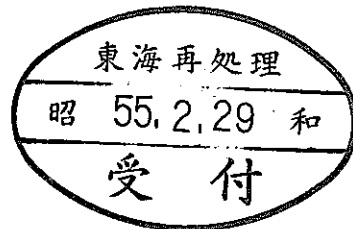


第三相モニタの開発

昭和 55 年 2 月



東京芝浦電気株式会社

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)

1980年2月29日

第三相モニタの開発*

三浦 巖** 小長井主税**
関 英治** 田井 一郎**
白山 新平**

要 旨

溶媒抽出装置ミキサセトラ内の水相、有機相の監視および両相の界面付近に形成される核分裂生成物を含んだ有機層劣化物成分（第三相）の量を監視するために、ガンマ線検出器および検出器駆動機構、記録装置からなる第三相モニタを試作し、再処理施設運転にあわせてモニタの基本性能に関する特性試験を実施した。試験結果の概要は以下の通りである。

- 1) ガンマ線検出器を上下に駆動しながら測定することにより水相、有機相のガンマ線強度の縦断面分布を得ることができ、境界面についての情報が得られた。
- 2) 使用済燃料のフィード開始直後と長時間経過後とでは縦断面分布の形が著しく異なり、後者の時点では水相と有機相の境界面の判定がつかず、第三相の存在を予測させる分布となった。

以上の結果から今後更に検討を要する点として検出器の遮蔽機能を向上し境界面の位置決定を容易にすること、第三相成分を明確にして、得られた分布から第三相存在の可否の判定を行えるようにすることがあげられる。

* 本報告書は東京芝浦電気株式会社動力炉・核燃料開発事業団の委託により実施した研究の成果である。

** 原子力事業本部原子力技術研究所

29 February 1980

Development of Third-Phase Monitor*

Iwao Miura**, Chikara Konagai**
Eiji Seki**, Ichiro Tai**
Shimpey Shirayama**

Abstract

A third-phase monitor has been developed in order to monitor the boundary region of organic and aqueous phases and the third phase to be generated between these two phases in the mixer-settler.

The monitor is composed of a gamma ray detector, a drive mechanism of the detector and a signal processing unit.

The performance tests have been done in accordance with the active feed run of the fuel reprocessing plant.

The experimental results are as follows:

1) Cross sectional gamma ray distribution of organic and aqueous phases has been measured by scanning the detector perpendicularly throughout the mixer-settler. The position of the boundary between these phases is evaluated from that distribution.

2) The gamma ray distribution is gradually degraded with the total feed amount of spent fuel, and consequently no boundary could be measured. This predicts the growth of the third phase between organic and aqueous phases.

On the basis of above experimental results, additional developments are required on the following points.

First, shielding and collimation of the gamma ray detector should be improved to obtain a fine distribution. Second, the identification of the third phase should be necessary to evaluate the quality and the amount of the third phase.

* Work performed under contract between Power Reactor and Nuclear Fuel Development Corp. and Toshiba Corp..

** Nuclear Engineering Lab., Toshiba Corp.

目 次

1. まえがき	1
2 第三相モニタの開発	2
2-1 検出器	2
2-2 駆動装置	2
2-3 制御盤	2
2-4 仮設遮蔽体	3
3 仕様	4
3-1 検出器	4
3-2 駆動装置	4
3-3 制御盤	5
4 検出器特性試験	6
4-1 絶縁抵抗試験	6
4-2 プラトー特性試験	6
4-3 出力直線性試験	6
4-4 指向性試験	7
5 駆動装置，制御盤の試験	8
6 第三相モニタ設置	9
7 実流試験	10
7-1 駆動装置動作試験	10
7-2 バックグラウンド試験	10
7-3 アクティブフィード試験	11
A) スタートアップ測定	11
B) プラトー測定	11
C) S/N比測定	12
8 槽内線量率分布測定試験	14
8-1 バックグラウンド測定	14
8-2 アクティブフィード時測定	14
A) PGT キャンペーン	15

B) GTP キャンペーン	16
C) アクティブフィード測定結果	16
9 計算機シミュレーションによる評価	18
9-1 計算方法	18
9-2 2相条件に対する計算	19
9-3 第3相を考慮した計算	20
10 システム評価	22
10-1 検出部	22
10-2 駆動装置	22
10-3 遮蔽装置	23
10-4 伝送系	23
10-5 指示記録部	23
10-6 測定精度	23
10-7 第3相モニタとしての性能評価	23
11 結 論	25

Table Caption

Table 3-1	Sensor specification	29
Table 3-2	Sensor dimension	30
Table 3-3	Driving system specification	31
Table 3-4	System console specification (A)	32
Table 3-5	System console specification (B)	33
Table 3-6	System console specification (C)	34
Table 4-1	Gamma ray sensitivity of detectors	36
Table 4-2	Sensor performance	36
Table 6-1	Distance from slit center to settler bottom	44
Table 7-1	Signal to noise ratio	57
Table 9-1	Flow chart of computer simulation	84
Table 9-2	Program list (A)	85
	Program list (B)	86
	Program list (C)	87
Table 9-3	Symbol of parameter	88

Figure Captions

Fig. 2-1	The third phase monitor setting	27
Fig. 2-2	System block-diagram	28
Fig. 4-1	Arrangement of collimator directivity test	35
Fig. 4-2	Detector current measuring block- diagram	35
Fig. 4-3	M2-1 plateau characteristics	37
Fig. 4-4	M2-6 plateau characteristics	38
Fig. 4-5	M2-2 plateau characteristics	39
Fig. 4-6	Linearity characteristics for X-ray	40
Fig. 4-7	M2-1 collimator directivity	41
Fig. 4-8	M2-6 collimator directivity	42
Fig. 4-9	M2-2 collimator directivity	43
Fig. 6-1	Detector setting in a settler	44
Fig. 7-1	M2-6 back-ground characteristics	45
Fig. 7-2	M2-1 back-ground characteristics	46
Fig. 7-3	M2-2 back-ground characteristics	47
Fig. 7-4	Gamma ray current with active feed in PGT campaign	48
Fig. 7-5	Gamma ray current with active feed in GTP campaign	49
Fig. 7-6	Gamma ray fluctuation at 65 mm from settler bottom in active feed	50
Fig. 7-7	Gamma ray fluctuation at 150 mm from settler bottom in active feed	51
Fig. 7-8	Gamma ray fluctuation at 300 mm from settler bottom in active feed	52

Fig. 7-9	M2-6 plateau characteristics on active feed in PGT campaign	53
Fig. 7-10	M2-1 plateau characteristics on active feed in PGT campaign	54
Fig. 7-11	M2-2 plateau characteristics on active feed in GTP campaign	55
Fig. 7-12	M2-6 plateau characteristics on active feed in GTP campaign	56
Fig. 8-1	Back-ground characteristics (A)	58
Fig. 8-2	Back-ground characteristics (B)	59
Fig. 8-3	Back-ground characteristics (C)	60
Fig. 8-4	Back-ground characteristics (D)	61
Fig. 8-5	Back-ground characteristics (E)	62
Fig. 8-6	Gamma ray distribution (HV:D-112)	63
Fig. 8-7	Gamma ray distribution (HV: D-152)	64
Fig. 8-8	Gamma ray distribution (A)	65
Fig. 8-9	" " (B)	66
Fig. 8-10	" " (C)	67
Fig. 8-11	" " (D)	68
Fig. 8-12	" " (E)	69
Fig. 8-13	" " (F)	70
Fig. 8-14	" " (G)	71
Fig. 8-15	" " (H)	72
Fig. 8-16	" " (I)	73
Fig. 8-17	" " (J)	74
Fig. 8-18	" " (K)	75
Fig. 8-19	" " (L)	76
Fig. 8-20	" " (M)	77
Fig. 8-21	" " (N)	78

Fig. 8-22	Gamma ray distribution (O)	79
Fig. 8-23	Comparison of gamma ray distribution in PGT campaign	80
Fig. 8-24	Comparison of gamma ray distribution in GTP campaign	81
Fig. 8-25	Differentiated peak characteristics	82
Fig. 9-1	Schematic diagram of settler for computer simulation	83
Fig. 9-2	Calculated gamma ray distribution for different FP energy	89
Fig. 9-3	Calculated gamma ray distribution for different collimator slit width	90
Fig. 9-4	Calculated gamma ray distribution for different FP density	91
Fig. 9-5	Calculated gamma ray distribution (PGT campaign)	92
Fig. 9-6	Calculated gamma ray distribution (GTP campaign)	93

1 ま え が き

再処理工場における使用済核燃料の再処理工程のうち中心となるのは、溶媒抽出で、mixer settler と呼ばれる溶媒抽出装置により行なわれる。

溶媒抽出装置は、使用済燃料に含まれるウラン、プルトニウムを有機溶媒中に抽出するための装置で、使用済燃料を溶解した硝酸溶液と TBP トデカンを主とする有機溶媒とを混合する mixer 部と静置分離させるための settler 部から成り、共除染工程では 9 段のカスケード構成となっている。settler 部の水相と有機相の境界面はほぼ一定高さになるように外部からの圧力により制御されている。この境界面の保持は溶媒抽出上重要で、境界面監視は電導度変化による界面計でおおまかに行なわれている。しかし mixer-settler の運転の継続と共に水相と有機相の間に両者に属さない第 3 相が発生することが予測されている。第 3 相が発生すると溶媒抽出が正常に行なわれなくなるため、第 3 相の存在の有無を早期に検知することは溶媒抽出のコントロールの上で重要である。

本研究の目的は、コリメータ付きのガンマ線検出器を上下方向に駆動させることにより、第 3 相の存在の有無をしらべること、また存在する時の第 3 相のガンマ線強度について調べることにある。

以下の各章で、開発した第 3 相モニターの仕様、特性試験結果について述べ、また、再処理工場において二度にわたり実施した実流試験の結果について述べ、試験結果の検討、評価を行なう。

2. 第3相モニターの構成

第3相モニターは溶媒抽出装置内の水層と有機層の境界面の検出と、その境界に発生する可能性が高い第3相の検出を目的とする。本第3相モニターは検出部、駆動装置、制御盤の3部分より構成されている。以上3部分の仕様については、第3章の仕様で詳細に記すため、ここではそれぞれの機能と構成について簡単に説明する。

2-1 検出部

検出器はキセノンガス封入の電流型電離箱であり、3基製作した。検出器は側面にのみ有感部をもつようにスリットが開いたタングステン製のコリメータで覆われており、スリット面から入射するガンマ線を効率よく測定できる構造となっている。信号用ケーブルには耐放射線性の高いMIケーブルを使用した。検出部はFig.2-1に示すように、鉄製の遮蔽床の下のsettler部に設置されたVU管中に挿入され、駆動装置により上下駆動される。

2-2 駆動装置

駆動装置はFig.2-1に示すようにA348遮蔽床上のシールドプラグ上に設置され、ケーブル保護管に吊り下げられた検出部を自動または手動で駆動するものである。駆動方式はスピードコントロールモーターからの回転を減速機で減速し、ボールネジを使用することにより、ケーブル保護管を上下運動させるものである。駆動機構部は駆動機構部カバーと遮蔽体で覆われている。また現場操作ユニットが上記カバー側面に固定されている。

2-3 制御盤

制御盤は検出器出力電流処理回路系と駆動装置制御回路系により構成されており、G-548に設置した。

検出器信号処理回路系はFig.2-2に示すように微少電流計と高圧電源とにより得られた信号電流をYTレコーダーのY入力と、XYレコーダーのY入力に入力させるものである。またXYレコーダーのX入力には制御回路系からの検出器位置信号が入力される。

制御回路系は検出器操作ユニットとして駆動装置の制御回路と検出器位置表示回路で構成されている。操作ユニットは連続駆動、ステップ駆動、及び速度切換の各運転モードをもっている。また駆動装置に固定されている現場操作ユニットもほぼ同様の機能を有している。

2-4 仮設遮蔽体

仮設遮蔽体は本設のモニターとは独立に、検出部を吊したワイヤーを手動の巻上機で巻上げることにより、検出部を駆動する装置で、本設モニターとのデータ比較のために設置した。巻上機はシールドプラグを覆った鉛製の遮蔽体の側面に固定されている。

3 仕 様

3-1 検出部 (sensor)

検出部はキセノン (Xe) ガス封入の平行板形電離箱から成るガンマ線検出器と純タングステン製のコリメーターで構成されている。検出器は外径 24mm, 長さ 29mm であり, 有感部の長さは 2.5mm である。検出器の封入ガスの圧力は, 検出器 M2-1 が 3kg/cm^2 , M2-6 が 5kg/cm^2 , M2-2 が 10kg/cm^2 である。

信号取出し用の同軸ケーブルは外径 3.2 mm, 長さ 1590 mm の MI ケーブル (mineral insulator cable) である。MI ケーブルの絶縁体にはアルミナセラミックス (Al_2O_3) が使用されている。

コリメーターは直径が 50mm, 検出器側面での厚さが 13mm, 長さが 50mm である。上記のコリメーターは検出器有感部中心を中心に 3 mm のスリットを開けて検出器の上下に固定されている。

コリメーターを検出器に固定した状態での検出部の Cs-137 のガンマ線に対するガンマ線感度は, M2-1 が $1.3 \times 10^{-12} \text{ A/R/H}$, M2-6 が $2.0 \times 10^{-12} \text{ A/R/H}$, M2-2 が $4.1 \times 10^{-12} \text{ A/R/H}$ である。また絶縁抵抗は 3 検出器について $10^{13} \Omega$ 以上である。

上記に示した仕様は Table 3-1 に示し, 検出部全体についての実測寸法は Table 3-2 に示した。

3-2 駆動装置

駆動機構部は検出部のケーブル保護管を上下駆動させるものである。駆動ストロークは 250mm で, 検出器位置表示誤差は $\pm 1 \text{ mm}$ である。駆動速度は 0.6 ~ 7 mm/sec 間で 3 段切換可能である。駆動機構部は外形が 425 mm (H) \times 390 mm (W) \times 267 mm (D) の箱 (側面の駆動機構部カバーと上面の遮蔽体) の中に収められている。側面の駆動機構部カバーは厚さ 20 mm のステンレス板であり, 上面の遮蔽体は厚さ 50 mm のタングステン合金である。タングステン合金の成分は, タングステン 96%, ニッケル 1.5%, 銅 2.5% であり, 比重は 18.0 以上である。このタングステン合金のテストピース 2 個の比重実測値の平均値は 18.14 であった。

1 campaign で 2 検出器の試験を行なう必要があるため本設の駆動装置と共にワイヤー巻上げ方式の仮設遮蔽体も使用した。この遮蔽体は 200 mm (H) \times 250 mm (W) \times 200 mm (D) で厚さ 50 mm 鉛製の箱の側面に手動のワイヤー巻上げ機が固定されたも

のである。

以上の駆動装置の仕様については Table 3-3 に示す。

3-3 制御盤

制御盤は筐体，微小電流計，検出器操作ユニット，X-Yレコーダー，ペンレコーダー（Y-Tレコーダー），ピンコネクタボックス，低圧電源，高圧電源，システム電源，仮設高圧電源とから構成されている。これらについての仕様を Table 3-4，Table 3-5，Table 3-6 に示す。

4. 検出器特性試験

4-1 絶縁抵抗試験

本項の絶縁抵抗は検出器内部，MIケーブル，MIケーブル端末，コネクタ，同軸ケーブルのそれぞれの絶縁抵抗の並列合成抵抗値である。絶縁抵抗はガンマ線非照射時に検出器（ケーブル，コネクタ等も含む）に100Vの電圧を印加した時のリーク電流を測定することにより求めた。測定ブロック図はFig.4-2に示す。測定結果はTable 4-2に示すように3検出器とも $1 \times 10^{14} \Omega$ 以上であり良好な絶縁性能を有している。

4-2 プラトー特性試験

電離箱型ガンマ線検出器はガンマ線照射下では，印加電圧に対する出力電流の間に飽和特性を示す。本試験は，飽和に達する電圧及び飽和した状態でのプラトー特性について評価し，検出器の基礎特性を調べるために行なった。

試験時の検出部は，コリメータ・スリットが線源方向を向く位置に配置される。検出部と線源の配置図はFig.4-1に示し，測定ブロック図はFig.4-2に示す。

ガンマ線源としては東芝府中工場照射室内の100 Ciの $Cs-137$ を使用した。検出器位置のガンマ線線量率はラドコンで測定した。試験は工場試験と立会い試験を行ない，それぞれについて，ガンマ線強度の異なる2点で測定した。

3基の検出器M2-1，M2-6，M2-2のプラトー特性の社内試験結果をそれぞれFig.4-3，Fig.4-4，Fig.4-5に示す。これらの特性より全検出器とも50V以下の電圧でプラトー領域に達しており，使用電圧の100～300Vの間では良好な特性を示している。グラフ中に示したガンマ線感度は4ヶ所に於ける感度の平均値である。

$Cs-137$ のガンマ線（662 KeV）に対する印加電圧100Vでの検出器のガンマ線感度を，工場試験結果と立会い試験結果とそれらの平均値についてTable 4-1に示した。ガンマ線感度の測定値（平均値）は検出器M2-1が $1.3 \times 10^{-12} \text{ A/R/H}$ ，M2-6が $2.1 \times 10^{-12} \text{ A/R/H}$ ，M2-2が $4.2 \times 10^{-12} \text{ A/R/H}$ である。以上の値からこれらの検出器ではガンマ線線量率10 R/H以上の測定は可能と判断でき，実流試験に於ては十分な感度である。

4-3 出力直線性試験

出力直線性試験の線源としては散乱線が少なく，線量率が大きくとれるものとして東芝原子力研内のX線発生装置（120 kVp）を使用した。

本試験は、1 R/Hと1600 R/Hの間のX線線量率の下で行なった。試験結果はFig.4-6に示すようにこのX線線量率の間では非常によい直線性を示している。この結果では測定の最低電流が 1×10^{-10} Aとなっているが、この値は線源の制約によるもので検出器の絶縁抵抗を考慮すると更に1桁は下がると考えられる。また高い方ではやはり試験装置の制限によるが、 1×10^{-7} Aの電流までの直線性は確認された。

検出器の感度がX線に対しては、 C_s-137 に比べて1桁以上高いことを考えればこの値は実流試験に対しても十分な値である。

4-4 指向性試験

第3相モニタの検出器は理想的にはコリメータのスリット面からのみ入射するガンマ線に有感であることが望ましい。しかし、検出部設置場所の制限上十分な厚さのコリメータが作れないため完全なコリメートをすることが困難となる。そこで検出部の指向性を調べる必要がある。

指向性試験は線源として $100 C_i$ の C_s-137 を使用し、図4-1に示すような検出部の配置で実施した。検出部コリメータスリット中心が線源中心を向く角度を 0° とし、下部コリメータがガンマ線を遮蔽する方向を負の角度とし、 -90° （検出器真下方向）まで変化させた。また反対に上部コリメータがガンマ線を遮蔽する方向を正の角度とし、 12° （場所の制限のため）まで変化させて、印加電圧100 Vに於ける検出器出力電流の測定を行った。

測定結果としては測定電流値を、検出部角度が 0° の時の電流値を100として標準化した値でFig.4-7, Fig.4-8, Fig.4-9に示した。この結果より検出部角度 0° 時の検出器出力電流値の半分になる時の角度を半値幅(FWHM)として表わすと、検出器M2-1が 12.5° 、M2-6が 12.5° 、M2-2が 13.5° となる。

以上のように全検出器に於てFWHMが 13.5° 以下であり、幾可学的見込み角の 12° とほぼ同値であり、単一エネルギー(C_s-137 , 662KeV)に対するコリメート特性は良好といえる。

以上の試験結果を中心にしてTable 4-2に検出器特性を示した。全項目にわたり仕様を満足している。

5. 駆動装置，制御盤の試験

本項の試験は東芝府中工場で以下の項目について実施し，正常であることを確認した。詳細は試験成績表ATH-9008として提出済みである。

- | | |
|------|-------------------------------------|
| 試験項目 | a) 外観寸法検査 |
| | b) 絶縁抵抗試験 |
| | c) 耐電圧試験 |
| | d) 動作試験（検出器操作ユニット，現場操作ユニット，検出器駆動装置） |

6. 第3相モニタ設置

PGT campaign (1979年11～12月)では検出器M2-6と駆動装置を settler R-1107 に、検出器M2-1と仮設遮蔽体を settler R-1104 に設置した。

GTP campaign (1980年1～2月)では検出器M2-2と駆動装置を settler R-1109 に、M2-6と仮設遮蔽体を R-1107 に設置した。

検出部設置状態の settler 内の断面図を Fig.6-1 に示す。図中の L は下部コリメータの下端から VU tube の底までの長さであり、H はコリメータ・スリット中心から settler 底部までの長さである。これらの L と H の値は Table 6-1 に示す。H の値は検出器 M2-1 では 61.5 mm であり、M2-6 と M2-2 では約 66 mm である。

7. 実流試験

7-1 駆動装置動作試験

第3相モータ設置時に、ケーブル導通試験、絶縁試験、駆動装置および制御盤の動作試験を実施した。結果は試験成績書番号SCH-5537として提出済みである。本項では主として動作試験の中の次の項目について確認した結果を記す。

a) 遠隔操作（検出器操作ユニット）

中央制御盤の検出器操作ユニットの操作切換スイッチを「中央」にして検出器操作スイッチを「入」にすることにより次のことを確認した。

- 検出器方向スイッチ操作により検出器が連続あるいはステップで駆動する。
- 検出器速度スイッチ操作により、駆動速度が3段階に変わる。
- 検出器が上限あるいは下限で駆動を停止する。

b) 現場操作

中央制御盤あるいは現場操作箱の操作場所スイッチを「現場」にして次のことを確認した。

- 現場操作箱の検出方向スイッチを「挿入」あるいは「引抜」にすることにより検出器が駆動する。
- 検出器速度スイッチ操作により駆動速度が3段階に変わる。
- 検出器が上限あるいは下限で駆動を停止する。

c) 検出器（部）位置表示試験

検出部は検出器方向スイッチの操作により、引抜方向あるいは挿入方向に駆動し続けるとリミットスイッチが作動して、それぞれ上限あるいは下限で停止する。この時の検出器位置表示器の指示値が上限で $250 \pm 1 \text{ mm}$ 、下限で $0 \pm 1 \text{ mm}$ であることを確認した。

7-2 back-ground 試験

active feed前に中央制御盤の微小電流計と高圧電源を使用して印加電圧100V（通常の印加電圧）に対する検出器出力電流（リーク電流）を測定した。次に現場に於て、中央制御盤へ配線されている信号用同軸ケーブルのコネクタを外し、同検出器の出力を同様の測定方法で測定した。この測定結果、2ヶ所での測定電流は同値でありA348とG548間のケーブルの信号伝送には異常がないことが確認された。

次に、PGT campaignとGTP campaignの2回のcampaignで3検出器のウラン平

衡時の back-ground 電流を測定し、Y-Tレコーダーに記録された特性を Fig. 7-1, Fig. 7-2, Fig. 7-3 に示す。ただし検出器位置は下限位置である。また検出器には高圧電源 D-112 により 100 V を印加した。Fig. 7-1 ~ 7-3 について以下に簡単に説明する。

Fig. 7-1) 検出器 M2-6 を PGT campaign で R-1107 に設置した時の測定結果である。back-ground 電流は 1×10^{-12} A であり、異常 noise は見られず安定している。

Fig. 7-2) 検出器 M2-1 を PGT campaign で R-1104 に設置した時の測定結果である。back-ground 電流は 1.2×10^{-12} A であり、図中右側の大きなトランシーバー noise を除いては異常 noise は見られない。

Fig. 7-3) 検出器 M2-2 を GTP campaign で R-1109 に設置した時の測定結果である。back-ground 電流は 2.8×10^{-12} A であり、異常 noise は見られない。この検出器 M2-2 の back-ground 電流は M2-6, M2-1 の電流より大きくなっている。これは M2-2 が他の検出器よりガンマ線感度が高いことと、settler R-1109 内のガンマ線線量率が R-1107, R-1104 に比べて多少高いためと考えられる。

7-3 active feed 時試験

7-3-A ガンマ線平衡特性

ウラン平衡状態から active feed を開始し、settler 底部分（検出器位置表示 0 mm）のガンマ線レベルが平衡に達するまでの時間を調べるために、検出器出力電流の経時変化特性を測定した。ただし検出器印加電圧は 100 V である。

PGT campaign では検出器 M2-6 で settler R-1107 の測定を行った。測定結果は Fig. 7-4 に示すように active feed 開始後約 60 分で検出器出力電流の増加はなくなり、ガンマ線レベルは平衡に達している。

また GTP campaign では検出器 M2-2 で settler R-1109 の測定を行った。測定結果は Fig. 7-5 に示すように約 40 分でガンマ線レベルは平衡に達している。

7-3-B プラト特性

active feed 時、検出器を定位置に止めて検出器出力電流を測定すると、

約9分の周期で電流に変化が現われた。この周期性の電流変化(ガンマ線線量率の変化)は feed 機構の特性のために起こるものと思われる。

検出器をデジタル表示値 0 mm (settler 底から 65 mm), 境界面付近の 85 mm (settler 底から 150 mm), 有機相上面の 235 mm (settler 底から 300 mm) の位置に止めて上記の電流変化特性を測定した。結果はそれぞれ Fig. 7-6, Fig. 7-7, Fig. 7-8 に示す。

プラトー特性は Fig. 7-6 のグラフ中の 5 分間程度の電流変化が少ない時に測定した。測定方法は検出器位置 0 mm に於て、検出器に 0 ~ 300 V の電圧を段階的に印加し、検出器出力電流を測定することによった。測定ブロック図は Fig. 4-2 に示す。

測定結果は、PGT campaign に於ける検出器 M2-6, M2-1 については Fig. 7-9, Fig. 7-10 に、また GTP campaign に於ける検出器 M2-2, M2-6 については Fig. 7-11, Fig. 7-12 に示す。3 検出器(合計 4 特性)とも 50 V 以下の電圧でプラトーに達しており、使用電圧の 100 ~ 300 V の間では良好なプラトー特性を示している。

7-3-C S/N比測定

active feed 時の検出器出力電流に対し、back-ground 電流がどの程度影響を及ぼすかを調べるために、S/N比(signal to noise ratio)を求め、結果を Table 7-1 に示した。

active feed 時の検出器出力電流は settler 内のガンマ線線量率の変化にともない変化している。ここでは PGT campaign に於ける検出器 M2-6 と M2-1 については feed 開始から約 6 時間後の検出器出力電流について S/N比を求めた。また GTP campaign に於ける検出器 M2-2 については、feed 開始から約 1 時間後の検出器出力電流について S/N比を求めた。

back-ground 電流は検出器位置が 0 mm に於けるウラン平衡時の電流とした。Table 7-1 に示した DC は back-ground 電流の直流分であり、AC は back-ground 電流の交流分(電流の変化分の peak to peak 値)である。

直流分(DC)の S/N比を active feed current / DC back ground current で示すと、ガンマ線感度が 1 番低い検出器 M2-1 に対しても、

680であり、十分な値である。また交流分(AC)のS/N比を active feed current / AC back-ground current で示すと、検出器M2-1についても1370であり、十分な値である。これはFig. 8-6のガンマ線分布特性からも明らかである。また高圧電源D-152を使用した※M2-6(他はD-112を使用)については交流分のS/Nが330でD-112使用時に比べて明らかにS/Nが劣っている。これはD-152の安定性に原因があると考えられる。Fig. 8-7に示したガンマ線分布特性に於ては変化分が多少目立つが実用上は問題ないと思われる。

8. Settler 内線量分布測定

8-1 Back-ground 測定

mixer-settler が active feed を開始する前の状態で、駆動装置により検出器を駆動させ、検出器出力電流の変化分の測定を行った。

P GT campaign のウラン平衡時に settler R-1107 に設置した検出器 M2-6 に高圧電源 D-112 により 100 V を印加し、3種の駆動速度で検出器を駆動させた時の back-ground 電流特性を測定した。測定結果を Fig. 8-1 に示す。図中の up は検出器引抜方向への駆動を示し、down は挿入方向を示す。

この back-ground 特性では検出器位置レベル 210 mm 以上で多少電流値が増加している。これは mixer settler 壁面に付着している可能性がある FP のガンマ線が位置レベル 235 mm 付近までは液面により遮蔽されておりその影響は小さいがこれ以上の位置レベルでは mixer settler 壁面と検出器の間が空気になるために上記のガンマ線の影響が強くなるために起こるものと考えられる。

以上の 6 特性の電流変化分 (peak to peak) は 8×10^{-13} A であり正常な値である。

また高圧電源だけを D-152 と交換し、低速度で検出器を引抜き、挿入して back-ground の測定をした。測定結果は Fig. 8-2 に示すように電流の変化分は 4.3×10^{-12} A である。この値は上記の高圧電源 D-112 を使用した時の電流値より大きくなっており高圧電源の安定性の違いを示しているが、active feed 時の測定では 10^9 A order の電流となるため大きな問題はない。

次に GTP campaign のウラン平衡時に R-1109 に設置した検出器 M2-2 を 3 種の速度で駆動し、高圧電源に D-112 により 100 V を印加して back-ground の測定をした。測定結果を Fig. 8-3 に示す。測定結果より電流の変化分 (peak to peak) は低速時が 7×10^{-13} A、中速時が 1.1×10^{-12} A、高速時が 1×10^{-12} A であり、すべて良好な値である。

また Fig. 8-4, Fig. 8-5 には GT P campaign のウラン平衡中の back-ground 特性を示す。この 2 つの特性より、ウラン平衡期間の後期では、settler 内のガンマ線レベルに変化が現われることがわかる。

8-2 active feed 時の測定

settler 内のガンマ線レベルに変動がない状態 (無視できる状態) で駆動装置により検出器を駆動し、検出器位置変化に対する出力電流特性 (ガンマ線分布特性) を測

定した。

PGT campaign 時に検出器 M2-6 に高圧電源 D-112 により 100 V を印加して検出器の出力電流の測定をした。3種の駆動速度による測定結果を Fig. 8-6 に示す。この3特性には殆んど差は見られない。また水相と有機相の境界面の正確な判断はこのままでは困難である。また Fig. 8-7 には高圧電源として D-152 を使用した時の同様の特性を示す。この測定結果では駆動範囲全体を通して小さな電流変化(noise)があり、特に検出器引抜きのための駆動始動時には大きな noise が見られる。この小さな noise は本試験結果のようなブロードな特性に対しては影響を与えないと思われ、また大きな noise は位置レベル 10 mm 以下でのみ発生するため、第3相および境界面検出に当っては影響を与えないと思われる。

以後のガンマ線分布特性は高圧電源 D-112 を使用したものである。Fig. 8-8 ~ Fig. 8-22 の特性は、測定電流を検出器位置 0 cm での電流を 1 とし、標準化した値を実線で示し、また標準化値の位置レベル 1 cm 当りの変化分(微分値)をヒストグラムで示したものである。

8-2-A PGT campaign

active feed 開始(1979年11月24日10時)から40分、3時間30分、6時間35分後に settler R-1107 に設置された検出器 M2-6 で settler 内のガンマ線分布特性を測定し、結果を Fig. 8-8, Fig. 8-9, Fig. 8-10 に示す。また active feed 開始6日後の11月30日の測定結果を Fig. 8-11 に示す。以上の結果より active feed 開始から6時間35分までの特性(Fig. 8-8 ~ 8-10)には大きな変化は見られない。しかし Fig. 8-10 と Fig. 8-11 (6日後)の特性を比較すると Fig. 8-11 の方が位置レベル 0 cm と 25 cm の間の電流値の差が小さくなっている。Fig. 8-23 にこれらの2つの特性を比較したものを示す。また微分値の特性については Fig. 8-10 ではピークが位置レベル 7 ~ 8 cm の間にあるのに対し、Fig. 8-11 ではピークが 5 ~ 6 cm 間と 9 ~ 10 cm 間の2ヶ所に現われる。特に 9 ~ 10 cm 間のピークは第3相を予測させる特性である。

次に settler R-1104 に設置した検出器 M2-1 の active feed 8時間後と6日後の特性を Fig. 8-12, Fig. 8-13 に示す。この結果は標準化した特性では2特性間にあまり変化が見られないが、微分値の特性では6

日後の特性 (Fig. 8-13) の方が位置レベルで 1 cm 高い方にピークが移動しており、第 3 相を予測させる特性になっている。

8-2-B GTP campaign

active feed 開始 (1980 年 1 月 22 日 5 時) から 1 時間 5 分後、3 時間 10 分後、5 時間 33 分後に settler R-1109 に設置した検出器 M2-2 によりガンマ線分布測定を行った。測定結果を Fig. 8-14, Fig. 8-15, Fig. 8-16 に示す。また 1 月 24 日、25 日、27 日、30 日に測定した結果をそれぞれ Fig. 8-17 ~ 8-20 に示す。このうち 1 月 22 日、24 日、25 日、30 日の標準化した特性の変化を見やすくするために比較特性を Fig. 8-24 に示す。

この GTP campaign の測定結果では 1 月 24 日 (Fig. 8-17) の特性から分布に変化が出始めている。22 日の特性 (Fig. 8-14 ~ 8-16) では位置レベル 6 ~ 11 cm 間にできた微分値のピークが、24 日 (Fig. 8-17) では 8 ~ 9 cm 間と 20 ~ 21 cm 間の 2ヶ所できている。そして、その後は 14 ~ 15 cm 間から 21 ~ 22 cm 間に微分値のピークが移動した。

また 1 月 27 日 (Fig. 8-19), 30 日 (Fig. 8-20) の検出器位置表示レベル 0 cm での実測出力電流値は active feed 初期の値の $\frac{1}{2}$ になっている。また 0 cm 時と 25 cm 時の値の差は active feed 初期の差に比べて小さくなっている。

以上のように 1 月 24 日以降の特性は初期 (1 月 22 日) の特性とは全く異なる特性を示しており明らかに第 3 相によるものと考えられる特性を示している。

次に settler R-1107 に設置された検出器 M2-6 で測定した active feed 初期と後期の特性を Fig. 8-21, Fig. 8-22 に示す。これらに於ては境界面付近での期待する特性は得られなかった。

8-2-C active feed 測定結果

以上の active feed 時のガンマ線分布特性より、特に Fig. 8-23, Fig. 8-24 に於て明らかなように、active feed 開始から時間が経過するにつれて検出器レベル 0 mm と 250 mm でのガンマ線レベルの差が小さくなる現象がみられる。これは有機相の FP 濃度の上昇によると共に、第 3 相の存在によるものと考えられる。

次に GTP campaign 時の R-1109 に於ける検出器 M2-2 の出力電流の変化分のピーク値に対応した検出器位置 (測定値 + 6.5 cm) と R-1109 の界面計 (LiSi) が示した境界面位置に対して示したグラフを Fig.8-25 に示す。この特性ではバラツキは大きい理想直線 (2点鎖線) に沿って分布している。

なお, GTP campaign の active feed 後半では LiSi 作動不良があったため Fig. 8-25 の LiSi 表示値は必ずしも正常とはいえない。

9. 計算機シミュレーションによる評価

前章までの実流試験時のモニタの特性を評価し、第3相の幅、FP濃度について考察するために、検出器出力電流特性の計算機によるシミュレーションを行なった。

プログラムは水相、有機相を微小体積要素に分割し、それぞれから検出器への γ 線の寄与を積分する方法とした。このプログラムにより、第3相のない状態での実験値に合致させるべくプログラムのパラメータを選定し、その後第3相を付加した場合について幅、FP濃度をパラメータとしてシミュレーションを行ない、実験値との対応をつけることにより第3相の幅、FP濃度について推定、評価した。

9-1 計算方法

現実の settler の状態をできるだけ再現しながら、計算を単純化、効率化するために、プログラムを作成する上で以下の様な仮定を行なった。

第1に settler の形状として Fig. 9-1 に示した様に外径 40 cm の円筒形容器とした。V U tube 及び V U tube 中の検出器の形状は現実と同等とした。settler を円筒形状で近似した理由は、検出器電流は検出器の近傍からの γ 線による所が大きく周辺部程立体角要素、自己吸収の効果により出力電流への寄与が小さくなることと、円筒形状をとることにより微小体積要素から検出器への γ 線の入射はZ軸対称となるため計算を簡略化できることによる。

第2の仮定は水相、有機相から放射される γ 線のエネルギーを単色とし、途中で散乱を受けた散乱 γ 線については考慮していない。単色としたのは、現実のエネルギースペクトルが使用済燃料の burn-up, 冷却時間により異なり必ずしも一定でないためであり、逆に単色のエネルギーをパラメータとして現実の出力分布特性にありように「平均エネルギー」を求めた。

また、散乱 γ 線の効果を導入するのは本プログラムのように微小体積要素と検出器の間の直線的な γ 線の吸収をもとにしたプログラムでは不可能であり、統計的な手法であるモンテカルロ計算によれば可能となるがプログラム及び計算時間の点から断念した。

プログラムのフローチャートを Table 9-1 に示す。またプログラムリストを Table 9-2 に示した。

プログラム実行時にデータとして入力しているのは、検出器有感部の半径、厚さ、コリメータ(遮蔽体)の半径、厚さ、入射 γ 線エネルギー、水相、第3相、有機相の

それぞれ幅，FP濃度であり，それらの記号について Table 9-3 に示す。

9-2 2相条件に対する計算

active feed 開始直後の2相状態の実測ガンマ線分布特性をベースにして，数値計算シュミレーションを行ない，各種パラメータが特性のどの部分に影響を与えているかの評価を行ない，現実にもっと近い特性を示すパラメータを計算上の入力データとして選び出した。

パラメータは検出器の特性を規定するためのFPエネルギー，コリメータ・スリット幅と，settler 側状態を規定するFP濃度比，境界レベルに大きく分けられる。

まず検出器の特性を決定するためにFPエネルギーとスリット幅の両方のパラメータを2次元的に変化させながら妥当な特性を示す結果を探した。Fig. 9-2にFPエネルギーを変化させた場合，Fig. 9-3にスリット幅を変化させた場合の一例を示した。これらの結果から得られる傾向はFPエネルギーを高くした場合には境界より上でコリメータの「きれ」が悪くなること，スリットを狭くした時は境界付近のカーブがなまってくることなどである。これらは，FPエネルギーの増加は遮蔽能力の減少から境界面通過後も暗電流の影響を受けること，スリット幅減少は全電流の内の暗電流分の割合が大きくなるためにコリメータ効果のにおさにつながることによると考えられる。

以上より，現実のカーブに近い特性を得られるFPエネルギーとコリメータ・スリット幅のパラメータに対し，水相と有機相のFP濃度割合に対する特性変化を調べた。

水相のFP濃度 $0.1 \text{ Ci} / \ell$ に対し，有機相のFP濃度を $0 \sim 0.08 \text{ Ci} / \ell$ まで変化させた時の計算を行なった一例を Fig. 9-4 に示す。

この結果，FP濃度の変化は特性全体に対して影響を与えており，特に有機相ではその割合が大きい。有機相FP濃度が高い程有機相での電流値が増加し，それに伴ない水相側にも影響を与え，電流が増加している。

これに対して，境界面の位置を変更した場合の特性は，境界面付近のみの平行移動であり水相下部，有機相上部では殆んど変化しない。

このようにして4つのパラメータを選定して，計算特性と実測特性を対照し，現実にも近づかない場合には，再度 feed-back してパラメータを動かすといった試行錯誤的な手順を踏んで2相状態の最適値を探った。

その結果を Fig. 9-5, Fig. 9-6 の特性 A に示す。これらはそれぞれ PGT campaign の 11 月 24 日 16 : 35 の実測特性, GTP campaign の 1 月 22 日 8 : 10 の実測特性をシミュレーションした計算結果で, 後述する第 3 相成分を付け加えた時の例も同時に示してある。同図に使用されたパラメータのうち検出器特性に関するものは FP エネルギー 1500 Kev, スリット幅 1.5 mm であり, settler 側のパラメータはそれぞれ異っており同図中に示してある。

このように 2 相状態ではほぼ現実に近い特性を示す結果が得られた。

9-3 第 3 相を考慮した計算

2 相状態の計算結果を基に第 3 相成分を追加した時の特性変化を調べ, 実測特性の評価を行った。

第 3 相の FP 濃度, 第 3 相の幅, 第 3 相と水相の境界面レベルの 3 つをパラメータにして計算を行ない, 現実データに近づく時に与えたパラメータをもって「第 3 相の特性」と推定した。

実測特性に対するシミュレーション特性を, PGT campaign については Fig. 9-5 に, GTP campaign については Fig. 9-6 に示す。

まず, PGT campaign のシミュレーション結果について説明する。Fig. 9-5 の曲線 A は有機 FP 濃度が水相の 1/10 で, 境界面レベルが 13 cm の 2 相状態のシミュレーション特性である。それに対し, 曲線 B は第 3 相を考慮したものであり, 水相幅 11.5 cm, 第 3 相幅 3 cm (TL = 14.5 cm) 有機相幅 13.5 cm (OL = 28 cm), 水相 FP 濃度 0.1 Ci/ℓ, FP 濃度比が水相に対して第 3 相 80/100, 有機相 15/100 の特性で, PGT campaign の特性 (Fig. 8-23 の特性 B) をシミュレーションしたものである。

以上のシミュレーション結果より, 2 相時の水相と有機相の境界面を中心に 3 cm 程度の幅で第 3 相が分布し, かつ第 3 相 FP 濃度が 0.08 Ci/ℓ で, 有機相 FP 濃度が多少上昇し 0.015 Ci/ℓ 程度になった場合には PGT campaign の Fig. 8-23 の B のような傾向となることが考えられる。

次に GTP campaign の実測特性に対するシミュレーション結果について説明する。

Fig. 9-6 の曲線 A は前述した 2 相状態の特性であり, active feed 開始直後の特性のシミュレーションである。

曲線 B は FP 濃度が水相 0.1, 第 3 相 0.08, 有機相 0.02 Ci/ℓ で, 水相幅 9 cm

(AL = 9 cm), 第3相幅 6 cm (TL = 15 cm), 有機相幅 12 cm (OL = 27 cm) の時の特性であり, Fig. 8-24 の B の特性に対応する。

曲線 C は FP 濃度が水相 0.1, 第3相 0.04, 有機相 0.01 Ci/l で, 水相幅 7 cm (AL = 7 cm), 第3相幅 12 cm (TL = 19 cm), 有機相幅 6 cm (OL = 25 cm) の時の特性であり, Fig. 8-24 の C の特性に対応する。

曲線 D は FP 濃度が水相 0.1, 第3相 0.06, 有機相 0.03 Ci/l で, 水相幅 7 cm (AL = 7 cm), 第3相幅 18 cm (TL = 25 cm), 有機相幅 3 cm (OL = 28 cm) の時の特性であり, Fig. 8-24 の D に対応する。

以上にまとめて示した GTP campaign の active feed 時の数値計算シミュレーションの結果から以下のような第3相の幅, 位置, FP 濃度等に関する推察が可能となる。

- ① 第3相は settler 底面から 7~9 cm より上に発生しており, 幅は feed 開始から時間が経過するに従って広がっていく。そして feed 終了間際には非常に広い部分が第3相成分になっていることが考えられる。
- ② またその発生位置は水相と有機相の境界面に近い所からはじまり, 境界面を上下に押し上げるような形で成長していくと考えられる。
- ③ 第3相の FP 濃度は, Fig. 9-6 の特性は検出器最下位置を 1 に規格化しているため, シミュレーション結果からのみでは絶対値は判断できないが, 相対的には水相での濃度の 40~80% の範囲と考えられる。

尚, 実測特性によれば, 第3相の発生に伴ない, 水相, 有機相 FP 濃度も変化していると考えられる。

- ④ 有機相上面のレベルが一定ではなくある場合には上下に変動している可能性がシミュレーションから考えられる。
- ⑤ シミュレーション結果より, 得られた水相と有機相の境界面レベルあるいは水相と第3相の境界面レベルが界面表示灯 (LiSi) の表示から得られるレベルとは必ずしも一致していない。

以上のような推測的結果が, 第3相が存在すると考えられる場合成立つが, このシミュレーションでは前述したように FP エネルギーを一定値で代表させたり, 散乱 γ 線を考慮しておらず, 全てのケースにびったり一致させるにはさらに改善する余地がある。

ひとつの仮定の上立った第3相の判断として受けとめておくことが必要であろう。

10 システム評価

10-1 検出部

検出器のガンマ線感度は試作した3検出器について $1.3 \sim 4.3 \times 10^{12}$ A/R/H を有しており、active feed 時には 10^{-9} A オーダーの出力電流を記録した。

これに対して active feed 前の back ground 電流は約 1×10^{12} A と非常に小さく十分な S/N をもっている。

また検出器出力電流飽和特性に対しては、 10 kg/cm^2 のガスを封入した M2-2 でも active feed 時に印加電圧 50 V 以下で飽和に達しており、プラトーの勾配も小さいことから検出器としては良好な特性と言える。

検出器に取付けたコリメータは側方向にスリットをもった外径 50 mm のタングステンを使用したが性能は充分ではない。外径は VU tube からの制約によるもので、スリットの深さが浅いためコリメータを斜めに透過したガンマ線の出力電流に与える影響が大きい。

このため、縦分布特性を測定した時に水相、有機相の境界面での出力電流の変化の「きれ」が充分でなく今後コリメータの方式を含めた検討が必要である。

検出部の耐久性については現段階では継続的な使用をしておらず評価するのは困難であるが、検出器単体については性能劣化は考えられない。

改良すべき点は、検出器のコネクタ部の絶縁抵抗が高湿度や粉塵の多い環境下では劣化する可能性があることと、検出器取付け時に MI ケーブルを小さな曲率で曲げる構造となっているために繰り返し曲げのばしを行なうことを避ける必要があるという点である。

10-2 駆動装置

検出部駆動装置の動作特性、操作性は全般的に良好な特性を有している。

連続駆動、マニュアル駆動ともに検出部の移動は滑らかで検出器に対してマイクロフォニックな雑音を与えることはなく、上限、下限の停止位置の再現性も充分である。

但し、駆動を停止した時に（特に下げる方向で停止した時）検出部の自重にひかれて停止位置より若干下った位置に止まるという現象がある。これは駆動装置のボールネジ部の摩擦抵抗が小さいことによるもので、縦分布特性の測定には影響は与えないが防止策としてはモーター駆動後開放される電磁クラッチを通電中は常時閉じておくことで解決できる。

10-3 遮蔽装置

シールドプラグに検出部駆動用の小孔をあけたことにより予想される若干の透過ガンマ線遮蔽をするために、駆動装置の上面全体に遮蔽体を設置した。

遮蔽機能は遮蔽体外側での線量率を 2.5 m R/h 以下に保てるという条件から厚さ 50 mm のタングステン合金板を使用した。

実際の遮蔽機能は、シールドプラグの小孔の中にステンレスパイプと MI ケーブルが通っているために、これら自身による遮蔽効果が大きく、安全サイドに見積って設置した遮蔽体は過剰な機能をもっていると言える。

10-4 伝送系

検出器信号を現場 (A 384) から制御盤 (G 548 設置) に送るための同軸ケーブルは十分な絶縁抵抗を有し、信号の減衰もなく、外部からのノイズの影響も受けず正常な特性を示した。

しかし、駆動装置を制御盤から駆動した時に既設の中性子線モニタの一部にノイズを与えるという現象が発生した。この原因は、駆動装置を投入した時にモータ、電磁クラッチ部から発生するノイズが他システムのプリアンプ部若しくはケーブルに影響を与えていると判断された。

対策としては、制御用のケーブルを他システムの伝送ケーブルと別経路で配線することと、雑音源と考えられるモータ、電磁クラッチにノイズ対策を施すことが必要である。

10-5 指示記録部

操作性、性能共に良好であり問題はみられない。

10-6 測定精度

検出部の位置に対して、位置表示の精度は $\pm 0.4 \%$ 以内であり良好な値である。また本モニタは第 3 相の特性評価を主眼としているため、検出器自体の特性についてはここでは評価を行わない。第 3 相の特性評価に関しては次の項で詳述する。

10-7 第 3 相モニタとしての性能評価

第 3 相モニタの性能評価に関するキーポイントは、検出部の指向特性である。

点線源に対する指向性は 4-4 の結果に示したように優れた特性をもっているが、検出部の全周囲にわたり立体的に線源が存在する環境下では、遮蔽体を透過することによる暗電流の寄与が大きな割合を占め、コリメータの効果が完全ではなかった。

そのためガンマ線分布特性から境界面の位置を直接読み取ることは、困難であり、数値計算によるシミュレーションの助けをかりて境界面付近でのガンマ線分布特性を解析することにより、境界面判断の手がかりを得た。

シミュレーションによる分布特性の評価の結果得られたことは、実測されたガンマ線分布特性の微分値（即ち勾配）が1ヶ所に大きな極大値をもつような分布の時は第3相は発生しておらず、極大値を与える位置が境界面にほぼ一致するという点である。

第3相の判定については冒頭で述べたような検出部コリメータの「甘さ」に加えて第3相の幅、FP濃度に関する情報がいないために得られた特性の較正試験を行なうことができず、又各相のFP濃度が接近しているために上記のような極大値による境界面の判定も困難であった。

そのため、第3相の評価には、やはり数値計算によるシミュレーションを行なったが、その方法は、現実の特性に近いシミュレーションカーブを得た時の第3相の位置、幅、FP濃度から現実の場合の推測を行なうという「数値実験」となった。

その結果得られた結論は、第3相の幅は、feed時間と共に徐々に増加する傾向にあり、active feedの終了間際には18 cmにも達する可能性があること、第3相のFP濃度は水相と有機相の間であるがfeed時間と共に有機相自身のFP濃度が水相に対して相対的に高くなることである。

これらの第3相に関する結論は、現段階では検証する方法がないために推論に終わっているが、今後システム全体を見直して確度の高いデータが得られる様なシステムとすることが必要である。

具体的な方策は第1に、効果の高いコリメーション方式を取り入れた検出部を開発することで例えば、コリメータの開閉を行ないそれぞれでの電流の差をとり暗電流を補正する方法、または通常の検出器の他に暗電流補正用検出器を設けてそれぞれの出力電流の差をとる方法などが考えられる。第2にはこの様な検出部から得られた信号の差をとる、規格化する、微分演算を行なう等の演算処理をオンラインで満たすためにマイクロプロセッサを中心としたデータ処理装置を導入することが望ましい。

第3には、このようにして得られたデータはやはり相対的なものであり、各相のFP濃度の絶対値を得るためには検出部の較正試験が必要である。これは点線源による試験では不十分で実機に近い条件で行なう必要がある。

11 結 論

試作した第3モニタを用いて PGT, GTP の2回にわたる campaign 期間中 settler 内のガンマ線縦断面分布の測定を行ない以下の様な結果を得た。

- (1) settler 内の水相, 有機相成分の相対的な濃度差を判定することが可能で, 微分処理, シミュレーション結果をもとに境界面の情報を得ることができた。
- (2) 第3相が存在すると思われる状態の判定を行なうことができ, 仮定した数値計算シミュレーションの手順を用いることにより, 第3相分の幅, FP 濃度について評価を行なうことができた。

今後更に精密な計測を行なうためには, コリメーション方式を含めた検出部の変更, 演算処理をオンラインで行なえるデータ処理装置の開発, 測定データの較正方法, 手段の検討, シミュレーション方法の再検討などが必要と考えられる。

謝 辞

本研究を推進するに当り御指導と御協力をいただいた動力炉・核燃料開発事業団再処理建設所の杉山氏，荒井氏をはじめ各位に感謝いたします。

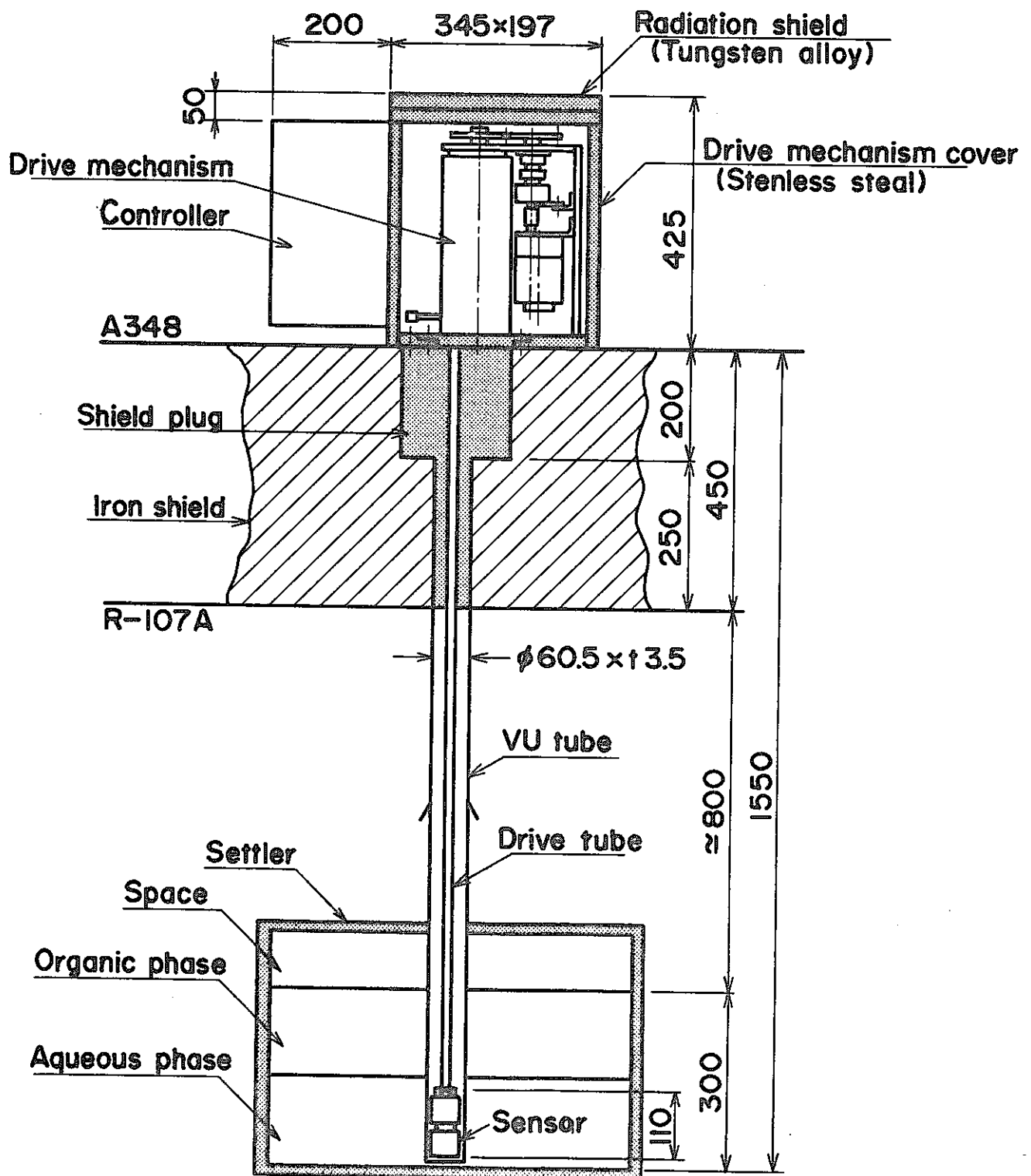


Fig.2-1 The third phase monitor setting

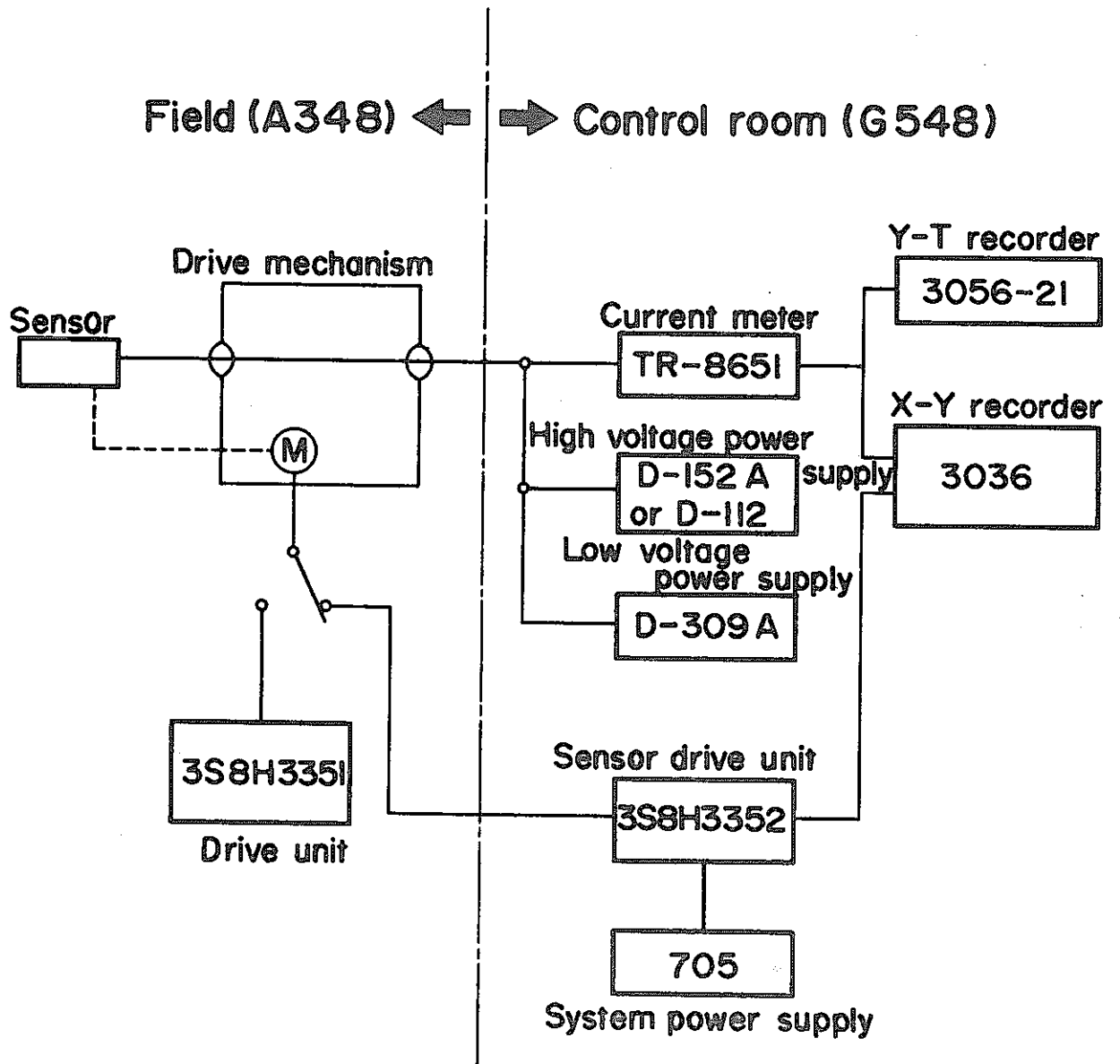


Fig.2-2 System block-diagram

Table 3-1 Sensor specification

	unit	M2-1	M2-6	M2-2
Detector diameter	mm	24	24	24
Detector length	mm	29	29	29
Ionization gas, pressure	Kg/cm ²	Xe, 3	Xe, 5	Xe, 10
Gamma ray sensitivity	A/R/H	$1.3 \times 10^{-12} \pm 20\%$	$2.0 \times 10^{-12} \pm 20\%$	$4.1 \times 10^{-12} \pm 20\%$
Sensitive length	mm	2.5	2.5	2.5
Insulation resistance	Ω	$>1 \times 10^{13}$	$>1 \times 10^{13}$	$>1 \times 10^{13}$
Capacitance	pF	$350 \pm 20\%$	$350 \pm 20\%$	$350 \pm 20\%$
Applied voltage range	V	100~300	100~300	100~300
Typical voltage	V	100	100	100
Maximum voltage	V	500	500	500
Collimator material	—	tungsten	tungsten	tungsten
Collimator diameter	mm	50	50	50
Collimator side thickness	mm	13	13	13
Upper collimator length	mm	50	50	50
Lower collimator length	mm	50	50	50
Collimator slit width	mm	3 ± 0.5	3 ± 0.5	3 ± 0.5

Table 3-2 Detector dimension

(unit = mm)

	M2-1	M2-2	M2-6
A	50.2	50.2	50.2
B	50.2	50.2	50.2
C	50.4	50.0	50.0
D	50.3	50.1	50.2
*E	3.09	3.29	3.19
F	1581	1580	1580
G	103.4	103.4	103.4
H	1662	1665	1662
I	3.20	3.20	3.20
J	6.05	6.10	6.05
E	2.80	3.35	3.20
	3.35	3.40	3.20
	3.30	3.25	3.20
	2.90	3.15	3.19

* E is a mean value of E

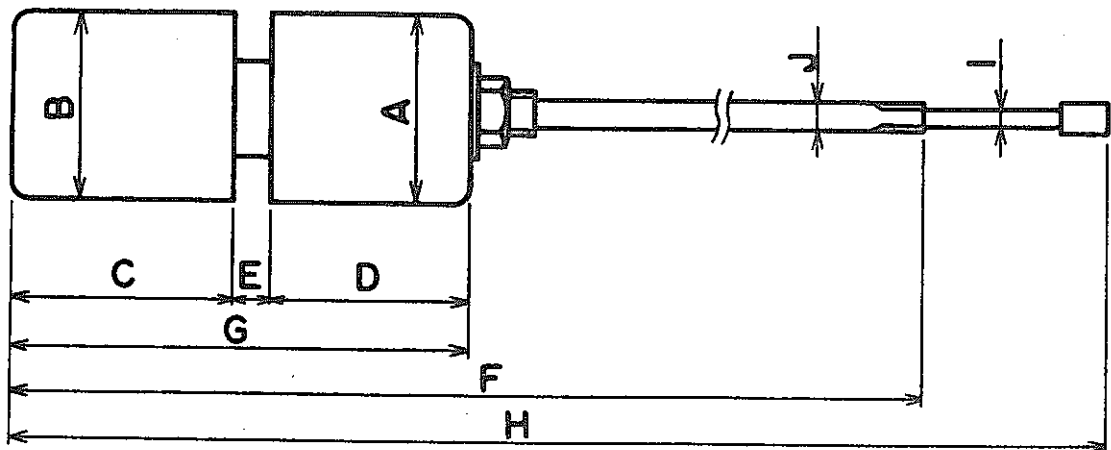


Table 3 - 3 Driving system specification

駆動ストローク	250 mm (上下限リミットスイッチ使用)
検出部位置表示誤差	± 1 mm 以下
駆動スピード	0.6 ~ 7 mm/sec
スピード切換	3速
モーター	スピード・コントロール・モーター
検出器支持管材質	SUS304
" 寸法	6 × 1400 ℓ
シールドプラグ材質	SUS304
検出器位置検出	ポテンショメーター
駆動部カバー寸法	425 (高) × 390 (幅) × 267 (奥行き)
" 側面材料	SUS304 (20 t)
遮蔽体材料	タングステン合金 (50 t) W 96 %, Ni 1.5 %, Cu 2.5 %
仮設遮蔽体材料	鉛
" 寸法	50 (厚) × 200 (高) × 250 (幅) × 200 (奥行き)
駆動方式	ワイヤー巻上げ方式

Table 3 - 4 System console specification(A)

① 筐 体 570 mm (幅) × 450 mm (奥行) × 1500 (高さ)

背面扉付

キャスター付

② 微少電流計

形 式 TR-8651 エレクトロメータ タケダ理研製

測定範囲 10^{-14} ~ 0.3 A フルスケールの 28 レンジ

測定精度 ± 3 % フルスケール / 0.3 ~ 10^{-9} A レンジ

± 4 % フルスケール / 10^{-10} A レンジ

± 6 % フルスケール / 10^{-10} A レンジ

③ 検出器操作ユニット

中央 / 現場切換スイッチ 中央 / 現場

検出器方向切換スイッチ (連続) 挿入 / 引抜

検出器方向切換スイッチ (ステップ) 挿入 / 引抜

検出器速度切換スイッチ 低 / 中 / 高

検出器操作切換スイッチ 入 / 切

位置表示 デジタル 4 桁

Table 3 - 5 System console specification(B)

④ X-Yレコーダ

形 式	TYPE3036 特YEWラックマウント式
記 録 方 式	ディスプレイフェルトペン 1ペン(赤)
有 効 記 録 幅	250 mm
記 録 紙	ロール記録紙
測 定 範 囲	0.5 mV/cm ~ 5 V/cm の 13 種切換 (レンジ間バーニア連続可変)
確 度	有効記録幅の± 0.25 %以内
電 源	AC 100 ± 10 %
巻 取 装 置	2, 6, 20, 60, cm/h (巻取速度)
外 形 寸 法	本体約 350 (高さ) × 480 (幅)

⑤ ペンレコーダ (Y-Tレコーダ)

形 式	TYPE3056-21 特YEW製ラックマウント式
記 録 方 式	ディスプレイフェルトペン 2ペン(赤, 緑)
有 効 記 録 幅	250 mm
記 録 紙	折りたたみ記録紙
測 定 範 囲	0.5 mV/cm ~ 5 V/cm の 13 種切換 (レンジ間バーニア連続可変)
確 度	有効記録紙幅の± 0.25 %以内)
紙 送 り 速 度	2, 6, 20, 60, cm/min 及び cm/h の 8 種切換
電 源	AC100 V ± 10 %
外 形 寸 法	本体約 480 (幅) × 225 (高さ)

⑥ ビンコネクタボックス

形 式	D-301U型
構 成	基本コネクタ 12個 キー番号 全7番キー

Table 3 - 6 System console specification(C)

⑦ 低 圧 電 源

形 式	D - 309 A
入 力	AC100 V ± 10 %
出 力	± 24 V 各 1A, ± 12 V 各 2A (但し単独)
最大電力容量	72 W
外形寸法	TID - 20893 によるトリプル幅モジュール
キ ー 番 号	7 番

⑧ 高 圧 電 源

形 式	D - 152 A
入 力	± 12 V ± 1 %
出 力	± 100 ~ 2 KV 連続可変
出力電流	1 mA
リップル	50 mV _{P-P} 以下
外形寸法	TID - 20893 によるシングル幅モジュール

⑨ システム電源

形 式	765
入 力	AC100 / 110 V ± 10 % 50 / 60 Hz
出 力	± 24 V
消費電力	1 A
リップル	800 mV _{P-P} 以下
外形寸法	156 (幅) × 231 (高さ) × 104 (厚さ)

⑩ 仮設高圧電源

形 式	D - 112
入 力	90 ~ 110 VAC 単相 45 ~ 65 Hz
出力電圧	0 ~ 1,500 V
出力電流	0 ~ 5 mA
リップル	3 mV _{P-P} 以下
外形寸法	TID - 20893 によるダブル幅モジュール

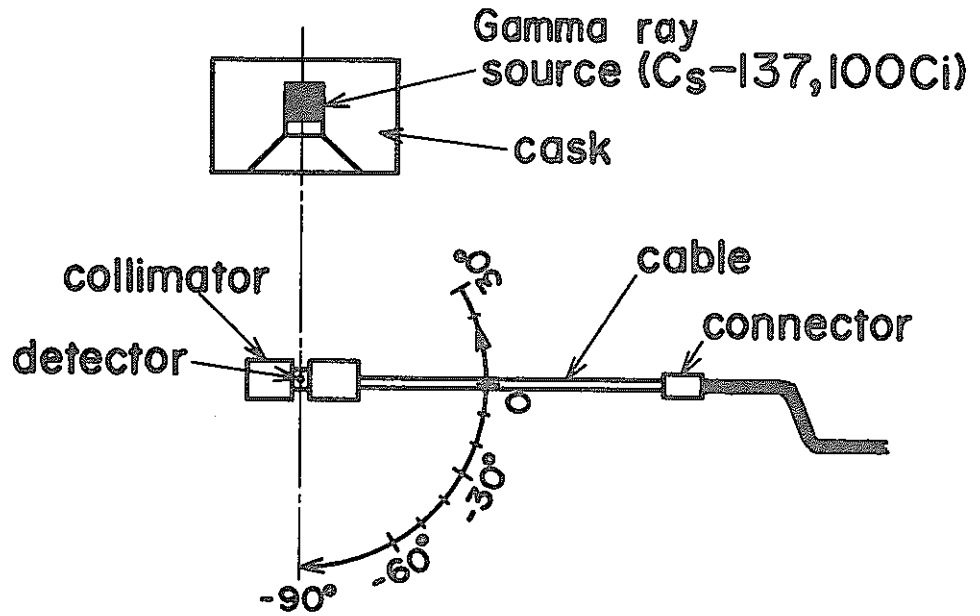


Fig.4-1 Arrangement of collimator directivity test

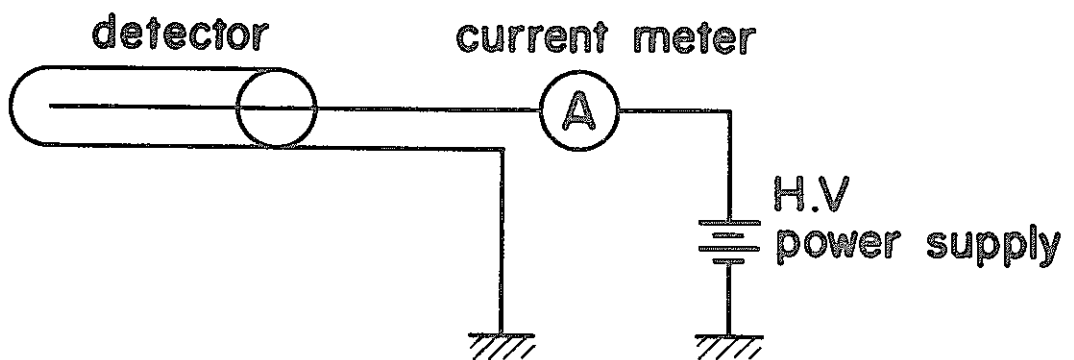


Fig.4-2 Detector current measuring block-diagram

Table 4-1 Gamma ray sensitivity of sensor

	Factory experiment		Presence experiment		Mean value
	180 R/H	54 R/H	195 R/H	92 R/H	
M2-1	1.21×10^{-12}	1.43×10^{-12}	1.32×10^{-12}	1.26×10^{-12}	1.3×10^{-12}
M2-6	1.94×10^{-12}	2.11×10^{-12}	2.21×10^{-12}	2.00×10^{-12}	2.1×10^{-12}
M2-2	3.84×10^{-12}	4.35×10^{-12}	4.44×10^{-12}	4.14×10^{-12}	4.2×10^{-12}

(unit : A/R/H)

Table 4-2 Sensor performance

	unit	M2-1	M2-6	M2-2
Xe gas pressure	Kg/cm ²	3	5	10
Gamma ray sensitivity(Cs)	A/R/H	1.3×10^{-12}	2.1×10^{-12}	4.2×10^{-12}
Insulation resistance	Ω	$>1 \times 10^{14}$	$>1 \times 10^{14}$	$>1 \times 10^{14}$
Collimator slit width	mm	3.09	3.19	3.29
Collimation FWHM (Cs)	degree	12.5	12.5	13.5
Capacitance	pF	346	336	356

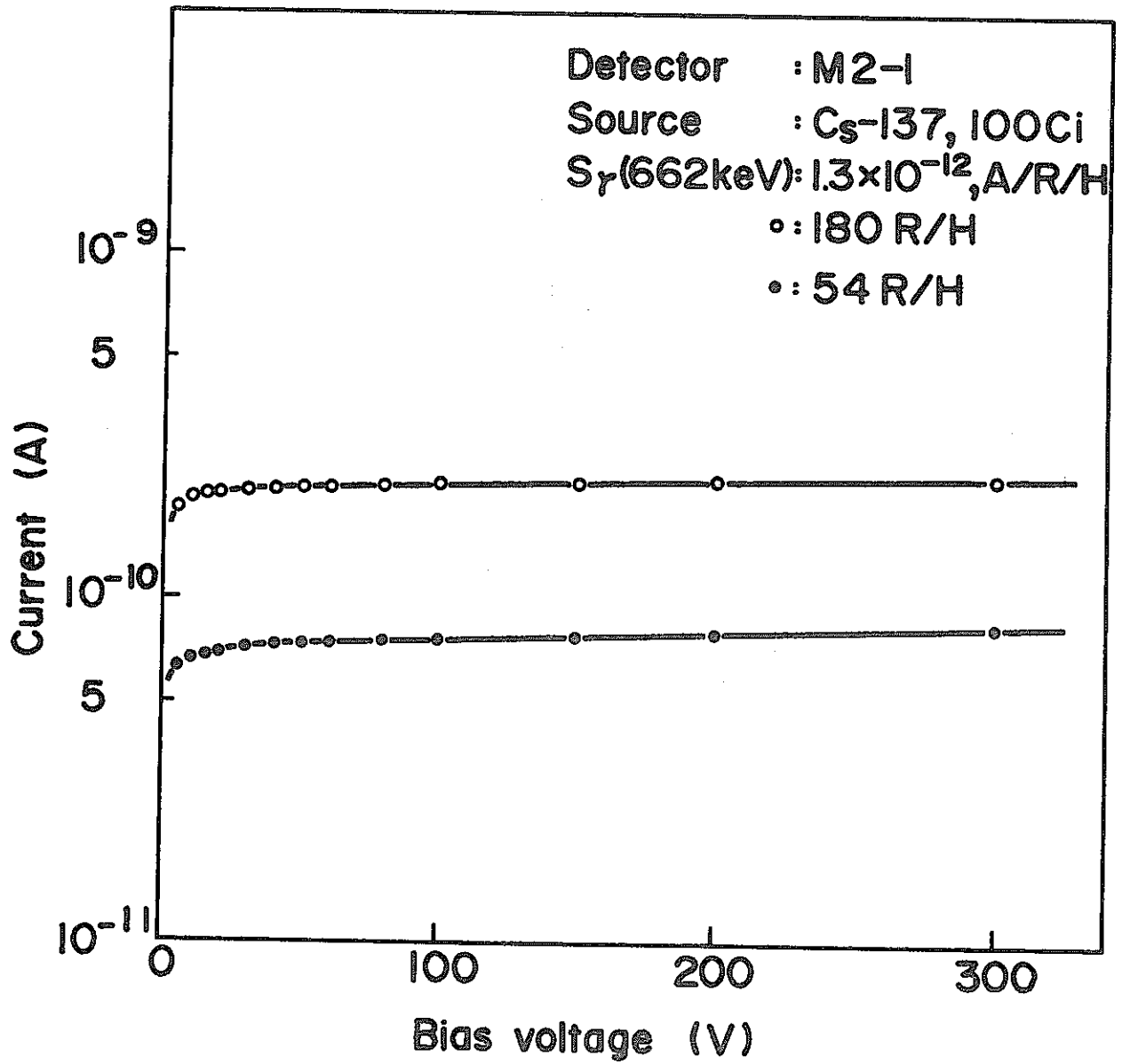


Fig.4-3 M2-1 plateau characteristics

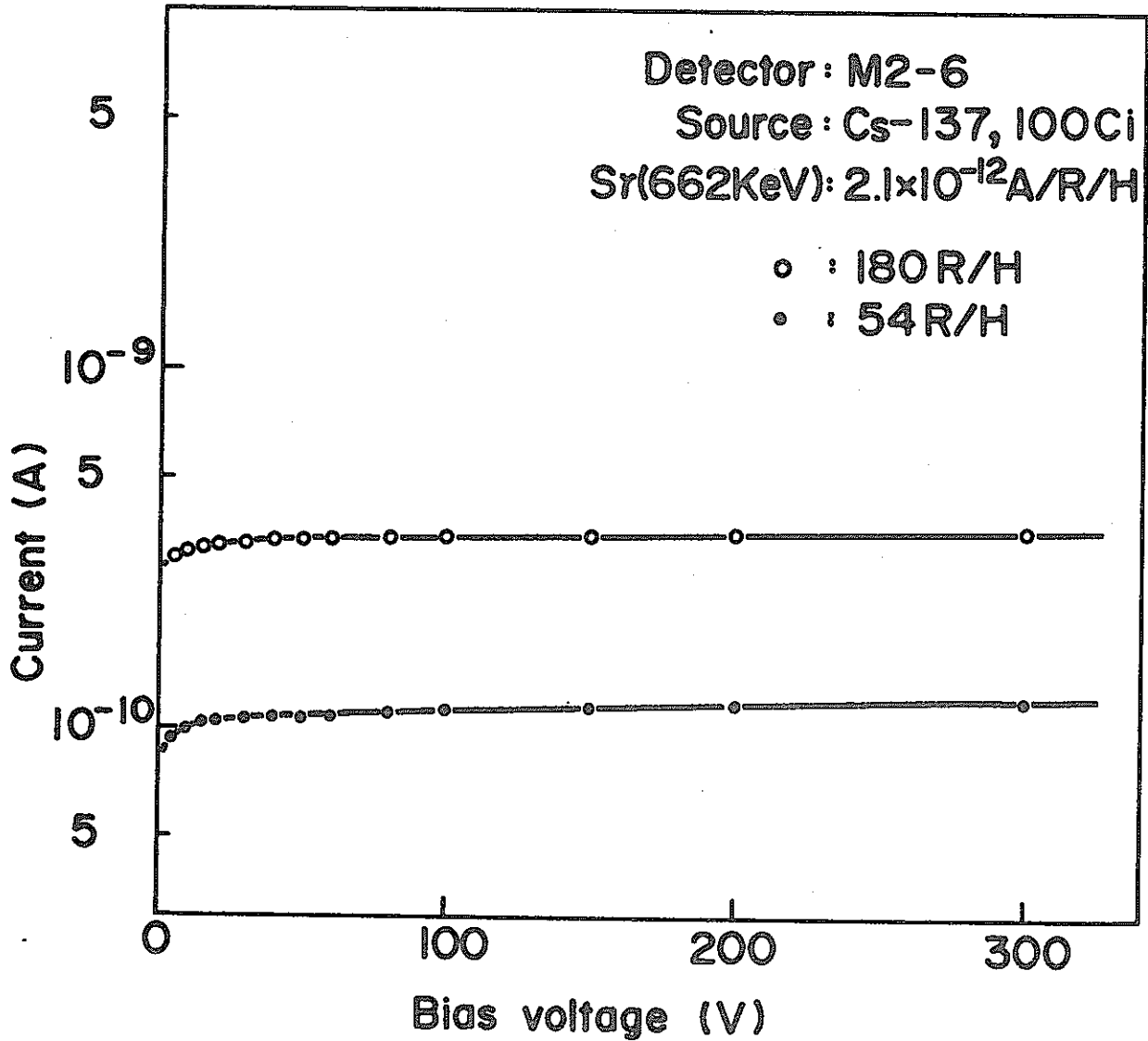


Fig.4-4 M2-6 plateau characteristics

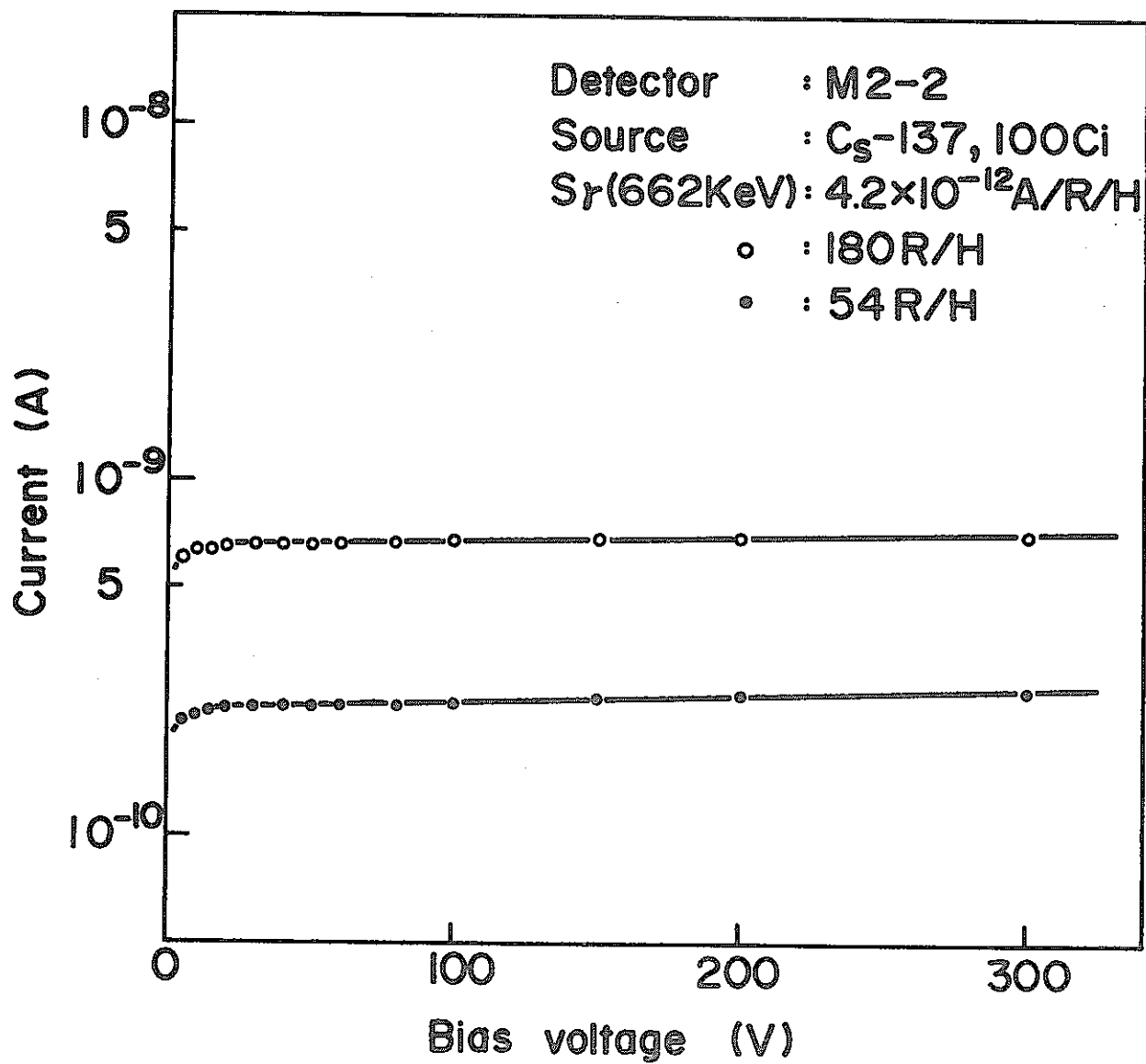


Fig.4-5 M2-2 plateau characteristics

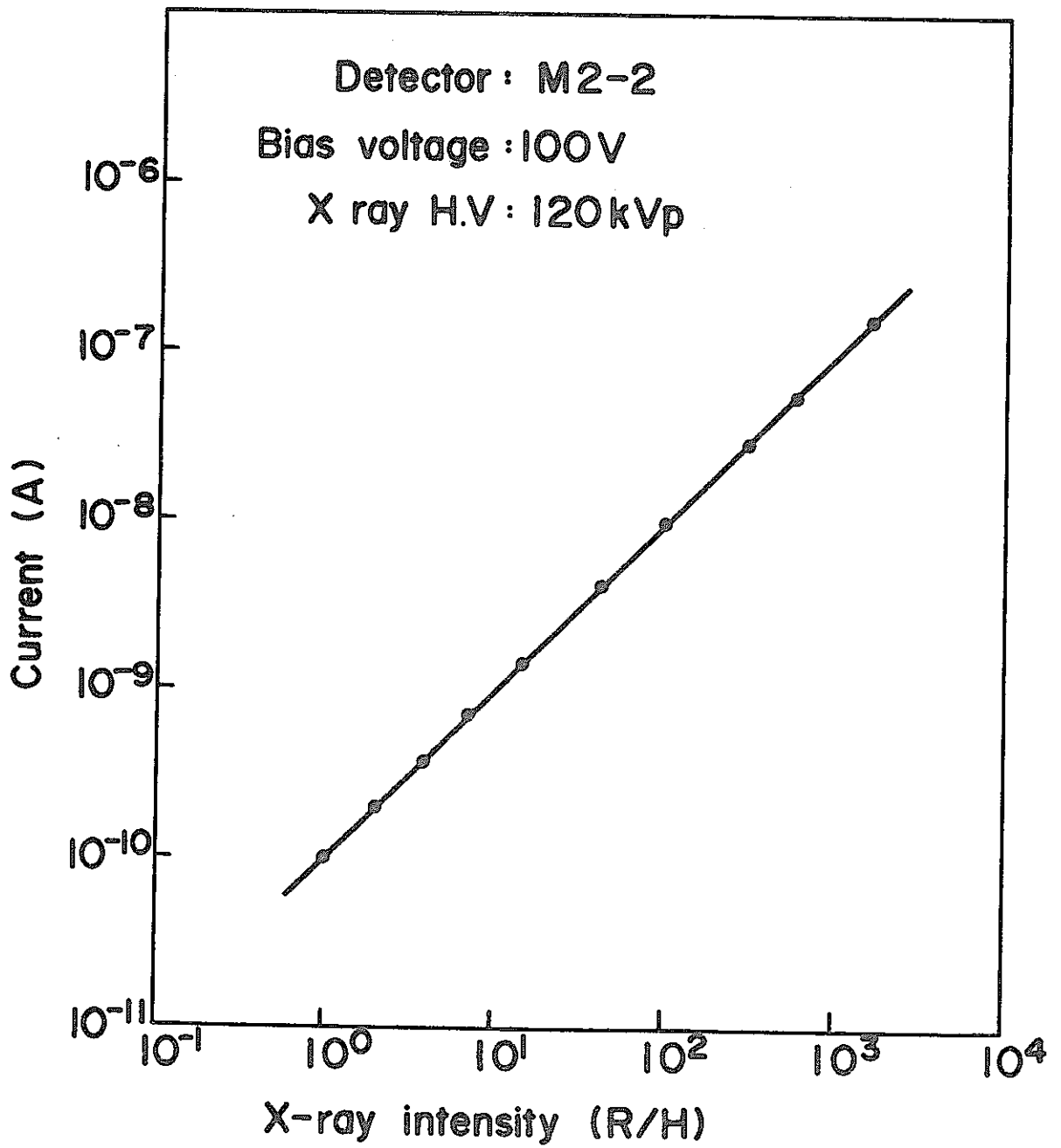


Fig.4-6 Linearity characteristics for X-ray

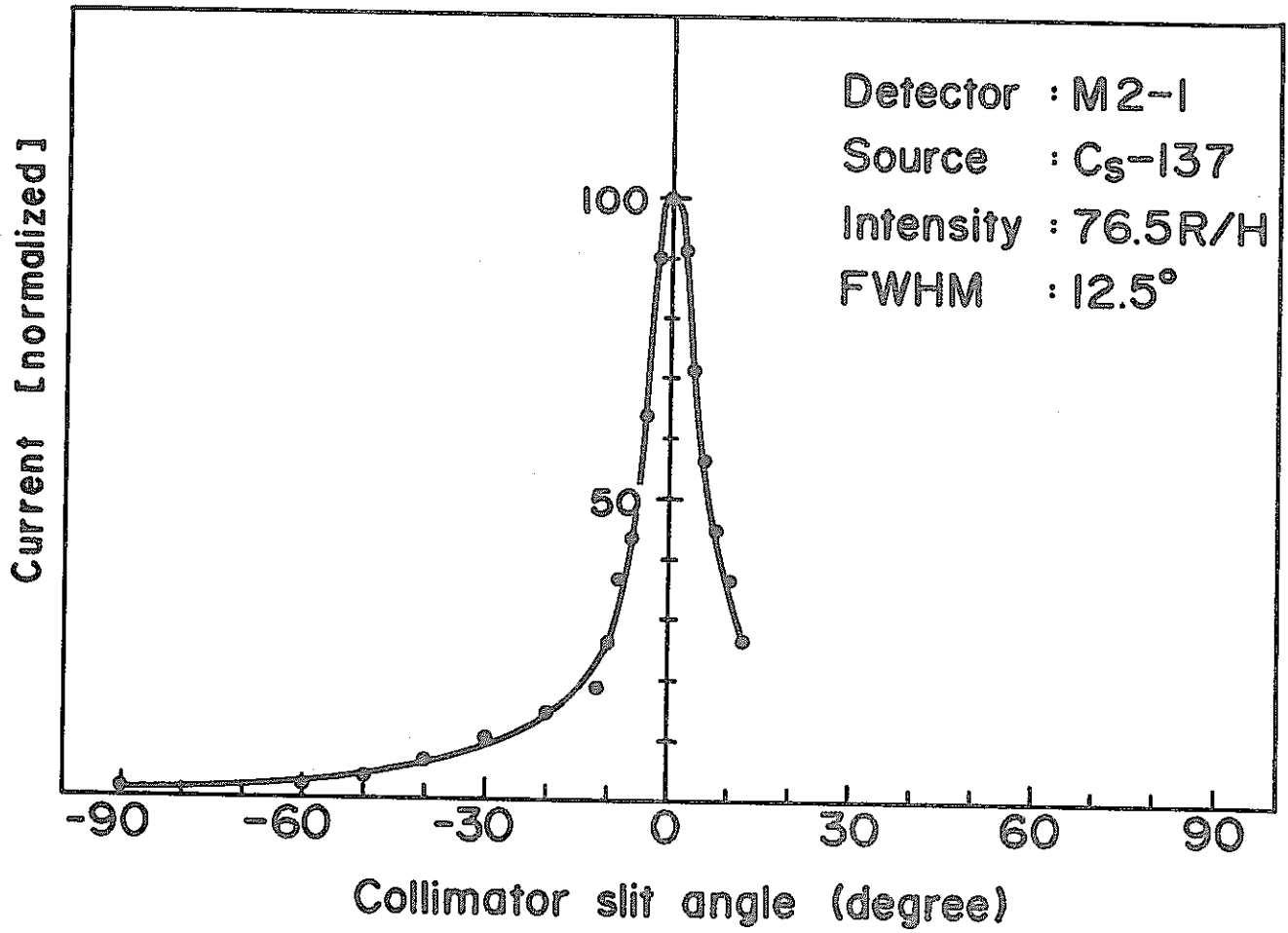


Fig.4-7 M2-2 collimator directivity

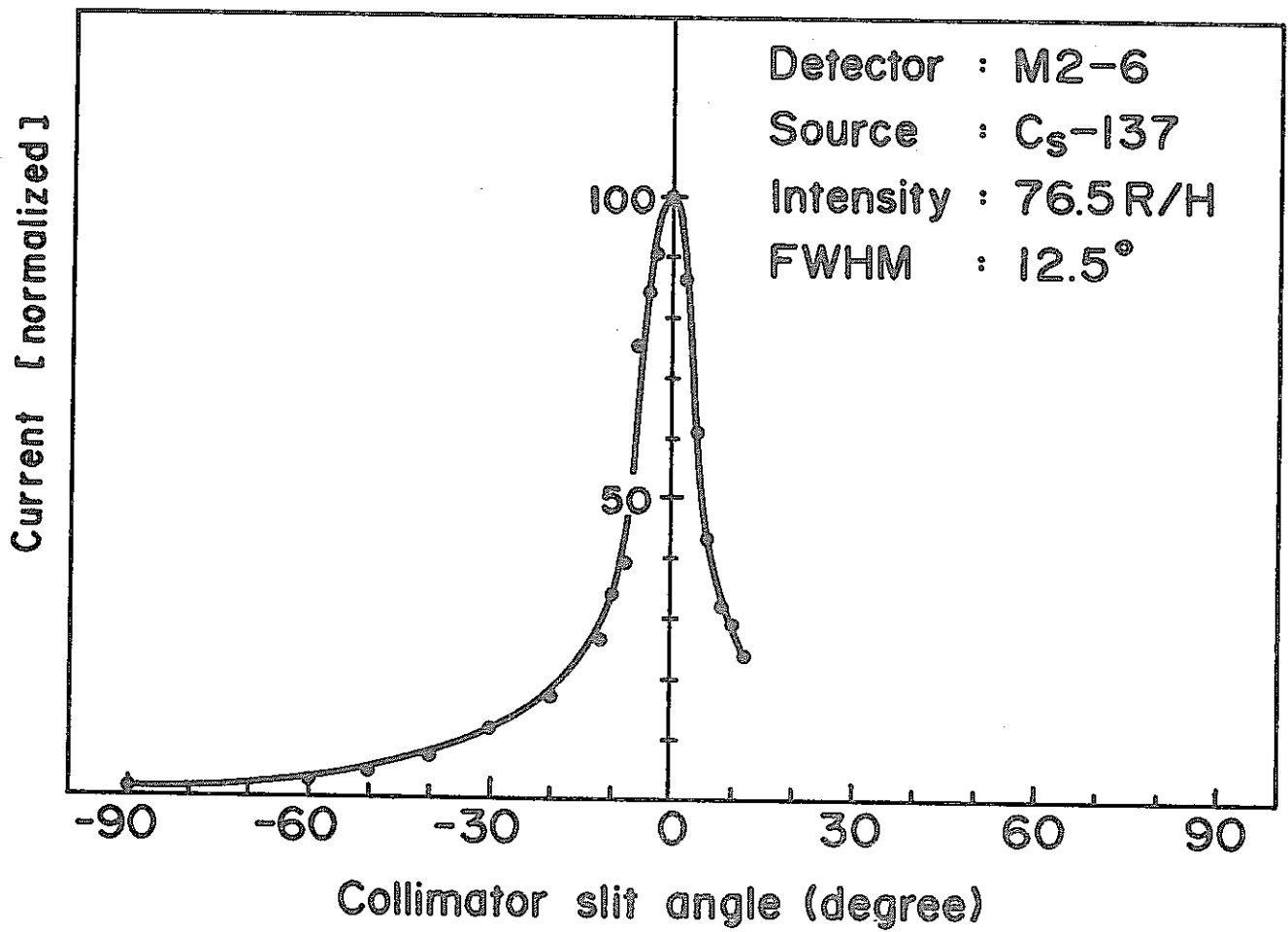


Fig.4-8 M2-6 collimator directivity

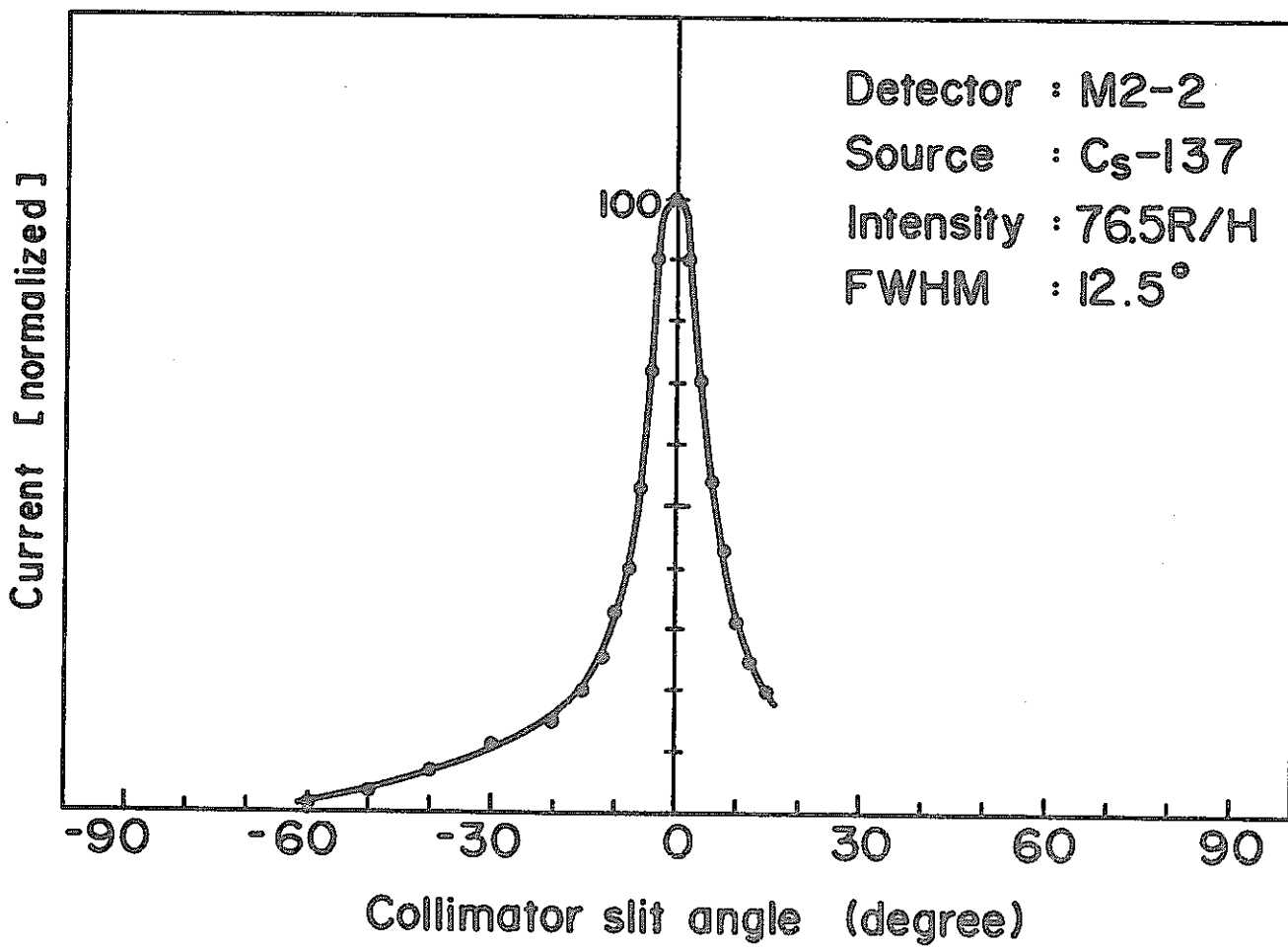


Fig.4-9 M2-2 collimator directivity

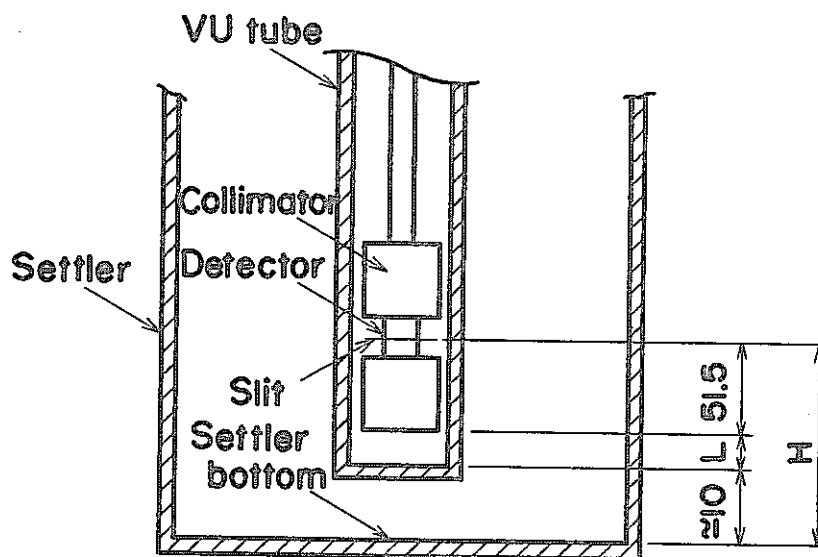


Fig.6-1 Detector setting in a settler

Table 6-1 Distance from slit center to settler bottom
(set at the lowest position)

	PGT campaign		GTP campaign	
Settler	R-1107	*R-1104	R-1109	*R-1107
Detector	M2-6	M2-1	M2-2	M2-6
L (mm)	4	0	4	5
H (mm)	65.5	61.5	65.5	66.5

* by provisional shield

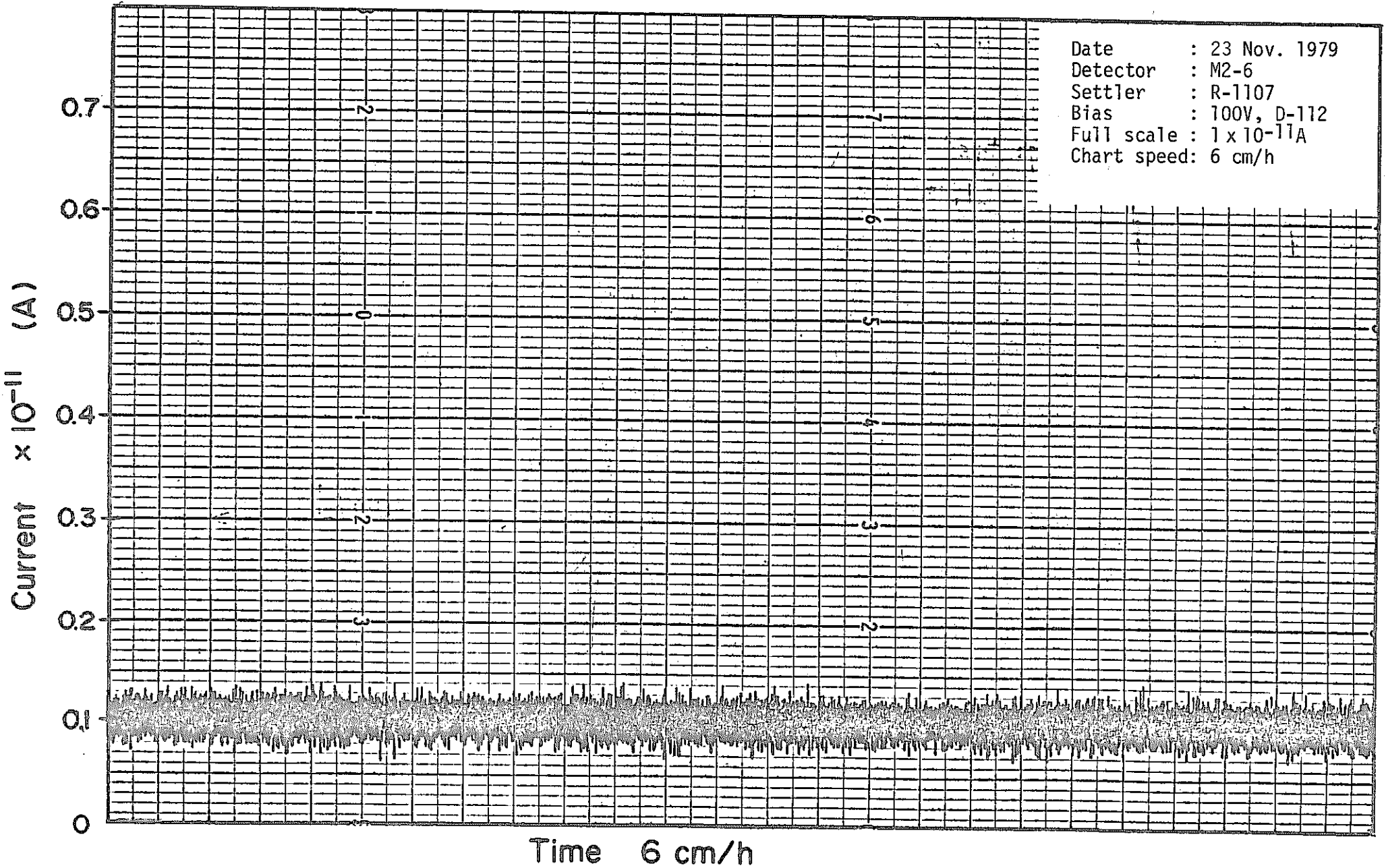


Fig.7-1 M2-6 back-ground characteristics

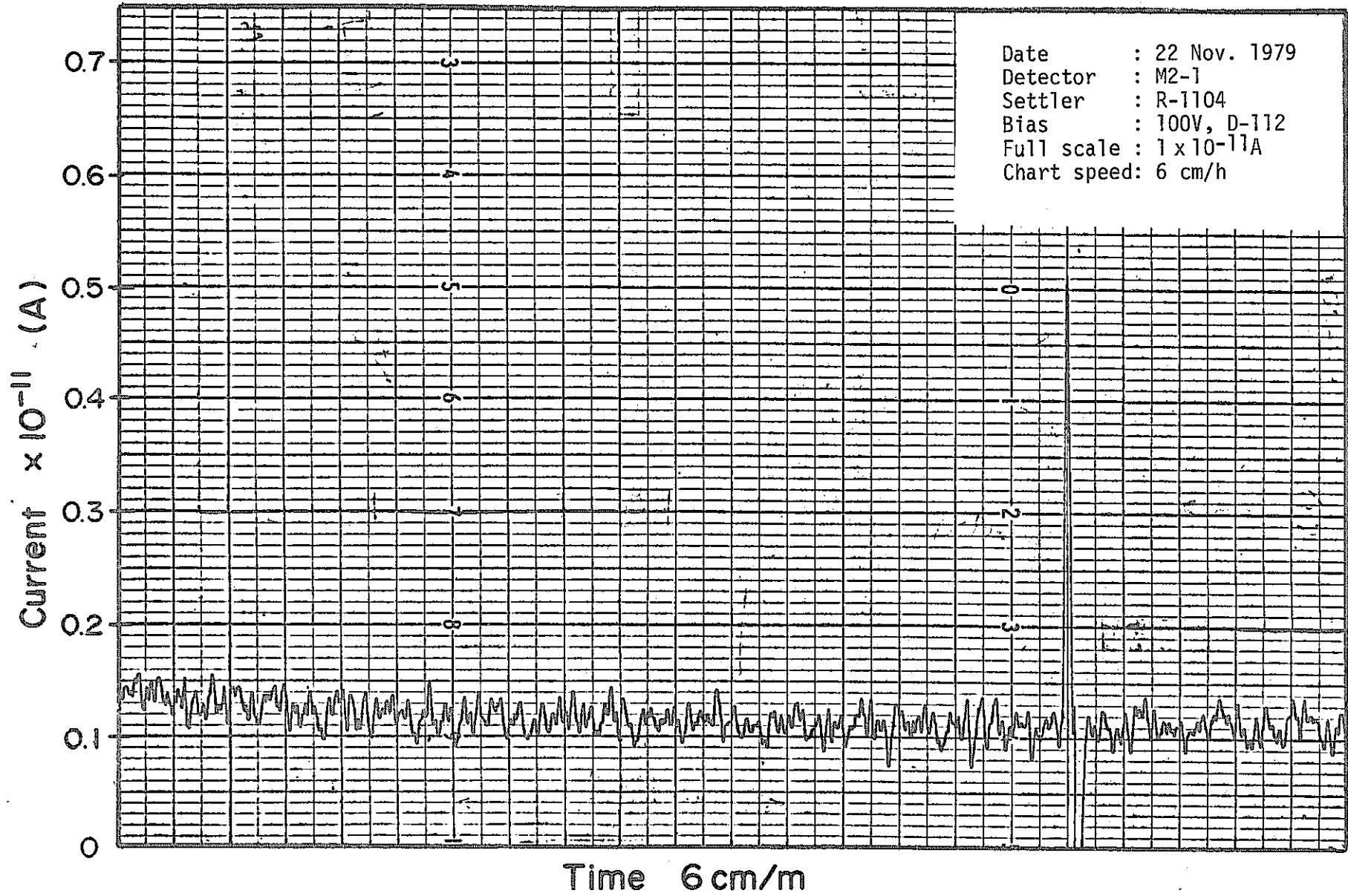


Fig.7-2 M2-1 back-ground characteristics

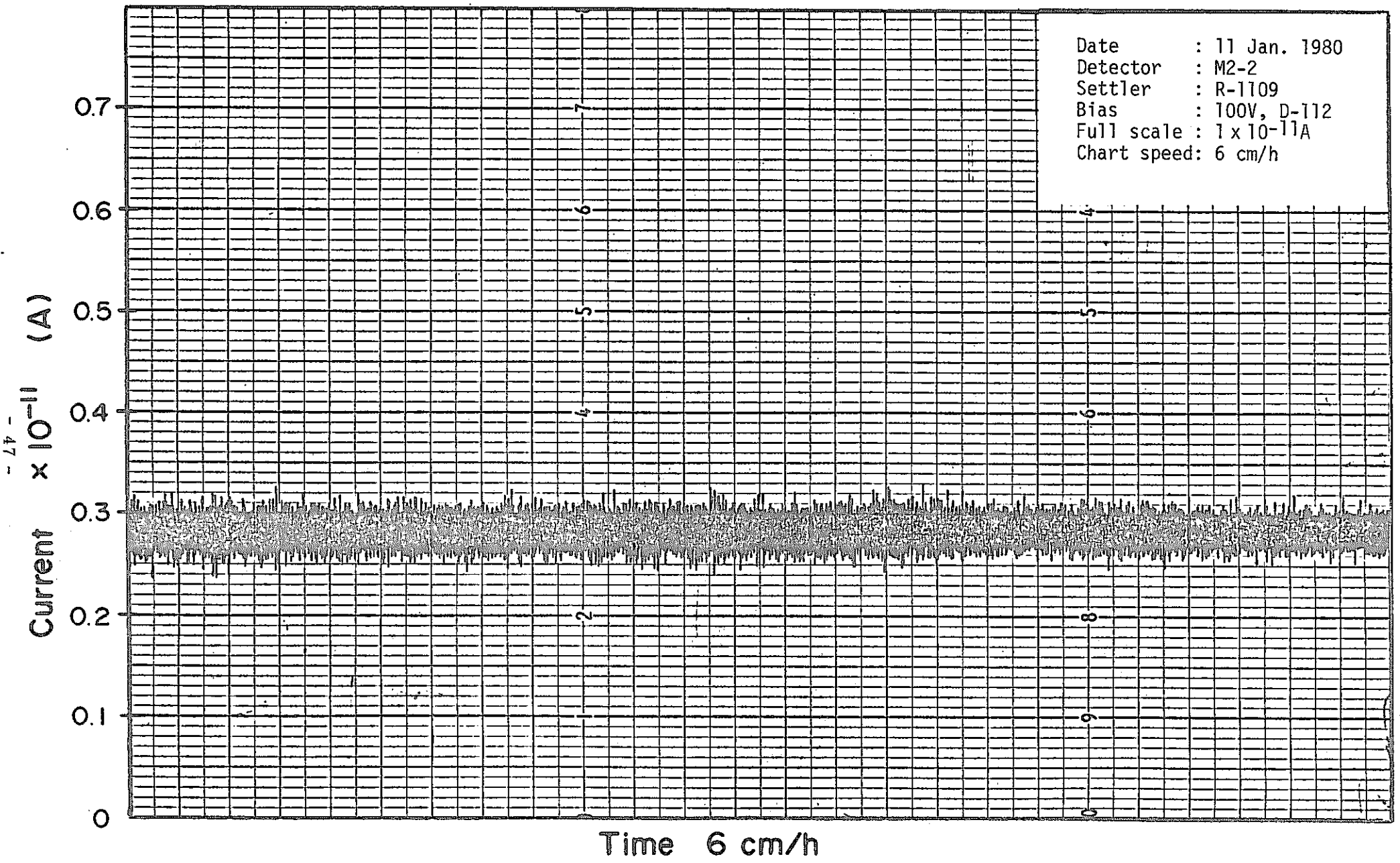


Fig.7-3 M2-2 back-ground characteristics

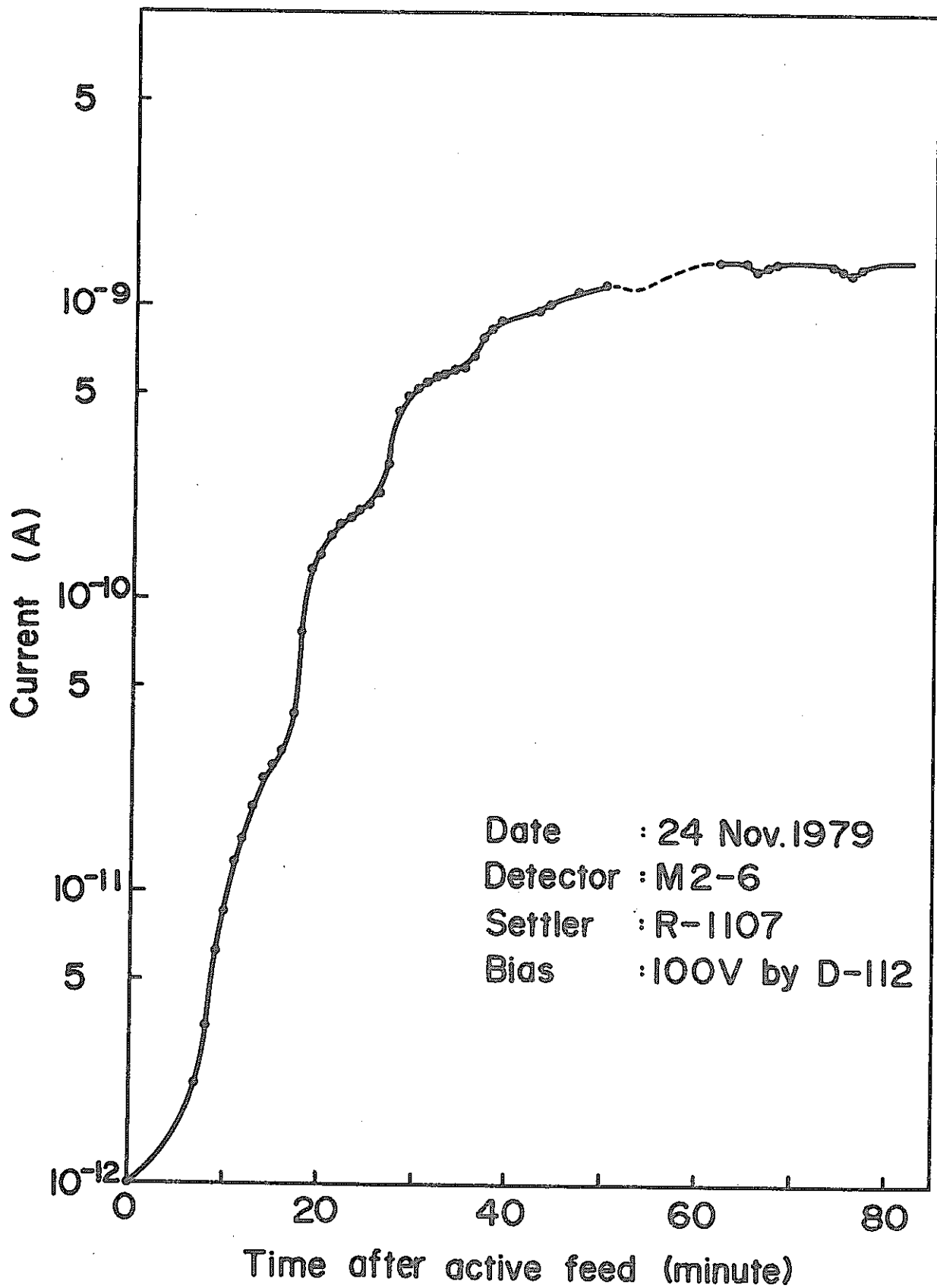


Fig.7-4 Gamma ray current with active feed in PGT campaign

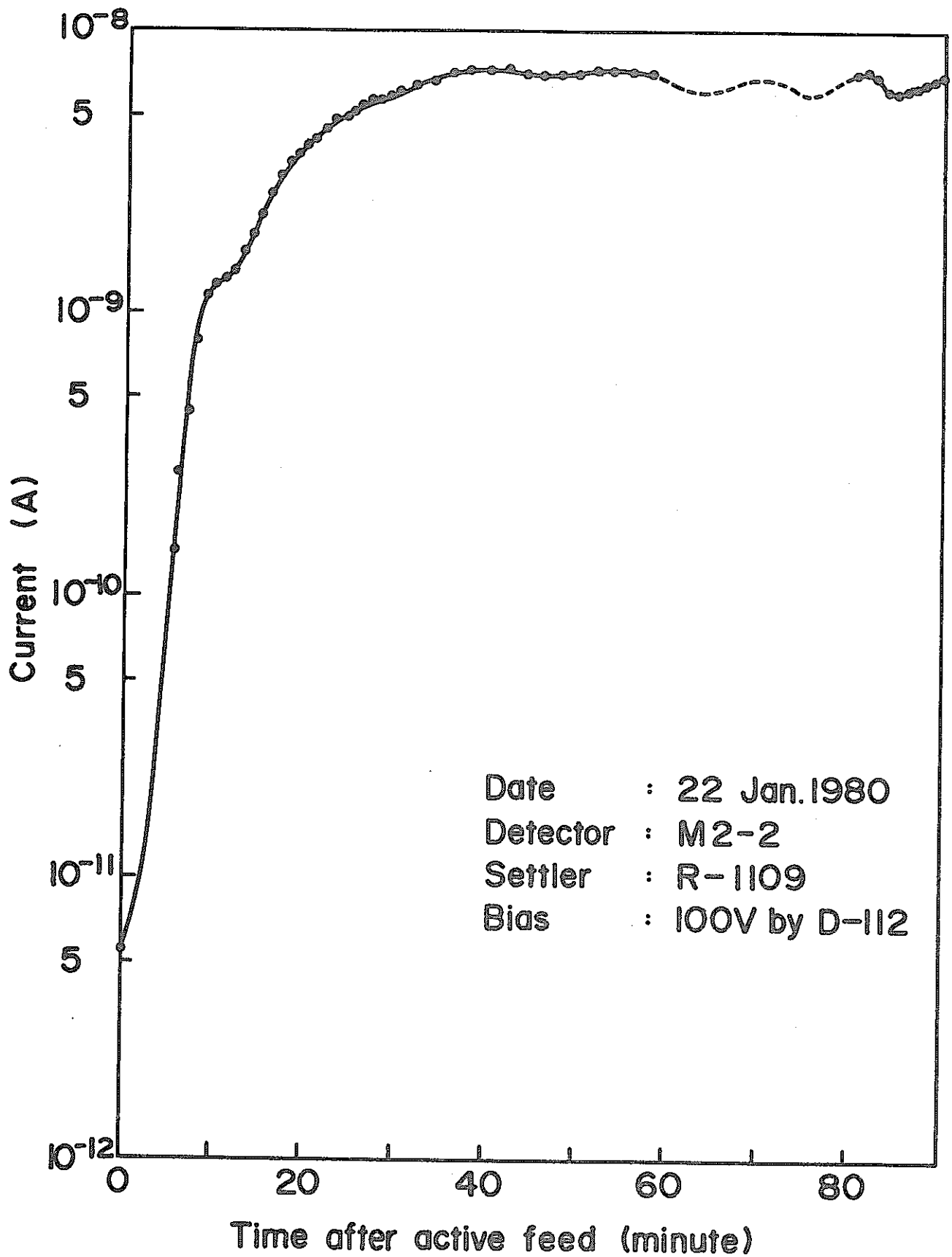


Fig.7-5 Gamma ray current with active feed in GTP campaign

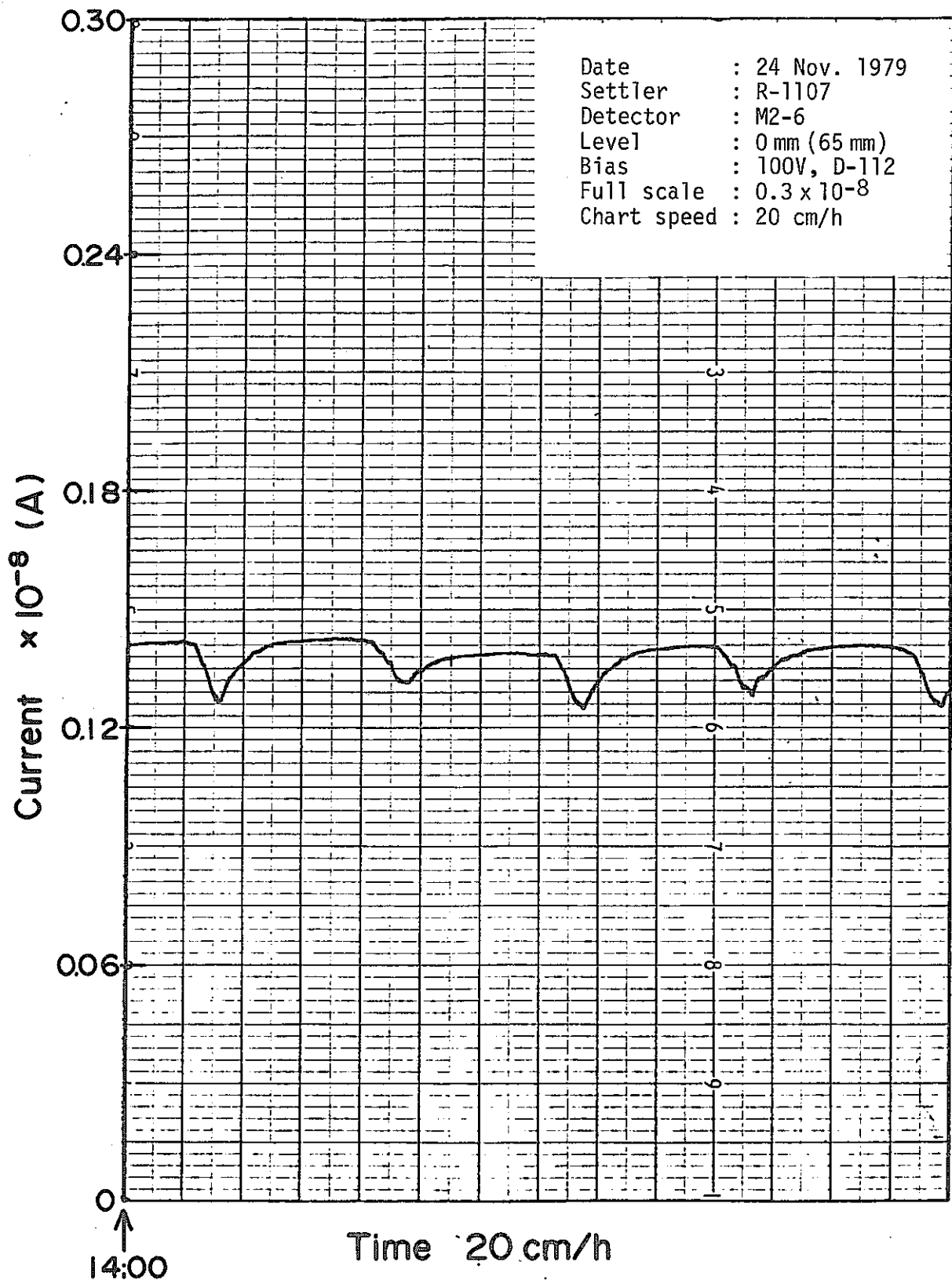
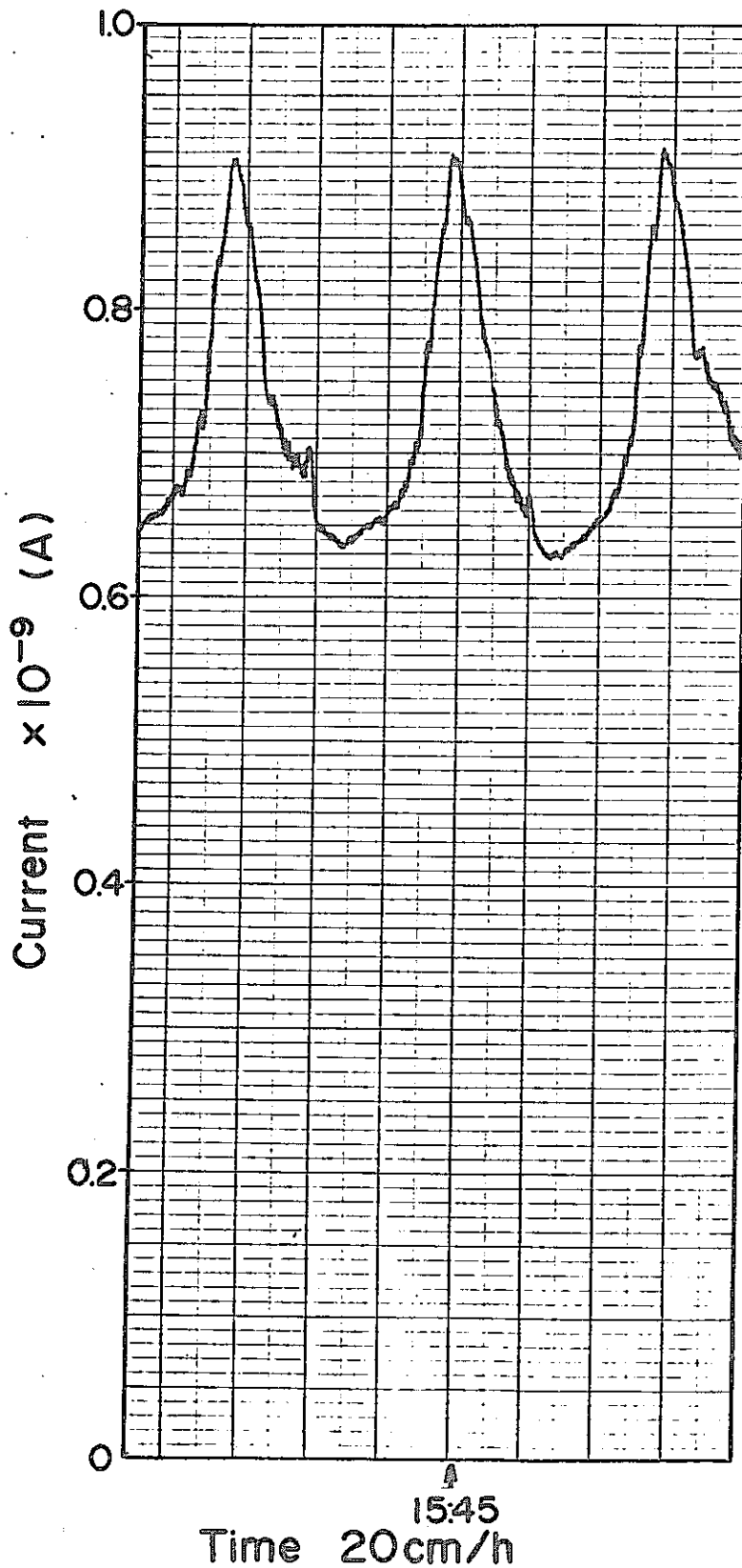


Fig.7-6 Gamma ray fluctuation at 65mm from settler bottom in active feed



Date : 24 Nov. 1970
 Settler : R-1107
 Detector : M2-6
 Level : 85 mm (150 mm)
 Bias : 100V, D-112
 Full scale : 1×10^{-9}
 Chart speed : 20 cm/h

Fig.7-7 Gamma ray fluctuation at 150mm
 from settler bottom in active feed

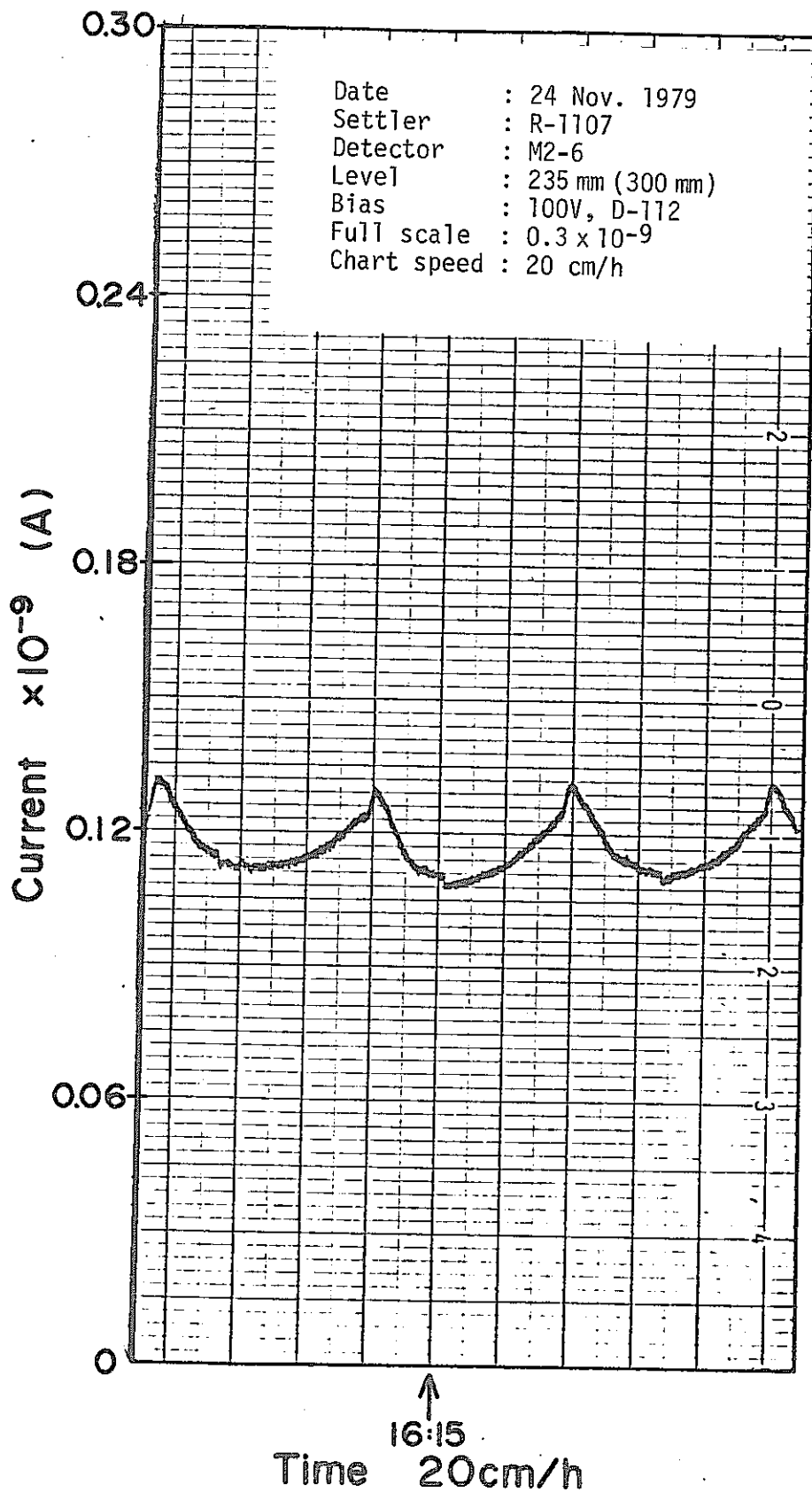


Fig. 7-8 Gamma ray fluctuation at 300mm from settler bottom in active feed

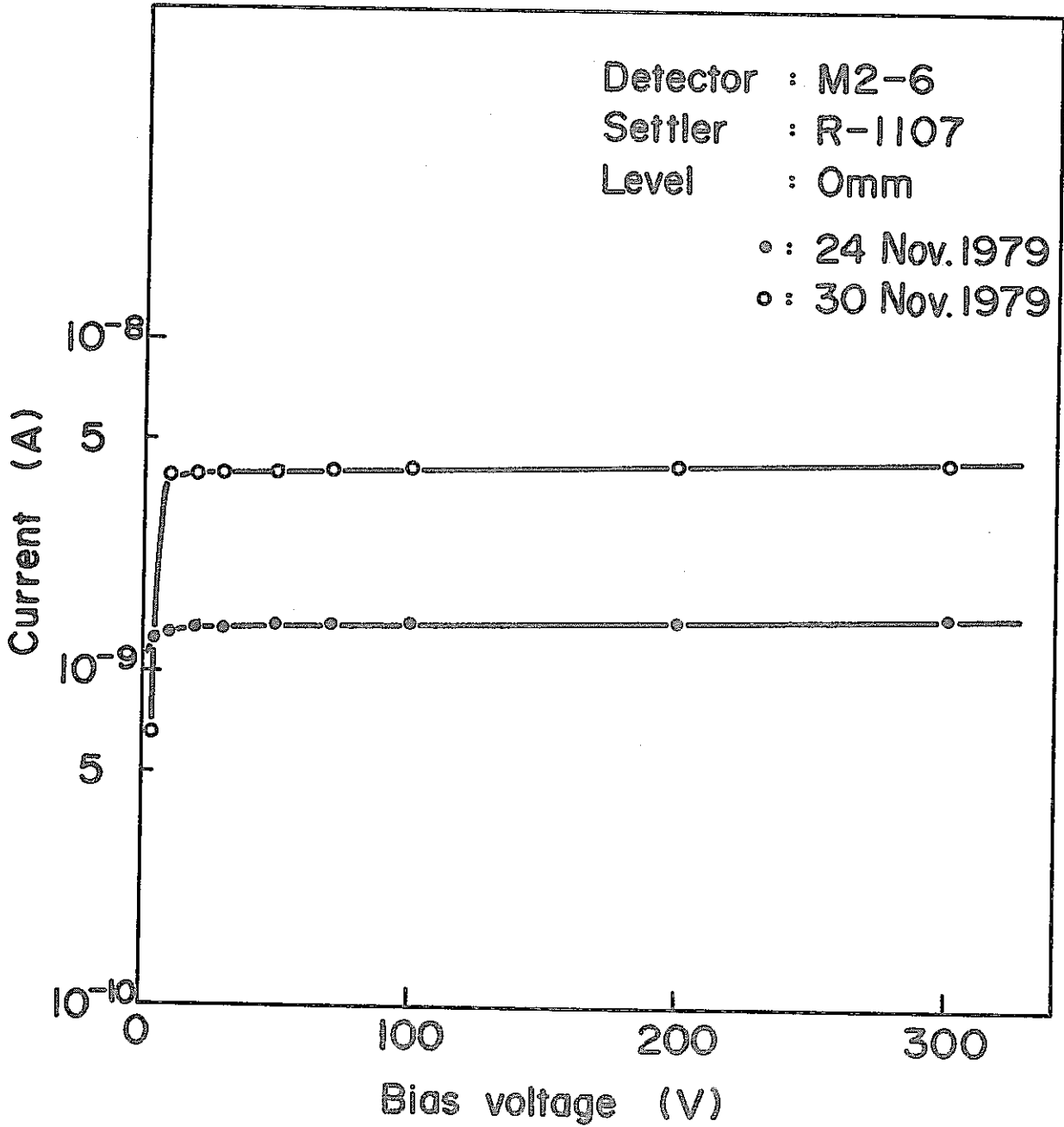


Fig.7-9 M 2-6 plateau characteristics on active feed in PGT campaign

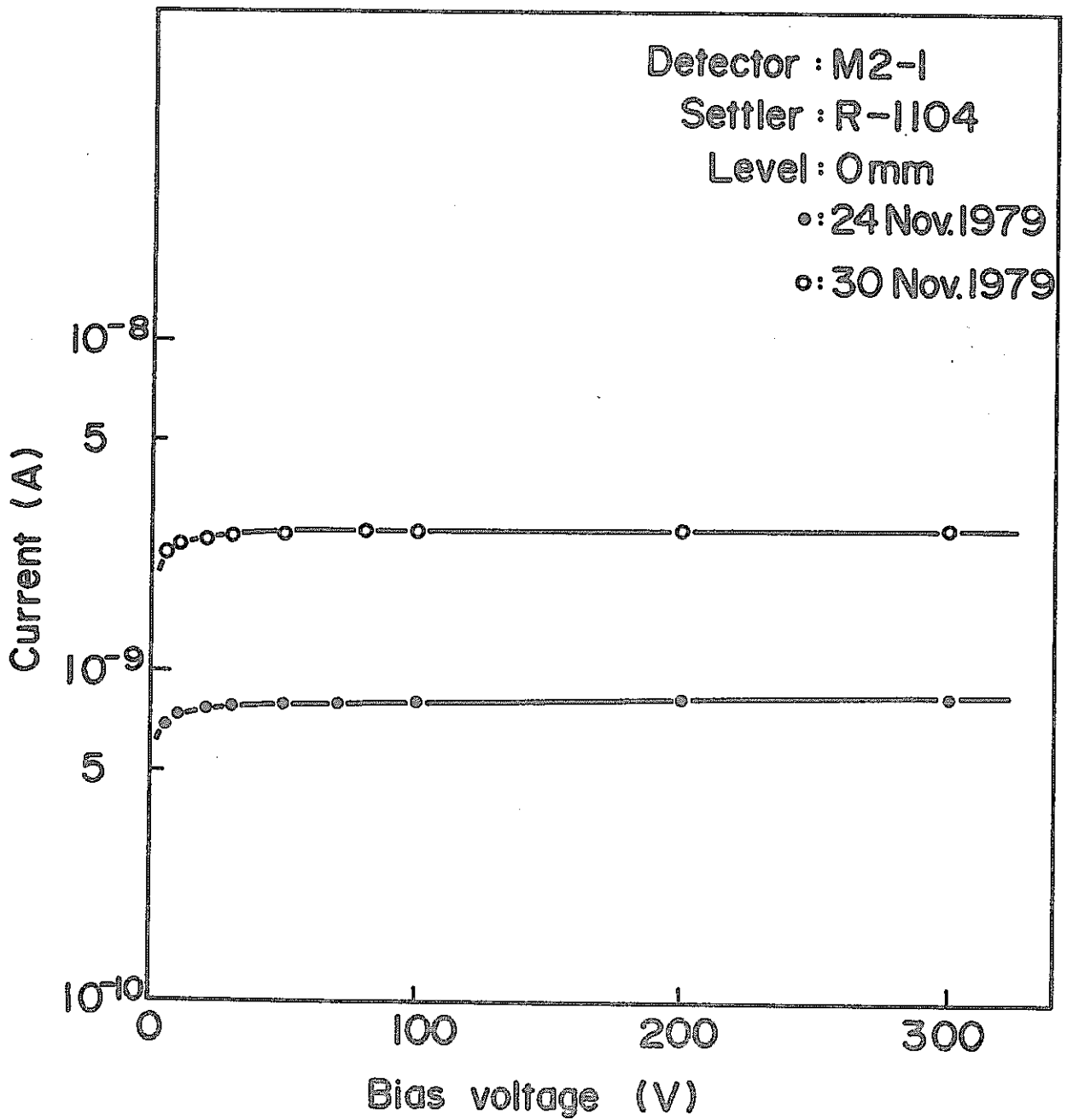


Fig. 7-10 M2-1 plateau characteristics on active feed in PGT campaign

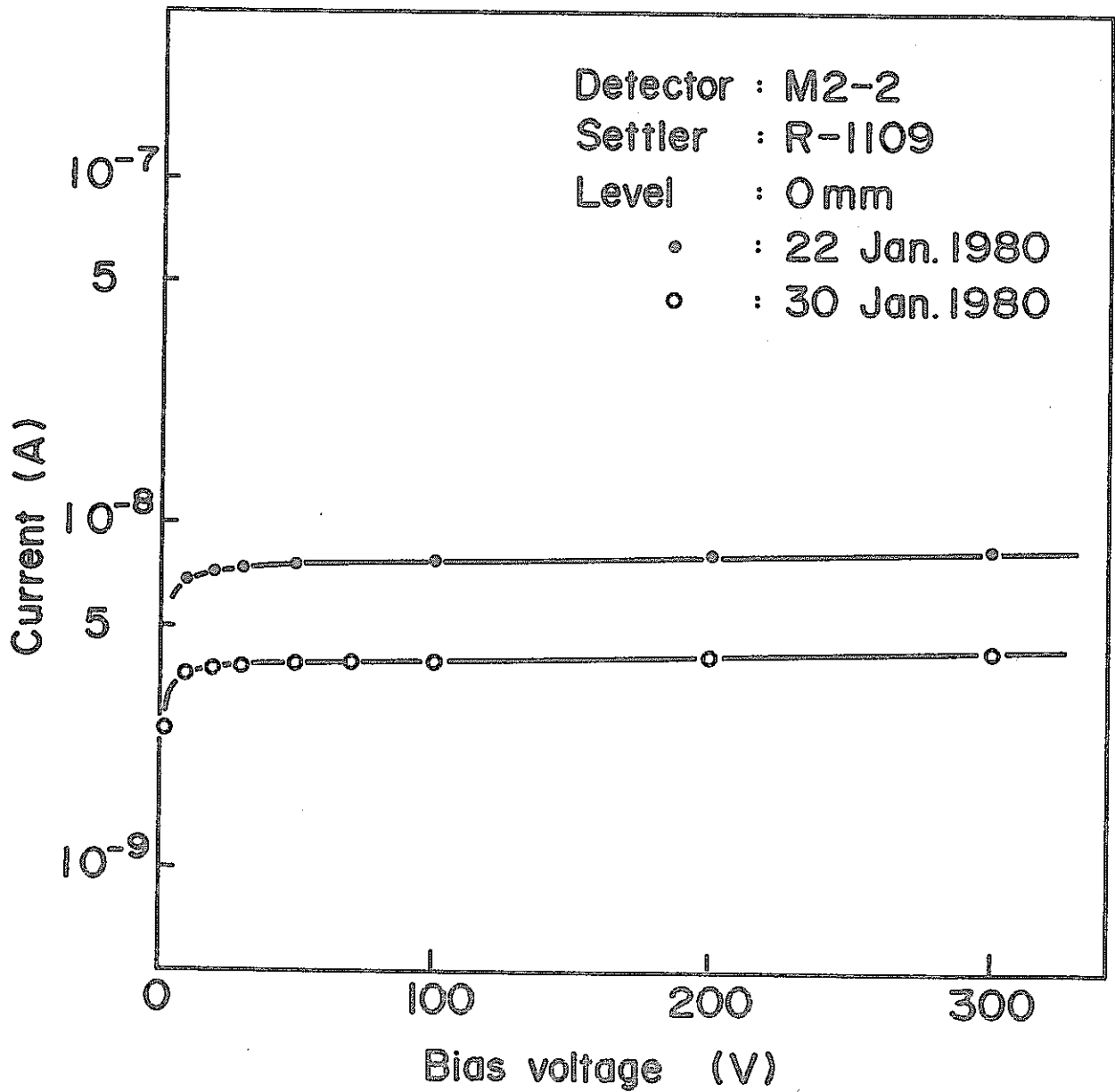


Fig.7-11 M2-2 plateau characteristics on active feed in GTP campaign

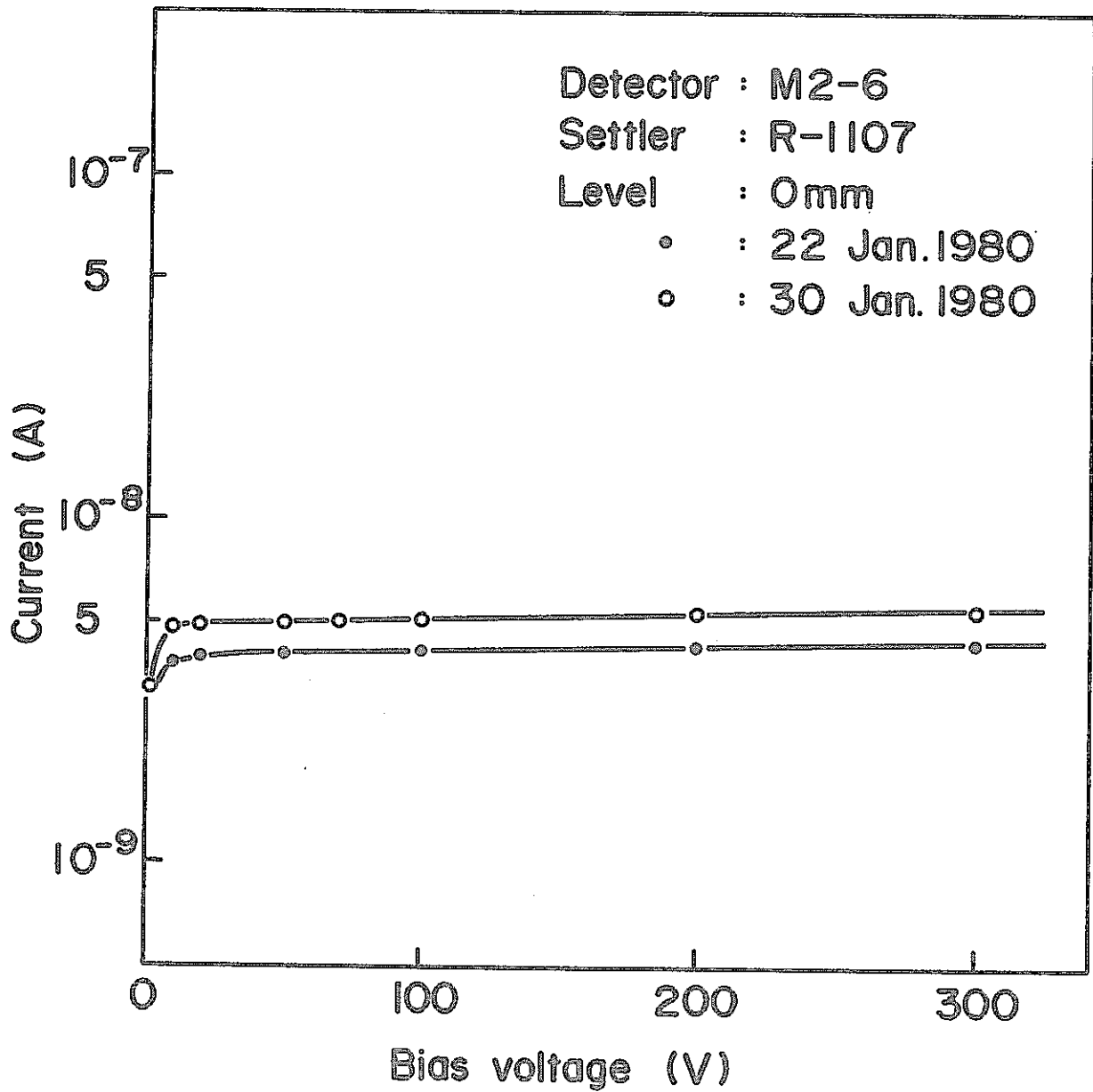


Fig. 7-12 M2-6 plateau characteristics on active feed in GTP campaign

Table 7-1 Signal to noise ratio

Detector	Back-ground current		Active feed		S/N	
	DC (A)	AC (A)	Current(A)	Date	DC	AC
M2-6	1×10^{-12}	8×10^{-13}	1.4×10^{-9}	16:30 24 Nov.	1400	1750
M2-1	1.2×10^{-12}	6×10^{-13}	8.2×10^{-10}	17:52 24 Nov.	680	1370
M2-2	2.8×10^{-12}	9×10^{-13}	7.22×10^{-9}	6:05 22 Jan.	2580	8020
*M2-6	1×10^{-12}	4.3×10^{-12}	1.4×10^{-9}	16:15 24 Nov.	1400	330

* Power supplied by D-152

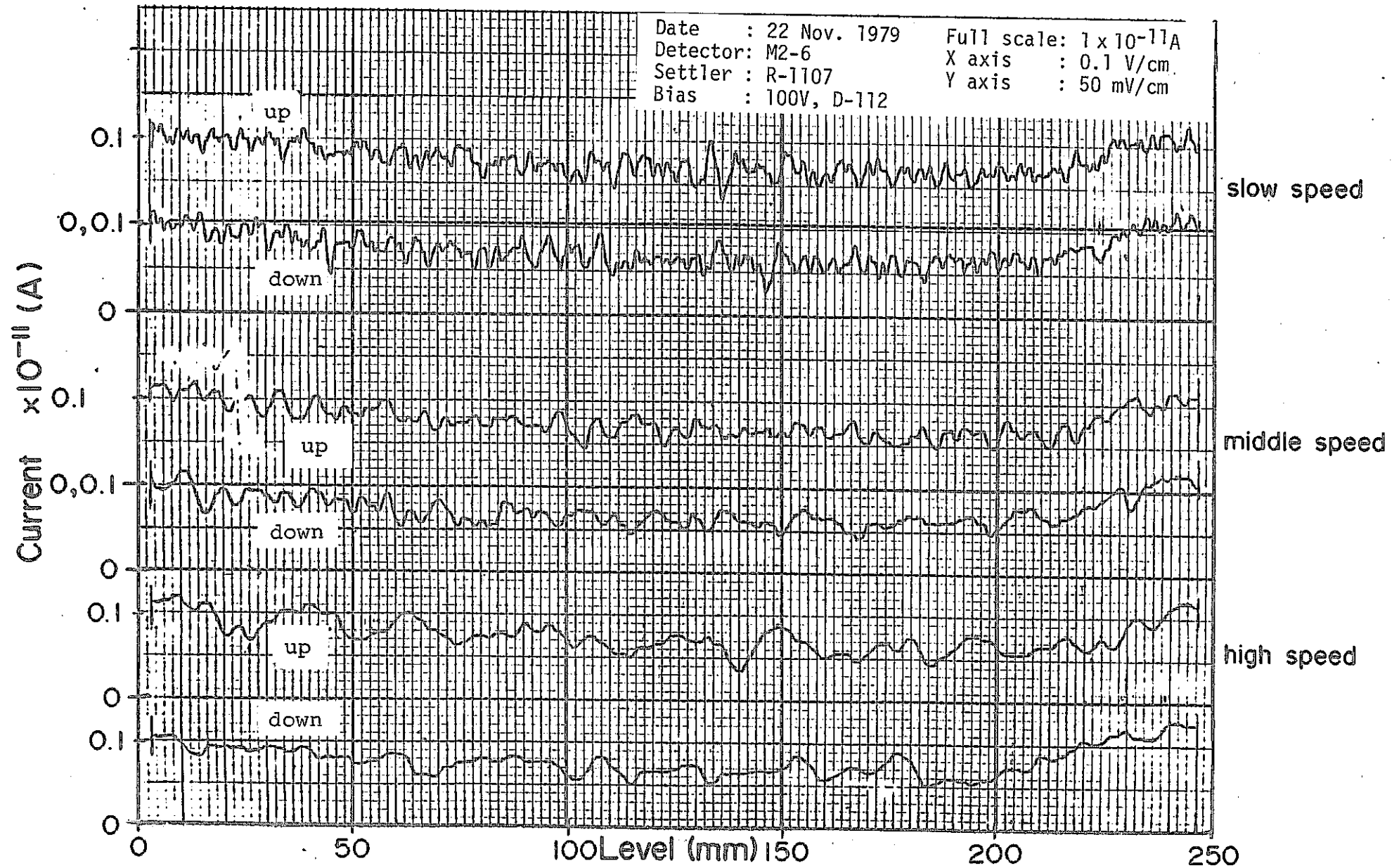


Fig.8-1 Back-ground characteristics

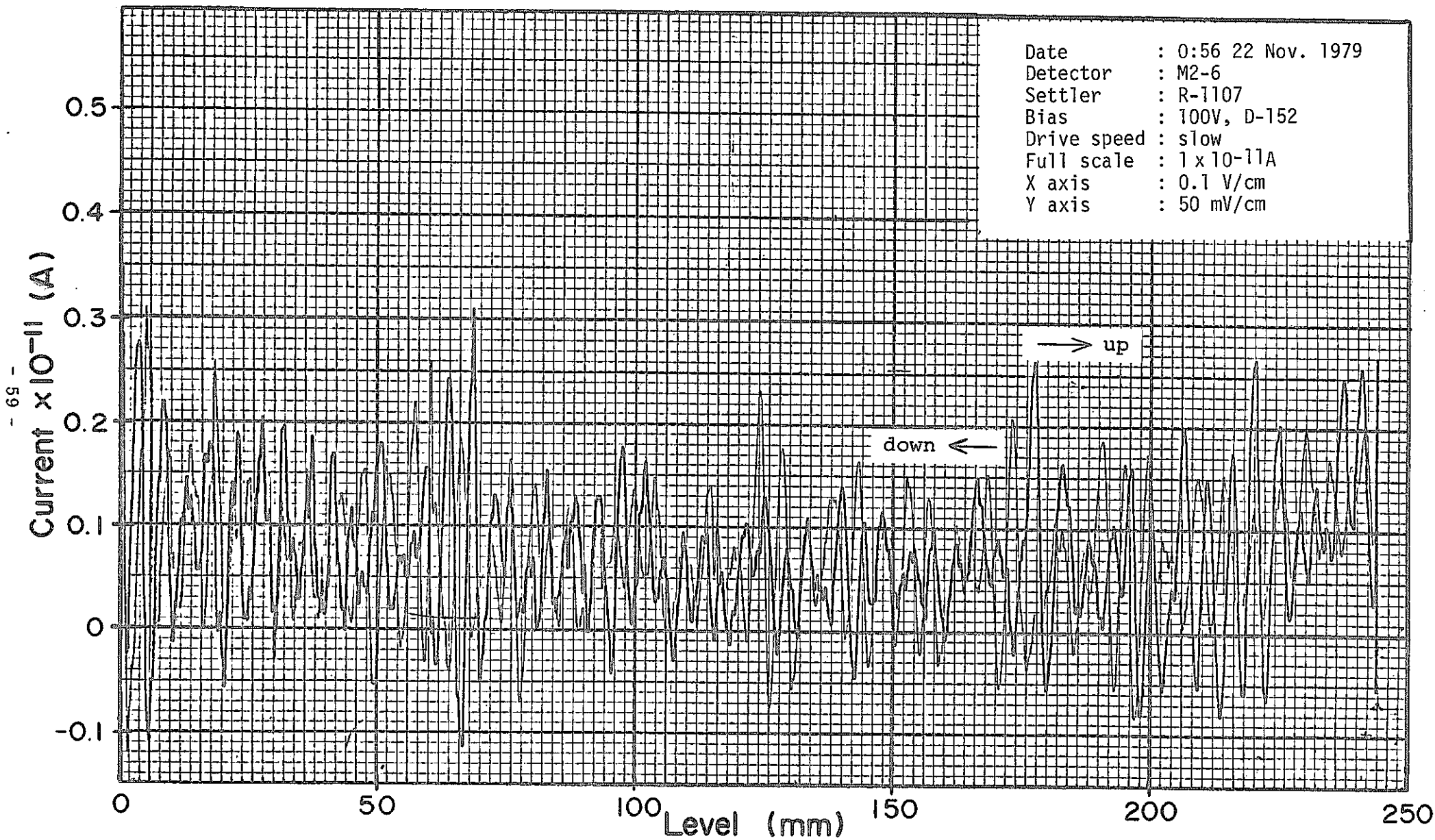


Fig.8-2 Back-ground characteristics

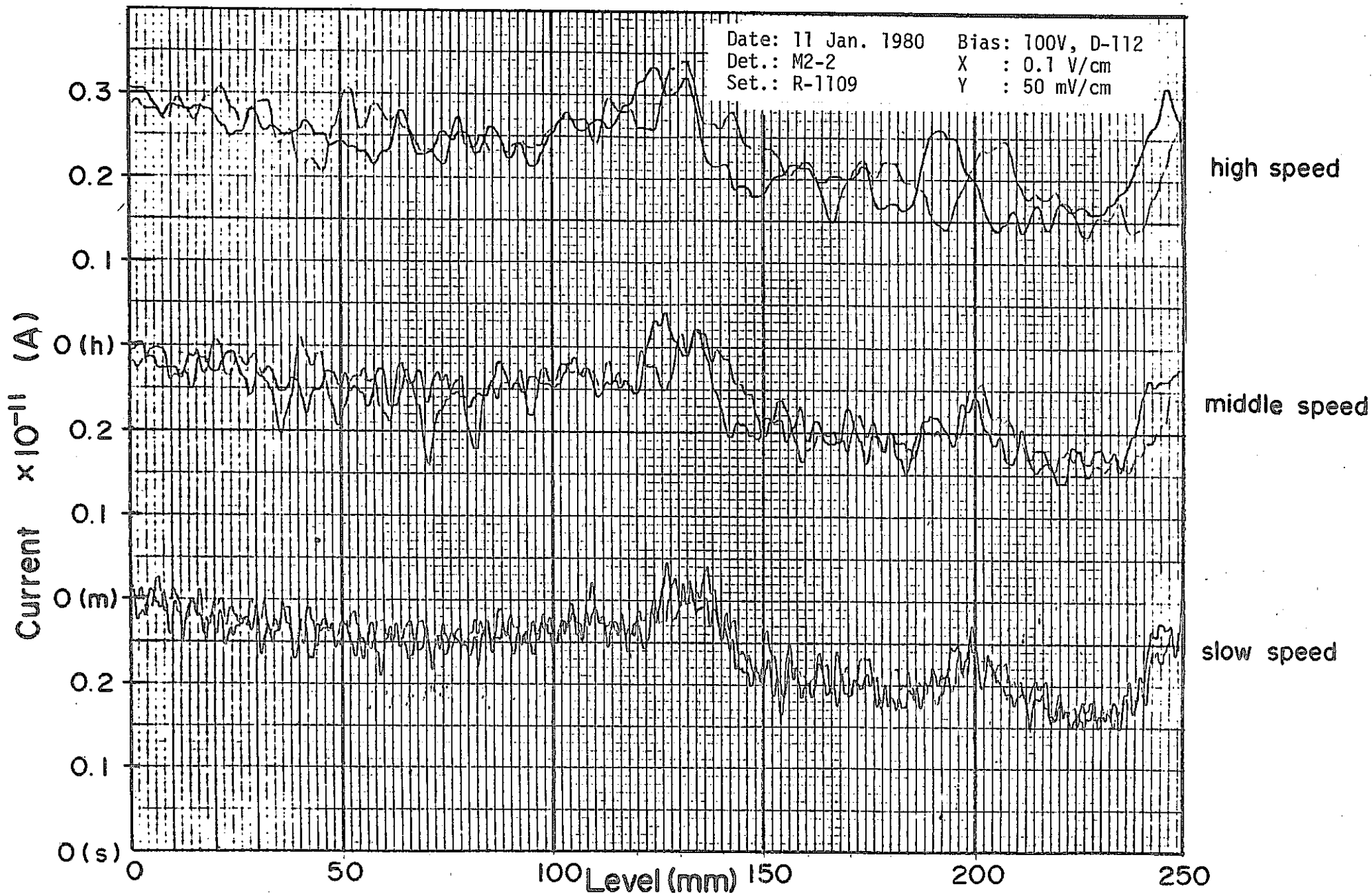


Fig. 8-3 Back-ground characteristics

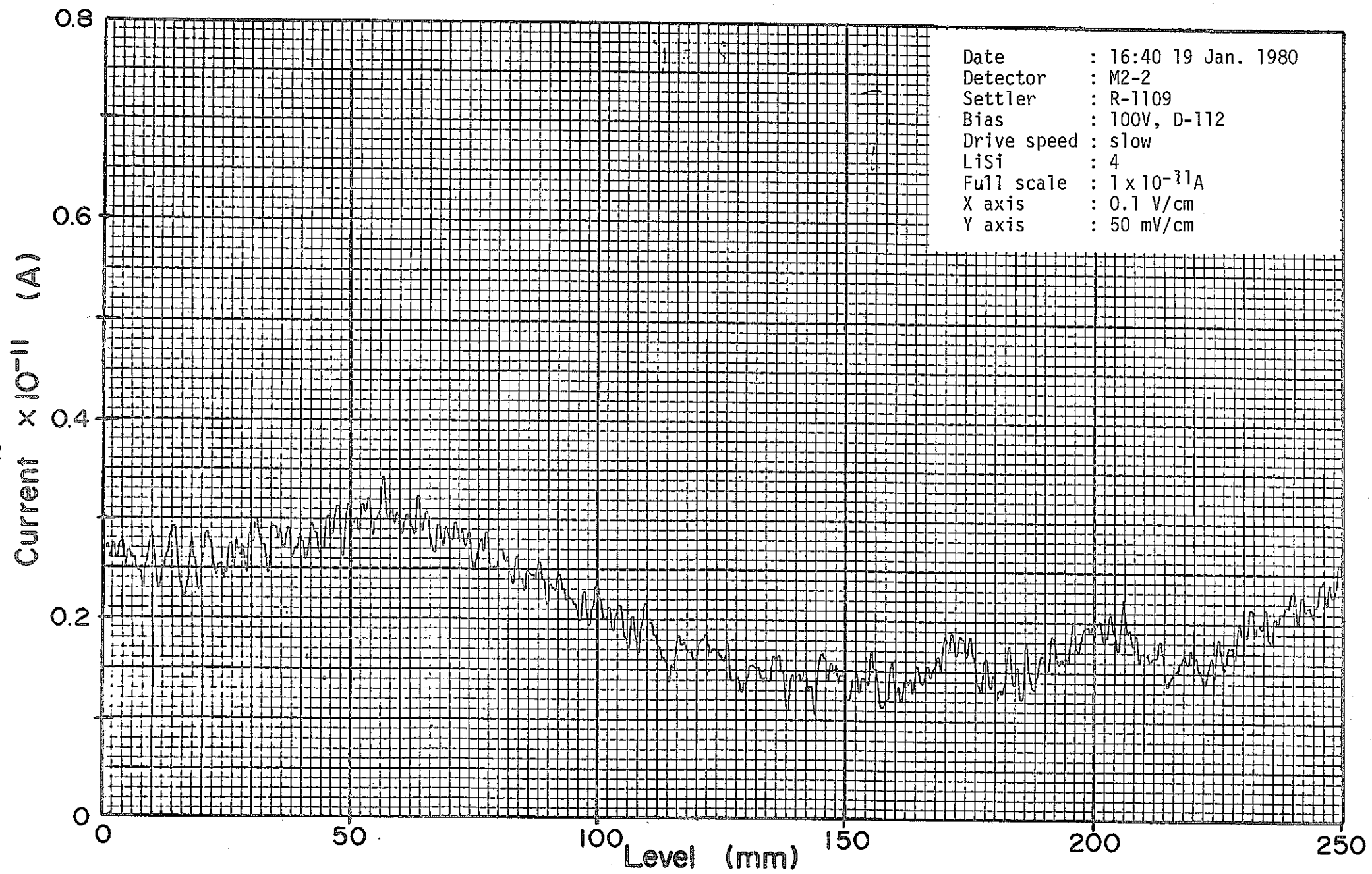


Fig.8-4 Back-ground characteristics

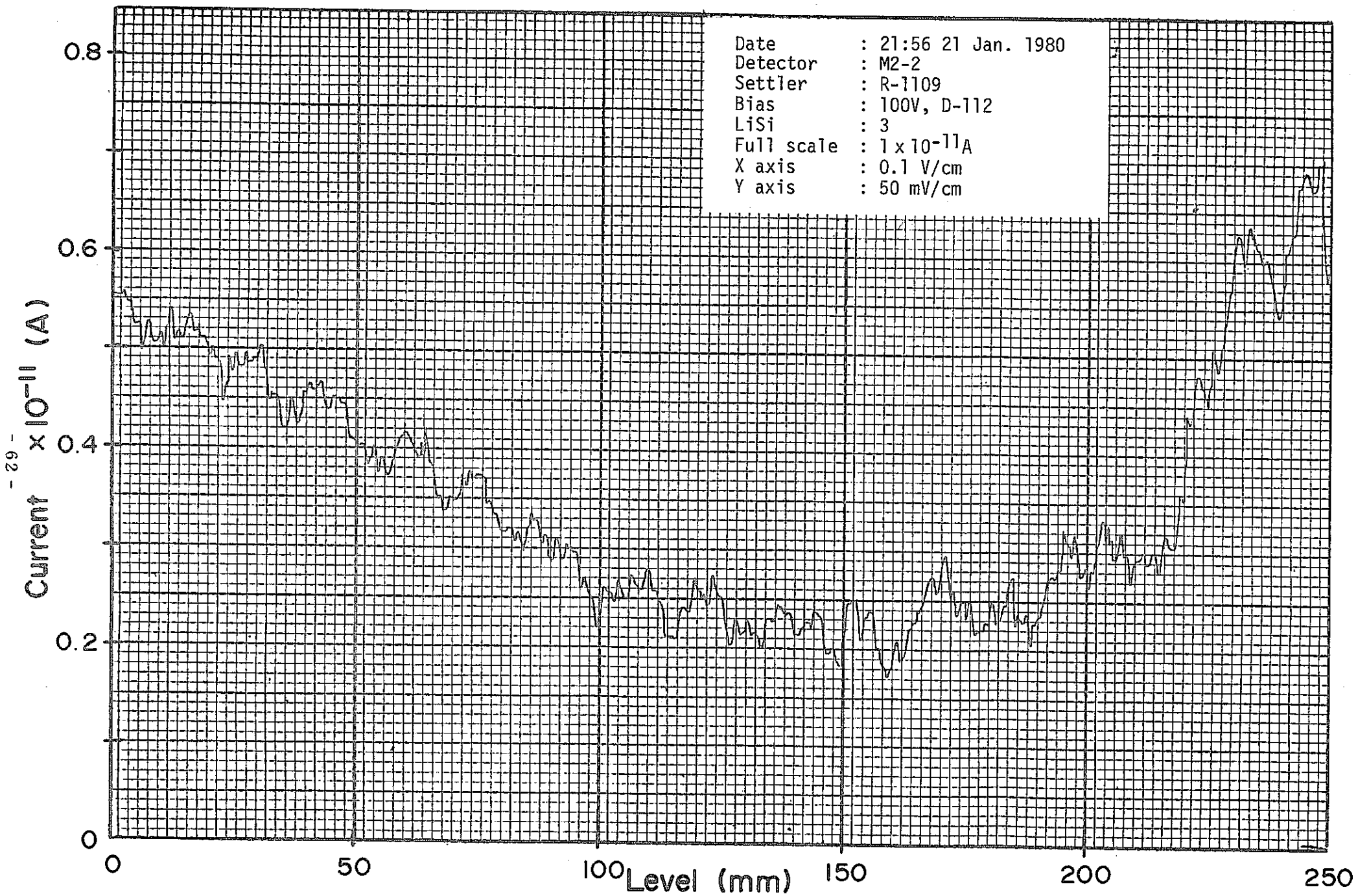


Fig.8-5 Back-ground characteristics

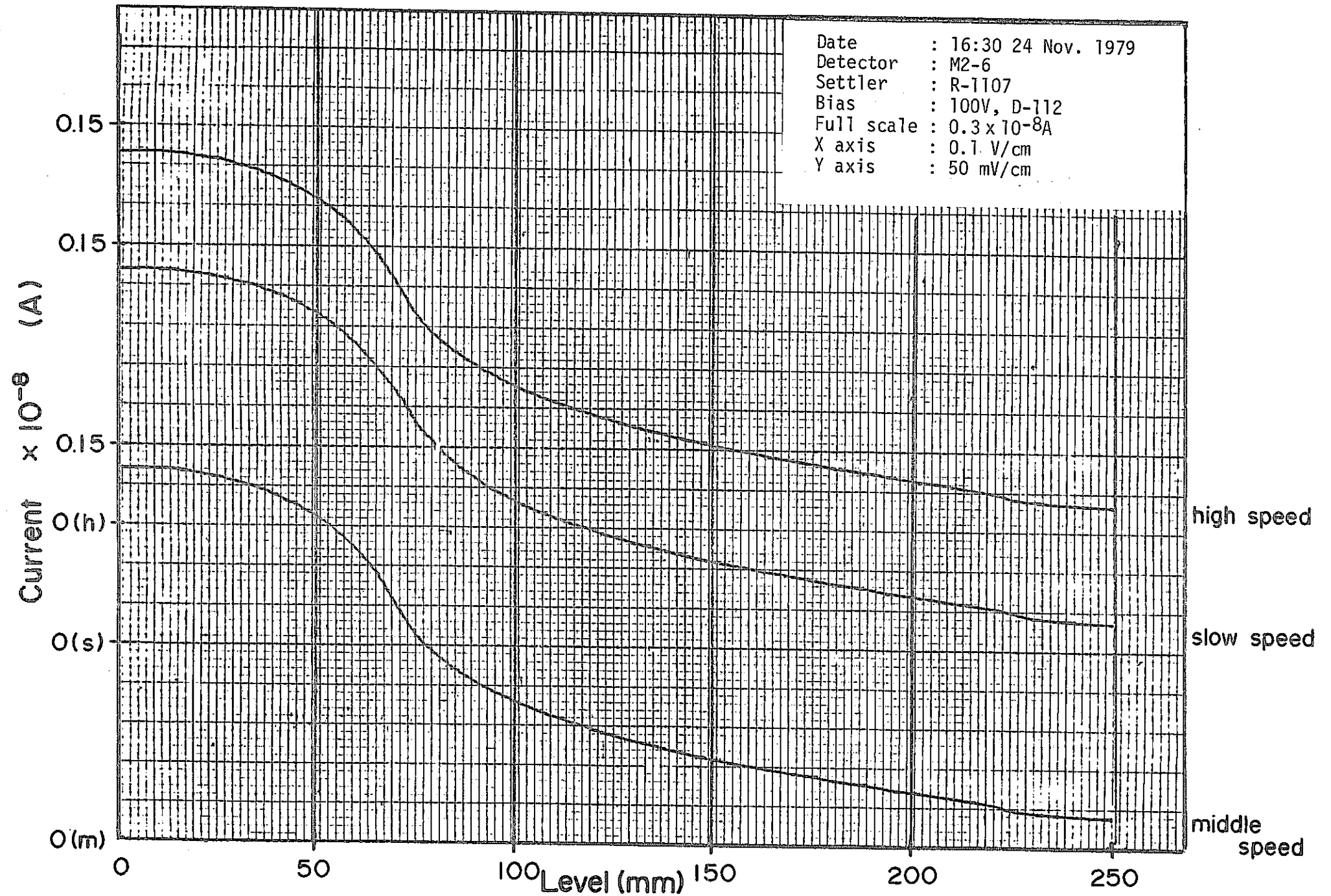


Fig.8-6 Gamma ray distribution (HV : D-112)

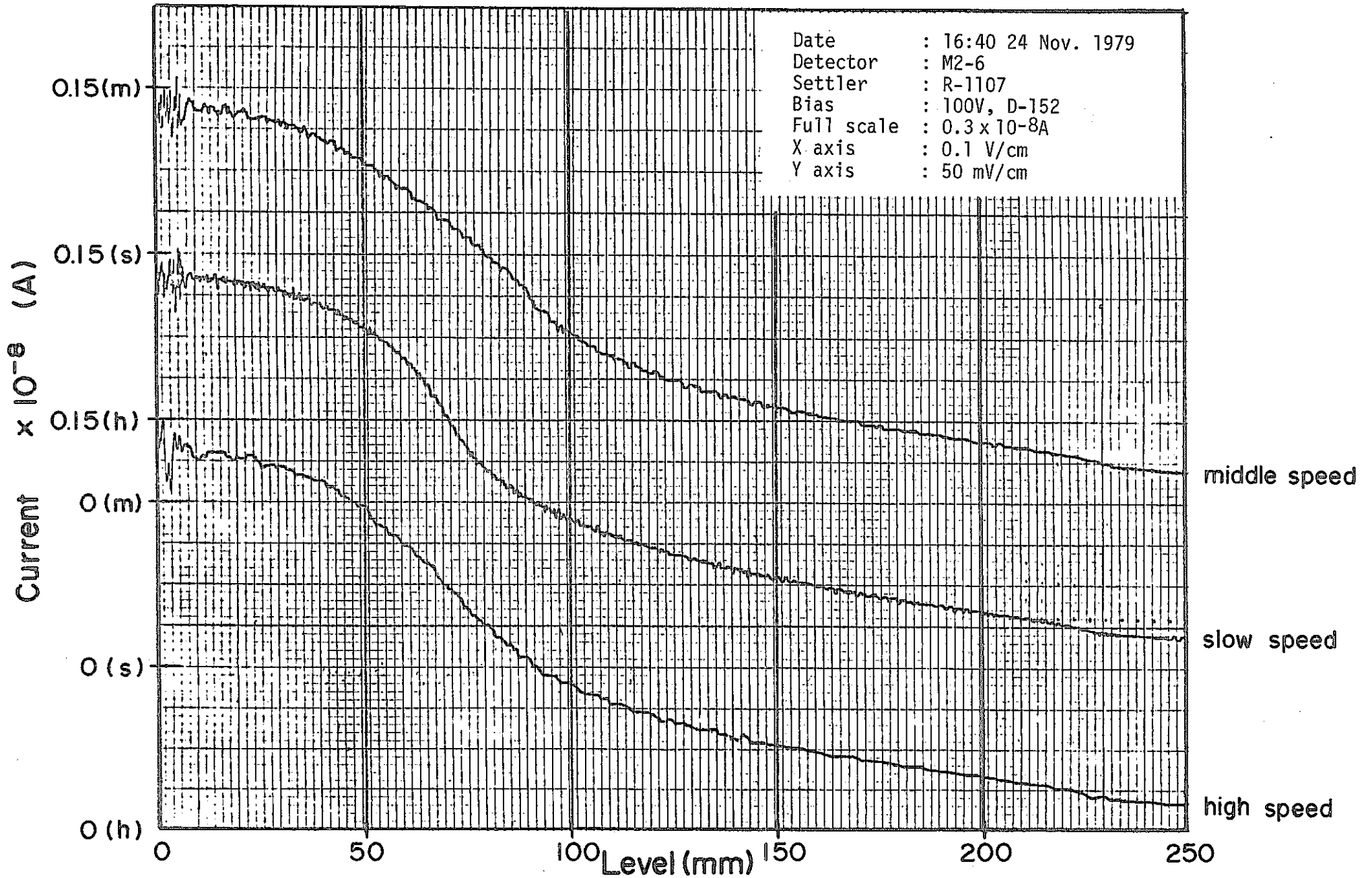


Fig. 8-7 Gamma ray distribution (HV : D - 152)

*****DAISANSO MONITOR *****

DATE 10:40 24 NOV.1979

DETECTOR M2-6

SETTLER R-1107

LiSi

*****OUTPUT*****

HEIGHT(cm)	CURRENT*(E-10(A))	NORMALIZED	DIFFERENTIAL
0	8.8	1	0
1	8.8	1	0
2	8.8	1	.01931818182
3	8.63	.980681818182	.026136363637
4	8.4	.954545454545	.039727272727
5	8.05	.914772727273	.051136363637
6	7.6	.863636363636	.079545454545
7	6.9	.784090909091	.120454545455
8	5.84	.663636363636	.147727272727
9	4.54	.515909090909	.078409090909
10	3.85	.4375	.055681818182
11	3.36	.381818181818	.040909090909
12	3	.340909090909	.034090909091
13	2.7	.306818181818	.034090909091
14	2.4	.272727272727	.022727272727
15	2.2	.25	.022727272727
16	2	.227272727273	.020454545455
17	1.82	.206818181818	.018181818182
18	1.66	.188636363636	.018181818181
19	1.5	.170454545455	.017045454546
20	1.35	.153409090909	.013636363636
21	1.23	.139772727273	.018181818182
22	1.07	.121590909091	.026136363636
23	.84	9.54545454545E-02	1.13636363636E-02
24	.74	8.40909090909E-02	9.09090909090E-03
25	.66	.075	0

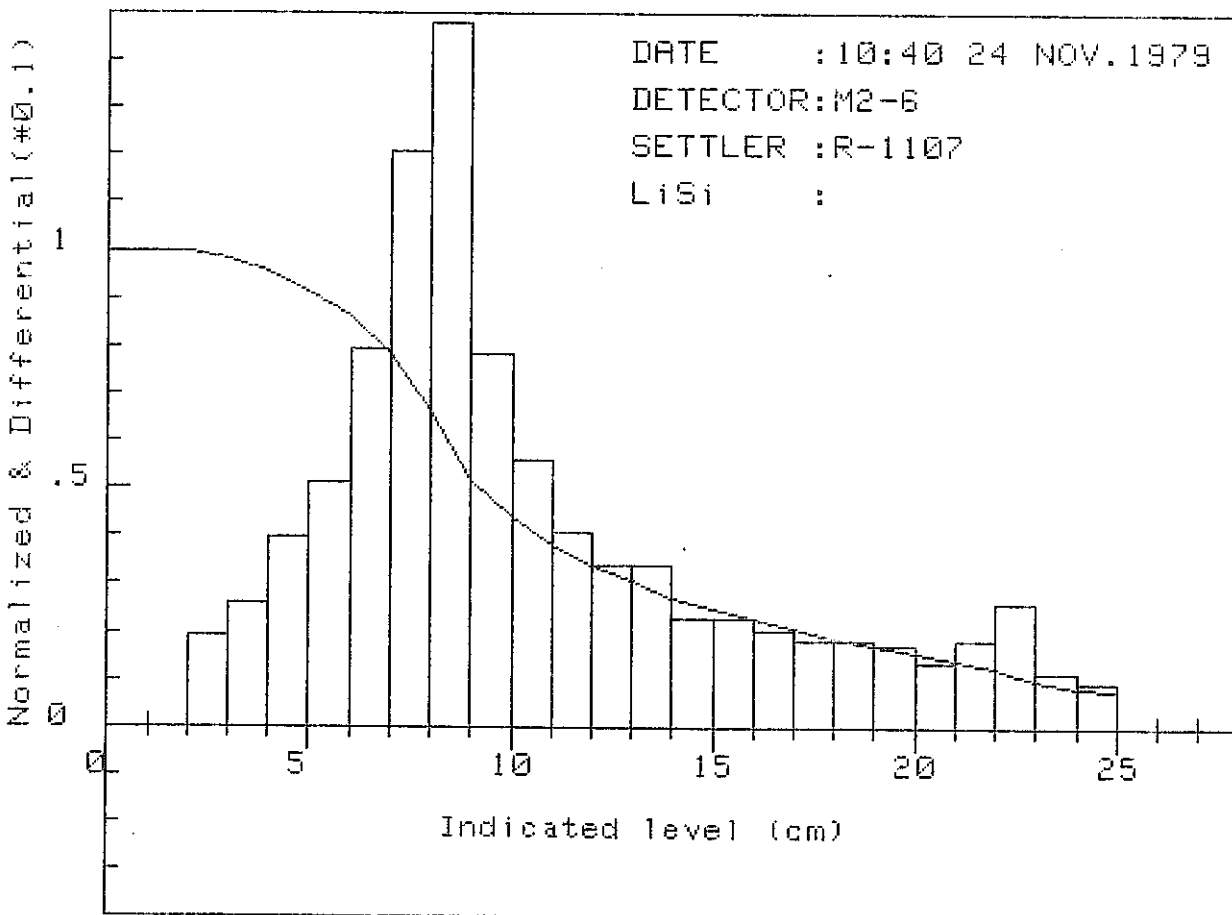


Fig.8-8 GAMMA RAY DISTRIBUTION (A)

*****DAISANSO MONITOR *****

DATE 13:30 24 NOV.1979
 DETECTOR M2-6
 SETTLER R-1107
 Lisi

*****OUTPUT*****

HEIGHT(cm)	CURRENT*(E-9(A))	NORMALIZED	DIFFERENTIAL
0	1.44	1	0
1	1.44	1	0
2	1.43	.9930555555556	.006944444444
3	1.4	.9722222222222	.0208333333334
4	1.35	.9375	.0347222222222
5	1.27	.8819444444444	.0555555555556
6	1.16	.8055555555556	.0763888888888
7	.996	.6916666666667	.1138888888889
8	.783	.54375	.1479166666667
9	.654	.4541666666667	.0895833333333
10	.573	.3979166666667	.05625
11	.51	.3541666666667	.04375
12	.46	.3194444444444	.0347222222223
13	.41	.2847222222222	.0347222222222
14	.38	.2638888888889	.0208333333333
15	.321	.2229166666667	.0409722222222
16	.31	.2152777777778	.0076388888889
17	.29	.2013888888889	.0138888888889
18	.26	.1805555555556	.0208333333333
19	.24	.1666666666667	.0138888888889
20	.21	.1458333333333	.0208333333334
21	.19	.1319444444444	.0138888888889
22	.165	.1145833333333	.0173611111111
23	.132	9.16666666667E-02	.0229166666666
24	.12	8.33333333333E-02	8.33333333340E-03
25	.11	7.63888888889E-02	6.94444444440E-03

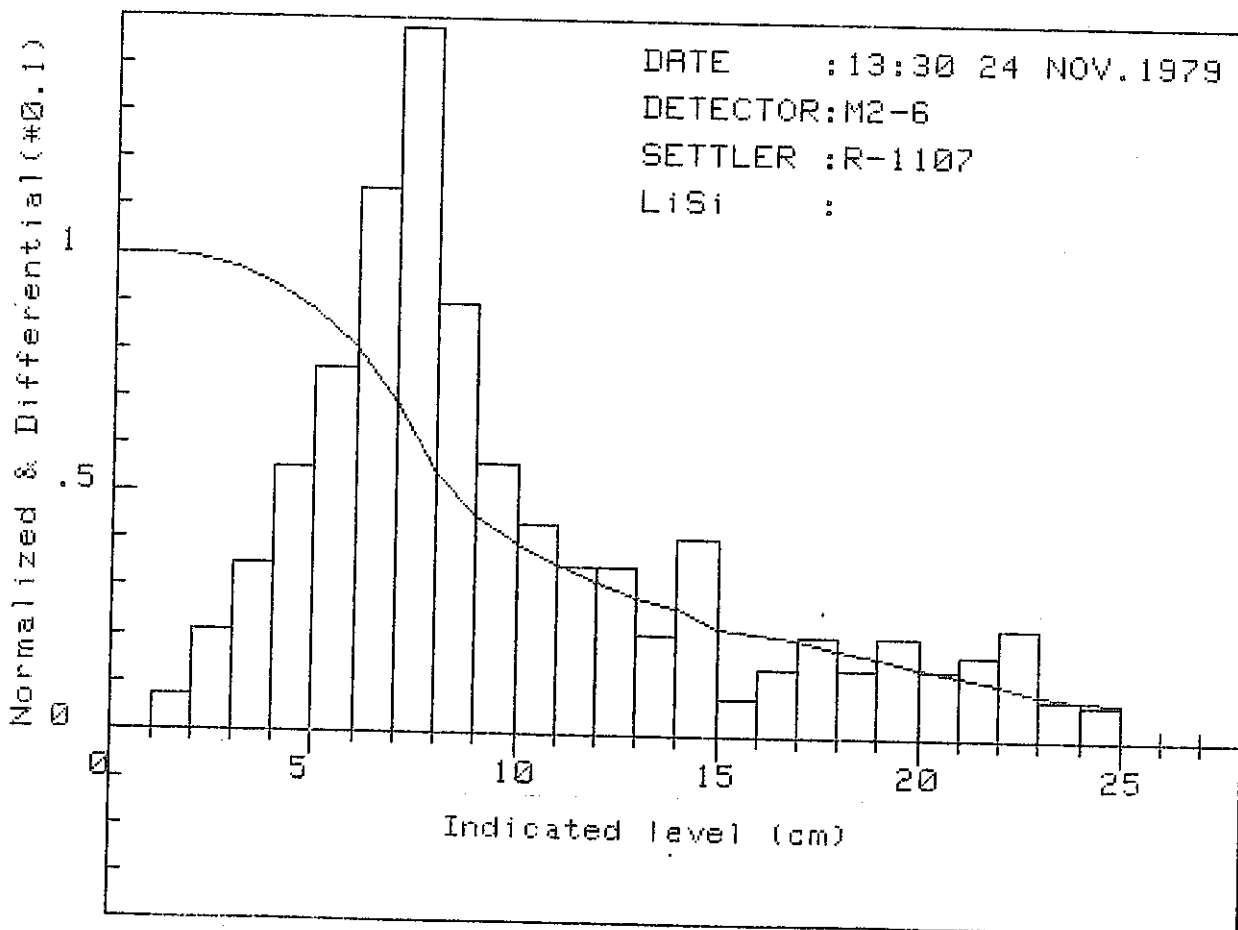


Fig.8-9 GAMMA RAY DISTRIBUTION (B)

*****DAISANSO MONITOR *****

DATE 16:35 24 NOV.1979
 DETECTOR M2-6
 SETTLER R-1107

LiSi

*****OUTPUT*****

HEIGHT(cm)	CURRENT>(*E-9(A))	NORMALIZED	DIFFERENTIAL
0	1.41	1	0
1	1.41	1	.01418439716
2	1.39	.985815682837	.014184397163
3	1.37	.971631285674	.035468992988
4	1.32	.936178212766	.049645398871
5	1.25	.886524822695	.085106382979
6	1.13	.801418439716	.120567375886
7	.96	.68885106383	.148936170213
8	.75	.531914893617	.08885106383
9	.636	.451063829787	.059574468885
10	.552	.391489361702	.046888510638
11	.486	.344688851064	.032624113475
12	.44	.312856737589	.035468992988
13	.39	.276595744681	.021276595745
14	.36	.255319148936	.021276595745
15	.33	.234842553191	.021276595744
16	.3	.212765957447	.021276595745
17	.27	.191489361702	.014184397163
18	.25	.177304964539	.014184397163
19	.23	.163128567376	.021276595745
20	.2	.141843971631	.014184397163
21	.18	.127659574468	.014184397163
22	.16	.113475177385	.024113475177
23	.126	8.93617821277E-02	8.51063829798E-03
24	.114	8.88510638298E-02	2.83687943268E-03
25	.11	7.80141843972E-02	0

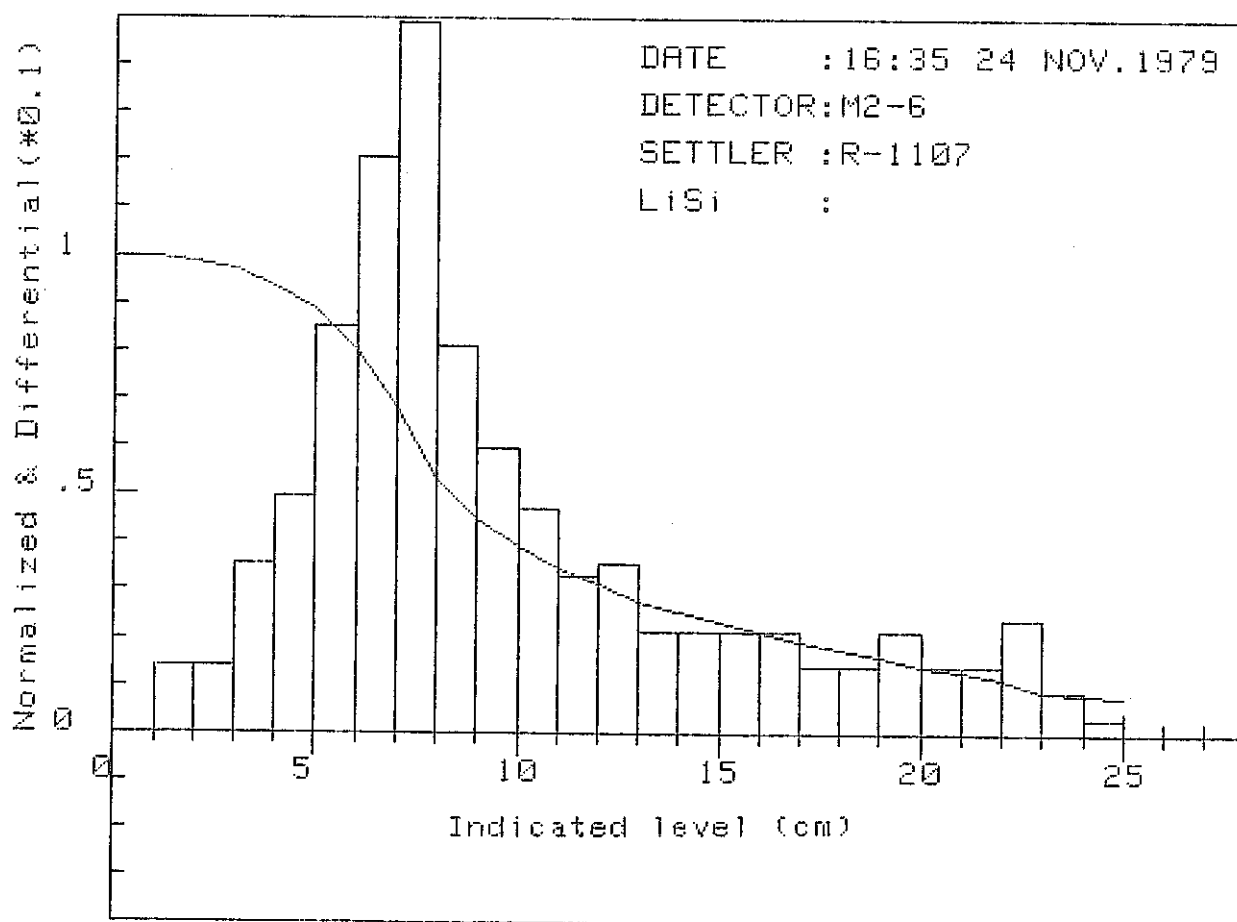


Fig.8-10 GAMMA RAY DISTRIBUTION (C)

*****DAISANSO MONITOR *****

DATE 15:05 30 NOV.1979

DETECTOR M2-6

SETTLER R-1107

LiSi 4

*****OUTPUT*****

HEIGHT(cm)	CURRENT*(E-9(A))	NORMALIZED	DIFFERENTIAL
0	4.52	1	-.00221238938
1	4.53	1.00221238938	.00884955752
2	4.49	.993362831858	.019911504424
3	4.4	.973451327434	.03982300885
4	4.22	.933628318584	.057522123894
5	3.96	.87610619469	.090707964602
6	3.55	.785398230088	.077433628318
7	3.2	.70796460177	.070796460177
8	2.88	.637168141593	.068584070797
9	2.57	.568584070796	.075221238938
10	2.23	.493362831858	.066371681416
11	1.93	.426991150442	.057522123893
12	1.67	.369469026549	.033185840708
13	1.52	.336283185841	.033185840708
14	1.37	.303097345133	.026548672567
15	1.25	.276548672566	.015486725663
16	1.18	.261061946903	.030973451328
17	1.04	.230088495575	.019911504425
18	.95	.21017699115	.017699115044
19	.87	.192477876106	.019911504425
20	.78	.172566371681	.017699115044
21	.7	.154867256637	.017699115044
22	.62	.137168141593	.026548672566
23	.5	.110619469027	.008849557523
24	.46	.101769911504	.006637168141
25	.43	9.51327433628E-02	0

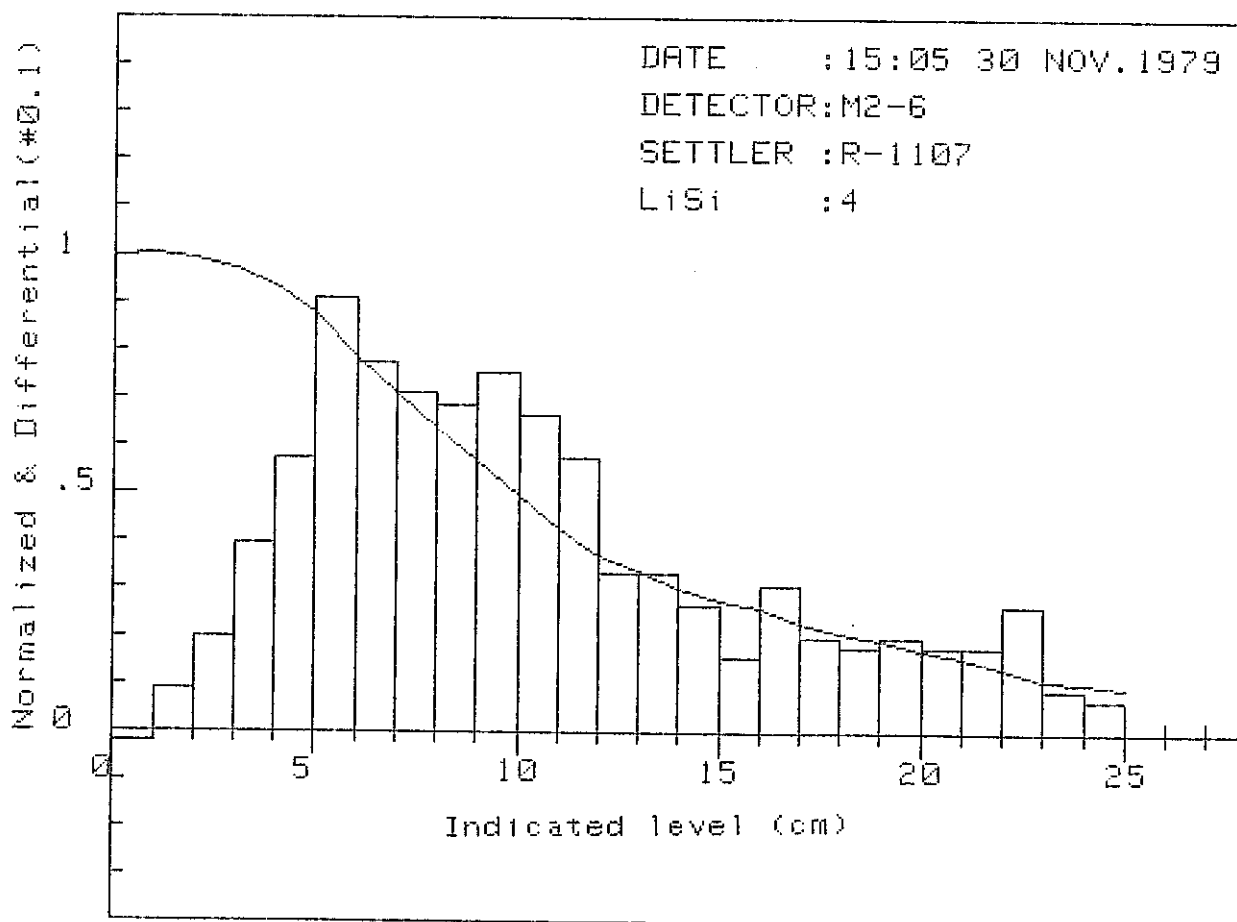


Fig.8-II GAMMA RAY DISTRIBUTION (D)

*****DAISANSO MONITOR *****

DATE 17:52 24 NOV.1979
 DETECTOR M2-1
 SETTLER R-1104(kasetu)
 LiSi

*****OUTPUT*****

HEIGHT(cm)	CURRENT*(E-10(A))	NORMALIZED	DIFFERENTIAL
0	8.2	1	0
1	8.2	1	.01463414634
2	8.08	.985365853659	.025609756098
3	7.87	.959756097561	.039024390244
4	7.55	.920731707317	.067073170732
5	7	.853658536585	.097560975609
6	6.2	.756097560976	.121951219513
7	5.2	.634146341463	.134146341463
8	4.1	.5	.073170731707
9	3.5	.426829268293	.048780487805
10	3.1	.378048780488	.048780487805
11	2.7	.329268292683	.030487804878
12	2.45	.298780487805	.030487804878
13	2.2	.268292682927	.024390243903
14	2	.243902439024	.018292682926
15	1.85	.225609756098	.018292682927
16	1.7	.207317073171	.013414634147
17	1.59	.193902439024	.013414634146
18	1.48	.180487804878	.014634146341
19	1.36	.165853658537	.009756097561
20	1.28	.156097560976	.013414634147
21	1.17	.142682926829	.014634146341
22	1.05	.128048780488	.018292682927
23	.9	.109756097561	.014634146341
24	.78	9.51219512195E-02	4.87804878050E-03
25	.74	.090243902439	0

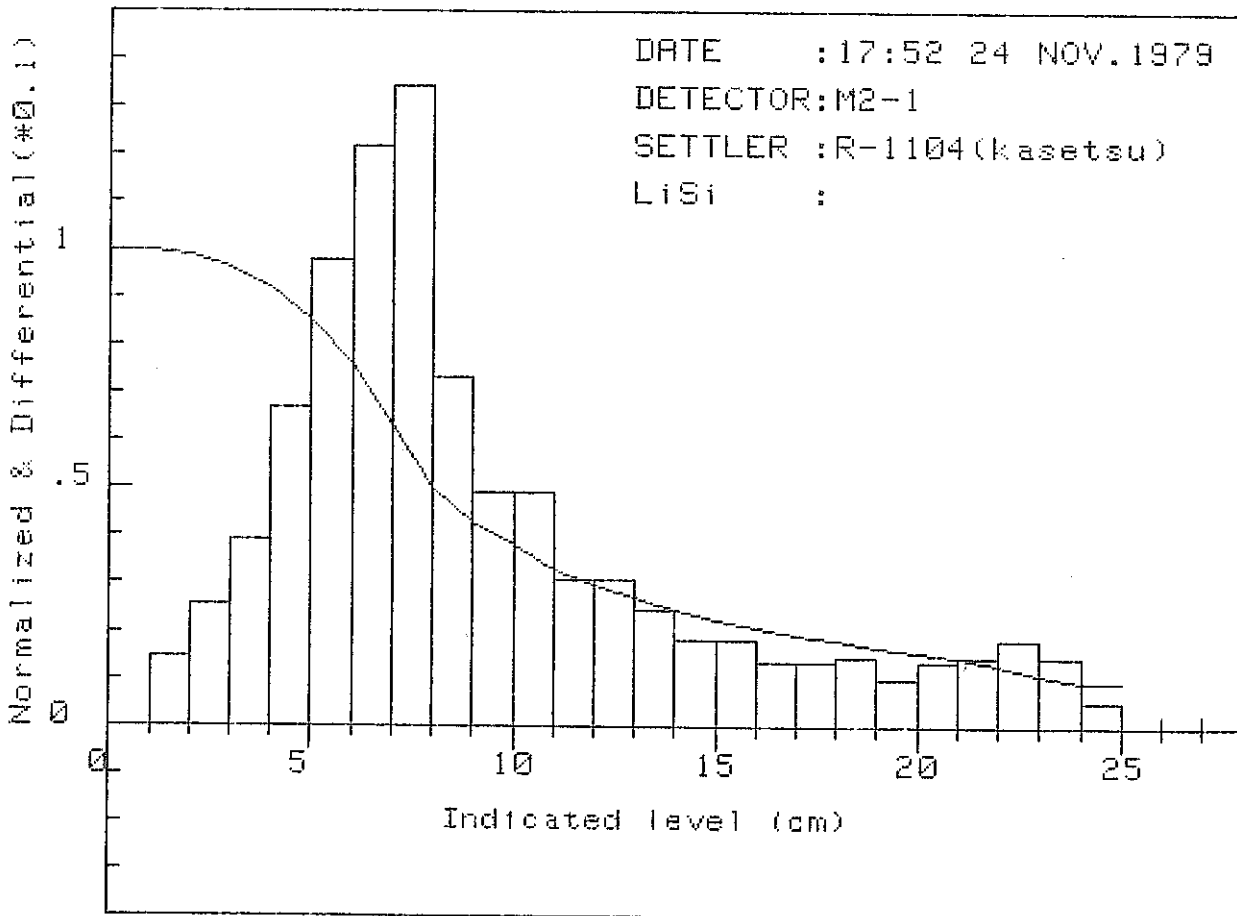


Fig.8-12 GAMMA RAY DISTRIBUTION (E)

*****DAISANSO MONITOR *****

DATE 11:40 30 NOV.1979
 DETECTOR M2-1
 SETTLER R-1104(kasetu)
 LiSi

*****OUTPUT*****

HEIGHT(cm)	CURRENT*(E-9(A))	NORMALIZED	DIFFERENTIAL
0	2.62	1	-.00381679389
1	2.63	1.00381679389	.00763358778
2	2.61	.996183206107	.015267175573
3	2.57	.980916030534	.034351145038
4	2.48	.946564885496	.057251908397
5	2.33	.889312977099	.076335877862
6	2.13	.812977099237	.091603053435
7	1.89	.721374045802	.080152671756
8	1.68	.641221374046	.118320610687
9	1.37	.522900763359	.087786259542
10	1.14	.435114503817	.057251908397
11	.99	.37786259542	.041984732825
12	.88	.335877862595	.034351145038
13	.79	.301526717557	.026717557252
14	.72	.274809160305	.022900763358
15	.66	.251908396947	.022900763359
16	.6	.229007633588	.015267175573
17	.56	.213740458015	.019083969465
18	.51	.19465648855	.019083969466
19	.46	.175572519084	.015267175573
20	.42	.160305343511	.015267175572
21	.38	.145038167939	.015267175573
22	.34	.129770992366	.015267175572
23	.3	.114503816794	.015267175573
24	.26	9.92366412214E-02	3.81679389320E-03
25	.25	9.54198473282E-02	0

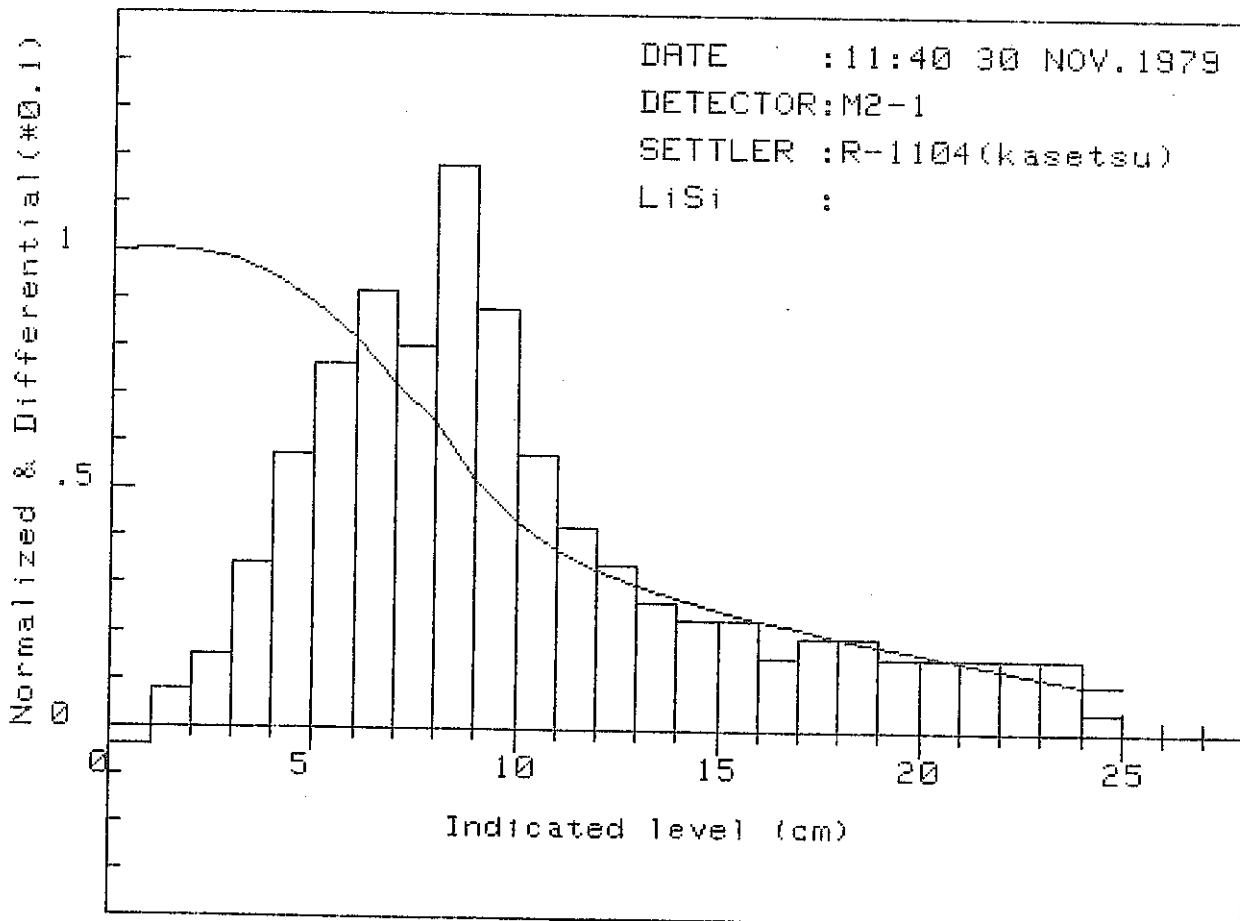


Fig.8-13 GAMMA RAY DISTRIBUTION (F)

*****DAISANSO MONITOR *****

DATE 6:05 22 JAN.1980
 DETECTOR M2-2
 SETRTLER R-1109
 Lisi 4

*****OUTPUT*****

HEIGHT(cm)	CURRENT*(E-9(A))	NORMALIZED	DIFFERENTIAL
0	7.22	1	.00969529086
1	7.15	.990304709141	.013850415512
2	7.05	.976454293629	.020775623269
3	6.9	.95567867036	.027700831025
4	6.7	.927977839335	.034626038781
5	6.45	.893351800554	.040476454294
6	6.1	.84487534626	.069252077562
7	5.6	.775623268698	.12108365651
8	4.72	.653739612188	.099722991689
9	4	.554016620499	.124653739613
10	3.1	.429362880886	.135734072022
11	2.12	.293628808864	.058171745152
12	1.7	.235457063712	.04432132964
13	1.38	.191135734072	.031855955679
14	1.15	.159279778393	.023545706371
15	.98	.135734072022	.018005540166
16	.85	.117728531856	.013850415513
17	.75	.103878116343	.013850415512
18	.65	.090027700831	2.07756232687E-02
19	.5	6.92520775623E-02	6.92520775620E-03
20	.45	6.23268698061E-02	6.92520775620E-03
21	.4	5.54016620499E-02	0
22	.4	5.54016620499E-02	0
23	.4	5.54016620499E-02	0
24	.4	5.54016620499E-02	0
25	.4	5.54016620499E-02	0

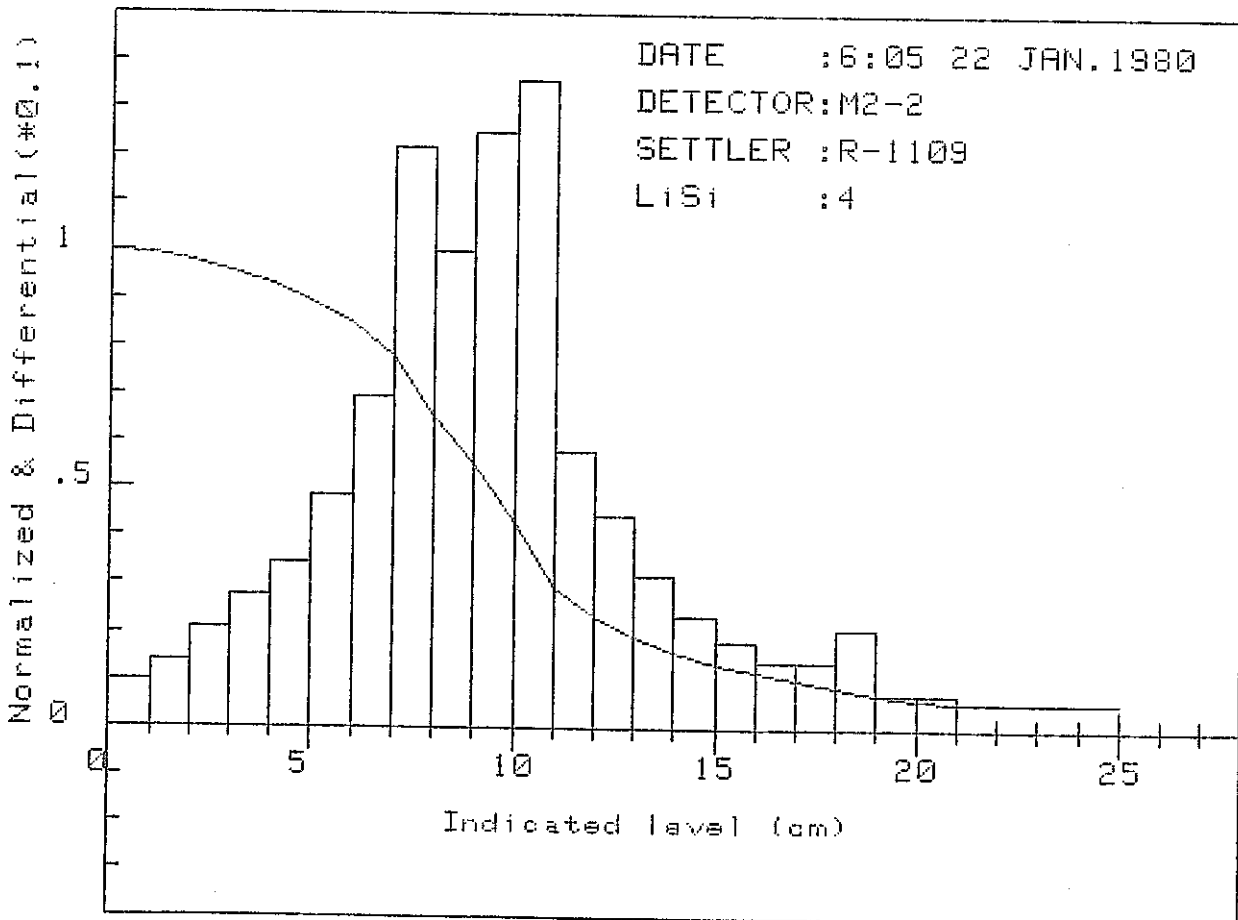


Fig.8-14 GAMMA RAY DISTRIBUTION (G)

*****DAISANSO MONITOR *****
 DATE 8:10 22 JAN.1980
 DETECTOR M2-2
 SETTLER R-1109
 LiSi 3 OR 4
 *****OUTPUT*****

HEIGHT (cm)	CURRENT>(*E-9(A))	NORMALIZED	DIFFERENTIAL
0	7.74	1	0
1	7.74	1	.01162790698
2	7.65	.988372093023	.025839793281
3	7.45	.962532299742	.036175710595
4	7.17	.926356589147	.054263565891
5	6.75	.872093023256	.083979328166
6	6.1	.78811369509	.138242894056
7	5.03	.649870801034	.133074935401
8	4	.516795865633	.167958656331
9	2.7	.348837209302	.077519379845
10	2.1	.271317829457	.051679586563
11	1.7	.219638242894	.038759689922
12	1.4	.180878552972	.032299741602
13	1.15	.14857881137	.019379844962
14	1	.129198966408	.019379844961
15	.85	.109819121447	.012919896641
16	.75	9.68992248062E-02	1.29198966408E-02
17	.65	8.39793281654E-02	6.45994832040E-03
18	.6	.077519379845	1.29198966409E-02
19	.5	6.45994832041E-02	3.22997416020E-03
20	.475	6.13695090439E-02	8.39793281650E-03
21	.41	5.29715762274E-02	2.58397932820E-03
22	.39	5.03875968992E-02	0
23	.39	5.03875968992E-02	0
24	.39	5.03875968992E-02	0
25	.39	5.03875968992E-02	0

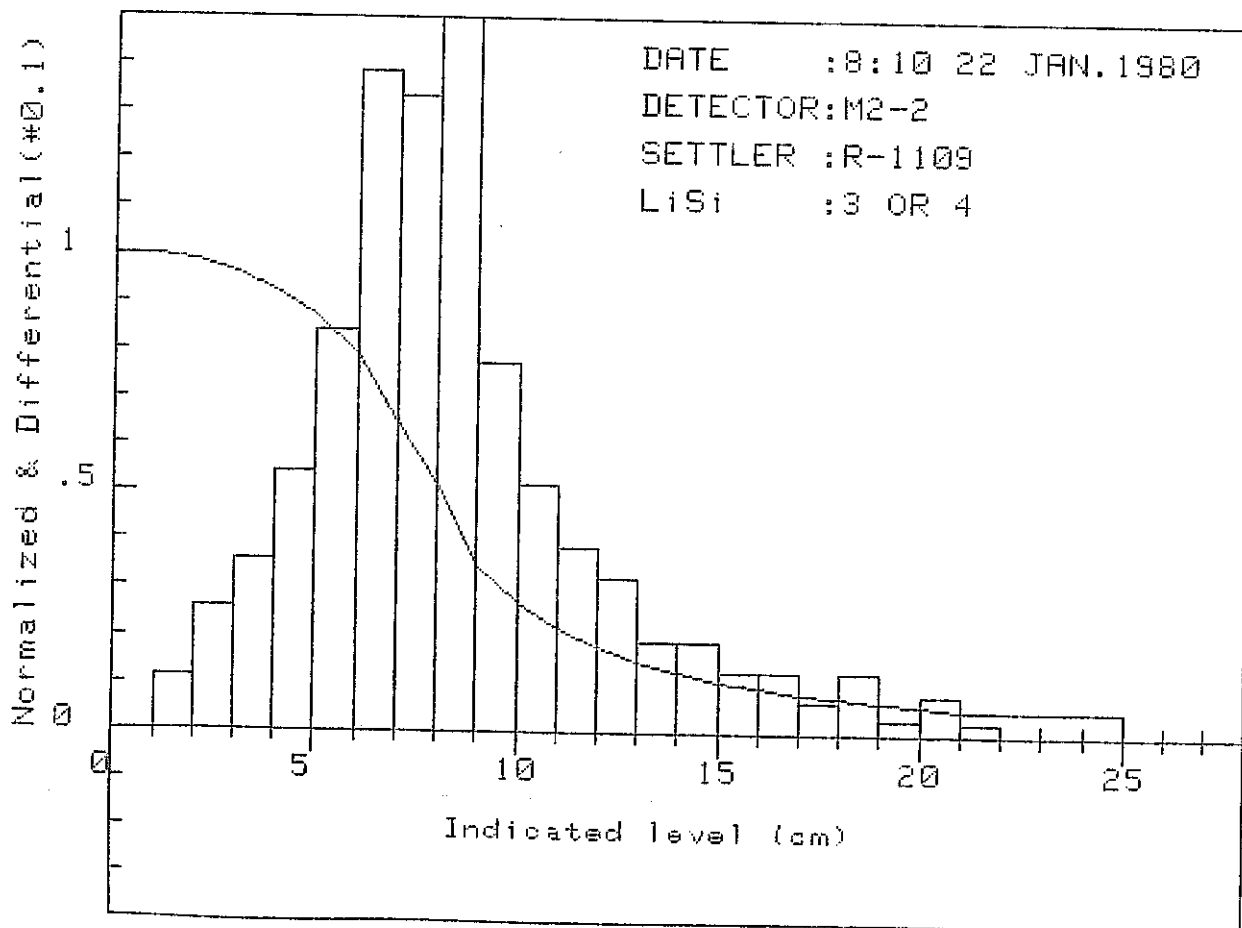


Fig.8-15 GAMMA RAY DISTRIBUTION (H)

*****DAISANSO MONITOR *****

DATE 10:33 22 JAN.1980
 DETECTOR M2-2
 SETTLER R-1109
 LiSi 4

*****OUTPUT*****

HEIGHT(cm)	CURRENT*(E-9(A))	NORMALIZED	DIFFERENTIAL
0	6.83	1	0
1	6.83	1	.00439238653
2	6.8	.99560761347	.014641288433
3	6.7	.980966325037	.02196193265
4	6.55	.959004392387	.021961932651
5	6.4	.937042459736	.046852122986
6	6.08	.89019033675	.144948755491
7	5.09	.745241581259	.137628111274
8	4.15	.607613469985	.095158374817
9	3.5	.512445095168	.0878477306
10	2.9	.424597364568	.102489019034
11	2.2	.322108345534	.080527086383
12	1.65	.241581259151	.0439238653
13	1.35	.197657393851	.036603221084
14	1.1	.161054172767	.02196193265
15	.95	.139092240117	.019033674963
16	.82	.120058565154	.014641288434
17	.72	.10541727672	.01317715959
18	.63	9.22401171303E-02	1.17130307467E-02
19	.55	8.052708863836E-02	7.32064421670E-03
20	.5	7.32064421669E-02	1.02489019034E-02
21	.43	6.29575402635E-02	.00439238653
22	.4	5.85651537335E-02	1.46412884330E-03
23	.39	5.71010248902E-02	0
24	.39	5.71010248902E-02	0
25	.39	5.71010248902E-02	0

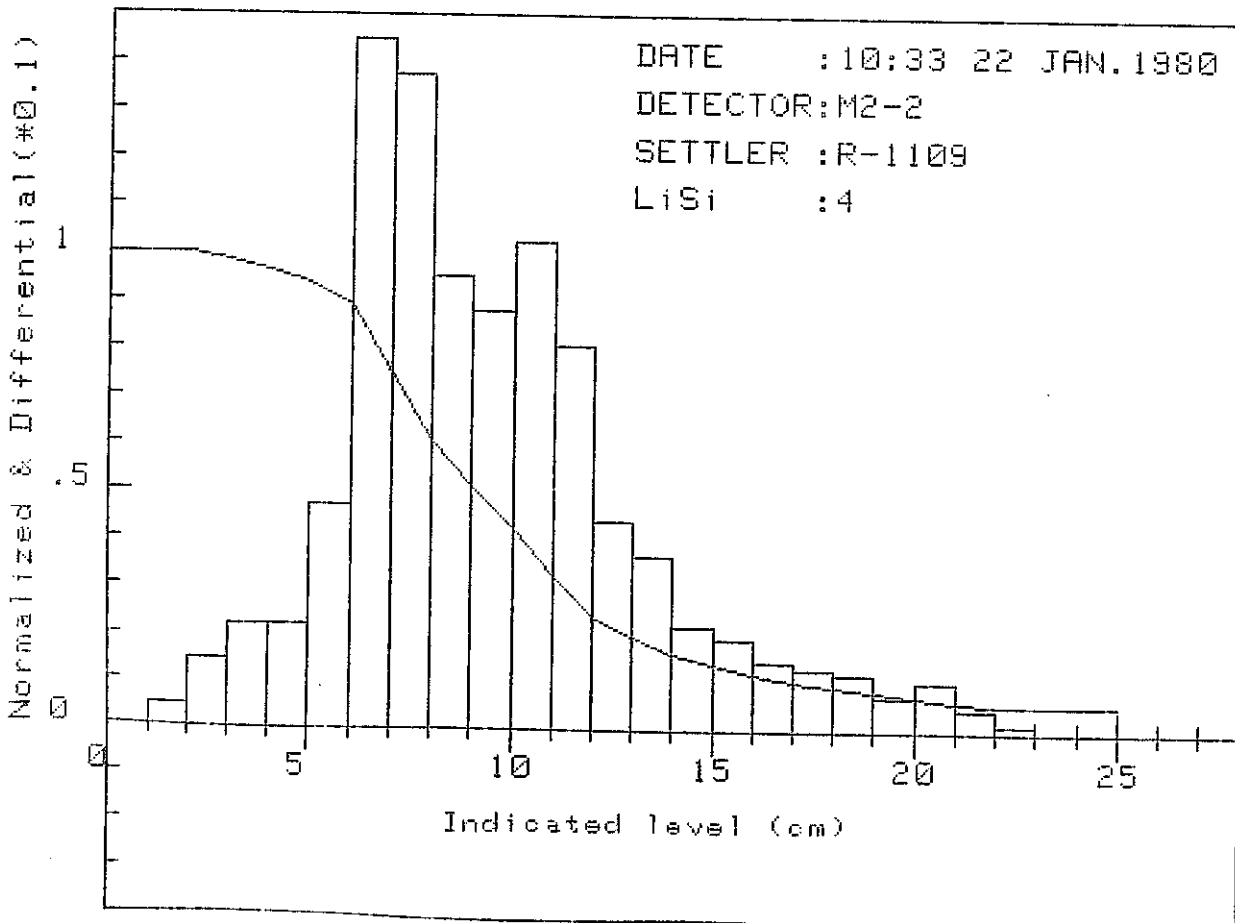


Fig.8-16 GAMMA RAY DISTRIBUTION (1)

*****DRAISANSO MONITOR *****

DATE 17:28 24 JAN.1980
 DETECTOR M2-2
 SETTLER R-1109
 Lisi 5

*****OUTPUT*****

HEIGHT(cm)	CURRENT*(E-9(A))	NORMALIZED	DIFFERENTIAL
0	7.15	1	0
1	7.15	1	.00699300699
2	7.1	.993006993007	.018181818182
3	6.97	.974825174825	.020979020979
4	6.82	.953846153846	.027972027972
5	6.62	.925874125874	.030769230769
6	6.4	.895104895105	.047552447553
7	6.06	.847552447552	.078321678321
8	5.5	.769230769231	.090909090909
9	4.85	.678321678322	.076923076923
10	4.3	.601398601399	.06993006993
11	3.8	.531468531469	.048951048952
12	3.45	.482517482517	.034965034965
13	3.2	.447552447552	.041958041958
14	2.9	.405594405594	.027972027972
15	2.7	.377622377622	.026573426573
16	2.51	.351048951049	.026573426573
17	2.32	.324475524476	.029370629371
18	2.11	.295104895105	.029370629371
19	1.9	.265734265734	.030769230769
20	1.68	.234965034965	.046153846154
21	1.35	.188811188811	.041958041958
22	1.05	.146853146853	.034965034965
23	.8	.111888111888	.013986013986
24	.7	9.79020979021E-02	1.11888111888E-02
25	.62	8.67132867133E-02	0

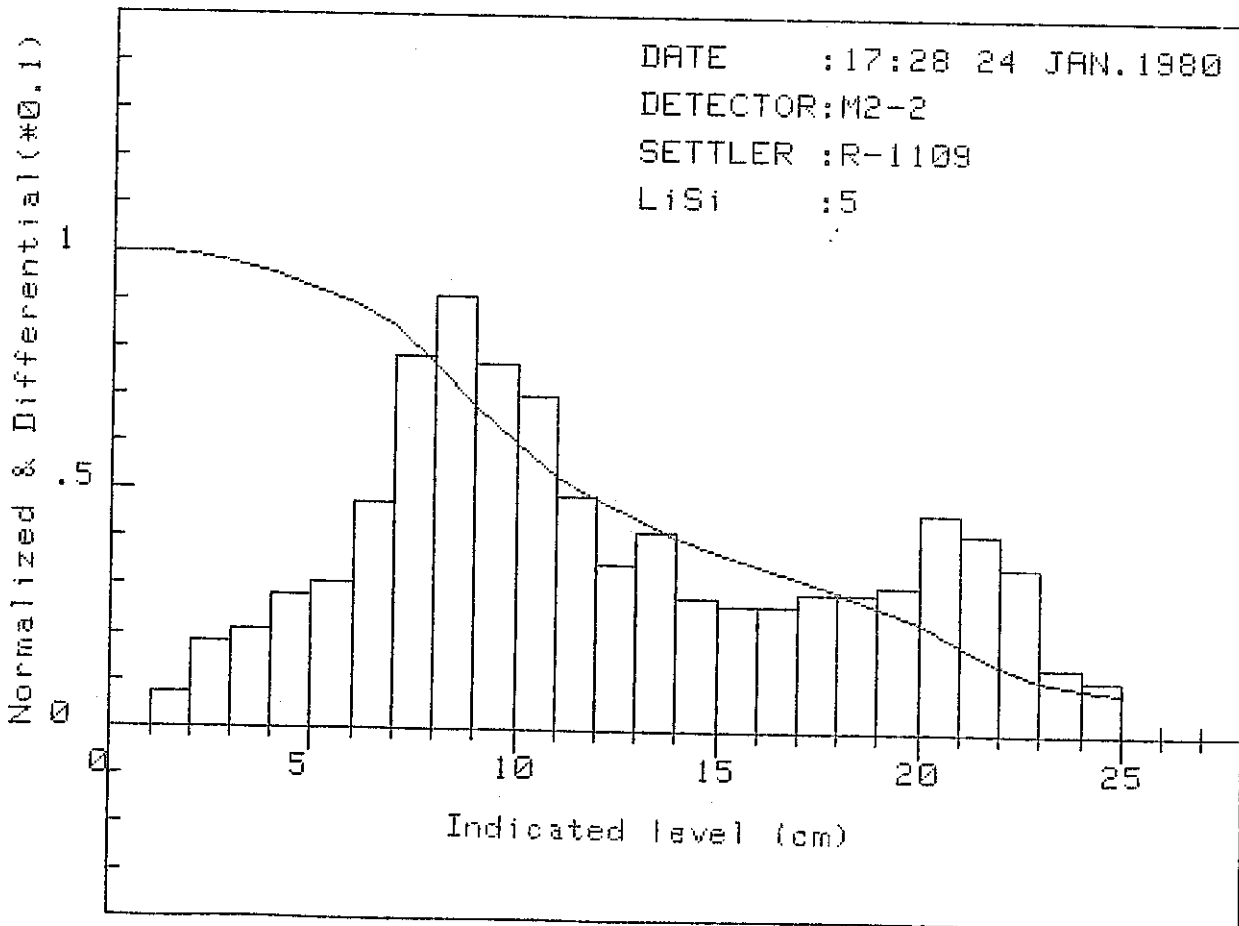


Fig.8-17 GAMMA RAY DISTRIBUTION (J)

*****DAISANSO MONITOR *****

DATE 14:53 25 JAN.1980
 DETECTOR M2-2
 SETTLER R-1109
 Lisi 5

*****OUTPUT*****

HEIGHT(cm)	CURRENT>(*E-9(A))	NORMALIZED	DIFFERENTIAL
0	6.15	1	.08130081301
1	5.65	.918699186992	.073170731707
2	5.2	.845528455285	.048780487805
3	4.9	.79674796748	.040650406504
4	4.65	.756097560976	.040650406504
5	4.4	.715447154472	.032520325204
6	4.2	.682926829268	.029268292683
7	4.02	.653658536585	.035772357723
8	3.8	.617886178862	.030894308943
9	3.61	.586991869919	.034146341464
10	3.4	.552845528455	.032520325203
11	3.2	.520325203252	.037398373984
12	2.97	.482926829268	.039024390244
13	2.73	.443902439024	.053658536585
14	2.4	.390243902439	.061788617886
15	2.02	.328455284553	.052032520325
16	1.7	.276422764228	.048780487805
17	1.4	.227642276423	.032520325203
18	1.2	.19512195122	.024390243903
19	1.05	.170731707317	.016260162602
20	.95	.154471544715	.0081300813
21	.9	.146341463415	.008130081301
22	.85	.138211382114	.004878048781
23	.82	.133333333333	0
24	.82	.133333333333	0
25	.82	.133333333333	0

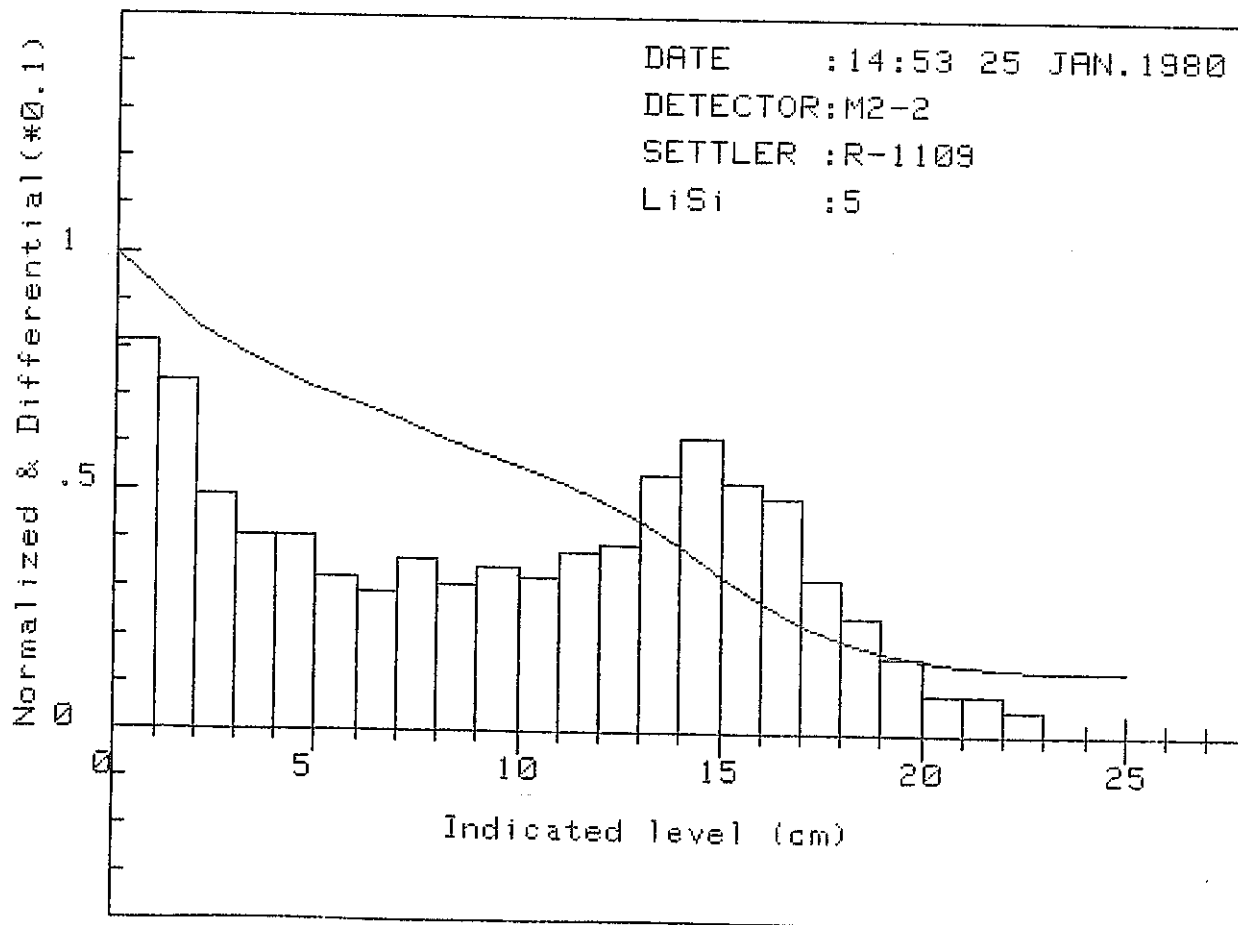


Fig.8-18 GAMMA RAY DISTRIBUTION (K)

*****DAISANSO MONITOR *****

DATE 15:45 27 JAN.1980
 DETECTOR M2-2
 SETTLER R-1109
 Lisi 6

*****OUTPUT*****

HEIGHT(cm)	CURRENT*(E-9(A))	NORMALIZED	DIFFERENTIAL
0	4.35	1	.02298850575
1	4.25	.977011494253	.022988505747
2	4.15	.954022988506	.027586206897
3	4.03	.926436781609	.029885057471
4	3.9	.896551724138	.029885057471
5	3.77	.866666666667	.034482758621
6	3.62	.832183908046	.027586206897
7	3.5	.804597701149	.027586206896
8	3.38	.777011494253	.027586206897
9	3.26	.749425287356	.027586206896
10	3.14	.72183908046	.032183908046
11	3	.689655172414	.022988505747
12	2.9	.666666666667	.032183908046
13	2.76	.634482758621	.032183908046
14	2.62	.602298850575	.027586206897
15	2.5	.574712643678	.034482758621
16	2.35	.540229885057	.027586206896
17	2.23	.512643678161	.029885057471
18	2.1	.48275862069	.03908045977
19	1.93	.44367816092	.052873563219
20	1.7	.390804597701	.068965517241
21	1.4	.32183908046	.080459770115
22	1.05	.241379310345	.041379310345
23	.87	.2	.020689655172
24	.78	.179310344828	.006896551725
25	.75	.172413793103	0

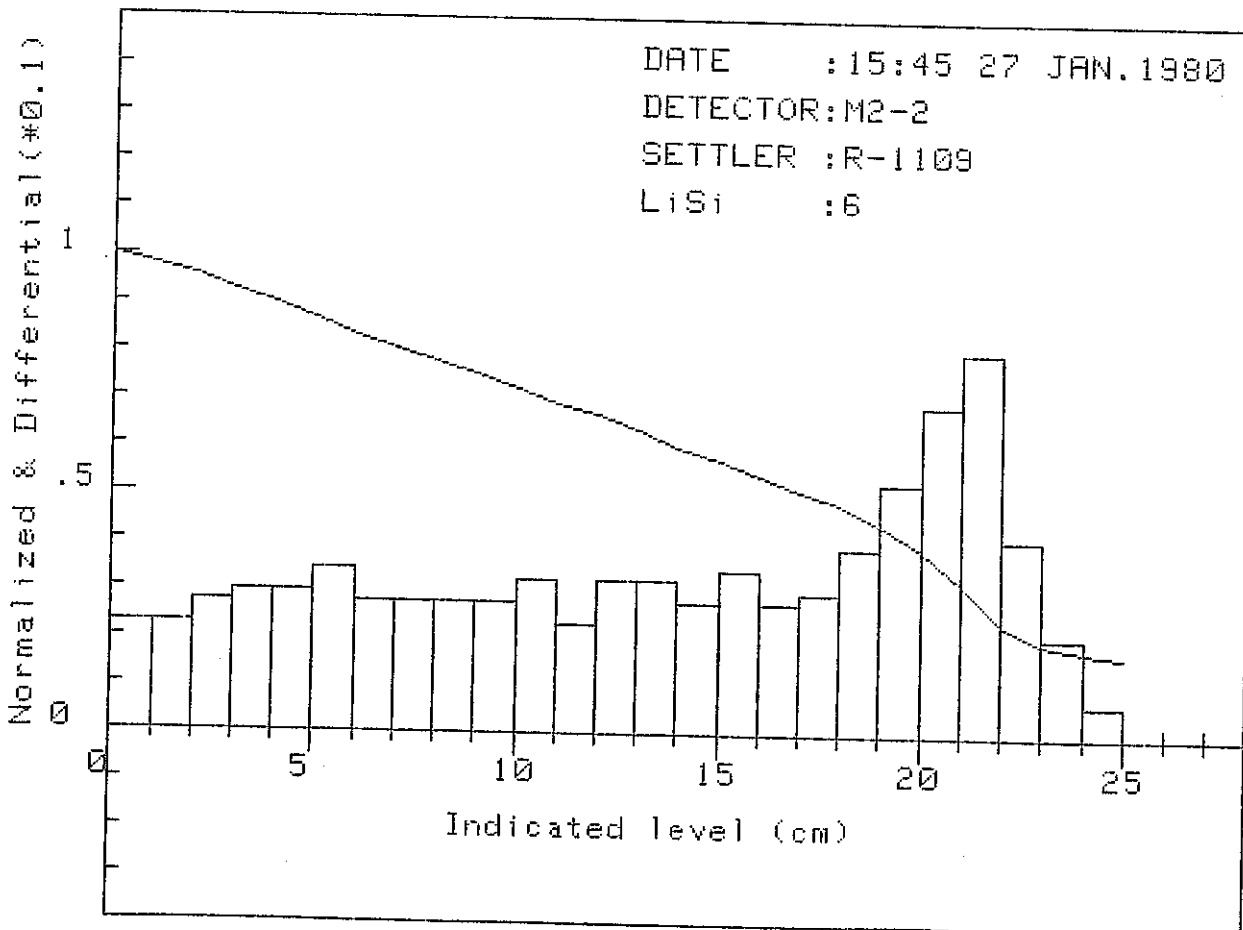


Fig.8-19 GAMMA RAY DISTRIBUTION (L)

*****DAISANSO MONITOR *****

DATE 15:58 30 JAN.1980
 DETECTOR M2-2
 SETRTLER R-1109
 LiSi 5

*****OUTPUT*****

HEIGHT(cm)	CURRENT>(*E-9(A))	NORMALIZED	DIFFERENTIAL
0	3.9	1	.02564102564
1	3.8	.974358974359	.025641025641
2	3.7	.948717948718	.020512820513
3	3.62	.928205128205	.017948717949
4	3.55	.910256410256	.01282051282
5	3.5	.897435897436	.012820512821
6	3.45	.884615384615	.025641025641
7	3.35	.858974358974	.015384615384
8	3.29	.84358974359	.017948717949
9	3.22	.825641025641	.023076923077
10	3.13	.802564102564	.020512820513
11	3.05	.782051282051	.01282051282
12	3	.769230769231	.020512820513
13	2.92	.748717948718	.023076923077
14	2.83	.725641025641	.025641025641
15	2.73	.7	.025641025641
16	2.63	.674358974359	.030769230769
17	2.51	.64358974359	.035897435898
18	2.37	.607692307692	.051282051282
19	2.17	.55641025641	.064102564102
20	1.92	.492307692308	.076923076923
21	1.62	.415384615385	.079487179488
22	1.31	.335897435897	.061538461538
23	1.07	.274358974359	.033333333333
24	.94	.241025641026	.017948717949
25	.87	.223076923077	0

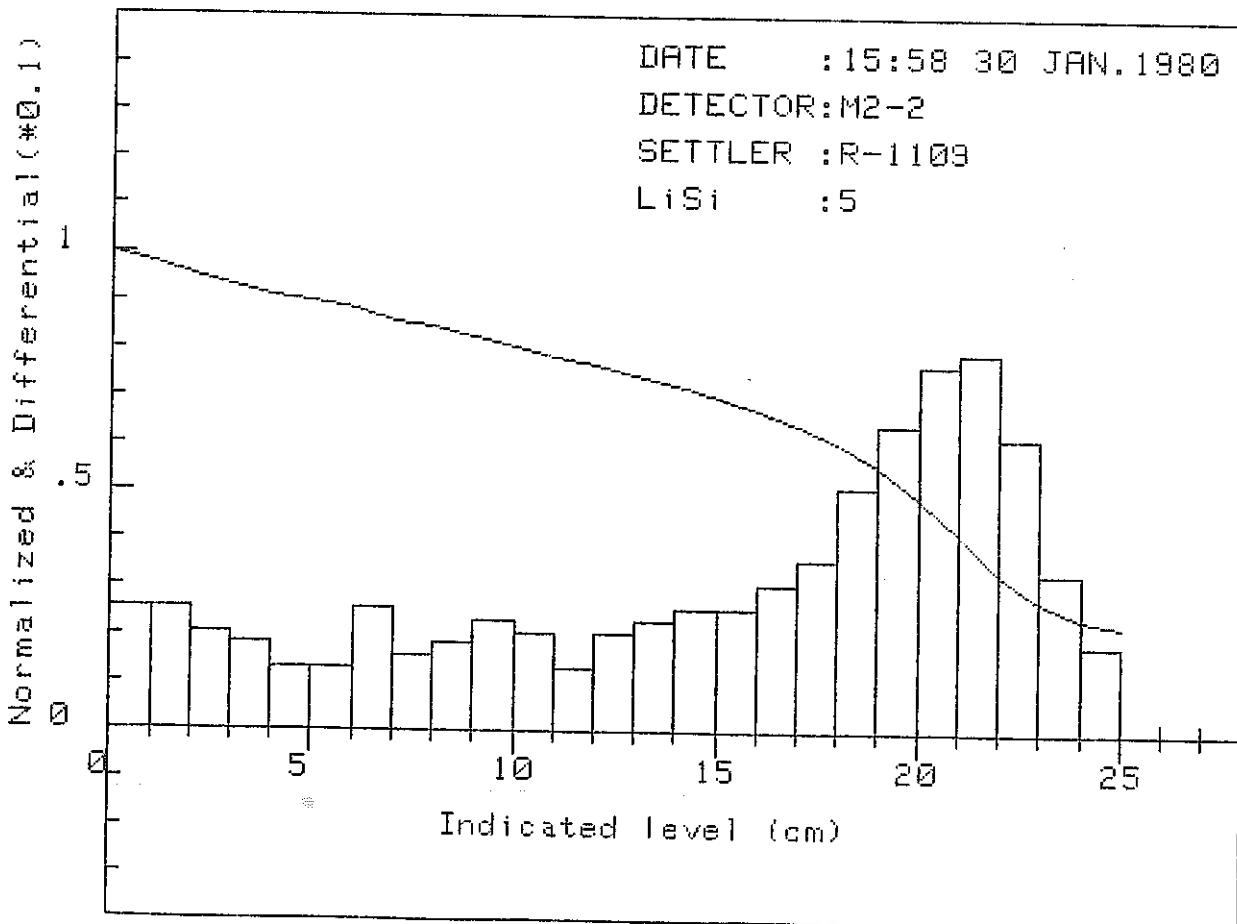


Fig.8-20 GAMMA RAY DISTRIBUTION (M)

*****DAISANSO MONITOR *****

DATE 10:42 22 JAN.1980
 DETECTOR M2-6
 SETTLER R-1107(kasetu)
 LiSi 3

*****OUTPUT*****

HEIGHT(cm)	CURRENT>(*E-9(A))	NORMALIZED	DIFFERENTIAL
0	4.38	1	0
1	4.38	1	0
2	4.3	.981735159817	.01826484018
3	4.15	.947488584475	.034246575342
4	3.82	.872146118721	.075342465754
5	3.5	.799086757991	.07305936073
6	3.2	.730593607306	.068493150685
7	2.98	.680365296804	.050228310502
8	2.75	.627853881279	.052511415525
9	2.5	.570776255708	.057077625571
10	2.2	.502283105023	.068493150685
11	1.75	.399543378995	.102739726028
12	1.45	.331050228311	.068493150684
13	1.38	.315068493151	.01598173516
14	1.14	.260273972603	.054794520548
15	1	.228310502283	.03196347032
16	.9	.205479452055	.022831050228
17	.8	.182648401826	.022831050229
18	.7	.159817351598	.022831050228
19	.65	.148401826484	.011415525114
20	.58	.132420091324	.01598173516
21	.5	.114155251142	.018264840182
22	.42	9.58904109589E-02	.018264840183
23	.36	8.21917808219E-02	.013698630137
24	.33	7.53424657534E-02	6.84931506850E-03
25	.3	6.84931506849E-02	6.84931506850E-03

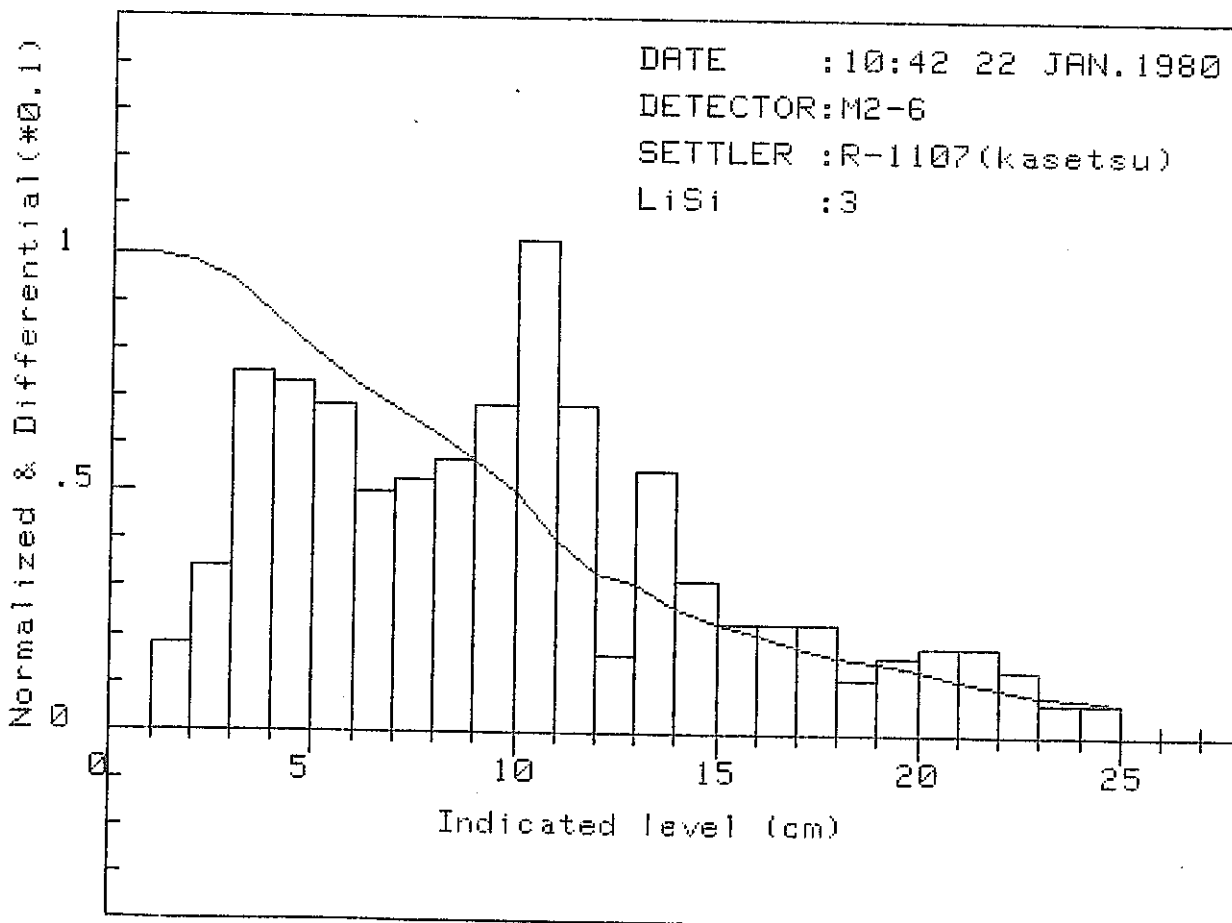


Fig.8-21 GAMMA RAY DISTRIBUTION (N)

DATE 16:42 30 JAN.1980
 DETECTOR M2-6
 SETRTLER R-1107(kasetu)
 LiSi 3

*****OUTPUT*****

HEIGHT(cm)	CURRENT>(*E-9(A))	NORMALIZED	DIFFERENTIAL
0	5.2	1	0
1	5.2	1	0
2	4.85	.932692307692	.06730769231
3	4.6	.884615384615	.048076923077
4	4.38	.842307692308	.042307692307
5	4.06	.780769230769	.061538461539
6	3.72	.715384615385	.065384615384
7	3.3	.634615384615	.08076923077
8	2.9	.557692307692	.076923076923
9	2.5	.480769230769	.057692307692
10	2.2	.423076923077	.044230769231
11	1.97	.378846153846	.036538461538
12	1.78	.342307692308	.034615384616
13	1.6	.307692307692	.023076923077
14	1.48	.284615384615	.025
15	1.35	.259615384615	.023076923077
16	1.23	.236538461538	.021153846153
17	1.12	.215384615385	.015384615385
18	1.04	.2	.017307692308
19	.95	.182692307692	.015384615384
20	.87	.167307692308	.023076923077
21	.75	.144230769231	.023076923077
22	.63	.121153846154	.015384615385
23	.55	.105769230769	.007692307692
24	.51	9.80769230769E-02	1.92307692310E-03
25	.5	9.61538461538E-02	0

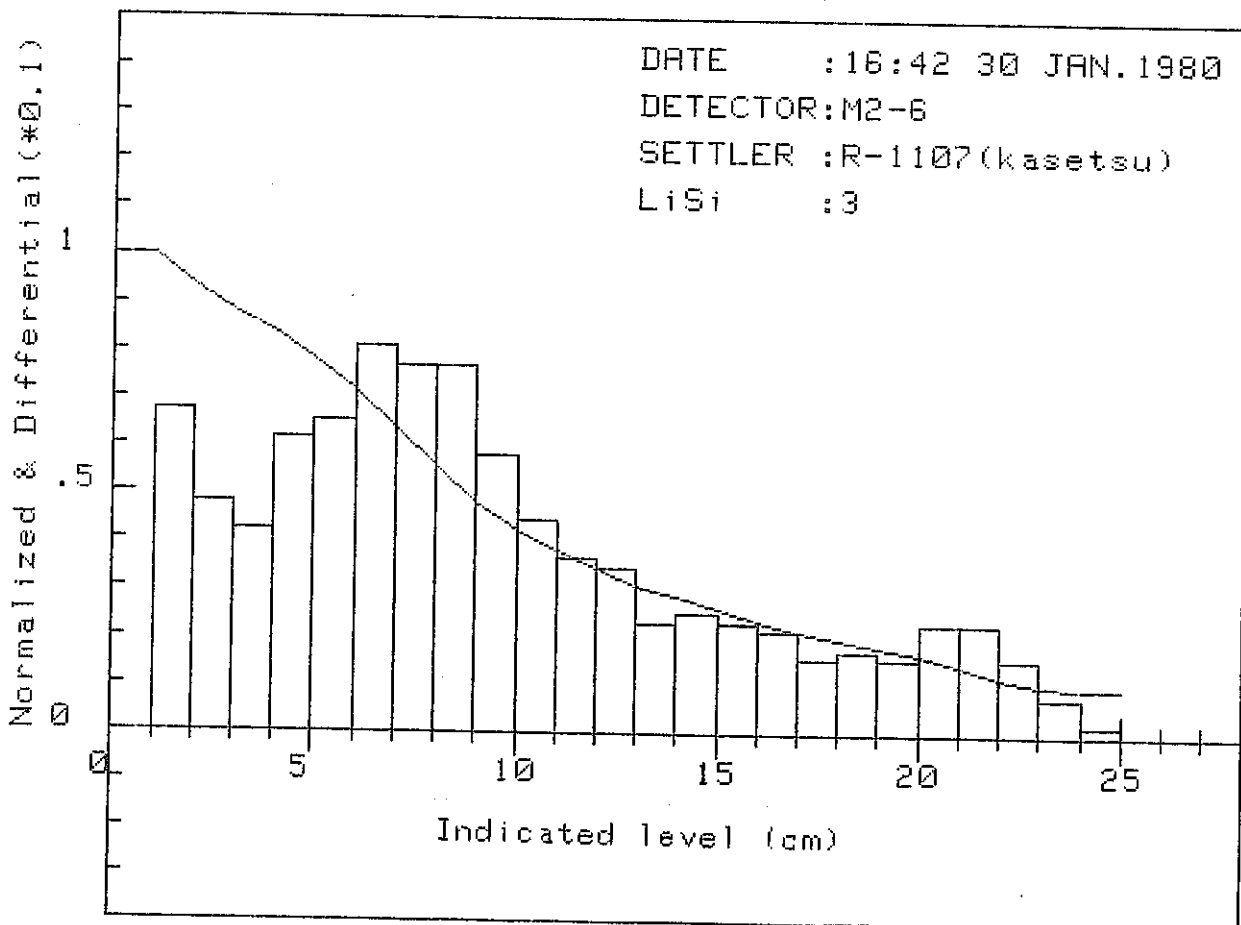


Fig.8-22 GAMMA RAY DISTRIBUTION (0)

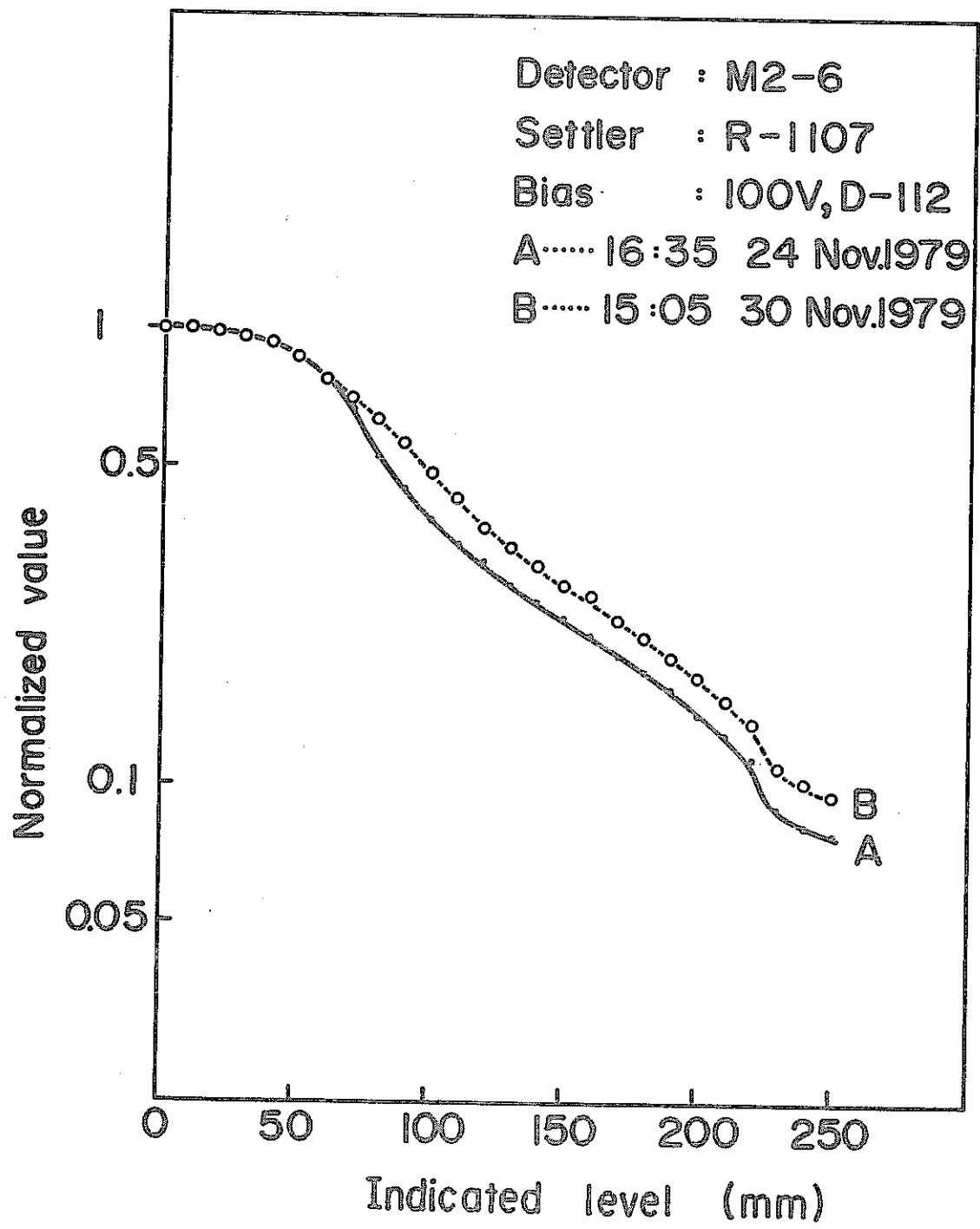


Fig.8-23 Comparison of gamma ray distribution in PGT campaign

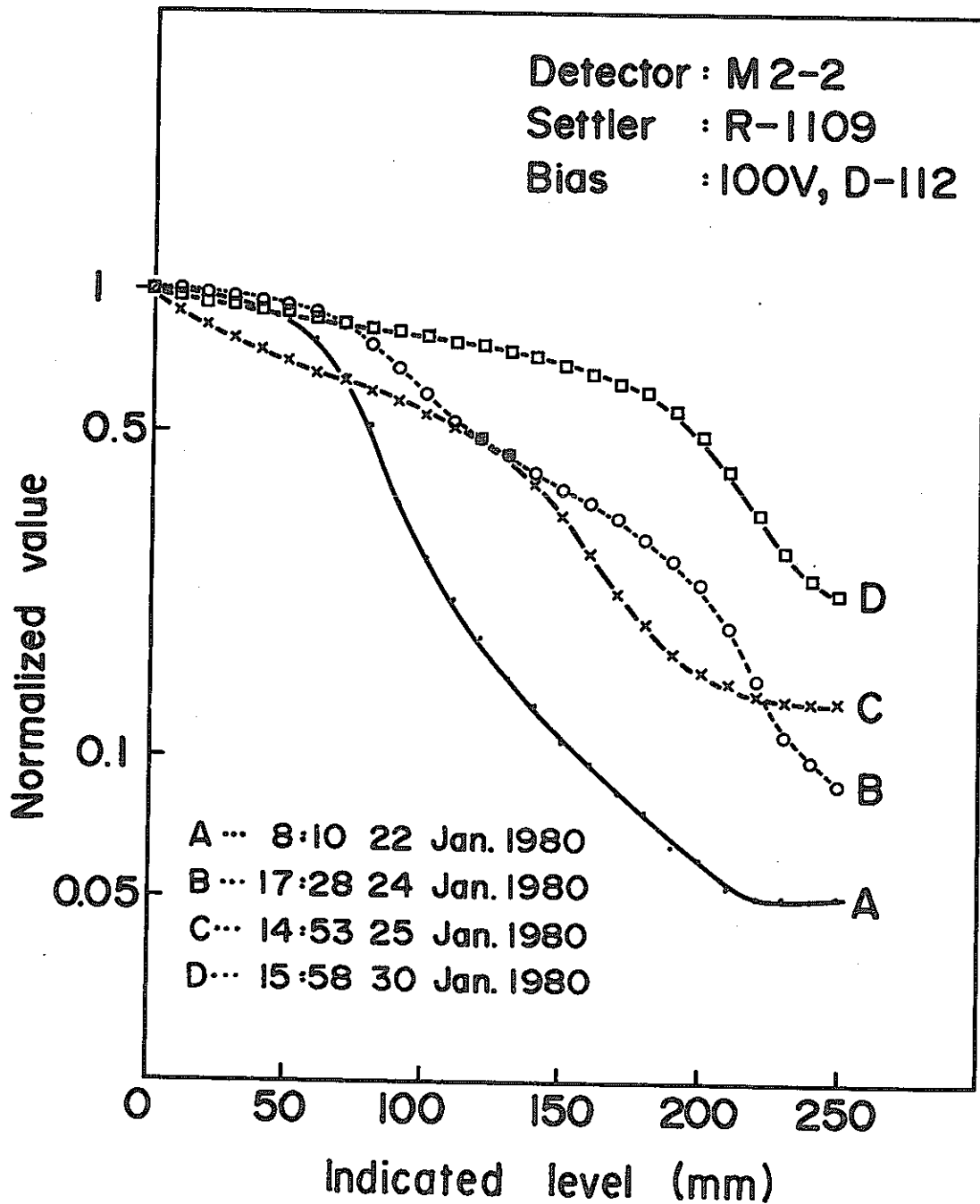


Fig.8-24 Comparison of gamma ray distribution in GTP campaign

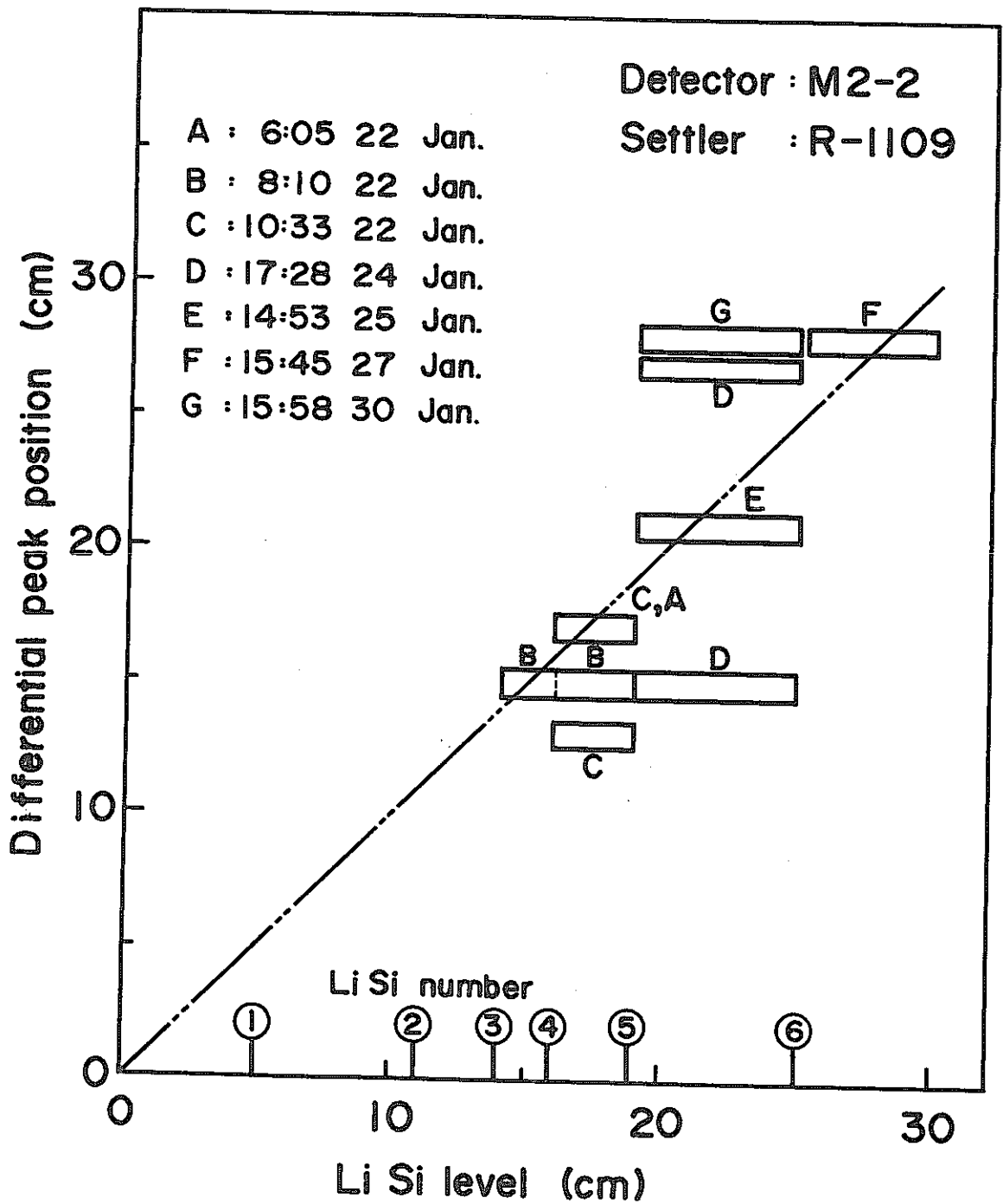


Fig. 8-25 Defferentiated peak characteristics

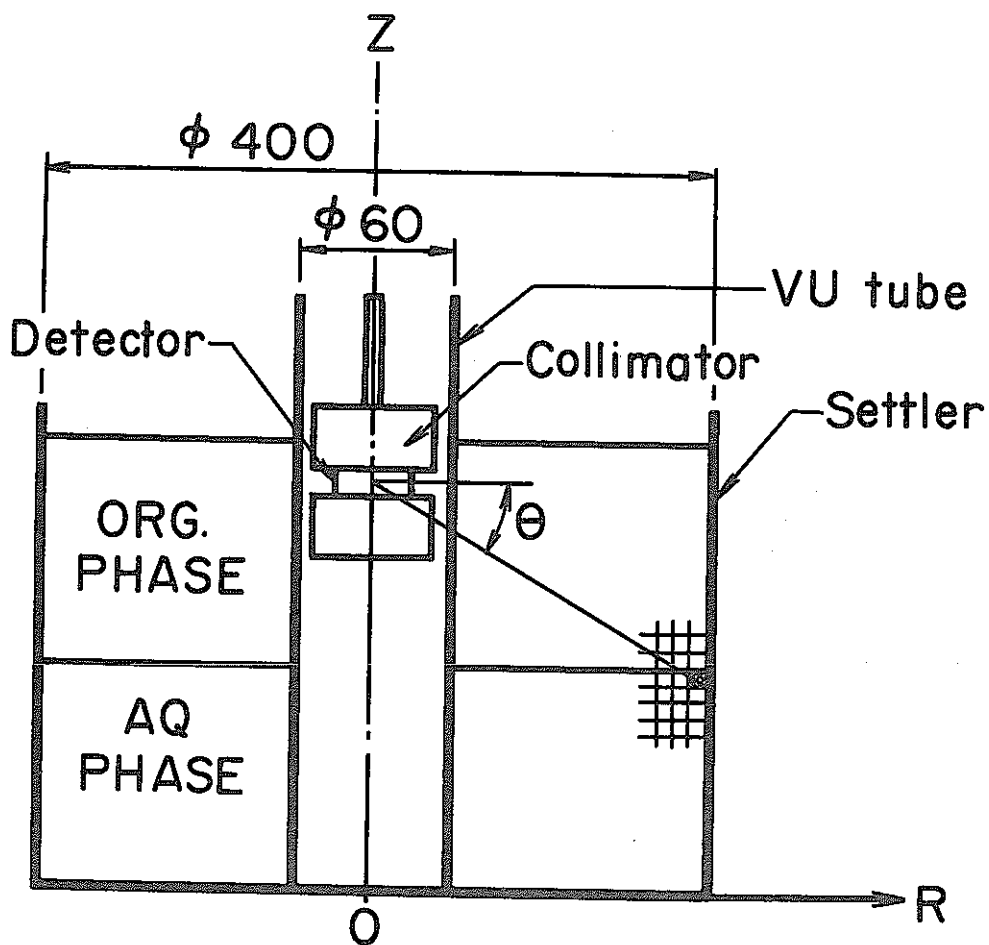


Fig.9-1 Schematic diagram of settler for computer simulation

Table 9-1 Flow chart of computer simulation

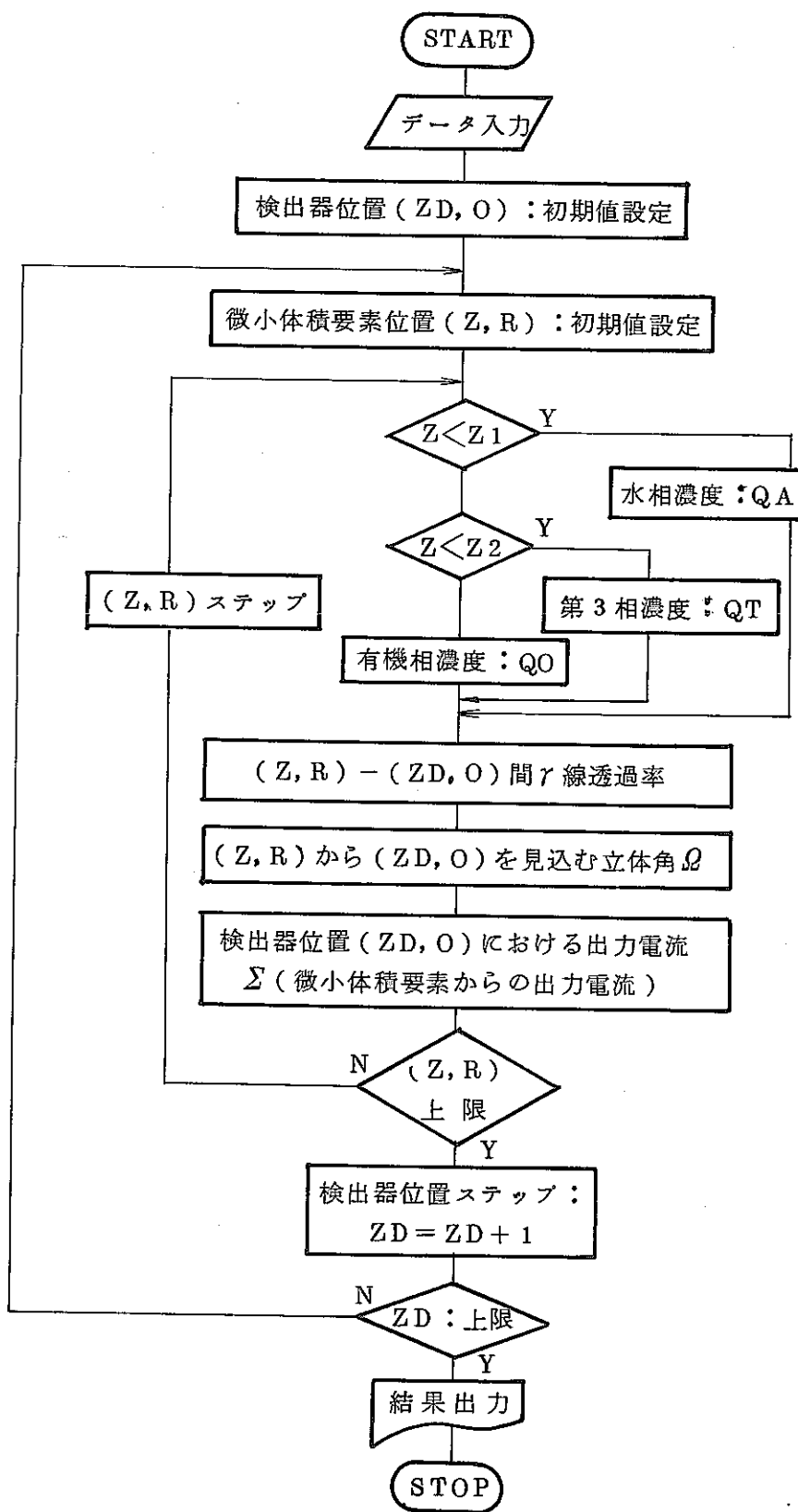


Table 9-2 Program list (A)

E835E.01 05-13-80 16,314

LABEL PAGE 1.

```

1      COMMON SIG(35)
2      DIMENSION PSIG(35),RNOR(35)
3      C  DETECTOR PRESSURE (ATM):
4      P=10.
5      CH---DETECTOR RADIUS, DEPTH---(CM)
6      999 READ(5,101) RD,DD
7      IF(RD,EQ,0.)STOP
8      CH---COLLIMATOR RADIUS,LENGTH OF LOWER AND UPPER --- (CM)
9      READ(5,102)RC,TCL,TCH
10     102 FORMAT(3F10.3)
11     C---- SHIELD MATERIAL (TUNGSTEN), ABSORPTION(CM**2/G), DENSITY----ENERGY I      S BELOW
12     READ (5,103) SHIELD,AW,DW
13     103 FORMAT(A8,2X,2F10.3)
14     C  LEVEL OF WATER, SANSO,ORGANIC (CM)
15     READ(5,102) ZWAT,ZSAN,ZORG
16     CI  FP DENSITY WAT ,SANSO, ORG (CI/CC)
17     READ(5,102)Q1,Q2,Q3.
18     101 FORMAT(2F10.3)
19     CI  SIG INITIAL SET
20     DO 251 I=1,35
21     SIG(I)=0.
22     PSIG(I)=0.
23     RNOR(I)=0.
24     251 CONTINUE
25     C  --- ENERGY OF FP --- (KEV)
26     READ(5,106)E
27     106 FORMAT(F10.3)
28     C  --- ABSORPTION COEFF. OF WAT. AND XENON (CM**2/G)
29     READ(5,101)AWAT,AXE
30     DWAT=1.
31     DXE=5.89E-3
32     CI  SAISHORISDI OKISA
33     RWATO=20.
34     RWATI=3.
35     RX=RWATI.
36     C  DET CENTER Z)
37     ZD=5.
38     DO 250 I=1,35
39     ZD=ZD+1.
40     C *** POSITION OF THE CORNER OF COLLIMATOR ***
41     ZCL=ZD-TCL-DD/2.
42     ZCM1=ZD-DD/2.
43     ZCM2=ZD+DD/2.
44     ZCU=ZD+TCH+DD/2.
45     CI  POINT OF DELTA V
46     DELTAR=1.
47     DELTAZ=0.2
48     R=RWATI+DELTAR/2.
49     Z=DELTAR/2.
50     Q=Q1
51     200 CONTINUE
52     CI  ANGLE OF (R,Z) TO DET CENTER
53     TETA=ATAN((ZD-Z)/R)
54     C  LENGTH FROM (R,Z) TO DET CENTER
55     AL=SQRT((ZD-Z)**2+R**2)
56     CI  LENGTH THROUGH WAT AND SHIELD
57     TETA=ATAN((ZD-ZCL)/RC)
58     TETAU=ATAN((ZD-ZCM1)/RC)

```

Table 9-2 Program list (B)

E835E 01. 05-13-80 16.314

LABEL PAGE 2.

```

59      TETATC=TETAU'
60      TETASC=TETAL
61      IF(TETA.GT.TETAL) GOTO10
62      IF((TETA.LE.TETAL).AND.(TETA.GT.TETAU))GOTO20
63      IF((TETA.LE.TETAU).AND.(TETA.GT.TETAT))GOTO30
64      IF((TETA.LE.TETAT).AND.(TETA.GT.TETAS))GOTO40
65      IF(TETA.LE.TETAS)GOTO50
66      10  ALCOL=SQRT((ZCL-ZCM1)**2+((ZCL-ZCM1)*R/(Z-ZD))**2)
67      ALWAT=SQRT((R-RX)**2+(Z-(Z-ZD)*RX/R-ZD)**2)
68      GOTO50
69      20  ALCOL=SQRT(((Z-ZD)*RC/R+ZD-ZCM1)**2+(RC-(ZCM1-ZD)*R/(Z-ZD))**2)
70      ALWAT=SQRT((R-RX)**2+(Z-(Z-ZD)*RX/R-ZD)**2)
71      GOTO50
72      30  ALCOL=D.
73      ALWAT=SQRT((R-RX)**2+(Z-(Z-ZD)*RX/R-ZD)**2)
74      GOTO50
75      40  ALCOL=SQRT(((Z-ZD)*RC/R+ZD-ZCM1)**2+(RC-(ZCM1-ZD)*R/(Z-ZD))**2)
76      ALWAT=SQRT((R-RX)**2+(Z-(Z-ZD)*RX/R-ZD)**2)
77      GOTO50
78      60  ALCOL=SQRT((ZCL-ZCM1)**2+((ZCL-ZCM1)*R/(Z-ZD))**2)
79      ALWAT=SQRT((R-RX)**2+(Z-(Z-ZD)*RX/R-ZD)**2)
80      50  CONTINUE
81      IF(ZD.GT.ZORG)GOTO700
82      GOTO701.
83      C1  *** RECALCULATE ALWAT ***
84      700 TETATH=ATAN((ZD-ZORG)/RX)
85      IF(TETA.GT.TETATH)GOTO701.
86      ALWAT=SQRT((Z-ZORG)**2+(R-(ZORG-ZD)*R/(Z-ZD))**2)
87      701 CONTINUE
88      C  RITTAIKAKU
89      IF(ABS(TETA).GT.ATAN(DD/2./RD))SD=3.1416*RD*RD*SIN(TETA)
90      IF(ABS(TETA).GT.ATAN(DD/2./RD))DL=DD/SIN(TETA)
91      IF(ABS(TETA).LE.ATAN(DD/2./RD))SD=2.*RD*DD*COS(TETA)
92      IF(ABS(TETA).LE.ATAN(DD/2./RD))DL=2.*RD/COS(TETA)
93      OMEG=SD/4./3.1416/AL/AL
94      C  ABSORB BY WAT AND SHIELD
95      EFF=EXP(-AWAT*WAT*ALWAT)*EXP(-AW*DW*ALCOL)
96      C1  INTEGRAL OF DELTA V
97      V=2.*3.1416*RD*DELTAR*DELTAZ
98      C  ABS BY XE
99      SIG(I)=SIG(I)+Q*3.7E10*OMEG*EFF*(1.-EXP(-AXE*DXE*DL*P))*V*
100     1E/0.022*1.6E-19
101     IF((TETA.LE.TETAU).AND.(TETA.GT.TETAT))GOTO500
102     GOTO501
103     500 PSIG(I)=PSIG(I)+Q*3.7E10*OMEG*EFF*(1.-EXP(-AXE*DXE*DL*P))*V*
104     1E/0.022*1.6E-19
105     501 CONTINUE
106     C  (R,Z) STEP
107     Z=Z+DELTAZ
108     IF(Z.LE.ZWAT)GOTO200
109     Q=Q2
110     IF(Z.LE.ZSAN)GOTO200
111     Q=Q3
112     IF(Z.LE.ZORG)GOTO200
113     Z=DELTAZ/2.
114     R=R+DELTAR
115     Q=Q1
116     IF(R.LE.RWAT) GOTO200

```


Table 9-2 Program list (C)

E835E 01. 05-13-80 16.314

LABEL PAGE 3

```

117      IF(I.EQ.1) GOTO 400
118      GOTO 450
119      400 SSIG=SIG(I)
120      450 RNOR(I)=SIG(I)/SSIG+RNOR(I)
121      250 CONTINUE
122      C *****OUTPUT *****
123      WRITE(6,170)
124      170 FORMAT(1H1,10(1H*),2X,35HREPROCESSING MONITOR OUTPUT CURRENT )
125      WRITE(6,159)
126      159 FORMAT(1H0,25HLEVEL FROM SETTLER BOTTOM)
127      WRITE(6,160) ZWAT,ZSAN,ZORG
128      160 FORMAT(1H0,5X,5HZWAT=,F10.3,5HZSAN=,F10.3,5HZORG=,F10.3,4H(CM))
129      WRITE(6,171)
130      171. FORMAT(1H0,35HGAMMA ACTIVITY IN REPROCESSING TANK)
131      WRITE(6,156)Q1,Q2,Q3
132      155 FORMAT(1H0,5X,4HQ1= ,1PE10.3,4HQ2= ,1PE10.3,4HQ3= ,1PE10.3,7H(CI/C
133      1C))
134      156 FORMAT(1H0,5X,18HDETECTOR DIMENSION//5X,5HRAD= ,F10.3,4H(CM),
135      15X,5HDEP= ,F10.3,4H(CM))
136      WRITE(6,157)E
137      WRITE(6,156) R,D,DDI
138      WRITE(6,172) SHIELD,RC,TCL,TCH
139      172. FORMAT(1H0,5X,23HCOLLIMATOR MATERIAL IS ,A8//5X,4HRAD=,F10.3,
140      14H(CM),5X,16HLENGTH (LOWER) =,F10.3,4H(CM),5X,
141      3,
142      2F10.3)
143      157 FORMAT(1H0,15HPHOTON ENERGY =,F10.3,5H(KEV))
144      WRITE(6,150)
145      DO 253 I=1,35
146      IZD=5+I
147      WRITE(6,151) IZD,SIG(I),PSIG(I),RNOR(I)
148      253. CONTINUE
149      151. FORMAT(1H ,110,10X,1P8E10.3)
150      150 FORMAT(1H0,10X,36HDETECTOR POSITION AND OUTPUT CURRENT/1H0,
151      13X,7HZD (CM),11X,7HTOT (A),3X,7HSIG (A),3X,7HNOR (A))
152      CALL PLJIT
153      GOTO999
154      END

```

***** 1470 EQUALITY OR NON-EQUALITY COMPARISON MAY NOT BE MEANINGFUL IN LOGICAL IF EXPRESSIONS
***** 7 MEMORY EXPANDED. USE YLIMITS OR CORE= OPTION FOR NEXT RUN.
THERE WERE 2 DIAGNOSTICS IN ABOVE COMPILATION
30K WORDS WERE USED FOR THIS COMPILATION

Table 9-3 Symbol of parameter

AL	.....	settler 底から水相上面までのレベル
TL	.....	" 第3相 "
OL	.....	" 有機相 "
TW	.....	第3相の幅
QA	.....	水相のFP濃度
QT	.....	第3相 "
QO	.....	有機相 "
E	.....	FPエネルギー
DEP	.....	コリメータスリット (=検出器有感部幅)
DR	.....	検出器有感部半径
CR	.....	コリメータ半径
CL	.....	コリメータ長さ
* SR	.....	settler 半径
*VUR	.....	VU tube 半径

* は必ずしもパラメータとして変化するものではない

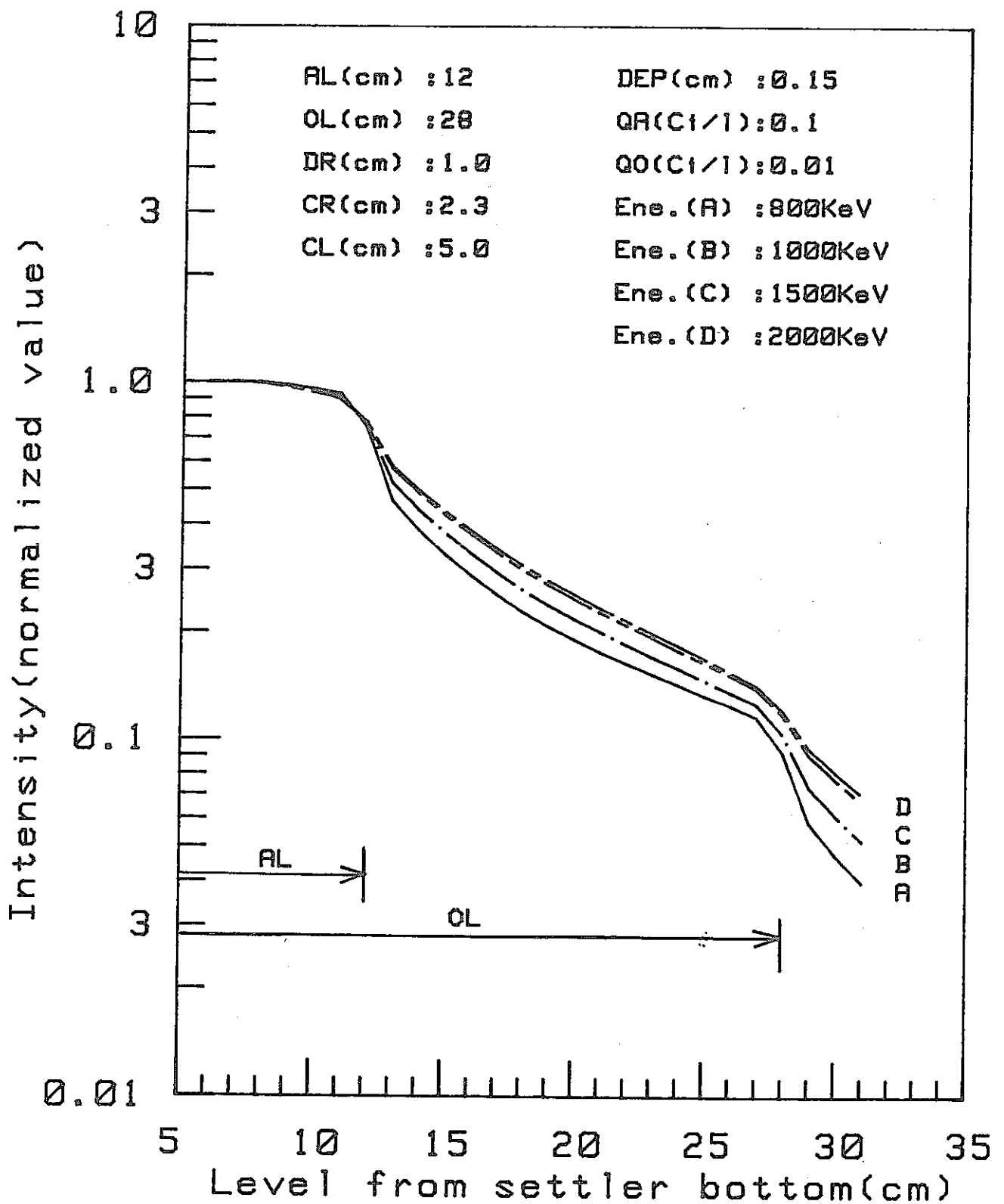


Fig.9-2 Calculated gamma ray distribution for different energy

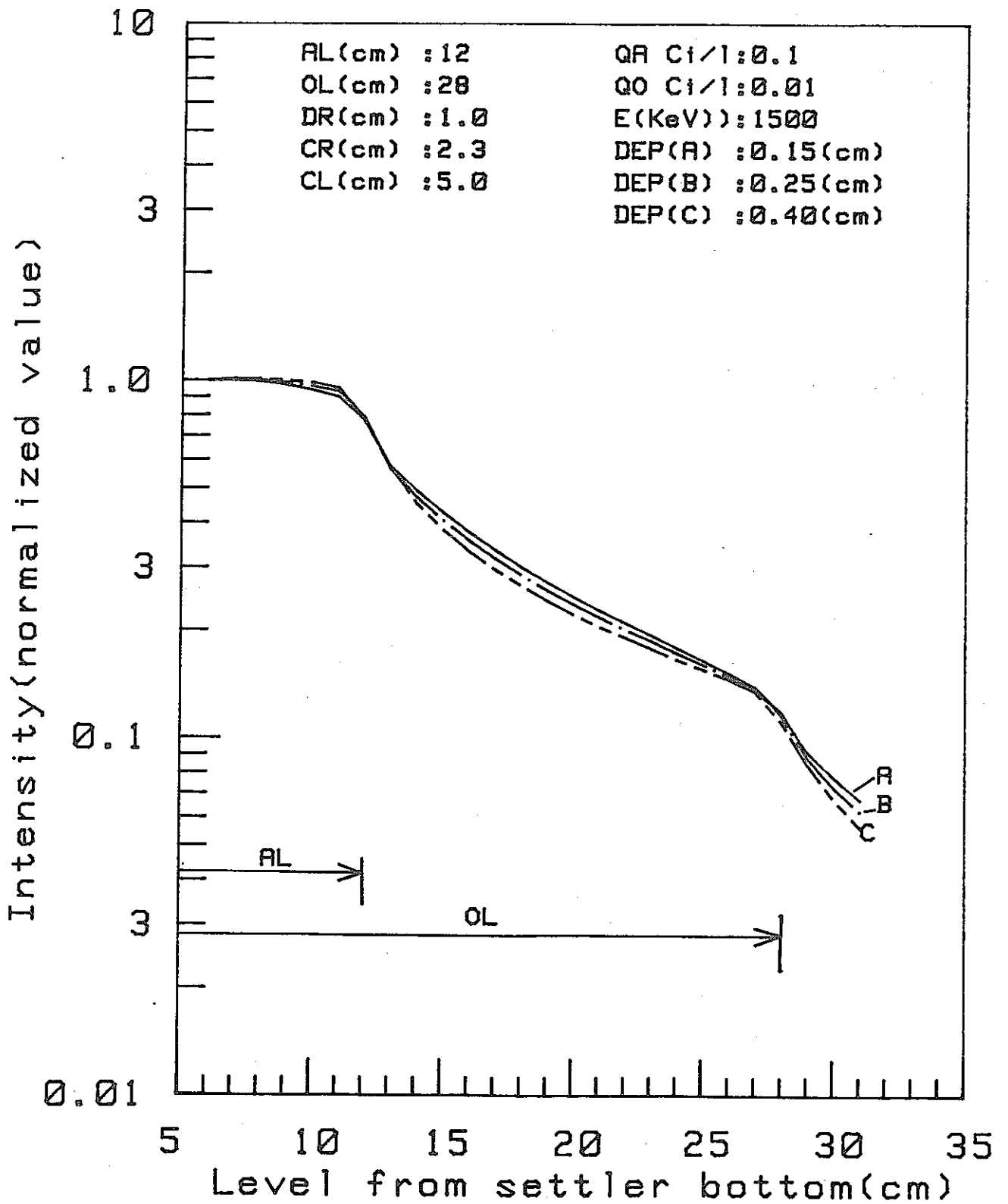


Fig.9-3 Calculated gamma ray distribution for different collimator slit width

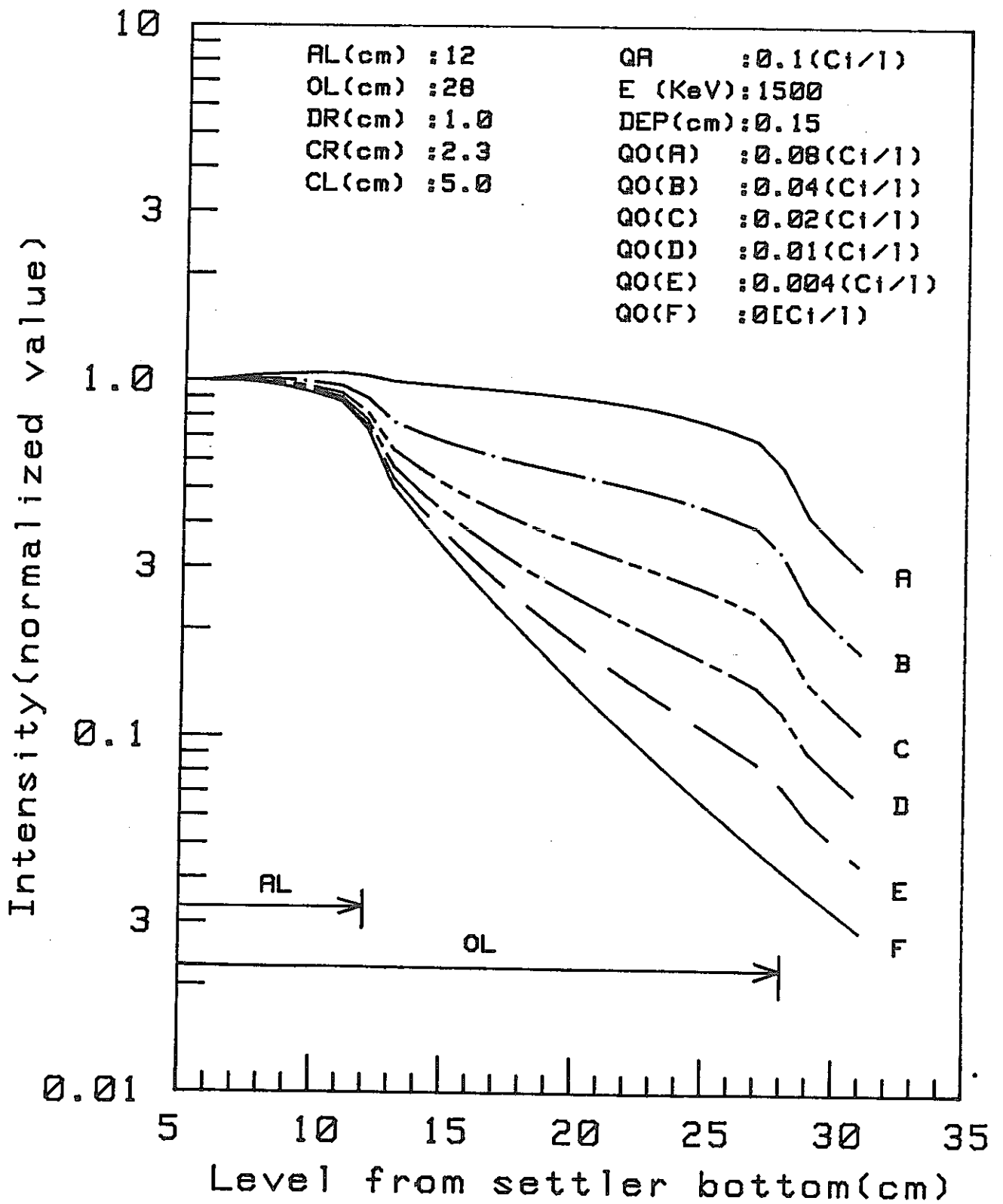


Fig.9-4 Calculated gamma ray distribution for different FP density

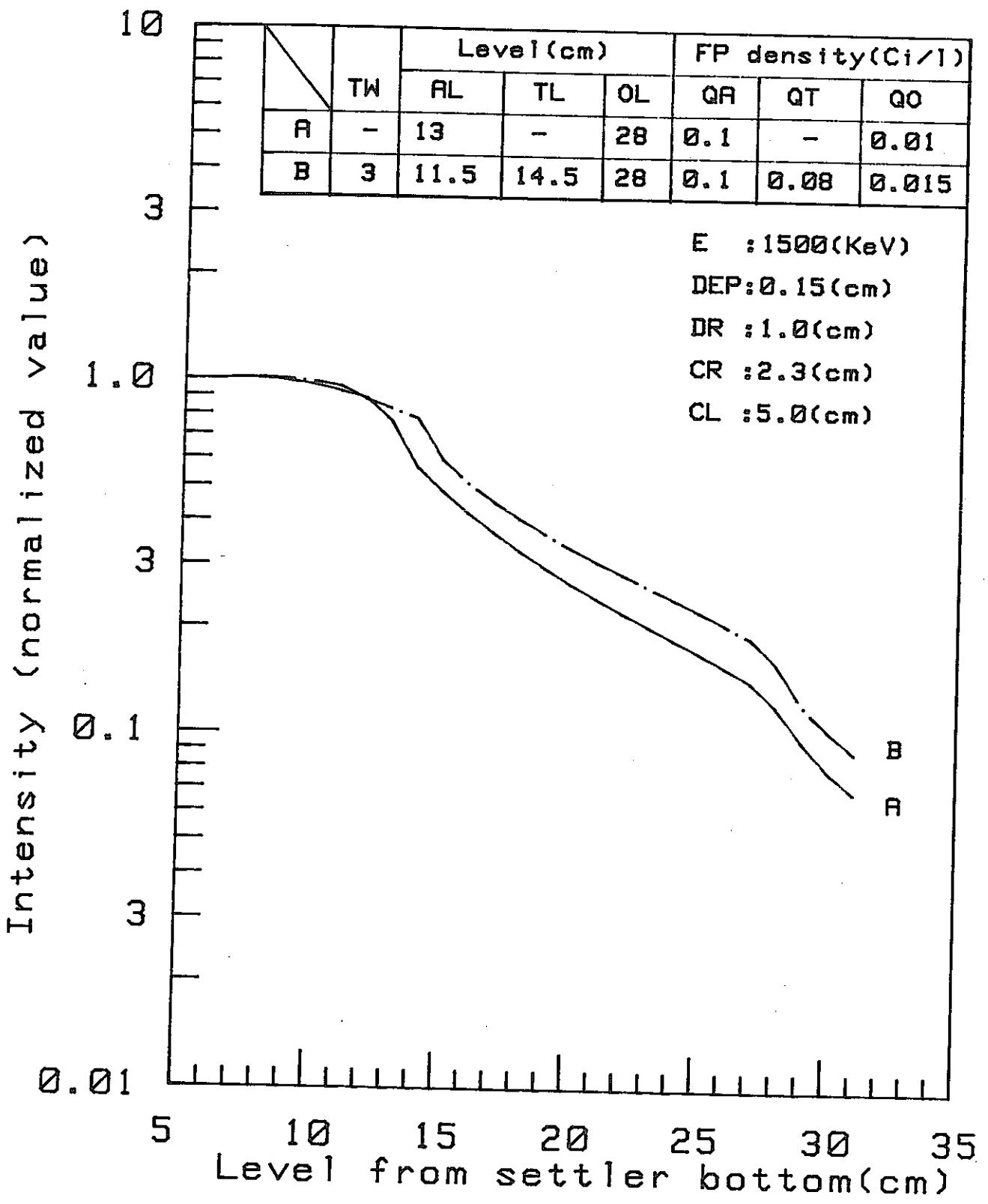


Fig.9-5 Calculated gamma ray distribution (PGT campaign)

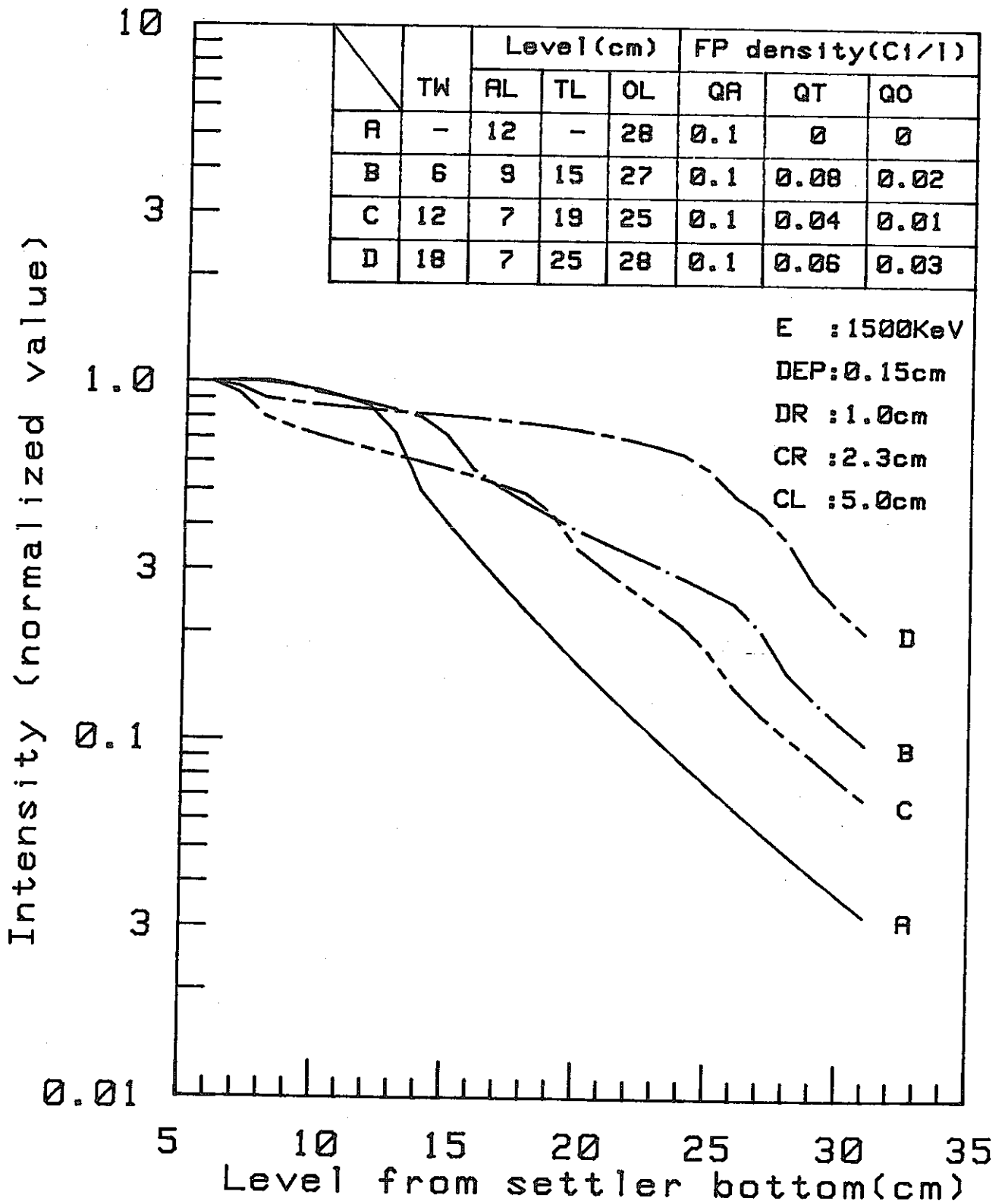


Fig.9-6 Calculated gamma ray distribution (GTP campaign)