

空冷式X線管の連続または繰返し使用規格

高 野 静 夫*

Ratings of Air Cooled X-ray Tubes for Fluoroscopy or Repeated Radiography

By Shizuo Takano
Mobara Works, Hitachi, Ltd.

Abstract

This is a report on how the writer has established the ratings of air cooled X-ray tubes for fluoroscopy or repeated radiography.

The writer observed the air cooled X-ray tubes SDR-10 and SDR-10/2 for the temperature rise of the anode and the process of its cooling down after cut off the load. Based on the outcome of this observation, the writer worked out an operating rating for X-ray tubes for fluoroscopy and repeated radiography, available on the condition that the temperature θ_1 at the position 20 mm apart from the tip of anode be withheld below 400°C . Readers may refer to this report for the method of establishing such ratings and utilizing the charts for ratings as well.

〔I〕 緒 言

一般に診察用X線管は撮影と透視に用いられ、撮影の場合は 0.05～10 秒くらいの短時間で行われるに対し、透視の場合は大体数分～数十分で使用されるのが普通である。そのためX線管の使用規格は、短時間使用規格と連続使用規格（または長時間使用規格）に大別される。

従来国内のX線管については、短時間使用規格は細かく定めてあったが、長時間使用する場合の規格は一部の代表的数値が記してあるにとどまり、短時間使用を繰返す場合あるいは長時間使用後短時間使用を行うような場合の規格については、ほとんど定められてなかった。しかしこれらの規格はいずれもX線管使用上重要なことなので、最近になり順次良く定められるようになった⁽¹⁾。筆者は空冷 10 kW X線管 SDR-10 または 10 kW, 2 kW 二重焦点X線管 SDR-10/2 について、陽極温度測定の実験を元にし、連続または短時間負荷を繰返す場合の使用規格を作製したのでここに報告する。

短時間使用規格はよく知られているように、主として焦点部分の温度に制限されて定まるが⁽²⁾、長時間使用の場合は管電流が少ないので焦点部分の温度は問題なく、管内にある陽極全体の温度に制限されて使用規格が定まる。すなわち長時間使用の場合は、陽極からのガス放出

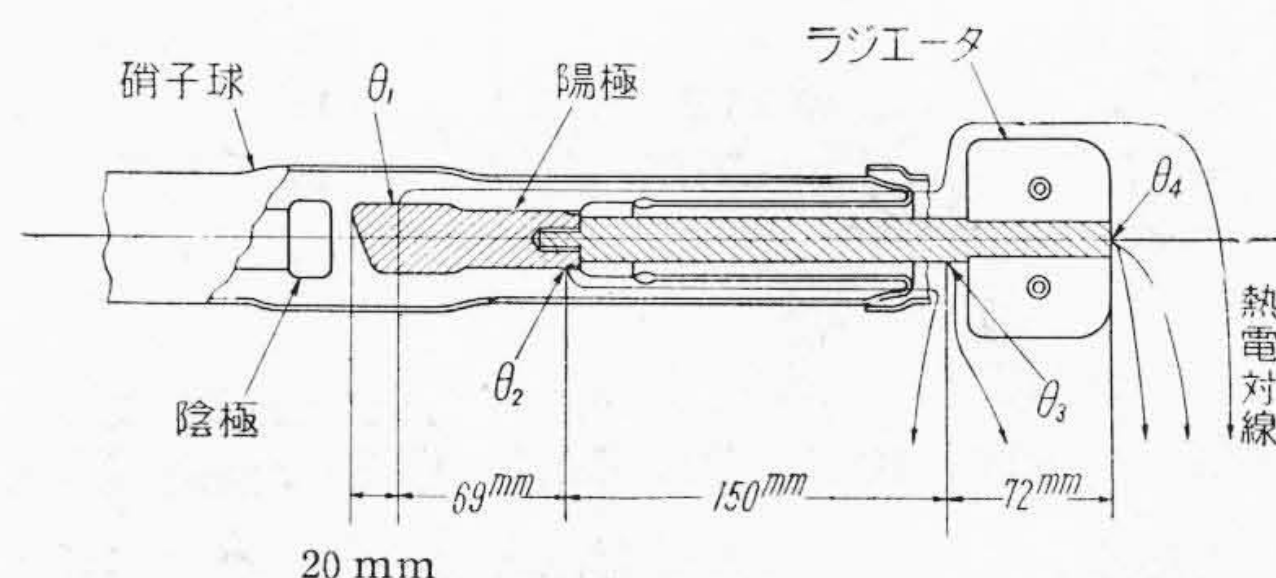
と陽極の銅または銀鍍の溶融などが起らない範囲まで許容できる。また短時間使用を繰返す場合の使用規格は、大体において休止時間も含めた時間で負荷を平均した値が、連続使用規格に等しいように求めれば良い。

第1表および第2表(次頁参照)は従来から定めてある日立X線管 SDR-10 および SDR-10/2 の短時間使用規格を示す。

〔II〕 実 験

(1) 実験の方法

第1図のようにX線管 SDR-10 および SDR-10/2 の陽極の4箇所(第1図で θ_1 , θ_2 , θ_3 および θ_4)に熱電対を取りつけて、高電圧の負荷を与えているときの温度上



第1図 実験用X線管の陽極部分
Fig.1. Anode Side of the X-ray Tube for Experiment

* 日立製作所茂原工場

第 1 表 SDR-10 および SDR-10/2 (大焦点) の短時間使用規格
(最大許容管電流を示す)

Table 1. Max. Permissible Tube Current for SDR-10, SDR-10/2
(Large Focus)

回 路	管電圧	時 間						
		0.1 秒	0.2 秒	0.5 秒	1 秒	2 秒	5 秒	10 秒
全 波 整 流	50 kVP	420mA	360mA	300mA	255mA	210mA	150mA	100mA
	60 kVP	350	300	250	210	175	125	85
	70 kVP	300	260	215	180	150	105	75
	80 kVP	265	225	190	160	130	90	65
	90 kVP	235	200	165	140	115	80	55
	95 kVP	220	190	160	135	110	80	55
半 波 整 流	50 kVP	300	255	220	190	160	115	80
	60 kVP	250	215	185	160	130	95	70
	70 kVP	215	185	155	135	115	85	60
	80 kVP	185	160	135	120	100	70	50
	90 kVP	165	145	120	105	90	65	45
	95 kVP	155	135	115	100	85	60	45
自 己 整 流	50 kVP	210	185	160	145	120	90	65
	60 kVP	175	155	135	120	100	75	55
	70 kVP	150	130	115	100	85	65	45
	80 kVP	130	115	100	90	75	55	40
	90 kVP	115	105	90	80	65	50	35

第 2 表 SDR-10/2 (小焦点) の短時間使用規格
(最大許容管電流を示す)

Table 2. Max. Permissible Tube Current for SDR-10/2 (Small Focus)

回 路	管電圧	時 間					
		0.2 秒	0.5 秒	1 秒	2 秒	5 秒	10 秒
全 波 整 流	50 kVP	56mA	52mA	48mA	44mA	40mA	37mA
	60 kVP	47	43	40	37	33	31
	70 kVP	40	37	34	32	28	26
	80 kVP	35	32	30	28	25	23
	90 kVP	31	29	27	25	22	20
	95 kVP	30	27	25	23	21	19
半 波 整 流	50 kVP	40	36	34	31	28	26
	60 kVP	33	30	28	26	23	21
	70 kVP	28	26	24	22	20	18
	80 kVP	25	23	21	19	17	16
	90 kVP	22	20	19	17	15	14
	95 kVP	21	19	18	17	15	14
自 己 整 流	50 kVP	28	26	24	22	20	18
	60 kVP	24	22	20	18	17	15
	70 kVP	20	19	17	16	14	13
	80 kVP	18	16	15	14	12	12
	90 kVP	16	14	13	12	11	10

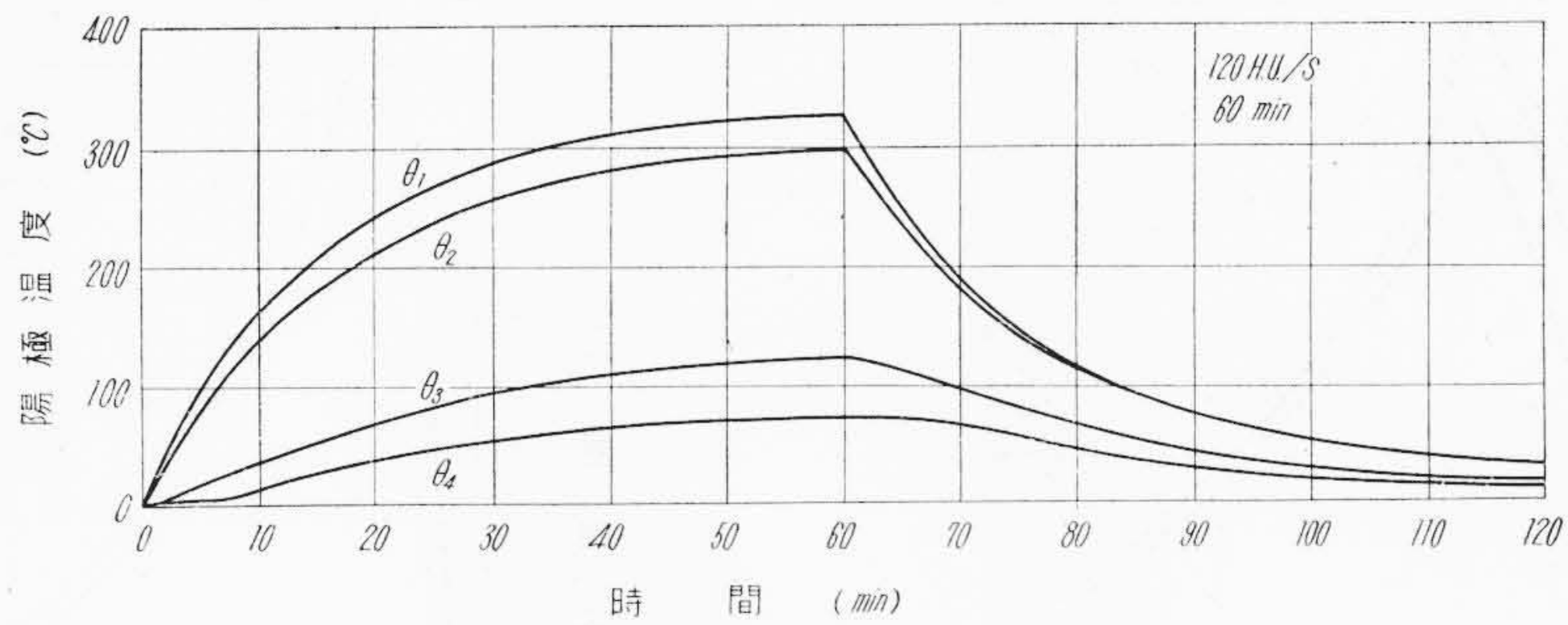
昇および負荷を断つてから冷却する状態を測定した。こゝに用いた SDR-10 と SDR-10/2 の陽極は構造が全く同じである。またこの際 X 線管は X 線装置のハウベに入れて、130 l/min の送風をした。

負荷の大きさは全波整流回路，中点接地，60 kVP に
おいて 2, 3, 4, 5, 6, 7, 10, 16.7, 50 および 83.3 mA の

各値である。1 H.U. (Heat Unit) = 1 kVP × 1 mA × 1 s
として，H.U. の単位を用いて上記の負荷を表わすとそ
れぞれ 120, 180, 240, 300, 360, 420, 600, 1,000, 3,000
および 5,000 H.U./s の大きさになる。

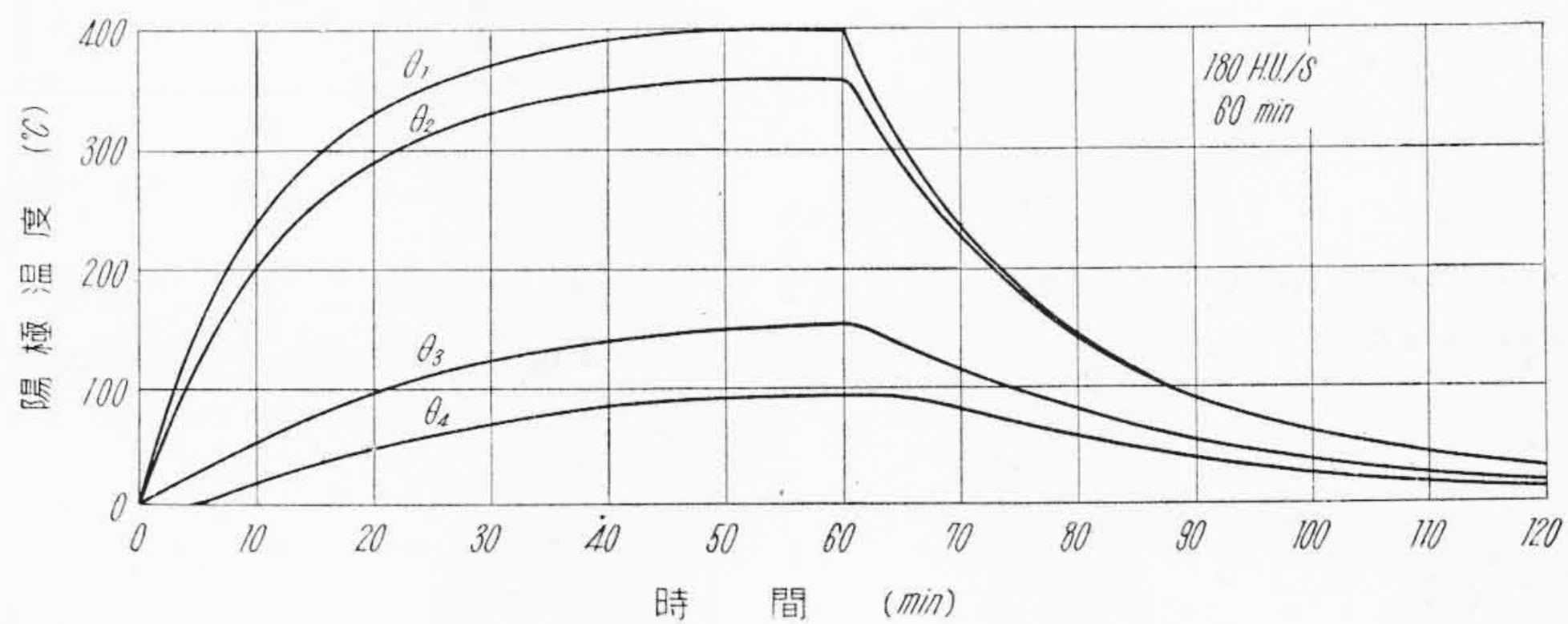
(2) 実 験 結 果

管球数本について実験したが，そのうちの標準の 1 本



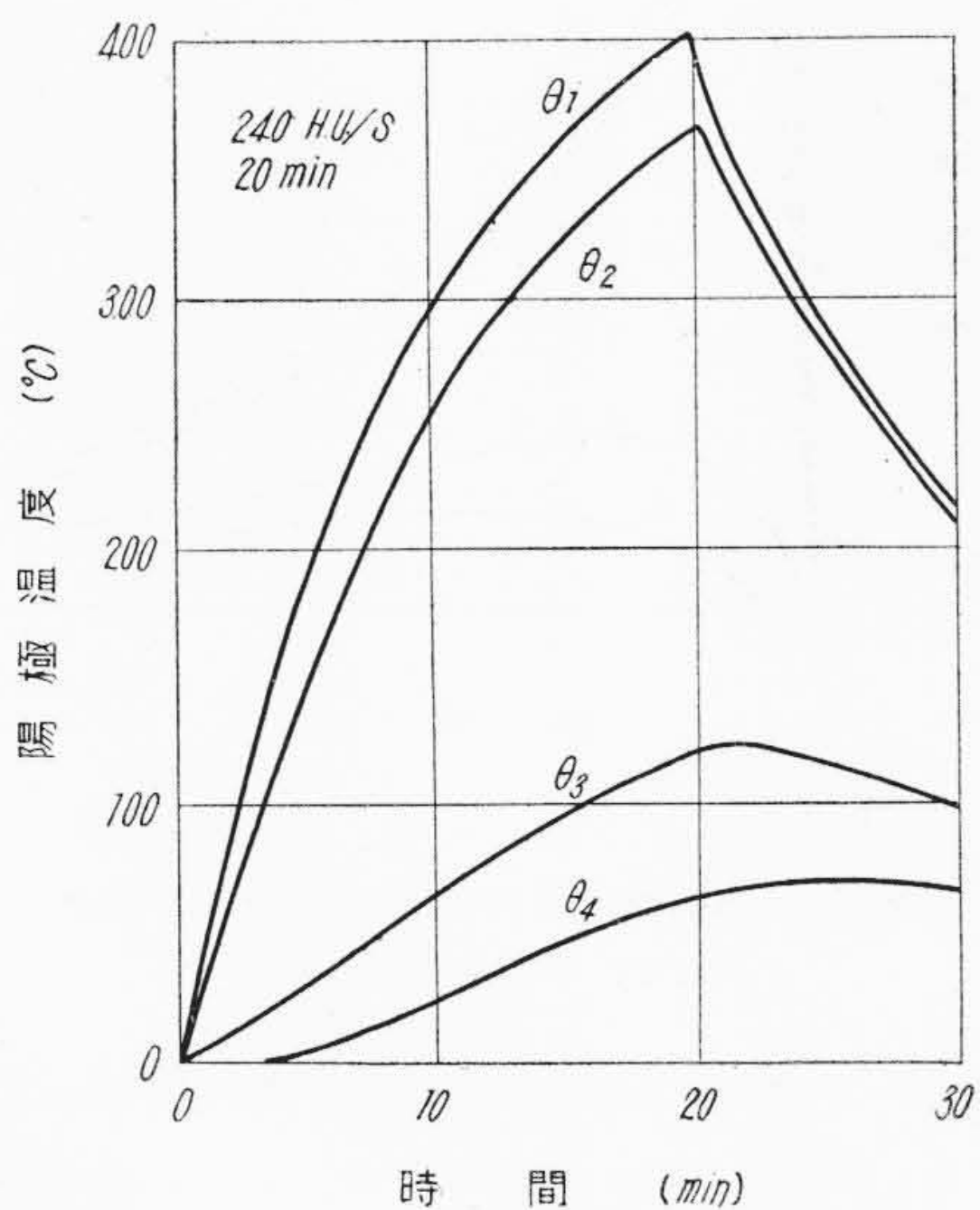
第2図 陽極の温度

Fig.2. Anode Temperature of the X-ray Tube



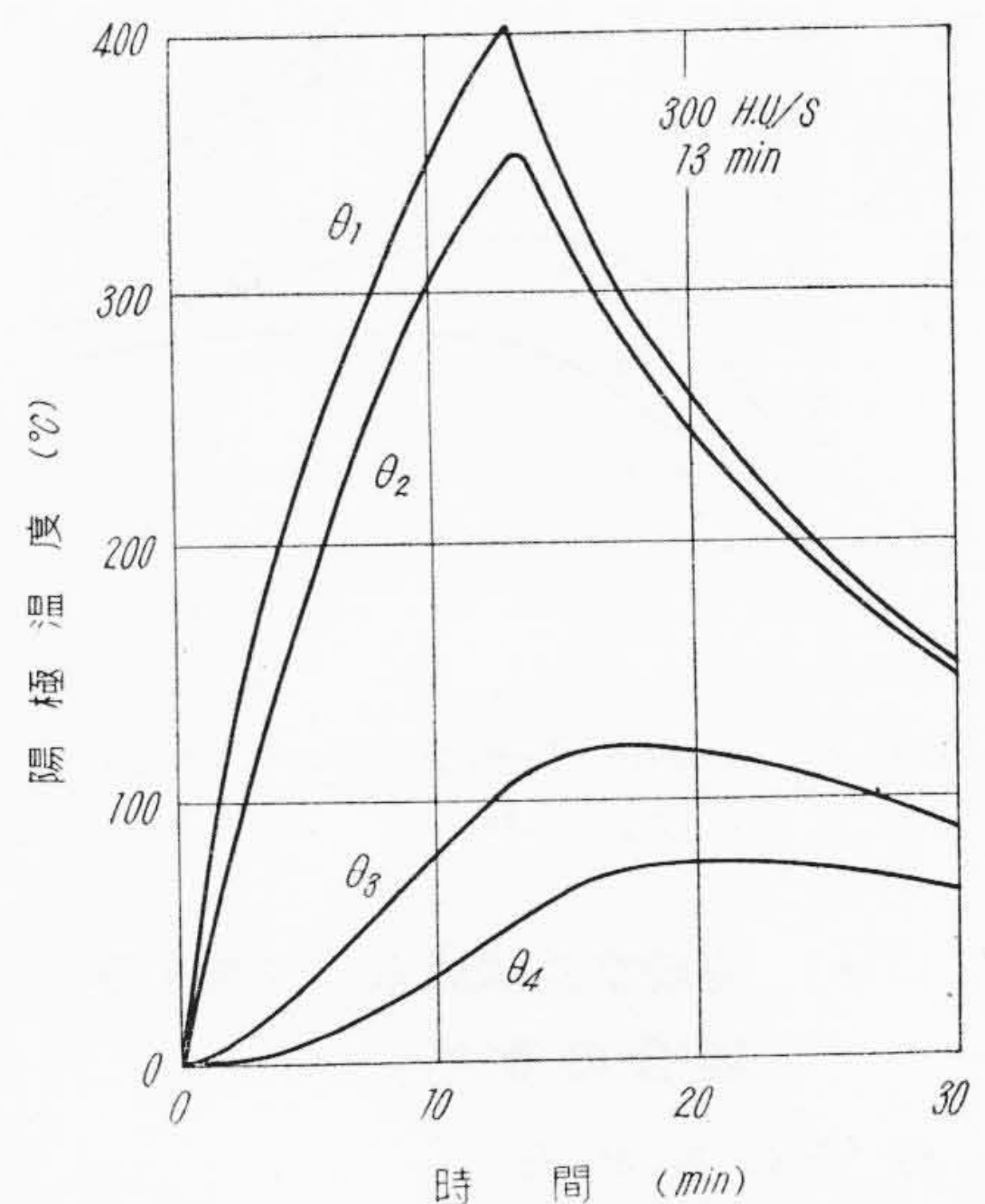
第3図 陽極の温度

Fig.3. Anode Temperature of the X-ray Tube



第4図 陽極の温度

Fig.4. Anode Temperature of the X-ray Tube

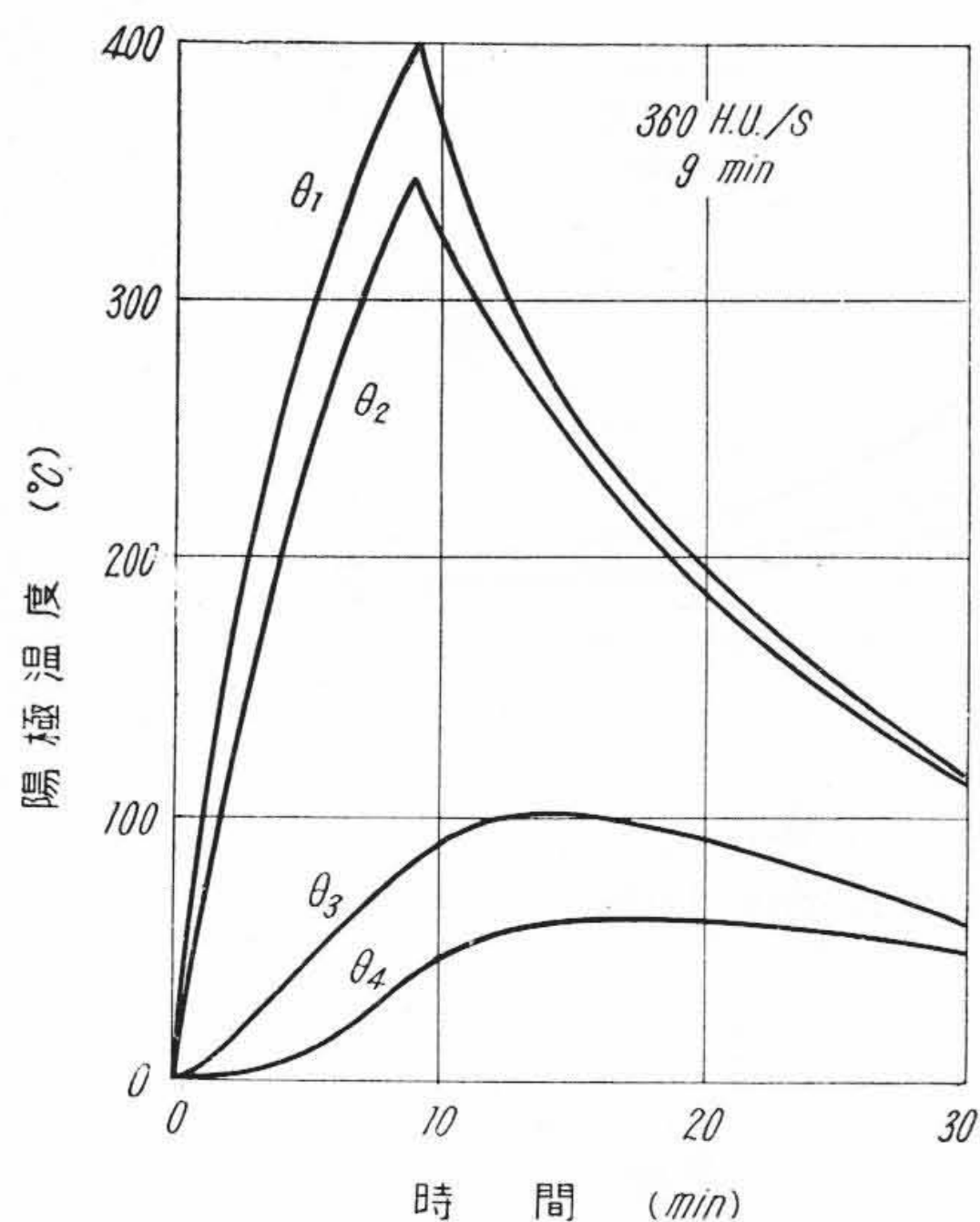


第5図 陽極の温度

Fig.5. Anode Temperature of the X-ray Tube

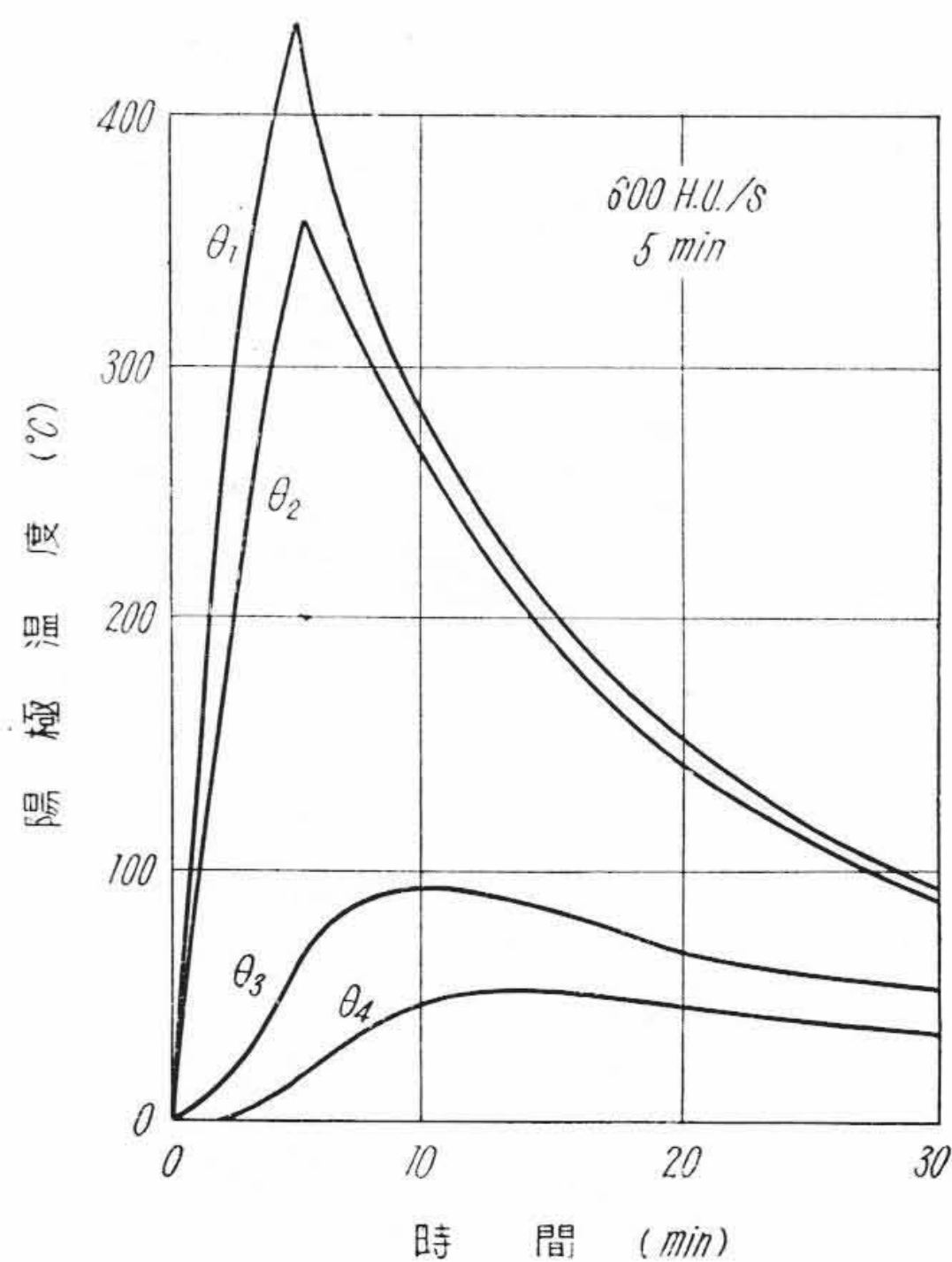
について実測値を示すと第2図～第12図のようになる。
たゞしこゝで陽極温度 θ_1 , θ_2 , θ_3 および θ_4 は便宜上実

際の温度から室温を差引いたものを記した。



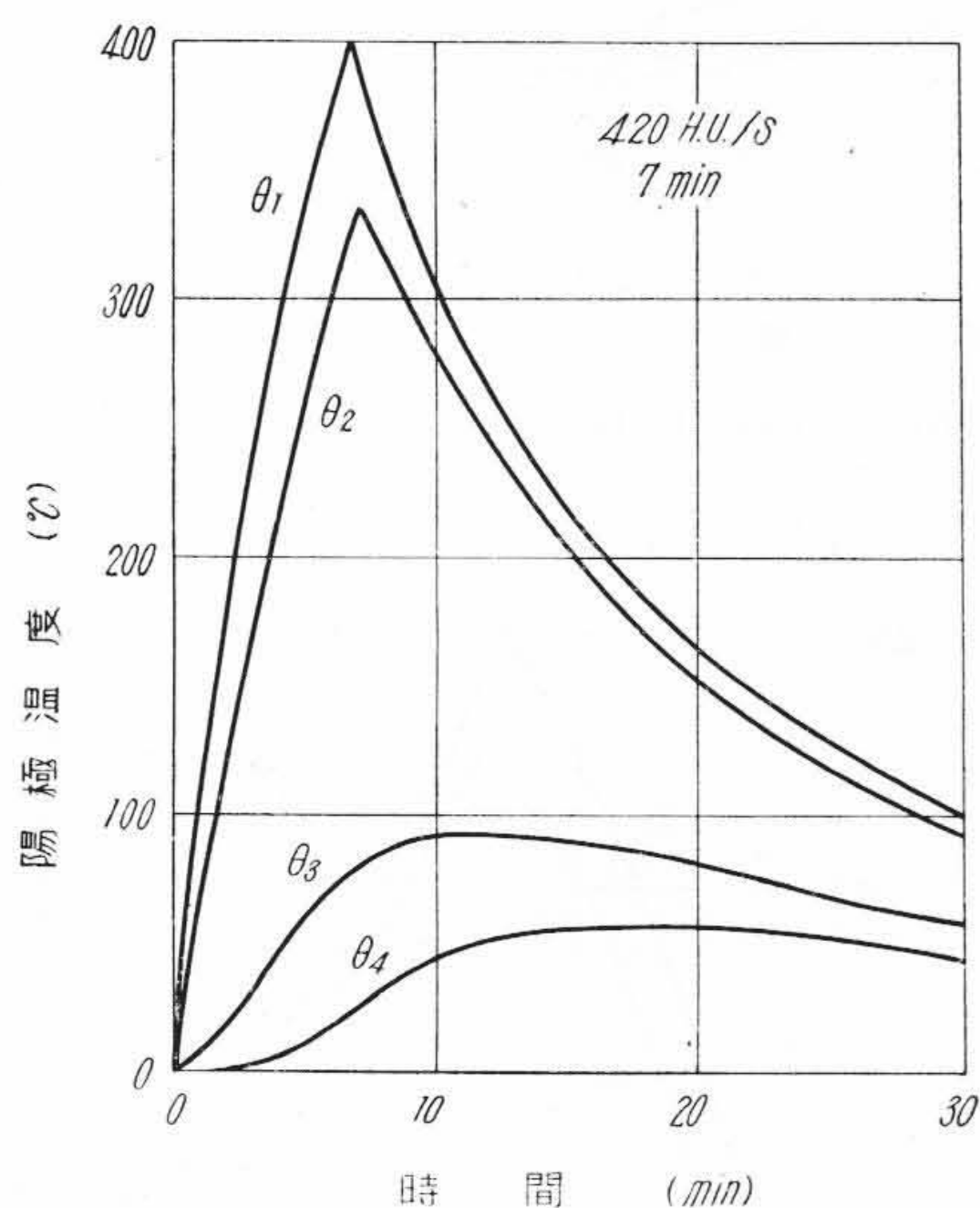
第6図 陽極の温度

Fig.6. Anode Temperature of the X-ray Tube



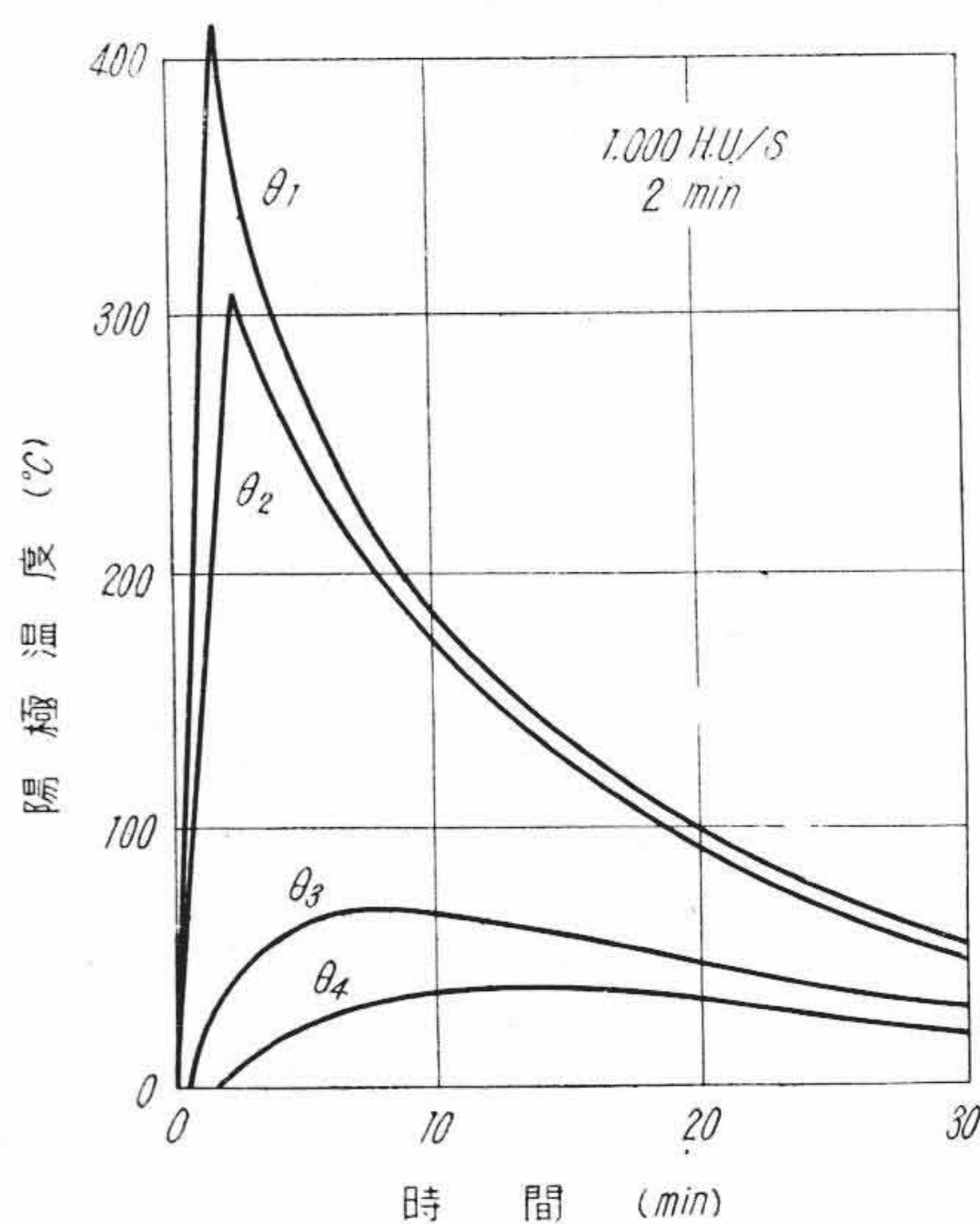
第8図 陽極の温度

Fig.8. Anode Temperature of the X-ray Tube



第7図 陽極の温度

Fig.7. Anode Temperature of the X-ray Tube



第9図 陽極の温度

Fig.9. Anode Temperature of the X-ray Tube

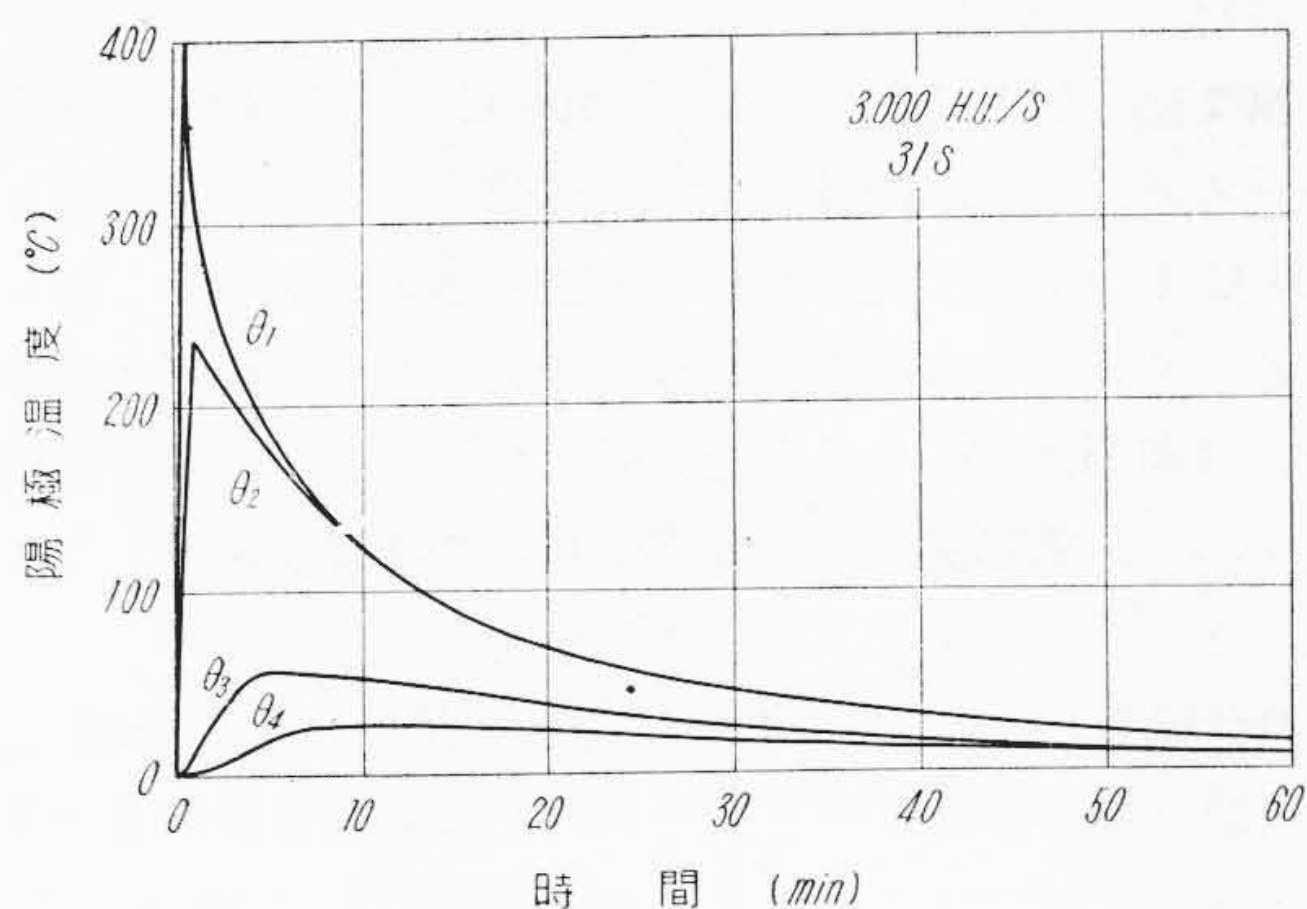
〔III〕 連続または繰返し使用する 場合の規格

(1) 規格の定め方

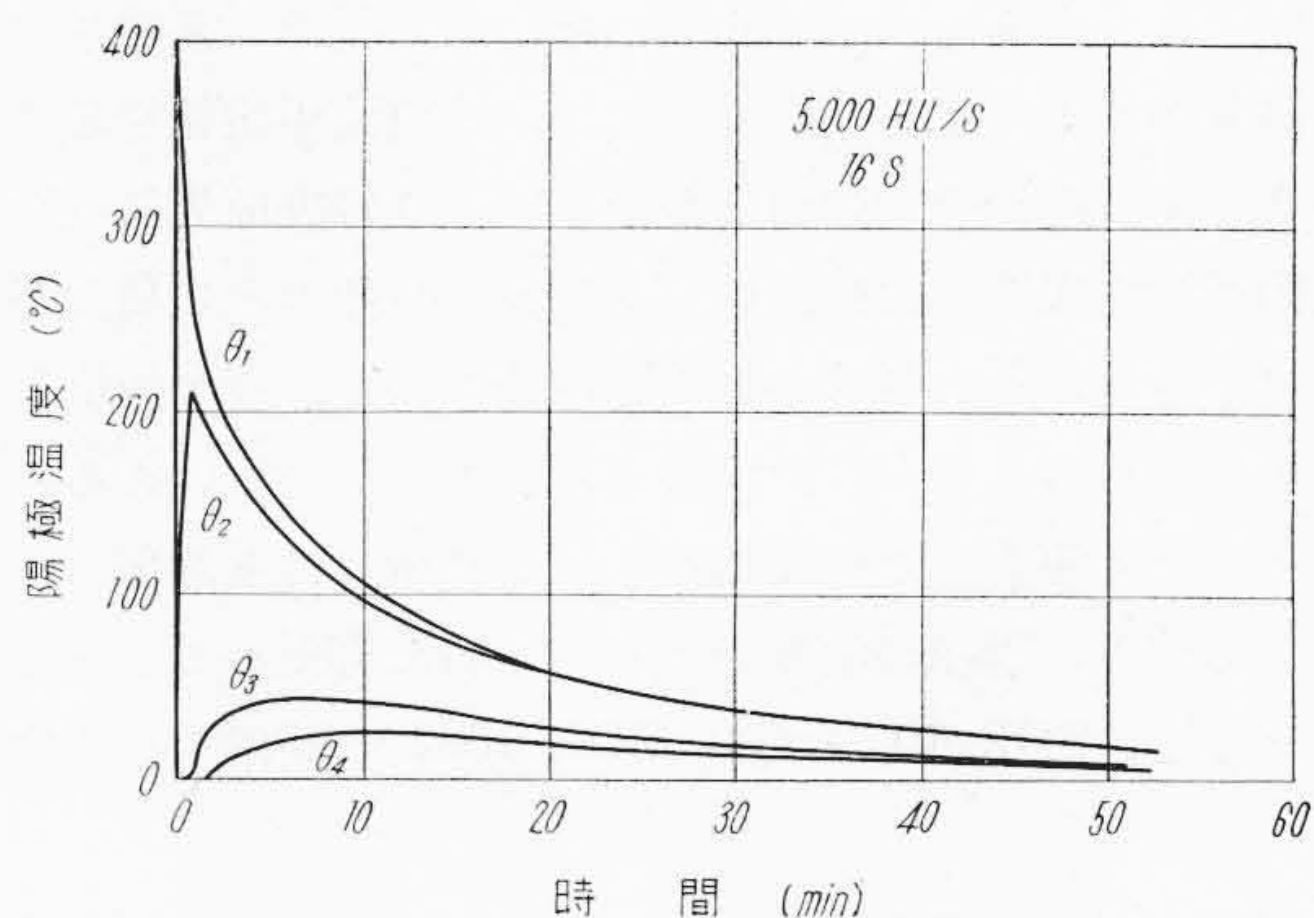
(A) 考え方

外国などの例を見ると、X線管の陽極に蓄積される熱量のある一定値を限度として、この種の使用規格を定めたものがある。しかし空冷X線管 SDR-10 または SDR-10/2 のような品種に、この方法を適用するとつぎのような不合理のことが考えられる。

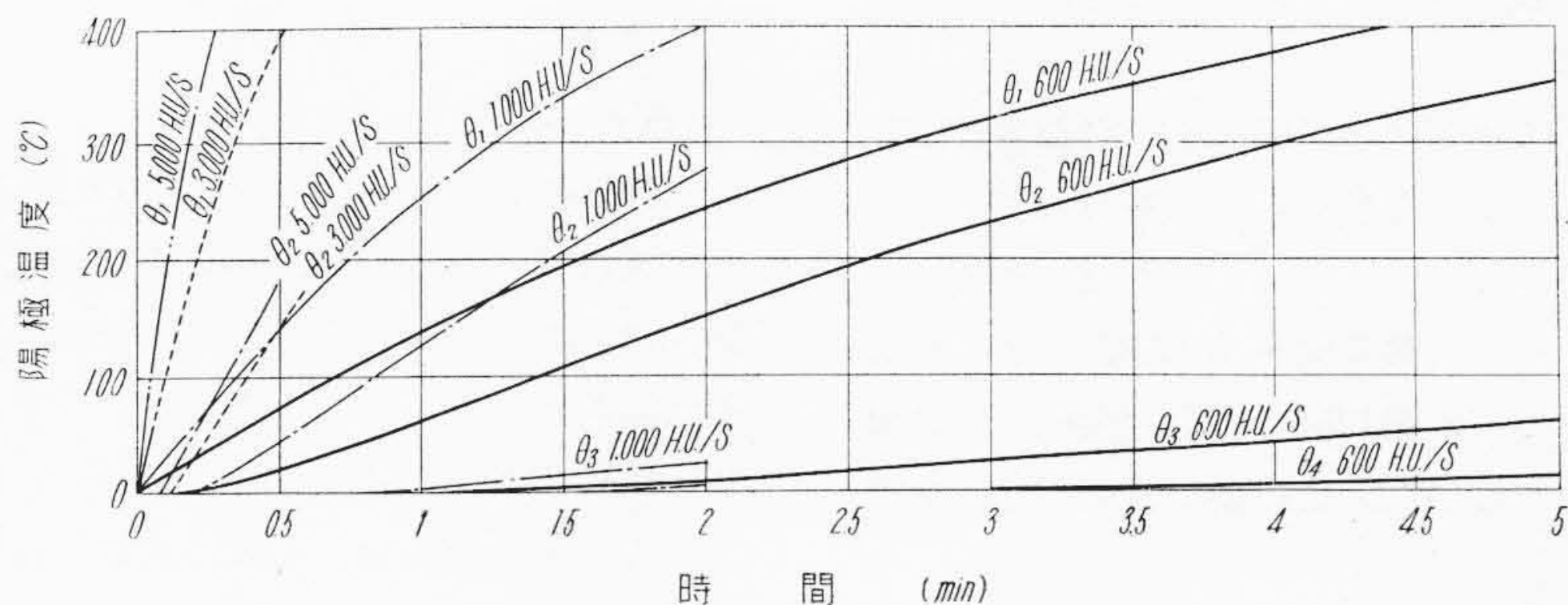
SDR-10 と SDR-10/2 の陽極は、第1図に示すように主として熱伝導の良い銅からできていて、その形状は細長く、しかも真空外に出ている部分が相当大きくなっている。そして負荷は陽極の先端すなわち焦点部分のみに集中して加わり、その大きさは大体 120 H.U./s より 5,000 H.U./s くらいまでの広範囲にわたっている。このような事情のため負荷を与えているときの陽極の温度勾配は、単位時間当りの負荷の大きさによって非常に異



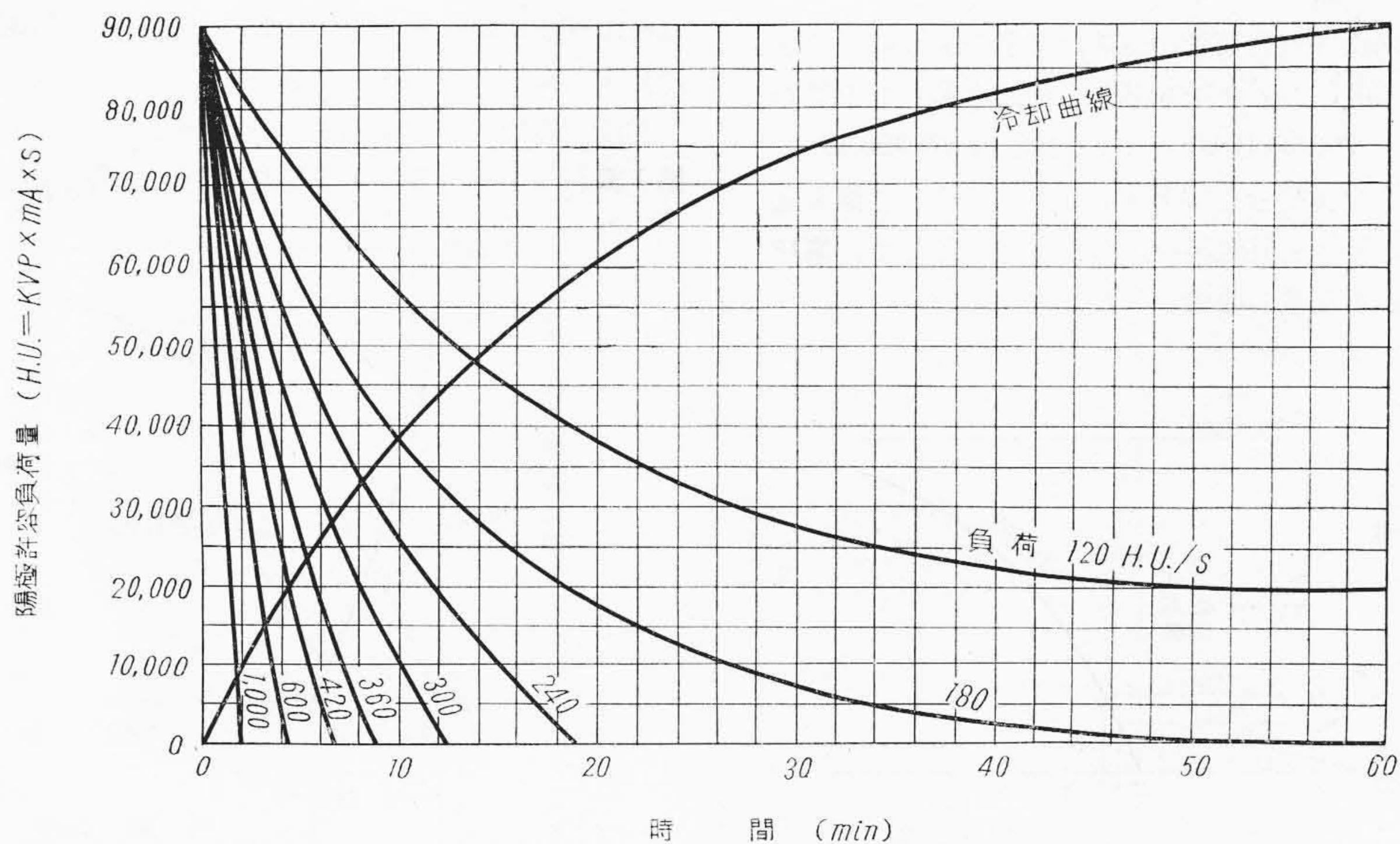
第10図 陽極の温度
Fig.10. Anode Temperature of the X-ray Tube



第11図 陽極の温度
Fig.11. Anode Temperature of the X-ray Tube



第12図 陽極の温度
Fig.12. Anode Temperature of the X-ray Tube



第13図 SDR-10 および SDR-10/2 の陽極許容負荷量 (連続または繰返し使用規格)
送風量 130 l/min, 最大冷却率 180 H.U./s
Fig.13. Permissible Anode Heat Capacity of SDR-10 or SDR-10/2

つてくると考えられる。そのため、もし陽極に蓄積される熱量のある一定値を限度として、連続使用規格を定めると、単位時間当りの負荷が小さいときは陽極先端（焦点附近）の温度は比較的低い、単位時間当りの負荷が大きいたまはその部分の温度が高くなつて、ガス放出などの点から考えるとこの定め方は適当でないといえる。

そのため筆者は陽極に蓄積される熱量には無関係に、そして管内の陽極の温度をある一定値に抑えることを原則として、SDR-10 または SDR-10/2 の使用規格を作ることとした。

(B) 陽極温度の使用限度

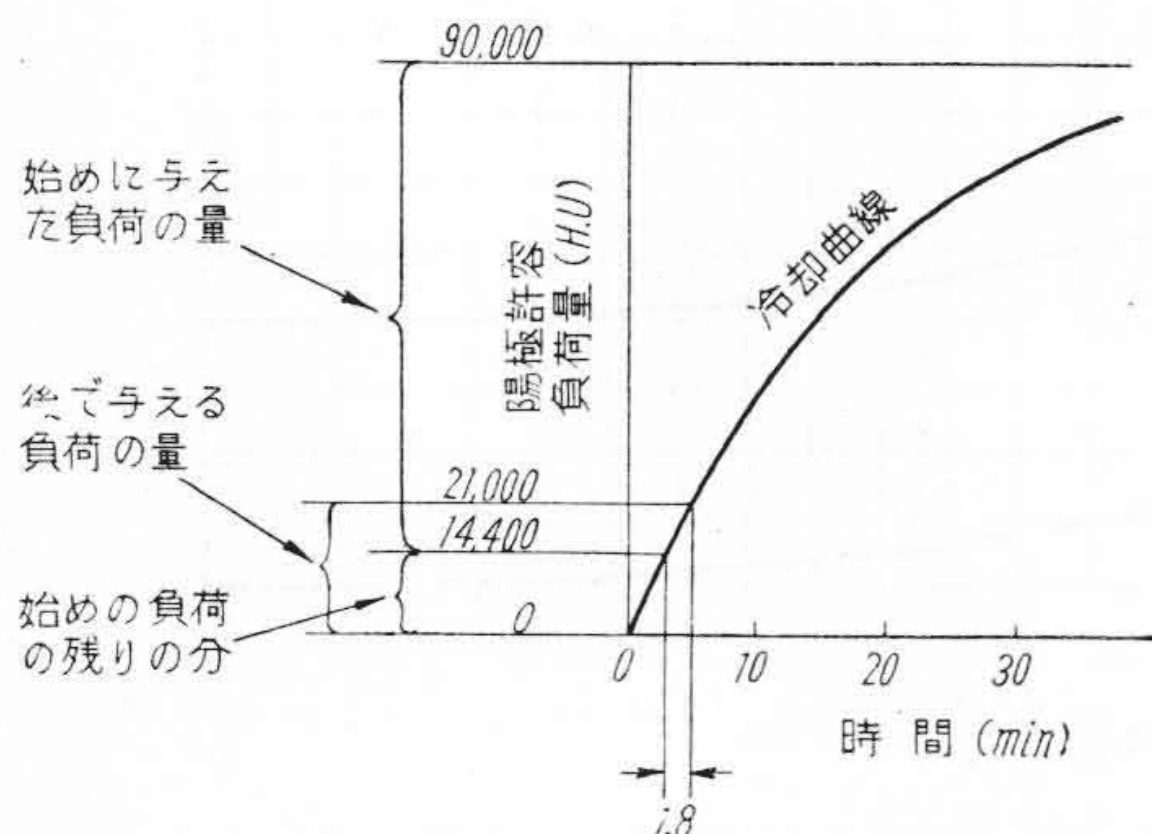
第1図に示す θ_1 の温度をもつて、陽極の管内にある部分の温度を代表させた。そして従来の経験から θ_1 が室温+400°C になるまで使用可能と定めた⁽³⁾⁽⁴⁾。

(C) 陽極温度と負荷量の関係および陽極許容負荷量曲線の決定

陽極許容負荷量を決めるには陽極温度と負荷量(H.U.) の関係を調べて、どのような負荷をどれだけ与えても、陽極温度が限度を超さないかということをはつきりさせなければならない。それで第2図～第12図に示す θ_1 の温度を H.U. に換算して、第13図(前頁参照)のように陽極許容負荷量の曲線を作つた。この換算はむづかしい問題であるが、こゝではつぎのようにした。

3,000 H.U./s の連続負荷では、 θ_1 が 30°C から 400°C に上昇するに 30 秒かゝることが第12図から知れる。そのため 90,000 H.U. (=3,000 H.U./s × 30 s) をもつて、370°C (=400-30°C) に相当すると仮定した。

第13図の陽極許容負荷量の曲線はつぎのようにして求めた。 θ_1 が 30°C のときを基準として、このときの陽極許容負荷量を 90,000 H.U. とし、また θ_1 が 400°C のときの陽極許容負荷量を 0 H.U. とする。そして第2図～第11図の θ_1 の上昇曲線をそのまま逆さにして、第13図の陽極許容負荷量の曲線とした。



第14図 使用規格の説明図
Fig.14. Expositive Diagram for Ratings

(D) 冷却曲線について

第2図～第11図より θ_1 が 400°C から冷却する状態を見ると、単位時間当り小さい負荷をもつて陽極温度を 400°C まで上昇したとき程、冷却が緩慢であることが知れる。それで管球の安全を計る意味から、比較的負荷の少い 180 H.U./s で温度を上昇した後の θ_1 の冷却曲線をもつて、第13図の使用規格における冷却曲線とした。たゞしこの場合も上下逆さにして記した。

180 H.U./s で θ_1 を 400°C まで上昇した後の冷却は、1時間で 30°C まで下る。そのため陽極許容負荷量は1時間休むことにより、0 より 90,000 H.U. に増加して、始めの状態に回復することになる。

(2) 連続または繰返し使用規格およびその説明

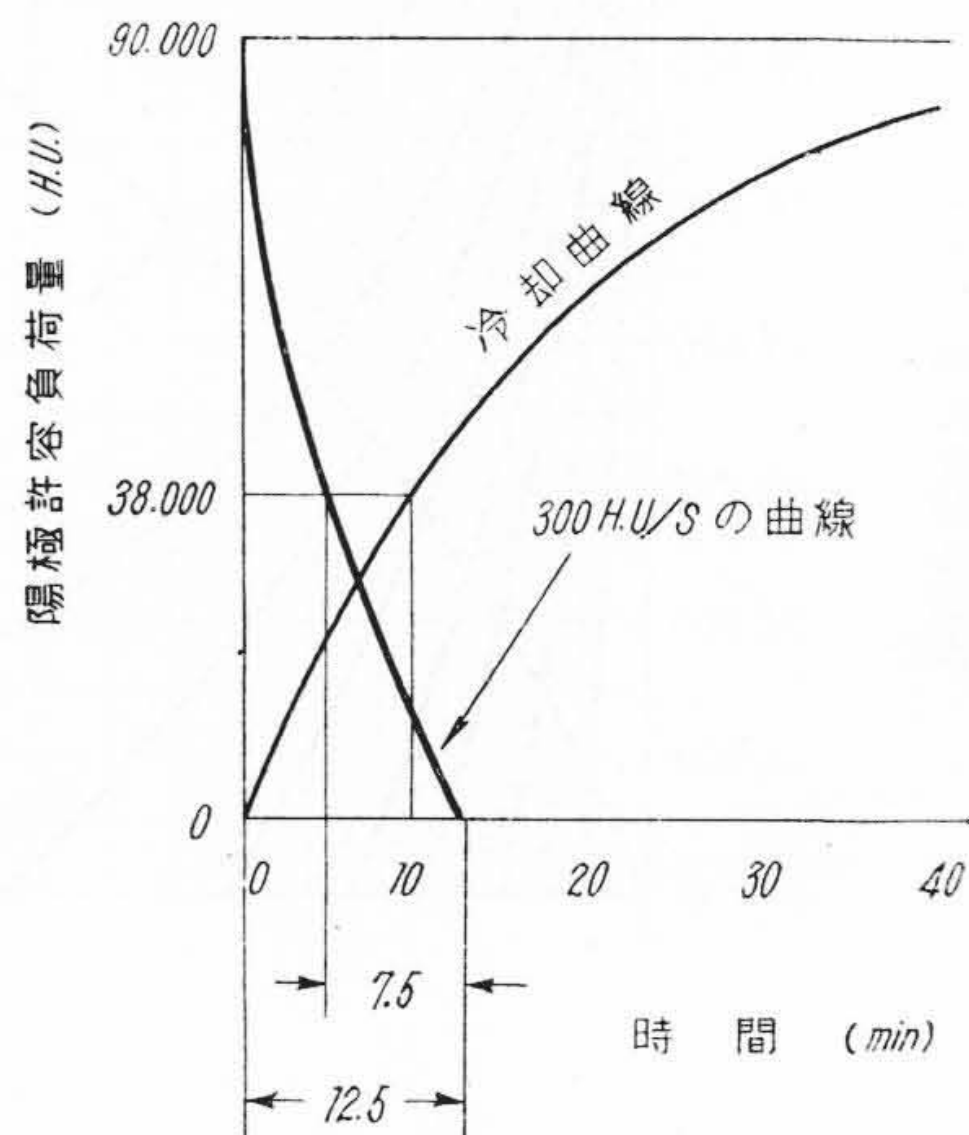
連続または繰返し使用する場合の規格を図表にして第13図に示す。つぎにこの図表の見方について例を用いて説明する。

(A) 撮影の場合

陽極が冷い最初の場合は 90,000 H.U. の容量がある。たとえば全波整流回路、70 kVP, 180 mA, 1 秒, 6 回の負荷は、合計 $70 \times 180 \times 1 \times 6 = 75,600$ H.U. になり許容値内にあるのでさしつかえない。つぎに引続き 70 kVP, 100 mA, 1 秒, 3 回の負荷(すなわち 21,000 H.U.)を与えようとする場合は、つぎに計算される時間だけ少くも休まなければならない。

最初の負荷 75,600 H.U. を与えた残りの 14,400 H.U. (=90,000 H.U. - 75,600 H.U.) から、後で与えようとする負荷 21,000 H.U. まで、陽極許容負荷量が増加する時間を冷却曲線から見ると約 1.8 分になるので(第14図参照)少くもそれだけ休む必要がある。

勿論この場合の各1回毎の負荷の大きさは、従来通り第1表および第2表に示す短時間使用規格の数値内にな



第15図 使用規格の説明図
Fig.15. Expositive Diagram for Ratings

なければならない。

(B) 透視の場合

1,000 H.U./s 以下の負荷を連続与えた場合は、図の曲線によつて陽極許容負荷量が減少する。たとえば 60 kVP, 5 mA すなわち 300 H.U./s の負荷では 12.5 分まで連続して良い(第15図参照)そのとき陽極許容負荷量は 0 になるが、その後 10 分休むと冷却曲線にしたがつて 38,000 H.U. まで増加する。そして再び 300 H.U./s の負荷を与えると、約 7.5 分後に陽極許容負荷量はまた 0 となる。すなわち 300 H.U./s の負荷では、7.5 分負荷を与え 10 分休みを繰返して良いことになる。

180 H.U./s 以下の負荷では時間に制限なく連続使用できる。

(C) 透視と撮影の場合

180 H.U./s で 15 分透視を行つた後の陽極許容負荷量は、26,000 H.U. になることが図から知れる。そのためその後に 70 kVP, 100 mA, 1 秒, 3 回の負荷(合計 21,000 H.U.)を与えることは可能である(第16図参照)。

(D) 撮影をある時間々隔で繰返す場合

75 kVP, 100 mA, 0.3 秒の負荷を 20 秒おきに繰返すような間接撮影の場合を仮定する。このときは休止時間も含めた時間で負荷を平均すると 113 H.U./s になるが、これは第13図から見て連続使用可能ということになる。

(3) 連続または繰返し使用規格の検討

(A) 使用規格の適用範囲

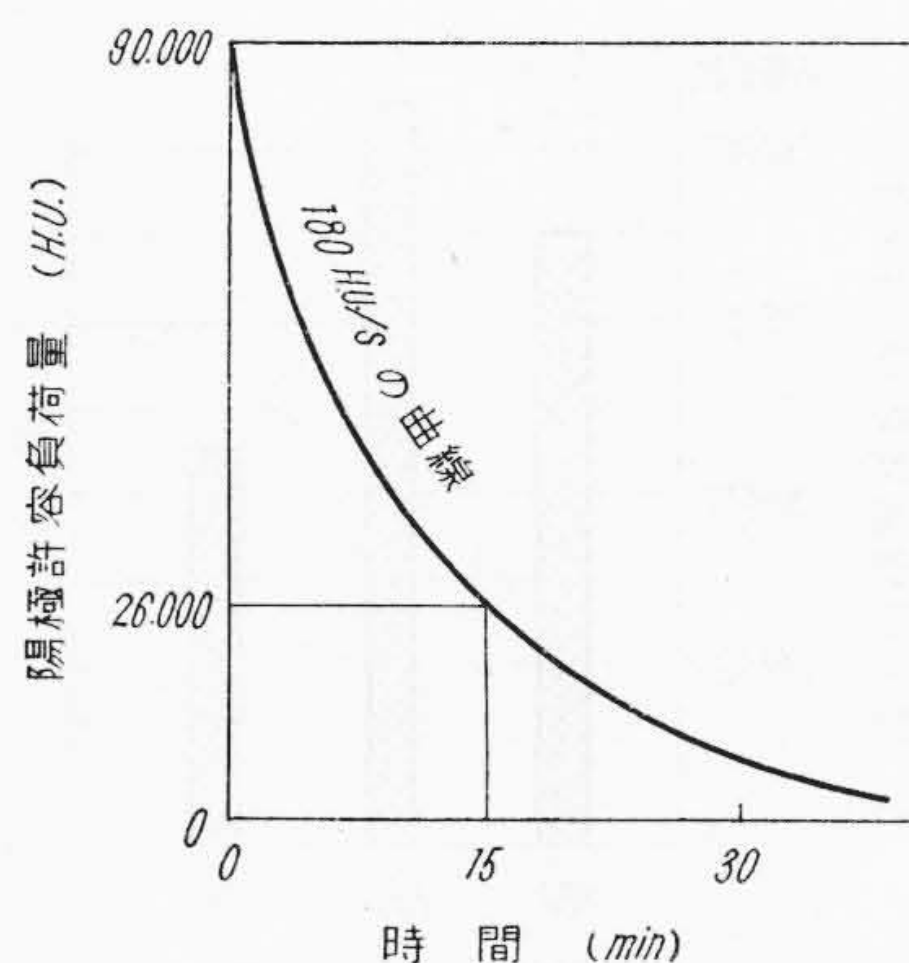
第13図の連続使用規格においても、単位時間当りの負荷が大きくなる程、許容負荷時間が短くなるので、短時間使用規格に順次近づいてくる。そのため第13図の使用規格の適用範囲に限度が生じてくる。それで第13図は SDR-10 および SDR-10/2 の大焦点側では、単位時間当りの負荷が 3,000 H.U./s 以下の場合、また SDR-10/2 の小焦点側では 500 H.U./s 以下の場合に適用すると定める。この範囲以外は第1表または第2表の短時間使用規格によるべきである。

(B) 短時間使用を繰返す場合の時間々隔

短時間使用を続けて繰返す場合、その負荷量の合計が第13図の陽極許容負荷量の範囲内にあれば、負荷を与えてさしつかえないということを前に記したが、この場合各 1 回毎の負荷の間隔は少くも 5 秒程度置かなければならない。もしこの休止時間以内に負荷を繰返すと、二つ以上の短時間負荷の影響が一つになつて、焦点部分の温度が上昇し、管球を破損する場合も起るからである。

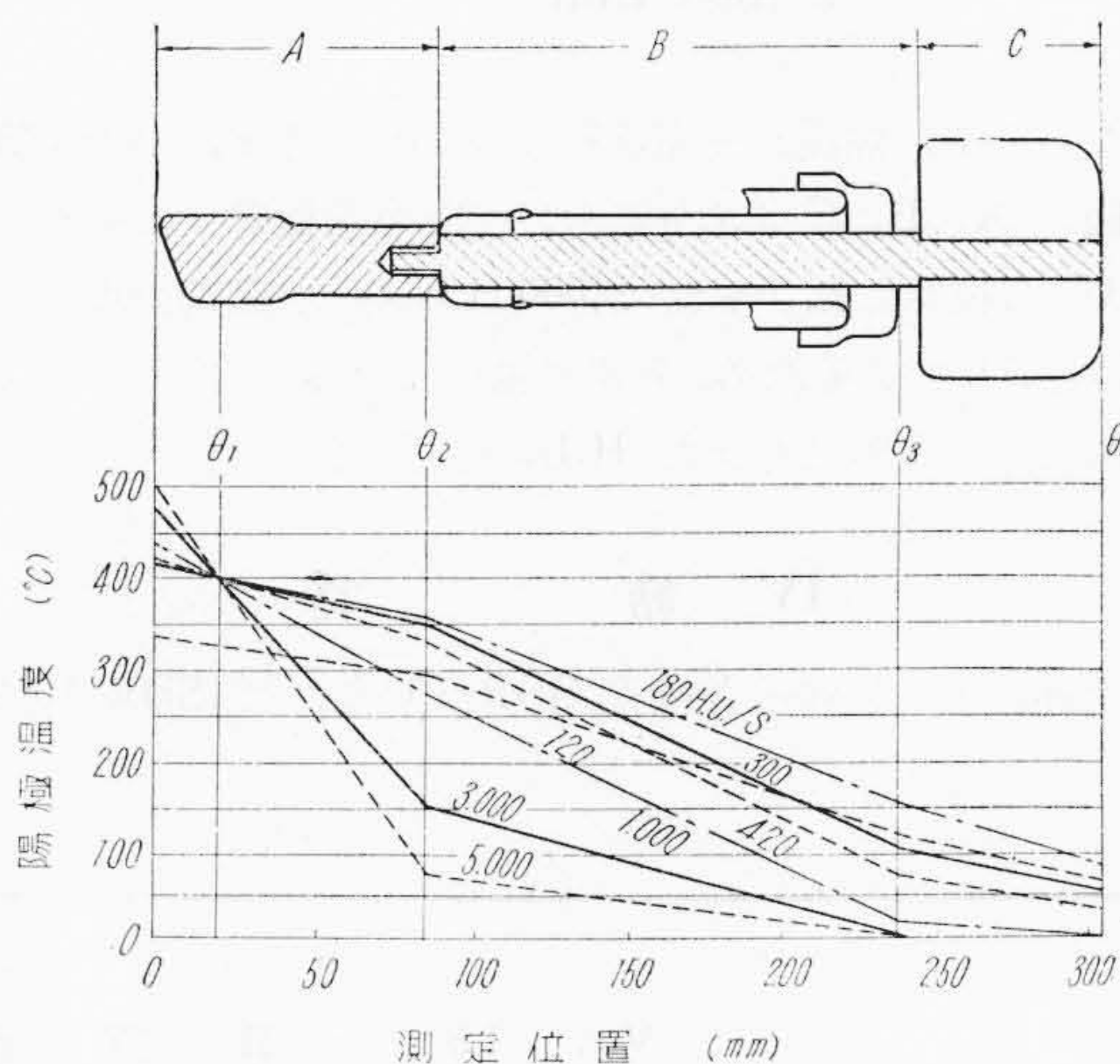
(C) 陽極に蓄積される熱量

陽極温度の実測結果より、 θ_1 が 400°C に達したとき、またはそれ以下で飽和したときの θ_2 , θ_3 および θ_4 の温



第16図 使用規格の説明図

Fig.16. Expositive Diagram for Ratings



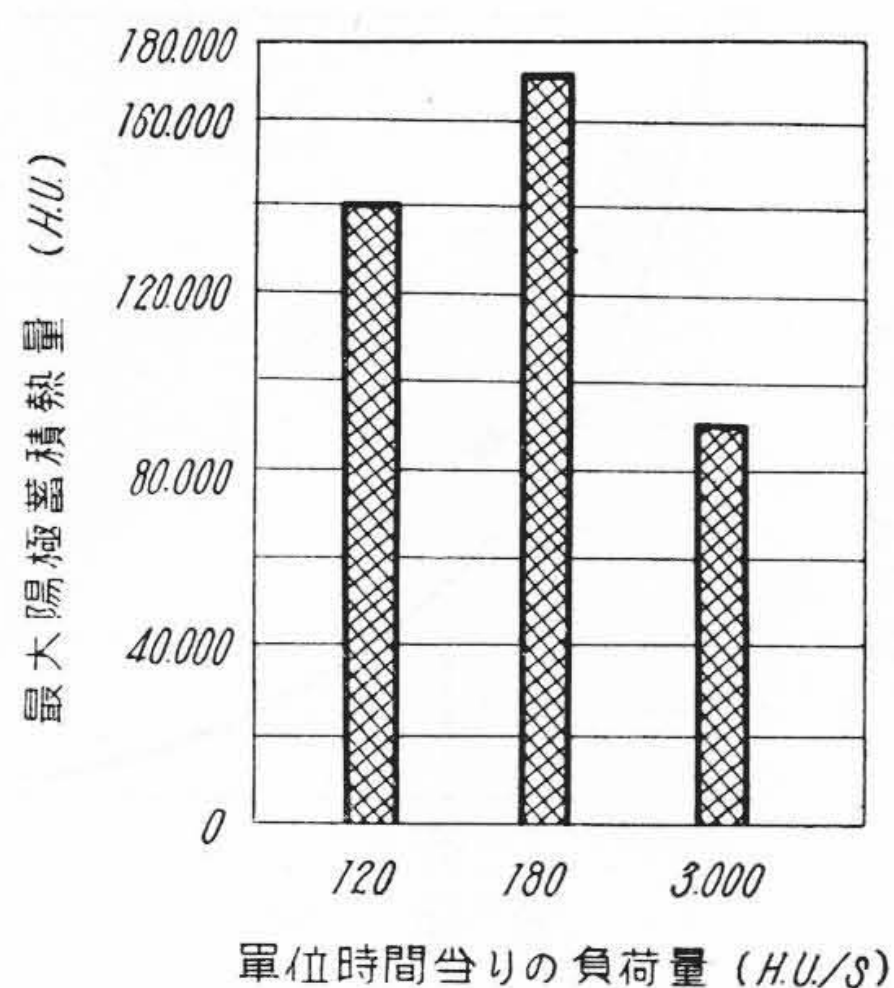
第17図 陽極の温度分布

Fig.17. Temperature Distributions of the Anode

度上昇を示すと第17図のようになる。これより陽極の温度勾配は、単位時間当りの負荷の大きさにより大分異ることが知れる。

つぎに本報告のように θ_1 を 400°C に抑えて連続使用規格を定めた場合、陽極に最大どれだけの熱量が蓄積されたかということを調べてみると、大体において第18図の棒グラフのようになる。これより陽極に蓄積される最大熱量は、単位時間当りの負荷の大きさによつて、はなはだしく異ることがわかる。すなわち単位時間当りの負荷が 3,000 H.U./s の場合は、最大蓄積熱量は 90,000 H.U. であるが、180 H.U./s の場合はその 2 倍近くの 170,000 H.U. になる。

この蓄積熱量はつぎのようにして概算した。120 H.U./s と 180 H.U./s の負荷のときは各部の温度が飽和値



第18図 最大陽極蓄積熱量
Fig.18. Maximum Anode Heat Storage
in Heat Unit

になるので、熱流が一定状態に達したと考え、陽極を第17図の A, B, C 3部分に分けて熱量を概算し、それを H.U. に換算した。また 3,000 H.U./s の負荷の場合は θ_3, θ_4 が 0 であるため、外部に逃げた熱量はないと考え、それまでに実際に与えた H.U. を計算した。

〔IV〕 結 言

上述のように空冷 X 線管 SDR-10 または SDR-10/2

について、陽極の管内にある部分の温度をある一定値に抑えることを原則として、連続または繰返し使用する場合の規格を作った。このように定めるとこの種の空冷 X 線管では、単位時間当りの負荷の大きさにより、陽極に蓄積される最大熱量ははなはだしく異なる。

ここに定めた使用規格と、従来から細かく定めてある短時間使用規格を守って X 線管を使用する場合は、管球の事故はほとんど起らないといつて良い。そのため X 線管使用者はこの両使用規格を熟知して操作して頂きたい。

終りに臨み本報告に関し御討論を頂いた X 線管協議会の方々に厚く謝意を表す次第である。

参 考 文 献

- (1) 滋賀, 村井, 岡部: 東芝レビュー, 8, 880 (昭 28-11)
- (2) X 線管協議会: X 線管の研究 (第 1 号) 48 (昭 26-1)
- (3) 田部: 島津評論 6, 222 (昭 25-2)
- (4) エスベ・クノール (船曳訳): 真空管材料学 98 (昭 20-2 有隣堂)

Vol. 16

日立造船技報

No. 2

◇ 目 次 ◇

溶接による収縮変形ひずみの研究 (2).....	{ 山 内 俊 平 中 井 恒 男
切削液の注油方式の研究.....	倉 田 忠 雄
亜鉛メタリコンの海水腐蝕試験およびはく離に関する研究	{ 中 村 勇 谷 直 重
船用ディーゼル機関主要しゅう動部の表面あらさに関する研究	{ 倉 田 忠 雄 伊 藤 義 典
ペンストックの縦溶接継手の残留応力緩和法	{ 山 内 俊 平 中 井 恒 男 国 広 敏 之
アルミニウム管を拡管法にてアルミニウム管板に取りつけた場合の固着力について.....	斎 藤 禎三郎
製 品 紹 介	
特 許 ・ 新 案 紹 介 (25)	

本誌につきましての御照会は下記発行所へ御願致します。

発 行 所

日立造船株式会社技術研究所

大阪市此花区桜島北之島町 60