

# MIT-BATES LINAC における

## 269-MeV 電子ビームを用いた遮蔽実験

電総研, MIT-Bates Linac\* 山崎鉄夫, F.X. Massé\*

標記400-MeV 電子Linac施設において、中性子およびX線の(i)コンクリート透過、(ii)いわゆるスカイシャイン、および(iii)ダクトストリーミングの実験を行った。本稿では(i)について簡単に報告し、(ii)および(iii)については別の機会にゆずる。

ターゲットは直径76mm、長さ206mmの円筒状Feで、入射エネルギーの大部分がこれに吸収されるので、中性子やX線の発生時には実質的に無限大、それらの遮蔽体透過時には点状と見なし得る。これを図1のTARGET 1(あるいは2)の位置に置いて269MeV、 $16\mu A$  (325MeV、 $6\mu A$ )の電子ビームを照射し、“SPEC. ROOM”屋上(14” AREA屋上およびSPEC. ROOM内の厚い壁の横)にて線量測定を行った。X線線量はVictoreen社の“panoramic”サーベイメータ、中性子線量はCd添加ポリエチレン球BF<sub>3</sub>検出器(12”LiI Bonner sphere検出器)を用いて測定された。中性子検出器応答のエネルギー依存性は図2の如くICRP勧告の変換係数と異なるので補正が必要であり、それには測定場所での中性子スペクトルの形を知る必要があるが測定困難だったので以下の近似的な方法で推定した。

図3は400-MeV電子を厚いCuターゲットに照射した場合に120°~180°に放出される中性子の平均スペクトルと、269MeV電子照射の場合の60°~120°方向に放出される中性子のそれを示す。これらはGabriel<sup>(1)</sup>等のモンテカルロ計算の結果に内挿と平均化を施して求めた。両スペクトルの形が似ているので、同じ厚さのコンクリート透過後のスペクトルの形も上

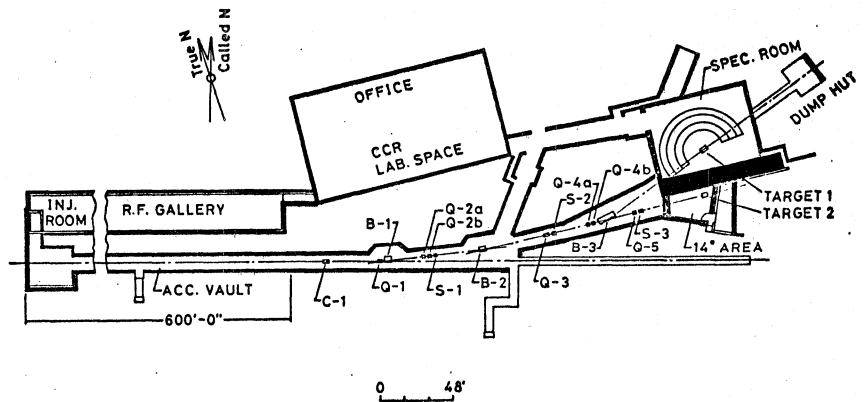


図1. Bates Linac平面図およびターゲット位置

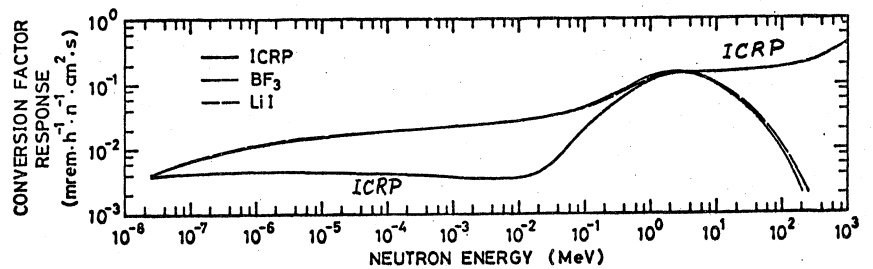


図2. 中性子線量計応答およびICRP中性子束線量変換係数

記二条件の場合殆ど等しいと考えられる。図4は後者について Alsmiller等<sup>2)</sup>の discrete-ordinates 法による計算結果例で、遮蔽コンクリート中の深さ  $305.7 \text{ g}\cdot\text{cm}^2$  でのものである。計算では約  $200 \text{ g}\cdot\text{cm}^2$  以降この形が殆ど変化しないので本実験の場合  $90^\circ$  方向では図2と3を用いて数値積分により当該スペクトルに対する検出効率  $\epsilon$  が  $\text{BF}_3$  で  $0.95$  ( $\text{LiI}$  で  $0.93$ ) と求まる。図5の実験点は線量計の読みを  $\epsilon$  で割り距離の二乗を掛けてコンクリートの有効厚さの関数としてプロットされた。  $90^\circ$  方向以外でも同じ  $\epsilon$  を用いたので、多少の誤差がある。

以上の議論によると  $269 \text{ MeV}$ ,  $90^\circ$  方向のコンクリート中での depth-dose の形は  $400 \text{ MeV}$ ,  $120^\circ \sim 180^\circ$  方向でのそれとほぼ等しい。図5の OAK RIDGE 1 は後者を Gabriel 等<sup>1)</sup>による発生中性子数でスケーリングした本条件の場合の depth-dose 曲線である。同図の MIT-LNS の曲線は Matthews 等<sup>3)</sup>が '67 までの実験データ(主として  $5\text{-GeV}$  電子を用いたもの)を総合して得た簡便式による。破線は Jenkins<sup>4)</sup>による 3-グループ式を本条件に適合するよう大幅に修正して 2-グループで計算した結果である。図5では Oak Ridge グループの計算が実験結果の数倍の線量値を与えている。原因の一つとして、コンクリート中の線量を求めている計算では後方散乱中性子も考慮されているのに対し実験では外で測定したのでそれが無いことが挙げられるが、これは factor 2 以下を説明するのみで factor 2~3 は依然として残る。図5の  $325 \text{ MeV}$  の点は粗い近似で  $269 \text{ MeV}$  の場合に "normalize" されたもので正確ではないが、  $859 \text{ g}\cdot\text{cm}^2$  の点が  $260 \sim 400 \text{ g}\cdot\text{cm}^2$ ,  $90^\circ$  の実験点を通り "MIT-LNS" に平行な線上にあることから、Oak Ridge グループの計算が発生中性子を過大評価し、コンクリート中の減衰を過大評価しているのではないかと考えられる。(しかし MIT-

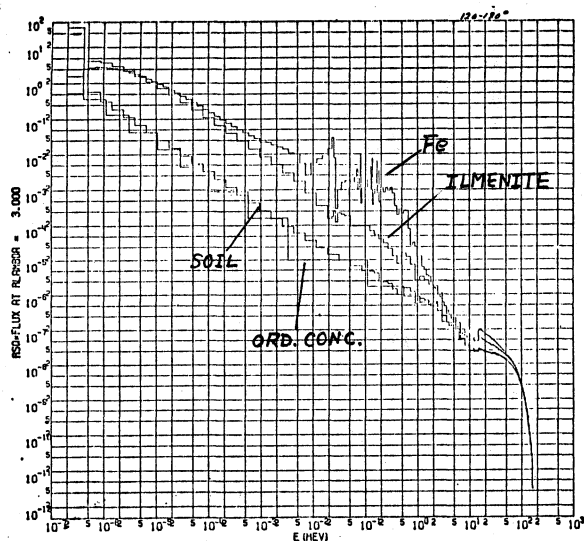
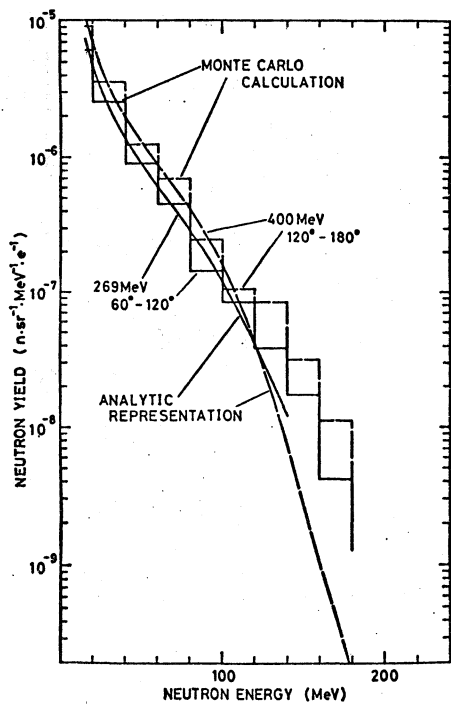


図4.  $400 \text{ MeV}$  電子照射 Cu ターゲットから発生する中性子の物質透過後のスペクトル。  $120^\circ \sim 180^\circ$  方向。コンクリートの場合深さ  $305.7 \text{ g}\cdot\text{cm}^2$ 。

図3. 電子照射 Cu ターゲットからの発生中性子スペクトル。

LNSの簡便式は900MeVの場合Oak Ridge計算の4倍以上の線量を与える。) 図4には90°以外の測定点もあるが、他のデータと比較するのは現在のところ困難である。

図6はX線線量についての同様な図であるが、90°以外の点がJenkins<sup>4)</sup>の近似式  $D(\theta) \propto (1 - 0.98 \cos \theta)^{-1.2}$  によって“normalize”されていることに注意を要する。SLAC1の直線はJenkins<sup>4)</sup>の式をビームパワーで269MeVの場合に“normalize”したもので、彼は最小吸収係数  $\mu = 0.024 \text{ cm}^2 \cdot \text{g}^{-1}$  を用い、深部では中性子捕獲γ線の寄与を考慮に入れた。しかしSLACでの実験結果はHubbel<sup>5)</sup>の表による  $\mu = 0.021 \text{ cm}^2 \cdot \text{g}^{-1}$  を用いても同様によく再現でき、それがSLAC2の直線である。本実験とはfactor 3.8の絶対値の相異があるが、本実験ではターゲット内での自己吸収が約60%あることを考慮するとfactorは1.5に下がる。残り50%の相異は大きなエネルギー差や実験条件の違いによるものであろう。X線線量の角度依存性はJenkinsの近似式より強い。理由は不明であるが、Tomimasu<sup>6)</sup>がCuターゲットに33-MeV電子を照射して同じ傾向の角度分布を得ていることを付記しておく。

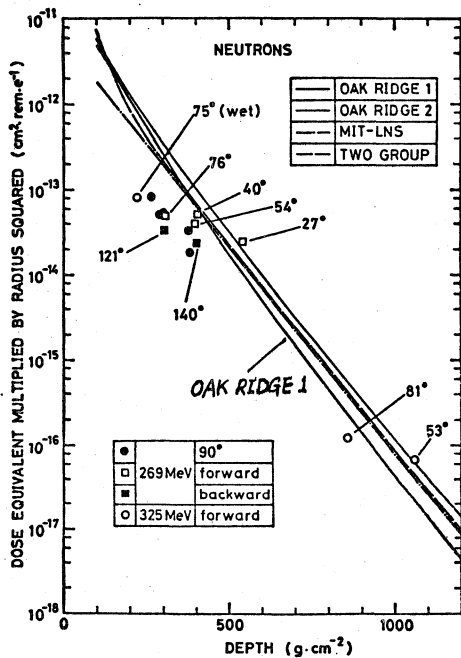


図5. 中性子 depth-dose.

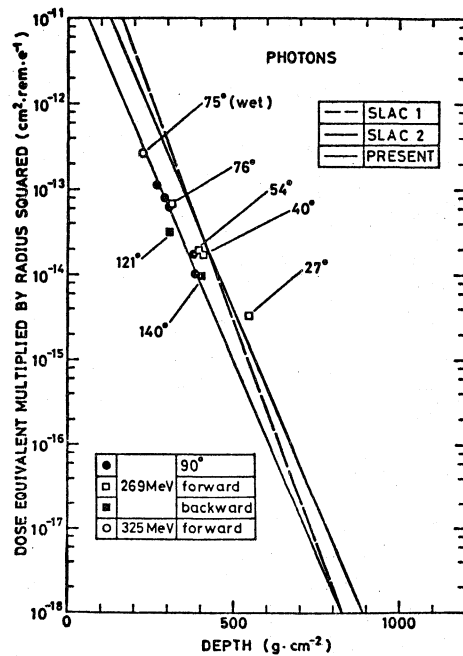


図6. X線 depth-dose.

- 1) T.A.Gabriel and R.G.Alsmiller, Jr., ORNL-4443 (1969); T.A.Gabriel, ibid. 4442 (1969).
- 2) R.G.Alsmiller, Jr. and J.Barish, Particle Accelerators 5, 155 (1973); R.G.Alsmiller, Jr., private communication.
- 3) J.L.Matthews and W.Turchinets, MIT-LNS Internal Report 117 (1967); W.Turchinets, ibid. 111 (1967).
- 4) T.M.Jenkins, Nucl. Instr. and Methods 159, 265 (1979).
- 5) J.H.Hubbel, NSRDS-NBS 29 (1969).
- 6) T.Tomimasu, Proc. 1978 Linac Meeting (Japan) (1978).