

研究論文

UTR-Kinki における Feynman- α の実験

丹羽 健夫, 東条 隆道, 小貫 敏幸,
安井 康夫, 田中 浩史, 中村 勝一

Abstract

FEYNMAN- α EXPERIMENT on UTR-Kinki

Takeo NIWA, Takamichi TOJO, Toshiyuki KONUKI,
Yasuo YASUI, Hiroshi TANAKA, Katsuichi NAKAMURA

Prompt neutron decay constant α on UTR-Kinki was measured by Feynman method.

In this study, the construction of gate pulse generator must be completed in order to use the instruments that were already in possession.

The gate pulse generator was set up of the trigger pulse generator, constructed with unijunction transistors and silicone control rectifiers, and the start-stop pulse generator, constructed with monostable multivibrators.

Using the set, Feynman method could easily be applied to UTR-Kinki.

And values of α for various reactivity ρ are obtained as follows,

ρ ($\% \delta k/k$)	α (sec^{-1})
-1.988	219.678
-1.409	150.534
-0.837	126.124
-0.553	119.817
-0.268	83.902

From this result, the value of β/l was obtained as 68.166 (sec^{-1}) by means of interpolation the value of ρ to zero.

I 緒 言

即発中性子崩壊定数, 原子炉伝達関数など原子炉に関する情報を得る手段の一つに, "炉雑音解析法" がある。本研究は特殊な装置を必要とせず, 近畿大学原子炉 UTR-kinki にも充分適用できる Feynman α 法を用いて, 即発中性子崩壊定数 α 及び β/l を求めたものである。

実験にあたり, 既有的 BF_3 検出器, ユニバーサル・カウンター-TR-5178 を使用するため, 任意のゲート時間を得るためのゲートパルス発生装置を製作する必要があった。

II 理 論

Courant らは遅発中性子を無視した場合, 体系に存在する中性子数の分散と平均の比は

$$\frac{\overline{N^2} - \bar{N}^2}{\bar{N}} = 1 + \frac{k_2 - k}{2(1-k)} \quad \dots\dots(1)$$

であることを示した⁽¹⁾。ここで k は増倍係数, k_2 は中性子の一個の消失により生れる中性子の二乗平均である。

体系が非増倍系で, $k=0$ なら k_2 も零で $\frac{\overline{N^2} - \bar{N}^2}{\bar{N}}$

=1 となり、ポアソン分布の特性を示すこととなる。即ち(1)式の第二項は増倍系で、 k と k_2 が等しくないことによるゆらぎの増大を示している。このポアソン分布からのずれを測定することによって、炉定数を決定することができる。

Feynman は、未臨界の中性子増倍系が中性子源によって定常状態を保っているとき、一定時間間隔 Δt で検出器により検出されるパルス数を C としたとき、分散と平均の比は、

$$\frac{C^2 - \bar{C}^2}{C} = 1 + \epsilon \cdot \frac{\nu(\nu-1)}{\nu^2} \cdot \frac{(1-\beta)^2}{(\beta-\rho)^2} \left(1 - \frac{1-e^{-\alpha\Delta t}}{\alpha\Delta t}\right) \quad \dots\dots(2)$$

であることを示している⁽²⁾。ここで、 ϵ は検出器の検出効率、 ν は一回の核分裂で放出される中性子数である。

(2)式で

$$\frac{C^2 - \bar{C}^2}{C} - 1 = \phi(\Delta t) \quad \dots\dots(3)$$

とおき、

$$\epsilon \cdot \frac{\nu^2 - \bar{\nu}}{\nu^2} \cdot \frac{(1-\beta)^2}{(\beta-\rho)^2} = K \quad \dots\dots(4)$$

とおけば、

$$\phi(\Delta t) = K \cdot \left(1 - \frac{1-e^{-\alpha\Delta t}}{\alpha\Delta t}\right) \quad \dots\dots(5)$$

を得る。

ができる。又種々の制御棒の位置に於ける α を求め、横軸を反応度 ρ に取り、たて軸をそれに対応する

$\alpha \left(= \frac{\beta - \rho}{\ell} \right)$ を取ってプロットした時、それらを直線で結び $\rho=0$ の点に外挿すれば β/ℓ を求めることができる。

Ⅲ ゲートパルス発生装置の製作

ユニバーサルカウンタ TR-5178 を Δt に一致した任意のゲート時間で働かせるためのゲートパルス発生装置を製作した。

ゲートパルス発生装置はゲート巾が容易に変換でき回路構成も簡単であることから、モノスティブルマルチバイブレーター、単接合トランジスタ(UJT)、シリコン制御整流子(SCR)とその組合せにより基本回路を製作した。

ユニバーサルカウンタ TR-5178 のゲート回路を働かせるための最小条件は表1のとおりであった。スタートパルス発生回路は図1に示したとおりで、これにトリガーパルスを加えたときの出力パルス(スタートパルス)は、パルス巾 $0.6 \mu s$ 、パルス電圧 $4 V$ 、立上り時間 $0.12 \mu s$ 、極性負で充分最小条件を満足し、しかも、パルス巾、立上り時間が短いことというスタートパルスとしての要求も満足できるものであった。

表1 ゲートコントロール回路入力最小条件

	パルス巾	パルス電圧	立上り時間	極性
スタート入力	$0.1 \mu s$	$2 V$	$0.04 \mu s$	負
ストップ入力	$0.3 ms$	$4 V$	$0.04 \mu s$	負
リセット入力	$0.4 ms$	$2 V$	$0.2 \mu s$	負

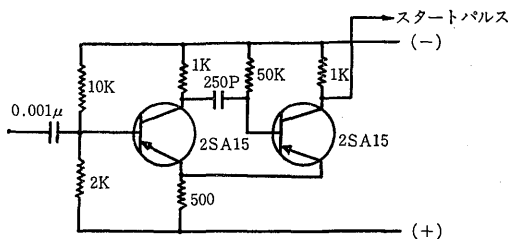


図-1 スタートパルス発生回路

(5)式は、 Δt を大きくして行けば、飽和特性を持ち、この飽和値が K であることを示している。このようにして K を求めれば、種々の Δt に対する $\phi(\Delta t)$ の値をプロットして得られる曲線から α を求めること

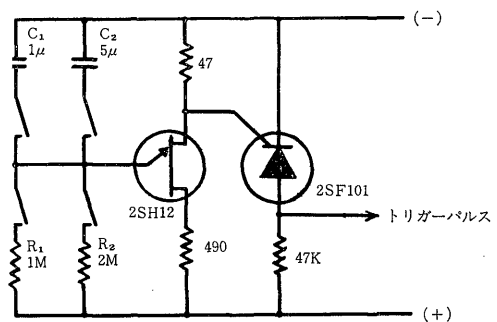


図-2 トリガーパルス発生回路

モノスティブルマルチバイブレーターを繰返して動作を行わせるためのトリガーパルス発生回路は、単接

合トランジスタ(UJT)とシリコン制御整流子(SCR)とを組合せたもので、その回路は図2に示したとおりである。これにより得られたトリガパルスは、パルス電圧4V、パルス巾2.0msec、立上り時間200nsecであった。

ストップパルス発生回路は、図3に示した通り、ゲート時間 Δt を作るための時間遅れ回路を含むものとした。この出力パルス(ストップパルス)は、パルス巾0.4ms、パルス電圧4V、立上り時間0.2 μ sであった。

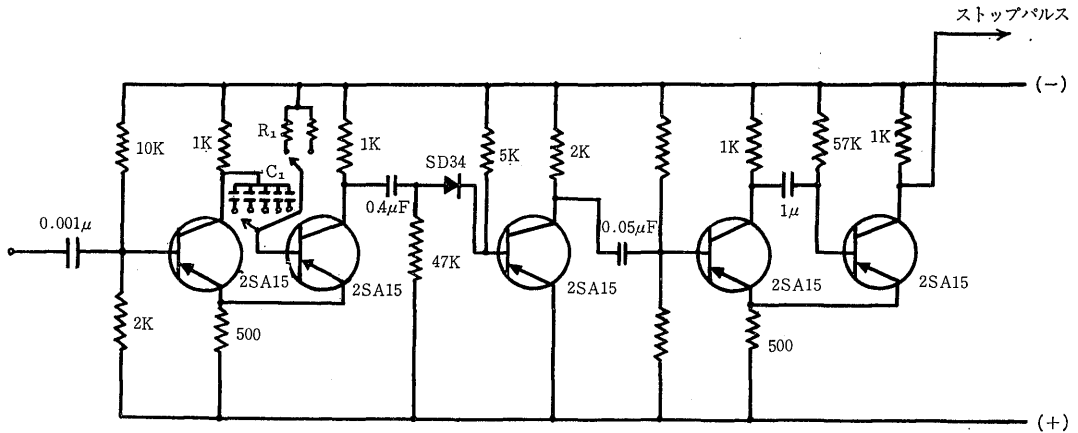


図-3 ストップパルス発生回路

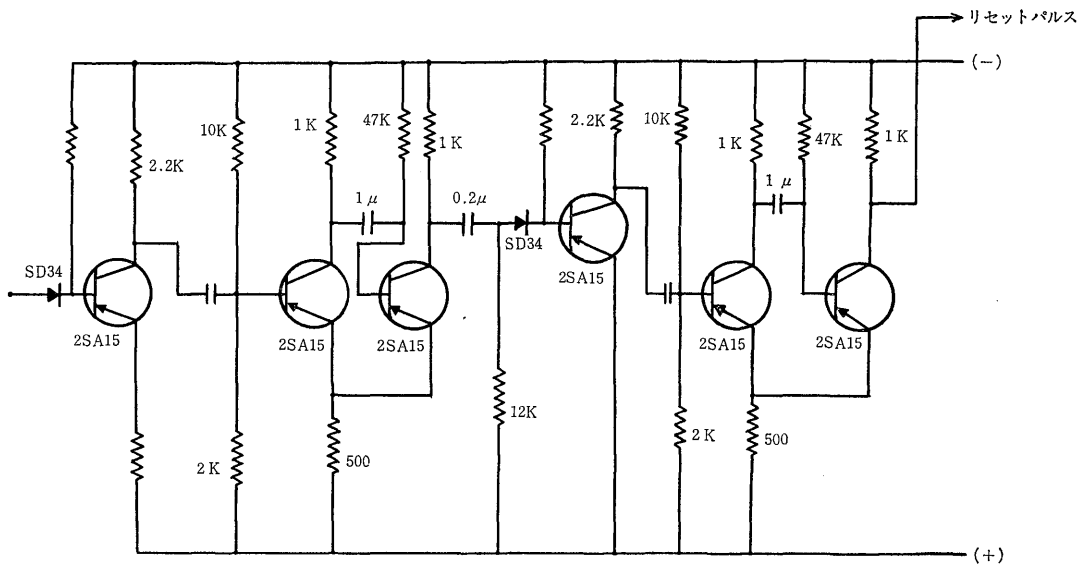


図-4 リセットパルス発生回路

リセット回路は図4に示すとおりであり、この出力パルスは、パルス巾0.6 ms, パルス電圧4 V, 立上り時間0.2 μ s, であった。

TR-5178のゲートコントロール回路は、フリップフロップ回路となっているので、上のスタートパルス、ストップパルスをここに加えることにより、図6に示

すようにゲート時間 t を得ることができる。

図3の C_1 , R_1 を種々かえることにより、ゲート時間をかえることができる。用いられたゲート時間は表2に示したとおりである。

くり返し時間は、UJT発振回路のC, Rの組合せをかえることにより変化させることができる。

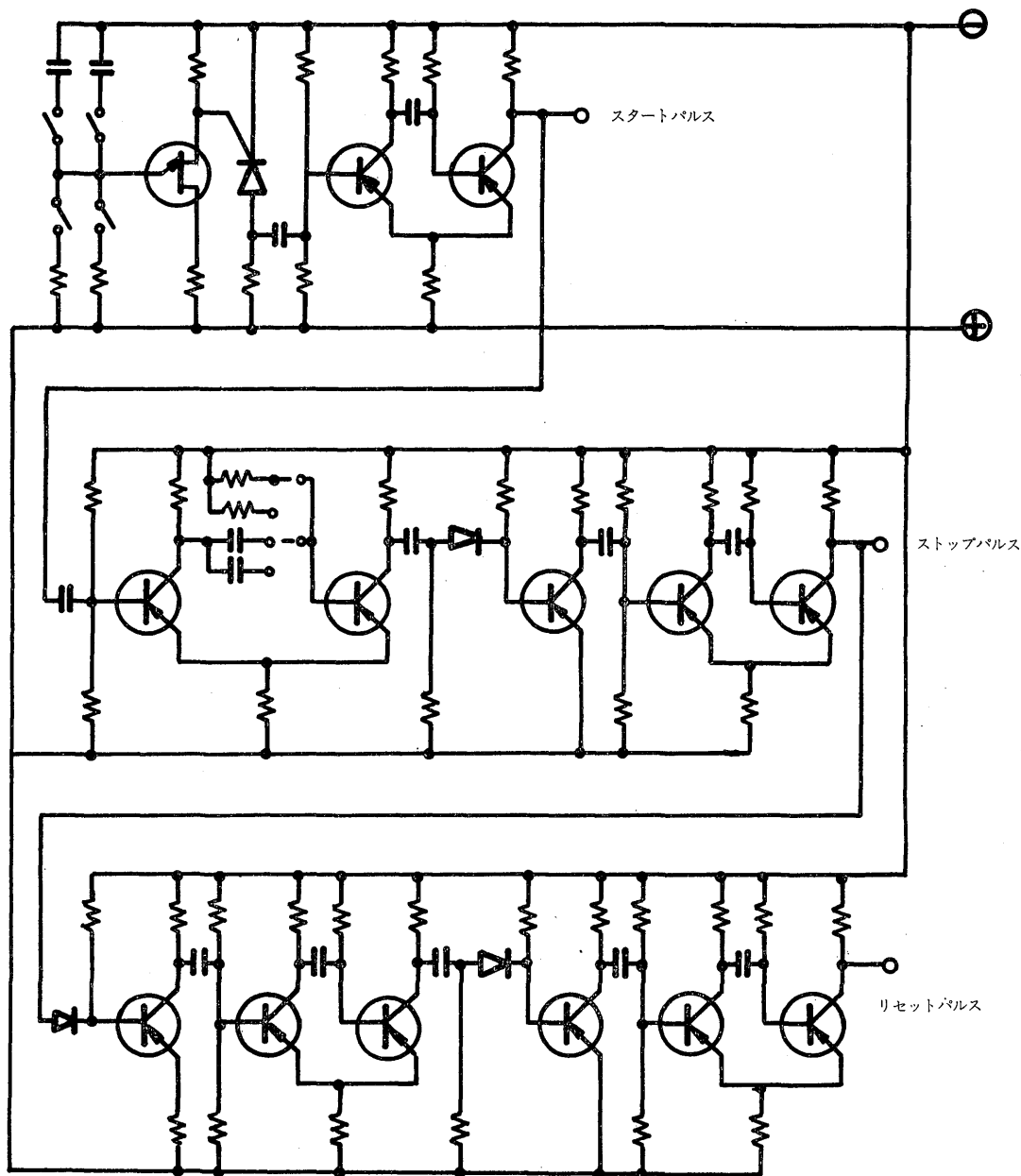
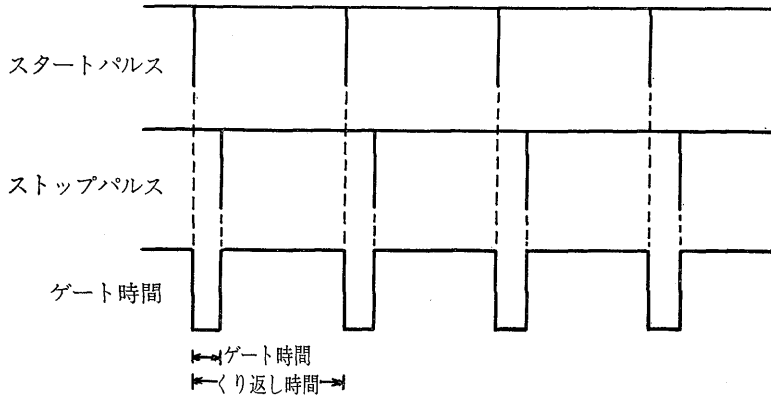


図-5 ゲートパルス発生回路



図—6 スタート、ストップパルスとゲート時間の関係

表2 C_1R_1 の組合せによるゲート時間 (sec)

R_1 \ C_1	0.5 μ F	0.7 μ F	1.0 μ F	1.1 μ F	3.0 μ F	5.0 μ F
29K	0.0053				0.0455	
47K	0.0097	0.019	0.0372	0.0215	0.0838	0.2067
100K	0.0235	0.0304	0.0935	0.0511	0.2012	

Ⅵ 実験方法

実験のブロックダイアグラムは図7に示したとおりである。

ここに使用された機器はつぎのとおりである。

(1), BF_3 カウンター 三菱 ND8122型

(2), プリアンプ 東芝 UAA21101型

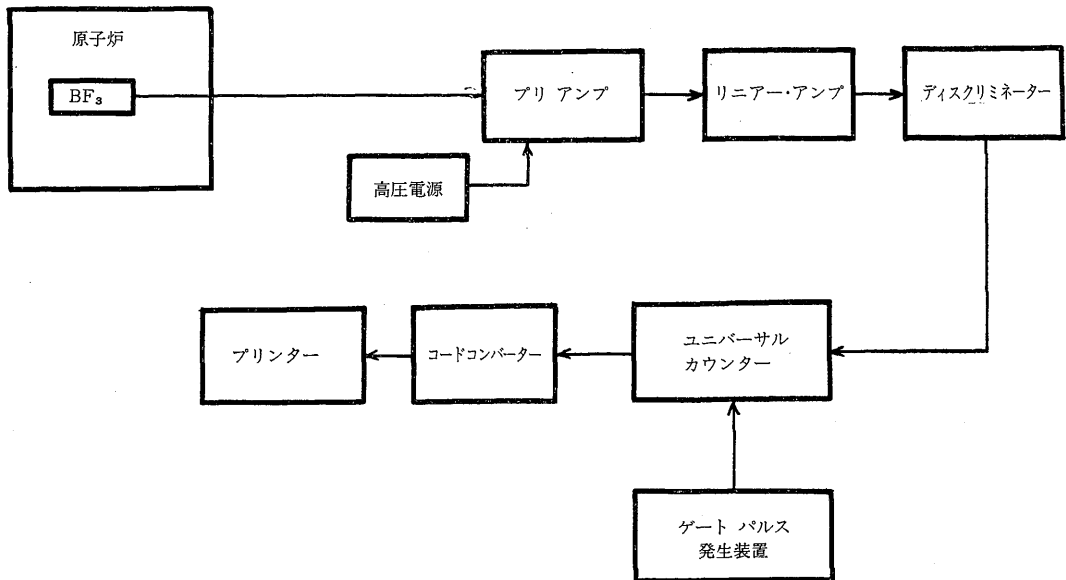
(3), リニアアンプ 東芝 UAA21201型

(4), 高圧電源 ジョンフルーク 415B

(5), ユニバーサルカウンター

タケダ理研 TR-5178

(6), コードコンバーター



図—7 実験のブロックダイアグラム

東京原子工業 S-248

(7), プリンター 東芝 ST-2260B

実験は、既に報告されている原子炉 UTR-kinki⁽³⁾を用い、中性子源を持ち込まず、減速材中に含まれる重水素と燃料中に含まれる核分裂物質からの γ 線による (γ, n) 反応で生ずる光中性子により定常状態にある未臨界で行った。各ゲート時間での計測回数は約1000回であった。

測定は次の5つについて行った。

- I, すべての制御棒を完全に挿入した場合
- II, 安全棒 #1 のみ引抜いた場合

III, 安全棒 #1, #2 を引抜いた場合

IV, 安全棒 #1, #2 を引き抜き、シム安全棒を半分引抜いた場合

V, 調整棒のみ挿入した場合

なお BF₃ 検出器は、中央ストリンガーを引抜いた空孔に挿入した。

V 結 果

横軸に Δt を従軸に $\phi(\Delta t)$ をとってプロットしたのが図8-1~図8-5である。

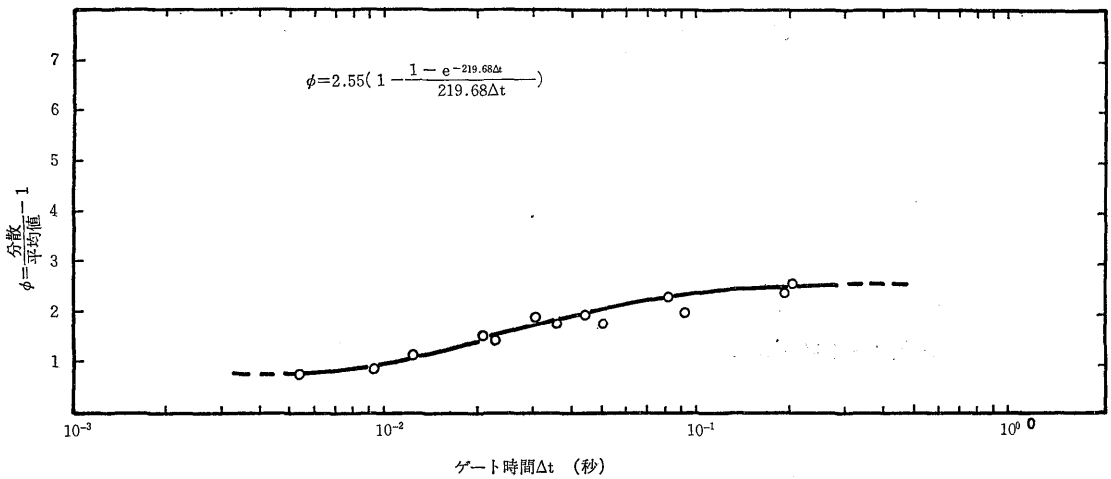


図8-1 ϕ と Δt の関係, I ; すべての制御棒を完全に挿入した時

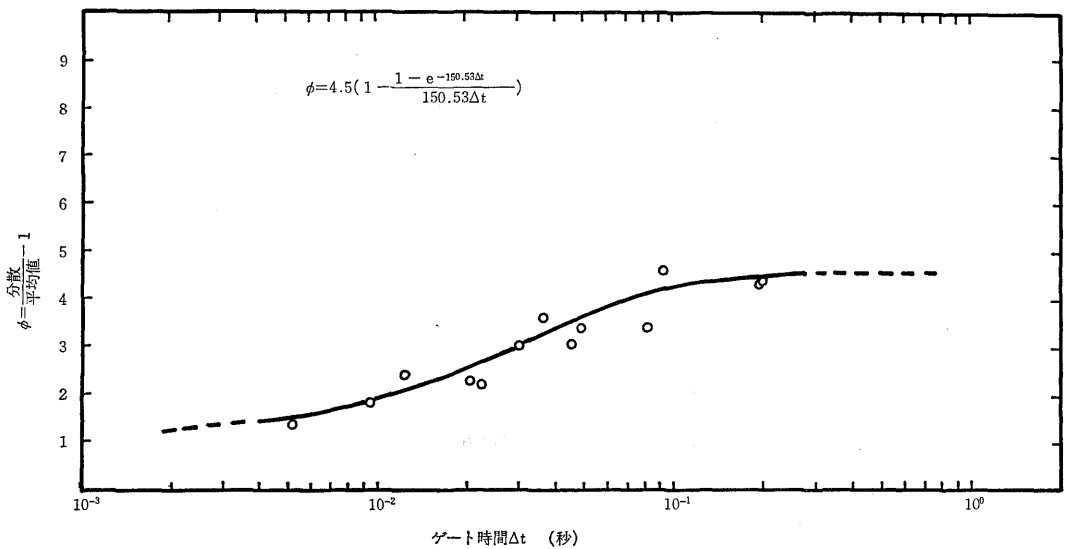


図8-2 ϕ と Δt の関係; II, 安全棒#1を引抜いた時

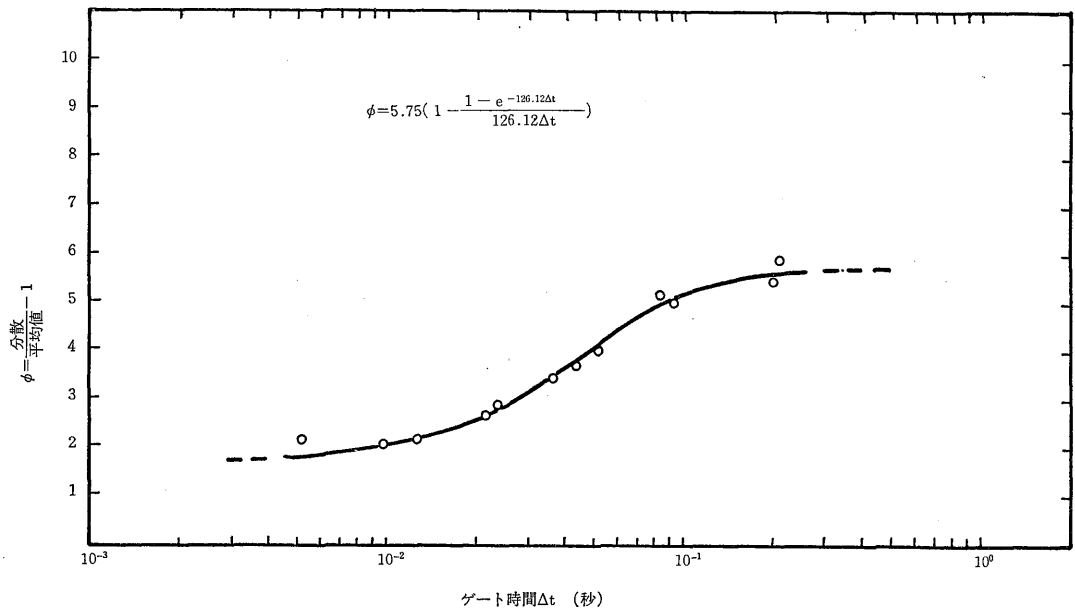


図8—3 ϕ と Δt の関係；Ⅲ，安全棒#1，#2を引抜いた時

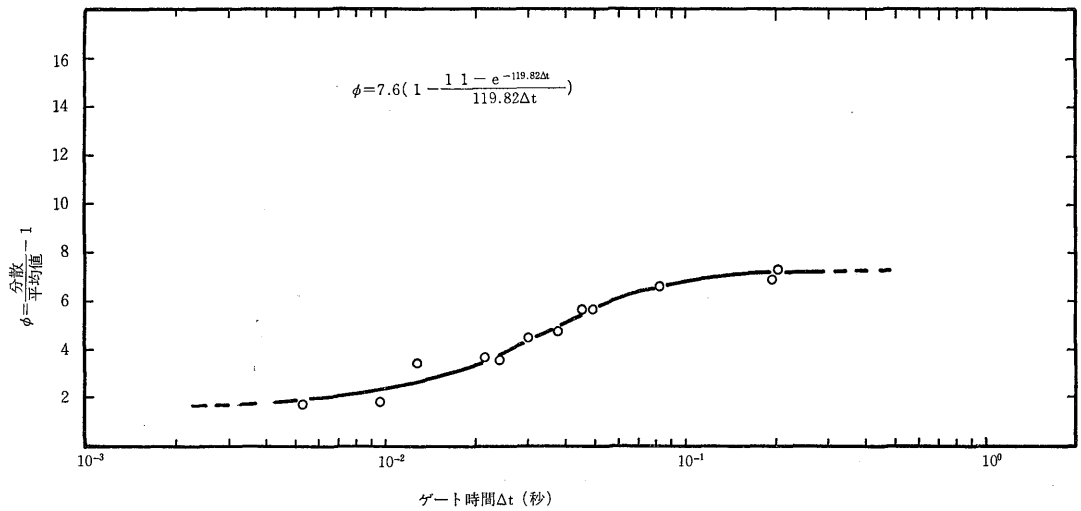


図8—4 ϕ と Δt の関係；Ⅳ，安全棒#1，#2を引き抜きシム安全棒を半分引き抜いた時

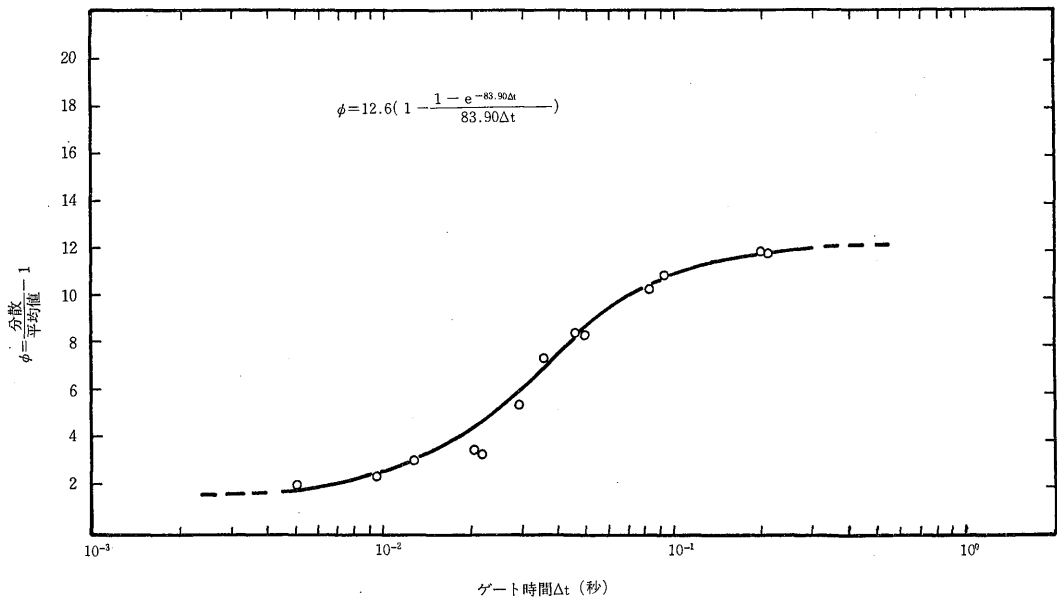


図8—5 ϕ と Δt の関係；Ⅴ，調整棒のみ挿入した時

これらの図から(5)式にしたがって次のように α の値を得た。

I, すべての制御棒を完全に挿入した時

$$\alpha = 219.678 \quad \alpha^2 K = 123058.980$$

$$K = 2.55 \quad \rho = -1.988\% \Delta k / k$$

II, 安全棒 #1 のみ引き抜いた時

$$\alpha = 150.534 \quad \alpha^2 K = 101972.183$$

$$K = 4.5 \quad \rho = -1.409\% \Delta k / k$$

III, 安全棒 #1, #2 を引き抜いた時

$$\alpha = 126.124 \quad \alpha^2 K = 91466.764$$

$$K = 5.75 \quad \rho = -0.837\% \Delta k / k$$

IV, 安全棒 #1, #2 を引き抜き, シム安全棒を半分だけ引き抜いた時

$$\alpha = 119.817 \quad \alpha^2 K = 109106.462$$

$$K = 7.6 \quad \rho = -0.553\% \Delta k / k$$

V, 調整棒のみ挿入した時

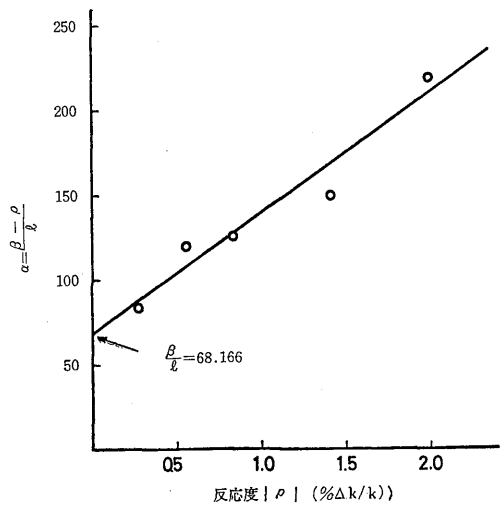
$$\alpha = 83.902 \quad \alpha^2 K = 88698.275$$

$$K = 12.6 \quad \rho = -0.268\% \Delta k / k$$

以上の結果を用いて ρ と α の関係を図9に示す。これに最小二乗法を用いて直線をあてはめ、たて軸との交点を求めると図中に示したように

$$\frac{\beta}{\ell} = 68.166$$

を得る。



図—9 反応度と α の関係

IV 結 語

1, Feynman α 法による α 及び β/ℓ を求めた。Feynman α 法は特殊な装置を要せず、容易に近畿大学原子炉 UTR-Kinki に適用できた。

2, ユニバーサルカウンタ TR-5178 を使用するためのゲートパルス発生装置を製作した。これは、回路構成が非常に簡単であり、ゲート巾が容易に変換で

き、経済的であるが Feynman α の実験には充分実用できた。

3, 実験精度をさらにあげるためには

- (1) さらに感度のよい検出器を使用するか、複数の検出器を用いて感度をあげる。
- (2) 測定回数をさらに多くする。
- (3) ゲート時間を数多くとる。

などによって改善されるものと思われる。

4, 未臨界状態における種々の反応度に応じた $\alpha = (\beta - \rho) / l$ を求め、これを $\rho = 0$ に外挿することにより β / l を求めた。

5, (2)式で遅発中性子も考慮すれば、

$$\frac{\bar{C}^2 - \bar{C}^2}{C} = 1 + \epsilon \cdot \frac{\bar{\nu}^2 - \nu^2}{\nu^2} \left[\frac{(1 - \beta)^2}{(\beta - \rho)^2} \left(1 - \frac{1 - e^{-\alpha \Delta t}}{\alpha \Delta t} \right) \right]$$

$$+ \sum_{i=1}^n \frac{2A_i}{\omega_i} G(\omega_i) \cdot \left(1 - \frac{1 - e^{-\omega_i \Delta t}}{\omega_i \Delta t} \right)$$

となり、原子炉の伝達関数 G を含むものとなるので、これをも検討できるが、これについては今後研究して行きたい。

参 考 文 献

- 1) E.D. Courant P.R. Wallace; Phys. Rev. **72**, 1038 (1947)
- 2) R. Feynman et. al.; J. Nuclear Energy, **3** 64 (1956)
- 3) J. A. Thie, Reactor Noise, Rowman and Littlefield, Inc., New York,