

東北大学電子光物理学研究センターにおける入退室管理システムと 放射線安全インターロックシステムの更新について

UPGRADE OF RADIATION SAFETY INTERLOCK SYSTEM FOR ACCELERATOR COMPLEXES AND ACCESS CONTROL SYSTEM FOR CONTROLLED AREAS AT RESEARCH CENTER FOR ELECTRON PHOTON SCIENCE, TOHOKU UNIVERSITY

南部健一, 長澤育郎, 高橋健, 柴田晃太郎, 菅原由美, 菊永英寿, 日出富士雄, 柏木茂, 武藤俊哉, 濱広幸
Kenichi Nanbu, Ikuro Nagasawa, Ken Takahashi, Kotaro Shibata, Yumi Sugawara, Hidetoshi Kikunaga,
Fujio Hinode, Shigeru Kashiwagi, Toshiya Muto and Hiroyuki Hama
Research Center for Electron Photon Science, Tohoku University

Abstract

Research center for electron photon science, Tohoku university conducted a wide variety of research with four electron accelerators and many radioisotopes, including beam dynamics, Quark Nuclear Physics, and radiation chemistry. Accelerators and radioisotopes are located and used in radiation controlled areas. Access to radiation controlled area is recorded by an access control system. However, the old access control system has some issue to be solved, which is less maintainability and stability. In addition, the access control system sometimes shut down for unknown reason. To improve the safety during accelerator operation, the modification of radiation safety interlock system was required. We report the newly developed access control system, and modified radiation safety interlock system.

1. はじめに

東北大学電子光物理学研究センターは、4 台の加速器と非密封放射性同位元素 381 核種と密封放射性同位元素 $^{241}\text{Am-Be}$ の使用承認を受け、これらを用いて加速器、クォーク核物理、核・放射化学の研究を行っている。

近年、入退室管理システムの老朽化により、機能追加はもとより、保守が困難で、年に数回程度システムダウンが発生し、復帰に時間がかかるなどの問題を抱えていた。放射線安全インターロックシステムについても、ビームパワーの増大に伴う、安全性向上のため新たな機能追加が必要とされた。これらの課題を解決するために、新たに入退室管理システムを開発し、放射線安全インターロックシステムの改修を行ったので報告する。

2. 放射線管理区域の構成と管理

Figure 1 に当センターの放射線管理区域の概要を示す。管理区域内の建屋面積はおおよそ 5000 m² である。大電流電子線形加速器のビームは第一実験室に導かれ、RI 製造や、陽子半径測定などの実験に使われている。入射用電子線形加速器のビームは、主に第二実験室に導かれ、後述する 1.35 GeV 電子シンクロトロン(BST リング)に入射されるほか、検出器試験などに用いられている。BST リングは、第二実験室に設置され、内部標的を用いて、標識化ガンマ線ビームを生成し、原子核実験に供している。各実験室の入口や搬入口は、放射線インターロック扉であり、室内には、非常停止スイッチが設置されている。また実験室入口には自動表示器が配置され、加速器の運転状態が確認できるようになっている。実験室入口には、閉じ込め事故防止のための、個人キーが設置され、個人キーがすべて所定の位置になければ、

加速器へ運転許可信号が送出されない。加速器の運転条件によって、閉鎖区域が変わるため、放射線安全インターロックシステムは、ビームコース切替用の偏向電磁石の励磁状態によって、閉鎖区域を自動的に切り替え、インターロック条件が成立すれば加速器に運転許可信号を送出する構成となっている。共同利用施設のような比較的規模の大きな放射線取扱施設では、入退出記録や、作業時間の把握、被ばく線量管理など日々の

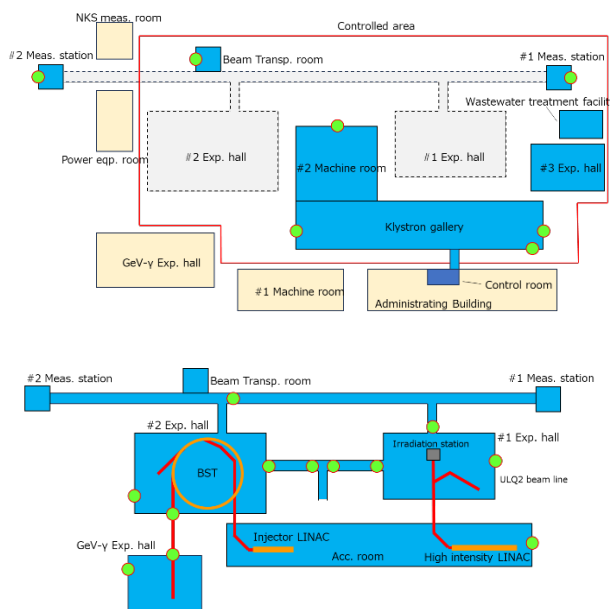


Figure 1: Overview of controlled areas and disposition of door interlocks for radiation safety. Green dots denote interlock doors. Restricted areas are changed by accelerator operation modes.

nanbu@lns.tohoku.ac.jp

放射線管理業務に入退管理システムは必要不可欠である。このような施設の入退管理システムは、その放射線取扱施設の管理区域の配置や作業従事者の動線などを考慮しなければならず、当センターでも、独自に入退管理システムを開発し、それを運用している。

3. 入退室管理システム

3.1 従来入退室管理システムの課題

従来入退室管理システムは、2003年に開発されたシステム[1]をベースに、数度の改修を経て運用しており、最終的には、Windows Server 2008上にMicrosoft SQL ServerとVisual Basicを用いて構築されていた。ソフトウェアのバージョンも古く、保守が困難になってきたこと、データベースの構造上の問題から、放射線作業従事者の登録数が増えると、データ処理に要する時間が増加するため、実験室入口の電気錠の開錠処理の時間が長くなるという課題があった。これらに加え、物理マシン上に入退管理システムが構築してあるため、ハードウェアに障害が発生すると、その復旧に時間を要するなど、抜本的に解決しなければならないいくつかの課題を有していた。またハードウェアの面でも電気錠の制御に特殊なI/Oコントローラを使用しており、メーカーのサポートも切れているため、ソフトウェアと同様に保守が困難になりつつあった。近年は原因不明のシステムダウンが、年に数回発生し、信頼性という面でも大きな問題となっていた。

3.2 新入退室管理システム

新たに開発した入退室管理システムは、ソフトウェアのメンテナンス性と安定性を第一に考えて、設計を行った。Figure 2に新入退管理システムのシステムブロック図を示す。実験室の入口に設置されたクライアントPCはバーコードリーダーで読み取られた個人識別番号(ID)が、当該実験室への入室権限を有しているか、入退室管理サーバに問い合わせを行い、権限を有している場合は、電気錠の開錠処理を行う。電気錠の制御履歴や、バーコードリーダーで読み取られたIDは、クライアントPCにも記録するようにしている。IDや入室権限等の管理情報は、管理者がデータベースに書き込む方式としている。

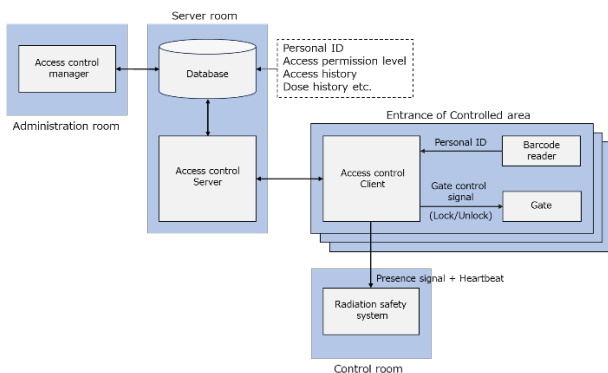


Figure 2: Block diagram of access control system for controlled area. Ubuntu is used for the server and client OS. The database is used Maria-DB. The access control system network is configured independently of the accelerator control network.

サーバと各実験室入口に配置されるクライアントPCのOSには、Ubuntu 22.04 LTSを採用し、仮想化ソフトウェアの一つであるOracle VM VirtualBox[2]のみを稼働させ、入退室管理システムは、仮想環境で動作させる構成とした。仮想マシンのOSには、使用するソフトウェアの制約からUbuntu 20.04 LTSを用いている。データベースにはMariaDB[3]を採用している。データベースの構造を見直し、適切なインデックス設定による検索の高速化により、検索に要する時間を従来の1/100以下にすることができた。電気錠はイーサネットリモートI/O(MOXA製ioLogik E1212)[4]を用いて制御している。実験室内在室信号については、電気錠と同様にイーサネットリモートI/Oを経由して、放射線安全インターロックシステムにハード線で信号を渡す構成とした。入退室システム全体の処理時間は、バーコードリーダーでのID読み取りから、電気錠の開錠まで 66 ± 14 msとなり、目標値であった100 ms以下を達成することができた。Figure 3に実験室入口の入退出管理クライアントの設置状況を示す。実験室入口には、自動表示器が設置されているが、ドアの閉鎖状況や加速器の運転状態を表示するとともに、実験室への入室の可否を表示するようにしている。実験室毎の入室者リストは、データベースから容易に取得することができるので、各実験室への入室者リストを所内Webページで配信するとともに、管理室では管理区域に長時間入室している者への確認などを行うことで、安全性を高めている。

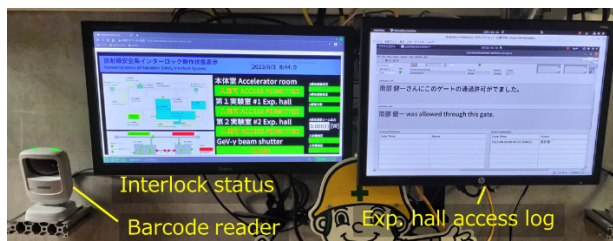


Figure 3: Photo of entrance of the experimental hall. The client of access control system consists of two displays, a barcode reader, and a PC.

4. 放射線安全インターロックシステム

4.1 放射線安全インターロックシステムの概要と構成

放射線安全インターロックシステムは、実験室の閉鎖状態に応じて、加速器に運転許可信号を送出する。加速器は運転許可信号を受信できない場合は、クライストロンや電子銃に高圧を印可できない。また加速器が運転中でも、インターロック条件から逸脱したら、運転許可信号を直ちにOFFして、即座に加速器を停止させる。大電流電子線形加速器は、ビーム出力が15 kWと極めて大きいため、厳重な安全対策が要求されている。特に実験室内に人が取り残されている状態で、ビームが出ること防ぐ対策が要求されたため、前述した個人キーに加えて、新たに入退室管理システムと連携したインターロックを追加した。またこの改修に合わせて、放射線安全インターロックシステム全体の信頼性を向上させるために、インターロックロジックの演算を行うProgrammable Logic Controller(PLC)を二重化した。CPUモジュールに加え、

入力及び出力モジュールも二重化し、各々の演算結果が一致したときのみ、加速器の運転許可信号が送出される構成としている。Figure 4 に改修後の放射線安全インターロックシステムの構成を示す。インターロック条件によっては、ビームエネルギーやビーム繰り返しの情報が必要となるため、加速器制御系から情報を取得している。各実験室入口に設置してある入退室管理クライアントは、イーサネットリモート I/O (MOXA 製 ioLogik E1211) [4] を介して実験室在室信号を放射線安全インターロックシステムに渡している。また在室信号の他に、入退室管理システムクライアントの健全性を通知するための、Heartbeat(HB)と呼ばれる 1 秒周期で反転する信号を送信している。この信号は Watchdog timer(WDT)のクリア信号として使用され、WDT がタイムアウトした場合は、システム異常として、加速器の運転許可信号を直ちに OFF する。HB が止まる要因としては、入退室管理ネットワーク構成機器の不良のほか、PC のハングアップ等が考えられる。

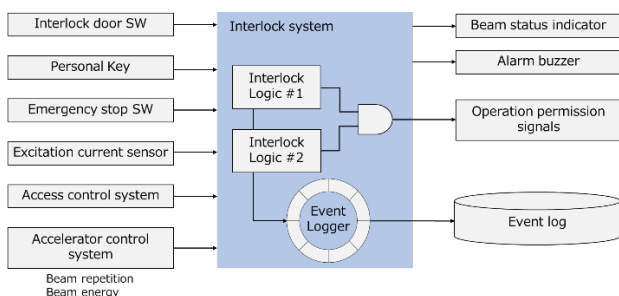


Figure 4: Schematic view of the radiation safety interlock system. The interlock logic consists of a CPU module, an input module, and an output module. Operation permission signals for accelerators are generated by a logical AND of the interlock logic outputs.

4.2 動作履歴の収集

加速器が設置されている実験棟は、建設から 57 年余り経過し、老朽化により様々な不具合が生じている。放射線安全インターロックシステム側から見える問題点としては、老朽化した機器搬入用大型搬入口が強風でゆすられると、扉開の信号が誤発報するというものである。建具の交換には時間を要したため、このような誤発報が複数回発生してしまった。このような誤動作であっても、当然ながら加速器は停止するため、運転再開前にインターロック扉の開閉記録の調査が必要となる。調査を円滑に行うためには、放射線安全インターロックシステムの動作履歴が必要不可欠である。そこでインターロックシステムの動作履歴を収集するために PLC のスキャン毎に入力レジスタの状態を監視し、状態変化が発生していた場合は、入出力レジスタの状態を PLC のメモリに書き込み、PC でまとめて読みだす方式のログ収集用のラダープログラムを開発した。開発したラダープログラムのスキャン周期は約 0.1 ms である。動作履歴を書き込むメモリの構造はリングバッファ形式とし、PC での読み出しを円滑に行うために、読み出し管理用のレジスタを実装し、これを用いて読み出しアドレスの管理を行う方式とした。読み出しが追いつかない場合は、上書きするか、更新を止めるかど

ちらか選択できるようにしている。PC は定期的に読み出し管理用のレジスタを監視し、未転送の動作履歴がある場合は、それを読み出してファイルに記録する。当センターのインターロック動作履歴を確認したところ、記録すべき動作履歴は最大でも 1 秒間に 5 回程度であったため、バッファの容量は 1000 動作履歴分確保している。現在のところリングバッファオーバーフローは発生していない。

4.3 放射線安全インターロックシステムの処理時間

インターロックロジックの演算を行う PLC の処理時間は 0.1ms 以下と非常に短いものの、入力及び出力にはメカニカルリレーを使用しているため、実際に信号が出力されるまで遅延時間が発生する。そこでインターロックシステム全体での処理時間を確認するため動作時間の計測を行った。計測方法は閉鎖区域のドア開から、運転許可信号が OFF するまでの時間をオシロスコープ (Tektronix MSO2014B) で 50 回測定した。インターロックロジック#1 の処理時間は 12.22 ± 0.13 ms で、最小値は 12.01ms、最大値は 12.49 ms で、インターロックロジック#2 の処理時間は、 12.44 ± 0.15 ms で、最小値は 12.12 ms、最大値は 12.76 ms であった。処理時間は両者共に概ね 12 ms 程度であり、目標値である 20 ms 以下であることが確認できた。

5. まとめ

東北大学電子光学研究センターでは、老朽化していた管理区域入退室管理システムを更新し、加速器運転時の安全性を高めるために放射線安全インターロックシステムを改修した。両システム共に順調に稼働している。今後は入退室管理システムに、現在別システムで管理している放射性同位元素の使用記録管理システムを統合し、一元的な管理が行えるように改修を行う予定である。

参考文献

- [1] A. Miyamoto *et al.*, “管理区域入退管理システムの開発”, RADIOISOTOPES, Vol.52, No.12, 693-698 (2003).
- [2] <https://www.virtualbox.org/>
- [3] <https://mariadb.org/>
- [4] <https://www.moxa.com/jp/>