

# SACLA 加速器安全インターロックシステムのビームエネルギー 個別変更スキーム

## INDIVIDUAL CHANGING SCHEME OF THE BEAM ENERGY PARAMETER OF THE SACLA RADIATION SAFETY INTERLOCK SYSTEM

櫻井辰幸<sup>#, A)</sup>, 山本隆博<sup>B)</sup>, 佐治超爾<sup>A, C)</sup>

Tatsuyuki Sakurai<sup>#, A)</sup>, Takahiro Yamamoto<sup>B)</sup>, Choji Saji<sup>A, C)</sup>

<sup>A)</sup> Japan Synchrotron Radiation Research Institute (JASRI)

<sup>B)</sup> Nippon Gijutsu Center Co., Ltd.

<sup>C)</sup> RIKEN SPring-8 Center

### Abstract

We report on the individual changing scheme of the beam energy parameter of the radiation safety interlock system. When a user experiment is switched, we change the beam energy to change the laser wavelength according to the next experiment. But we must suspend the user experiments of all beamlines to change the beam energy parameter of one beamline by the restriction of the radiation safety interlock system. We modified the interlock system to settle this problem. The radiation safety interlock system collateralizes that an electron beam isn't shot to the beamline during the changing process of the beam energy parameter. For the realization, the system watches open/close condition of both the main beam shutter (MBS) in the upstream of the beamline and the upstream beam shutter installed in front of an undulator. When both shutters were close condition, the radiation safety interlock system turn off the beam trigger permission to shoot to the beamline. The beamline to change the beam energy parameter is separated from the accelerator physically and the interlock system permit the changing of the beam energy parameter. We satisfied to request of the individual energy change by these modifies.

### 1. はじめに

X 線自由電子レーザー施設 SACLA (SPring-8 angstrom compact X-ray free electron laser) では 2012 年 3 月より硬 X 線領域 (4~15keV) のレーザーを実験ユーザーに供給している[1]。SACLA ではより多くの実験ユーザーに X 線レーザーを供給するために、2 本目のアンジュレータビームライン BL2 を建設し、さらに線形加速器から出射された電子ビームを Kicker 電磁石によって Pulse-by-Pulse で振り分けることによって、2 つのビームラインで同時に X 線レーザーを供給することに成功し、ユーザー実験に提供されている[2]。これにより SACLA では 1 つの加速器で 2 組の実験ユーザーが同時に実験を実施することが出来る。

実験ユーザーが予定していた実験を終え、次の実験に切り替わる際、多くの場合 X 線レーザーの波長を変更する。波長の変更量が小さい場合はアンジュレータ磁石列のギャップ長を変更することで対応することが出来るが、変更量が多い場合は線形加速器から出射される電子ビームのビームエネルギーを変更する必要がある。しかしエネルギー変更を行うためには放射線安全インターロックシステムに設定されているビームエネルギー値を変更する必要があるが、変更するためにはビームライン上流に設置されたメインビームシャッター (MBS) をすべての

ビームラインで閉じなければ変更することが出来ない仕様となっている。そのため 1 つのビームラインのエネルギー変更を行うためには、実験中の全てのビームラインへの X 線レーザーの供給を一時中断する必要があり、これは SACLA のビーム振り分け運転の運用にそぐわないことから、安全インターロックシステムの改修が求められた。

本件では、ビーム振り分け運転に対応するために安全インターロックシステムのビームエネルギー個別変更を安全に行うためにスキーム・ロジック・構成について報告する。

### 2. SACLA 安全インターロックシステム

SACLA 放射線安全インターロックシステムは SACLA 電子銃と加速器システム、アンジュレータが設置された収納部の閉鎖状態を監視し、人の被爆を防止することを目的としている[3]。Figure 1 に SACLA 放射線安全インターロックシステムのシステム構成模式図を示す。システムは収納部の入室扉や搬入扉、非常停止ボタン、自動表示装置、退避確認ボタンなどの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の瞬時値や積算値警報、電荷積算計からの既定値超過等の信号の入出力も行う。これらの情報を元に、安全状態を確認し、運転状態への移行や電子銃や RF 電源の運転許可を出力している。

SACLA 安全インターロックは電子ビームが正し

<sup>#</sup>t-sakura@spring8.or.jp

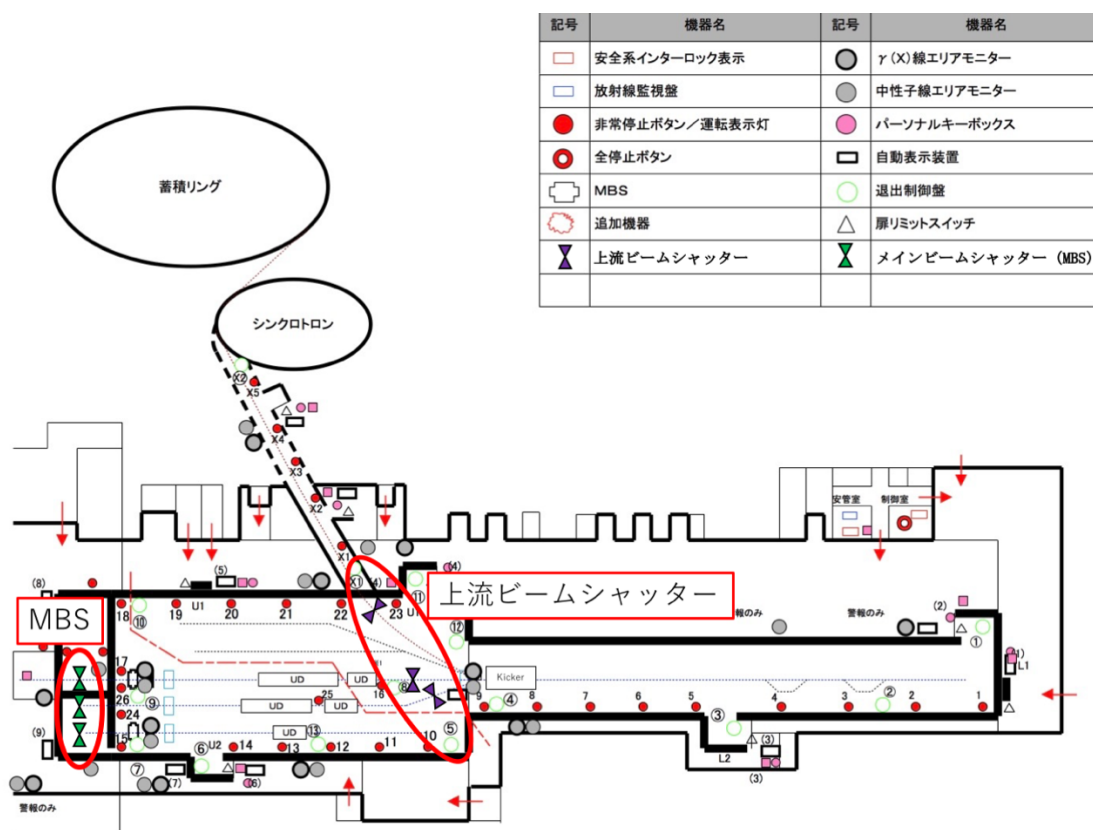


Figure 1: Schematic view of the SACLA and equipment related to the radiation safety interlock system. Two red circles are key components related the individual changing scheme of the beam energy parameter.

くビームダンプに廃棄されていることを監視するために、偏向電磁石の励磁電流値を監視している。運転時は上位計算機からビームライン毎に電子ビームエネルギーをインターロックシステムに入力され、ダンプ電磁石の励磁電流が入力値から換算した適正励磁量（設定値の±10%の範囲内の励磁量）に収まっているかを判断する。もし、励磁電流値が範囲を逸脱した場合、安全インターロックシステムは16.6 msec 以内に電子銃からの電子ビームの射出を停止させる。

現状のビームエネルギー変更時の安全インターロックシステムの動作について示す。安全インターロックシステムはエネルギー変更操作時に誤って電子ビームが実験エリアに射出されないことを担保する。変更を行う際、まず全てのビームラインのMBSを閉状態にすることで、安全インターロックは「エネルギー変更許可」を出す。これにより加速器とBLの間が物理的に切り離された状態となり、実験ユーザーへのX線レーザーの供給は中断する。次にこの状態で制御室の運転員が上位計算機から「エネルギー変更開始要求」フラグを立てることで、安全インターロックは「エネルギー変更可能」状態に移り、直ちに電子銃直下のビームチョッパーの運転不許可信号を出力し、さらにダンプ電磁石の励磁電流監視を停止させる。これにより電子ビームの射出が停止するため、ダンプ電磁石の励磁電流値とビームエネルギー値を安全に変更することが出来る。変

更後は運転員が「エネルギー変更終了」フラグを立てることで、ビームチョッパーの運転許可信号を出力し、ダンプ電磁石の励磁電流監視を再開させる。最後に MBS を開状態にすることで、実験ユーザーへのレーザーの供給が再開される。

### 3. BL個別にエネルギー変更を行うためのスキームと機器構成

我々は SACLA で運用される 2 つのビームラインへのビーム振り分け運転時に、個別にエネルギー変更を行えるように安全インターロックシステムの改修を行った。システムの改修のスキームは、安全にエネルギー変更を行うために、変更を行う BL に向けて電子ビームが射出されないことを担保することとした。これを実現するために、安全インターロックシステムはアンジュレータ上流に設置されたビームシャッター（以下、上流ビームシャッターと呼ぶ）と MBS の開閉状態を監視する。上流ビームシャッターは開リミットスイッチと閉リミットスイッチの2つを監視する。そして安全インターロックに BL 毎のビームチョッパーの運転許可信号を新たに導入し、チョッパー制御装置に出力する。運用例として BL2 からエネルギー変更の要求があった場合を想定して説明する。Figure 2 に今回の改修に伴う変更ロジックのブロック図を、Figure 3 に改修に伴うエネ

ルギー変更手順を示す。エネルギー変更の要求があった時、まず運転員は上流ビームシャッターを開から閉に切り替える。上流ビームシャッターの開状態が OFF されたことで、安全インターロックシステムは直ちに BL2 のビームチョッパーの運転不許可信号を出力する。また上流ビームシャッターの閉状態が ON されたことで、ダンプ電磁石の励磁電流監視フラグを OFF させる。これは BL2 を加速器と物理的に切り離し、ビームが BL2 に出射されないこと、上流ビームシャッターにビームを当てないことを担保している。次に運転員は BL2 の MBS を開から閉に切り替えを行う。これにより BL と加速器も切り離され、ビームの誤出射時の安全担保を二重で行う。上流ビームシャッターと MBS が共に閉状態になったことで、安全インターロックシステムは BL2 のエネルギー変更を許可する。その際、他の BL へのビーム出射は維持される。エネルギー変更許可が出ている間はエネルギー値やダンプ電磁石の励磁電流の変更を自由に且つ安全に行うことが出来る。運転再開のためには逆の手順を踏むことで復帰させることが出来る。エネルギー変更を行うために、上流シャッターのリミットスイッチの状態を判断しているが、もしリミットスイッチが固着故障を起こしてしまった時、または機器間を繋ぐケーブルが断線してしまった場合を想定し、リミットスイッチが示す状態が共に ON または共に OFF となった場合、直ちにビームチョッパーの運転不許可信号を出力し、ダンプ電磁石の励磁電流監視フラグを ON 状態に移移するようにした。これによりシャッター状態が不定状態となった場合でも、上流ビームシャッターにビームを当てないことを担保する。

これらの改修は 2017 年度の SACLA 冬季停止期間に実施し、想定通りの動作を行うことを確認し、現在運用されている。

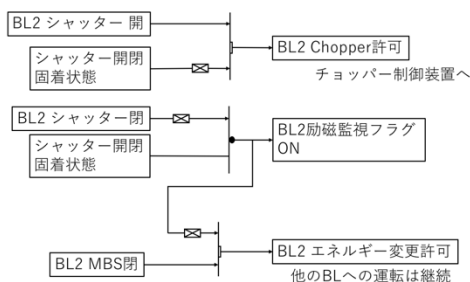


Figure 2: Block diagram related the individual changing scheme of the beam energy parameter.

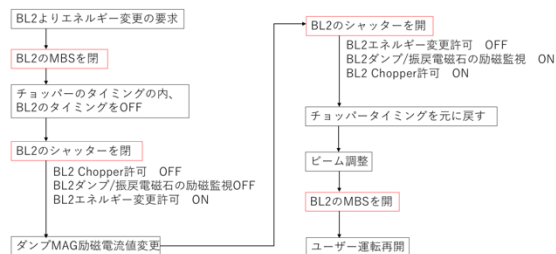


Figure 3: Procedure of the individual changing scheme of the beam energy parameter.

#### 4. まとめ

X 線自由電子レーザーSACLA は実験ユーザーの利用機会を増やすために導入されたキッカー電磁石を用いたビーム振り分け運転の運用が始めたが、ユーザー実験の切り替わりの際に生じるビームエネルギー変更の過程に、安全インターロックシステムの制約のためユーザー実験を全て中断しなければ、エネルギー変更が出来なかったため改修を行った。安全インターロックシステムは、安全にエネルギー変更をするために、エネルギー変更中のビームラインに電子ビームが出射されない事を担保する。その実現のために、エネルギー変更するビームラインの上流シャッターとアンジュレータラインの前に設置されたシャッターを閉じることで、ビームラインを物理的に加速器から切り離し、さらに該当のビームラインへビームを出射するためのトリガーの出力許可を OFF することで、該当ビームラインにビームが出射されないことを担保した。この改修により、個別にエネルギー変更を行う要望を満足した。今回の改修を行ったスキームは将来 SACLA のアンジュレータビームラインが増設され、BL4 や BL5 が建設される事となっても同様の改修を行うことで対応することが出来るため、今後は僅かな改修で対応が可能となる。

#### 参考文献

- [1] H. Tanaka *et al.*, “A compact X-ray free-electron laser emitting in the sub-angstrom region”, *Nature Photonics*, 6, 540 (2012).
- [2] T. Hara *et al.*, “Time-interleaved multienergy acceleration for an x-ray free-electron laser facility”, *Phys. Rev. ST Accel. Beams*, 16, 080701 (2013).
- [3] M. Kago *et al.*, “Radiation safety interlock system for SACLA (XFEL/SPring-8)”, *Proceedings of ICALEPCS2011, Grenoble, France, Jan. 2011*, pp. 710-712.