

日立回転陽極X線管ヒッターノードについて

“Hitanode” Rotating Anode X-Ray Tubes

高 野 静 夫* 宇 多 村 幸 彦*

Shizuo Takano

Yukihiko Utamura

内 容 梗 概

診察用の日立回転陽極X線管すなわちヒッターノードにつき構造、種類、規格、性能および寿命などについて総括的に記した。なお診察用の良いX線写真をとるには回転陽極X線管が、いかに良いかということ、X線写真の解像力について10kW固定陽極X線管と比較して示した。

1. 緒 言

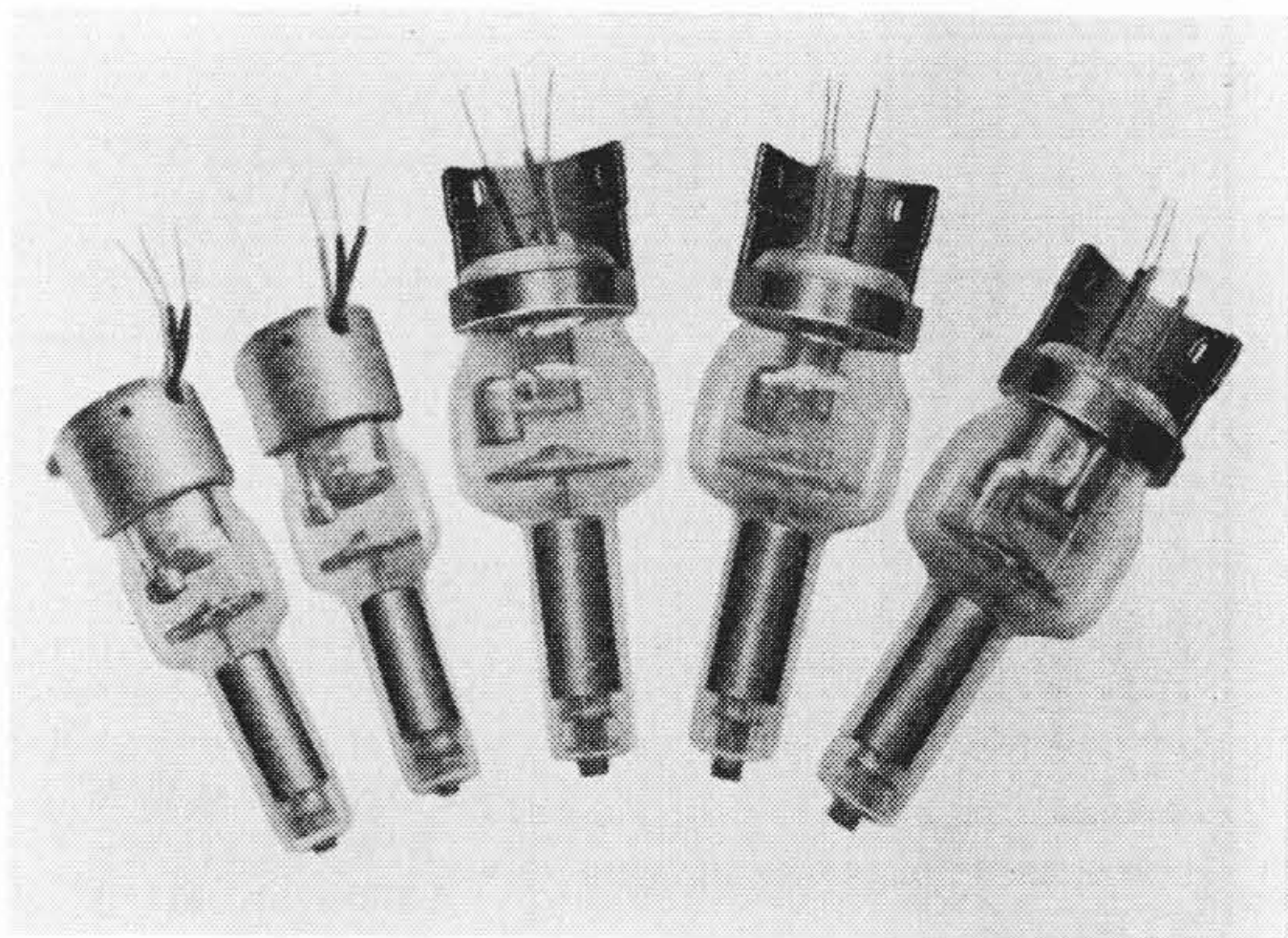
診察用の良いX線写真をとるうえでX線管として必要な条件は、短時間における許容負荷が大きく、そして焦点ができるだけ小さいことである。それには回転陽極X線管が最適であることは今さういまでもない。しかし回転陽極X線管は真空管の内部に設けられた陽極が使用中高速度で回転するので、長寿命のX線管を製作するには高度の技術を必要とするため、国産品の実用化は外国品に比べて大分おくれていた。日立製作所では多年各部門で養われた技術を総合的に発揮して、さきに実用的な診察用回転陽極X線管を完成し「ヒッターノード」という商品名で市販を行うに至った。このX線管の構造は複雑であるにかかわらず、使用法は固定陽極X線管同様に簡単であり、また寿命も十分長くできているので、その後は医療方面に広く利用されるようになった。ヒッターノードの種類も微小焦点をもつもの、高電圧撮影用のものあるいは比較的小形小容量のものなど出そろったのでこれらを取りまとめて紹介する。

2. 構 造

2.1 一般的構造

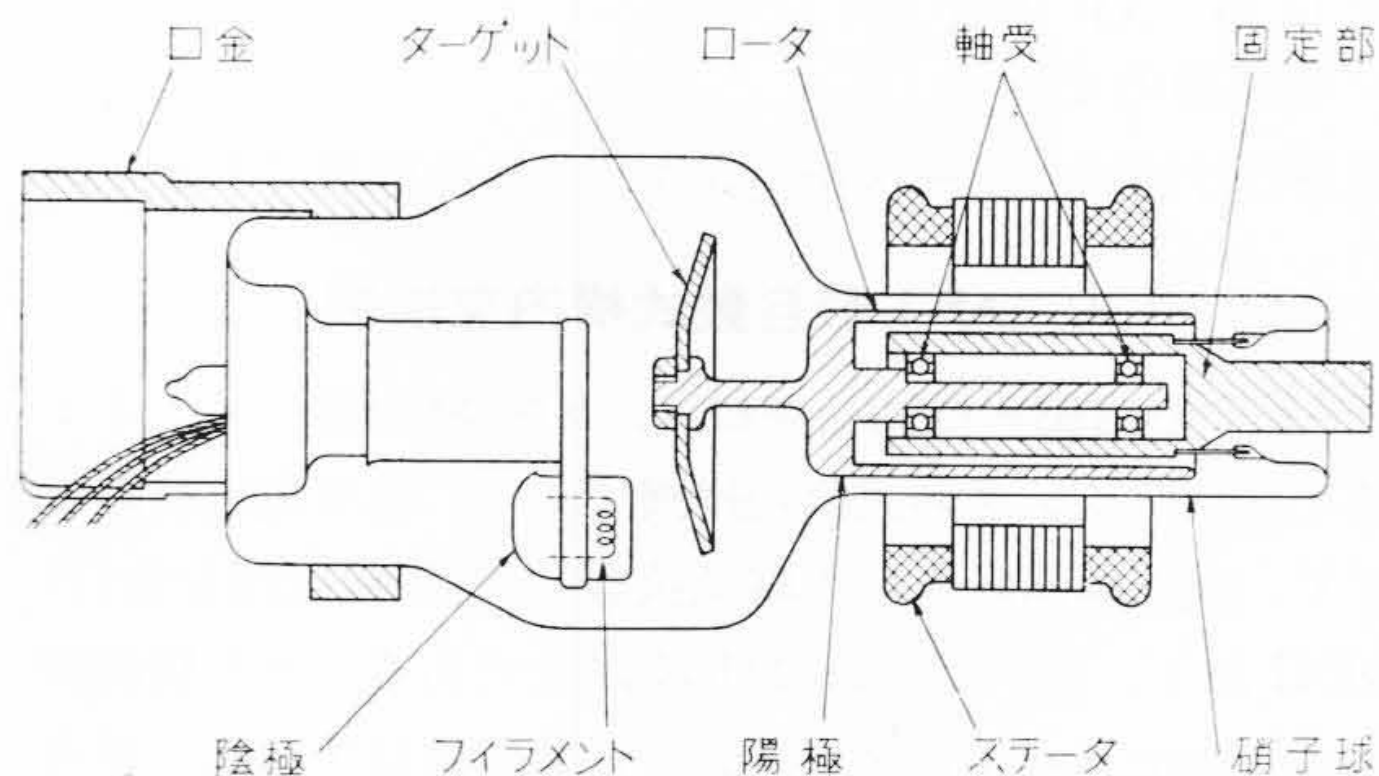
現在各国で用いている回転陽極X線管はほとんど油浸式で、外形もだいたいになっている。第2図にヒッターノードの概略構造を示す。ガラス球の内部に陽極と陰極が封入され、陰極はガラス球につらなるステムに固定されているのは一般の真空管と変りないが、陽極はX線管外に取付けられたステータからの回転磁界を受けて、ガラス球内で高速度で回転するようになっている。そのため陽極は内部に一对の球軸受を持ち陽極固定部にささえられている。また回転する陽極の先端にはかき形状のターゲット用タングステン板が取付けられている。陰極にはタングステン線からなるコイル状のフィラメントが管球の軸からはずれたところにあって、そこから放射された熱電子は高電圧で加速されて陽極側タングステン板の傾斜面に衝突する。ここがすなわち焦点でありX線を発生す

* 日立製作所茂原工場



左より DOR-431, DOR-401, DOR-502, DOR-508, DOR-532

第1図 日立回転陽極X線管ヒッターノード



第2図 ヒッターノードの概略構造図

るとともに、大きな熱も発生する。しかし陽極は回転しているから熱電子の当たる場所はずいぶん変わるため、焦点面の温度上昇は固定陽極X線管に比べて非常に少なくて済む。このさい電子の当たる部分はX線管外部から見ると一定点なので焦点はまったく動かない。したがって回転陽極X線管は焦点が小さいのに大きな負荷を与えることができるのである。

2.2 陽 極

陽極はターゲット、ターゲット支軸、ロータ、軸受および固定部からなっている。ターゲットはかき形状タングステン板でできていて、モリブデンの支軸によりロータに固定されている。ロータは銅と鉄からなりX線管外

部に取付けられるステータと組合わさって誘導電動機を形成するので、ロータは真空管内にあっても回転することになる。使用時の規定回転数は50～では2,700 rpm, 60～では3,200 rpm, また起動してから規定回転数になるまでの時間は約1.2秒である。

焦点面に発生した熱の大部分はターゲットおよびロータの表面から輻射によって外部に放散される。連続使用のときはターゲットのタングステン板全体が約1,000°Cに赤熱する。またロータの表面は数百度に上昇するので、この部分の輻射を良くするよう表面は黒色にしてある。

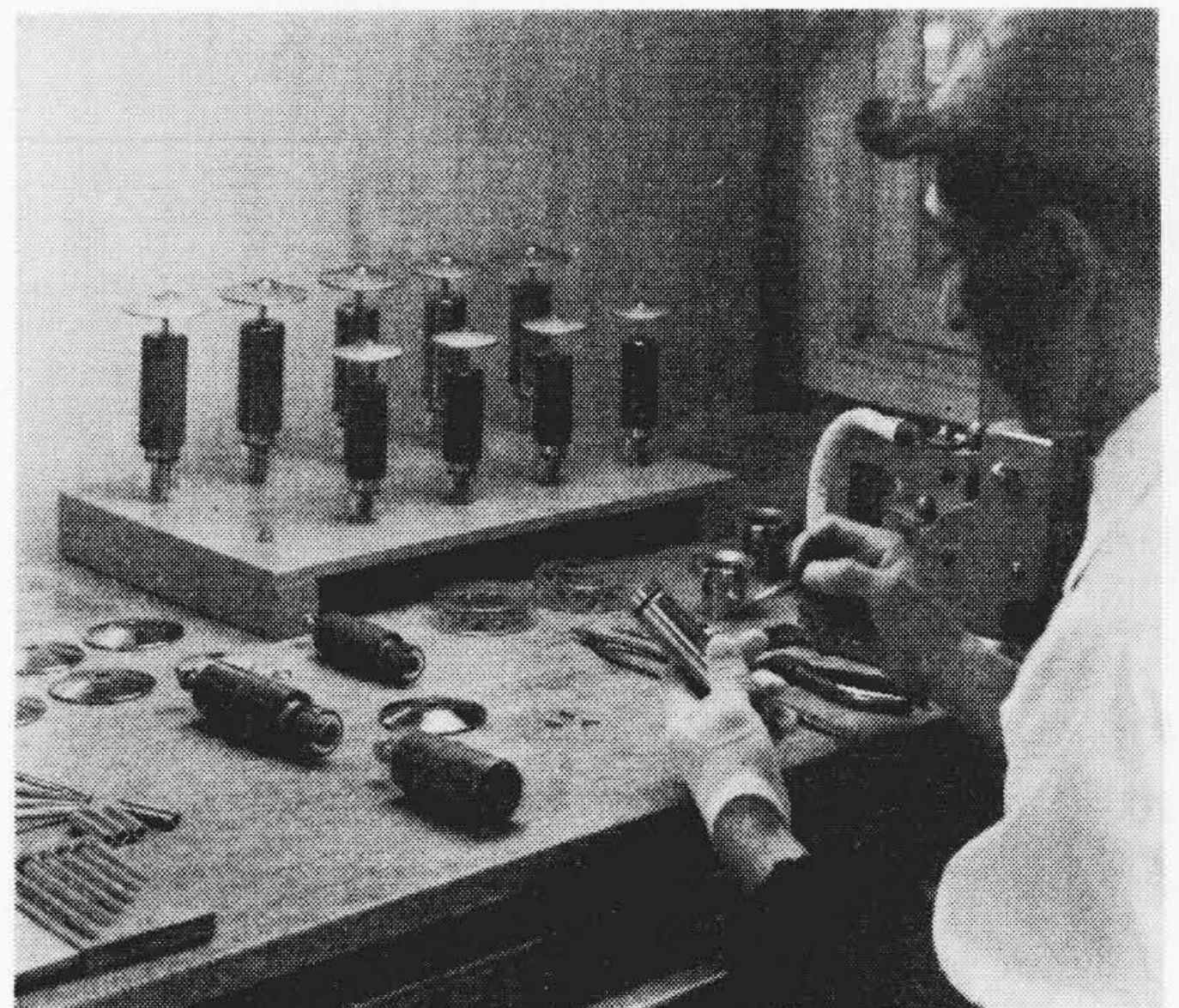
2.3 軸 受

軸受はヒッターノードでもっとも重要な部分である。一般の軸受と異なり高真空中にあるため油性の潤滑剤を用いることができない。また潤滑剤を補給することもできない。さらに軸受部分は管球製作中および使用中に400°Cくらいの高温になるので、材料も耐熱性のものを用いなければならない。

ヒッターノードの場合は自社製の材料による球軸受に固体潤滑剤を用いてその目的を達している。またX線管は縦横任意の位置で使用してよい構造になっている。

2.4 陰 極

陰極のフィラメントはX線管の軸からはずれたところにあるほかは、線焦点式になっているなど固定陽極X線管の場合と同様である。ヒッターノードの実効焦点の大きさには2, 1.8, 1.5, 1.0, 0.8および0.3 mm平方の種類があるが、陰極はこれらの焦点が単独にあるいは二重



第3図 ヒッターノード組立作業

焦点として正しく得られるようにできている。

2.5 ステータ

ステータはX線管の外部にガラス球壁を隔てて、ロータと相対して取付けられる。単相100Vを電源としコンデンサ起動方式によりロータを回転せしめる。このステータはアース電位なのでロータとの間に数万ボルトの電位差がある。

3. 種 類

第1表に示すようにヒッターノードには現在7種類がある。これらは最大使用電圧、実効焦点および陽極熱

第1表 日立回転陽極線管“ヒッターノード”仕様一覧

形 名	実効焦点 (mm)	最大使用電圧 (kVp)	最 大 定 格		陽 極 熱容量 (HU)	最大フィラ メント加熱		外 形 寸 法		重量 (kg)	タ 角 ー ゲ ッ ト 度	使 用 例
			連 続 値 (HU/s)	短時間 値		電圧 (V)	電流 (A)	全 長 (mm)	最大径 (mm)			
DOR-401	1.8×1.8	100	240	第4図～第6図に示す。	40,000	8.6	5.2	244 (口金なし)	75	1	16°	断層装置用, 300mA 装置用
	0.8×0.8	100	240		40,000	5.5	5.2	214				
DOR-431	1.8×1.8	125	240		40,000	8.6	5.2	244 (口金なし)	75	1	16°	断層装置用, 高電圧撮影用
	0.8×0.8	125	240		40,000	5.5	5.2	214				
DOR-502	2×2	100	340		65,000	12.0	5.5	307 (口金なし)	108	1.4	17°	500 mA 装置用
	1×1	100	340		65,000	9.5	5.0	255				
DOR-503	1.5×1.5	100	340		65,000	9.5	5.0	307 (口金なし)	108	1.4	17°	拡大撮影用および普通撮影用
	0.3×0.3	100	340		65,000	3.2	4.5	255				
DOR-508	2×2	コンデンサ式80			65,000	12.0	5.5	307 (口金なし)	108	1.4	17°	コンデンサ式装置用
		100	340									
DOR-532	2×2	125	340		65,000	12.0	5.5	307 (口金なし)	108	1.5	17°	高電圧撮影用
	1×1	125	340		65,000	9.5	5.0	255				
DOR-533	1.5×1.5	125	340		65,000	9.5	5.0	307 (口金なし)	108	1.5	17°	高電圧撮影および拡大撮影用
	0.3×0.3	125	340		65,000	3.2	4.5	255				

注：冷却方式は各形名とも油浸

第2表 ヒッターノードと固定陽極X線管の
最大許容管電流の比較例

管球の種類	実効焦点 (mm)	最大許容管電流 (mA) (全波整流回路)	
		0.1秒, 70kVp	1秒, 60kVp
ヒッターノードDOR-502 (大焦点 50~)	2×2	500	420
ヒッターノードDOR-401 (大焦点 50~)	1.8×1.8	300	230
固定陽極SDO-10 X線管	5×5	255	210

特性などが異なっている。最大使用電圧は普通撮影用の100 kVpのものと、高電圧撮影用の125 kVpのものがある。また実効焦点の大きさには前述のように0.3 mmより2 mmまでの各種があって、焦点が小さいほど鮮鋭度の良い写真がとれるのはもちろんであるが、各一回ごとの短時間許容負荷量も少なくなるので、使用のときは必要な許容負荷の範囲でなるべく小さい焦点が選ばれる。つぎに陽極熱特性というのは陽極の熱容量と冷却率のことであるが、この二つが大きい管球ほど短時間負荷を何回も繰返すことができ、また透視のための連続負荷を多く与えることもできる。つぎにヒッターノードの各形名ごとにその特長を述べよう。

DOR-401 は小形軽量にできていて、陽極熱容量も比較的小さい。焦点は1.8mmと0.8mmなので十分鮮鋭度の良い写真が得られるから、断層撮影装置、300mA形装置あるいは100mA形装置などに用いれば最適である。

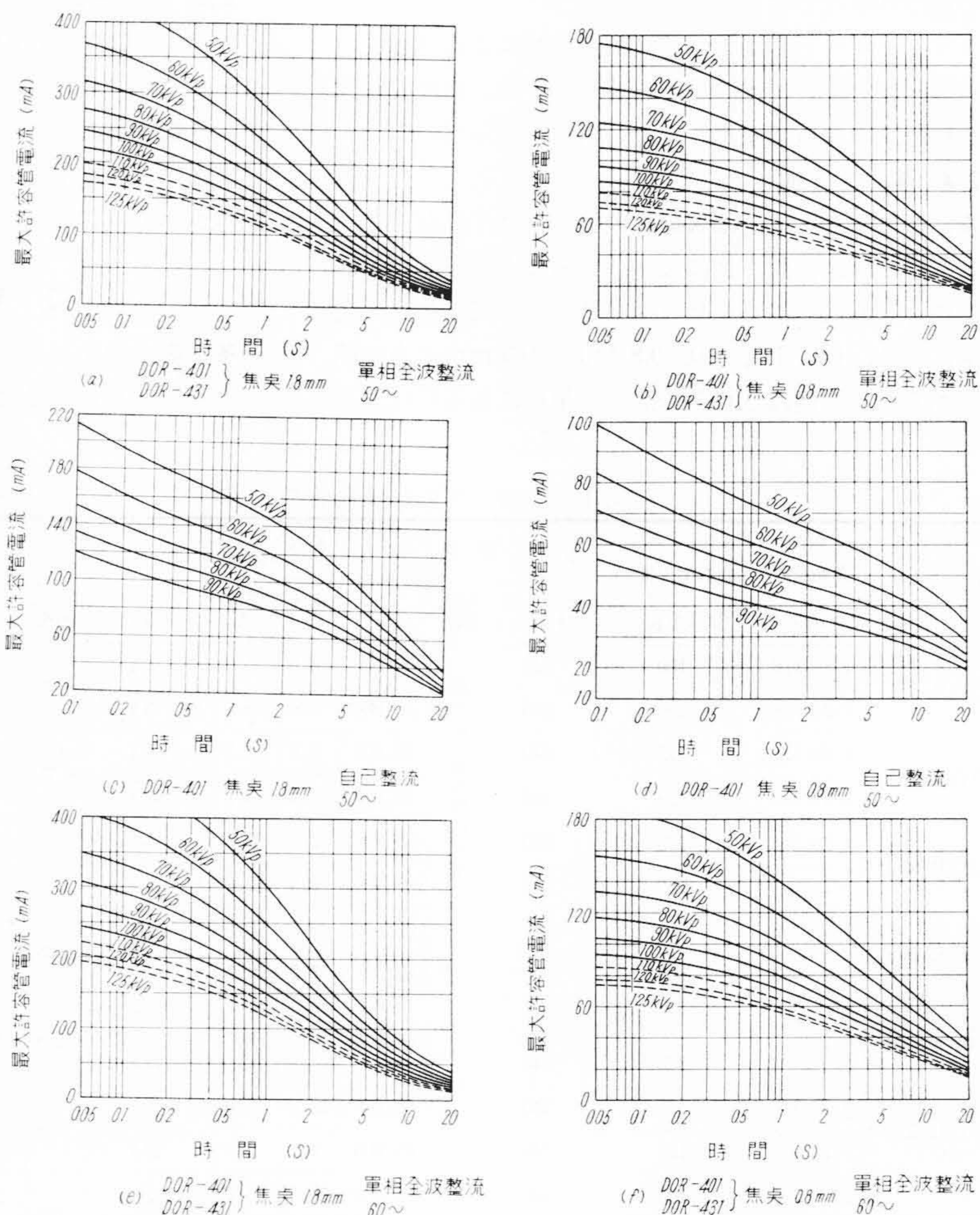
DOR-431はDOR-401と外形寸法、焦点の大きさ、陽極熱特性などが同じであるが、125kVpまでの高電圧撮影に使用できるX線管である。

DOR-502 は焦点 2 mm と 1 mmをもつ診察用の最も一般向きのヒッターノードで、その負荷容量は500mA形X線装置に適している。従来固定陽極形10kW X線管を500mA形装置に広く用いていたが、それではX線管の負荷容量に制限されて装置の容量一杯に使用することができなかった。しかしヒッタ

ーノード DOR-502 を用いればちょうど500mA装置に合った容量となるので理想的である。第2表にヒッターノード DOR-502 および DOR-401 と 10 kW 固定陽極形X線管 SDO-10の焦点の大きさおよび負荷能力を比較して示したが、これよりヒッターノードは焦点が小さいにもかかわらず大きな短時間負荷を与えられることがわかるであろう。

DOR-503はDOR-502と同形であるが、1.5 mm と 0.3 mmの焦点からなり、1.5 mmの焦点は普通撮影に用いられるが0.3 mmの微小焦点は拡大撮影に使用される。この微小焦点で撮影した像の鮮鋭度がいかに良いかということは、後述の解像力試験の写真を見ればよくわかると思う。

DOR-508 は焦点 2 mm のコンデンサ装置用のヒッターノードである。一般にフィラメント制御回路のコンデンサ装置にX線管を用いるときは、フィラメント電流が多く必要になるので、DOR-508 はこのような場合でも



(点線は高電圧撮影用管球のみに適用する)

第4図 最大許容管電流

X線管のフィラメント寿命が短くならないように設計されている。

DOR-532とDOR-533はそれぞれDOR-502、DOR-503と外形、焦点寸法および陽極熱特性などが同一であるが、125 kVpまで使用できる高電圧撮影用ヒッターノードである。

4. 使用規格と特性

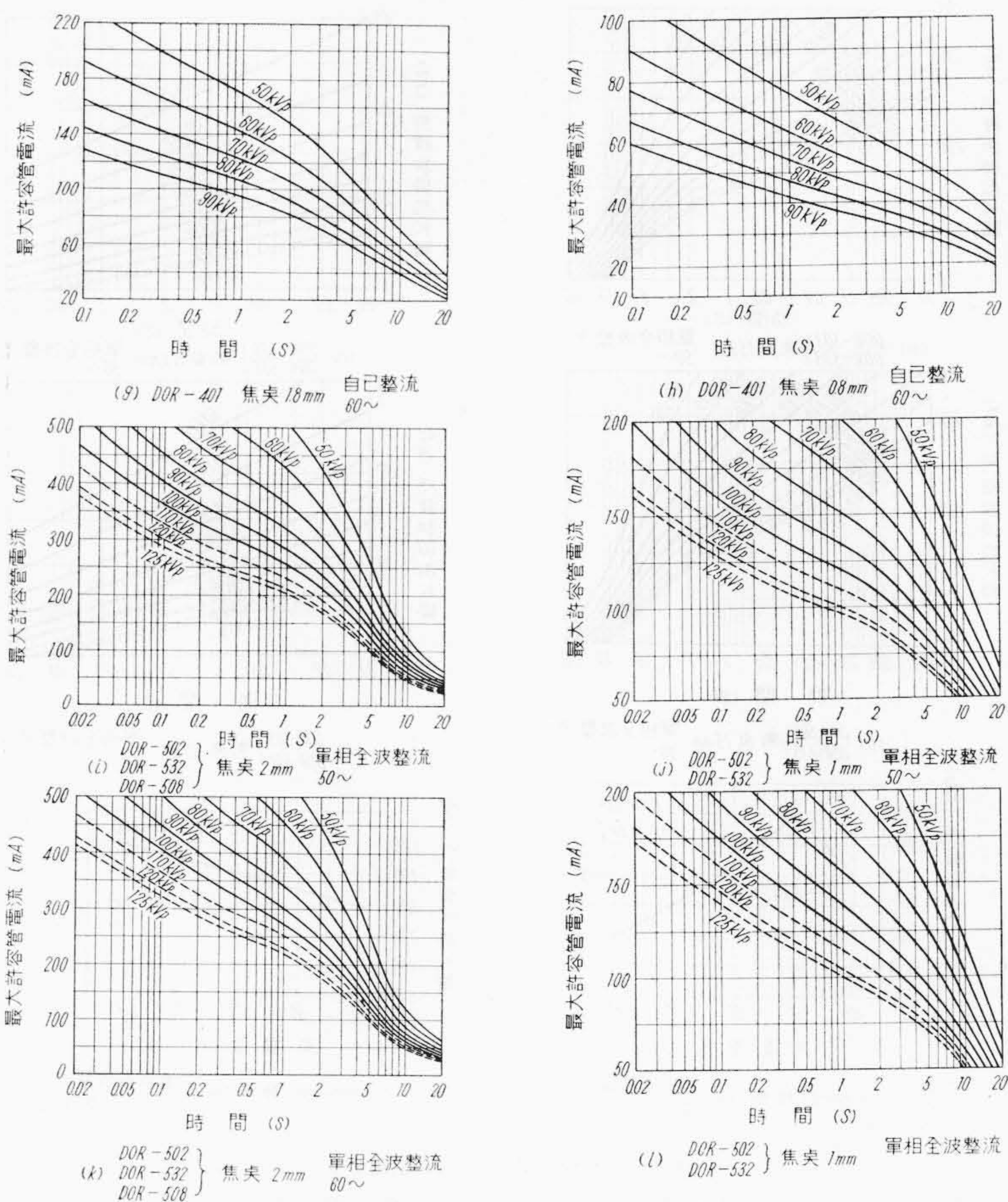
4.1 使用規格

ヒッターノードの使用規格としては最大使用電圧、短時間および連続負荷における最大許容管電流、最大陽極蓄積熱量、最大フィラメント加熱などが定められている。これらはみな最大値を示しているので使用にさいしてはこの値をいかなる場合でもこさないように注意しなければならない。最大使用電圧、最大フィラメント加熱その他は第1表に示したとおりである。また短時間における最大許容管電流については第4～6図に示す。この最大許容管電流は焦点の大きさ、管電圧、時間によって異なるのはもちろん、整流回路、電源周波数などによっても異なっている。

つぎに最大陽極蓄積熱量というのは、陽極にその値以上の熱量が蓄積されるような方法で使用してはならないという数値である。一般に撮影の負荷（短時間負荷）を繰返した場合は、その負荷を合計した値だけ陽極に熱として蓄積される。しかし負荷を休むとその間に熱が逃げるので陽極蓄積熱量は順次下ってくる。また透視の負荷（連続負荷）の場合は、時間が長いので陽極に熱が蓄積される一方その間に逃げる熱もあるので、陽極に蓄積される熱量は負荷した値よりも少ない。それで第7図と第8図に示すように陽極熱特性図を設けて、透視の場合の陽極蓄積熱量と、休止した場合の冷却量を表している⁽¹⁾。この陽極熱特性図はヒッターノードの陽極の形状により決定されるので、DOR-502などの普通容量のものと、DOR-401などの小容量のものとに分れている。陽極蓄積熱量を表す単位としてHU (heat unit)を用いる。

$$1 \text{ HU} = 1 \text{ kVp} \times 1 \text{ mA} \times 1 \text{ s}$$

ただし三相全波整流回路の場合は



(点線は高電圧撮影用管球のみに適用する)

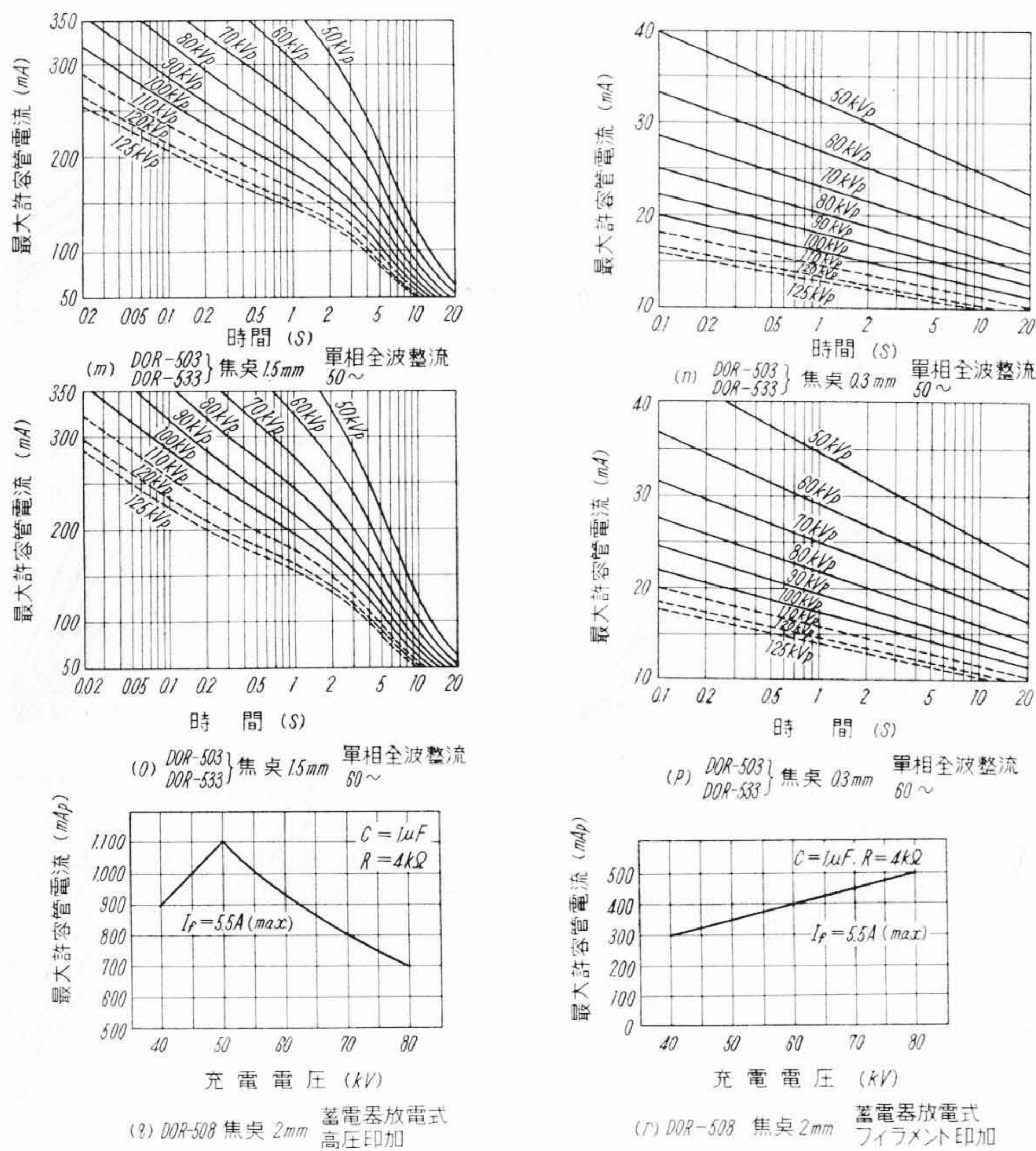
第5図 最大許容管電流

$$1 \text{ HU} = 1 \text{ kVp} \times 1 \text{ mA} \times 1 \text{ s} \times 1.35$$

なお第4～6図の最大許容管電流は撮影のときの各一回ごとの負荷の最大を示すものであるが、陽極が冷いときを基準にしているので、陽極蓄積熱量が最大許容値の半分以上になっている時は、撮影の各一回ごとの負荷は最大許容管電流の70%以下で行わなければならない。透視に引続いて撮影を行う場合、あるいは集団検診の間接撮影のような場合が大体これに相当する。

つぎに撮影の負荷を与える場合は必ず陽極が規定の回転数に達していなければならない。そのため陽極を起動してから約1.2秒以上たたなければ高電圧負荷が与えられないような安全回路を設ける必要がある。第19図に回路図を示すようなヒッターノード駆動装置をヒッターノードに組合わせて使用すれば、陽極を起動してから約1.2秒たたないと撮影の負荷が入らないようになっているので安心である。

透視の場合には普通陽極を回転しないで行う。ただし0.3 mm 焦点の場合は焦点の過熱を防ぐため回転して行



(点線は高電圧撮影用管球のみに適用する)

第6図 最大許容管電流

う。

4.2 管電流特性およびフィラメント特性

第9図と第10図に管電流特性およびフィラメント特性を示す。ヒッターノードは固定陽極X線管に比べて焦点が小さいのに大きな管電流で使用するため、撮影のさ

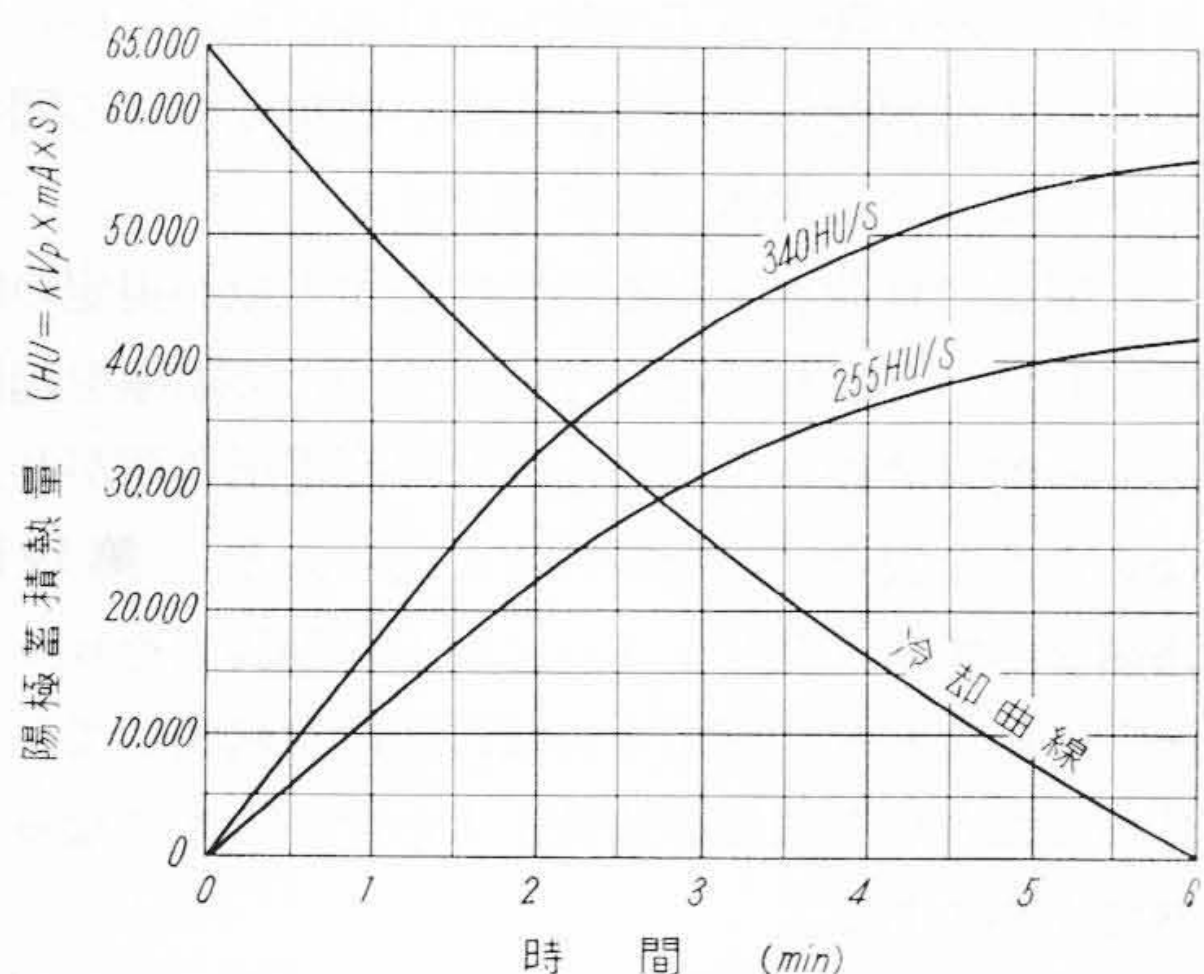
いのフィラメント温度は一般に固定陽極X線管の場合より少し高い。そのため撮影の条件でフィラメントを点火したまま放置することはフィラメントの寿命を短くするので、さけなければならない。撮影のときははじめにフィラメントをある程度予熱しておき、撮影の1~2秒前に所定のフィラメント電流に上昇し、撮影終了とともにふたたび予熱条件まであるいは完全に零まで下げる方法がとられるが、それにはヒッターノード駆動装置のフィラメント回路を用いれば、自動的にこの操作を行うことができる。

4.3 焦点の解像力

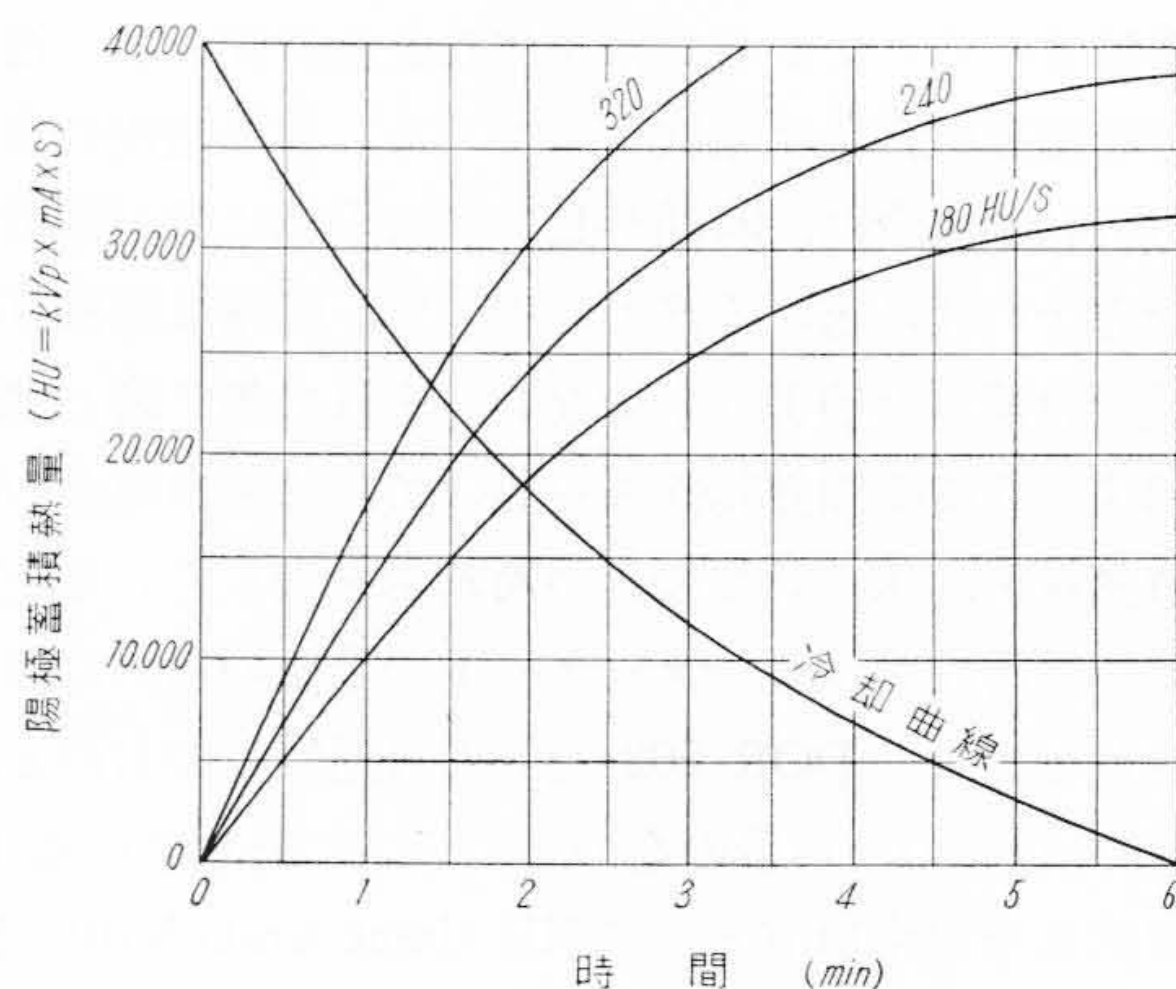
ヒッターノードで撮影した写真の鮮鋭度がいかに良いかということを知るために解像力を調べた。すなわち第11図のように線径dのまっすぐな線を線径と同じ間隔dを隔てて4本並べた試験片を作り、それをある拡大率でX線撮影したとき、その写真像がはっきり4本の線に見分けられるのを解像したとい

う⁽²⁾。試験片としては第12図に実物大のX線写真を示すように0.15mmφから2.0mmφまでの13種類の線径のモリブデン線を用いた。そしてX線写真像の拡大率として1.2倍と2倍について行った結果を第3表に示す。

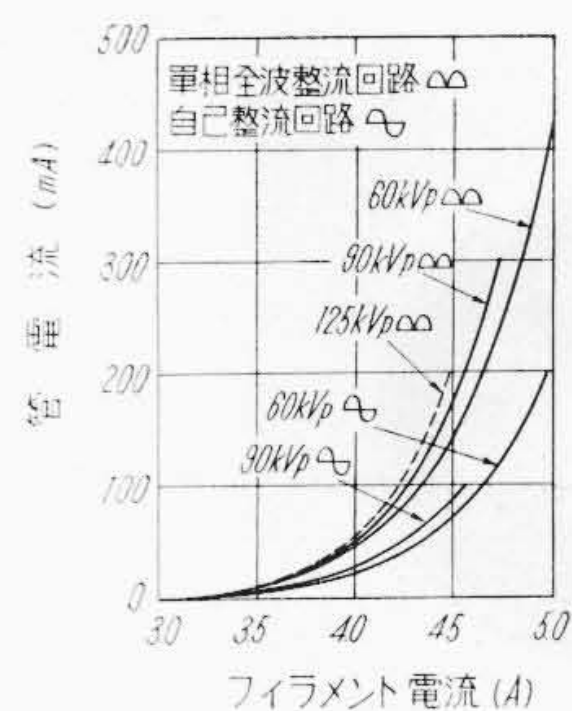
この解像力は焦点の幅方向と長さ方向では異なってい



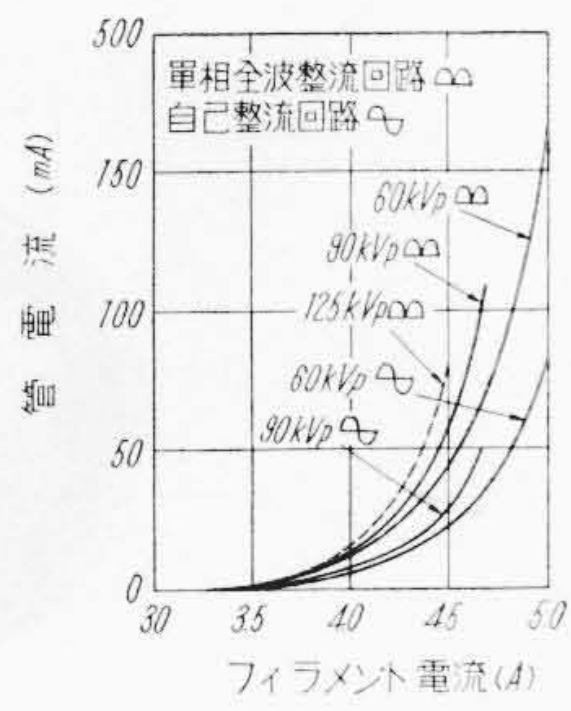
第7図 陽極熱特性図



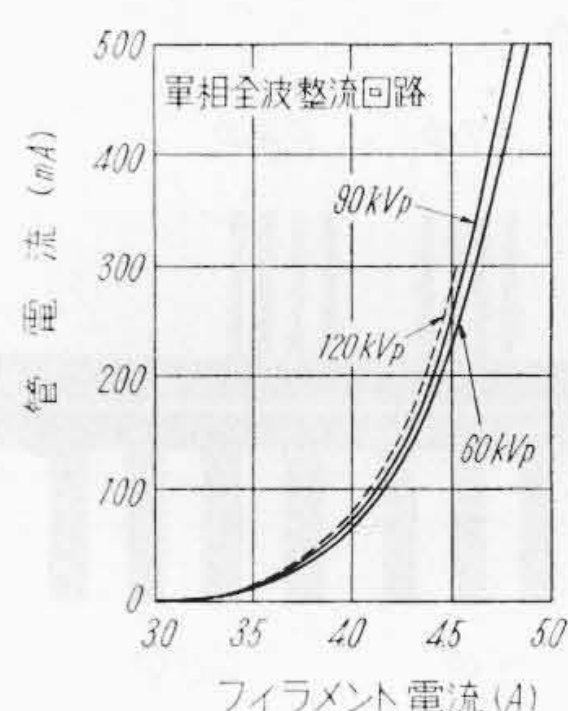
第8図 陽極熱特性図



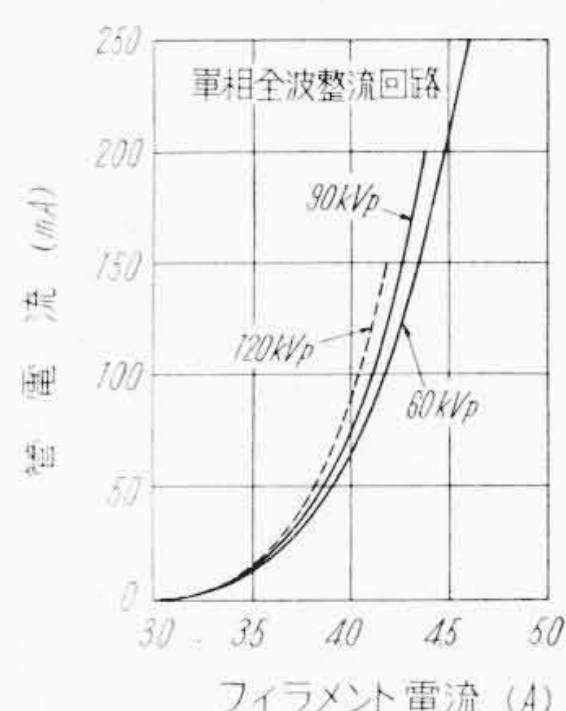
焦点 18mm
(a) DOR-401 DOR-431



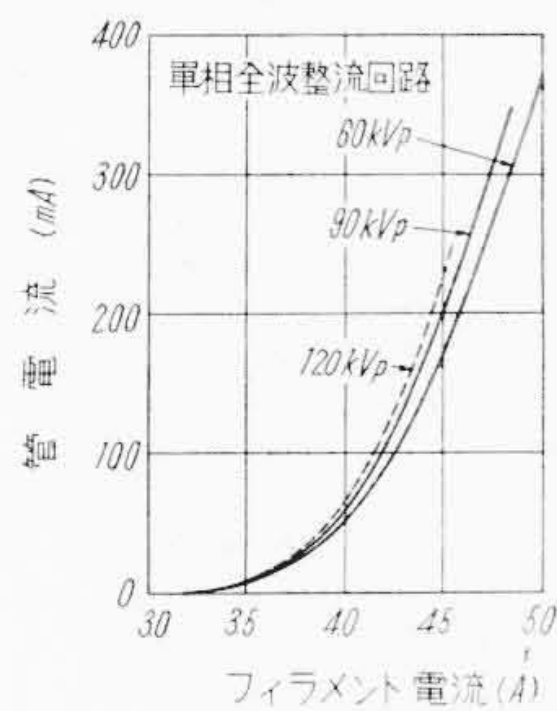
焦点 0.8mm
(b) DOR-401 DOR-431



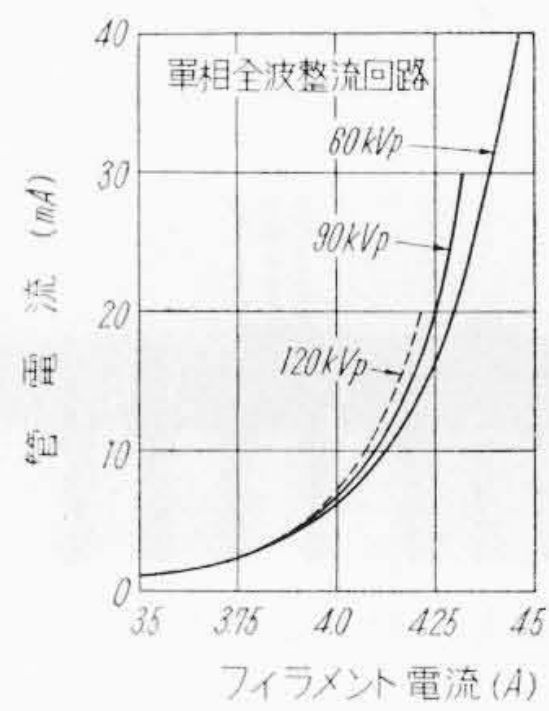
焦点 2mm
(c) DOR-502 DOR-532



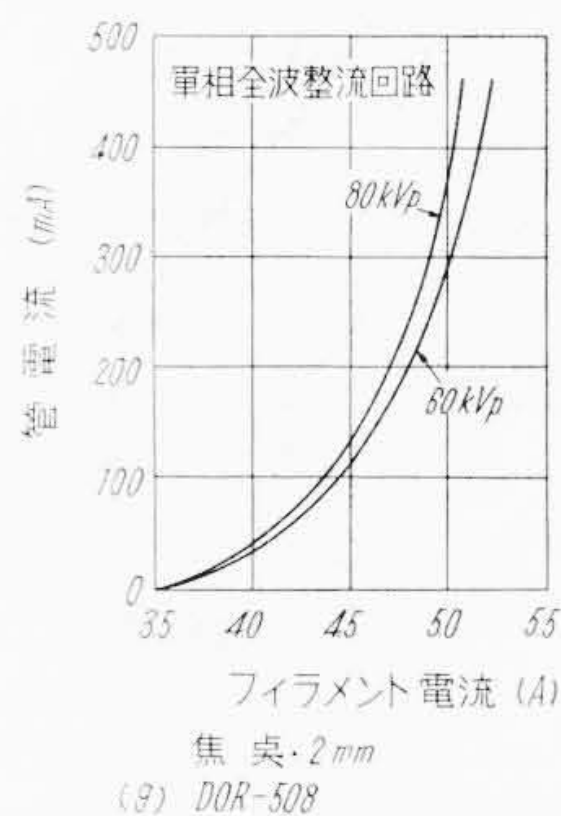
焦点 1mm
(d) DOR-502 DOR-532



焦点 15mm
(e) DOR-503 DOR-533

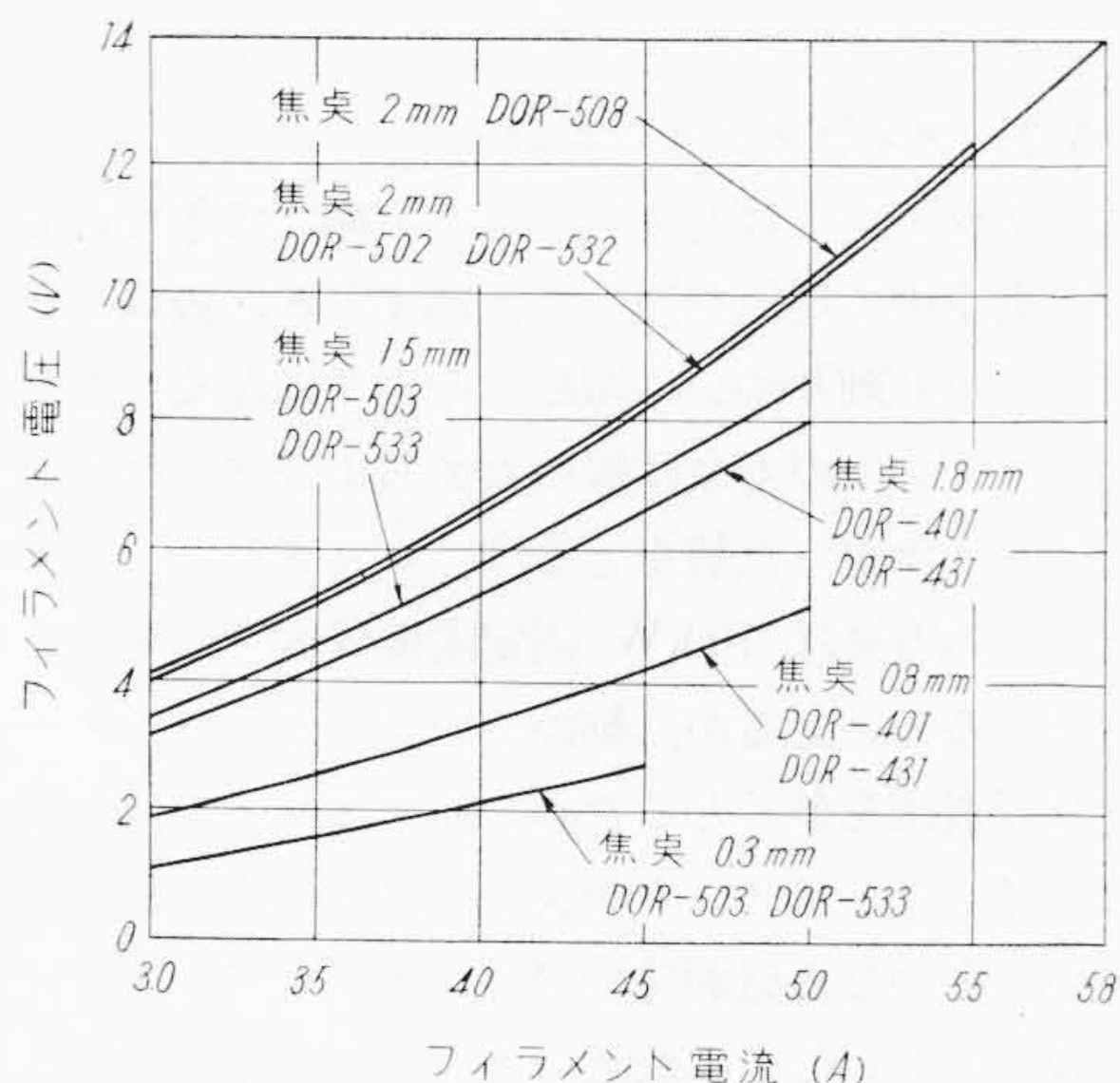


焦点 0.3mm
(f) DOR-503 DOR-533



焦点 2mm
(g) DOR-508

(点線は高電圧撮影用管球のみに適用する)
第9図 管電流特性



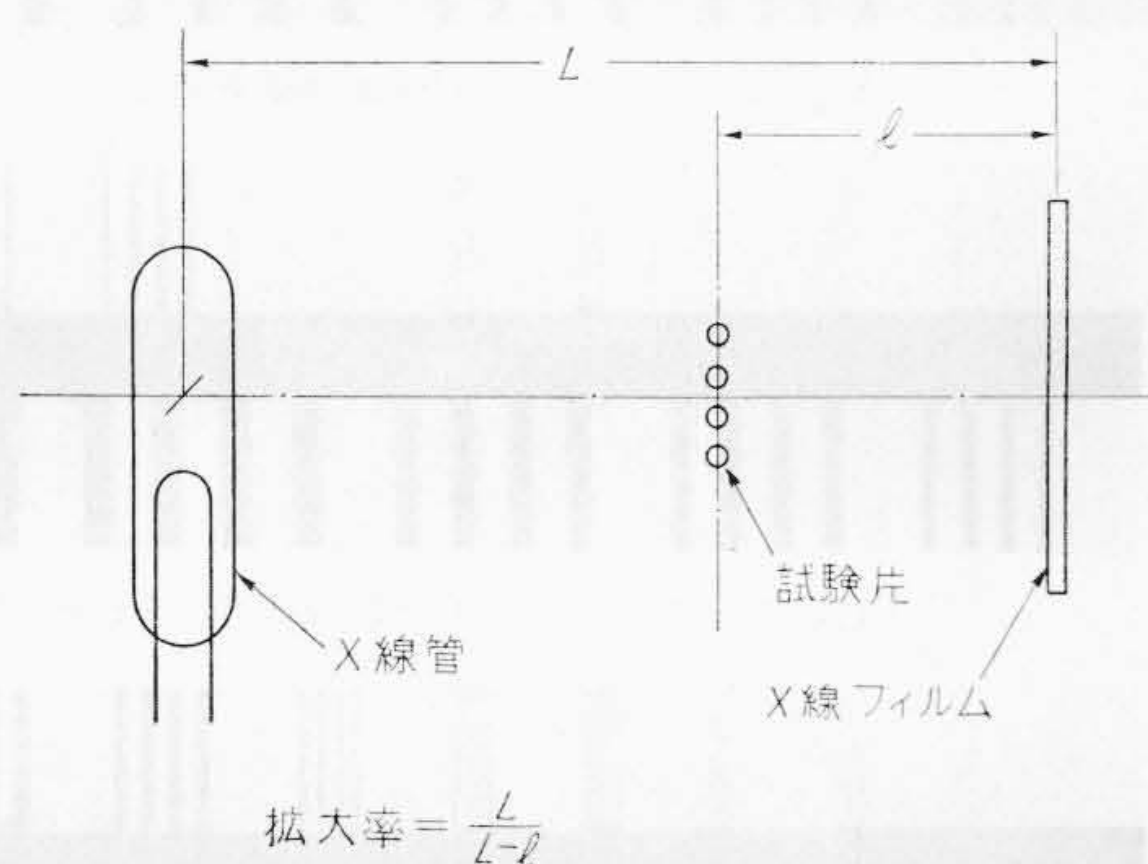
第10図 フィラメント特性

て、一般に長さ方向の解像力が良い。第3表から知れるように10kW固定陽極X線管の5mm焦点(幅方向)では、二倍の拡大率において線径1.75mmφまでを解像するにすぎないが、ヒッターノードDOR-502の2mm焦点(幅方向)では同じ拡大率で線径0.8mmφまで解像し、さらにヒッターノードDOR-503の0.3mm微小焦点では同じ拡大率で線径0.18mmφの細い線を完全に解像している。これら解像力写真の一例を第13図に示す。第13図のX線写真は拡大率二倍で撮影したが、紙面の都合上それを二分の一に縮尺して掲載したものである。

5. 寿命

5.1 回転寿命

一般に回転陽極X線管の寿命を

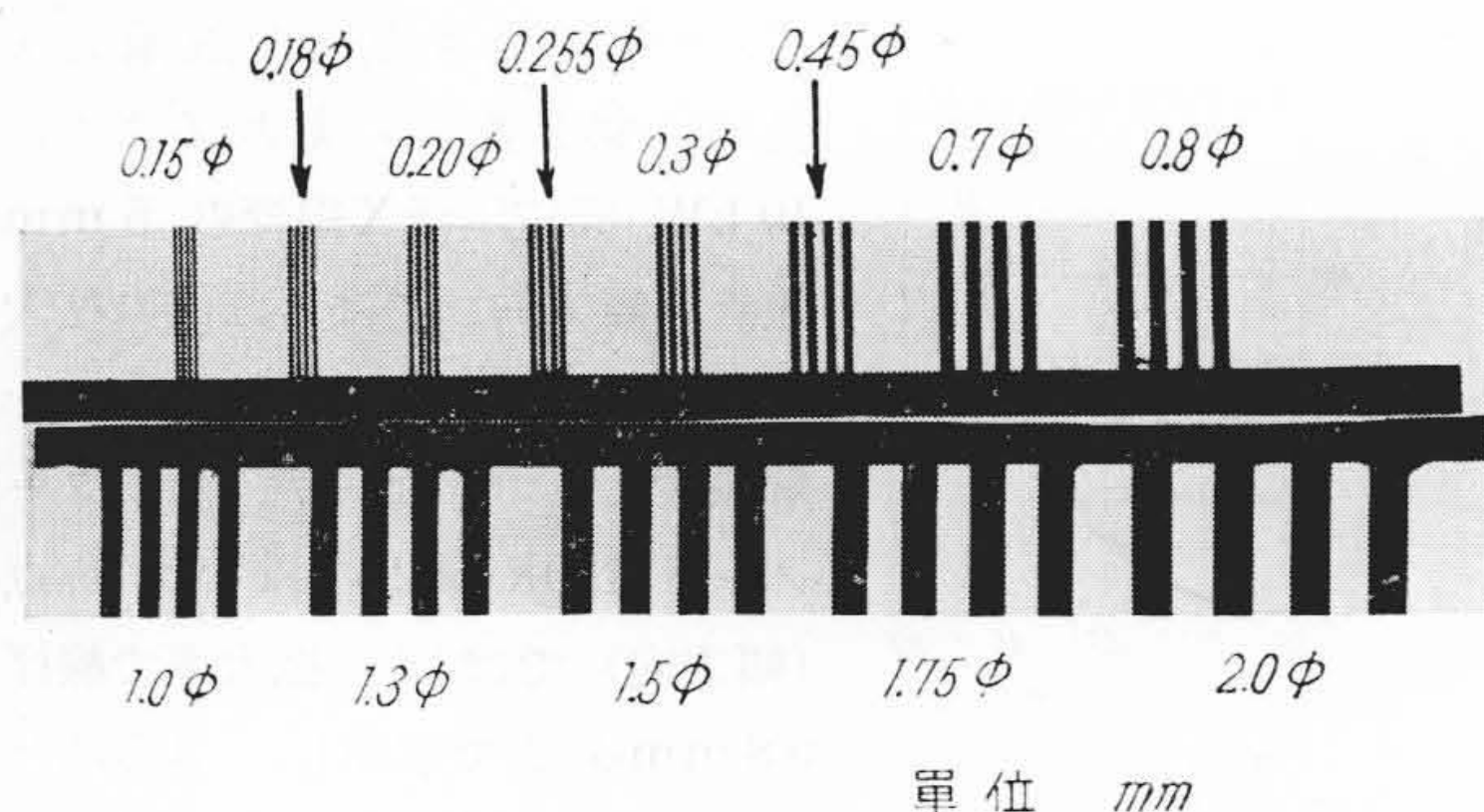


第11図 解像力試験配置図

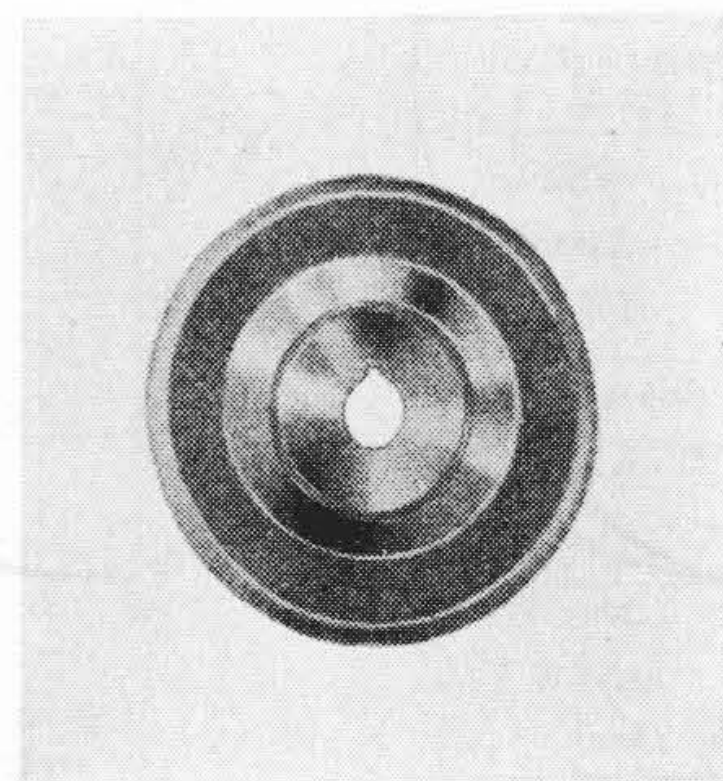
第3表 焦点の解像力試験

管球の種類	実効焦点	測定方向	解像する最小の線径	
			拡大率 1.2	拡大率 2.0
10kW固定陽極X線管 SDO-10	5mm	幅	0.7mmφ	1.75mmφ
		長さ	0.455	1.0
ヒッターノード DOR-502 (大焦点)	2	幅	0.255	0.8
		長さ	0.18	0.7
ヒッターノード DOR-502 (小焦点)	1	幅	0.18	0.7
		長さ	0.15	0.18
ヒッターノード DOR-503 (小焦点)	0.3	幅	0.15	0.18
		長さ	0.15	0.15

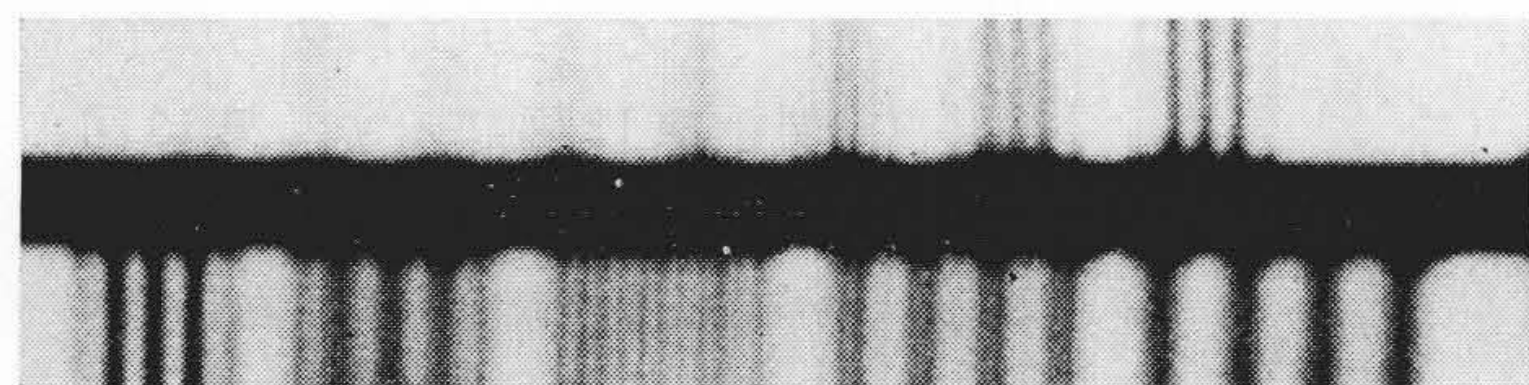
注：使用した解像力試験片の線径の最小は0.15mmφなので、上表で0.15mmφを解像しているものはさらに細い線径のものを解像する可能性がある。



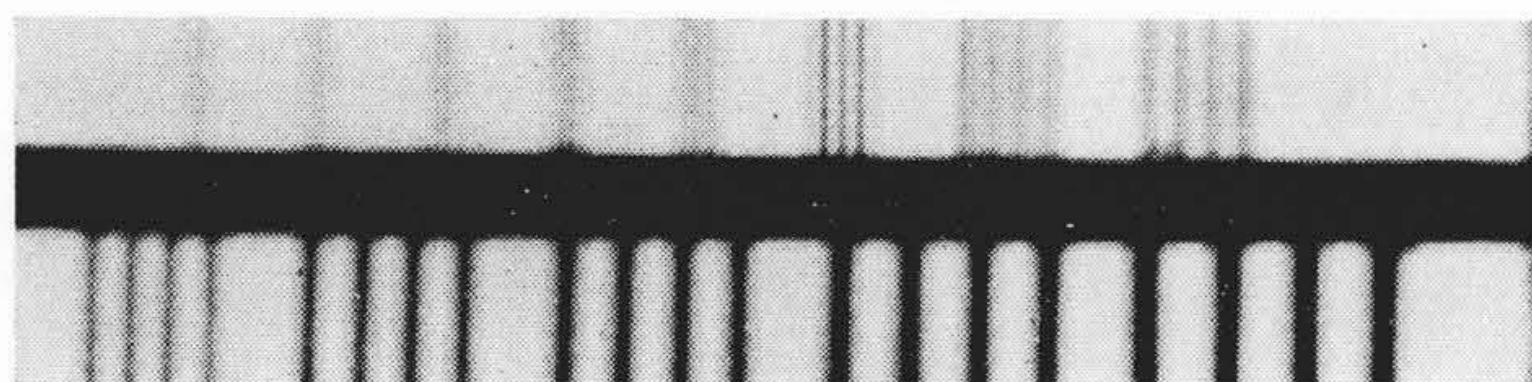
第12図 解像力試験片のX線写真(実物大)



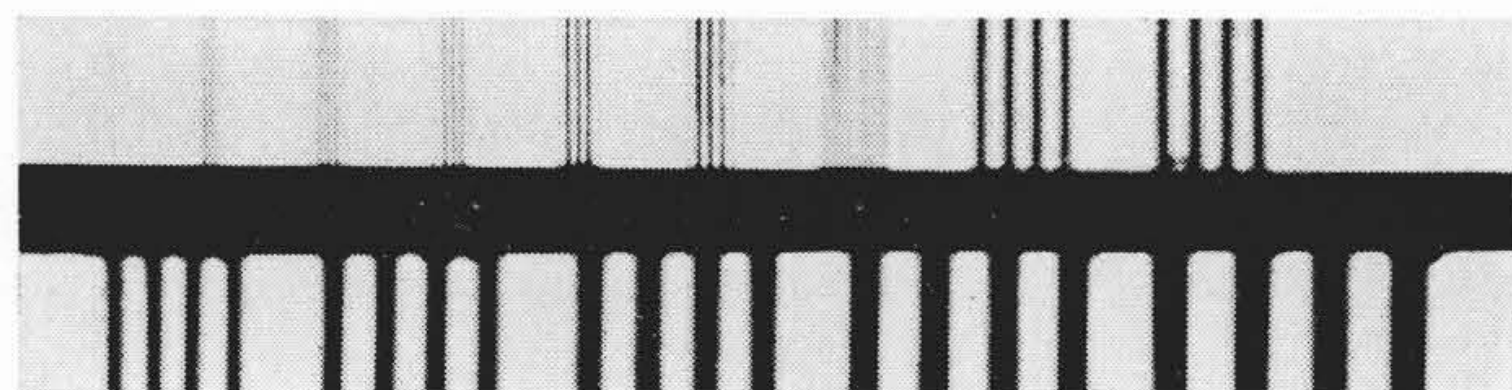
第14図 使用済のターゲット用タングステン板



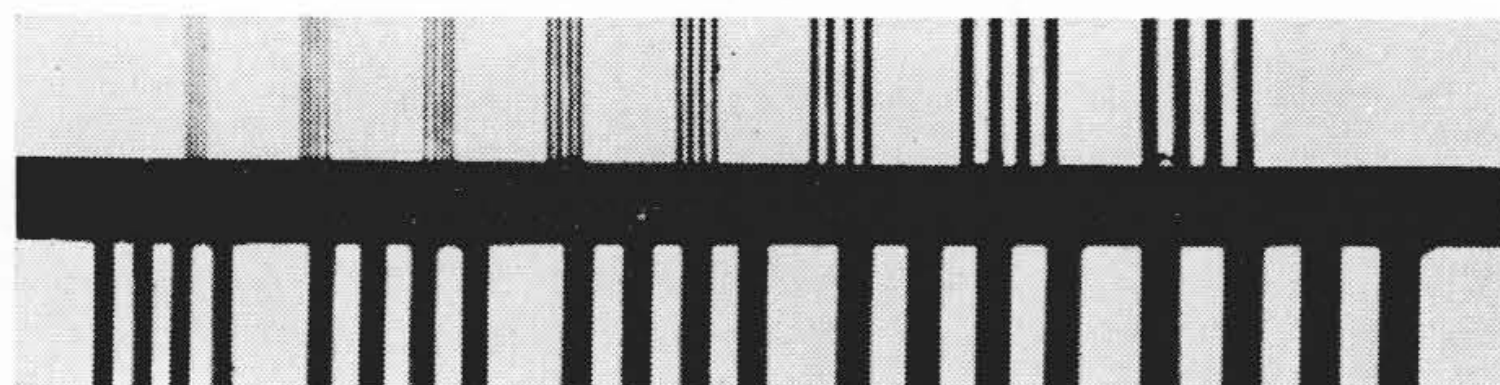
(a) 固定陽極X線管 SDO-10 焦点5mm(幅方向)



(b) ヒッターノード DOR-502 焦点2mm(幅方向)



(c) ヒッターノード DOR-502 焦点1mm(幅方向)



(d) ヒッターノード DOR-503 焦点0.3mm(幅方向)

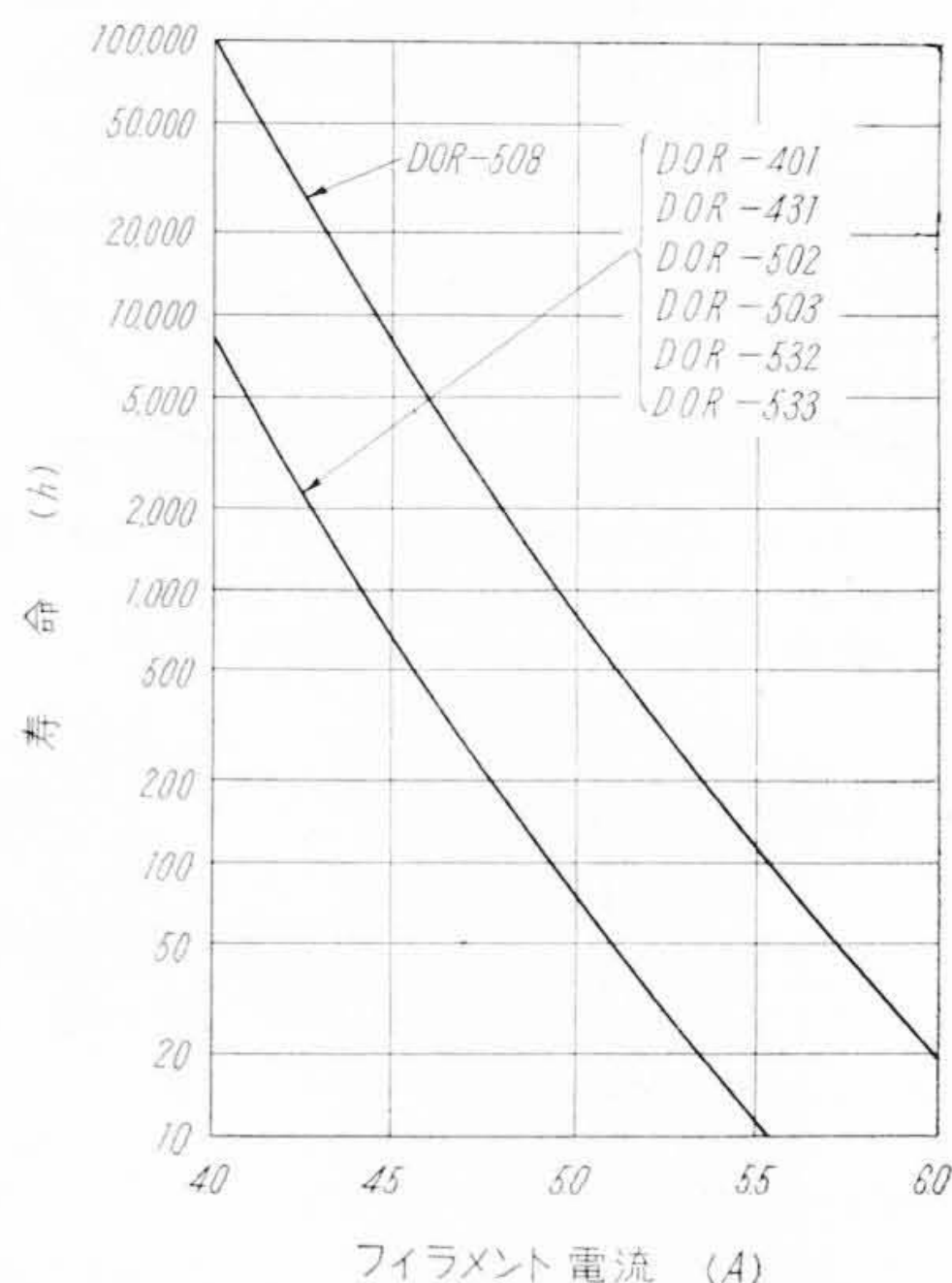
(X線写真拡大率2, 紙上写真縮尺率1/2)

第13図 焦点の解像力写真

考えるとき、最も問題になるのは回転寿命である。われわれの工場では製品から資料を抜取り、陽極が赤熱される負荷を与えて回転寿命試験を行っているが、その結果撮影回数にして20,000回をこしても回転に異状のないことを確めている。

5.2 ターゲット用タングステン板の寿命

第14図は使用済みターゲット用タングステン板の焦点面の状態を示す。これは2mm焦点で50～、全波整流回路、60kVp、500mA、0.1秒の負荷を30秒に1回

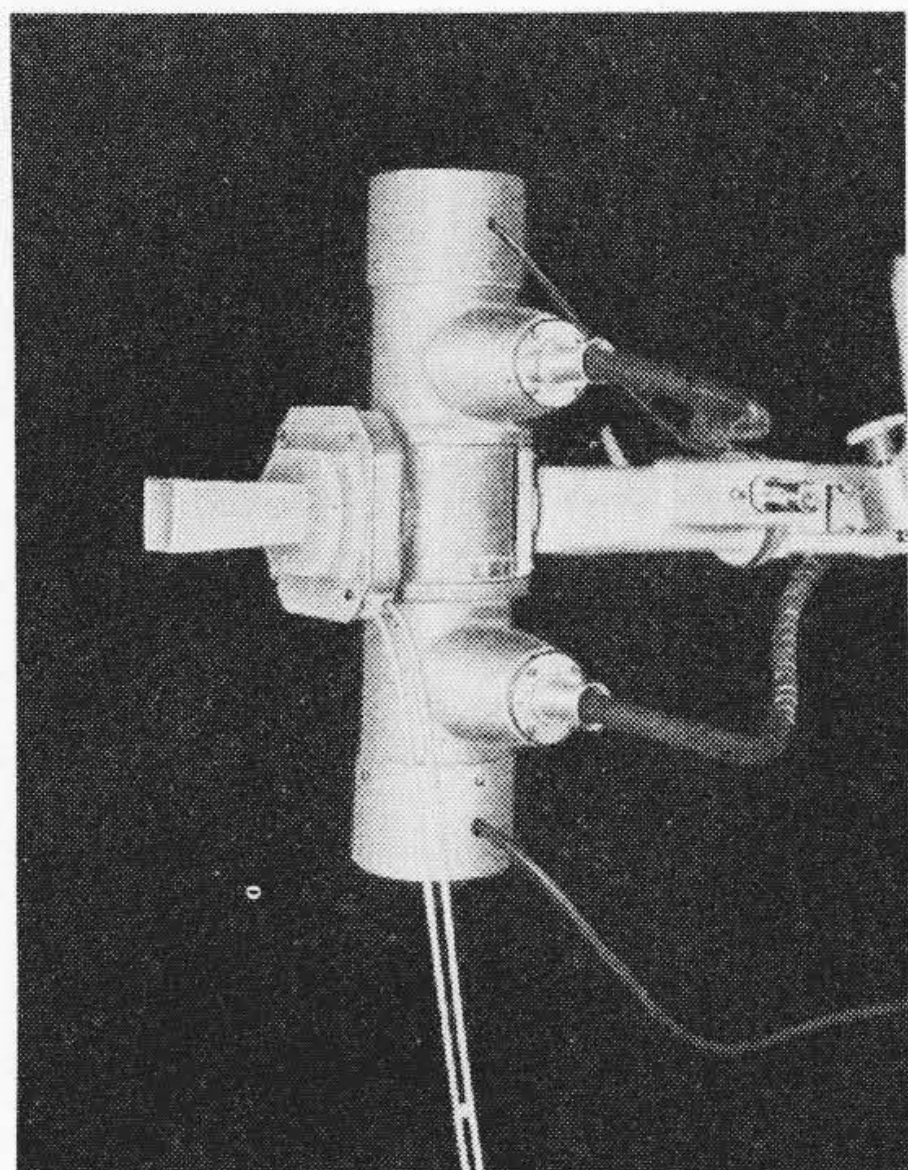


第15図 フィラメントの寿命概略値

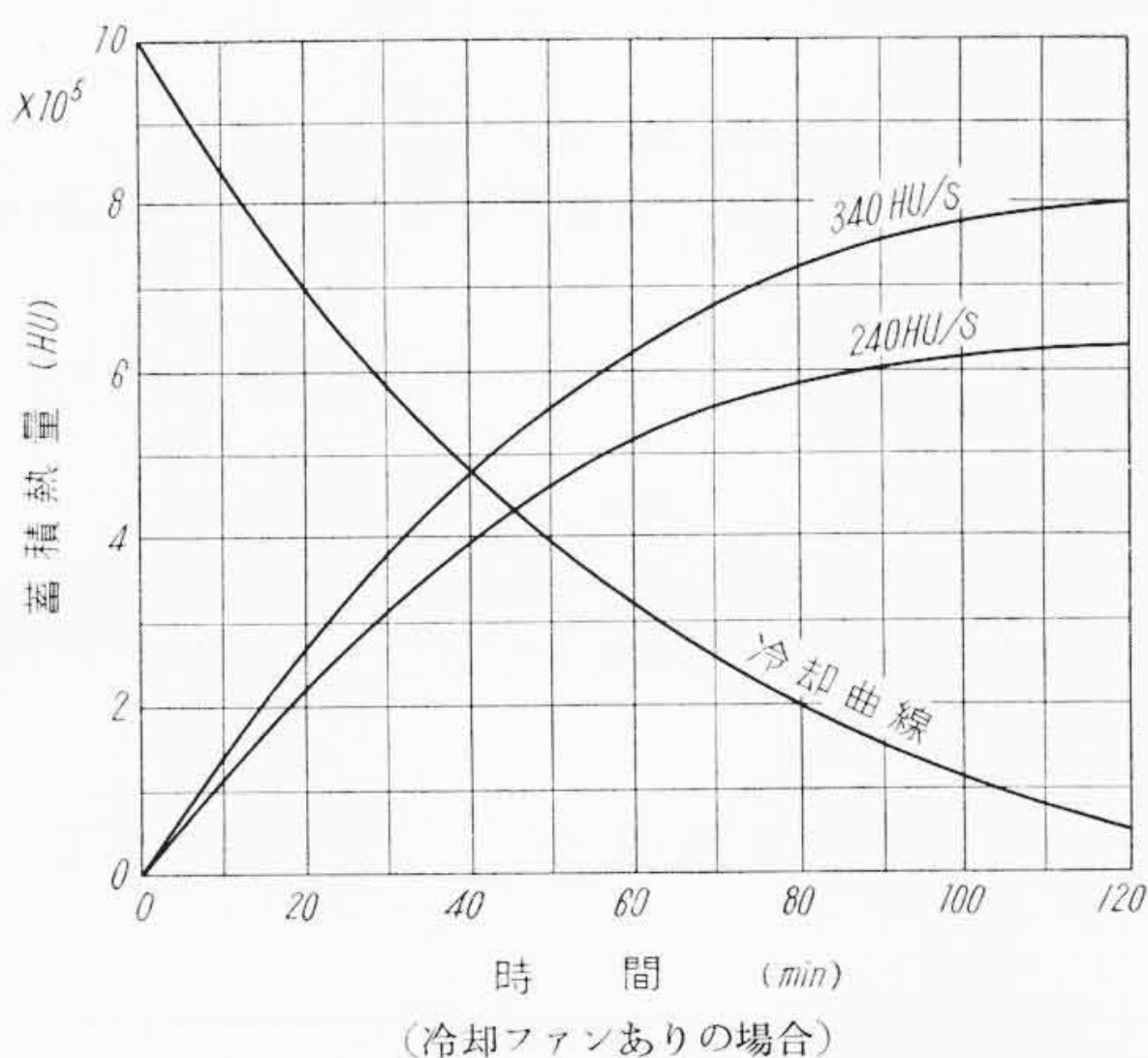
の割で30,000回繰返し寿命試験を行ったものである。この程度はまだ使用可能である。実際にヒッターノードを使用する場合は、この条件より軽い負荷の場合が多いので、焦点面の荒れ具合はもっと少ないと考えてよい。

5.3 フィラメントの寿命

フィラメントは純タングステン線でできているので、真空中で電流を通じて赤熱すると、表面から蒸発してやせ細りついに熔断するようになる。このようなフィラメントの寿命は線の太さおよびフィラメント温度により大体定った値をとる⁽³⁾。ヒッターノードのフィラメントの寿命は10kW固定陽極X線管の場合と大体同じであるといえるが、細かくいうとヒッターノードの場合は管電流を多くとるためフィラメント加熱を幾分上げるので、フィラメントを長く点火したままおくと寿命は短い。そのため撮影時のフィラメントフラッシング回路がのぞましいことは前述のとおりである。第15図はヒッターノードのフィラメント電流と大体のフィラメ



第16図 ヒッターノード X 線管装置 UOR-2



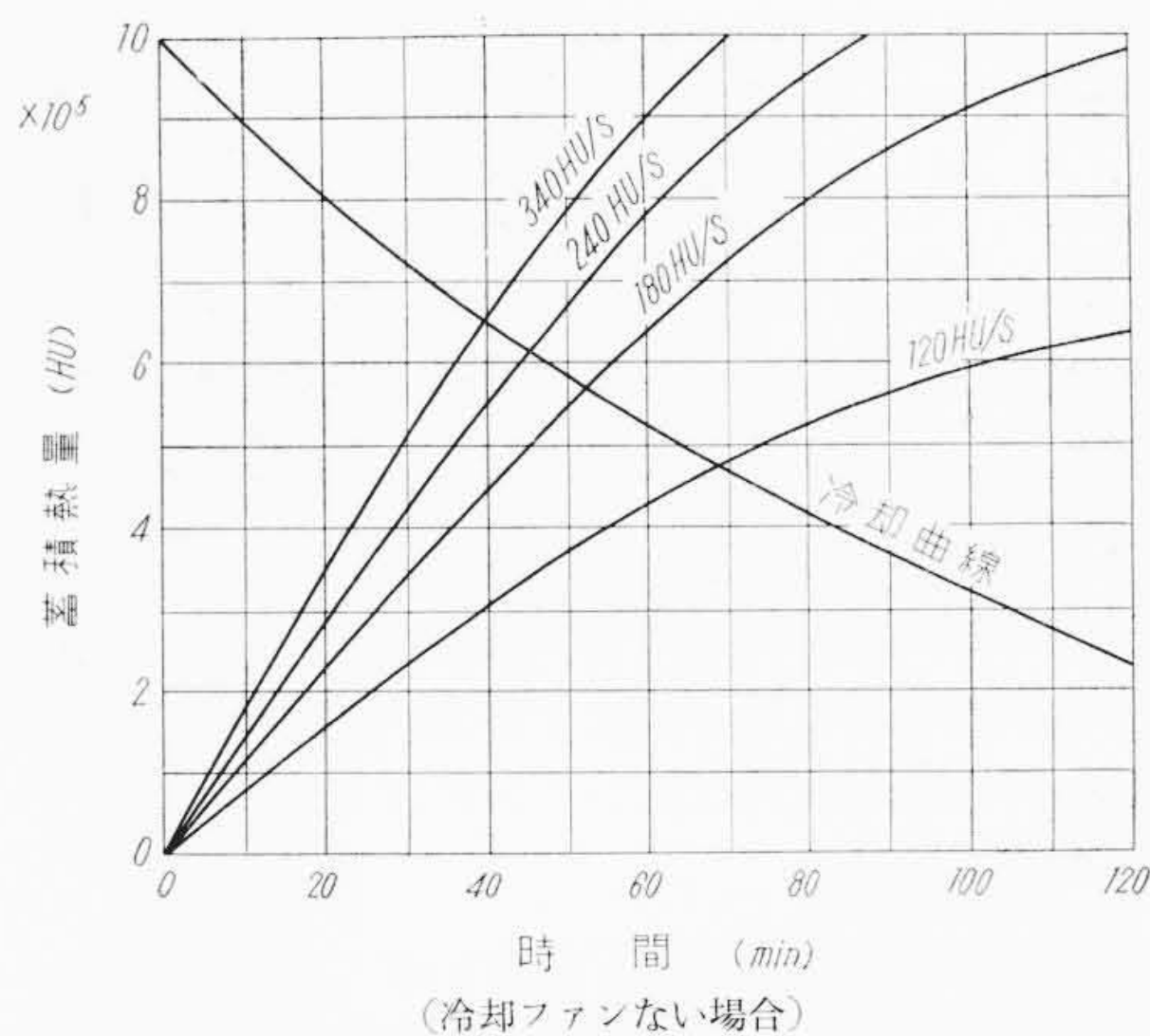
第17図 UOR-2 X 線管装置熱特性図

ント寿命の関係を示す。

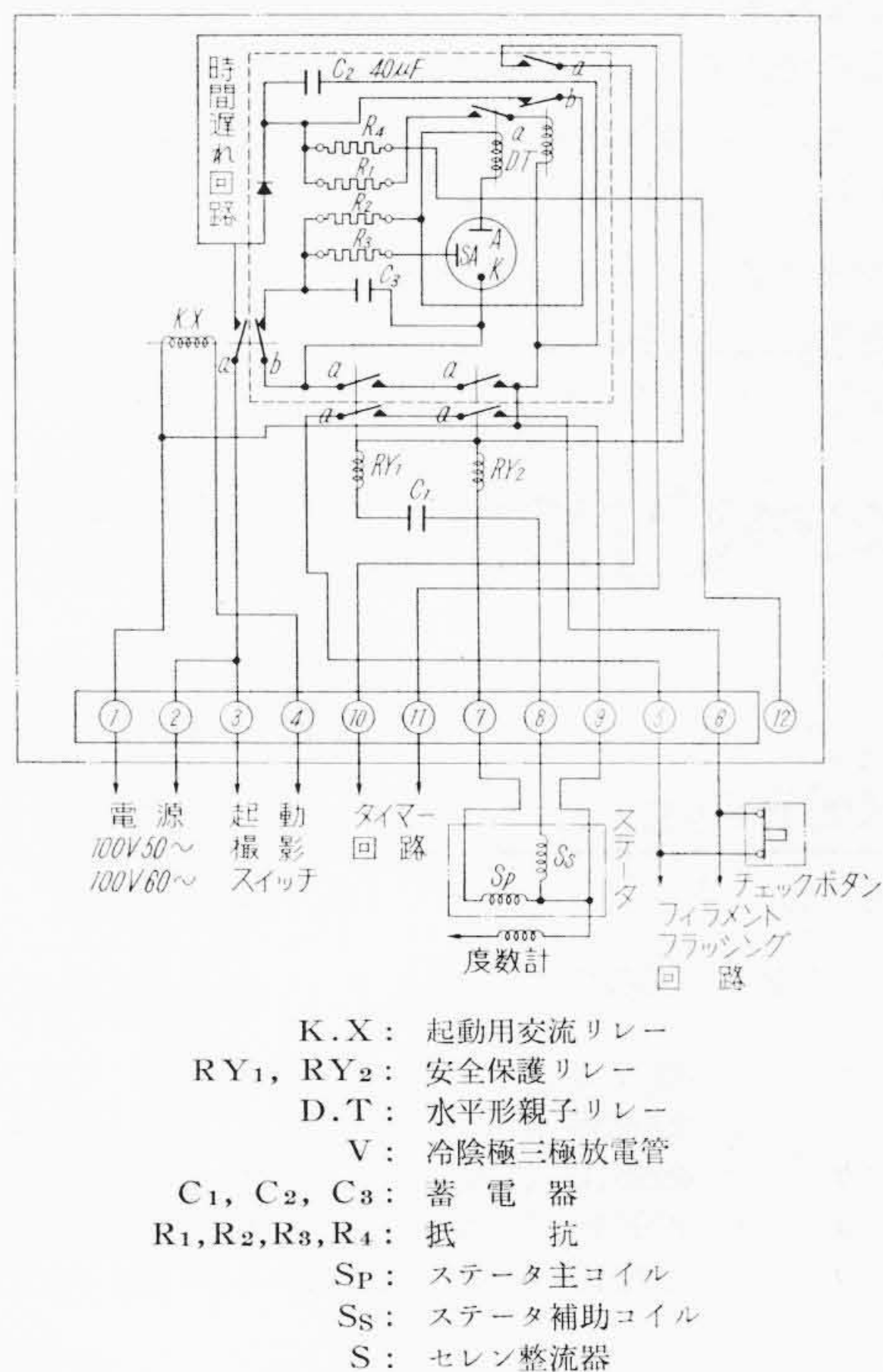
6. X 線管 装 置

6.1 X 線管容器

ヒッターノードは防 X 線，防電撃の油入り容器に入れて使用される。この容器は完全に密閉されており，油の温度変化による膨脹収縮にはベローズを備えて自動的に調整されるから，油もれや絶縁不良などによる事故の心配がない。長時間の使用により油温が一定温度以上になると，制御装置の回路を自動的に開路して，管球を保護する電気接点が陽極側に設けてあるので安心して使用できる。この電気接点は油温が一定温度以下に下るともとの状態にもどる。また陽極側外面には度数計が設けてあって，使用回数を明確に知ることにもできる。容器の X 線放射口の前面にはシャッタがあり，これには X 線管焦点，被写体間の距離を計る鋼製巻尺，ツープスおよびフィルタがついている。ツープスには標準透視用 ツープスと



第18図 UOR-2 X 線管装置熱特性図



第19図 ヒッターノード駆動装置回路図

2 m撮影用ツープス各1個があり，フィルタにはアルミニウム板厚さ 0.5, 1, 1.5 mm の三種がある。

第16図に X 線管容器の一例としてヒッターノード DOR-502 を使用した X 線管装置 UOR-2 を示す。また第17図と第18図は UOR-2 の X 線管容器熱特性であるが，第17図は専用の送風器を用いて容器を強制冷却した場合，また第18図は送風器を用いないで自然冷却した場合である。すなわち UOR-2 X 線管容器の最大蓄積熱量は 10^6 HU であり，また透視に使用するときの最大定格は送風器がある場合は 340 HU/s で連続，送風器

のない場合は340 HU/sで70分または180 HU/sで連続である。

ヒッターノードを実際に用いる場合は、さきに第7図および第8図で述べた陽極熱特性と、ここに記したX線管容器熱特性の両方を守らなければならないわけであるが、送風器付のX線管容器の熱特性はX線管のそれよりも大きいので、X線管の熱特性のみを考えれば良い。また送風器なしのX線管容器の場合は、前述のように電気接点で自動的に過負荷が防止できるので、やはりX線管の熱特性のみを考えれば良いことになる。

6.2 駆動装置

この装置は通常制御卓子と組合わせて使用し、ヒッターノードの複雑な制御を自動化して、単純な操作のみで合理的な操作をすべて自動的に行うことができるもので、そのすぐれた性能と動作の確実性は十分信頼のできるものである。この装置は長さ27 cm、幅18 cm、高さ15.5 cmの鉄板製容器に収められ、容器内部に補助電磁接触器、継電器、放電管、コンデンサおよび抵抗器などが配列されている。第19図はこの回路図である。なお駆動装置の容器台板には取付孔があって、室の壁など

に適当な位置で取付けられる構造になっている。

7. 結 言

以上、日立回転陽極X線管すなわちヒッターノードの種類、性能、使用方法、そのほかについて述べた。ヒッターノードは固定陽極X線管に比べて焦点が小さいのに大きい負荷が与えられるので鮮鋭な良い写真をとることができるが、その具体例を解像力試験で示した。なおヒッターノードの容量は500mA X線装置の性能を十二分に発揮できるとともに性能もよく安定し、十分長寿命のものが得られるので、ヒッターノードの使用はますます盛んになりつつある。このようなとき本文がいささかでも使用者各位の参考になれば幸いである。

参 考 文 献

- (1) A. C. Hallock: Cathode Press, 15, No. 1, 2 (1958)
- (2) 草谷: 日立評論 38, 597 (昭31-4)
- (3) 電気通信学会編: 真空管とその回路 101 (昭23 電気通信学会)



特 許 と 新 案



最近登録された日立製作所の特許および実用新案

(その5)

(第37頁より続く)

種 別	登録番号	名 称	工 場 別	氏 名	登録年月日
実用新案	499527	クロスバ式自動交換機用スイッチ	戸塚工場	田島喜平太	34. 8. 26
"	499734	レベル計用検知部	中央研究所	菊地久夫	34. 8. 28
"	499735	レベル計用検知部	中央研究所	二木久夫	"
"	499516	磁気式酸素計のガス導入室	日立研究所	岩淵芳雄	34. 8. 26
"	499538	水中溶解酸素分析計用酸素分離装置	日立研究所	岩淵芳雄	"
"	497946	ホイスト用ラチェット	多賀工場	横内直中	34. 7. 28
"	497963	自動閉鎖弁	多賀工場	徳野永田	"
"	496681	X線装置用蛍光板	亀戸工場	小和田正脩	34. 7. 6
"	496682	X線透視台	亀戸工場	和和田正長	"
"	496689	電子管タイマー	亀戸工場	小大和正長	"
"	496695	蓄放式X線装置用高压電源装置	亀戸工場	小安藤正長	"
"	496722	タッポ切換器	亀戸工場	小馬場勝彦	"
"	496733	しゅう動形電圧調整器	亀戸工場	大友貞睦	"
実用新案	496739	電磁継電器	亀戸工場	松田幸次郎	"

(第73頁へ続く)