

ベリリウム窓を持つ軟X線管

Soft X-Ray Tube with a Beryllium Window

高野 静夫*
Shizuo Takano林 肇志*
Tadashi Hayashi小田 部宗倫*
Munenori Kotabe

内 容 梗 概

軟X線管は表在治療用、X線分析用、軟X線写真撮影用などに順次多く利用されつつある現状であるが、軟X線管としてはベリリウム板をX線放射窓に用いたものが最も望ましい。

今回われわれはそれらの用途に使用できる、使用電圧範囲 5~50 kVp のベリリウム板のX線放射窓を持つ軟X線管 SIO-50-50 および SIO-50-20 ならびにこれを管球容器に取り付けたX線管装置 UI-51 および UI-52 を完成、市販するに至ったので、その構造、性能、用途などについて述べる。

1. 緒 言

最近 50 kVp 以下の低い電圧で使用するX線装置が多く用いられるようになった。すなわち限界線治療に使われるX線装置、分析用X線装置およびX線を比較的通過しやすい物質の透過試験用装置などである。また一部にはマイクロラジオグラフィ用装置なども用いられている。

一般に約 50 kV 以下の低い電圧をX線管に与えたときに発生するX線を軟X線と呼び、そのうち特に 20 kV 以下で発生するX線を超軟X線という。X線管に与えた管電圧 E (kV) と、発生するX線の最短波長 λ (Å) との間には $\lambda = 12.34/E$ という Duane-Hunt の関係式があるように、軟X線の波長は長く、特に超軟X線は紫外線に近いので限界線とも呼ばれている。

この軟X線は物質透過力が弱いので、人体各部の撮影または鉄鋼などの透過試験には普通使用できないが、物質表面によく吸収される性質を利用して、医療方面では皮膚の表在治療に古くから応用されている。また波長の長いことはX線による物質の結晶回折にも都合がよいので、X線分析用としても軟X線は利用される。これら表在治療用およびX線分析用としての用途は国内においても第二次大戦前よりある程度はあったが、戦後マイカ窓の国産軟X線管が安価にできることや、外国から高価だが良質の軟X線管がはいることにより、需要が次第に増加しつつある現状である。またアルミニウムなどの軽金属の薄板、あるいはX線を通過しやすい非金属物質、または小形動植物などの透過写真をとるようなときは、特に 10~30 kVp 程度で発生する軟X線が利用される。

このような軟X線を出すことのできるX線管を軟X線管という。普通のX線管では、このような軟X線はガラスの管球壁に吸収されて、ほとんど外に出てこない。軟X線管の場合は管球壁のX線放射窓に当たる部分に、リンデマンガラスまたは薄いマイカ板、あるいはベリリウム金属板など、軟X線を通過しやすい物質を用いて、軟X線が外部によく出るようにしてある。このうちベリリウム金属板を用いたものが、後記のような理由で寿命および許容負荷の点から最も実用的で進歩している。

われわれはベリリウム板をX線放射窓に用いた軟X線管 SIO-50-50 および SIO-50-20 の試作をいち早く完成し^{(1)~(3)}、その後さらに種々検討改良を加えて、海外一流製品に比べてまったく遜色のない軟X線管を市販しうることになった。このX線管は 5 kVp より 50 kVp までの広い範囲において使用され、X線管電流も SIO-50-50 は 50 mA 連続、また SIO-50-20 は 20 mA 連続の大容量があるので、非常に多くの軟X線を放射することができ、さらに SIO-50-20 は 0.5 mm の微小焦点により、微細部の軟X線写真を撮影することも

できるなどの特長を備えている。

なおこの軟X線管 SIO-50-50 または SIO-50-20 に、それぞれ防電撃、防X線の管容器を取り付けたX線管装置 UI-51 および UI-52 も作られている。

2. 軟X線管のX線放射窓について

軟X線管は一般X線管と異なり、X線放射窓に特に軟X線を通過しやすいように工夫をこらしている。それには原子番号が低い物質ほどX線をよく通過するという理由で、特に原子番号の低い物質を用いる方法と原子番号は特に低くはないが、できるだけ薄くしてX線吸収を少なくした材料を用いる方法とがある。

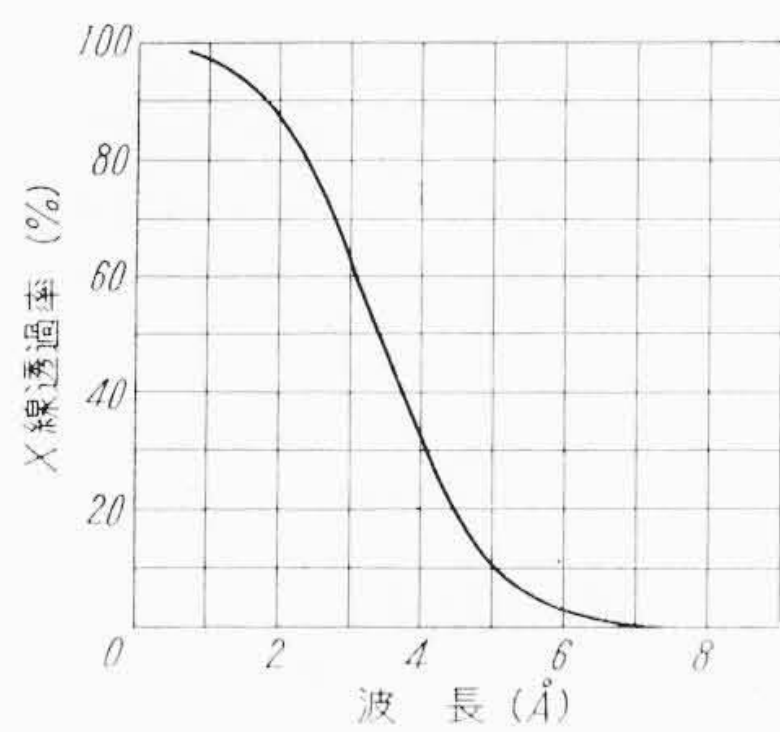
リンデマンガラスはリチウム、ベリリウムおよびホウ素などの原子番号が低い物質から作ったガラスで、これをX線放射窓に用いた軟X線管は古くから使用された。しかしリンデマンガラスは潮解性があり、また機械的にも弱いので、わが国の気候風土には適さないとされている。

次にマイカの薄板を真真空気密に接着することができるようになってから、マイカをX線放射窓に用いた軟X線管が生産されるようになった。マイカそのものはX線吸収が特に少ない物質ではないが、薄い板にすることができると、低融点ガラスを用いて金属に接着できることより、軟X線放射窓に適すわけである。小容量の軟X線管としてはこのマイカ窓で十分であるが、マイカの厚さは普通 0.02~0.05 mm ぐらいで非常に薄いため、破損しやすく、また管球内の電子衝撃を受けてマイカ板が破損しやすいなどの欠点を持っている。

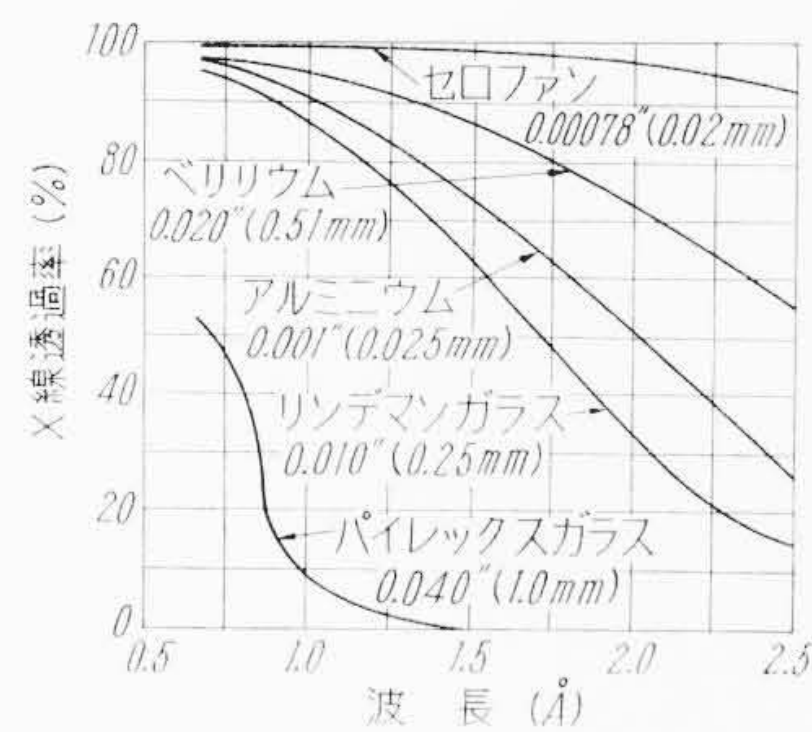
その点ベリリウム板をX線放射窓に用いた軟X線管は、機械的に丈夫であり、また電子衝撃を受けてガス放出する心配もなく、さらに製造中排気工程で高温に加熱して十分脱ガスすることができる。そのためこのX線管は大容量で使用しても性能が安定しているので、最も実用的な軟X線管ということができる。欧米では既に十数年前にこの製品が発表されているが、わが国では適当なベリリウム板の入手が困難であったことや、ベリリウムを真真空気密にろう付けする技術がむずかしかったために開発が遅れた。

ベリリウムは常温で灰白色を呈し、X線をきわめて通過しやすい原子番号 4 の金属である。一般にアルミニウムは金属のうちではX線を通過しやすいものとされているが、ベリリウムはアルミニウムよりはるかによくX線を通過する(文献(4)および第1~3図)。第1図は厚さ 0.01 インチ (0.254 mm) のベリリウム板を通過するX線の波長とX線量の関係を示す。第2図は分析用X線管のX線放射窓にリンデマンガラス、アルミニウム、ベリリウム、その他の物質を用いたとき、それらを通過するX線量を示す。また第3図は各物質から出る特性X線の $K\alpha_1$ 線が、ベリリウムまたはリンデマンガラスの

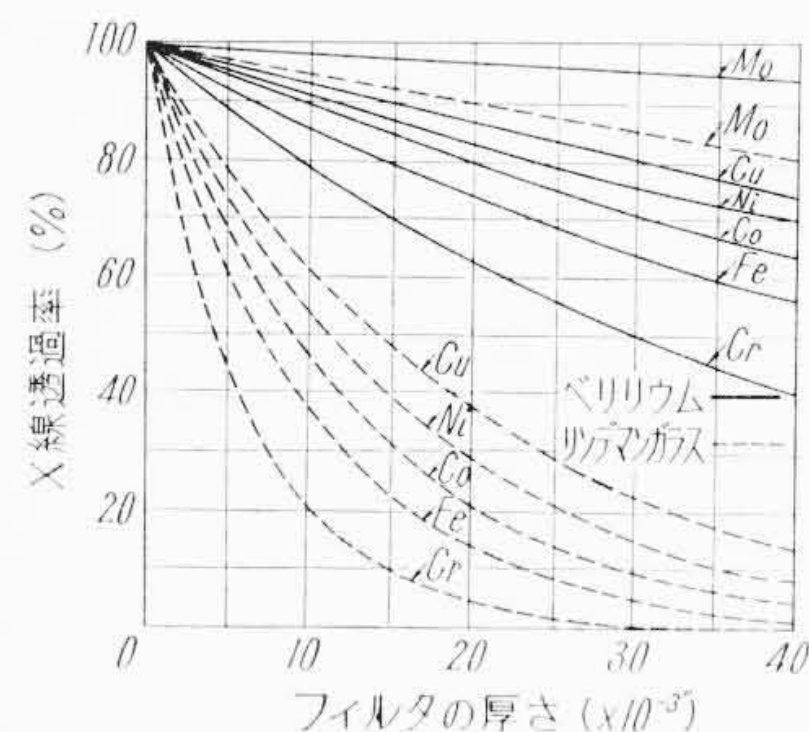
* 日立製作所茂原工場



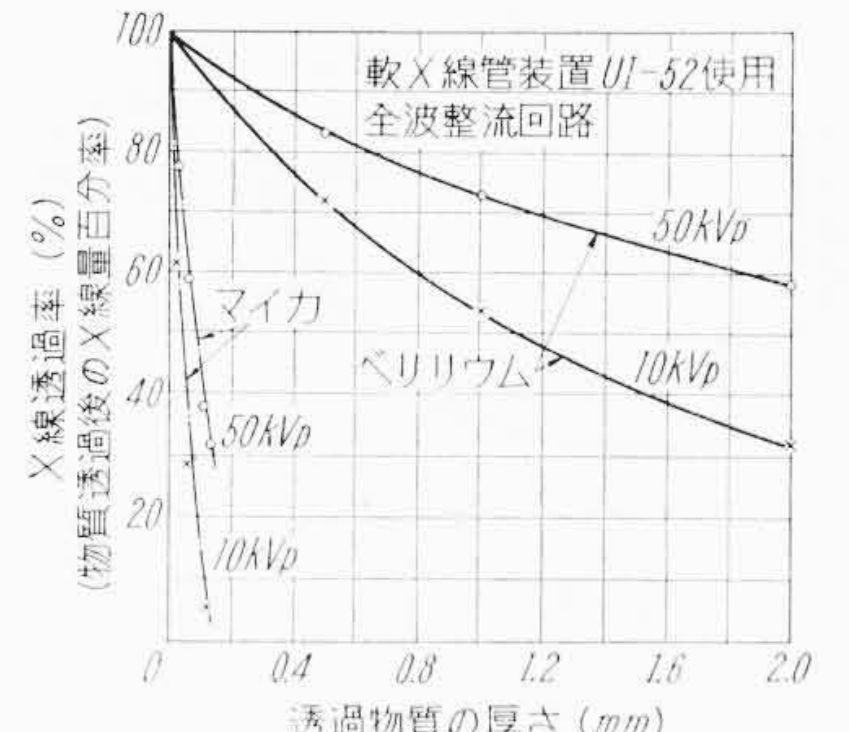
第1図 厚さ0.01インチ(0.254mm)のベリリウム板を通過するX線の波長とX線量の関係⁽⁴⁾



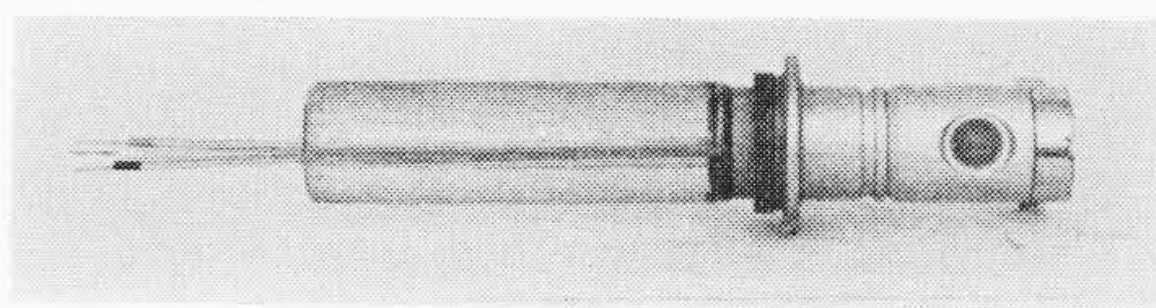
第2図 分析用X線管のX線放射窓に各物質を用いたときのX線透過率⁽⁴⁾



第3図 数種の金属より出るK_α線がベリリウムまたはリンデマンガラスを通過する割合⁽⁴⁾



第4図 ベリリウム板とマイカ板のX線透過度の比較



第5図 軟X線管 SIO-50-20

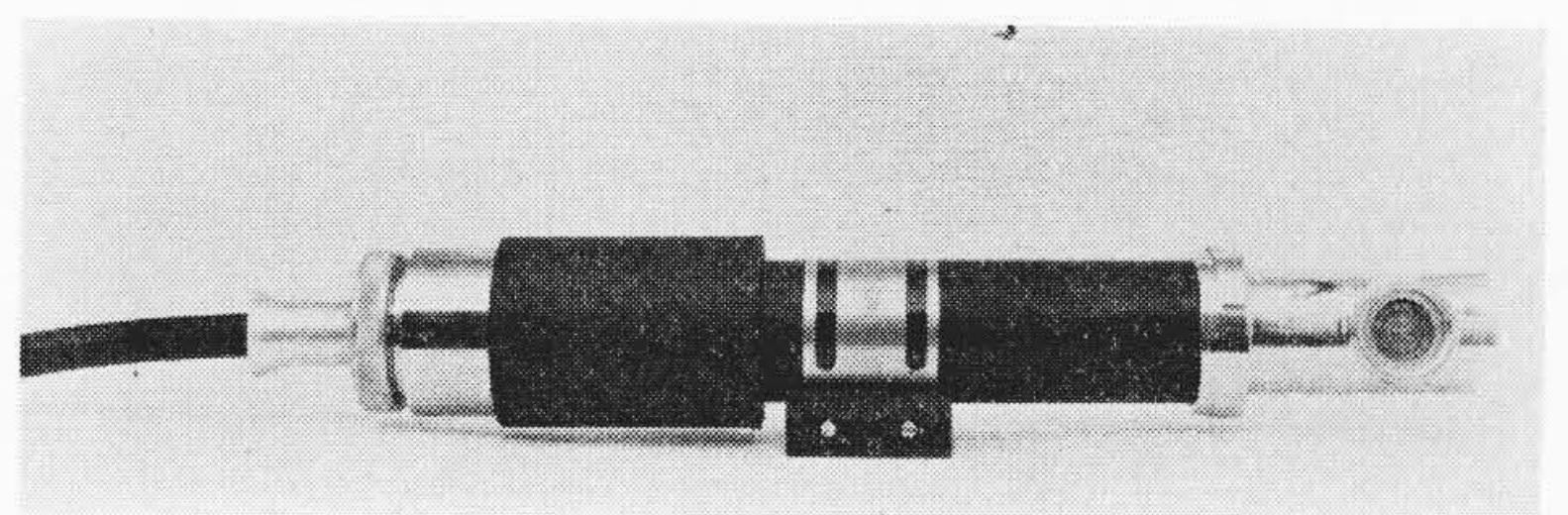
種々の厚さを通過することにより線量がどのくらい減少するかということを示す。さらに第4図は、筆者らが本報告の軟X線管 SIO-50-50 より出るX線をそのまま用いて、マイカ板とベリリウム板についてX線通過量の比較を行なったデータである。これらの図よりベリリウムがリンデマンガラス、マイカ、アルミニウムなどに比べて、いかによくX線を通過するかということが知れよう。

3. 軟X線管装置 UI-51 および UI-52 の構造

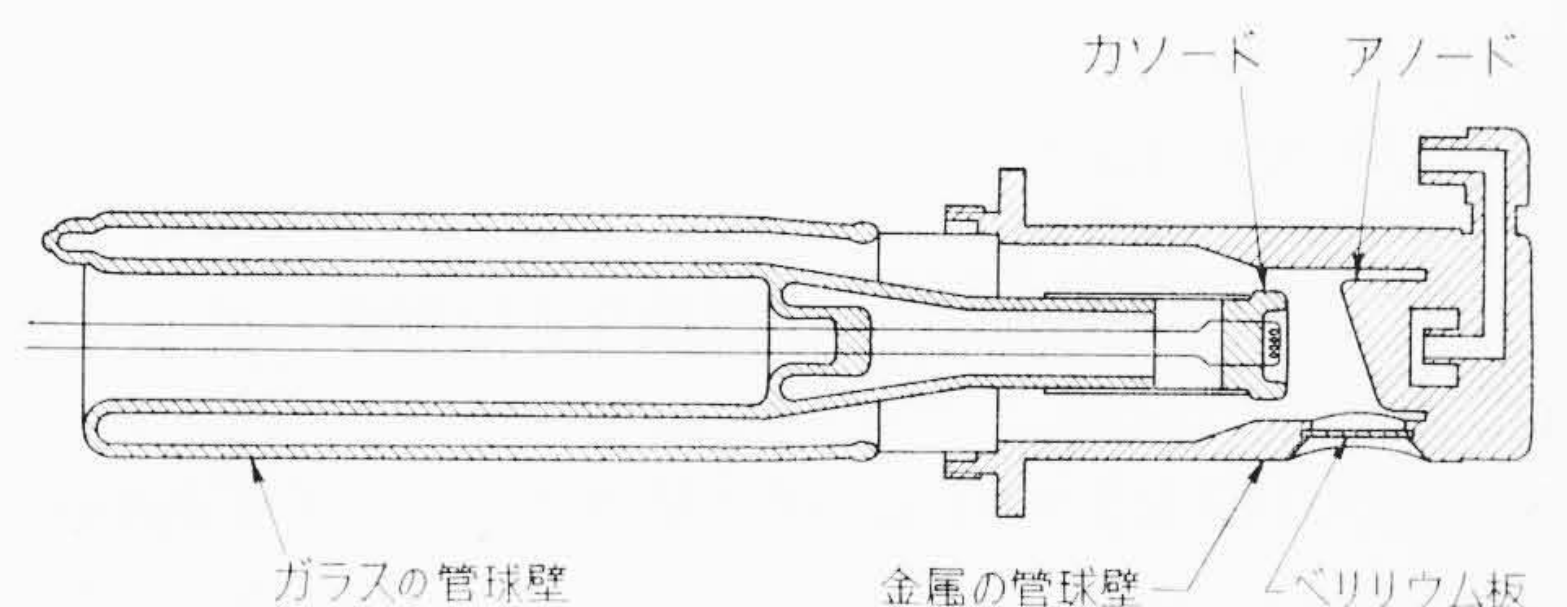
軟X線管装置(軟X線管と管容器が組み合わさったものの名称) UI-51 または UI-52 には、それぞれ軟X線管 SIO-50-50 または SIO-50-20 が用いられている。第5図は SIO-50-20 の外観写真、第6図は UI-51 の外観写真を示す。また第7図は SIO-50-20 の概略構造図、第8図は UI-51 の概略構造図である。

X線管の構造について説明すると、第7図のようにアノードとカソードが相対しているのは普通のX線管と同様であるが、管球外周囲のうち、アノード寄りの部分が厚さ数ミリメートルの真空溶解した銅などの金属円筒からなり、その一部のX線放射窓に厚さ1mmのベリリウム板がろう付けしてある。また管球外周囲の他の部分すなわちカソード寄りの部分は硬質ガラスでできていて、アノード、カソード間の高電圧絶縁をこの部分で保っている。内部のアノードは銅でできているが、先端にはターゲット用タングステン板が20度に傾斜して埋め込まれている。また使用中陽極には多くの熱が発生するので、2.5 l/min 以上の流水で冷却する構造になっている。カソードは SIO-50-50 は5mmの大きいさの焦点が、また SIO-50-20 は1.5mmと0.5mmの二重焦点が得られるようになっている。SIO-50-50 と SIO-50-20 は、このカソード部分が違うだけで、あとはほとんど同じ構造である。

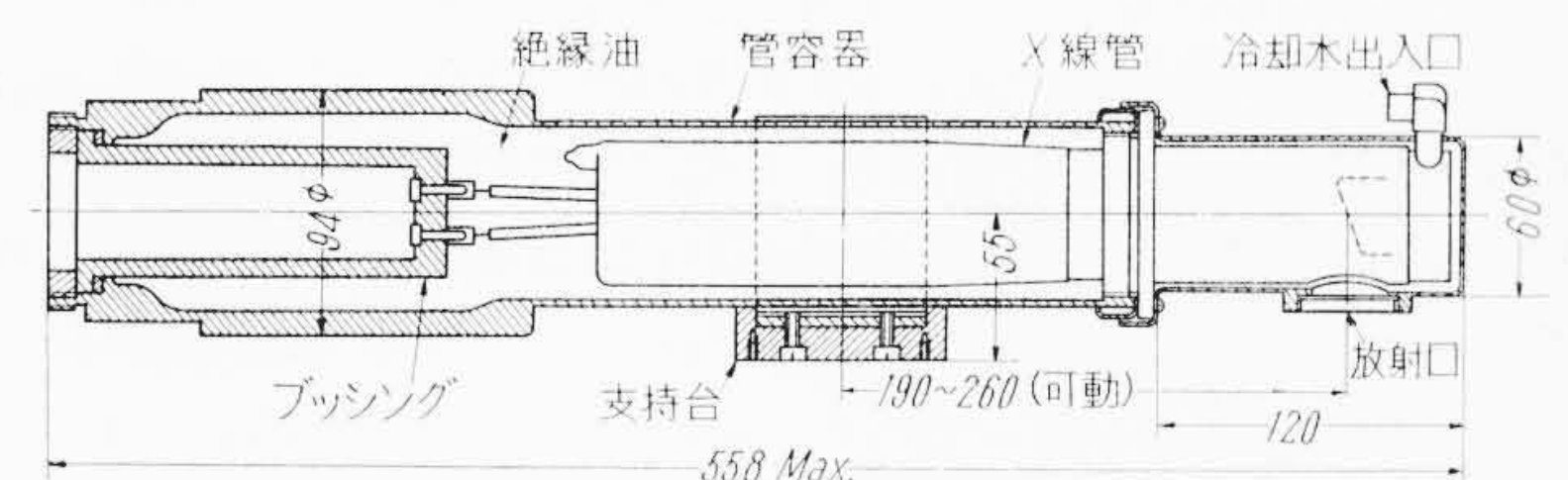
第8図に示すように、この軟X線管のアノード側金属円筒部分は大気中に露出し、接地して用いられるが、カソード側のガラス部分は負の高電圧端子があるため、油のはいった円筒状の管容器の中に、一端から入れられて防電撃として使用される。そしてこの管容器の他端には、高電圧ケーブルの先端をそう入するためのブッシングが取り付けられている。このように管容器が油入りになっているのは、大気中湿気が多いときでも十分高い耐電圧性能を持たせるためである。またX線管の陽極側には、漏えいX線をなくすため、鉛板を内張りした鉄製のキャップがきせてある。管容器は中央をバンドで締め、



第6図 軟X線管装置 UI-51



第7図 SIO-50-20 の概略構造図

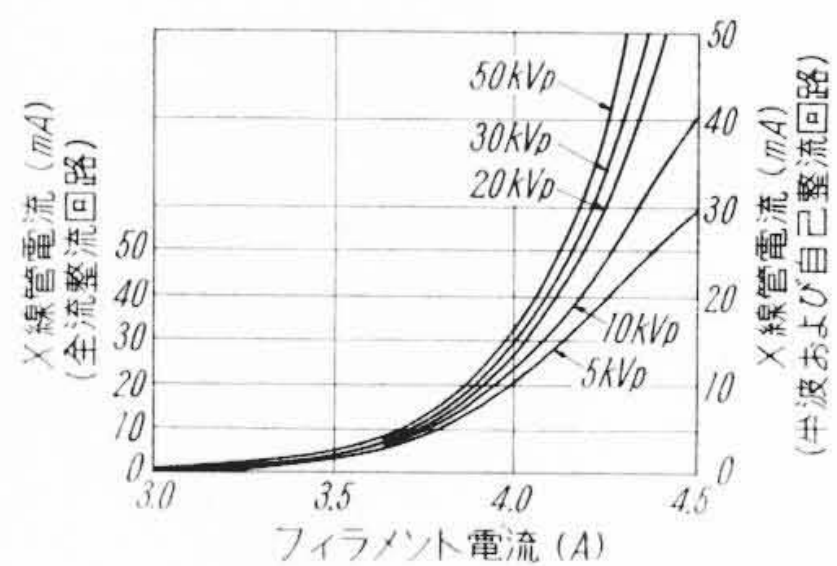


第8図 UI-51 の概略構造図

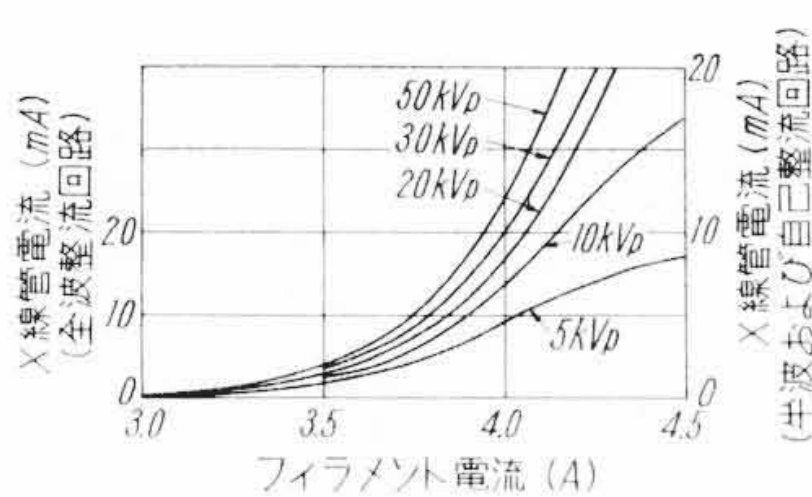
第1表 軟X線管装置 UI-51 および UI-52 の仕様

X線管装置形名			UI-51	UI-52	
X線管形名			SIO-50-50	SIO-50-20	
実効焦点 (mm)			約5×5	大焦点	小焦点
				1.5×1.5	0.5×0.5
ターゲット角度 (度)			20	20	20
ターゲット材質			W	W	W
最大使用電圧 (kVp)			50	50	50
最大先端逆耐電圧 (kVp)			50	50	50
最連大 使用統 規格値	単相電源	X線管電圧 (kVp)	50	50	50
		X線管電流 (mA)	50	20	3
	三相または 定電圧電源	X線管電圧 (kVp)	50	50	50
		X線管電流 (mA)	37	16	3
フィラメント加熱		電圧 (V)	3~8	3~8	1~3
		電流 (A)	3~4.5	3~4.5	3~4
固有フィルタ			1 mm Be	1 mm Be	
重量 (kg)			8	8	
冷却方式			水冷, 流量 2.5 l/min 以上 入口における冷却水温度最大 33°C		

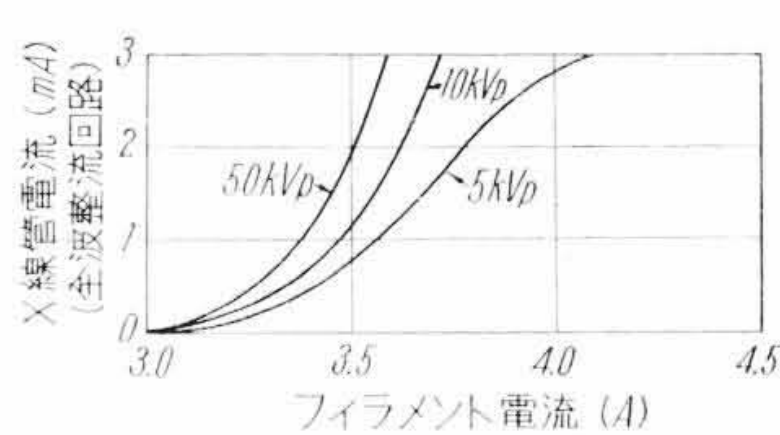
注: 陽極接地で使用する



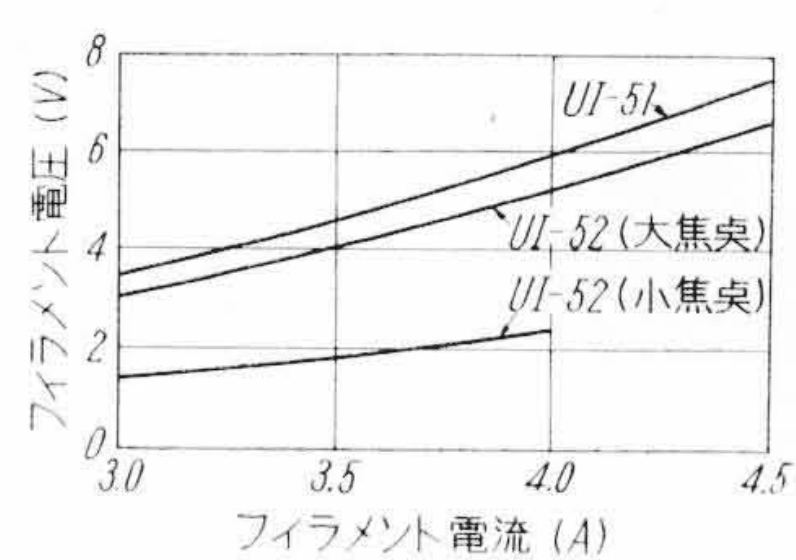
第9図 UI-51 の管電流特性



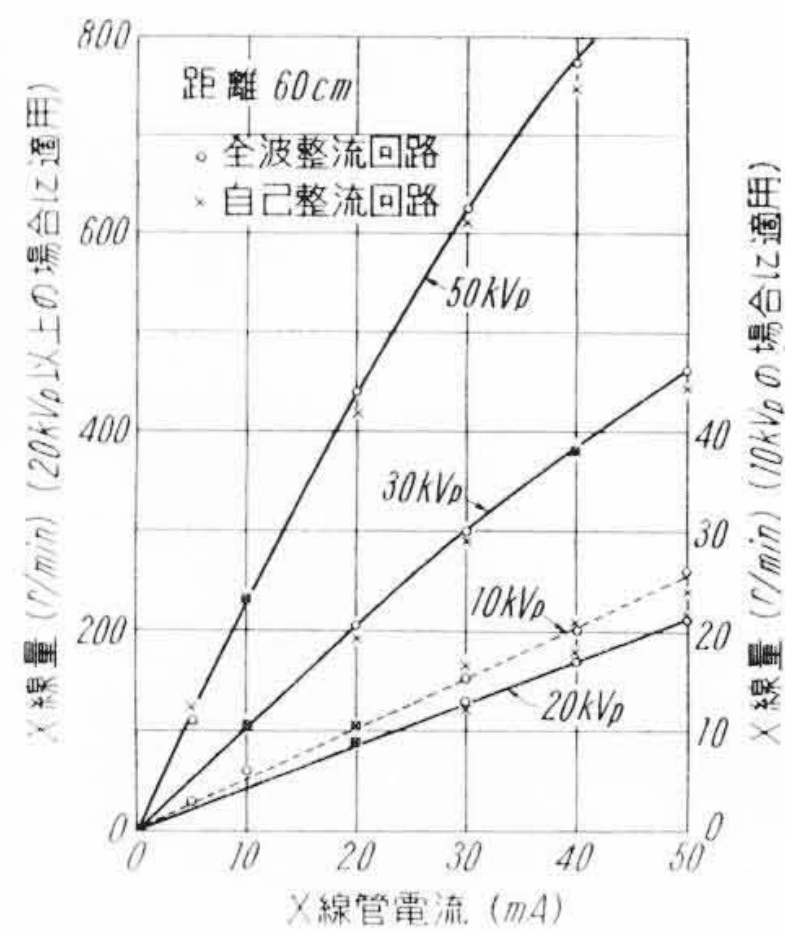
第10図 UI-52 (大焦点側) の管電流特性



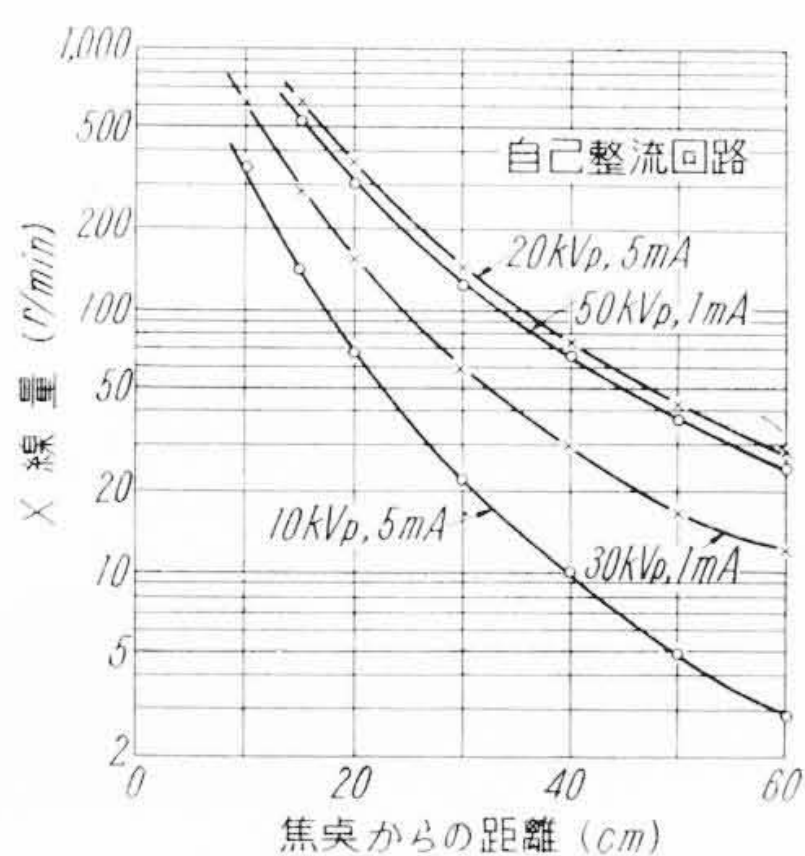
第11図 UI-52 (小焦点側) の管電流特性



第12図 UI-51 および UI-52 のフィラメント特性



第13図 UI-51 のX線量



第14図 UI-51 から出るX線の距離と線量の関係



(7 kVp)

第15図 紙幣のX線写真

X線管装置を机上に固定するための台が取り付けられている。なお UI-51 と UI-52 の外観はまったく同じである。

4. UI-51, UI-52 の性能および用途

4.1 定 格

第1表は UI-51 および UI-52 の最大使用電圧、最大先端逆耐電圧、焦点寸法および最大許容負荷その他使用上必要な事項の一覧表である。

この表から知れるとおり両品種とも使用電圧範囲が5~50kVpでそのうち UI-51 は焦点の大きさが約5mmで50kVp、50mA連続使用の大容量を持っているので、非常に多くのX線量を出すことのできるX線管装置である。そのため UI-51 は蛍光分析用、表在治療用、その他軟X線放射用などに適している。また UI-52 は1.5mmと0.5mmの二重焦点を持っていて、その大焦点側は50kVp、20mAの容量を持ち、一般の軟X線透過試験用に適し、また小焦点側は50kVp、3mA連続の容量を持ち、微小焦点になっているので、軟X線による微細部撮影に好適である。陽極は管容器と同電位になっているので接地して用いられ、また水道水2.5l/min以上の流量で冷却して使用される。

なお UI-51 および UI-52 は Machlett 社製 X線管 OEG-50 と互換性がある。

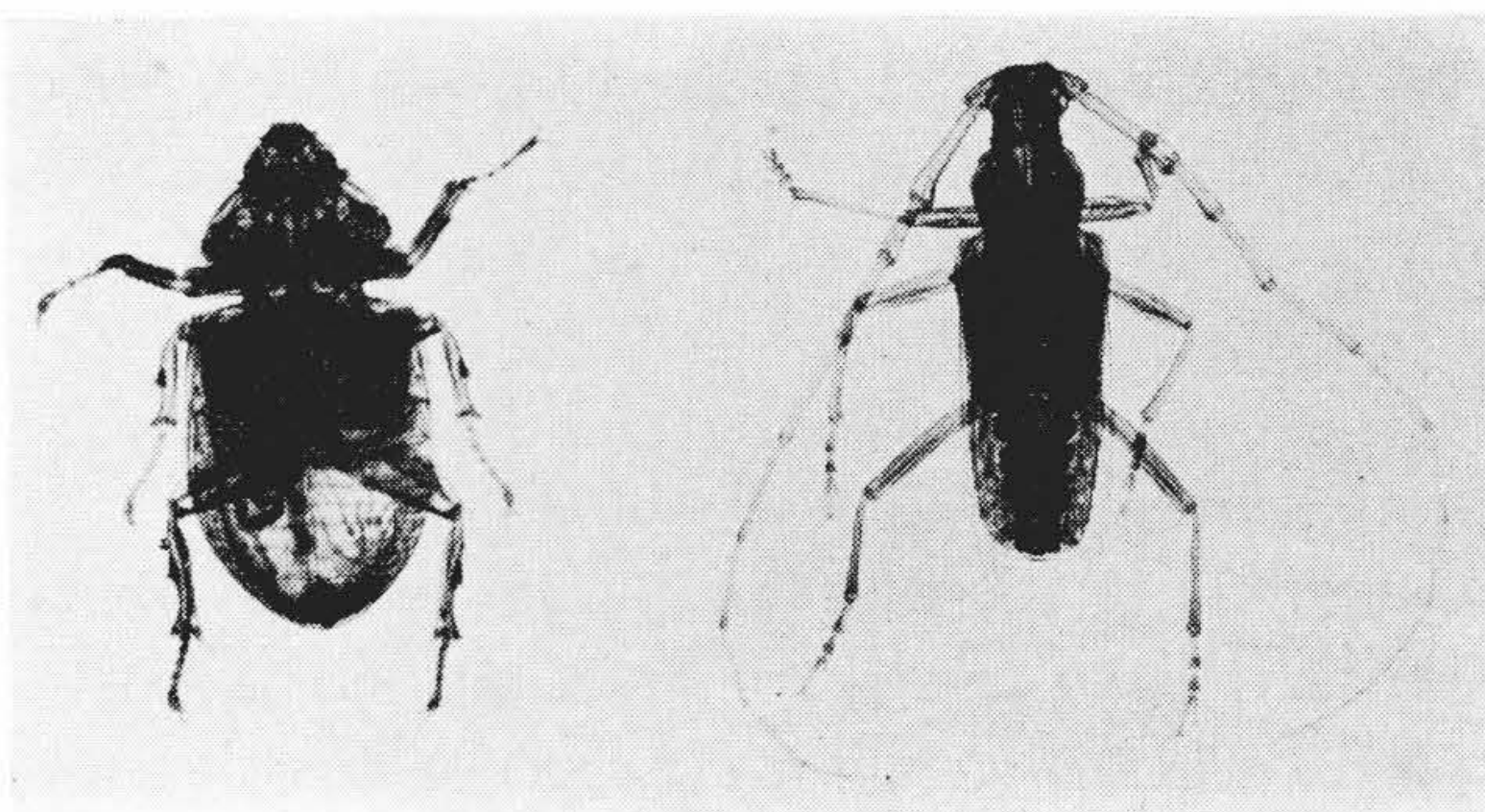
4.2 特 性

第9~11図に UI-51 および UI-52 の管電流特性を、また第12図にフィラメント特性を示す。

4.3 X 線 量

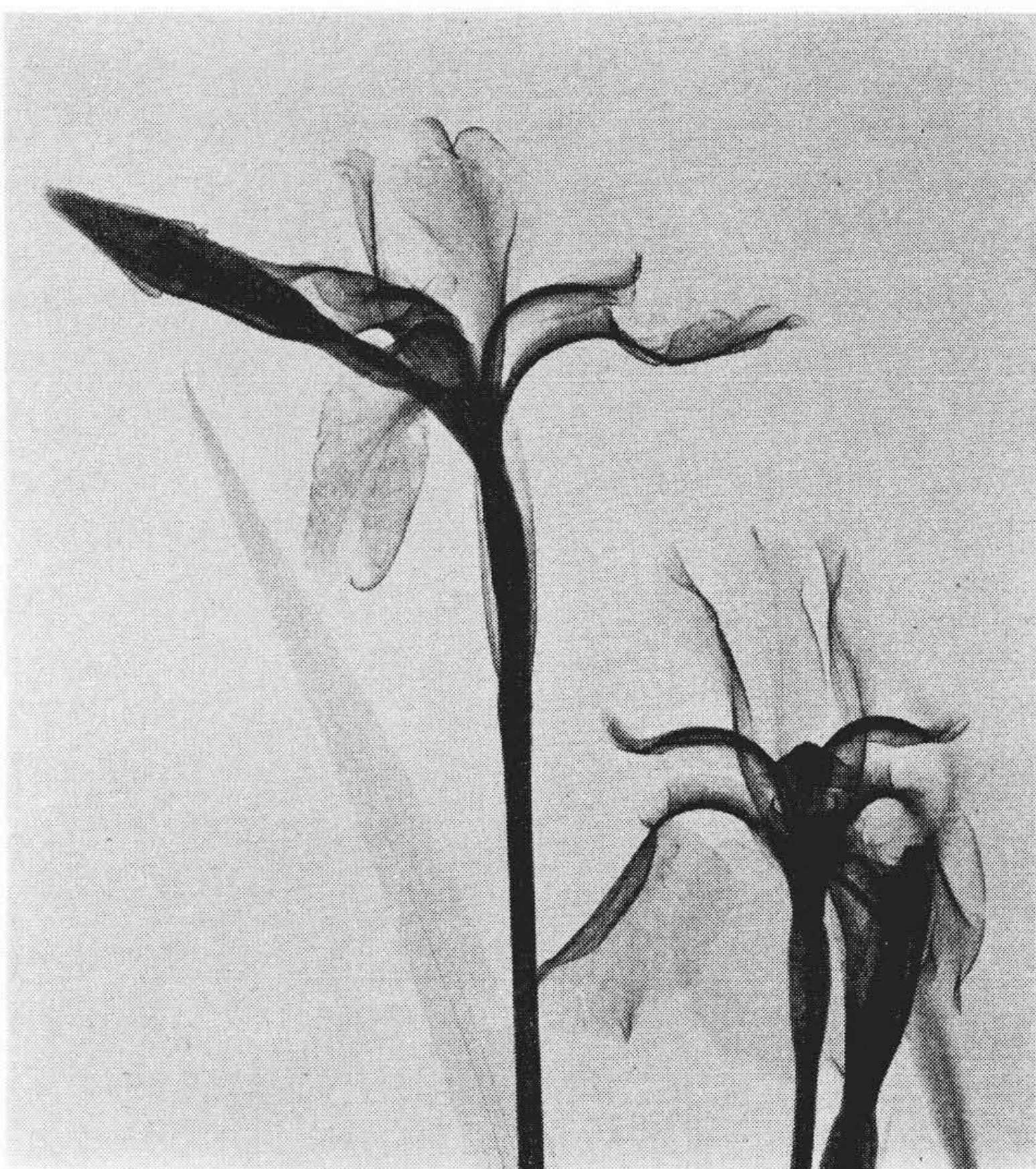
UI-51 から出るX線量(空中線量)を、全波整流回路および自己整流回路、焦点からの距離60cmにおいて測定した結果を第13図に示す。UI-52 の場合でも管電圧、管電流が同じであれば、これと同じX線量を示す。測定に使用した線量計はVictoreenのRoentgen Rate Meter, Model No. 510のProbe No. 612(適用範囲6~35kV実効値)である。

第14図は焦点からの距離をいくつか変えた場合のX線量の変化である。空気による吸収が相当あるので距離を遠ざけると、X線量は距離の自乗の逆数に比例する以上に少なくなっている。



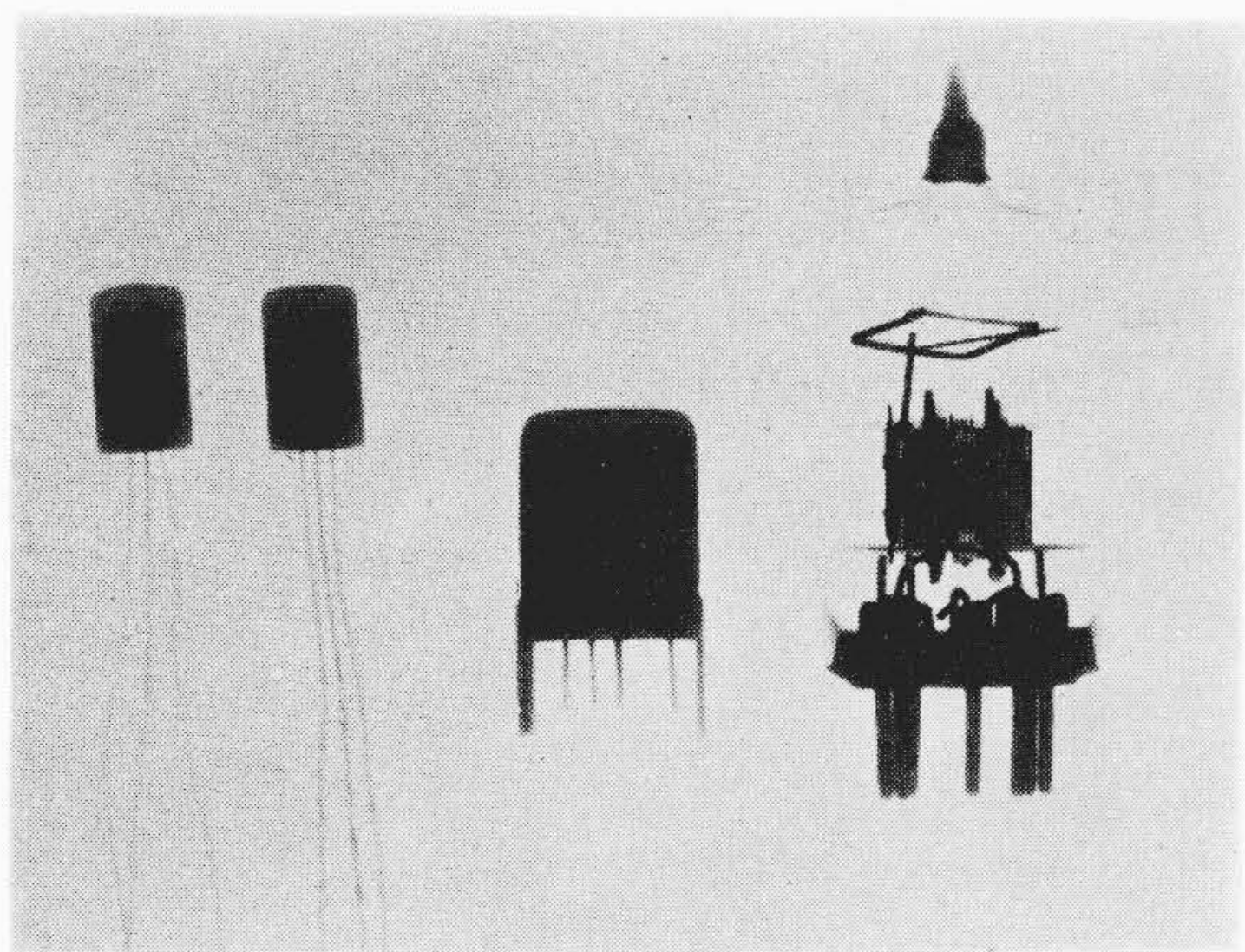
(20 kVp)

第16図 昆虫のX線写真



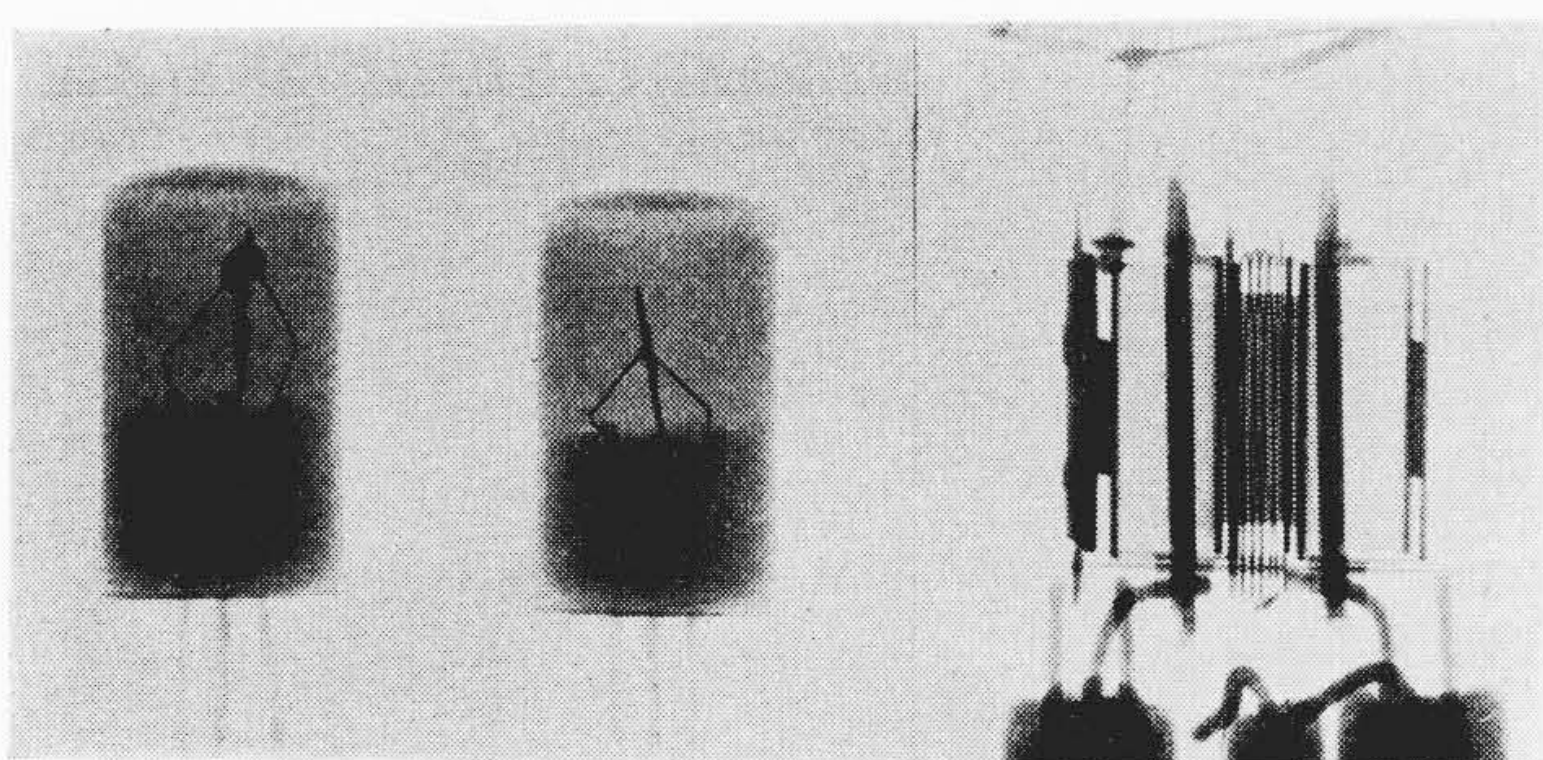
(17 kVp)

第17図 草花のX線写真



(50 kVp)

第18図 真空管とトランジスタのX線写真



第19図 上記写真(第18図)一部の2倍拡大写真

5. 応 用 例

UI-52は軟X線による透過写真撮影に用いられるので、次にいくつかの写真撮影例を示す。

第15図は7 kVp(全波整流回路、以下同じ)の低電圧で撮影した紙幣の写真である。インクのX線吸収差により、その模様がよく出ている。第16図は昆虫の軟X線写真である。0.5 mmの焦点で撮影したので細部がよくわかる(ただし印刷技術の関係で本紙上の写真は原板よりだいぶぼけている)。第17図は草花の写真である。また第18図は真空管とトランジスタの写真である。フィルムに写したこのX線写真を2倍に拡大して見ると、第19図のようになり、ミニチュア管のグリッド線などの細部を知ることができる。これは最高使用電圧で撮影した。

6. 結 言

以上のとおり、ベリリウム板をX線放射窓に持つ使用電圧5～50 kVpの軟X線管 SIO-50-50 および SIO-50-20, ならびにこれらを管容器に取り付けてX線管装置とした UI-51 および UI-52 などを製品として完成したので、その構造、性能、用途、使用例などについて紹介した。このX線管はマイカ板のX線放射窓を持つ軟X線管に比べると、堅ろうで、最大使用電圧および許容負荷が大きくなっている、さらに実用的な軟X線管であるといえることができる。

一般に軟X線管の用途としては表在治療用、工業用、分析用、軟X線写真撮影用その他があるが、そのうち特に工業用としてはまだ軟X線を利用できる未開発の範囲が多々あるものと考えられる。今後これら各方面の応用がますます広がることを期待するとともにここに紹介した軟X線管がそれらに役立つようになれば、筆者らの甚だ幸いとするところである。

参 考 文 献

- (1) 日立評論 43, 109 (昭36-1)
- (2) 高野, 林: 第17回日本放射線技術学会研究発表演題抄録(昭36-4)
- (3) 高野, 林: X線研究協議会資料 No. 98-2(昭36-7), No. 99-2(昭36-9)
- (4) H. Brackney and Z. J. Attlee: Rev. Sci. Instr., 14, 59(1943)



新 案 の 紹 介



登録新案第516264号

塙 晋 平

高 速 度 電 路 遮 断 器

この考案は高速度電路遮断器の保持鉄心において、動作電流の整定を行なう試験線輪の磁束と積放線輪の磁束とが鎖交しないようにしたものである。

高速度電路遮断器は常時接点1, 2と直列関係の積放線輪11の作る磁束 Φ_B が保持電磁石鉄心7に巻かれた保持線輪10の作る磁束 Φ_h に比較して小さいため鉄心7は可動鉄片5を吸引している。

積放線輪11に過大電流が流れると磁束 Φ_B が著しく大きくなり保持磁束 Φ_h を打ち消す。このため可動鉄片5が早切りバネ4に引かれて開閉かん3とともに左方に動き接点1, 2を開放する。

従来この種遮断器においては、無負荷時で動作電流を整定する必要上、補極鉄心9上に試験線輪を巻装していた。この試験線輪は多巻回を要するので遮断器の負荷時に積放線輪へ過大電流が流れると、試験線輪に高電圧が誘起されたり、また、補極鉄心9上に積放線輪と試験線輪が巻装されているため補極鉄心9の取り付けが困難であった。本考案は上述の諸点を考慮して、試験線輪9を積放線輪の磁束 Φ_B と鎖交しないところを選んで鉄心7上に設けたもので、こうすることにより試験線輪12の絶縁は簡単となり、また、補極鉄

心9の固定を確実にしなうことができる。

(岩 田)

