

18
9
8
7
6
5
4
3
2
1
60
9
8
7
6

14.5-10イ



1200600196635

電氣試験所調査報告

第三十四號

電氣試験所長 高津 清

トリエーテド、タングステン繊維の
性質と直径、電流、温度の簡易圖表

PROPERTIES OF A THORIATED TUNGSTEN FILAMENT
AND SIMPLE GRAPHICAL DIAGRAMS RELATING
TO ITS DIAMETERS, HEATING CURRENTS,
AND TEMPERATURES

電氣試験所研究員 佐野 昌一

昭和二年二月

逓信省

電氣試験所

始





CIRCULARS
OF THE
ELECTROTECHNICAL LABORATORY,
KIYOSHI TAKATSU, DIRECTOR.

NO. 34

PROPERTIES OF A THORIATED TUNGSTEN FILAMENT
AND SIMPLE GRAPHICAL DIAGRAMS RELATING
TO ITS DIAMETERS, HEATING CURRENTS,
AND TEMPERATURES

BY

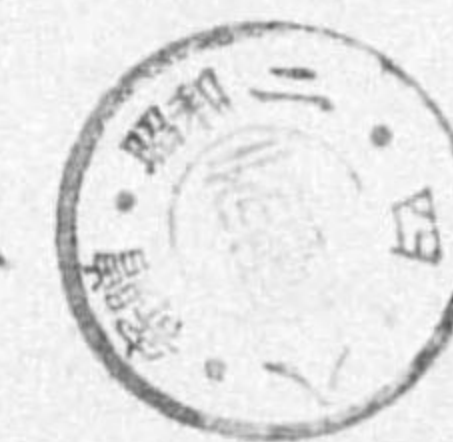
S. SANO

SYNOPSIS

We are indebted to the inventor for thoriated tungsten filaments as economical cathodes of thermionic vacuum tubes. In our country, the type of tubes was for the first time manufactured in 1924 by Nippon *Shinkukwan* Seisakusho under a trade name of NVV-6 A, and now it has become very common to the tube manufacturers and radio listeners. Physics and technics of a thoriated tungsten filament seem, however, not yet to be well understood to those concerned. We frequently find manufactures of repeating troublesome "cut and try" methods for the treatment of the filament and listeners throwing away recoverable tubes. Here, the writer has endeavoured to plainly explain the important properties of the filament and also worked out simple graphical diagrams which show the useful relations among diameters, heating currents, and temperatures.

The writer wishes to express acknowledgment of a great indebtedness to Dr. I. Langmuir, inventor of a thoriated tungsten filament for his unparalleled originality and his many valuable papers.

February, 1927.



寄贈本

目 次

I. 緒 言	頁 1
II. トリエーテド、タングステンの性質に 就て	4
(A) トリウム含有量に就て	4
(B) トリエーテド、タングステンが優秀なる電子放 射能率を有する理由	6
(C) 含有トリウムと温度の関係	8
(D) トリエーテド、タングステン線の與力操作階梯	11
(E) トリエーテド、タングステン織條の電子放射率 及び其の他	16
(F) トリエーテド、タングステン真空管の壽命	19
III. 直徑、溫度、電流の簡易圖表と其の使 ひ方	27
(A) 簡易圖表の根據と其の使ひ方	27
(B) 直徑、溫度、電流の簡易表	卷末

トリエーテド、タングステン繊維の
性質と直徑、電流、溫度の簡易圖表

電氣試験所研究員 佐野 昌一

I. 緒 言

無線用真空管の陰極として現今使用せられて居るものは次の三種である。

- (A) 酸化被膜繊維
- (B) 純タングステン繊維
- (C) トリエーテド、タングステン繊維

此外にセシウムを塗つたものほか、トリエーテド、モリブデンであるほか、さまざまのものが有るが、實用せられて居る例も多からず、又本報告の目的でもないので省略して置く。

上記三種の陰極の中、最も一般の歡迎を受け、使用も盛んであるのは、トリエーテド、タングステン繊維である。受信用の小型真空管は勿論の事、大型のものに至る迄、硝子球に於て銀色を呈せるマグネシウム、ゲッター使用の真空管は、殆んど陰極がトリエーテド、タングステンで出来て居るものだと思つて宜しいのである。

トリエーテド、タングステン繊維を陰極として使用して居る真

空管は、真空も高く増幅に適し、電子放射能率も亦頗る良く、寿命も長く、製品に不同尠く、再三再四放射能率の回復を計る事も出来るし、加熱に要する電流も極端に小さくする事が出来るのを其の特徴とする。

普通のタングステン織條では、加熱に要する電流又は電力は相當大きく、真空管の容量が大きくなるに連れて可成り厄介な問題となり、又働作温度高きが故に寿命短き憾みがある。

又、酸化被膜織條では、働作温度はトリエーテド、タングステンよりも低いけれども、真空度高からず、製品に不同起り易く、又製作稍困難で、加熱電流の如きもトリエーテド、タングステンほど低下する事が出来ないので、例へば乾電池で使用するといふ事は先づ無理だと思はなければならない。

そんな譯でトリエーテド、タングステン織條が、他の二種のものに凌駕して愛用せられて居るのである。併し唯、價格の不廉とトリエーテド、タングステンとして良き放射性を帯びしめる迄の工程が一寸六ヶ敷いのを缺點とする。けれども工程の方は、其の原理と、原理運用に關する數値とを辨へる事が出来れば、外には大して困難とする點は無くなるのである。之を取纏めて其の概念を簡易にして紹介發表するのが本報告の目的である。

トリエーテド、タングステンが、能率高き電子放射性を有する事は、米國ゼネラル、エレクトリック會社の研究所でラングミューア博士が、タングステン織條のあらゆる物理的性質に就て測定中に偶然發見せられたものである。博士がタングステン織條の電子放射を測つてゐる時、時々其の中に變態的に放射率の高いものが出て來るので、此の原因に就て研究の結果、タングステンに不純

物として混入してゐたトリアの影響と言ふ事が判つて來て、聽てトリエーテド、タングステンの性質に關して西曆1914年10月31日米國紐育市コロムビア大學フエウエザー講堂に開かれた米國物理學協會第73回總會席上に於ける「トリウムを含有するタングステンよりの電子放射に就て」と言ふ講演になつたのである⁽¹⁾又之に關しては西曆1917年10月23日付を以て米國特許第1,244,216號及び第1,244,217號となつて權利の確保を得たものであるが、日本に於ては幸に之は公知となつて居る。

トリエーテド、タングステンが實際真空管の陰極として使用せられ、真空管と言ふ品物となつて市場に發賣を見るに至つたのは西曆1922年の暮頃ではないかと思ふ。之は多分米國のラヂオ、コーポレーション、オヴ、アメリカの199型ではなかつたか。日本へ之が到來したのが同年の夏頃であつたやうに思はれる。我國で實際之に屬する真空管が製作せられ市場に出現を見たのは大正13年(西曆1924年)の秋で、東京不忍池畔に開催せられた無線電話普及展覽會に出品せられた日本真空管製作所のNVV-6Aが最初であつた。

爾來、此の種の織條を使用したトリエーテド、タングステン真空管を製作するものが陸續として現れ、今日では真空管製作者にして之を作らぬは無き状態となつた。併し製造に當つて、熱處理法や原理の基く所に就て未だ確然たる者少く、一々Cut and Try Methodによつて多くの日數と勞力を要し、正しき概念に缺けるが故に更に新技術の開拓に進むべき程の餘裕も無いやうに思はれるし、又、當所でも真空管試験の爲、製作研究をやつて居るが、ト

(1) Phys. Rev. Vol. 4, 1914, p. 514.

リエーテド、タングステン取扱に關し、其の都度一々計算を繰返す面倒を煩はしく思ふので、茲に本報告の如く、トリエーテド、タングステン織條の性質を表示し、且つ工程上最も大切なる温度、直径、加熱電流の三者間の關係を便宜圖表にしたのである。又一般真空管使用者に於ても本報告により、使用上注意すべき眼目を覚え、又放射性回復に便宜を得られる事があらうと思ふ。

本報告執筆に際し、筆者はトリエーテド、タングステンの發明者であるラングミュア博士と其の論文に盡大なる敬意を表する次第である。又本報告完成に至る迄、山本満雄君の盡力を得た事を感謝して置く。

II. トリエーテド、タングステンの性質に就て

(A) トリウム含有量に就て

トリエーテド、タングステン線と稱せられて、充分其の目的を達するに足る織條は、タングステン中にトリウムを2乃至3パーセント含有してゐる。中には5パーセントも含有してゐると稱するものもあるが確かでない、上記の如くラングミュアが、トリエーテド、タングステンの高放射性能を發見した當時のタングステン線には、不純物として0.2パーセント程度のトリウムが入つてゐた。

普通白熱電球などに純粹のタングステン線を白熱使用すると、高温度に於て結晶を生じ、結晶面の接する箇所から切斷しやすい事が判つた。今之に0.2パーセント程度のトリウムを混入して置

くと結晶面間にトリウムが一種の粘着物となつて織條の切斷を防ぐ。このために白熱織條にトリウムを混入する事が一部では採用されて來たのである。

大正十一年頃、東京電氣株式會社製三アムペアのタングステン織條を高熱陰極として用ひたる二極真空管の電子放射現象に就て前任田幸技師が實驗を試みられたる時、斯くの如きトリウムの影響によつて使用温度が低い程、後に飽和電流値の増大を來たす事を發見せられたが、其の轉任と共に實驗は中止された。

又、獨國ドイツエ、グリューフアデン、フアブリーク製造に係るトラム線と呼ばれるものは、之を一層徹底させむが爲めにトリウムの含有量を増大したもので、0.8乃至0.9パーセントにも及ぶものがある。當所では此のトラム線を夙にトリエーテド、タングステン線の代用として試験研究に使つて來た。

トリウムの含有量とトリエーテド、タングステン線として微熱放射性真空管の機能に現はれて來る結果との間には、熱處理にも關係して中々複雑した關係がある。勿論トリウムの含有量は多い程良いと考へられるが材料の強さ、價格、等の點から上記の如き含有率が定められたものと思はれる。

トリウムはトリア ThO_2 として始めから混入せられるものが最も普通なのであるが、一部には硝酸トリウムをタングステン線の表面に塗布して、恰もウエネルト、カソードの亞流を行くものもある。之は一考へても壽命の短い事が肯けるやうである。

本當のトリエーテド、タングステン線の分析は、高價なために行つた事はないが、トラム線のあるものに就ては試験をした事があるので参考の爲め下に掲げて置く。

第 A 表

トラム線分析試験成績

大正十四年五月二十七日。

逓信省電氣試験所第五部化学係分析

タングステン線 (商名トラム、ロイヤ) 二種

製造所 獨國ドイツエ、グリューフアテン、フアブリーク (D.G.F.) 東洋ユニオン貿易商會納。

試験品甲 直径 0.25 ミリメートル。長さ 8 メートル。

試験品乙 直径 0.35 ミリメートル。長さ 5 メートル。

分析試験表

試験品	トリウム	鍍	タングステン	珪素
甲	0.879	0.053	99.068	痕跡
乙	0.806	0.053	99.141	痕跡

(B) トリエーテド、タングステンが優秀なる電子放射能率を有する理由

トリエーテド、タングステン繊維が真空管の陰極として優秀な働作状態を示すのは、此の繊維の主成分たるタングステン中に混入せられたトリア ThO_2 が或る熱処理によつて還元せられて金属トリウムとなり、之がタングステン線の表面に吸着せられて薄い膜状を呈するのによるのである。勿論酸化し易い金属トリウムの事であるから常に真空管内の真空度を極めて高く保つて置く事が必要であつて、殊に酸素、炭酸瓦斯、水蒸氣の存在を忌むのである。ラングミュアは、トリウムが良い電子放射能率を保つには少くとも容器内の真空度が水銀柱 10^{-5} ミリメートルを超える壓力で

あつてはならないと言つてゐるが、上記の如き有害な氣體さへ除くことが出来るならば他の氣體が多少存在してゐても働作に悪影響を及ぼすことはないと思へられる。

トリウムが、タングステン線の表面に被覆する事が何故に電子放射能率を著しく良好に變へるかと言ふ事に就ては色々な説明の方法があるやうであるが、⁽²⁾ 結局次に述べるやうな風に考へて良いものと筆者は思ふのである。

凡て金属の表面から電子が放出する時のことを考へて見るのに、電子が表面から外部へ出る時には或る仕事をしなければならない。換言すると電子が表面から外部へ出やうとすると、それを止める力が表面にあるのである。であるから電子が或るエネルギーを持つてゐて外部へ飛び出さうとした時に之を止める力が弱ければ電子は苦もなく飛び出すが、之に反して止める力が強いと飛び出すことが出来ない。此の止める力は物質の種類によつて各々違つてゐるのである。此の力を電子蒸發常數と稱し、普通ヴォルトであらはすことになつてゐる。

ところでタングステンの電子蒸發常數は 4.52 ヴォルトであるがトリウムは 3.4 ヴォルトである。これから考へるとタングステンよりもトリウムの表面からの方が電子が遙かに飛び出し易いことが判る。

即ちタングステン中に含有するトリウムをタングステンの表面に被覆せしめ電子放射面をして一見トリウムばかりの表面に變成するのである。トリウムは高價な物質であるから繊維全體をトリウムとすることは出来ない。それにタングステンはトリウムより

(2) I. Langmuir; Phys. Rev. Vol. 22, 1923, p. 364.

も遙かに耐熱物質であるからして、トリウムが蒸發を始める温度附近に於て熱處理を施し、或ひは働作使用することがあつても材料として充分丈夫であつて、純トリウム織條よりも遙かに優秀な成績を示すものと考へてよい。現にタングステンの代りに、モリブデンを使用したトリエーテド織條が製造試用せられてゐるが、成績が比較的良くないのもモリブデンはタングステンよりも熔融温度が約1,000度も低いと言ふ事情に基くものと思はれる。

(C) 含有トリウムと温度の関係

冶金工場で製造せられた儘のトリア含有タングステン織條は、之を真空中に封入しただけではたとひ普通のトリエーテド、タングステン使用温度に熱したとて優秀な電子放射性能を示さない。これには是非共前節に於て述べたやうにトリアを金屬トリウムに還元した上、織條の表面に緻密に被覆せしめ、所謂トリエーテド、タングステンの状態に變成しなければならない。此の變成は高真空の本に於て適當な熱處理を施すことによつて其の目的を達することが出来るのである。そこで今此の熱處理の根本をなすところのトリウムと温度の関係に就て述べてみたいと思ふ。

説明の順序として一つの假定を置く。それは或る方法によつて織條中に含有せられてゐるトリア(酸化トリウム ThO_2) が金屬トリウムに既に變せられたものとする。如何なる方法によつて變成せられるかは後に述べる。

さて金屬トリウムを含有するタングステン織條があつたとき、之を高真空内に保つて徐々に熱し、漸次高温度に上昇せしめて行く。絶対温度 1,500 度迄は金屬トリウムの位置には少しの變化も

生じない。更に温度を上昇して 1,900 度に達する頃には、トリウムはやや著しく織條の内部から表面の方へ向つて擴散して行くのが認められる。若し此の温度で長時間放置して置くと、トリウムは内部から漸次表面へ出で、其の儘表面に溜つてトリウムの薄膜が出来る。斯くの如くトリウムが表面へ擴散して來ても表面から蒸發することなく表面に止つてゐるのを吸着現象と名付けるのである。

何故にトリウムはタングステンの表面に吸着するかと言ふと、これは兩物質の表面エネルギーの関係に基くものであつて、一般に或る物質の表面に他の物質が出て來た場合、後者が前者の表面エネルギーを低下するやうなものであつた時には、後者は前者の表面に吸着せられるのであつて、⁽³⁾ 今の場合前者はタングステんに相當し、後者はトリウムに相當するのである。何となれば或る物質の表面エネルギーは其の物質の蒸發温度と原子量の三分の二乗との積に正比例し、密度の三分の二乗に逆比例すると見て良いのであるから⁽⁴⁾ 兩物質に就て之を比較計算すると次のやうな結果になる。

第 B 表

	タングステン	トリウム
蒸發温度	絶対温度 3,000 度	絶対温度 2,000 度
原子量	184	232
密度	19.4	11.9
表面エネルギー比	1	.41

(3) 之を Gibbs の法則と言ふ。

(4) Ramsay-Shields の法則。

即ちトリウムの表面エネルギーは、タングステンのそれに比して、僅か41パーセントに過ぎないことが判るのである。随てトリウムがタングステン繊維の内部から擴散して來て表面に出ると其儘吸着されることが判る。

今考へたのは絶対温度約 1,900 度までのことであるが、繊維の温度がずつと高くなつて來るとトリウムは前よりも夥しい率で發生し表面へ向け擴散して來るが、其のエネルギーが充分大きくなつて居るため、表面へ現れるより早く蒸發して仕舞ふのである。此の蒸發現象は絶対温度 2,200 度に於て相當著しく認められるが、更に高温度に上昇し、2,500 度から 2,600 度に達すると、表面に現れ來る金屬トリウムは完全に全部蒸發して仕舞ふのである。

金屬トリウムを表面に吸着せしめる操作は、與力作用(Activation)と言ひ、吸着してゐたものを温度を上昇して蒸發せしめ金屬トリウムの吸着状態を剝離してゆく操作を脱力作用(Deactivation)と言ふ。

トリウム含有タングステン線を用ひて微熱放射性真空管を製作する時には、此の與力作用に據つて繊維が低温度でも充分な電子放射をするやう力付けるのである。又斯くして製作せられた真空管を使用するに際して繊維を自熱せしむる事あらば之は絶対温度 2,500 度以上に昇る事であるから、脱力作用によつてトリウムは剝離し始め微熱状態では元の如く働かない事となるのである。

與力作用によつてタングステン線の表面に吸着するトリウムは僅か一原子の厚さを保つてゐる事が種々な研究から判つた。であるから内部からトリウムが擴散によつて更に表面に進み寄つて來たとする、そして既に存在する吸着トリウム原子の真下に至り、

即ちタングステンの表面に出づるが早いか、先に吸着してゐたトリウムは蒸發し、あとから出て來たトリウム原子が其の跡を繼いで其處に吸着するのである。

以上述べた所は、金屬トリウムが繊維中に存在してゐると言ふ假定の本に話を進めて來たのであるが、實際は冶金工場で製作せられたばかりのトリア含有タングステン線は、真空に封入して普通の使用温度に熱しても豫期の効果は得られないので、是非共トリア(酸化トリウム ThO_2)を金屬トリウムに直さなければならない。之には如何なる方法を用ひるかと言ふと、最初其の繊維を高真空の本に於て絶対温度 2,600 度以上に熱すると、トリアは分解して金屬トリウムが生ずるのである。普通は之よりもずつと高い温度即ち 2,800 度乃至 2,900 度で高熱して良い成績を擧げてゐるが、餘り長時間熱することは含有トリウムを過度に蒸發せしめて微熱放射性真空管としての壽命を短くするわけであるから精々 1 分間位の程度に止めることが必要である。

(D) トリエーテド、タングステン線の與力操作階梯

實際にトリウム含有タングステン線を真空容器中に封入したものを、比較的低温度の赤熱位にて電子放射を充分に行ひ真空管として使用に耐へるやうにするには如何なる順序に據り、如何にすべきであるか。勿論上記與力作用に俟つ事は言ふ迄もない事であるが、其處に又注意すべき重要な諸點がある。次に主要なる點に就て簡単に述べて置く。

先づ製作中には高度の真空中に於て絶対温度 2,000 度位に少時熱し、次に 2,500 度上昇し數分間放置しエーディングを行ひて、

織條の強さを増大せしめる。此の間に吸藏瓦斯も放出される。次に、マグネシウムを蒸發させる事によつて瓦斯吸収を行はしめた後真空管を排氣臺から除去する。此の高真空中に於て 2,800 度乃至 2,900 度で 30 秒程熱する。これによつて織條の表面に附着してゐた汚物は皆分解して美しいタングステンの表面を得る。之を淨化作用（原語ではフラッシングと言つてゐる）と言ふ。又同時に金屬トリウムは充分發生して、表面の直ぐ下に豊富な分布状態を示す。

次に與力作用によつてトリウムを表面に吸着させれば良いのであるが、此の與力温度としては絶対温度 1,900 度乃至 2,400 度の間が使はれる。

與力温度が低い程トリウムは全面に完全に吸着する。此の吸着面積の程度は、此の織條から或る一定動作温度に於て放射し得る電子數、即ち飽和電流に重大なる關係があるのである。之は次の方程式で現す事が出来る。

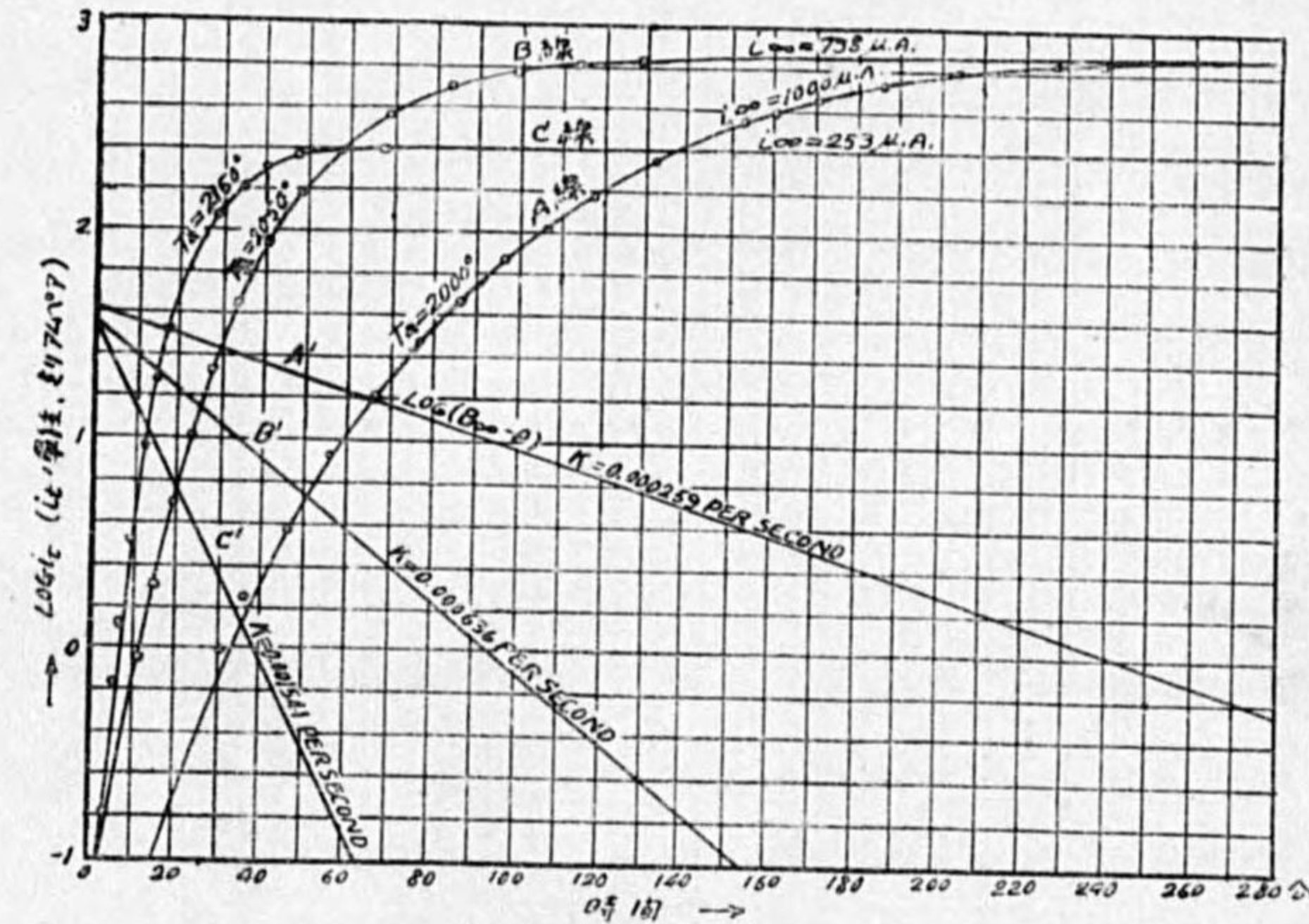
$$\theta = \frac{\log i - \log i_0}{\log i_1 - \log i_0}$$

茲に θ はトリウムの吸着率で、完全に全面隙もない迄に吸着した時は $\theta=1$ となり、淨化作用で完全にトリウムを表面から迫出した暁には $\theta=0$ として現はす事が出来る。換言すれば之は純粹のタングステンの表面の場合である。 i_1 は完全に吸着された $\theta=1$ の時の飽和電流であり i_0 はタングステン線、即ち $\theta=0$ の時の飽和電流を現はすのである。又 i は或る率を以て吸着されてゐる時の飽和電流を示す。

此の式から判る通りに電子放射數の對數は θ に對して簡単な直線的關係を有する。例を以て言へば、或る一定温度に於てタングステン線から發射する電子の數を標準として之を一單位とし、之が同一の温度で完全にトリウムの吸着を見た時に放射電子の數が 100,000 倍になつたとすると、今半分の密度 ($\theta=0.5$) でトリウムが吸着した織條から放射される電子の數は、算術的平均即ち其の半分の 50,000 倍ではなくして幾何學的、平均即ち平方根であるところの 316 倍に過ぎないのである。

挿入の第一圖は與力温度に對して飽和電流の異なることを明かに

第一圖

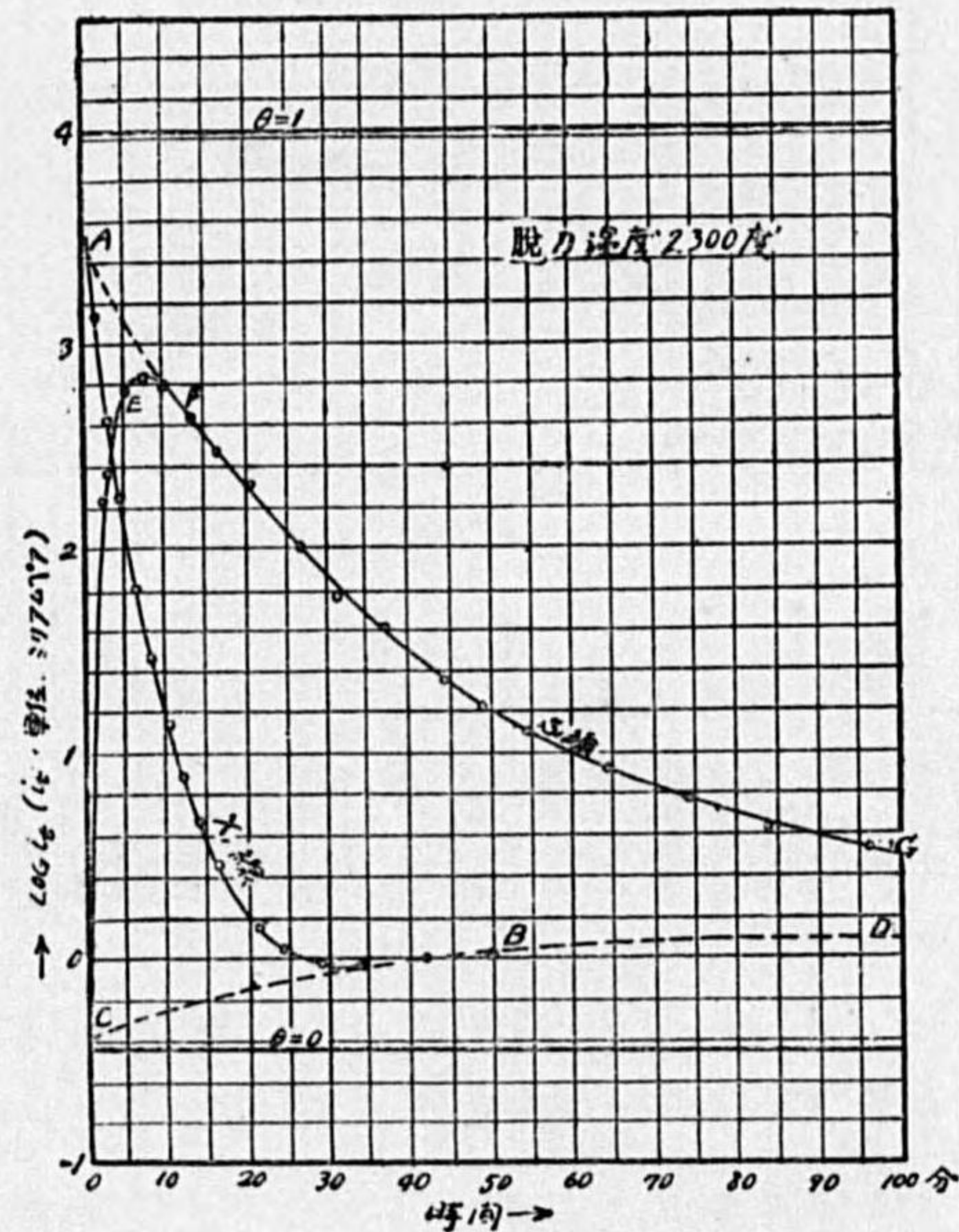


示してゐる。但し同圖を以て判る通りに、與力率は温度が高い程急激になるので、圖中 K なる數値で示すは其の與力作用の傾度に當る。

與力溫度が比較的低い程、飽和値が大きくなるのであるが、この飽和値に達する迄の所要時間は、與力溫度が低い程長時間を要するので實際の製作業を營んでゐる所では、斯くも長時間を懸ける事が出来ないで、飽和値を多少犠牲にしても與力時間の短縮を計る方が得策となるのである。現今各工場で普通選定してゐる與力溫度は絶対溫度 2,200 度乃至 2,300 度である。

之に就て例示をすれば、第二圖の如くである。X₁線、S₁線は何れも同一の溫度 2,300 度で真空中に熱したのであるが、其の履歴

第二圖



が異つてゐるために大分相違を示してゐる。圖の横軸には時間をとり、縦軸には放射電流を對數で表示してある。但し放射電流を測る時は溫度をずつと下げて絶対溫度 1,500 度附近で測定したものである。 $\theta=0$ と言ふ横線は、タングステン線としての放射値を示し、 $\theta=1$ は完全に與力された理想的狀態に於ける放射値を示してゐる。

先づX₁線の方は、織條を絶対溫度 2,800 度で 30 秒間、淨化作用を終り、次に 2,250 度で 3 時間、更に 2,100 度で 3 時間、真空中に熱した結果、圖のA點で示すやうな放射電流値を有するものである。之を 2,300 度で熱するとX₁線の如く、時間と共に放射電流値は低下し、遂に 30 分経過したる附近で最低となり、更に時間が進むと少し増大して來る。此の線の形についての説明は 2,250 度及び 2,100 度で合計 6 時間の加熱の間に、上記高溫度によつて生じた金屬トリウム の 80 パーセントを表面の方へ擴散せしめた事、及び最後の溫度が 2,100 度であつた爲めタングステン線の内部のトリウム分布密度が小さい爲め 2,300 度で熱すると表面のトリウムは蒸發しても内部から表面へ之に代る可きトリウムの數が遙かに及ばず、斯くの如き脱力作用を示すのである。併し只今は 2,300 度で熱せられてゐる爲め段々トリウム分布密度が大きくなり、30 分も経た所から先では少し狀態が變り回復して來るのである。

次にS₁線の方は織條を絶対溫度 2,800 度で 30 秒間真空中にて熱する事は前と同じであるが、次に直ちに 2,300 度にして 100 分餘も熱して得た曲線である。之を見ると最初は殆んどトリウムの影響が現はれてゐないが、2,800 度と言ふ高溫度に置かれた爲め、表面の下に於けるトリウム分布密度は極めて多いため急激なる吸着速度

を示し、A 點には及ばないが、約 7 分の後最大値 E に達し、次には分布密度が減じて来る爲めに吸着速度の方が蒸發速度に打ち負けて、曲線は脱力傾向を帯び 100 分の後には G 點に至り懸て BD の表はす飽和状態に近付かむとする。

此の X₁ 線、S₁ 線の比較からして、極大飽和電流値を多少犠牲にするも、1,900 度又はそれ以下の温度よりも 2,300 度の如き比較的高温度で與力する方が與力時間を短縮し得て實用上有益である事が肯かれるのである。但しそれが爲めにはこれに先立つて 2,800 度又は 2,900 度の如き高温に上昇し、成る可くトリウムを失ふ事なき程度の短時間に於てタングステン線表面下のトリウム分布密度を大きくして置く事が必要なのである。

上記第一圖、及び第二圖の縦軸の方は何れも可成り低い温度に下げて電子放射を測定してあるが、之はラングミュアによつて試験温度と名付けられてゐるもので、大抵絶対温度 1,500 度を選んである。斯くの如き温度を選んだと言ふ事は、其の温度ではトリウムの擴散や蒸發が殆んど生じないからであるのと、今一つは測定に當つて、純タングステン線からの放射は毎平方センチメートルの表面に就き 0.1 マイクロ、アムペアで、又一方完全に與力せられたトリエーテド、タングステンからの放射は毎平方厘に就き 18 ミリアムペアで、檢流計を働かすには恰度良い範圍であるため、500 度を選定したのであると言つてゐる。

(E) トリエーテド、タングステン織條の電子放射率及び其の他

トリエーテド、タングステン織條の電子放射率については、ド

ソシユマンが導出せる公式によつて同氏が諸物質に就て計算した第 C 表に依つて與へられてゐる。⁽⁵⁾

第 C 表

トリエーテド、タングステン其他の電子放射率

温 度 (絶対温度)	電子放射率(アムペア/平方センチメートル)			
	タングステン	トリエーテド、 タングステン	モリアテナム	タンタルム
800		1.20. 10 ⁻¹¹		
900		1.70. 10 ⁻⁹		
1000		9.12. 10 ⁻⁸		
1100		2.51. 10 ⁻⁶		
1200		3.98. 10 ⁻⁵		
1300		3.98. 10 ⁻⁴		
1400	5.75. 10 ⁻⁹	3.00. 10 ⁻³	3.63. 10 ⁻⁸	4.47. 10 ⁻⁷
1500	7.94. 10 ⁻⁸	1.82. 10 ⁻²	4.57. 10 ⁻⁷	4.68. 10 ⁻⁶
1600	8.13. 10 ⁻⁷	8.51. 10 ⁻²	4.17. 10 ⁻⁶	3.72. 10 ⁻⁵
1700	6.31. 10 ⁻⁶	3.39. 10 ⁻¹	2.95. 10 ⁻⁵	2.29. 10 ⁻⁴
1800	3.98. 10 ⁻⁵	1.15	1.70. 10 ⁻⁴	1.20. 10 ⁻³
1900	2.14. 10 ⁻⁴	3.55	8.32. 10 ⁻⁴	5.13. 10 ⁻³
2000	9.12. 10 ⁻⁴	9.55	3.31. 10 ⁻³	1.95. 10 ⁻²
2100	3.55. 10 ⁻³	23.44	1.20. 10 ⁻²	6.43. 10 ⁻²
2200	1.17. 10 ⁻²	53.70	3.89. 10 ⁻²	1.93. 10 ⁻¹
2300	3.71. 10 ⁻²	117.50	1.15. 10 ⁻¹	5.28. 10 ⁻¹
2400	1.05. 10 ⁻¹		3.09. 10 ⁻¹	1.34
2500	2.74. 10 ⁻¹		7.76. 10 ⁻¹	3.14
2600	6.68. 10 ⁻¹			
2700	1.52			
2800	3.30			

(5) S. Dushman and J. W. Ewald, G. E. Review. March 1923, p. 156.

茲に挙げた數値はタングステンの表面を完全にトリウムが蔽つた場合、即ち $\theta=1$ の時について求めたものである。實際は先にも一寸述べたやうに、與力温度によつて θ は變化し、何れも 1 より小さな値をとり $\theta=1$ になるが如きは中々困難である。隨て此所に掲げてある數値よりも小さい値になる筈である。

ラングミュアが 0.00389 センチメートルの直徑を有するトリエーテド、タングステン纖維について求めた電子放射率、及び之に關する種々の項目の變化の状態は、次の第 D 表によつて大體窺ひ知る事が出来るであらう。

第 D 表

定常状態に於けるトリエーテド、タングステン
纖維の性質一覽表

トリウム含有量 1 パーセント
直徑 .00389 センチメートル

温度 (絶対温度)	分布密度 (原子個數/㎠ ²)	吸着密度	電子放射率 (アムペア/㎠ ²)	壽命 (時間)	與力時間 (秒)
1300	6.61×10^{17}	0.99997	4.14	—	—
1400	2.23×10^{18}	0.99975	3.12	—	1.43×10^{11}
1500	6.41×10^{18}	0.99875	0.0179	—	5.23×10^9
1600	1.61×10^{19}	0.99528	0.0812	—	2.88×10^8
1700	3.64×10^{19}	0.9848	0.287	—	2.15×10^7
1800	7.51×10^{19}	0.9605	0.772	720,000	2.02×10^6
1900	1.43×10^{20}	0.9191	1.59	94,000	2.18×10^5
2000	2.57×10^{20}	0.8713	2.89	15,100	2.48×10^4
2100	4.36×10^{20}	0.781	3.43	2,897	9.48×10^3
2200	7.03×10^{20}	0.551	1.24	643	2.10×10^3

温度 (絶対温度)	分布密度 (原子個數/㎠ ²)	吸着密度	電子放射率 (アムペア/㎠ ²)	壽命 (時間)	與力時間 (秒)
2300	1.09×10^{21}	0.139	0.114	164	531
2400	1.63×10^{21}	0.0601	0.168	47	7.0
2500	2.36×10^{21}	0.0355	0.357	14.6	1.28
2600	3.31×10^{21}	0.0207	0.774	5.01	0.268
2800	6.08×10^{21}	0.0088	3.48	0.74	0.0161
3000	1.03×10^{22}	0.0041	13.5	0.14	0.0014

之は上記直徑のものにのみ適合するのであつて、直徑が變化すれば其値も亦變するが、各項に挙げた性質變化の概念を得る事が出来る。但し壽命だけは直徑には無關係である。この壽命と云ふのは、纖維に於けるトリウムの含有量が最初の値の $1/e$ 、即ち約 37 パーセントに減衰する迄に要する時間である。

直徑の變化につれ分布密度は増大する。分布密度の増大は、ひいて吸着密度、及び電子放射率を變する。與力時間は比較的低温度の方では直徑に逆比例するが、比較的高温度では直徑に無關係となる。

之等についての細論は本報告の目的ではないので之は又他日稿を改めて述べたいと思ふ。

(F) トリエーテド、タングステン真空管の壽命

トリエーテド、タングステンを使用する真空管の壽命は一般に規定温度では電子放射率が著しく低下する事によつて生ずるものと考へられてゐる。(6)つまり規定の纖維電壓では、真空管が全く働

(6) W. C. White; "Life Testing of Tungsten Filament Triodes" I. R. E., Vol. 13, No. 5, 1923.

かなくなるか、又は働いても最初に比べて甚だしく働作が弱つて来た時を以て壽命が来たものとするのである。普通のタングステン線を用ひ、之を白熱にして使用する真空管に於いては、壽命は織條切斷によつて終るを普通とするが之に比較すると、状態が大いに異つてゐるのである。

電子放射率が低下すると言ふ事は如何なる原因に支配せられて居るかと言ふに、次の數項を考へる事が出来ると思ふ。

- (1) トリウム含有量
- (2) 使用温度
- (3) 金属トリウムの存在量

トリウムの含有量が多いもの程壽命は長い筈である。先に述べたトリウム含有量は製造の際に用ふる陰極材料としての含有量である。製造に掛る時から使用者の手に移る迄の間に、排氣工程、輿力操作、試験等の諸工程中、織條が過熱せられるとか、高温度で相當長時間熱せられるとかの原因によつてトリウムは幾分又は多量の蒸發を見る譯で、隨て使用開始の際に於けるトリウム含有量は最初のものに比すれば相當の減少を見てゐる譯である。之等工程に於て技術の拙劣や不用意は著しき含有量の減少を生ずる。

トリエーテド、タングステン真空管の使用温度は最も壽命に深い關係を持つ。使用温度が高くなれば電子放射率は大變良くなるがトリウムの擴散の増大、蒸發の激増によつてトリウム含有量は速かに減少する爲め壽命は短くなる。使用温度を低くすればトリウム含有量を殆んど變化なき迄にする事が出来るが、其の代り電子放射率は減少し、織條能率が悪くなる。結局、現在市場に出てゐる此の種の小型真空管では織條温度を絶對温度1,900度附近で使

用する事にしてゐる。ラングミューアは1,700度から1,800度の間で使用すると壽命は充分長いと言つてゐる。⁽⁷⁾大型真空管では之を2,000度で使用するように設計せられてゐる。⁽⁸⁾

トリアが金属トリウムに還元せられてゐなければ電子放射率は良くならない。擴散吸着によつて輿力作用を生せしめる時でも、表面から蒸發する金属トリウムを内部から擴散によつて補つて行く時でも、最初に於てトリアを金属トリウムに多量に還元が出来てゐないと、電子放射率の増大なり、保持なりが出来なくて、段々低下して来る譯である。

上記は製品として完全なる真空管に就ての原因であるが、然らざるものに就ては真空度の低い事、不良材料を用ひてある事、及び排氣方法が不完全である事が壽命激減の原因となつて来る。之等合格標準線以下のものゝ壽命激減の詳細に涉つては今日のところ明瞭に量的結論が付いてゐないのである。又其の外突發的に起る故障としては、織條が非常に細い爲めに機械的衝動によつて之が切斷を見る事もあり、又三極が何れか相觸れ合つて働作不可能な状態になる事もある。

壽命の量的結果に就ては白熱タングステン線を陰極とする真空管の場合は問題が比較的簡單であるが、⁽⁹⁾トリエーテド、タングステン真空管に就ては上記の如き困難なる事情の爲めに其の研究は完成してゐない。唯之に關係ある諸結果を参考の爲めに次に並

(7) Wireless Age. Vol. 5, January 1918, p. 279-281.

(8) Warner and Pike, "The Application of the X-L filament to power Tubes." I. R. E., Vol. 13, 1925, pp. 589-609.

(9) 拙著、逓信省電氣試験所研究報告第百六十一號「真空管壽命の一例」

べて見やうと思ふ。

第一に、第 D 表 (第 18 頁) の第五項目に記してある寿命は、トリア含有量が 1 パーセントなるトリエーテド、タングステン繊維の含有トリアが最初の 37 パーセントに低下するときを寿命が終つたものと考へてラングミュアが計算した結果である。⁽¹⁰⁾ 例へば最初から繊維温度が絶対温度 1,900 度に保たれるとすると 94,000 時間経過すると寿命が終つた事になる。斯くの如き状態は、本當の場合とは大いに相違がある譯で、實際は勿論之より短命になる可き筈である。

テレフンケン會社の試験に依るとテレフンケン真空管 RE 78 型を、規定の通り繊維電圧 2.5 ヴォルト、繊維電流 70 ミリアムペアでプレート電流 10 ミリアムペアに一定して、恰度繊維電力毎ワットに就き 55 ミリアムペアの率で連続的に 3 個の真空管を試験した所、其の寿命は、2 個は 1,000 時間にて終了し、他の 1 個は 2,000 時間を経るも何等異状がなかつた。同じ會社の真空管で RE 83 型を、規定繊維電圧 2.5 ヴォルトで、繊維電流は 190 ミリアムペアとし、プレート電流は前同様 10 ミリアムペアに一定して、丁度繊維電力毎ワットに就き 25 ミリアムペアと言ふ少し安全な所で 4 個の真空管を試験した所、其の寿命は 1 個は 2,300 時間で終了し、他の 3 個は 4,000 時間を経ても異状がなかつた。此の二つの成績では寿命は數千時間の程度で、繊維能率の低い程長命のやうに思はれる。⁽¹¹⁾

ラングミュアは、昔、トリエーテド、タングステン真空管の壽

(10) I. Langmuir, Phys. Rev. Vol. 22, 1923, pp. 386-387, & p. 397.

(11) Telefunken Zeitung, Nr. 38, Oktober 1924, S. 19-34.

命は 1,000 時間であると言ひ、⁽¹²⁾ 又之に關係ある所の發表によれば UV-199 型では 500 時間、UV-201-A 型では 1,000 時間となつてゐる。⁽¹³⁾

又最近、米國ゼネラル、エレクトリック會社の研究する所に據れば、次の如き結果になつてゐる。⁽¹⁴⁾

UV-199 型真空管は、繊維電圧 3 ヴォルト、繊維電流 60 ミリアムペアで 20 乃至 100 ヴォルトのプレート電圧にて使用し、繊維能率は毎ワットに就き 44 ミリアムペアのものであるが、同じ繊維状態で、グリッド端を繊維の一端に付した状態で總數 23 個に就て得た結果は次の如くである。

第 E 表

壽命	個數	原因
1,800 時間	1 個	放射低下
1,500	1	同
1,450	1	同
1,250	1	同
1,150	1	同
950	1	同
915	2	繊維燒断
875	1	放射低下
800	3	同
700	2	同
675	1	同

(12) Wireless Age, Vol. 5, Janu. 1918, pp. 279-281.

(13) 拙著、逓信省電氣試験所調査報告第二十號「米國製真空管一般特性表」

(14) W. C. White, "Life Testing of Tungsten Filament Triodes." I. R. E. Vol. 13, No. 5, Oct. 1925, p. 625

壽命	個數	原因
650 時間	1 個	放射低下
425	2	同及び織條焼断
200	1	ベース損傷
30	2	織條切断
25	1	短絡及びベース損傷
平均壽命 = 781 時間 (最大壽命 = 1,800 時間) (最小壽命 = 25 時間)		

UV-201-A型真空管は、織條電圧 5 ヴォルト、織條電流 250 ミリアムペアで 20 乃至 135 ヴォルトのプレート電圧にて使用し、織條能率は毎ワットに就き 36 ミリアムペアに當るものであるが、種々なる試験状態により、又其の製品によつて次の如き結果を得たのである。

(I) 試験状態。 試験個數 UV-201-A 7 個
 織條電圧 5 ヴォルト (交流)
 プレート電圧 60 ヴォルト (直流)
 グリッド電圧 5 ヴォルト (直流)

第 F 表

壽命	個數	原因
11,500 時間+	1 個	(目下繼續使用中)
10,500	1	放射低下
10,000	1	ベース破損

壽命	個數	原因
9,000 時間	1 個	原回不明
8,300	1	放射低下
3,800	1	同
1,000	1	誤つて破損す
平均壽命 = 7,729 時間 (最大壽命 = 11,550 時間+) (最小壽命 = 3,800 時間)		

(II) 試験状態。 試験個數 UV-201-A 6 個
 (排氣不良のもの)
 織條電圧 5 ヴォルト (交流)
 プレート電圧 60 ヴォルト (直流)
 グリッド端は一方の織條端へ附ける。

第 G 表

壽命	個數	原因
125 時間	1 個	放射低下
100	2	同
75	3	同
平均壽命 = 92 時間 (最大壽命 = 125 時間) (最小壽命 = 75 時間)		

(III) 試験状態。 試験個數 UV-201-A 36 個
 (4 組に分けてある)

織條電壓 5 ヴォルト (交流)
 プレート電壓 120 ヴォルト (直流)
 グリッド電壓 -6 ヴォルト (直流)

第 H 表

寿命	個数	原因	要 闡
2,000時間+	18	(使用繼續中)	A 及び C 組
1,050	1	放射低下	B 組成績 平均寿命 = 354 時間 (最大寿命 = 1,050 時間) 最小寿命 = 250 時間
750	1	同	
500	1	同	
490	1	同	
350	1	同	
300	3	同	
250	2	同	
300	1	同	D 組成績 平均寿命 = 209 時間 (最大寿命 = 300 時間) 最小寿命 = 100 時間
275	2	同	
200	1	同	
175	3	同	
100	1	同	

上記の如き結果を見ると UV-199 型では平均 800 時間、UV-201-A 型では数千時間程度である。但し不良品は非常に短命である事も判るのである。

III. 直徑、温度、電流の簡易圖表と其の使ひ方

(A) 簡易圖表の根據と其の使ひ方

真空中に於て他の物體に接觸せざる直徑均一なる金屬線を取り之に電流を通じて熱する時、其の温度は電流に正比例し、直徑の二分の三乗に逆比例する。同じ導線では端子電壓の抵抗及び長さ等を考へる必要がないので、最も正確簡易に温度が判る。この三者の關係が求められると、其の内の何れかの二者が判つてゐれば、他は求める事が出来るのである。

純タングステン織條については今日までに種々の人々によつて此の關係が發表されてゐるが中でもラングミュア、ステッド、オージング等の出せるものが最も著名であつて、數値には多少の異同がある。⁽¹⁵⁾

普通のトリエーテド、タングステン線に就ては、トリウムの含有量が極めて微量であるから、トリウム混合による影響は之を省略し、純タングステン織條に就て求めた數値を其儘轉用計算して差支へない。

そこで卷末に掲ぐる第二表乃至第十二表の圖はステッドの發表した關係から筆者が計算した數値を便宜表示したものである。ステッドを選んだ理由は此に述べるやうな範圍では實驗上ステッド

(15) (1) I. Langmuir, "The Characteristics of Tungsten Filaments as Functions of Temperature." Phys. Rev. Vol. VII, 1916.

(2) G. Stead, "The Short Tungsten Filament as a Source of Light and Electrons." J.I.E.E., Vol. 58, 1920.

(3) W. E. Forsythe and A. G. Worthing, "The Properties of Tungsten and the Characteristics of Tungsten Lamps." Astrophys. Journal, 1925.

の温度関係表が最も適合するので之を用ひた。先づ前章に述べて来たトリエーテド、タングステン線の性質に關係する重要な各温度について、それぞれ横軸に直径を取り、縦軸に電流の値を取つたものを線圖として示した。尙第一表にはトリエーテド、タングステンの温度と性質の關係を便宜總括して表示して置いた。直径は0.001センチメートルから0.0055センチメートル迄の間に限定したが、之は現在使用せられてゐる小型真空管で微熱放射性のもの直径を中心として前後に使ひ易いと思はるゝ範圍を選んだつもりである。

計算によつて求めた此の値を記すと次の如くである。

第 I 表

直径、温度、電流の關係表

單位表：—電流(アンペア); 直径(センチメートル); 温度(絶對温度)

電流 直径 温度	加 熱 電 流									
	.0010	.0015	.0020	.0025	.0030	.0035	.0040	.0045	.0050	.0055
1,500	.0204	.0375	.0578	.0807	.1016	.1337	.1633	.1949	.2283	.2633
1,900	.0325	.0597	.0920	.1285	.1690	.2123	.2601	.3103	.3635	.4193
2,000	.0358	.0657	.1011	.1413	.1858	.2341	.2860	.3412	.3996	.4610
2,100	.0391	.0718	.1106	.1545	.2031	.2560	.3127	.3731	.4370	.5041
2,200	.0426	.0783	.1205	.1684	.2214	.2786	.3408	.4066	.4763	.5494
2,300	.0460	.0845	.1302	.1819	.2391	.3013	.3681	.4392	.5145	.5934
2,400	.0496	.0911	.1403	.1960	.2577	.3247	.3968	.4734	.5546	.6396
2,500	.0533	.0980	.1509	.2109	.2772	.3493	.4278	.5093	.5965	.6880
2,600	.0572	.1051	.1617	.2260	.2971	.3744	.4574	.5458	.6393	.7374

電流 直径 温度	加 熱 電 流									
	.0010	.0015	.0020	.0025	.0030	.0035	.0040	.0045	.0050	.0055
2,800	.0650	.1193	.1839	.2568	.3377	.4255	.5199	.6203	.7266	.8381
2,900	.0690	.1267	.1906	.2726	.3583	.4515	.5517	.6583	.7711	.8894

線圖の使ひ方に就て一二の例示を試みる。

[例題一] 直径 0.0038 センチメートルのトリウム含有タングステン線がある。之を微熱放射性真空管の陰極として用ひた真空管を其の目的による順序方法によつて排氣完了した。之を與力するため所記温度で熱處理を施さうと思ふが、其の加熱電流を如何に選ぶべきであるか。

[答案] 之に對しては、第二章に於て述べたやうな内容が解つてゐるものとする。前後の事情からして大體次のやうな状態によつて熱處理を行ふ事にする。

- (1) 2,500 度で5分間エーチングをする。
- (2) 2,800 度で30秒淨化作用を行ふと同時に金屬トリウムの分布密度を高からしめる。
- (3) 2,300 度で7分間與力する。
- (4) 尙使用温度を1,900 度と決める。

之に關して加熱温度に相當する電流を見出すには、先づ第十二表2,800 度と記せるものを使ふ事になるが、横軸に 0.0038 センチ即ち此の場合は之を 3.8×10^{-3} 種として現はしてあるが、其の點から横軸に垂直線を作り曲線と合つた點を右へ取つて電流値を見ると

500 ミリアムペアと出る。他の温度についても同様に夫々求めると次の如くなる。

- (1) 2,500 度は 411 ミリアムペア
- (2) 2,800 度は 500 ミリアムペア
- (3) 2,300 度は 354 ミリアムペア
- (4) 1,900 度は 250 ミリアムペア

或は (3) の所で 2,100 度で数十分も掛けて氣長く與力しやうと言ふ時には、300 ミリアムペアと言ふ事になる。

[例題二] 使用纖維電流 60 ミリアムペアなる微熱放射性真空管が過熱のため電子放射量を減少した。之を回復したいと思ふ。如何に熱處理を行ふべきであるか。

[答案] 此の纖維の使用温度は普通の如く 1,900 度に設計せられてあるものと思惟する。随つて纖維電流の値が 60 ミリアムペアである事から、直徑が判る筈である。即ち第三表 1,900 度と言ふ線圖を開き、縦軸上に 60 ミリアムペアの所を抑へ、其の點から横軸に平行に右へ取り、曲線と合つた交點から、縦軸に平行に下へ取り横軸に合ふ點を目盛から讀めば 1.5×10^{-3} センチメートル、即ち 0.0015 センチメートルと言ふ事が判る。これが纖維の直徑である。

扱て金屬トリウムを更に發生せしめ、分布密度を多からしめる爲めに 2,800 度乃至 2,900 度に上昇したいのであるが、之は纖維が非常に細いので餘り高温度に上げる事は危険が伴ふやうに思はれるので同様の目的で成る可く低い温度を選びたいと考へる。それは 2,600 度位が安全な所であるやうに思はれる。

第十表 2,600 度の曲線圖に於て横軸上に上記の如くにして求めた直徑 1.5×10^{-3} センチメートルに相當する點を抑へ、其の點より縦軸に平行に上へ取り、曲線に合つた點から横軸へ平行に左に取り、縦軸に合つた點を尺度によつて讀むと 104 ミリアムペアとなる。

104 ミリアムペアで三十秒乃至一分間熱する。

次に與力作用を行ふに 2,300 度で熱するとすれば、同様にして第七表により 86 ミリアムペアなる事を得、7 分位熱處理を施す。或は 2,100 度で氣長く行ふには、第五表により 72 ミリアムペアなる事を得、数十分間に涉つて熱處理を行ふ。

昭和二年二月脱稿

——(完)——

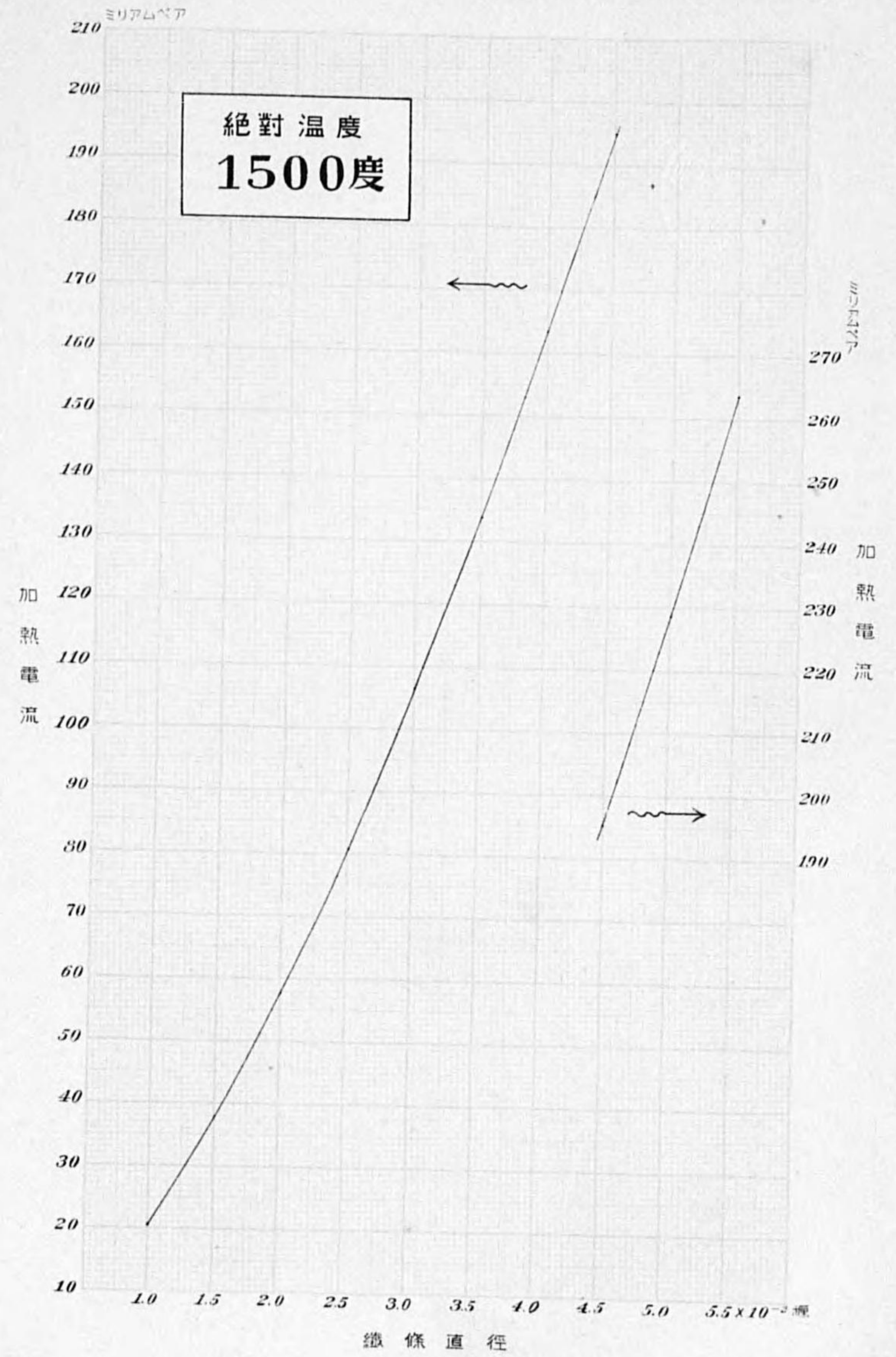
第一表

トリエーテド・タングステンの性質一覽

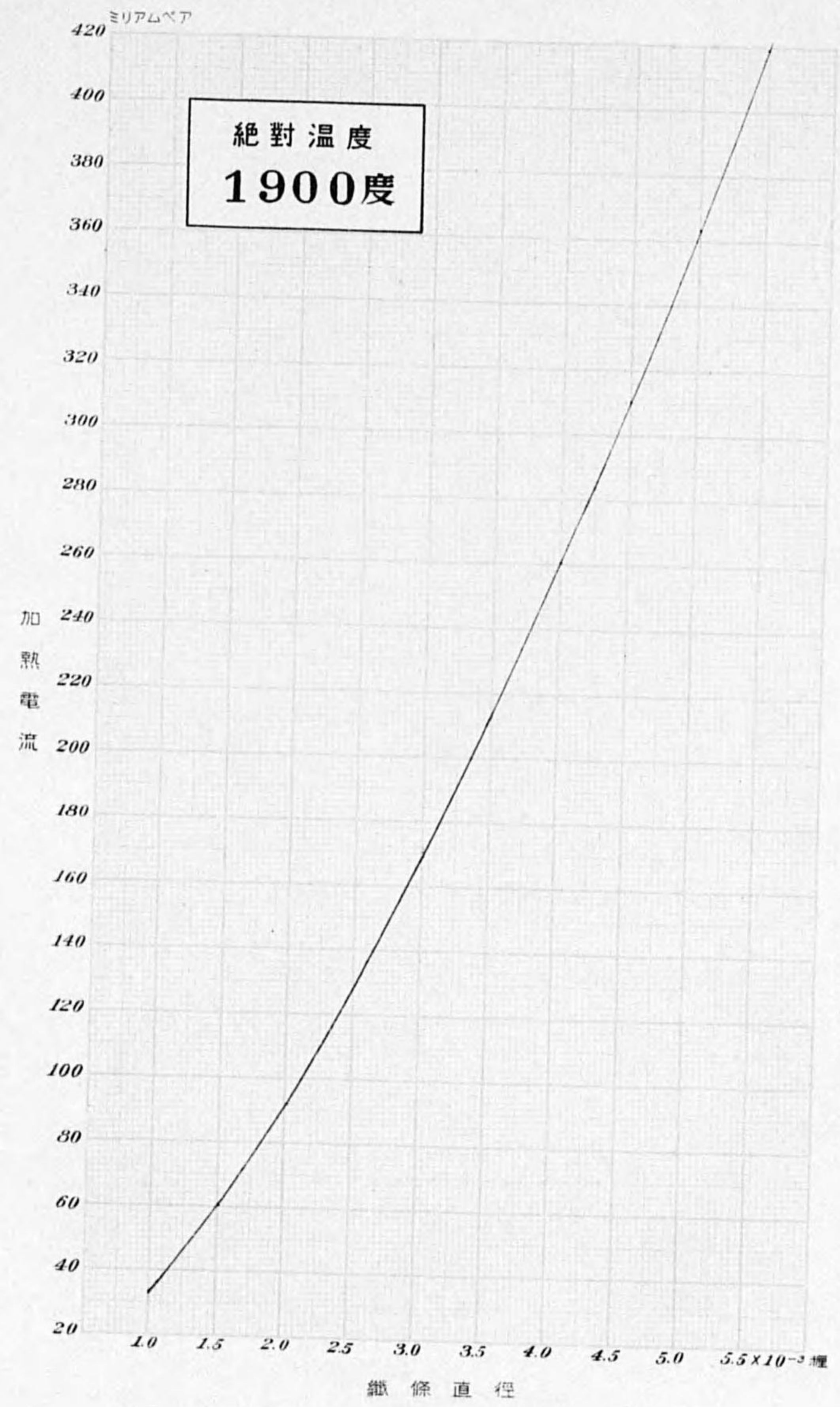
(温度の單位は 絶對温度)

I.	
使用温度	1700度—2000度
實用使用温度	
{ 小型真空管の場合	1900度
{ 中型真空管以上の場合	2000度
與力温度	1900度—2400度
實用與力温度	2200度—2300度
II.	
トリウム擴散顯著となる	1900度
表面よりトリウム蒸發顯著となる	2200度
エーヂング温度	2500度
金屬トリウム發生顯著となる	2600度
淨化温度	2800度—2900度
III.	
試験温度	1500度

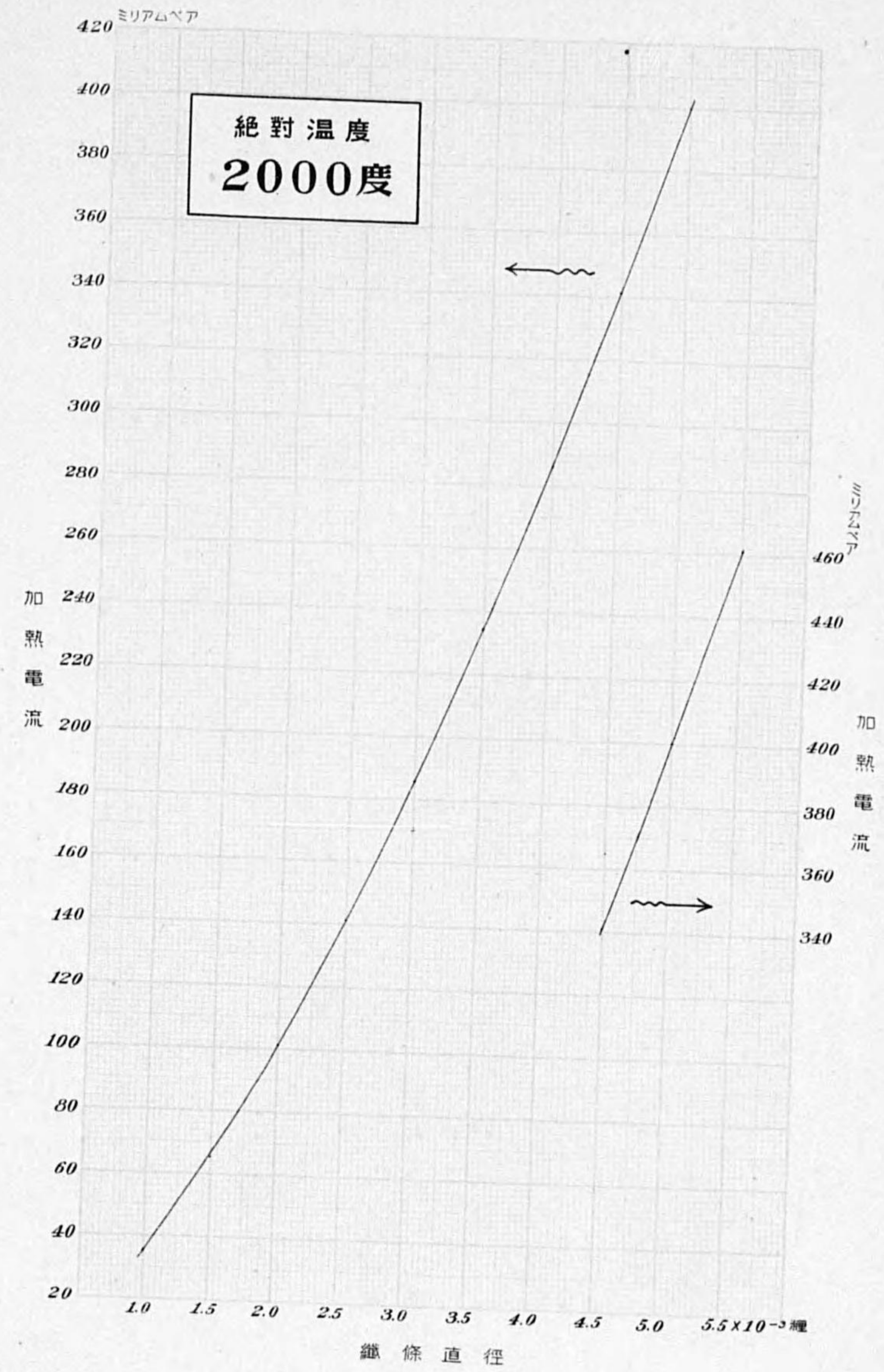
第二表



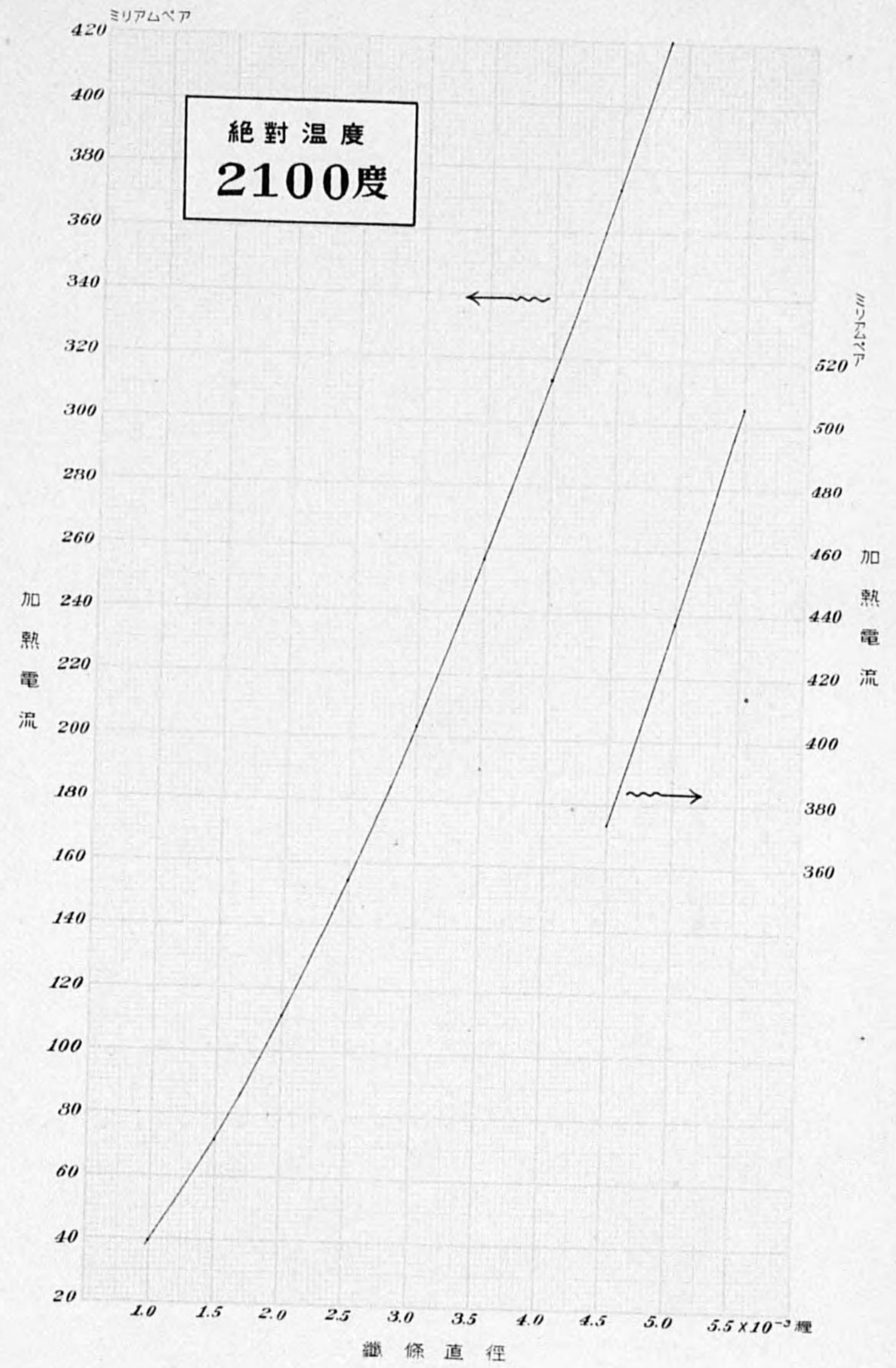
第三表



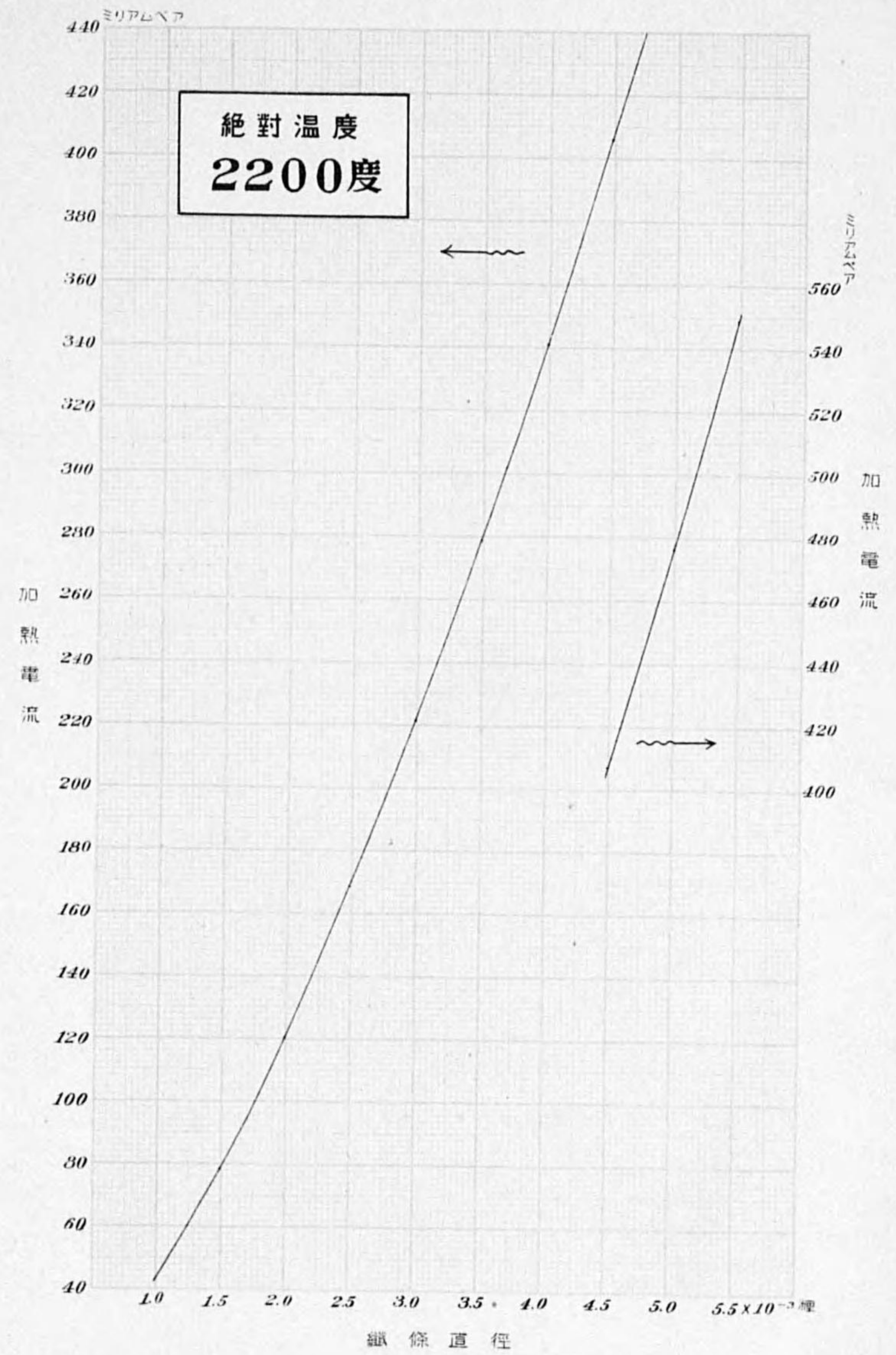
第 四 表



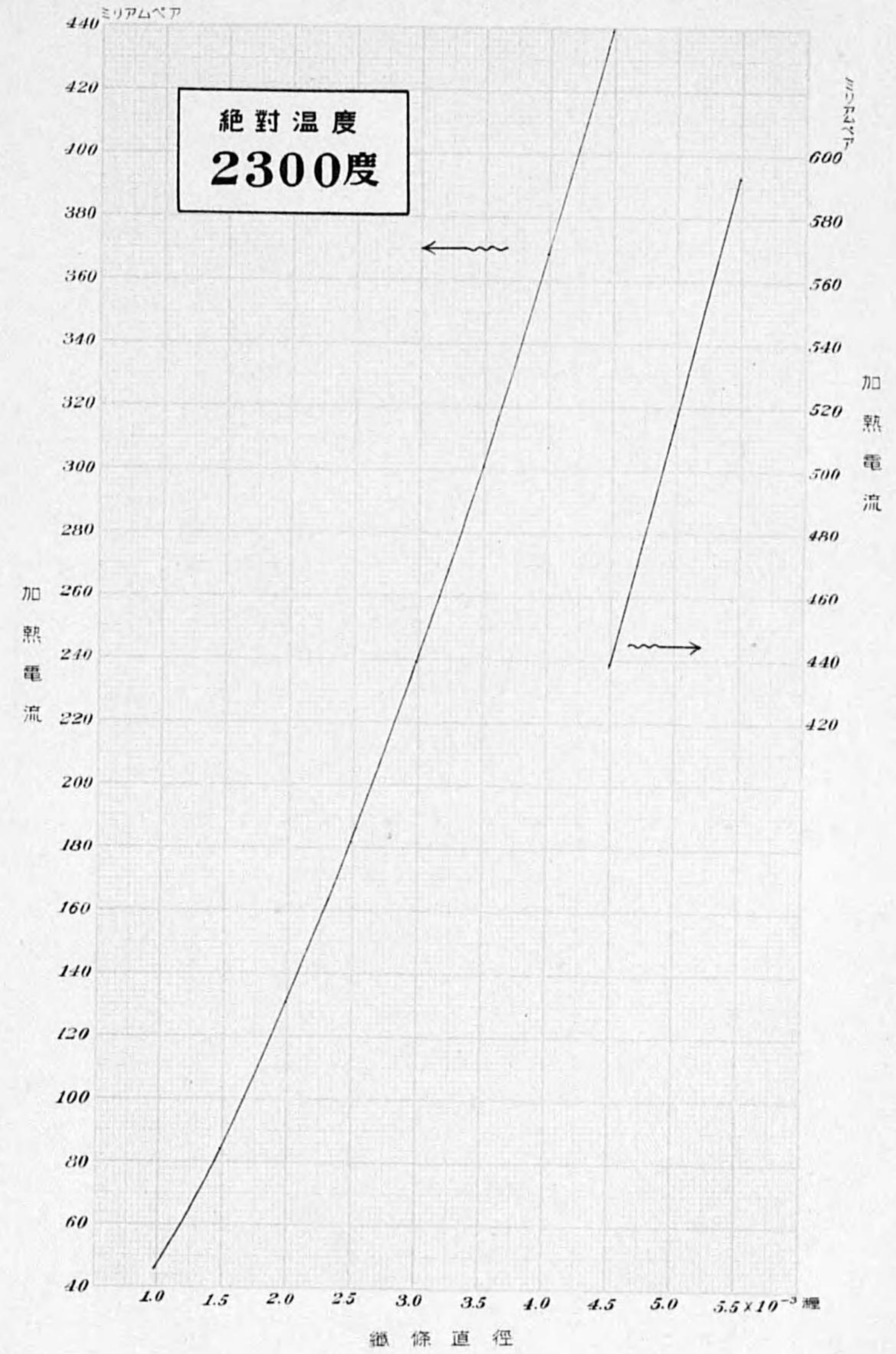
第五表



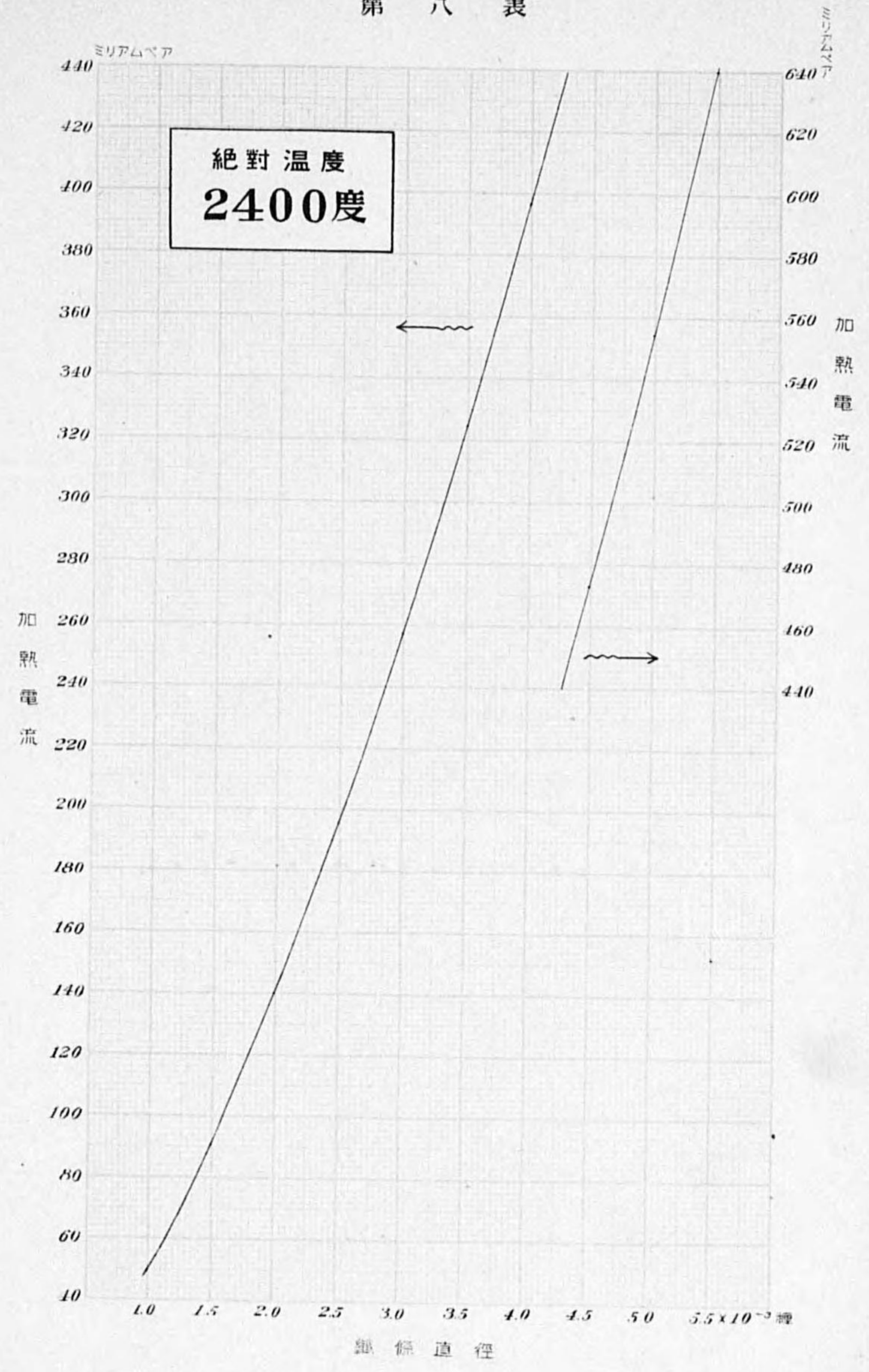
第 六 表



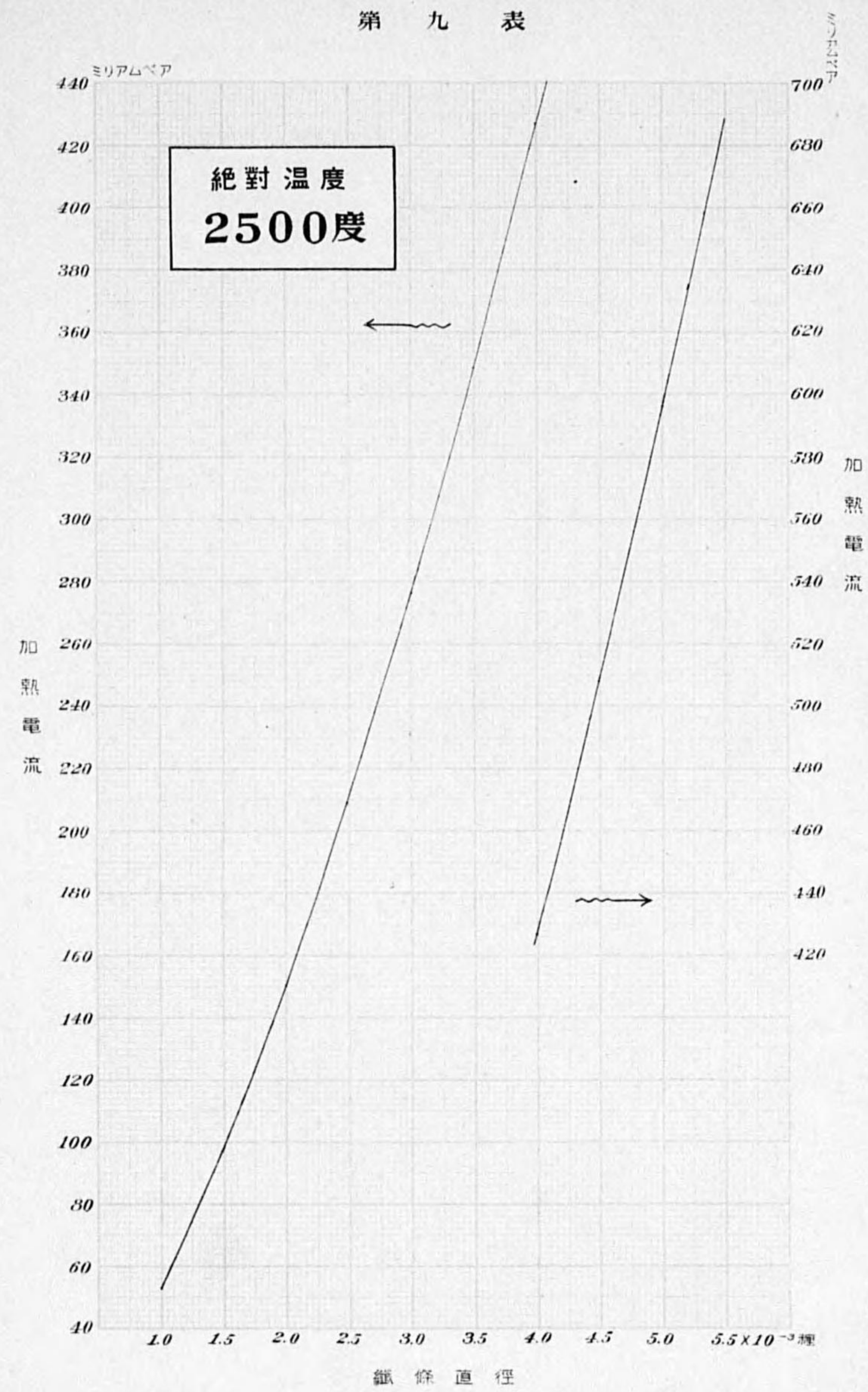
第七表



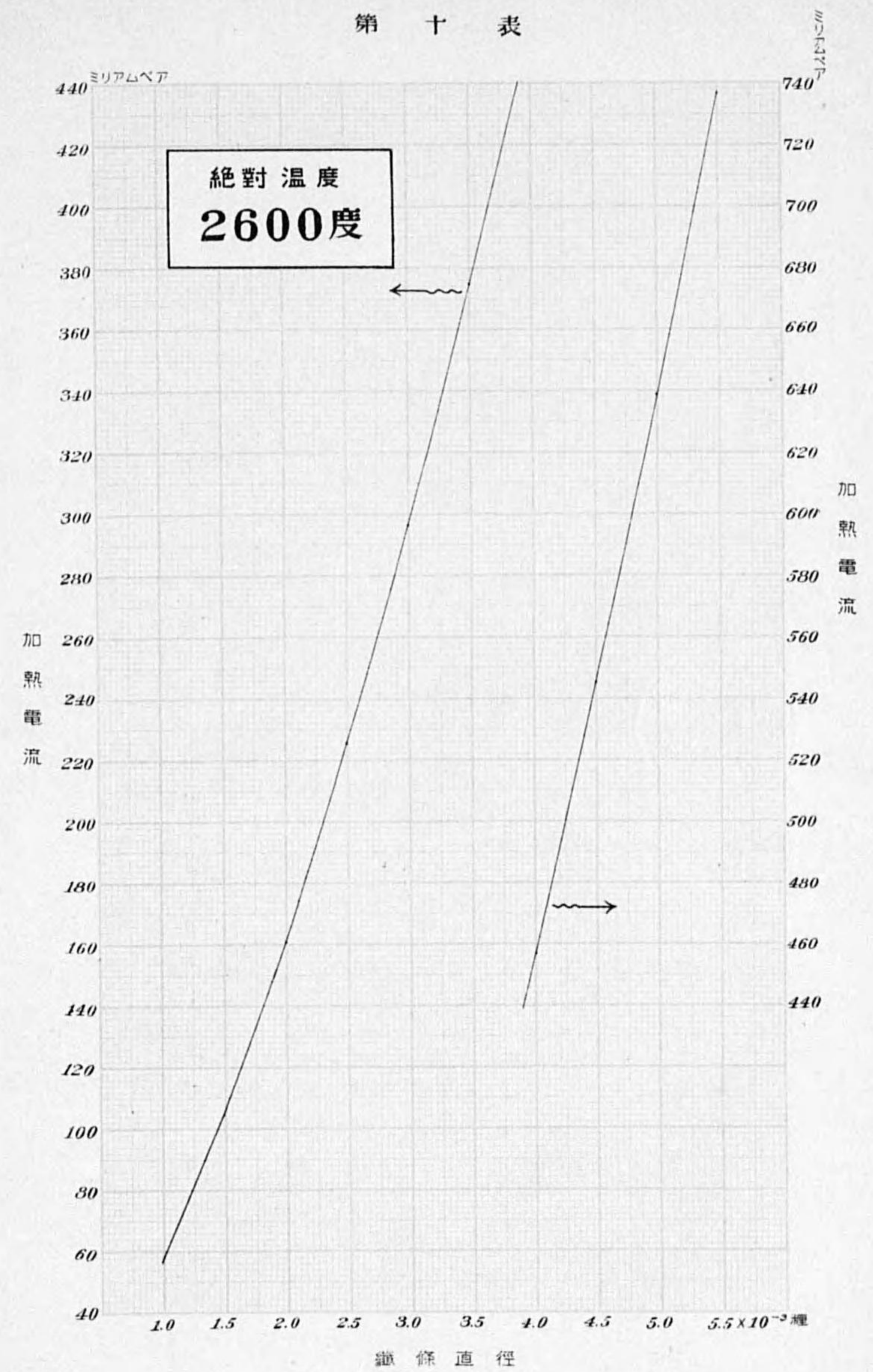
第八表



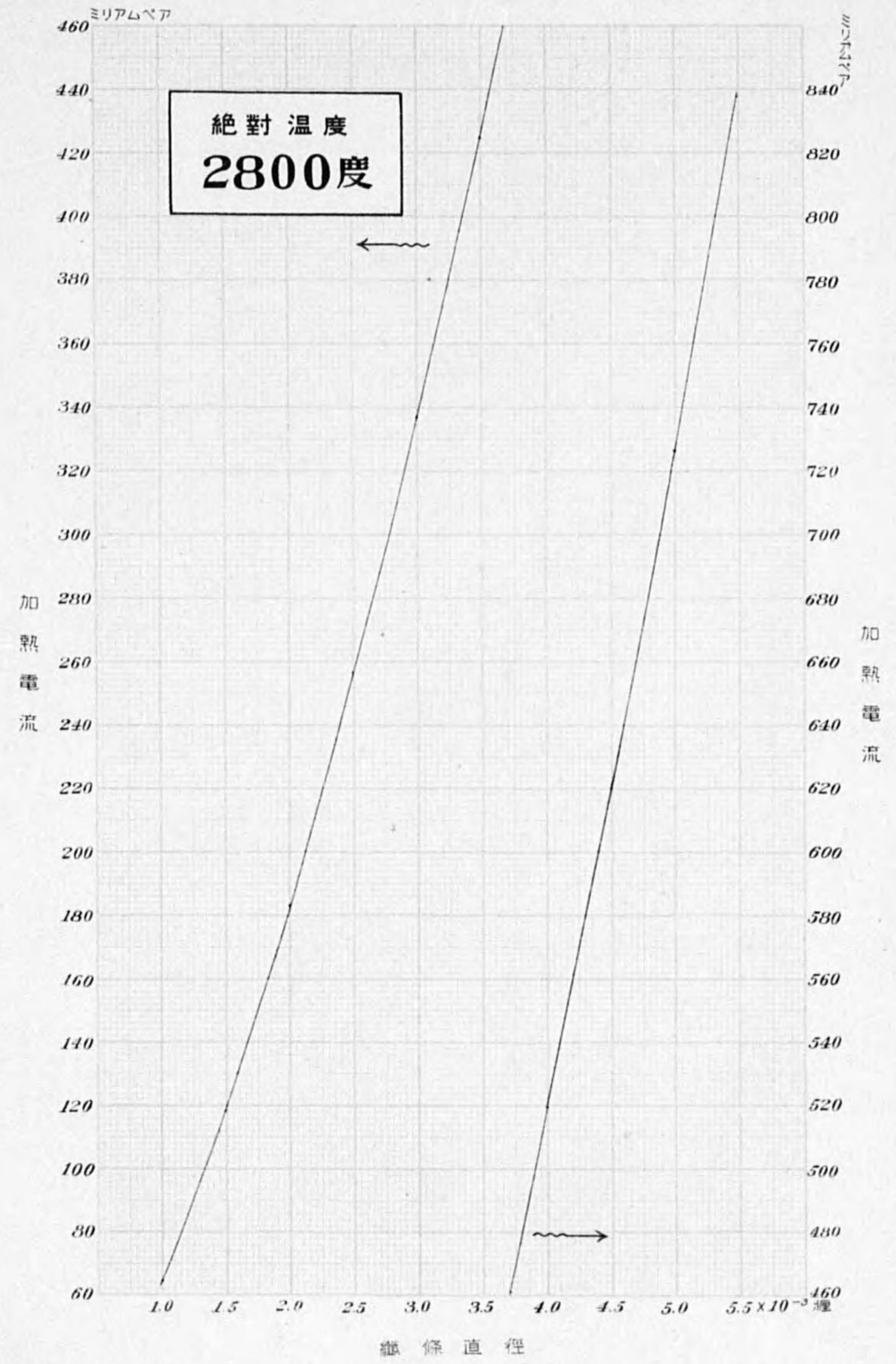
第九表



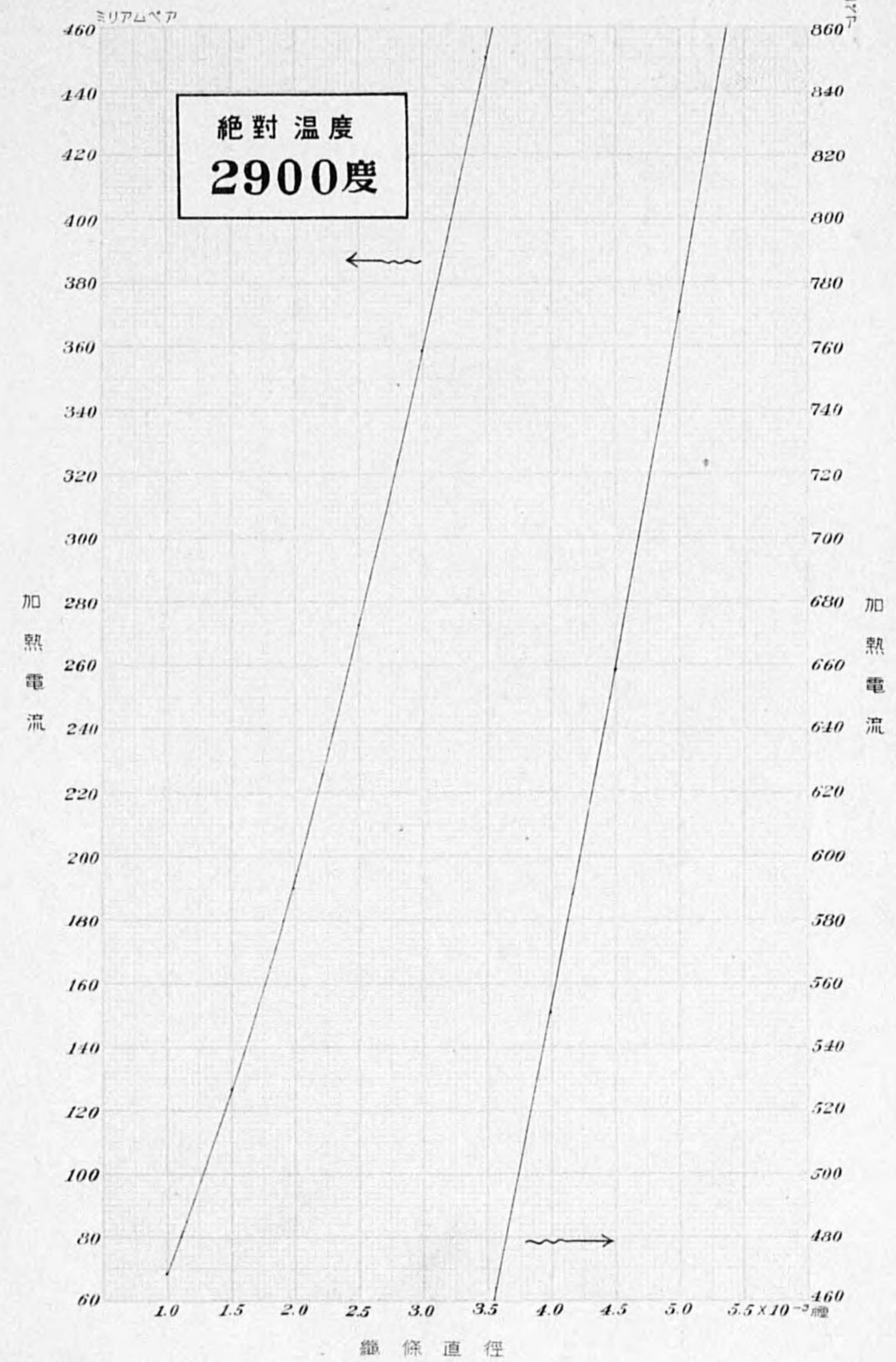
第十表



第十一表



第十二表



昭和2年3月27日印刷
昭和2年3月30日發行

(不許複製)

電氣試驗所編

編輯・發行・印刷人
倉橋藤治郎
東京市麹町區有樂町1工政會

發行所
工政會出版部
東京市麹町區有樂町1-1
電話 大手 6641番
振替 東京 27724番

¥1.10

14.5
101

BULLETINS PUBLISHED IN CONNECTION WITH RADIO TECHNICS.

The papers with asterisks () are written in English while the others in Japanese*

Researches.

No. 9.	Effect of earthed Conductors near Radio Stations.	1910.
No. 13.	Minerals available as Wireless Detectors and their Sensitivity	1911.
No. 16.	Enamelled Condensers for Radio Telegraphy.	1911.
No. 17.	Utilization of Both Waves emitted from closely coupled Systems of Radio Telegraphy.	1911.
No. 18.	On the Degree of Coupling of Oscillation Transformers in Radio Telegraphy.	1912.
No. 19.	On diurnal Variation of the Intensity of Radio Signals.	1912.
No. 22.	"T-Y-K" Oscillation Gaps for Radio Telegraphy and Telephony.*	1912.
No. 33.	The "Teishinsho" Type commercial Radio Telephone Set.	1913.
No. 34.	Discharge Frequency of the "T-Y-K" Oscillation Gaps.*	1913.
No. 35.	"T-Y-K" System of Radio Telegraphy and Telephony.*	1913.
No. 55.	Radio Transmission and Reception through intermediate overhead Lines between Antenna and Instrument.	1916.
No. 56.	Oscillation Gaps in rarefied Gases.	1916.
No. 63.	Radio Apparatus for Ship Use.	1917.
No. 83.	Generation of undamped oscillating Current from a Three-Electrode Vacuum Bulb.	1920.
No. 106.	High Frequency Wave Telephony applied on a Power Transmission Line.	1922.
No. 115.	Standardization of Wavemeters.*	1922.
No. 134.	Experimental Determination of fundamental dynamic Characteristics of a Triode.*	1924.
No. 136.	High Frequency Telegraphy and Telephony.	1924.
No. 160.	On the Performance of Rectifiers.	1925.
No. 161.	On the Life of Vacuum Tubes.	1925.
No. 167.	Vibrating Rectifiers	1926.
No. 168.	On the Uniformity of foreign-made receiving Tubes.	1926.
No. 173.	On the Synthesis of Galena Crystal.	1926.
No. 177.	A Simplified Method of Calibration of a Wavemeter by Standing Waves on Parallel Wires.*	1926.
No. 180.	On the Voltage Wave Form of Direct Current Machines.	1926.
No. 178.	Experiments on Electromagnetic Shielding for Long Electric Waves.	1926.
No. 192.	Puncture Damage on the Glass Wall of a Vacuum Tube.	1927.

Circulars.

No. 2.	Radiotelegraphic Installations for Fishery.	1921.
No. 13.	Antenna Constants.	1925.
No. 14.	Wavemeters.	1925.
No. 16.	General Characteristics of American-made Vacuum Tubes.	1925.
No. 20.	General Characteristics of German-made Vacuum Tubes.	1925.
No. 21.	Recent Developments in High Frequency Telephony over Power Transmission Lines.	1926.
No. 22.	Regenerative Reception.	1926.
No. 25.	On the Radio Dry Batteries (Part 1), "A" Batteries.	1926.
No. 26.	On the Radio Dry Batteries (Part 2), Preliminary Report on "B" Batteries.	1926.
No. 27.	Ionisation Manometer.	1926.
No. 29.	General Characteristics of British-made Vacuum Tubes.	1926.
No. 30.	The Characteristics of Transmitting Vacuum Tubes.	1926.
No. 32.	Oscillating and Amplifying Properties of Crystals.	1926.

終