

II-1 SHIELDING DESIGN OF ETL TSUKUBA ELECTRON LINAC

Takio Tomimasu, Tsutomu Noguchi, Suguru Sugiyama

Tomohisa Mikado, Tetsuo Yamazaki and Mitsukuni Chiwaki

Electrotechnical Laboratory, Tanashi, Tokyo

The building in which a 500 MeV ETL electron linac and related experimental equipments are installed is going to be built in Tsukuba early in 1980. The photon and neutron dose estimation described here has been done for the shielding design of the experimental facility in which about a hundred kW beam (400 MeV x 250 μ A) is used. The two experimental rooms in the high energy experimental facility are going to be surrounded by thick concrete walls, iron ore, and earth. The only probable way for photons and neutrons to emerge is the roof of concrete 1.7 m thick and an auxiliary concrete block 2 m thick installed just above the target. The photon dose near the facility was estimated from the experimental data on photon skyshine from the electron linacs of Tohoku Univ., JAERI, and MIT, and the experimental data on the tenth value layers of concrete, iron ore, and earth obtained at our laboratory. The neutron dose equivalent on the roof and near the facility was estimated from the Oak Ridge data for 400 MeV electrons given by Alsmiller and Barish and the formula for neutron sky-shine given by Rindi and Thomas. The dose equivalent calculated from the Oak Ridge data is multiplied by a factor of 1/2 to fit the experimental data of MIT. The dose equivalent calculated from PEP215 overestimates by a factor of 8 when compared to the present result.

1 はじめに

電子リニアックの場合、遮蔽の対象となる放射線は発生量も多く透過力の大きな高エネルギーX線と中性子である。図1に示す1/10価層から明らかなようにX線の透過率は物質によって多少違いはあるが、X線のエネルギーが30 MeV以上になるとエネルギーには無関係に物質固有の値になるのに、中性子の透過率は中性子のエネルギーが70 MeV以上になると飛躍的に増大することがわかっている。このため電子リニアックからの

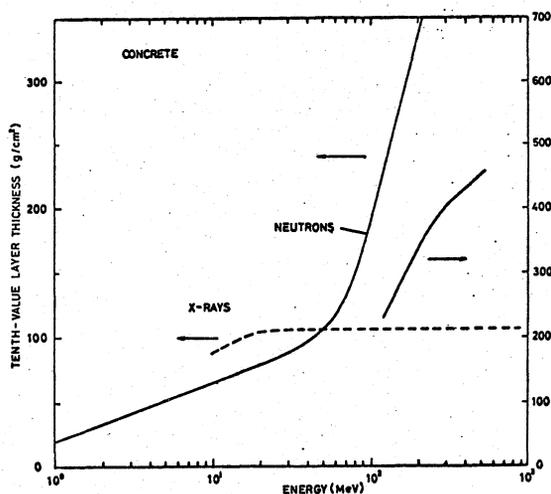


図1 X線や中性子に対するコンクリートの1/10価層

電子のエネルギーが 150 MeV 以下の場合には高エネルギー X 線の遮蔽に、150 MeV 以上の場合には高エネルギー中性子の遮蔽に重点をおいて設計した。

高エネルギー X 線の遮蔽計算の場合には、高エネルギー電子が加速管や真空配管などの

金属類に衝突して発生する X 線量の角度分布、高エネルギー X 線に漏洩線量がコンクリート、鉄、

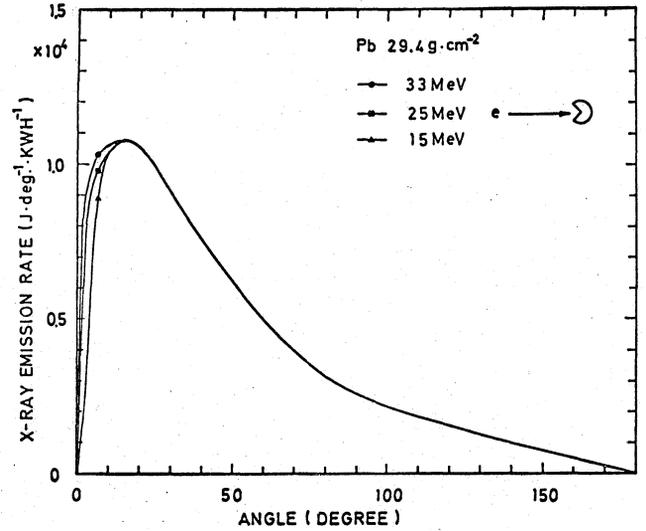
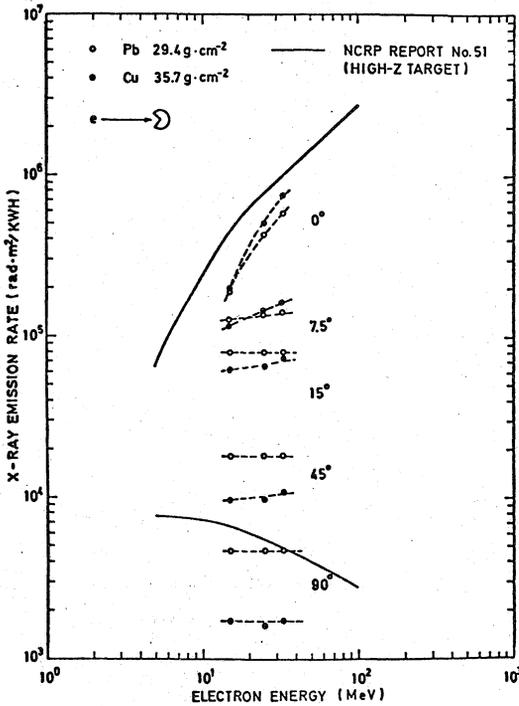


図2 X線発生率の電子エネルギー依存性 図3 X線発生率の放出角依存性

鉛などの各種遮蔽材中で減衰して 1/10 になる厚さ、すなわち 1/10 価層を用いて計算をおこなった。X 線発生率の角度分布と各種遮蔽材の 1/10 価層としては電総研の実験値または実験値からの推定値を用いた。

2. X 線発生率の角度分布

図2はX線発生率の電子エネルギー依存性をX線の放出角度別に示したものである。銅や鉛の標的として270°扇形標的が用いられ標的中の自己吸収率がどの放出角についてもほぼ一様になっている。図2から電子エネルギーの増加とともに発生率が増加するのは前方方向の僅かな角度内のみで、10°から90°までの角度では発生率は殆んど増加しないことがわかる。この点についてはNCRP Report No. 51のデータとは一致していない。

図3は鉛標的からのX線放出角方向1°当りに放出されるX線の発生率を示している。この分布曲線下の面積は全X線発生率を出しており、25 MeV電子の場合、扇形標的中の自己吸収を補正すると電子エネルギーの67%がX線に変換されていることがわかる。したがって、前方の10°以内はともかくとして、他の角度へのX線発生率は電子エネルギー

と共に大きく変らないことが予想できる。この項については別稿にて詳しく述べる。

3. 各種遮蔽材の 1/10 価層

図4は代表的なX線遮蔽材である鉛の 1/10 価層を示す。

NCRP Report No. 51 に引用されたデータ (▲, □, ○) は

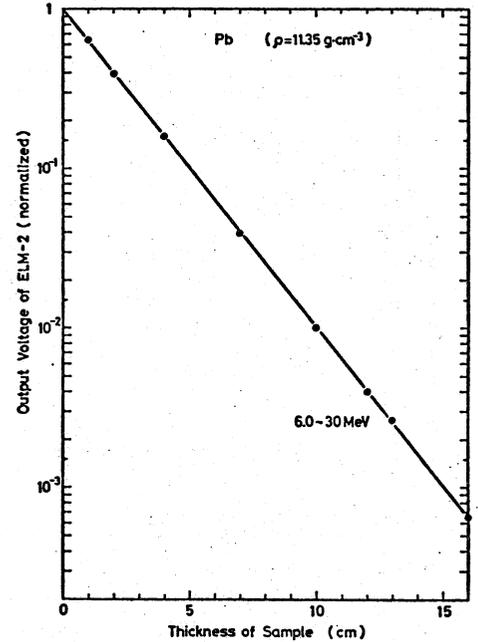
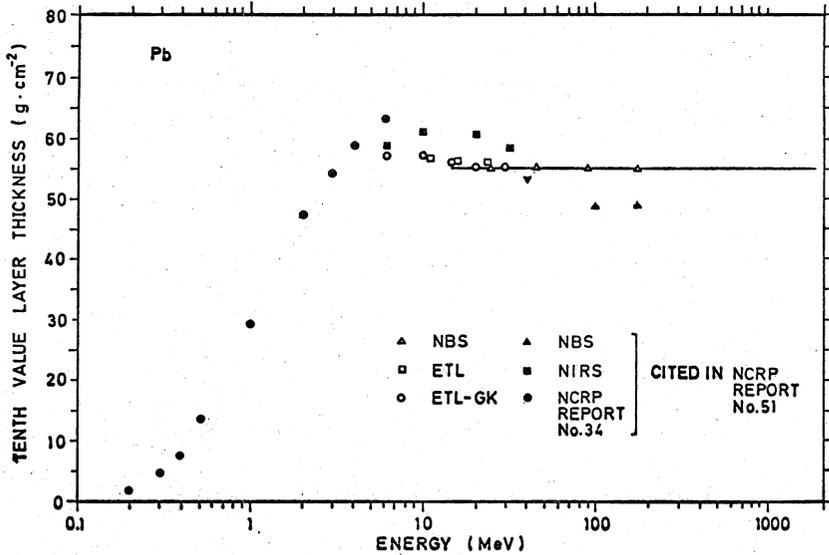


図4 鉛の 1/10 価層とその X 線エネルギー依存性

図5 鉛中での減弱曲線

1/10 価層が 20 MeV 以上の X 線に対してエネルギーの増加とともに減少することを示す。あるいはデータがばらついていたりした方が良いのかもしれない。このようなデータのばらつきはコンクリートや鉄などにもみられる。図4中の ▲, □, ○印のデータは遮蔽関係以外の雑誌に出版されたが、未出版のものであるが、これらのデータの一致は良好である。

図5は電総研と技研興業で測定された鉛による高エネルギー X 線の減弱曲線である。この測定については別稿で詳しく述べられるが、quasi-broad beam 条件で測定され

たもので、第1 1/10 価層、第2 1/10 価層ともほとんど同じ値を示している。そして 6 MeV 以上の X 線に対して同じ 1/10 価層を示す。

表1は各種遮蔽材の 1/10 価層 (TVL) を示す。E₀はこのエネルギー以上で 1/10 価層が表1に示された一定値になることを示している。これらのデータは電総研と技研興業で測定されたものである。

	DENSITY (g/cm ³)	TVL (at Energy ≥ E ₀)		
		(cm)	(g/cm ²)	E ₀ (MeV)
LOAM	1.14	95.5	109	30
SAND	1.8	60.0	108	30
NORMAL CONC.	2.26	47.0	106	25
AI	2.70	38.2	103	25
IRON ORE	2.60	31.5	81.9	25
IRON ORE+SAND	3.00	29.0	87.0	25
HEAVY CONC.	2.60	35.6	92.6	20
	2.81	32.5	91.3	20
	3.58	25.0	89.5	15
	3.96	22.0	87.1	15
Fe	7.80	10.3	80.3	10
Pb	11.35	5.01	56.9	6.0

表1 各種遮蔽材の 1/10 価層

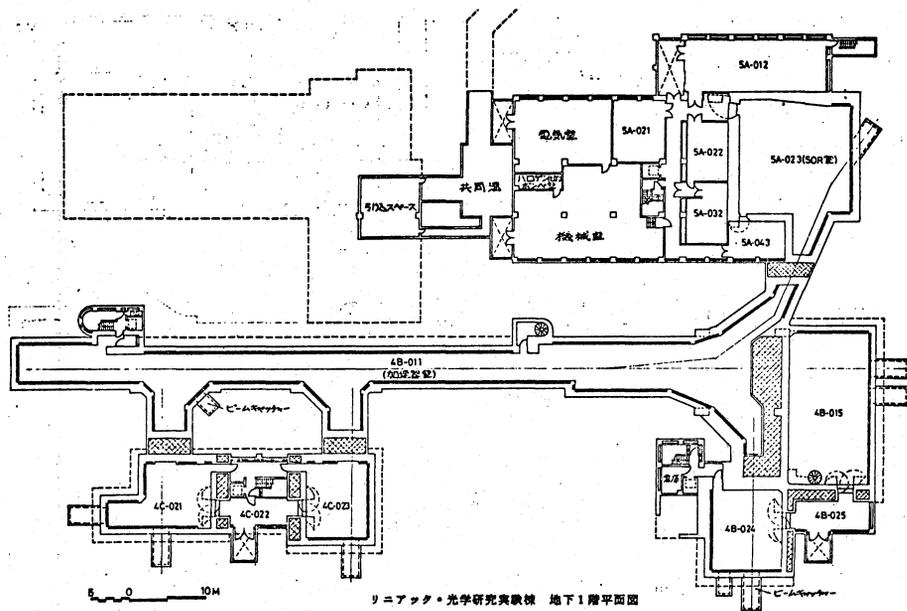


図6. 地下実験室の平面図

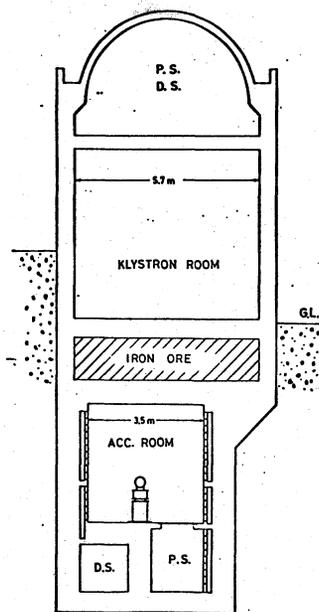


図7 クライストロン室と加速器室の断面図

4. 地下実験室の配置と使用電子ビームパワー

計画されている種々の実験の要求を満たせるように電子リニアックの電子ビームは5ヶの実験室に振り分けられる。現在の計画では低エネルギー実験室(4C-021, 図6)に20 kW (40 MeV x 500 μA), 中エネルギー実験室(4C-023)に40 kW (100 MeV x 400 μA), 高エネルギー実験室(4B-024)とパイ中間子実験室(4B-015)にそれぞれ100 kW (400 MeV x 250 μA)の電子ビームが送り込まれる。SOR実験室(5A-023)には300 MeV以上の電子ビームが0.2 kW送られる。それぞれのビームパワーはその実験室へ送り込まれる最大値である。低・中実験室の遮蔽計算では、送り込まれる電子のエネルギーが150 MeV以下であるので、高エネルギーX線の遮蔽、特に天井を通しての光子スカイシャインによる外部漏洩線量の推定に重点がおかれた。

5. 光子スカイシャイン

図8は、東北大¹⁾、原研²⁾、MITで測定された光子スカイシャインによるものと思われる漏洩線量分布である。東北大と原研の場合は電子ビームと方向と線量分布の測定方向との間の角度はわかっているが、MITの場合は明らかではない。東北大の場合、電子ビーム方向に近い方向では逆方向の場合の2倍近く漏洩線量が多く観測されている。原研のデータは実験室の近く過ぎるので、 $I(r) = 7.5 \times 10^3 Y^{-1.35} (\mu\text{rem/hr})$ の線の上にはのっているのは偶然の一致のように思える。MITのデータは実験室近くでこの線から大きく離れる。

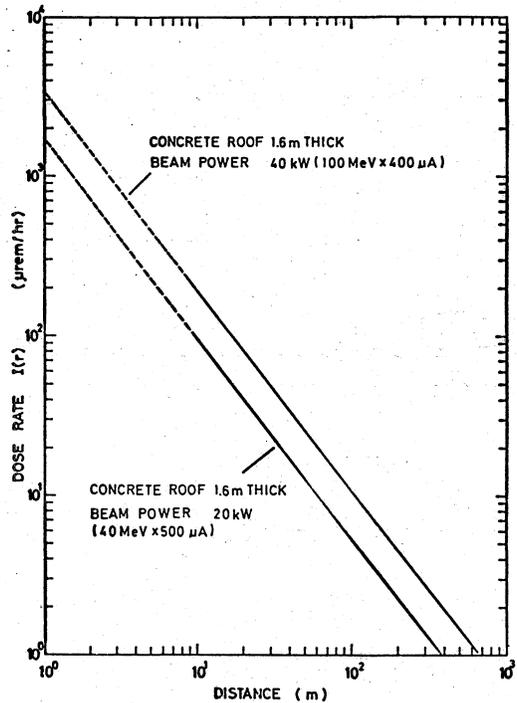
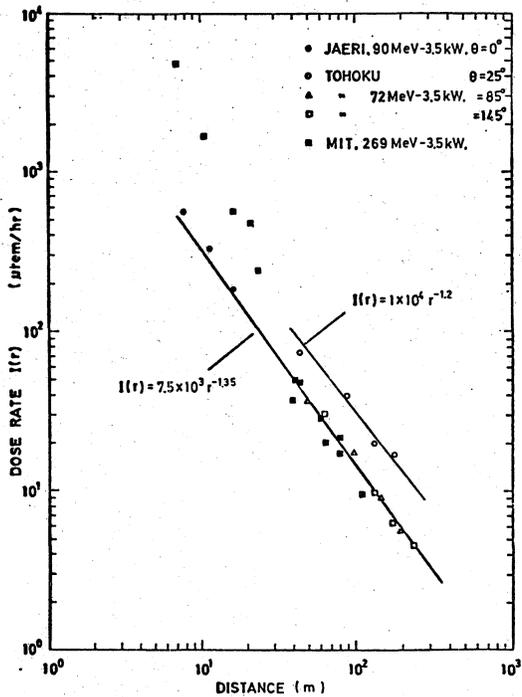


図8 光子スカイシャインによる漏洩線量

図9 低・中実験室からの漏洩線量推定値

図9は図8のデータと天井厚さの差、電子ビームパワーの比を考慮に入れて推定した低・中実験室からの光子スカイシャインによる漏洩線量分布を示す。

6. 中性子スカイシャイン

高エネルギー・パイ中間子実験室の遮蔽計算では、送りにまわされる電子のエネルギーが400 MeVにもなるので高エネルギー中性子の遮蔽、特に天井を通しての中性子スカイシャインによる外部漏洩線量の推定に重点がおかれた。

図10に示すように中性子スカイシャインによる漏洩線量率 $\dot{D}_S(r)$ は図中に示した Rindi-Thomas³⁾の式によって漏洩源である実験室の天井上における漏洩線量率 $\dot{D}(r)$ の分布を求めることにより計算される。天井上への漏洩線量率は Alsmiller-Barish⁴⁾等のモンテカルロ計算データを用いて推定することができる。

図11は400 MeV電子が厚い銅標的に入射してX線を発生させ、そのX線によって発生した高エネルギー中性子がコンクリートに入射したときの中性子

DIRECT NEUTRONS
ALSMILLER - BARISH

NEUTRON SKY SHINE
RINDI-THOMAS

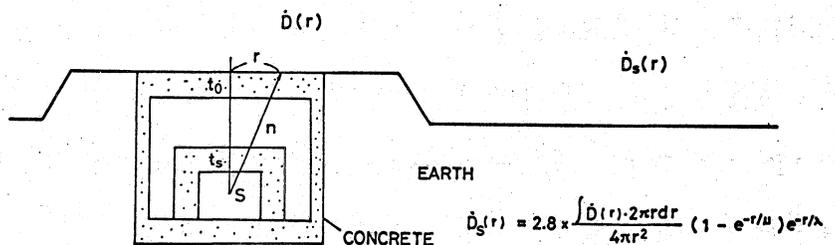


図10 天井上の漏洩線量率とスカイシャインによる漏洩線量率

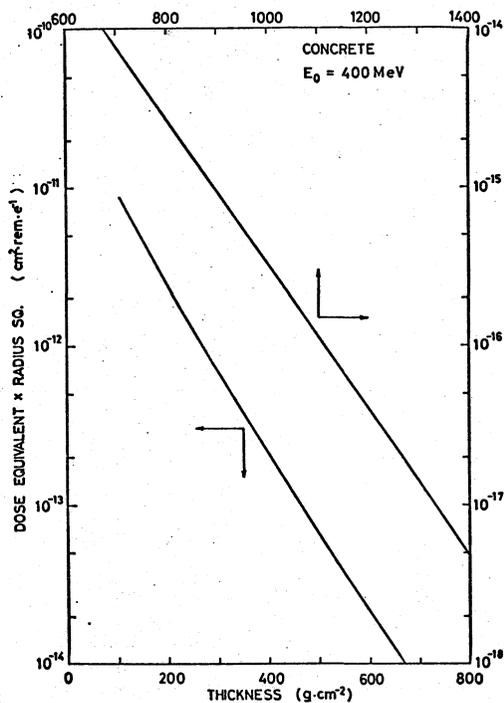


図11 400 MeV電子による透過中性子線量とコンクリート厚さとの関係

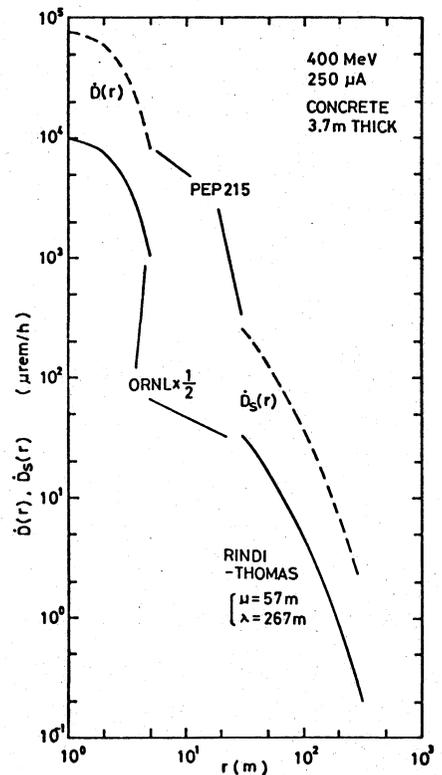


図12 高エネルギー・パイ中間子実験室からの漏洩線量推定値

透過線量とコンクリートの厚さとの関係を示す。⁴⁾最近のMITにおける中性子スカイシヤインの実測値によると、ORNLのAlsmiller等の計算方法で漏洩線量を算出すると実測値の2倍～3倍に過大評価することがわかっており、高エネルギー・パイ中間子実験室からの漏洩線量推定値としてはORNLの値の1/2を用いることとした。

図12にORNLの値の1/2とPEP215による漏洩線量分布とを比較した。後者は約2倍過大評価にはなるとわかる。

参考文献

- 1). 岡島 他. 大成建設技術研究所報 第3号 (1970)
- 2). 松井 智 他. 私信
- 3). A. Rindi and R. H. Thomas, LBL-3322 (1975)
- 4). R. G. Alsmiller, JR. and J. Barish, Particle Accelerator, 5, 155 (1973)