

PF LINAC RADIATION SHIELDING

H. Hirayama and S. Ban
National Laboratory for High Energy Physics

ABSTRACT

The shielding for PF linac was designed with the calculation model used in PEP project at SLAC. The beam losses were estimated to be limited at the slit located at each 500 MeV.

The dose rates above the linac overhead shield were measured after the steady state of the linac operation. The measured dose rates were rather in agreement with the calculated values. But the levels were very low due to the low beam losses at the slits.

1. まえがき

PFリニアックの遮蔽は、主たるビームロスが500 MeV毎に設けられるスリット部で生じ、スリットとスリットの間のビームロスは非常に少いとの仮定に基づいてSLACのPEP計画で使用している計算モデルを用いて設計を行った。設計で使用されたモデルの妥当性を調べる為に、リニアックが定常的に運転を行なわれる様になる前からスリット上部等で線量測定を行った。実際のビームロスが設計時に仮定した様と点状でなく拡がりを持っていて比較を行うことは容易ではなかったが、測定的と計算値は比較的良い一致を示したといえる。しかし、実際の運転状態での放射線レベルは、スリットでのビームロスが設計時の仮定に比べてはるかに少なかった為、非常に低くなっている。

ここでは、設計計算に使用した方法と運転時における放射線レベルについての設計計算と実測値の比較について述べる。

2. 設計計算に使用した放射線遮蔽計算方法

高エネルギー電子加速器の遮蔽に関する研究は、まだまだ基本的なデータが不足しており、ビームロスの推定の難しさが加わって精度よい計算を行うことは難しい。現実には、種々の安全係数を念んだ形で設計を行い、完成後の遮蔽性能の測定結果との比較から使用したデータ、計算方法の検討を行っている段階である。ストレージリングを含んだ放射光実験施設全体の遮蔽設計にあたっては、できるだけ実測値にもとづいた簡単な計算式を使うという立場から、中性子についてはPEP計画の遮蔽計算で使用されている式¹⁾と、γ線についてはDESYで実測値にもとづいて作られた式²⁾を使用した。リニアックのスリット上部の様にはビームロスが比較的多く遮蔽の厚い場所では、放射線レベルは高エネルギー中性子(100 MeV以上)によって決定されるので、ここでは高エネルギー中性子に関する計算方法についてのみ述べることにする。100 MeV以上の中性子であっても、線量評価として高エネルギー中性子しか評価するということではなく、100 MeV以上の中性子に対しては非弾性散乱断面積がほぼ一定であるところから一群扱いが可能であることを利用し、厚い遮蔽透過後のスペクトルは平衡状態に達しているとして線量評価を行う方法である。(1)式に使用した計算式を示す。

$$H_{HE}(\theta) = \frac{0.36 \times B \times \frac{dn(\theta)}{d\Omega} \times E_0 \times g \times I}{r_{(m)}^2 \sin^2 \theta} e^{-d/\lambda_{HE}} \quad \text{mrem/h} \quad (1)$$

E_0 は GeV であらわした電子のエネルギー、 I は毎秒あたりのロスされる電子数、 r はビームロスの位置から遮蔽表面までの距離、 d は g/cm^2 単位で表示した遮蔽の厚さである。 B は、全中性子束に対する 100 MeV 以上の中性子束の比で BEVATRON での実測値である 3.6 を使用した。 $\frac{dn(\theta)}{d\Omega}$ は、100 MeV 以上の高エネルギー中性子の生成断面積で、15 GeV の電子に対する測定値から近似的に、

$dn(\theta)/d\Omega = 1.5 \times 10^{-4} / (1 - 0.72 \cos \theta)^2 \approx 1/\text{sr-GeV-e}$ と表現することができる。 θ は電子の進行方向に対して与える角度である。 g は、平衡時の中性子スペクトルに対する中性子束から線量への換算係数で $3.2 \times 10^{-5} \text{ mrem/cm}^{-2}$ を使用した。 λ_{HE} は、高エネルギー中性子に対する平均自由行程で、土 ($\rho = 1.6 \text{ g/cm}^3$) に対して 117 g/cm^2 、コンクリート ($\rho = 2.3 \text{ g/cm}^3$) に対して 120 g/cm^2 、重コンクリート ($\rho = 3.65 \text{ g/cm}^3$) に対して 128 g/cm^2 、鉄に対して 144 g/cm^2 を使用した。 12 GeV PS を使用して KEK で測定した λ_{HE} は、ここで使用した値より大きいものヒョウているが、 λ_{HE} は実効的線源強度の推定に関連するので、設計にあたっては PEP で使用している値そのままを使用した。

ビームロスについては、先にも述べた様に、ビームによる加速管の損傷を防ぐ為に各セクターの入口にスリットを置き、主としてスリットの場所ビームロスが生じる様に設計した。ビームロスとしては、各スリットで 4% を仮定し、最大出力 (2.5 GeV, ビーム電流 50 mA, パルス幅 1 μs , 繰り返し 50 Hz) でも遮蔽体上部で 2 mrem/h とこえる様に、スリット上部では重コンクリート 2.5 m と他の場所では普通コンクリート 2.5 m が使用された。

3. ビームロスに伴う遮蔽体上部での放射線レベルの測定

定常運転が行われる様になって以降では、各スリットでのビームロスは設計値の 4% にくらべてはるかに低くなり、遮蔽体上部で中性子線量をビームロスと関連させて測定することは不可能に近かった。そこで、各セクション入口の Q マグネットを操作し、Q マグネット下流近傍で意識的にビームロスを生じさせ、コマモニターによりビームロスを測定しながら遮蔽体上部で中性子線量測定を行った。中性子線量測定には、レムカウンター ($\leq 20 \text{ MeV}$) とグラフィットを使ったカーボンディテクター ($> 20 \text{ MeV}$) を使用した。測定点としては、オ1セクター、オ3セクターおよびオ5セクターの入口近辺の3ヶ所を選んだ。最終エネルギー 2.4 GeV の運転状態であったので、それぞれ、0.48, 1.2, 2.15 GeV でのビームロスに相当する。オ1表に、各測定点でのレムカウンターの指示値とカーボンディテクターによる測定値の比を示す。電子のエネルギーにあまり依存せず、0.5 ~ 0.6 という値を示している。実測値と (1) 式を用いた計算値の比較は、ビームロスが拡がりを持っていったために正確にはできなかったが、停止後の残留放射能レベルを使って、分布したビームロスと数点の点状ロスに置きかえて評価を行った。結果をオ1図に示す。図から明らかになる様に、実測値が計算値の約 1/3 とヒョウている。もとの式が 15 GeV での測定から導かれたものであり、低エネルギー領域では過大評価の傾向があることを考えらるれば、比較的良い一致を示しており、(1) 式を設計式として使用したことは奇きで

あったといえる。しかし、より精度良い評価の爲には、数GeVの領域で、ビームロス場所での限り限定した測定を行って、線源強度や高エネルギー中粒子に対する平均自由行程を決定する必要がある。

(1) Jenkins, T.M. PEP Shielding Update, PEP-215, 1976

(2) Dinter, H and Tesch, K Dose and shielding Parameters of Electron-Photon Stray Radiation from High-Energy Electron Beam, Nucl. Instr. and Method, 143 (1977)349.

Table 1

	Carbon detector >20 MeV	Rem Counter <20 MeV	Carbon detector/Rem counter
No 2 Sector	0.08 mrem/h	0.15 mrem/h	0.53
No 3 Sector	0.46	0.76	0.60
No 5 Sector	0.68	1.12	0.58

Fig. 1
Comparison
between
measured and
calculated
dose rate above
overhead shield

