

初速度電流特性を利用した酸化物陰極抵抗の測定

Measurement of Oxide-Coated Cathode Resistance by Utilizing Initial Velocity Current Characteristics

北 川 賢 司*

内 容 梗 概

初速度電流特性曲線の round off を利用して陰極抵抗を測ることができる。本方法は実際の2極管に簡単に応用できる利点がある。

初速度電流法で測った陰極抵抗はエミッションと逆比例関係にあり、その活性化エネルギーは1.0~2.0eVである。こういう結果は Hannay 等の結果と一致している。また本方法で測った寿命試験中の陰極抵抗の時間的変化の様子は前報告でのべた多極管の結果とも良く一致している。

これらの実験結果から初速度電流特性曲線の round off の主原因は陰極抵抗であると考えて差支えない。これを利用して測定した上述の陰極抵抗は従来のプローブ法等で測った抵抗値より若干大き目になる場合が多いが、これは酸化物陰極の部分飽和現象や活性化エネルギーの温度依存性で説明できる。

上述の陰極抵抗測定法は酸化物陰極真空管の寿命の機構の解明やエミッション特性の定量的取扱いに有用である。

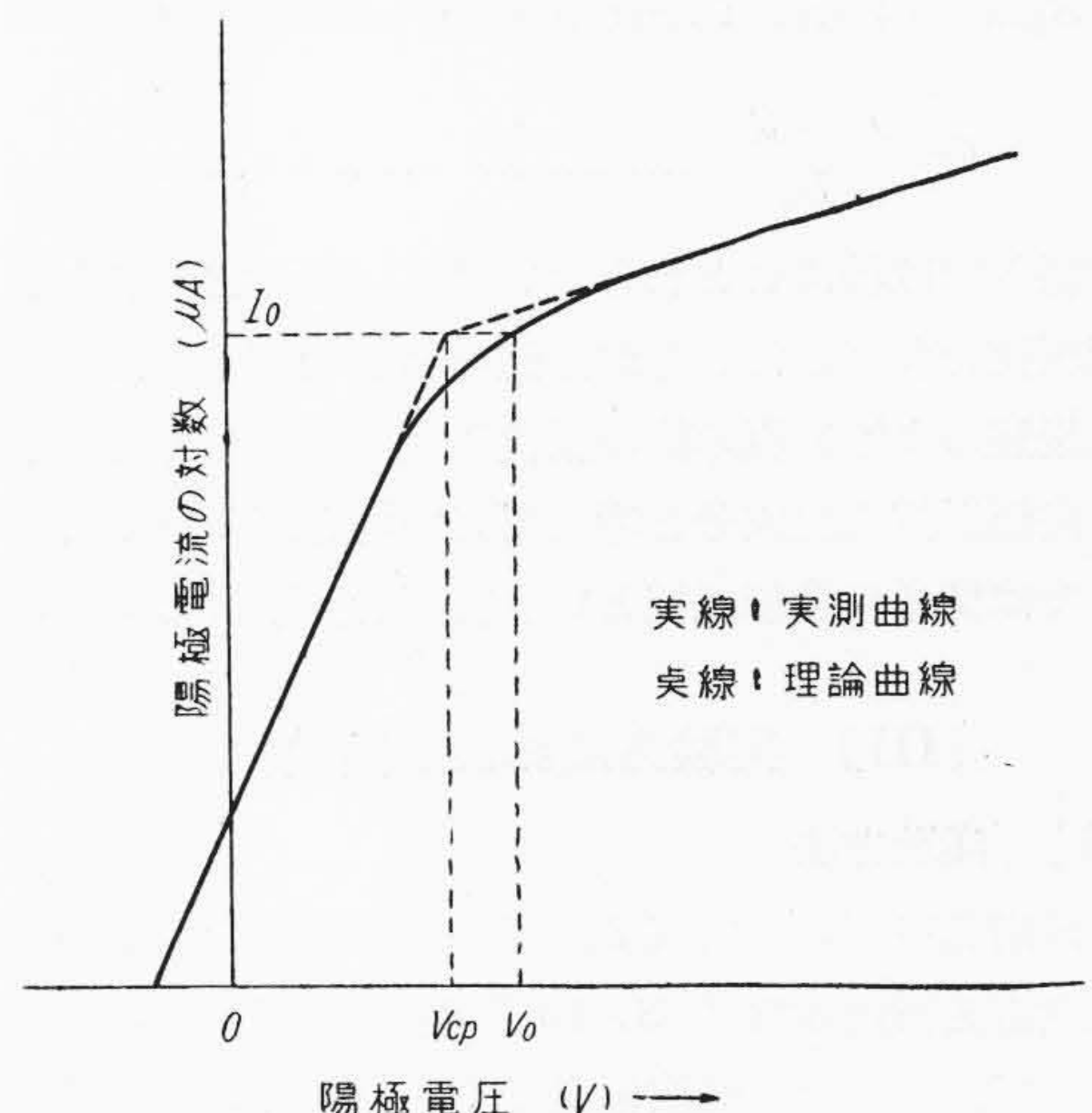
終りに2極管の空間電荷電流特性曲線を利用した陰極抵抗測定法についてのべた。本方法は上述の初速度電流法より精度が悪い。特に陰極抵抗が大きい時に誤差が大きい。

〔I〕 緒 言

数年来酸化物陰極真空管の長寿命化の問題と関連して中間層抵抗（酸化物被覆と基体金属の境界にできる抵抗層）の問題が注目をあびているが、通常の酸化物陰極真空管の寿命の機構を知るためにも酸化物陰極の抵抗（酸化物層抵抗と中間層抵抗よりなる）に関する十分な知識が必要である。このため酸化物陰極の抵抗は多くの人により色々な方法で測定されているが^{(1)~(6)}、実際の真空管に簡単に応用できる抵抗測定法は余り多くない。一般に広く行なわれているのは酸化物陰極の抵抗の負帰還作用によつて、みかけの相互コンダクタンスが下ることを利用した抵抗測定法^{(7),(8)}であるが（筆者も数年前に相互コンダクタンスが陰極温度によつて変ることを利用した抵抗測定法⁽⁹⁾を提案したことがある）、本方法は2極管には適用できない。2極管に適用できる方法も二三提案^{(5),(6),(8)}されているが、多極管の場合程十分な検討がなされていないようである。筆者は Metson 等⁽⁸⁾が試みた初速度電流特性曲線の理論値からのずれを利用した2極管の陰極抵抗測定法を検討し、その妥当性をたしかめることができたので、ここにその結果を報告しよう。

〔II〕 2極管の陰極抵抗測定法

酸化物陰極では金属陰極の場合とちがつて陰極温度を十分低く下げても初速度電流特性曲線が飽和電流領域へ移る区間で round off される性質がある。このround off を従来の空間電荷伝導理論で解釈することは不可能に近いが、酸化物陰極の抵抗の効果を考慮するとよく説明できる⁽¹⁰⁾。この事実を利用すれば2極管の初速度電流



第1図 初速度電流法による陰極抵抗測定の説明図
Fig. 1. Derivation of Cathode Resistance from Initial Velocity Current Characteristic Curve

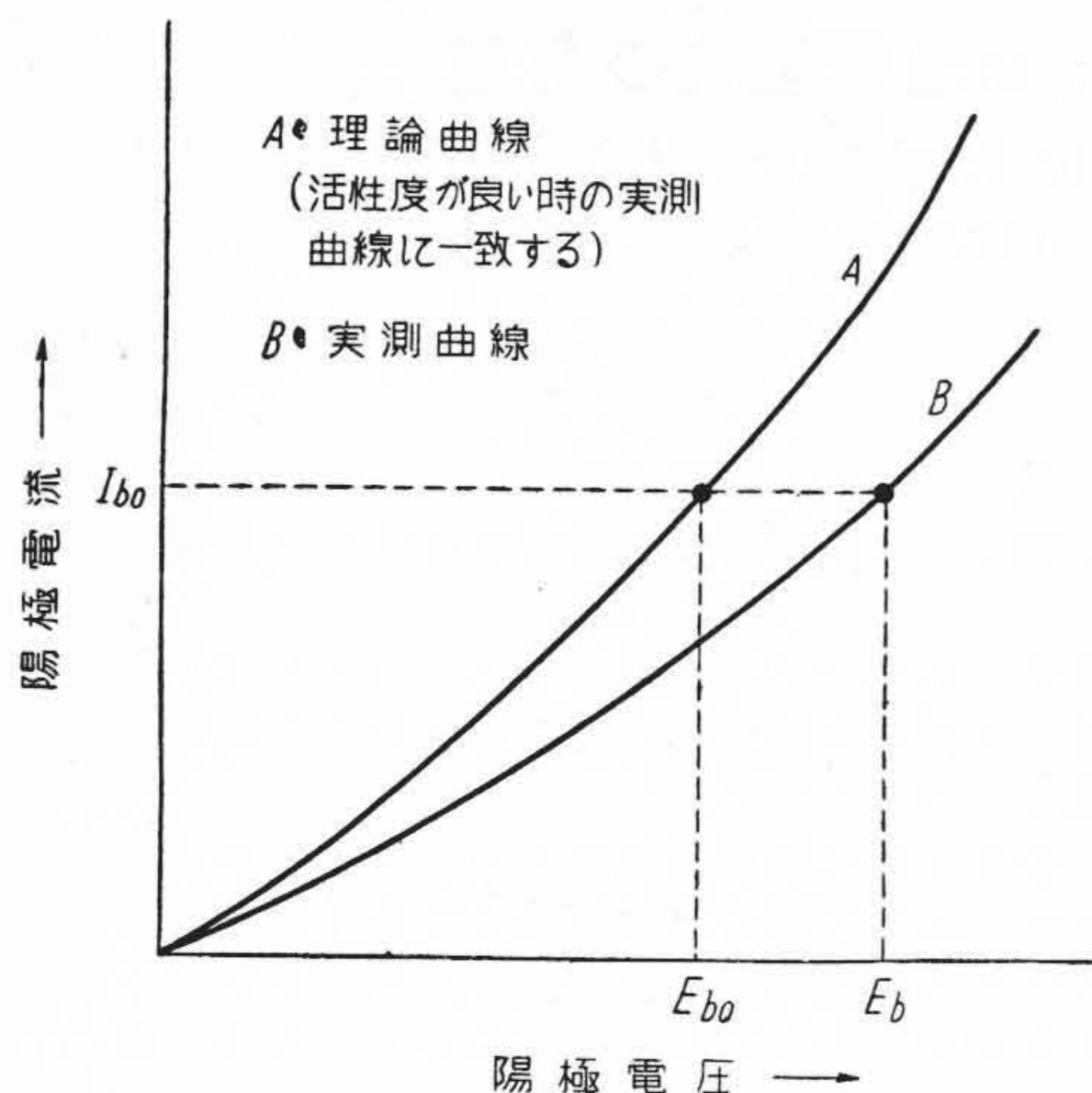
特性曲線から陰極抵抗が簡単に求められる。すなわち陰極抵抗 R は初速度電流特性曲線の round off と次のような関係がある。

$$R = \frac{(V_0 - V_{cp})}{I_0} - r_i \dots \dots \dots (1)$$

ここに r_i は初速度電流測定用検流計の内部抵抗であり、 V_0 , V_{cp} , I_0 は第1図のようにして初速度電流特性曲線から求めた電圧、電流である。

上述のような初速度電流特性曲線を利用しなくても、陰極抵抗の大体の値は2極管の空間電荷電流特性曲線の理論値（活性度が良い時の値）からのずれを利用すれば求めることができる。すなわち第2図から

* 日立製作所茂原工場



第2図 空間電荷電流法による陰極抵抗測定の説明図

Fig. 2. Derivation of Cathode Resistance from Space Charge Current Characteristic Curves

$$R = \frac{E_b - E_{b0}}{I_{b0}} \dots \dots \dots (2)$$

本報告では特にことわらない限り(1)式を利用して陰極抵抗を測定した。なお上述の諸法で測定した陰極抵抗は後述のように真の陰極抵抗に完全に等しくならないが、陰極抵抗を主成分と考えてよい場合が多いので、本報告では簡単に陰極抵抗という言葉を使うことにする。

〔III〕 実験方法および実験結果

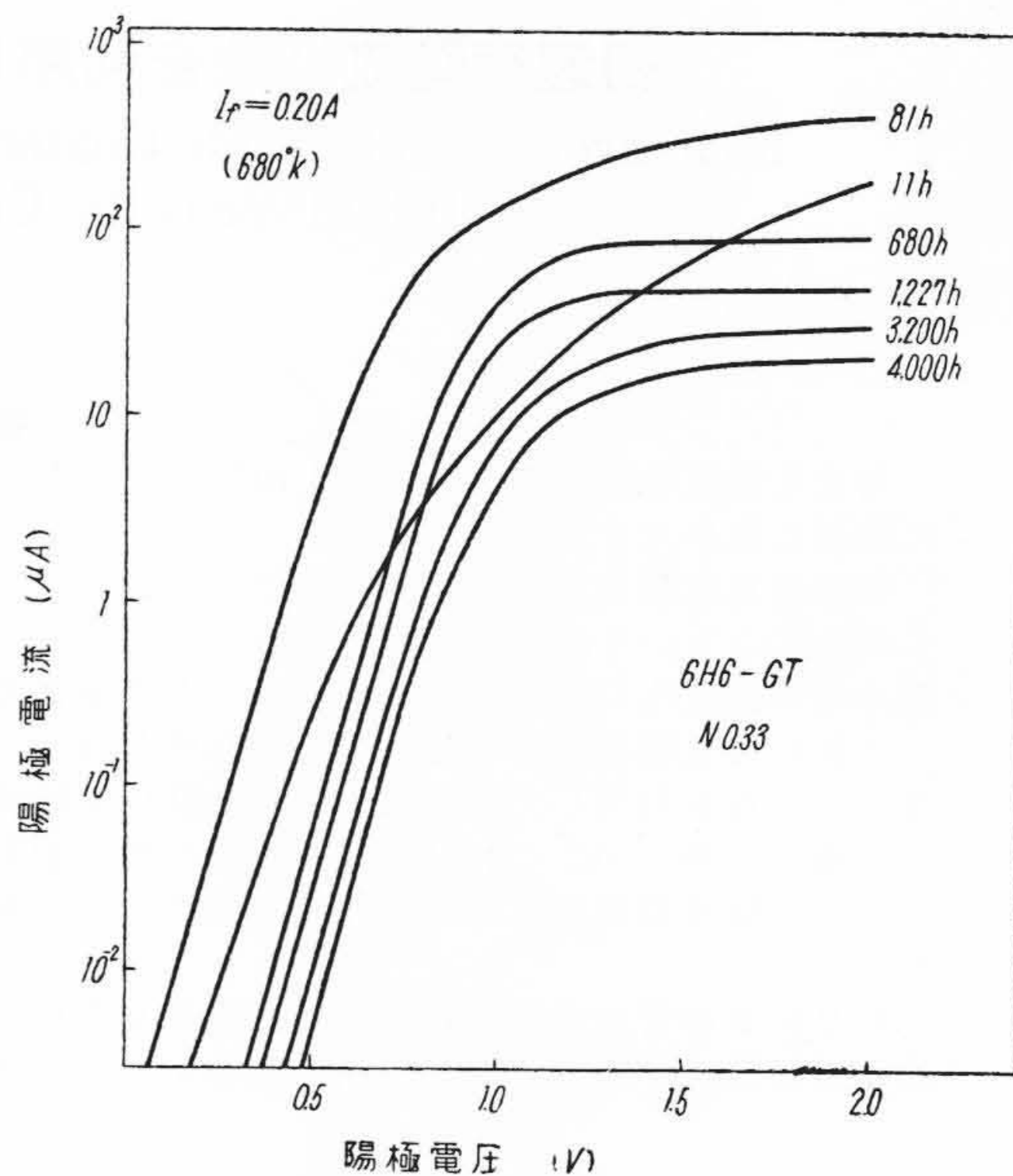
(1) 実験方法

実験用真空管として双2極管 6H6-GT を使用した。初速度電流特性曲線は 3×10^{-10} A/mm 感度の検流計を利用して測定した。低陰極温度(約 700°K 以下)におけるエミッションは検流計で直流的に測定し、陽極電圧 $E_b = 2.0V$ の時の値を採用した。 $E_b = 2.0V$ としたのは陰極温度が約 700°K 以下ではこの程度の陽極電圧で特性がほとんど完全に飽和することゝ、陽極内面の汚染層の分解によるガス放出の影響や管内残留ガスのイオン化による影響をさけるためである。これに対して陰極温度が高い場合(1,000°K 前後)のエミッションはブラウン管を利用してパルスの(パルス幅は数 ms, 繰返し周波数は数十サイクル)に測定し、 $E_b = 100V$ の時の値をエミッション値とした。

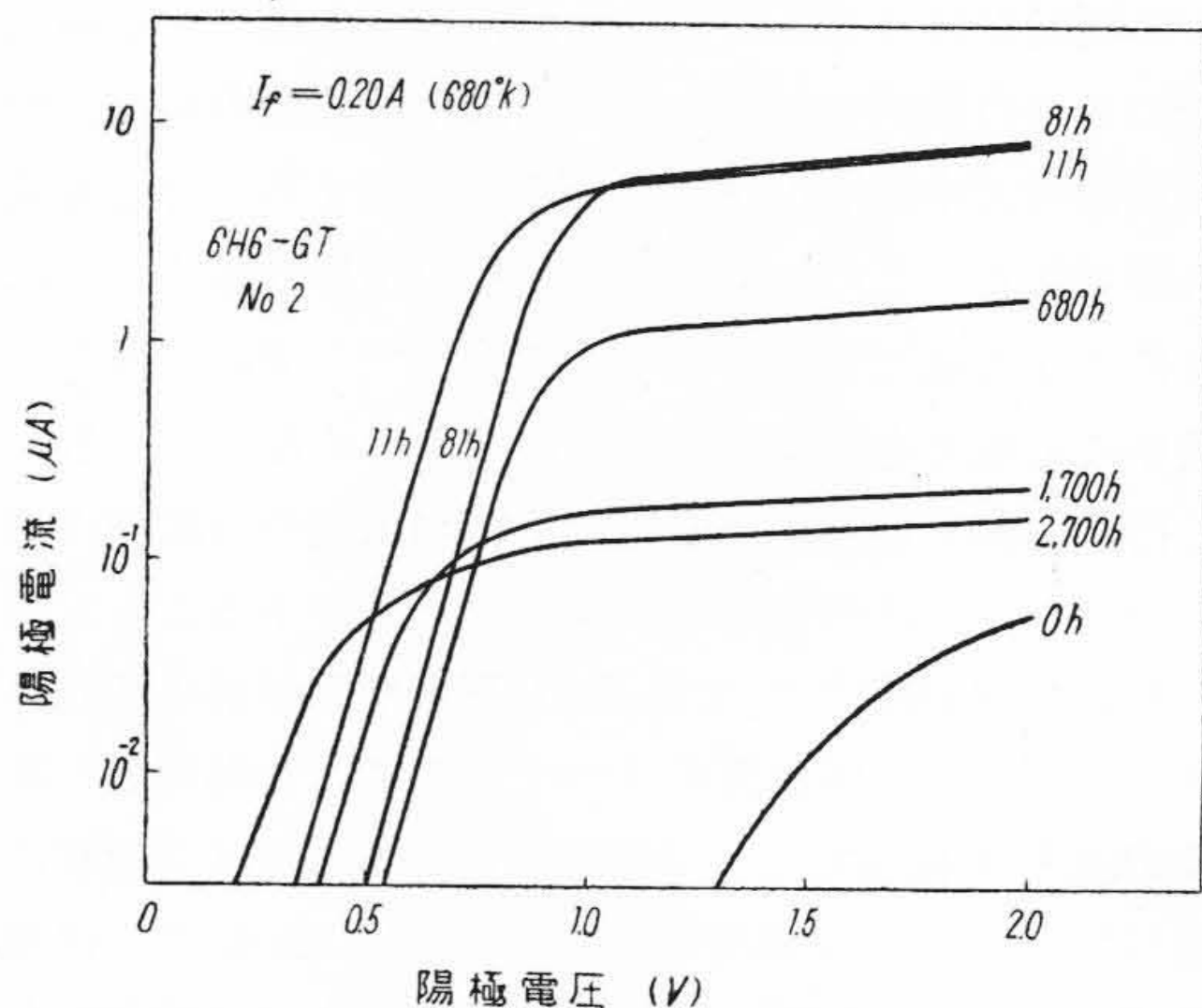
エージング条件および寿命試験条件はいずれもヒータ電圧 $E_f = 8.0V$, 陽極電圧 $E_b = 10V$ である。

(2) 実験結果

第3図および第4図は寿命試験中の初速度電流特性曲線の時間的変化の代表的一二の例を示すが、エミッションが悪くなる程初速度範囲の直線部分から飽和範囲の水平

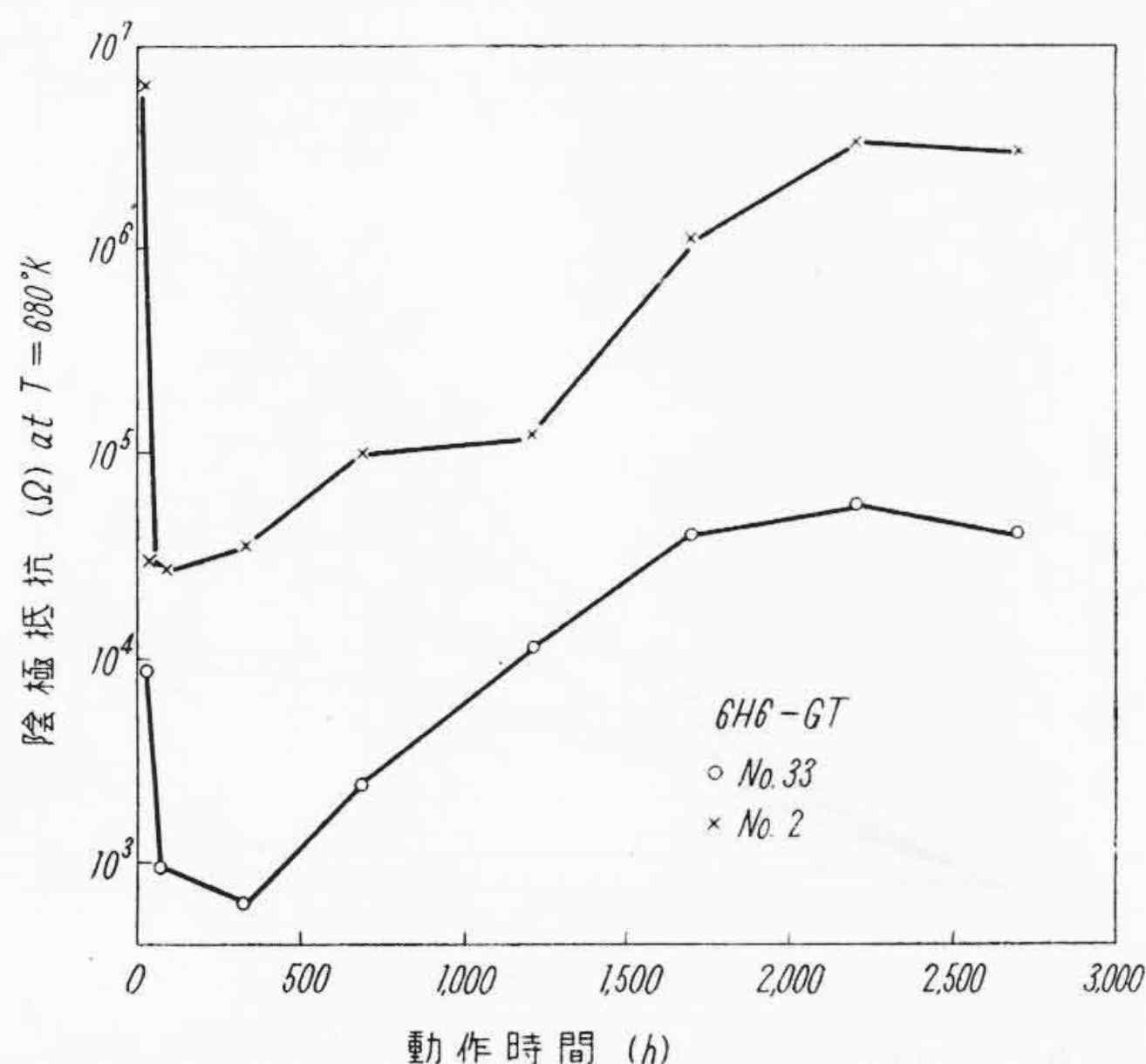


第3図 初速度電流特性の時間的変化
Fig. 3. Time Variation of Initial Velocity Current Characteristics

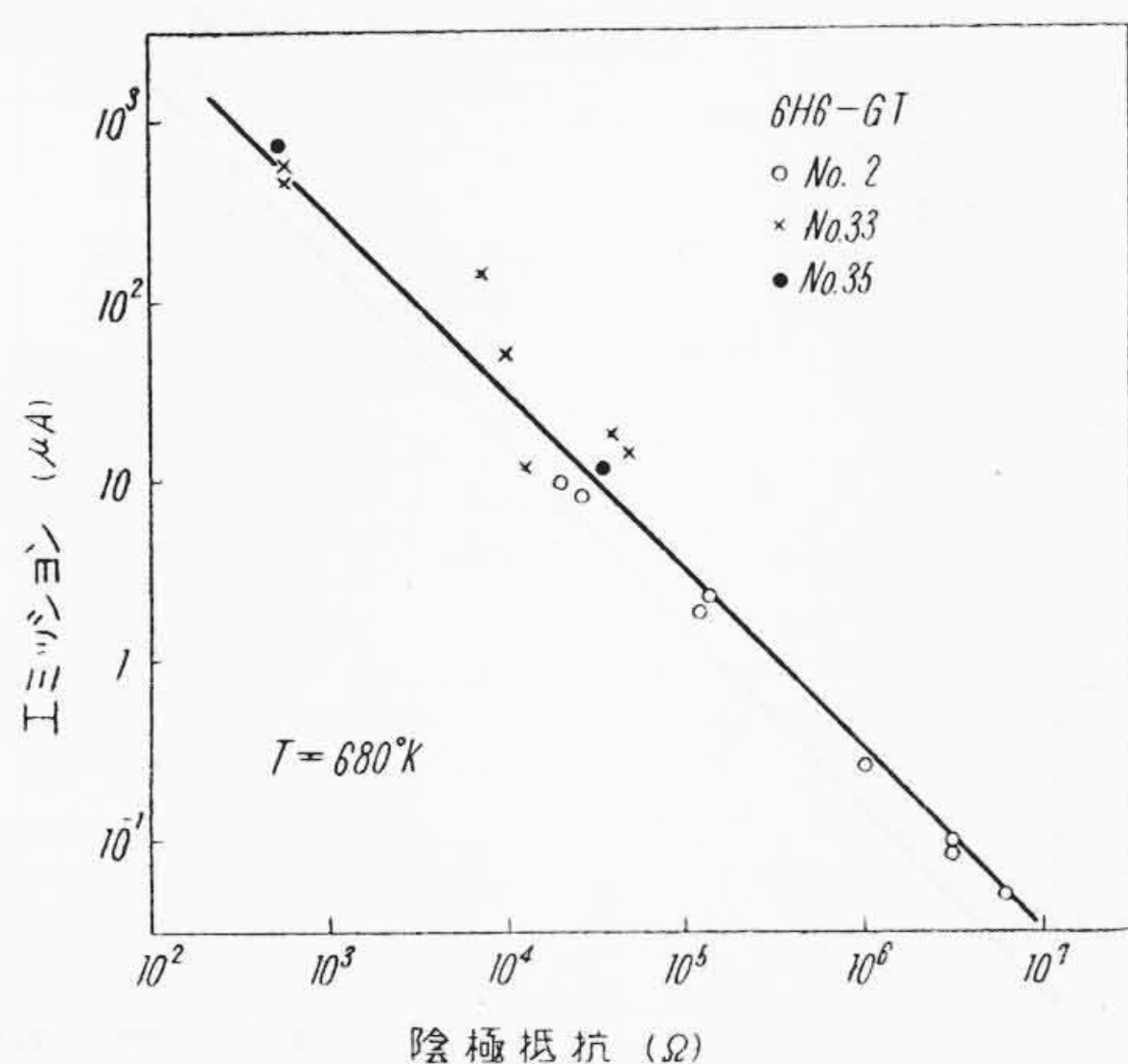


第4図 初速度電流特性の時間的変化
Fig. 4. Time Variation of Initial Velocity Current Characteristics

直線への曲り角が丸められ、round off の範囲が広がっている。これらの結果を利用して(1)式から陰極抵抗の時間的変化を求めると第5図のようになる。これらの結果から判るように陰極抵抗はエージング完了後は動作時間と共にほぼ指数函数的に増加し、寿命の終末期に近づくとも飽和してくる。この傾向は前報告⁽¹¹⁾でのべた多極管の場合と全く同様である。次に同様な方法で陰極温度 680°K におけるエミッションと陰極抵抗の関係を求めると第6図のごとくなる。これより判るごとく陰極抵抗はエミッションと逆比例関係にあり、従来の他の方法

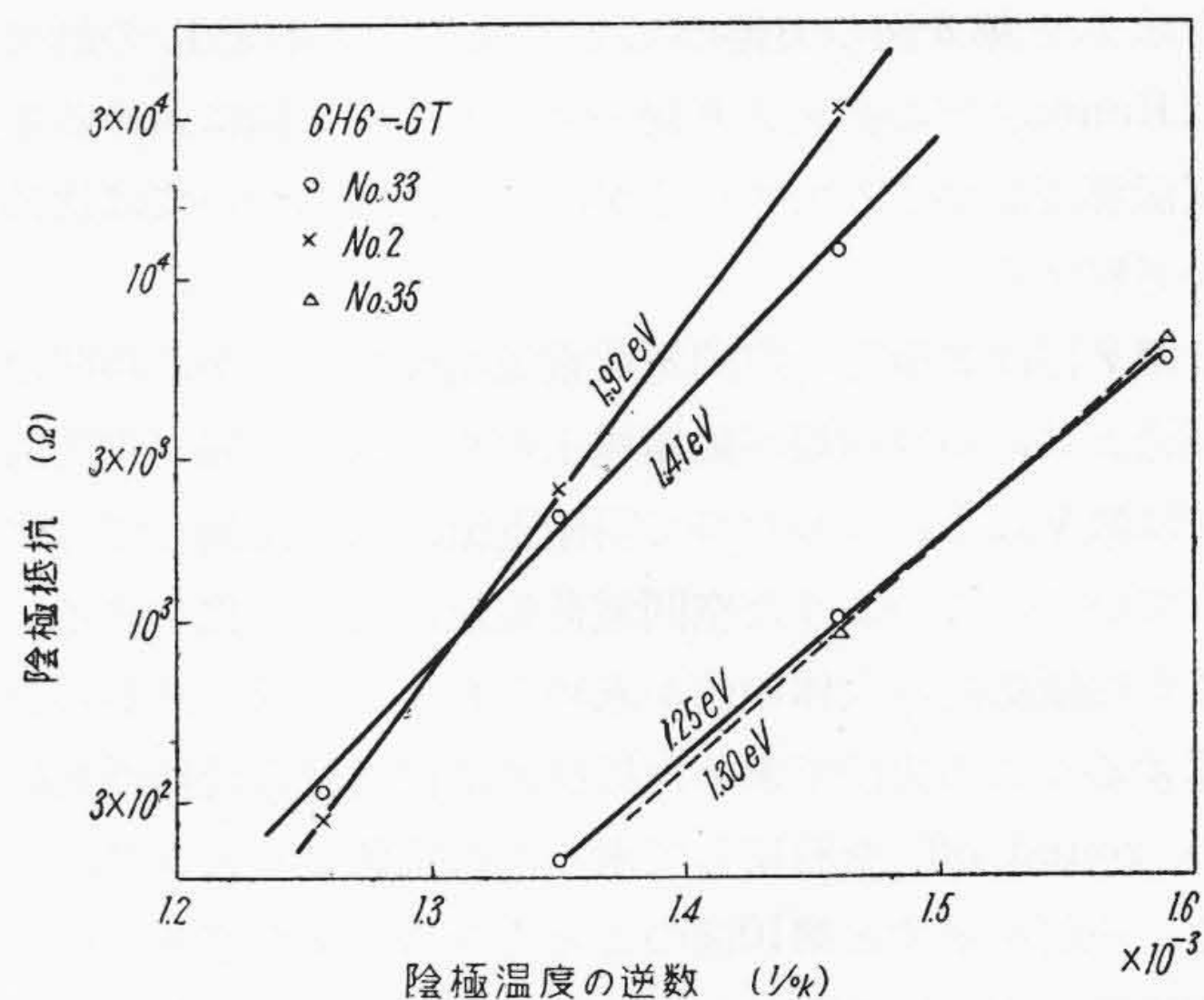


第5図 陰極抵抗の時間的変化 (初速度電流法)
Fig. 5. Time Variation of Cathode Resistance (Initial Velocity Current Method)

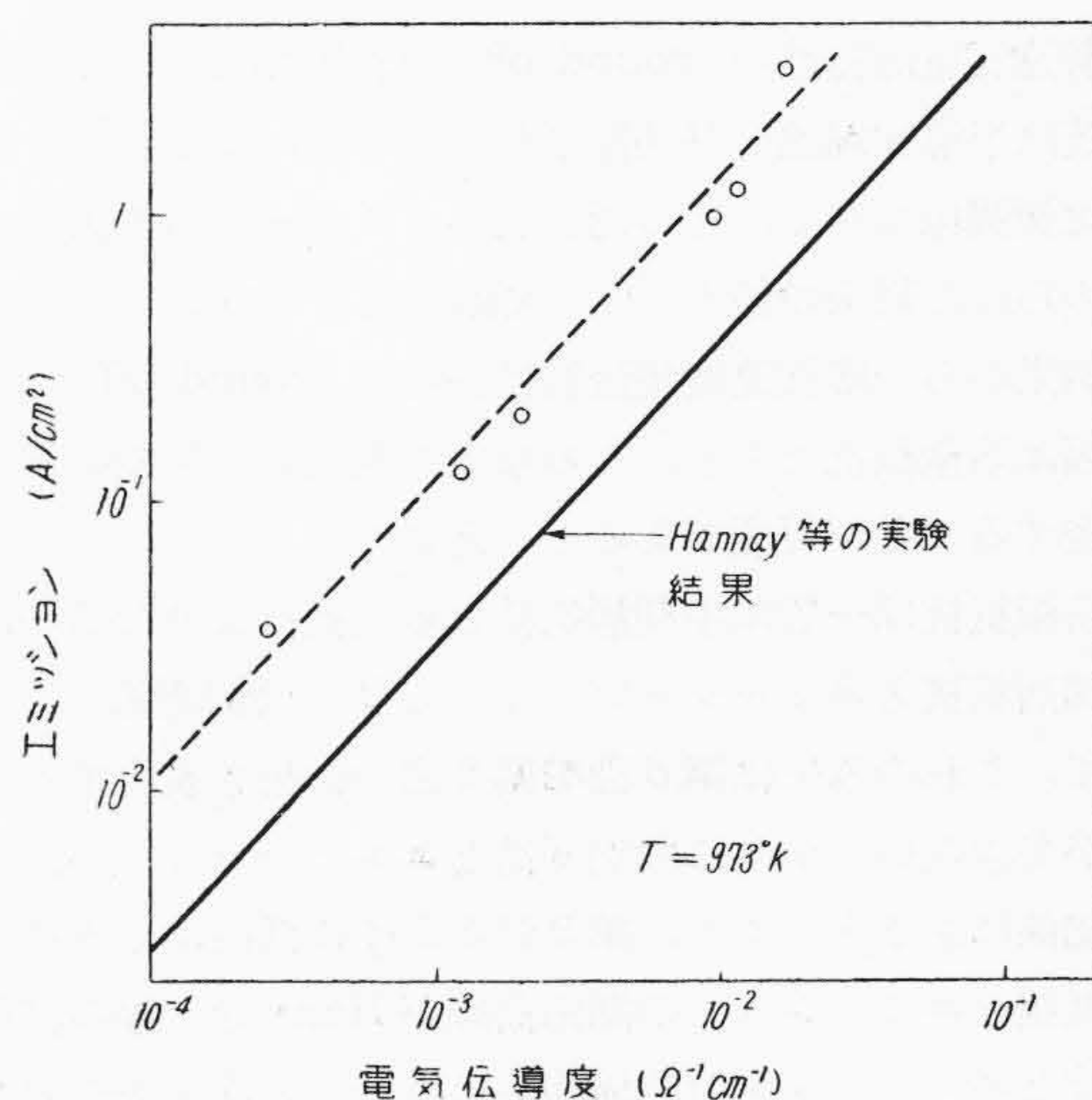


第6図 陰極抵抗とエミッシヨンの関係 (初速度電流法)
Fig. 6. Relation between Emission and Cathode Resistance (Initial Velocity Current Method)

で求めた結果^{(1)~(5)}とよく一致している。第7図は抵抗の陰極温度特性を示すが、大体半導体理論から期待されるような指数関数関係にある。その傾斜より抵抗の活性化エネルギーを求めると第1表のごとく 1.0~2.0 eV の値がえられる。第1表にはさらに初速度電流法により求めたエミッシヨンの活性化エネルギーおよびこの両者の差から求まる外部仕事函数を示してある。これらの値は別の方法で求めた従来の値^{(1)~(5)}と大体一致している。このような抵抗およびエミッシヨンの活性化エネルギーの値を利用して陰極温度 973°K における電気伝導度とエミッシヨンの関係を求めると第8図のごとくなる。比較のため Hannay⁽³⁾ 等の結果(973°Kで測定したデータ)



第7図 陰極抵抗の温度特性 (初速度電流法)
Fig. 7. Cathode Resistance as a Function of Temperature (Initial Velocity Current Method)



第8図 酸化物陰極のエミッシヨンと電気伝導度の関係 (初速度電流法)
Fig. 8. Relation Between Emission Current and Conductivity of Oxide-Coated Cathode (Initial Velocity Current Method)

第1表 酸化物陰極のエミッシヨンおよび電気伝導度の活性化エネルギー (初速度電流法)
Table 1. Activation Energy of Emission and Conductivity for Oxide-Coated Cathode (Initial Velocity Current Method)

球番号	動作時間 (h)	エミッシヨンの活性化エネルギー ϕ_1 (eV)	電気伝導度の活性化エネルギー ϕ_2 (eV)	$\phi_1 - \phi_2$ (eV)
No. 2	81	2.15	1.92	0.23
	2,700	2.42	2.18	0.24
No. 33	81	1.38	1.25	0.13
	2,700	1.66	1.41	0.25
No. 35	81	1.58	1.30	0.28
	2,700	1.72	1.57	0.15

を示すと第8図の実線のごとくなる。われわれの結果はHannay等の結果より同一エミッション値における電気伝導度が小さくでているが、この原因については次節で考察する。

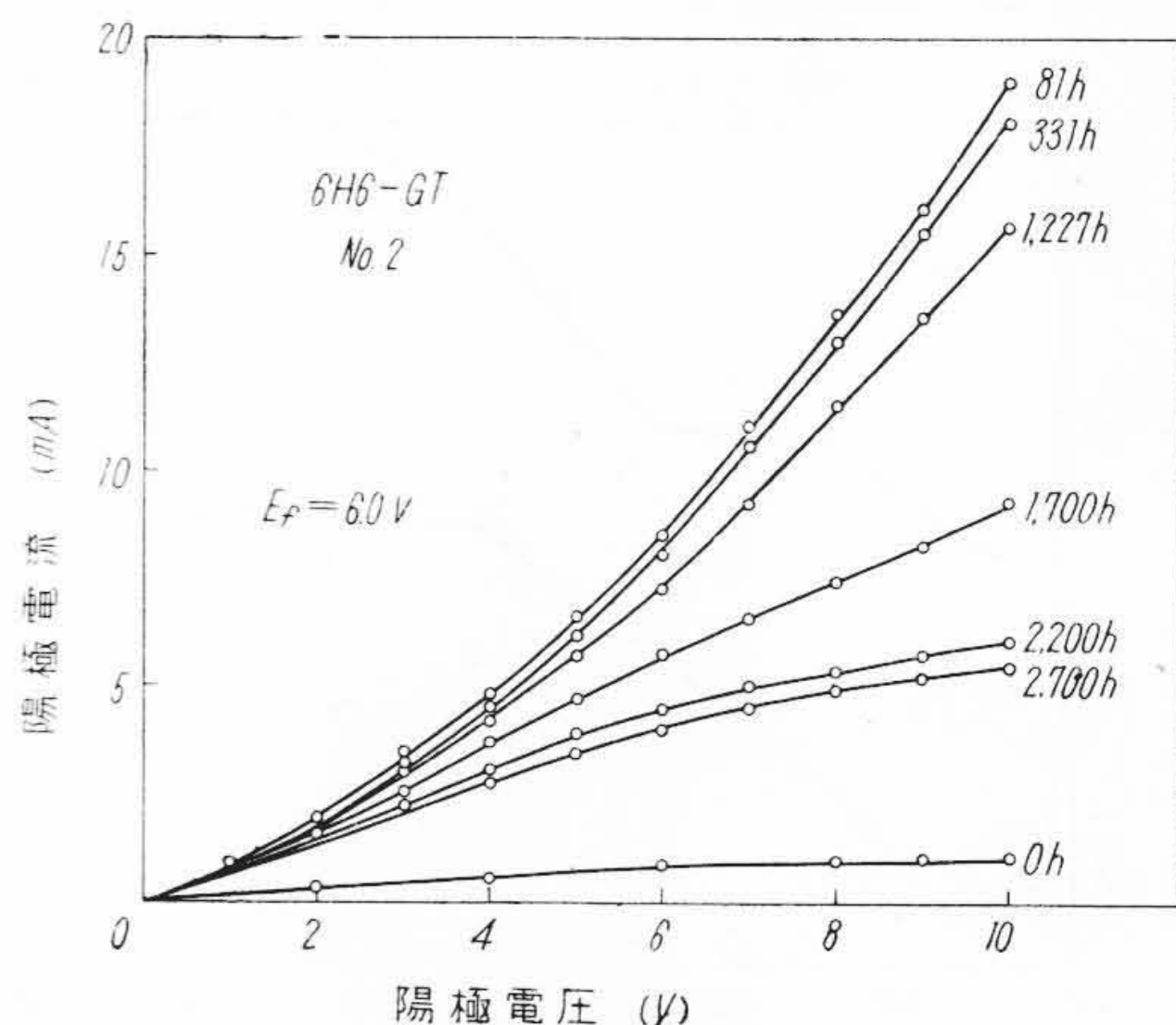
第9図は2極管の空間電荷電流特性であるが、時間の経過と共に特性曲線が陽極電圧の相当広い範囲（本実験では数V以上）にわたって陽極電流にほぼ比例して劣化している。このような空間電荷電流特性の変化を利用して陰極抵抗の大体の値が求められるが（(2)式から計算する）、この方法で求めた抵抗値は初速度電流特性曲線の round off を利用して求めた抵抗値より大き目になる。一例を示すと第10図のごとくなる。また空間電荷電流特性を利用して求めた抵抗とエミッションの関係をプロットすると第11図のごとくなる。両者は大体逆比例関係にある。

〔IV〕 実験結果に対する検討

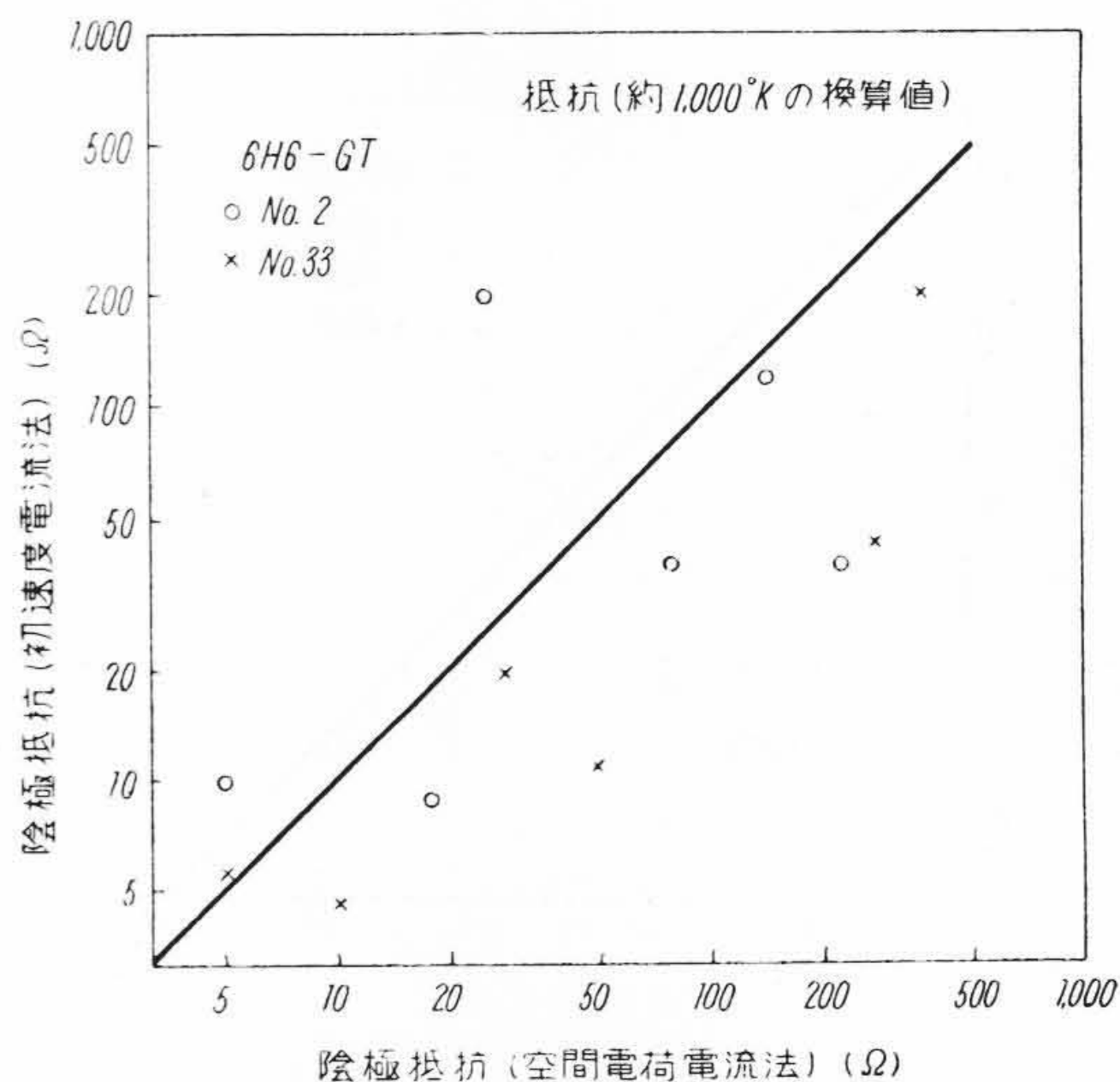
初速度電流特性の round off を利用して求めた陰極抵抗は半導体理論から期待されるようにエミッションと逆比例関係にあり、その活性化エネルギーも他の方法で求められた従来の値^{(1)~(5)}に大体一致している。これらの結果から一応初速度電流特性曲線の round off の主原因は陰極抵抗であり、この事実を利用して陰極抵抗を測定することが可能であるといえよう。

陰極抵抗は一般に中間層抵抗と被覆抵抗よりなるが、中間層抵抗とエミッションは必ずしも逆比例関係にないので、これのみでは第6図や第8図の結果を説明することができない。かりに中間層抵抗とエミッションが逆比例関係にあるとしても、第8図のように低温から外挿した抵抗とエミッションの関係曲線がHannay⁽³⁾等の被覆抵抗とエミッションの関係曲線に近いという事実を説明するためには、中間層抵抗と被覆抵抗が680°K~973°Kという広い温度範囲にわたって比例することを認めねばならなくなり、中間層抵抗と被覆抵抗の活性化エネルギーがちがうという従来の実験結果⁽¹⁾と矛盾する。中間層抵抗に影響するのはスリーブ中の還元性不純物、殊にSi量であるが、参考迄に本実験に使用したスリーブの分光分析結果を示すと第2表のようになる。一般にSiが0.15%以下であれば中間層抵抗の影響が少いので⁽¹²⁾、第2表の結果からも中間層抵抗を陰極抵抗の主成分と考えることは早計であるといえよう。

ところで第8図の結果では一定のエミッション値に対する電気伝導度がHannay等の結果よりつねに大きくでており、しかも両者の曲線が活性度の広い範囲にわたってほとんど平行である。この原因を次に考えてみよう。われわれの結果は陰極温度680°Kにおけるエミッ



第9図 2極管の空間電荷電流特性の時間的变化
Fig. 9. Time Variation of Space Charge Current Characteristics



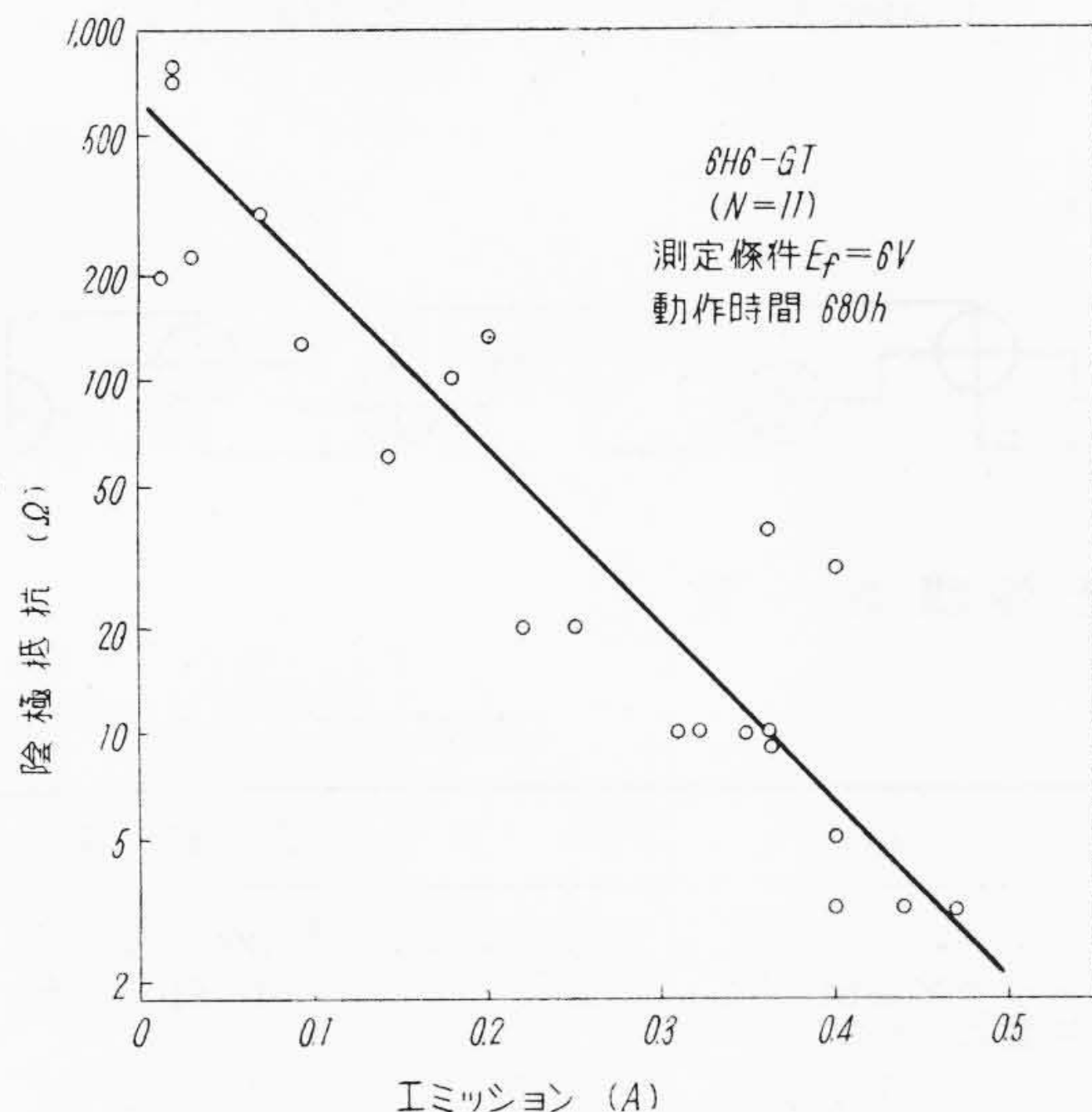
第10図 空間電荷電流法で測った陰極抵抗と初速度電流法で測った陰極抵抗の関係

Fig. 10. Relation between Space Charge Current Method and Initial Velocity Current Method for Measuring Cathode Resistance

ションや電気伝導度の値を同温度における仕事函数値を用いて973°Kに外挿した値をプロットしたのであるが、一般に仕事函数は温度とともに変る性質がある。そこで第8図の2本の直線のずれがすべて仕事函数の温度変化で起ると考えて仕事函数の温度係数を求めると桁数として 10^{-4} eV/degの値がえられる（これだけのデータではエミッションと電気伝導度の仕事函数の温度係数の差しか求められない。この差が 1.4×10^{-4} eV/degであるのでエミッションおよび電気伝導度の仕事函数の温度係数も 10^{-4} eV/degの桁であると考えて差支えないと思う）。この値は一応妥当な数値^{(13),(14)}である。しかしながら後

第 2 表 スリーブの分光分析結果
Table. 2. Spectro-Analysis of Sleeve

Ni	Si	Mg	Al	W	Cr	Mn	Fe	Cu	Co	Ma
主成分	0.06~0.12	0.07~0.12	0.01~0.02	tr	≪tr	0.03~0.12	0.06~0.09	~0.01	>+	+



第 11 図 エミッションと陰極抵抗の関係（空間電荷電流法）

Fig. 11. Relation between Emission Current and Cathode Resistance (Space Charge Current Method)

述のように初速度電流法によつて電気伝導度の活性化エネルギーを求めること自体にも若干問題があるので、両曲線のずれをすべて温度係数で説明してしまうことは危険である。すなわち初速度電流特性曲線の round off が陰極抵抗以外の因子によつて影響されることが考えられる。round off に影響する陰極抵抗以外の因子として最も可能性があるのは陰極面上の活性度の不均一（いわゆる部分飽和現象）である。その他酸化物被覆表面の抵抗層の影響等が考えられる。これらの影響の定量的取扱いは今後の課題であるが、いずれも陰極の活性度と密接な関係があるので、round off を利用して測つた抵抗がたとえ真の陰極抵抗に等しくなくても、前述のように真の陰極抵抗と非常によく似た性質を示すのであろう。このことは酸化物陰極の寿命の機構を論ずる場合にはなほ有用である。その他被覆層の厚さの不均一や測定誤差の影響等が考えられるが、第 8 図のような 2 直線の平行性を説明することはできない。以上を総合して初速度電流特性曲線の round off の主原因は陰極抵抗であると考えて実用上は差支えないと思う（厳密に言えば初速度電流法で測つた抵抗は酸化物陰極の等価抵抗と称すべきであろう）。こゝで注意しなければならないのは初速度電流法によつて抵抗が測定できるのは空間電荷によつて

round off が余り影響されない条件の時である。6H6-GT についていえば陰極温度 680°K 前後でエミッションが数十 μ A 以下の時である。

終りに空間電荷電流特性曲線の理論値からのずれを利用した抵抗測定法について少しふれておこう。本方法で測定した抵抗も真の陰極抵抗とよく似た性質を示すが（第 11 図）、一般に初速度電流法より大きめの値がでる（第 10 図）。これは空間電荷電流法では真の陰極抵抗以外の因子、例えば部分飽和現象の影響が相当強く入るためであろう（このため 6H6-GT では数百 Ω 以上の抵抗測定は非常に困難であり、誤差も多い）。このような結果から本測定法より前述の初速度電流法の方が真の陰極抵抗に近いものを示すといえよう。

〔V〕 結 言

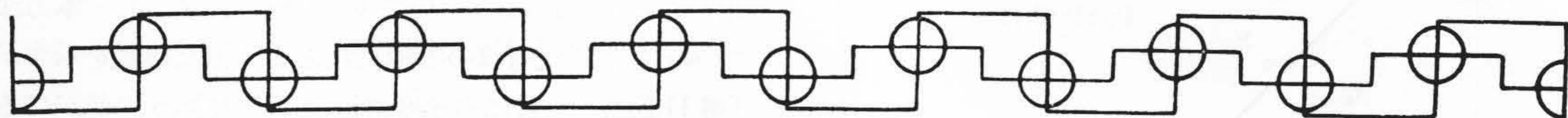
初速度電流特性曲線の round off を利用して求めた陰極抵抗はエミッションと逆比例関係にあり、その活性化エネルギーは 1.0~2.0 eV である。これらの結果は定量的にもプローブ法等で求めた Hannay 等の結果と大体一致している。また本方法で測つた抵抗の寿命試験中の変化の様子は前報告でのべた多極管の結果とも良く一致している。このような結果から初速度電流特性曲線の round off の主原因は陰極抵抗であるといつて差支えないと思う。もちろん本方法で測つた抵抗は部分飽和現象等のため真の陰極抵抗より大きめにでる可能性が大きい。が、このような場合でも真の陰極抵抗と非常に良く似た性質を示すことだけはたしかなので、酸化物陰極真空管の寿命の機構を調べたり、酸化物陰極真空管のエミッション特性の優劣を定量化するには有用であろう。今後の課題としては部分飽和現象の定量化をとりあげ、酸化物陰極真空管の寿命の本質解明の手段にしたいと思う。

本研究実施にあたり御指導を賜つた日立製作所茂原工場橋本製造部長および中央研究所沢田主任研究員に厚く感謝の意を表する。

参 考 文 献

- (1) W.E. Danforth and D.L. Cold Water: J. App. Phys. 20 163 (1949-2)
- (2) 藪本, 吉田: 通研月報 2 13 (1949-6)
- (3) N.B. Hannay, D. Mac Nair and A.H. White: J. App. Phys. 20 669 (1949-7)
- (4) J.R. Young: J. App. Phys. 23 1129 (1952-10)
- (5) I.L. Sparks and H.R. Philip: J. App. Phys. 24 453 (1953-4)

- (6) 浜田, 和田, 高橋: 電気三学会東北支部連大 477 (昭 28-10)
 (7) 岡部, 納賀, 森, 湯沢, 真鍋: 東芝レビュー 10 735 (1955-8)
 (8) G.H. Metson, S. Wagener, M.F. Holmes and M.R. Child: Proc. I.E.E. Pt III 99 69 (1952-3)
 (9) 北川, 信学誌 34 75 (昭 26-2)
 (10) W.R. Ferris: R.C.A. Rev. 10 134 (1949-3)
 (11) 北川: 電学誌 73 13 (昭 28-1)
 (12) 北川: 日立評論 38 (1956-7) 掲載予定
 (13) 佐野, 古賀: 22回電気三学会連大予稿 P.37 (昭 18-4)
 (14) G. Herrmann and S. Wagener: The Oxide-Coated Cathode Vol. 2 P. 183 (1951)



日立製作所社員社外講演一覧

(昭和31年5月分受付)

講演月日	主 催	演 題	所 属	講 演 者
5. 28~29 5. 25	火力発電協会 近畿化学工業会 有機珪素化学部会	最近のタービン発電機における二、三の問題 ジメチルポリシロキサンのトルエン溶液粘度 における Huggins の式の係数について	日立工場 日立研究所	是井良朗 中牟田昌治
6. 5	日本学術振興会	化学工場および水車発電機における刷子の諸 問題	日立研究所	一木利信
5. 25 5. 3	日本機械学会 炭鉱技術協会	原動機の世界制御 坑内排水ポンプ	日立工場 亀有工場	紛沢秀夫 寺田進
6. 下旬 5. 25	日本機械学会 日本鉱業会鋼索研 究会	うず巻ポンプの水撃 1. 高坑張力鋼索の使用と注意 2. 衝撃荷重に依りロープが受ける最大応力 と切断対策	亀有工場 亀有工場 亀有工場	小堀威遠 石橋重遠
6. 13~15 5. 29	鉱山保安監督部 炭鉱保安懇談会	立坑巻上機についておよび現地指導 過巻防止と巻上余裕距離の考察	亀有工場 亀有工場	石橋重遠 石橋重遠
5. 28~29 7. 30	日刊工業新聞 神奈川県商工指導所	ターボ冷凍機の現状 品質管理の導入	栃木工場 戸塚工場	関川務 小林季八
6. 12~19 5. 30	神奈川県商工指導所 日本能率協会	事務管理 材料常備管理制度および推計学を応用した常 備残高管理	戸塚工場 戸塚工場	太田文平 内山孝
5. 26 5. 12	硫酸技術委員会 北海道X線技師会	ニューマチックコンベヤについて 最近のX線装置について	川崎工場 亀戸工場	西岡富士夫 和田正脩
5. 29 6. 7	東京衛生管理協会 日本産業訓練協会	労働者の衛生教育について 機械工場における安全と訓練の実際と急所	亀戸工場 亀戸工場	達栄一 寺下信
5. 30 6. 8	いすゞ自動車K.K. 日本電気通信工業 連合会	災害ポテンシャルの除去を主とした安全管理 標準数	亀戸工場 亀戸工場	寺下信 猪瀬実
5. 22~24 5. 12	長野県庁 電子顕微鏡学会	安来双物鋼の取扱いについて 顕微鏡レンズの収差とそれによる鮮鋭度の変 化について	安来工場 中央研究所	住田勇 森戸望
5. 12 7. 16~19	電子顕微鏡学会 日本物理学会	海外の電子顕微鏡および応用の実情 Time of Flight 法による中性子エネルギー 分析	中央研究所 中央研究所	只野文哉 太組健児
7. 16~19 7. 16~19	日本物理学会 日本物理学会	速中性子用シンチレータ 圧延異方性のマイクロ波による測定	中央研究所 中央研究所	今井宗丸 鈴木喜久
5. 8	旭硝子K.K.	1. インベントリーの問題について 2. 日立の在庫管理方式	中央研究所	島田正三
10. 24~27 5. 4	電子顕微鏡学会 土地改良職員研修会	永久磁石励磁電子顕微鏡 農業用ポンプの計画について	中央研究所 仙台営業所	木村博一 宮島実一
5. 23~25 5. 22	日本規格協会 化学工学協会	統計的考え方による在庫管理の実際 ノンリターンバルブについて	本社 本社	家長喜一 海老原常吉
5. 26~29	日本電池 K.K.	自動車用電装品の取扱いについて	本社	古屋勇