

UPGRADE OF ACCELERATOR RADIATION SAFETY SYSTEM FOR SPring-8 (2)

Choji Saji^{#,A)}, Masashi Toko^{A)}, Tomohiro Matsushita^{A)}, Ryoza Furuta^{A)}, Hirofumi Hanaki^{A)}, Satoshi Hashimoto^{B)}, Yuuji Hashimoto^{A)}, Masahiro Kago^{A)}, Kenji Kawata^{A)}, Takemasa Masuda^{A)}, Shuji Miyamoto^{B)}, Toshi Nagaoka^{A)}, Nobuteru Nariyama^{A)}, Haruo Ohkuma^{A)}, Shigeki Sasaki^{A)}, Kouichi Soutome^{A)}, Shinsuke Suzuki^{A)}, Masaru Takao^{A)}, Ryotaro Tanaka^{A)}, Yukihiko Tsuzuki^{A)}, Akihiro Yamashita^{A)}, Hiroto Yonehara^{A)}

^{A)} JASRI/SPring-8

1-1-1, Kouto, Sayo-cho, Sayo-gun, Hyogo, 679-5198

^{B)} LASTI/U. of Hyogo

3-1-2, Kouto, Kamigori-cho, Ako-gun, Hyogo, 678-1205

Abstract

Radiation safety interlock system for the SPring-8 accelerator complex, which protects personnel from radiation hazard induced by electron beams and synchrotron radiation, has been operating over a decade. In the past 10 years, the accelerator was upgraded to extend accelerator/beam-transport areas, and it was implemented new functions. The safety interlock system was also extended. The extended radiation safety interlock system had the complicated safety logic to handle the upgraded accelerator because the safety interlock system was closely related to "Operation MODE" of the accelerator, which is the combination of accelerator/beam-transport areas in operation. This circumstance provoked extensive discussions on the design of new radiation safety interlock system to satisfy the requirements and smooth migration from the old system to the new one. The construction of the new radiation safety interlock system was finalized in September 2010. And the system started the user operation in October 2010. We will report the design of the new radiation safety interlock system and introduction results.

SPring-8 加速器放射線安全インターロックシステム更新(2)

1. はじめに

SPring-8 インターロックシステムは放射線防護の担保を目的とする。SPring-8 は運用開始から約 10 年が経過し、トップアップ運転や、ストレージリングとニュースバルの随時振分運転等の導入により運転形態が複雑化した。それに伴い、インターロックシステムも拡張して来たが、設計思想は従来そのままであったため、システムが複雑化し、そのためにメンテナンス性と拡張性の低下を招いた。

この問題に対処するため、インターロックシステムの再検討が行われた。複雑化の原因は“運転モード管理”であった。検討の結果、“エリア管理”という加速器運転形態に依存しない新しい管理単位への移行が決定された。エリア管理とは各入室制限区域（加速器あるいはビーム輸送路）単位で管理する手法である。

インターロックシステムの改修は 2007 年より準備が進められた。一回の加速器メンテナンス期間では、全ての改修を完了することは不可能であるため、従来のシステムを運用しつつ、約 3 年に渡りシステム改修を段階的に行った。2010 年夏にエリア管理を基本とする新システムに移行を完了し、安全検査を経て 10 月より運転が開始された。

新システムは、システム構成の単純化・エリア毎の独立化がなされており、システム検査期間の短縮

やメンテナンス性の向上を達成している。拡張性も向上したため加速器エリア追加に柔軟に対応可能である。

今回、新システムの設計、導入とその動作状況について報告する。

2. SPring-8 加速器放射線安全インターロックシステム概要

2.1 SPring-8 加速器運転形態概要

インターロックシステムは、加速器構成と関係するため、まず加速器構成について述べる。図 1 に SPring-8 加速器構成の概略を示す。SPring-8 加速器は 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。ここで加速器エリアとは、入室制限区域を意味する。これらのエリアはビームトランスポートラインで接続され、必要に応じて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、振分け偏向電磁石の励磁状態で決定される。電子ビームの生成・加速は 1 つの電子銃 (GUN) と 4 つの高周波加速空洞 (RFs : Li-RF, Sy-RF, SR-RF, NS-RF) によりなされる。

[#] saji@spring8.or.jp

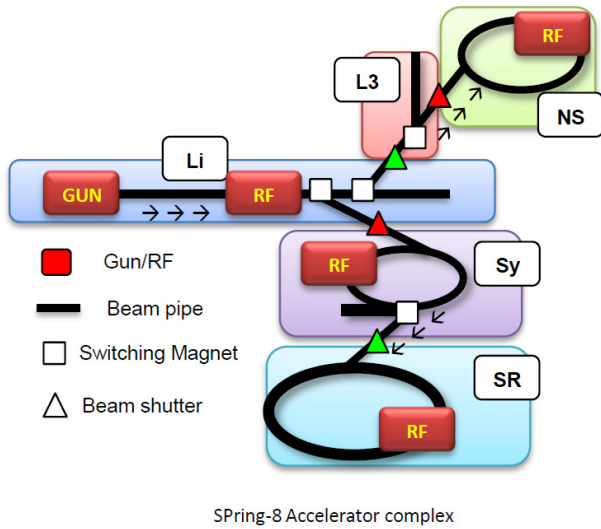


図1：SPRING-8 加速器構成概略。ビームシャッターは、緑が既存のもの、赤が今回のシステム更新時に追加または増強されたものである。

加速器運転は、運転モードで管理されている。運転モードとは、ビーム輸送先、蓄積リングの蓄積運転状態、特殊な運転（トップアップ運転や2つの蓄積リングへビームを交互に入射する随時振り分け運転）の組合せである。全ての運転モード数は60以上に及び、多様な運転形態を可能としている。運転モードの一部を以下に示す。

- ・ READY Mode
- ・ L2 Mode
- ・ Sy-injection Mode
- ・ SR-injection Mode
- ・ SR-storage Mode
- ・ L2 + Sy-storage Mode
- ・ L2 + Sy-storage + SR-storage Mode
- ・ L3 Mode
- ・ L3 + Sy-storage Mode
- ・ L3 + Sy-storage + SR-storage Mode
- ・ NS-injection Mode
- ・ NS-storage Mode
- ・ L2 + Sy-storage + NS-storage Mode
- ・ L2 + Sy-storage + SR-storage + NS-storage Mode
- ・ Sy-injection + SR-storage + NS-storage Mode
- ・ NS-injection + Sy-storage + SR-storage Mode
- ・ SR-storage + NS-storage Mode
- ・ TopupMode
- ・ Topup+ NS-storage Mode
- ・ Sy・NS-injection Mode
- ・ SR・NS-injection Mode
- ・ Topup・NS-injection Mode:

2.2 SPRING-8 加速器放射線安全インターロックシステム概要

インターロックシステムは、安全管理機器の状況に応じて、加速器に運転許可を与えると同時に加速器収納部への人の立ち入りを制限する。インター

ロックシステムから運転許可がない場合、加速器は電子ビームを生成、加速または蓄積することができない。また安全に係る諸条件が成立しなくなった場合、インターロックシステムは、電子ビーム生成、加速を停止し、蓄積ビームを速やかに廃棄する。

具体的には、全ての加速器エリア、ビームトランスポートエリアの安全状態監視、入室管理、GUNとRFの許可の制御を行うことによって、放射線安全を担保する(図1)。また加速器エリア間に設置されたビーム輸送上重要な機器(放射線シャッターと振り分け偏向電磁石)の状態監視と許可制御を行う。システムは複数のProgrammable logic controller (PLC)で構成されている。

3. システム更新：運転モード管理からエリア管理へ

3.1 運転モード管理システム

旧インターロックシステム(図2)は、運転モード管理を基本としていた^[1]。運転者により加速器運転形態に合わせた運転モードが、インターロックシステムに入力される。さらに、全エリアの機器状態がMode interlock systemに集められ、選択された運転モードと機器状態を総合的に判断し、それぞれのエリアにGUNとRF運転許可を配布する。

旧システムは、運転モードを介して加速器運転形態と密接に関連するため、複雑な安全インターロックロジックを持つこととなり、加速器運転側の運転モード追加時には、インターロックシステムの改修も必要であった。また、Li-Sy interlock systemでは、複数エリア、複数の許可を1システムで管理しており、1つのエリアの改修が他のエリアに影響する可能性があった。さらにシステム間の信号接続が多数存在し、かつ双方向通信をしているため、Mode Interlock systemを介して全加速器のロジックが複雑に混じり合う構成であった。

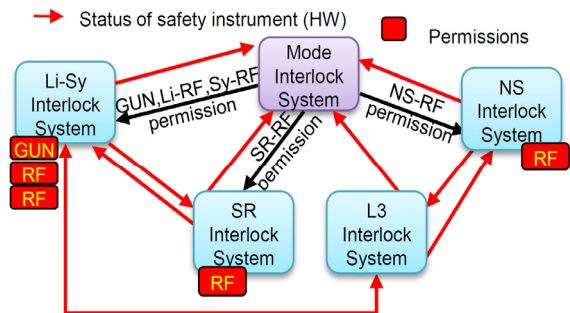


図2：旧システム構成(運転モード管理)。

このため、メンテナンス性、拡張性の低下を招いた。具体例の1つとして、安全検査コストが数倍に増大する問題があった。仮にインターロックシステムに加速器エリアを1つ追加すると、運転モード数が数倍に増加することが予想される。これは運転モード数が加速器運転状態の組合せで決まるためである。運転モード数が増えるに従い、安全検査項目

も増加してしまう。

これらの問題を解決するため、我々はインターロックシステム の概念設計から見直しを行う必要があった^{[2][3]}。

3.2 エリア管理システム

システム設計においては、旧概念を見直し、管理区域（エリア）毎に独立に管理できるシステム“エリア管理システム”を新たに考案した。エリア管理システムは、各エリアを独立に管理する複数のエリアシステムと、電子銃許可を管理する Gun システムで構成される。

エリアシステム（図 3）は、該当エリアのアクセスコントロールと RF 許可、単体エリアによる GUN 許可（“ビーム入射可能”または“ビーム入射から安全に切離されている”）を単独システムで判定可能である。このコンセプトは全ての加速器エリアに適用され、新エリア拡張の際にも同様の手法が適用可能である。

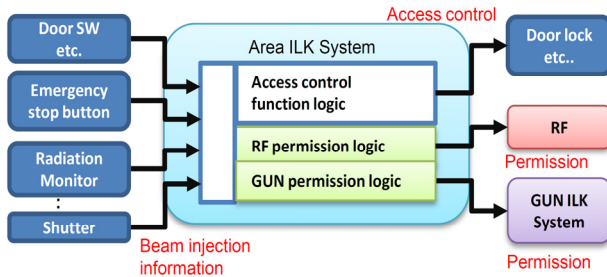


図 3：エリアシステム。

GUN システム（図 4）は、GUN 許可の最終判断を行う。最終的な GUN 許可はビーム輸送にかかわる全てのエリアの安全条件で判断されるため、独立なシステムとした。またビームルートに依存する安全条件判定も行う。全てのエリアから GUN 許可が得られ、ビームルート条件を満たした時、GUN 使用が最終的に許可される。

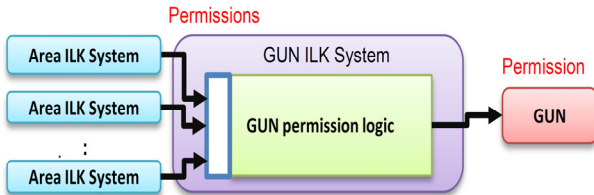


図 4：Gun システム。

システム全体（図 5）として各システムの独立性を担保するため、各システム間は限定された数の信号かつエリアシステムから Gun システムの方向のみで接続されている。このため各エリアシステムは互いに独立であり、単体エリアの RF 許可は該当システムで制御される。また、運転モードの概念はエリア管理システムには存在しない。

旧システムの時にも入室制限区域に対応するエリアシステムは存在したが、それを新システム上ではエリア管理によるシステム構成に充当できるように

見直し整備を行い、新たにエリアを定義した。例として、Li エリアと Sy エリアの間に新たに放射線シャッターを設置し、貫通孔の遮蔽を増強することにより、これらのエリアを独立エリアとして定義した（図 1）。それに合わせて Li と Sy エリアのインターロックシステムも独立に設計・設置された（図 5）。同様の見直しを L3 と NS エリアについても行っている。

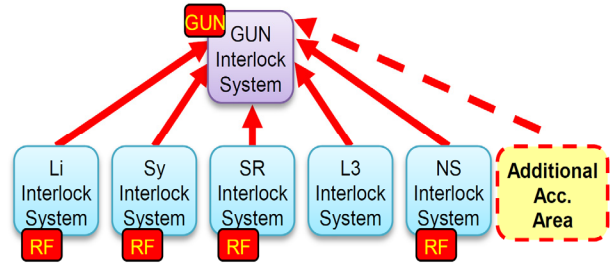


図 5：新システム構成（エリア管理）。

4. 考察

4.1 システム検査期間の削減

インターロックシステムは、法令で年 2 回の自主検査を行うことになっている。システム更新により、1 回の検査に要する日数が 40%減（5 日間から 3 日間）となった。これは運転モード毎に行っていた検査が不要となった影響が大きい。

4.2 システムメンテナンス性の向上

システム更新前後の各システム間信号を表 1 に示す。更新前はシステム間信号数が 81 もあり、さらに双方向通信であったため、全てのシステムがお互いに影響を及ぼしあっていた。このため、単体システムの変更時でもシステム全体に影響を及ぼすため、全体の動作検査を行う必要があった。また、トラブル時の原因究明においても、全てのシステムについて信号の流れを調査する必要があった。新システムはエリア間の直接的な信号接続はないため、単体エリアシステムの変更時には該当エリアと GUN システムの動作検査のみ行えばよく、また GUN システム変更時はエリアシステムの検査は不要である。このように見通しの良いシステムとなり、改修やアップグレード、トラブルシュートが効率化された。

表 1：システム間の信号数。DIO は双方向通信、DI は一方通信を意味する。

	旧システム	新システム
Area – MODE/GUN	48 (DIO)	11 (DI)
Area – Area	33 (DIO)	0
Total	81 (DIO)	11 (DI)

4.3 エリア拡張性の向上

エリア管理システムでは運転モードを考慮する必要はない。また各エリアシステムが独立化されているため、新たなエリアの追加による既存エリアに対する影響を考慮する必要はない。GUN システムと新エリアシステムの接続は考慮する必要があるが、接続数は最小限（1～2 信号程度）に押さえられており拡張時の負担は小さい（図6）。

SPring-8 キャンパス内に XFEL 用の線形加速器である SACLA が 2010 年より稼動しており、SACLA 加速器放射線安全インターロックシステムが安全管理を行っている^[4]。将来計画として、SACLA の線型加速器で作られた高品質な電子ビームを SPring-8 へ入射する予定である。そのためには SPring-8 と SACLA のインターロックシステムが連携して動作する必要がある。今回の SPring-8 加速器放射線安全インターロックシステム更新は、この将来計画についても SPring-8 側のシステム対応を進めたことになる。

5. まとめ

SPring-8 加速器放射線安全インターロックシステムの更新が完了した。新しいデザインコンセプトとして“エリア管理システム”を採用した。システム更新によって、メンテナンス性と拡張性の向上を達成した。これは将来の SACLA-SPring-8 一体運用に対応可能であることを意味する。新システムは、ちょうどこの更新のタイミングで行われた、法令で定められている 5 年毎の定期検査に合格し、2010 年 10 月よりビーム運転が行われている。

参考文献

- [1] T. Takagi, T. Asano, “Radiation safety systems at SPring-8”, Proceedings of the Second International Conference on Radiation Safety at Synchrotron Radiation Sources”, Grenoble, France, p. 123, 2002
- [2] 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”, Proc. of the 5th Annual Meeting of Particle Accelerator Society of Japan, Higashi-Hiroshima, Japan, p. 773-775, 2008
- [3] C. Saji, et al., “Upgrade of Accelerator Radiation Safety System for SPring-8”, Proc. of ICALEPCS’09, Kobe, Japan, 2009
- [4] M. Kago, et al., “Design of the Accelerator Safety Interlock System for the XFEL in SPring-8”, ICALEPCS’09, Japan, October 2009.