〔宿題報告〕

蓄電器放電式 X 線装置の放電制御法

富士製鉄株式会社室蘭製鉄所病院放射線科

古 谷 鉄 雄

Tetsuo Furuya

Summary

It is possible to discharge momentarily a gross electric current from an X-ray tube by use of the condenser type X-ray apparatus. This is true even if the source of electricity is weak in capacity or the output small.

Preliminary studies of this apparatus have been made in foreign countries and then performed in our country. This apparatus was put to practical use by many investigators due to the quest for finding a suitable apparatus which could fill the need in our country where the electric service is not of the highest standard. The need also existed of finding an efficient apparatus for the diagnostic measurement against Tuberculosis.

I have tried various control methods, and finally designed a method which reflecting upon the characteristic of reciprocity law failure of the roentgen film as follows:

The X-ray is radiated to the object (patient) by use of the grid controlled X-ray tube, automatically controlled by the multiplier photo tube so as to produce an average brightness on the fluoroscopic screen which is illuminated by the X-ray passed through the object. The X-ray film having an average blackness receive its image from the fluoroscopic screen by use of the photo timer.

In this way, we were able to produce finer X-ray films in the laboratory of our hospital.

Modern control methods in use up to this day were also discussed.

Read at the sixteenth annual meeting of the Japanese Society of Radiological Technology, Sapporo, Hokkaido, Japan 2. July 1960.

目 次

I. 緒 論

II. 高圧印加制御方式

- (1) 電磁式高圧放電開閉器方式
- (2) 矩形波衝撃電圧方式
- (3) 3 極火花間隙方式
- (4) 3 極火花間隙併用側路放電方式
- (5) ガス封入高圧放電管併用側路放電方式
- (6) フォトタイマー連動両励起ガス封入高圧放電管併用側路放電方式

III. 繊維制御方式

A. 整流管繊維制御方式

- (1) 時限器による点滅方式
- (2) 予熱併用瞬時上昇繊維回路開路方式

B. X線管繊維制御方式

- (1) 点 火 方 式
- (2) 予熱併用点火方式

(3) 蓄電器による繊維瞬時上昇方式

(4) 予熱瞬時上昇点火併用方式

(5) X線管繊維点滅方式

(a) 放電電氣量によるX線管繊維点滅方式

(b) フォトタイマーによるX線管繊維点滅方式

(c) 電圧によるX線管繊維点滅方式

IV. 高圧印加繊維制御併用方式

- (1) X線管予熱点火併用方式
- (2) 高圧印加瞬時X線管繊維回路開路方式
- (3) タイマーによる高圧印加X線管繊維回路開路方式
- (4) フォトタイマーによるX線管繊維回路開路方式
- (5) X線管繊維予熱併用点火高圧回路開路方式
- (6) ガス封入高圧放電管X線管繊維制御併用方式
- (7) 3 極火花間隙整流管繊維制御併用方式

V. 3 極管制御方式

- (1) 機械的制御方式
- (2) 高周波制御方式

- (3) 定電圧放電制御方式
- (4) 矩形波衝撃電圧制御方式
- (5) 蓄電器接地側挿入3極管制御方式
- (6) 低周波制御方式
- (7) サイラトロン制御方式

Ⅵ. 3極X線管制御方式

- (1) リレー制御方式
- (2) 可変焦点リレー制御方式
- (3) 自動輝度調整光電管制御方式

Ⅶ. 考 察

Ⅷ. 結 言

I. 緒 言

筆者が放射線の仕事に関係するようになった頃、すな

わち1938年以降に非常に興味深く感じたものに蓄電器放電式X線装置（以下蓄放装置と略す）があった。当時は低電圧、大電流で遠距離の瞬間撮影が胸部撮影の至上条件とされてその実施に努力された。当時の変圧器式全波整流装置は現在のごとく完璧なものでなく、大部は電圧降下補償器や電流安定器もなく、撮影時に整流管およびX線管の繊維加熱電圧が下降するので前以て高い電圧を与えるという姑息な方法であり、現在のごとく容易に正確な撮影条件を満すことは出来なかった。これに対し蓄放装置は小容量の電源で容易に大電流を放電し正確な撮影条件で瞬間撮影が出来、更にX線管繊維加熱電圧の変動はフィルム黒化度におよぼす影響は少なく、常に予定のフィルム黒化度を再現し、複雑なタイマーを必要としないので、本装置の出現は非常に期待された。

Table 1. 放電制御方式の分類 (古谷)

幸い1943年に富士製鉄株式会社が健康管理一主として結核対策から本装置を新設し、これを使用する機会を得、その後波尾切断の各種の制御法を実用し、間接撮影をフオートタイマー連動で始めて行い、X線管負荷の軽減、被曝線量の軽減やX線管焦点の縮小等を行ない、平均黒化度で鮮鋭な写真を得よう努力した。ところがX線フィルムの相反則不軌の特性から同一黒化度が得られないことが判り、新しく蛍光板の輝度を利用した自動放電制御法を考案し、常に平均黒化度の等しい写真が出来るようになった。

蓄放装置は放電制御法により高圧印加制御方式、繊維条制御方式、高圧印加繊維条制御併用方式、3極管制御方式および3極X線管制御方式に分類出来るし、更にこれを方法あるいは構造により Table 1 のごとく細分できる。

本報告は医学的に利用した内外国の蓄放装置各種の制御法を調査し、筆者の研究報告と共に纏めたものである。

II. 高圧印加制御方式

X線管を蓄電器放電回路に応用しようとする試みは古くから研究され、ドイツのシーメンス社が1925年医学的診断に利用するために研究に着手し、1927年にソビエトの依頼により製品化し、シベリヤ地方で胸部瞬間撮影に使用したのが最初の高圧印加制御方式の製品のようなのである。

Teillard 氏³⁾は1919年に Bouwers 氏²⁾は1931年に高圧印加制御方式の放電開始時の急峻な波頭を避けるために2,000ヘンリーのインダクタンスをX線管に直列に挿入したり、Files 氏⁴⁾は1935年に電磁式高圧放電開閉器により、高圧蓄電器の充電電荷をX線管に放電する純粹の高圧印加制御方式を試み、Beese 氏³⁾は1938年に電磁式により、真空箱内において高圧開閉を行う方法や、X線管に直列にガス封入制御管を用いる方法を述べている。

(1) 電磁式高圧放電開閉器方式

わが国においては1932年頃東芝、島津両社により研究が開始された。

東芝においては当初放電抵抗を使用せずに、瞬間撮影のため大電流を以て放電を行ったので、X線管が爆発破壊し、非常に多くのX線管が犠牲にされたが、高真空度のX線管及び放電抵抗が使用されることにより安定化し、1938年に始めて製品化した。

当時の放電様式はX線管繊維条を加熱して置き、油中型電磁高圧放電開閉器により、高圧に充電した蓄電器の電荷をX線管回路に放電する純粹の高圧印加方式の全電荷放電のもので、配電盤は現在のようにkV計、mA計等

を有しない極く簡単なものであった。放電電流はX線管繊維条加熱の程度により、電磁オシログラムによって求められ、一般使用者には蓄電器容量、充電電圧によってX線管の繊維条加熱電流で使用範囲が示されていた。

大阪X社は1949年⁵⁾に気中型の電磁高圧放電開閉器を使用したものを発表した。

(2) 矩形波衝撃電圧方式

これは医理学研究所（以下医理研と略す）が1950年⁶⁾に発表したもので、蓄電器に充電した電荷を変圧器の1次線輪に放電し、2次線輪に生ずる高電圧によりX線を発生させるもので、1次線輪を数個に区分し、比較的低压に充電する蓄電器を並列に接続し、更に1次線輪の放電用開閉器に放電管を使用し、能率よくX線を発生させ、かつX線管の負荷を軽減させるものである。

Fig. 1 その主回路であり簡単に説明すると、変圧器(1)、整流管(2)、抵抗(3)により蓄電器(4)を充電して置き、格子制御放電管(10)のグリッドに正の電圧を与え、蓄電器(8)の電荷を変圧器(9)の

一次側に放電し、ガス入り放電管(7)の起動電極を刺激して高圧変圧器(5)の2次側に矩形形状の衝撃電圧を発生し、これをX線管(6)に通じてX線を発生させる。この衝撃電圧の持続時間

Fig. 1. 矩形波衝撃電圧方式の回路 (医理研)

(5)のインダクタンスにより決定される。なお衝撃電圧始動時の過渡的過電圧は変圧器(5)の自己容量とX線管によりほぼ吸収され、また放電終了時の逆起電力は変圧器の自己容量と逆起電力吸収整流管(13)によって吸収される。

このような回路により矩形波のインパルスの発生は、インパルス通信及びレーダー等に採用されているが、X線装置ではパルスの中、継続時間が長く、0.1~0.01秒までの長いものが非常に困難であるが、本装置において50~60kV, 1,000mA, 0.01secの出力のものが得られた。

(3) 3極火花間隙方式

東大放射線科では1951年⁷⁾に本方式を発表している。Fig. 2はその主回路でネオントランスで高圧交流を小間隙にあたえ、小間隙間に火花放電を起しイオンを発生せしめ、続いて主間隙間に火花放電を起動させ高圧蓄電器

の充電電荷をX線管に放電させる方式である。

Fig. 2. 3極火花間隙方式の回路 (東大放射線科)

(4) 3極火花間隙併用側路放電方式

北大の坂本, 若林両教授, 汲田, 石村両氏は1950年⁸⁾⁹⁾に3極火花間隙により側路放電を行う波尾切断方式を発表した。

Fig. 3はその主回路で, 主蓄電器Cに充電された電荷をX線管 R_0 に放電するとき, これと並列に接続した蓄電器 C_1 は抵抗 R_1 を通じて充電し, C_1 の充電電圧がある値に達すると, 3極火花間隙 G_2 で始動放電を行い続いて G_2 の主間隙で放電を起し, 蓄電器Cの残留電荷を

Fig. 3. 3極火花間隙併用側路放電方式の回路

Fig. 4. 高圧印加3極火花間隙併用側路放電方式の回路 (島津製作所)

X: X線管 T: 変圧器
 C_1, C_2 : 高電圧コンデンサ R: 抵抗
 G_1, G_2 : 主間隙 V: 放電管
 g_1, g_2 : 補助間隙 (サイラトロン)
H, S: 高電圧開閉器 S: 信号入力端子

抵抗 R_3 を通じて大地に放電を行い, X線管入力を減少し被曝線量の軽減を計った。

島津は1955年¹⁰⁾に Fig. 4 の回路, 大阪X社は同年¹¹⁾に Fig. 5の回路の電磁式高圧放電開閉器使用3極火花間隙による側路放電方式のものを発表した。何れもサイラトロンSに信号を送り, 3極火花間隙の小間隙間に直流衝撃電圧, 高周波衝撃電圧をあたえて主間隙間に放電を行なわせ, 撮影に不必要な蓄電器の残留電荷を大地に放電し波尾切断を行う方式である。

Fig. 5. 高圧印加3極火花間隙併用側路放電方式の回路 (大阪レ社)

(5) ガス封入高圧放電管併用側路放電方式

医理研は1951年¹²⁾¹³⁾に Fig. 6に示す多段式蓄放装置に片励起ガス封入高圧放電管, ガス封入高圧放電管を使用し, 矢印の始動回路へ衝撃直流電圧を送り片励起ガス封入高圧放電管を起動し, 蓄電器群は直列にX線管へ放電を開始し, 任意の電気量を放電後自動的にX線管に並列の片励起ガス封入高圧放電管の小間隙間に衝撃直流電圧をあたえ, 主間隙間の放電を起動させ, 瞬時に蓄電器の残留電荷を大地に放電させてX線管負荷を減少し, 小焦点X線管使用を可能ならしめ, かつ被曝線量の軽減を計った。

Fig. 6. ガス封入高圧放電管併用側路放電方式の回路 (医理研)

(6) フォトタイマー連動両励起ガス封入高圧放電管併用側路放電方式

筆者は1953年9月医理研の協力を得て両励起ガス封入高圧放電管を使用し、フォトタイマー連動側路放電方式の装置を自製組立てを行い実用化し、1954年¹⁴⁾これを発表した。

目 的

フォトタイマーにより一定光量に達した場合に、蓄電器の残留電荷を瞬時に大地に放電し、平均黒化度の均一な間接写真を得ることとX線負荷の軽減を計る。

方 法

Fig. 7は本方式の主回路である。フォトタイマーは東芝製でサイラトロン TY-66G の陽極回路のリレーをパルストランスに換え、その出力側を起動用放電管 AD-253に接続した。Fig. 8はフォトタイマー回路図である。

Fig. 7. フォトタイマー連動両励起ガス封入高圧放電管併用側路放電方式の回路 (古谷)

Fig. 8. フォトタイマーの回路 (古谷)

高圧充電後X線管繊維条を点火して置き、フォトタイマーのX-RAYスイッチを押すと、リレー R_{Y1} が動作しフォトタイマーは受動状態となり、次にリレー R_{Y2} 。リレー R_{Y3} により僅小の時間遅れで a, a' 回路が閉路する。すなわち Fig. 7 の X-RAY の a, a' が閉路されてX線

管に直列の両励起ガス封入高圧放電管 ND-452用パルストランスの1次側に直流電圧を印加し、2次側の衝撃電圧により ND-452の小間隙間に火花放電を起し、イオン及びエレクトロンを発生させ、主間隙間の放電を起し、X線管よりX線を放射する。

放射X線により被写体を透過し、暗函内の蛍光板を発光させ、その光量によりフォトタイマーが応動し、サイラトロン TY-66G の陽極側のパルストランスによりガス封入放電管 AD-253 が応動し、X線管に並列のND-452を応動させ蓄電器の残留電荷を抵抗を通じ大地に瞬時に放電を行う。

結 果

本方式は筆者が行ったフォトタイマー連動X線管繊維条回路開路方式のごとき残熱による放電を伴わず、鋭切断で放電管起動後蓄電器の放電の時間的遅れは撮影時間に比べて無視し得る程度である。

X線管繊維条回路開路方式と異なり鋭切断であるから間接撮影時に黒化度の均一性が得られると考えたが、同一被写体を電圧を上昇させると、次第に黒化度を増大する傾向を示した。Fig. 9はその傾向を示すものである。当時は高感度の蛍光板を使用し、その残光性によるものと考えて、被写体に応じて電圧を大別してその補正に努め実用に供した。

波尾切断によるX線管負荷の軽減から、 $2.5 \times 2.5 \text{ mm}$

条件 Fig. 9.

X線管 医理研 SDN-6-C $2.5 \times 2.5 \text{ mm}^2$
 蓄電器容量 $2 \mu\text{F}$
 放電電流 60kV 100mA_p
 蛍光板 東芝 S.B
 焦点蛍光板距離 $\cdot 100 \text{ cm}$
 フィルム フジ No.-067-D 6×6 判
 現像 19°C 5.5min
 濃度計 山部式
 カブリ 0.25
 被写体 胸厚 18cm
 A 全放電式
 B 波尾切断式

固定焦点X線管で 65~55kV, $2\mu\text{F}$, 100mA, 0.08sec の瞬間撮影を行い得た。

Fig. 10 は波尾切断を行わずに両励起ガス封入高压放電管 ND-452 を以て純粹の高压印加方式として使用した場合の蓄電器の放電電流電磁オシログラムである。波尾の降下は電圧の低下に伴い放電管の放電停止によるものであり、ND-452 の放電抵抗は $2\text{k}\Omega$ を使用し、約 10kV 蓄電器に残留した。

Fig. 10. 両励起ガス封入高压放電管方式による放電電流の電磁オシログラム

Fig. 11 は種々の厚さの異なる胸部を撮影する時に放電時間を測定した放電電流の電磁オシログラムである。波尾切断回路の放電抵抗は $2\text{k}\Omega$ である。

Fig. 11. フォトタイマー連動ガス封入高压放電管併用側放電方式の放電電流波形

Fig. 12 (a) は油浸高压発生部を示し、底部で高压蓄電器に接続する。Fig. 12 (b) は物療機を改造した配電盤で

Fig. 12. a 油浸高压部の一部 (この下部で高压蓄電器に接続される)

Fig. 12. b 配電盤

Fig. 12. c 管球容器及び支持器 (床下に高压発生部を収容している)

ある。Fig. 12(c) は1960年東芝製 DRX-81 管球に接続させ、床下に高压発生装置を収容し、撮影室を広く利用したものである。

III. 織条制御方式

A 整流管織条制御方式

(1) 時限器による点滅方式

島津¹⁵⁾ は1941年にタイマーにより任意の時間だけX線管に直列に挿入した整流管の織条を点滅する方式を発表した。

Fig. 13はその主回路である。

Fig. 14は蓄電器の放電電流

Fig. 13. 時限器による整流管織条点滅方式の回路 (島津)

値の低い場合であるが、(i) は制御用整流管 K_3 の電子放射量曲線、(ii) は K_3 のX線放射量、(iii) はX線管のX線放射量を示す。

(2) 予熱併用瞬時上昇織条回路開路方式

東大放射線科⁷⁾ では1951年に本方式を発表した。これはX線管に直列に制御用整流管を挿入しこれを予熱して置く。次にX線管織条を点火し、後に制御用整流管織条を加熱用蓄電器により織条温度を急峻に上昇させ、整流管の内部抵抗を減じ、X線管に主蓄電器の充電電荷を放電し、制御用整流管の織条加熱回路を開路し、その織条温度を急速に下降させて主放電を停止させる。

B X線管織条制御方式

(1) 点火方式

Lorenz 氏は¹⁶⁾ 1927年に発表したが、わが国では東芝¹⁷⁾、島津¹⁸⁾ 両社が1949年に発表し製品化した。この方式は回

- (イ) 整流管 K_3 の陰極電子放射量曲線
 (ロ) 整流管 K_3 の X 線放射量
 (ハ) X 線管の X 線放射量

Fig. 14. 時限器による整流管織条点火方式における整流管の陰極電子放射量曲線，整流管及び X 線管の X 線放射量(島津)

路的に極めて簡単で実用的であったが，放電開始に可成りの時間的遅れがあった。

(2) 予熱併用点火方式

Niemann 氏は1929年³⁾に点火方式の放電開始の時間的遅れを少なくするために，予熱併用の点火方式を発表した。

筆者は東芝が試みた本方式に着目し，予熱の程度を高め，透視狙撃撮影に応用し1951年に発表した¹⁹⁾。Fig. 15 は筆者の回路である。透視は X 線管織条加熱に必要な放電電流が得られる程度に増大し，充電と併用して行う。透視後の X 線管織条残熱に依り狙撃撮影時は放電開始時間が早く，直流電圧であるために透視用管電流は変圧器方式のものより低い。

Fig. 15. 予熱併用 X 線管織条点火方式による狙撃撮影回路 (古谷)

その後狙撃間接撮影も可能となるように器具を製作し，これを実用化し1952年に発表²⁰⁾した。Fig. 16は東芝製造

視台に取付けたもので，Fig. 17 はその主回路である。

Fig. 16. 予熱併用 X 線管織条点火方式による透視狙撃間接撮影装置(古谷)

Fig. 17. 予熱併用 X 線管織条点火方式による狙撃間接撮影回路(古谷)

(3) 蓄電器による織条瞬時上昇方式

Beese 氏は1938年³⁾に X 線管織条加熱用蓄電器の充電

Fig. 18. 蓄電器による X 線管織条瞬時上昇方式の回路 (東芝)

電荷をX線管繊維条に放電し、繊維条を瞬時に温度上昇させ、それによって高圧放電を行う方式に言及していた。

東芝は1940年²⁰⁾に本方式を発表した。Fig. 18はその主回路で、X線管繊維条加熱用に大容量の蓄電器 $50 \sim 300 \mu\text{F}$ を 500 V 以下に充電し、開閉器により繊維条回路に放電して繊維条を急激に加熱し、主蓄電器の高圧充電電荷を一部X線管を通じて放電を行わせる所謂波尾切断様式にも属するものである。これは繊維条制御方式でありながら放電開始時間及び放電電流の立ち上りが非常に早いものである。

Fig. 19の上図は高圧蓄電器の電圧、中図は高圧蓄電器の放電電流、下図は繊維条電流の時間的変化を電磁オシログラムにより示したものである。

Fig. 19. 電圧電流繊維条電流の時間的変化(東芝)

放電電気量は加熱用蓄電器の容量及び充電電圧により可変であり、放電初期の光頭電流と放電電気量との間にほぼ比例的関係が成立する。

(4) 予熱瞬時上昇点火併用方式

Ulrey氏は1935年²¹⁾に本方式を発表した。Fig. 20はその主回路である。これを簡単に説明すると、最初抵抗 R により低いX線管繊維条加熱電圧を与えておき、撮影時スイッチ K を閉じ、直列のタングステンランプ L の抵抗変化を利用し、過渡的にX線管繊維条加熱電流値を増大し、放電開始時間を短縮させる。Fig. 21はX線管繊維条電流、X線管電圧、X線管放電電流の電磁オシログラムであ

り、放電開始時間が従来の点火方式に比べて短縮されている。

Fig. 20. Ulrey 氏の回路

Fig. 21. Ulrey 氏の回路による放電電圧、電流、X線管繊維条電流のオシログラム

東大放射線科は1951年²²⁾にFig. 22の主回路の本方式を発表している。X線管繊維条は抵抗 R_3 、変圧器 T_2 により予熱して置き、X線管繊維条加熱用蓄電器 C_f を電磁開閉器 $M.S$ によりX線管繊維条回路に放電を行う。また同時

Fig. 22. X線管繊維条予熱瞬時上昇
点火併用方式の回路(東大放射線科)

に抵抗 R_3 を短絡し、引続き繊維加熱を増大し、高圧蓄電器の充電電荷を X 線管を通じ放電を行う。この方式は繊維点火方式の放電開始の遅れの大であることを改善し、東芝が前に行った蓄電器による X 線管繊維瞬時上昇方式と異って、全電荷放電様式のものである。

Fig. 23. X 線管繊維予熱瞬時上昇
点火併用方式の回路(東芝)

Fig. 24. X 線管繊維予熱瞬時上昇
点火併用方式の回路(東芝)

東芝は1951年²³⁾に Fig. 23 の主回路の本方式を発表している。X 線管繊維変圧器 1 次側において抵抗 R_a により低い電圧を与え、X 線管繊維を予熱して置く。次にスイッチ S を閉じて変圧器 T に電圧を印加すれば、整流管 K_1, K_2 を通じ蓄電器 C を充電し、その電流値の過渡的变化は変圧器 T 、繊維加熱変圧器 T_f において行われ、X 線管繊維を急激に加熱し、主蓄電器の充電電荷を X 線管に放電する。蓄電器 C が充電と共に次第に変圧器 T 繊維加熱変圧器 T_f の電流値は低下し、X 線管繊維加熱電圧は下降して予熱状態となり、X 線の放射は自然的に停止する。X 線管繊維加熱電流継続時間は蓄電器 C と並列に挿入される抵抗

R の加減で行われる。この方式は従来の X 線管繊維点火方式の放電開始時間の遅れを短縮し、点火時間を自動的に制御することが出来る。Fig. 24 は整流管の代りに、サイラトロンを使用した回路で同一目的に使用される。

(5) X 線管繊維点滅方式

島津の特許²³⁾にタイマー法による X 線管繊維点滅方式が発表されている。この方式により一定時間 X 線管繊維を点滅し、波尾切断を試みる場合、未使用の冷却時と使用後の残熱時では放電開始時間及び放電電氣量に差異を生ずるから、使用目的により困ることもと考え、筆者は1951年²⁴⁾放電電氣量による X 線管繊維点滅方式を発表した。

(a) 放電電氣量 (mA. sec) による X 線管繊維点滅方式

目 的

X 線管繊維を点滅することにより放電開閉を計るもので、放電電氣量により自動的に制御し波尾切断を計る。

方 法

Fig. 25 はその主回路で X 線管繊維加熱変圧器 1 次側スイッチ S を閉じると、X 線管繊維は加熱され、主蓄電器 C_1, C_2 の充電電荷は X 線管を通じて放電を開始する。その場合蓄電器 C_1 の接地側の抵抗 R に電圧を誘起し、整流管 K を通じ蓄電器 C の充電する。蓄電器 C の充電電圧が放電管 V_1 の放電開始電圧に達すると抵抗 R_1 を通じて放電を起し、信号をサイラトロンのグリッドに送り、サイラトロン V_2 は応動し、その陽極開路のリレーによりより X 線管繊維加熱変圧器 1 次側 S_1 を開路し放電を阻止する。

結 果

Fig. 26 は東芝製回転陽極 X 線管 SP-RA を使用し蓄電器容量 $1\mu F$ 、充電電圧 $65kV$ 、繊維電流 $6A$ (ただし飽和

Fig. 25. 放電電氣量 (mA sec 法) による X 線管繊維点滅方式の回路(古谷)

Fig. 26. 放電電量によるX線管繊条点滅方式とX線管繊条点火方式の管電圧電流電力の比較(古谷)

東芝製回転陽極X線管 SP-RA 使用時
充電電圧 65kV 蓄電器容量 1 μ F
放電電量によるX線管繊条点滅方式
X線管繊条点火方式

——— 電圧
- - - - - 電力
..... 電流
——— 電圧
- - - - - 電力
..... 電流

Fig. 27. 放電電量によるX線管繊条点滅方式の電磁オッシログラム(古谷)

条件 { X線管 日本電気製 SDW-10
蓄電器容量 1 μ F
充電電圧 65kV
繊条電流 6A (但し飽和後の電流値)
最大放電電流 565mA_p

後の電流値)で従来のX線管繊条点火方式および本方式の放電電流の電磁オッシログラムにより放電電流、電圧、管電力、時間等の変化を作図したものである。

これによれば電圧 50kV まで放電する放電電流、電圧、管電力、時間等は共に等しい。また胸部直接撮影において充電電圧 65kV、蓄電器容量 1 μ F で適当の黒化度を得る被写体の肺野の最大不感電圧は 47kV であった。従って最大不感電圧により管電力、放電時間の数値は異なるが、本法は従来のX線管繊条点火方式に比べて放電電流、管電力の数値は低く、X線管繊条は従来の方式より低温度であることが放電電圧、電流から容易に解り、鋭切断でないが自動的に波尾を切断する。

本方式において被写体に対し過電圧に充電し放電電量が少ない場合は、繊条の残熱による残熱放電もフィルムの有効電圧内に含まれ撮影時間が長くなる欠点がある。

Fig. 27 は日本電気製 SDW-10 を使用し、蓄電器容量 1 μ F、充電電圧 65kV、繊条電流 6A (ただし飽和後の電流) で本方式により放電制御を行った時の電磁オッシログラムであり、定電圧放電管、サイラトロン、X線管等の電流及び時間関係を示す。これによればリレーの時間的遅れは放電時間に比べ極めて小である。

(b) フォトタイマーによるX線管繊条点滅方式

これは東芝が1954年²⁵⁾に発表した方式であり、X線管繊条点火方式により放電を開始し、被写体を透過し、暗函内の蛍光板を発光させ、ある光量に達した場合にてフォトタイマーを応動させ、X線管繊条回路を開路する。また同時に電磁シャッターにより暗函内において蛍光板の光を遮断する方式で、点滅方式により間接撮影を行う場合に残熱放電によって不必要な写真黒化を防止する。

(c) 電圧によるX線管繊条点滅方式

大阪X社は1953年²⁶⁾に次の電圧による応動方式を発表した。即ち高圧側に高抵抗を入れ、高圧を分圧し、3極管、サイラトロンのグリッドに接続して任意の電圧に達した場合にこれを応動させ、充電中止とX線管繊条点火をリレーにより行いX線を放射する。ある電圧に下隆した場合に、自動的にX線管繊条加熱回路を開路し放電を阻止する。

他に定電圧放電管を使用して任意の電圧に達した場合に、X線管繊条を点火し放電を行い、高圧蓄電器の接地側にリレーを挿入し、放電によりこれを応動させ、X線管繊条加熱回路を開路し放電を阻止する。

以上点滅方式はX線管繊条を点滅することにより放電開閉を行う簡単な制御方式であり、従来のX線管繊条点火方式に比べて波尾切断によりX線管負荷の軽減、繊条

温度の低減よりX線管の寿命を長くし、被爆線量の軽減もはかることができ、間接撮影及び重複撮影時に蓄電器の残留電荷により充電時間も早く、電力的に優れている。

IV. 高圧印加繊維制御併用方式

高圧印加方式と繊維制御方式は種々の組合せにより非常に多くの方式が考えられるが、実用化されたものは6種であり、その内4種は電磁型放電開閉器を使用したものである。

(1) X線管予熱点火併用方式

これは東芝が1950年²⁷⁾に発表したもので、Fig. 28はその主回路である。最初抵抗 R_1 によりX線管繊維加熱変圧器に低い電圧を与へX線管繊維を予熱しておき、撮影時電磁高圧放電開閉器を動作させ、それと連動的に抵抗 R_1 より低い数値の抵抗 R_2 によりX線管繊維加熱変圧器に予熱電圧より高い繊維加熱電圧を与え、高圧蓄電器 C の充電電荷をX線管を通じ放電させる全電荷放電様式の

Fig. 28. 高圧印加X線管繊維予熱点火併用方式の回路 (東芝)

Fig. 29. 高圧印加X線管繊維予熱点火併用方式による放電電流の電磁オシログラム (古谷)

Fig. 30. 高圧印加X線管繊維予熱点火併用方式における電圧電流管電力 (古谷)

ものである。

Fig. 29は筆者が東芝製回転陽極X線管 SP-RA を使用し追試を行った時の蓄電器の放電電流の電磁オシログラムである。本方式は繊維点火方式の放電開電の時間的遅れをなくし、高圧放電開閉器閉路後の初期放電電流は純粋の高圧印加方式より低い。従って放電時の瞬間の管電力は小であり、次第に管電流を増大して最高値に達し、以後減衰する。Fig. 30はFig. 29の放電電流電磁オシログラムより作図したX線管電圧、電流、管電力である。本方式では予熱の選び方により放電初期を、ほぼ平坦な管電力とすることも可能である。

Fig. 31は大坂レントゲン社²⁸⁾が発表した高圧印加方式の主回路であるが抵抗 R_1 , R_2 スイッチの関係から当然本方式に属すべきものと考えられる。

Fig. 31. 大阪X社の回路

(2) 高圧印加瞬時X線管繊維制御回路開路方式

これは筆者が1950年²⁹⁾に特殊放電制御による蓄電器放電式と称し、発表したものである。

目的

波尾切断方式によりX線管入力を減少し瞬間撮影を行

う。

方 法

高圧放電時に高圧放電用電磁開閉器を応動させること、とそれと連動的にX線管繊維条加熱回路1次側を開路させることによりある制約された熱電子をもって高圧放電を制御する。

この原理の応用例としては種々考えられるが、従来の高圧放電用開閉器の高圧接点を取付けた絶縁板に補助接点を付け、高圧回路が閉路される時に補助接点回路は開路されるようにし、補助接点回路はX線管繊維条加熱回路に使用した。

Fig. 32は本方式の主回路、Fig. 33は改造後の高圧放電開閉器の回路図である。

Fig. 32. 高圧印加瞬時X線管繊維条回路開路方式の回路 (古谷)

Fig. 33. 電磁高圧放電開閉器の改造回路(古谷)

特 性

放電直前にX線管繊維条を加熱して置き、高圧放電用電磁開閉器を応動させると、繊維条回路は開路され、高温度に保たれたタングステン繊維条は自然冷却により下降し、

従って高圧蓄電器の放電電流は漸減する。

X線管は日本電気製 SDW-10(ただし焦点は $6 \times 6\text{mm}^2$ に近い大きさ) を使用し実験を行い、多数の放電電流の電磁オシログラムにより次の数式を得た。(Fig. 34 参照)

$$mA = mA_p e^{-at}$$

ただし mA …放電開始後 t 秒におけるミリアンペア

mA_p …放電開始時の最大先頭ミリアンペア

e …自然対数の底

a …常数これは管球によって異なるがこの場合 31.55 である。

高圧放電電流特性曲線

Fig. 34. 高圧放電電流特性曲線

Fig. 35. X線管放電電流特性

今全放電電荷 Q は t について積分すれば求められる。

$$Q = \int_0^{\infty} mA dt = mA \int_0^{\infty} e^{-at} dt = \frac{mA}{a} (e^{-at} - 1)$$

$t = \infty$ とすれば

$$Q = \frac{-mA}{a}$$

$mA \cdot sec = \frac{mA}{31.55}$ なる近似的式が得られる。

また電磁オシログラムにより次の特性が判明した。

(1) 同一蓄電器容量、充電電圧の場合の放電先頭電流は放電電流の対数 $\log I_p$ と繊維加熱電流の逆自乗 $1/I_p^2$ との間に 700mA までにおいて直線関係が成立し (Fig. 35 参照) 永見曲線と一致する。

(2) 同一繊維加熱の場合蓄電器容量が変化しても放電電流曲線の性質は同じであり、最大放電電流は等しい。ただし繊維加熱は交流でその位相により若干の差を生ずる)

(3) 同一蓄電器容量及び繊維加熱電流の場合放電先頭電流は充電電圧の上昇と共に増大するが放電電流特性は同一である。(Fig. 36 参照)

Fig. 36. 陰極繊維電流の変化に対する放電電流電磁オシログラム

蓄電器容量 1.5 μ F

充電電圧 60kV N.E.C. SDW-10K

結果

本法は充電電荷の一部を瞬間的にX線管を通じて放電させ撮影を完了し、写真効果の少ない電荷を蓄電器に残

留させ、X線管入力と小し、X線管焦点の損耗を防ぎ、蓄電器の残留電荷は次回撮影に役立ち充電時間を短縮した。

Fig. 37は本法及び従来法によりAl階段を直接撮影し、黒化度を測定したものである。これによりA及びC曲線を比較すると、被写体Al板の薄いほど黒化度差を生ずるが、胸部写真に利用される黒化度の範囲では大差無く実用的である。A曲線は60kVに充電した電荷をを全放電し、従って放電電流量は60mA $\cdot$ secであり、X線管入力1.8kW $\cdot$ secである。C曲線の本法では19.33mA $\cdot$ secの電荷を放電すると、46.23kVに電圧は下降し、X線管入力は0.76kW $\cdot$ secである。負荷時の焦点輝度を反射鏡により観察してもC曲線時は赤熱する程度である。

蓄電器容量: 1 μ F

X線管:

N.E.C. SDW-10kW

X線管フィルム間距離: 2m

増感紙:

マツダ スピード

フィルム:

フジ 1465-512-A

現像液: 指定

温度: 20 $^{\circ}$ C

時間: 5 min

濃度計: 山部式

自然カブリ: 0.2

放電抵抗: 200 Ω

Fig. 37. 直接撮影フィルムの黒化度曲線
条 件

A	60kV	全放電従来法	400mA peak (60mA sec)
B	60kV	本 法	738mA peak (23.39mA sec)
C	61kV	"	610mA peak (19.33mA sec)
D	60kV	"	453mA peak (14.36mA sec)
E	43kV	全放電従来法	全放電従来法
F	40kV	"	"
G	38.5kV	"	"

Fig. 38は間接撮影による黒化度曲線である。

本法により当工場全従業員間接撮影に使用したが、X線管は安全であり、また異状放電は起きなかった。胃重

Fig. 38. 間接撮影フィルムの黒化度曲線 (古谷)

螢光板: マツダ SB (但し 8 年経過し感度低下)

X 線 管: N.E.C. SDW-10

レ ン ズ: ゴナー F1.5

X線管螢光板距離: 80cm 蓄電器容量: 1 μ F

フィルム: サクラ J-135 現 像 液: 指定

温 度: 20°C 現 像 時 間: 6 min

自然カブリ: 0.12 濃 度 計: 山部式

放 電 抵 抗: 200 Ω

螢光板銅板間に 0.5mm Al を付加した

複撮影を蓄放装置で行う場合、従来法では充電時間が長く、またX線管入力が大であったが、本法により非常に簡単に行うことが出来て診断応用の分野を拡大した。

(3) タイマーによる高圧印加X線管繊維回路開路方式

これは筆者が1950年³⁰⁾に発表した方法で、放電初期電流を小とする場合、撮影に不必要な充電電荷を蓄電器に残留するため、X線管繊維を点火して置き、高圧放電電磁開閉器を応動させ、また同時にタイマーを駆動し任意の時間遅れでX線管繊維加熱変圧器1次側回路を開路さ

Fig. 39 a. 高圧印加方式の放電電流電磁オシログラム

75kV 1.5 μ F N.E.C-SDW-10(但し焦点 6 $\times$ 6mm²に近い)

繊維電流 4.27 A 横線 300mA 小目盛 1/100sec

Fig. 39 b. タイマーによる高圧印加X線管繊維回路開路方式の放電電流電磁オシログラム

せ、放電を阻止する方法である。

Fig. 39の上は従来の放電方式すなわち高圧印加方式の蓄電器の放電電流オシログラムであり、Fig. 39の下は本法によるものである。本方式は先頭電流の小さい場合に有効であり、外科的撮影に小焦点X線管を起用して波尾切断を行うのに便利である。

(4) フォトタイマーによるX線管繊維回路開路方式

前記の方式の応用方式であり筆者は1953年³¹⁾に発表した。

これは純粹の高圧印加方式を使用し、電磁高圧放電開閉器を応動させ、X線を放射させる。X線により被写体を透過し、暗函内の螢光板を発光させこれを2次電子増倍光電管 MS-6S で受光し、ある光量に達した場合にフォトタイマーのサイラトロンを応動させ、その陽極回路のリレーをよりX線管繊維加熱変圧器1次側回路を開路し、高圧放電を阻止する方式である。

フォト・タイマーは東芝製を使用した但し当時変圧器方式のX線装置に利用され、蓄放装置には利用出来ぬものとされていたが、筆者は上記の方式を考案し、始めて蓄放装置に使用することが出来た。この方式はフォトタイマー応動後繊維回路が開路され、繊維の残熱による放電が伴うため、不必要なその放電電荷によりフィルム濃度を若干増加する欠点があった。X線管負荷を軽減し、従って患者の被爆線量を軽減し、蓄電器の残留電荷は次回撮影の充電時間を短縮し、電力の節減を計った。

本法により充電電圧一定で厚さの種々異なる被写体を撮影する場合、黒化度の不均一が目立つのでFig. 40のごとく胸厚 25cm より 23cm までは 64kV、22cm より 20cm までを 61kV というように大別した充電電圧を以て行う方式の採用し、成績が向上したが、フィルムの不均一性については残熱放電によるものと考え、鋭切断の放電制御方式が望ましいと当時は考えた。

Fig. 43 は Morrison 氏の回路であり、スイッチ S を 1 に回し、高圧蓄電器を充電し、かつ高圧 3 極管のグリッドは負電位に保たれ、X 線管は放電を行うことが出来ない。スイッチを 3 に回すとリレーにより高圧 3 極管のグリッドは正電位となり、X 線管は放電を行う。

(2) 高周波制御方式

シーメンス社の Bischoff Niemann 両氏は 1934 年³⁴⁾に高周波発振器により高圧 3 極管のグリッド電位を制御し高圧開閉を行った。

Fig. 44 はその主回路で蓄電器 C_1 , C_2 , C_3 を充電し、3 極管のグリッドを陰極に対し負に保ち X 線管の放電を阻止し、後に 3 極管のグリッドを正に逆転すれば放電を開始し、蓄電器 C_1 , C_2 及び C_3 の電圧が下降し、 C_3 の電圧がある値に下降した時、高周波発振器により 3 極管のグリッドを負にし放電を中断させる。

Fig. 44. Bischoff, Niemann 両氏の回路

(3) 定電圧放電制御方式

シーメンス社の Silbermann 氏³⁵⁾、ミュラー社の Lunthe

氏³⁶⁾は 1938 年に高圧 3 極管を蓄電器。X 線管と直列に結び、電子スイッチの役目の他に、グリッド電位による 3 極管の内部抵抗を自動的に変化し、任意の定電圧で放電を行い、線質並びに線量を選定出来る理想的な方式を発表した。Fig. 45 は Lunthe 氏の制御回路、Fig. 46 はその放電電圧、電流の電磁オシログラムである。

(4) 矩形波衝撃電圧制御方式

医理研は 1952 年³⁷⁾にわが国で始めて 3 極管による放電制御法を発表した。これは X 線管、3 極管、蓄電器を直列に結び、3 極管のグリッドには負電圧をあたえて置き、放電時は X 線管繊維条を点火し、次に正の矩形衝撃電圧を

Fig. 46. Hunthe 氏の回路による放電電圧、電流、オシログラム

放電管により印加し、高圧蓄電器の充電電荷を X 線管に放電し、中断は負電圧をあたえる方式である。

(5) 蓄電器接地側挿入 3 極管制御方式

島津は 1954 年³⁸⁾に Fig. 47 の主回路の方式を発表した。中性点接地式蓄放装置の蓄電器接地側に図示のごとく

Fig. 47. 蓄電器接地側挿入 3 極管制御方式の回路 (島津)

Fig. 48. 電子管動作回路 (島津)

極性を逆に整流管。3 極管を挿入し、3 極管のグリッド入力側に挿入した高圧電圧計用高抵抗の低圧部に連動的に接続したものである。整流管 V_2 は充電時にまた 3 極管 V_5 は放電時に使用され、 A は 3 極管 V_5 のグリッド入力側と高圧側高抵抗の低圧部 R_3 との間に挿入されたグリッド制御装置で、Fig. 48 に示す電子管動作回路である。

開閉器 S_2 を閉路すると電子管 V_7 , V_{10} , V_6 を介し、3 極管 V_5 に加えられていた負電圧は除かれて導通状態になるので、蓄電器 C_1 , C_2 の高圧充電電荷は X 線管を通じ放電を開始し、放電により蓄電器電圧は下降し P 点の電圧も下降し、ある電圧に達する場合電子管 V_{11} , V_8 , V_9 , V_{10} , V_6 を介し 3 極管 V_5 のグリッドは負電圧が加えられ放電は中断される。

本方式は低圧側で制御を行うことが出来、かつ 3 極管のグリッド回路の対大地容量を小さく出来る利点がある。

(6) 低周波制御方式

東芝は1955³⁹⁾ 40) 41) 年にデカトロンタイマー、イオンタイマーを使用し、1,000 サイクルの低周波を送り 3 極管のグリッドに正の電圧をあたえる制御方式を発表し、1956年に製品化した。

(7) サイラトロン制御方式

島津は1956年⁴²⁾ Fig. 49 の回路の方式を考案している。 R_1 , C_2 により平滑化された直流がサイラトロン V_3 を通じて放電し、それにより R_2 の両端に電圧降下を生じ、

その電圧が高圧 3 極管 V_1 のグリッドにかかり、 V_1 非導通状態に保っている。次に X 線を放射する時はパルス発生用変圧器 T_3 に信号を送るとサイラトロン V_4 が放電する。この V_4 の放電により V_4 の放電回路に挿入された抵抗 R_3 に電圧がかかり、それまでに充電されていた蓄電器 C_3 の電圧分だけサイラトロン V_3 の陽極電圧を負にする。この電圧は R_2 , R_3 , C_3 より成る時定数に従って減少するが、サイラトロン V_3 の陽極電圧がその陰極より負である時間内にサイラトロン内部のイオンが

Fig. 49. サイラトロンによる 3 極管制御方式の回路 (津島)

消滅すれば外部より再び信号が来るまでは放電しない。従って R_2 における電圧降下がなくなって V_1 のグリッド電位が陰極と同電位になると V_1 は導通状態となって X 線管より X 線を放射する。次に V_3 のグリッドにパルス信号が来ると V_3 が再び放電し、 V_1 のグリッド電位を深く負に変化させ V_1 を非導通状態とし、X 線管の放電を中断する。

VI. 3 極 X 線管制御方式

Bouwers 氏は1935年³⁾に 3 極 X 線管のグリッド電位を充電時は負電位に保ち、放電時は正電位にすることにより放電制御を行うことを報告している。

Graf 氏は1937年⁴³⁾に定電圧発生装置に 3 極 X 線管を用いて同期放射を行い X 線シネマを行っている。

わが国では東芝が1939年⁴⁴⁾、渋谷レントゲン社⁴⁵⁾及び日本電気社⁴⁶⁾が1941年に 3 極 X 線管について発表した。しかし蓄放装置の組合わせが外国の研究から当然考えられることであるが、残念ながら戦争の拡大から特別の進展もなかった様であった。

1955年に至り大阪 X 社、神戸工業社⁴⁷⁾により 3 極 X 線管制御方式がわが国で始めて報告された。Fig. 50 はその主回路、Fig. 51 は 3 極 X 線管の I_p-E_g 特性である。その後グリッド電圧が零電圧で最大電流を流し得る 3 極 X 線管、3 極回転陽極 X 線管が各社により製作され、制御方式⁴⁸⁾ 49) 40) 41) も非常に数多く発表され各社の機関誌に掲載されているので、重複を避け筆者が考案した方式について記載する。

(1) リレー制御方式

筆者は1955年⁵⁰⁾に可変焦点 X 線管東芝製 #5092 が集束電極 (キャップ) に負電圧 7,000 V を与えると、使用電圧 70~80kV において X 線管の通電停止を認めたので、

Fig. 50. 三極 X 線管制御回路図 (大阪 X 社神戸工業社)

Fig. 51. 三極X線管, X T-MRX-6
 I_p - E_g 特性 1.0蓄電器式

3 極X線管の入手困難のためこれを使用した蓄放装置を組立て、東芝製フォトタイマー連動で間接撮影に使用し、1956年⁵¹⁾これを発表した。

目 的

フォトタイマー連動により波尾切断を行ないX線管負荷、被曝線量等を軽減し、撮影後の電荷を蓄電器に残留する簡単な制御方式。

方 法

Fig. 52 はその主回路で蓄電器容量 $2\mu\text{F}$ 、最高電圧 85 kV、陰極接地式の気中型のものである。可変焦点X線管は東芝製 #5029 で焦点は $4\times 4\text{mm}^2$ 織条とキャップ間の絶縁は特別に高電圧に耐えるように製作したものを使用し、管外の引出線間の絶縁は変圧油を満して安全を計った。グリッド電圧は負 7,000 V で絶縁上大型電磁開閉器を改造し、励磁電流が大きいので小型リレーの補助接点回路を通り、フォトタイマーにより応動させ。

撮影前は接点 H , H' を通じキャップは負 7,000 V が印加されて放電は行わず、放電時はフォトタイマーのスイッチを押せばリレー $R_Y 2$, $R_Y 3$, $R_Y 5$ が応動し接点 H , H' を開路し、キャップは陰極と同電位となって放電を

Fig. 52. リレー方式による3極X線管
制御方式の回路(古谷)

開始し、一定光量に達したサイラトロンを応動し、リレー $R_Y 4$ により $R_Y 5$ 回路を開路し、接点 H , H' を閉路し、再びキャップに負 7,000 V を印加し放電を中止させる。

結 果

可変焦点X線管 #5029 でもそのキャップ負電圧の開閉により簡単に放電制御が可能となった。絶縁上大型電磁開閉器を使用し時間遅れが大きく、約 0.056 秒であるので、早い放電にはフィルム黒化度差が大きく、面白くなかった。Fig. 53被写体変化特性で間接撮影時被写体により充電電圧を変化する必要を認めこれを実用に供した。

Fig. 53. 被写体, 電圧変化特性

条 件

蓄電器容量 $2\mu\text{F}$
放電電流 85kV, 80mA 75kV 75mA
開閉器の遅れ 2ヶ約 0.056sec
螢光板 東芝 D.P.D
フィルム さくら Y
カメラ, レンズ キヤノン セレナー F1.5
現 像 指定液 20°C 5.5min
焦点螢光板距離 100cm
リスフォルムブレンダー シーメンス社製
X 線 管 東芝 #5029
濃 度 計 山部式
カ ブ リ 0.3

(2) 可変焦点リレー制御方式

1956年東芝製3極X線管 #5046F, #5076 を入手したので時間遅れの少ないリレー方式に改造し実用に供し、1957年⁵²⁾これを発表した。

目 的

リレー方式(1)と同一であるが、焦点を可変とすることを加えた。

方 法

Fig. 54はその主回路で撮影前は常時3極X線管のグリッドに負 1,800 V が印加されており、撮影時フォトタイマーを使用しリレー $R_Y 1$, $R_Y 2$ により3極X線管のグリッド電圧を零電圧としX線放射を行わせる。この場合可変抵抗 VR によりグリッドの負電圧を可変にするこ

Fig. 54. 可変焦点, リレー方式による
3 極 X 線管制御回路 (古谷)

とによって焦点の大きさを任意に選定することが出来る。

放電中止時はフォトタイマーによりリレー $R_F 3$ を応動させ再び負 1,800V をグリッドに印加し, また同時に X 線管繊維回路を開路し繊維条点火時間の短縮を計った。使用リレーは小型気中型で絶縁板表面にシリコンを使用した。

特 性

Fig. 55は東芝製 3極 X 線管 #5046F の管電圧とグリッド電圧の変化による X 線管焦点のピンホール写真である。これは 10kV 放電を反復し撮影したものである。

Fig. 56はこれの写真により求めた管電圧, グリッド電圧変化による X 線管焦点の幅及び長さの図表である。

Fig. 57は管電圧グリッド電圧, 放電先頭電流の関係曲線である。

Fig. 58は蓄電器の放電電流と, 螢光板の光を 2 次電子増倍光電管 MS-9S で受光した光電流の 2 現象ブラウン管オシシログラムである。これによると 3 極 X 線管・グリッドの対大地容量が小であるため放電電流波形は鋭く光電流は螢光板の残光により減衰曲

Fig. 55. 3 極 X 線管 (東芝製
#5046F) のピンホール写真 (古谷)

Fig. 56. 3 極 X 線管東芝製 #5046F の管電圧, グリッド電圧の変化に対する焦点幅, 長さの変化

Fig. 57. 管電圧グリッド電圧管電流の関係曲線 (古谷)
東芝製 3 極 X 線管 #5046F Cut off 特性 95kV $-E_g$ 1,800V

Fig. 58. 放電電流及び螢光板輝度による 2 次電子増倍光電管電流のブラウン管オシシログラム

条件	
螢光板	オデルカ カメラ
	付属のもの
放電制御法	リレー方式
電 圧	75kV
蓄電器容量	1μF
3 極 X 線管	東芝製 #5046F
放 電 電 波	150mAp

Fig. 59. 全放電と波尾切断の黒化度曲線

A. 全 放 電	71kV	管入力 2.52kWsec
B. " "	66kV	" 2.18kWsec
C. " "	63kV	" 1.98kWsec
D. 波尾切断 充電	75kV	残留 62.5kV 管入力 0.86kWsec
E. " "	75kV	" 70.0kV " 0.36kWsec
F. " "	75kV	" 72.0kV " 0.27kWsec

Fig. 60. 3 極 X 線管東芝 #5046F の各充電電圧に対する暗X線 (DarkX-Ray) 線量

東芝サーベーター MI-101B2
 レンズ 20mr/h
 測定器 X 線管焦点距離 30cm
 フィルター 1mmAl
 グリッド電圧 -1,700V

線を示していることが判る。

Fig. 59は 3 極 X 線管 #5076 (焦点 $2 \times 2\text{mm}^2$) を使用した時の全放電と波尾切断の黒化度曲線で、例えば A 及び D 曲線を比較すると黒化度 1.1 以下は同一黒化度で、A

の管入力 は 2.52kW. sec, D の管入力 は 0.86kW. sec である。

Fig. 60 は 3 極 X 線管 #5046F の管電圧に対する暗 X 線 (Dark X-Ray) 線量の時間的変化を測定したものである。

Table 2 は各種 X 線管の暗 X 線量を 75 kV において時間的経過と共に測定したものである。

結 果

3 極 X 線管 #5046F の焦点 $5 \times 5\text{mm}^2$ を放電時バイアス法により焦点幅を任意の大きさに使用することが出来た。

全電荷放電方式に比べ管入力 は小であり、被写体の薄い部位の対照度は低下するが厚い部位は同一とすることが出来る。

X 線管により暗 X 線線量の放射を認めた。その場合良質管は時間の経過と共に減少の傾向を示した。

リレーの時間的遅れは約 0.006sec であり、間接撮影のごとき放電時間の長い場合は実用上問題は無いと考えられる。

(併し回転陽極管あるいは高電圧撮影時は不利と考える。)

同一充電電圧で種々の厚さの被写体を撮影する場合被写体の薄いものほど若干黒化度の増大を認めたが (Fig.

Fig. 61. 被写体 (Al) 変化特性

条 件

蓄電器容量 1 μ F
 充電電圧 75kV
 放電電流 120mA_p
 リレーの遅れ 約0.006sec
 焦点蛍光板距離 80cm
 螢光板 東芝 D.P.D.
 X 線管 東芝 #5046F
 フィルム さくら Y
 カメラ、レンズ キヤノン セレナー F1.5
 現像液 指定液 20°C 6min
 濃度計 山部式
 カブリ 0.3

Table 2. 各種X線管の蓄放装置における暗X線線量の時間的変化
東芝サーベータータイプ MI-101B2型 No.-215 20mr/hレンヂ使用
測定器X線管焦点距離 30cm フィルター 1mmAl

管種	耐圧 kVp	充電 電圧 kV	蓄電 容量 μF	グリ電 圧 V	時 間												(分)																		
					1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	
三極管	#5076	150	75	1	-1700	0.3	0.3	0.2	0.2	0.2	0.1	0.1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
						0.4	0.4	0.3	0.2	0.2	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
						0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
						0.2	0.2	0.2	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
二極管	#5046F	100	75	1	-1700	0.3	0.3	0.2	0.2	0.2	0.1	0.1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
						0.4	0.4	0.3	0.2	0.2	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
						0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
						0.2	0.2	0.2	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
二極管	#5025,1561, 4×4mm (バイアス用) 同 上 2×2mm SDWR-6 6358 #5029,2142, 4×4mm (バイアス用)	150	75	1		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
						0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
						0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
						0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.15	0.15	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1
二極管	#5025D, 2227 (二重焦点)	150	75	1		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
						0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
						0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
						0.4	0.4	0.3	0.3	0.2	0.2	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1
二極管	SDWR-10K 5029-1432	95	75	1		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
						0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
						0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
						0.4	0.4	0.3	0.3	0.2	0.2	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1

61 参照), リレー方式(1)に比べて差が小である。

工場全従業員及び家族検診に利用したが放電制御の異状を認めず非常に安定した制御法と考えられた。

暗 X 線線量測定は1959年及び1960年に行ったもので、またオデルカ、カメラは1959年に新設し、黒化度測定結果は1960年のものである。

Fig. 62 は 3 極 X 線管 #5046 F に回転式防 X 線函プロテックスを使用し、後方の箱は鉛板 3mm を張った高压部である。Fig. 63 は予算難から家族検診用に組立てた不要品利用のバラック・セットで、鉛箱 3mm 内に 3 極 X 線管を取付け、箱内に冷却用にファンモーターを使用している。

オデルカ、カメラには 3 極 X 線管 #5076 焦点 $2 \times 2 \text{mm}^2$ を使用した。

Fig. 62. プロテックスに組合わせた自製 3 極 X 線管制御蓄放装置 (古谷)

Fig. 63. 自製可搬式 3 極 X 線管制御蓄放装置 (古谷)

(3) 自動輝度調整光電管制御方式

光による矩形波の放電波形をえる方式は島津により

Fig. 64. 光電管による 3 極 X 線管制御方式の回路 (島津)

X : 3 極 X 線管 B+, B- : 直流電源電圧端子
V₁ : 3 極管 L : ネオンランプ
V₂ : 光電管 (A) : 信号入力端子
R₁, R₂ : 制御抵抗

1958⁵³⁾年発表され、実用化されている。Fig. 64はその主回路である。これはネオン管 L が点灯した時間だけ 3 極 X 線管のグリッド電圧は陰極電圧と同電位となり、X 線を放射する方式で制御が極めて簡単である。

筆者は1960年に光電的制御方式の 1 変法である自動輝度調整光電管制御方式を考案し実用化した。

目 的

光による時間的遅れを伴もなわぬ純電子的な回路を考案し、フォトタイマ連動で常に均一性に富んだ写真を瞬間的に撮影する波尾切断方式。

Fig. 65. フォトタイマー回路

方 法

東芝製旧型フォトタイマーを Fig. 65 のごとく結線変更を行い、3 極 X 線管 #5046 F を使用した陰極接地式蓄放装置を組立てた。Fig. 66 はその制御回路である。

点線で囲んだ部分を間接撮影用暗函とすれば、X 線管側の蛍光板 S の光の一部すなわち両鎖骨下の両上中肺野の一部のみを正確にフォトタイマー用 2 次電子増倍光電

管 MS-9S (これは図面に記入していないが), および制御用 2 次電子増倍光電管 MS-9S に入射するようにする。フोटタイマー用ネオンランプ N の光は制御用 2 次電子増倍光電管 V_3 にのみ入射するようにして置く。 V_1 , V_2 は増幅管で B_1+B_1- は光電管用直流電圧電源, B_2+B_2- は V_2 増幅管の直流電圧電源, B_3+B_3- は V_1 増幅管の直流電圧電源である。

今フोटタイマーのネオンランプ N を点灯しておく, その光は制御用光電管 V_3 に入射し, 光電流を流し抵抗 R_3 に負電圧を誘起し, 増幅管 V_2 のグリッドにその負電圧を与え増幅管 V_2 の電流を制御し, 増幅管 V_2 の陽極回路の負荷抵抗 R_2 の電圧変化により増幅管 V_1 は通電状態となり, R_1 に電圧変化を与え, 3 極 X 線管のグリッドには負電圧が与えられ, 高圧蓄電器 C の電荷は放電されない。

撮影時はフोटタイマーを動作させネオンランプ N を消灯すれば, 制御用光電管 V_3 の光電流は抵抗 R_3 に流れず増幅管 V_2 のグリッド電位はカソードと同電位となり, 増幅管 V_2 は通電状態となる。抵抗 R_2 により増幅管 V_1 のグリッド電圧は負電圧となり増幅管 V_1 は通電阻止を行い, 3 極 X 線管のグリッドはカソードと同電位となり, 高圧電器 C の充電電荷を 3 極 X 線管を通じて放電し X 線を放射する。

被写体を透過し間接撮影用暗函内の蛍光板 S を発光させ, その光はフोटタイマー用光電管及び制御用光電管に入射する。ある光量に達するとフोटタイマーが応動しネオンランプ N が再び点灯し, 制御用光電管 V_3 に光電流を流し増幅管 V_2 , V_1 により抵抗 R_1 に負電圧を誘起し, 3 極 X 線管のグリッドは負電圧となり放電が中断される。また同時にネオンランプ N より弱い蛍光板 S の光

は制御用光電管 V_3 に入射し, 抵抗 R_3 に負電圧を生じ, 増幅管 V_2 , V_1 により抵抗 R_1 に負電圧を生じ, 3 極 X 線管の放電電流を制御する。すなわち被写体が厚く蛍光板 S の輝度が低い場合は 3 極 X 線管のグリッドの負電圧の絶対値が小となり, 高圧蓄電器の放電電流を増大し輝度を高める。反対に被写体が薄い場合は 3 極 X 線管のグリッド電圧の絶対値は大となり常に輝度が同一になるような放電電流を流し自動的に輝度調整を行う。

放電開閉用ネオンランプ N の光は 3 極 X 線管 #5046F のグリッドに負 1,800V が印加されるようにネオンランプ N の位置及び可変抵抗 R_3 を調整して置く。自動輝度調整制御用 2 次電子増倍光電管 V_3 の光電流は極めて低い数値で使用するようにした。

参考実験

Fig. 66 の回路において制御用 2 次電子増倍光電管 V_3 にネオンランプ N の光だけ入射するようにし, 蛍光板の光を制御用 2 次電子増倍光電管 V_3 に入射しないように受光スリットを黒紙で覆った。フोटタイマー用受光スリットは覆わず, フोटタイマー連動制御法で下記の条件で撮影を行い, 同時に 2 現象ブラウン管オッシロ装置

Fig. 67. 蛍光板輝度測定回路 (古谷)

Table 3. 間接撮影時における厚さの異なる被写体の放電電流放電時間放電電気量蛍光板の輝度及び光量黒化度の測定結果

充電電圧 75kV 一定 3 極 X 線管 #5046F
蓄電気容量 $1\mu\text{F}$ フोटタイマー東芝製旧型
オデルカ, カメラ ゲバルト G ロールフィルム
現像 さくら指定 20°C 6 分

オッシロ グラム 番号	被写体 Almm	放電電流 mA		放電時間 sec	放電電気量 mA sec	輝度		主光量	残光量	全光量	黒化度
		開始時	停止時			開始時	停止時				
No. 1	6	151.5	149.3	0.015	1.95	128.5	125.0	9.52	0.38	9.9	1.22
No. 2	11	151.5	147.0	0.022	2.92	82.0	77.0	9.38	0.32	9.7	1.11
No. 3	16	149.3	141.0	0.042	5.80	47.5	37.5	10.17	0.13	10.3	1.06
No. 4	21	151.5	135.2	0.077	10.66	35.5	17.0	10.64	0.06	10.7	1.02

備考 光量, 輝度は任意スケールで表わした
2 現象ブラウン管オッシロ装置 日本光電製 VC-6

オデルカ.カメラ F0.63 GEVART G ROLLFILM
現像 さくら指定 20°C 5.5min 3極 X 線管 #5046F
被写体 1mm Al 蓄電器容量 1 μ F

自動輝度調整法に依る同一被写体に対する各種充電電圧の黒化度

Table 4

オデルカ.カメラ F0.63 GEVART G ROLLFILM
現像 さくら指定 20°C 5.5min
充電電圧 75kV 蓄電器容量 1 μ F 3極 X 線管 #5046F

自動輝度調整法に依る同一充電電圧に対する被写体変化の黒化度

Table 5

を使用して蓄電器の放電電流波形と蛍光板輝度による測定用光電管の光電流波形を撮影した。Fig. 67は蛍光板輝度測定用光電管回路である。

条 件

蓄電器容量 1 μ F 充電電圧 75kV

Fig. 70. 自動輝度調整制御を行わぬ光電管制御法の 2 現象ブラウン管オシログラム
X 線管 織条加熱変圧器及び蛍光板輝度測定器は鉄共振型スタビライザーを使用した (古谷)

3極 X 線管 #5046F 織条加熱電圧 7.3V

フォトタイマー 東芝製旧型を Fig. 66

のごとく改造して使用した。

オデルカカメラ 70-VII

フィルム Gevalt G Roll

現 像 さくら指定液 20°C 6min

以上の条件で時間的遅れのない光による純電子的の制御方式により被写体として、Al 板厚さ 6mm, 11mm, 16mm, 21mm を撮影した。

Fig. 70はこれらの Al 板の撮影時の放電電流と光電流のブラウン管オシログラムである。

Table. 3はその結果であり、放電電氣量、主光量、残光量、全光量はプランメーターにより測定し、光量、輝度は任意スケールで表わした。

測定結果によれば被写体 Al が薄い場合はフォトタイマーを応動させるに必要な放電電氣量は少なく、また撮影時間は短い。反対に被写体が厚い場合は放電電氣量は多く、撮影時間は長い。その場合蛍光板輝度はもちろん被写体 Al の厚さの薄いほど大であり、蛍光板の残光量も大となった。全光量はフォトタイマー及び測定誤差もあり得るが、被写体が薄い場合若干少ない数値を、厚い場合は若干多い数値を示し、全く同一の結果とならなかった。しかし黒化度は可成りの数値の差を認めた。これは蛍光板の光量を同一になるようにフォトタイマーにより光電的制御を行ったが、撮影されたフィルム黒化度の数値が同一にならなかった。すなわち使用フィルムが相反則不軌の特性を示すことがこの実験から判明し、単に光量が同一になるようにフォトタイマー制御

を行っても同一黒化度の写真が得られないことを示した。

結 果

制御用 2 次電子増倍光電管でフォトタイマー回路のネオンランプを消灯した時間だけ 3 極 X 線管より X 線を放射することが出来た。

蛍光板の発光を制御用 2 次電子増倍光電管で受け、自動輝度調整を行いフォトタイマーにより均一黒化度のフィルムが得られた。

本法による蛍光板 S の発光を測定用 2 次電子増倍光電管 MS-9S に受け、その光電流と高圧蓄電器 C の放電電流を 2 現象ブラウン管オシロ装置により撮影した。充電電圧 75kV、蓄電器容量 1 μ F、X 線管繊維条電圧 7.3V すなわちグリッド電圧 0V で 150mA の放電電流が得られる条件で、被写体として 16mm のアルミニウム板を使用し、Fig. 71 はその 2 現象ブラウン管オシログラムである。高圧蓄電器 C の放電電流は放電時間の経過と共に（すなわち蓄電器 C の電圧降下と共に）次第に数値を増大し、蛍光板 S の輝度はほぼ均一である。

Fig. 71. 自動輝度調整光電管制御方式による 2 現象ブラウン管オシログラム (占谷)

Table. 4 は自動輝度調整光電管制御方式による同一被写体に対する各種充電電圧の黒化度であり、列記の条件で被写体 1mm アルミニウムは 50kV～75kV において黒化度は $1.031 \pm 1.5\%$ であった。

Table. 5 は同一充電電圧に対する被写体変化の黒化度であり、列記の条件において被写体 1mm～21mm アルミニウムは 75kV において黒化度は $1.03 \pm 1.5\%$ であった。

被写体が人体胸部の場合はフォトタイマーの採光部すなわち両鎖骨下の上中肺野は均一なアルミニウム板と異なるが、平均輝度して作用し、従来法より均一性に富んだ優秀な写真が得られ、当工場従業員検診に実用に供された。

Fig. 72 は 1959 年 9 月に新設したオデルカカメラ及び防護室であり、3 極 X 線管の暗 X 線の防止は管球出射口にモーター駆動シャッターを取付け、戸の開閉及び人体昇降台はモーターを使用した。防護室の一部は X 線発生装置を収容することが出来る。

Fig. 73 は防護室内に暫定的に収容した鉛箱および 3 極

A. 受光箱右側コードは制御用

B. 受光箱左側コードはフォトタイマー及びネオンランプ用

Fig. 72. オデルカカメラ及び防護室

Fig. 73. 3 極 X 線管制御部
X 線管制御部であり、この鉛箱の中には 3 極 X 線管及び冷却用旋風器が取付けである。バラックセットの制御部は同調指示管制御用の電子管など見えるが、制御用増幅管 V_2 はシャーシの内部にあり、シャーシ側室底部の太いコードは暗函のフォトタイマーの受光箱へ接続され、シャーシ側上部には増幅管 V_1 が見える。

VII. 考 察

入手した蓄放装置についての海外文献は少いが、海外においては非常に早くから高圧印加、繊維制御、3 極管制御、3 極 X 線管制御等の方式について発表されている。

特に Silbermann, Kunthe 両氏の 3 極管制御方式は 3 極管のグリッド電位の変化により 3 極管の内部抵抗を自

動的に変北し、線質線量を任意に変化し矩形波の電圧電流が得られることからして理想的な制御法として注目されたが、現在は製作が中止されていると聞くが恐らく3極管の寿命の点で問題となったものと考えられる。

その他の制御方式も実用装置として広く利用されなかったのは電力事情の相違と、後進のわが国ほど充分に実用的研究が行われなかったためと考えられる。

わが国においては現在の3極X線管制御に至るまで非常に多くの制御法が試みられ、興味深いものがある。

高圧印加制御方式においては戦前の製品は管電流計がなく、放電電流値を正確に直読出来ず、特性の異なる油浸管球交換時に不透明な管球容器出射口使用のため、放電負荷時の焦点輝度観察に不便であり、オシロ装置を持たぬ一般使用者は蓄放装置の特質から過大電流を流し勝ちで、ガス放電を誘発したようである。また高真空度のX線管の入手難からガス放電を起しやすい不良X線管を使用し、本方式が悪い放電方式であるという観念を与えた場合もあったようである。

本方式において瞬間撮影のため固定大焦点のX線管が使用されたが、筆者は1945年に東芝製回転陽極X線管SP-RAを東芝の好意によりわが国で始めて使用し、鋭焦点による瞬間撮影を行った⁵⁴⁾。

戦後X線管の本装置における瞬間許容負荷の問題が充分研究され、放電電流計が配電盤に取付けられ、放電抵抗値も可成り大きな数値になり、かつX線管の真空度の良いものが製作されて極めて安定に動作するようになった。

矩形衝撃電圧方式は撮影に有効な電荷をX線管に極めて短時間与える方式であるが、放電時間を種々変化させたい場合、装置がやや複雑化するためか製品化されなかったようであるが戦後の進歩的な着想と考えられた。

電磁型高圧放電開閉器の機械的開閉の時間的遅れをなくするため、ガス封入高圧放電管を使用する方式が実用化されたが、放電電流値が小の場合ほど管内電圧降下が大きく、黒化度の低下を認めたが、実用上管電圧上昇により補正することが出来、励起後放電開始時間が極めて早いので、心搏連動撮影に極めて優れた方式と考えられる。

放電方式としては高圧印加方式に含まれるが側路放電による波尾切断方式はわが国独自の考案であるが、これは3極管、3極X線管が実用化されないため暫定的に考案され、X線管負荷の軽減、被曝線量の軽減は達せられたが、撮影に不必要と考えられる充電電荷を大地に放電するのであるから、電力的には良い方法でないが、回路が簡単であるので実用化された。

繊維制御方式の内整流管繊維制御方式はガス放出、繊維断線等により実用装置とならず、またX線管繊維瞬時上昇方式も繊維に対し無理な使用法のためか、これも実用装置に進展しなかったようである。

X線管繊維点火方式は放電開始に可成りの時間的遅れがあることと、繊維電流値を極めて大きくしても物理的な放電時間が長く、特殊撮影に不適當であるが、装置が極めて簡単に製作出来るので一般胸部撮影用に非常に普及した。この方式がわが国で発表された頃は電力事情も未だ悪く、胸部瞬間撮影が強く要望されており、誰でもといて良いほど製作簡易のものであるにも拘らず使用技術者によって広く組立てられなかったのは遺憾と考えられた。

X線管繊維点火方式の装置において、透視時に充電用半波整流装置を以て行うという不合理な方法が製作所の製品に見られたが、筆者は予熱併用点火方式に注目し、予熱の程度を高め透視及び狙撃撮影に応用した。繊維点火方式は放電開始に時間的遅れが大であるが、高圧印加方式で透視撮影に不便であると考えられたため実用化された。機械的放電開閉器使用の高圧印加方式でも透視撮影回路が全く不可能でなく回路がやや複雑なだけである。

X線管繊維点滅方式において筆者は放電電氣量により繊維回路を開路する新方式を発表したが、リレーによる遅れもあるが繊維加熱の程度を点火方式より低くし、無効な放電電荷を減少し、点火方式を改善したものと考えられる。

高圧印加X線管繊維制御併用方式の内瞬時X線管繊維回路開路方式は、その放電電流波形が東芝が試みた蓄電器によるX線管繊維瞬時上昇方式とほぼ相似であり、放電初期電流の立ち上りが異なるものと考えられる。本方式は繊維加熱が瞬時上昇方式に比べ無理がない。またX線管負荷の軽減、従って被曝線量の軽減も当然考えられ、蓄電器に残留電荷があるため、間接撮影時に次回撮影のための充電が早く実用に供した。しかし繊維残熱による放電であるため放電時間をより短縮することは不可能である。本方式を油中型高圧放電開閉器に補助接点を付けて利用したが、リレーにより気中で繊維加熱1次側回路を開路した方が簡単である。

タイマー及びフオートタイマーによるX線管繊維回路開路法は管入力値の減小から小焦点X線管が起用され便利であるが、撮影に有効な電圧において繊維回路を開路する場合、残熱放電によりフィルム濃度が増加されるので考慮する必要がある。この点東芝は繊維点滅方式において

レンズ直前に電磁シャッターを取付け、残熱放電による不必要な蛍光を遮断したのは良い方法と考えられる。

3 極管制御方式において島津の蓄電器接地側挿入 3 極管制御方式は 3 極管の対大地容量を小さくすることが出来る。かつ低圧側で制御可能であり、暗 X 線量は 2 極 X 線管使用で問題とされず、また 3 極 X 線管より負荷を大きくとれるので、筆者には面白い方式と考えられる。現在までの報告ではわが国の 3 極管制御方式は単に放電開閉用として考案され、ドイツで前に実用化された線質、線量を自由に制御する方式と異なっている。3 極管の内部抵抗による電圧降下もあり、放電開閉用のみとすれば 3 極 X 線管制御の完成された現在では利用されない結果となったようである。

3 極 X 線管制御方式には非常に多くの方式が各製作所より発表され、種々の特質を有するが、放電開閉制御用として考案されている。筆者は X 線フィルムの相反則不軌の特性を実験により確認し、単なる放電開閉制御だけではフオートタイマー連動でも均一黒化度の写真が得られないので、蛍光板の平均輝度が放電時間中等しいものとする自動輝度調整制御方式を新しく考案した。

フオートタイマー連動制御時のフィルム黒化度の不均一性については、蛍光板の残光と考え、定時間早く応動させるものや、フィルム相反則不軌の特性からフオートタイマーに補正回路を製作所では増置し、均一化を計ろうとしているが、応範囲の応用は困難であると考えられる。

1 本のフィルムに数百名を撮影し、同時現像を行う場合、一定電圧で種々の厚さの異なる被写体を撮影し均一性フィルムを得ることは至難である。被写体に応じた電圧で撮影することが写真の精度を向上させるが、同一厚さでも筋肉、脂肪、肺の状態により同一吸収体とならないから常に均一性とすることは出来ない。

自動輝度調整光電管制御方式を以て間接撮影を行えば、撮影条件決定の精神的労苦を軽減し、撮影者の技術的個人差をなくし、同一充電電圧においても常に均一性に富んだ結果が簡単に得られる。放電開閉制御の他に本方式を併用したものはわが国及び外国においても恐らく始めてであると考えられる。

本方式の実用に際し、バラックセットであるため改善の必要も認めるし、3 極 X 線管 #5046F は焦点 $5 \times 5 \text{mm}^2$ の固定陽極 X 線管（焦点は可変であるが）であり、被写体と蛍光板距離の大なるオデルカカメラに不適當で、将来事情が許せば 3 極回転陽極 X 線管を使用し度いと考えている。

蓄放装置における暗 X 線防止装置は大阪 X 社⁵⁴⁾により

報告され、次に安部氏⁵⁵⁾氏により暗 X 線線量の危険性および防止法について報告され、急速に対策が進められて来た。3 極 X 線管以外の普通管球においても管球に電圧が常時印加されている織条制御方式は放射するから（管球によるが）、暗 X 線線量遮断装置など取付けて安全を計るべきである。

VIII. 結 言

海外で研究着手された蓄放装置はわが国においても研究され、実用装置として広く利用されるようになった。

わが国では 3 極管、3 極 X 線管の実用化が遅れたため、非常に多種多様の放電制御法が考案及び実用化され、次第に改善されて今日に至った。

最初は単に瞬間的に大電流を放電する全電荷放電様式のものであったが、現在は有効な必要電荷のみ放電し、他は蓄電器に残留する波尾切断様式となり、充電を併用し透視も行い得る装置となった。

3 極管制御方式はわが国においては単なる放電開閉制御用としてのみ応用され、放電開閉制御は 3 極 X 線管制御で極めて安定な制御が可能となり、簡易な 3 極 X 線管制御方式が現在までの報告ではもっとも優れた方式と一応考えられている。

筆者は変圧器方式用に市販されたフオートタイマーに着目し、これと連動する各種の制御法を試み、常に均一黒化度の間接写真を得るために努力した。最後に蛍光板の蛍光量によって応動するフオートタイマーはほぼ忠実であるが、X 線フィルムに相反則不軌の特性が不均一性の主原因であることに気付き、撮影時蛍光板輝度が常に自動的に等しくなる自動輝度調整光電管制御方式を考案し、実用に供し、永年の目的を達した。

終りに臨み今学会開催に当り、宿題報告の光栄を与えられた金子順治会長並びに会員諸兄、蓄放装置改善の許可を与えられた歴代の病院長豊福豊、佐藤義臣、平間章の諸先生、種々御教示を賜った東京芝浦電気社、島津製作所、日本無線社医理学研究所、大阪レントゲン社の方々、文献収集に際し御便宜を計られた北海道大学病院放射線科、島津製作所、医理学研究所、一部実験資材を与えられた東京芝浦電気社、日立 X 線販売社札幌出張所、石村機械製作所、業務多忙のところフィルム黒化度測定をされた札幌通信療養所放射線科草皆太夫氏、実験に協力された当放射線科伊波野英男、三谷幸男、原子昭一、垂水宗司の諸氏に対し深甚の謝意を表する。

文 献

1)

- 2) Bouwers, A. : Fortschritte auf dem gebiete der Röntgenstrahlen, Kongressheft, 118 (1931).
- 3) Beese, N. C. : Radiology, 31, 716 (1938).
- 4) Files, G. W. : American Journal of Roentgenology, 34, 798 (1935).
- 5) 大阪レントゲン社, 別宮貞俊, 蓄電器放電式X線装置, 日本医学放射線学会, 第8回総会 (1949).
- 6) 医理研, 真島鉄柱, 矩形衝撃電圧による心搏連動X線撮影の一方, 日本医学放射線学会9回総会 (1950).
- 7) 東大放射線科, 中泉正徳, 江藤秀雄, 梅垣洋一郎, 蓄電器放電式X線装置に関する研究, 日本医学放射線学会雑誌 Vol. 11, No. 1 (1951).
- 8) 北大, 坂本三郎, 若林勝, 汲田敏男, 石村富明, 3点間隙法による高電圧矩形波について, 日本放射線技術学会第6回総会 (1955).
- 9) 北大, 坂本三郎, 若林勝, 3点間隙法による蓄放装置について (第2報), 日本医学放射線学会第10回総会 (1956).
- 10) 島津, 中堀孝志, 新型式の波尾切断型蓄放装置, 日本医学放射線学会関西西部会第41回 (1955).
- 11) 大阪X社, 花田勝, 波尾切断の一新方法レントゲン講座 No. 24 (1955).
- 12) 医理研, 真島鉄柱, 蓄放装置による心搏連動X線撮影, 日本放射線技術学会第7回総会 (1951).
- 13) 医理研, 真島鉄柱, 柏木弘, 河口宏二, 蓄電器直列放電式X線装置, 日本医学放射線学会第10回総会 (1951).
- 14) 古谷鉄雄, 佐藤義臣, 螢光時限装置と蓄放装置の組合せについて (第2報), 日本医学放射線学会第13回総会 (1954).
- 15) 島津, 小原誠, 伊藤幸雄, 島津レントゲン時報第63号 (1941).
- 16) Lorenz, E, Fortschr. Röntgenstrahlen. 35, 665 (1927).
- 17) 東芝, 西堀清美, 蓄放装置, 日本医学放射線学会第8回総会 (1949).
- 18) 島津, 中堀孝志, 蓄放装置, 日本医学放射線学会第8回総会 (1949).
- 19) 古谷鉄雄, 蓄放装置による瞬間狙撃撮影について, 日本放射線技術学会第7回総会 (1951).
- 20) 古谷鉄雄, 蓄放装置による6×6種判胃間接狙撃撮影, 日本医学放射線学会第11回総会 (1952) 日本放射線技術学会第7回総会 (1952).
- 21) 東芝, 木岡元, 深津久治, 蓄放装置に関する一考察, 医療電気時報 Vol. 10 No. 2 (1940).
- 22) 東芝, 蓄放装置の制御装置, 特許 263918-7, 23.
- 23) 島津, 蓄放装置, 特許 181371-25, 1.
- 24) 古谷鉄雄, 特殊放電制御による蓄放装置及び応用について, 日本医学放射線学会第10回総会 (1951).
- 25) 東芝, 松島欣吾, 深津久治, 蓄放装置を使用せる間接撮影におけるフィルム黒化度自動調整について, 日本医学放射線学会第13回総会 (1954).
- 26) 大阪X社, 花田勝, 鹿島正勝, 蓄放装置における自動反復撮影について, レントゲン講座 No. 13 (1953).
- 27) 深津久治, 東芝, 蓄放装置の新放電方式, 日本医学放射線学会第9回総会 (1950).
- 28) 大阪X社, 久島諦造, 蓄放装置シリウス号について, レントゲン講座, No. 1 (1951).
- 29) 古谷鉄雄, 特殊放電制御による蓄放装置, 日本医学放射線学会第9回総会 (1950). 日本放射線技術学会第6回総会 (1950).
- 30) 古谷鉄雄, 特殊放電制御による蓄放装置 (第2報), 日本医学放射線学会, 東北, 北海道, 新潟部会 (1950, 10).
- 31) 古谷鉄雄, 無整流大電流装置及び螢光時限器の利用について, 日本医学放射線学会, 第12回総会 (1953).
- 32) 東芝, 蓄放装置, 実新 26-13917-11, 30.
- 33) Wilhelmy, E., Fortschr. Röntgenstr. 40, 686 (1929).
- 34) Bischoff, K., und Niemann, C. S. R. Nachrichten, S. 31 (1934).
- 35) Silbermann, K. : Fortschritte auf dem Gebiete der Röntgenstrahlen, 58, 265 (1938).
- 36) A Kunthe : Fortschritte auf dem Gebiete der Röntgenstrahlen, 58, 248 (1938).
- 37) 医理研, 真島鉄柱, 石村富, 特殊放電制御蓄放装置, 日本医学放射線学会第11回総会 (1952).
- 38) 島津, 中堀孝志, 田辺昭二, 伊藤弘明, 3極整流管制御による蓄放装置の特性と応用, 日本医学放射線学会総会第13回総会 (1954).
- 39) 東芝, 松島欣吾, 深津久治, 3極管スイッチについて, 日本医学放射線学会第14回総会 (1955).
- 40) 東芝, 井出昇, 佐野光巧, 3極X線制御方式, 東芝レビュー, Vol. 11, No. 8 (1956).
- 41) 東芝, 岡部雄治, 芳賀洋一, グリッド制御X線管及整流管, 東芝レビュー Vol. 12, No. 5 (1957).
- 42) 島津製作所, 高圧3極管によるX線制御装置, 実用

- 新案公告昭34. 1. 30出願昭31. 9. 13.
- 43) Graf, Fortschr. Röntgenstralen. 56. Beiheft Juli, 38 (1937).
- 44) 東芝. 原田音次郎, 平塚善雄. 3 極 X 線管. 第16回日本医科機械学会 (1939).
- 45) 渋谷レントゲン社. 橋本一二, 飯島昇. 日本医学放射線学会第 1 回総会 (1941).
- 46) 日本電気社. 宮崎清俊, 窪田寿, 3 極 X 線管. 特許 3899 号 (1941. 8. 11).
- 47) 神戸工業社. 桜井甚一, 大阪 X 社. 鹿島正勝新型 X 線管の特性及び応用について. 日本放射線技術学会第11回総会 (1955).
- 48) 大阪 X 社. 花田勝. 3 極 X 線管とその制御方法. 日本 X 線技師会雑誌 No. 66 (1958).
- 49) 島津. 島山英明, 向坂光雄, 北野泰, 中西猛. 3 極 X 線管による X 線制御について. 島津評論 Vol. 15, No. 4 (1958).
- 50) 古谷鉄雄, 三谷幸男. 可変焦点 X 線管及び応用について. 日本放射線技術学会第11回総会 (1955). 日本放射線技術学会雑誌 Vol. 11, No. 3 (1955).
- 51) 古谷鉄雄. 蓄放装置の自動制御法. 日本放射線技術学会第12回総会 (1956).
- 52) 古谷鉄雄. 3 極 X 線管制御蓄放装置. 日本放射線技術学会第13回総会 (1957).
- 53) 島津. 島山, 向坂, 北野, 中西. 3 極 X 線管の制御方式について. 日本放射線技術学会第14回総会 (1957).
- 54) 古谷鉄雄. 蓄電器放電式 X 線装置と回転陽極 X 線管との組合せによる胸部瞬間撮影について. 日本放射線技術学会第 5 回総会 (1949).
- 55) 大阪 X 社. 山根巖. 暗流 X 線防止装置について. レントゲン講座 No. 35 (1957).
- 56) 安部正人. 蓄放装置の防護の盲点. 日本 X 線技師会雑誌 Vol. 16, No. 3 (1959).