

硫化カドミウム光導電セルの応用 (1)

— 生 理 学 的 測 定 へ の 応 用 例 —

Applications of CdS Photoconductive Cell (1)

— Examples of Applications to Biological Measurements —

東 健 彦*
Takehiko Azuma

菅 野 富 夫**
Tomio Kan'no

広 田 泰 輔***
Taisuke Hirota

内 容 梗 概

光感応素子の一種であるCdS光導電セルは、いわゆる光感応性抵抗体であり、低電圧・低照度でも比較的大きな光電流が得られるという特徴がある。このため従来の光電管回路にとって代わり、一層安価な光感応回路を得ることができることから、数多くの新しい応用面が開発されつつある。本報告は、CdSセルの基本的な特性の説明と、生理学における三、四の測定に応用したもので、すでに研究面で実際に成果をあげているものとして、電気圧力計・血液量の変化の記録・筋収縮の変位の電氣的記録などの例について記述したものである。

1. 緒 言

光感応素子としては、光電管・光電池あるいはゲルマニウム・ホトトランジスタなどがあるが、感光性半導体の一種であるCdSは他の感光性半導体であるPbS・Si・Geなどに比べて量子効率をはるかに大きく、可視光線に対してすぐれた光導電性を有することからここ数年来基礎的な数多くの研究成果が発表されており^{(1)~(6)}、またその実用化もあらゆる面で急激に増えつつある^{(7)~(9)}。

光電性CdSは、多くの場合単結晶あるいは焼結体として使用される。単結晶は小形であるが、一般に高抵抗のため比較的小さな光電流を利用する電子管回路などでの利用が多いようである。

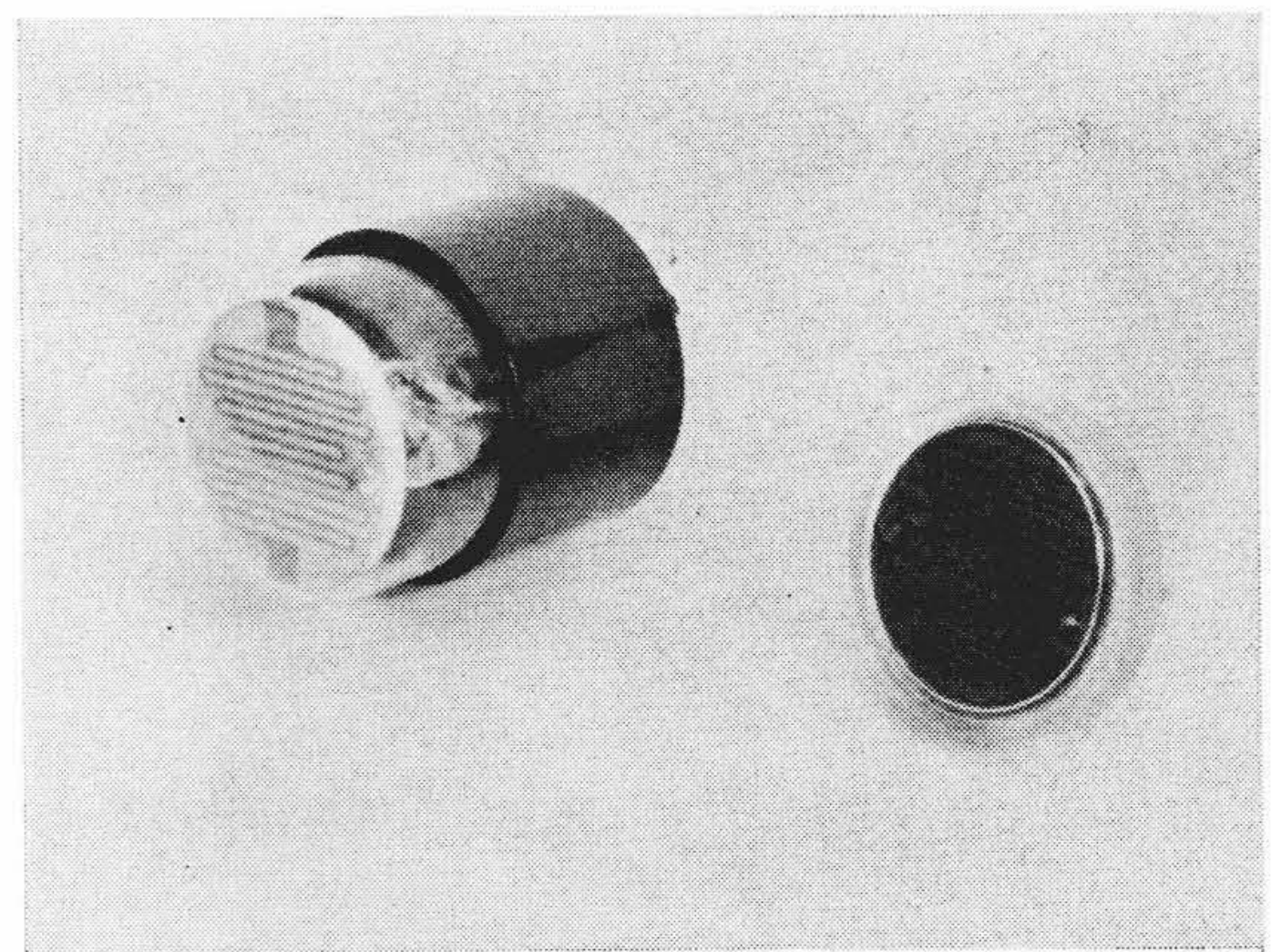
焼結体は任意の大きさのものを製作することができるので、大きな光電流を得ることができ、中間増幅装置を必要としないで、直接リレーを動作させることができるという大きな特徴を有している。CdS自身は起電力を有していないので外部に必ず電力源を必要とするという制限はあるが、低電圧・低照度でも光電流が比較的大きく、直接リレーを動作せうという長所を有するため、従来の光電管回路にとって代わり、安価な光感応回路を構成することができ、数多くの新しい応用面が開発されつつある。

実用化されている最も簡単な応用例は街灯などの自動点滅器であり、アメリカなどでは室内光源についても自動点滅器として使用されているようである。さらに自動点滅器と同じ原理で光を利用した計数装置・自動ドア開閉装置などがある。電子管回路への応用では、テレビの自動輝度調整または同じような考え方からカメラの自動露出装置などに実用化されている。

本稿では、まずCdS光導電セルを利用する場合に必要な一般的特性について述べ、応用例として生理学における各種測定に実際に使用し、成果をあげつつあるものを紹介する。これまでの生理学における測定では、使用する計器が一般に高級な計測装置や取り扱いの複雑なものが多いが、これに対し本稿で紹介するものはいずれもCdSセルを使用して、きわめて簡便に同等の計測記録を行なっているものの例である。

2. CdS光導電セルの基本的特性

CdS光導電セルの種類は、現在国内だけでも数十種あるが、大部分は焼結形である。構造は大きく分けて、硝子バルブに封止した真空管形あるいはハーメチックシール形のものとプラスチックケー



第1図 代表的CdSセルの外観写真

第1表 CdS光導形セル定格値の例

形 式	大 小 (mm)	最大印 加電圧 (V)	最大消 費電力 (W)	最高周 囲温度 (°C)	光電流 (mA)	暗電流 (μ A)	時定数 (s)	最大感 度波長 (Å)
PC-25	32 ϕ ×54	DC300	1.0	70	10~40	30以下	1/20以下	5,300
PC-25P	30 ϕ ×15	DC300	1.0	60	10~40	30以下	1/20以下	5,300

注：(1) 光電流は色温度2,750°Kの電球により、100 lx 30V・DC印加時の値で示す。
(2) 時定数は光電流が安定時の1/2の値に達するまでの時間で示す。

スに樹脂で埋め込んだものあるいは直接プラスチック中に埋め込んだものの2種類に分類できる。

真空管形またはハーメチックシール形のものは長期間にわたり特性が安定であるが、プラスチック形のもの水分の影響を受けるため長期にわたる安定性の面では劣るが、安価にできるため用途によってはこの形で十分使用にたえる場合もある。

電極構成については、CdS焼結面への接触度合が最も特性に影響を及ぼす。通常の導電性塗料などの焼付けでは良好な接触が得られないので、低電圧での特性が変ってくると言われる⁽⁸⁾。インジウム電極、アルミニウム蒸着電極などが良い結果を与えるようであるが⁽¹⁰⁾、これらもそれぞれのセルの用途、条件によって導電性塗料でも十分な場合もある。第1図は最も代表的な真空管形およびプラスチック形のCdS光導電セルの写真であり、第1表はその定格値である。

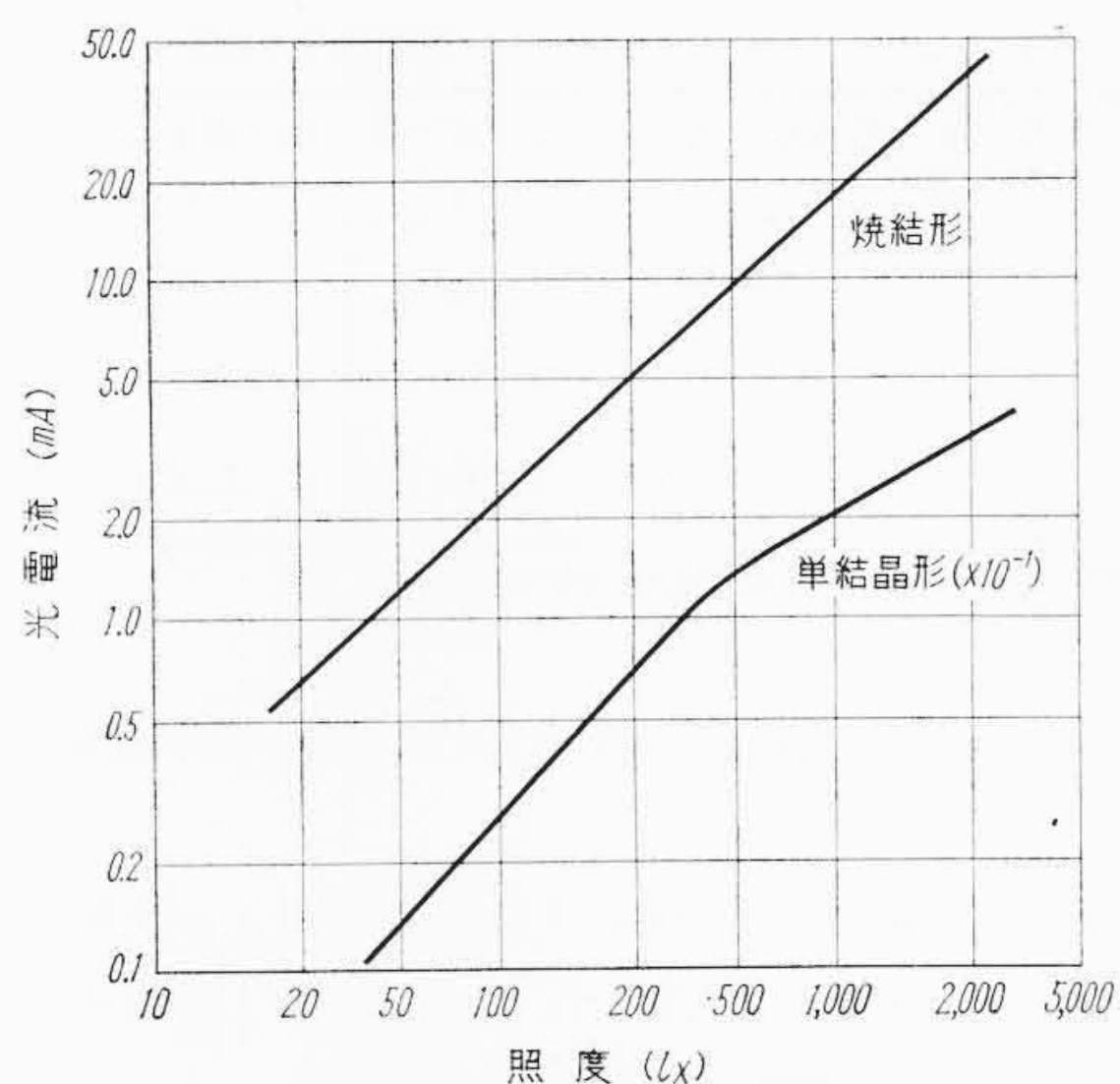
2.1 光 電 流

光電性CdSに光があたると、光吸収により励起されてその電気抵抗が減少するので、電圧が印加されている場合にはそれに応じた光電流が流れる。したがって各種光導電セルによって、それぞれ照度対抵抗値の関係が求められる訳であるが、実際の使用に当っては、

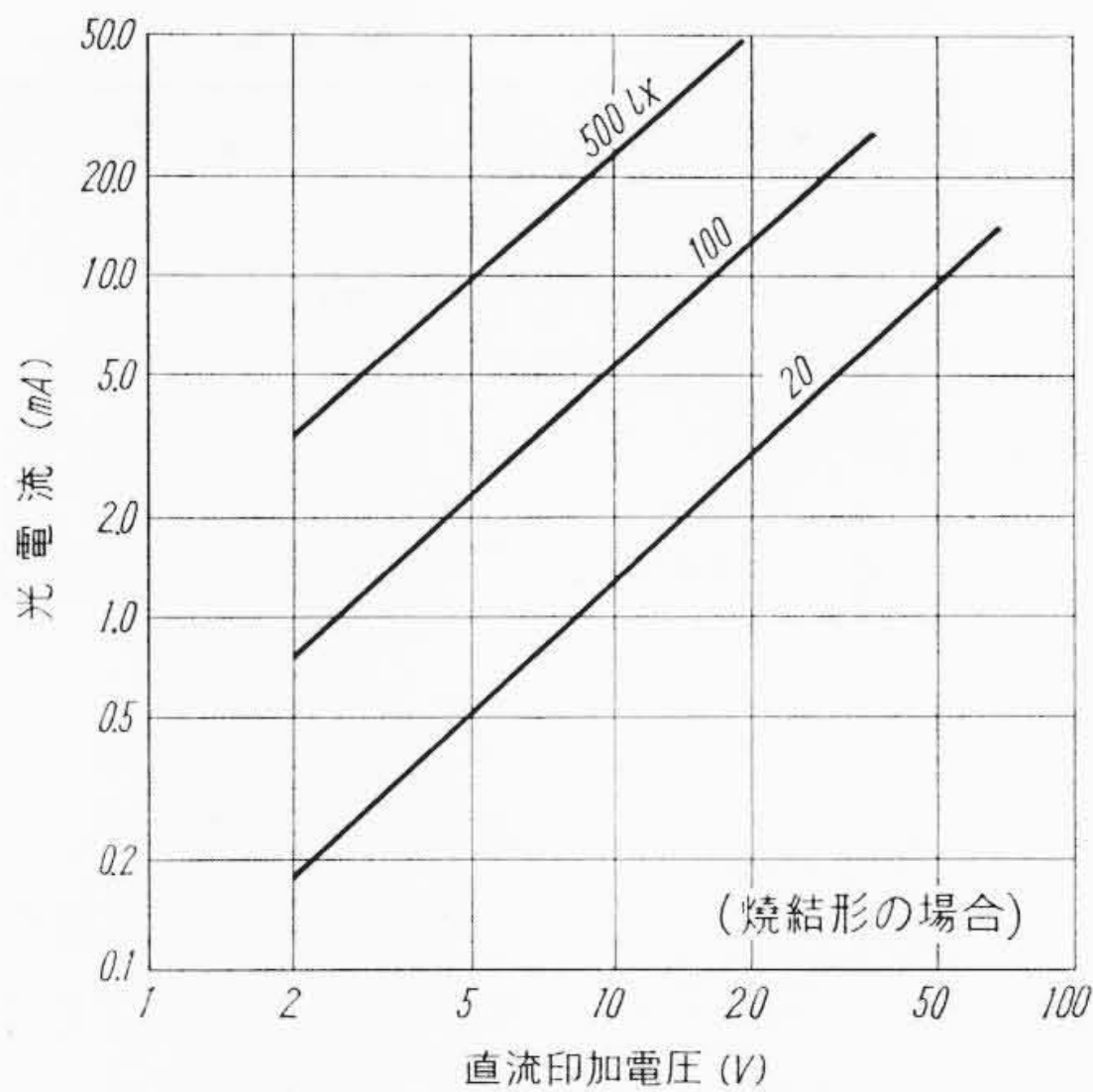
* 東京大学医学部 医博

** 東京大学医学部

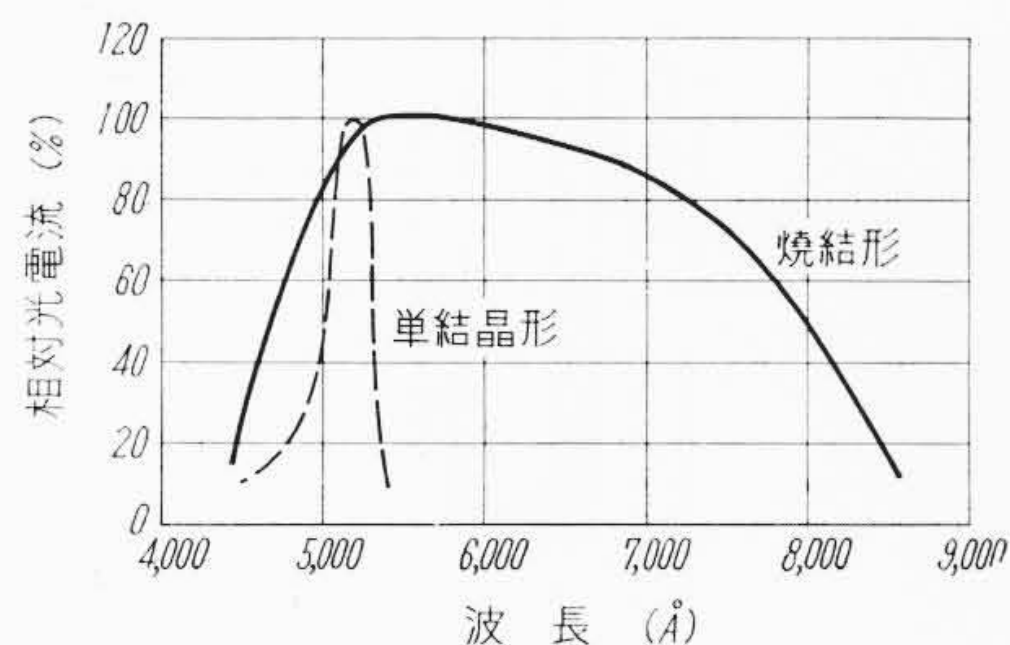
*** 日立ランプ株式会社



第2図 光電流対照度特性の一例



第3図 光電流対印加電圧の一例



第4図 分光感度分布の一例

光電流対照度および光電流対電圧の関係を利用する場合が多い。

第2図は印加電圧が5Vの場合の代表的セルの光電流対照度特性であり、焼結形の場合の感度（光電流と照度の関係）は(1)式のとおりとなる。

$$I_e = K_1 E^{0.9} \dots\dots\dots (1)$$

ただし I_e : 光電流 K_1 : 定数 E : 照度

単結晶の場合には、低照度では(2)式、高照度では(3)式に従いある照度で屈曲する。

$$I_e = K_2 E^{1.05} \dots\dots\dots (2)$$

$$I_e = K_3 E^{0.5} \dots\dots\dots (3)$$

第3図は焼結形の場合の光電流対電圧特性の一例であり、特性式は一般に(4)式で表わされ、製作条件などによって指数が若干違ってくる。

$$I_e = K_4 V^{0.9 \sim 1.3} \dots\dots\dots (4)$$

光電流の絶対値のバラツキは、セル製作時に導入される不純物の量や結晶粒子の表面状態などに影響され、その幅は比較的大きく多くの場合定格値の最小と最大の比を4～8倍程度の値にとっている。このためセルの使用回路には、通常光電流調整回路を設ける必要がある。

照度零の場合の暗電流は印加電圧のほぼ1.7乗に比例するが、この値もバラツキが多く、たとえば100Vで30μA以下の規格に対し、その半数以上は1μA以下である。

光電流の温度係数は負であり、その値は照度・温度範囲によって多少異なるが、通常の使用温度範囲(−5～+30℃)ではほぼ0.15mA/deg程度である。

2.2 分光感度

同じ光電性CdSでも、その製作方法によっては分光感度が変化す

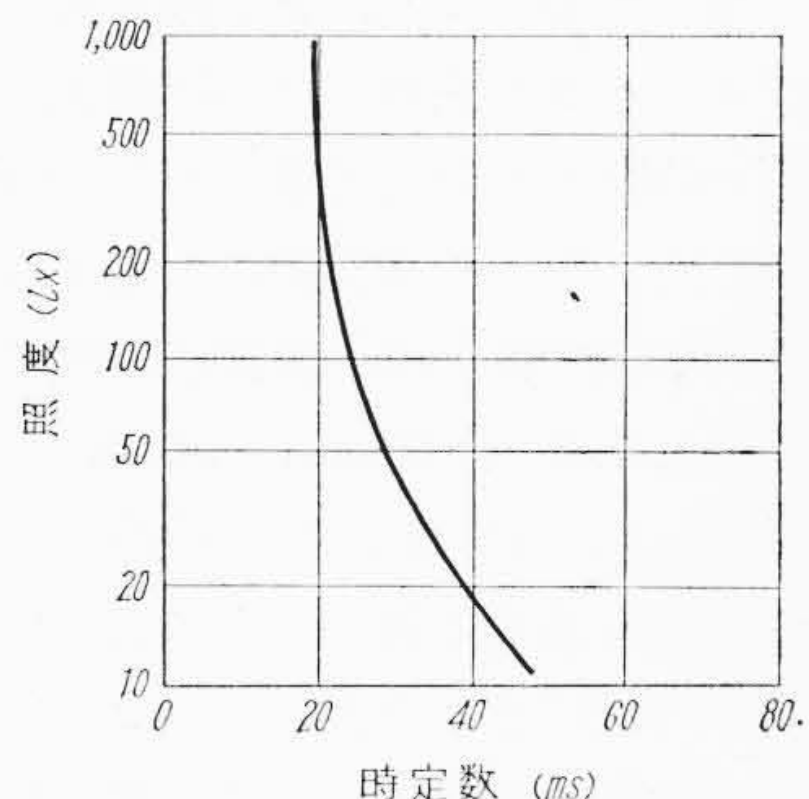
る。単結晶では5,300Å付近に最大点を有する比較的急しゅんな曲線となるが、焼結形では導入不純物量や粒子界面の特異性により大幅に変わり、従来発表されている感度分布もまちまちである。もちろん普通の使用条件に対しては特に問題となるものではないが、特別に赤外線を利用するような場合には可及的に赤外感度のよいものを選ぶ必要がある。最も代表的な感度分布は第4図のとおりであり、焼結形では可視域全域から8,000Åに至る広帯域であり、5,300Å付近にゆるい極大を示すことが普通である。

このような分光感度のため、一定の色温度の電球を光源として測定した光電流対照度特性(第3図参照)の値は、実際に使用する光源が自然光線と水銀ランプのように光源のエネルギー分布が異なることによって大幅に違ってくる。第2表はその一例である。このようなことはCdS光導電セルを使用した回路の調整時に考慮しなければならないが、他方このような現象を応用面に利用することも可能である。

2.3 時定数

CdS光導電セルに光を照射あるいは照射していたものを中止した場合、これに応ずる光電流の変化には時間的遅れが伴う。この遅れの大きさは光電性CdSの製法によって大幅に異なるが、一般的に比べて他の光感応素子に比べると比較的大きな値を示し、焼結形の場合次のような傾向を示す。なお、単結晶の場合は傾向的には同じであるが、絶対値は焼結形よりは小さい。

- (1) 光の照射を中止してから光電流が1/2になるまでの減衰時間は、印加電圧にほとんど無関係である。
- (2) 一定印加電圧では、減衰時間はあたっていった光が強いほど小さくなる。これらの標準的な関係は第5図のとおりである。
- (3) 光の照射を開始してから光電流の立ち上りは一般に減衰よりおそく、かつ前歴の影響を受けやすい。
- (4) 低温においては減衰・立ち上りはおそくなる傾向があるが、常温から100℃程度まではほとんど変化がない。

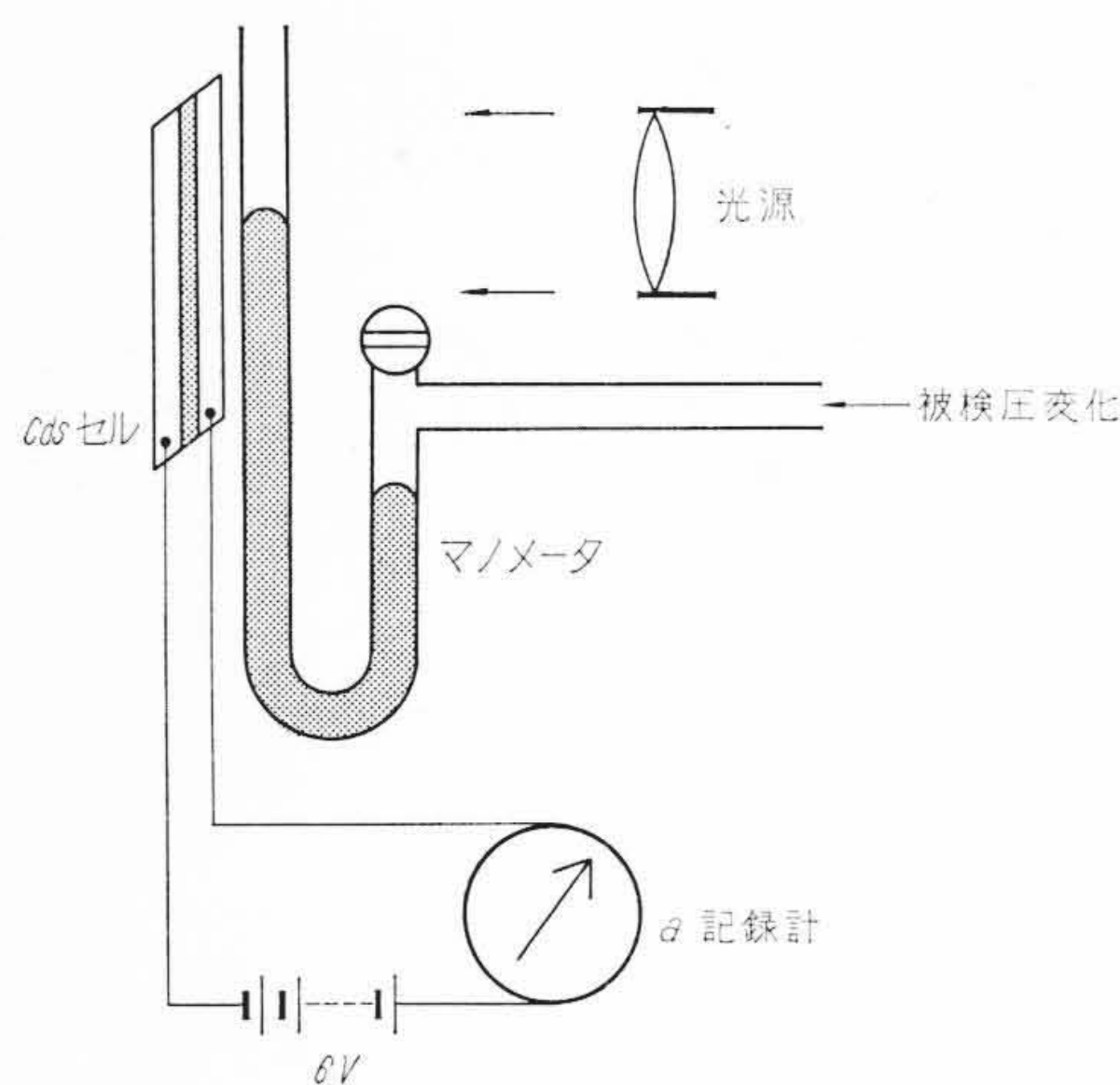


第5図 印加照度と光電流減衰時定数の関係例

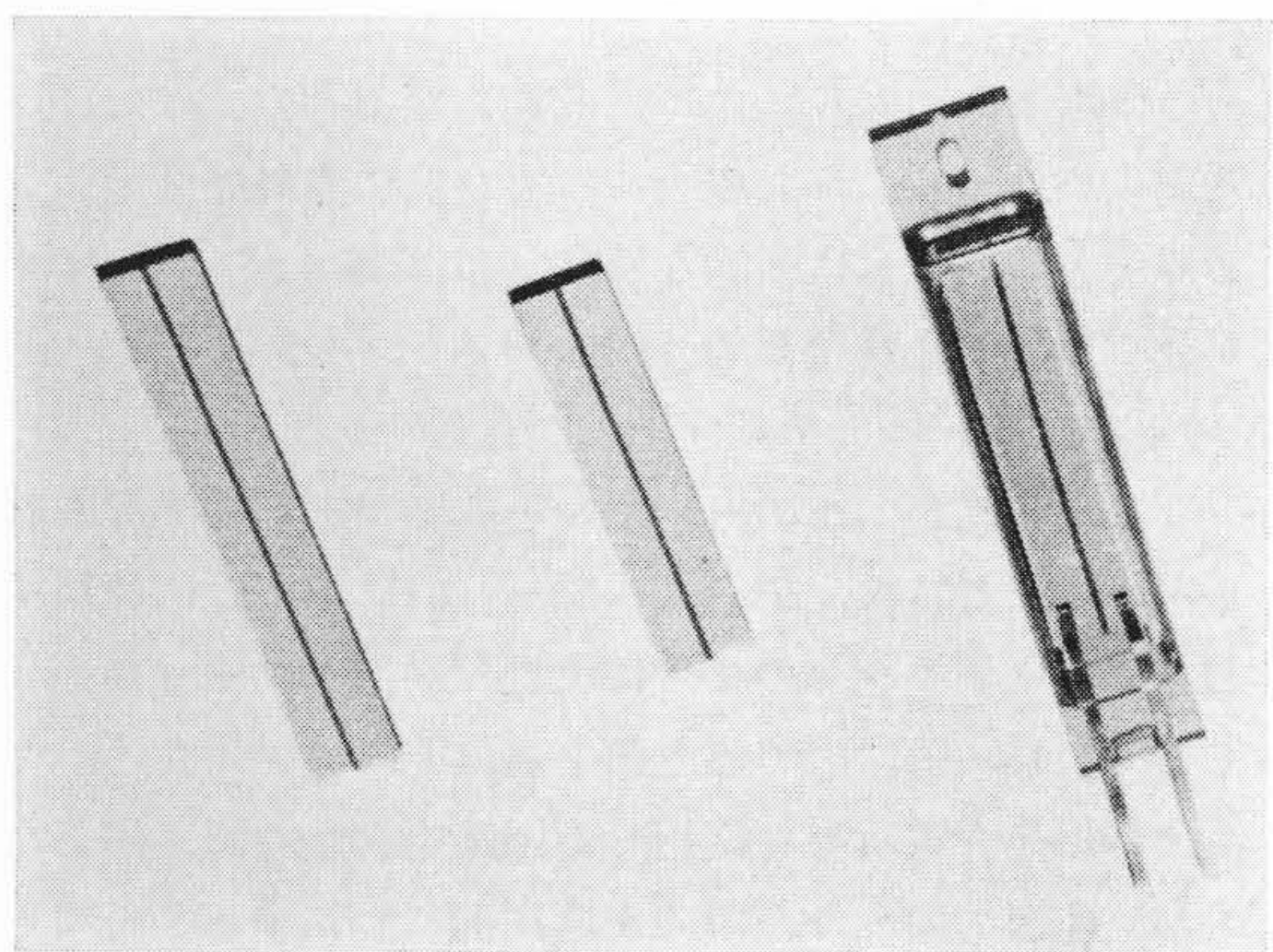
第2表 光源が違った場合の光電流の変化(百分率で表わす)

資料	光源	電球 色温度 2,300°K	電球 色温度 2,700°K	水銀ランプ 形式 H-400	けい光ランプ 形式 FL-15SW	自然光線 曇天午後3時 窓
A	社	100	90	46	55	69
B	社	100	85	60	67	78
C	社	100	86	35	41	75

注: (1) 測定条件, 100lx 30V・DCにおける光電流の値で示す。
(2) 資料A・B・C社は、CdSセルの製作方法、条件の異なることを示す。
(3) 同一種類のCdSセルの場合、光源が異なることによる光電流変化量のバラツキはほぼ10%以内であった。



第 6 図 CdS セルを使用した電気マノメータ測定方法の回路構成図



第 7 図 実験に使用した CdS セルの外観写真

2.4 安定性ならびに寿命

焼結形の場合でいえば、適当なエージングを行なった後の特性(光電流・暗電流など)は、特に過酷な条件で使しないかぎりほとんど変化しない。たとえば自動点滅器などでリレーの寿命回数以上の点滅を行なった場合でも、一定条件における光電流値の変化は±10%程度以内である。この変化のうち、光電流の増加するのは、直流電源で使した場合、寿命中に CdS セルに極性が生ずるためであり、減少するのはエージングの不足、使用条件の過酷さあるいは単なる劣化によるものである。いずれにせよ、使用条件、特に温度について注意し使用した場合には安定性は高く、寿命は非常に長いものといえる。

3. 生理学における各種測定への応用

3.1 電気圧力計 (Electromanometer)

CdS セルを用いた電気圧力計には、まず第 6 図のように、細長い CdS セルを U 字管マノメータの液柱の後ろに置き、被検圧変化→マノメータ液面の上下→CdS セルの受光量の変化→CdS セルの電気抵抗の変化の順に変換して、圧力を電氣的に記録するものである⁽¹⁾。マノメータ内の液体が水銀であれば、直接水銀柱で遮光できるが、水の場合は液面に着色した油(通常 sudan black を機械油に溶かす)を重畳し、この着色油層によって遮光する。CdS セルの寸法およびマノメータ内の液体の種類を適当に選ぶことによって、数 100mmHg の高圧から数 mmH₂O の低圧までの広い範囲において、生体の示す各種の圧力(たとえば血圧、脳脊髄圧、消化管内圧など)を容易に測定、記録することができる。

第 3 表 マノメータ用に試作した CdS セルの特性の一例

	最大印加電圧 (V)	光電流 (mA)	暗電流 (μA)	時定数 (s)	最大感度波長 (Å)
電極長さ 150mm	300	9	1.0 以下	1/20以下	5,300
100	300	6	0.5 以下	1/20以下	5,300
50	300	3	0.5 以下	1/20以下	5,300

注：光電流は 100lx 30V・DC における光電流値で示す。

われわれが使用した CdS セルは焼結形であり、その一部の外観写真を第 7 図に示す。

特性は、セル電極の間隔や光電性 CdS 粉末の処理条件により大幅に変えることができるが、われわれの使用した一例を示すと第 3 表のとおりである。このように電極間隔の直線的に長い CdS セルでマノメータと組み合わせ使用する場合、マノメータ内液体の遮光割合と光電流変化割合の直線性が重要な問題となる。これについては、数 cm 程度以内では比較的良好な直線性を得ることが容易であるが、それ以上の長いものでは、製作後電極間隔を部分的に修正して直線性の補正を行なう必要がある。

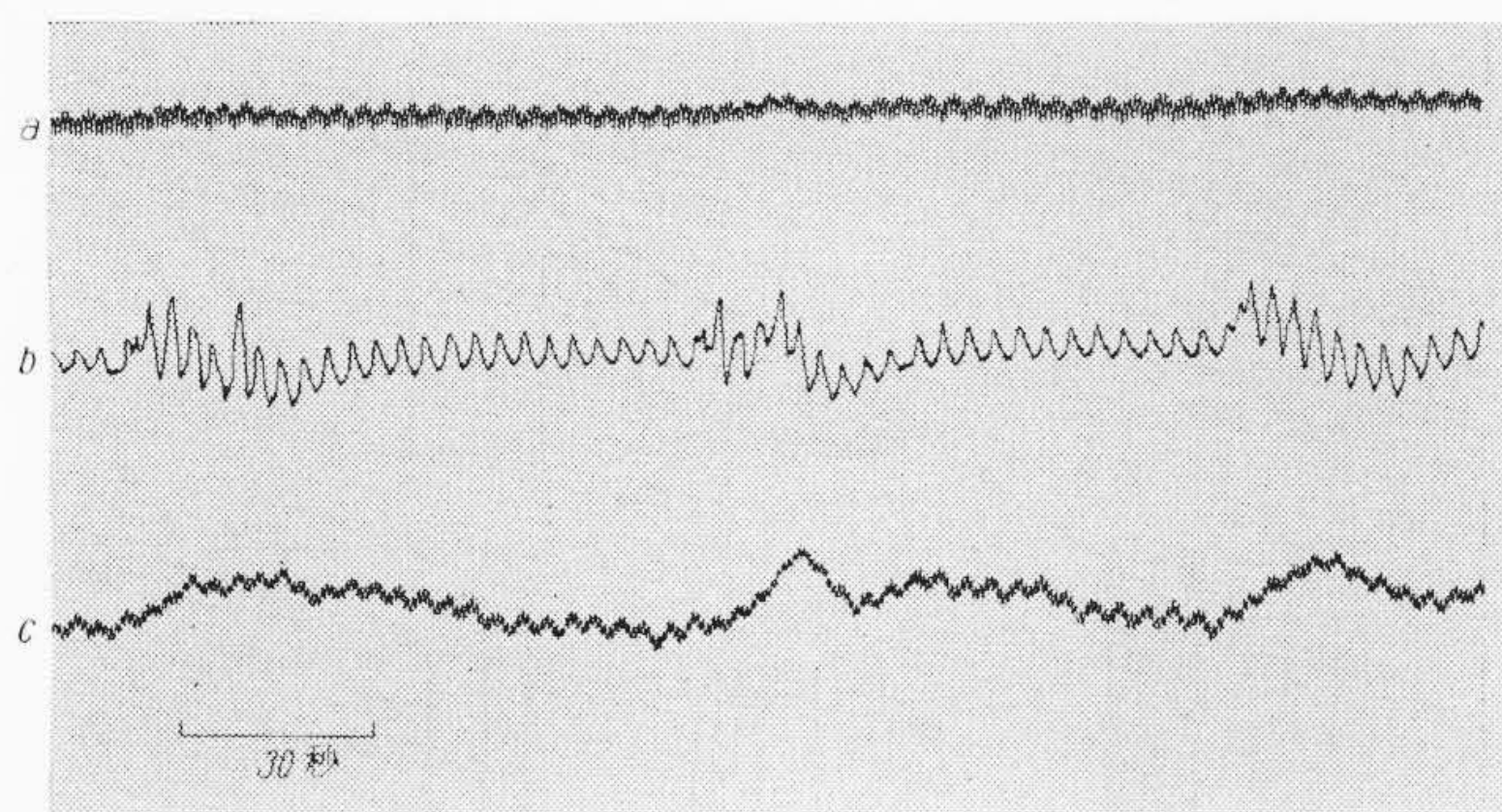
光電流変化の記録は、第 6 図のように直接光電流を読む方法もあるが、後述第 12 図のようにマノメータの任意の位置を記録計の基準位置に合致せしめる必要から、CdS セルをブリッジの 1 辺とし、不平衡電流を記録する方式の方が一般的に便利なようである。

このような CdS セルを使用する方法は、まことに簡便であって特殊な装置を必要としないで、各種電気現象をも含むいろいろな生体現象の多数同時記録に好適である。

従来、電気血圧計として用いられてきたものは、主としてひずみゲージ (strain gauge) またはキャパシタンス形マノメータであるが、これらはいずれも高価であり、製作、取り扱いが容易でなく、物によっては低い圧力の記録が困難であった。この点からみれば、CdS セルを使用したマノメータは、(1) 安価で製作がたやすい。(2) 直流電源を使用するため、他の生体電気現象と同時記録を行なっても交流雑音混入の原因となるおそれがない。(3) 感度および出力が大きいから必ずしも特別な増幅器を必要としない。(4) 動作が安定で長時間の連続記録に適している。(5) 測定可能の圧範囲がきわめて大きいなどの特色を有し、非常にすぐれているといえよう。

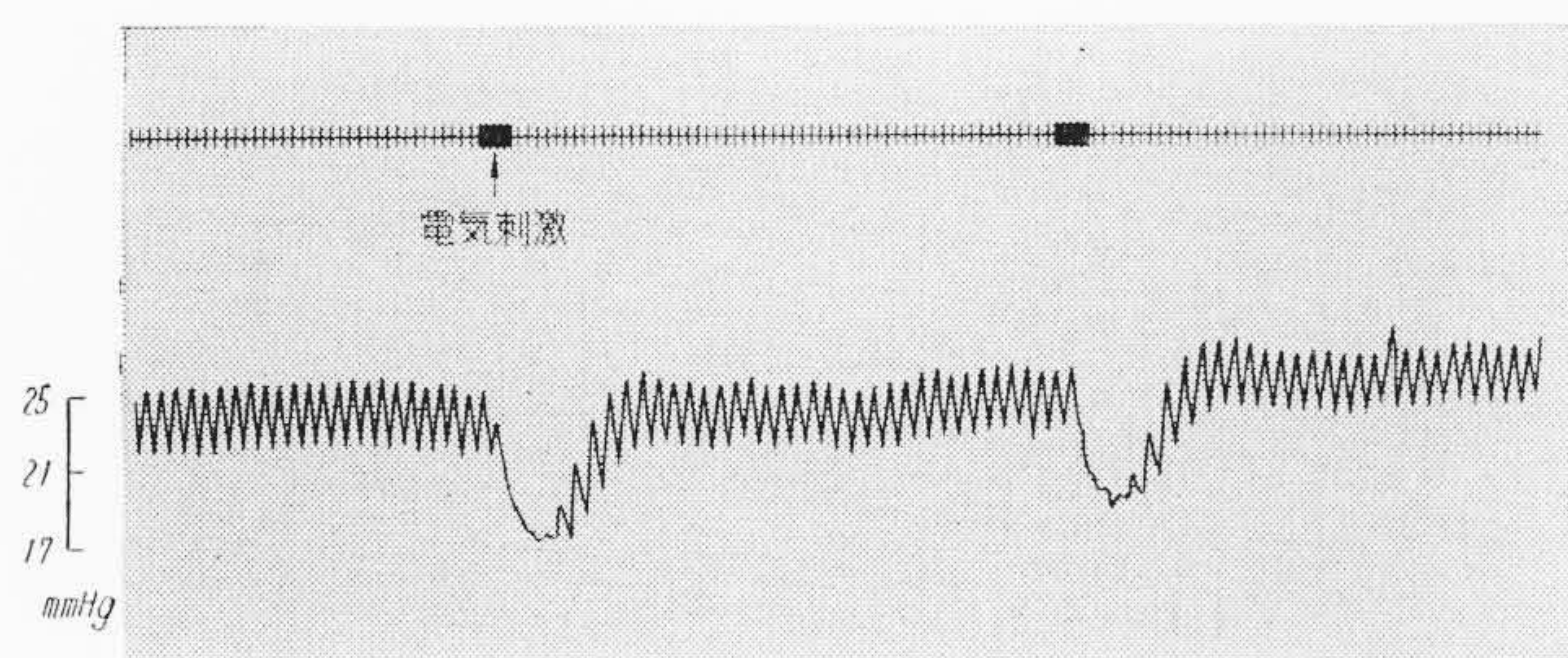
しかしながら、CdS マノメータはもちろん万能マノメータではない。最も大きな問題点は、液体の動きを媒介としているため、その液柱の慣性が使用上の制限条件となって、早い変化に十分追従し得ないことであろう。血圧を例にとれば、ガマなどのように心搏数がきわめて少ない動物では、心臓の収縮、拡張に伴う血圧の脈搏性動揺は、ほぼ真の脈圧に近い値に描記されていると考えられるが(第 9 図参照)、ウサギのように心搏数が 200~300 回/分もある動物では、このマノメータによって記録される脈搏性動揺は、水銀の慣性が大きいためにきわめて小さいものになってしまう。このような場合、この種マノメータで記録されるものは 1 心搏周期における力学的平均圧であって、このことは真の脈圧変動をひずみゲージ血圧計で記録したものと比較してみれば明らかであり、これらの間の関連性を第 8 図に示した。したがって、心搏周期の各時点における心室内圧の変動のような、比較的早い現象をこの方式で忠実に記録することは不可能であり、このような目的に対しては他の適当なマノメータを用いなければならない。

このように CdS マノメータの応用範囲は、その特性から当然な制約を受けるが、一般におそい現象にはもちろん、早い圧変化を伴う現象においても、その平均的圧水準の変動を問題にするかぎりには、長時間連続記録に好適であって、利用価値はまことに大なるものが



(a) ひずみゲージ血圧計によるもの
(b) 呼吸曲線を示す
(c) CdS セルを使用したマンメータによるもの

第8図 ウサギの血圧記録の例

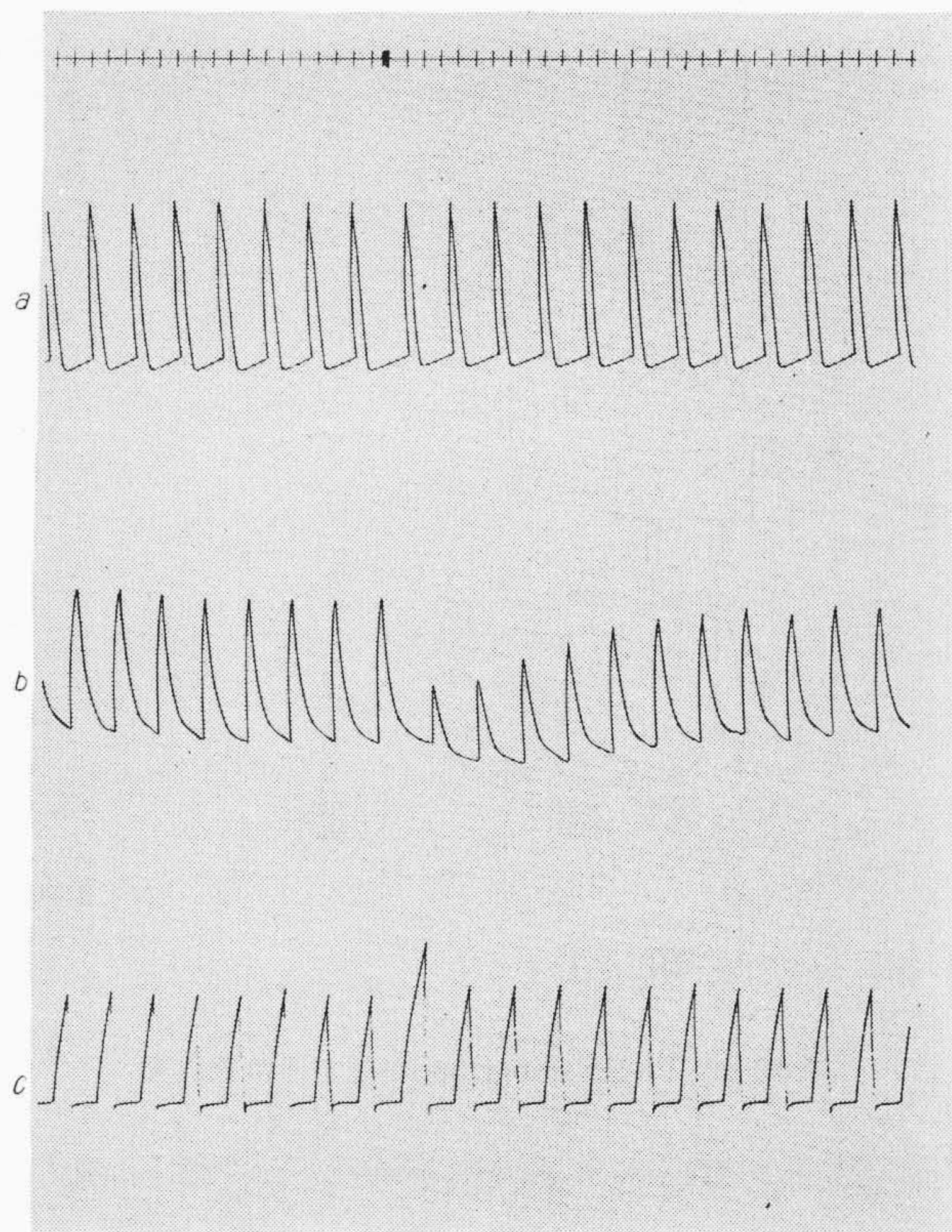


第9図 ガマの頸動脈血圧変化に及ぼす迷走神経刺激の影響
(CdS セルにより記録した例)

ある。血圧を例にとれば、呼吸に伴う血圧水準の変動(二級変動)あるいはさらに周期の長い三級変動などの記録観察は、脈搏性の一級変動が小さいため、かえってひずみゲージなどによる記録よりも見やすく、むしろすぐれているといえよう(第8図参照)。

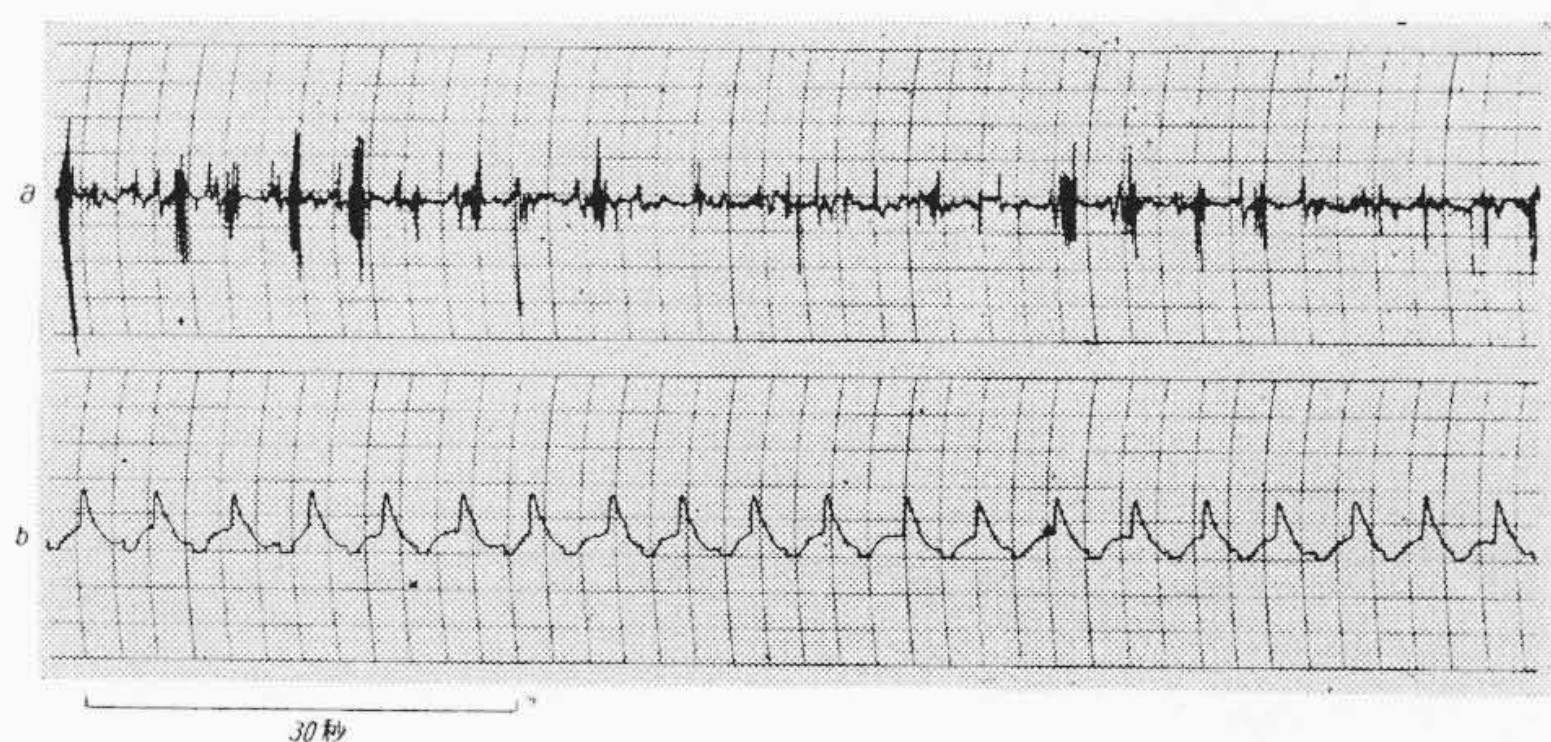
なお、このマンメータによって得られた記録の一部を示すと次のようである。第8図は、ウサギの血圧をひずみゲージ血圧計(a)とCdS マンメータ(c)でそれぞれ記録したものであって、前述したようなおのおのの特色がよく表われている。すなわち(a)では血圧の一級変動が、(c)では二級、またはそれ以上のおそい水準変動が著明にみられる。(b)は呼吸曲線(Pneunogram)である。第9図はガマの頸動脈(けいどうみゃく)血圧曲線であって、迷走神経に電気刺激を加えれば、1過性に数 mmHg の下降を示すことが明らかに示されている。ガマのような小動物の血圧の長時間記録は、従来比較的困難視されていたが、この方法によれば容易に行なうことができる。第10図はガマの灌流(がんりゅう)洞房標本についての多現象同時記録例であって⁽²⁾、(a)活動電位、(b)心房内圧変化、(c)心搏数である(心搏数はCardiotachograph⁽³⁾によって、各心搏間隔を連続的に縦軸に記録している)。迷走神経単一刺激によって1過性に収縮力が減退し、心搏リズムがおおくなり、活動電位持続が短縮する。このように著明な心臓抑制神経単一刺激の多重効果の証明は、これまでに報告されていない。

この方式は圧力それ自体の測定のみならず、圧力の変化に変換する他の量の記録にも用いられる。たとえば動物の気管に側枝付気管カニューレをそう入し、カニューレの一端を水マンメータにつなげば、呼吸気の流速の変化がマンメータ水面の変動となってあらわれ、いわゆる呼吸流速曲線(Pneumotachogram)を記録することができる。第11図はその一例であって、犬について呼吸流速曲線と小腸の筋電図を同時に記録したものである。このほか、パイロット管またはベンチュリ管形の血流量計(differential pressure blood flow meter)による血流速度の記録も、2個のCdS マンメータを差動的に使用することによって可能であろうと考えられ、現在検討を進めている。



(a) 活動電位(記録電圧計による)
(b) 心房内圧変化(CdS セルを使用したマンメータによる)
(c) 心搏数(コーデオタコグラフによる)

第10図 ガマの灌流洞房標本の記録例



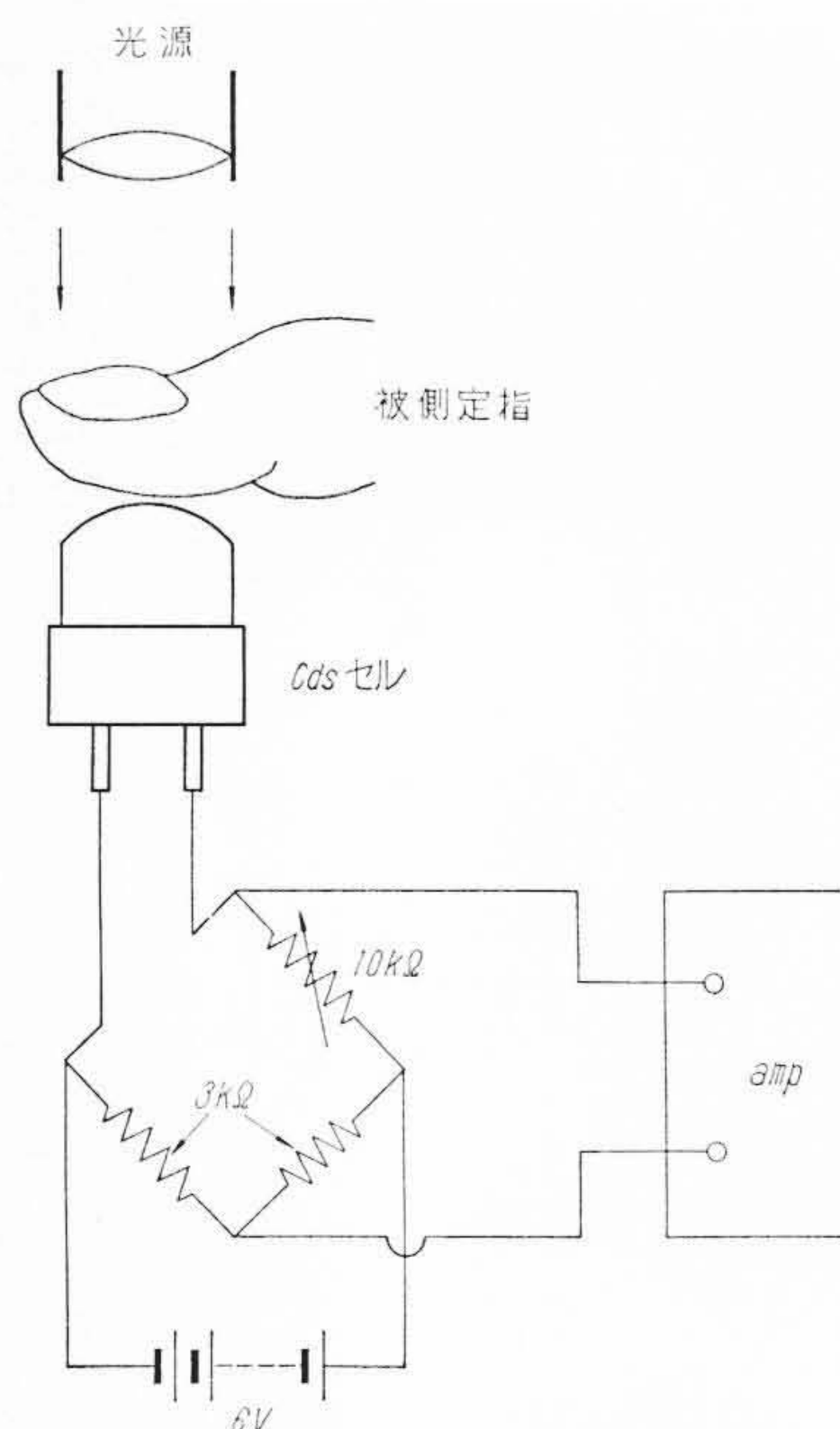
(a) 呼吸流速曲線 (b) 小腸の筋電図

第11図 犬の呼吸流速曲線のCdSセルによる記録例

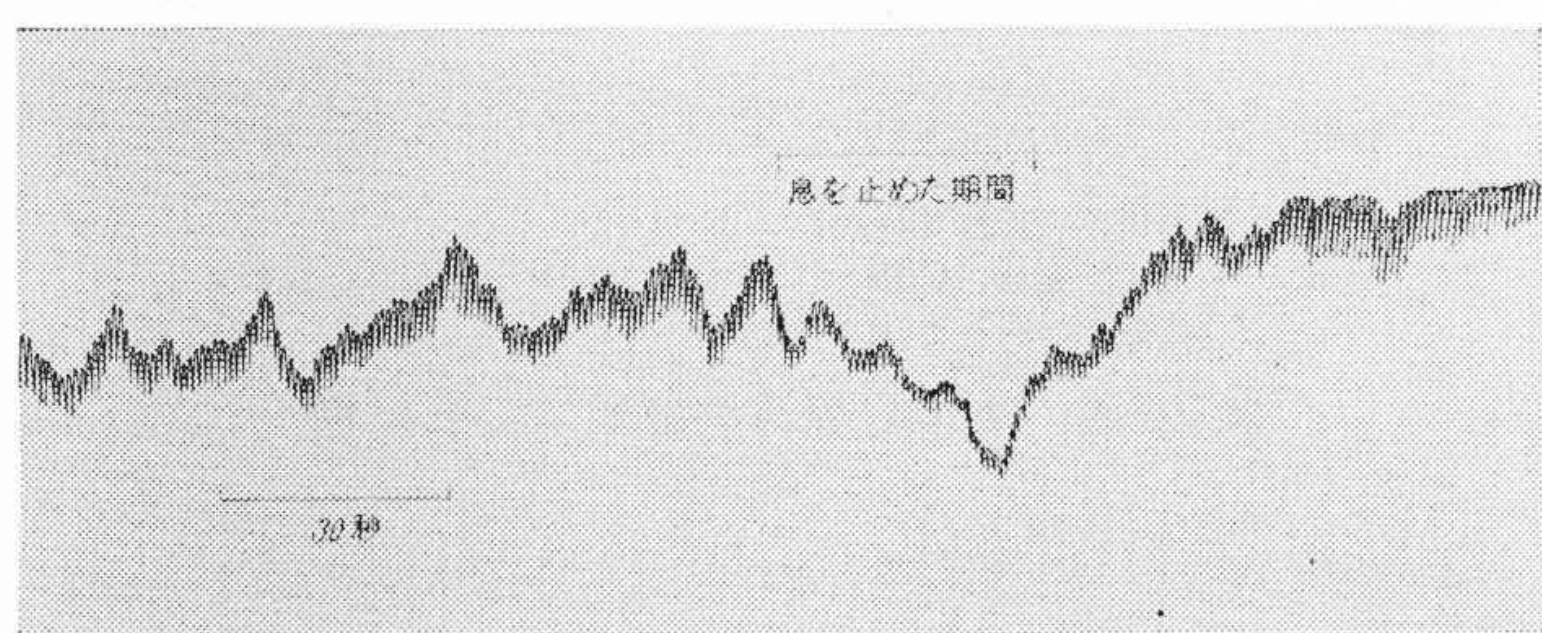
3.2 Plethysmograph

ある器管または体部の血流の状態は、血流速度の直接測定以外にその部分の容積の変化からも推定することができる。容積の大小は組織内の血液量の大小に主として依存するからである。この目的に用いられる装置をPlethysmographと称するが、これは実験動物のみならず、人体に対しても適用可能であるため、各方面で広く用いられている。Plethysmographの原理は、器官または体部を気密な容器に閉じこめ、器官と容器の間にできる腔(こう)の容積変動を記録するにある。たとえば、指の場合は、一端を閉じた指よりやや太い側管付きガラス円筒に指を差し込み、指根部で指を圧迫しないように注意しながら、ゴム膜またはグリースなどで気密に封じてから内腔に水を満たせば、指の容積の変化は側管に連結した水マンメータの液面の変化となって表われる。通常はこの動きを浮子を介してすす紙に記録していたのであるが、前節に述べた方法を適用すれば、容易に電氣的に記録することができ、ほかの生体電気現象(心電図、脳波など)との同時記録が可能になる。

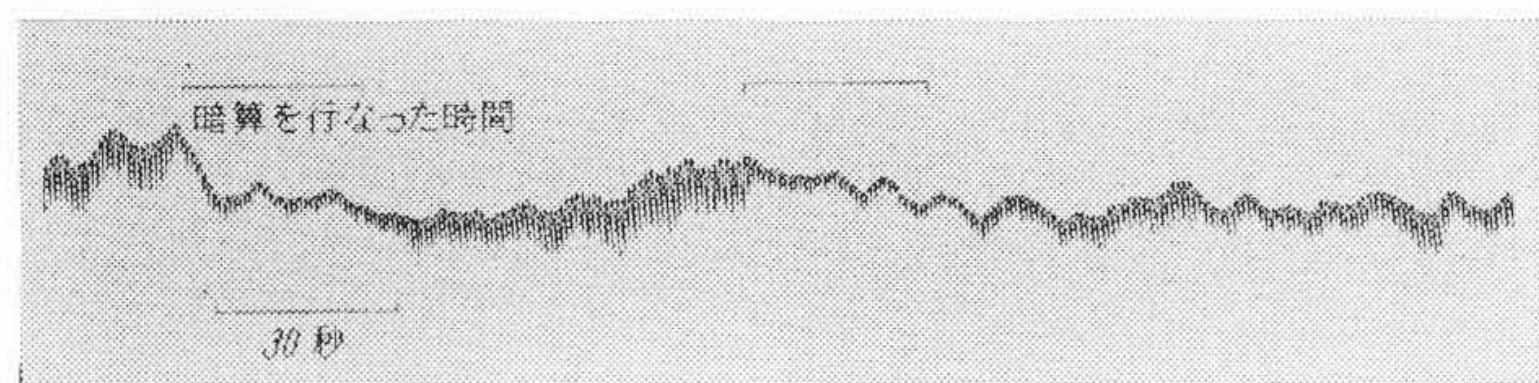
このほか組織内の血液含有量を直接光電的に捕える方法もある。すなわち皮膚に光をあてて、その透光度(あるいは反射度)から局



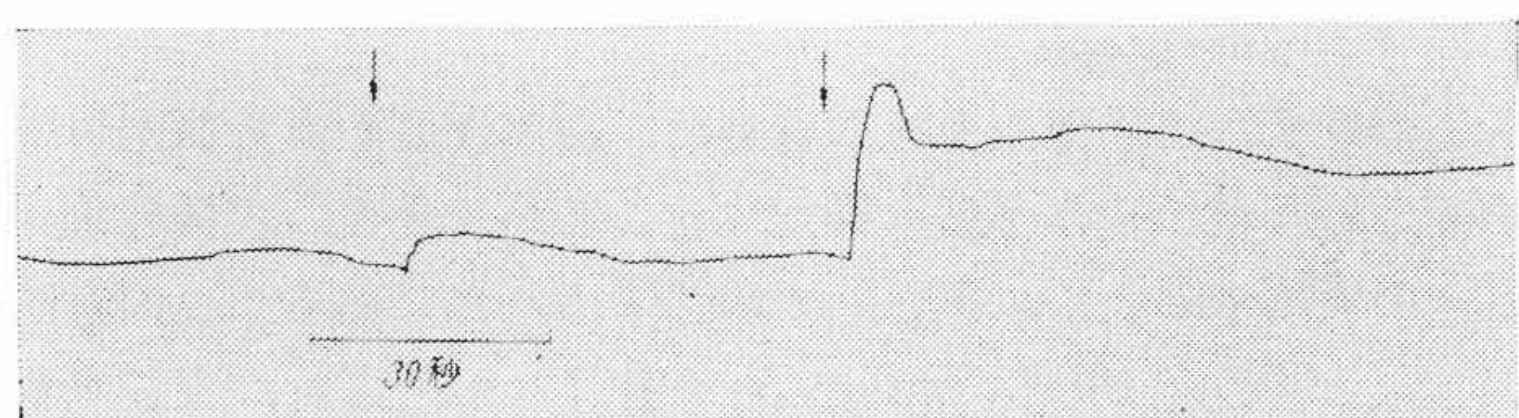
第 12 図 Plethysmogram の測定回路構成図



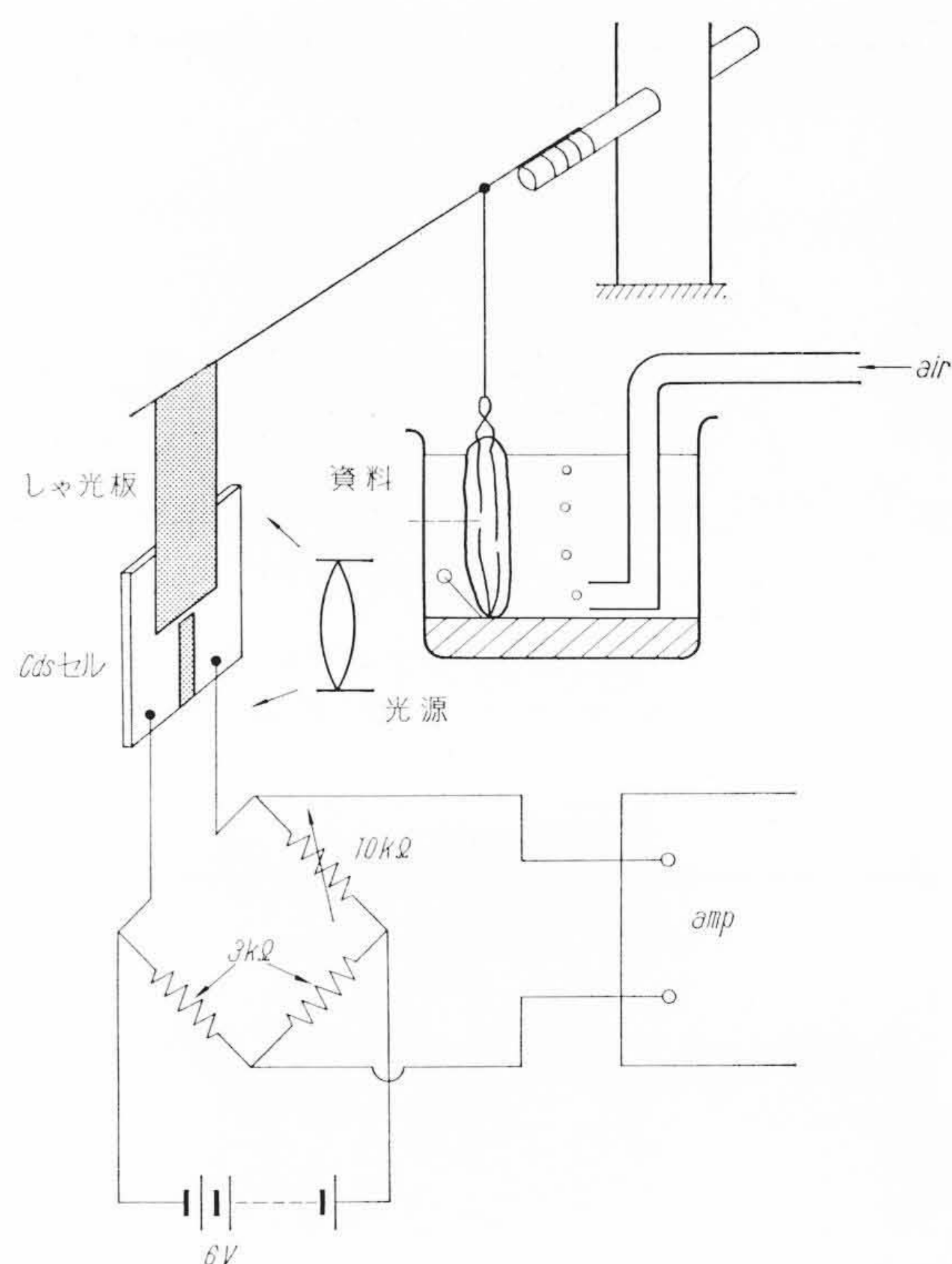
第 13 図 息を止めた場合の虚血状態を CdS セルにより記録した例



第 14 図 暗算を行なった場合の指の脈搏波振幅の変化を CdS セルにより記録した例



第 15 図 ガマ腸間膜血管の収縮記録例（顕微鏡観察法に CdS セルを応用して記録した場合）



第 16 図 筋収縮曲線の記録構成図

るゆるい不規則な波とから成る Plethysmograph が得られる。この場合に使用する CdS セルは通常の CdS セル（第 1 図参照）がそのまま利用できる。第 13 図は息こらえ（breath holding）の影響を示すものであって、息こらえにより起こされた動脈の収縮を伴う虚血状態（基線の低下・透光度の増大と脈搏波振幅の減少）と、それにつづく反応性充血（基線の上昇と脈搏波振幅の増大）が認められる。

また第 14 図から、簡単な暗算を行なうという軽い精神的作業によって、脈搏波振幅が著明に減少することがわかる。

この方法はまた、顕微鏡による microcirculation の観察所見の定量化にも応用することができる⁽⁴⁾。毛細管、細小血管領域における循環動態の研究は、これまでは単に顕微鏡下で観察するとか、顕微鏡映画を撮影するのにとどまっているのが大部分であって、多少とも定量的にその結果を記録し、あるいはほかの現象と同時に記録しようという試みはあまりなされていなかった。しかし眼で見る代わりに CdS セルを顕微鏡に取り付けば、視野の血液量の変化を透過光量（または反射光量）の変化として記録することができる。第 15 図はガマ腸間膜血管の顕微鏡観察に、この方法を応用した結果であって、アドレナリンの滴下によって著明な血管収縮—透過光量の増加—の起こることが認められる。

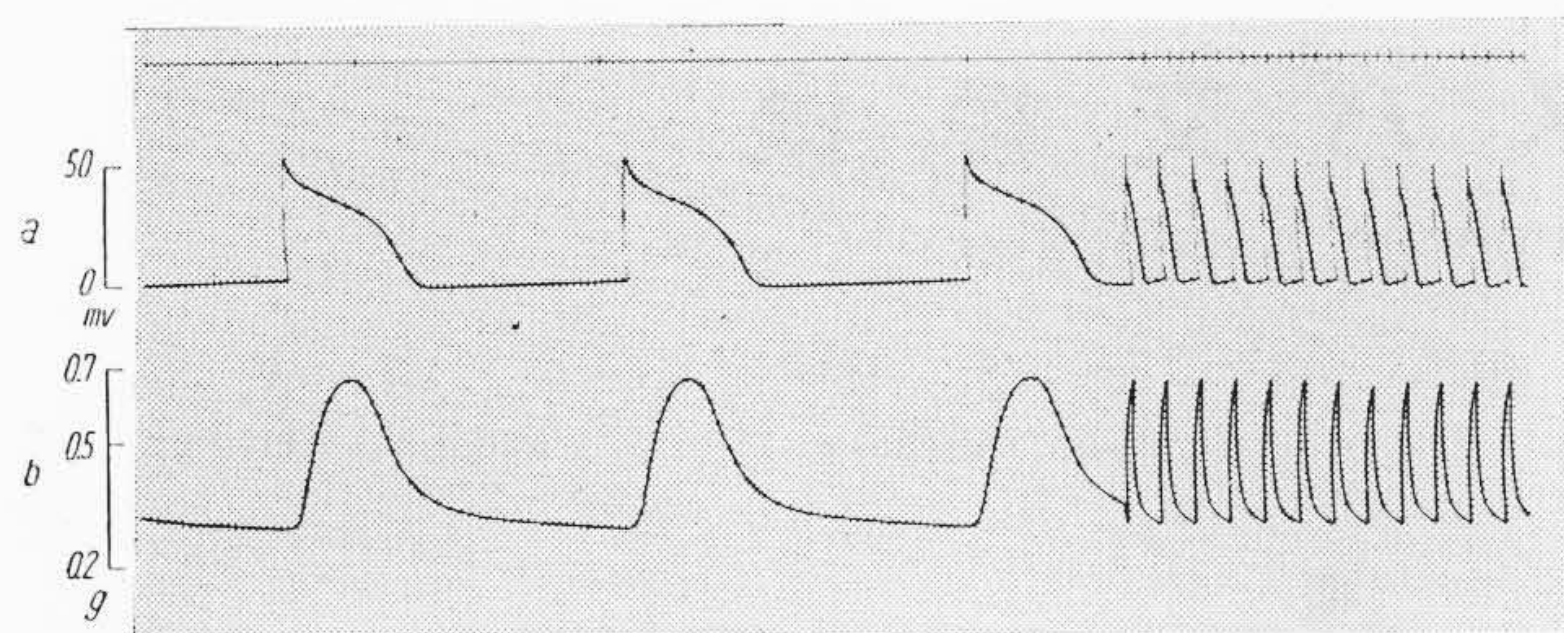
現在、透明室法、生体顕微鏡などによる各臓器血流の観察が各所で盛んに行なわれているが、この方法を併用すれば、知見はさらに増大するものと考えられる。

これらの場合に最も注意しなければならないのは、電源電圧の変動に基づく光源の明るさの変化であって、電源を十分安定化するかまたは直流電源を用いるようにしないと、基線の変動がはなはだしく、記録の判読が困難となる。

3.3 筋収縮曲線の記録

第 16 図のように、一端を固定したてこの固定部付近と、容器中に固定した摘出筋の自由端を糸で結べば、筋興奮に伴う筋長の短縮はほとんど制限され、いわゆる等長性収縮（isometric contraction）を営むことになる。てこ付根のわずかな変位は、その先端では拡大されて表われるから、先端に遮光板を付けて CdS セルに入射する光

所の循環を知ろうとするものであって、光電 Plethysmograph と呼ばれている。照射した光は組織と血液でそれぞれ吸収され、そのうち組織による吸収はほぼ一定と考えてよいから、透光度はその部分の血液含量にほぼ比例的に変化する。この方法は周波数特性にすぐれ、フィルタを適当に選ぶことによって血液酸素飽和度の影響を除外しうる利点を備えている。従来、この目的のためには光電管が用いられていたが、CdS セルを利用すれば、きわめて簡単に光電 Plethysmograph を記録することができる。第 12 図のように光源と CdS セルの間に指先を置けば、第 13、14 図にみられるように、各心搏に伴う血液の干満を示す早い周期の波と、それらをのせてい



(a) 活動電位(電圧記録計による)
(b) 心房筋の等長性収縮曲線

第17図 ガマ心房筋の等長性収縮をCdSセルにより記録した例

をさえぎるようにすれば、等長性収縮曲線を容易に電氣的に記録することができる。この実験に使用したCdSセルは、前述のマノメータに使用したものと同じ種類のものである。

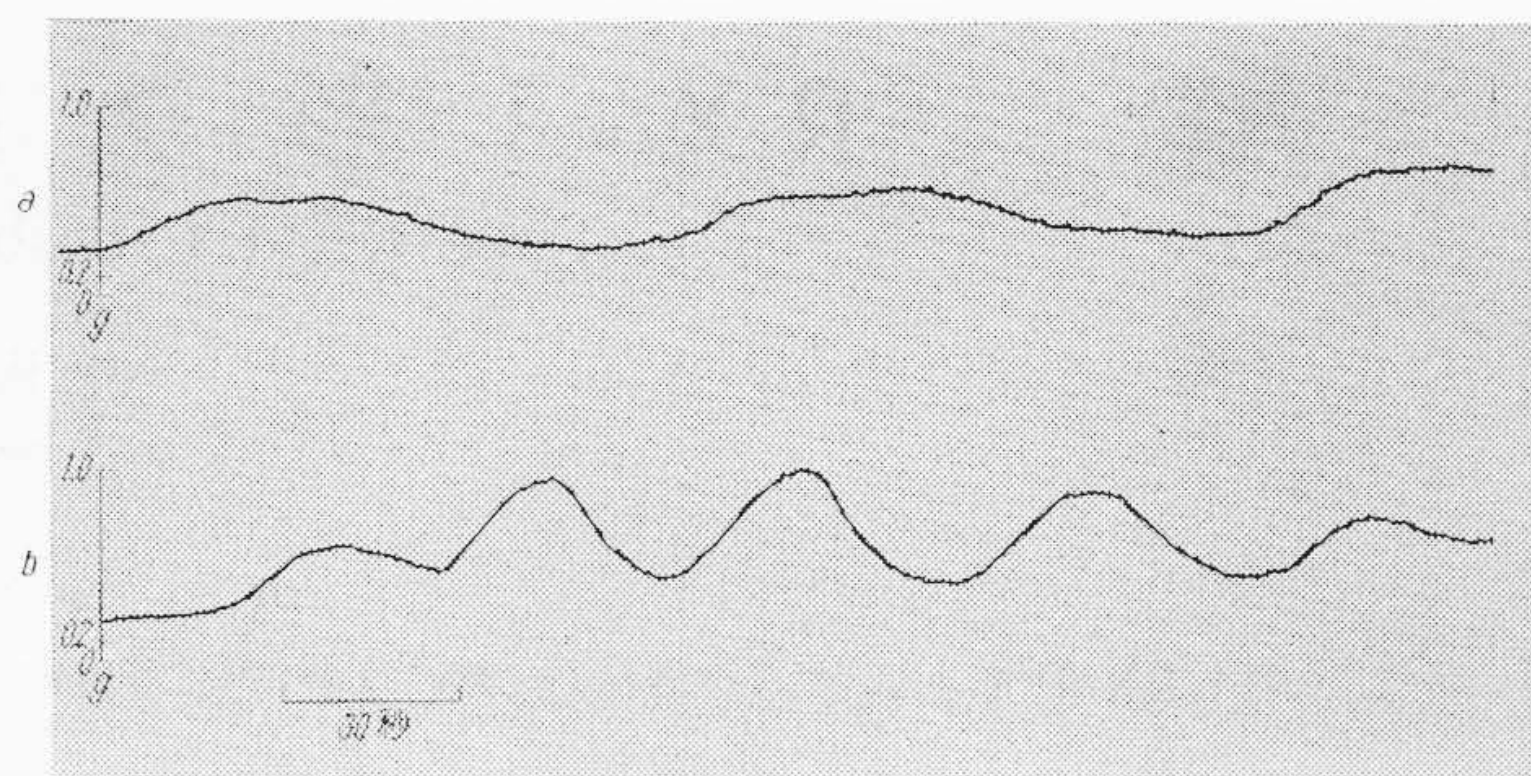
実験の結果では、てこ先端の約50 μ 程度の変位を十分検知しうるから、てこの剛性率、長さを適当に選ぶことによって、等長性という条件をほぼ満しうると考えられる。この方法によればきわめて安定な記録が可能なので、心筋、平滑筋のように収縮経過のゆるやかな筋について、長時間連続観察するのに最も適している。骨格筋に用いる場合は、記録計の固有振動数が十分大きくなるように注意しなければならないのは言うまでもない。また、てこを滑車に連絡し、一定のおもりで負荷を与えておけば、等長性収縮(isotonic contraction)曲線を同様にして記録することができる。

第17図は、ガマ心房筋の等長性収縮曲線(b)と単相性活動電位(a)を同時に記録したものであり、第18図はガマ腸輪走筋の自発的収縮に伴って発生する張力(a)がacetylcholine投与によって収縮ひん度とともに増大する(b)を示している。なお、この場合は変位を張力(g)で較正しておく。

4. 結 言

以上、CdS光導電セルを使用するに際して必要な基本的特性とその応用として生理学における各種測定に実用している例について紹介した。以上述べた応用例はもちろんそのまま工学上のあらゆる類似の測定に適用できるものと思われるが、特に生理学上の諸測定で従来の方法に比較して、CdSセルを使用した場合の特徴をあげると次のとおりとなる。

- (1) 比較的高価で高級な計測装置を必要としないから、安価で非常に簡単である。
- (2) 測定可能な範囲が比較的広い。
- (3) 直流電源で使用できるので、他の同時測定項目への交流雑



(a) 自発的収縮に伴う張力
(b) acetylcholine投与による収縮ひん度および張力の増加

第18図 ガマ直腸輪走筋の張力をCdSセルによって記録した例

音の影響をなくすることができる。

- (4) 動作が安定で、長時間の連続記録に適する。

以上の例は、われわれが最初に実施した初歩的な応用例にすぎないのであって、CdSセルのすぐれた点を巧みに利用することによりさらに高級な計測についても適用できるものと思われるので、現在これらについてさらに検討を行ないつつある。

なお、本研究にあたり、東大医学部松田幸次郎教授より種々ご検討を賜わるとともに、日立ランプ株式会社日野西博士に終始ご指導いただいた。またCdSセルの試作に当っては日立ランプ株式会社研究課の諸氏にご協力いただいた。これらに対し厚く感謝する。

参 考 文 献

- (1) 富島, 上杉: 東芝レビュー 14, 1069 (昭34-10)
- (2) 北村, 久保, 山下, 天野: National Tech. Rep. 1, 121 (昭36-6)
- (3) 山下, 伊吹, 吉沢: 三菱電機 35, 76 (昭36-9)
- (4) N. A. Gier, W. Gool, J. G. Santen: Philips Tech. Rev., 20, 277 (July 1959)
- (5) 中村, 及川, 岡部: 日立評論 42, 229 (昭35-2)
- (6) R. H. Bube: J. of App-Physics 27, 1237 (Oct. 1956)
- (7) 中山: 電子工業 49, 509 (昭36-6)
- (8) R. A. Farrall: Control Engineering 144 (April 1961)
- (9) 田中: 電子工業 55, 515 (昭36-6)
- (10) В. А. БОКОВ: СЕРНИСТО-КАДМИЕВЫЕ ФОТОСО-ДРОИВЛЕНИЯ 9, No. 4 (1960)
- (11) T. Azuma, T. Kanno, T. Hirota: J. of Scientific Instru-ments, 38, 413 (1961)
- (12) 東, 菅野: 医学のあゆみ 40, 181 (1961)
- (13) K. Matsuda: Tohoku J. Exp. Med., 49, 246 (1948)
- (14) 高木, 永坂: 脈管学 2, 93 (1961)