



Title	高エネルギー放射線測定用CdS線量計の試作
Author(s)	藤田, 恒治; 佐久間, 貞行
Citation	日本医学放射線学会雑誌. 1970, 30(6), p. 525-531
Version Type	VoR
URL	https://hdl.handle.net/11094/18555
rights	
Note	

The University of Osaka Institutional Knowledge Archive : OUKA

<https://ir.library.osaka-u.ac.jp/>

The University of Osaka

高エネルギー放射線測定用 CdS 線量計の試作

名古屋大学医学部放射線医学教室 (主任：高橋信次教授)

藤田恒治，佐久間貞行

(昭和45年2月27日受付)

A Trial Manufacture of CdS Dosimeter for High Energy Radiation

By

Tsuneharu Fujita and Sadayuki Sakuma

Department of Radiology, Nagoya University School of Medicine, Nagoya

(Director: Prof. S. Takahashi)

A small cadmium sulfide photoconductive cell of 5 mm in diameter was constructed with a transistor and IC circuit, and was examined whether or not, that could be applicable to the measurement of the high energy radiation, the electron beam as well as that of the gamma radiation. It reached the conclusion that the CdS dosimeter will be useful as a high energy radiation detector which is characterized by rapid response time, good reproducibility, high sensitivity, a small size, low cost, low power consumption and extreme ruggedness. A transit dose was also measured with this dosimeter for ^{60}Co radiation. Comparable good result was obtained to the Radocon rate-meter.

緒言

放射線治療を行なっている際に、射出線量を測定して、これから線量の線量分布を推測しようとする、極めて多数の線量計を必要とする。そこで、この目的のためには、在来の電離槽型に比べて安価で、且つ小型、軽量の線量計が望ましい。硫化カドミウム (CdS) 線量計もその条件にかなう一つとして挙げ得ると思われる。これまでにみられる多くの報告は、結晶型 CdS 素子が使われているが、今回は市販のより安価で且つ小型の焼結型クシ型 CdS 素子を用い、更にその感度をよくするため、蛍光体を装着した CdS 線量計を試作した。これが実用に供しうるかどうかを知ろうと実験を行なった。

実験方法

(1) CdS 線量計の試作

CdS 検出器としては焼結形クシ形硫化カドミウム素子 (ミツミ社製、2PK61)⁸⁾を用い増感

素子としては蛍光体 (極光) を附加した。第1図は本実験の説明図で CdS セルには 12~20V の負電圧を与え、信号増幅器は増幅率 100 のトランジスタ 4 個よりなる差動直流増幅器である。この回路中の可変抵抗器によつて零点調整、出力調整を行なっている。信号増幅器の出力を演算増幅器¹³⁾¹⁴⁾ (I.C., HA1303M) 使用のアナログ計算器) によつて所定の時間積算させ、保持モードによる数値記憶の結果をトランジスター電圧計 (ナショナル製 VP-916A) にて測定し積算線量計として使用すると同時に多ペンレコーダー (理化電機製 B-34型) に記録させた。別に真空管電圧計 (東芝 ST-1349A) にて信号増幅器の出力を測定し線量率計として使用し、線量率を読みとると同時に記録した。

(2) 種々の特性試験

この自作 CdS 線量計を用いて ^{60}Co 治療装置 (島津 RT-2000) にて応答特性、指向性、感

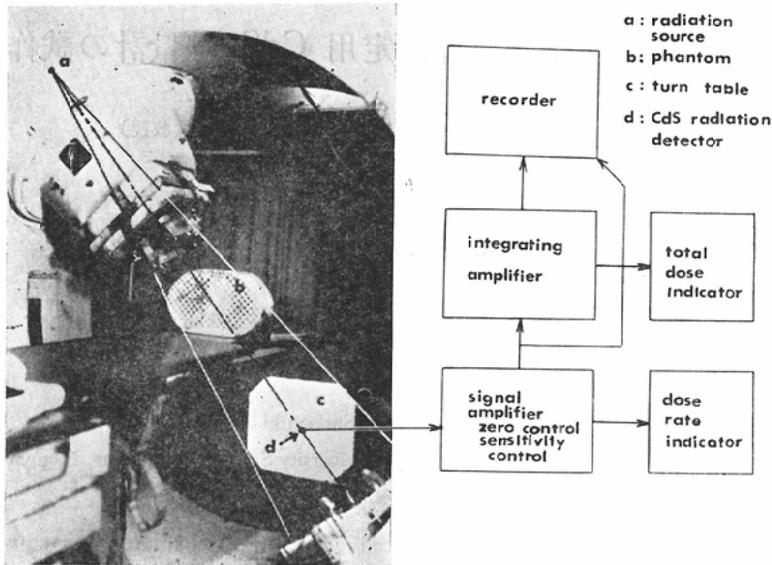


Fig. 1. Blockdiagram of the experimental unit (right) and the actual procedure (left) with ^{60}Co rotation therapy. The CdS detector located at the turn table under the therapy couch is connected to the signal amplifier with more than 10 meter long cable.

度、距離自乗則等を調べ、一方東芝 LMR-13、ライナックにて線量測定を行ない、X線、電子線による直線性、線質依存性について調べ、このとき同時にラドコン線量計 (Model 575, No. 606) を用いて測定しその結果と比較検討した。

(3) 全廻転照射における線量分布への応用

第1図写真に示す如く、寝台の上に胸部ファントム (肺組織はコルクにて模倣してある。) をのせ、線巢横断撮影装置のフィルム取付枠の位置にて発泡スチロールの中に CdS 検出器を埋め込み、廻転中心を通る X、Y 軸座標軸上に CdS 検出器を 1 cm 間隔に移動させ、それぞれの位置にて 360 度全廻転させたときの積分器の出力を記録し、従来の線巢横断撮影法¹⁷⁾²²⁾⁻²⁵⁾²⁵⁾、およびファントム内の小線量計によるポイント測定による線量分布との比較を行なった。ポイント測定に使用した小線量計はビクトリンの γ -meter (Model 570, No. 621) である。

実験結果

1) 試作する CdS 線量計の応答特性

CdS 線量計とラドコンとの応答特性の比較を行なった結果は CdS 検出器に γ 線を照射した場合直ちにその線量に対応した電流が流れない。また γ 線を遮蔽した場合もある程度の遅れをもつて零点に復帰する。この実験で使用した CdS では約 3 ~ 4 分ではほぼ一定電流量に達した。また 5 回繰返し測定した結果について、2 分後の出力の 63.2% の立ち上り時間をとつた場合、 ^{60}Co γ 線で 43 R/min では 12.8 ± 1.8 (秒)、30 R/min では 13.2 ± 0.84 (秒) であつた。線量率によつて応答特性は異なるが再現性は良好である。

2) 演算増幅器を含む全回路の特性

第2図は ^{60}Co γ 線を 2 分間、固定照射した時の記録例である。線量率 (信号増幅器の出力) B によつて CdS 検出器には特有の時定数のあることがわかるが、総線量 (積分器の出力) A は直線性の極めてよい特性を示している。

3) 方向依存性

CdS 検出器の長軸および短軸に直角方向について指向性を調べた結果、両者ともに $\pm 4\%$ であ

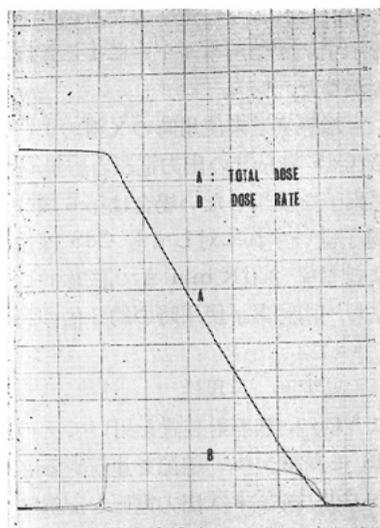


Fig. 2. Integral dose curve (A) obtained by integration of the value from dose rate meter (B) shows linearity with progress of time.

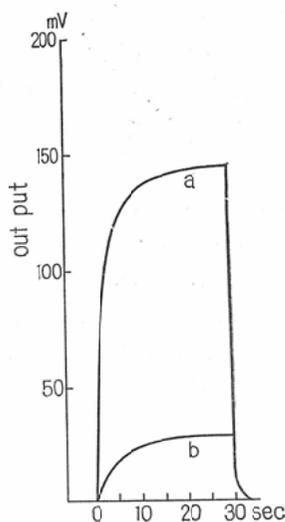


Fig. 3. Sensitivity curves of CdS cell. Curve a shows the measurement by CdS cell with fluorescent substances, while curve b shows that by CdS only.

つた。

4) 再現性

^{60}Co γ 線を5回繰返し固定照射し2分後の出力を測定した結果、 $95.0 \pm 1.14\text{mV}$ であった。(照射野は $10 \times 10\text{cm}^2$ 、線量率 30R/min.)。この標準偏差は 43R/min. の場合も 1.14 であった。再現性は線量率に依存せず良好といえる。

5) 感度

第3図aはCdSセルに増感素子としての蛍光物質を附加するとき、bは増感素子を使用しないときの線量率計としての記録である。増感素子を附加すれば感度を5~6倍増加せしめることが可能である。

6) CdSセルのばらつきとその補正

市販の同種のCdSセル5個を選び出し、他の測定条件は一定にしてCdS検出器のみをとりかえてその出力を記録した。その結果ばらつきがみられた。No.3とNo.4はほぼ同一の特性を示す。CdSセルのばらつきはできるだけ小さい方が望ましいのであるが、理想的に同一の特性のCdSは実際製作上困難であろう。しかし信号増幅器の出力側に可変抵抗器を挿入、その出力を4段階について記録した。その結果CdS個々のばらつき

は出力側にて容易に調整することができる。

7) γ 線量と電流量の関係

線源 $1,000\text{Ci}$ の ^{60}Co 治療装置を用いてCdS線量計にて距離自乗則が成り立つかどうかの実験を行なった。

増感素子を附加するCdSセルにて距離自乗則を満足させえた。

8) X線に対するエネルギー依存性

CdSセルに増感素子を附加しライナックX線

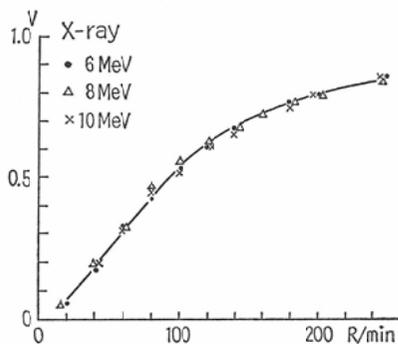


Fig. 4. Dependability of CdS detector for quality of X-ray. Liniarity of curves is seen up to 120R/min.

にて 6 MeV, 8 MeV, 10 MeV と各々エネルギーを変え, 焦点 CdS 検出器間距離 100cmにて CdS 線量計の出力電圧と, 同時にラドコン線量計にて標準線量を測定した。(第4図) 図のように 120 R/min までは線量率と出力電圧の間には直線的な比例関係が成り立つ。それより線量率大なる範囲では対数的に増加する。しかも実験の範囲のエネルギーによる差は殆どない。

9) 電子線に対するエネルギー依存性

同様の実験条件にて 8 MeV, 10 MeV 電子線につき測定した。(第5図) X線と同様に 120 R/min までは出力電圧と線量率とは直線的な比例関係

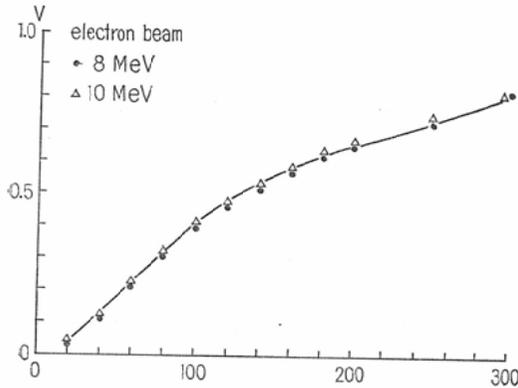


Fig. 5. Dependability of CdS detector to electron beam. Output lays almost on a straight line up to 120 R/min.

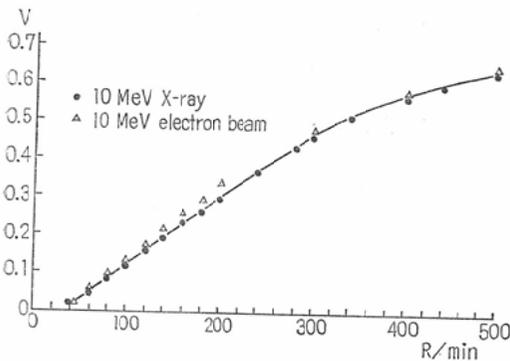


Fig. 6. Relationship between the reading of CdS dosimeter without fluorescent substance and that of Radocon for 10 MeV X-ray and 10 MeV electron beam. The induced currents of two dose rate meter are nearly linear up to the dose rate of 300 R/min.

係があり, それより線量率大なる範囲では対数的増加を示す。またエネルギーによる差は殆ど認められなかった。

10) 増感素子未使用時のX線および電子線に対する CdS 線量計の出力電圧と線量率の関係

増感素子を使用しない場合は第6図のようにX線, 電子線いずれに対しても CdS 線量計の出力電圧は線量率 300 R/min まで直線的な比例関係が成り立ち, 増感素子使用時の約3倍の範囲に達する。

11) 忠実度, 再現性

次に ^{60}Co 回転照射装置を用いてその廻転中心に CdS セルをおき, 線源を連続廻転させ, そのときの CdS 線量計の出力電圧を記録した。(第7図) 第1廻転では CdS の応答特性の遅れによ

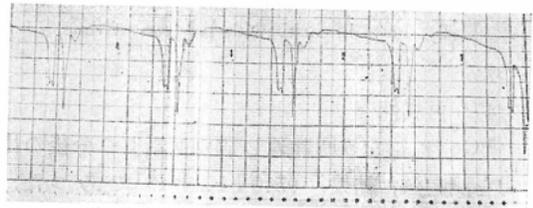


Fig. 7. Four types of response curve obtained by CdS detector during irradiation of four times full rotation of ^{60}Co rotation therapy unit. Fidelity and reproducibility of CdS rate meter are seen on the recording paper.

る歪が見られるが, 第2廻転以後はその波形は殆ど同じ形で, 忠実度, 再現性ともすぐれている。图中2箇所急峻に降下が起こるのはベッドの金属枠による吸収によるものである。廻転中心にラドコン線量計をおき測定記録させその1廻転照射の記録波形を CdS 線量計と比較した場合その忠実度はラドコン線量計と比較して劣らない。また数値積分法によりベッドの吸収率を計算した結果, ラドコン線量計では 7.7%, CdS 線量計では 7.5%であり, よく一致している。この場合の照射野の大きさは $16 \times 16\text{cm}^2$, F.S.D. 75cmであった。

11) 全廻転照射時の透過線量の測定

ベッド上に人体肺ファントムをおき, ファン

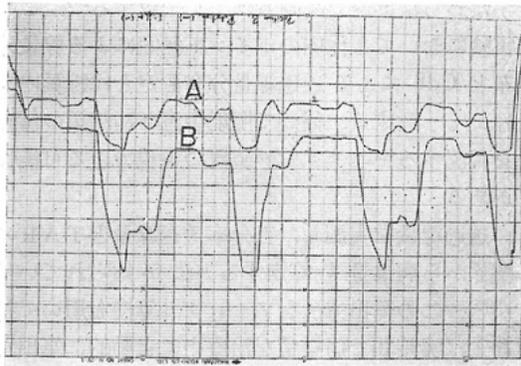


Fig. 8. Curve A is the transit dose measured with Radocon dose rate meter, while curve B with CdS detector. Quite analogy is seen.

トーム中心より60cmの位置にラドコン線量計とCdS検出器をとりつけて各々の一廻転照射時の透過線量の出力波形を記録したのが第8図である。CdS検出器はラドコン線量計と同様に忠実に各瞬間の透過線量を測定していることがわかる。

次に第1図のように現在線巢横断撮影を行なっているフィルムカセット取付枠の位置に発泡スチロール製の台をとりつけた。発泡スチロールの台は線巢横断撮影法と同様に⁶⁰Co廻転照射装置の線源と廻転中心とを結ぶ延長線にあり、しかも発泡スチロールの台は装置の廻転と関係なく常に空間的に定方向を保つことになり、発泡スチロールの台の中心は廻転中心と考えてよい。

この発泡スチロールの廻転中心を通る鉛直および水平方向に1cm間隔にCdSセルを挿入できる穴を設けCdS検出器の固定台とした。このような装置を用いて、1廻転の間線源のシャッターを開き、その間の積分線量を積分器にて積算させ、廻転中心を通る水平方向の透過線量の値を1cm間隔に繰返し測定しグラフにプロットしたのが第9図である。(図中×印)この場合ファントムとして人体を模した肺ファントム(コルク使用)を用いた。照射野の大きさは6×6cm²、廻転中心は胸腔の中心部に設定した。同時にファントム中にコンデンサチェンバを挿入しポイント法による線量分布の実測値をプロットした(第9

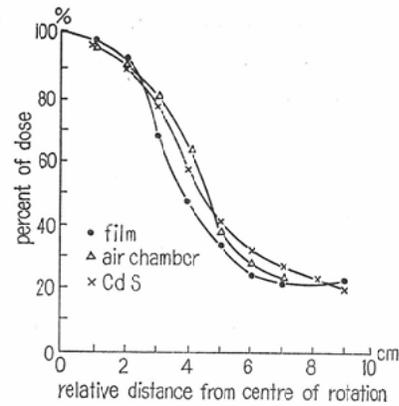


Fig. 9. Dose distributions of the beam focus measured with CdS dosimeter, film dosimetry and ionization chamber. The curves are similar and comparable. In this experiment, the phantom of chest with the lung of cork is used. Field size is 6 × 6 cm² at rotation center in ⁶⁰Co rotation therapy.

図, ×印) また現在使用する線巢横断フィルム法による測定も併せて行なつた。(第8図, ・印) 各々の線量は百分率で示してある。廻転中心より2.5cm内では三法いずれの方法でも90%と同じ値を示し、中心より3cmの等線量分布はair chamberとCdSでは80%を示し、フィルム法では70%に相当し、その差は10%になる。更に4.5cmまではair chamberとCdSは略々同様の傾向を示すのに対してフィルム法ではやや低い値を示し、約15%の差がみられた。

考 按

各種半導体検出器についてFowler⁶⁾⁷⁾⁸⁾は多くの文献を抄録して総括的に述べている。CdSの粒子線、電磁波に対する光導電性を利用した線量測定への応用に関する報告は数多く見られる¹⁾⁴⁾⁶⁾⁸⁾¹⁰⁾¹⁵⁾¹⁹⁾²⁰⁾。しかしこれらは単結晶型CdSについてであり、焼結体CdSではない。

今回用いた安価で高感度の焼結型CdSは感光面積を自由に変えて必要な大きさの光電流を得るものを製造することができる³⁰⁾³³⁾。CdSを線量計として用いる場合は光電流の絶対値を高精度に測定する対策が必要である³³⁾。このCdS線量計には差動あるいは負帰還機能を採用している。

CdS結晶に放射線を照射した場合、印加電圧に比例して直線的に光電流が変化するが³⁴⁾、所要の光電流が印加電圧の調整によつて得られるので、出力電圧で調整する他に印加電圧によつて光電流が自由に選べる点は特性のそろつた検出器が多数必要なとき有利であるといえる。このCdS線量計にはトランジスタ増幅器を使用し印加電圧は-12~-20Vなので人体内で線量測定する場合危険の少ないのが利点である。

CdSは低または中等度の管電圧のX線には厳密には直線的な応答は示さないが、ある一定の範囲では殆ど理想的な直線性を示す¹⁰⁾²¹⁾³¹⁾。この実験の結果は増感素子使用の場合、橋本の結果¹⁰⁾とまた増感素子使用しない場合Koschel¹⁵⁾の結果とよく一致する。CdS検出器の欠点の一つは時定数の大きいことであるがこれを改善する諸方法が知られている³⁾⁴⁾⁷⁾⁸⁾¹¹⁾³²⁾。CdSの立ち上り時間は高線量率になるにつれて短縮される⁷⁾。例えば4 MeVの場合5分以下である¹⁵⁾。この実験でも線量率が増すと立ち上り時間は短くなり、一定の光電流値を得る時は3~4分であつた。またCdSには指向性があるが³¹⁾³²⁾、使用条件によつては指向性の影響は小さくすることができる。更にCdSには低線量域では線質依存性があるが¹⁸⁾²¹⁾³²⁾、この実験ではフィルターは全く未使用であるが、8, 10 MeVのX線、電子線に対してエネルギーによる差は殆どみられなかつた。

⁶⁰Co γ 線にて全廻転照射を行ない、ベッドの鉄枠の吸収率を計算し、その結果をCdSとラドコン線量計と比較すると1%以内でよく一致し、これはJones¹²⁾の結果に近い値である。従つてこの線量計でも照射開始後20~30秒後からの線量計の指示は1%以内の差でラドコン線量計の指示と一致し比較に用いるには充分実用価値がある。

フィルム法による線量分布自動記録装置の考案はすでに行なわれているが²⁶⁾²⁷⁾²⁹⁾、フィルム法による線量測定は非常に時間を要する²⁾。この点CdSのような電気的方法は迅速に線量測定が可能である。一方線巢横断撮影法による線量分布は体内の線量分布と本質的に異なるが、90%領域、

すなわち線巢内では両者はよく一致する¹⁸⁾。この実験においても体内のポイント測定による線量分布とCdSによる透過線量分布測定とは線巢内ではよく一致する。従つて照射中直ちに線巢の位置を確認するモニタリング装置の実現できる可能性がある。

透過線量を実測し、百分率透過線量とTARの関係から病巣量を算定する方法が知られているが⁵⁾、この算出方法をアナログ計算機を用いて行なえば実時間で病巣量を治療中に自動的に算出することもできるであろう。CdS線量計をこの目的に応用すれば、生体の個人差に基づいた体軸方向の照射野内の各横断面における病巣量の算出ができ、特に胸部照射における組織吸収の差に対する補正が正確に行なえるであろう。これについては別に報告する。

結 論

1. 高エネルギー放射線検出線量計を焼結体CdSセルを用いて増感素子を附加して試作した。
2. このCdS線量計は小型、堅牢、安価であり、感度、忠実度、再現性が優れたもので、線質依存性が少く、時定数、指向性等においても実用上満足できる。
3. 高エネルギーX線、電子線に対し、0~300 R/minの範囲では線量率と出力電圧との間には直線的比例関係が存在する。
4. ⁶⁰Co廻転照射装置の寝台の吸収率を求め、CdS線量計およびラドコン線量計を各々用いた場合の結果を比較した。その相違は1%以内でCdS線量計は透過線量測定に実用上用いて差しつかえない。
5. 線巢横断撮影法の原理を応用して肺ファントムにて線量分布の測定を行ない、体内のポイント測定法と大差のないことを示した。
6. 従つてこの線量計は高エネルギー放射線測定用線量計として透過線量の測定、体腔内の線量測定などその応用範囲は広いと考えられる。

文 献

- 1) Baker, L.C. & Buckingham, P.D.: Cadmium sulfide d. c. Conductivity cells for gamma ray detection. *Phys. Med. Biol.*, 10, 201-208, 1965.
- 2) Bachman, C.H., Gelormini, O.J. and Davis, H.W.: A CdS radiation probe of high resolu-

- tion. *Am. J. Roentgenol.*, 73, 98—102, 1955.
- 3) Barbara, A. Turner, D.H. Mash and Fowler, J.F.: The Reduction of Response Times in Cadmium Sulphide Radiation Detectors by the Use of "Biassing" Radiation. *Phys. Med. Biol.*, 8, 439—490, 1963.
 - 4) John, E.G., and Fish, E.: The use of cadmium sulfide crystals for the measurement of roentgen radiation. *Am. J. Roentg.*, 83, 156—163, 1960.
 - 5) Fedoruk, S.O. & Johns, H.E.: Transmission dose measurement for cobalt 60 radiation with special reference to rotation therapy. *Brit. J. Radiol.*, 30, 190—195, 1957.
 - 6) Fowler, J.T.: Survey of solid state dosimetry system. Papers read at a joint meeting of the Hospital Physician's Association and the British Institute of Radiology. *Brit. J. Radiol.*, 36, 778—781, 1963.
 - 7) Fowler, J.T.: Solid State Dosimeters for In-Vivo Measurements. *Nucleonics*, 21, 60—64, 1963.
 - 8) Fowler, J.T.: Solid state dosimetry, *Phys. Med. Biol.*, 8, 1—32, 1963.
 - 9) Freichs, R.: The Photo-Conductivity of "Incomplete Phosphors", *Phys. Rev.*, 72, 594—601, 1947.
 - 10) 橋本一二: 硫化カドミウム (CdS) の光導電性とX線工学への応用, *日物誌*, 7, 277—283, 1952.
 - 11) Hollander, L.E. Jr.: Preparation of High Sensitivity Cadmium Sulfide Cells for Gamma Ray Detection. *Rev. Sci. Inst.* 23, 322—323, 1957.
 - 12) Jones, D.E.A., Gregory, P.C. and Birchall, I.: Dosage Distribution in Rotation Cobalt 60 Therapy. *Brit. J. Radiol.*, 29, 196—201, 1956.
 - 13) 菊地磐, 小林貞男: 演算差動増幅回路, *電子科学* 11, 33—39, 1969.
 - 14) 小林貞男: IC活用マニュアル, オーム社, 1968.
 - 15) Koschel, K.W. & Clarke, K.H.: An instrument for the rapid measurement of X-ray field flatness. *Brit. J. Radiol.*, 36, 538—541, 1968.
 - 16) Mash, D.H.: Current trends in cadmium sulphide for dosimetry. Papers read at a joint meeting of the Hospital Physician's Association and the British Institute of Radiology. *Brit. J. Radiol.*, 36, 778—781, 1963.
 - 17) 岡島俊三, 佐久間貞行: 原体照射法における線量分布, *日医放誌*, 26, 1199—1209, 1966.
 - 18) 奥村寛: 線量横断による線量分布の理論的考察, 第28回日放学会中部地方会. 昭41. 8.
 - 19) Pallet, J.E.: Radiation Detection at Low Exposure Rates with CdS Crystals, Using Pulse Counting or AC or DC Conductivity. *Phys. Med. Biol.*, 11, 533—542, 1966.
 - 20) Reuses, A., Plesch, R. und Mayer, U.: Einige Gesichtspunkte zur Messung von Radium- und Radiokobalt-strahlung mit Kadmium-Sulfid-Kristallsonde. *Strahlentherapie*, 94, 384—392, 1954.
 - 21) Roswit, B., Malsky, S.J., Reid, C.B., Amato, C., Jones, H. and Spreckels, C.: Critical survey of radiation dosimeters for in-vivo dosimetry during clinical and experimental radiotherapy. *Radiology*, 80, 292—294, 1963.
 - 22) 佐久間貞行, 高橋信次: 線量横断撮影法と線量原体撮影法, *日医放誌*, 22, 871—876, 1962.
 - 23) Sakuma, S. & Takahashi, S.: Beam focus radiography for taking the radiogram of the axial transverse cross section of the treated region in high density of dose. *Tohoku J. exp. Med.*, 87, 244—248, 1965.
 - 24) Sakuma, S.: Cassette and interspacer in beam focus radiography. *Tohoku J. exp. Med.*, 86, 281—291, 1965.
 - 25) Sakuma, S.: Beam focus and its image on beam focus radiogram. *Tohoku J. exp. Med.*, 87, 306—321, 1965.
 - 26) Sakuma S.: Colar Isodose Curve Plotter applied to beam focus radiography. *Tohoku J. exp. Med.*, 92, 265—270, 1967.
 - 27) 重松康他: フィルム法による線量分布自動記録装置, *日医放誌*, 28, 125—133, 1968.
 - 28) Takahashi, S.: Conformation radiotherapy. Rotation techniques as applied to radiography and radiotherapy of cancer. *Acta radiol. (Stokh.)*, Suppl. 242, 1965.
 - 29) 滝沢正臣: フィルム走査による線量分布合成及び自動描記法, *日医放誌*, 24, 48—55, 1964.
 - 30) 田中隆夫, 磯部寛: CdS 結晶による線量測定, *日医放誌*, 19, 105—111, 1959.
 - 31) 富島広, 上杉泰男: CdS 結晶光導電池, *東芝レビュー*, 14, 1069—1071, 1959.
 - 32) 塚本憲甫, 尾内能夫: CdS-Gamma Meter によるRaの周りの線量分布測定, (抄) *日医放誌*, 17, 534, 1957.
 - 33) 山中一郎: CdS, CdSc セルの計測器への応用, *電子科学*, 18, 21—28, 1968.
 - 34) 横田良助: ガラスγ線量計及びCdS γ線量計, *東芝レビュー*, 13, 1017—1021, 1958.