

ビジコンの感度制御による動作光量領域の拡大

A Method of Extending Dynamic Light Range of Vidicon
by the Automatic Sensitivity Control

日 比 正 男* 武 井 幸 夫*
Masao Hibi Sachio Takei

内 容 梗 概

テレビ撮像管ビジコンの動作光量範囲を拡大し、画質の改善を行なう目的で実験、検討したビジコン信号電流を媒介とする信号電極電圧の自動制御、すなわちビジコン感度の自動制御法について総合的に報告した。本報告ではまずこの制御方式の理論的検討を行ない、制御効果の一般式を与えた。次に制御に関係するビジコンの特性について論じ、信号電極電圧変動に対するビジコンの信号応答特性が、制御応答時間の支配因子であり、實際上0.1～0.2秒程度が限界であることを示した。また制御系の安定度をそこなう原因を解明し、最良の制御効果を得るための基本的な回路設計法について述べ、試作制御装置の概要と実際の制御効果の詳細を紹介した。本報告により本制御方式の諸問題がかなり明確になり、また試計法の確立とともに制御装置もほぼ限界に近い性能を得たものと考えられる。

1. 緒 言

光導電形撮像管ビジコンは、小形、取扱簡易、長寿命のうえにすぐれた特性を有しているため、フィルム放送や工業テレビジョンに広く使用されていることは周知のとおりである。しかしビジコンは同じテレビ撮像管イメージオルシコンと比較すると、感度、解像力、残像、動作光量領域(本文ではフィルムの場合にならって以後ラチチュードと呼ぶ)などの点で使用者の不満があり、これらの改善が強く望まれている。これらビジコンの問題点に関して、たとえば7735Aのような高感度管の発表、高電圧集束による解像力の向上など幾多の著しい進歩、改善がなされている。本報告は上記ビジコンの問題の一つ、ラチチュードの狭さを感度の自動制御によって補おうとする試みに関するものである。

ビジコンのラチチュードの狭さは、明暗差の著しい被写体の撮像時に黒つぶれ現象やビーム不足像となって現われ、著しく映像画質をそこなう。たとえばニュース・フィルム放送で、明るい空などを背景とした人物の顔がまっ黒になって、目鼻の識別すらできない画面をしばしば見受けるが、これはビジコン・ラチチュードの狭さを示す典型的な例である。このビジコンのラチチュードは、入射光量が大きくなると信号電流もまた大きくなり、増幅系の正常動作領域から逸脱するため、イメージオルシコンのように白部圧縮作用をもたないビジコン動作特性に基づく本質的なものである。したがってこの問題の解決はビジコン自体の改良にまつことはできず、他の手段によらねばならない。そしてこの改善の方法としては、大別して次のようなものが考えられる。

- (i) 適正フィルムの作成など、被写体自体の修正、選択
- (ii) レンズ絞りや、フィルタを調整する光学系による入射光の制御
- (iii) 回路的手段による出力信号の補正
- (iv) ビジコンの動作条件の調整を行なう感度制御

これらの方法について従来から種々の研究、発表がなされている。筆者らも上記諸方式のうち、ビジコンの特性改善という立場から(iv)項について研究を進め、かなりの効果をあげることができた。(ii)項の方式がかなり複雑な機械的装置を必要とすること、(iii)項の方式が信号発生後の補正というある程度補助的手段であることに比べてこの方式は機械系を要せず信号発生という基本的現象に関連している点に大きな特色、利点がある。なお(iv)の方式についてもその内容を細かく検討すると、制御対象とするビジコンの電極およ

び制御を行なうに必要な光量検知要素として何を考えるかによってそれぞれ次のように分類できる。

- A 制 御 対 象 (i) ビジコン信号電極電圧
(ii) ビジコン陰極電圧(信号電極電圧を除く全電極電圧)
- B 光量検知要素 (i) ビジコンの信号電流
(ii) 光電池(Cds. Se) フォトトランジスタなどの光電流

筆者らはこのうちA項(i)、B項(i)の方式を採りあげたのである。その理由を上記分類項目について簡単に述べると、まずA項(ii)は単に陰極電圧の制御にとどまらず、信号電極電圧を除く全電極電圧の制御を行なう必要があり、電源などの大幅な改造を行なわねばならない。またこの方法は陰極が信号取出電極でないため応答時間の点で(i)項より一段とすぐれた効果が得られるように考えられやすいが、実際は本論文中に述べるようなビジコンの性質による応答時間の限界のためにそれほど大きな期待はもてない。

次にB項(ii)は簡易性の点で大きな利点があるが光学系を増設改造する必要があり、既設カメラ特にフィルム放送カメラへの適用には問題があろう。したがっていずれもB項(i)のビジコン自体を検知器とする簡明さには及ばない。

以上述べたように、ビジコンのラチチュード拡大を目的とする感度の自動制御方式そのほかに数多い方法があり、それぞれ利点、欠点があるが、筆者らがここに採りあげたのはビジコンの信号電流を用いる信号電極電圧の自動制御方式である。本方式は原理的に簡明であり既設カメラ、特に光学系にいっさいの変更を加えることなく適用できるうえ、制御範囲、応答時間の二つの特性の総合的效果としては、他のどのような方式よりもすぐれたものと考えられる。

最後に本方式については、S. L. Bendell も筆者らと同一原理について発表しているが⁽¹⁾、具体的な詳細についてはなんら発表されていない。筆者らはこの方式の一部についてすでに発表⁽²⁾してあるが本報告は、制御の一般的理論、ビジコンの特性との関連、制御の限界、設計法などについてその後の検討結果を加えて詳細に論じたものである。なお本文にはいるに先だち、使用する用語、記号を第1表に示しておく。

2. 信号電極電圧制御方式の一般理論

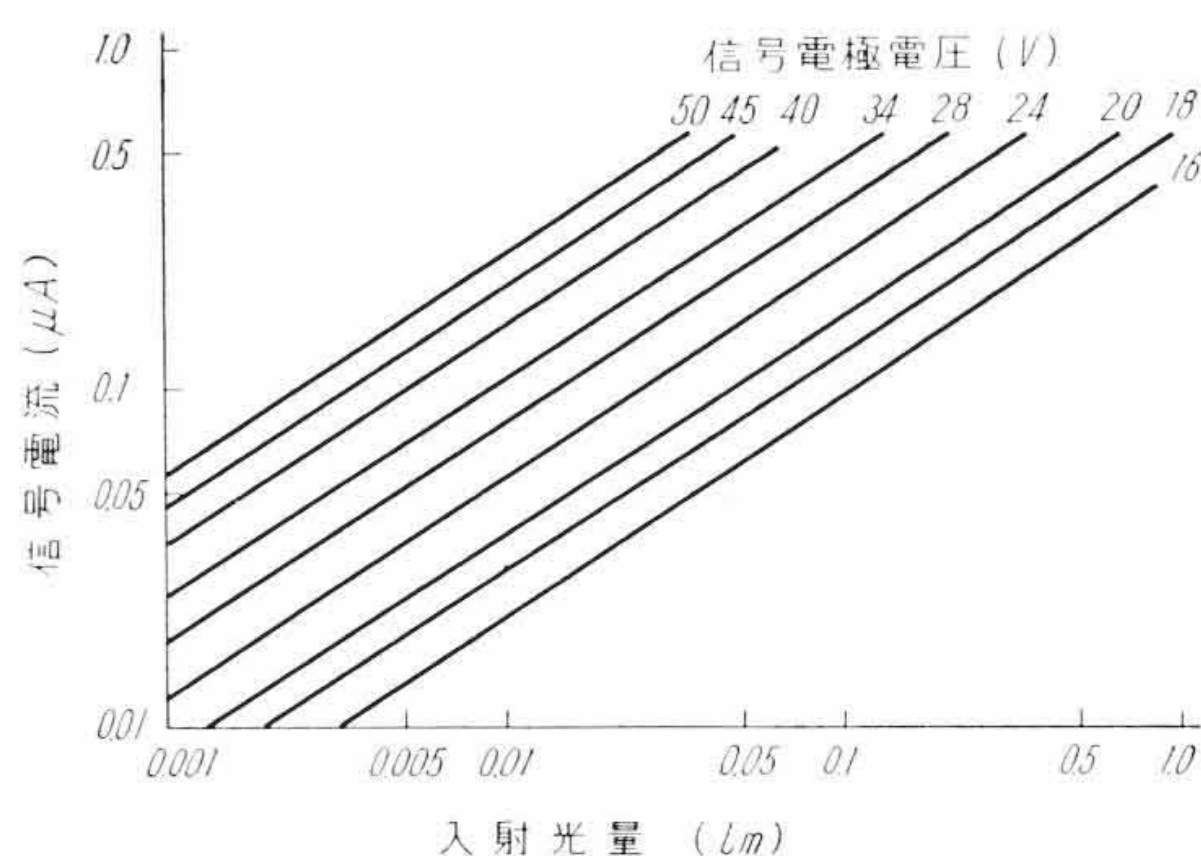
2.1 原 理

ビジコンの信号電極電圧を制御して、動作光量領域を拡大する本方式の基本的な考え方は、ビジコンの感度(入射光量に対する信号

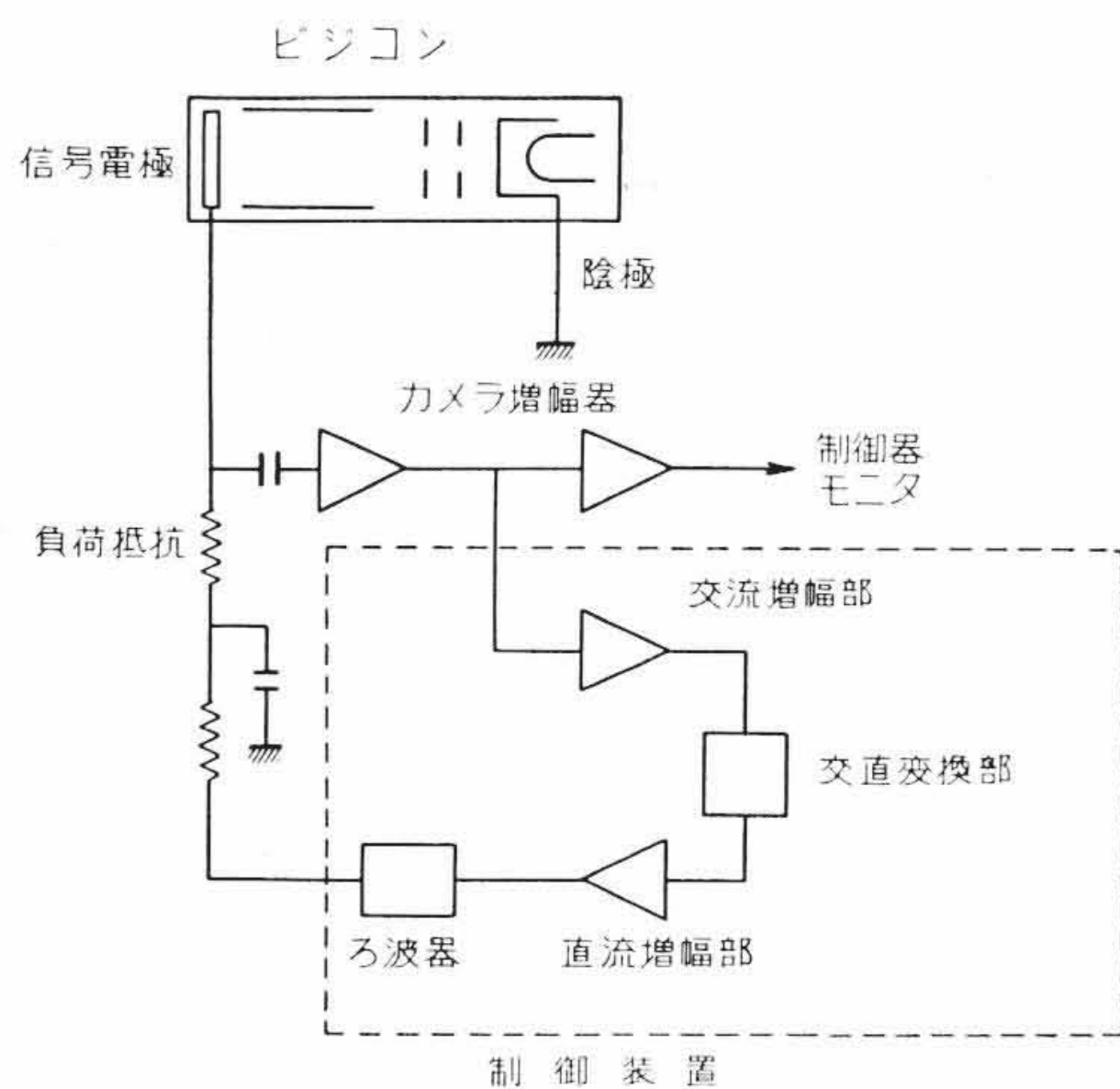
* 日立製作所中央研究所

第1表 記号および用語一覧表

記号	単位	用語	備 考
E	V	信号電極電圧	規格などでは E_{sf} と書く
E_0	V	基準信号電極電圧	制御中心電圧
E_{00}	V	固有信号電極電圧	暗電流 $0.02 \mu A$
E'	V	信号電極電源電圧	負帰還に無関係なバイアス電圧 ($E' = E_0 + \mu i_{s0}$)
ΔE	V	電圧制御量	制御による信号電極電圧変動 ($\Delta E = \Delta E_+ - \Delta E_-$)
ΔE_+	V	正側電圧制御量	光量を減少($\times 1/8$)したときの E_0 からの電圧変動
ΔE_-	V	負側電圧制御量	光量を増加($\times 8$)したときの E_0 からの電圧変動
i_s	μA	信号電流	
i_{s0}	μA	基準信号電流	制御中心信号電流 ($0.2 \mu A$ とする)
i_{s+}	μA	正側信号制御量	制御時、光量を増加したときの信号電流
i_{s-}	μA	負側信号制御量	制御時、光量を減少したときの信号電流
Δi_s	μA	信号制御量	($i_{s+} - i_{s-}$) の値
ϕ	lm または lx	入射光量	ビジコン面への入射光量、または面照度
ϕ_0	lm または lx	基準光量	E_0, i_{s0} に対応する入射光量
μ	V/ μA	制御系増幅系数	
μ'	1/ μA	有効増幅系数	$\mu' = \mu/E'$
G		制御系利得	制御系利得調整器の目盛値 (最大 10)



第1図 ビジコンの光電変換特性



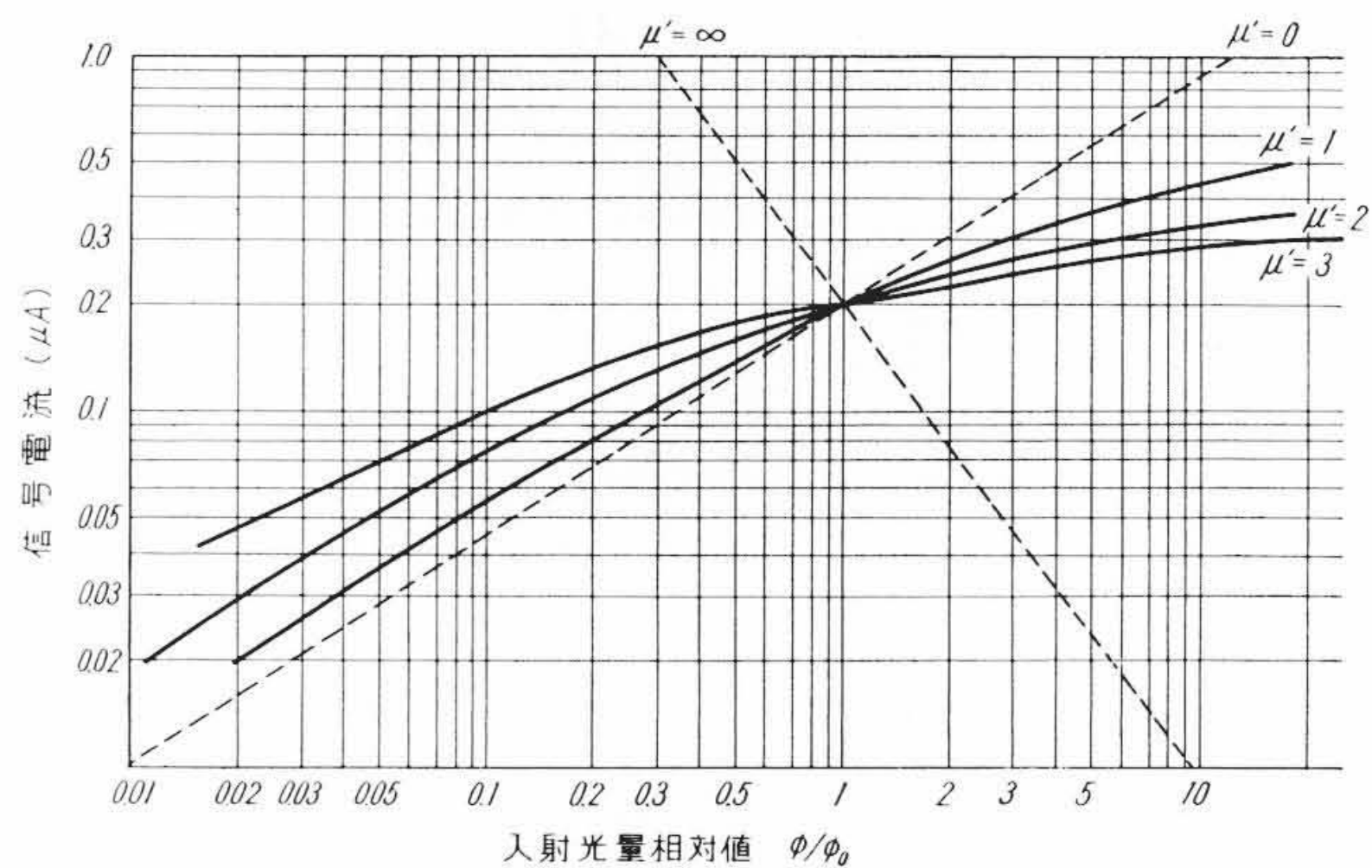
第2図 ビジコン信号電流を用いた信号電極電圧制御方式の系統図

電流の値) が信号電極電圧の値によって変化するという事実に基づくものである。

一般にビジコンでは信号電流 (i_s), 信号電極電圧 (E), 入射光量 (ϕ) との間に(1)式のような近似的な関係がある。

$$i_s = k E^\alpha \phi^\gamma \dots\dots\dots (1)$$

ここで k, α, γ はビジコンによって決まる定数で、普通のビジコンでは $\alpha = 1.5 \sim 2, \gamma = 0.6 \sim 0.7$ である。この関係は第1図のような光電変換特性からも明らかである。(1)式から入射光量 (ϕ) の変化が信号電流に及ぼす影響を信号電極電圧 (E) で補償、または軽減することができる。普通のビジコン・カメラで明るい被写体を写すときはレンズ絞りの調整のほか信号電極電圧を下げ、



第3図 制御時の入射光量対信号電流特性

暗い被写体を写すときに信号電極電圧を上げることは、一般的な調整操作の常識であるが、この操作を自動的に行なわせるのが、本方式の骨子である。

本方式の具体的な実施方法は第2図のブロック・ダイアグラムで示すようにビジコンの信号電流を増幅したのち、適当レベルで整流平滑して直流に変換し、次いで直流増幅して、信号電極電圧とするもので、一種の負帰還である。

2.2 制御効果の一般式

本方式のように信号電流を用いて信号電極電圧の制御を行なう場合、帰還増幅系の直線性を仮定すると、(1)式から(2)式のような制御動作に関する一般式が導かれる。

$$i_s = k(E' - \mu i_s)^\alpha \phi^\gamma \dots\dots\dots (2)$$

ここで E' : 信号電極電源電圧

μ : 帰還系の増幅係数

E' の値は動作中心である基準信号電流 i_{s0} , 基準光量 ϕ_0 によって決定されるもので、この i_{s0}, ϕ_0 は最初に設定しておかねばならない。このような基準状態では(2)式は(3)式ようになる。

$$i_{s0} = k(E' - \mu i_{s0})^\alpha \phi_0^\gamma \dots\dots\dots (3)$$

なお信号電流 i_s の基準信号電流 i_{s0} からの変位を(4)式のように Δi_s とすると(2)式は(5)式のように表わすこともできる。

$$i_s = i_{s0} + \Delta i_s \dots\dots\dots (4)$$

$$i_s = k(E' - \mu i_{s0} - \mu \Delta i_s)^\alpha \phi^\gamma = k(E_0 - \mu \Delta i_s)^\alpha \phi^\gamma \dots\dots\dots (5)$$

ここで E_0 : 基準信号電極電圧

なお E_0 と E' の関係は次式で示される。

$$E_0 = E' - \mu i_{s0} \dots\dots\dots (6)$$

(5)式において基準光量 ϕ_0 を与えて、 $\Delta i_s = 0$ とすると

$$i_{s0} = k E_0^\alpha \phi_0^\gamma \dots\dots\dots (7)$$

(7)式は基準式の(1)式からもただちに導かれる。

次に制御効果の一般式を求めてみる。いま制御効果を光量を変えた場合の信号電流の変化で表わすとする、制御効果の一般式としては ϕ/ϕ_0 と i_s/i_{s0} の関係を求めればよい。

これは(5), (7)式からただちに求められ、次式のようになる。

$$\frac{i_s}{i_{s0}} = \left(1 + \frac{\Delta i_s}{i_{s0}}\right)^\alpha = \left(1 - \frac{\mu}{E_0} \Delta i_s\right)^\alpha \left(\frac{\phi}{\phi_0}\right)^\gamma \dots\dots\dots (8)$$

しかしながら、(8)式は Δi_s の項があるため、むしろ(2), (3)式から求められる(9)式の方が取り扱いが容易である。

$$\frac{i_s}{i_{s0}} = \left(\frac{1 - \mu' i_s}{1 - \mu' i_{s0}}\right)^\alpha \left(\frac{\phi}{\phi_0}\right)^\gamma \dots\dots\dots (9)$$

ここで

$$\mu' = \frac{\mu}{E'} \dots\dots\dots (10)$$

(9)式はこの制御系の制御効果を表わす一般式であり、 μ' を仮定

して数値計算した結果を第3図に示す。なお第3図は実際の動作状態と関連づけるため、(9)式において $i_{s0}=0.2\mu\text{A}$ とし、 i_s 対 ϕ/ϕ_0 の関係で表わしてある。

なお i_{s0} を任意に選んでも、第3図の形は縦軸に対し平行移動するだけでよい。この場合 μ' が i_{s0} に反比例した値となる。

さて上記第3図の関係は制御効果の大きさを表わす一つの目安である μ' のみで決定されるので、(6)、(10)式の関係から動作中心を与える基準信号電極電圧 E_0 が低ければ増幅利得が少なくすみ、有利であることがわかる。

次に参考までに、いかなる光量変化に対しても信号が一定であるような理想的制御系について一言する。このような理想制御の条件は(1)式から容易に得られる(11)式の形で与えられる。

$$E = k' \phi^{-\frac{\gamma}{\alpha}} \dots\dots\dots (11)$$

すなわち、光量のべき関数に比例した信号電極電圧を与えればよいわけであるが、本方式の制御系では、信号電流を媒介とすることおよび普通の直線増幅器を使用することの2点から、このような理想的制御は不可能である。

2.3 制御量の表示法

最初に本制御法で得られる制御効果を何によって表示するかを考えてみる。本制御法の目的から、ビジコン・動作光量範囲の拡大効果で表わすのが最もよいと考えられるが、その定量的取り扱いおよび測定はかなり困難で、実際的でない。その次には、前節の一般式で示されるように、一定の光量変化に対する信号電流の変化量で表わす方法が妥当と考えられる。必要があれば、これからラチチュードの拡大効果や見かけ上のガンマ圧縮も計算できる利点もある。しかしこの表示法も実際の取り扱いにあたっては微小な信号電流の測定を必要とするので、実際の制御装置の操作に対して必ずしも簡便とはいえない。実際的な取り扱いにあたっては、測定の容易な信号電極電圧の変動で表示するのが、最も便利である。

本論文では上述のような制御効果を表示する量を制御量と呼び、信号電流の変化で表示するときを信号制御量、信号電極電圧変化で表示する場合を電圧制御量と仮称して論を進めることにする。

そこで上記の信号制御量と電圧制御量の間の関係について考えてみる。

いま、光量 ϕ が基準値 ϕ_0 から n 倍増加または $1/n$ に減少した場合、制御によって信号電極電圧が基準電圧 E_0 から ΔE_- 減少または ΔE_+ 増加し、信号電流が基準値 i_{s0} から i_{s+} または i_{s-} になったとする。こうすると(1)式からそれぞれ(12)、(13)式が得られる。

$$i_{s+} = k(E_0 - \Delta E_-)^{\alpha} (n\phi)^{\gamma} \dots\dots\dots (12)$$

$$i_{s-} = k(E_0 + \Delta E_+)^{\alpha} \left(\frac{\phi}{n}\right)^{\gamma} \dots\dots\dots (13)$$

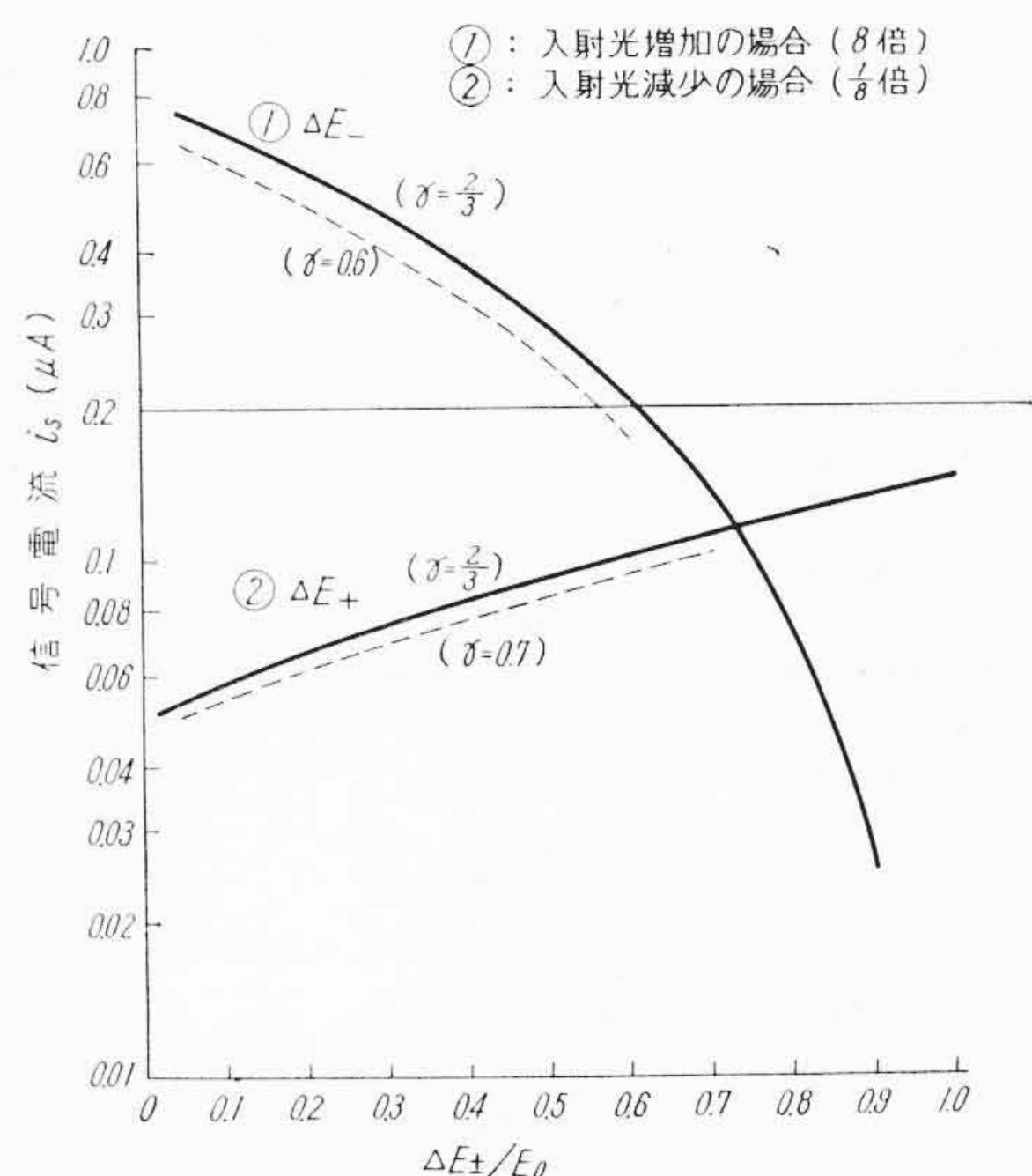
(12)、(13)式および(7)式を用いると

$$\frac{i_{s+}}{i_{s0}} = \left(1 - \frac{\Delta E_-}{E_0}\right)^{\alpha} n^{\gamma} \dots\dots\dots (14)$$

$$\frac{i_{s-}}{i_{s0}} = \left(1 + \frac{\Delta E_+}{E_0}\right)^{\alpha} \left(\frac{1}{n}\right)^{\gamma} \dots\dots\dots (15)$$

(14)、(15)式は電圧制御量 ΔE と信号制御量 i_s の関係を示すものである。これから明らかなように信号制御量したがって制御効果は $\Delta E/E_0$ で決定され、 E_0 の低い条件で制御するのが有利である。このことは前節に述べたことと一致する。

さて実際にこれら制御量の関係を求めるには、光量変化量 n を決める必要があるが、普通のレンズ絞り値が2~16であることを利用し、基準値 ϕ_0 を $f=5.6$ に設定し、光量増加の場合は $f=2$ 、光量減少の場合は $f=16$ に相当する光量を与える。すなわち光量変化量を $n=8$ に設定するのが実際的である。いま、(14)、(15)式において



第4図 電圧制御量と電流制御量の関係

$\alpha=3/2$, $\gamma=2/3$, $n=8$ とし、 $i_{s0}=0.2\mu\text{A}$ とおいて、 i_s と $\Delta E_+/E_0$ または $\Delta E_-/E_0$ との関係を計算すると第4図のようになる。なお第4図の点線は $i_{s0}=0.2\mu\text{A}$ 以上では $\gamma=0.6$ 、 $i_{s0}=0.1\mu\text{A}$ 以下では $\gamma=0.7$ と仮定した場合について参考までに計算したもので、ビジコンの γ 値の変化に対する補正結果を示すものである。

第4図は計64倍の光量変化を与えたときの信号制御量と電圧制御量を基準信号電極電圧で正規化した一般的な換算図となる。任意の光量変化を与えた場合も第4図と(14)、(15)式から容易に推定ができる。第4図を利用すると、電圧制御量 ΔE と基準信号電極電圧 E_0 を知れば、信号制御量 i_s の値を算出でき、逆に E_0 , i_s を与えて必要な ΔE を算出することもできる。

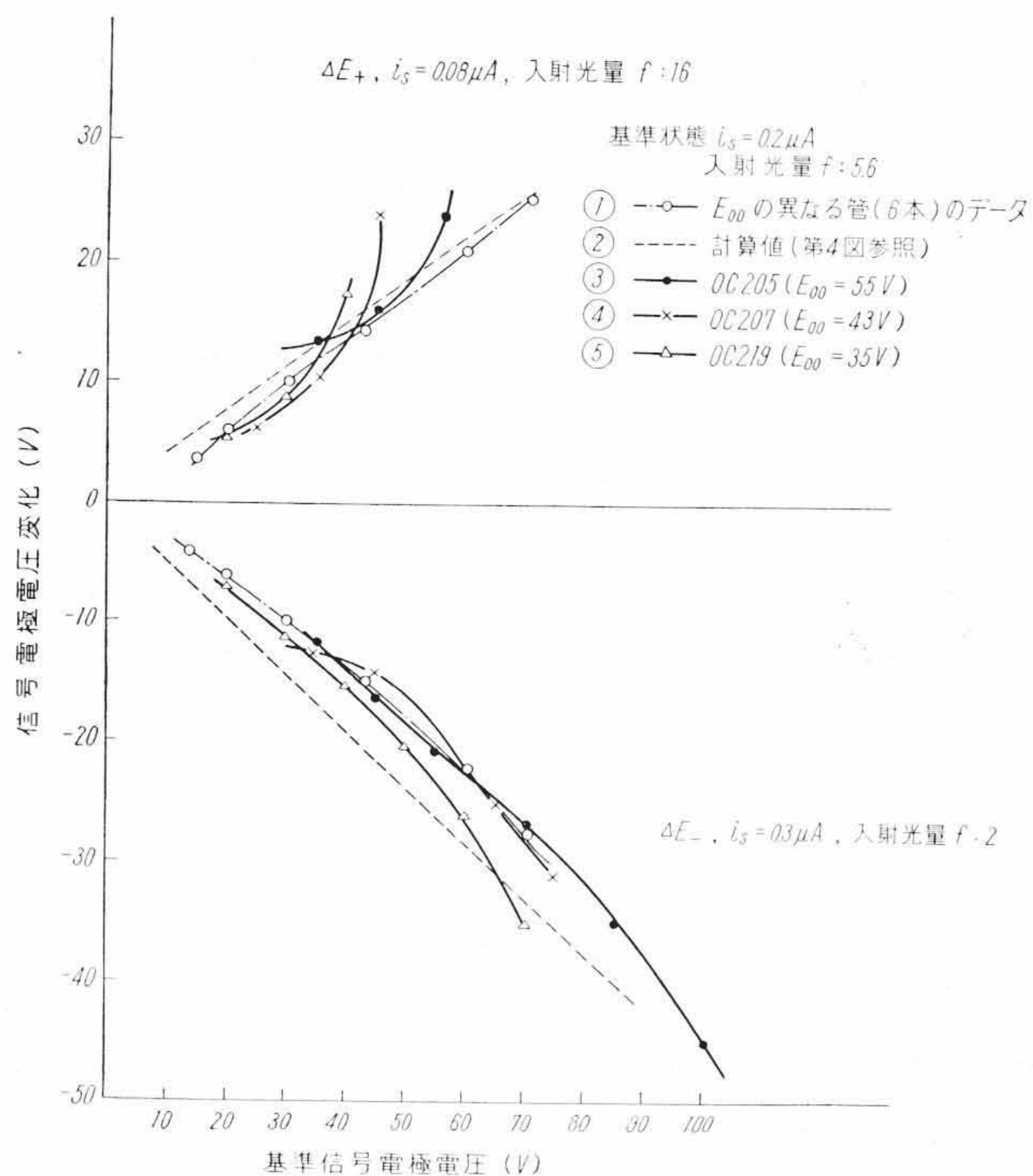
参考のため簡単な算出例をあげると、いまたとえば64倍の光量変化に対して i_s の変化範囲を $0.08\sim 0.3\mu\text{A}$ (この値は従来の実験結果から実用可能な最大制御範囲に近いものと考えられる値である) に抑えるためには、 $\Delta E (= \Delta E_+ + \Delta E_-)$ を E_0 の約0.83倍 (実線の場合) にとればよいことが示され、 $E_0=50\text{V}$ では ΔE として $41\sim 43\text{V}$ 与えればよいことになる。また $E_0=50\text{V}$ に対して $\Delta E=30\text{V}$ ($\Delta E_+=15\text{V}$, $\Delta E_-=15\text{V}$) の変化を与えると信号電流は $i_{s+}=0.47\mu\text{A}$, $i_{s-}=0.065\mu\text{A}$ に制御されることが示される。

3. 制御に関係するビジコンの特性

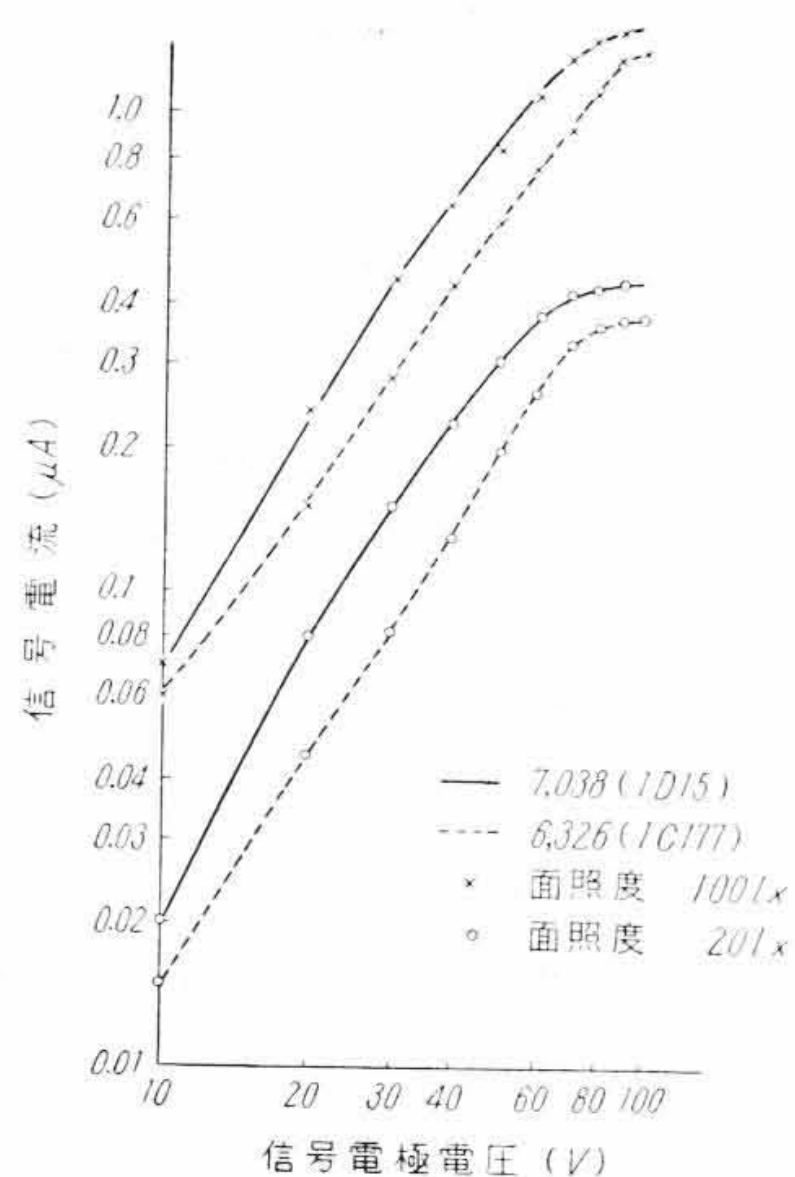
3.1 ビジコン特性のパラツキと制御効果の関係

ビジコンは個々の管によって感度や固有信号電極電圧 E_{00} (暗電流 $0.02\mu\text{A}$ を与える信号電極電圧を仮称する) が異なっており、これが制御効果にどう影響するか、またどのような特性の管が最も制御用として適しているかを知ることは重要である。

これを調べる一つの方法として、われわれは固有信号電極電圧 E_{00} の異なるいくつかの管を選び、一定の信号制御量を与えるそれぞれの電圧制御量を求めてみた。すなわち各管の E_{00} を動作中心の基準信号電極電圧 E_0 にとり、基準状態として入射光量をレンズ絞り $f=5.6$ で $i_{s0}=0.2\mu\text{A}$ になるよう設定しておき、光量を8倍 ($f=2$) または $1/8$ 倍 ($f=16$) に変化したときの信号制御量がそれぞれ $i_{s+}=0.3\mu\text{A}$, $i_{s-}=0.08\mu\text{A}$ になるときの電圧制御量 ΔE_- , ΔE_+ を測定してみた。この結果を第5図曲線①に示す。第5図の点線②は第4図で示した理論計算値を示したものであるが、 ΔE_+ に対してはきわめてよい一致を示し、 ΔE_- については5V程度理論値より小さいが、傾向的にはよい一致を示している。光量増加、電圧降下のときに表われるこの5Vの差は、光量が大きいと γ が若干低くなることに起因するのではないかと考えられるが、明確なことは現在わかってい



第5図 信号制御量一定時のビジコン電圧制御量特性

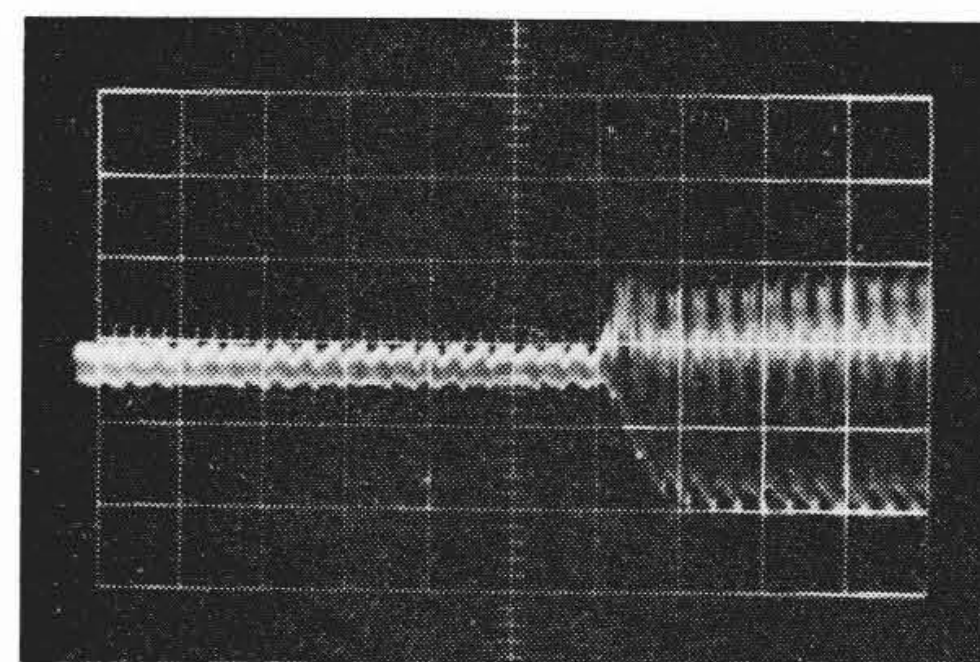


第6図 ビジコンの信号電極電圧対信号電流特性

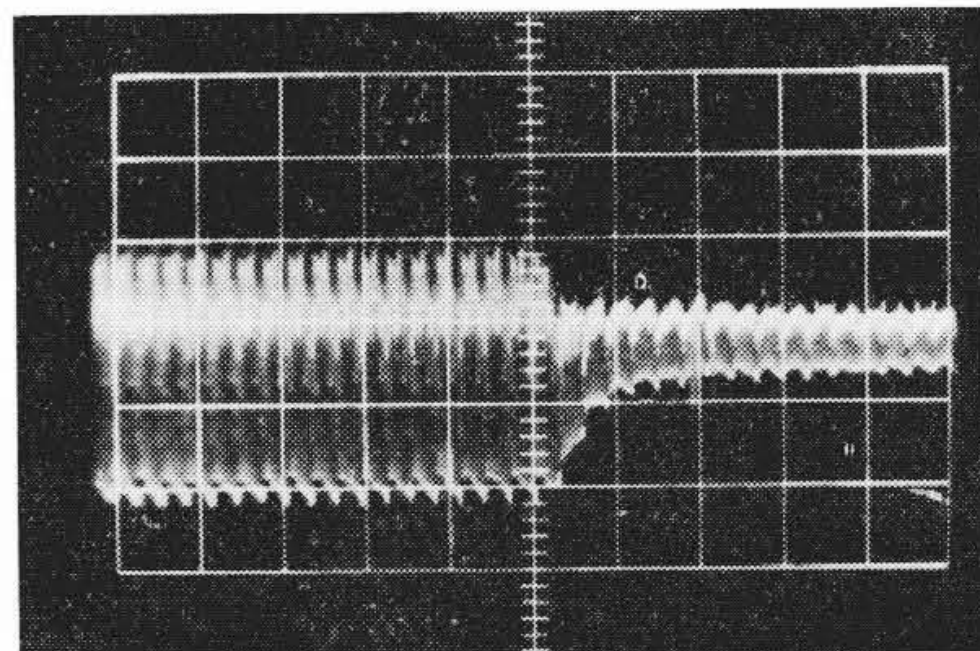
ない。

次に上記の実験と関連して、特定のビジコンで E_0 を種々変えた場合の信号制御量と電圧制御量の関係調べてみたのが第5図曲線③、④、⑤である。これは E_0 の異なる3本のビジコンについて、前記実験と同じく光量を8倍変えたとき、信号制御量を $i_{s+}=0.3 \mu A$, $i_{s-}=0.08 \mu A$ ($i_{s0}=0.2 \mu A$) 一定にする ΔE の値を種々の E_0 について求めたものである。図からわかるように各特性曲線はいずれも傾向的にはかなりよい一致を示している。なお後者の実験で光量を減じたときの ΔE_+ についてのデータはかなりバラツキているが、この理由は第6図に一例を示すように信号電極電圧がある程度以上高くなると、それ以上いくら高くしても信号電流は増加せず、むしろ減少するためである。

以上の実験結果から、信号電流 $0.2 \mu A$ を与える基準信号電極電圧を E_0 として、どのようなビジコンのどのような信号電極電圧を選んでもほぼ同一制御効果を与えることがわかり、個々のビジコンの特性のバラツキはほとんど影響がないことを確認し得た。このこ



(a) 光増加の場合



(b) 光減少の場合

(時間軸 0.05 s/cm)

第7図 入射光に対するビジコン信号電流の応答特性

とは、どのビジコンでもほぼ(1)式の関係がなりたつことの証明でもある。ただ信号電極電圧が固有信号電極電圧に比べてある程度以上大きいときは、(1)式の基本的特性が成立しなくなるため、光量減少に対して信号を予期どおりに補償できない場合があることは注意すべき点である。

3.2 ビジコン特性と制御応答時間

本制御法において応答時間を短くすることは、特にフィルム放送への適用を考える場合にはきわめて重要である。この制御の時間応答は回路系によっても左右されるが、その限界はビジコンの特性によって決定される。以下制御の応答時間とビジコン特性の関係について調べてみる。

3.2.1 光に対するビジコンの応答特性

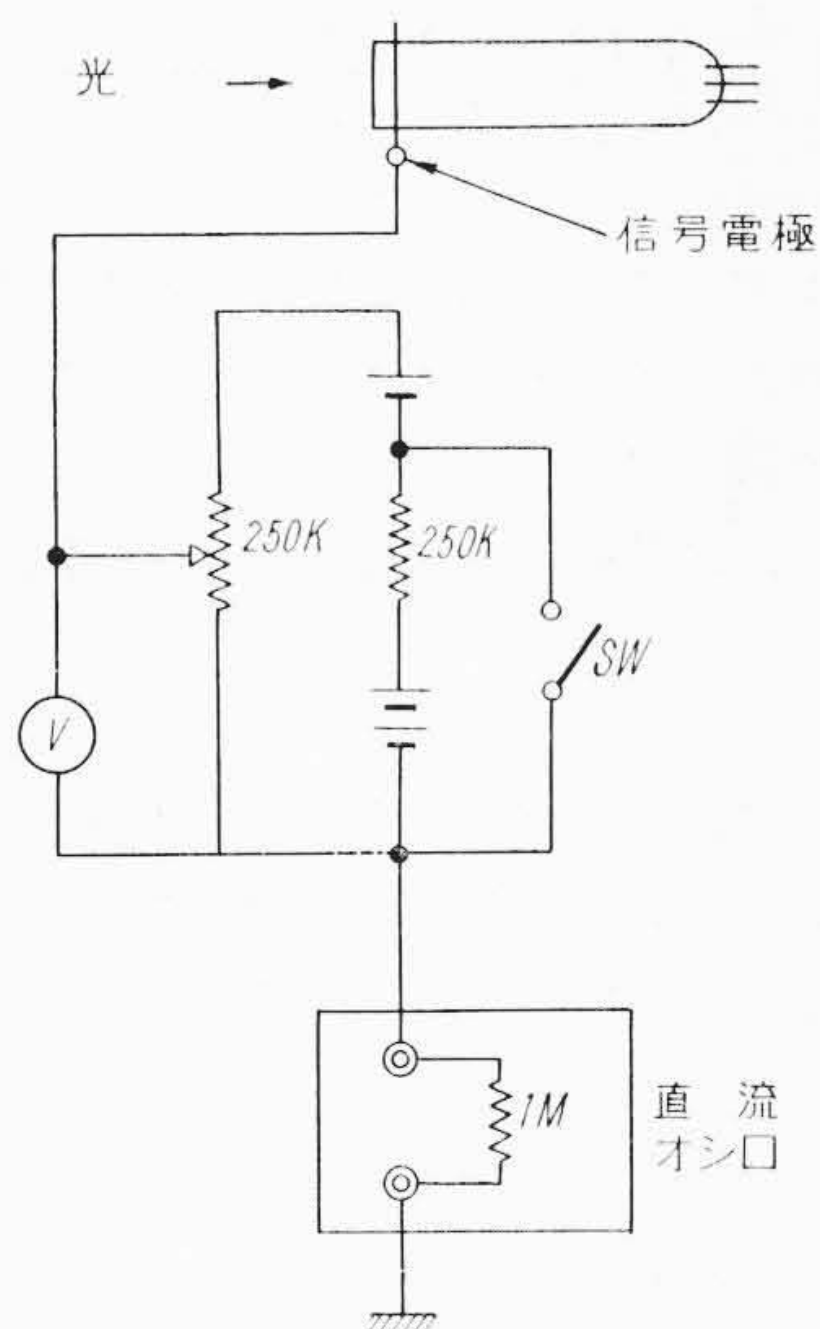
ビジコンは光導電形撮像管であり、光に対する信号の時間応答は光導電機構による遅れと蓄積容量の充放電による遅れの両者によってかなり長いことは衆知のとおりである。

第7図は入射光変化に対する信号電流の時間応答(カメラ増幅器初段管プレート信号波形)を示すもので、(a)、(b)はそれぞれ光が増加した場合、減少した場合の一例である。後者はいわゆる残像である。図からわかるように、光変化に対する時間遅れはもちろん、個々のビジコンにより多少異なるが、大体5~6フィールドすなわち0.05秒程度である。

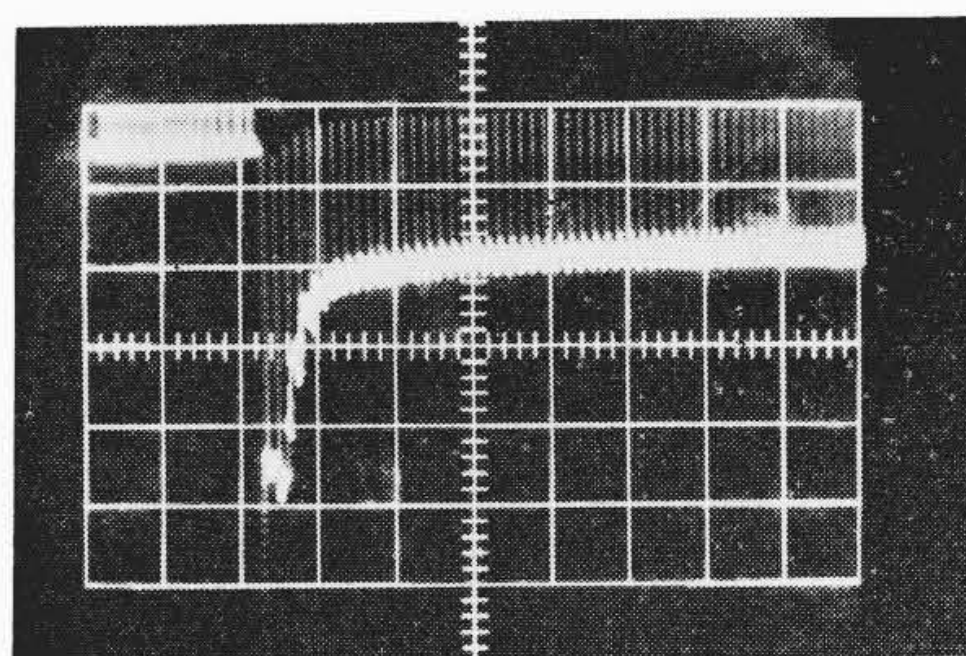
このような光に対するビジコンの信号の遅れは制御応答時間を制限する一つの因子である。

3.2.2 信号電極電圧変化に対するビジコンの応答特性

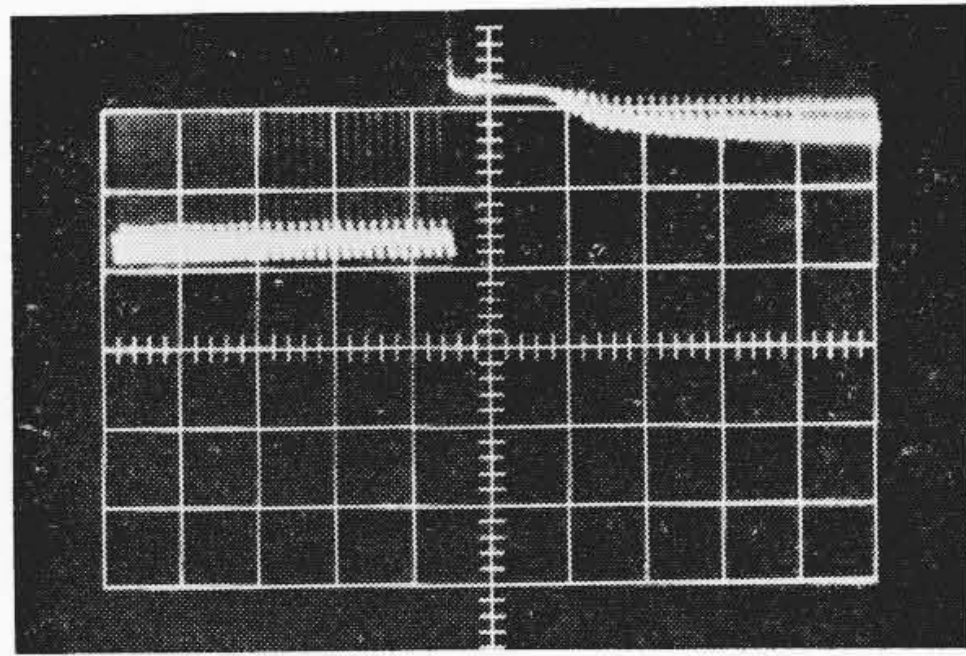
制御応答時間を左右する因子として前項の光に対するもののほかに、信号電極電圧変化に対するビジコン信号の応答特性を考える必要がある。この特性を調べるため、第8図のような測定回路を用いて実験した結果を第9図に示す。第9図は入射光を一定とし、信号電極電圧を急激に変化させたときの信号変化の模様を求めたもので、同図(a)は信号電極電圧を40Vから70Vに急激に増加した場合、(b)は同じく70Vから40Vに急激に減少させた場合の信号電流波形である。図から信号電極電圧に対する信号の応答時間は0.1~0.2秒に及ぶことがわかる。また信号電極電圧の増加と減少時において、信号の応答にかなり相違が見られる。なお第9図、特に(b)の異常波形が光導電膜の特性に基づくことを確認する意味で、ネサ膜だけをつけた実験管に対して、信号電極



第8図 測定回路



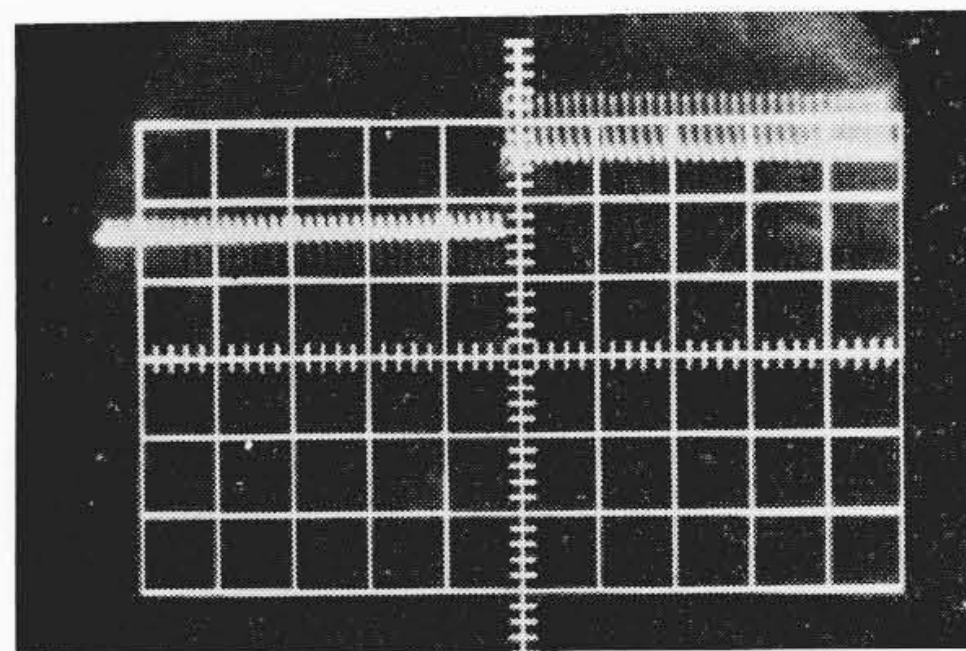
(a) ビジコン電圧増加
 $E: 40V \rightarrow 70V$



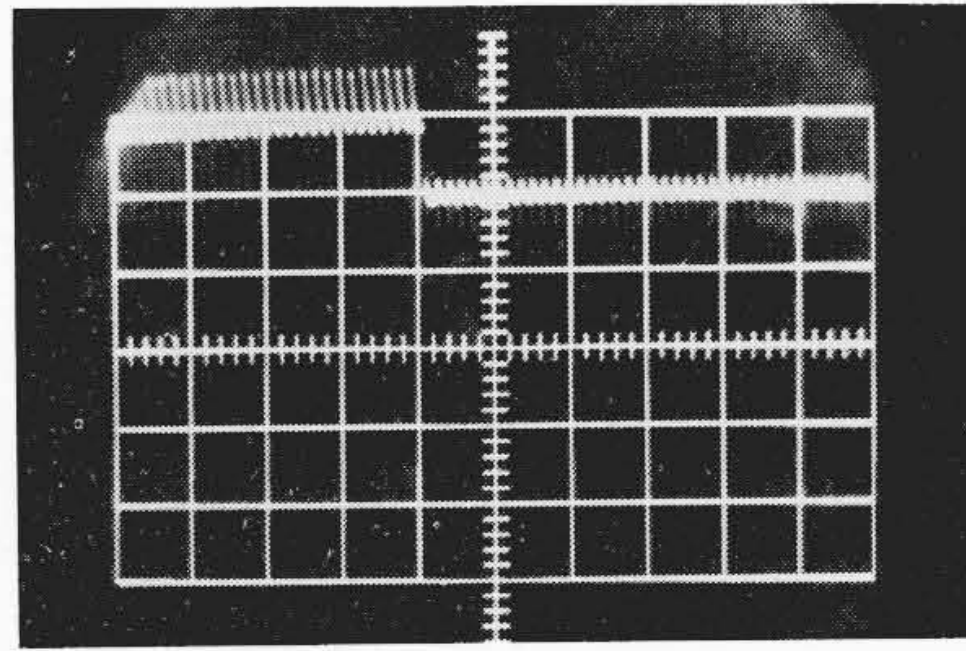
(b) ビジコン電圧減少の場合
 $E: 70V \rightarrow 30V$

(電圧目盛: $0.2V/cm$, 時間目盛: $0.1s/cm$)

第9図 信号電極電圧変化に対するビジコン信号の応答



(a) 実験管電圧増加の場合
 $E: 40V \rightarrow 70V$



(b) 実験管電圧減少の場合
 $E: 70V \rightarrow 40V$

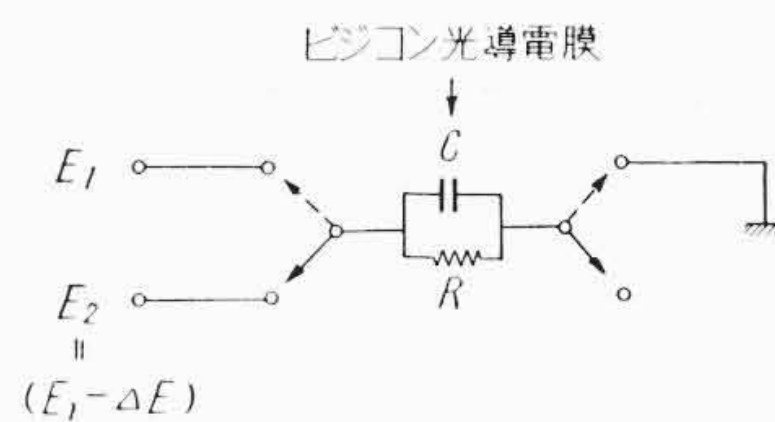
(電圧目盛: $0.2V/cm$, 時間目盛: $0.1s/cm$)

第10図 信号電極電圧変動に対する実験管の信号応答

電圧を切り換えたときの結果を第10図(a), (b)に示した。この場合には第9図に見られるような過大信号や信号消滅は認められない。なお同じ条件のもとでビジコンと実験管では電圧変化の方向が逆であるが、これはネサ膜実験管では高い信号電極電圧で $\delta > 1$ となり、信号電流の方向がビジコンと逆になるためである。

さて上述のように信号電極電圧変化による信号の遅れが $0.1 \sim 0.2$ 秒にも達することは、前項の光に対する応答以上に、本制御法の時間応答にきわめて重大な影響を及ぼすことは明らかである。また信号電極電圧の立ち上がりとしち下がり信号波形が著しく異なる点も制御動作に異なった影響を与える。事実この特性は本制御法の制御効果、動作特性を決定する最大の因子として今後しばしば取り上げられることになる。

以上、本節では信号電極電圧を制御する本方式において、応答時間の限界が光および信号電極電圧の両者に対するビジコンの応答時間



第11図 ビジコン光電電膜の等価回路

から本質的に 0.1 秒程度に押えられることが明らかとなったが、この応答時間の限界の問題は、単に信号電極電圧制御の方式だけではなく、陰極負帰還の場合にもあてはまるものであることを注意しておかねばならない。応答時間に差がなければ陰極電圧制御の価値は一段と小さくなり、信号電極電圧のほうがはるかに簡単であると考えられる。

3.3 信号電極電圧変化に対するビジコンの信号応答

3.3.1 理論的考案

前節3.2.2で制御系の時間応答を左右する因子として信号電極

電圧の変化によるビジコンの信号応答に遅れがあることを指摘したが、この問題は従来取り上げられたことがないので、さらについで検討してみる。まずにゆえ信号電極電圧の変化により第9図のような信号消滅や過大信号の発生が生ずるかを考えると、これはビジコンの光導電膜が絶縁物に近い高抵抗層であることから、次のように説明できる。

ビジコンの光導電膜は片側は導電性ネサ膜により信号電極電圧 E が与えられ、一方の側は電子ビーム走査によりほぼ陰極電位が与えられている。いま E が急激に ΔE だけ減少したとすると、光導電膜のビーム側の電位は一瞬 $-\Delta E$ になり、ビームのランディングが行なわれなくなる。したがってこの場合、信号は発生しない。この光導電膜に充電された電荷は膜の内部抵抗を通して放電するため、やがて膜のビーム側表面電位は陰極電位 $0V$ 近くにもどる。この状態になって初めて走査ビームのランディングが可能となり、信号がふたたび発生することになる。この光導電膜の表面電位が $-\Delta E$ から $0V$ に回復する時間が信号消滅時間である。一方信号電極電圧 E が増加する場合、膜の表面電位は一瞬増加し、

信号はそれに応じて増加するが、ビーム・ランディングは常に行なわれており、信号の消滅はないし、表面電位の回復もビームによる放電のため、電圧降下のときより一般に早いものと考えられる。

次に信号電極電圧の変化の程度と応答時間との関係について解析を行ない考察を進めることにする。なお信号電極電圧変化に対する応答で制御に特に重要な影響を与えるのは、後述のように信号消滅を伴う電圧降下の場合であり、電圧増加の場合は前者ほどの影響がないので、この場合についてのみ解析を行なう。

さて、いまビジコンの光導電膜を簡単なCR並列回路で等価的に表わすと、信号電極電圧の変化(この場合減少)の機構は第11図の電圧切換回路で表わすことができる。この図から前述の現象解釈に基づいて、信号消滅時間、すなわち応答時間 t を求めると(16), (17)式が得られる。

$$E_2 = E_1 e^{-\frac{t}{\tau}} \quad (16)$$

$$\therefore t = \tau \ln \left(\frac{E_1}{E_2} \right) = \tau \ln \left(\frac{E_1}{E_1 - \Delta E} \right) \quad (17)$$

ここで E_1 : 最初の信号電極電圧

E_2 : 変化後の信号電極電圧

ΔE : 信号電極電圧変化量

τ : ビジコン光導電膜の時定数

t : 信号電極電圧変動に対する応答時間 (信号消滅時間)

次にビジコンの光導電膜の時定数について考えておく必要がある。これに関してまず、ビジコンの信号電流との関係を調べると近似的に(18)式のような関係がなりたつ⁽³⁾。

$$i_s = \frac{E(1 - e^{-\frac{T}{T'}})C}{T'} \quad (18)$$

ここで T : フレーム時間=1/30 秒

T' : 1 絵素に対するビーム走査時間

C : 1 絵素の蓄積容量

一方、ビジコンの時定数 τ の値そのものに関しては、感度の点から T に比べて τ は(19)式のように大きく選ばれている⁽³⁾。

$$\tau \geq 5T \quad (19)$$

いま、実際のビジコンが上記の条件を満足しているものと考え、(18)式はその指数項を展開し、その第2項までをとって近似することができる。

この場合、(18)式は簡単になり次式で表わされる。

$$i_s \propto \frac{1}{\tau}, \quad \frac{i_s}{i_{s0}} = \frac{\tau_0}{\tau} \quad (20)$$

ここで i_{s0} : 基準信号電流

τ_0 : 基準光量に対する基準時定数

すなわち、膜の時定数は信号電流に大略反比例していることがいえる。したがって(20)式が成立するという仮定を設けると(17)式は次のように書き改められる。

$$t = \tau_0 \left(\frac{i_{s0}}{i_s} \right) \ln \left(\frac{E_1}{E_2} \right) \quad (21)$$

ここで、さらに信号電流が光量の γ 乗に比例するという(1)式の関係から、(21)式は(22)式のようになる。

$$t = \tau_0 \left(\frac{\phi_0}{\phi} \right)^\gamma \ln \left(\frac{E_1}{E_2} \right) \quad (22)$$

またもし光量が変わった場合、信号電流が一定になるように信号電極電圧を変えた場合には(1)式から次式の関係がなりたつ。

$$\left(\frac{\phi_0}{\phi} \right)^\gamma = \left(\frac{E}{E_0'} \right)^\alpha \quad (23)$$

ここで E_0' : 光量 ϕ_0 に対して、信号電流 i_{s0} を与える信号電極電圧

したがって計算上では光量 ϕ の値の代わりに信号電極電圧 E の値をもって表わすこともできる。この場合、(22)式は形式的に次のようになる。

$$t = \tau_0 \left(\frac{E_0}{E_0'} \right)^\alpha \ln \left(\frac{E_1}{E_2} \right) \quad (24)$$

なお上記(24)式は(23)式の E の代わりに動作中心の基準電極電圧の表示 E_0 で書き改めてある。以上述べたような諸式を用いて $\tau_0 = 5 \times 1/30$ 秒として種々の条件のもとで応答時間 t の値がどうなるかを計算で調べてみる。

(i) 光量一定、基準信号電極電圧 E_0 一定で電圧変化 ΔE を与えた場合

(17)式を用い、 $E_0 = 50V$, $E_1 = 50 + \frac{1}{2}\Delta E$, $E_2 = 50 - \frac{1}{2}\Delta E$ と定めて $\Delta E = 5 \sim 40V$ の範囲で応答時間 t を計算する。この場合 $E_1 = 70V$ ($\Delta E = 40V$ の場合) $\sim E_1 = 25.5V$ ($\Delta E = 5V$ の場合)である。計算結果を第12図実線①に示す。

(ii) 光量一定、電圧変化一定で、基準信号電極電圧を変えた場合

(17)式を用い、 $\Delta E = 30V$ 一定、 $E_0 = 30 \sim 70V$ すなわち $E_1 = 45 \sim 85V$ について計算すると第12図実線②になる。

(iii) 信号電流一定、電圧変化一定で、基準信号電極電圧を変えた場合

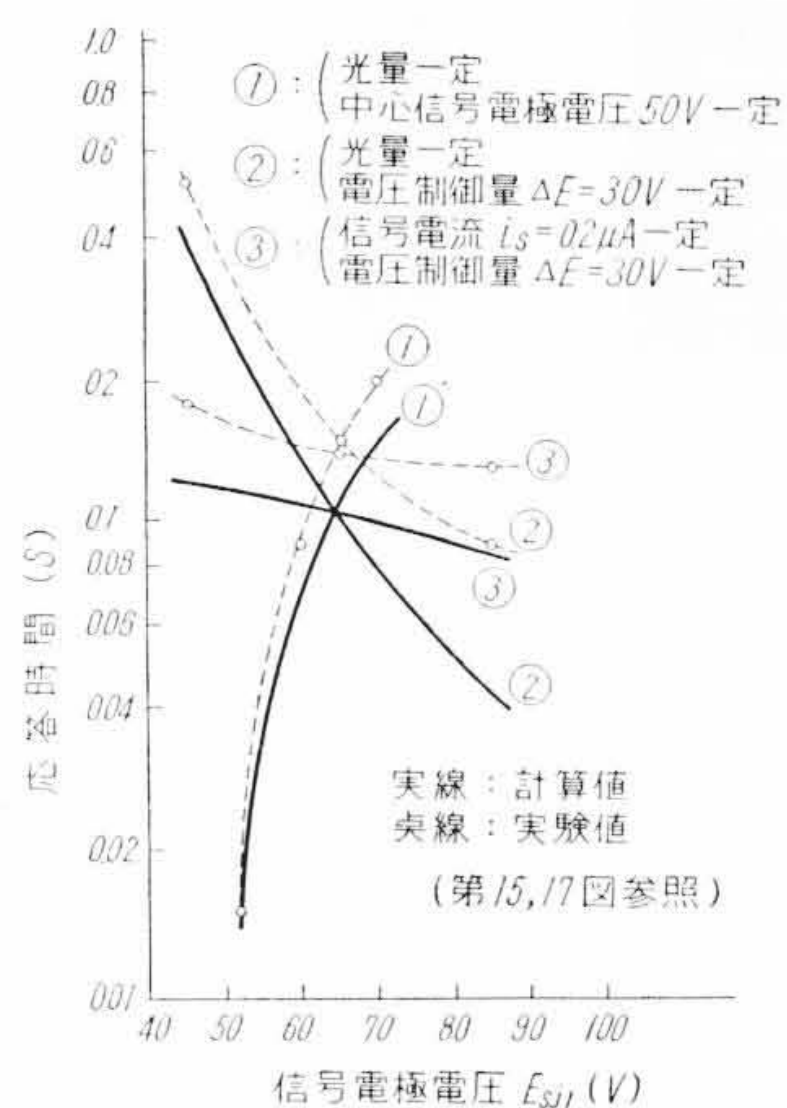
(24)式において、 $\Delta E = 30V$ 一定、 $E_0' = 50V$, $E_0 = 30 \sim 70V$ すなわち $E_1 = 45 \sim 85V$ において計算すると第12図実線③の特性が得られる。

(iv) 基準信号電極電圧および電圧変化が一定で、光量したがって信号電流を変えた場合

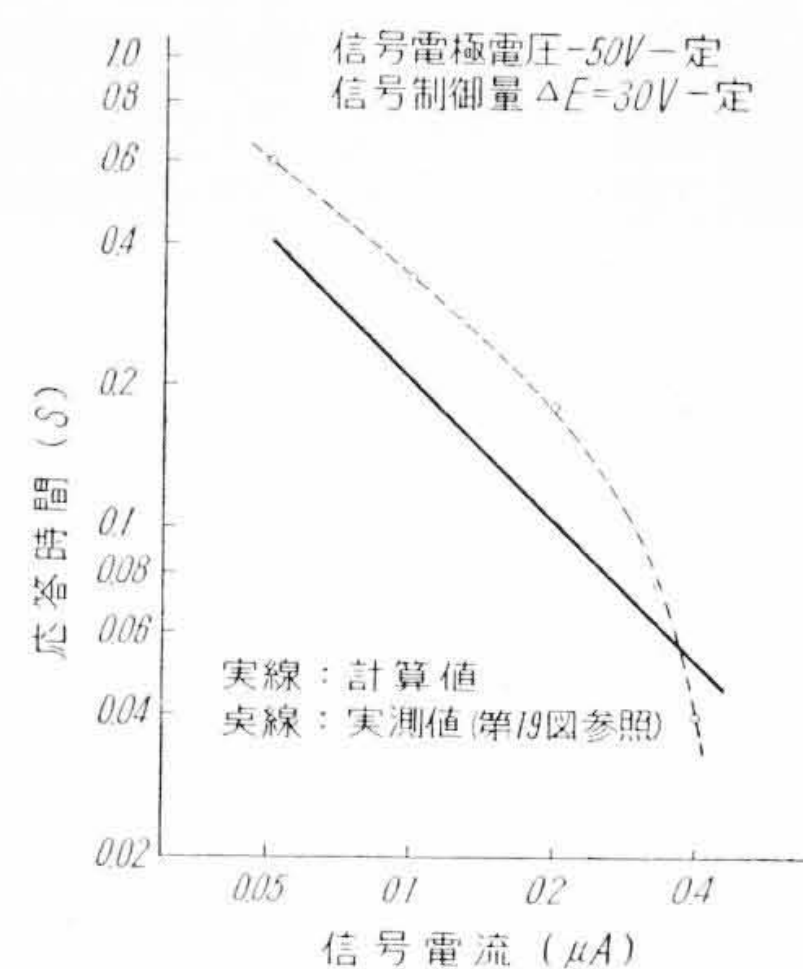
(21)式を用い、 $E_0 = 50V$, $\Delta E = 30V$ 一定で、 $i_{s0} = 0.2 \mu A$ に対し $i_s = 0.05 \sim 0.4 \mu A$ の変化に対して計算すると第13図実線をうる。

以上、4条件に対して信号電極電圧減少時の応答時間を計算した結果をそれぞれに第12図および第13図の実線で示したが、これらの条件に対応する実験結果の一例を各図点線で併記しておいた。この実験データの細部については次節で述べる。

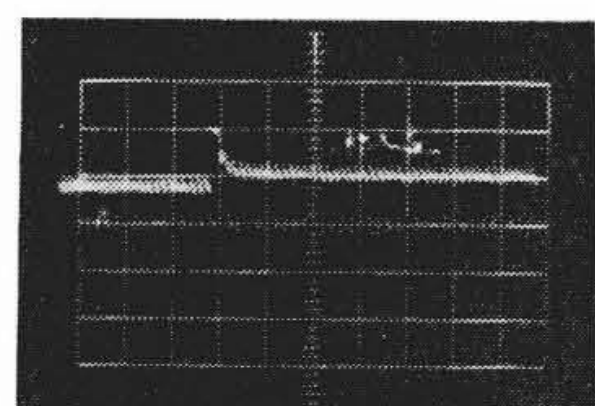
さて、この計算例および実験値を比較してみると、傾向的にはかなりよい一致を示しているといえよう。実際にはビームランデ



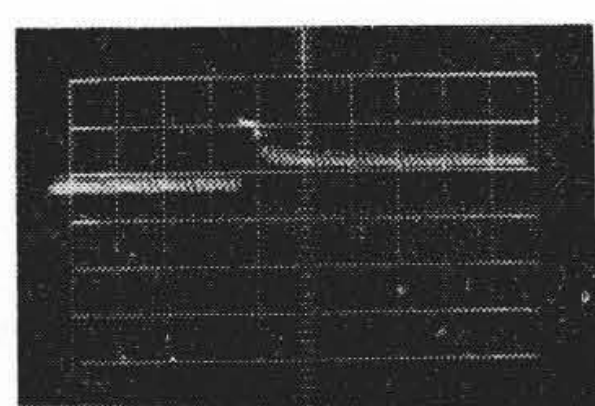
第12図 信号電極電圧変化 (減少)と応答時間



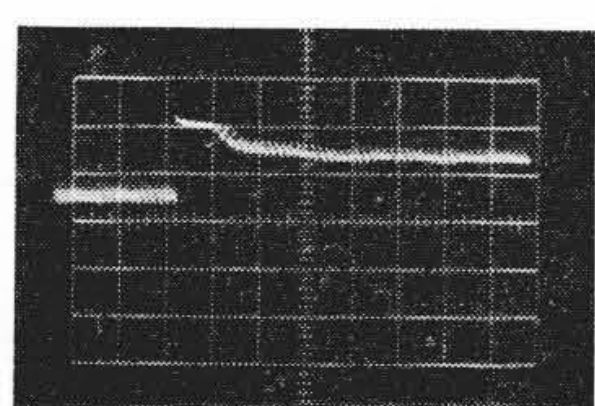
第13図 信号電極電圧変化と応答時間の関係



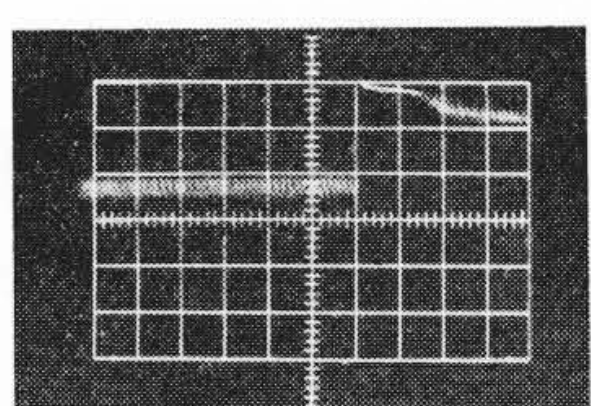
(a) $\Delta E = 5V$



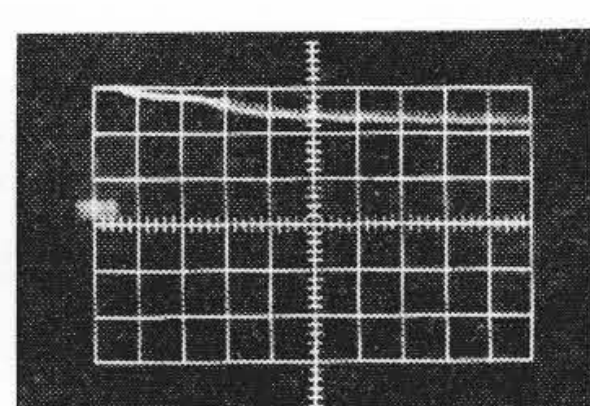
(b) $\Delta E = 10V$



(c) $\Delta E = 20V$



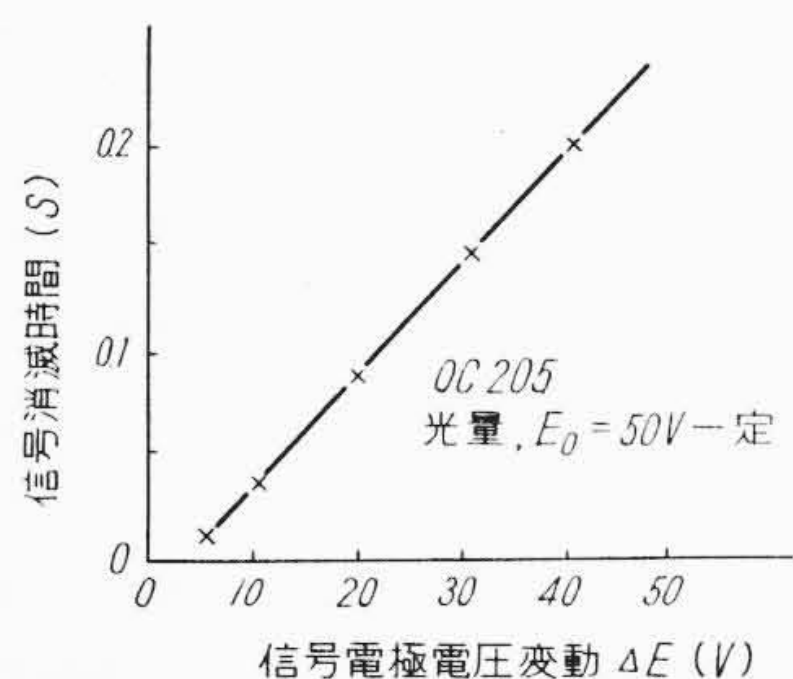
(d) $\Delta E = 30V$



(e) $\Delta E = 40V$

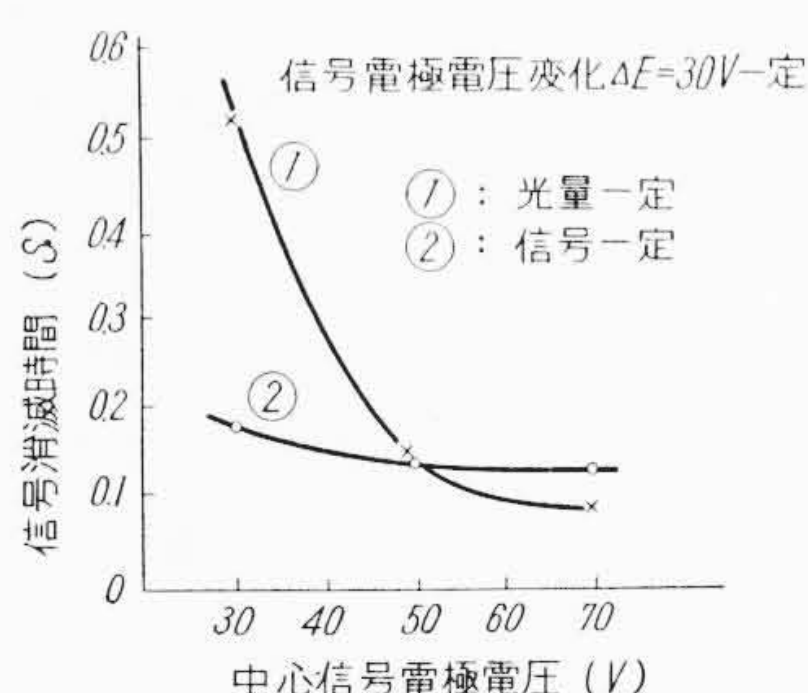
(時間軸: 0.1s/cm)

第14図 信号電極電圧急減時の信号応答波形



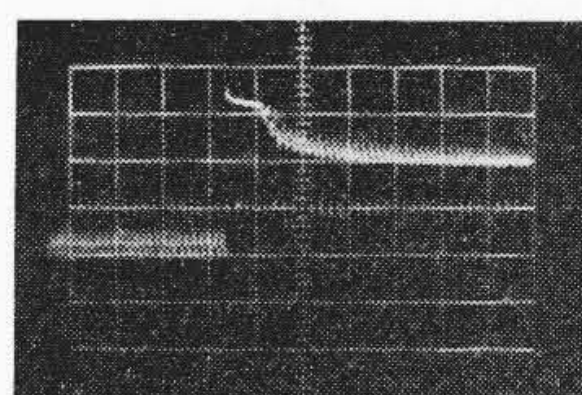
第15図 信号電極電圧変動と信号消滅時間

(注) $\Delta E=30\text{ V}$ とは $E_1=65\text{ V}$ から $E_2=35\text{ V}$ に急減することを示す。

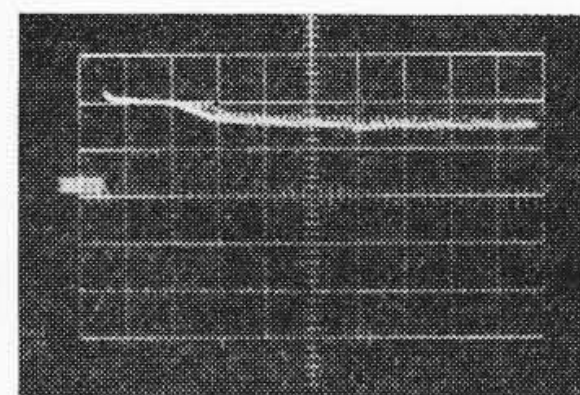


第17図 一定信号電極電圧変化を与えた場合の信号消滅時間と中心信号電極電圧の関係

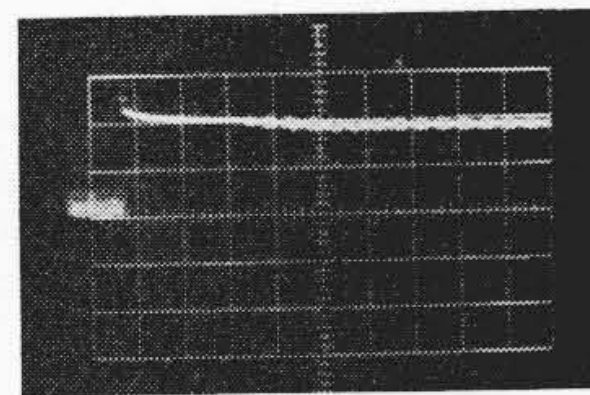
(注) 中心信号電極電圧 $E_0=50\text{ V}$ は $E_1=65\text{ V}$ から $E_2=35\text{ V}$ に急減することを示す。



(a) $E_0=70\text{ V}$



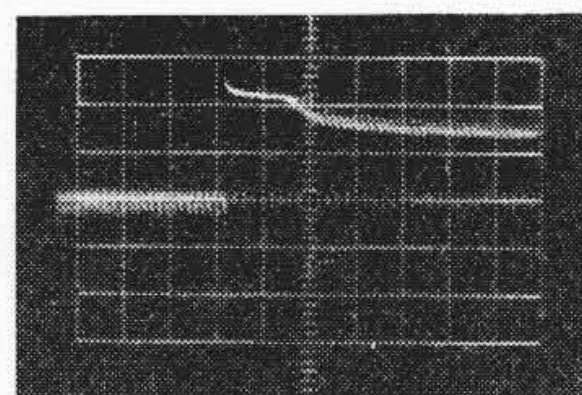
(b) $E_0=50\text{ V}$



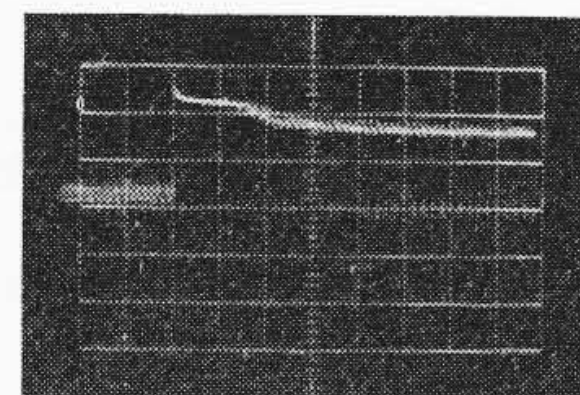
(c) $E_0=30\text{ V}$

(時間軸: 0.1 s/cm)

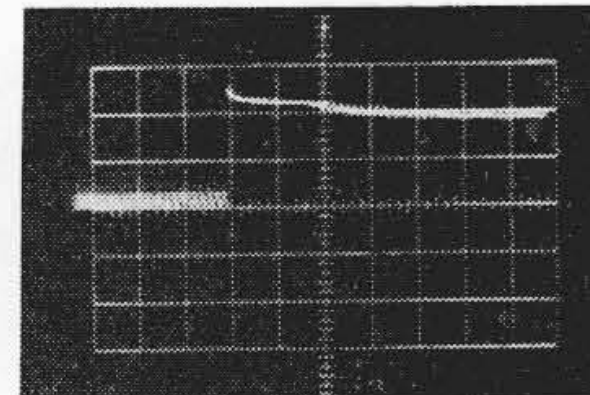
第16図(a) 光量一定, 電圧変化量一定時の中心信号電極電圧と信号消滅時間の関係 ($\Delta E=30\text{ V}$ 一定)



(a) $E_0=70\text{ V}$



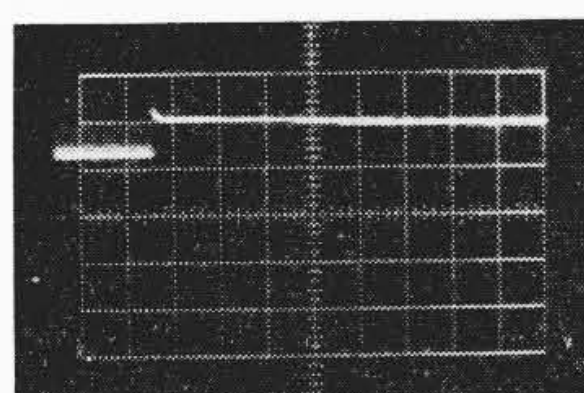
(b) $E_0=50\text{ V}$



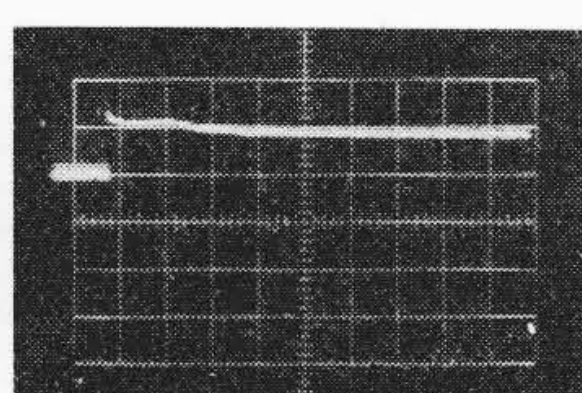
(c) $E_0=30\text{ V}$

(時間軸: 0.1 s/cm)

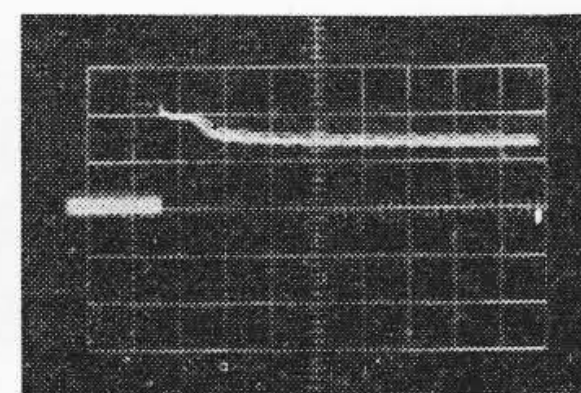
第16図(b) 信号電流一定, 電圧変化量一定時の中心信号電極電圧と信号消滅時間の関係 ($\Delta E=30\text{ V}$ 一定)



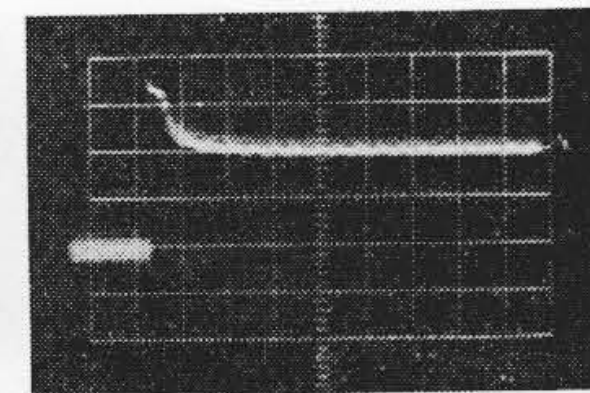
(a) $i_s=0.05\text{ }\mu\text{A}$



(b) $i_s=0.1\text{ }\mu\text{A}$



(c) $i_s=0.2\text{ }\mu\text{A}$



(d) $i_s=0.4\text{ }\mu\text{A}$

(時間軸: 0.2 s/cm)

第18図 信号電極電圧減少による信号消滅時間と信号電流の関係

ィング, 光導電膜の動作機構など, 数多い問題を考えねばならず, この問題はさらに研究を進めないと明らかなことはできない。ここで論じた信号電極電圧変化に対する信号応答の問題は, ビジコンの信号発生機構を解明するの一つの手がかりとしても興味があり, 今後も追求してみたいと考えているが, 制御系の支配因子としての考察はこの程度で止めることにしたい。

3.3.2 実験結果

前項で論じた信号電極電圧変化に関する実験結果を述べる。実験は3.2節の第8図と同一の回路で行なわれている。

(i) 光量一定, 基準信号電極電圧一定で電圧変化量が異なる場合

$E_0=50\text{ V}$ 一定, $\Delta E=5\sim 40\text{ V}$ 急激に減少させたときのビジコン信号電流波形を第14図に示す。図で(a)~(e)はそれぞれ電圧変化量を順次大きくした場合のオシログラムである。第14図に基づいて電圧変化量と応答時間の関係をプロットすると第15図のようになる。

(ii) 光量一定, 電圧変化量一定で基準信号電極電圧を変えた場合

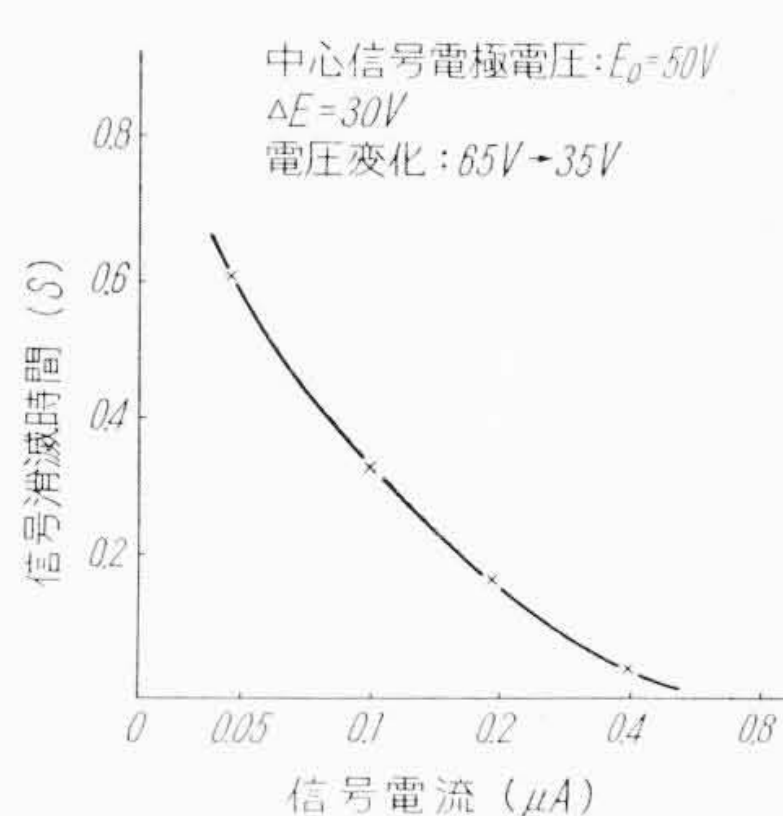
$\Delta E=30\text{ V}$ にとり, E_0 を70, 50, 30Vの3例について調べたオシログラムを第16図(a)に示す。このデータから E_0 と t の関連を求めると第17図①のようになる。

(iii) 信号電流一定, 電圧変化量一定で基準信号電極電圧を変えた場合

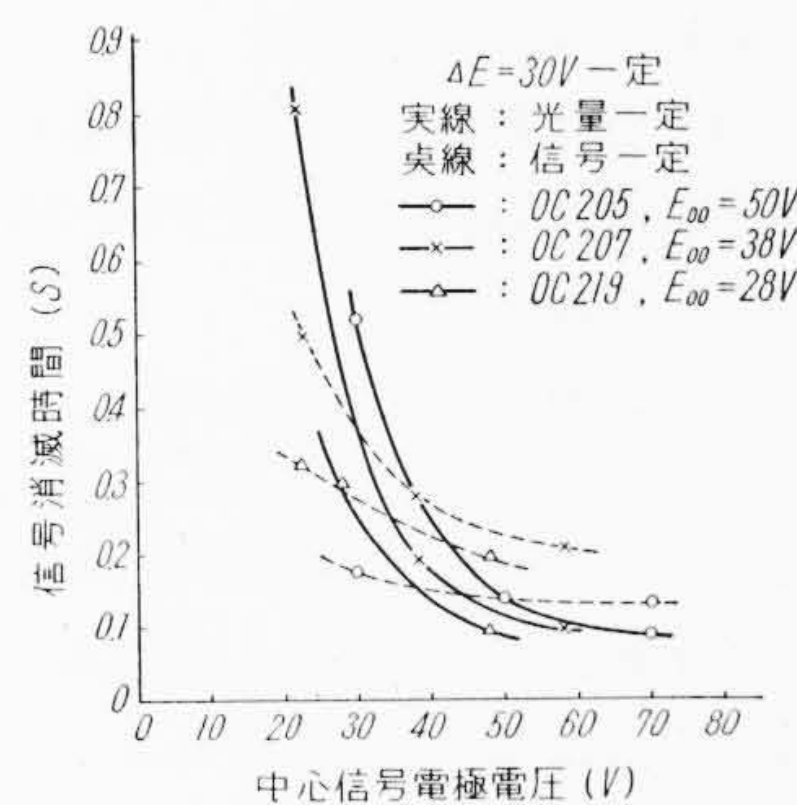
$i_s=0.2\text{ }\mu\text{A}$ 一定, $\Delta E=30\text{ V}$ として(ii)と同じく3例について調べた結果を第16図(b)に示す。これをプロットすると第17図②の特性が得られる。

(iv) 基準信号電極電圧および電圧変化量が一定で, 信号電流が異なる場合

$E_0=50\text{ V}$ を与え, 信号電流 i_s が0.05~0.4 μA になるよう光量



第19図 信号消滅時間と信号電流の関係



第20図 一定信号電極電圧減少時の信号消滅時間と中心信号電極電圧の関係

を設定しておき, $\Delta E=30\text{ V}$ の減少を与えたときに得られるオシログラムを第18図に示す。第18図から信号電流対信号消滅時間の関係をプロットすると第19図が得られる。

以上, (i)~(iv)の各条件に対する第14~19図の実験データは1本のビジコン (DC-20.5, $E_{00}=50\text{ V}$) に対するものであるが, 他のビジコンでもほぼ同様なデータが得られる。管によっては理論値により近づくものもある。参考までに(ii), (iii)の動作条件に対する3本のビジコンの測定値をまとめて第20図に示す。

3.3.3 信号電極電圧変化に対するビジコン応答特性が制御効果に及ぼす影響

信号電極電圧変化に対してビジコンの信号応答特性に遅れがあり, これが制御の時間応答に一つの限界を与えることはすでに3.2で述べたが, 前節までに述べた各種データから, さらに詳しく制御への影響を考察してみる。

まず前項第15図から応答時間は電圧変化量の増加にほぼ比例して増大していることがわかるが, この特性は制御系動作点の設

定に大きな目安を与えるものである。すなわち、制御効果を増すため、電圧制御量を大きくすると応答時間は長くなるという制御効果と応答時間の相反性を示している。

次に第17図のデータから、信号電流一定なら基準信号電極電圧 E_0 がかなり変わっても、したがって $\Delta E/E_0$ が変わっても応答時間はあまり変化がないことが示されるが、これは注目すべき事実である。すなわち制御効果は2.3で述べたように $\Delta E/E_0$ で決定される一方、応答時間は $\Delta E/E_0$ にあまり大きく影響されないから、 E_0 を小さくしたほうが制御効果の大きくなるのに比して時間応答のほうは長くなり有利であるという動作の一つの指針が得られることになる。

また第19図から信号電流の大きい、すなわち光量の十分与えられているほうが応答時間が小さくできるということも使用にあたって考慮すべき事項である。

最後に、信号電極電圧の立ち上がり立ち下がりに対する信号の相異が制御動作に及ぼす影響について考える。

制御時光が減少して信号電極電圧が立ち上がる場合は、第9図から明らかなように信号の一時的増加はあるが、制御動作にはほとんど影響を与えない。一方、電圧立ち下がりのときは信号消滅のため場合によっては著しい過度振動や発振を起こし、系を不安定にする。ある一つの応答時間を与えると、電圧増加のときは可能な電圧制御量はかなり大きくとれるが、電圧降下のときはあまり大きくとれない。普通の制御動作では基準状態の正負両方に同程度の電圧制御量をとる必要があるから、この場合動作の限界は電圧立ち下りの応答特性で決定される。

4. 制御回路の問題と設計法

4.1 制御系の安定度

前章では制御動作に影響するビジコンの性質について述べたが、本章では制御動作を支配する回路的問題および制御系回路の設計法について報告する。

本制御系の実際の動作性能、動作限界を表わすには第21図のような特性曲線を用いるのが便利である。図の曲線はビジコンを含めた制御系の制御量、応答時間および安定度を示すもので、曲線下部が安定動作領域となる。制御系の良否はこの曲線の位置によって判定でき、曲線が左上方にあることが望ましい。さてこの特性は最終的には前章で述べたビジコンの特性で決定されるが、回路的には制御器増幅系の周波数特性によって左右される。すなわち時間応答を早くするためには、ろ波器を含む直流増幅系の周波数特性を高いほうに伸ばす必要があるが、一方、制御電圧の変動が交流増幅器に伝達されないようにしないと発振を生じ系の安定度をそこなう。この問題に関して、この制御系で生ずる発振の原因についてまず考えてみる。

ビジコンの信号電流はたかだか $0.2 \sim 0.3 \mu\text{A}$ であり、 $50 \text{ k}\Omega$ の負

荷に対し 10 mV 程度の信号電圧を発生する。この信号がカメラ増幅器を通して適当に増幅されるわけであるが、信号電極電圧制御を行なう場合は、信号電極電圧の変動が数十Vに達し、これがカメラ増幅器に伝達されると映像信号は完全に低周波の制御電圧変動によって変調される。この変調が大きいと信号はカメラ増幅器内で飽和またはカットオフ領域にはいり、正常な信号伝達が妨げられる。また増幅器の途中で信号が急激、かつ不規則に変化するため、発振または著しい過渡振動を引き起こす。この模様を第22図に示す。

第22図(a)は発振時の信号電極電圧の変化とカメラ増幅器初段管プレート電圧の変化を示す一例である。図から映像信号が制御電圧の低周波変動により著しく変調されていることがわかるが、極端な場合には信号は完全にうずもれてしまうのである。

次に第22図(b)は(a)の場合のカメラ増幅器出力の波形を信号電極電圧変化とともに示したものである。カメラ増幅器の途中で低周波成分はしだいにカットされるが、これによって信号に与えられたひずみはそのまま残り、完全な発振波形となっていることがわかる。

以上述べた発振の原因から、系の安定度を増すためには、信号電極電圧の変動がカメラ増幅器内の正常な信号伝達を妨げないように増幅系の設計を適当に行なうことが必要であることが明確になった。

4.2 制御回路の設計法

本制御回路の具体的な設計には、制御量、時間応答、安定度の互いに相反する要求をどのように配分すべきかが問題となる。われわれは前節で述べた系の安定度に対する検討結果に基づいて次のような制御系回路の設計を行なえばよいとの結論を得た。

(a) 交流増幅系の設計

映像増幅器を含めて制御系交流増幅部の周波数特性を下限カットオフ周波数 f_{ca} が適用テレビ系のフィールド周波数 f_f の1~2倍になるよう設計する。

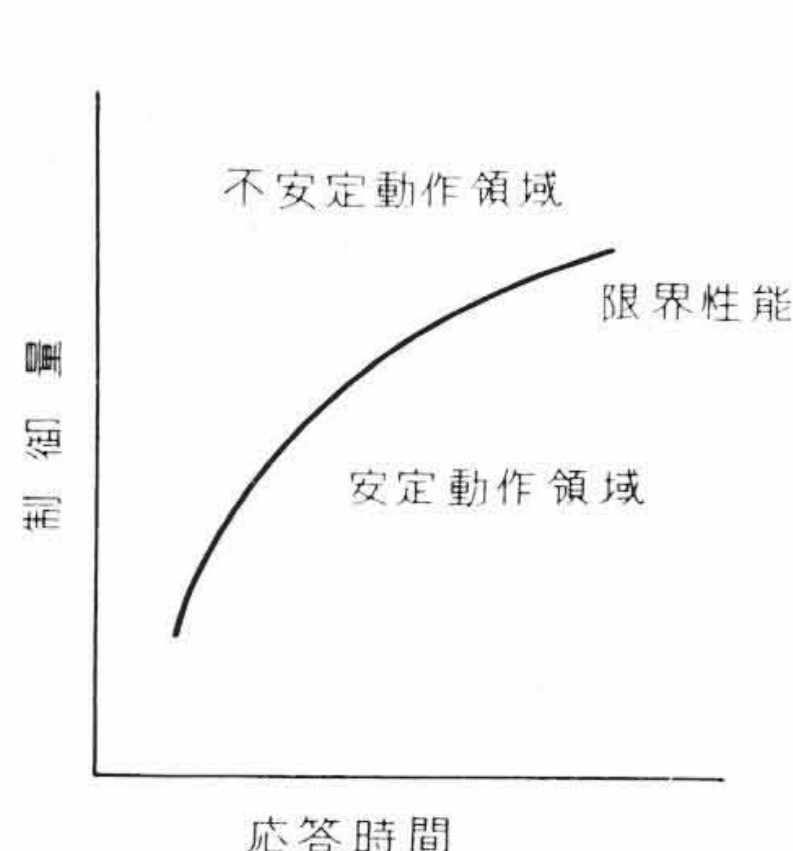
この理由は、制御系の時間応答を早めるには交流増幅器の f_{ca} をできるだけ高くするのが望ましいが、この場合、映像信号の低周波成分の除去による画質の劣化および低周波信号に対する制御効果の困難さの2点が問題となる。実際はテレビ系画質の点から f_{ca} はフィールド周波数 f_f すなわち $50 \sim 60 \text{ c/s}$ 程度、特に制御に重点をおいてもその倍の周波数 100 c/s 程度が許容限界と考えられるからである。

(b) 所要制御量の設定および許容伝達量

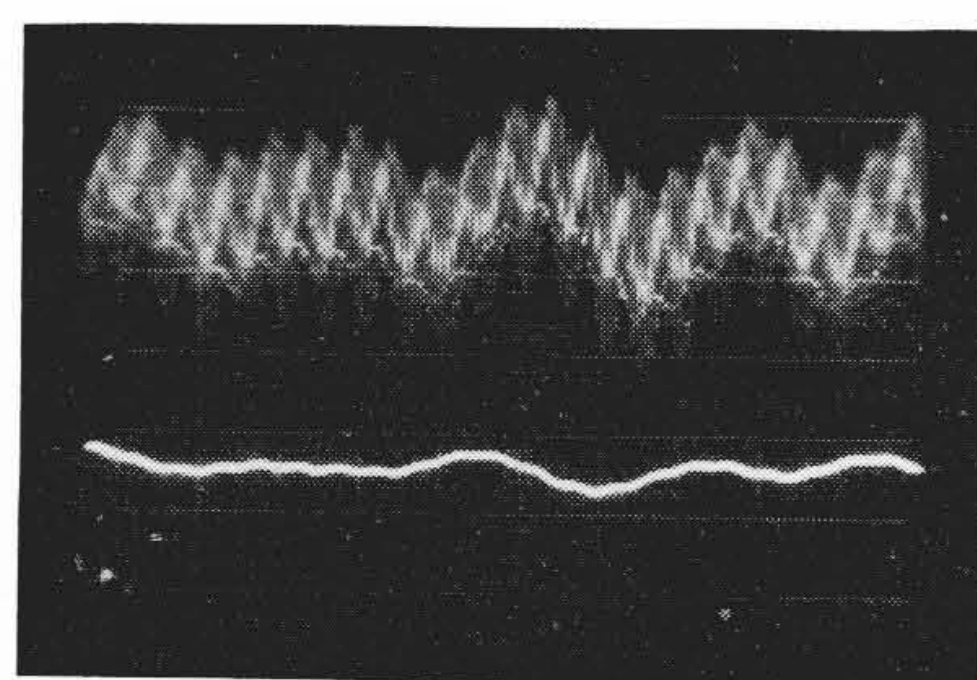
電圧制御量、すなわち信号電極電圧の変化量 ΔE を与え、下記係数 m を決定する。

$$m = \frac{\Delta E}{\text{交流増幅器許容最大入力電圧}(V_{sm}) - \text{ビジコン信号電圧}(V_s)} \quad \dots\dots\dots (25)$$

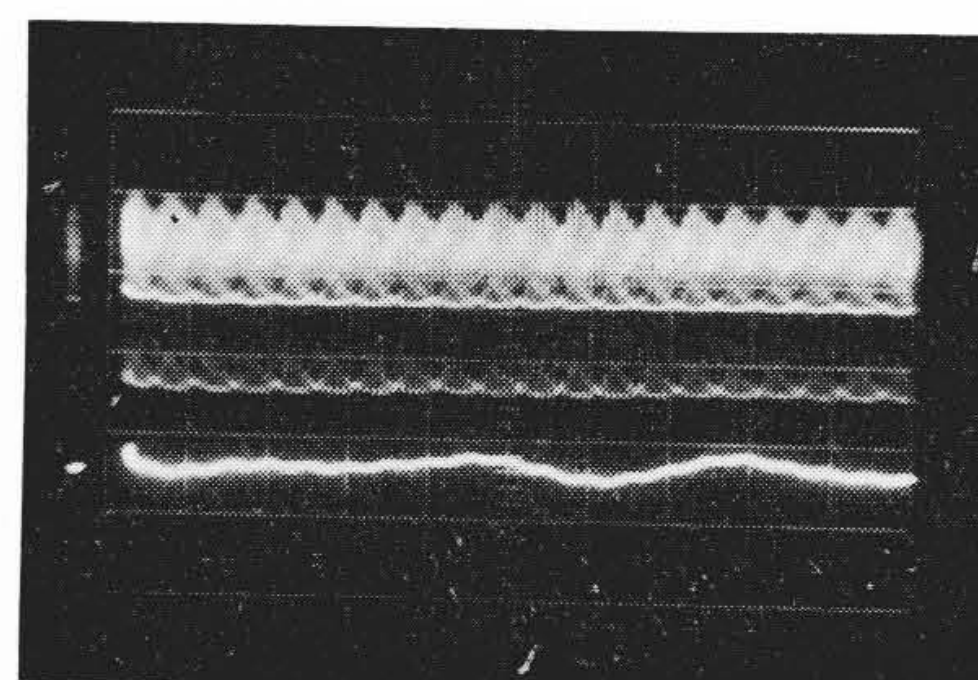
ここで V_{sm} は映像増幅器を含めて系の交流増幅器内部で飽和、



第21図 制御系の動作特性



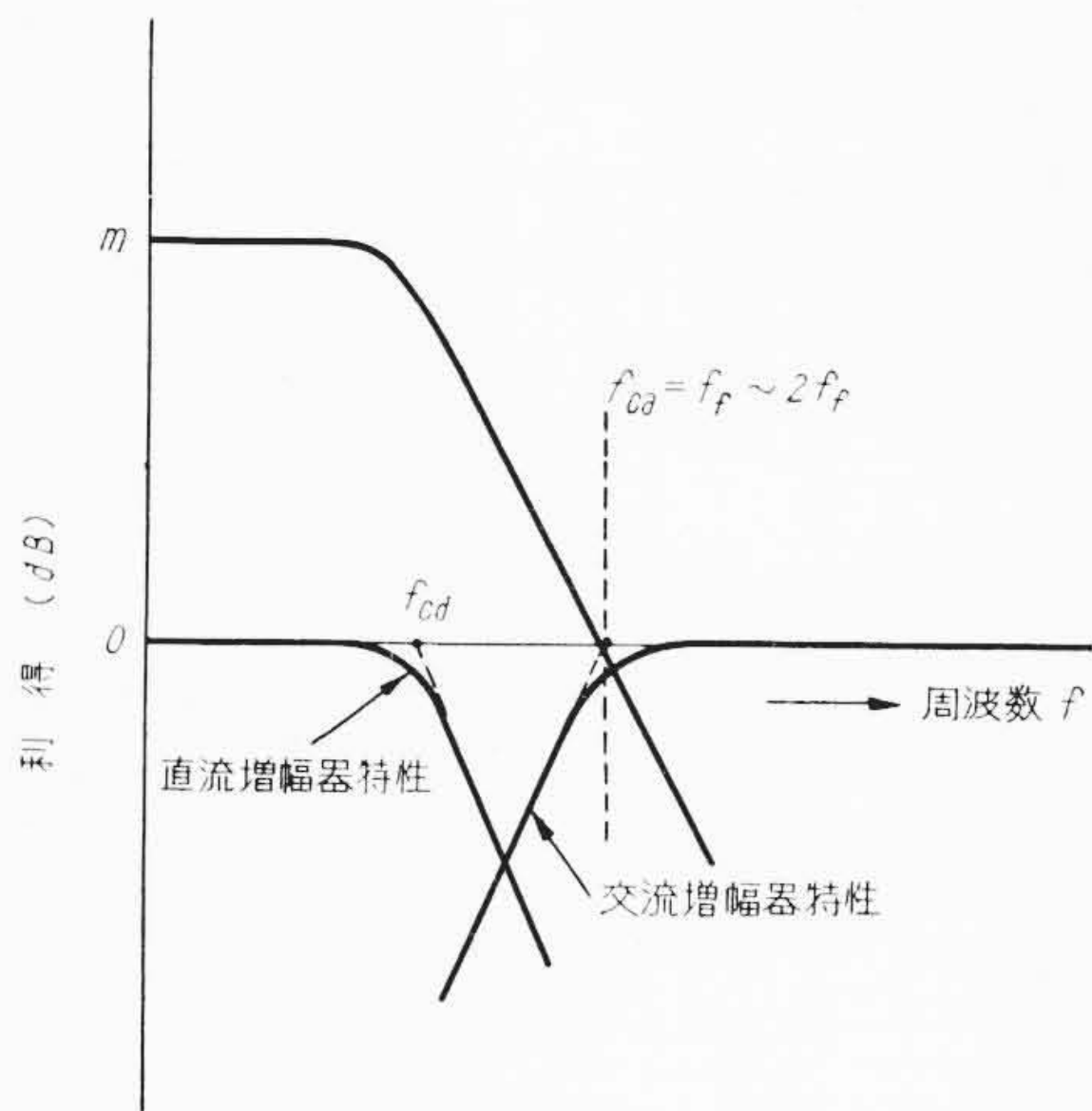
(a) 初段管プレート電圧と信号電極電圧の波形



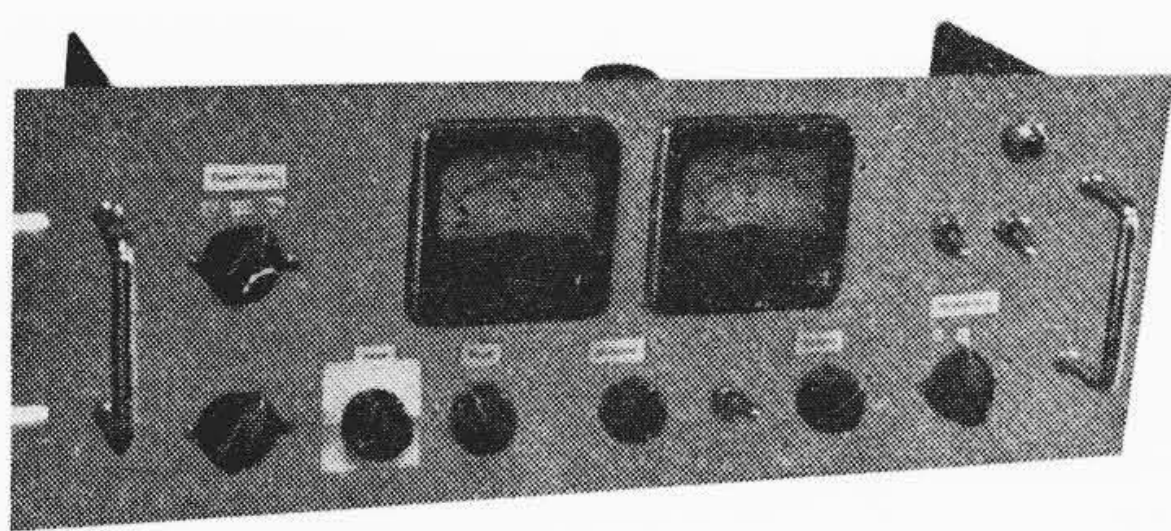
(b) カメラ増幅器出力電圧と信号電極電圧の波形

(上側: 映像信号 0.5 V/cm , 下側: 信号電極電圧 1 V/cm , 時間軸: 0.2 s/cm)

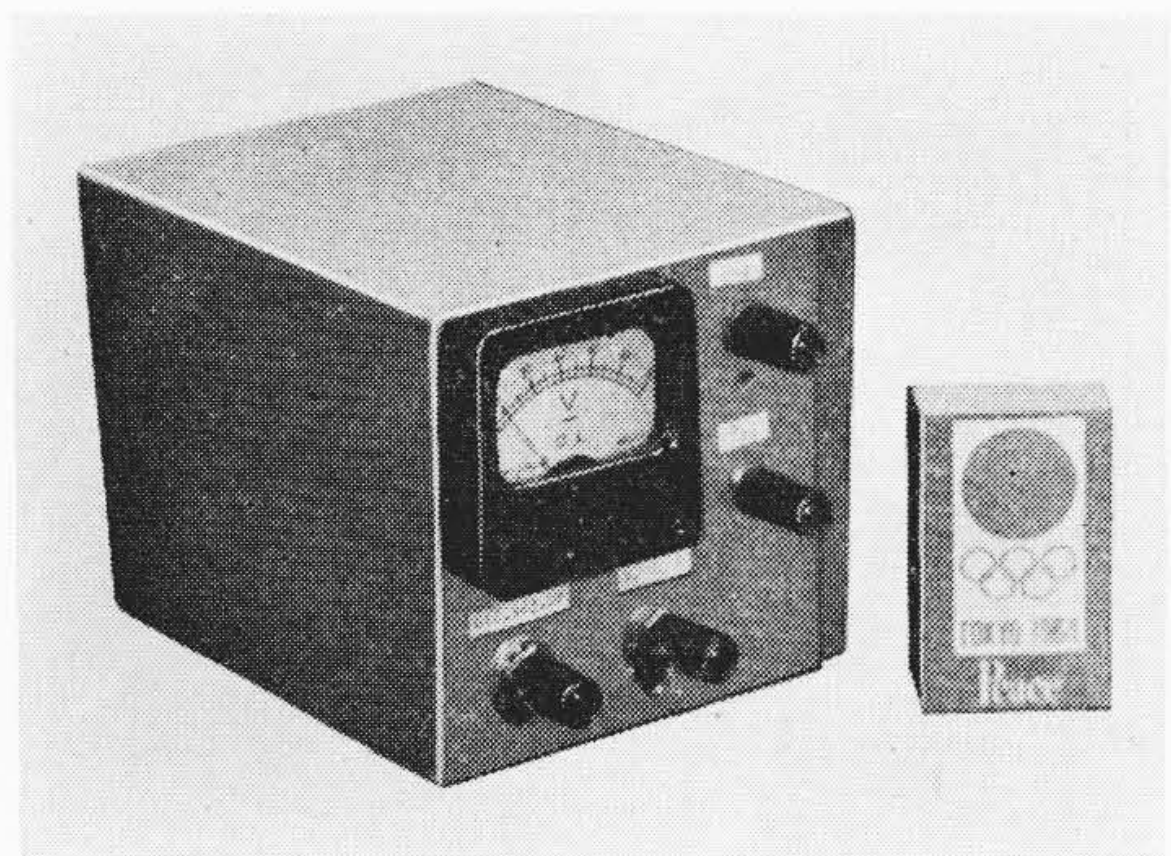
第22図 発振時の映像信号波形と信号電極電圧波形



第23図 制御系増幅器周波数特性



第24図 試作真空管式制御装置外観



第25図 試作トランジスタ制御装置外観

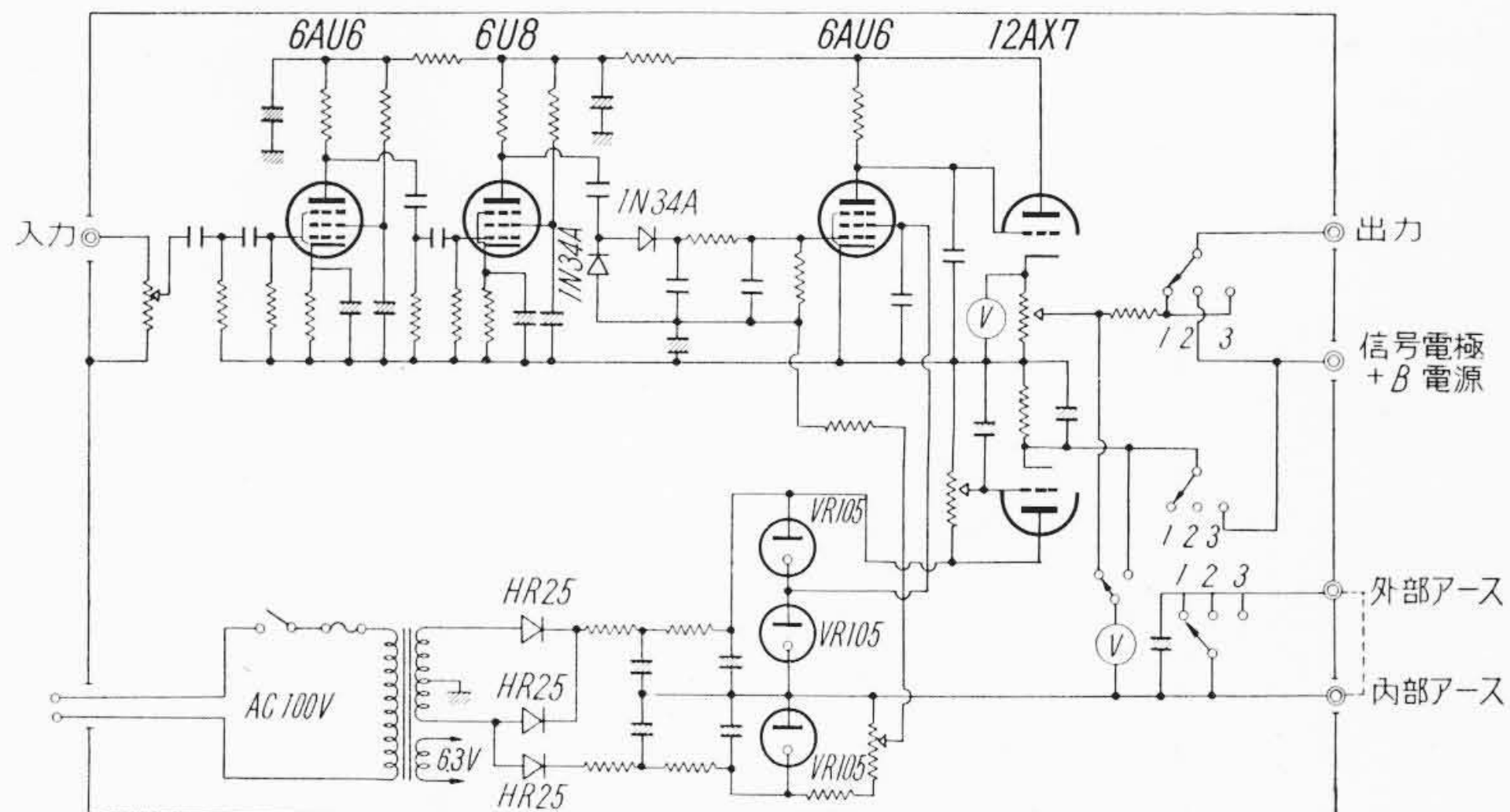
カットオフをきたさずに伝達できる許容最大入力信号電圧であり、普通のビジコンカメラでは20 mV程度である。 V_s は基準のビジコン信号電圧であり、信号電流が0.2 μ A、負荷抵抗50 k Ω として10 mVである。したがって普通のカメラ系では(25)式は(26)式のように表わしてよい。

$$m = 100 \Delta E \dots\dots\dots (26)$$

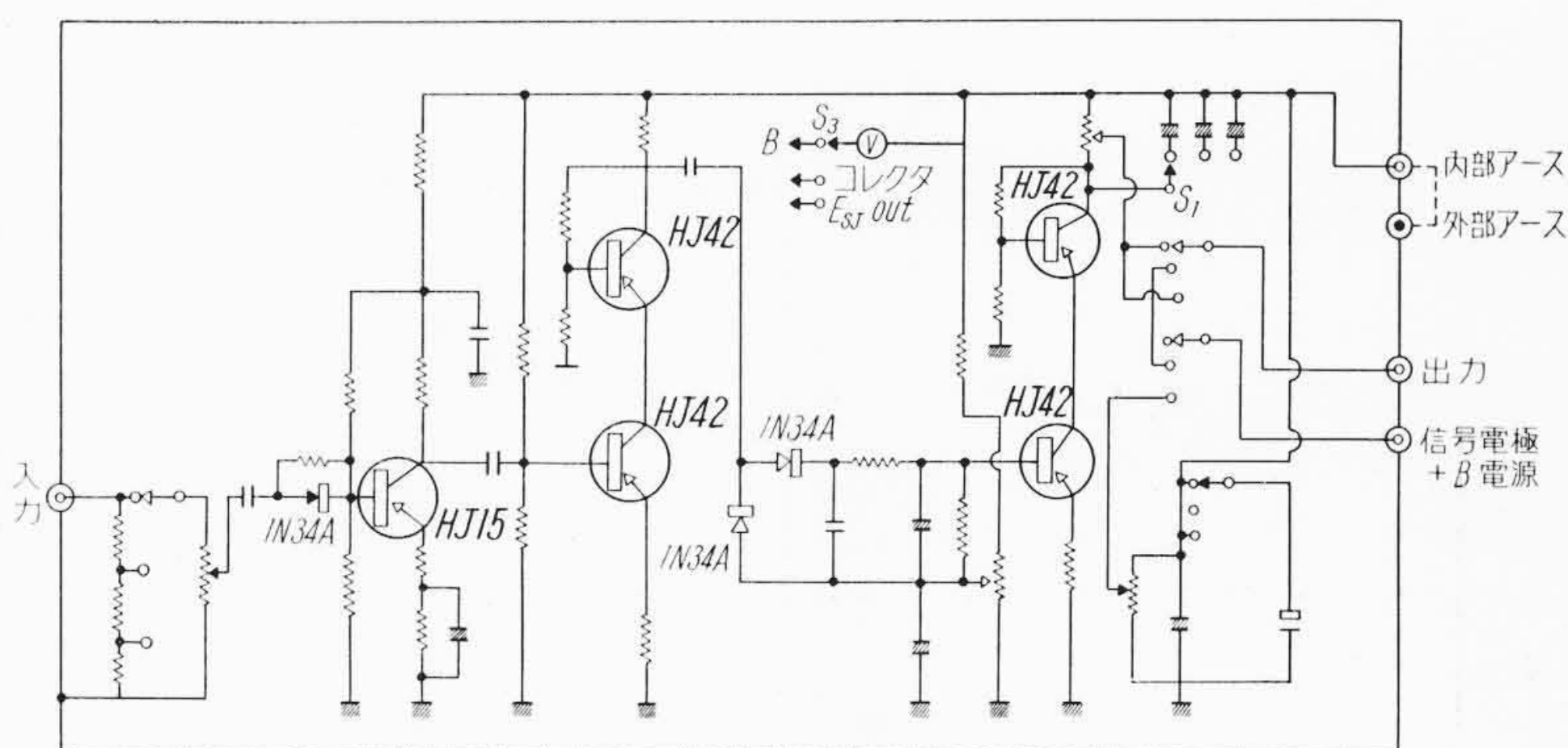
この m の意味は、信号電極電圧変化が交流増幅系に伝達されても発振を起こさず、安定性を失わないために必要な減衰の割合を示すもので、次の直流増幅系の特性を決定するために必要な事項である。なお本来の設計は信号制御量から始めるべきであるが、これは使用するビジコン基準信号電極電圧がわかれば、2.3で述べたように電圧制御量が概略見当つけられるので、簡単のためここでは電圧制御量が与えられたとして話を進める。

(c) 直流増幅系の設計

出力段ろ波器を含む直流増幅器の正規化周波数特性(平たん部分を基準値にとる)を m 倍したレベルに表示した場合、その下降特性がもとの基準レベルに降下する点の周波数を、前記交流増幅器の f_{ca} と一致せしめるように、直流増幅系を設計する。この関係をわかりやすく表示すると第23図のようになる。図から容易に推察できるように、 m の値を大きく、すなわち制御量を大きくし



第26図 試作真空管式制御器の回路結線図



第27図 試作トランジスタ式制御器の回路結線図

たい場合には直流増幅器の上限カットオフ周波数 f_{cd} を下げる必要が生ずる。このことは応答がおそくなることを意味する。またこのとき、 f_{cd} を下げないと信号電極電圧変化の交流増幅器に伝達される低周波成分が交流増幅器の許容最大入力を越えるから系は不安定となる。

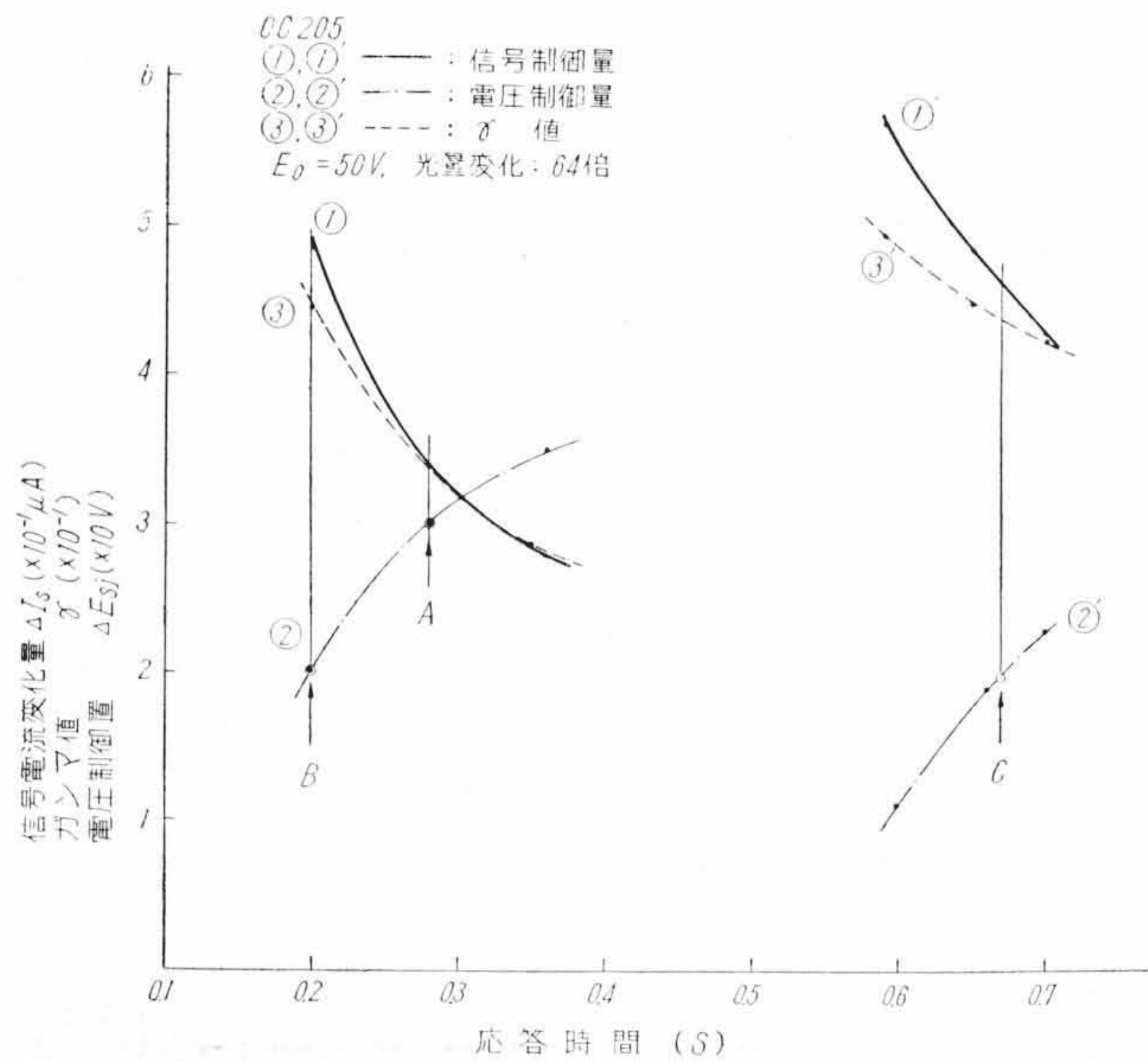
以上の3項が系の安定度を保ち、与えられた制御量に対し最大の応答速度をうるための基本的設計要領である。

5. 制御装置の試作

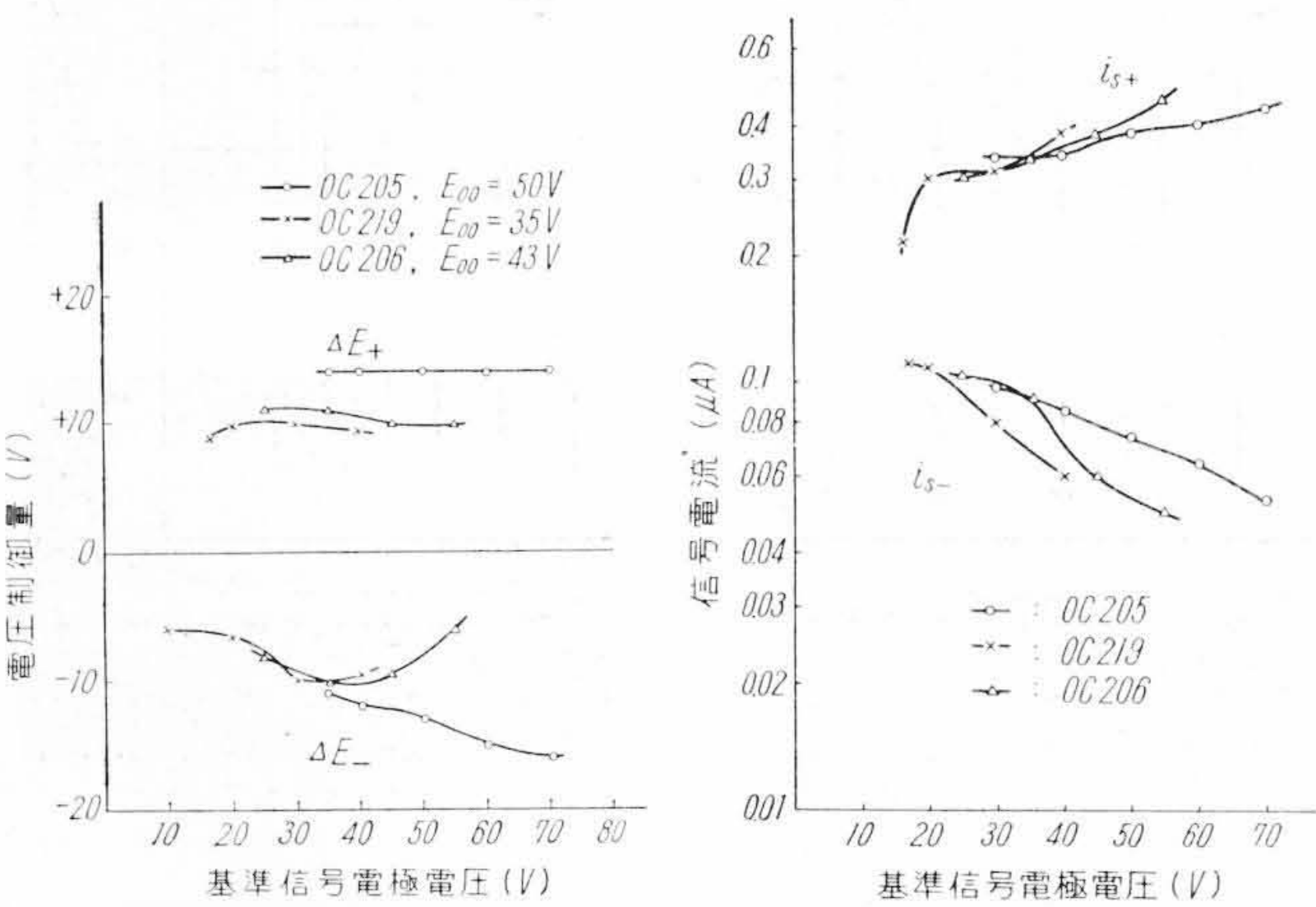
ビジコン信号電極電圧制御方式に使用する制御装置として、われわれは真空管式装置(第24図)と小形化を目的としたトランジスタ式装置(第25図)の両者を試作した。この両者の回路結線図をそれぞれ第26、27図に示す。なお制御系はカメラ増幅器とこれら制御装置の両者から構成することとした。ここで制御装置のトランジスタ式と真空管式の両者の得失を述べると、トランジスタ式のものは小形軽量のほか、電源が簡単となり、電池の使用により装置全体をアースより浮かすことも可能となる利点がある。しかし数十Vの電圧出力を取り出すこの制御装置の目的には真空管式より本質的に不利であること、またトランジスタの入力インピーダンスが低いために交直変換の効率が悪いことなどが問題として考えられ、設計がむずかしいのが欠点といえる。

さて上記制御装置の回路特性の詳細は省略するが、最大電圧制御量の設計値は0.3秒の応答時間に対し、 $\Delta E = 50$ Vに設定してある。しかし実際には $\Delta E = 30$ V程度の制御が限界であり、これ以上の電圧変動では発振を生ずる。この理由は前章で述べたように信号電極電圧減少の場合には回路条件よりもビジコンの特性に基づくためと考えられる。

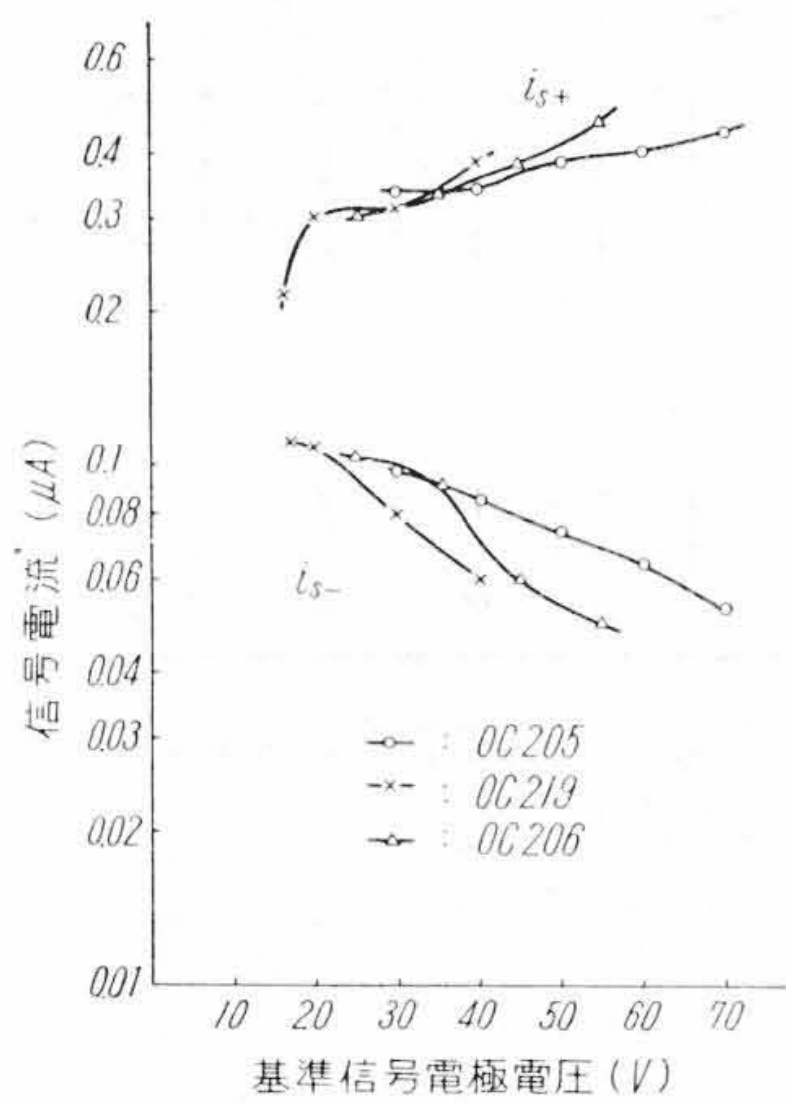
なお光量が減少して信号電極電圧が増加する場合だけについてい



第28図 試作制御系の制御量，応答時間，安定度の関係



第29図 安定限界の電圧制御量特性



第30図 安定限界の信号制御量特性

例えば，上記条件で利得を増し，約 $\Delta E=45V$ までは安定に制御することを確かめてある。

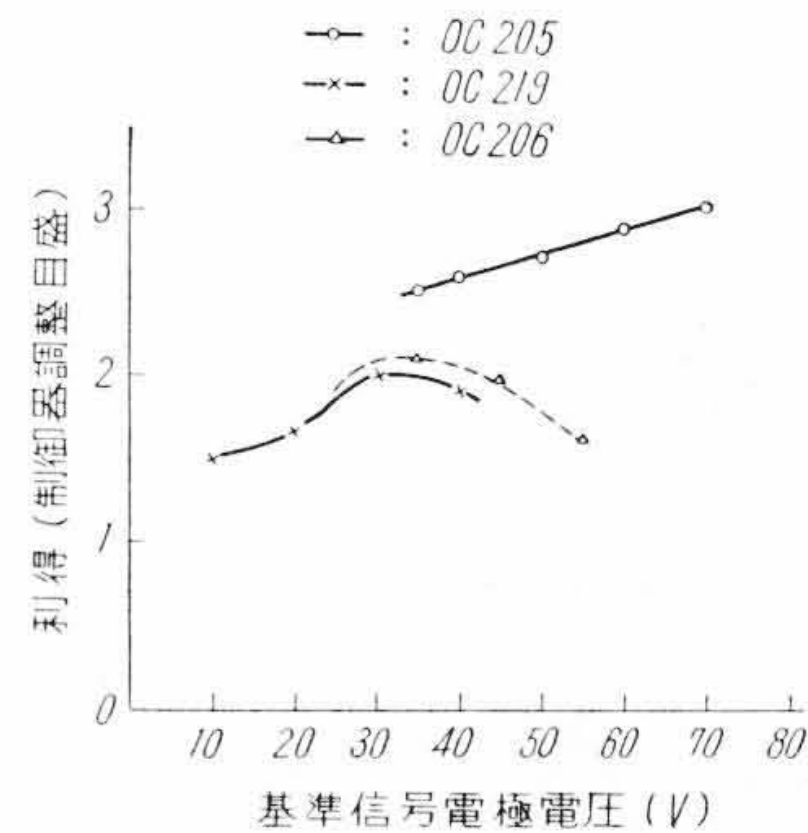
6. 制御特性

6.1 制御量，時間応答および安定度の関係

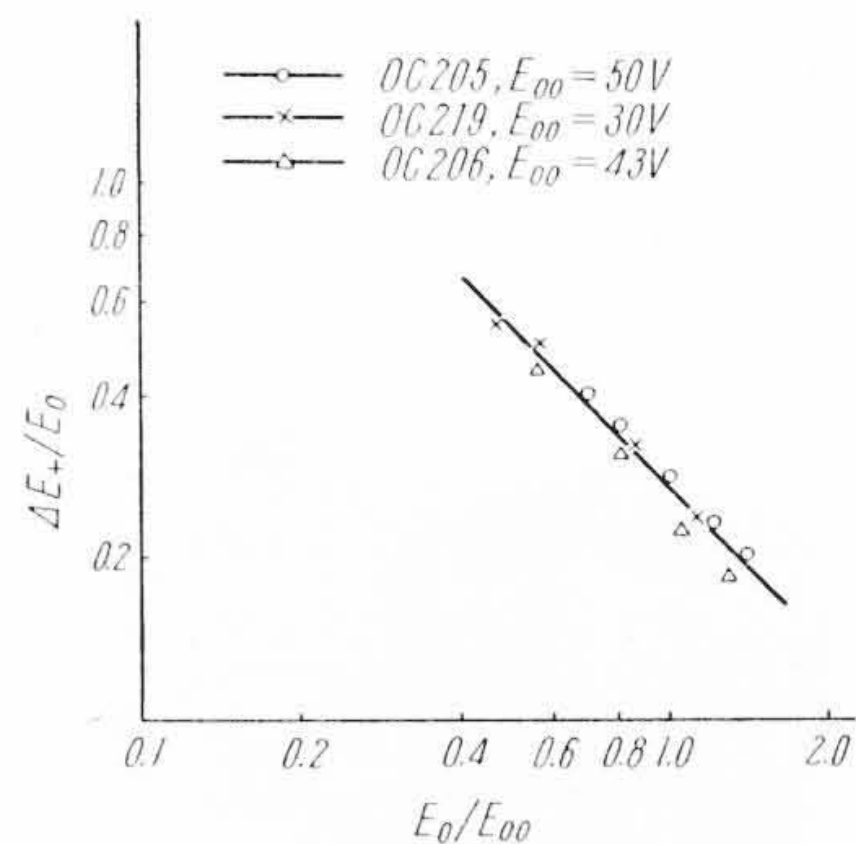
前章で述べた試作制御装置および制御系の実際の制御効果について報告する。まず系の性能を代表する制御量，応答時間および安定度の関係を第28図に示す。第28図は固有信号電極電圧50Vのビジコンを50Vの基準信号電極電圧で使用し，光量変化64倍を与えたときの信号制御量①，電圧制御量②および見かけ上の γ （ガンマ）変化量③と応答時間（入射光を急激に増加させた場合，信号電極電圧が定常値に達するまでの時間）の関係である。図の左方の曲線群①，②，③は本制御系による場合，右方の曲線群①'，②'，③'は増幅系周波数特性に適正な設計がなされなかった場合の一例で，A，B，C点は代表動作点である。図から制御系増幅部の周波数特性がいかに制御効果に大きな影響を及ぼすかわかる。

6.2 安定動作限界における基準信号電極電圧と制御量，制御系利得の関係

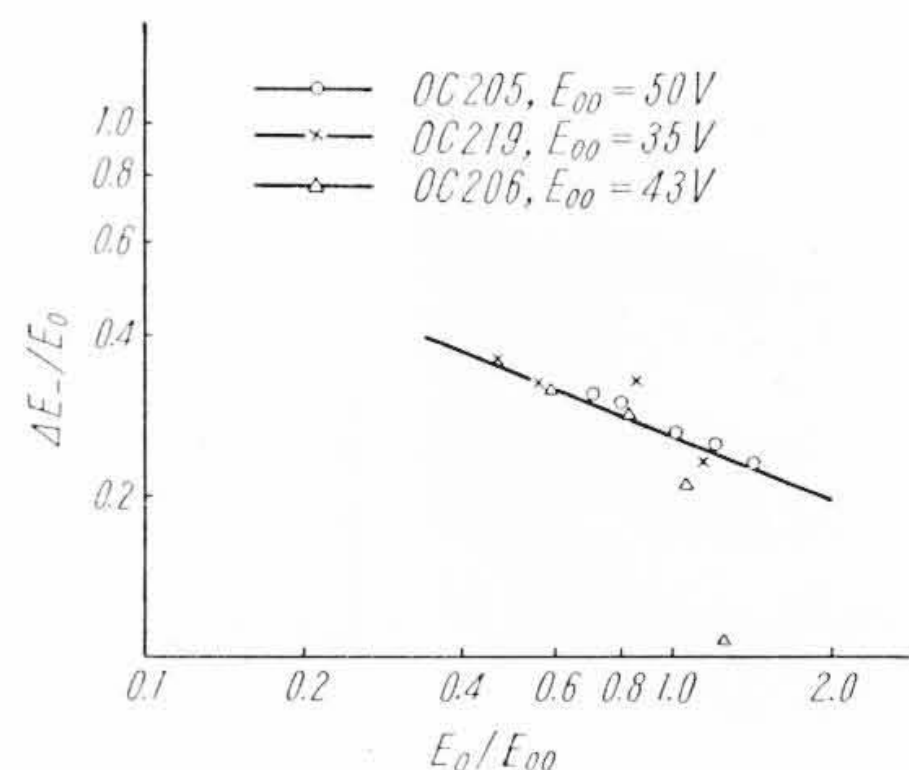
前節第28図の関係は各制御特性間の関係を一つのビジコンの例をとって表わしたものであるが，一般に任意のビジコンを任意の基準信号電極電圧に設定したとき，動作の安定限界ではどの程度の信号制御量，電圧制御量が得られるか，またこのような安定限界に制御系を設定するには制御器利得をどう調整すればよいかを知ること



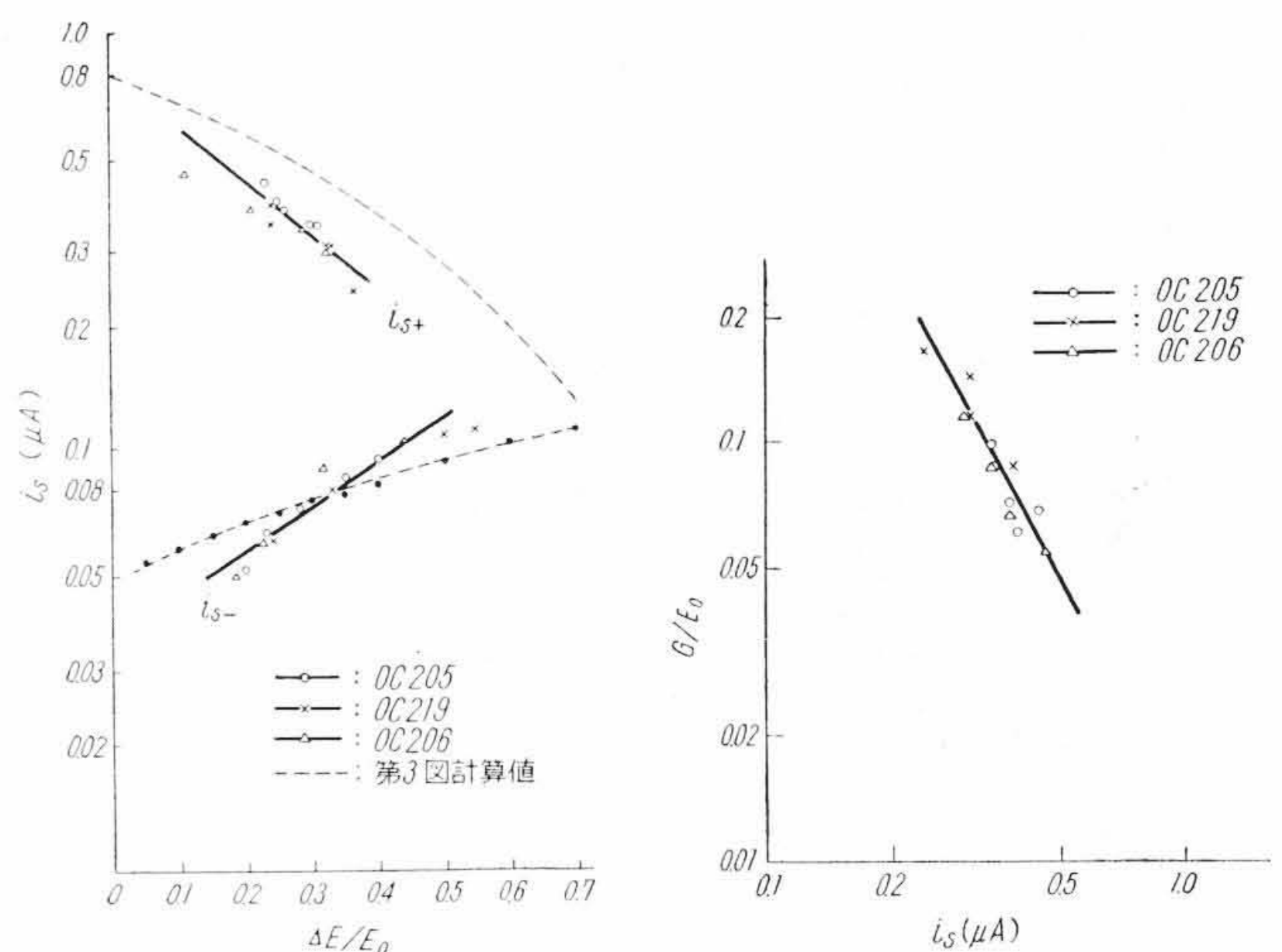
第31図 安定限界に対する利得



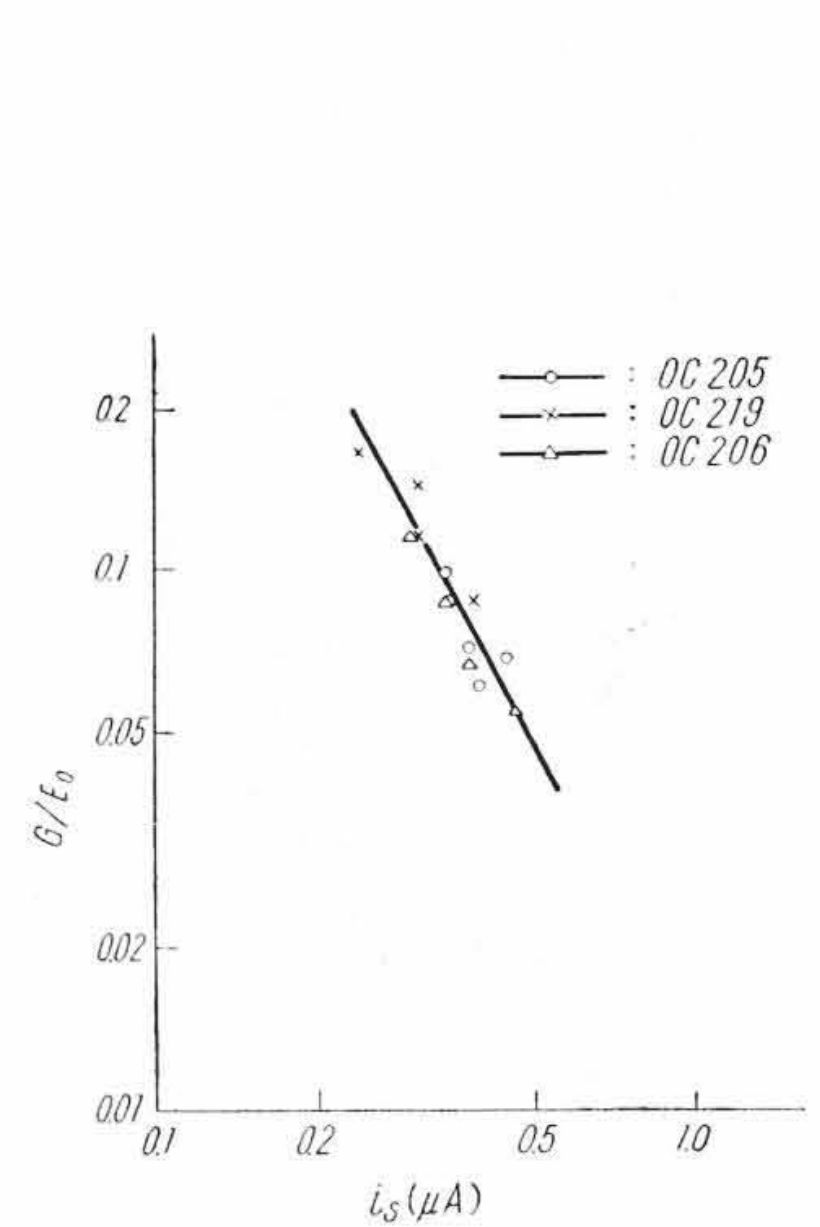
第32図(a) 安定限界の電圧制御量特性
(光量減少，電圧増加の場合)



第32図(b) 安定限界の電圧制御量特性
(光量増加，電圧減少の場合)



第33図 安定限界の電圧，信号
制御量の関係



第34図 安定限界の利得特性
(光量増大，電圧減少の場合)

は実際の操作にあたって不可欠の事項である。これについての実験結果を第29～31図に示す。第29図は3本のビジコンについてそれぞれ基準信号電極電圧 E_0 を変えた場合，制御器利得を調整して発

振寸前の安定動作限界に設定し、このとき電圧制御量を求めたものであり、第30図は信号制御量、最後に第31図は制御器利得（制御器入力調整の目盛値で表示）を求めたものである。

なお、このときの制御器時定数は前節A点に設定してある。

これらのデータは安定動作限界の設定が実際上かなり微妙であるため、相当バラついた値を示しているのは事実であるが、この一見とりとめのないデータも2章の各種考察をもとにして種々検討すると第32～34図のようにかなり整然とした特性に表示できる。

第32～34図はきわめて興味深いデータであり、制御器操作にあたって注意すべき多くの事項を示しているの、以下各図ごとに考察検討を行なっていく。

(a) 電圧制御量の設定（第32図の検討）

第32図を見ると縦軸は $\Delta E/E_0$ で示され、これは2.3で述べたように制御効果の大きさを示す一つの尺度である。一方、横軸は E_0/E_{00} で示されるが、どのようなビジコンでもその固有信号電極電圧に E_{00} に比例した基準信号電極電圧 E_0 で動作させれば、応答時間をも含めて同一の制御効果が得られるという、きわめて常識的な結論が見いだされる。ここで E_{00} のきまった一つの管について、どのような E_0 で動作させればよいかという問題については、 E_0 は低いほうが制御効果の点で好ましいが、一般に E_0 を低く設定することは感度低下の点から入射光量の大きい場合でないといふ無理である。したがって E_0 は与えうる光量、感度と制御量のかねあいで決定する必要がある。

(b) 信号制御量の推定（第33図の検討）

第33図は実験データ（第30図）を2.3の考察、たとえば第4図を参考にして、制御信号電流を $\Delta E/E_0$ に対してプロットしたものである。なお図中の点線は第4図実線の計算値を併記したものである。図から実験値は光量減少、電圧増加の場合にはかなりよく理論値と一致していることがわかる。一方、光量増加、電圧減少の場合には傾向は一致しているが、絶対値がかなり異なっている。しかしこれも第5図と考え合わせるとある程度妥当な値といえよう。実際の制御動作に対して、第33図のようなデータから、さらには理論値をもとにして、信号制御量を電圧制御量から大体推定することができる。

(c) 制御器利得の調整（第34図の検討）

第34図は実験データ（第31図）を安定限界における信号制御量と利得の関係で書き改めたもので、利得は制御特性が $\mu' = \mu/E'$ で決定されることを考慮して G/E_0 の形で表わしている。この特性は使用する装置および時定数によって異なるが、一度このような特性を求めておけば、決められた応答時間のもとで安定な最大制御効果を与える制御系利得を容易に設定することができる。

6.3 制御効果

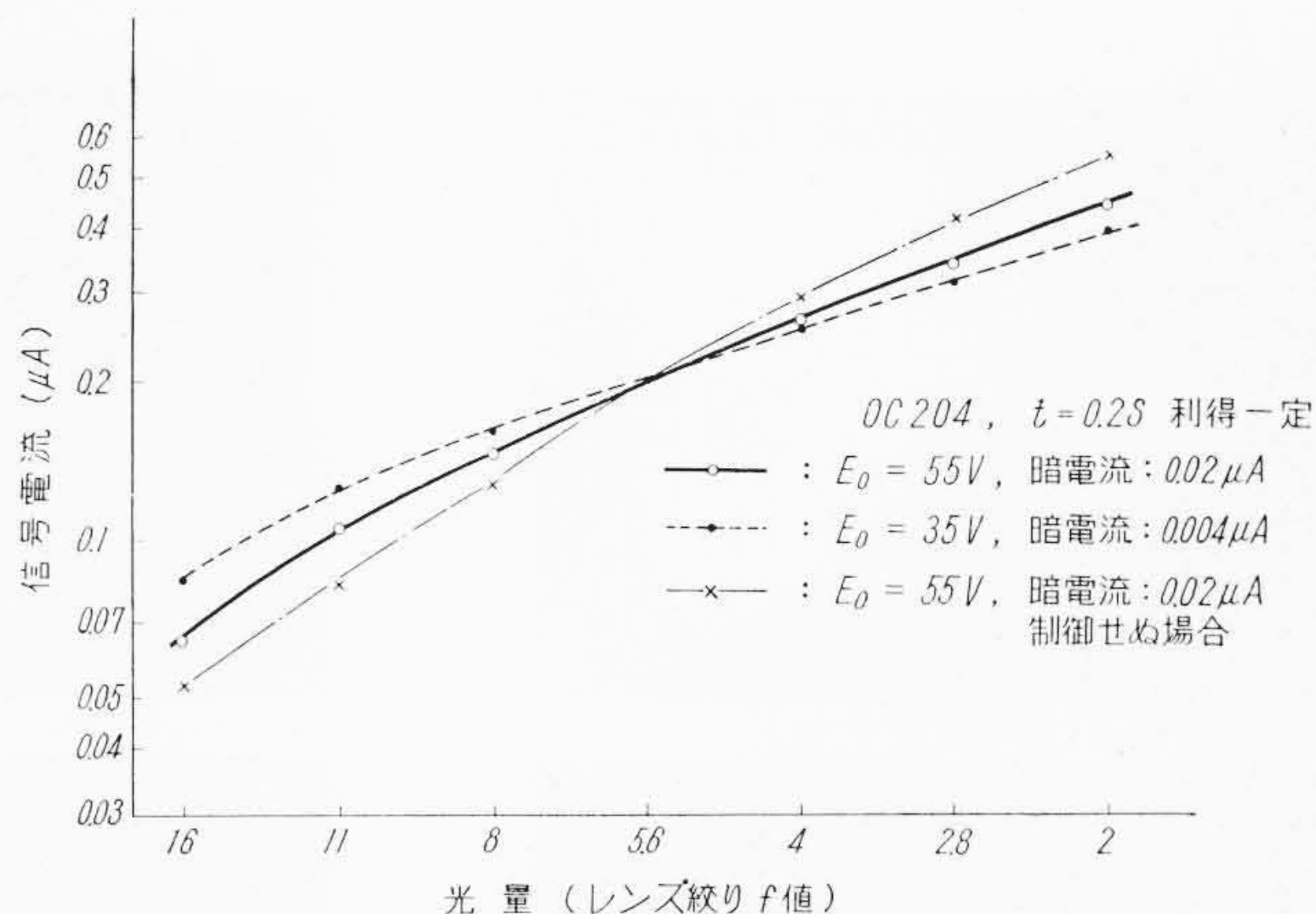
最後に筆者らの試作制御装置による具体的な制御効果について述べる。

(a) 光量対信号電流特性

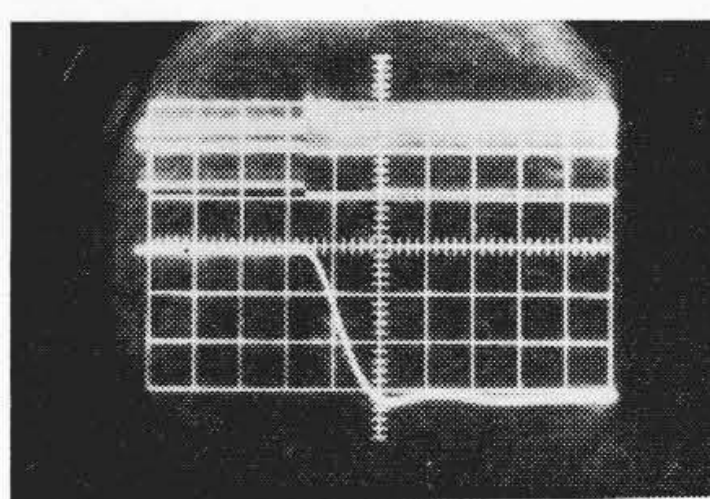
第35図は制御効果を示す光量対信号電流特性の一例である。この実験は基準信号電極電圧 E_0 を変えて行っており、第3図と同様な関係が示されている。なおこの特性の傾斜は制御効果を示す一つの尺度ではあるが、光電変換特性の γ とは本質的に異なるものであることは注意すべら点である。またこの傾斜（見かけ上の γ 値）は応答時間さえ問題にしなければ、さらに小さくできるので、制御効果を厳密に表示するものではない。

(b) 時間応答

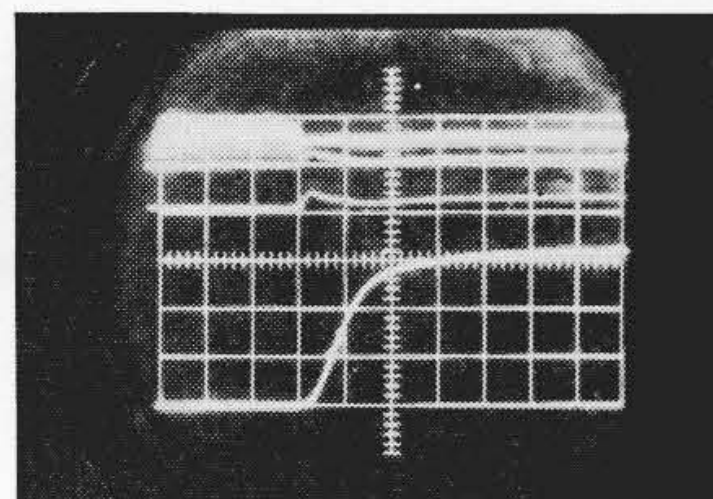
制御系の時間応答特性を示す実験例を第36図に示す。第36図は急激な入射光変動（光量増加8倍、または光量減少1/8倍）を与えたときの信号電極電圧および映像信号の応答を示すオシロスコ



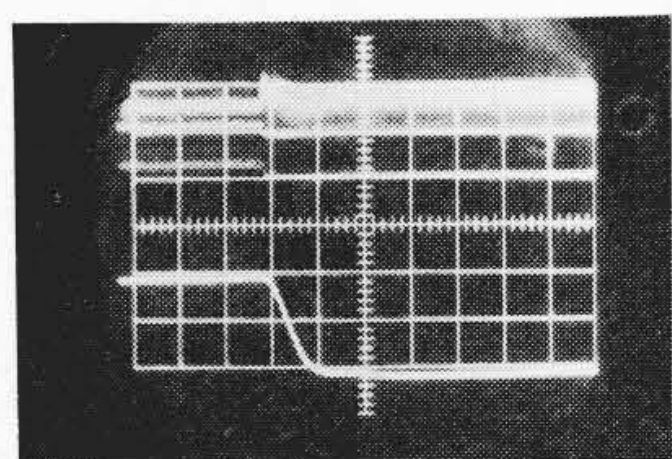
第35図 光量対信号電流特性（制御時）



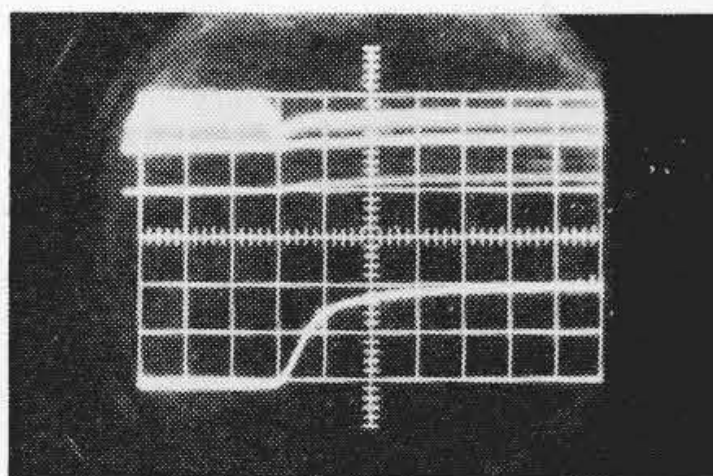
(a) 光増加時のA点の応答
($\Delta E=30V$, $t=0.3s$)



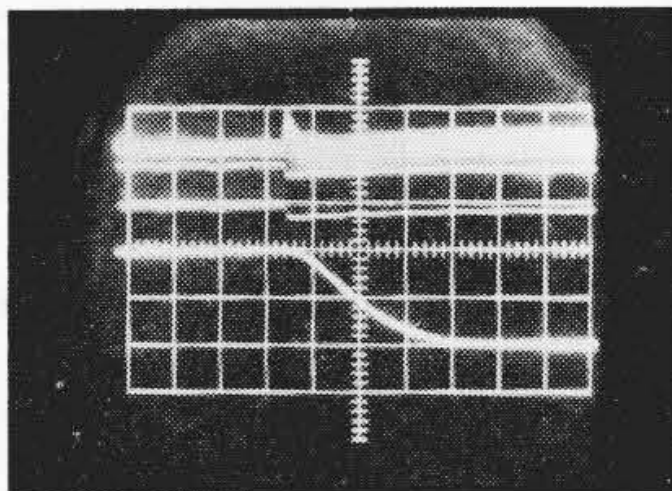
(a)' 光減少時のA点の応答



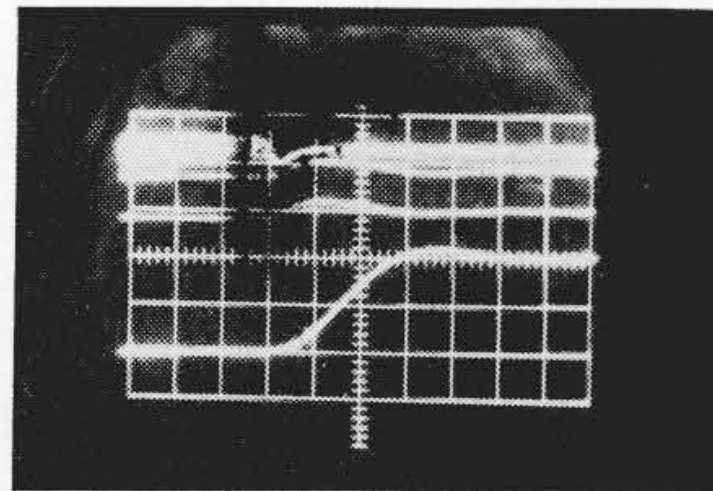
(b) 光増加時のB点の応答
($\Delta E=20V$, $t=0.2s$)



(b)' 光減少時のB点の応答



(c) 光増加時のC点の応答
($\Delta E=20V$, $t=0.6s$)



(c)' 光減少時のC点の応答

上側波形：映像信号カメラ出力 (0.3 V/cm)
下側波形：信号電極電圧 (10 V/cm)
時間軸：0.2 s/cm

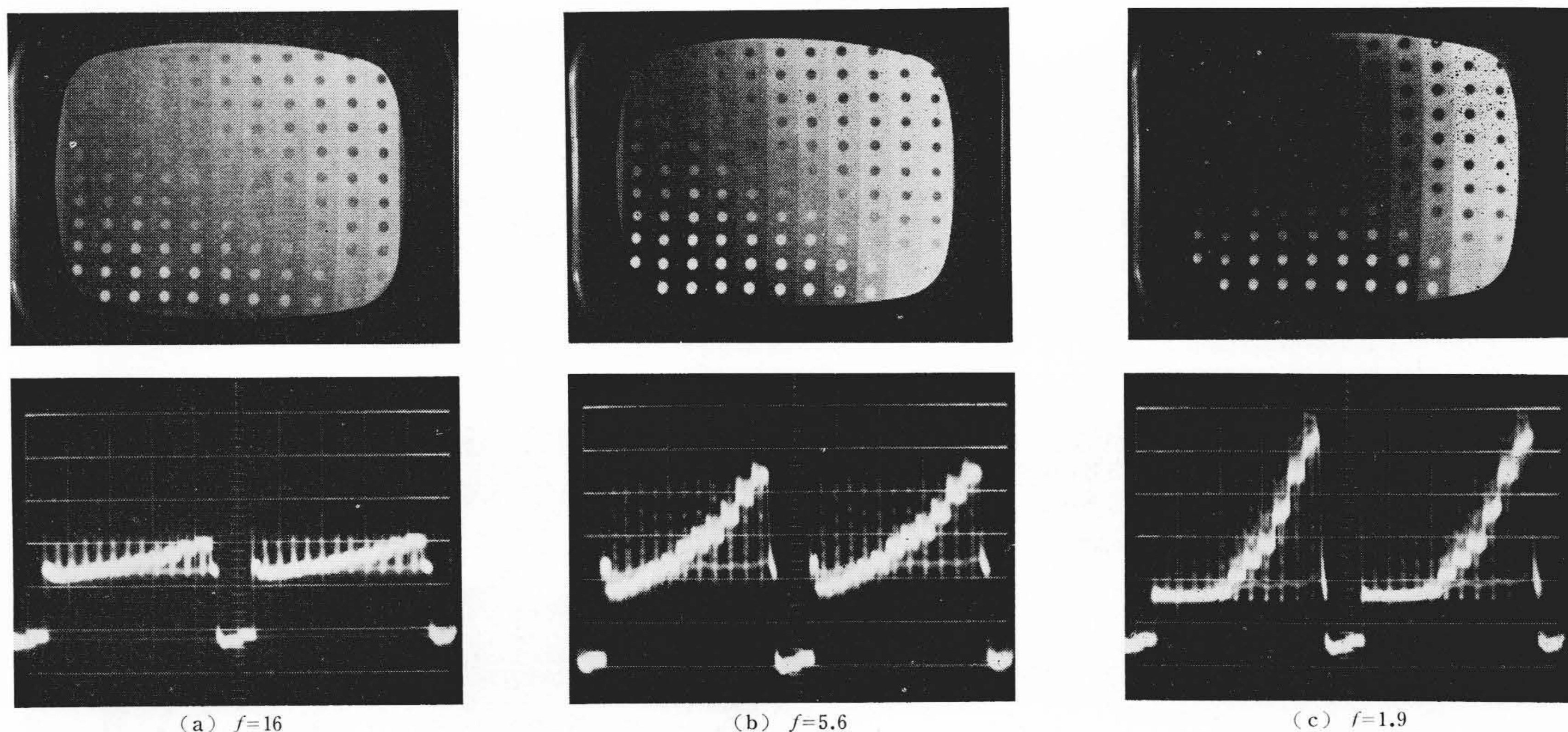
第36図 各種制御条件下の応答特性

ープ波形である。図の(a), (b), (c)などはそれぞれ第28図A, B, C, 3動作点に対応するもので、設計に考慮を払わないC点の動作特性が、いかに悪いかが明らかにわかる。

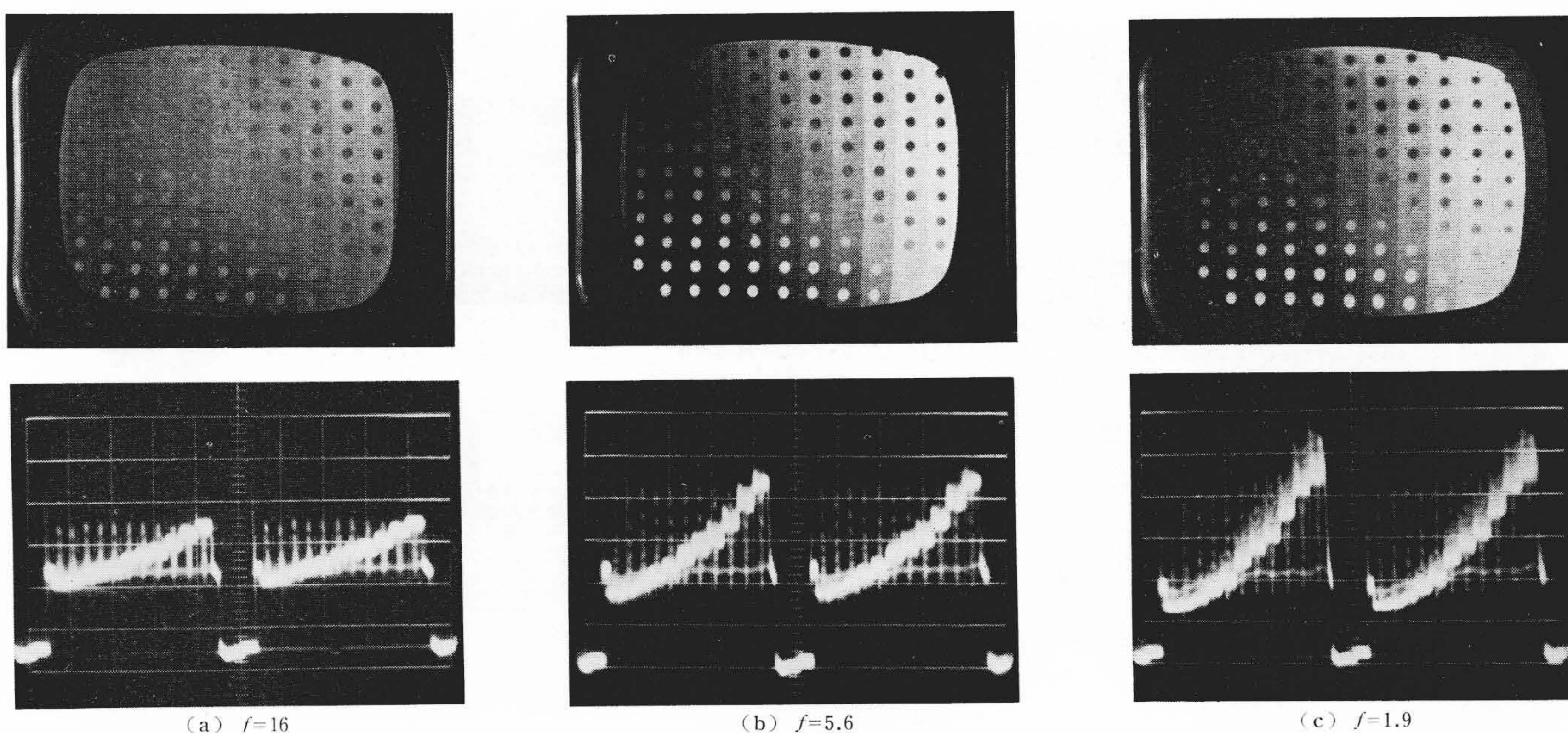
なお各図において光増加時（電圧減少時）の応答と光減少時（電圧増加時）の応答を比較してみると、前者には若干過渡振動が認められる。図の程度の過渡振動は実際の映像観察にはほとんど支障ないが、この発生原因は3章で述べたビジコンの信号消滅に基づくものであり、系の動作、制御効果は最終的にはこれによって支配されるのである。

(c) 映像効果

制御効果が実際の映像上にどう表われるかを記す。まず第37図は二次元明度計をテスト・パターンとして撮像し、ビジコンへの入射光をレンズ絞りで変化させた時の非制御時の映像および信号波形の写真である。一方本体制御を行なった場合の映像および



第 37 図 二次元明度計の映像および信号波形(非制御時)



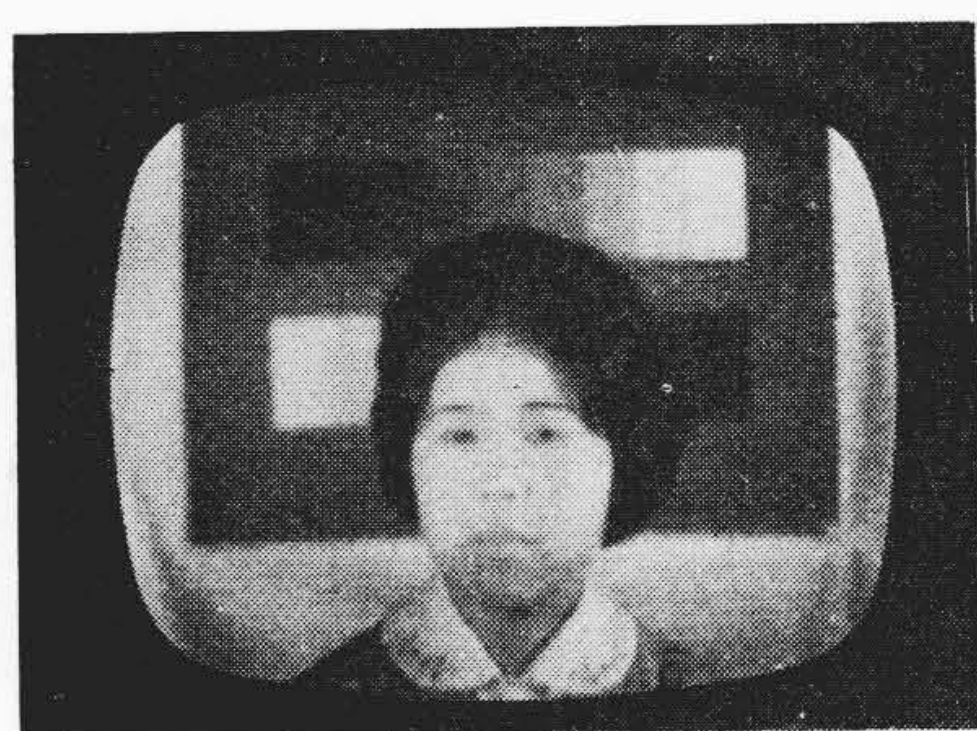
第 38 図 制御を行なったときの映像および信号波形



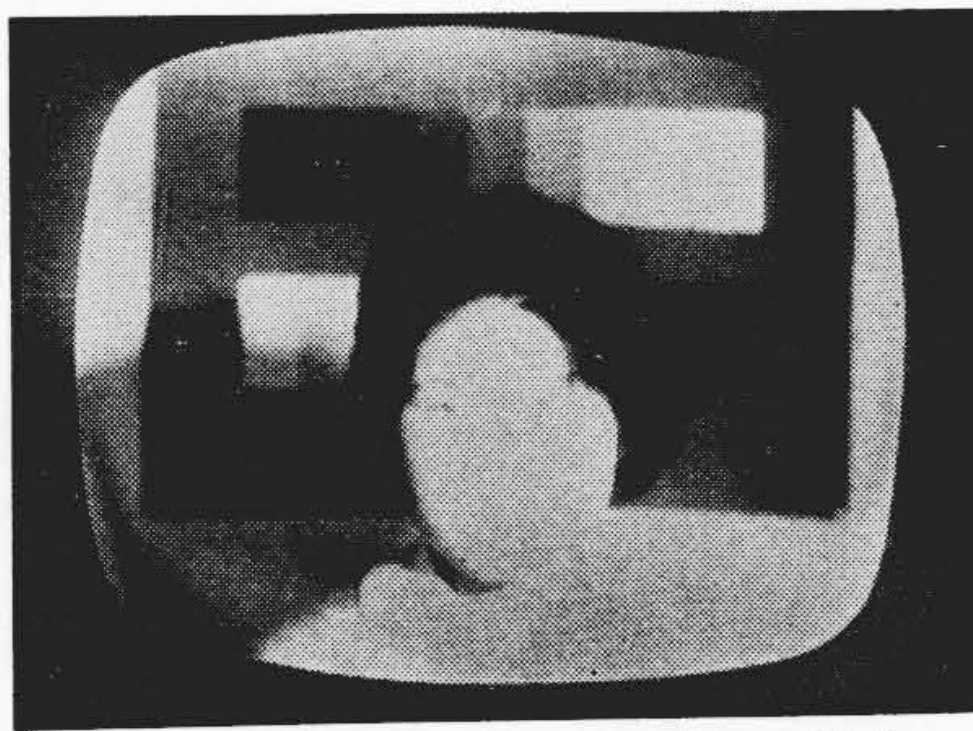
第 39 図 黒つぶれ現象の改善効果

信号波形の写真を第 38 図に示す。両図において、(a)はレンズ絞り $f:16$, (b)は $f:5.6$, (c)は $f:1.9$ の時の映像で、(b)図が基準状態である。この場合の基準状態としては $E_0=30\text{ V}$ (暗電流 $0.01\text{ }\mu\text{A}$), $i_{s0}=0.2\text{ }\mu\text{A}$ を与えており、電圧制御量は $\Delta E=17\text{ V}$ である。

第 37, 38 図から制御効果をはっきりとわかるが、さらに典型的な制御例を第 39, 40 図に示す。第 39 図は人物の背景のみが著しく明るくなった場合、第 40 図は人物のみが著しく明るくなった場合の映像写真で、制御が画質改善に大きく貢献していることが示される。



(a) 正 常 像



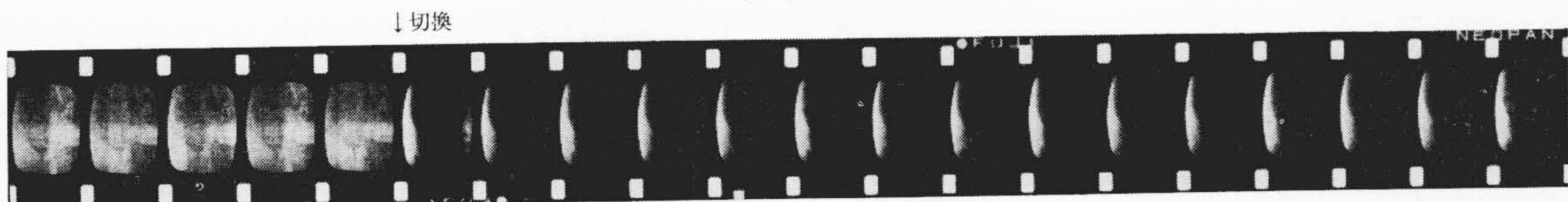
(b) 人物のみ照明した場合のビーム不足像



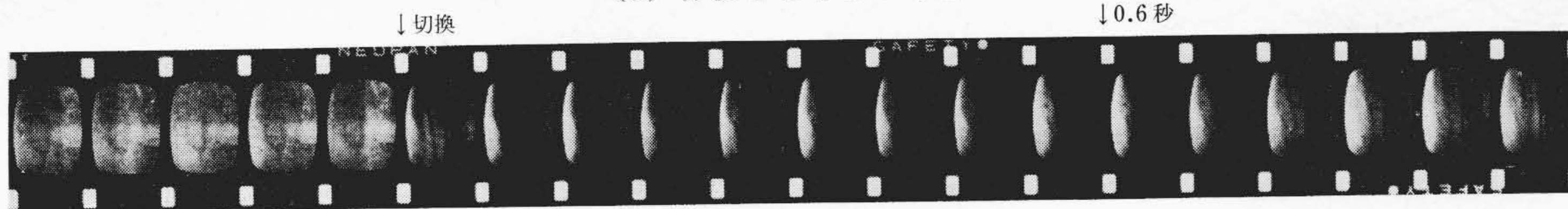
(c) (b)と同じ条件で制御した場合の像

第40図 ビーム不足現象の改善効果

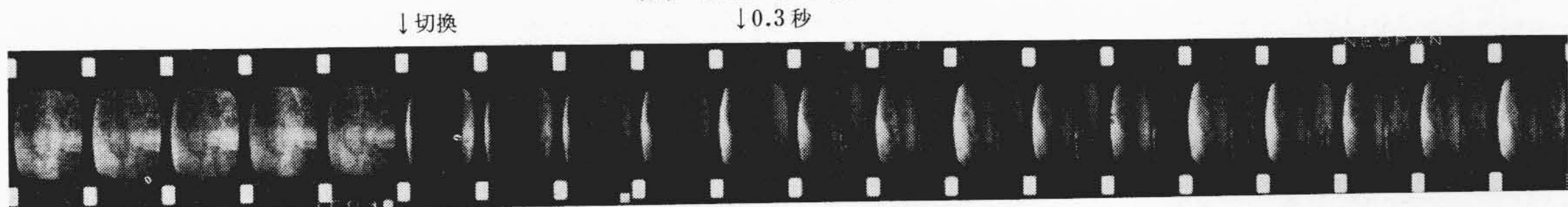
→ 時 間 経 過



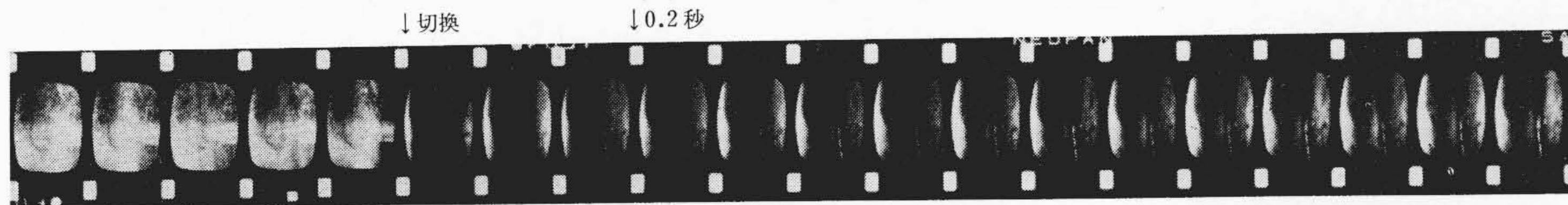
(a) 切 換 制 御 し な い 場 合



(b) 制 御 時 C 点 の 場 合



(c) 制 御 時 A 点 の 場 合



(d) 制 御 時 B 点 の 場 合

(毎 秒 15 こ ま)

第41図 映像で見た応答特性

以上は制御効果を静的な映像状態で示したものであるが、時間応答をも示す動的な映像変化の様態を次に示すことにする。

第41図はフィルム送像用カメラ付属の光学的マルチプレクサをリレーで駆動し、ビジコンへ撮影する光学像(スライドおよびフィルム1画面)を切り換えた場合の映像変化を16mm映画フィルムで撮影(コマ送り:15コマ/秒)したものである。図において、(a)は非制御時、(b)は第28図C点を制御動作点に選んだ場合、(c)は同じく第28図A点と動作点とした場合、(d)は同じくB点を動作点に選んだ場合の制御効果を示すものである。図から制御効果、応答時間の程度およびその関連がある程度具体的に見当づけられるであろう。実際のフィルム送像に本制御を適用してみると、信号電極電圧は画面に対応してかなり激しく変動しているが、映像上になんらの不自然さは感じられない。0.2~0.3秒程度の遅れはよほど明暗の著しい画面変化のときでなければ一般観察者はほとんど気がつかない。一方制御の遅れが多少気になるような画面変化の場合には、制御をしなければ完全に黒つぶれそのほかで画質が極端に低下した映像を生ずるのであるから、制御の効果は十分と認められる。

7. 結 言

ビジコンのラチチュード拡大による画質改善を目的とするビジコン信号電流を用いた信号電極電圧制御方式すなわちビジコン感度の

自動制御について基本原理、ビジコンならびに回路に関する考察、制御系の設計法および試作装置の概要と実際の制御効果について報告を行なった。

本報告の結論をまとめてみると次のようになる。

- (1) 制御は基本式(1)のなりたつ範囲で正常動作を行ない、管によるバラツキは比較的少ない。
- (2) 応答時間はビジコンの光に対する応答および信号電極電圧変化に対する応答で制限され、特に後者の電圧降下時の応答が制御に決定的影響を与える。そして応答時間は0.1秒程度が限界である。
- (3) 信号電極電圧変化に対するビジコンの信号応答の遅れは光導電膜表面電位の変化および光導電膜の充放電機構に依存する。電圧降下の信号消滅時間は光量が大きく、信号が大なるほど、また ΔE が小さいほど短い。
- (4) 制御系の発振、不安定性は映像信号がカメラ系で正常に伝達されないことに起因する。また上記ビジコンの信号電極電圧降下時の信号消滅も過渡振動の原因である。
- (5) 制御回路系の設計は交流増幅部の下限カットオフ周波数 $f_{ca}=60\sim100$ c/sに選ぶのがよい。また直流増幅器の設計は ΔE の大きさで決定される。
- (6) 制御の安定限界は E_0/E_{00} で決定され、 E_0 の値は感度と制

御量の2点で決めることになる。 E_{00} と E_0 がわかれば限界の ΔE_+ 、 ΔE_- の値がわかり、さらに $\Delta E/E_0$ 、したがって制御効果の目安がつく。またこれから制御器利得調整の設定値が求められる。

(7) 試作制御系で得た制御効果は $E_{00}=50V$ 、 $\gamma=0.65$ のビジコンに対し応答時間0.2秒で $\Delta E=20V$ 、見かけ上の $\gamma=0.45$ 、また応答時間0.3秒で $\Delta E=30V$ 、見かけ上の $\gamma=0.35$ であり、映像上からみた効果もかなり大きい。さらに効果を高めるにはビジコンを選び、 E_{00} が低く、高感度で残像の小さい管を使用する必要がある。

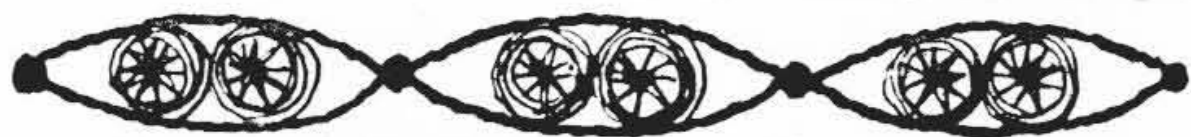
上記事項は従来未知、未発表であり、この制御方式の問題点、動作限界、設計、操作のやり方などについてかなり解明され、一応の結論が出せたものとする。

この制御方式は信号電極電圧および入射光変化に対する信号発生

の遅れというビジコンのある程度本質的な性質によって制御効果および時間応答に限界があるが、現在考えられる他のいかなる方式よりも簡明であり、総合的效果においてすぐれたものといえよう。そして設計に考慮を払えば上記限界点にかなり近い動作をさせることができ、その効果は実際的にもかなり大きいと考えられる。フィルム放送用にまた工業用テレビにこの制御方法が実用化され、ビジコンの送像画質がより改善されることを期待したい。

参 考 文 献

- (1) S. L. Bendell: J. SMPTE, 69, 259~260 (Apr. 1960)
- (2) 日比, 武井: テレビジョン 15, 624~630 (昭 36-10)
- (3) 西田: テレビジョン 16, 82~90 (昭 37-2)
- (4) 特許出願中 (36年 33767号)



特 許 の 紹 介



特許第220239号(特公昭30-7808)

明 山 正 元・山 田 金 雄

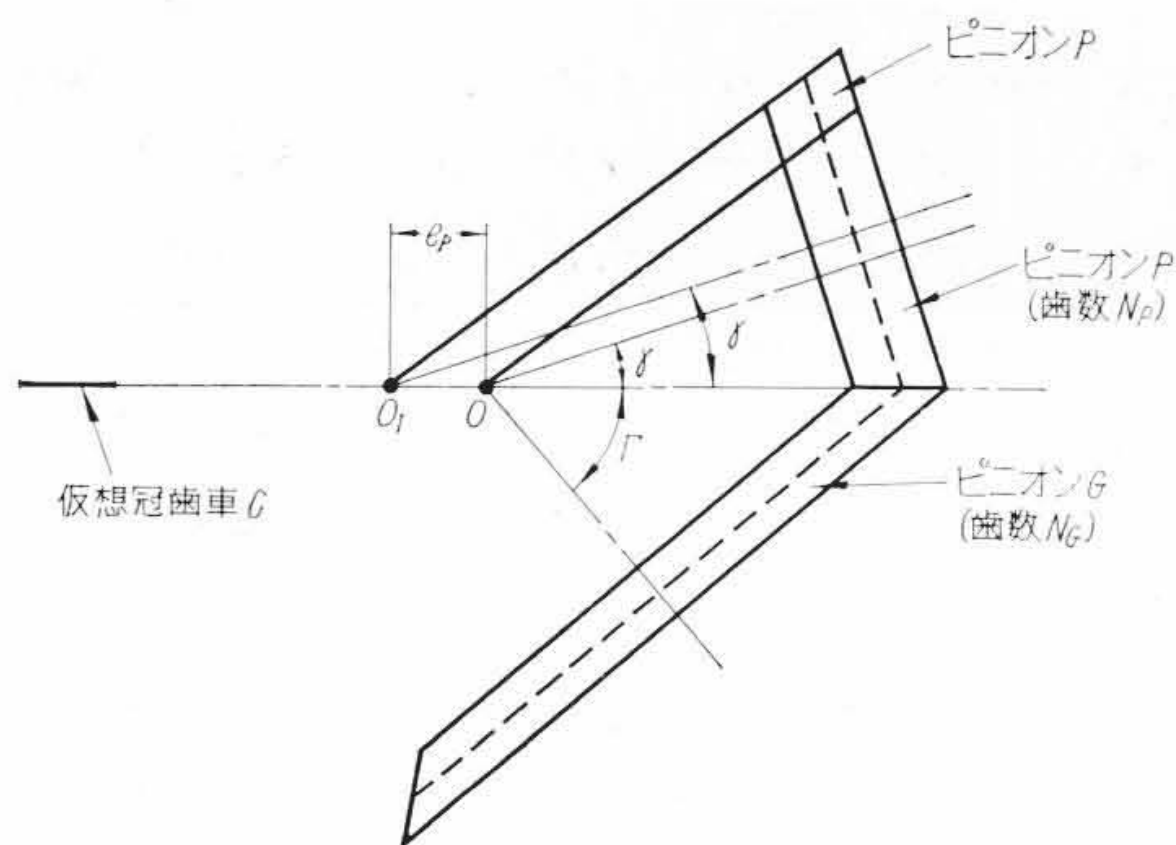
交 換 性 か さ 歯 車 組

一般のかさ歯車組は第1図に示すようにギアGとピニオンPとの間に仮想冠歯車Cを考え、該冠歯車Cの刻み円盤面の中心Oと、ピニオンPまたはギアGの刻み円すい面の頂点を一致させて、両刻み面がすべることなくころがるようにしている。しかしこの条件のもとでは、ピニオンPの歯数交換を両歯車軸の取り付け角 $\Gamma+\gamma$ を変えないで行なうことは不可能である。

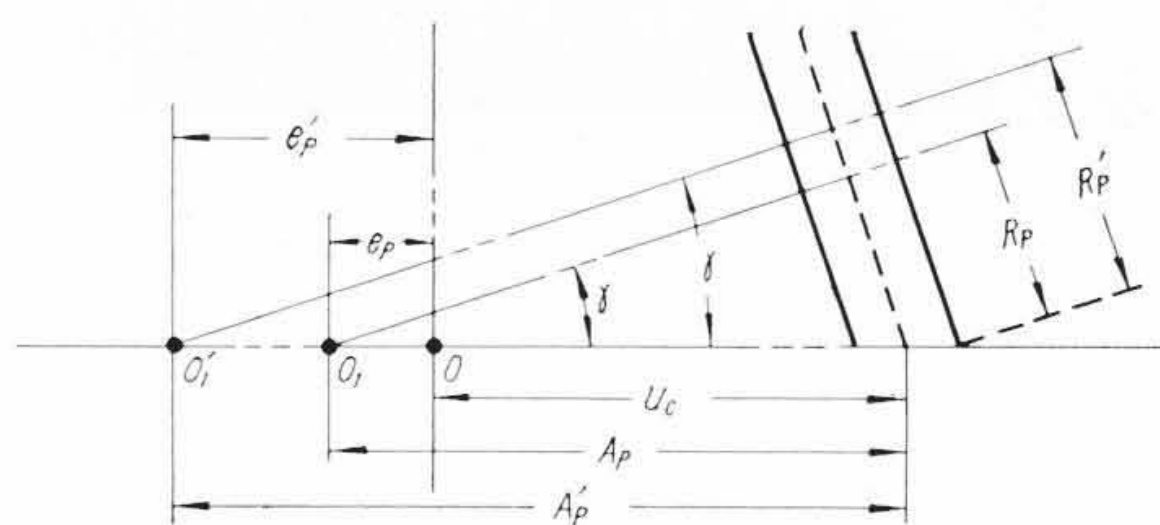
これに対し、ピニオンPの刻み円すい頂点 O_1 を刻み円盤面の中心

Oに対して e_P だけアウトセットさせておき、両者を適当な回転角速度で回転し、仮想冠歯車Cの歯形に相当する刃物で歯形を創成切削すると、歯面の歯筋方向にふくらみを有するかさ歯車が得られる。このアウトセット量 e_P と等しいアウトセット量 e_G をもつギアGを用いて、交換ピニオンP'のアウトセット量 $e_{P'}$ を該ピニオンP'の歯数 $N_{P'}$ に応じて適当に選べば、任意のかさ歯車組においてすべりの明図でみ合が可能となる。第2図はアウトセット量 $e_{P'}$ の算式の説

(松 島)



第 1 図



第 2 図

$$e_{P'} = U_C \left(\frac{\sin \Gamma}{\sin \delta} \cdot \frac{N_P}{N_G} - 1 \right) + e_P \left(\frac{\sin \Gamma}{\sin \delta} \cdot \frac{N_P}{N_G} \right)$$

特許第285628号(特公昭36-7421)

伴 野 正 美・田 内 省 二

極 め て 薄 い pnp また は npn 接 合 の 製 造 法

特許第298689号(特公昭36-22368)

伴 野 正 美・田 内 省 二
古 寺 博・佐 藤 興 吾

nnp 又 は pnp 接 合 の 製 造 法

この両発明は、成長法による pnp(または npn) 形トランジスタ用の単結晶製造方法に関するもので、日立製作所で開発したMD(molten diffused) 形と称せられる独自のトランジスタの製法である。pnp(または npn) の n(または p) 形中間層すなわちベース層は、きわめて薄くかつ均一でなければならない場合が多いが、従来の成長法では、たとえばインジウムなどを加えた p 形半導体融液中からの単結晶引き上げ過程に p, n 両不純物を交互に、または同時に融液中に投入しながら結晶成長を進行させる結果、融液中の不純物濃度が一様分布するようになる前に引き上げが進み、単結晶中のたとえば n 形中間層中の不純物濃度分布も均一とならず、この中間層を薄くすれば欠陥部を無数に生ずる。

この両発明は、たとえば p 形単結晶成長の過程において一時引き

上げを停止し、融液中に添加された p 形不純物とこれよりも拡散係数の大きい n 形不純物とが均一に濃度分布した状態において、融液から単結晶中に p, n 両不純物の同時拡散を行なわせるもので、両不純物の拡散係数の差のみによって均一な n 形中間層を形成させるから、この中間層は、両拡散係数の差によって決まるきわめて薄い厚みのものとなり、しかもその薄い厚みのどこにも欠陥のない均一な層が望みのままに作れるようになったのである。なお後者の発明は、上記の引き上げ停止による液相—固相間の拡散を開始させる直前に、単結晶下端部を融液中に浸してゆるやかに溶融させることによって、不所望の拡散分などを除き、新鮮な結晶面を露呈させる点に特徴がある。

(原田)