

C - 6 Energy-spectra of the fast and thermal neutrons
leaking from 35 MeV linear accelerator

Masaharu Hoshi, Kazuo Kato, Seiji Takeoka and Kenji Takeshita
Research Institute for Nuclear Medicine and Biology, Hiroshima University

ABSTRACT

The energy-spectra of the fast and thermal neutrons leaking from 35 MeV linear accelerator and 14 MeV neutron generator were obtained by using the ^3He fast neutron spectrometer. This spectrometer is an ion chamber filled with ^3He gas at a high pressure. This one is also sensitive to thermalized neutrons in spite of the cadmium and boron shield.

The characteristics of the spectrum altered remarkably according to the operating conditions of the accelerators and the measurement points. Then the neutron spectra were compared with each other and the leaking neutron spectra at several places were discussed.

1 序

今回の実験においては、1) ^3He 速中性子スペクトロメーターによつて中性子線のスペクトルを、ともかく得た上で、2) 漏洩中性子線スペクトルの施設内の場所における変化を考察し、3) 同じく、35 MeV リニア・アクセラレータ(最高37.5 MeV 電子線、X線)における、運転状況の違いにともなう変化を考察し、4) 同じく、検出地点に対する各種のシールドにともなう変化を考察した。以上の測定、及び考察は、今後の測定に対する初期的目標として、得られたスペクトルの各チャンネルにおける計数値の構成要素、即ち それらが 速中性子、熱中性子、X線なリシ線、及び同時計数、その他のいずれによつてもたらされるものであるかを決定する上で重要な参考資料をもたらすものである。

35 MeV リニア・アクセラレータ (NE LAC 4030 日本電気(株) - パリアン社製造・納入) は 昭和44年に完成し、以来主として研究モードでの利用が多く、安定して運転されている。参考のため用いた14 MeV 中性子発生装置は200 kV コックワフトワルトン型(東芝中性子発生装置 NG-1型)で $^3\text{He}(d,n)^4\text{He}$ 反応によるものである。施設の概略は Fig. 1-a, 1-b を参照された。

今回の測定により、速中性子線が施設内部における限られた地点においては、漏洩し検出されていること、及び漏洩する中性子線のエネルギー分布の実態を定める上で重要なデータを得ることができた。尚、測定において、発生装置の作動の再現によつてスペクトルに、充分良い再現が得られたことは、発生装置と測定装置に良い安定性のあることを示している。しかしながら、スペクトルの構成要素中に疑問点の残るものもありそれらは、今後の測定、考察によつて解決したと思ふ。

2 測定

測定に用いた ${}^3\text{He}$ 速中性子スペクトロメーター (Seforad社 FNS-1)は高圧の ${}^3\text{He}$ ガスをを用い、中性子の散乱及び $n + {}^3\text{He} \rightarrow {}^1\text{H} + {}^3\text{H} + 764 \text{ keV}$ なる反応によってエネルギーパルスを生ずる。エネルギーパルスを増幅した後400チャンネル波高分析器(400 CH. USE-EDS-34802 Tokyo Shibaura Electric Co., LTD.)を通してエネルギースペクトルを得た。このスペクトロメーターはCadmiumとBoronaシールドによって、熱中生子に対する感受性は弱められているが、それでも充分な検出効率を持ち、そのピークはエネルギー・キャリブレーション及び測定の安定性のチェックに役立つものである。尚、測定したスペクトルのエネルギー範囲は約90 keVから3.6 MeVである。又、熱中生子のピークにおける半値巾は約17 keVないしはそれ以上であった。

測定場所は漏洩してくると思われる経路に沿って35 MeVリニア・アクセラレータにおいては5ヶ所、14 MeV中生子発生装置においては7ヶ所にわたっている。(Fig. 1-a, 1-b 参照) 両施設において各々、最も典型的に速中生子、熱中生子を測定したと考えられる場所において 1) カドミ板 2) 鉛ブロック 3) 水 によるシールド効果を見た。さらに、両施設においてオプレーション・コンディションを変えることによるスペクトル上の変化を見た。特にリニア・アクセラレータにおいては、その電子線のエネルギーは35 MeVまで5 MeVごとに変えられるようにセットされているが、測定では主として10 MeVと25 MeVの電子線を用いてX線及び γ 中生子を発生させた。

3 測定結果、及びその考察

典型的なスペクトルをFig. 3に示す。これは35 MeVリニア・アクセラレータにおいて25 MeVの電子線を用い、場所② (Fig. 1-a 参照) において約30分間の測定で得られたものである。このスペクトルにおいて

- 1) 75チャンネル附近の高いピークは熱中生子によるものである。
- 2) 160チャンネル以上の計数は、ほとんど速中生子によるものである。
- 3) 75~160チャンネルにおいて階段上になっているのは熱中生子-熱中生子、或いは熱中生子-速中生子の散乱現象の同時計数によるものと考えられる。
- 4) 75チャンネル以下の計数は、熱中生子ピークのテイル部分と速中生子の散乱現象による計数から主として構成されている。

以上の考察はCd, Pb, H₂Oのシールド効果、計数率の変化による影響を通じて得ることができた。Fig. 2には典型的熱中生子スペクトルを示す。これは場所① (Fig. 1-a 参照) において床と検出器の間に5 cm厚の鉛をはさみ10 MeVの電子線をタングステンターゲットに照射して、約14分間測定して得たものである。場所①、②は共に照射室の真上の部屋であり、その間は約2 m厚のコンクリートで締められている。②においては、ラヤン階段におけるドアに接していて、1回のはね返りを通して速中生子がドア越しに飛来する可能性のある場所である。以下に測定したスペクトルの相互比較の例を幾つか示し考察していくことにする。

a) Fig. 4-aには14 MeV Neutron Generatorの位置②において得られたスペクトルを重ねて示してある。この施設には、中生子モニターとして中生子と同時に発生する α 粒子を検

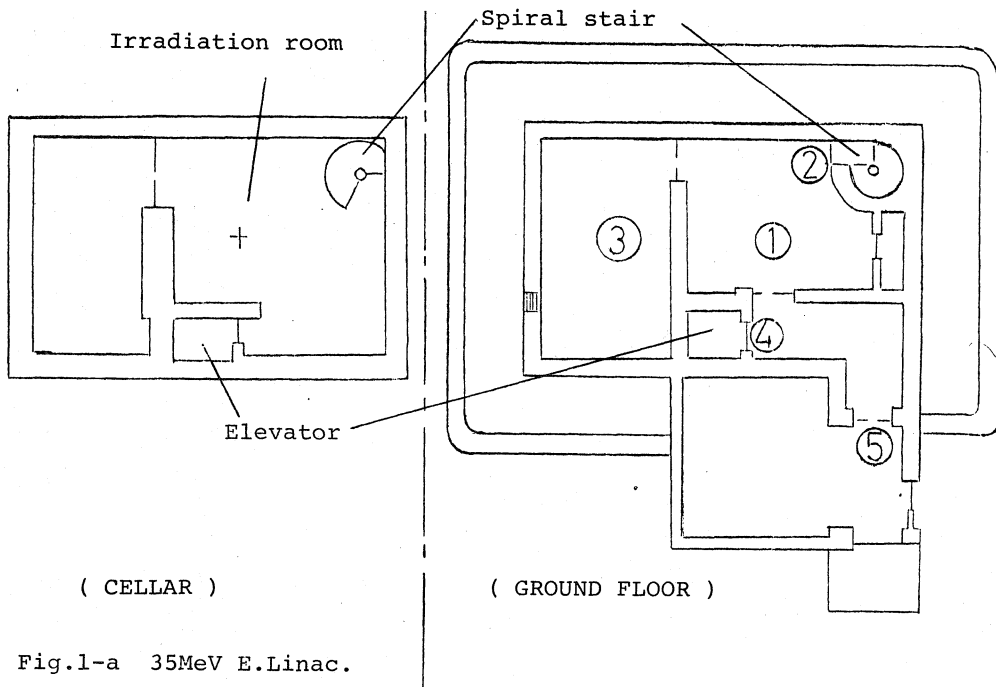


Fig. 1-a 35MeV E. Linac.

出するα-検出器
 - PHILIPS, BPY
 20-50 (冷極形電離
 真空計) があり、
 中性子発生数に換
 算されている。
 その計数率で約1
 Kcpm と、0.3 K
 cpm での測定を
 比較した。両者は
 同じ発生数に規格
 化されている。
 (i) 熱中性子の計
 数は計数率の低い
 方が高い。

(ii) 熱中性子のピーフチャンネルの約2倍
 の所(1kcpm)ではピーフがあるが、0.3k
 cpmではなくなっている。約75~160
 チャンネル間の計数も0.3kcpmの方が少
 なくなっている。

b) Fig. 4-b には35 MeV リニア
 アクセラレータ (35 MeV E. Linac)
 の施設内の位置②において電子ビーム
 (10 MeV, 及び 25 MeV) をタングステン
 ターゲットに照射している時のスペクトル
 を示した。35 MeV Linac ではX線検出
 用のイオン・チェンバーによってターゲットより
 1 m下部での線量が換算表示されている。
 この図では、約6.4 kradの照射量でのス
 ペクトルとして規格化されている。上述
 のイオンチェンバーの計数率は約100倍だ
 け25 MeVの場合の方が高い、しかし熱中
 性子の同時計数は10 MeVの方が多く、速中
 性子は検出されていないのではないかと考
 えられる。これは、10 MeVのビームにお
 いて発生した中性子のエネルギーが25 MeV
 の場合と比べて低く②に達する以前にス
 ロウダウンしてしまうからではないかと考
 えられるが両スペクトルの相違を明らか
 にするには、多くの解決すべき問題がある

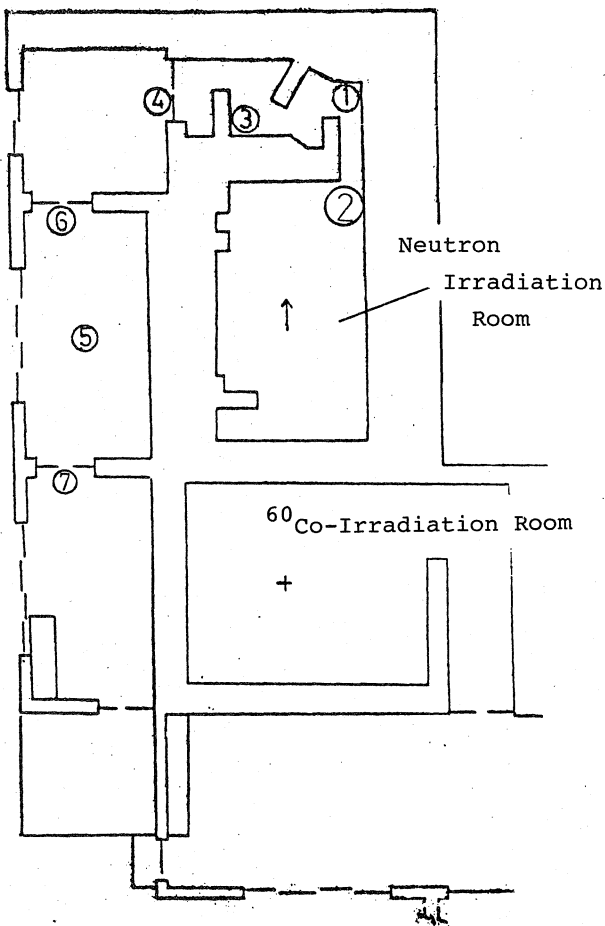


Fig. 1-b 14MeV Neutron Generator

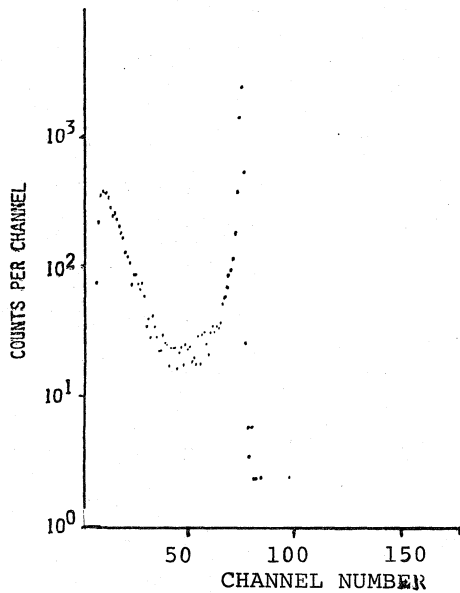


Fig. 2 Thermalized Neutron Peak

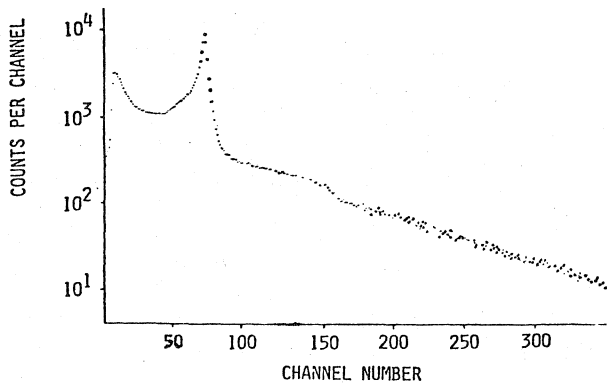


Fig. 3 Typical Fast and Thermalized Neutron Spectrum

と考えられる。特に、中性子発生源が タングステ
ンターゲット以外に主として存在と考えられる以上
この相互比較を、このターゲットから発生する X線
量において行なうことに問題があると考えられる。
(タングステンターゲットを入れた場合と、抜いた
場合で、他の状態は全く変えずに同時間、場所②で
測定したスペクトル上の全てのチャンネル当りの計
数が誤差の範囲内で一致した。)

と) Fig. 4-c には 35 MeV Linac 施設の位置
②における測定でドア方向に対し検出器を各種シ
ールドした結果の比較を示す。ビームエネルギーは
全て 25 MeV で、ビームカレントも同じ状態にし、同
時間の測定を(上述のイオンチェンバーの計数も同
じ) したものである。ただし ^3He -検出器は床上約 50
cm の位置に固定した。Control 1 は Cd(1),
Cd(2) (1 mm 厚のカドミウム板, 1 枚及び
2 枚で検出器を包むようにシールド) 及び
Pb (5 cm の鉛ブロックでドアと検出器の
間を遮断) に対する比較とするものである。
Control 2 は H_2O (1), H_2O (2) (15 cm 厚の
水を満たしたポリタンクを 1 個 及び同型
のもの 2 個で遮断) に対する比較となるも
ので、Control 1 の場合より、10 cm 程度
ドアから遠ざかる位置での測定である。

(i) カドミウム・シールドが厚くなるにつれ

て、熱中性子ピークは低くなっていくが、パイル・アップ部分の減少も含めて 2 枚目のシ
ールドの効果は 1 枚目ほど大きくなり、これは、2 枚目のシールドが 検出器に密着せず
なまけていたためではないかと考えられるが、カドミウムの特性として熱中性子は強く遮
断される。 (ii) Pb では熱中性子ピークは全く変わらなかったが、他の部分は全て減
少している。これはドアからほぼ直線的に飛来すると考えられる速中粒子が Pb によ
り止められるためと考えられる。 (iii) Control(1) と(2) の形の相違から 同じ部屋でも その位
置のわずかな相違が 大きく 中粒子の飛来数 並びにそのエネルギー分布に差を
示している。 (iv) H_2O (1), (2) において、その熱中性子ピークの高さは Control(2) のそれ
とほぼ同じであるが、速中粒子の水によるスロー・ダウンの様子が明らかになっている。

d) Fig. 4-d には 14 MeV 中粒子発生装置の施設内の場所の変化によるスペクトル上
の違いを示す。ただし発生率の違いがあるので Fig. 4-a に見られるような相違を考慮し
なければならぬ。各番号は Fig. 1-b における場所を示す。①は 3 kcpm ②は 0.3 kcpm
である。発生率は 1 検出器によるものであり、その全発生数を同一とする規格化を行な
ったが、③~⑥では 熱中性子ピーク以上のエネルギーの計数はほとんど無く、
熱中粒子の計数は、 ② → ① → ③ → ④ → ⑥ → ⑤, ⑦ (⑤と⑦はほとんど同じ) の順に、

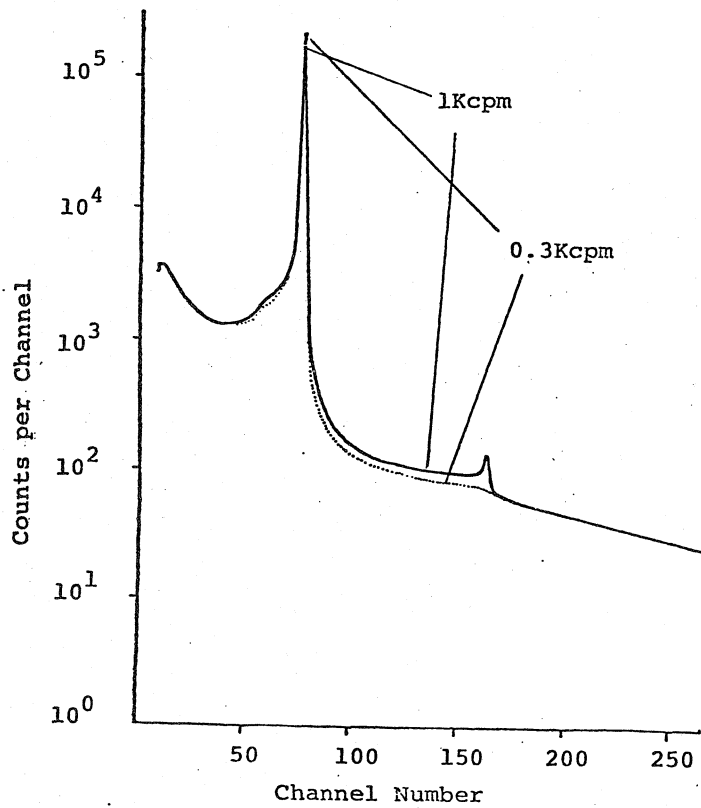


Fig. 4-a 14MeV Neutron Generator

〈計数率の変化での比較. Position②〉

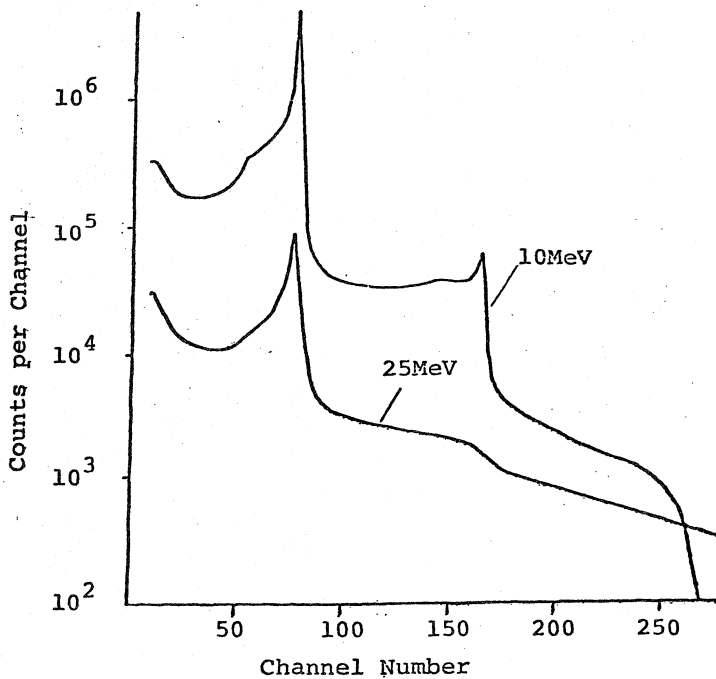


Fig. 4-b 35MeV E.Linac

〈ビーム・エネルギーの変化での比較 Position②〉-213-

減少しているのがわかる。(Fig.1-b 参照)

e) Fig. 4-e には 35MeV E. Linac での場所の変化に伴う変化を示す。これは 25 MeV ビームで同一の発生率、発生数における比較である。各々の数字は場所を示す。(Fig.1-a 参照)

③, ④ において 3 重の同時計数と考えられる階段上のスペクトル (約 160 チャンネルから 240 チャンネル) が見られるが、これは、これらの測定が全て高いビームカレントの照射状態で行われたことによる。また ① においてはそのスペクトルの内部に 160 チャンネル附近に頂点を持つ山を含んでいると考えられる。発生率を下げた場合には 75 チャンネルから 160 チャンネルにかけてのピイルアップ部分が減少し、はっきりとその山が確認された。又、ビーム・エネルギーを 10MeV にしたら、その山の頂点は熱中性子ピークより少し低いチャンネル位置まで移動し、その形状は、ほとんど変わらなかった。その山の部分の計数は、ビームエネルギーに対応して、そのエネルギーを変える X 線、γ 線、β 線であろうと考察した。このことは、① の場所で約 5 cm だけ床から検出器を引き上げ、固定し、その間に 5 cm 厚の鉛ブロックを置いた場合と置かなかった場合で、前者においては、その山は見えなかったが、後者では変わらず存在したことから推察される。少なくとも、その山の計数を生ずる粒子は 5 cm 厚の鉛でストップし、広いエネルギー分布を帯びているが、 ^3He -検出器においては充分な分解能を有しないものであると考えられる。いずれにしても ① において中性子スペクトルを得るには、この山の部分を差し引くための実験、解析を

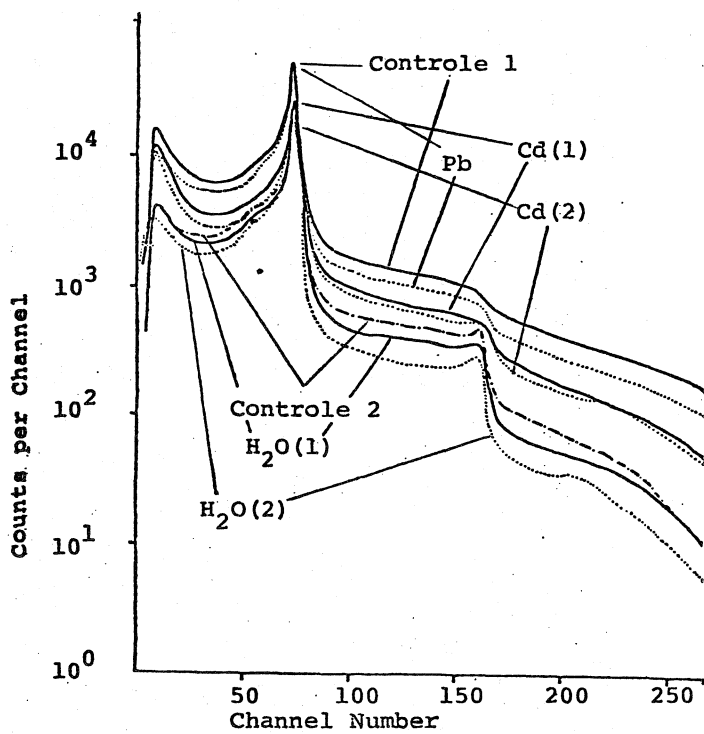


Fig. 4-c 35MeV E.Linac.

〈各種シールドの効果 Position ②〉

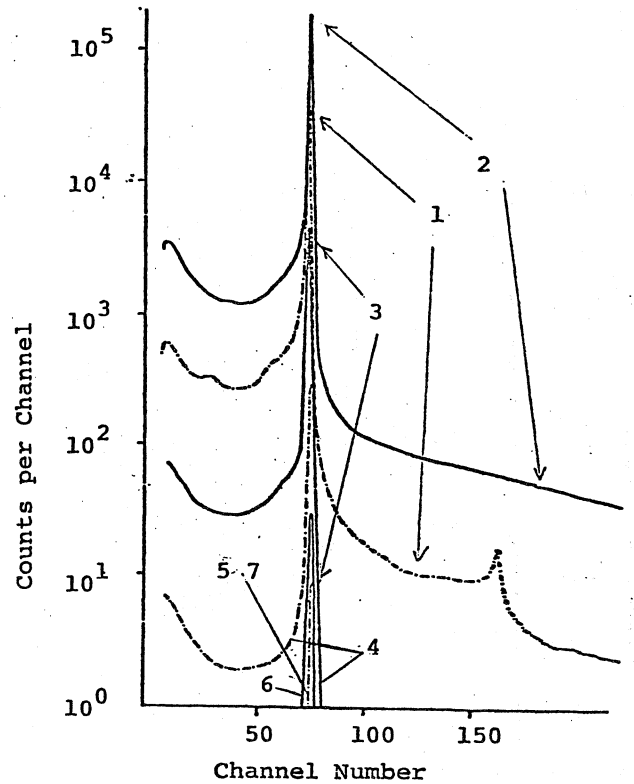


Fig. 4-d 14MeV Neutron Generator

〈場所による変化〉

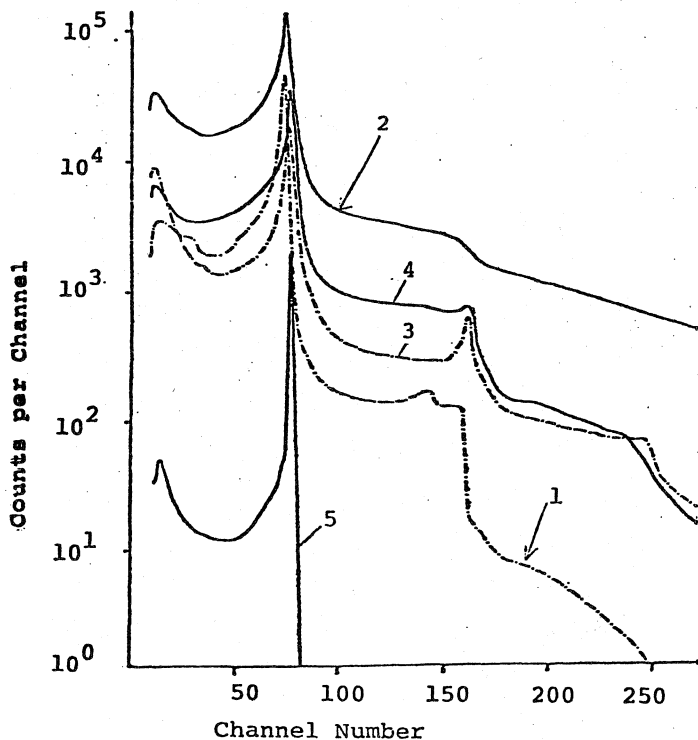


Fig. 4-e 35MeV E.Linac.

〈場所による変化〉

必要とする。しかしながら、その山は25 MeVでは熱中性子ピークより高いチャンネル位置に存在することが確認されているため、熱中性子ピーク部分の比較は行なえる。今後は、弱いビームカレントで安定した測定を行ない各場所における漏洩中性子のエネルギー分布を求めたい。さらに35MeV E. Linacの照射室内において直接飛来の速中性子線のエネルギー・スペクトルを求め、各ビーム・エネルギー、及びビームカレントに対応した中性子線のエネルギー分布を求め、この施設の広範な使用に役立てたい。