

J-PARC における人的保護システムの現状

PRESENT STATUS OF PERSONNEL PROTECTION SYSTEM AT J-PARC

菊澤信宏^{#, A)}, 仁木和昭^{B)}, 山本昇^{B)}, 林直樹^{A)}, 足立昌俊^{C)}, 渡邊和彦^{C)}
Nobuhiro Kikuzawa^{#, A)}, Kazuaki Niki^{B)}, Noboru Yamamoto^{B)}, Naoki Hayashi^{A)},
Masatoshi Adachi^{C)}, Kazuhiko Watanabe^{C)}

^{A)} JAEA J-PARC

^{B)} KEK J-PARC

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

Abstract

Interlock system of J-PARC is classified into a personnel protection system (PPS) for human safety and a machine protection system (MPS) for protecting equipment. The PPS of the J-PARC accelerator started from the operation at Linac in 2006 and was completed by the MR operation in 2008. In the next 10 years, some improvements have been made, such as updating video monitoring systems and establishing new interlocks. In addition to describing recent operations including these updates, this paper reports the current status of inspections and maintenance conducted to maintain and improve reliability.

1. はじめに

J-PARC のインターロックシステムは、人の安全のための人的保護システム(Personnel Protection System; PPS)および機器を保護するための機器保護システム(Machine Protection System; MPS)に大別される。J-PARC 加速器の PPS は 2006 年の Linac での運用から始まり 2008 年の MR 運転で完成した。その後の 10 年でビデオ監視システムの更新や新しいインターロックの新設などの改善や改良が行われてきた。本報告ではこれらを含めた最近の運用について述べるとともに、信頼性を維持・向上させるために実施している検査やメンテナンスについての現状を報告する。

2. システム構成

2.1 ハードウェア構成

PPS は人を放射線等の危険から保護するためのシステムで、インターロックと入域管理により人の安全を確保している。また、放射線申請における許可条件を担保するためのインターロックとしての機能も持っている[1, 2]。このため非常に高い信頼性が要求されることから、Programmable Logic Controller (PLC)を中核とした多重システムとしており、約2000台の PLC モジュールと約30台の PLC-CPU モジュールからなる。その他に、以下の特徴がある。

- 1) 2重化された PLC を用いて構築されている。
- 2) 重要な信号は光信号と電気信号による冗長性を持たせている。
- 3) 状態信号自体も 2 重化されている。
- 4) 2重化された PLC のラダーは同じ仕様を元に独立した2チームが開発している。
- 5) PPS 用のネットワークは制御系ネットワーク等からは完全に独立した PPS-LAN としている。

[#] kikuzawa.nobuhiro@jaea.go.jp

J-PARC では施設ごとにエリアとして分けられ、加速器で3つのエリア(Linac, 3 GeV シンクロトロン, Main Ring)、実験施設で3つのエリア(物質生命科学実験施設, ハドロン実験施設, ニュートリノ実験施設)があり、それぞれのエリア単位で管理されている。

2.2 PPS によるビーム停止

ビームを停止させる PPS インターロックの機器には以下がある。

- 1) 非常停止スイッチ
加速器トンネルには 30~40 m 毎に非常停止スイッチが設置されている。
- 2) パーソナルキー(各入域者が携帯する安全キー)
放射線安全管理装置の ID と紐づけられている。パーソナルキーが 1 本でも抜けていると加速器を運転することはできない。
- 3) 出入口扉(通常口扉、非常口扉)
通常口扉はパーソナルキーで開錠する。非常口扉は常時施錠。ただしこれらの扉は内側からはいかなる場合も開くことができる。
- 4) 機器搬入口、貫通孔、空調ダンパー
機器の搬入ハッチや測量用の貫通孔、排気装置の空調ダンパーなどがそれらに取り付けたりミットスイッチで監視されている。
- 5) ビーム誤入射防止機器(安全マグネット、ビームプラグ)
下流のエリアで人が入域している場合、その上流のビーム輸送路に設置された偏向電磁石(安全マグネット)の励磁を禁止し、ビームラインにビームプラグを挿入しておく必要がある。
- 6) 放射線エリアモニター
放射線の線量当量の積算が管理基準以下を担保する。
- 7) 電流モニター
粒子数の 1 時間の積算値が管理基準値以下であることを担保する。

各インターロックの状態は中央制御室のモニターに常時表示されており、運転員が視覚的に確認できるようになっている。Linac における PPS インターロック表示例を Fig. 1 に示す。

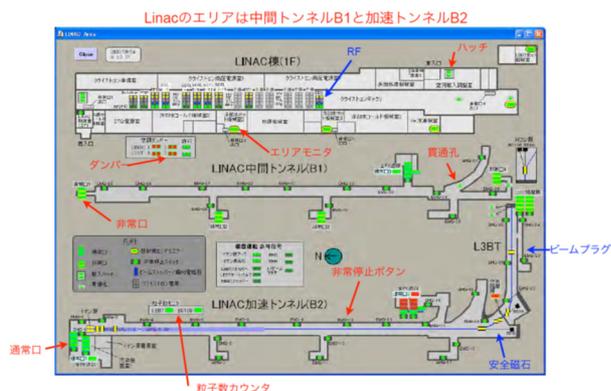


Figure 1: Example of PPS interlock display.

インターロック動作時のビーム停止の方法は多重化されており、リニアックのイオン源および引き出し高圧の OFF、3 台のビームストッパーの挿入である。Figure 2 にビーム停止装置の概略を示す。

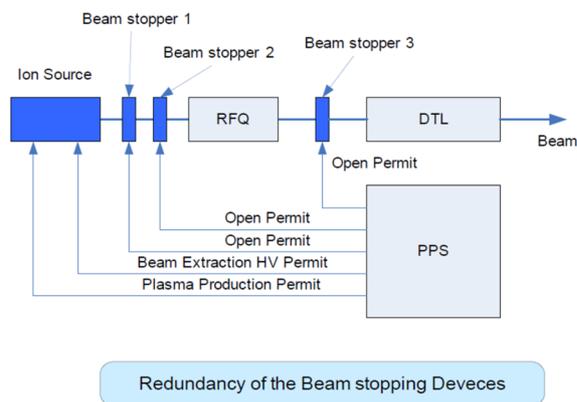


Figure 2: Beam stopping devices.

ビーム停止方法は以下の 2 つがある。

- 1) 重停止
非常停止スイッチ、出入口扉等のインターロックが働いた時のビームの停止方法で、重大な被曝事故が生じる恐れがある場合であり、イオン源およびビーム引き出し高圧を OFF、3台のビームストッパーをビームラインに挿入する。
- 2) 軽停止
放射線エリアモニターまたは粒子数カウンタの積算値が認可値より低く設定された管理基準値に達した場合で、1台目のビームストッパーのみをビームラインに挿入する。

2.3 エリアのアクセス状態

J-PARC では施設ごとにエリアとして分けられ、加速器で Linac, 3 GeV シンクロトロン(RCS), Main Ring (MR)の 3 つのエリア、実験施設として物質生命科学実験施設 (MLF), ハドロン実験施設(HD), ニュートリノ実験施設 (NU)の3つのエリアがある。加速器施設のエリアのアクセス状態として Table 1 に示す3つの状態が定義されており、各エリアのアクセス状態は他のエリアとは独立に設定可能である。ここで Beam Permit とは当該エリアにおいてビーム運転を行うことを許可する信号であり、インターロック動作時には取り消される。Power Permit とは大型電磁石、高周波空洞等に対する運転許可信号であり、あらかじめ許可された場合にはこれらが動作している場合でもインターロックエリアに入域が可能である。しかし非常停止ボタンが押された時には許可が取り消され、機器は停止する。

Table 1: Access State

Access State	Permit	Comments
Authorized Access (AA) 無人監視状態		加速器長期停止時の状態。 中央制御室より入退管理は行わない
Controlled Access (CA) 有人監視状態	Power Permit	ビーム運転準備/一時停止時の状態。 中央制御室より遠隔にて入退管理を行う。
No Access (NA) 立入禁止状態	Beam Permit Power Permit	ビーム運転状態。

Authorized Access (AA)状態の無人監視状態では、インターロックエリアへの入域はパーソナルキーおよび APD の携帯による監視となるため、これらを携帯せずに入域している可能性を否定できない。このため、AA 状態から Controlled Access (CA)状態へ移行する際に、インターロックエリア内が無人であることを確認するための 1 回目の退避確認を行い、さらに CA 状態で 2 回目の退避確認を行い、No Access (NA)状態へ移行する。

2.4 入退域管理

加速器の一時停止時は CA 状態となるが、CA 状態ではインターロックエリアへの入域は有人監視となる。入域者は通常口前に設置されたインターフォンにて入域許可を要請すると、中央制御室(CCR)にいる運転員が入域者の氏名を確認したのちパーソナルキーの引き抜き許可を出す。入域者全員が APD およびパーソナルキーを所持したことを確認したのち、入域のための扉の開錠許可をだす。通常口扉は 2 重となっており、パーソナルキーで 1 枚目の扉を開錠して入ったところで 1 枚目の扉を閉め、インターフォンで運転員に確認を要求する。運転員は監視カメラで入域者の人数を確認し、2 枚目の扉の開錠許可を出す。入域者は 2 枚目の扉をパーソナル

キーで開錠し、インターロックエリアへ入域する。

退域する場合は通常口扉は内側からはいかなる場合も開くことができるが、退域する際も 2 枚目の扉を出たところで運転員に確認を要求し、退域者の氏名および監視カメラによる人数の確認を受ける。その後、1 枚目の扉を出て APD およびパーソナルキーを返却する。パーソナルキーと人の目による人数確認をあわせて行うことで、インターロックエリアの滞在者数の確実な把握を行っており、一時停止後の加速器の運転再開の際には CA から NA への移行のための退避確認を省略している。Figure 3 に CCR に設置された入退管理システムの写真を示す。

通常、入域する際には感電等の危険がある大型電磁石や X 線が発生する高周波空洞等は停止している必要があるが、場合によってはこれらが動作中に入域する必要がある。この場合、CA 状態にさらに「特別許可」という状態を設定し、あらかじめ入域を許可された作業員はこれらの機器が動作している場合でも入域が可能としている。しかし、非常停止ボタンが押された時には許可が取り消され、機器は停止する。

監視カメラ



パーソナルキーや通常口扉の許可等の操作スイッチ

Figure 3: Remote access control system at CCR.

2.5 行先設定

ビームの行先として Linac エリアに LEBT、0 度ダンプ、30 度ダンプがあり、RCS エリアに 90 度ダンプ、100 度ダンプ、H0 ダンプ、3NBT ダンプ、MR エリアには MR アポートダンプがある。さらに実験施設へビーム供給する MLF ターゲット、HD ターゲット、NU ターゲットの行先がある。PPS はビームの行先に応じてビームプラグ、偏向電磁石等を監視し、誤った行先へビームが行く可能性がある場合には行先不整合として Permit を取り消す。

3. 運用およびこれまでの変更

3.1 運用

J-PARC では通常 7 月から 9 月までの約 3 か月間を夏期メンテナンス期間としているが、それ以外の期間は停電などの期間を除いて常時運用している。

Table 2 に 2011 年 12 月から現在までの PPS 発報回数を示す。非常停止が発報した 3 回のうち 2 回は作業員が誤ってスイッチを押したことによるものであり、1 回は原因不明の誤動作で発報したものであったためスイッチの交換を行った。

重停止は地震によりビームプラグが揺さぶられてリミットスイッチが働いたことにより発報したことが 2 回あった。Target Protection System (TPS) [3] は MLF の水銀ターゲットを保護するためのシステムであり、PPS 重停止に準ずる運用を行っている。水銀漏洩を検知するレベルセンサーの誤動作や瞬時停電によって冷却水レベル低下の誤検知によりこれまでに 6 回発報した。

軽停止は粒子数カウンタで使用している PLC のエラーなどによるものと、ノイズなどによって粒子数カウンタで誤計数したことなどによって管理基準値を超えたために発報したものである。

いずれの場合も PPS としては正常に動作して加速器運転は停止しており、これまで大きなトラブルはなく運用を続けている。

Table 2: PPS 発報回数

	非常停止	重停止 (TPS を含む)	軽停止	PLC エラー 等
加速器	2	3	18	1
MLF	0	13 (6)	2	0
HD	1	5	0	1
NU	0	2	0	0

3.2 定期点検

7 月から 9 月までの夏期メンテナンス期間に点検を実施している。点検項目として非常停止スイッチ、パーソナルキー、出入口扉、機器搬入口、貫通孔、空調ダンパー、ビーム誤入射防止機器、電流モニター、運転表示灯の全箇所を点検している。加速器施設での主な点検箇所数を Table 3 に示す。

Table 3: 主な点検箇所の数

	非常停止 スイッチ	出入口扉	機器搬入口	運転表示灯
LI	46	8	2	8
RCS	31	10	1	10
3NBT	29	4	0	4
MR	79	15	4	17

PPS の運用開始から 10 年以上経過したため 2016 年から 2018 年にかけて PLC 約 2000 台などの主要機器の予防交換を行った。

3.3 排気タイマーの組み込み

運転中の加速器トンネル内の放射化した空気の減衰を考慮し、通常、加速器の運転停止から 2 時間の時間において排気を行い、2 時間排気したのちインターロックエリア内への入域を行っていた。この時間の制限は運転員が判断して入域の許可を行うなどの運用を行っていたが、人の判断による運用ではなく、条件を満たさない間は入域を機械的に阻止する仕組みを導入するために PLC ラダーに入域を制限するタイマーを組み込んだ。PPS ラダーは 2 重化されているため、修正もそれぞれ別のチームが行った。2015 年 1 月に実装し検査したのち、実際の運用が開始された。

3.4 監視カメラ

インターロックエリア内には非常停止ボタンが押された場合の対応やトンネル内作業の監視に用いるため、CCD カメラが設置されている。夏期メンテナンス中にはこの監視カメラの点検を実施し、放射線により損傷を受けたカメラの交換を行っている。

以前は映像を切り替え器で切り替えて、特定のカメラの情報だけを監視していたが、2014 年には 200 台の監視カメラ映像信号のネットワーク化をすすめた。ネットワークは制御ネットワークや PPS-LAN とは独立した専用の映像 LAN としている。現在の映像 LAN の通信速度は基本的には 1 Gbps で一部は 100 Mbps であるが、今後の更新によりすべて 1 Gbps の通信速度となる予定である。全カメラの映像をネットワークに載せることで全てのカメラを同時に監視でき、記録として残すことが可能になった。記録容量としては約 500 GB を使用しており、約 2 か月間の映像を記録している。

高放射線環境下にある一部の監視カメラは損傷が激しいため、2014 年から耐放射線性の高い CID (Charge Injection Device) タイプの試験を行った[4]。現在、高放射線環境下にある一部については CID タイプへ交換を検討している。

4. まとめ

2006 年の Linac での部分運用開始以来、RCS、MR と順次システムを増設し 2009 年のハドロン実験施設およびニュートリノ実験施設の稼働により完成した。その後も施設の変更に合わせて PPS の変更を行いながら、これまで大きなトラブルもなく運用を続けてきた。

夏期メンテナンス期間にはインターロック機器の定期検査を行い、健全性を確認している。また、運用開始から 10 年以上が経過したため、2016 年～2018 年にかけて PLC 約 2000 台などの主要機器の予防交換を行った。

2014 年には 200 台の監視カメラ映像信号のネットワーク化を行い、全てのカメラを同時に監視でき、記録として残すことが可能になった。さらに、高放射線環境下にある一部を耐放射線性の高い CID タイプへの交換を検討している。

PPS は人を放射線等の危険から保護するための重要なシステムであり、今後も新しい技術を取り入れつつ信頼性を維持・向上させていく予定である。

参考文献

- [1] Y. Takeuchi, "Personal Protection System of Japan Proton Accelerator Research Complex", ICALEPCS 2003, Gyeongju, Korea, Oct. 13-17, 2003, pp. 404-406.
- [2] F. Hiroki *et al.*, "J-PARC Linac における PPS, 人的安全保護システム", Proceedings of 1st Annual Meeting of Particle Accelerator Society of Japan and 29th Linear Accelerator Meeting in Japan, p.159 - 161, 2004.
- [3] K. Sakai *et al.*, "J-PARC 物質・生命科学実験施設の全体制御システムの進捗状況", JAEA-Technology 2018-011, 2019.
- [4] K. Niki *et al.*, "J-PARC MR トンネル内監視カメラの運用状況、及び耐放射線性能について", Proceedings of the 14th Annual Meeting of Particle Accelerator Society of Japan, August 1-3, 2017, Sapporo, Japan.