 と SACL A の独立運転

本更新において SPring-8 と SACL A が一体となった安全管理が可能になったことは既に述べた。しかし、常に一体となった加速器運転をすることは限らず、SPring-8 と SACL A を独立に運用する必要もある。ここで独立な運用とは、SPring-8 と SACL A の安全ロジックがお互いに影響しないことである。具体的に、「SPring-8 側は Linac の電子銃で生成された電子ビームを SPring-8 加速器エリア (蓄積リング等) に輸送」かつ「SACL A 側は同施設のビームダンプのみに電子ビームを輸送」の状態では、SPring-8 側でインターロックが発報しても、SACL A 側の GUN を不許可にする必要はない。ただし、SACL A から SPring-8 にビーム輸送ができないという条件を満たす必要がある。システムでは、XSBT エリアのシステムキー (放射線安全として管理している運転用の鍵) スイッチ状態が「STOP」 (停止中) を条件成立に用いることにより実現している。

4.2 メンテナンス性

本システムは SACL A と SPring-8 のメンテナンススケジュールの自由度を考慮している。例えば、一方が運転中に、もう片方がハードウェアメンテナンスや改修のためにシステムを電源断している、または、安全検査のためにインターロックを故意に発報している、という状況を許容できる。この要求についても 4.1 と同様に XSBT エリアのシステムキース

イチ状態が「STOP」であることを条件に実現している。

5. まとめ

SACLA から SPring-8 に電子ビームを輸送するための放射線安全設備である加速器安全インターロックシステムを構築した。システム全体にエリア管理を適用し、安全かつメンテナンス性の高いシステムを構築した。加速器運用性についても考慮されている。本案件は、エリア管理システムにおいてエリアを拡張した最初の適用であるが、当初の期待通りにスムーズな移行が達成できた。本システムは 2013 年 9 月に完成し、安全審査に合格した。その後、実際に SACLA から SPring-8 の Sy エリアへのビーム輸送を達成している。

参考文献

- [1] C. Saji, et al., “SPring-8 加速器放射線安全インターロックシステム更新 (2)”, 第 8 回加速器学会年会, 2011.
- [2] M. Kago, et al., “SACLA における放射線安全インターロックシステム”, 第 8 回加速器学会年会, 2011.