

X線撮影用直接フォトタイマー

Phototimer for Radiography

山根 巖* 加藤 和昭*
Iwao Yamane Kazuaki Katô

内 容 梗 概

X線撮影において、自動的にフィルムに適正な黒化度を与える装置として、一般にフォトタイマーが使用されている。フォトタイマーの性能を定める重要な因子は、これを使用することによって写真の解像力・対照度などを害さないこと、被検者の体格体質および放射するX線の線質（管電圧によって定まる）の変化に対して常に一定の黒化度制御ができることである。

われわれは受光部に蛍光剤を用いたX線撮影用直接フォトタイマーについて、使用する蛍光剤と増感紙との線質感度特性を一致させることを重点とし、受光部の構造、感度調整回路、増幅回路などにも改良を加えてその性能の向上を図り、管電圧50~150 kVpの広範囲にわたって、放射するX線の線質に対して補正することなく、使用し得るフォトタイマーを完成したので、その概要を述べた。

1. 緒 言

フォトタイマーとして実用化された最初のもは、カセットの背後に入射するX線を変換する装置（以下受光部と呼ぶ）を置き、これに入射するX線によって発生する電流を積分し、その積分値が一定値に達した時期にX線を遮断する方式のものであった。その後、受光部として厚さの薄い電離槽を用い、これを被検者とカセットとの間にそう入して電離電流を取り出す方式のものが考案され、現在なお使用されている。しかし、この方式のものにおいては、電離槽のX線に対する線質感度特性と増感紙（X線によって蛍光を発生しフィルムを感光させる）の線質感度特性とが完全には一致しないため、管電圧および撮影する部位の厚さによってフォトタイマーの感度のある程度調整しなければならないという不便があり、また電離槽の厚みのために被写体とカセットとの間の距離が増加し、解像力に若干の低下を生ずる欠点もある。

電離槽方式のフォトタイマーがもつこのような欠点を除去するものとして、アクリル樹脂板に蛍光剤を塗布し、入射するX線によって発する蛍光をアクリル樹脂板によって二次電子増倍管に導入して光電流に変換し、光電流を積分して積分値が一定値に達した時期にX線を遮断する方式のフォトタイマーが開発された。わが国においてはこの方式のものが、大阪レントゲン製作所花田氏によって研究され、コンデンサ式装置に使用して、放電開始電圧60~80 kV および120~140 kVの撮影において、増感紙 SNOW HS と線質感度特性がほぼ一致した受光部が報告されている。この受光部には蛍光剤としてタングステン酸・カルシウム (CaWO₄) が増感紙の蛍光剤とほぼ等しい厚みに全面に塗布されているため、X線の吸収は相当大きく、同一の被写体に対して放電開始電圧を約2 kV 高める必要があると報告されている⁽¹⁾。

われわれはトランス式およびコンデンサ式の両方式装置に使用し、解像力の大きい増感紙 FS と線質感度特性の一致する受光部を作成しようとした。すなわち、いかなる線質に対しても増感紙 FS と線質感度特性が一致することを第一条件とし、写真の周辺部の黒化度が不足するという現象があるため、中央部にのみ蛍光剤を塗布して周辺部の黒化度を補償しようとした。したがって、蛍光剤としてはX線吸収が小さくしかも感度の大きいものを選択する必要が生じた。このほか受光部についてはアクリル樹脂板の光伝導能率の向上、光電流積分およびX線停止指令回路など（以下電子管部と呼ぶ）については、二次電子増倍管の感度調整の方法、積分電圧の増幅回

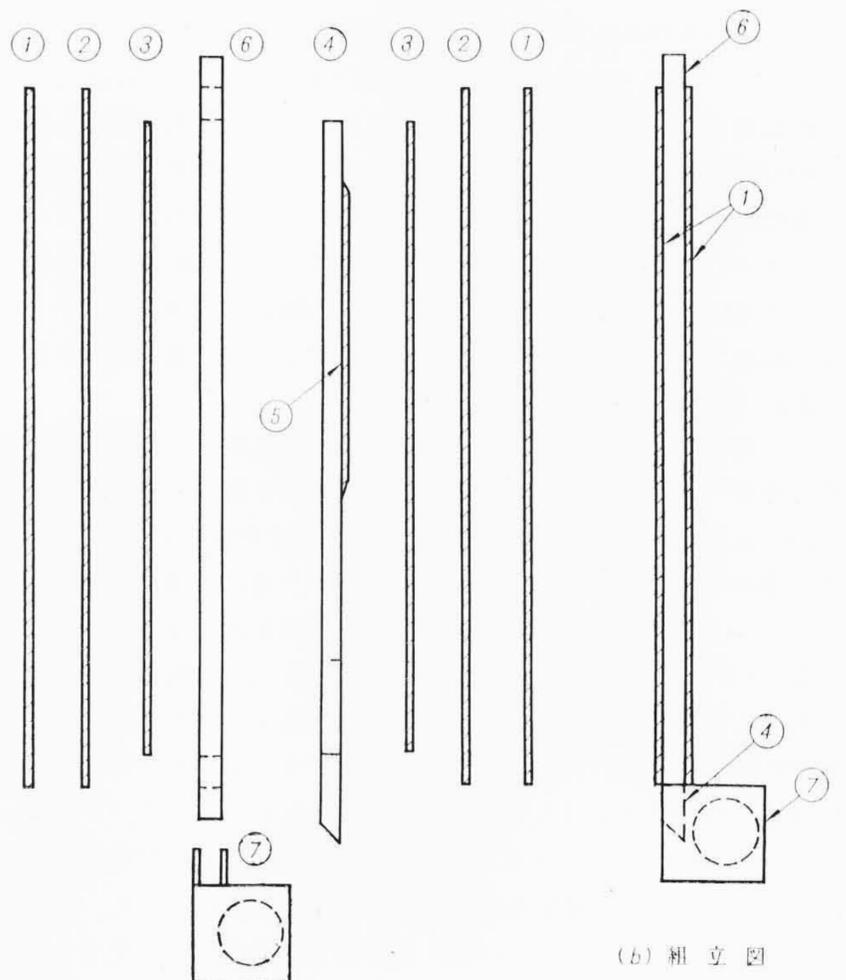
路などについて検討した。

これらの実験検討の結果を総合して、X線装置の種類、被検者の体格および体質、X線の線質、リスホルム・ブレンデなどに影響されることなく、自動的に安定した黒化度を得ることのできるフォトタイマーを完成したのでここに報告する。なお、今回完成したものはその採光部を胸部正面撮影用として作成したものであるが、黒化度調整によっては肺尖(せん)部および胸部側面撮影にも使用することができる。

2. 構 成

2.1 受 光 部

受光部は被写体のX線像をその採光部に塗布した蛍光剤によって

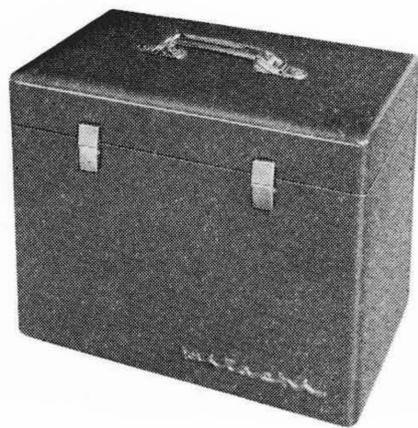


(a) 分解図

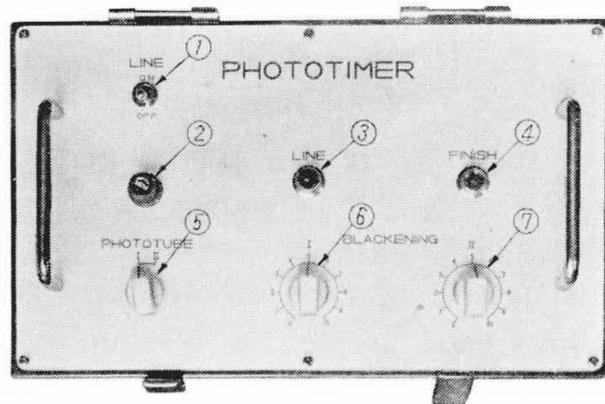
- ① 保護用ベークライト板
- ② 遮光用黒紙
- ③ 反射用アルミニウムはく
- ④ 伝光用アクリル樹脂板
- ⑤ 採光部(蛍光剤塗布)
- ⑥ 金属わく
- ⑦ 二次電子増倍管収納箱

第1図 受光部説明図

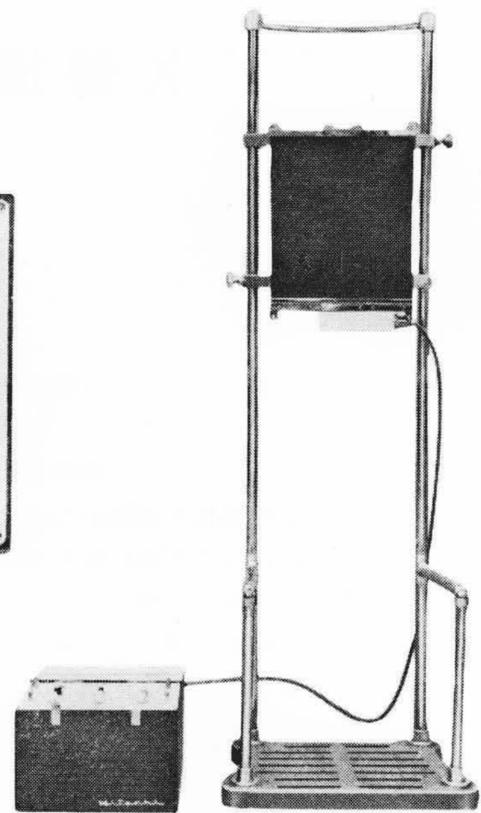
* 日立製作所亀戸工場



(a)



(b)



(c)

- (a) 電子管部外観
 (b) 電子管部の操作盤面
 (c) X線撮影用直接ホトタイマーの外観

第2図 X線撮影用直接ホトタイマーの外観図

蛍光像とし、これを伝光板によって二次電子増倍管に伝達し、蛍光に比例した光電流に変換して電子管部に送る部分であり、第1図(a)および(b)に示した構造のものである。

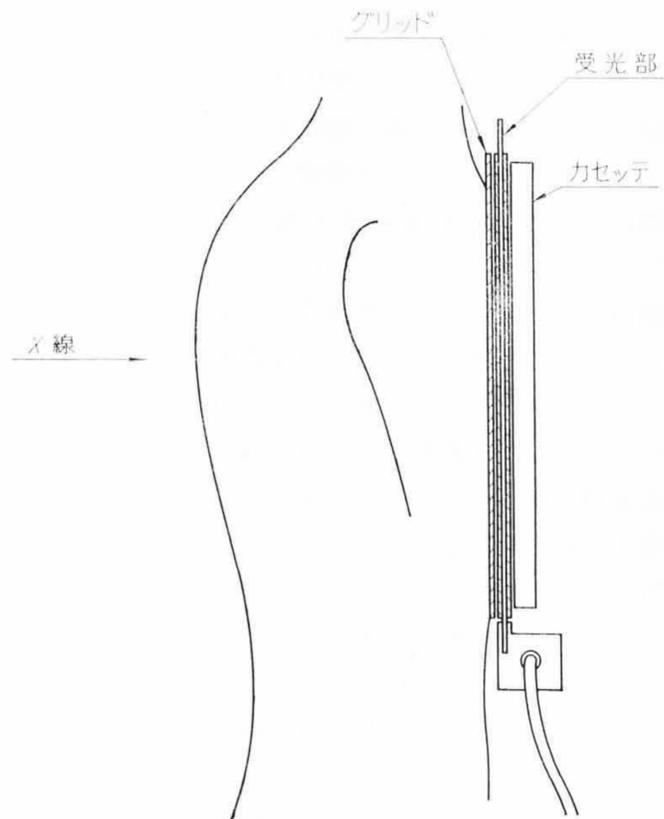
第1図(a)は受光部の分解図である。透明アクリル樹脂板④は厚さ3mm、横29cm、縦43cmの長方形部分とその下部に金属わく⑥の下端から二次電子増倍管収納箱にそう入されて、二次電子増倍管に蛍光を伝達するための長方形部分とから成る伝光板であり、被写体のX線像の一部を蛍光像に変換するために蛍光剤を塗布した採光部⑤をもっている。採光部に生じた蛍光は伝光板内を全反射によって下方に伝達され、長方形部分の下面45度に削った面において全反射されて外部に放射し、二次電子増倍管(破線の円で示す)に入射する。アルミニウムはく③は伝光板④の両面をはさみ、伝光板外に出た蛍光を伝光板に反射するためである。遮光用黒紙②は外部からの可視光線を伝光板に対して遮光するためのものであり、金属わく⑥のみに取り付けられている。保護用ベークライト板①は金属わくにネジ止めして受光部の内部を保護するためのものである。金属わく⑥の下端には二次電子増倍管を収納する金属わく⑦が取り付けられ、収納された二次電子増倍管によって蛍光を光電流に変換する。

2.2 電子管部

電子管部は受光部二次電子増倍管からの光電流を積分して、その積分値が一定値に達した時期にX線停止指令を発する回路、各制御回路用直流電源回路、各種調整回路などを有する縦21cm、横35cm、高さ29cmの鉄製ケースに収納され、その上面には切替器調整器、パイロット・ランプなどが配置されている。第2図(a)は電子管部の外観、(b)はその操作盤面、(c)は受光部をリーダー撮影台に取り付けたところを示した写真である。電源開閉器①は電子管部への入力電源の開閉に使用し、電源を投入するとパイロット・ランプ③が点灯する。ヒューズ②は入力回路にさう入したものである。パイロット・ランプ④はフォトタイマーによる撮影が終了した時期に点灯し、フォトタイマー撮影の確認を行なうためのものである。切替器⑤は受光部を2組(たとえば低圧撮影用と高圧撮影用)使用する場合に回路を切り替えるためのものである。黒化度調整器I⑥およびII⑦はそれぞれ受光部IおよびIIを使用する場合に黒化度を加減するためのものである。

2.3 受光部の装着

受光部は第3図に示すようにカセットの直前に装着する。高圧撮



第3図 受光部装着位置

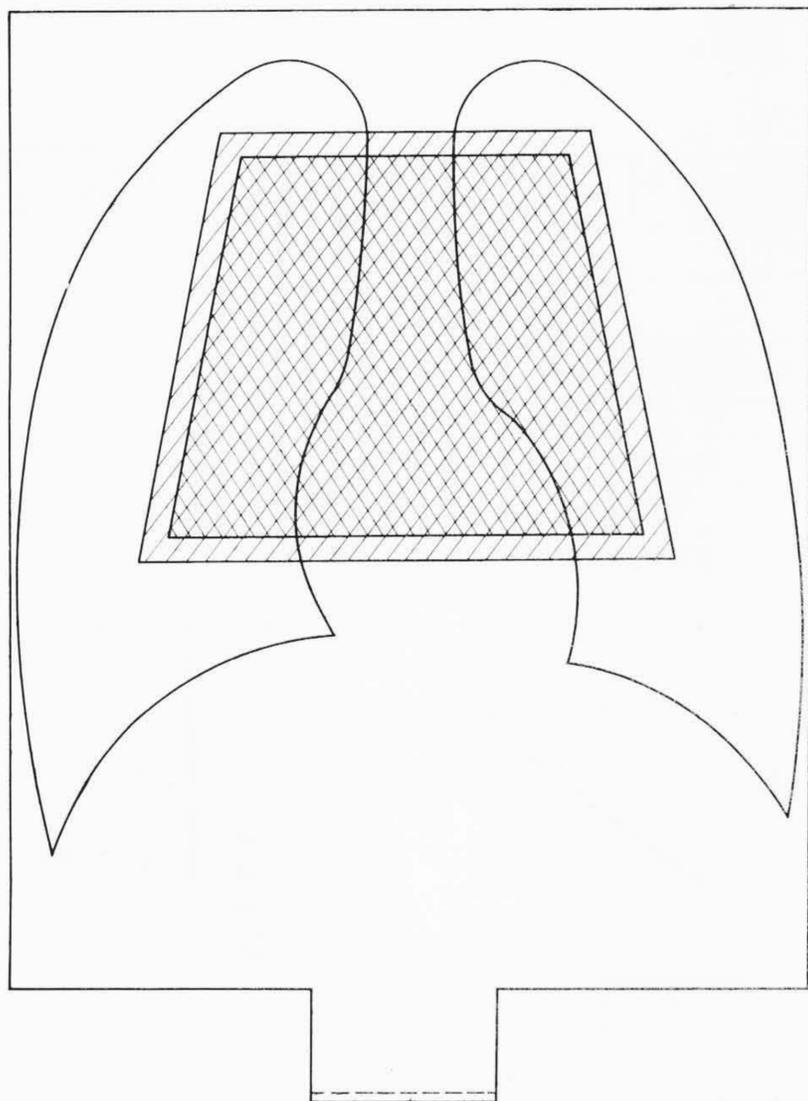
影または中高圧撮影の場合には、クロスト・グリッドまたはシングル・グリッドを使用して、被写体において発生する二次線および散乱線を吸収しなければならない。グリッドを使用する場合にはグリッドを受光部の前面にそう入する。もし、グリッドを受光部とカセットとの間にさう入すれば、受光部にはカセットに比べて軟X線が多く入射することになり、黒化度制御が安定しなくなる。また、後述するように、採光部の中心と肺門部の中心とを一致させる必要があるため、どのようなサイズのカセットを使用する場合においても、カセットの上縁と受光部の上縁とを一致させるように、カセットを装着しなければならない。

3. 動作および特性

3.1 受光部

3.1.1 採光部の形状

フォトタイマーは採光部に生じた蛍光像の平均光量を一定にするように、X線曝射量を制御する装置であるため、採光部に生ず



第 4 図 胸部正面撮影用採光部

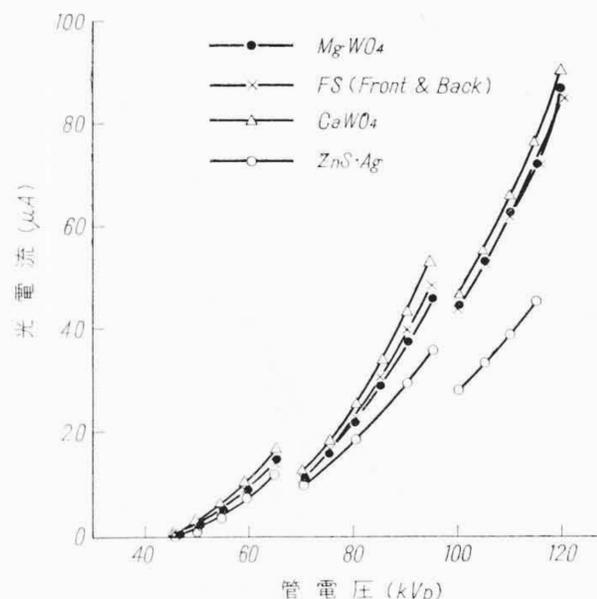
る蛍光像は年齢や体格などによって肺と骨部および心臓などの占める面積比に著しい相異があってはならない。第 4 図は現在採用している採光部と肺の X 線像との関係位置を示したものである。二重斜線部は一樣の厚さに蛍光剤を塗布した採光部であり、その周辺の単斜線部は蛍光剤の厚みを漸次減少してボカシにした部分である。ボカシにすることによってフィルムに採光部の境界が明瞭に現出することを防いだ。採光部の位置をこのように決めることにより、被検者の年齢（幼児は除く）および体格により制御される黒化度に著しい変化がなく、実用上一定黒化度とみなされる写真を得ることができた。

3.1.2 蛍 光 剤

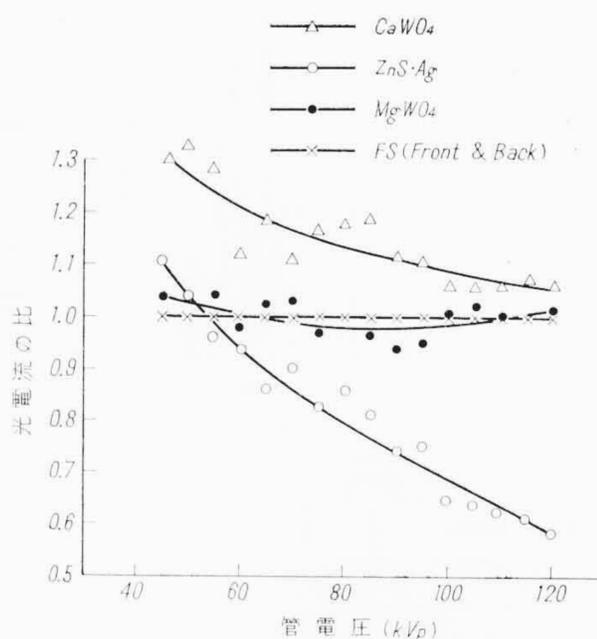
胸部直接撮影において使用される管電圧は、撮影の目的によって種々異なり、55~140 kVp の広範囲にわたるため、いかなる管電圧においても、特別な操作をすることなく、一定の黒化度に制御されることが望まれる。また、胸部撮影においてはデテールの現出が要求されるため、増感紙は FS 級のものが多く採用されている。したがって、採光部の線質感度特性（入射する X 線の線質に対する蛍光剤の感度特性）は FS の線質感度特性と一致することが望まれる。

増感紙極光 FS に使用されている蛍光剤は CaWO_4 であり、その塗布されている厚さはフロント側 0.10 mm、バック側 0.15 mm である。したがって、採光部に CaWO_4 を用いその厚さ 0.25 mm に塗布すれば、線質感度特性はほぼ一致することになるが、このような採光部によるときは採光部における X 線吸収が相当大きくなり、フィルムに採光部の吸収像が現出して読影を妨げるおそれがある。一方フォトタイマーの動作を安定にするには強い蛍光を得る必要がある。しかし、感度の高い蛍光剤でも FS 級増感紙と線質感度特性が相異なる場合には、管電圧に対して補正を必要とし実用上不便を生じる。

第 5 図は極光 FS、蛍光剤 $\text{ZnS}\cdot\text{Ag}$ (塗布厚さ 0.15 mm)、 MgWO_4



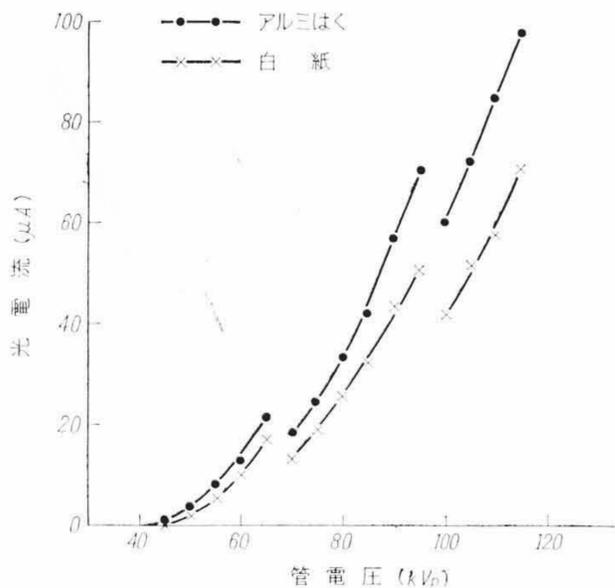
第 5 図 各種蛍光剤の線質感度特性



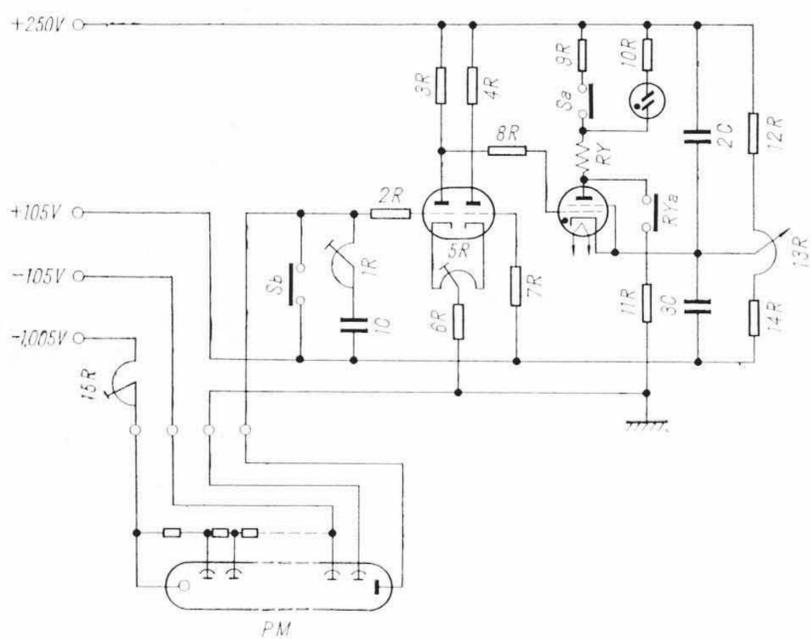
第 6 図 各種蛍光剤の FS に対する比感度

(塗布厚さ 0.13 mm)、 CaWO_4 (塗布厚さ 0.15 mm) の線質感度特性を示したものである。測定装置には、受光部伝光板と同様のアクリル樹脂板の両面を増感紙 FS のフロント、バックではさんだもの、および各種の蛍光剤を採光部に塗布したものをを用いて受光部と同様に組み立て、一定の電子管部と結合して、各種管電圧の X 線を照射した場合における光電流を測定し得るようにしたものを使用した。第 5 図のグラフは、これらの受光部に水ファントーム 6 cm を重ね、一定距離に保った X 線管から管電流を一定にして放射した X 線によって発生する光電流を μA 計によって読み取った値を縦軸にとり、X 線管に与えた管電圧を横軸にとって方眼紙にプロットして得たものである。この測定においては、増感紙極光 FS に対する各種採光部の線質感度特性を求める目的であるため、放射する線量率を一定とせず管電流は 25 mA 一定とした。なお、グラフが管電圧 70 kVp および 90 kVp において不連続になっているのは、70~90 kVp ではシングル・グリッド、10 kVp 以上ではクロスト・グリッドを使用したためである。

第 6 図は増感紙極光 FS に対する各種採光部の線質に対する比感度特性を示したものである。グラフは横軸に管電圧をとり、縦軸に増感紙極光 FS の感度を 1 とした場合における各種採光部の比感度をとり方眼紙にプロットして得たものである。この図は MgWO_4 (0.15 mm) の採光部によれば、管電圧 40~120 kVp の全域において増感紙極光 FS とに対して線質感度特性の変化が $\pm 3\%$ 以内のものを得ることができていることを示している。実用上診断に適正な写真のベース黒化度は 1.0~1.2 であり、約 20% の許容差がある。したがって、 MgWO_4 を用いることにより管電圧に対する



第7図 反射物による効果の比較



第8図 電子管部回路図

補正の必要でない受光部を作成することができた。

3.1.3 反射用アルミニウムはく

伝光板の外部に放射した蛍光を伝光板に反射するために用いる反射物としては、X線吸収が少なくしかも反射率の高いものが要求される。X線吸収の少ないものとしては白紙も考えられるが、第7図に示すように白紙では蛍光の反射率がアルミニウムはくに比べて低く、しかも白紙とアルミニウムはくとによるX線吸収量の差はほとんど無視し得る程度であったため、アルミニウムはくを採用することにした。

3.1.4 伝光板の厚さ

採光部において発生した蛍光の大部分は伝光板内を全反射によって伝播するため、伝光板による吸収量は発光点から伝光板出るまでの経路の長さDに比例する。この経路の長さDは蛍光の発光点における放射角をθ、この点から伝光板下端までの距離をlとすれば、

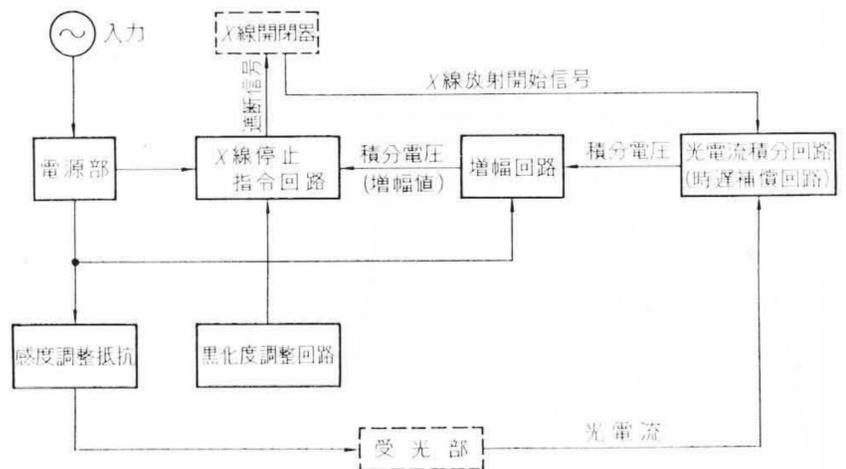
$$D = l \operatorname{cosec} \theta$$

で表わされる。したがって、伝光板による蛍光の吸収は伝光板の厚さとは無関係である。また、伝光板を厚くすればX線吸収量が増加し、薄くすれば機械的強度が弱くなる。これらの関係を考慮して伝光板の厚さを3mmにした。なお、伝光板として採用したアクリル樹脂板の空気に対する全反射の臨界角は41.7度である。

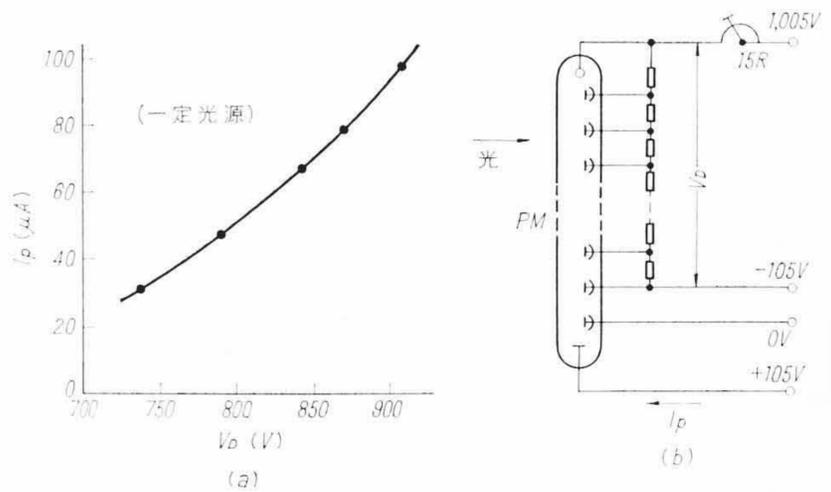
3.2 電子管部

3.2.1 電子管部の回路の概要

第8図は直流電源部を除いた電子管部の回路図である。半固定の可変抵抗15Rは受光部二次電子増倍管PMのダイノード電圧



第9図 電子管部ブロック図

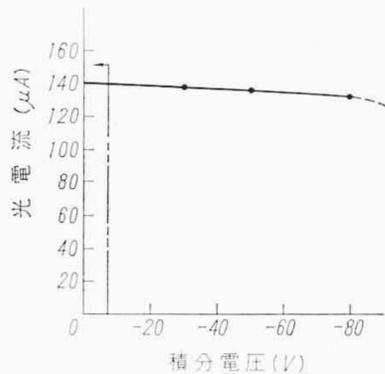


第10図 二次電子増倍管感度特性

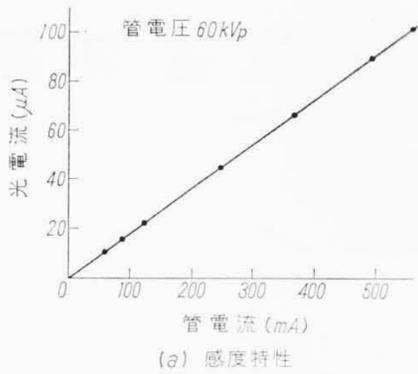
を変化して、その感度を調整する感度調整用の抵抗である。採光部において発生した蛍光が二次電子増倍管に入射し、15Rによって調整された感度に従って二次電子増倍管において光電流が発生し、その光電流は半固定の可変抵抗1Rを経て積分コンデンサ1Cを充電する。可変抵抗1Rは光電流の大きさに比例する電圧降下を生じ、X線停止指令を発生する時刻を光電流に比例して早くし、直流リレーRYなどの時間的遅れを補償する。抵抗1Rによって補償されたコンデンサ1Cの積分電圧は、グリッド抵抗2Rを介して差動増幅器を形成する双二極管1Vのグリッド1Gに入力として印加される。差動増幅器の出力はグリッド抵抗8Rを介してサイラトロン2Vのグリッドに印加される。一方、サイラトロン2Vのカソードは、可変抵抗13Rによって適宜の正電圧に選択され、希望する黒化度に相当するグリッド・バイアスをサイラトロン2Vに与えている。したがって、差動増幅器の出力電圧が、黒化度調整用抵抗13Rによってあらかじめ選択されているバイアス電圧を打ち消す値に達した時期に、サイラトロン2Vが点弧しそのプレート電流によって直流リレーRYが付勢し、リレーRYの接点によってX線管電流を遮断する。直流リレーRYに直列にさう入された負荷抵抗10Rおよびこれと並列にさう入されたネオン管Nは、直流リレーRYの付勢電流によって抵抗10Rに生ずる電圧降下を利用して、撮影終了を表示するネオン管Nを点灯するための回路である。第9図は以上に述べた動作をブロック図として示したものである。

3.2.2 二次電子増倍管の感度調整回路

受光部二次電子増倍管としては931Aを使用しているが、これには個々に相当大きい感度差がある。この感度差を調整するために、間接撮影用フォトタイマーにおいては、二次電子増倍管の受光面を傾ける方法、あるいは受光面の前面に遮光物を置く方法などが用いられているが、われわれはカソード回路にさう入した可変抵抗15Rにおける電圧降下を利用して、第1ないし第9ダイ



第 11 図 一定入力における積分電圧と光電流との関係



第 12 図 X線強度-感度特性

ノード間の電圧を変化することにより、その感度を調整するようにした。第 10 図は第 1 ないし第 9 ダイノード間に印加する電圧 V_D の値と、二次電子増倍管の出力電流 I_P との関係を示したものである。

3.2.3 積分コンデンサのそう入位置

第 8 図に示したようにアノード回路にそう入した積分コンデンサに光電流が積分されるにしたがって、第 9 ダイノードとアノード間の電圧が低下するため、一定の光源からの光を受けても光電流は減少するはずである。第 11 図は、一定光源からの入力を得る場合における積分電圧と光電流との関係を示したものである。実際に使用する積分電圧の範囲は、矢印破線で示すように、約 6V までであるため、実用上感度は一定とみなしてさしつかえない。

3.2.4 積分電流特性（線量率感度特性）

第 12 図は管電圧を 60 kVp 一定とし、水ファントム 6 cm を重ねて、管電流を変化した場合における管電流と光電流との関係を示したものである。この測定においては、管電圧を一定とした

ため線量率は管電流に比例する。また、グラフが示すように、管電流と光電流とは比例している。したがって、受光部の感度は線量率に正比例することを示している。なお、管電流の変化によって生ずる管電圧波形の変化による影響を避けるため、測定にあたっては管電流を変化せず、受光部と X 線管との距離を変化して管電流に換算した。

4. 結 言

X 線撮影用直接フォトタイマーの作成に当たっては、どのような X 線装置に結合しても使用し得ることを主眼としたため、とくに受光部と使用する増感紙との線質に対する比感度を一定にすることに留意し、各種の受光部を試作して、解像力の最も大きい増感紙（一般に FS 級が使用される）と線質に対する比感度の変化が $\pm 3\%$ 以内のものを見いだすことができた。また、採光部のみ受光用蛍光剤を塗布することによって、写真の周辺部の黒化度補償を行なうことができた。

ここに報告したフォトタイマーは胸部正面撮影を目的としたものであるが、採光部に被写体を通さない X 線が直接入射しない限り、黒化度調整を適当に加減して、胸部側面撮影および肺尖撮影に使用することもできる。

本報告を終るに臨み、実用試験により採光範囲の検討を行なっていたいただき、始終懇切なご教示ご指導を賜った名古屋大学医学部高橋信次教授、同教室岡島俊三講師そのほかの方々につつしんで感謝の意を表するとともに、蛍光剤の研究に当たって積極的にご協力をいただいた大日本塗料株式会社茅ヶ崎工場滝沢達児氏そのほかの方々へ深謝する。

参 考 文 献

(1) 花田勝：レントゲン講座，28，14（昭 30-9）



特許第 306870 号

特 許 の 紹 介



外 山 仁 一・森 岡 健

充 電 発 電 機 装 置

この発明は、トランジスタを使用して定電圧制御及び電流制限を行う充電発電機装置において特に制限電流値が温度変化に対しても常に一定となるようにするものである。

図において 1 は直流発電機で界磁巻線 2 を有する。ゼナーダイオード 5、抵抗 6、ポテンショメータ 7 はブリッジ構成されており、トランジスタ 4 により発電機出力電圧変動を検出増幅し界磁巻線 2 に直列接続されたトランジスタ 3 のインピーダンス制御を行なわせ常に出力電圧が一定になるように動作する。

更に電流制限作用は、規定以上の電流が抵抗 12 に流れるとこの両端の電位差によりトランジスタ 9 が導通状態となり、このトランジスタを介してトランジスタ 4 のコレクタ電流の一部が流れる為トランジスタ 3 のベース電流が減少し負荷電流を制限する。この場合周囲温度が上昇するとトランジスタ 9 の電流増幅度が大きくなり、負荷電流に対する制限値は整定値より低下する傾向にある。然るに本発明の如くトランジスタ 9 のコレクタ回路に負荷抵抗素子 10 を直列接続しこの両端の電位差によってエミッタ電流の制御されるトランジスタ 8 を備えておれば、温度が上昇すると抵抗 10 の抵抗値が減

少するのでその両端の電位差は減少し 8 のエミッタ電流が減少する結果となり、抵抗 11 と抵抗 10 を流れる電流値の和は常に一定に保持され、温度によって制限電流値が変動するのを防ぐ。(川 田)

