

加速器入域管理システムの増設

白川 明広, 本間 博幸, 小川 雄二郎

高エネルギー加速器研究機構 加速器研究施設

1. 概要

KEKB 及び放射光利用加速器への入射器である電子陽電子線形加速器において、放射線安全のための入域管理システムを増設し、加速器の運転と保守開発作業を同時に実行可能とした。これは新規実験プロジェクトへの移行に沿ったもので、全長約 600 メートルの加速器建屋を 2つの区域に分割し、それぞれに入域管理機器を配して部分的な運転を可能とした。低コスト、短納期に留意して行った設備増強の内容について述べるとともに、入域管理の概略及び運転形態の変更についても言及する。

2. 電子陽電子線形加速器の入域管理

弊機構の電子陽電子線形加速器（以下「リニアック」と称する）は、高周波により電子ビームを通常最大 8GeV のエネルギーまで、陽電子ビームを 3.5GeV まで加速する。加速されたビームは KEBK 加速器（HER = High Energy Ring 及び LER = Low Energy Ring）並びに放射光利用加速器（PF-RING 及び PF-AR）の計 4 種類の円形加速器へ入射され、種々の研究に供される^{[1][2]}。

リニアックの全体像を図 1 に示す。線形と称しながら敷地の都合上途中で 180 度折り返しており、曲線部ではビームは加速されない。加速器本体は厚さ 1m のコンクリート



図 1 リニアック全体像

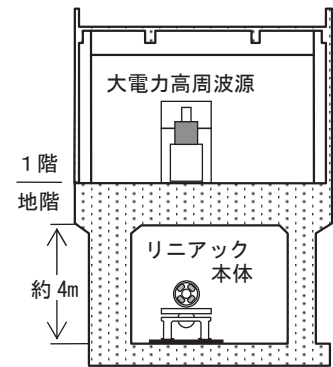


図 2 リニアック建屋断面図

で囲まれた建屋の地階にあり、1階に大電力高周波源がある（図 2）。電子ビーム発生源である電子銃は 2 箇所があり、1つは先頭地点に（名称：A1 電子銃）、もう 1つは中間をやや過ぎた地点（名称：3T 電子銃）にある（図 4）。陽電子ビームは、ほぼ中間地点にある金属標的に大電流電子ビームを照射して生成する。全てのビームは一方通行であり、また電子も陽電子も同一のビームダクト内を進行する。

リニアックの運転（=電子ビームの発生と加速）時には、人体被ばく許容量を上回る放射線が発生するため、地階の加速器室を無人とすることが運転許可の必要条件の一つである。無人状態を担保するため、次のような方策を取っている。

- 加速器に通じる通用扉及び物品搬入扉の開閉状態を監視し、「開」状態の扉があるときは不許可とする。
- 機器の保守や改造のため地階の加速器室に入域する際は、加速器が停止している状態で「パーソナルキー」（図 3）なる鍵を作業員 1 名につき 1 個ずつ命綱として携帯する。この鍵は加速器室への入口扉の鍵にもなっている。これが 1 個でも未返却状態のときは、加速器運転を不許可とする。パーソナルキーの貸出管理には各人の ID カードを使用する。



図 3 入域管理用パーソナルキー

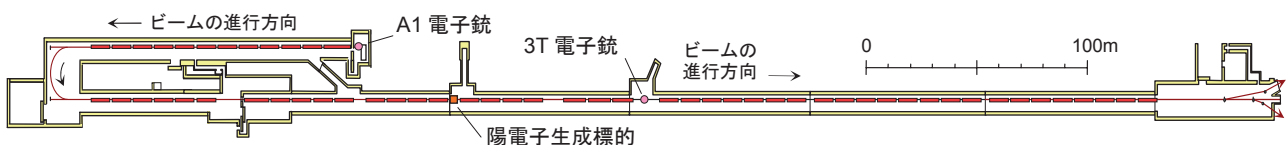


図 4 リニアック平面図

・建屋 1 階の高周波源も放射線発生源であるが、放射線量が少ないため地階のような入域管理は行わず、境界扉の開閉状態のみ監視対象とする。

今回の入域管理システム増設に際しても、上述のルールには全く変更が無く、これに則って機器を設置した。

ちなみにリニアックの運転条件としては、他に「ビーム供給先の各加速器からの運転許可」「建屋周辺の環境放射線量に異常無し」等、計 7 種類の必要条件がある。

3. 入域管理システム増設の背景—加速器運転形態の変更

本件のシステム増設は、KEKB 加速器の新規プロジェクトへの移行に伴う運転形態変更のために実施した。従前 KECB 加速器へは A1 電子銃よりリニアックのほぼフルスペックの性能を以てビームを連続入射していたが、グレードアップのためにこれを一時休止することとなった。PF-RING へは KECB 向けと同じ A1 電子銃から同時入射を行っていたが、KEKB 入射の停止に伴い、3T 電子銃からの単独入射へと変更した。PF-AR 向け入射には変更が無く、引き続き 3T 電子銃を使用する。これにより、変更後は A1 電子銃及びそれに続く上流側加速器をリニアックの単独ビーム調整（マシンスタディ）専用として使用できることとなった。調整時には加速器室における作業が多頻度で発生するが、PF と PF-AR 向け入射のためにリニアックが連続で運転するため、上流側加速器室にアクセスする機会が十分に得られない。そのため、3T 電子銃の直前に放射線遮蔽能力を持つ壁を構築して加速器室を二つの空間に区切り、入域管理を別々に行うこととした（図 5）。壁には通用扉を設け、それが下流側加速器室への入口となる。

表 1 に変更前後の運転形態をまとめて示す。変更後も、A1 電子銃を使用する時は、ビームがリニアック終端まで達するため入域管理範囲は上流側のみならず全域を対象とする。

表 1 リニアック運転形態の変更

| ビーム入射先 | ビーム種類 | 変更前 | | 変更後 | |
|-----------------------|------------------------|----------------|------|----------------|------|
| | | 使用する電子銃 | 入域管理 | 使用する電子銃 | 入域管理 |
| KEKB High Energy Ring | 8 GeV e ⁻ | 先頭(A1) | 全域 | (休止) | / |
| KEKB Low Energy Ring | 3.5 GeV e ⁺ | 先頭(A1) | | (休止) | |
| PF-RING | 3 GeV e ⁻ | 先頭(A1) | | 中間(3T) | 下流側 |
| PF-AR | 3 GeV e ⁻ | 中間(3T) | | 中間(3T) | 下流側 |
| リニアック調整(入射無し) | 各種ビーム | 先頭(A1)及び中間(3T) | | 先頭(A1)及び中間(3T) | 全域 |

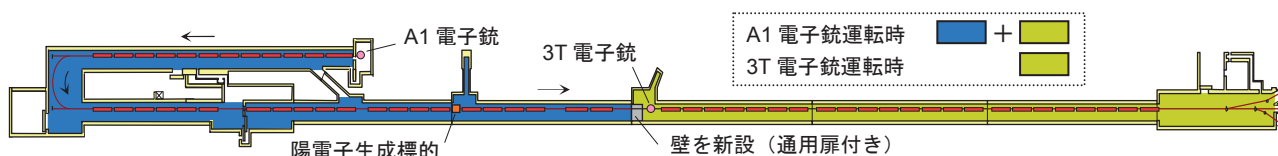


図 5 リニアック運転形態変更に伴う入域管理範囲の分割

4. 入域管理システムの増設

前述の入域管理ルールに従って管理区域を分割するためには、大別して 1) 分割境界壁・扉の設置、2) 入域用パーソナルキーの用意、3) リニアックメイン安全系のインターロック論理変更、4) その他各種表示等の更新、が必要であった。上記 1) においては遮蔽コンクリートと鉛の設置が特に難事業であったが、これについては他稿に譲る。

従来、リニアック全域を対象として運用してきた入域管理システムは、今回上流側管理用に用途変更となった。これはソフトウェア上の変更であり、上記 3) に含まれる。そして今回の増設分が、下流側管理用である。図 6 に今回のシステム増設箇所をまとめて示し、以下各構成機器について個別に見て行く。

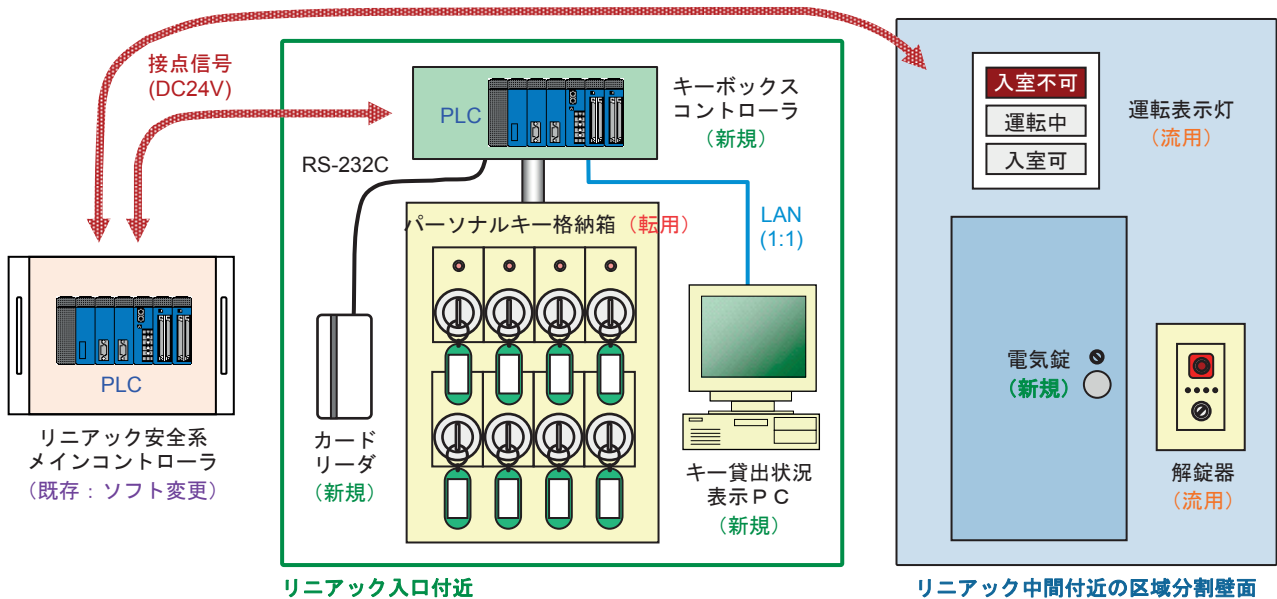


図 6 増設した入域管理システム機器群

・ パーソナルキー格納箱 (図 7)

入域用パーソナルキーを格納して置く箱で、リニアック入口付近に設置してある。数年前まで他部署で使われていた中古品を貰い受け、セキュリティ上の理由から全てのキーシリンダーを新品に交換した。キーは計 32 個あり、すなわち最大 32 名が同時に入域できる。この箱の内部には CPU を含まない。なお、キータグに付着している黒い物体は、持出防止用自鳴式 RF タグである^[3]。

・ キーボックスコントローラ

内部に PLC を備え、安全系メインコントローラと接点信号を受受し、キーの管理を担当する。カードリーダーから RS-232C 経由で得たカード読み取り情報を自身が持つ人名データベースと照合し、キー抜取許可を判断する。PLC のソフトウェア (ラダー) のサイズは 1.2k ステップ程度である。新規製作品である。

・ キー貸出状況表示 PC

キーボックスコントローラの PLC と 1 対 1 のイーサネットで接続し、キー貸出状況を読み出して表示する。PLC のプログラム編集用としても使用される。キーボックスコントローラ共々、安全上の理由から他の LAN には接続しない。

・ 運転表示灯、電気錠、解錠器

新設した区域境界壁面に取り付けられた機器類である。電気錠と解錠器のシリンダーが新品である他は、他所で使われていた中古品を再利用している。いずれも安全系メインコントローラと DC24V 接点信号を受受する。リニアックの運転状況に応じて表示を行い、電気錠制御 (解錠許可/不許可) を行う。

・ その他各種表示等

加速器室内全域にわたって設置してある回転灯 (← 放射線発生警告) や、リニアックの運転警告灯等も、従前は全域一斉に作動していたものを、区域毎に個別に作動するように変更した。また、リニアックオペレータが操作する運転パネルも、区域分割に対応して若干の改造を施した。



図 7 パーソナルキー格納箱

5. 考察

リニアックは年間約 7,000 時間運転を行っており、その合間を縫っての増設作業となった。その上、他の業務との兼ね合いもあり、設計や物品調達の期間も含めて正味 3 カ月程度で実施せざるを得なかった。そのような中で、幸いにも適当な中古品が見つかったり、あるいは「増設」ということで既存システムの設計をコピーするだけで済んだりと、納期的には何とか間に合わせる事ができた。費用の面からも、特にパーソナルキーの格納箱については、仮に既成品を当方の仕様に合わせて改造の上購入した場合と比較して、数分の一程度で済ませることができた。

今回の増設分は今後数年程度の使用予定ということもあり、言わば寄木細工のような仕上がりではあるが、当初の目的通りの仕様を満たし、これまでのところ問題無く動作している。

6. 参考文献

- [1] “電子・陽電子線形加速器 (Linac)”, 高エネルギー加速器研究機構ホームページ,
<http://www.kek.jp/ja/activity/accl/linac.html>
- [2] 小川雄二郎 他, “KEK 電子・陽電子入射器の現状”, 第 3 回日本加速器学会 proceedings, 2006 年 8 月
- [3] 白川明広, “RF タグ監視システム導入による放射線立入制限区域無人管理の円滑化”, 平成 18 年度名古屋大学総合技術研究会, 2007 年 3 月