

J-PARC 初段加速器試験装置における人員保護システムの高度化

ADVANCEMENT OF THE PERSONNEL PROTECTION SYSTEM FOR J-PARC FRONT-END ACCELERATOR TEST STAND

地村幹^{*A)}, 渡邊和彦^{B)}, 高橋博樹^{A)}, 平野耕一郎^{A)}, 神藤勝啓^{A)}, 北村遼^{A)}, 川瀬雅人^{B)}, 鈴木隆洋^{B)}, 森下卓俊^{A)}
Motoki Chimura^{*A)}, Kazuhiko Watanabe^{B)}, Hiroki Takahashi^{A)}, Koichiro Hirano^{A)}, Katsuhiko Shinto^{A)}, Ryo Kitamura^{A)},
Masato Kawase^{B)}, Takahiro Suzuki^{B)}, Takatoshi Morishita^{A)}

^{A)}Japan Atomic Energy Agency

^{B)}Mitsubishi Electric System & Service Co., Ltd.

Abstract

At the high-intensity accelerator facility J-PARC, a front-end accelerator test stand has been installed to perform performance tests on the primary acceleration system. This system comprises the ion source and RFQ at the front end of the accelerator, as well as its peripheral equipment. A personnel protection system has been implemented as a safety measure for the facility, ensuring the safety of personnel performing work within it. To achieve further high intensity and stability operation for the J-PARC accelerator, diverse tests using this facility are planned to continue. The system must possess high maintainability to accommodate these tests. Consequently, with the objective of enhancing maintainability while ensuring integrity, enhancements to the system were implemented, encompassing updates to its hardware configuration and functions.

1. はじめに

大強度陽子加速器施設 J-PARC では、加速器機器の開発や試験のために、3 MeV 負水素イオン線形加速器である初段加速器試験装置 [1, 2] が設けられている。初段加速器試験装置には人員保護システム (Personnel Protection System; PPS) [3, 4] が構築されており、本装置を利用する、もしくは整備を行う人員を放射線から保護する役割を担う。加速器機器の開発や試験を行うといった初段加速器試験装置の役割上、多様な機器が導入されるため、本装置の人員保護システムを含む安全対策は構成の変更に対して柔軟に対応できるように、高い汎用性と保守性が要求される。以上の要求より、保守性を向上させることを目的とした、人員保護システムの整備を実施した。本論文は、新たな人員保護システム設計の指針及びその実装による変更点について記すものである。

2. 初段加速器試験装置

前述の通り、初段加速器試験装置は、加速器機器の開発や試験のために設置された 3 MeV 負水素イオン線形加速器である。初段加速器試験装置の基本的な構成を図 1 に示す。イオン源から生成された負水素ビームは、RFQ (Radio-Frequency Quadrupole) によって 3 MeV まで加速され、下流のビーム診断系にまで輸送される。本装置の放射線発生装置を使用する室 (放射線発生装置室) は上流側と下流側の 2 つ分類され、それぞれ放射線発生装置室外に接続する扉を 1 箇所備える。また、放射線発生装置室外に出ることなく人員が上流側と下流側を直接行き来することはできない。イオン源と RFQ を含む上流側は、網フェンスによって区画され、下流側は遮光壁によって区画される。下流側の区画はレーザ管理区域として設定されており、レーザ使用室と呼ばれ

る。また、本加速器の近くに設置されているラック列には、初段加速器試験装置に関する装置が収められている。特に、一番端のラックには人員保護システムに関するラックが存在し、状態監視ディスプレイや運転切替スイッチ、Programmable Logic Controller (PLC)、状態信号を仲介する端子台等が収められている。

3. 初段加速器試験装置における人員保護システム

3.1 人員保護システムの役割

初段加速器試験装置における安全対策はその立ち位置によって 2 種類に分類される。1 つは、「放射性同位元素等の規制に関する法律に基づく安全対策」[5] であり、もう 1 つは、安全性のさらなる向上、あるいは補助的な役割を持つ「自主的に設けた安全対策」である。このうち「放射性同位元素等の規制に関する法律に基づく安全対策」は放射性同位元素等使用許可申請に具体的に記されており、これらの安全対策は人員保護システムによって担保される。

「放射性同位元素等の規制に関する法律に基づく安全対策」は一般的に、放射性同位元素等の規制に関する法律施行規則第十四条の七第一項第六号に規定される「放射線発生装置の使用をする場合にその旨を自動的に表示する装置」又は同項第七号に規定される「放射線発生装置の使用をする場合にその室に人がみだりに入ることを防止するインターロック」を根拠として各装置が定めるものである。本装置では、加速器運転を行う前にはフェンス内とレーザ使用室のそれぞれにおいて人員が存在しないことを確認してから扉を閉め、放射線発生装置使用室内に人員が存在しないようにする。さらに、加速器運転中においていずれかの室に人員が立ち入らないように安全対策を施すことになっている。また、本装置は加速器運転のみではなく、イオン源の調整のため、ビーム加速を行わずにイオン源単独で運転することも可能である。イオン源単独運転の場合には

* chimura@post.j-parc.jp

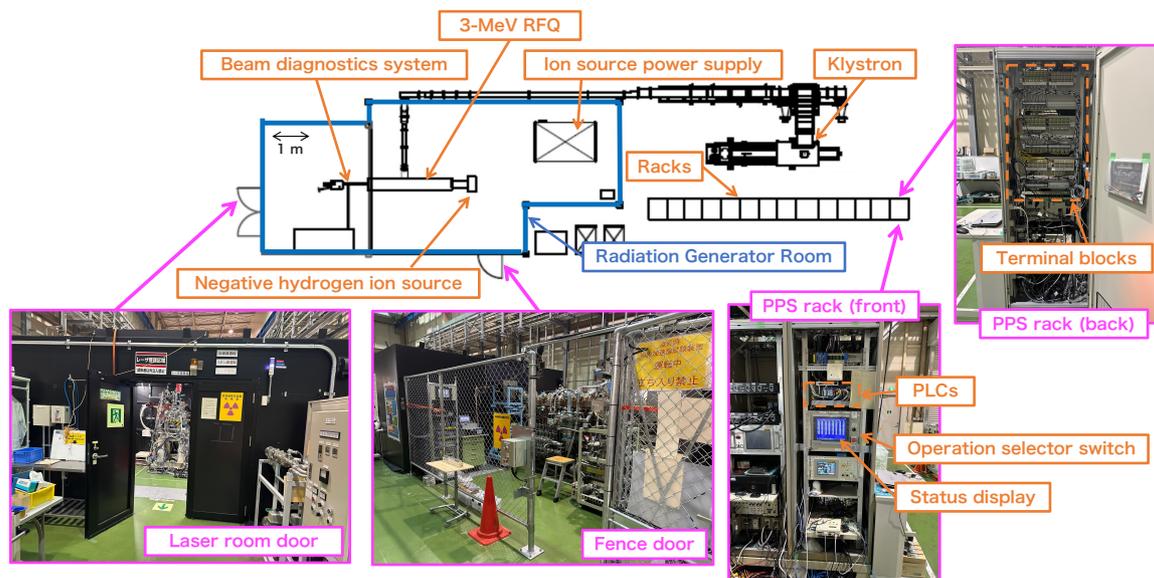


Figure 1: Configuration of the J-PARC front-end accelerator test stand.

フェンス内のみ人員退避及び安全対策を施し、レーザ使用室内には入室が可能である。本装置では、具体的に以下の安全対策が制定されている。

1. 出入口付近に点灯式自動運転表示装置を設置する（使用中である旨を自動的に表示する装置）
2. 放射線発生装置使用室内に非常停止スイッチを設置する（運転中に人が入ることを防止するインターロック）
3. 運転中にドア開放を検知するための出入口扉にドアスイッチを設置する（運転中に人が入ることを防止するインターロック）
4. イオン源単独運転中にビームを加速しないようにするためビームストッパーを設置する（運転中に人が入ることを防止するインターロック）

ここで、非常停止スイッチが発報した場合にはイオン源電源を停止することで装置を完全に停止し、それ以外の申請上の安全対策が発報した場合には、イオン源の高電圧を停止することでビーム出力を停止する。

3.2 人員保護システムの構成

初段加速器試験装置における人員保護システムの構成を図2に示す。人員保護システムは、PLC、状態表示ディスプレイ、人員保護システムに係る入出力機器、及び信号線を仲介する端子台からなる。人員保護システムにかかる信号はハードワイヤと端子台を介してPLCと各種機器のやり取りを行なっている。ここで、マイナスの信号線はコモン線となっている。PLCが取得した各種機器の状態や、PLCが各種機器に出している許可状態はディスプレイによって常時表示される他、LANに接続する計算機等から監視することも可能である。

安全対策に係る入出力機器のうち、自主的に設ける安全対策機器は構成変更や追加によって変更される可能性がある一方で、人員保護システムに属する入出力機器は放射性同位元素等使用許可申請に変更がない限

り変更せず、また運用上で健全性の担保が必須となるものである。初段加速器試験装置における人員保護システムに属する入出力機器は、以下の入出力機器が相当する。

1. 許可状態を切り替える機器類: 運転切替スイッチ
2. 人員の入退室を検知する機器類: 退避確認スイッチ、ドアスイッチ
3. 状態を表示する機器類: 運転表示灯
4. ビームの行先を切り替える機器類: ビームストッパー

ここで、運転切替スイッチ及び退避確認スイッチは申請上の安全対策に明記されていないが、許可状態変更を能動的に変更する際に、人員の意思をシステムに伝えるために利用するものである。運転切替スイッチは、ビームを加速する際に使用し、運転を行わない状態、あるいはイオン源単独運転ときには加速器運転切替スイッチはオフにする。退避確認スイッチはフェンス内、あるいはレーザ使用室内に人員が存在しないことを人員保護システムに伝えるために使用する。本システムでは、退避確認スイッチを押した直後に扉を閉めることによって、その室の退避確認が完了したものと判断する。

図3に人員保護システムに属する入出力機器の配置を示す。前述の通り、フェンス内及びレーザ使用室内にはそれぞれ入出力機器が設置されている。また、申請上では非常停止スイッチは放射線発生装置使用室内に設置することが定められているが、本システムでは室外にも非常停止スイッチを設置し、室外の人員も非常停止が可能となっている。

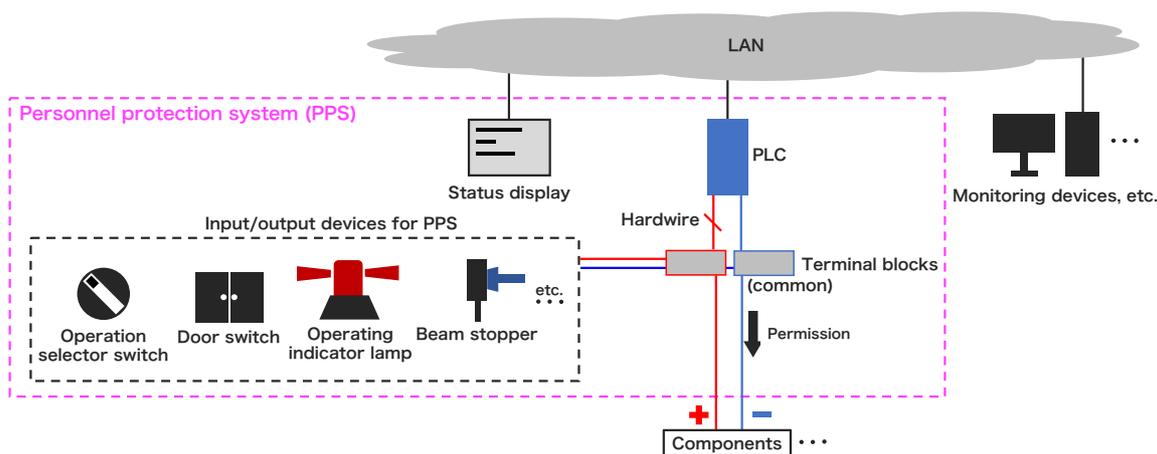


Figure 2: Configuration of the PPS.

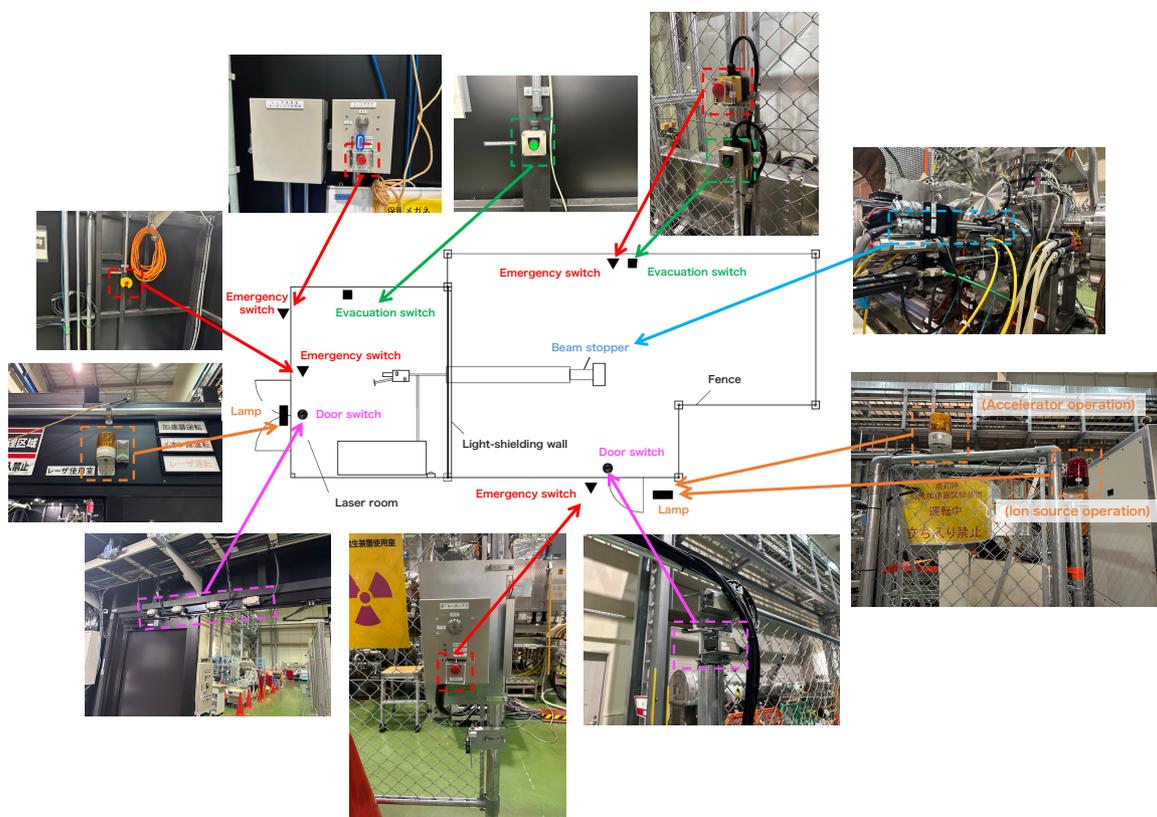


Figure 3: Input/output devices for PPS.

4. 新たな人員保護システム設計

4.1 従来の人員保護システムの課題と機器構成の変更点

整備前の安全対策システムでは、人員保護システムに係る信号を処理する PLC (PPS-PLC) と自主的に設ける安全対策に係る信号を処理する PLC (自主 PLC) が独立しておらず、それらの信号が混在していた。そこで、新たな人員保護システムでは、PPS-PLC と自主 PLC を独立させるように設計を行なった。これによ

て、PPS-PLC のロジックは原則として変更しないことで安全性を担保し、機能追加時には自主 PLC のみを変更することによって実装するように運用することができ、保守性を向上させた。

さらに、端子台を断路端子台へと交換した (図 4)。これによって、人員保護システムと各構成機器がそれぞれ単独での動作確認を容易にできるようにし、システム変更時や点検時における作業性を向上させた。また、従来のシステムではマイナスのコモン線を利用していたが、可能な限りプラスとマイナス 1 対を 1 つの信号として扱う配線に変更した。これも、システム変

更時や点検時における信号確認を容易にすることを期待するものである。



Figure 4: Installed knife-disconnect terminal blocks (inside the magenta dashed square).

4.2 許可状態の遷移

本設計では、図5に従って許可状態が変化するという基礎モデルを採用した。全ての人員保護システムの発報がないことのみを条件とする状態を基礎とし、扉閉や運転切替スイッチ ON といった決まった条件を満たすことによって別の許可状態に遷移すると考えた。条件を積み重ねることによって許可状態が積み上げられ、最終的な状態として運転許可を出す。一方、運転切替スイッチ OFF や扉開等の操作によって条件が満たされなくなった場合、その条件が満たされる以前の許可状態に戻ることになる。正規の手順では、現在の状態の1つ上か1つ下の状態にのみ遷移する。通常では運転許可を取り下げてから電気錠を開放するが、運転許可が出ているにも関わらず扉の電気錠が開かれた場合のように、複数の状態を飛ばした状態の遷移が発生した場合には異常として安全対策システムを発報させる。特に、非常停止スイッチの押下などの安全対策システムのうち人員保護システムに係る発報があった場合には、運転中の放射線発生装置使用室内に人員の立ち入りがあったと判断し、一番下の基礎状態に遷移する。

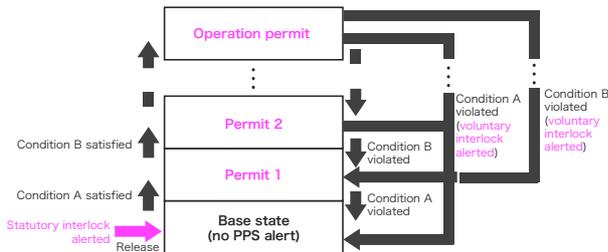


Figure 5: Permit transition model in the PPS.

初段加速器試験装置では、図6に示すように状態が変化するとして設計した。フェンス内及びレーザー使用室のそれぞれについて、人員の退避を確認した後に扉を閉止することによって、そのエリアでの運転が許可される。前述の通り、初段加速器試験装置ではイオン源単独運転と運転が許可の2つの運転モードが存在す

る。イオン源単独運転にはフェンス内エリアの運転許可が必要であり、加速器運転にはフェンス内とレーザー使用室の両方のエリアで運転許可が必要である。ただし、フェンス内とレーザー使用室の両方のエリアで運転許可が出ている場合でも、直ちに加速器運転許可が出るわけではなく、運転切替スイッチを ON にする必要がある。これは、レーザー使用室に再度入域するためであり、運転切替スイッチが ON の状態ではレーザー使用室へ入ることはできないが、運転切替スイッチを OFF にすることによって加速器運転許可が取り下げられるため、レーザー使用室へ入ることが可能になる。

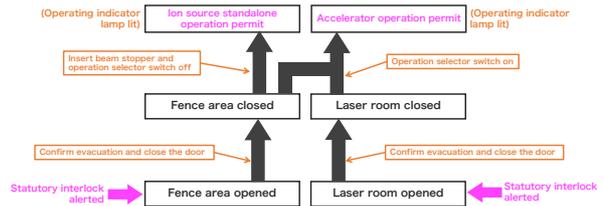


Figure 6: Permit state in the PPS.

4.3 許可状態の監視

初段加速器試験装置では、許可状態等をディスプレイに常に表示し、監視が可能にしている。新しい人員保護システムの実装によるロジックの変更に伴い、状態監視ディスプレイもそれに合わせて更新した。更新された状態監視ディスプレイを図7に示す。ただし、図7は計算機上でエミュレートした開発画面である。状態監視ディスプレイには、発報状態、許可状態、及び許可状態を達成するための条件を表示している。さらに、本画面はタッチパネルとなっており、発報があった場合のリセットは本画面で行う。



Figure 7: Emulated PPS status display.

人員保護システムの発する許可状態は、J-PARC のその他の加速器と同様に、信号を集約して監視を行なっている中央制御棟でも表示している (図8)。人員保護システムの整備によって、中央制御棟における表示画面の更新も行なった。本画面では、信号の表示ができることに加えて、人員保護システムの発報があった場合にはアラームが鳴動するようになっており、迅速に異常を検知できるようにしている。

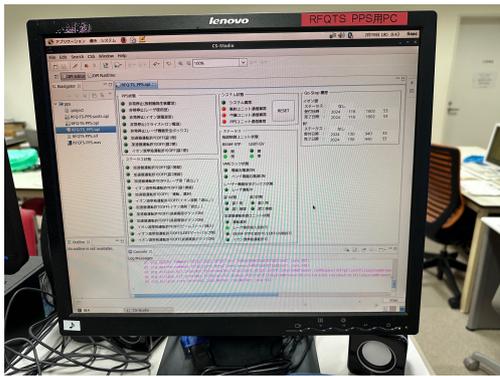


Figure 8: Remote PPS status display.

5. まとめ

保守性を向上させるため、初段加速器試験装置における人員保護システムの整備を実施した。ハードウェア面では、人員保護システムに係る PLC とその他の安全対策に係る PLC を独立させる、端子台を断路端子台へと交換する、コモン線からプラスとマイナス 1 対を 1 つの信号として扱う配線にするといった変更によって、システム変更時や信号点検時の作業性を向上させた。また、ハードウェアの変更に対応しながらロジックを簡潔にし、適切に監視を行えるようにソフトウェア面でも整備を実行した。以上のように、多様な機器が導入される初段加速器試験装置において整備を実施し、構成の変更に対して柔軟に対応できることを可能にし、汎用性と保守性の向上を達成した。

参考文献

- [1] Y. Kondo, H. Asano, E. Chishiro, K. Hirano, T. Ishiyama, T. Ito, Y. Kawane, N. Kikuzawa, S. Meigo, A. Miura, S. Mizobata, T. Morishita, H. Oguri, K. Ohkoshi, Y. Sato, S. Shinozaki, K. Shinto, H. Takei, K. Tsutsumi, Z. Fang, Y. Fukui, K. Futatsukawa, K. Ikegami, T. Maruta, T. Miyao, K. Nanmo, T. Shibata, T. Sugimura, A. Takagi, “A 3 MeV Linac for Development of Accelerator Components at J-ARC”, Proceedings of 28th International Linear Accelerator Conference, MOPLR071 (2017). doi:10.18429/JACoW-LINAC2016-MOPLR071
- [2] Y. Kondo, T. Morishita, K. Hirano, T. Ito, N. Kikuzawa, R. Kitamura, H. Oguri, K. Ohkoshi, S. Shinozaki, K. Shinto, Z. Fang, Y. Fukui, K. Futatsukawa, K. Ikegami, T. Miyao, K. Nanmo, M. Otani, T. Shibata, T. Hori, Y. Nemoto, Y. Sato, F. Kobayashi, D. Takahashi, R. Tasaki, Y. Ito, Y. Kato, T. Ishiyama, and Y. Sawabe, “Upgrade of the 3-MeV Linac for Testing of Accelerator Components at J-ARC”, Proceedings of 10th International Particle Accelerator Conference, MOPTS046 (2019). doi:10.18429/JACoW-IPAC2019-MOPTS046
- [3] F. Hiroki, H. Yoshikawa, Y. Takeuchi, K. Kudo, “Personnel Protection System in J-PARC Linac”, Proceedings of the 1st Annual Meeting of Particle Accelerator Society of Japan, 159 (2004). https://www.pasj.jp/web_publish/pasj1_lam29/WebPublish/6C05.pdf
- [4] Y. Sawabe, T. Ishiyama, D. Takahashi, Y. Kato, T. Suzuki, K. Hirano, H. Takei, S. Meigo, N. Kikuzawa, N. Hayashi, “Development of a Control System at a 3 MeV Linac in J-ARC”, Proceedings of the 13th Annual Meeting of Particle Accelerator Society of Japan, MOP096 (2016). https://www.pasj.jp/web_publish/pasj2016/proceedings/PDF/MOP0/MOP096.pdf
- [5] Safety Division, J-PARC Center, “Annual Report on the Activities of Safety in J-PARC, FY2014”, JAEA-Review 2015-038 (2016). doi:10.11484/jaea-review-2015-038