

JAERI-memo

9 2 2 9

PNC TJ850 82-01

臨界警報装置の動特性調査

( 受 託 調 査 )

1980年10月

南 賢太郎・山口 恭弘・沼宮内弼雄・伊藤 直次

日 本 原 子 力 研 究 所  
Japan Atomic Energy Research Institute

複製又はこの資料の入手については、下記にお問い合わせ下さい。

〒319-11 茨城県那珂郡東海村大字村松4-33

動力炉・核燃料開発事業団

東海事業所 技術開発推進部・技術管理室

Enquires about copyright and reproduction should be addressed to: Technology Management Section, Tokai Works, Power Reactor and Nuclear Fuel Development Corporation, 4-33 O-aza-Muramatsu, Tokai-mura, Naka, Ibaraki-ken, 319-11, Japan

動力炉・核燃料開発事業団 (Power Reactor and Nuclear Fuel Development Corporation)

PNC TJ850 82-01

JAERI - memo 9229

## 臨界警報装置の動特性調査

東海研究所保健物理部線量計測課

南 賢太郎・山口 恭弘・沼宮内弼雄・伊藤直次<sup>+</sup>

(1980年10月 受理)

反応度事故模擬による暴走放射線出力が得られる NSRR を利用し、 $\gamma$ 線検出型及び中性子線検出型臨界モニターのバースト状放射線曝射に対する応答特性を調査すると共に、臨界モニターの基本的特性を解明し、これを基に現場への配置計画並びに試験校正法について調査研究を実施した。

---

本報告書は、日本原子力研究所が動力炉・核燃料開発事業団からの委託により行った研究の成果をまとめたものである。

+ 保健物理部長

## 目 次

1. 緒 言 .....	1
2. $\gamma$ 線臨界モニターの基本的応答特性 .....	2
2.1 試験方法 .....	2
2.2 試験結果 .....	3
2.3 $\gamma$ 線臨界モニターの警報線量感度評価 .....	6
3. 反応度事故模擬による臨界モニターの応答試験に利用したNSRRの概要 .....	7
4. NSRRの定常運転時における中性子臨界モニターの感度試験 .....	9
4.1 中性子臨界モニターの警報線量感度評価 .....	10
5. NSRRのパルス運転時における臨界モニターの応答試験 .....	11
5.1 実験機器の配置 .....	11
5.2 バースト状 $\gamma$ 線照射線量測定 .....	11
5.3 バースト状中性子フルエンス及び線量測定 .....	12
5.4 バースト状放射線と臨界モニターの応答試験方法 .....	15
5.5 $\gamma$ 線臨界モニターの応答特性 .....	15
5.6 中性子臨界モニターの応答特性 .....	16
5.7 臨界モニターの放射線過負荷試験 .....	16
6. 臨界モニターの現場への配置計画 .....	17
7. 試験結果のまとめ .....	18
謝 辞 .....	18
参考文献 .....	19

# 1. 緒 言

本報告書は動力炉・核燃料開発事業団、東海事業所より受託した調査項目「臨界警報装置の動特性調査」に関する成果を記載したものである。以下に契約の概要を示す。

## 1) 題 目

臨界警報装置の動特性調査

## 2) 調査目的

臨界警報装置用検出器の動特性を臨界事故と類似な暴走放射線出力を用いて調査し、あわせて臨界警報装置の試験校正法の確立を目的とする。

## 3) 調査内容

動力炉・核燃料開発事業団で用いている $\gamma$ 線検出型及び中性子線検出型臨界警報装置用検出器を、反応度事故模擬による暴走放射線出力が得られる日本原子力研究所、東海研究所のNSRRを利用し、バースト状照射線量及び線量当量曝射に対する応答特性等を調査する。

## 4) 契約期間

昭和54年11月1日より昭和55年10月31日

## 5) 実施場所

日本原子力研究所東海研究所保健物理部線量計測課

動力炉・核燃料開発事業団の再処理施設等に設置している臨界モニターには $\gamma$ 線検出型（以下「 $\gamma$ 線臨界モニター」と呼ぶ）と中性子線検出型（以下「中性子臨界モニター」と呼ぶ）があり、前者は40 mm  $\phi$   $\times$  50 mmのプラスチックシンチレータを使用する電流方式の検出器を用いており、後者は $^{235}\text{U}$  90%濃縮のウランを半導体検出器の前面に塗布し、これを約10 cm立方のポリエチレンモデレータ内に挿入する核分裂計数方式の検出器を用いている。これらの臨界モニターの基本的な応答特性及び感度を、 $\gamma$ 線臨界モニターについては電気的パルスと線源回転型パルス状 $\gamma$ 線照射装置を用いて調査し、中性子臨界モニターについては定常運転状態の原子炉を中性子源として調査を行った。また前記調査に加え、反応度事故模擬による暴走放射線出力が得られる日本原子力研究所のNSRRを利用し、バースト状放射線曝射に対する臨界モニターの応答特性及び放射線過負荷試験並びに警報発生確認試験を実施すると共に、臨界モニターの点検校正方法について調査研究を進めた。

なお、上記試験結果を基に臨界モニターの現場への配置計画を、臨界モニターのバースト状放射線応答特性と臨界事故時の臨界継続時間との関連から研究した。以下、これらについて報告する。

## 2. $\gamma$ 線臨界モニターの基本的応答特性

試験に用いた $\gamma$ 線臨界モニターは仏国 SEIN 社 SDCG - 11型で、この回路構成を図 1 に示す。<sup>1)</sup> $\gamma$ 線検出にはプラスチックシンチレータを用いており、その大きさは 40 mm  $\phi$   $\times$  50 mm で、光電子増倍管（以下「PMT」と呼ぶ）は蘭国フィリップス社製 150 AVP である。PMT への印加高圧は負高圧である。プラスチックシンチレータは $\gamma$ 線及び約 100 KeV 以上の中性子線で光を発生し、これが PMT で電流変換される。PMT のアノードへ集められた電子は  $R_{17}$  を通じて  $C_{12}$ 、 $R_{18}$ 、 $D_{12}$  で構成される回路に流れ、 $P_3$ 、 $R_{19}$  による  $T_8$  の正方向バイアス電圧をカットオフ方向（負方向）にする。 $T_8$  のカットオフ点は  $P_3$  により調節され、この調節は通常 200 mR/hr にセットする。 $T_8$  がカットオフになると、 $T_9$  もカットオフとなり  $T_{10}$  のベースが正方向バイアスとなり  $T_{10}$ 、 $T_{11}$  で構成されるシュミットトリガー回路が動作し  $T_{13}$  が導通状態からカットオフ状態となり警報端子は -24 V から 0 V 状態となる警報信号を発生する。以上のような動作を行う SDCG - 11 型 $\gamma$ 線臨界モニターは照射線量率と PMT の出力電流感度及び臨界事故時の数 msec の $\gamma$ 線バースト状に対し、 $R_{18} \cdot C_{12}$  で構成される回路の時定数及びその他の回路の時定数等が警報発生に影響をおよぼすことが予想される。したがって、以下の項目について試験を実施し、これらに関する試験方法及びその結果について詳述する。

- (1) 照射線量率と PMT の出力電流感度試験
- (2) 照射線量率負荷試験
- (3) 電氣的パルス試験
- (4) 線源回転型パルス状 $\gamma$ 線照射装置による応答試験

なお、SDCG - 11 の検出器部のみを筐体より取り出し、そのエネルギー特性を調べてみると、200 KeV 以上では一定であるが、200 KeV 以下では感度が悪くなり 60 KeV で約半分にエネルギー特性が低下する\*。これはプラスチックシンチレータの実効原子番号が空気のそれよりも低いことに起因している。

### 2.1 試験方法

- (1) 照射線量率と PMT の出力電流感度試験

SDCG - 11 の回路状態では PMT の出力電流を観測することはできないので、図 2 の中に示す等価回路を作りこれにより照射線量率と PMT の出力電流感度を調査することとした。等価回路の 100 K $\Omega$  の両端電圧はデジタル電圧計で測定し、PMT の出力電流に換算した。

照射は大洗研究所の照射装置を用いて行い、 $^{226}\text{Ra}$  20 mCi、 $^{137}\text{Cs}$  2 Ci 線源を使用した。

- (2) 照射線量率負荷試験

図 2 の等価回路で PMT への印加高圧を -1360 V にセットすると、200 mR/hr の照射線量

\* JAERI - memo 8995 参照

率の時 PMT の出力電流が約  $10 \mu\text{A}$  となり図 1 の  $P_3$  (可変抵抗器) による調節が  $200 \text{ mR} / \text{hr}$  を容易にセットできるので、PMT への印加高圧を  $-1360 \text{ V}$  として照射線量率負荷試験を実施した。

照射は大洗研究所の照射装置を用いて行い  $^{226}\text{Ra}$   $20 \text{ mCi}$ ,  $^{137}\text{Cs}$   $2 \text{ Ci}$  及び  $20 \text{ Ci}$  線源を使用した。

### (3) 電氣的パルス試験

#### a. 回路各部の波形とタイミング測定

図 1 の回路の一部を図 4 に示す。パルスゼネレータから負の矩形波出力を  $100 \text{ K}\Omega$  の抵抗と直流成分カットの為のコンデンサーで図 4 中の②点にフィードし、回路各部の波形とそのタイミング測定を実施した。

#### b. パルス入力と警報信号の遅れ時間及び警報信号幅の測定

上記 a の場合と同様にパルスゼネレータからの負の矩形波出力を②の点にフィードし、図 5 に示すように入力波形と警報出力発生が遅れ時間 ( $\tau$ ) 及び発生した警報の信号幅 ( $t$ ) を入力パルスのパルス幅を  $2.6 \text{ msec}$  で一定にしてパルス電圧を変えることにより、パルス電流を  $20 \mu\text{A} \sim 200 \mu\text{A}$  に変化させて調べた。

### (4) 線源回転型パルス状 $\gamma$ 線照射装置による応答試験<sup>2)</sup>

SDCG-11 を低照射線量率の  $\gamma$  線パルスで照射を行うため図 7 に示す線源回転型パルス状  $\gamma$  線照射装置を製作した。半径  $115 \text{ mm}$  の円盤に  $^{226}\text{Ra}$  線源  $10 \text{ mCi}$  を固定するために線源ホルダーを取り付け、これに  $^{226}\text{Ra}$  線源を入れ、円盤回転数可変型モータで回転させる。円盤の回転数は光反射型の回転計を用いて測定した。線源固定円盤の対面に鉛ブロックで SDCG-11 の検出器のみを図に示すように全体的に遮蔽するようにして固定する。線源と対面する鉛ブロックには  $10 \text{ mm}$  のスリットを作っておき、ここから検出器へ  $\gamma$  線が照射されるようにしておく。照射線量率の調節はモータを前後に移動して行った。以上のようなパルス状  $\gamma$  線照射装置により SDCG-11 を照射し警報出力パルス幅をシンクロスコープで調べ、SDCG-11 の低線量率パルス照射による応答特性試験を実施した。

なお、この実験を開始する前に、 $^{226}\text{Ra}$  線源と等重量のダミーを作り、これを線源ロータに固定して回転させ、安全を確認してから実験を実施した。

線源を回転させるよりも、スリットを有する遮蔽ロータを回転させるビームチョッパー方式のパルス状放射線照射装置が安全である。

## 2.2 試験結果

### (1) 照射線量率と PMT の出力電流感度試験

図 2 に SDCG-11 型  $\gamma$  線臨界モニターに用いられている電流方式プラスチックシンチレーション検出器の照射線量率と PMT の出力電流の関係を示す。図のパラメータは PMT への印加高圧であり、 $-1100 \text{ V}$  から最大  $-1360 \text{ V}$  まで変化させた結果について示している。

照射線量率と PMT の出力電流には比例関係が認められ、印加高圧の変化により電流感度は以下ようになる。

印加高圧 (V)	照射線量率当りの電流感度 $\mu\text{A}/(\text{mR}/\text{hr})$	電流当りの照射線量率感度 $(\text{mR}/\text{hr})/\mu\text{A}$
-1100	$1.1 \times 10^{-2}$	$9.1 \times 10^1$
-1200	$2.1 \times 10^{-2}$	$4.76 \times 10^1$
-1300	$4.3 \times 10^{-2}$	$2.33 \times 10^1$
-1360	$6.0 \times 10^{-2}$	$1.67 \times 10^1$

この表より印加高圧が100 V上昇すると照射線量率当りの電流感度は約2倍になることがわかる。

図2の左上にPMTの暗電流測定結果を示した。この測定はプラスチックシンチレータをPMTに付けた状態で測定した値であり、測定室内のバックグラウンドは約 $10 \mu\text{R}/\text{hr}$ であった。SDCG-11の印加高圧は通常-1360 Vにセットされるので、この時の暗電流は約 $2.5 \times 10^{-3} \mu\text{A}$ である。したがって、この $r$ 線臨界モニターは約 $1 \text{ mR}/\text{hr}$ の照射線量率をSN比約24倍で測定できることになる。ただし、このような測定の場合には温度特性に注意しなければならない。

### (2) 照射線量率負荷試験

図3に照射線量率負荷試験結果を示す。この $r$ 線臨界モニターはPMTへの印加高圧が-1360 Vのとき、照射線量率とPMTの出力電流の比例関係は、図より $500 \text{ mR}/\text{hr}$ までであることがわかる。照射線量率がこれ以上大きくなってもPMTの出力電流は飽和し一定値を与えるようになる。照射線量率負荷試験は最大 $25 \text{ R}/\text{hr}$ で、約1分間照射し、異常が認められないことを確認した。

照射線量率が $500 \text{ mR}/\text{hr}$ を超えるとPMTの出力電流が飽和する理由は図1の $R_{17}$ 、 $R_{18}$ にPMTのアノード電流が流れる結果、アノード電位が負となりPMTの加速電極 $D_{10}$ との電位差が減少し、 $D_{10}$ とアノードの間に空間電荷が発生するなどしてアノード電流が制限されるからである。この現象は高い照射線量率で曝射されたとき、PMT自体が一種の自己保護動作が発生することになり、臨界モニターとして有効な現象と考えてよい。保護動作点を、どこで発生させるかは、 $R_{17}$ 、 $R_{18}$ 及び $D_{10}$ に付随するブリーダ抵抗値によって決められる。

### (3) 電氣的パルス試験

#### a. 回路各部の波形とタイミング測定

図4の②の点へパルスゼネレータより-3 Vで2.6 msecの矩形波を周波数約100 Hzでフィードする。この時パルスゼネレータより②点へフィードされる電流は約 $30 \mu\text{A}$ となる。この電流は2.2(1)の電流当りの照射線量率感度より換算すると約 $500 \text{ mR}/\text{hr}$ に相当する。回路各部の波形とそのタイミングは図に示すとおりである。⑤で観測した警報出力波形のタイミングは入力波形よりも約1.3 msec遅れて発生し、回路ヒステシスの関係で入力信号が消滅しても約0.16 msec遅れて警報信号が停止することがわかる。入力電流が大きくなればこの値も大きくなる。



ある照射線量率を  $t = 0$  でこの臨界モニターが受けたときの PMT の出力電流を  $I$  とすると  
 ③点へ流れ込む出力電流  $i$  は時間的に変化し、変化の早さは次のように  $C_{12}$  と  $R_{18}$  の時定数により決まる。

$$i = I \{ 1 - \exp ( t / C_{12} \cdot R_{18} ) \} \dots\dots\dots (1)$$

この臨界モニターの場合、時定数は計算で 1 msec となるが、実測値は約 1.5 msec であった。

b. パルス入力と警報信号の遅れ時間及び警報信号幅の測定

図 5 に示すように、上記 2.2(3) a でのべた警報信号の遅れ時間を  $\tau$ 、また発生した警報信号幅を  $t$  と定義して測定した結果を図 6(A),(B) にそれぞれ示す。(A) 図の横軸はパルス入力電流（これは電流当りの照射線量率感度を用いて照射線量率に換算できる）で、入力電流が小さくなると警報信号の遅れ時間は大きくなり、12 ~ 20  $\mu$ A (200 ~ 330 mR/hr) では警報信号の遅れ時間は 2.4 msec 以上となって警報信号の発生が不安定になる（警報設定は 12  $\mu$ A, 約 200 mR/hr)。回路時定数が 1 msec のとき警報設定値の 5 ~ 10 倍以上の入力信号があれば警報信号の遅れ時間はわずかとなり警報は安定に発生する。

(B) 図の警報信号幅  $t$  も横軸のパルス入力電流が小さくなると警報信号幅も急激に小さくなる。上記のように警報設定値の 10 倍以上の入力信号になると警報信号幅は入力信号幅と近似的に等価となり安定した警報信号を発生することがわかった。

(4) 線源回転型パルス状  $\gamma$  線照射装置による応答試験<sup>2)</sup>

SDCG - 11 は回路時定数の関係で電氣的パルス試験の結果入力信号が小さく、即ち、警報設定値に近くなってきたとき、警報信号発生はパルス幅に左右されることを示した。放射線的にもこのような現象は発生するはずで、これを確認するために行う調査がこの実験である。

表 1 に約 300 mR/hr のパルス状  $\gamma$  線で SDCG - 11 を照射した時の照射  $\gamma$  線パルス幅とシンクロスコープで実測した警報信号幅の関係を示す。表 1 の線源ロータの回転数と  $\gamma$  線パルス幅の関係は(2)式で示され、これを用いて  $\gamma$  線パルス幅を計算した。

$$\Delta t = \frac{60 \cdot \Delta S}{2 \pi \cdot R \cdot n} \dots\dots\dots (2)$$

ただし、 $\Delta t$  : 発生する  $\gamma$  線パルス幅 (sec)

$\Delta S$  : 鉛スリット幅 (1 cm)

$R$  : 線源ロータの半径 (10 cm)

$n$  : 線源ロータの回転数 (rpm)

表 1 の結果をまとめて図 8 に示す。照射  $\gamma$  線パルス幅が約 1.5 msec 以上のときは照射  $\gamma$  線パルス幅と等価な警報出力信号幅が得られるが、1.5 msec 以下の短い  $\gamma$  線パルスの時は警報出力信号幅は  $\gamma$  線パルス幅よりも急激に小さくなり、警報が停止することが確認された。

### 2.3 $\gamma$ 線臨界モニターの警報線量感度評価

2.2(3)bで $\gamma$ 線臨界モニターの回路時定数が1 msecのとき警報設定値の約10倍以上の電気的入力信号があれば警報信号は安定に発生することをのべた。このことは、警報設定線量率の約10倍のバースト状 $\gamma$ 線が1 msec継続すれば確実に警報を発生することを意味する。したがって、 $\gamma$ 線臨界モニターの警報設定線量率を200 mR/hrとすると、警報発生線量感度は次式により $0.56 \times 10^{-3}$  mRと評価される。以上のことにより、このモニターは臨界事故時に1 msec以内に $0.56 \mu\text{R}$ の曝射を受ければ確実に警報を発生することになる。

$$200 \left( \frac{\text{mR}}{\text{hr}} \right) \times 10 \times \frac{1}{3.6 \times 10^3} \left( \frac{\text{hr}}{\text{sec}} \right) \times 10^{-3} (\text{sec}) = 0.56 \times 10^{-3} \text{ mR}$$

### 3. 反応度事故模擬による臨界モニターの応答試験に 利用したNSRRの概要<sup>3)</sup>

日本原子力研究所のNSRR (Nuclear Safety Research Reactor) は、試験燃料にパルス状の高い中性子束を与えることによって、実際の反応度事故時の厳しい過渡的発熱状態を模擬し、これを破損に至らしめることにより、燃料破損現象を究明しようというものである。この目的のために、母体となるパルス炉 (NSRR) は、高いパルス性能を有し、かつ、十分な実績のある TRIGA-ACPR を選び、実験に便利のように改良を加えたものである。また、NSRR は最大 300 KW で定常出力運転も行うことができる。

NSRR の主要諸元を 2 表に示す。燃料は、濃縮ウラン-水素化ジルコニウムをステンレス鋼材で被覆したものである。炉心は内径約 22 cm の六角形状の中空実験孔を中心に、157 本の燃料を円筒形状に配列したものである。この炉心は図 9、及び図 10 に示すように深さ約 9 m の原子炉プール内に設置されている。

実験孔は、炉心中央を貫通し、プールの中程で Y 字状に分岐してそれぞれプール上面まで伸びている。このうち 1 本は垂直装填管、他方はオフセット装填管と呼ぶ。

オフセット装填管は、管が傾斜しているため放射線のストリーミングが大幅に減少するので、遮蔽が不用であり、実験物の挿入、取り出しが容易に行える特徴がある。このため、数多いパラメータ実験を行うカプセル実験には便利である。一方、ループ実験のような大型の実験物を用いる場合には垂直装填管を利用できる。

また、NSRR には中性子ラジオグラフィが行える設備が設けられており、中性子ラジオグラフィ室 (以下「NRG 室」と呼ぶ) へは反応度事故模擬により発生した高中性子束と  $\gamma$  線が得られるようになっている。

#### (1) 実験に利用した NRG 室の詳細

NRG 室への中性子線及び  $\gamma$  線の取り出しは図 11 に示す通りで、原子炉で発生する中性子線及び  $\gamma$  線は炉心側で直径 60 mm  $\phi$ 、原子炉生体遮蔽側で 200 mm  $\phi$  のラッパ状管 (以下「ボイドボックス」と呼ぶ) により生体遮蔽貫通孔へ導くようになっている。ボイドボックスは通常は水を入れて遮蔽体としているが、NRG 室を使用するときには空気を入れて使用する。NRG 室側には図 10 に示すように厚さ 35 cm の鉛シャッターがあり、開閉は NRG 室入口ドア-外壁より遠隔操作でできるようになっている。鉛シャッターを開くと  $\gamma$  線と中性子線の照射が行え、閉とすると主に中性子線の照射を行うことができる。

#### (2) パルス性能と実験能力

NSRR のパルス出力は、3 本のトランジェント棒の急速引抜きによって発生させる。最大約 4.7 ドルの反応度を炉心に加えることができるが、投入反応度は 1 本の調節用トランジェント棒と 2 本の高速トランジェント棒の組合せで任意に変えることができる。

最高約 4.7 ドルもの反応度を加えても、NSRR の炉心が破損しない理由は、濃縮ウラン-水素化ジルコニウム (U-ZrH) 燃料に含まれる減速材 (水素) が、パルス出力の発生に伴って燃料とともに温度上昇し、それによって減速能力が低下するため、大きな自己抑制効果を誘起す

ることになる。これをスペクトル硬化現象といい、ドップラー効果とともに即発性のフィードバック反応度となって出力を抑制する。NSRR のもう一つの特徴は、その大きな比熱とともに、燃料と被覆管の間に大きなギャップを設けていることである。U-ZrH の大きな比熱はパルス出力を発生させても、燃料自体の温度上昇を制限し、また大きなギャップを有することは被覆管に伝えられる熱量を制限し、パルス運転時の被覆管のバーンアウトを防ぐ役目を果している。

投入反応度が最大約 4.7 ドルの時の実測した NSRR のピーク出力と積分出力はそれぞれ 21.100 MW, 117 MW・sec である。なお、4.7 ドルパルス時の最短炉周期 1.13 msec 及びパルス半値幅 4.4 msec は、いずれも熱中性子パルス炉としては世界で最も短く狭いものである。

#### 4. NSRRの定常運転時における中性子臨界モニターの感度試験

試験に用いた中性子臨界モニターは仏国 SEIN社 SDCN - 20型を東芝で試作した製品2台である。中性子検出器は<sup>235</sup>U 90%濃縮のウラン0.7 mgを半導体検出器の前面に塗布し、これを約10 cm立方のポリエチレンモデレータ内に挿入する核分裂計数方式である。検出器からの信号は図27に示すように増幅回路、波高選別回路、整形回路で整形し、整形されたパルスをアナログ積分回路のT<sub>1</sub>のベースへフィードする。この回路のT<sub>1</sub>は通状はカットオフでパルス入力があるとONとなりダイオードD<sub>1</sub>のポンピング作用によりC<sub>1</sub>をR<sub>4</sub>・C<sub>1</sub>の時定数で充電する。C<sub>1</sub>の充電電流はR<sub>5</sub>、R<sub>6</sub>により放電しR<sub>6</sub>端の電位が低下し、この電位がP<sub>1</sub>により設定される電位(5 sec間に5パルスの電位にセットされている)以下となるとダイオードD<sub>2</sub>が動作し、T<sub>2</sub>のベースに負パルスを与え、T<sub>2</sub>、T<sub>3</sub>で構成されるワンショットマルチバイブレータをトリガーする。ワンショットマルチバイブレータの出力信号幅は約3 msecで、この信号が警報出力回路をへて臨界警報信号となる。したがって、計数当りの線量感度が警報発生に影響を与えることになる。それゆえ、SDCN - 20型中性子臨界モニターの計数率当りの線量当量率感度又は計数率当りの吸収線量率感度をNSRRの定常運転時を利用して以下の方法により求めた。

##### (1) 試験方法

NSRRの270 KW定常運転時を利用し、図14の1位置にNo 1中性子臨界モニター及びスウェーデン国 Studsvik社製2202 D型レムカウンターをセットし同時に照射を行い、各測定器の計数率を調べた。レムカウンターはBF<sub>3</sub>を使用しているのでγ線照射線量率が200 R/hr以下で使用しなければならない。NRG室の鉛シャッターを「開」として運転すると、照射線量率はこの値を大きく超えてしまうので、鉛シャッターを「閉」として照射線量率を低くし(50 mR/hr)実験を行った。各測定器による測定時間は10秒とした。

##### (2) 試験結果

各測定器の測定結果は以下の通りである。

No 1 中性子臨界モニター	63 (個/10 sec) = 6.3 cps
2202 レムカウンター	74576 (個/10 sec) = 7457.6 cps

レムカウンターは0.1 mrem/hr ~ 10 rem/hrの測定範囲を有し、中性子エネルギーが0.025 eVより17 MeVの範囲で中性子線量率を±50%で指示する。中性子感度は3.3 cps/(mrem/hr)である。したがって照射位置における中性子線量当量率は次式により約2.26 rem/hrとなった。この時のNo 1中性子臨界モニターの計数率は6.3 cpsであるから計数率当りの線量当量率感度は以下となる。

$$\frac{2260 \text{ (mrem/hr)}}{6.3 \text{ cps}} \approx 360 \text{ (mrem/hr)/cps}$$

鉛シャッターを「閉」として照射した時の中性子エネルギースペクトルは、鉛シャッター背面で5.3でのべるAu箔及びCdカバー付Au箔並びに硫黄のしきい値反応を利用して調べた。そ

の結果は表4の最下段に示す通りで約2 MeV（硫黄しきい値）以上の高速中性子は検出されなく、Cd比で14.9の熱中性子と中速中性子の混合スペクトルであることがわかった。それゆえ、表3より中性子の線質係数を2と推定すれば、計数率当りの吸収線量率感度は以下となる。

$$\frac{360}{2} = 180 \quad (\text{mrad/hr})/\text{cps}$$

#### 4.1 中性子臨界モニターの警報線量感度評価

中性子臨界モニターの警報回路は半導体検出器からのパルス信号を波形整形し、それをアナログ積分する方式で、この回路は $10^2 \mu\text{sec}$ から5 secの時間内に5パルスの入力があれば警報信号を発生するようにセットしている。それゆえ、警報発生吸収線量感度は次式により、0.25 mradと評価される。

$$180 \left( \frac{\text{mrad}}{\text{hr}} \cdot \frac{1}{\text{cps}} \right) \times \frac{1}{3.6 \times 10^3} \left( \frac{\text{hr}}{\text{sec}} \right) \times 1 (\text{cps}) \times 5 (\text{sec}) = 0.25 \text{ mrad}$$

しかし、警報回路の計数統計誤差による警報信号発生の不確かさ（180 mrad/hrレベルの時一番不確かで、これ以上の時は安定に警報を発生する）を考慮するならば、この値の約2倍、即ち0.5 mradを警報発生吸収線量感度とすることが安全であろう。

以上のことより、このモニターは臨界事故時に5 sec以内に0.5 mradの曝射を受ければ確実に警報を発生することになる（ $\gamma$ 線臨界モニターと同様に10倍の安全係数をとれば警報発生吸収線量感度は2.5 mradとなる）。

## 5. NSRRのパルス運転時における臨界モニターの 応答試験

2及び4では $\gamma$ 線、中性子線臨界モニターの基本的な応答特性について、その試験結果を示したが、以後の実験は臨界モニターがNSRRの反応度事故模擬によるバースト状放射線出力で実際に示す応答と警報発生確認及び放射線過負荷試験等を行ったものである。

### 5.1 実験機器の配置

NRG室の入口扉は甲種防火扉で遮蔽能力はなく、したがってボイドボックスに空気を入れ鉛シャッターを「開」としてNSRRをパルス運転するとNRG室、並びにこれに続く地下3階実験スペースの階段付近でも強力な $\gamma$ 線パルスが観測される。したがって安全に作業を進めるため実験機器の配置は図12に示すように検出器関係をNRG室にセットし、これより約20mケーブルをのばし、セミホットケーブル裏側で測定器類の監視を行った。

図16図群のNRG室におけるバースト状放射線の主ビーム測定及び室内の散乱線量測定用機器固定ロープの床面よりの高さ並びに主ビームとこれらの位置関係を図13に示す。また図14では実験時における臨界モニターの床面上の高さと主ビームとの位置関係を示すと共に、以後の説明の都合上これらの位置にイ、ロ、ハの記号を付す。図15は実験時における各検出器及び測定器のセット状況を示す写真である。

### 5.2 バースト状 $\gamma$ 線照射線量測定

バースト状 $\gamma$ 線による照射線量の測定は主ビームとNRG室内の散乱線について測定した。主ビームの測定はNRG室にロープを張り、図16図群に示すようにA～Gの記号をつけ、これらの位置にBeO型TLDを1点につき2素子取り付け、測定した。

NRG室の散乱線による照射線量も室内にロープを張り図16図群に示すようにH～Pの記号をつけ、これらの位置にLA PHYSIOTECHNIE SEQ-6型（仏国製）直続式ポケットドジメータを取り付け測定した。ポケットドジメータとBeO型TLDによる測定値を比較するために図16-1に示すK、M、O点で両測定器を同時に曝射し比較した。その結果は図に示すように良く一致していることがわかった。

NSRRの各反応度における上記測定結果の詳細を図16図群に示す。主ビーム測定用ロープのD点がビームセンターである。図17はNSRRの反応度を横軸に、D点における測定値を縦軸にとり、反応度と照射線量の関係を示したものであり、これより、主ビームの線量は反応度に比例していることがわかる。また図18は、NRG室の散乱線量をポケットドジメータ測定用ロープのO点で観測した値を図17と同様に示したものである。この図からも反応度と線量は比例関係にあることがわかる。

5.3 バースト状中性子フルエンス及び線量測定<sup>4)</sup>

バースト状中性子の測定は主ビーム測定用ロープのD点又は曝射する臨界モニターに取り付けて行った。

バースト状中性子束又はフルエンスは放射化法で行い、これに利用した放射化検出器は熱中性子、中速中性子用として金箔とカドミウムカバー付金箔及び2 MeV以上の高速中性子用として硫黄である。金箔は100～200 mg/cm<sup>2</sup>、硫黄も200～300 mg/cm<sup>2</sup>程度の薄いものを使用したので、これらの放射化検出器の放射能値より中性子束 $\phi$  (n/cm<sup>2</sup>・sec)を求める一般式は(3)式として与えられる。

$$\phi = \frac{M}{A \cdot W \cdot \sigma_a} \cdot \frac{N_c}{\epsilon} \cdot \frac{e^{\lambda T_w}}{(1 - e^{-\lambda T_{in}})} \cdot \frac{\lambda T_c}{(1 - e^{-\lambda T_c})} \dots\dots\dots (3)$$

但し、M : 原子質量数 (g・mol<sup>-1</sup>)、<sup>32</sup>Sの存在比は95%、<sup>197</sup>Auは100%とする。

A : アボガドロ数 6.023 × 10<sup>23</sup> (mol<sup>-1</sup>)。

W : 箔検出器の質量 (g)。

$\sigma_a$  : 金の熱中性子放射化断面積 79 barn。

金の共鳴放射化積分断面積 1153 barn。

硫黄の放射化断面積 285 mbarn。

N<sub>c</sub> : 箔検出器の実測放射能 (cps)

$\epsilon$  : 測定器類の計数効率。

$\lambda$  : 箔検出器の半減期 (sec)

T<sub>in</sub> : 曝射時間 (sec)

T<sub>w</sub> : 曝射後測定開始までの時間 (sec)

T<sub>c</sub> : 測定時間 (sec), 15～20分測定

金は照射により<sup>198</sup>Au(半減期2.7日)となり412 KeVの $\gamma$ 線を主に放出し、硫黄は<sup>32</sup>P(半減期14.3日)となって1.7 MeVの $\beta$ 線のみを放出する。したがって金の測定はGe(Li)測定器で、硫黄は加熱処理した後2 $\pi$ ガスフロー測定器で測定した。

両放射化検出器の半減期は長いので測定時間中における減衰補正は不要となり、また中性子曝射時間は10 msec程度で非常に短時間であるから、曝射時間による放射能飽和の程度を示す(3)式中の指数関数項は $\lambda T_{in}$ に近似してよい。それゆえ、バースト当りの中性子フルエンス $\phi'$ (n/cm<sup>2</sup>) ( $\phi' = \phi \cdot T_{in}$ )は(4)式として与えられる。

$$\phi' = \frac{M}{A \cdot W \cdot \sigma_a} \cdot \frac{N_c}{\epsilon} \cdot \frac{e^{\lambda T_w}}{\lambda} \dots\dots\dots (4)$$

(4)式で計算した熱中性子、5 eV付近の金による共鳴中速中性子領域、高速中性子のフルエンス及びカドミウム比を表4に示す。またICRP Publication 21<sup>5)</sup>に示される中性子線量当量換算係数を基に中性子の吸収線量換算係数を求めたものを表3に示す。これより、バースト当りの中性子フルエンスを吸収線量に換算した値も表4に合せて示す。



(1) 中速中性子の評価<sup>6)</sup>

中速中性子は金箔と Cd カバー付金箔の放射能より以下の方法により求めた。

$$A_{th} = A_T - A_{cd} \dots\dots\dots (5)$$

但し,  $A_{th}$  : 熱中性子領域による金箔の放射能

$A_T$  : 熱及び中速中性子領域による金箔の放射能

$A_{cd}$  : 中速中性子 (主に金の共鳴中性子エネルギー付近) 領域による金箔の放射能

(5)式を変形し,  $A_T/A_{cd}$  をカドミウム比  $R_{cd}$  と定義すれば, 次式が得られる。

$$\frac{A_{th}}{A_{cd}} = R_{cd} - 1 \dots\dots\dots (6)$$

(6)式の放射能を金箔検出器の原子個数, 中性子束, 放射化断面積とで示せば次のように書ける。

$$\frac{Z \cdot \phi_{th} \cdot \sigma_a}{Z \int_{0.4\text{eV}}^{\infty} \sigma_a(E) \phi(E) dE} = R_{cd} - 1 \dots\dots\dots (7)$$

但し,  $Z$  : 金箔の原子個数

$\phi_{th}$ : 熱中性子束又はフルエンス

$\sigma_a(E)$ : 中性子エネルギーの関数としての中性子放射化断面積

$\phi(E)$ : 中性子エネルギーの関数としての中性子束又はフルエンス

中速領域中性子は主に水による減速過程中の中性子であり,  $1/E$  スペクトルを有していると仮定してもよく,  $\phi(E) = K \cdot E^{-1}$  (但し,  $K$  は定数,  $E$  は中性子エネルギー) として示される。したがって(7)式に, これを代入して定数  $K$  を求めると(8)式が得られる。

$$K = \phi_{th} \cdot \frac{\sigma_a}{(R_{cd} - 1) \int_{0.4\text{eV}}^{\infty} \sigma_a(E) E^{-1} dE} \dots\dots\dots (8)$$

(8)式中の積分項は共鳴放射化積分断面積である。この式より  $K$  が求められれば全中速中性子束又はフルエンスは次式により推定できる。

$$\int \phi(E) dE = \int_{0.4\text{eV}}^{10^5\text{eV}} K \cdot E^{-1} dE = K \{ \log E \}_{0.4\text{eV}}^{10^5\text{eV}} \dots\dots\dots (9)$$

核分裂中性子は 0.1 MeV より 10 MeV の範囲であるので, (9)式の中速中性子積分領域は Cd カットオフの 0.4 eV より  $10^5$  eV として計算を行うこととした。

(2) 高速中性子の評価

高速中性子は核分裂スペクトルであると考えてよく, 硫黄検出器はこのスペクトルの内, 約 2

MeVの高速中性子を測定していることになる。NBS Handbook 63<sup>7)</sup>によれば2 MeV以上の核分裂中性子は全体の約40%である。したがって、表4の高速中性子フルエンスを1/0.4倍した値が0.1 MeV以上の核分裂高速中性子フルエンスと評価されることになるであろう。

(3) 中性子フルエンス、吸収線量及び線量当量評価結果

バースト状中性子線に対し、上記(1)、(2)の計算法により中性子フルエンス、吸収線量、線量当量を評価すると次表になる。ただし、吸収線量、線量当量への換算にあたっては表3より、熱中性子については $2.1 \times 10^6 \text{ n/cm}^2 \cdot \text{mrad}$ 、 $9.3 \times 10^5 \text{ n/cm}^2 \cdot \text{mrem}$ 、中速中性子については $1.65 \times 10^6 \text{ n/cm}^2 \cdot \text{mrad}$ 、 $8.3 \times 10^5 \text{ n/cm}^2 \cdot \text{mrem}$ 、高速中性子については $2 \times 10^5 \text{ n/cm}^2 \cdot \text{mrad}$ 、 $2.5 \times 10^4 \text{ n/cm}^2 \cdot \text{mrem}$ を用いた。

反応度 エネルギー領域	2.09 \$ (17.12 : 02)			3.8 \$ (17.16 : 03)			3.05 \$ (24.15 : 53)			3.5 \$ (29.15 : 17) pb シャッター背面		
	$\phi'$ (n/cm <sup>2</sup> )	rad	rem	$\phi'$ (n/cm <sup>2</sup> )	rad	rem	$\phi'$ (n/cm <sup>2</sup> )	rad	rem	$\phi'$ (n/cm <sup>2</sup> )	rad	rem
熱中性子	$1.29 \times 10^9$	0.62	1.39	$2.44 \times 10^9$	1.16	2.26	$1.51 \times 10^9$	0.72	1.62	$1.37 \times 10^9$	0.065	0.15
中速中性子	$9.9 \times 10^7$	0.06	0.12	$1.7 \times 10^8$	0.11	0.21	$1.53 \times 10^8$	0.09	0.18	$8.37 \times 10^6$	0.005	0.01
高速中性子	$1.5 \times 10^8$	0.75	6.0	$4.4 \times 10^8$	2.20	17.7	$4.45 \times 10^8$	2.22	17.8			
線量合計		1.43	7.51		3.47	20.53		3.03	19.6		0.07	0.16
$\gamma$ 線照射線量	7.16 R			15.2 R			13.2 R			5 mR 程度		

(4) 熱、中速及び高速中性子束の割合

BF<sub>3</sub> サーベイメータと3.5 cm及び6.5 cmのパラフィンモデレータを用いて文献の方法<sup>8,9)</sup>によりNSRRの15 W定常運転時を利用して、主ビームの中性子エネルギー成分測定を行った。その結果20 KeV ~ 10 MeVの高速中性子束は35.6、0.6 eV ~ 20 KeVの中速中性子束は24.6、熱中性子束は165 n/cm<sup>2</sup> · secであった。したがって、高速中性子束を基準にとれば、これらの成分の中性子割合は1 : 0.69 : 4となる。これと同様に(3)表の放射化法で測定したバースト状中性子フルエンスの割合を調べてみると下表のようになり、BF<sub>3</sub>サーベイより求めた値と大略一致しているといえる。したがって、(3)の中性子フルエンス評価も大きな誤りはないものと推定される。

エネルギー領域	BF <sub>3</sub> サーベイメータ による割合	2.09 \$	3.8 \$	3.05 \$
熱中性子	4.6	8	5.5	3.4
中速中性子	0.69	0.67	0.39	0.35
高速中性子	1	1	1	1

#### 5.4 バースト状放射線と臨界モニターの応答試験方法

NSRRのパルス運転時には、トランジェント棒の引き抜き信号をリレーの a 接点としてサービスされており、これを実験装置のトリガーとして利用した。

NSRRよりこのトリガー信号を受けてから実際に放射線バーストが開始するまでには、時間の遅れがあり、この遅れ時間は NSRR の定常運転出力と印加反応度によって変り、一般に印加反応度が小さい時は遅れ時間が大きく、大きい時は少なくなる。この関係を図 19 に示す<sup>\*</sup>。

実際のバースト状放射線出力発生時間は 50 msec 程度であり、したがって、デジタルメモリー型オシロスコープのスweep時間は 200 msec 程度にしなければ放射線バーストを正しく観測することができない。正しく観測するためには NSRR のトリガー信号を受けてから、これを約 200 msec 遅延させ各種測定器にトリガーパルスをフィードするようになければならない。それゆえ、図 20 に示すようなタイミング調整用遅延回路を作り、これを利用した。

電磁オシログラフも各種信号観測に利用したが、電磁オシログラフは大きな信号電流を必要とするので、図 21 に示すようにフォトカプラーを利用し、測定器の信号系と切離す方式の電磁オシログラフ用電流増幅回路<sup>\*\*</sup>を作り電磁オシログラフを駆動した。

図 22 に臨界モニター応答試験のための測定系ブロックダイアグラムを示す。バースト状  $\gamma$  線出力モニター用検出器及び  $\gamma$  線臨界モニターの警報は直流出力であり、しかも高速現象であるのでデジタルメモリー型オシロスコープで観測した。

中性子臨界モニターの検出器信号はパルス出力であり、警報は 3 msec 幅の直流パルス出力である。したがって、検出器信号はマルチチャンネルアナライザー（以下「MCA」と呼ぶ）をマルチチャンネルスケラモード（以下「MCS」モードと呼ぶ）で使用し、信号を観測した。警報は電磁オシログラフで観測した。

#### 5.5 $\gamma$ 線臨界モニターの応答特性

NSRR のバースト状  $\gamma$  線出力モニターには図 23 に示す電流方式プラスチック検出器を用いた。 $\gamma$  線出力を忠実にフォローするために、この検出器の直流増幅器は、時定数を 500  $\mu$ sec とした。感度は増幅器出力電圧でみて、0.84 (R/hr)/V である。増幅器の出力電圧は最大 9 V までである。

200 mR/hr に警報セットした  $\gamma$  線臨界モニターと  $\gamma$  線出力モニターを同時にセットし、実験を行った。図 24 は NRG 室通路にこれらをセットして  $\gamma$  線臨界モニターの警報発生特性を調べた結果を示すものである。この点でバースト当り 8 mR の照射があったので、照射線量率は、 $\gamma$  線バースト幅を約 10 msec とすれば、2900 R/hr 程度になる。

図 25、図 26 は上記と同様の実験をサブパイル水密ハッチ横で、反応度を変えて行った結果であり、いずれの場合にも  $\gamma$  線臨界モニターの警報信号は正常に発生することが確認された。

\* NSRRより提供されたものである。

\*\* PNC 金盛正至氏製作

## 5.6 中性子臨界モニターの応答特性

図 27 は中性子臨界モニターの回路図で、応答特性実験には検出器信号を増幅回路のM点より取り出し、MCSへ信号をフィードし、観測した。観測にあたってはウランからの $\alpha$ 線をMCSのデスクリミネータでカットし、核分裂信号のみを観測するようにした。MCSのドウェルタイムは400  $\mu$ secとしてランさせた。この結果は図 28 に示す。警報信号は警報出力回路のS点より取り出し、これを電磁オッシログラフで観測した。

図 29、図 30 はNa 1 中性子臨界モニターを主ビーム下40 cmの所に置き（ビームで直接曝射されていない）、Na 2 中性子臨界モニターをNRG室通路に置き、 $\gamma$ 線臨界モニターを図 12の階段付近に置いて測定した結果である。

図 30 の中性子臨界モニターの警報出力は図 28 の計数とよく対応していることがわかる。図 29 の場合、警報回路はアナログ積分回路を使用した。図 30 ではデジタル積分回路を使用した。デジタル積分回路を使用した場合はアナログ積分回路よりも計数との対応はよくなっていることがわかった。

警報発生タイミングをみると主ビームに近いNa 1 中性子臨界モニターが一番早く、次にNa 2 中性子臨界モニター、最後に $\gamma$ 線臨界モニターとなっている。これは $\gamma$ 線臨界モニターが放射線的に一番隔離された所にセットした結果、この場所が200 mR/hrになるまでに時間が遅れているためである。

図 31 はNa 1 中性子臨界モニターと $\gamma$ 線臨界モニターを主ビームで曝射した場合である。この場合には $\gamma$ 線臨界モニターが警報を発生してから約35 msec遅れて中性子臨界モニターが警報を発生している。これは検出器の感度差等に起因するものである。

以上の実験結果より中性子臨界モニターは警報信号を正常に発生していることが確認された。

## 5.7 臨界モニターの放射線過負荷試験

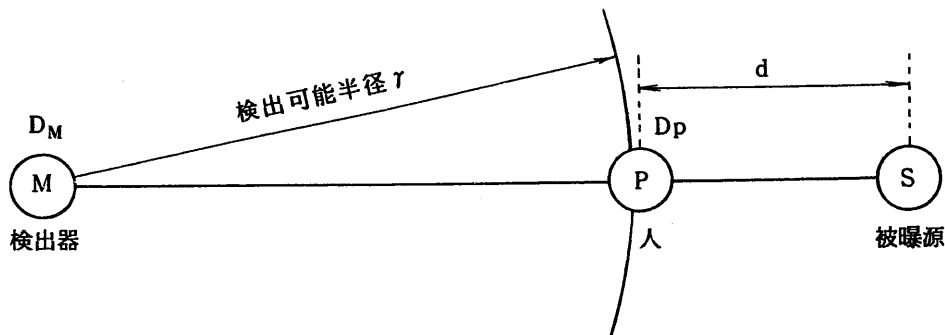
臨界モニターにパルスの過度な放射線を曝射した時、警報停止や検出器の破損、性能劣化等が発生しないか否かを調べた。図 31 が、これを目的とした試験であり、警報停止や検出器破損は生じなかった。この時に曝射した線量は5.2(3)の表より $\gamma$ 線で13.2 R 中性子吸収線量で3.03 rad（線量当量で19.6 rem）であった。Na 2 中性子臨界モニターについても同様の試験を行った。図 16-8 が、この時の実験を示すもので警報発生等に異常は認められなかった。

中性子臨界モニターの性能劣化については、放射線をモニターに曝射する前と曝射した後について、検出器からのウランによる $\alpha$ 線スペクトルの異常の有無を確かめることにより調査した。結果は図 32 に示す通りで異常は認められなかった。

## 6. 臨界モニターの現場への配置計画

臨界モニターの現場への配置計画は、2.2(3)bでのべた臨界モニターの警報設定線量率又は2.3の警報線量感度を基に臨界モニターの事故検出可能半径を求めることにより立案できる。

臨界モニターの事故検出可能半径  $r$  の計算は下図のように検出器、人、遮蔽物、被曝源の関係を仮定し、(10)式により考察することができる。



$$r = \left( \sqrt{\frac{D_P}{D_M} \cdot f_1 \cdot f_2 \cdot K} - 1 \right) d \quad \dots\dots\dots (10)$$

- 但し、 $D_M$  : 検出器の警報設定線量率又は警報線量感度で2.2(3)b又は2.3などの値。
- $D_P$  : 人体の被曝線量又は線量率の検出基準で、ANSI N 16.2では被曝源より2mの点で1分以内に25 remを人体に与える事故線量としている。英、仏国などでは被曝源より1mの点における  $\gamma$  線出力を  $10^{-14}$  R/fissionとし、臨界事故時の最小核分裂数を  $10^{15}$  fissionと仮定した時の線量。換言すれば被曝源より1mで10 Rを人体に与えるような事故線量としている。
- $d$  : 被曝源と人体との距離で、ANSI N 16.2では2m、英、仏国方式では1mとする。
- $f_1$  : パルス状放射線に対する検出器の安全係数で、検出器の応答が明確でない場合のことも考慮しANSI N 16.2では1/2500としている。  
SDCG-11のように応答が早くて明確になっている場合は1/10～1/100程度で十分であろう。
- $f_2$  :  $\gamma$  線対中性子の線量当量比で、ANSI N 16.2では遮蔽のない金属系の事故の場合1:11、減速系の事故では1:0.71としている。
- $K$  : 遮蔽物による減衰係数で、現場の実状に応じ概略的に決める必要がある。  
ANSI N 16.2では1/3としている。

線量率応答型臨界モニターで、臨界継続時間が約0.1 sec (但し、SDCN-20型臨界モニターは5 sec) を超える場合には、 $D_M$  は安全係数の重みを加えない警報設定線量率とし、 $f_1$  の安

全係数の重みも加えることなく、検出可能半径を計算する。

検出可能半径は検出基準線量又は核分裂数  $D_P$  が長時間で開放される時、即ち臨界継続時間が長いとき、一般に小さくなることに注意しなければならない。

## 7. 試験結果のまとめ

$\gamma$ 線臨界モニターに関しては以下のことが明らかになった。

- ① 照射線量率当りの電流感度は  $6 \times 10^{-2} \mu\text{A}/(\text{mR}/\text{hr})$  で、照射線量率と PMT の出力電流の直線性は  $500 \text{ mR}/\text{hr}$  までである。
- ② 回路の応答時間は  $1 \sim 1.5 \text{ msec}$  で、短時間  $\gamma$ 線バーストについては、その照射線量率が警報設定線量率の 10 倍以上であれば確実に警報を発生する。
- ③ 短時間  $\gamma$ 線バーストに対する警報線量感度は  $0.56 \mu\text{R}$  である。
- ④ バースト幅約  $10 \text{ msec}$  で  $13 \text{ R}$  曝射しても異常は認められなかった。
- ⑤ バースト状  $\gamma$ 線曝射に対する警報発生動作は正常であることを確認した。

中性子臨界モニターに関しては以下のことが明らかになった。

- ① 線量当量率感度は  $360 (\text{mrem}/\text{hr})/\text{cps}$ 、吸収線量率感度は  $180 (\text{mrad}/\text{hr})/\text{cps}$  であった。
- ② 短時間中性子線バーストに対する警報線量感度は約  $0.5 \text{ mrad}$  である。
- ③ バースト幅  $10 \text{ msec}$  で  $\gamma$ 線を  $13 \text{ R}$ 、中性子線を  $3 \text{ rad}$  曝射しても異常は認められなかった。
- ④ バースト状中性子線曝射に対する警報発生動作は正常であることを確認した。

中性子臨界モニターは核燃物質を使用しているので、核燃物質の移動に伴う伝票類を表 5、表 6 に示す。なお、NSRR における実験日誌を参考までに表 7 に示す。

## 謝 辞

この報告をまとめるにあたって動力炉・核燃料開発事業団、東海事業所安全管理部、福田整司部長、中田啓課長に終始懇切な御助言を得ると共に、NSRR における実験については江花 稔係長、野田喜美雄、金盛正至、宮部賢次郎研究員の御協力をいただきました。また NSRR の利用にあたっては NSRR 管理室石井敏雄室長並びに大友正一係長に終始懇切な御協力をいただきました。謹んで謝意を表します。

## 参 考 文 献

- 1) 動力炉・核燃料開発事業団, 安全管理部; 臨界警報装置操作・保守・点検マニュアル, (昭和 51年 4月).
- 2) 南賢太郎, 岡本利夫, 佐藤信之, 藤岡克治; 原研大洗研究所燃料研究棟に設置した臨界モニター, 日本保健物理学会第 11 回研究発表会, (昭和 50 年度).
- 3) 日本原子力研究所; 原子力安全性研究の現状, (1979 年).
- 4) 齊藤伸三, 岡芳明, 橋倉宏行, 柳原敏, 大友正一他, NSRR 実験孔内中性子束及びγ線量の評価 (I), JAERI -M 8474 (1979 年 9 月).
- 5) ICRP Publication 21 ; Recommendations of the ICRP, data for protection against ionizing radiation from external source
- 6) William J. Price ; Nuclear Radiation Detection, McGraw - Hill Book Company (1964)
- 7) NBS Handbook 63 ; Protection against neutron radiation up to 30 million volts
- 8) H. Ryufuku ; Japan. J. Appl. Phys., 5, 903 (1966)
- 9) 南賢太郎, 福田整司, 吉田芳和; 放射線管理における中性子線量評価法; 保健物理 Vol. 5. No 1 (1970)
- 10) ANSI N 16.2 - 1969 ; American National Standard, Criticality Accident Alarm System
- 11) 核燃料臨界安全技術研究専門委員会; 核燃料の臨界安全管理に関するアメリカ国内基準, 日本原子力学会誌, Vol. 13, No 9 (1971)
- 12) K. J. Aspinall and J. T. Daniels ; Review of U.K. A. E. A. criticality detection and alarm systems 1963/64, Part 1 : Provision and design principles , AHSB (S) R 92
- 13) K. W. Bahler , A. F. Rupp, R. H. Lafferty, Jr. J. W. Wachter, L. S. O' Rourke ; Prevention and handling of radiation emergencies , K - 1436

表1 SDCG-11 を約 300 (mR/hr) のパルス状  $\gamma$  線で照射  
した時の照射  $\gamma$  線パルス幅と警報出力のパルス幅

線源ローターの回転数 (rpm)	ローターの回転数より求 めた $\gamma$ 線パルス幅 (msec)	SDCG-11 の警報出力 パルス幅 (msec)
175	5.4	5.6
500	1.9	2.0
650	1.5	1.4
750	1.3	1.1
900	1.1	0.8
1000	1.0	0.7
1100	0.9	0.5



表2 Characteristics of NSRR

Reactor Type; Modified TRIGA-ACPR (Annular Core Pulse Reactor)

Reactor Vessel; 3.6<sup>m</sup>(wide) × 4.5<sup>m</sup>(long) × 9<sup>m</sup>(deep) open pool

Fuel;

Fuel type	12 wt% U-ZrH fuel
Fuel enrichment	20 wt% U-235
Clad material	Stainless steel
Fuel diameter	3.56 cm
Clad diameter	3.76 cm O.D.
Length of fuel section	38 cm
Number of fuel rods	157
Equivalent core diameter	62 cm

Control Rods;

Number	8 (including 2 safety rods)
Type	Fuel followered type
Poison material	Natural B <sub>4</sub> C
Rod drive	Rack and pinion drive

Transient Rods;

Number	2 fast transient rods and 1 adjustable transient rod
Type	Air followered type
Poison material	92% enriched B <sub>4</sub> C
Rod drive	Fast : Pneumatic Adjustable: Rack and pinion & pneumatic

Core Performance;

## a) Steady state operation

Steady state power	300 kW
--------------------	--------

## b) Pulse operation

Max. peak power	21,100 MW
Max. burst energy	117 MW-sec
Max. reactivity insertion	3.43% Δk (β4.67)
Min. period	1.12 msec
Pulse width	4.4 msec (1/2 peak power)
Neutron life time	30 μsec

Experiment Tube;

Inside diameter	22 cm
-----------------	-------

表3 中性子についての換算係数と実効線質係数

中性子のエネルギー MeV	実効線質係数** $\bar{Q}$	1 mrem/hrあたりの* (中性子数/cm <sup>2</sup> ·sec)	1 mremに相当する 中性子フルエンス (n/cm <sup>2</sup> )	1 mrad/hrあたりの (中性子数/cm <sup>2</sup> ·sec)	1 mradに相当する 中性子フルエンス (n/cm <sup>2</sup> )
2.5×10 <sup>-8</sup> (熱中性子)	2.3	260	936000	598	2152800
1×10 <sup>-7</sup> ( 0.1 eV)	2	240	864000	480	1728000
1×10 <sup>-6</sup> ( 1 eV)	2	220	792000	440	1584000
1×10 <sup>-5</sup> ( 10 eV)	2	230	828000	460	1656000
1×10 <sup>-4</sup> ( 10 <sup>2</sup> eV)	2	240	864000	480	1728000
1×10 <sup>-3</sup> ( 1 KeV)	2	270	972000	540	1944000
1×10 <sup>-2</sup> ( 10 KeV)	2	280	1008000	560	2016000
1×10 <sup>-1</sup> ( 10 <sup>2</sup> KeV)	7.4	48	172800	355	1278720
5×10 <sup>-1</sup>	11	14	50400	154	554400
1	10.6	8.5	30600	90	324360
2	9.3	7.0	25200	65	234360
5	7.8	6.8	24480	53	190944
10	6.8	6.8	24480	46	166464
20	6.0	6.5	23400	39	140400
50	5.0	6.1	21960	30.5	109800
1×10 <sup>2</sup>	4.4	5.6	20160	24.6	88704
2×10 <sup>2</sup>	3.8	5.1	18360	19.4	69768
5×10 <sup>2</sup>	3.2	3.6	12960	11.5	41472
1×10 <sup>3</sup>	2.8	2.2	7920	6.2	22176
2×10 <sup>3</sup>	2.6	1.6	5760	4.2	14976
3×10 <sup>3</sup>	2.5	1.4	5040	3.5	12600

\* 深さ一線量当量曲線の最大において計算された値

\*\* 線量当量の最大値を、その最大値が現れた深さにおける吸収線量で除して得た値

表4 バースト状中性子フルエンス測定結果

反応度 ( $\beta$ )	測定 日, 時, 分	熱中性子		5eV近辺の 中性子 ( $n/cm^2$ )	Cd比	速中性子		備考
		( $n/cm^2$ )	(rad)			( $n/cm^2$ )	(rad)	
2.09	17, 12:02	$1.2 \times 10^9$	0.6	$7.10 \times 10^6$	11.6	$5.99 \times 10^7$	0.3	Pbシャッターを開と し, D点で測定
3.8	17, 16:03	$2.44 \times 10^9$	1.2	$1.39 \times 10^7$	13.1	$1.77 \times 10^8$	0.89	
2.5	22, 16:13					$1.66 \times 10^8$	0.83	
3.05	24, 15:53	$1.51 \times 10^9$	0.7	$1.22 \times 10^7$	9.4	$1.78 \times 10^8$	0.89	} 検出器前面で測定
Pb シャッターを閉じて測定した場合								
3.5	29, 15:17	$1.37 \times 10^8$	0.07	$6.76 \times 10^5$	14.9	—		Pbシャッター背面で測定

表5

核燃料物質等受入票 ㊟

(発送元—核燃料課—受入課室保管)

払出年月日 昭和 55 年 10 月 14 日		
払出元事業所名および所在地		M・B・A
茨城県那珂郡東海村松		
南加核燃料開発事業団東海事業所		JA4A
パツチ名		受入契約 件名
GA010001		臨検報告書の動付性試験
核燃料物質等の区分		
<input type="checkbox"/> 天然ウラン	<input type="checkbox"/> プルトニウム	<input type="checkbox"/> 天然ウラン (使用済)
<input type="checkbox"/> 劣化ウラン	<input type="checkbox"/> ウラン233	<input type="checkbox"/> 濃縮ウラン (使用済)
<input type="checkbox"/> トリウム	<input type="checkbox"/> 天然ウラン (再処理)	<input type="checkbox"/> 核原料物質
<input checked="" type="checkbox"/> 濃縮ウラン	<input type="checkbox"/> 天然ウラン (原産)	<input type="checkbox"/> 重水
核物質重量	核分裂性物質重量	濃縮度
計量データ 24 t kg g 000	34 t kg g 000	44-47 89.89
生成プルトニウム重量	パツチ単位体数	測定ベース
タ 48 t kg g	58-61	<input checked="" type="checkbox"/> 自測定 <input type="checkbox"/> タグ
		<input type="checkbox"/> 他測定 <input type="checkbox"/> ラベル
物理形		化学形
密封線源 (コード)		<del>UO2</del> UO2 (コード)
容器の種類		照射状況・品質
L型 (コード)		非照射 (コード)
製造加工業者	供給国	輸送方法
東芝	アメリカ	<input checked="" type="checkbox"/> 自動車便 <input type="checkbox"/> 郵便
輸送会社		
動燃		
受入課室名	JOB No.	核燃料管理者
線量計測課	3-216	沼宮内
M・B・A	KMP	分任核燃料管理者
JH-I	B5	204
部屋番号		担当者
204		山 12
容器の種類 (受入後)		受入事由
L型 <0.5L A (コード)		<input checked="" type="checkbox"/> 購入 <input type="checkbox"/> 寄贈
		<input checked="" type="checkbox"/> 借入 <input type="checkbox"/> 保管委託先から返却
通用法規区分		<input checked="" type="checkbox"/> 保管受託 <input type="checkbox"/> 研究所間移動
所有権区分		<input type="checkbox"/> 支給品返還受 <input type="checkbox"/>
<input checked="" type="checkbox"/> 施設運転規則	<input type="checkbox"/> 原研	<input type="checkbox"/> 貸出品返還受
<input checked="" type="checkbox"/> 使用等規則	<input checked="" type="checkbox"/> 東海	
受入年月日 昭和 55 年 10 月 14 日 10 時 30 分		
(記事) 0.7 mg x 2 = 1.4 mg U量 0.61621 mg U-235量 受託調査		



計量単位未満

上記物件を受入れたので通知します。  
受入年月日 昭和 55 年 10 月 14 日

受入者 日本原子力研究所東海研究所  
管理部核燃料課長 児玉敏夫

法定10年間保存

表6 核燃料物質等所内移動票 ㉔  
(移動元課室—核燃料課—移動先課室保管)

起票年月日	昭和55年10月29日	移動予定年月日	昭和55年10月31日	時	分
移動元課室名	JOB No.	核燃料管理者	分任核燃料管理者	担当者	
NSRR	941				
M B A	KMP	部屋番号			
JH-ILIR	312				(TEL 5956)
パッチ名	適用法規区分	所有権区分			
GAO10001	<input type="checkbox"/> 設置運転規則 <input checked="" type="checkbox"/> 使用等規則	<input type="checkbox"/> 原研 <input checked="" type="checkbox"/> 動燃 <input type="checkbox"/> 政府 <input type="checkbox"/>			
核燃料物質等の区分					
<input type="checkbox"/> 天然ウラン <input type="checkbox"/> 劣化ウラン <input type="checkbox"/> トリウム <input checked="" type="checkbox"/> 濃縮ウラン	<input type="checkbox"/> プルトニウム ウラン233 <input type="checkbox"/> 天然ウラン(再処理) <input type="checkbox"/> 天然ウラン(原電)	<input type="checkbox"/> 天然ウラン(使用済) <input type="checkbox"/> 濃縮ウラン(使用済) <input type="checkbox"/> 核燃料物質 <input type="checkbox"/> 重水			
核物質重量	核分裂性物質重量	濃縮度			
000	000	8989			
生成プルトニウム重量	パッチ単位体数	測定ベース			
		<input type="checkbox"/> 自測定 <input type="checkbox"/> タグ <input type="checkbox"/> 他測定 <input checked="" type="checkbox"/> ラベル			
物理形	化学形	容器の種類	照射状況	品質	
(コード)	(コード)	(コード)	(コード)	(コード)	
密封線源	QSC(酸化物)	Q	インター	A	非照射 A
製造加工業者	供給国	移動方法および移動用容器の種類			
東芝	U.S.A.	車輛			(容器コード) A
<input type="checkbox"/> MBA間移動 <input checked="" type="checkbox"/> KMP間移動 <input type="checkbox"/> KMP内移動	<input type="checkbox"/> 保管開束 <input type="checkbox"/> 使用損耗 <input type="checkbox"/> 核的生成 <input type="checkbox"/> 核的損耗	<input type="checkbox"/> 物理形・化学形 容器・照射状況変更 <input type="checkbox"/> 濃縮度変更 <input type="checkbox"/> 測定ベース変更	<input type="checkbox"/> 核物質混合・分割 ( ) <input checked="" type="checkbox"/> JOBNo変更 <input type="checkbox"/> パッチ変換		
移動先課室名	JOB No.	核燃料管理者	分任核燃料管理者	担当者	
線量計測課	326				
M B A	KMP	部屋番号			
JH-1	B5	204			(TEL 5000)
パッチ名	適用法規区分	所有権区分			
(核燃料課記入) GAO10001	<input type="checkbox"/> 設置運転規則 <input type="checkbox"/> 使用等規則	<input type="checkbox"/> 原研 <input checked="" type="checkbox"/> 動燃 <input type="checkbox"/> 政府 <input type="checkbox"/>			
核燃料物質の区分					
<input type="checkbox"/> 天然ウラン <input type="checkbox"/> 劣化ウラン <input type="checkbox"/> トリウム <input checked="" type="checkbox"/> 濃縮ウラン	<input type="checkbox"/> プルトニウム ウラン233 <input type="checkbox"/> 天然ウラン(再処理) <input type="checkbox"/> 天然ウラン(原電)	<input type="checkbox"/> 天然ウラン(使用済) <input type="checkbox"/> 濃縮ウラン(使用済) <input type="checkbox"/> 重水			
核物質重量	核分裂性物質重量	濃縮度			
000	000	8989			
生成プルトニウム重量	パッチ単位体数	測定ベース			
		<input type="checkbox"/> 自測定 <input type="checkbox"/> タグ <input type="checkbox"/> 他測定 <input checked="" type="checkbox"/> ラベル			
物理形	化学形	容器の種類	照射状況	品質	
(コード)	(コード)	(コード)	(コード)	(コード)	
受入年月日	昭和55年10月31日 11時00分				



0.7mg x 2  
計量単位未満

受託契約  
「臨界警報装置の動特性試験」に基<sup>て</sup>受託調査。

上記物件の移動を下記日付で同意します。  
移動年月日 昭和55年10月31日  
移動同意者 核燃料課長 児玉敏夫

法定10年間保存

表7 NSRR 実験日誌

10/9	15:10	38 \$	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ <math>\gamma</math> 線モニター……NRG室でAlarm信号が出ることと、その遅れ時間を測定</li> </ul>
10/17	12:02	209 \$	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ n 臨界モニター(1)……ビーム下 40cmでの Detector 信号と Alarm 信号を測定</li> <li>・ n 臨界モニター(2)…… NRG室入口から 2 m 内側での Detector 信号と Alarm 信号を測定</li> <li>・ <math>\gamma</math> 臨界モニター…… NRG室の内側 4 mの所での Alarm 信号と <math>\gamma</math> バーストの関係を測定</li> </ul>
	16:03	38 \$	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ n 臨界モニター(1), (2)……同上の条件で Alarm 信号を測定</li> <li>・ <math>\gamma</math> 臨界モニター……同上の条件で同じ測定</li> </ul>
10/22	11:43	305 \$	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ n 臨界モニター(1), (2)……同上の条件で測定。Detector 信号と Alarm 信号の相関関係を観察</li> <li>・ <math>\gamma</math> 臨界モニター……Hot cell の前まで位置を遠ざけて、Alarm 信号と <math>\gamma</math> バーストの関係を測定</li> </ul>
	16:13	25 \$	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ n 臨界モニター(1)……積分回路を TTL logic 回路に変えた。Detector 信号の波高分布を測定</li> <li>・ n 臨界モニター(2)……積分回路を TTL logic 回路に変えた。 *以降の実験は全て TTL logic 回路を採用</li> <li>・ <math>\gamma</math> 臨界モニター……同上の条件で測定</li> </ul>
10/24	11:58	243 \$	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ n 臨界モニター(1), (2)の曝射前後の Detector の特性変化を <math>\alpha</math> スペクトルを利用して調べた。</li> <li>・ <math>\gamma</math> 臨界モニター……同上の測定</li> </ul>
	15:53	305 \$	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ n 臨界モニター(1)……中性子ビームを直接照射して、Detector 信号、Alarm 信号を測定。照射前後の Detector の特性変化を <math>\alpha</math> スペクトルを測定して調べた。</li> <li>・ n 臨界モニター(2)…… NRG室入口から 2 m 点で Alarm 信号と Detector 信号を測定</li> <li>・ <math>\gamma</math> 臨界モニター……<math>\gamma</math> 線ビームを直接照射して、Alarm 信号が出ることを確認</li> </ul>
10/28	50KW~270KW の定常運転		<ul style="list-style-type: none"> <li>・ NRG室内をレムカウンターで測定し、n 臨界モニターの Detector 信号との関係を調べた。</li> </ul>
10/29	14:38	305 \$	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ n 臨界モニター(2)……中性子ビームを直接照射して、破損しないことを確認</li> </ul>
	11:17	35 \$	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ ビーム孔の Pb シャッターを閉じた時の中性子束を測定。</li> </ul>

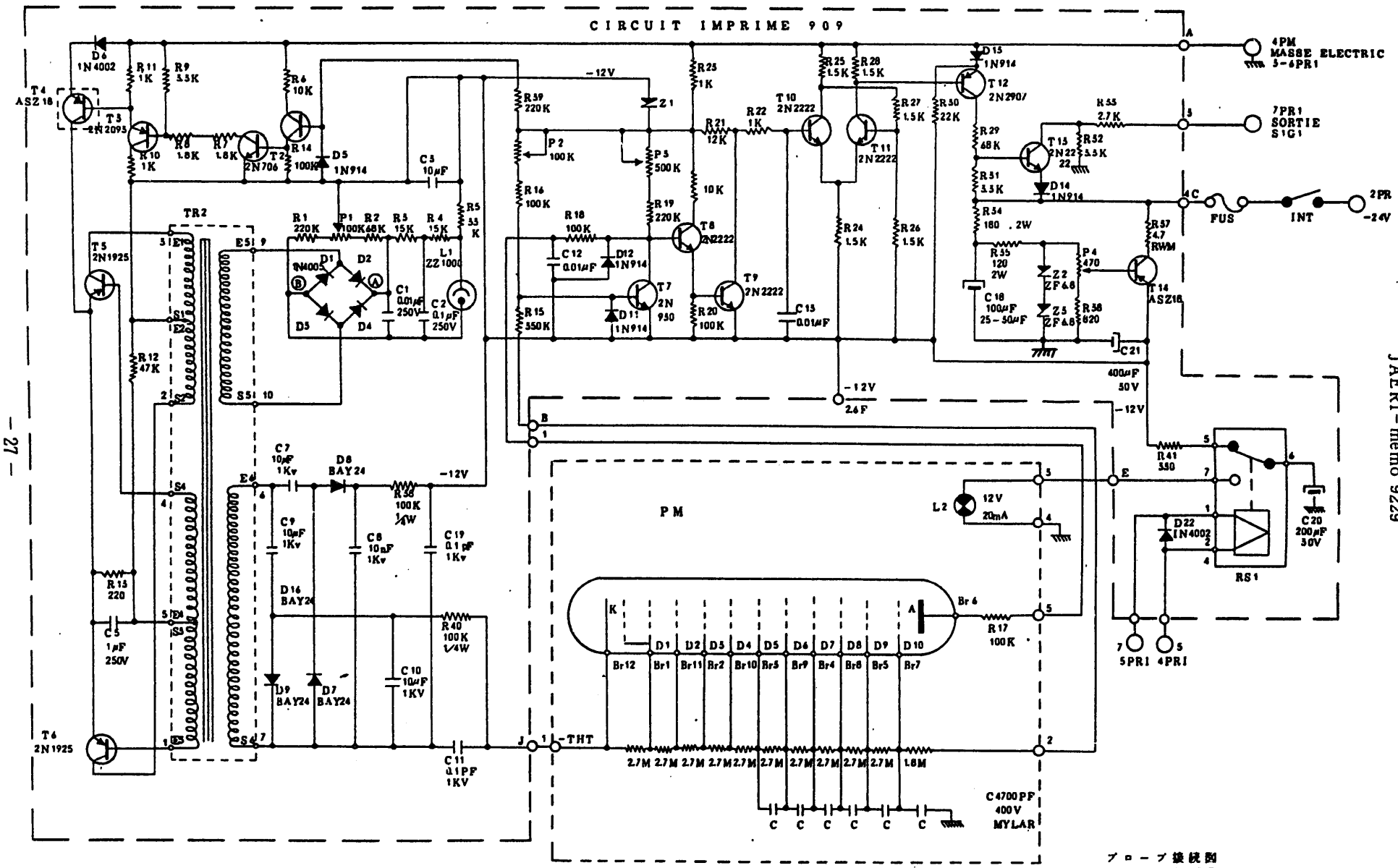


図1 SDCG-11の回路

プロップ接続図  
SDCG11

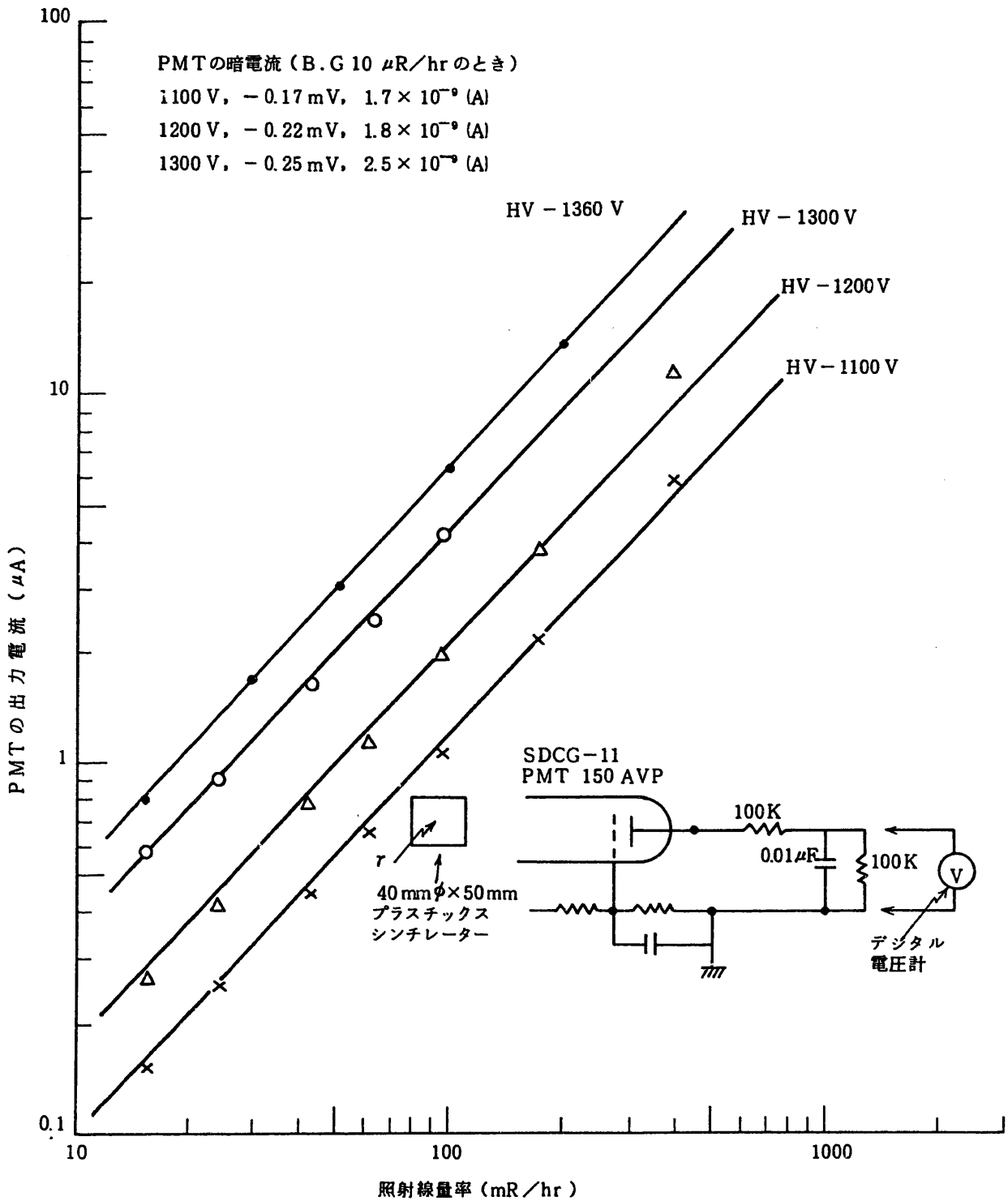


図2  $\gamma$ 線用臨界モニター (SDCG-11) のPMTへの印加高圧を変えた場合のPMTの出力電流



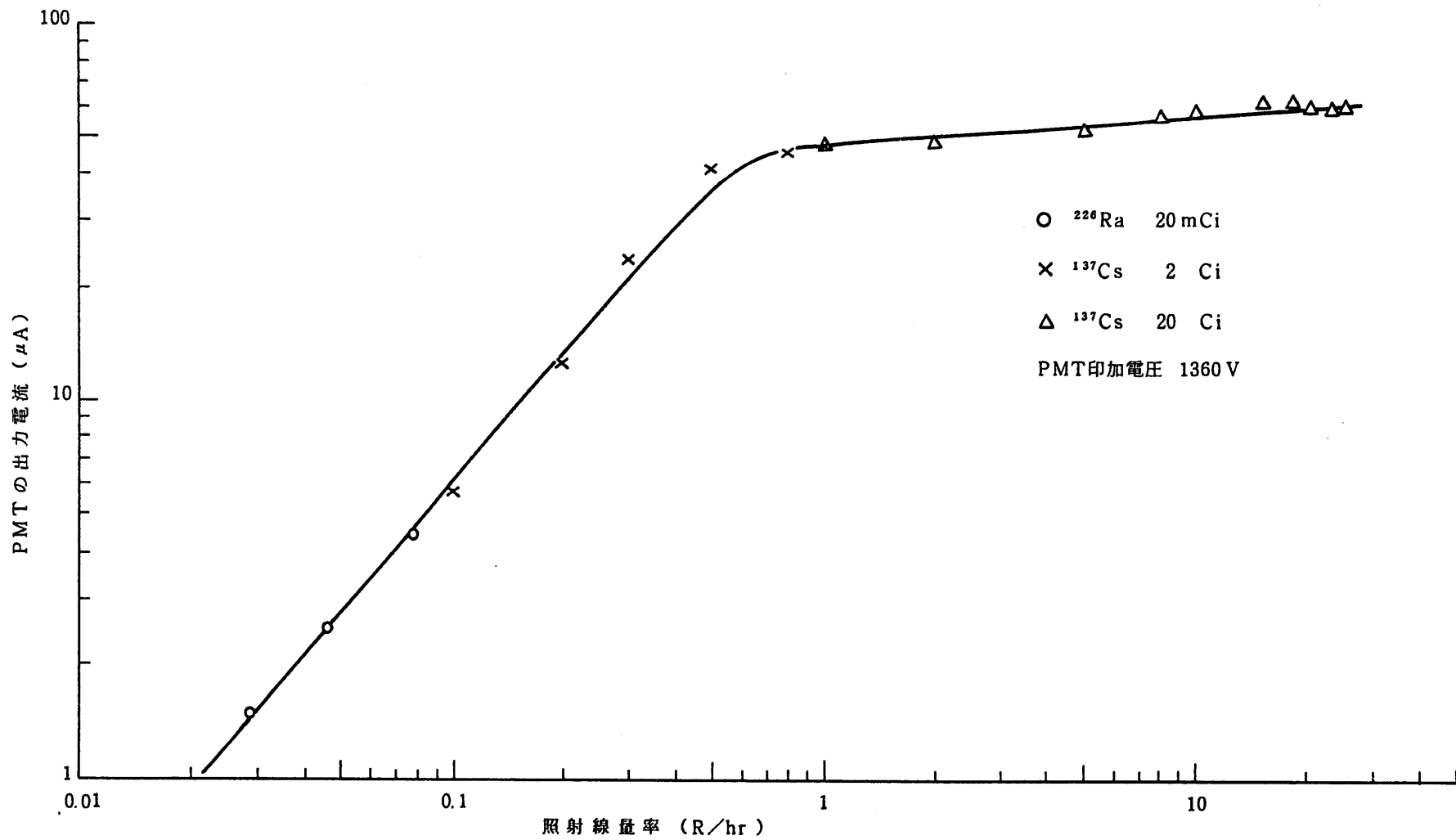


図3 SDCG - 11のPMTに -1360 V印加した時の照射線量率とPMT出力電流の関係

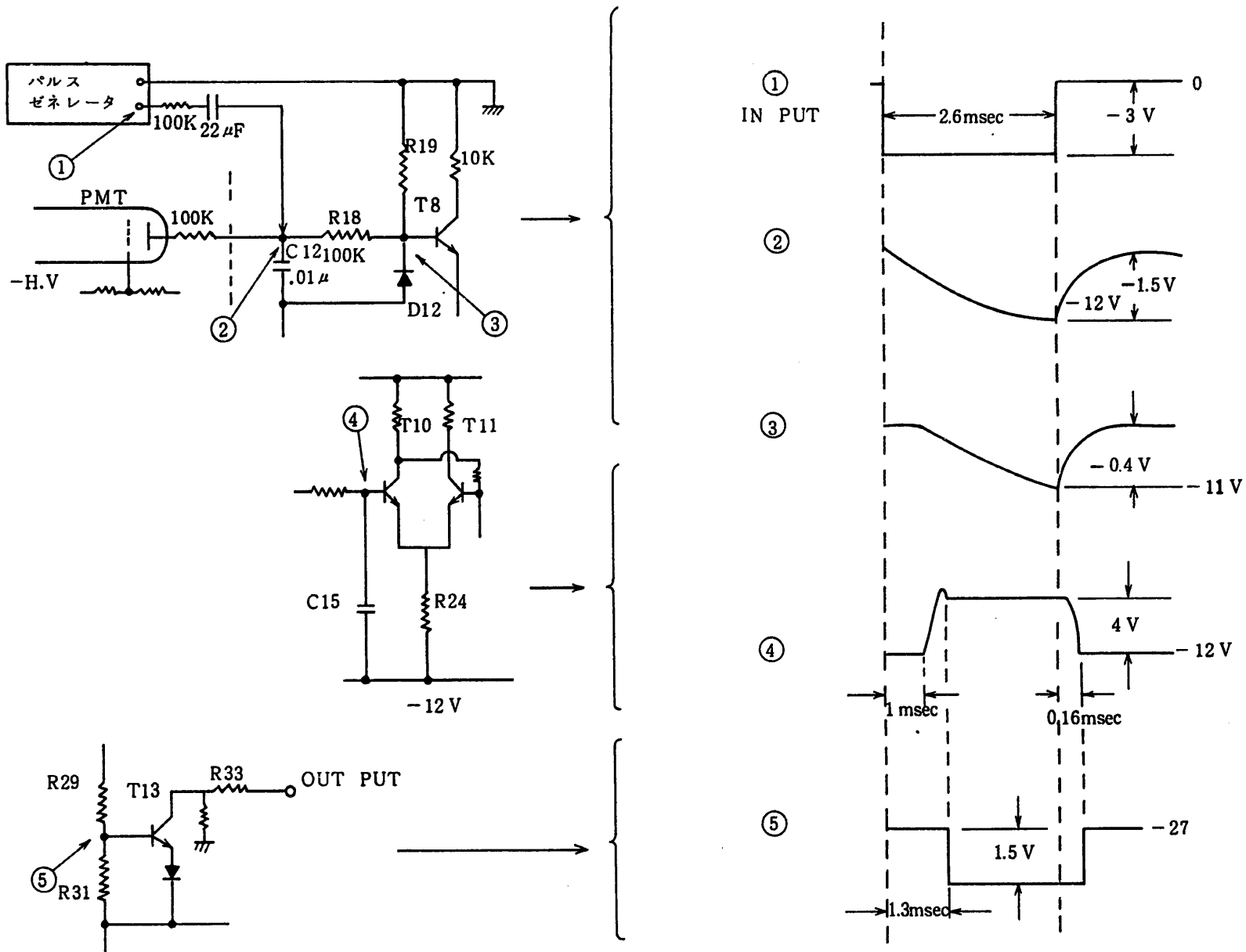


図4 SDCG - 11 の入力に電気的パルスを加えた場合の回路各部における波形とタイミング

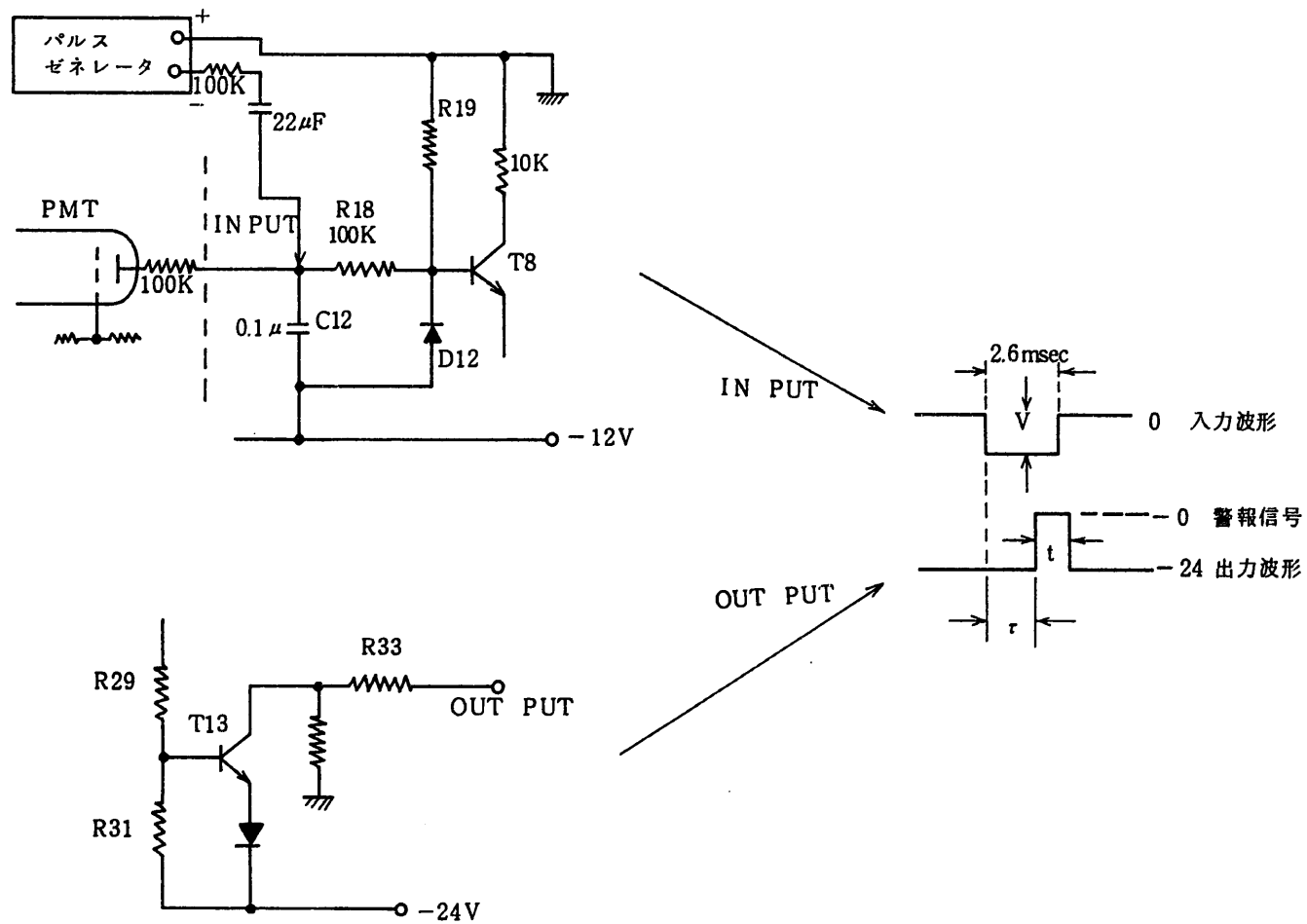


図5 SDCG-11の入力と警報信号の遅れ時間 $\tau$ 及び警報信号幅 $t$ の観測法

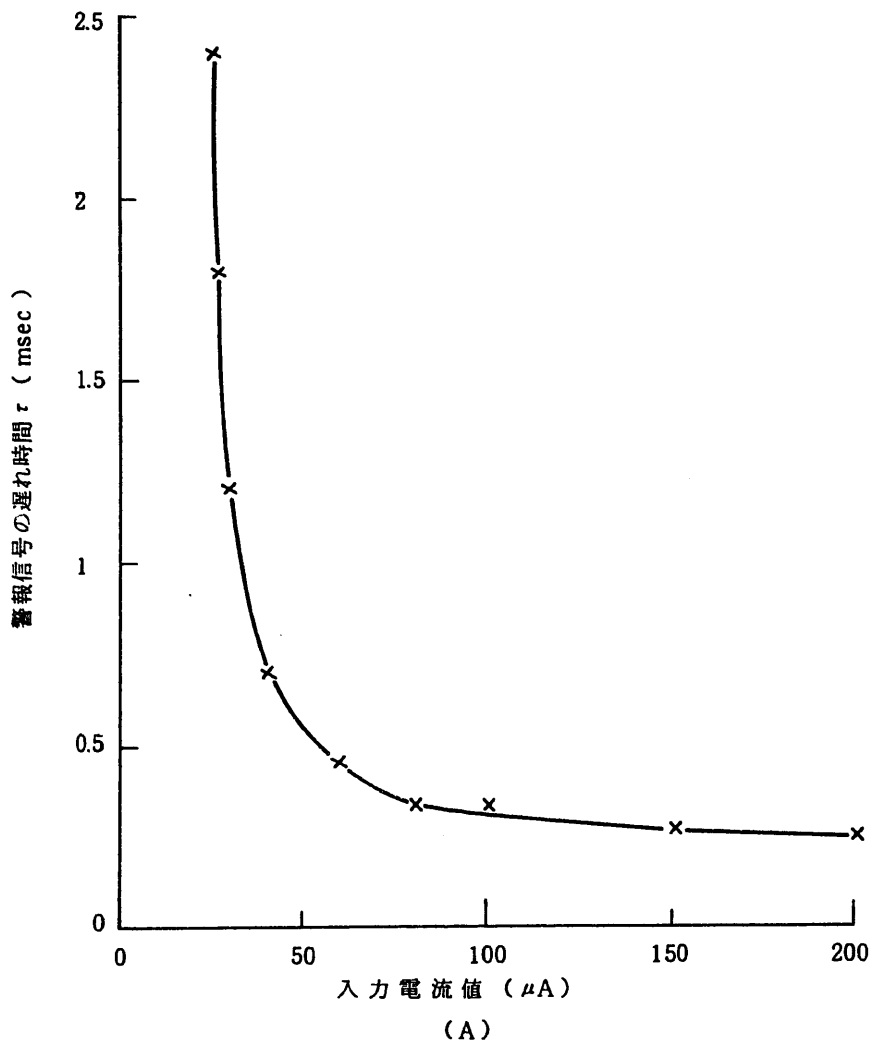
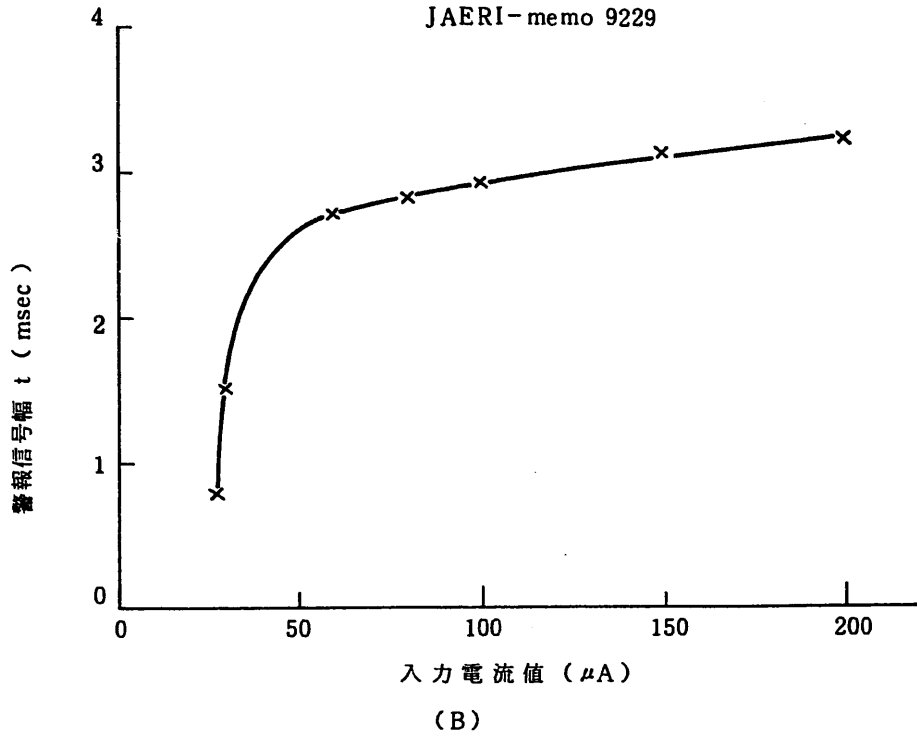


図6 入力電流を変化させた時のSDCG-11の警報信号の遅れ時間 $\tau$ 及び警報信号 $t$ の変化

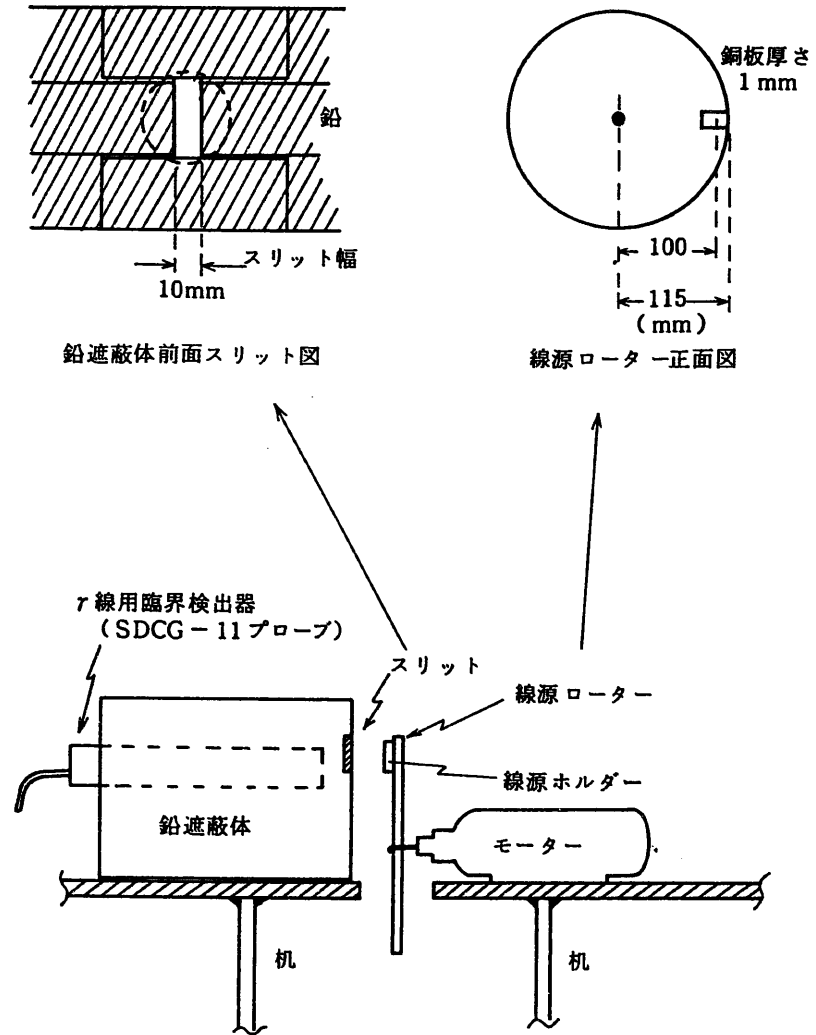


図7 線源回転型パルス状 $\gamma$ 線照射実験装置

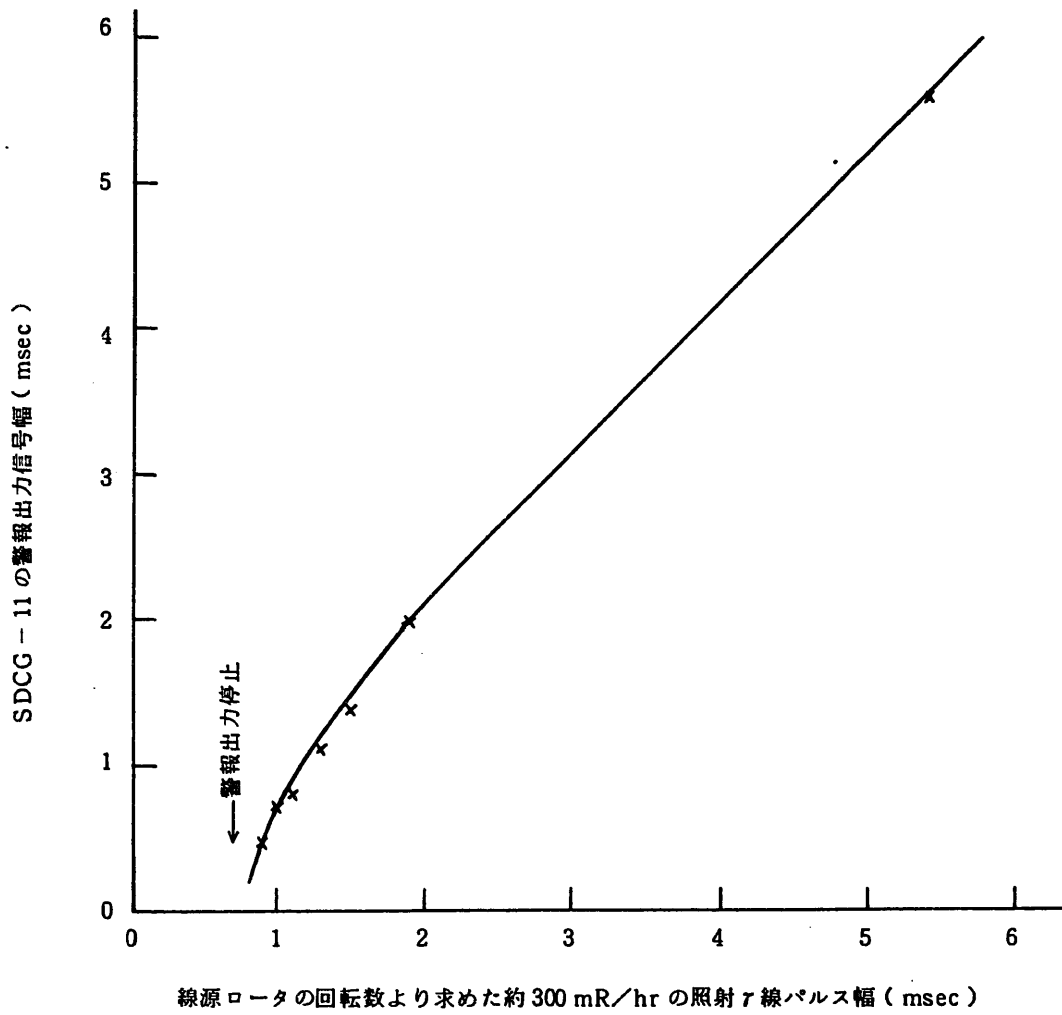


図8 SDCG-11への入射 $\gamma$ 線パルス幅と警報出力パルス幅の関係 (表1を図にしたもの)

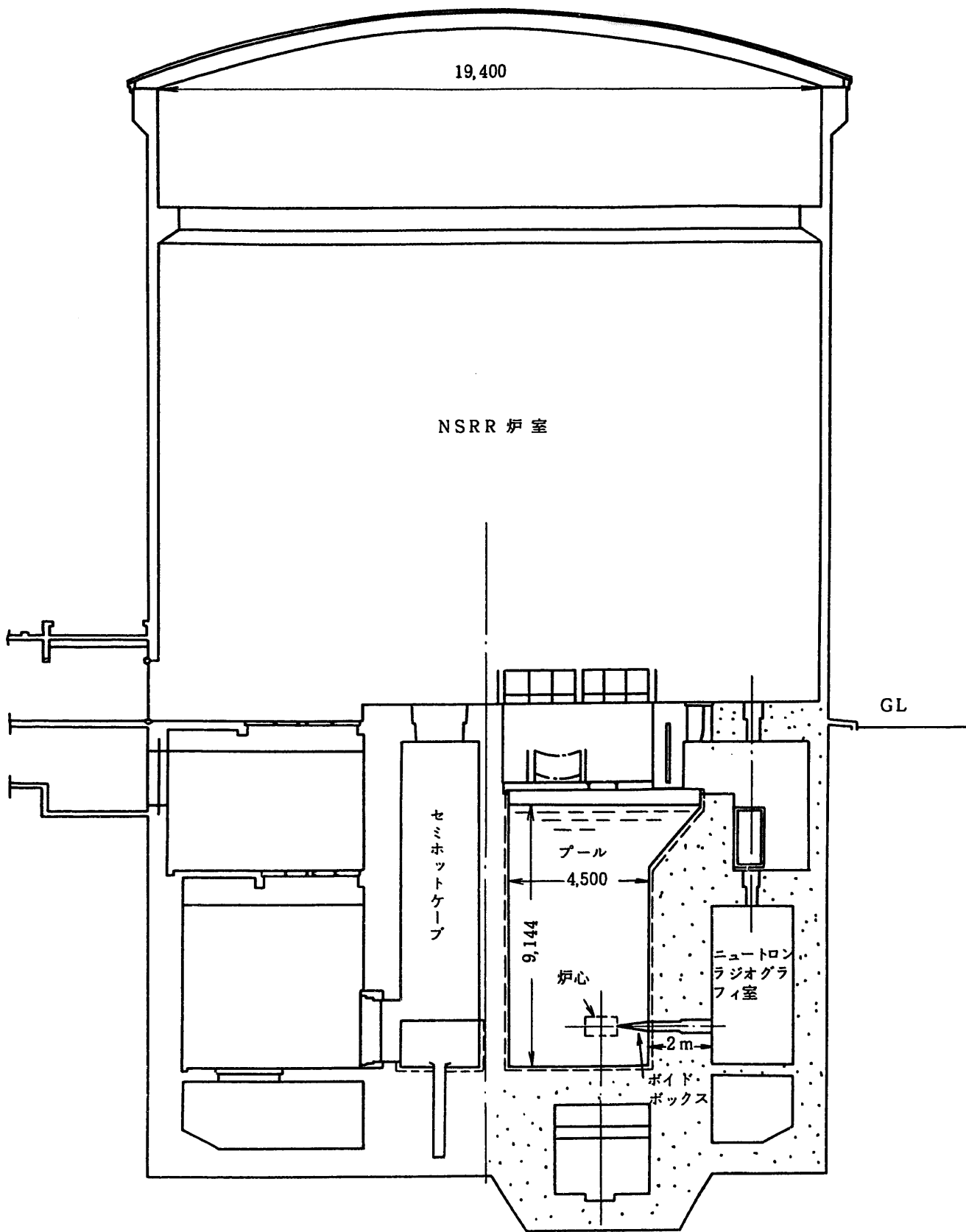


図9 NSRR原子炉建屋断面

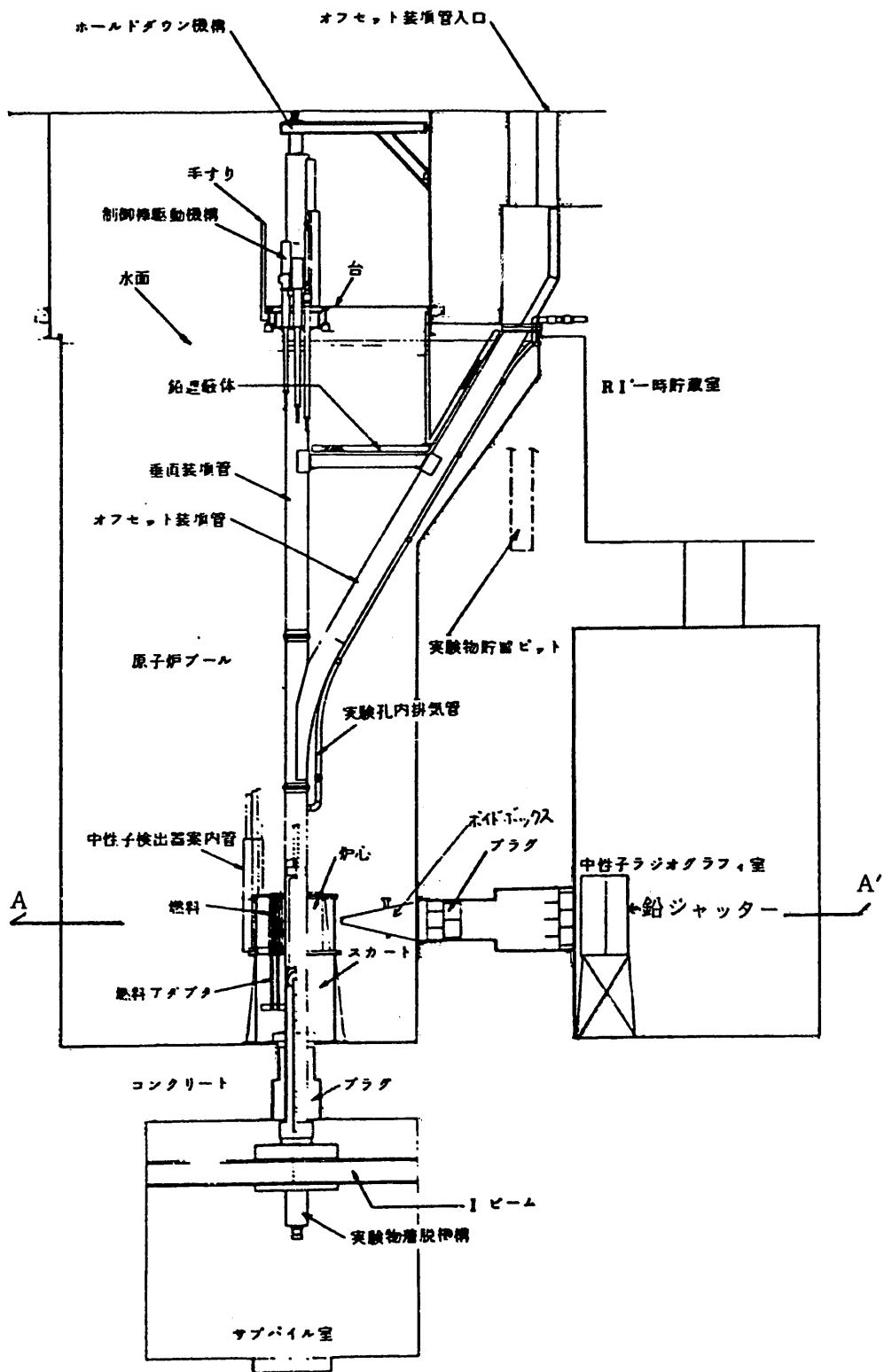


図10 NSRR 炉心部及び照射設備



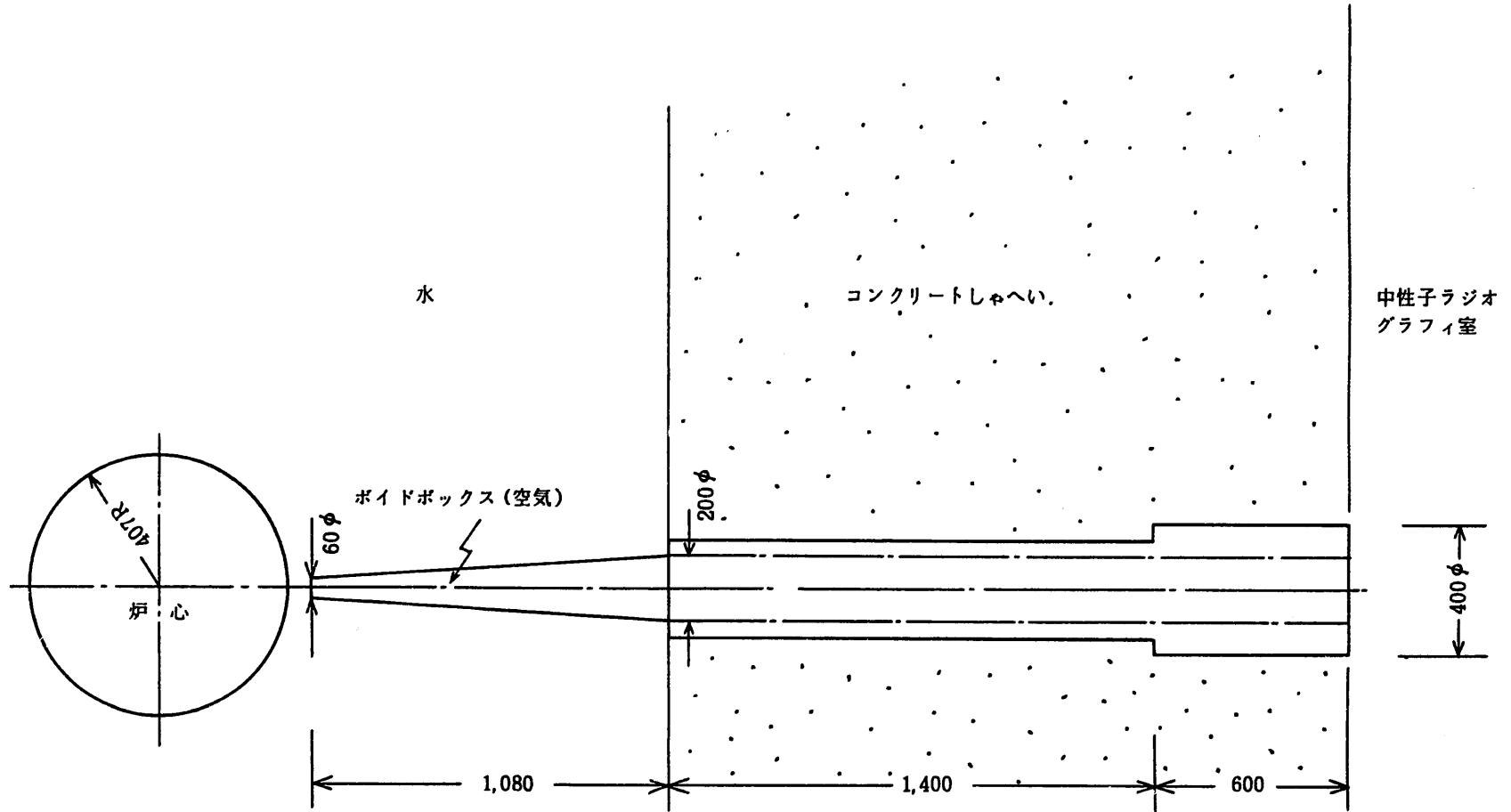


図 11 中性子ラジオグラフィ室への中性子案内孔詳細 (図 10 の A-A' 水平面)

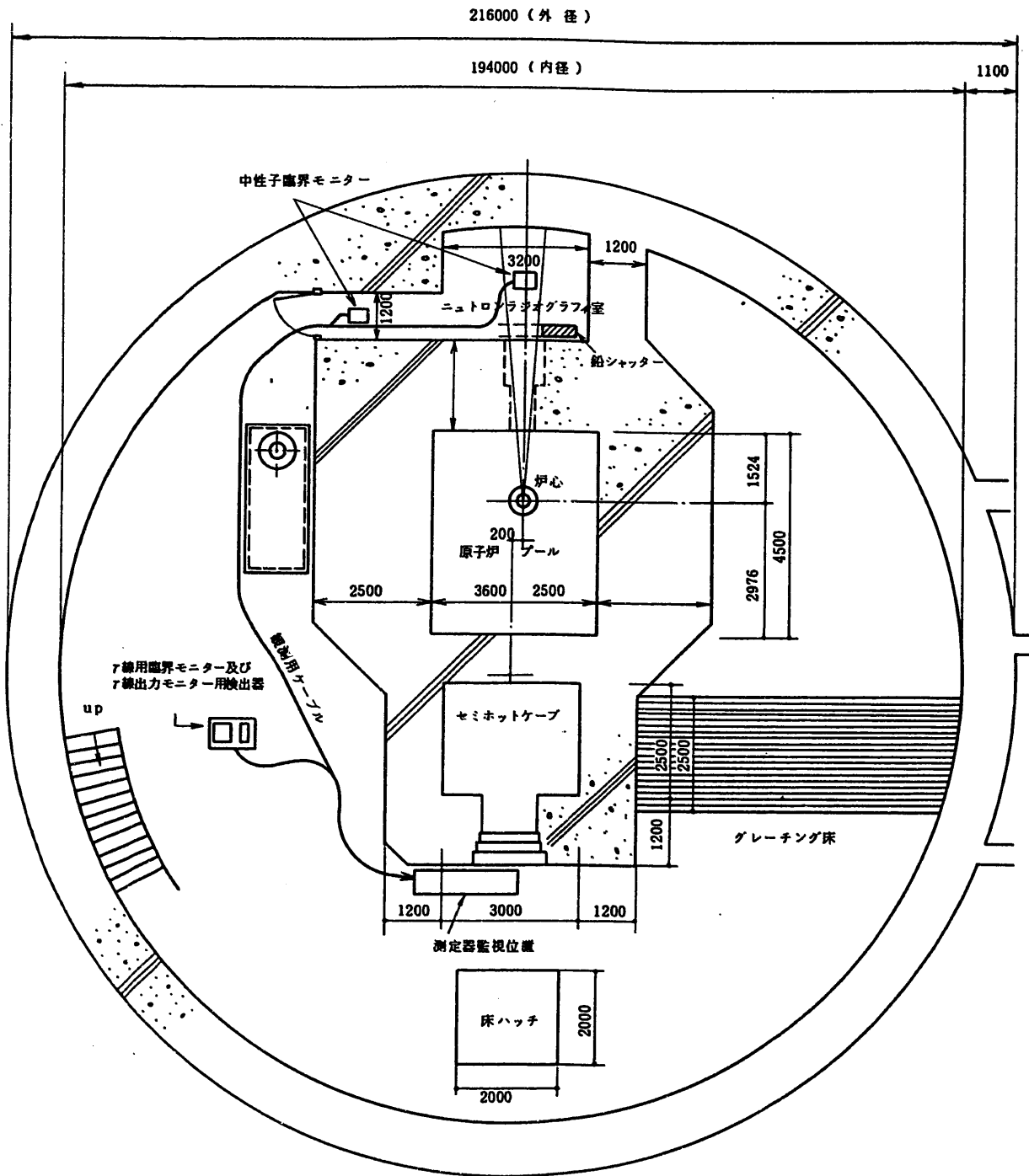


図 12 NSRR地下3階における実験装置の配置と測定器監視位置

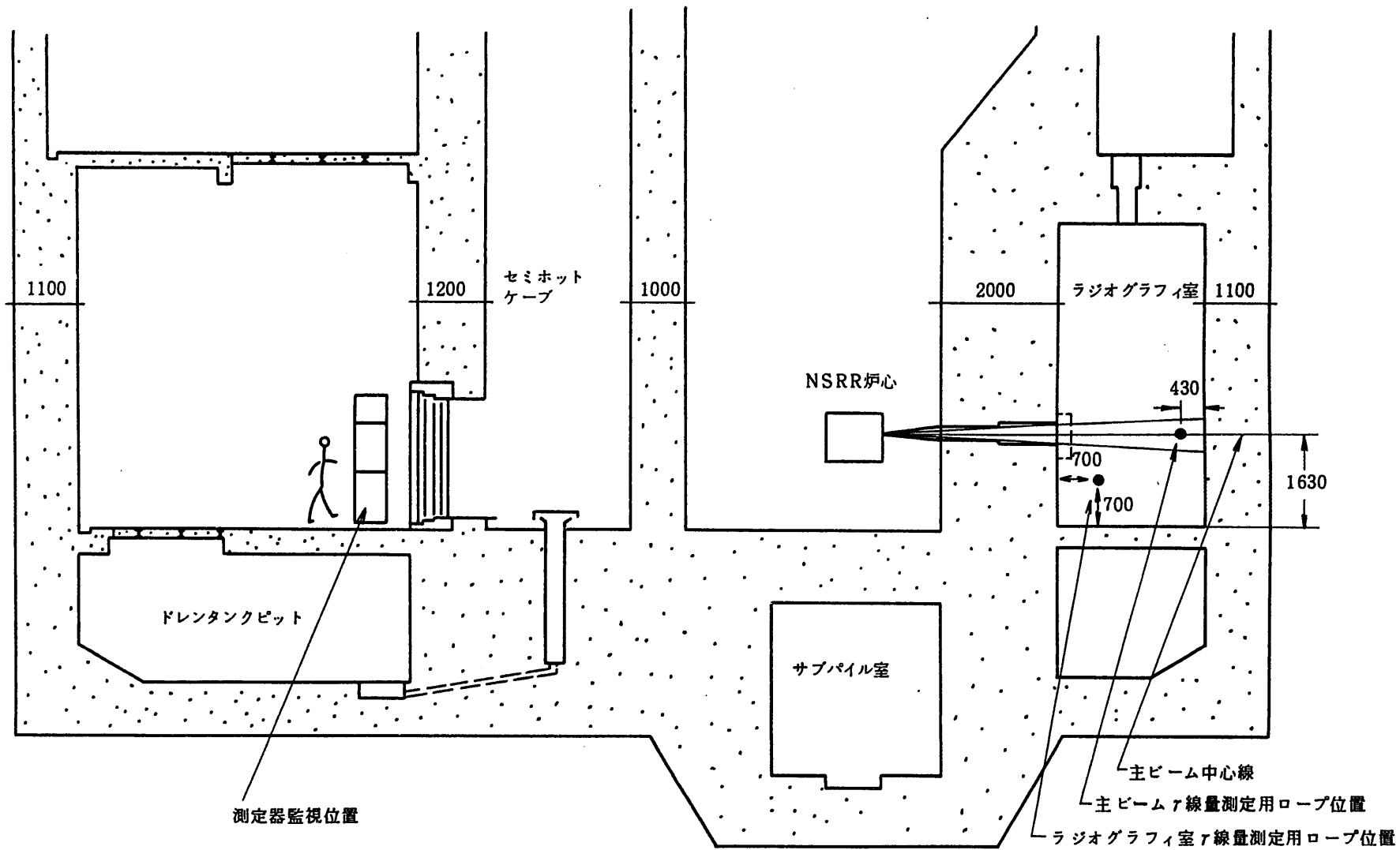


図13 主ビームγ線量測定用ロープ位置 (図16のA~G点) 及びラジオグラフィ室  
γ線量測定用ロープ位置 (図16のH~P点)

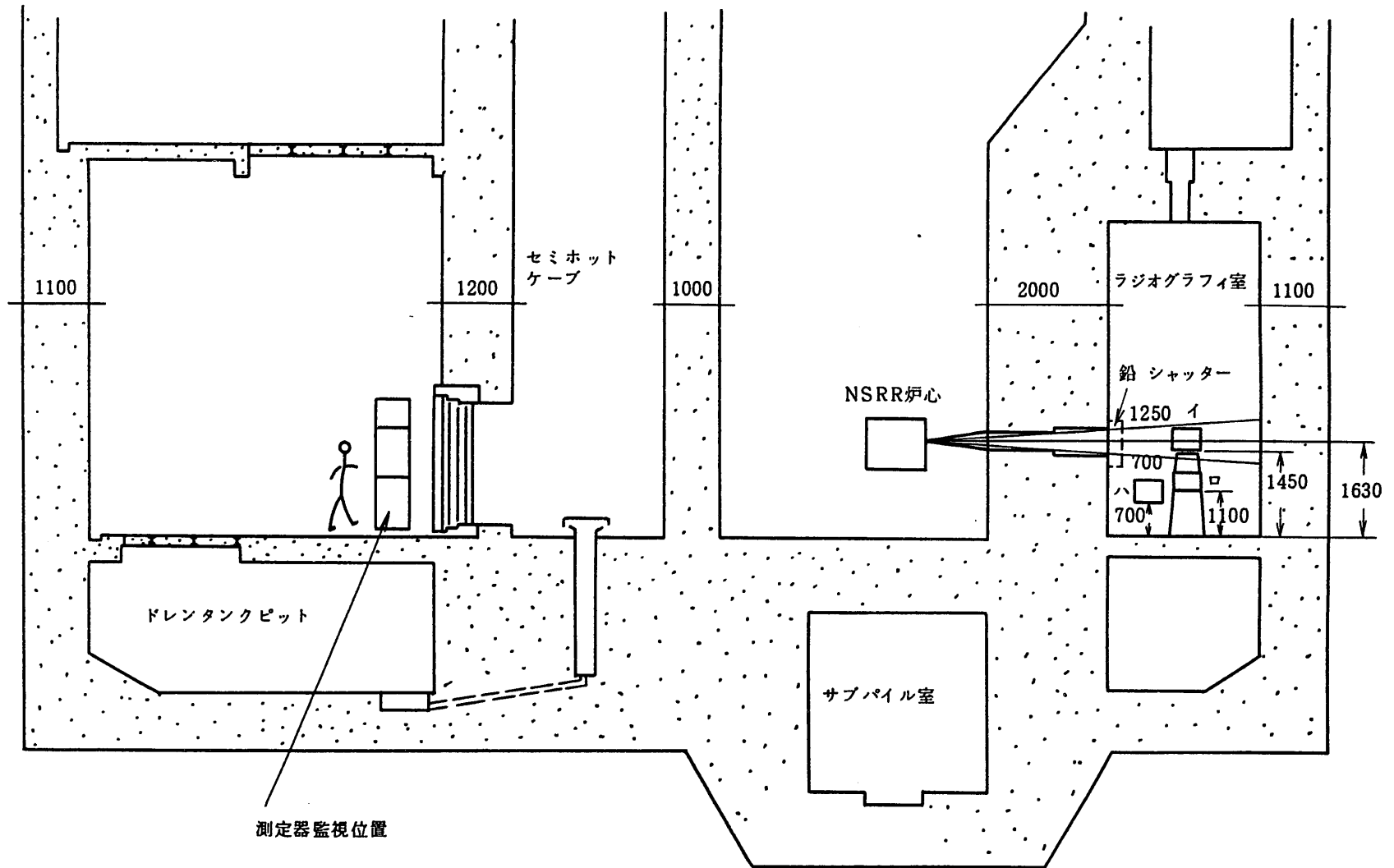
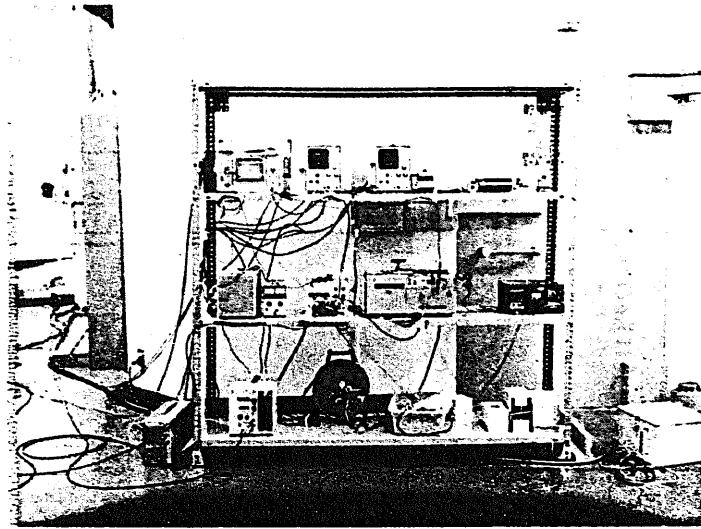
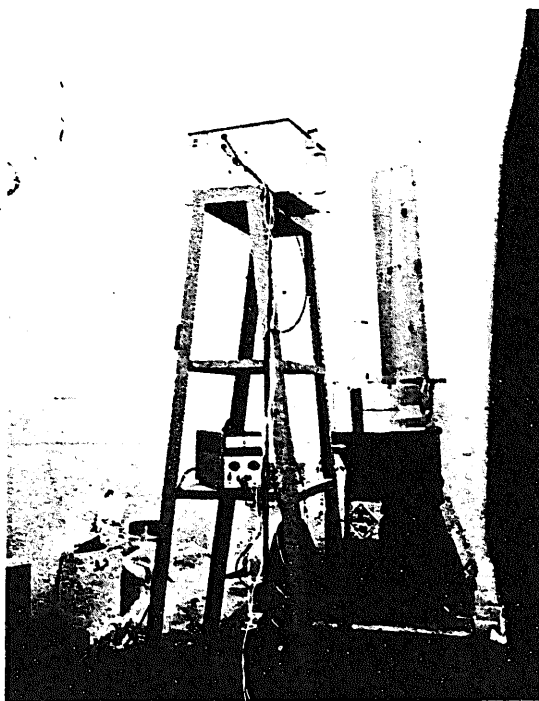


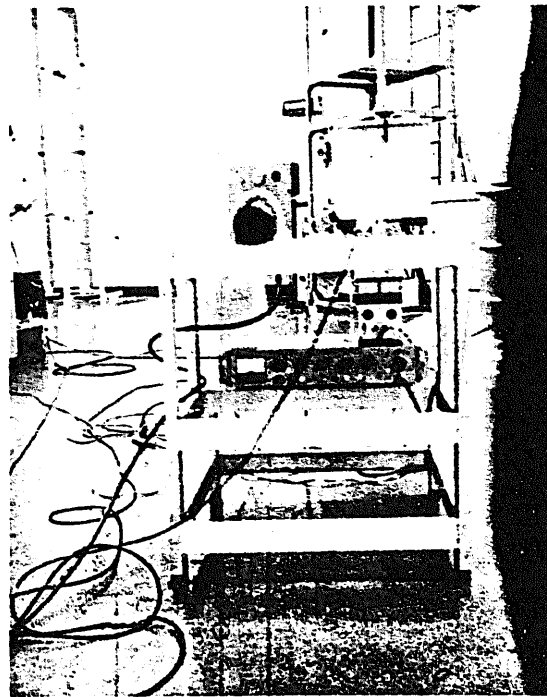
図 14 ｾﾞ線用臨界モニター及び中性子用臨界モニター床面上配置位置



(A) 各種測定器を図 12 に示す測定器監視位置にセットした状態を示す。



(B) 図 14 のイ点に中性子用臨界モニターをセットした状況を示す。次段が図 14 のロ点である。

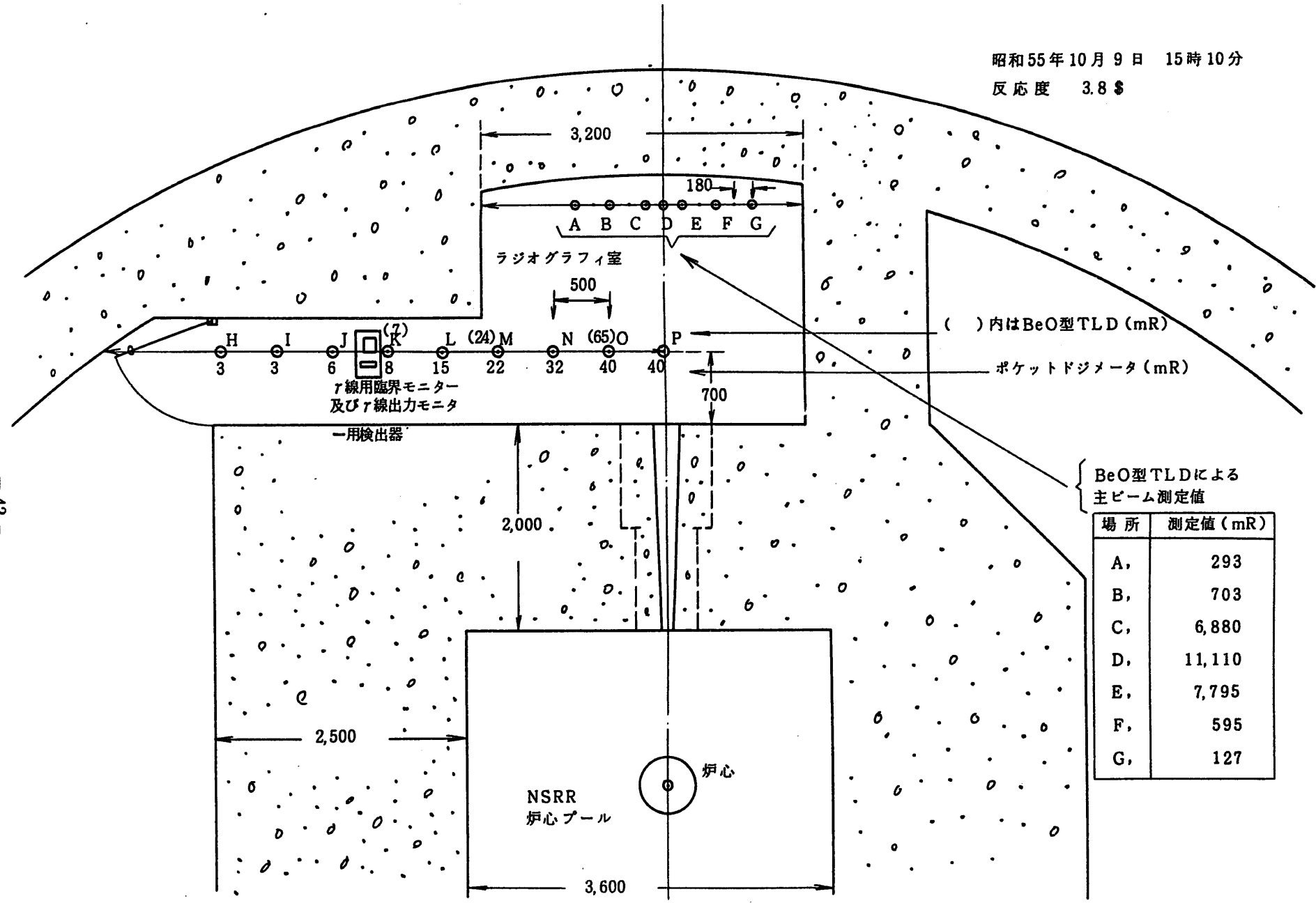


(C)  $\gamma$ 線臨界モニターと $\gamma$ 線出力モニター用検出器を図 12 又は図 14 のハ点に示す位置にセットした状況を示す。

図 15 各検出器及び測定器のセット状況を示す写真

昭和55年10月9日 15時10分  
 反応度 3.8%

- 42 -



( )内はBeO型TLD (mR)  
 ポケットドジメータ (mR)

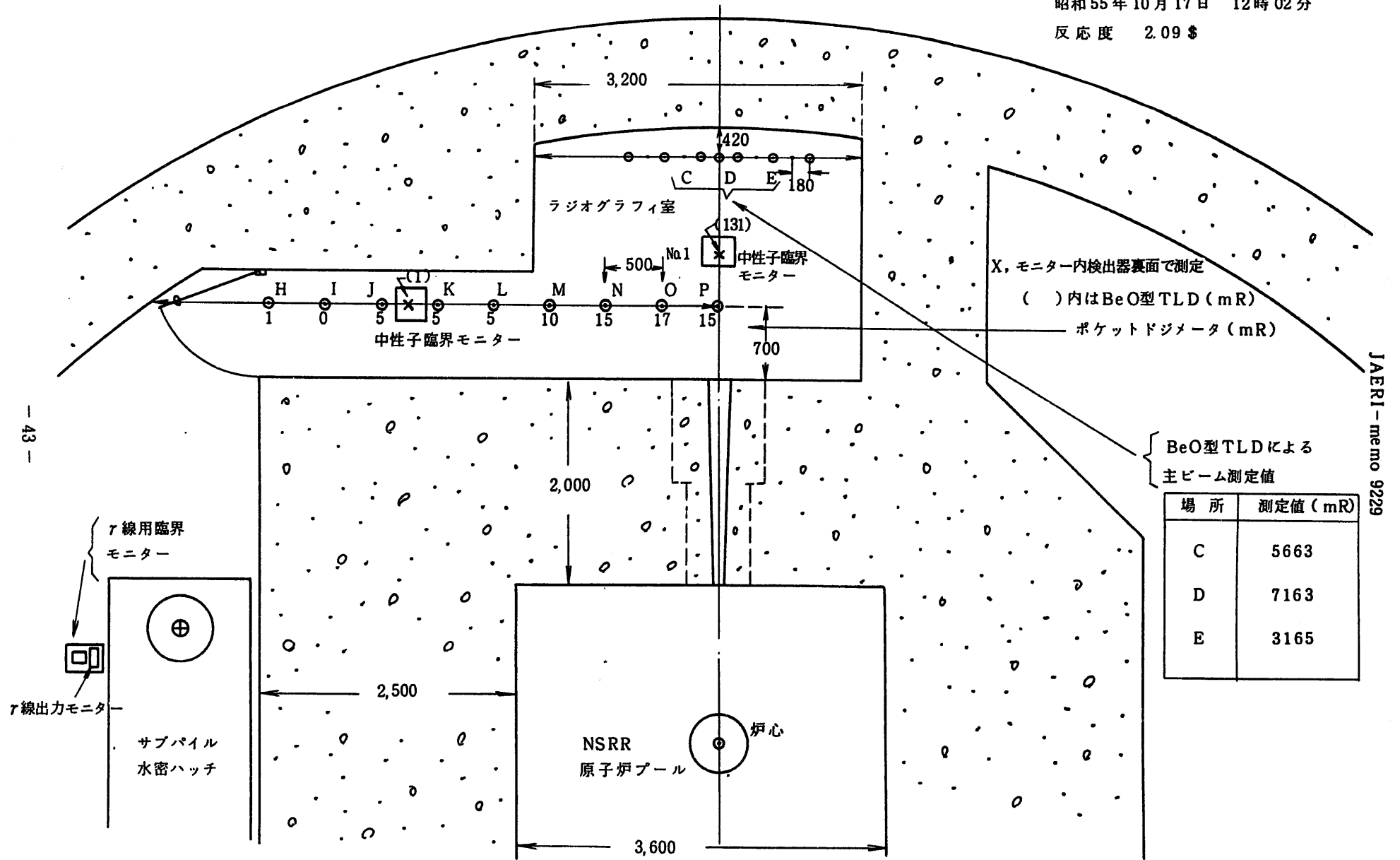
BeO型TLDによる  
 主ビーム測定値

場所	測定値 (mR)
A,	293
B,	703
C,	6,880
D,	11,110
E,	7,795
F,	595
G,	127

JAERI - memo 9229

図 16 - 1 γ線用臨界モニターの警報発生確認実験時におけるモニター位置とγ線々量測定結果

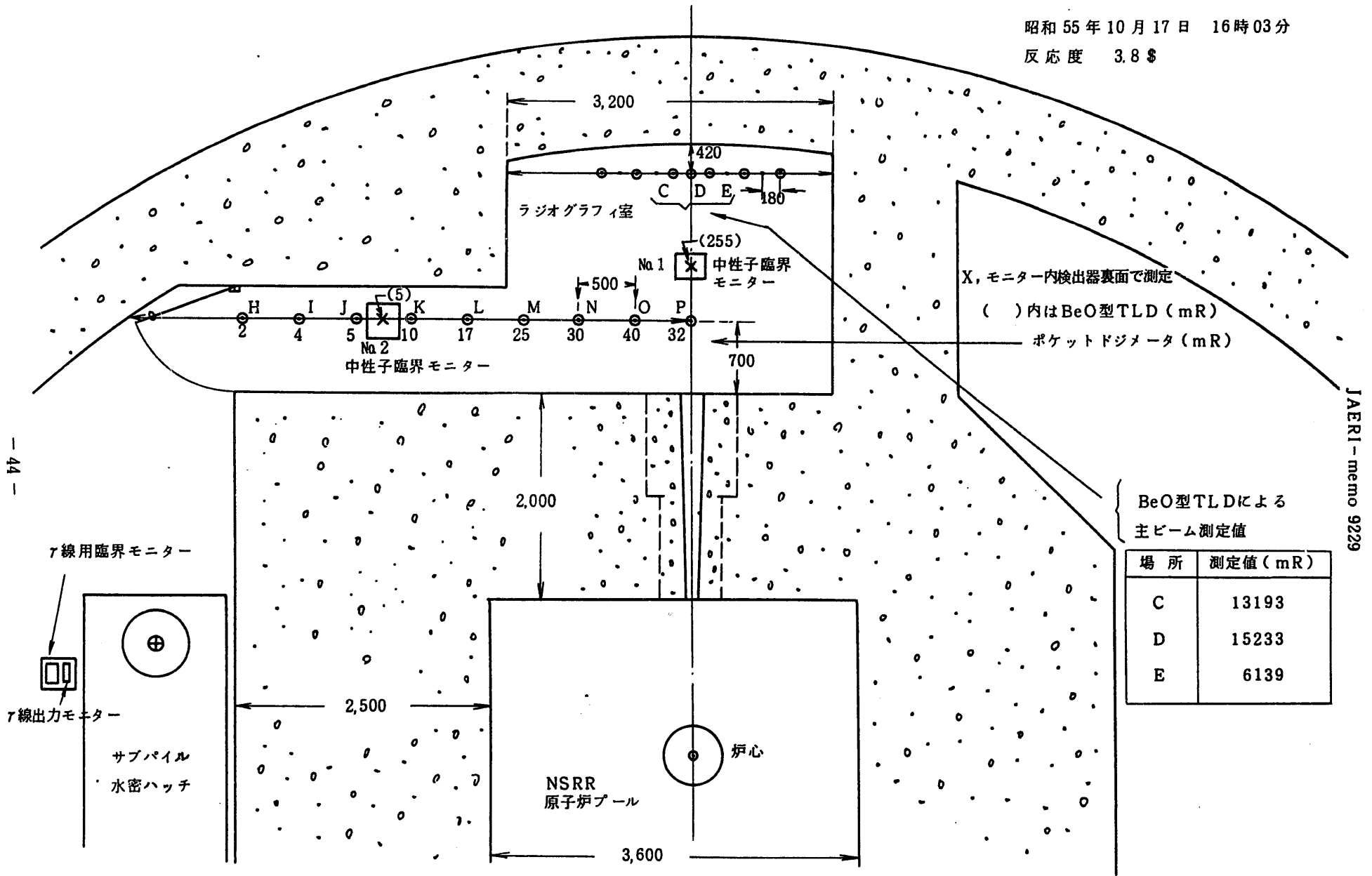
昭和55年10月17日 12時02分  
 反応度 2.09%



JAERI-memo 9229

図16-2 中性子用臨界モニターの警報発生確認実験時におけるモニター位置(図14のロ、ハ位置)とγ線々量測定結果

昭和 55 年 10 月 17 日 16 時 03 分  
 反応度 3.8 \$



BeO型TLDによる  
主ビーム測定値

場所	測定値 (mR)
C	13193
D	15233
E	6139

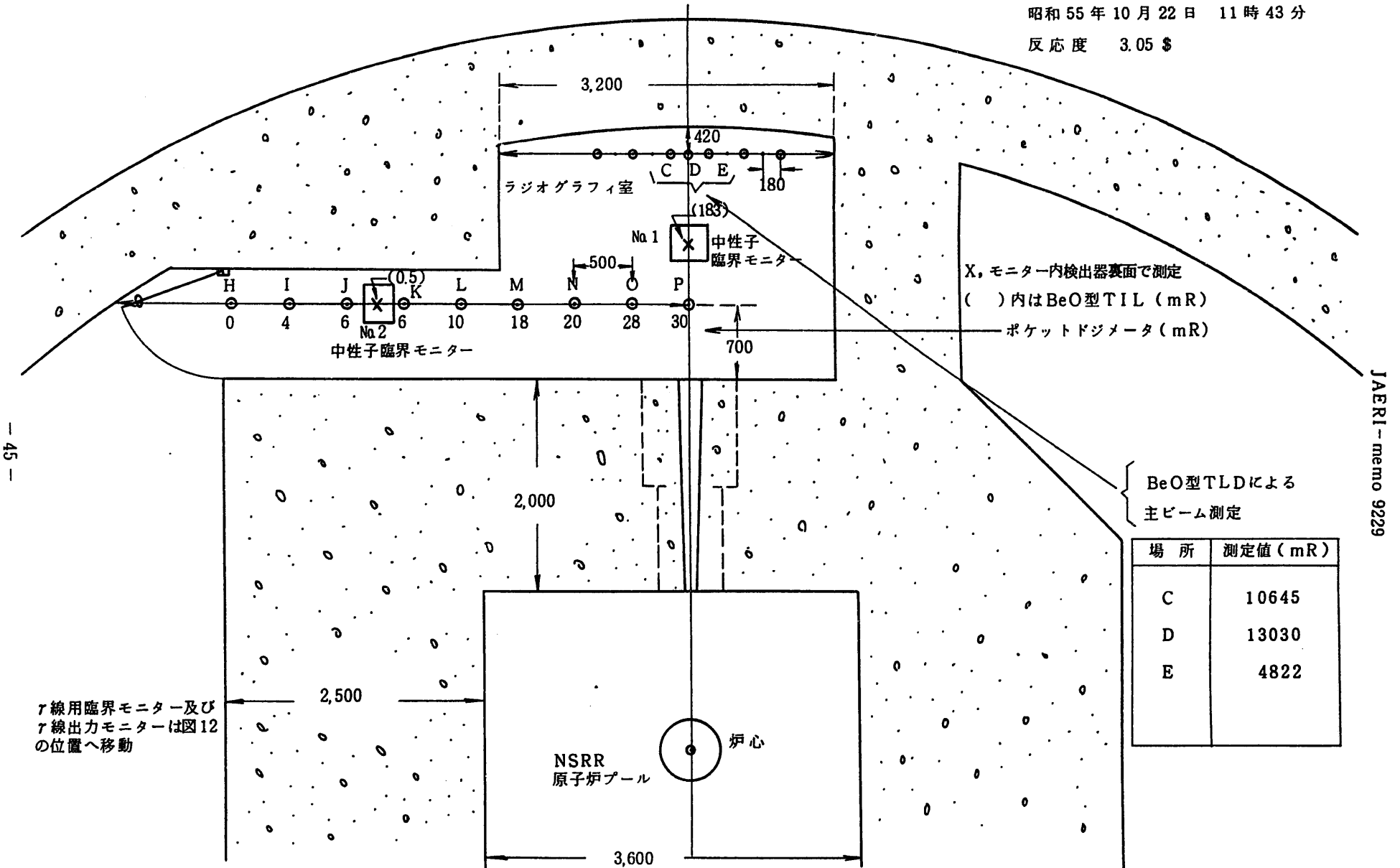
図 16 - 3 中性子用臨界モニターの警報発生確認実験時におけるモニター位置 (図 14 のロ、ハ位置) と  $\gamma$  線々電測定結果

JAERI - memo 9229



昭和 55 年 10 月 22 日 11 時 43 分

反応度 3.05 \$

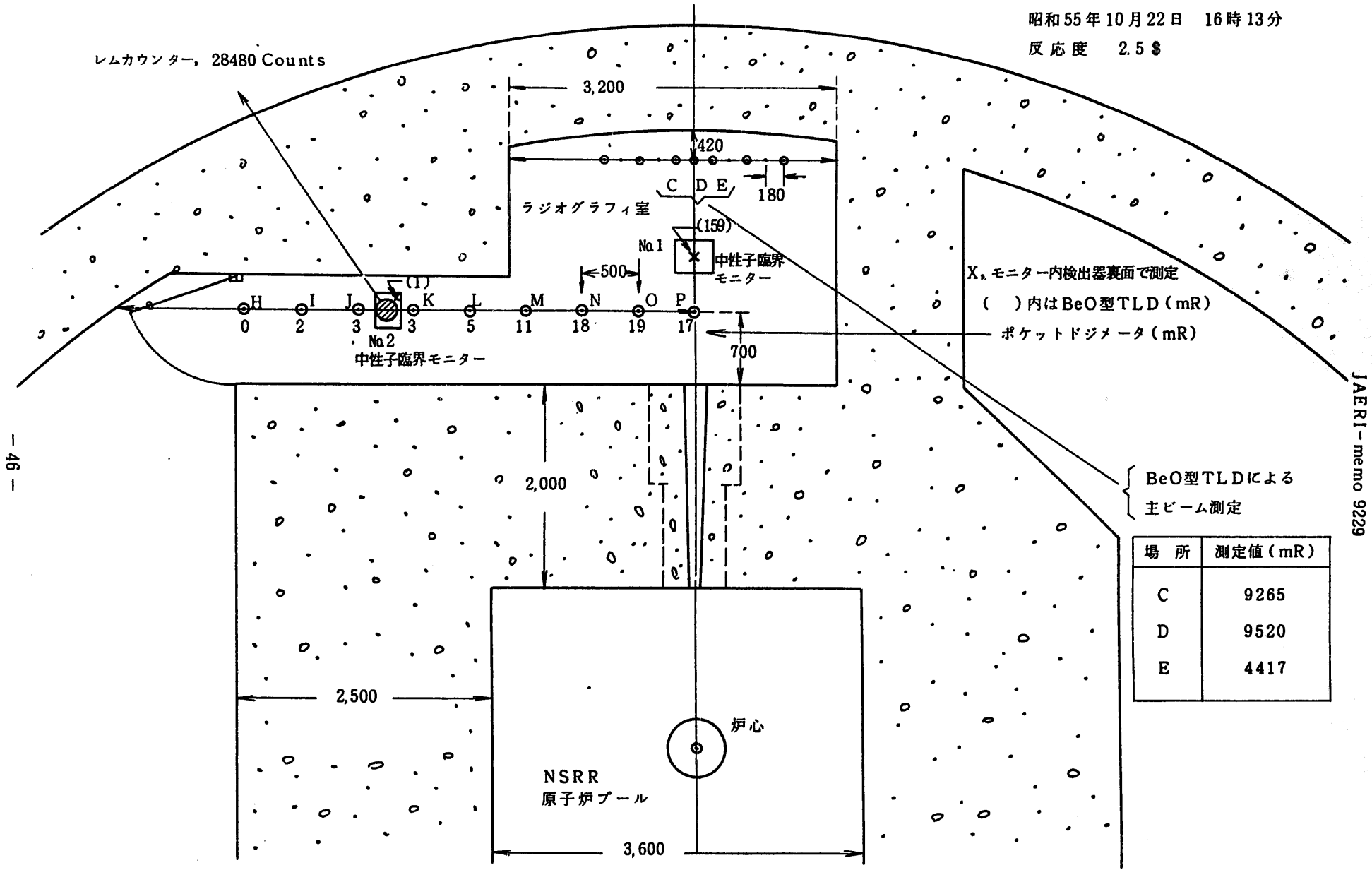


— 45 —

JAERI-memo 9229

図 16 - 4 中性子用臨界モニターの警報発生確認実験時におけるモニター位置 (図 14 のロ、ハ位置) とγ線々量測定結果

昭和55年10月22日 16時13分  
 反応度 2.5 \$

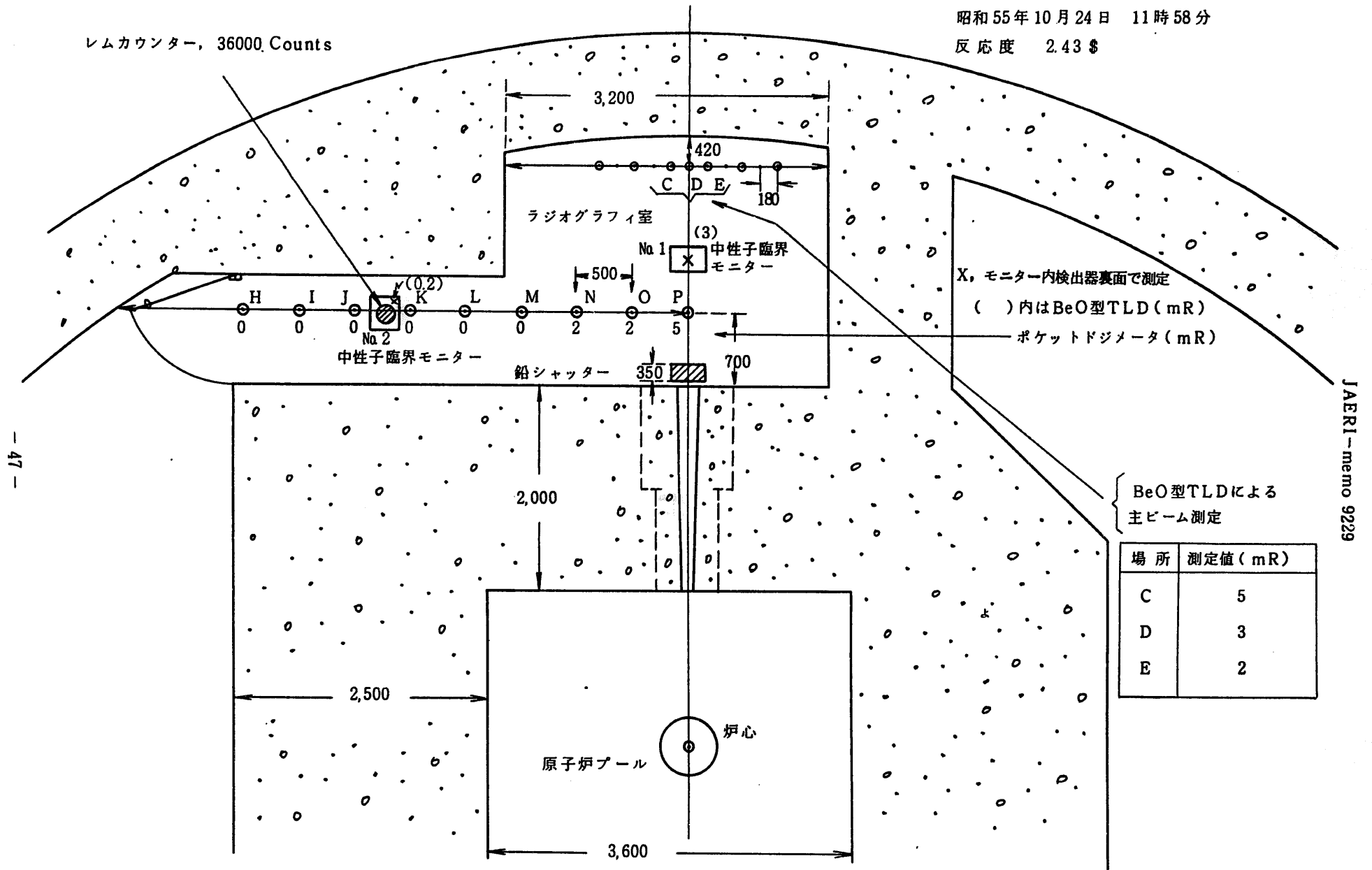


BeO型TLDによる  
主ビーム測定

場所	測定値 (mR)
C	9265
D	9520
E	4417

図 16 - 5 中性子用臨界モニターの警報発生確認実験時におけるモニター位置 (図 14 の口、ハ位置) と  $\gamma$  線々量測定結果

昭和55年10月24日 11時58分  
 反応度 2.43 \$



JAERI-memo 9229

図16-6 鉛シャッターを閉じNa 1中性子臨界モニターを主ビームで曝射(図14のI位置)した時のモニター位置と $\gamma$ 線々電測定結果

昭和55年10月24日 15時53分

反応度 3.05 \$

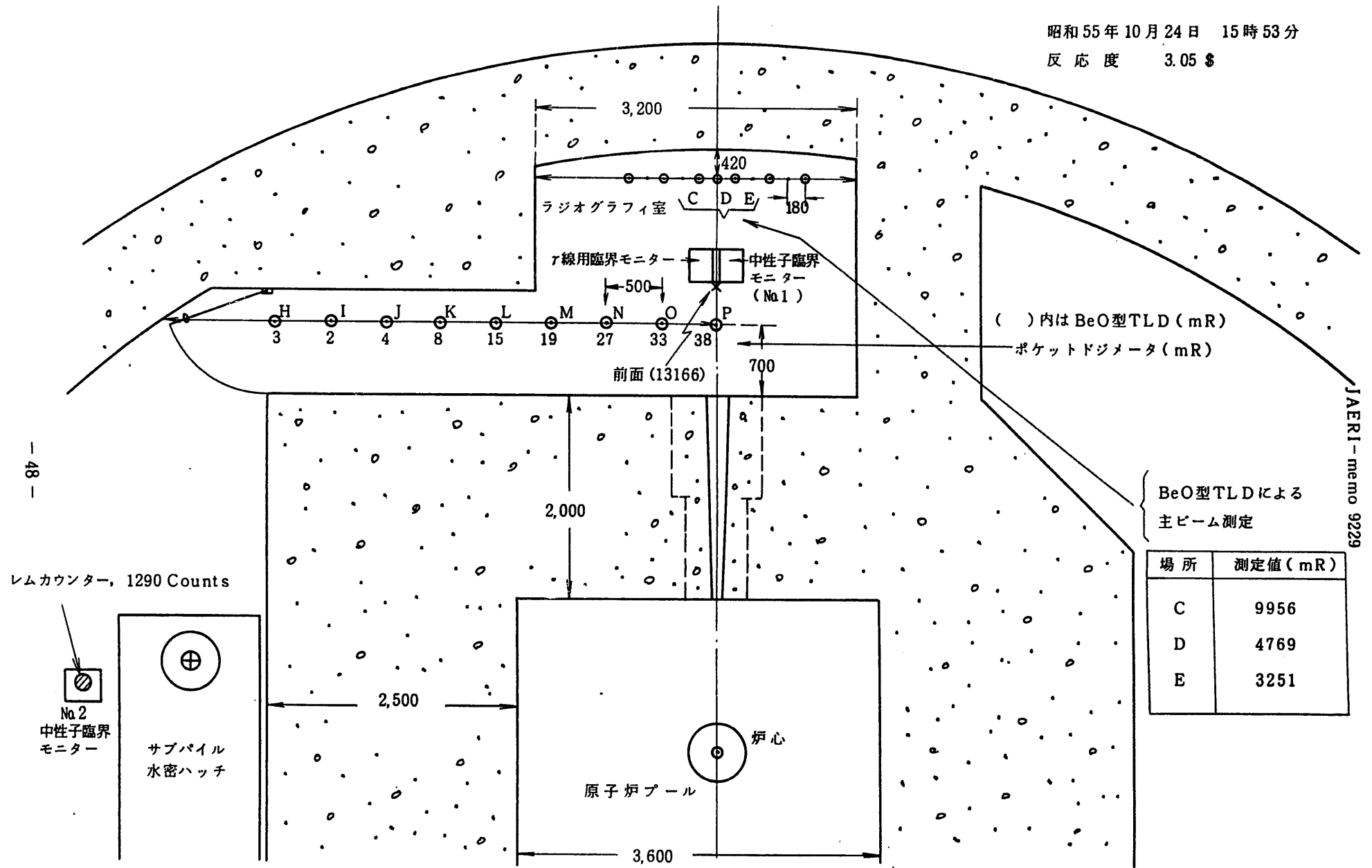
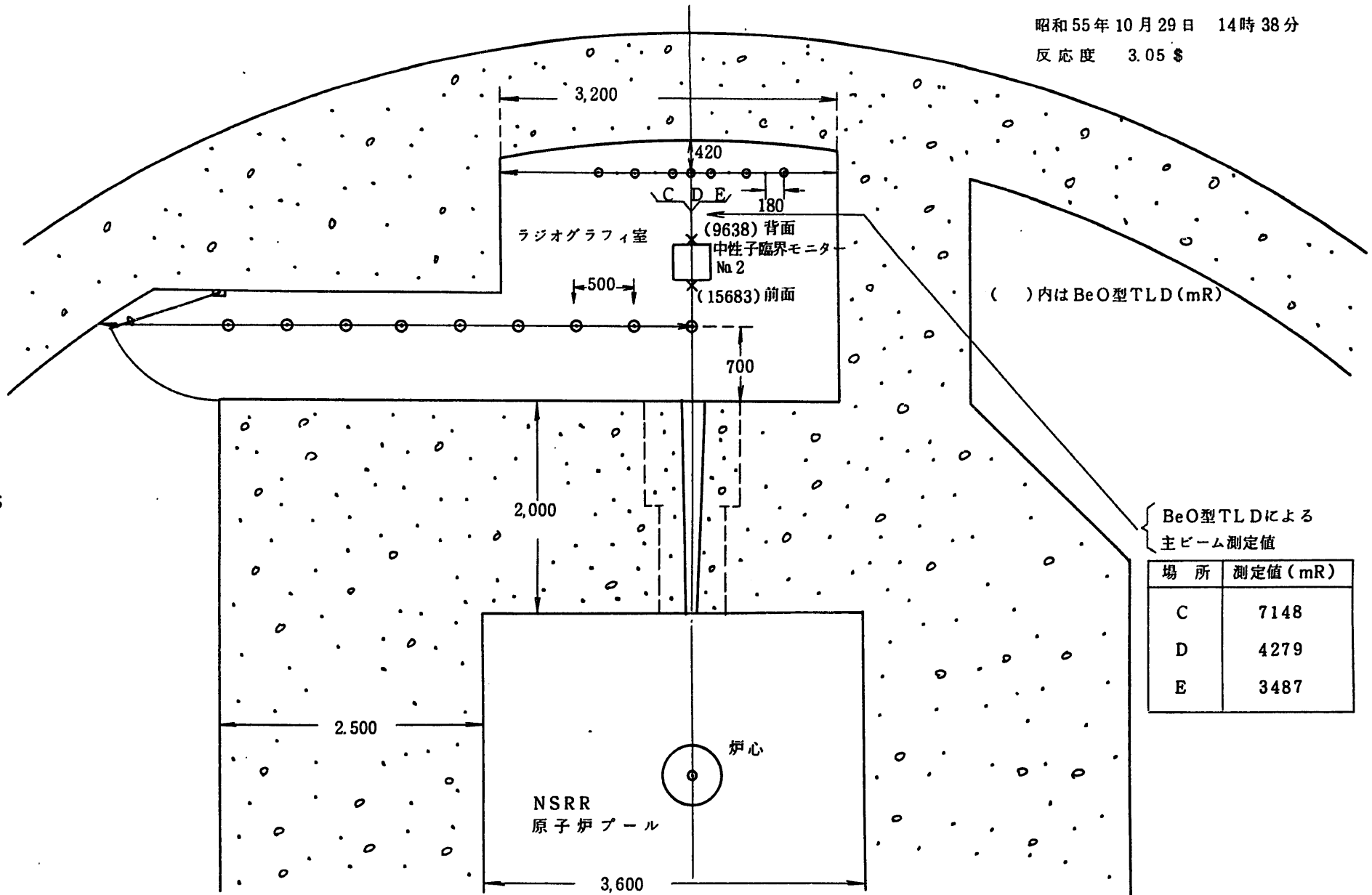


図16-7 鉛シャッターを開とし、 $\gamma$ 線及びNa1中性子用臨界モニターを $\gamma$ 線及び中性子線の主ビームで曝射した時のモニター位置と $\gamma$ 線々量測定結果

JAERI-memo 9229

昭和55年10月29日 14時38分  
 反応度 3.05 \$



BeO型TLDによる  
主ビーム測定値

場所	測定値 (mR)
C	7148
D	4279
E	3487

図16-8 鉛シャッターを開とし、Na2中性子臨界モニターをγ線及び中性子線の主ビームで曝射した時のモニター位置とγ線々電測定結果

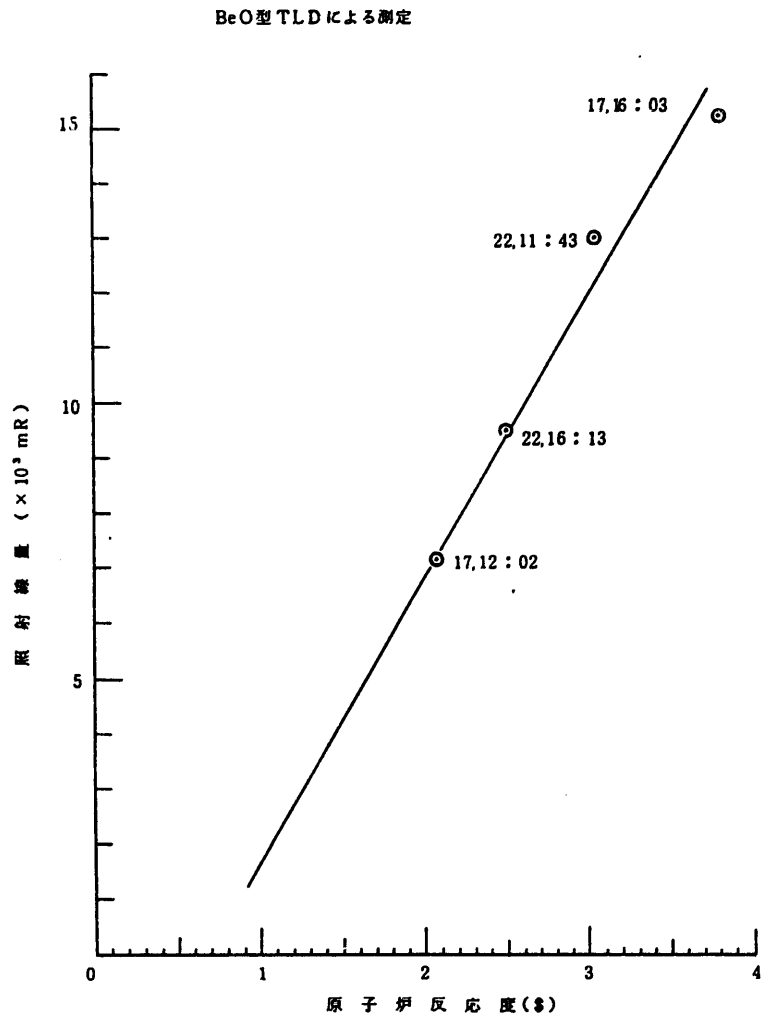


図17 原子炉反応度と主ビームの照射線量を図16のD点でBeO型TLDで測定した結果

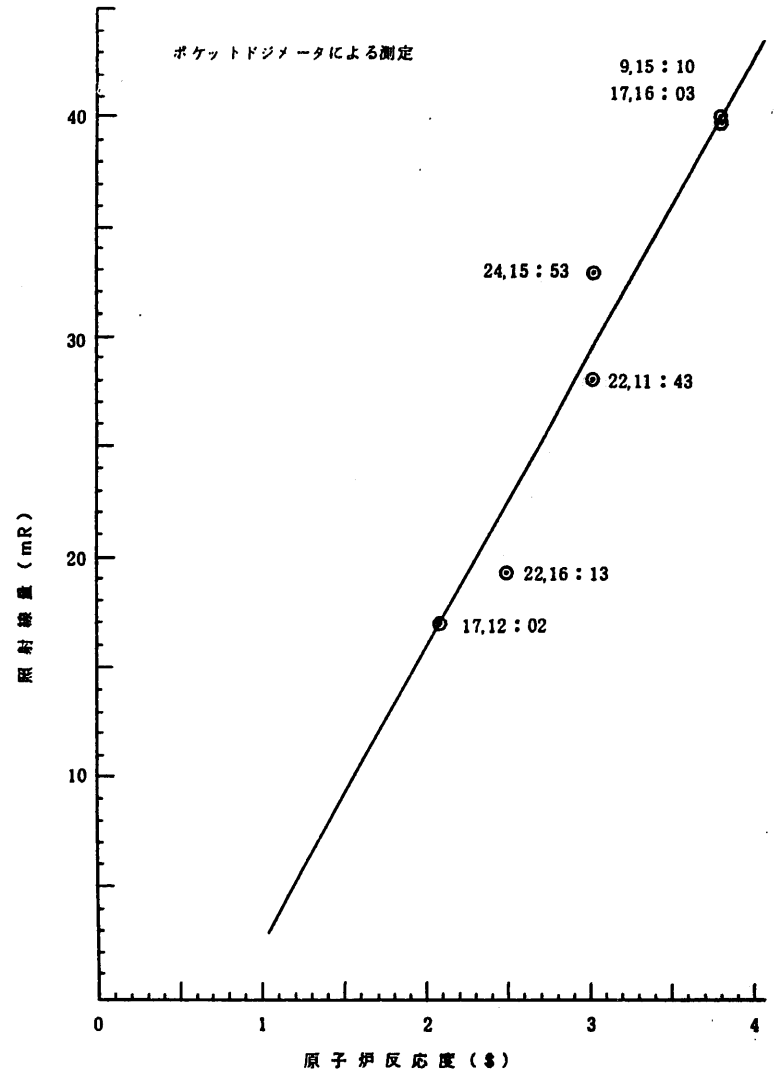


図18 原子炉反応度とNRG室の散乱照射線量を図16のO点でポケットドジメータにより測定した結果

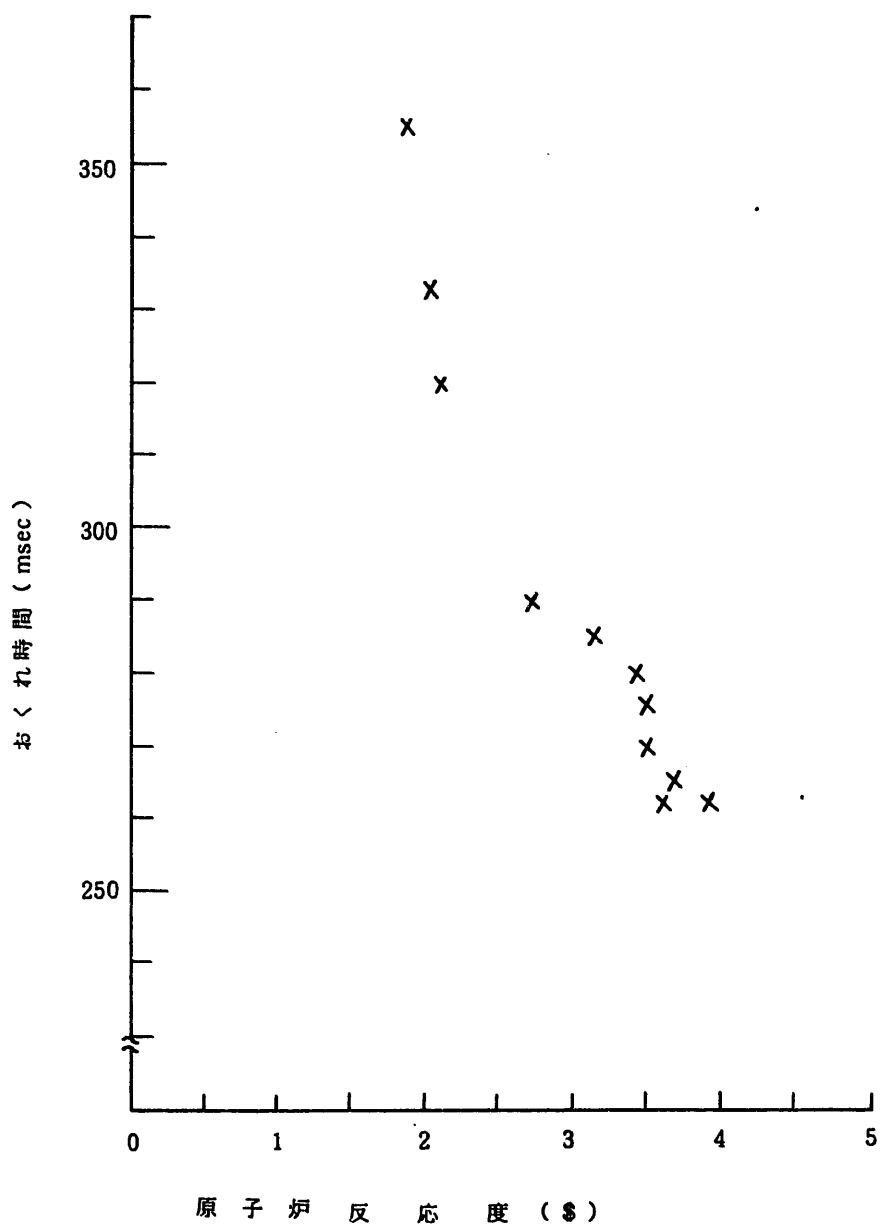


図 19 NSRRの印加反応度とγ線出力パルス発生開始までの遅れ時間

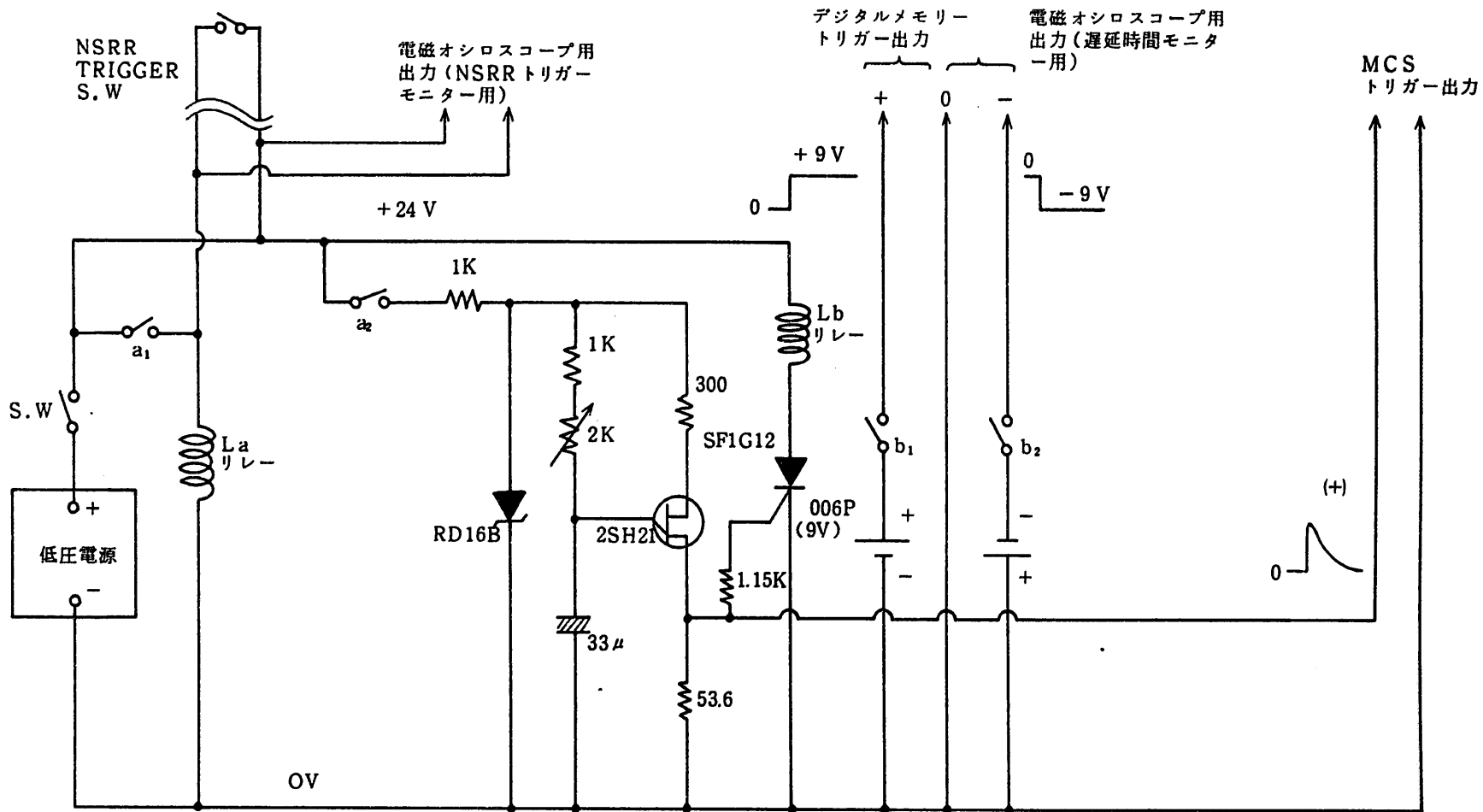


図 20 各測定タイミング調整用遅延回路



電磁オシログラフ用電流増幅回路

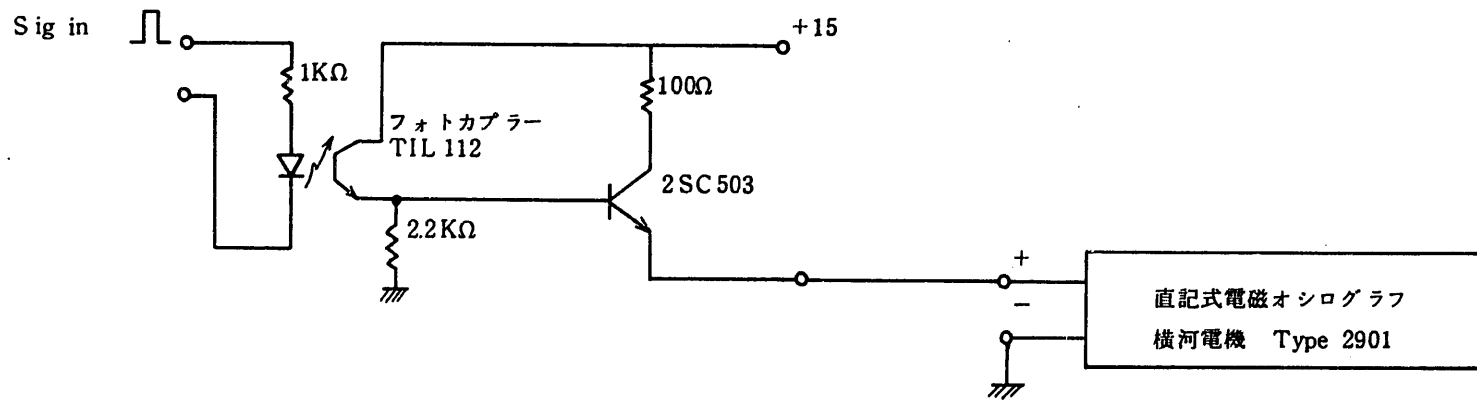


図 21 電磁オシログラフ用電流増幅回路

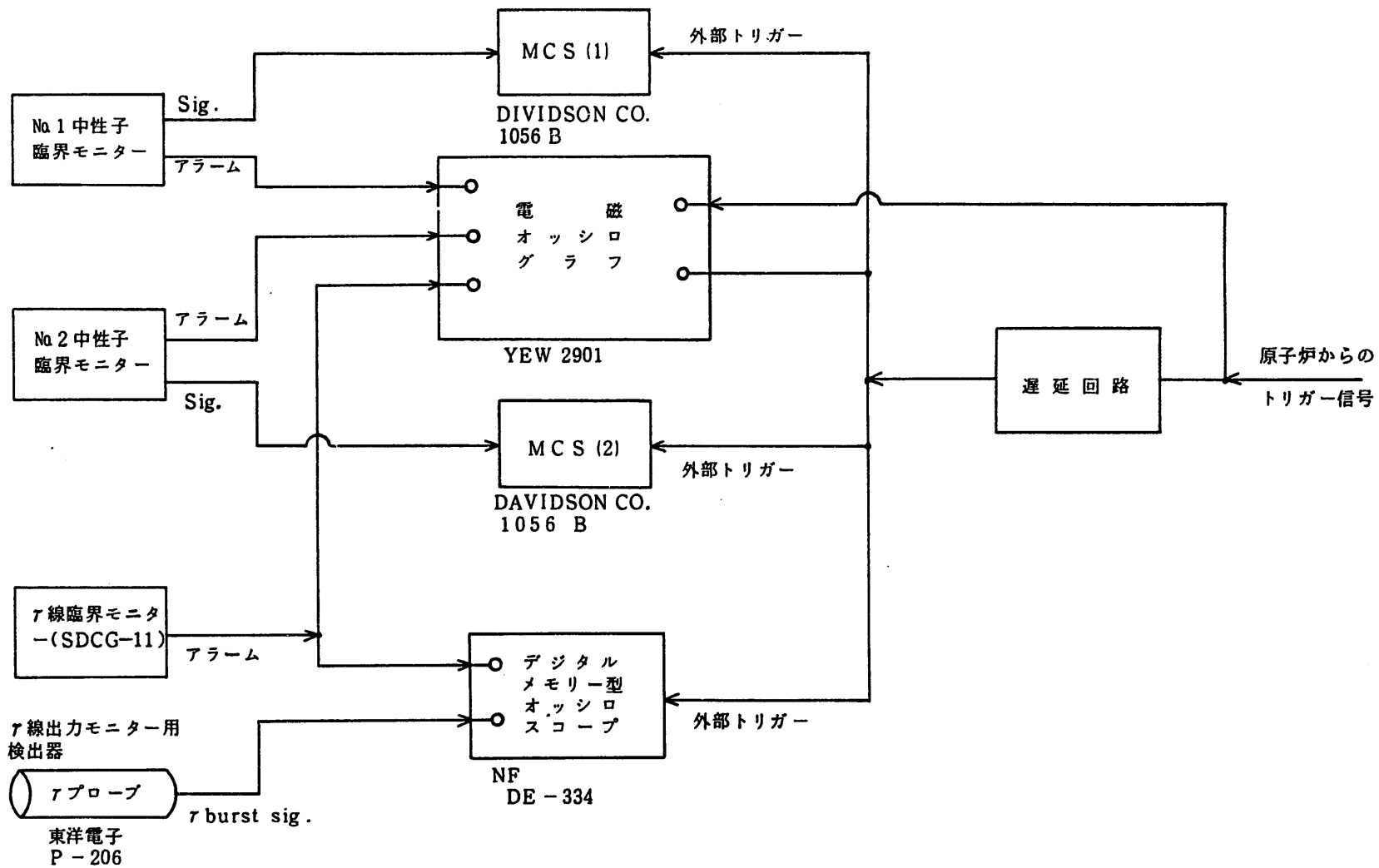
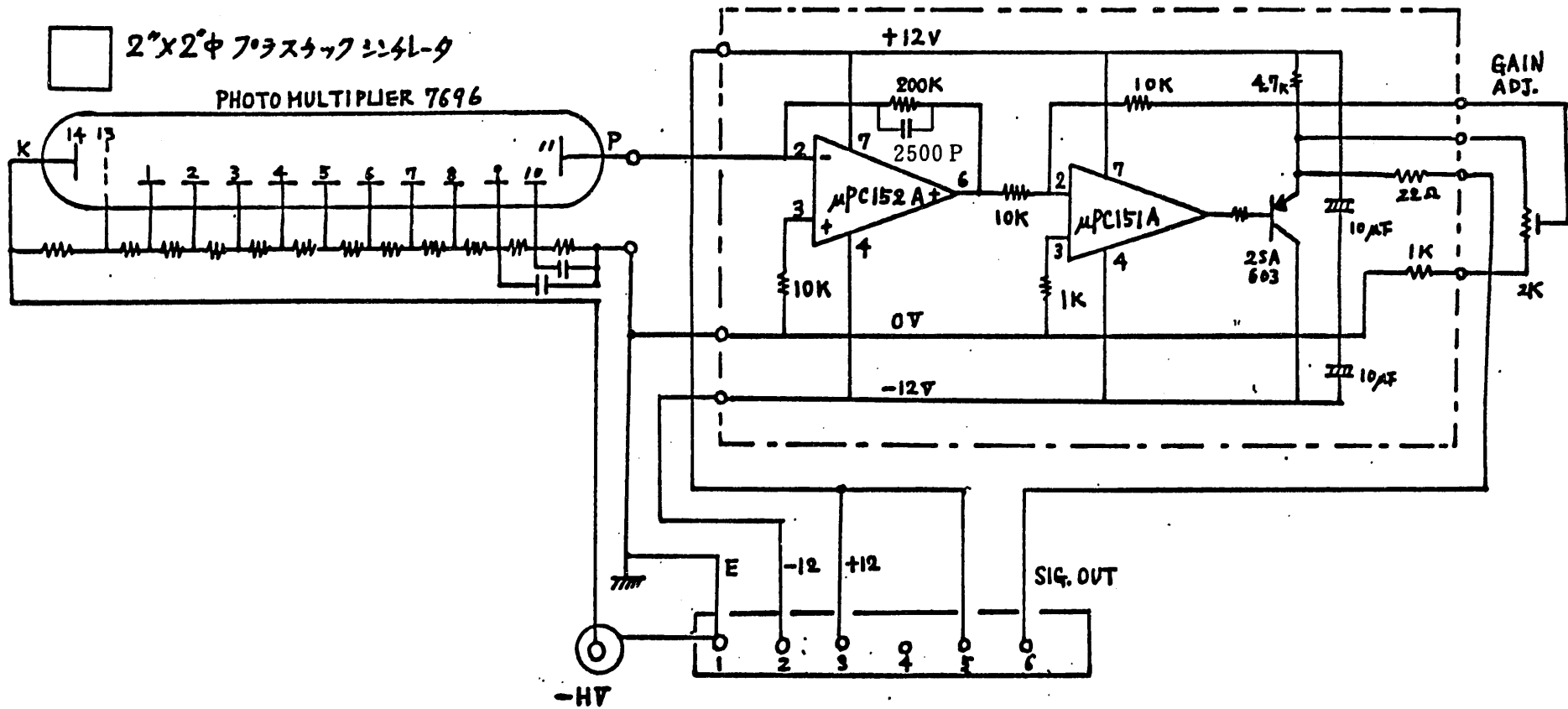


図 22 測定系ブロックダイアグラム



JAERI-memo 9229

図 23 7線出力モニター用検出器回路

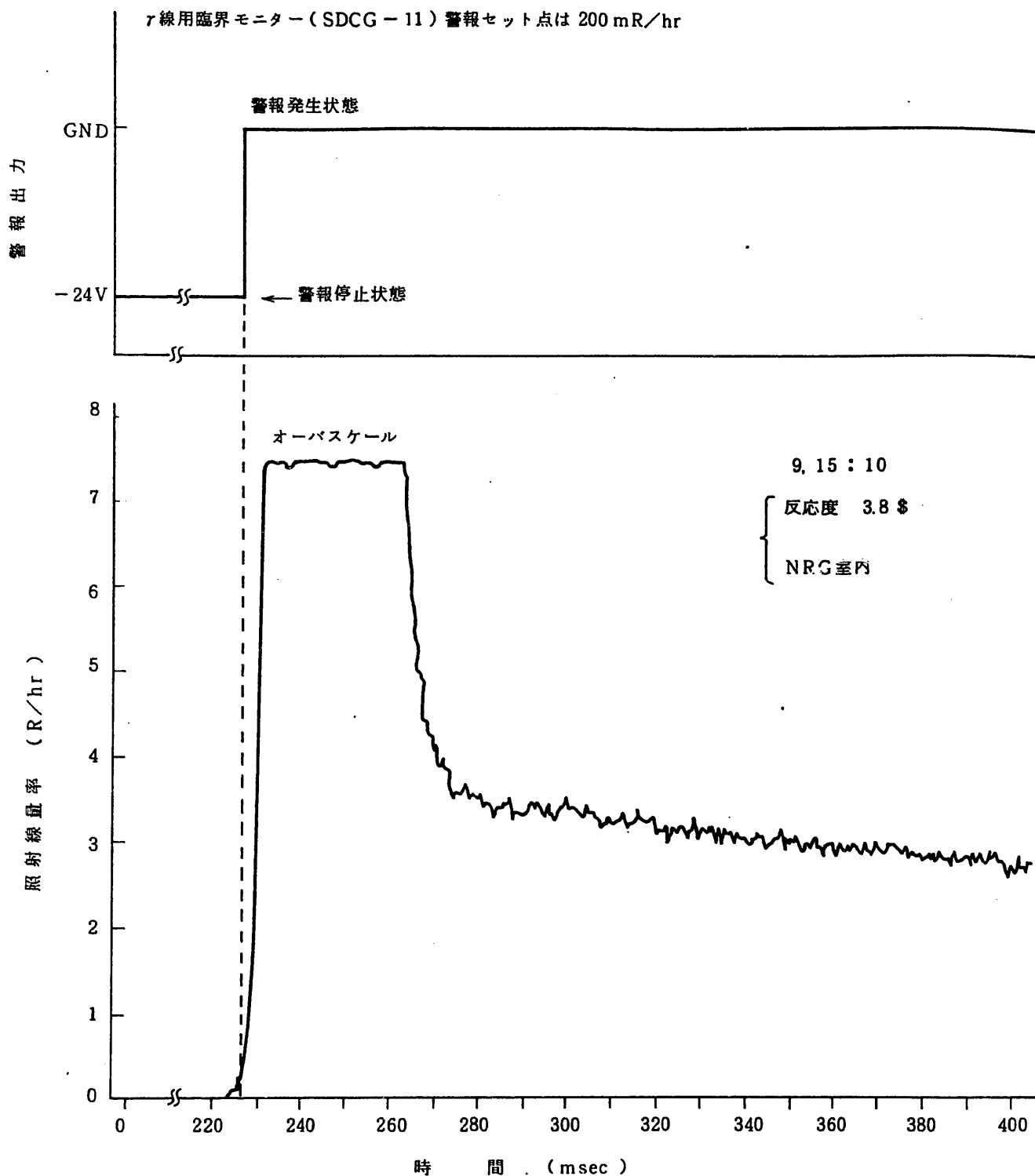


図24 図16-1の点におけるγ線バースト線量率測定とSDCG-11の警報発生状況

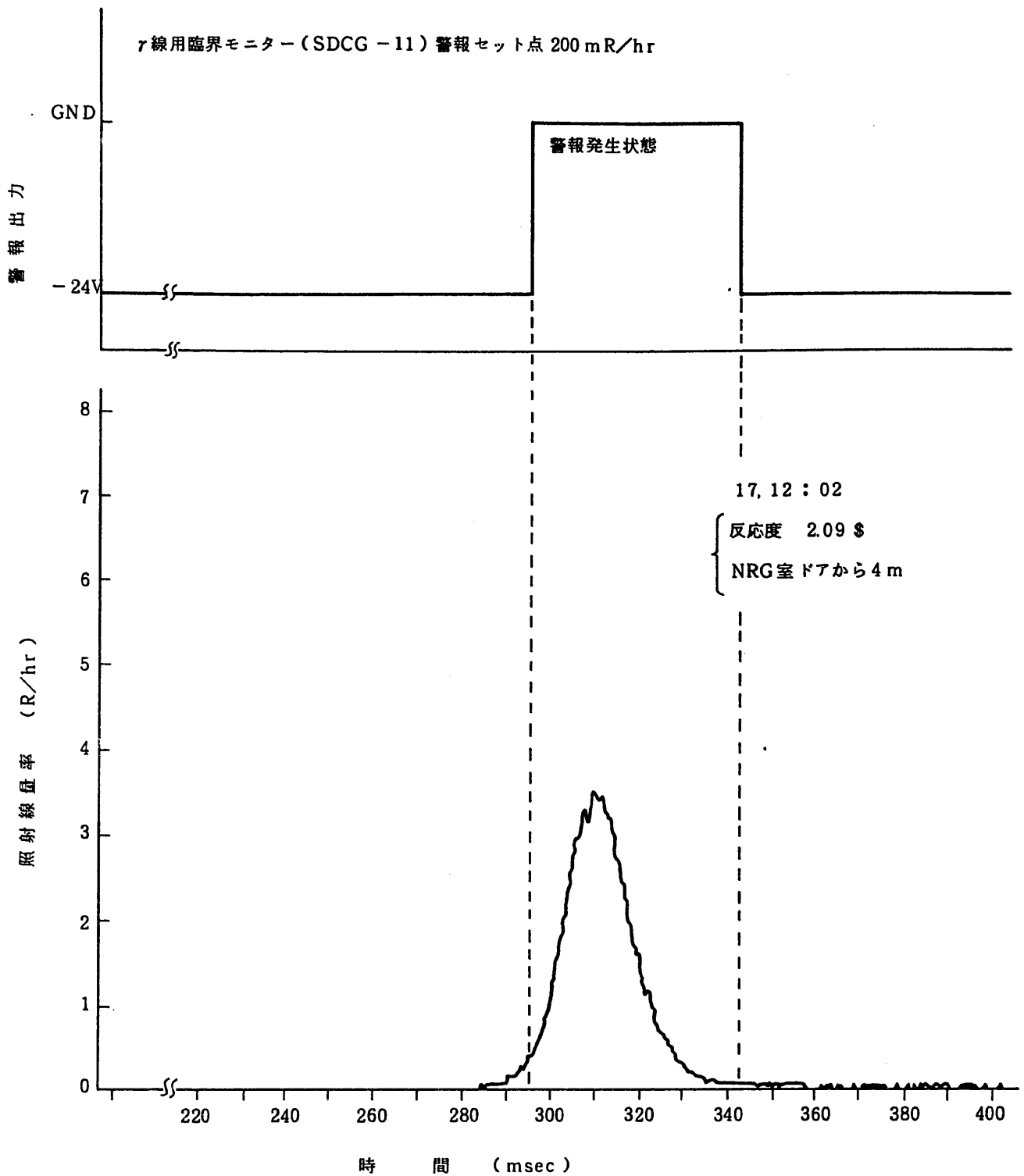


図 25 図 16 - 2 の点における γ線バースト線量率測定と SDCG - 11 の警報発生状況

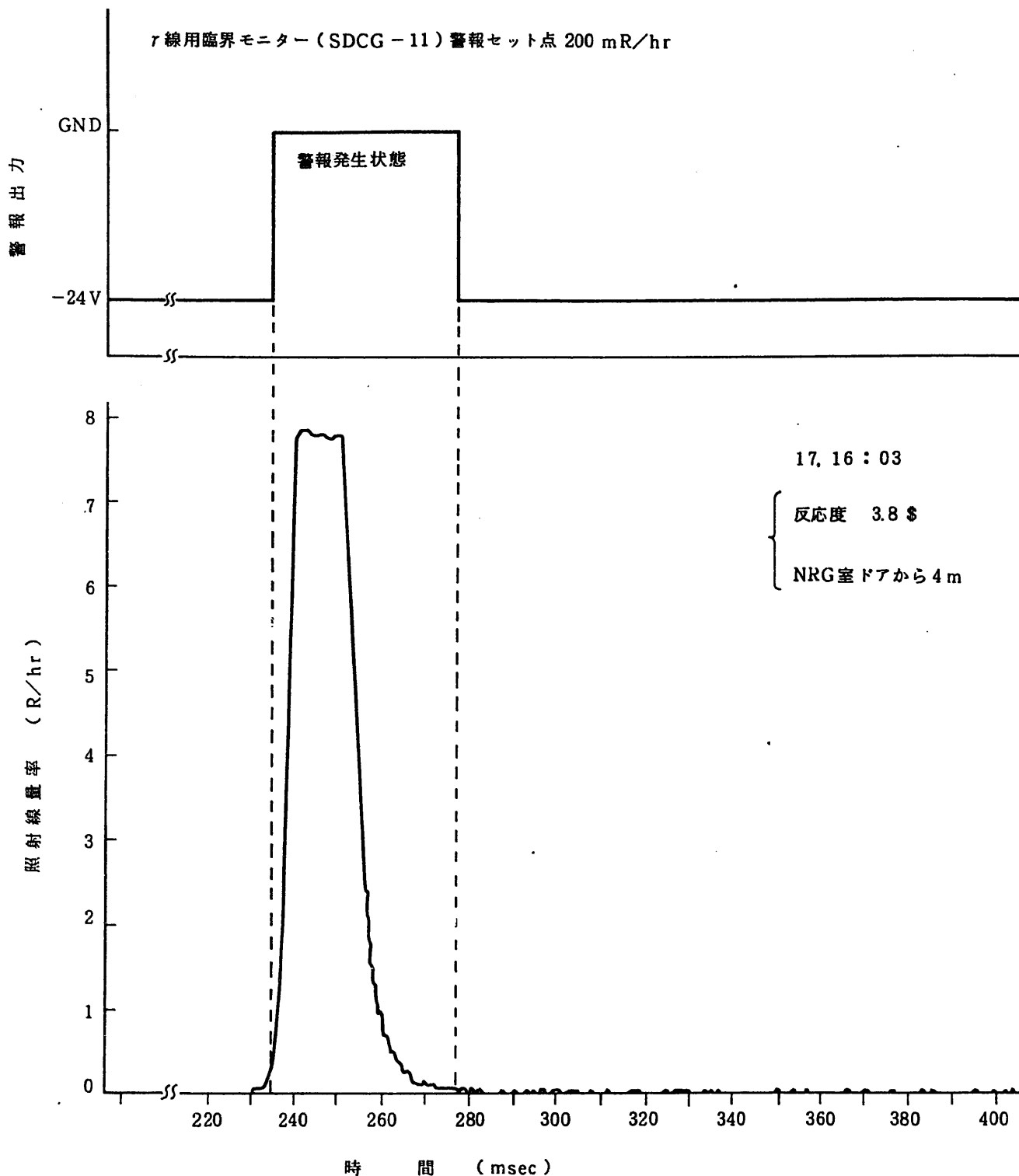
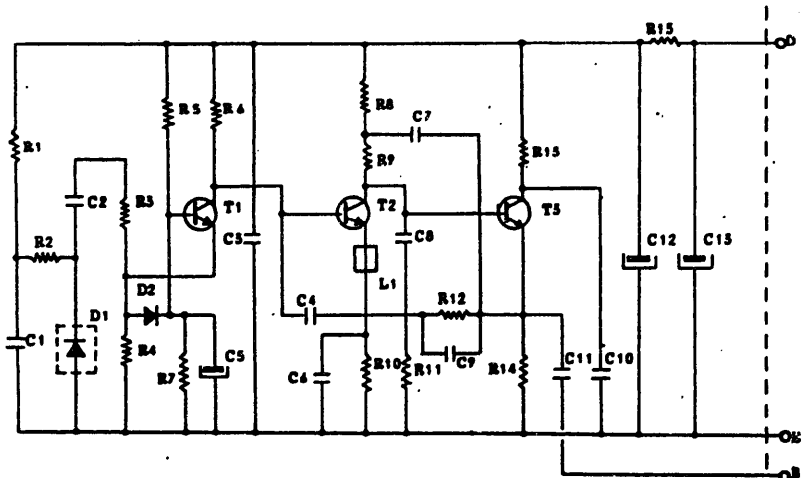
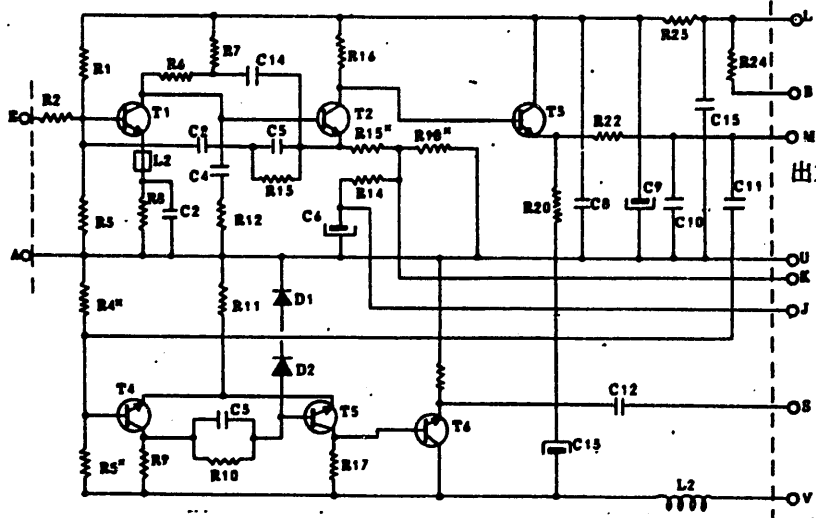


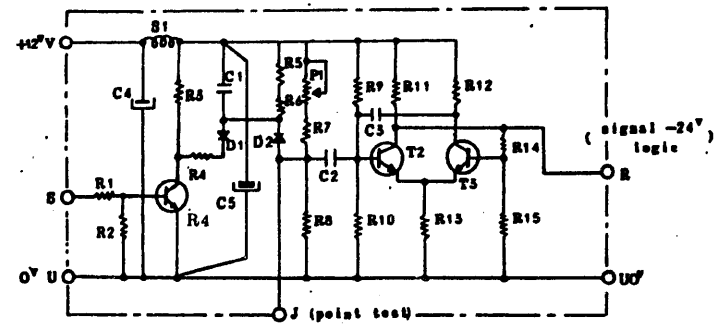
図 26 図 25 と同じ位置で反応度が大きくなった時の γ線バースト線量率測定と SDCG - 11 の警報発生状況



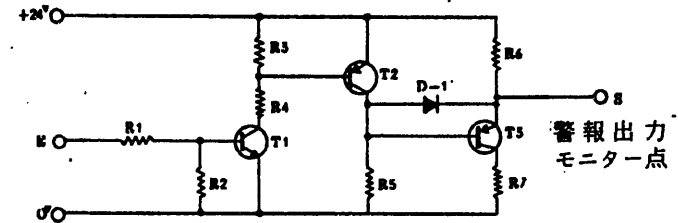
前置回路接続図



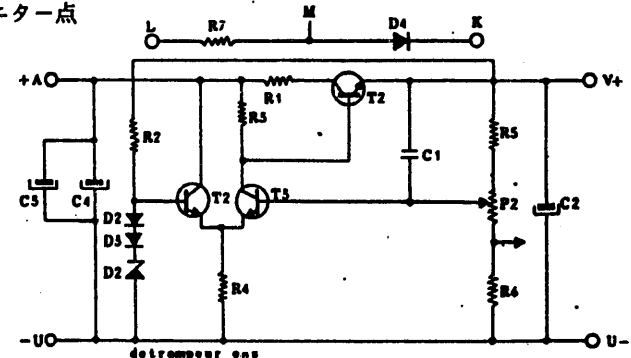
増幅回路、波高選別回路図



積分回路接続図



出力回路接続図



安定化電源回路接続図

図27 中性子用モニター回路とMCS出力及び警報出力モニター点

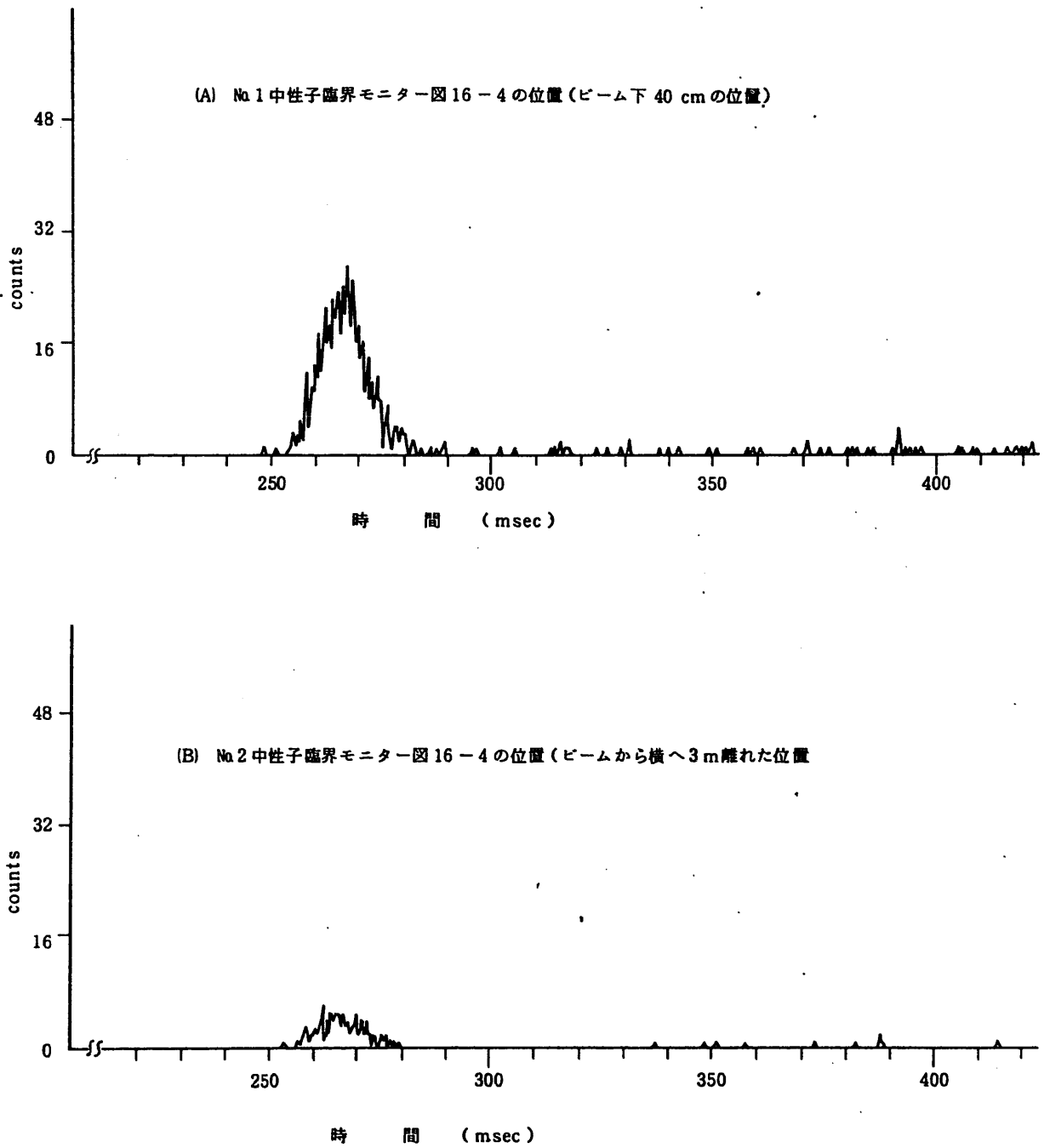


図28 中性子臨界モニターからの核分裂パルスをMCSモードでデュエリングタイムを400  $\mu$  secとして測定した場合(22.11:43 反応度 3.05 \$)



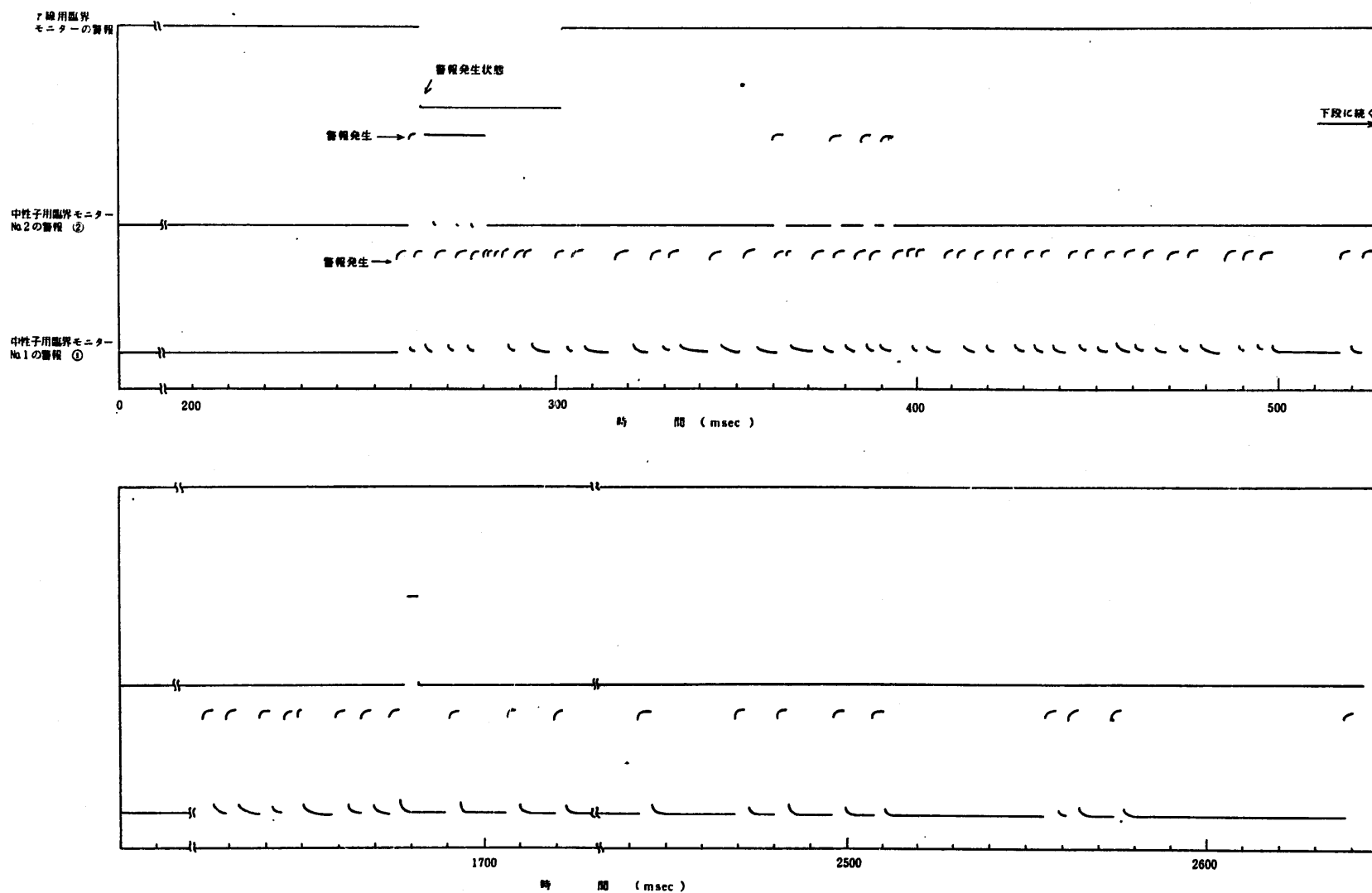


図 29 図 16-4 の位置 (No.1 モニターはビーム下 40 cm の位置) においてバースト状中性子を曝射 (22.11:43 反応度 3.05 \$) した場合の中性子臨界モニター No.1, No.2 の警報出力 (アナログ積分回路出力)。

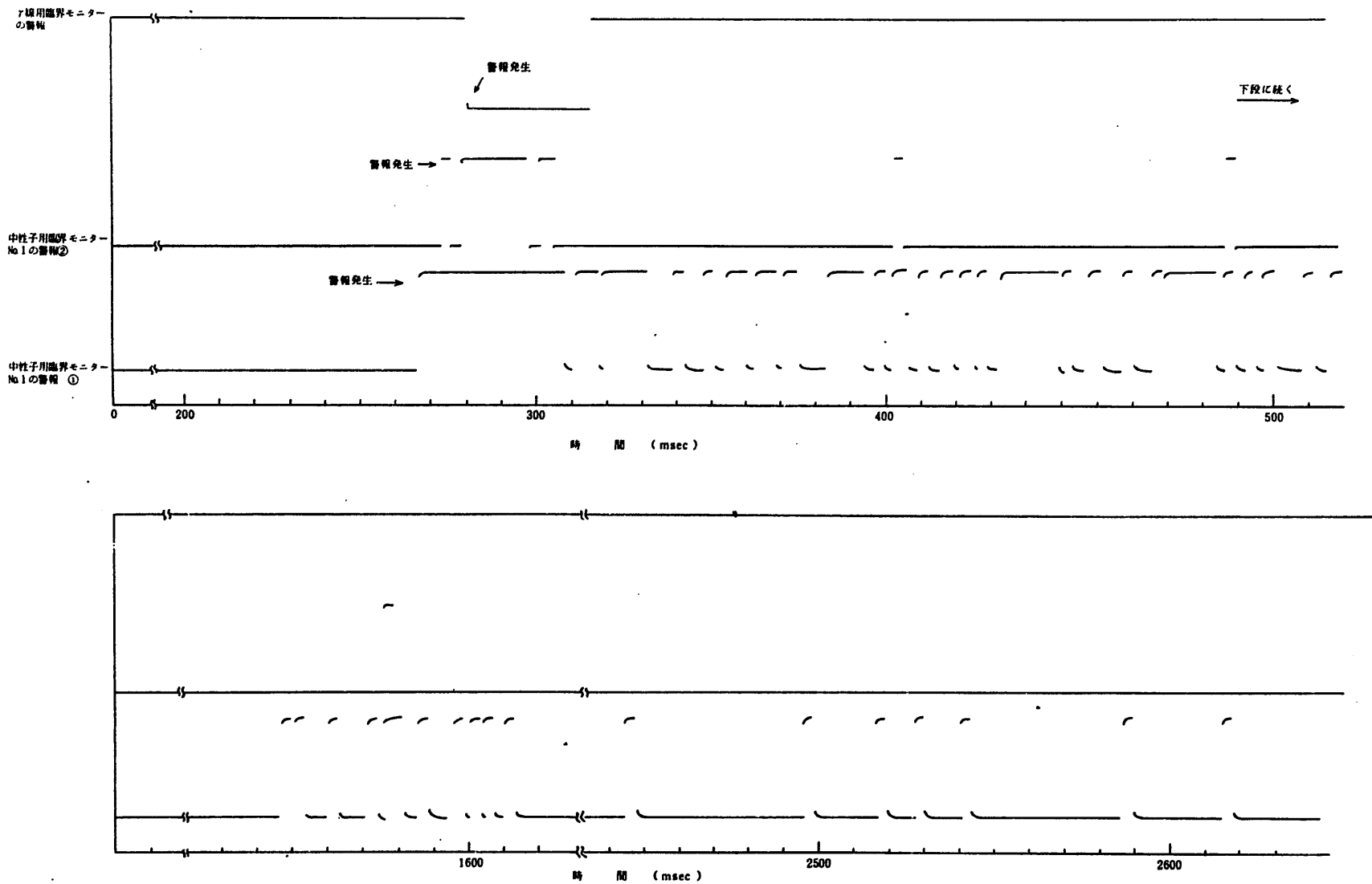


図 30 図 29 と同様の状態で中性子を曝射 (22.16 : 13 反応度 2.5 \$) した場合の  
中性子臨界モニター No. 1, No. 2 の警報出力 (TTL 積分回路出力)。

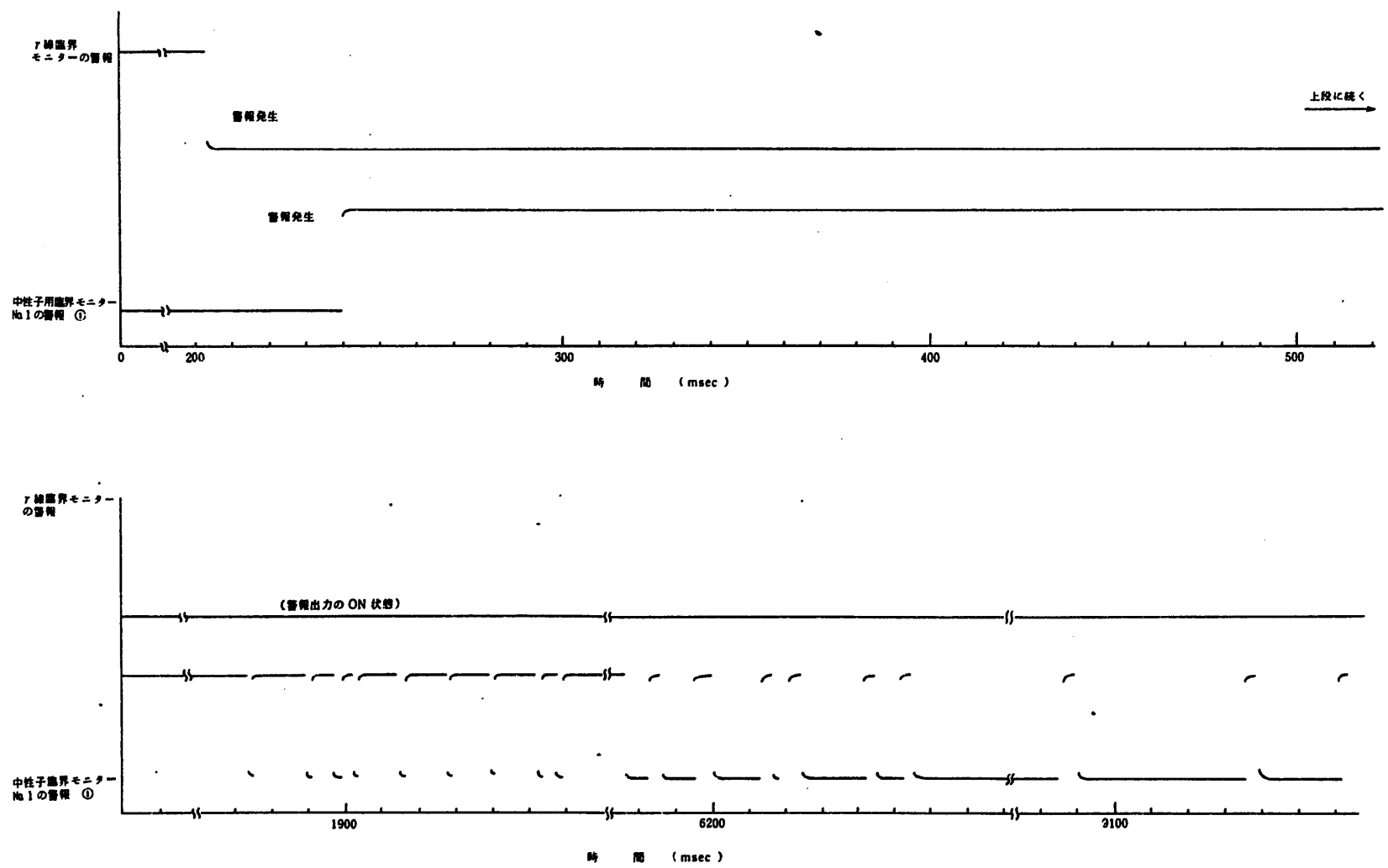


図 31 図 16-7 に示すように鉛シャッターを開にしてγ線用及び中性子線用臨界モニターNo.1を同時に直接ビームで曝射 (24.15 : 53 反応度 3.05 \$) した場合の警報出力 (TTL 積分出力)。

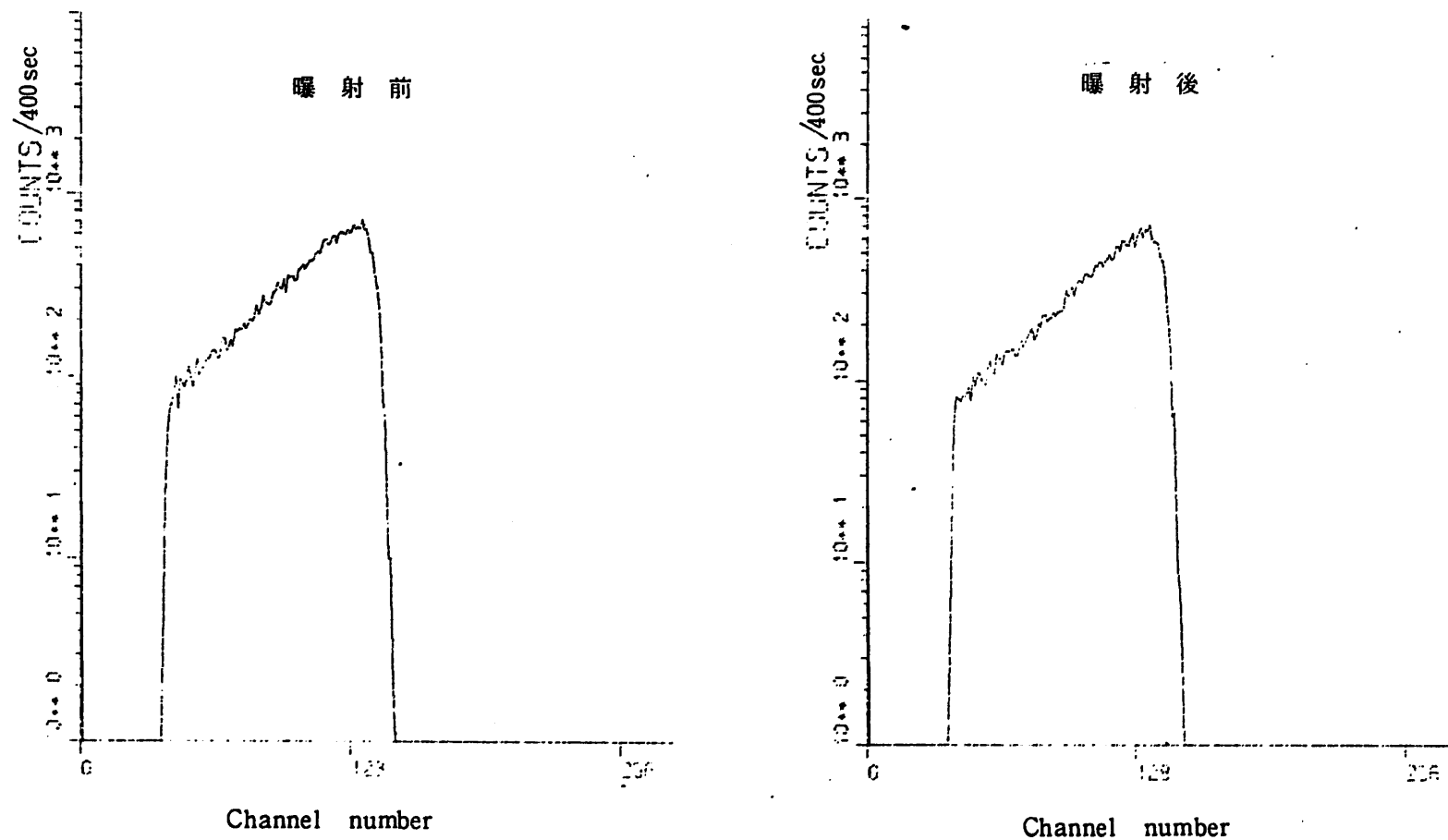


図 32 反応度 3.05 \$(24, 11:58)\$ の  $r$  線及び中性子線バーストで照射する前と後の  $\alpha$  線スペクトル