

解説

KEK-PF の放射線安全管理について

伴 秀一, 中村 一

高エネルギー加速器研究機構*

Radiation Protection of KEK-PF

Syuichi BAN and Hajime NAKAMURA

High Energy Accelerator Research Organization

1. 放射光リング

放射光研究施設は毎年2千人を超える共同利用者がいる。本機構では職員、共同利用者の放射線安全のために次のような安全管理を行っている。

(1) 個人被ばく管理

職員についてはフィルムバッジを支給し、ガンマ線と中性子 (CR39による) の被ばく量を1カ月毎に測定を行っている。共同利用者はそれぞれの所属組織で放射線従事者になっていることが前提なので、まずそこのフィルムバッジを着用してもらい、さらにそれとは別に低エネルギーまでエネルギー特性の良いTLDバッジ (熱蛍光線量計 $\text{Li}_2\text{B}_4\text{O}_7(\text{Cu})$) を支給し、本施設で受けたX線、ガンマ線の被ばく量を測定している。Table 1に職員と共同利用者の年度別被ばく者の人数を示す。本機構での被ばく管理目標は1人当たり年間10 mSvだが、本施設ではその目標値よりかなり低い被ばく量で、ほとんどの人が検出限界以下である。

(2) 放射線モニターによる管理

本施設には全部で12台の放射線モニターが設置してある。これらのモニターのうち9台は管理区域に設置し、そこでの放射線レベルが高くなった場合には警報並びにパトライトの点滅により周辺の作業者に注意を喚起する役割を持っている。残りの3台のうち2台は施設からの排水、排気を監視するモニターである。最後の1台はリニアックからリングへの入射路の延長線上の一般区域に設置しており、1時間当りの積算で $0.2 \mu\text{Sv}$ を超えると、インターロックによって入射を止める。ただし、蓄積したビームはダンプしない。通常の運転では入射頻度は12時間に1度程度だが、連続して入射する必要があった場合も $0.2 \mu\text{Sv/h}$ を超えないようになっている。96年12月16日に行なわ

れたPF大電流実験では、電子入射を繰り返し、最大773 mAまで蓄積したが、このモニターの値は瞬間的に $0.2 \mu\text{Sv/h}$ を超えることがあっても、1時間当りの積算線量では $0.2 \mu\text{Sv}$ を超えることはなかった。Fig. 1に電流値とモニターの値 (ガンマ線+中性子) の時間変化を示す。

(3) 入射時の実験フロアの空間線量率の測定

入射時は蓄積時と比較するとリングにおける電子の損失が多いため、制動X線が多くなる。毎期のユーザー実験の始まる前にサーベイメータによる入射時の実験フロアの放射線測定を行っている。測定の結果、一時的に連続入射が必要となった場合に1時間当りの積算で $20 \mu\text{Sv}$ を超える可能性がある場所はロープなどを張って入射時の立入制限を行なっている。

(4) 蓄積時の実験フロアの空間線量率の測定

蓄積時は制動X線が少ないため放射光が主要となってくるが、基本的には十分に遮蔽されているため、実験フロア内はほとんどバックグラウンドレベルである。しかし、2.5 GeV用に作ったラインで3 GeV運転を開始したこと、一部散乱線で線量が上昇する場所がある所は、鉛で覆っているところもあり、たまたまそのビームラインのメンテナンスなどで鉛が外れる場合があることも考慮し、安全確認のためユーザー実験の始まる前にサーベイメータによる測定を行なっている。

(5) 実験フロアの積算空間線量の測定

実験フロアの1カ月積算の線量を測定するためにTLDバッジを実験フロアに設置している。ビーム損失との対応をつけるため、TLDバッジは実験フロアの人のいる場所ではなく、リング側の壁にビームラインの番号が小さいほうから順番に合計で47個を設置してある (Fig. 2)。その

* 高エネルギー加速器研究機構 〒305-0801 つくば市大穂1-1
TEL 0298-64-5493 FAX 0298-64-1993 e-mail s-ban@kek.jp

Table 1. Statistics of Annual dose in Fiscal years

Fiscal year	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996
Stuff (Film Badge)							
Undetectable	104	110	109	113	140	130	132
0.1-0.39 (mSv/year)	5	2	3	5	2	2	0
0.4-0.99 (mSv/year)	1	0	0	1	1	0	0
1.0- (mSv/year)	0	0	0	0	0	0	0
Users (TLD Badge)							
Undetectable	1049	1026	1226	1487	1592	1681	1626
0.1-0.39 (mSv/year)	154	264	160	61	28	28	1
0.4-0.99 (mSv/year)	0	3	1	0	0	0	0
1.0- (mSv/year)	0	0	0	0	0	0	0

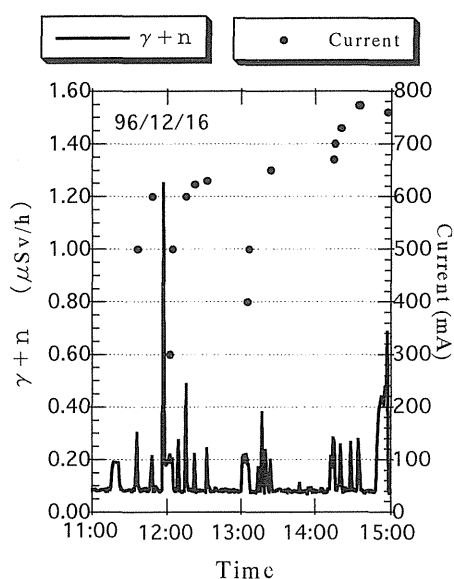


Figure 1. Time Variation of Dose Rate and Ring Current.

測定結果を Fig. 3 に示す。これからわかるように実験フロアの線量はビームラインによってかなりの違いがある。期間毎の TLD の全ての値を合計した積算線量と積分電流値と入射時間の変化を Fig. 4 に示す。グラフの縦軸はそれぞれの関係が比較しやすいように 4 月期の値を 1 とし、他の期間は 4 月期との比をとった。これを見ると実験フロアの積算線量はほとんど入射時の線量のものであることがわかる。入射時間は通常 1 日に 1 時間未満なので、(1) の個人被ばく管理の項で述べたように、実際の被ばくはほとんどない。

(6) リングからの搬出物品の放射線測定

リングから物品を搬出する場合、物品が放射化している可能性があるため、通常はサーベイメータで表面線量率を測定して放射化していないことを確認してから搬出を行っている。97年に行なわれたリングの高輝度化改造の時には交換のための電磁石等大量の搬出物品があった。電磁

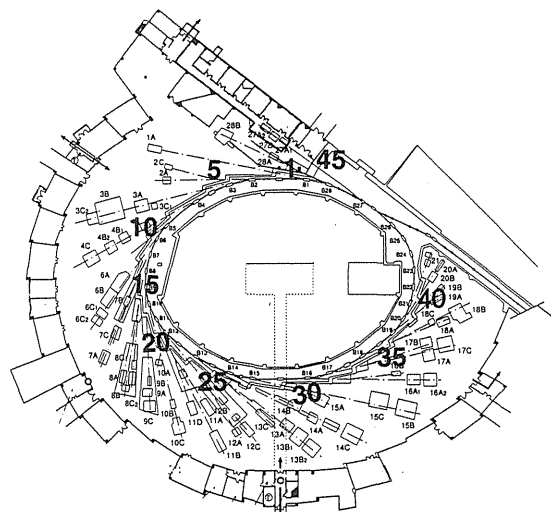


Figure 2. Plane View of measurement points using TLD in the PF Experimental Hall.

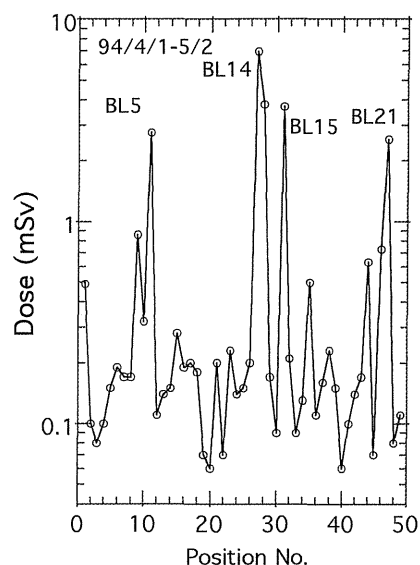


Figure 3. Accumulated Dose per month measured using TLD placed on the inner wall in the PF Experimental Hall.

石等の大きくて重い物品はそれ自身が良い遮蔽物品となるため、通常のサーベイメータによる表面線量率の測定だけでは線量率が通常のバックグラウンドより低くで放射化物の判断が難しい。この場合は NaI(Tl) スペクトロサーベイメータ (アロカ製 C3475) を用いて同じ幾何学的形状で測定した。物品が鉄製の場合は放射化すると ^{54}Mn ができ、アルミニウム製の場合は ^{22}Na ができるので、それぞれの核種の固有のピークエネルギーを見ることによって、放射化の判別ができる。放射化はビームの損失が多いところで生じる。実験フロアで TLD を用いて測定した積算空間線量の値をそれぞれの TLD を設置した位置に一番近い

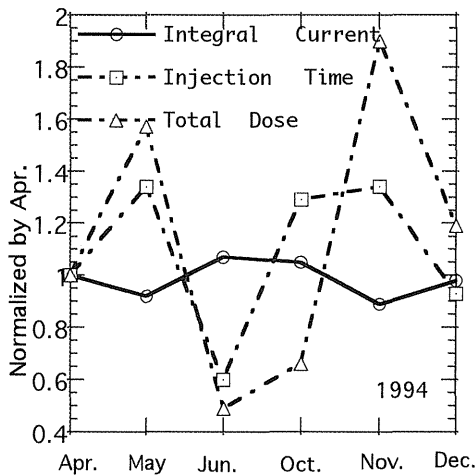


Figure 4. Comparison of Total Dose, Integral Current and Injection Time.

場所にある四極電磁石の測定値と比較した結果を Fig. 5 に示す。測定した四極電磁石のうち Q132から Q172までのものは撤去しない電磁石だったためダクトをつけた状態で測定を行った。積算空間線量の測定期間は96年11月18日から12月16日までである。全ての四極電磁石の近くに TLD が設置してあるわけではないので、積算空間線量のデータ数は四極電磁石の物に比べると少なくなっている。そのため全ての電磁石に対応させて積算空間線量のデータを比較することはできなかったが、実験フロアでの線量の高いところである BL5, BL14, BL15 に対応する電磁石でも放射化している事が確認された。

2. 電子リニアックの改造時の放射線安全対策

放射光リングへの入射器である電子リニアックは専用ではなく、4台の蓄積リングの入射器である。95年から98年にかけて KEKB ファクトリーへ入射するために加速エネルギーを、2.5 GeV から 8 GeV へ増強する大きな改造が行われた。改造後のリニアックの上流側部分のみを Fig. 6 に示す。リニアックは地下に設置されているが、地下部分の建築工事中にも放射光リングへの入射を行うために、出力制限を行いながら運転した。以下に改造の内容を記す。

(1) 95年6月

陽電子生成用に使用していた Fig. 6 の小型の電子リニアック②の運転を停止する。リニアック②を収納していた地下の建物を一部撤去するため、予めコンクリートをボーリングして、 ^{22}Na 等の長寿命の残留放射能を測る。放射能が認められる部分は、保管する。

これ以降、放射光リングでは陽電子の使用ができなくなり、当面、電子のみの使用になる。Fig. 6 の電子リニアック①の加速エネルギーを、2.5 GeV から 5 GeV にするための改造を開始する。

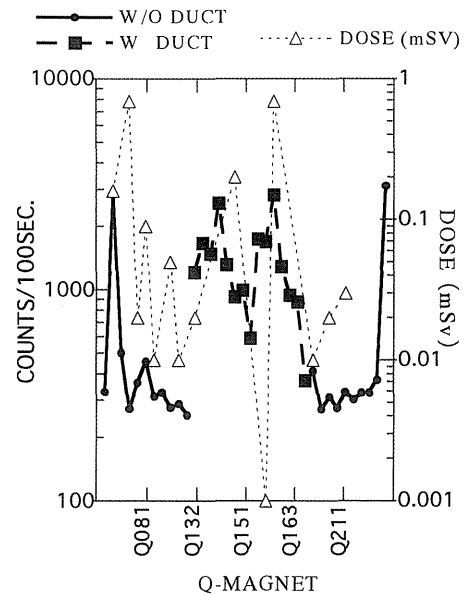


Figure 5. Accumulated Dose vs. Residual Activities in the Q-Magnets.

(2) 96年3月

電子リニアック①の出力を最大時の0.2%に制限する。土の遮へいの一部を除き、電子銃室①を地下に建設する。停止している小型の電子リニアック②の部屋の一部を壊し、2台のリニアックを結合するための新しい建物②を増築する。

(3) 96年12月

電子リニアック①の運転を半年間停止し、改造する。この間に放射光リングの高輝度化の改造も行われる。

(4) 97年6月

電子リニアック①の運転を再開する。出力を最大時の10%に制限して小型のビームダンプを置き 5 GeV までの調整運転をする。リニアックから放射光リングへの入射ビームラインは撤去されており、入射できない。従って下流側の放射光リングからの加速許可信号は、リニアックの運転条件から除かれている。リングは改造工事を続ける。

(5) 97年9月

PF リングへの入射路を整備し、リニアック①から電子を入射し運転再開する。

(6) 97年10月

PF リング低エミッタンスモードで運転開始
小型の電子リニアック②を再開する。新しい電子銃②から出力を最大時の10%に制限し小型のビームダンプを置いて運転する。

(7) 98年3月

2つの電子リニアック①②を結合した。2つの電子銃①②を持ち、端の①からでも途中の②からでも加速ができるようになり 8 GeV への増強が完成した。①②のどちらの電子銃からでも放射光リングへの入射が出来る。両方のリ

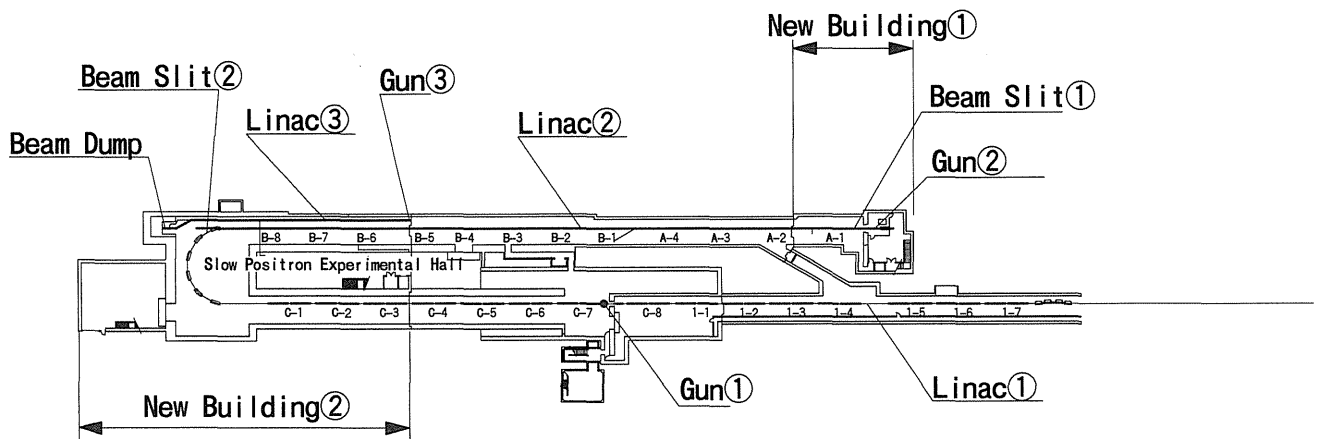


Figure 6. Plane View of 8 GeV Injection Linac. Only upstream parts are shown.

ニアックの出力制限を撤廃した。

上の(2)の時期には最大6.25 kWの電子リニアック①の出力を、放射光リング入射に必要な最低限の12 W以上の出力が出ないように制限し、かつ電子銃の直後に直径0.2 cmの極端に細いスリットを入れた。地下にあったリニアック①の厚さ80 cmのコンクリート遮へい側壁が長さ10 mにわたって地上に露出するため、Fig. 6の建物①の工事部分に放射線モニタを置き、ビームの条件が悪い時には自動的にビームを停止するようにした。しかし放射線が原因で停止したことは無かった。

ビームダンプは低速陽電子実験施設のための陽電子発生用ターゲットを兼ねており、リニアック②の1.6 GeV、1 kWの電子を用いて陽電子を生成させる。この厚さ2 cmのタンタル製ターゲットとその下流の鉛製ビームストップには、Fig. 6の小型の電子リニアック③からも50 MeV、1 kWのビームを同時に打ち、計2 kWの電子を使用できる。このターゲット・ビームストップの冷却配管は、冷却水中の放射能の増加が予想されるので、加速管とは別の独立した密閉系になっている。このビームダンプ室は敷地境界に近く、また将来、リニアック③を増強してより大出力で実験することも想定して、鉄ブロック・コンクリート・盛土で遮へいされている。鉄ブロックは重量450 tの鋼材であり、外側での空間線量を0.2 $\mu\text{Sv/h}$ 以下に減らし、コンクリート・土中に長寿命の放射能核種 (^{22}Na , ^3H) が生成するの防ぐ。Fig. 7にダンプ室の盛土の横断面図を示す。上部は鉄1.5 m、コンクリート2 m、土1 mで遮へ

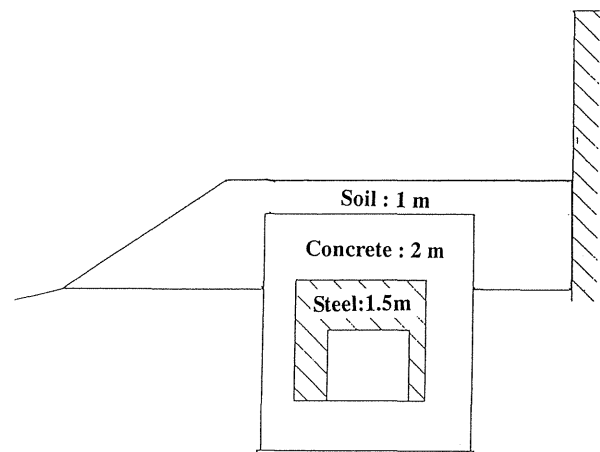


Figure 7. Vertical Cross section of the Beam Dump Area.

いされている。

リニアック②は2カ所のスリットにより加速条件の合わないビームを除去し、他の部分でのビーム損失を減らすようになっている。電子銃①直後の低エネルギー部でビーム軌道を電磁石により約4 cm オフセットし、タンタル製スリット①でビームの一部を切り、元の軌道へ戻す。

ビーム軌道の分散が大きくなる180°偏向部にも、タンタル製のスリット②を置き、エネルギーが中心からずれている部分を切る。ここでのエネルギーは1.6 GeVと高いので、上部に厚さ50 cmの鉄遮へいを追加する。