

「ラインスターII形」の特性と品質

Characteristics and Quality of Multi-Digit Indicator Tube, "Linestar-II" Type

In an effort to meet the demand for lower cost, smaller-sized desk top electronic calculators Hitachi has developed a multi-digit indicator tube*. The article describes this new indicator tube, trade-named Linestar-II, centering around its characteristics and the group tests carried out to evaluate its performance, environmental adaptability and service life.

*Trademark registration applied for.

斎藤 実* *Minoru Saito*
筒井不二雄* *Fujio Tsutsui*

1 緒 言

電子式卓上計算機（以下、電卓と略す）の発展とともに、使用される表示装置にも次々と新しいタイプが開発され、広範囲に使用されるようになってきている。「ラインスター」の開発もこれらの一つで、従来電卓には0～9のアラビア数字の陰極を積み重ねた単管を必要けた数だけ並べて使用していたが、「ラインスター」は多数けたを1パッケージにまとめたもので、プリント基板用コネクタに適合させ、信頼性の向上、小

形化、電卓組立工程の工数低減、実装が容易などの特長を有するものである。

その放電原理は従来の単一の表示放電管（以下、単管と略す）と同じであるが、電極の構成方法、内部配線、パッケージ、外部接続は全く異なっている。一方、環境を含めた実使用条件は単管と同じように考えることができるが、要求される信頼性はますます高くなっている。これらから開発時点において、単管の試験方法を基礎に各種特性調査と種々の信頼性試験を実施した。なお、「日立評論」VOL.54 No.9では、「ラインスターI形」の特性を記載したが、以下はI形の改良品II形について測定したものである。図1は「ラインスター」の外観を、図2は「ラインスター」の特性測定回路を示すものである。

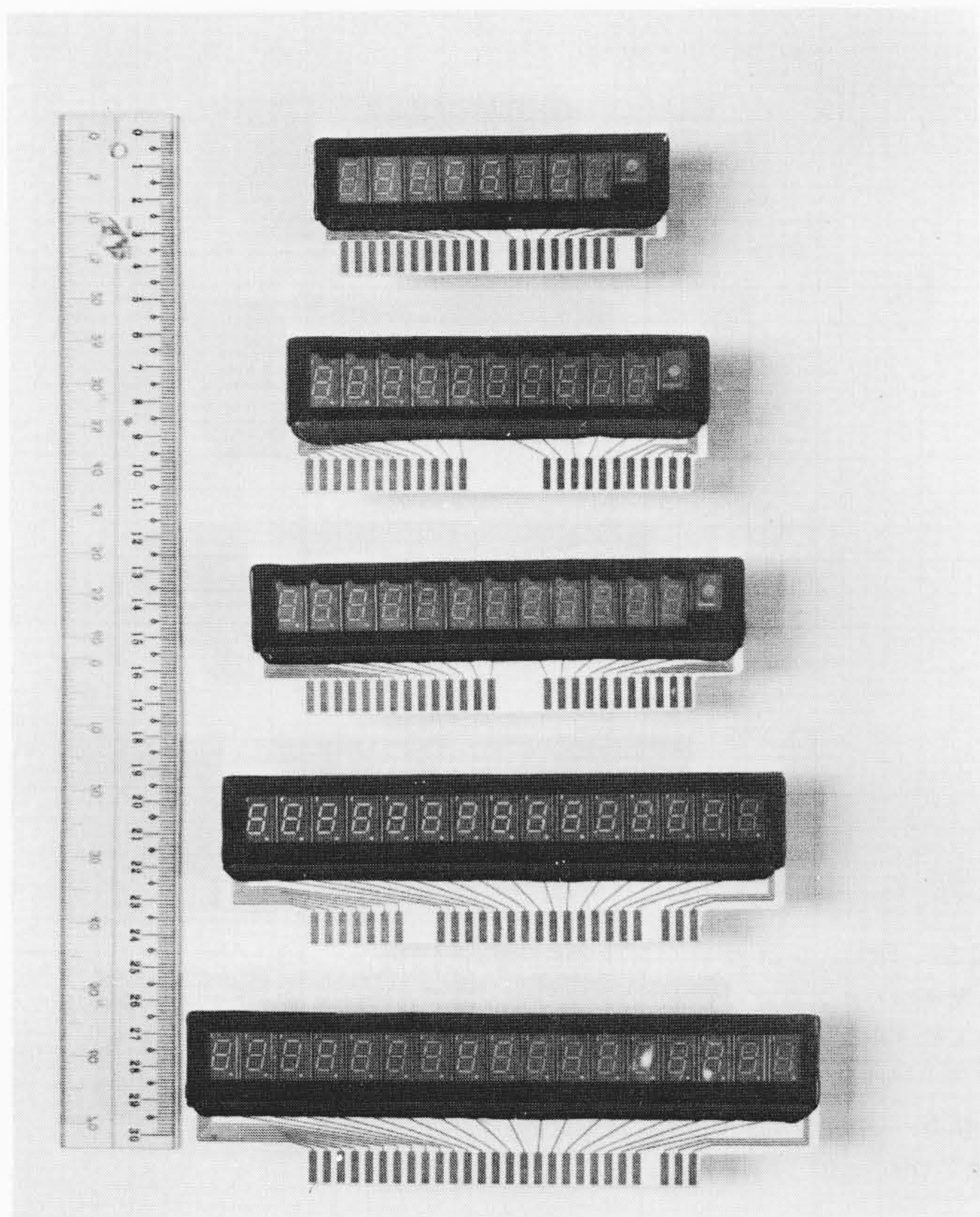


図1 「ラインスターHI833B」の外観 現在、「ラインスター」は7品種あるが、けた数の違いでほぼ外観的には同じになる。HI833B(写真上から3番め)で代表させてのせるものである。

Fig. 1 Appearance of "Linestar" HI833B

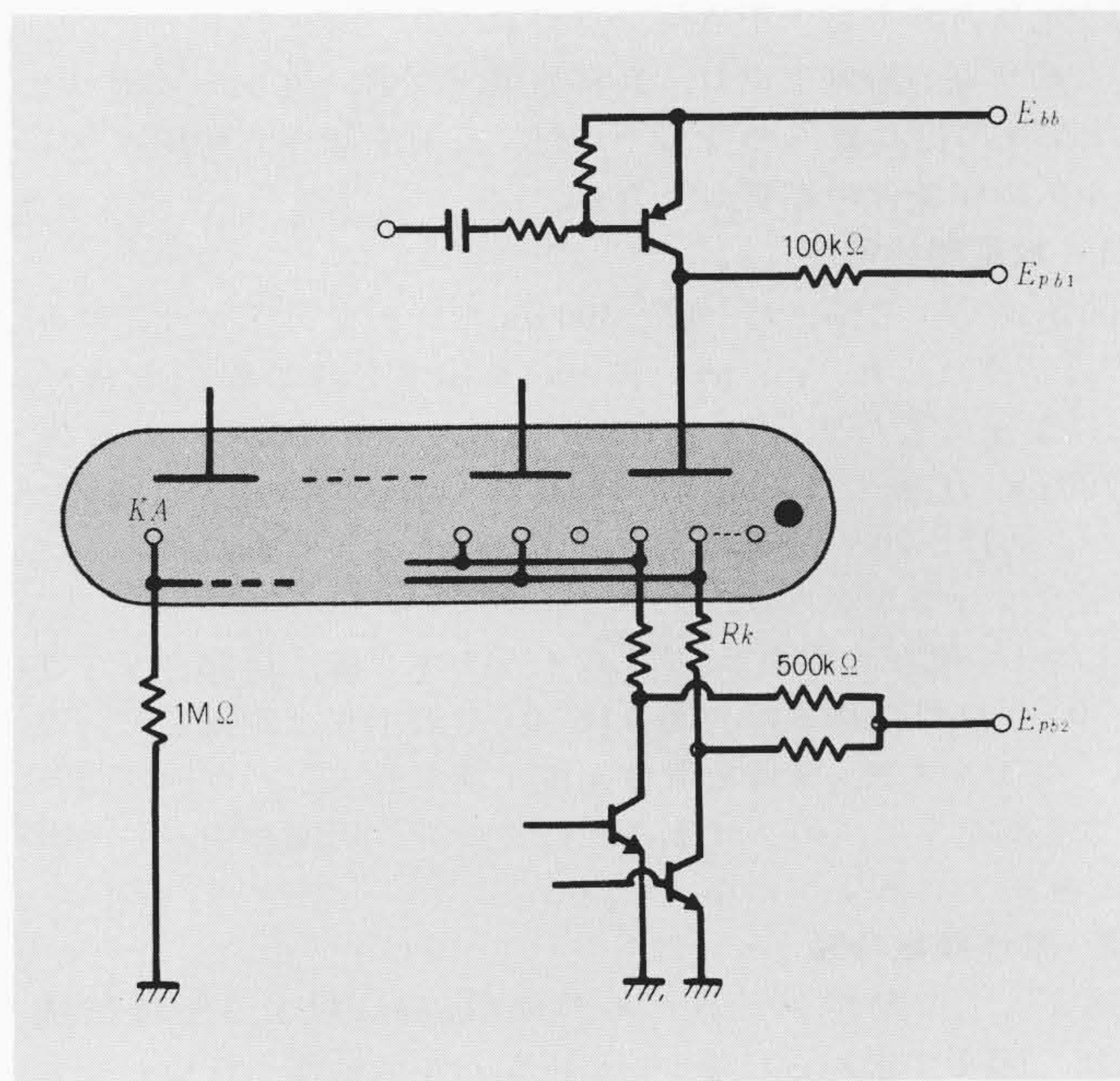


図2 「ラインスター」の特性測定回路 図3以降のデータを測定した回路で、また「ラインスター」使用の基本回路である。本図は本文2.3の説明でも使用している。

Fig. 2 Test Circuit for Measuring Characteristics

*日立製作所茂原工場

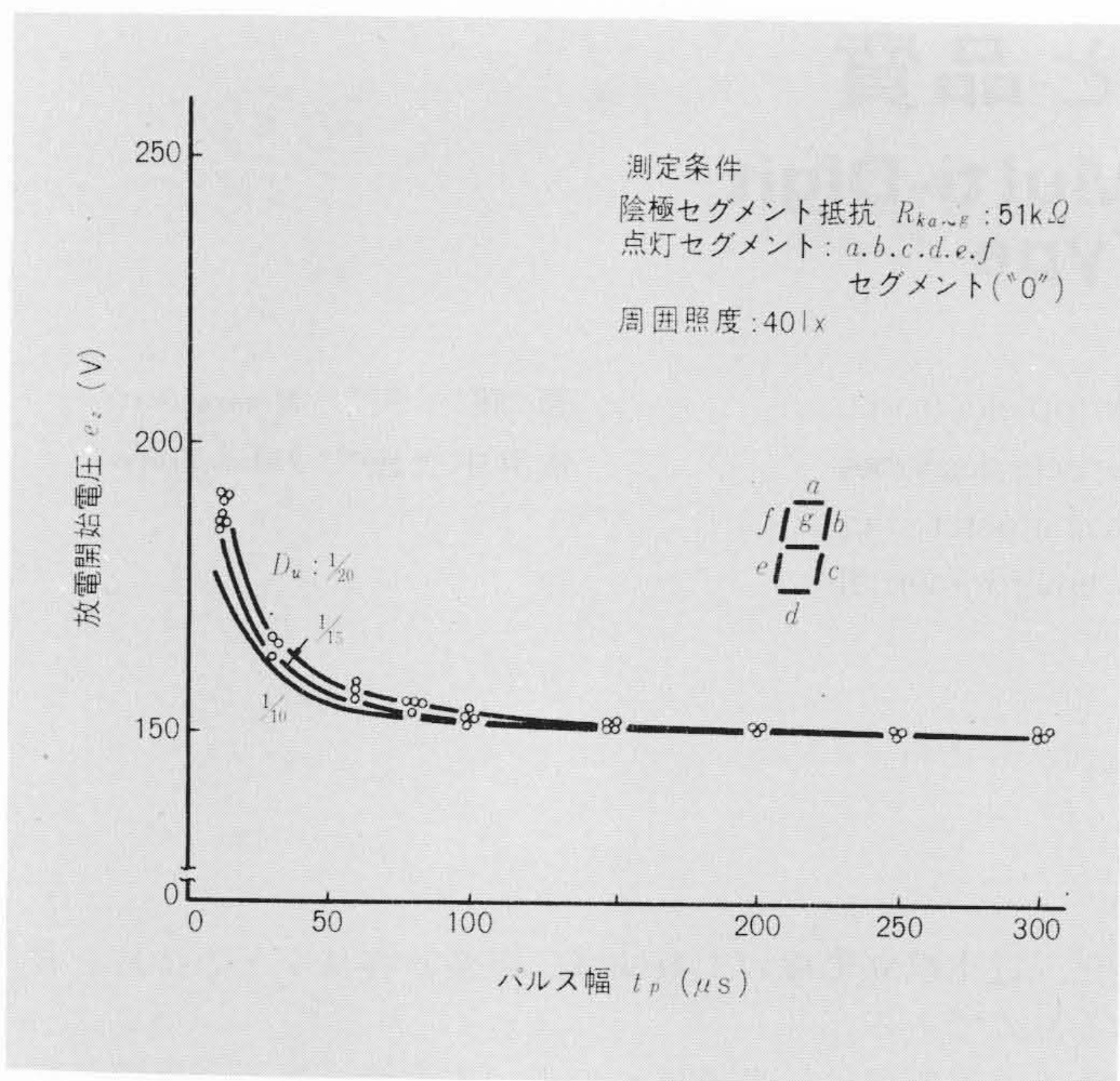


図3 「ラインスターHI833B」の放電開始電圧特性 「ラインスター」の e_z (放電を始める電圧)とパルス幅の関係を示す。 e_z は「ラインスター」の設計的な基本特性である。

Fig. 3 Initial Ionization Voltage Characteristics (HI833B)

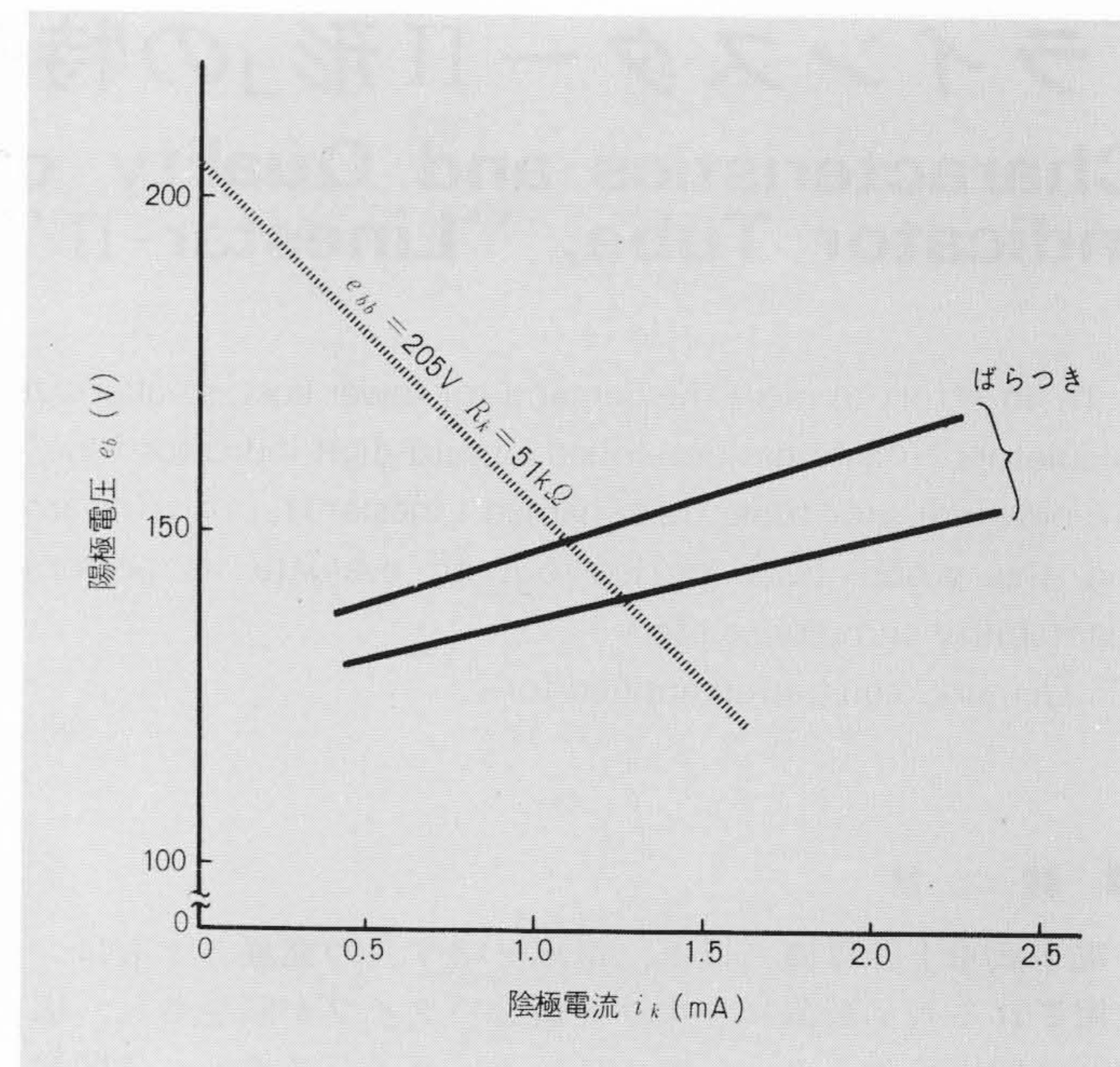


図4 「ラインスターHI833B」の陽極電圧-陰極電流特性 「ラインスター」を使用するためには、使用する陽極電圧に対し適当な陰極電流を得るため制限抵抗を求める必要がある。この抵抗値は本図からうることができる。

Fig. 4 Anode Voltage-Cathode Current Characteristics (HI833B "a-g" Segment)

2 動作領域特性

「ラインスター」も単管同様、冷陰極グロー放電の表示を人間が目で見取り取るためのものであるため、表示状態の不良も共通している。

おもな項目は、

- (1) 光り方の不足：不点灯、点灯おくれ、字欠け
- (2) 光り方の過剰：重灯、異常放電、反射、ブルスポットなどがある。これらのうち不点灯、反射を除き、使用されるパルス動作条件の影響が大きい。

2.1 放電開始電圧 (e_z)

図3はパルス幅 (t_p) 12~300 μs で、デューティサイクル (D_u) がそれぞれ $\frac{1}{10}$, $\frac{1}{15}$, $\frac{1}{20}$ の e_z を示すものである。 e_z は t_p , D_u によって変わり、特に t_p 100 μs 以下ではその影響が大きい。 t_p 100 μs , $D_u \frac{1}{20}$ では陰極構造の違いにより単管の $e_z \approx 135V$ に比べ、約15~20V高い。また、 e_z は点灯セグメント数によって若干のばらつきがある。

しかし、現在の電卓は、電源スイッチオン後、自動クリアされ「0」が点灯されるので図3は「0」を表示させ測定した。なお、「ラインスター」は放射性同位元素を封入し、キープアライブ電極を早く点灯させることによって、周囲の明るさの影響を無視できるようになっている。

2.2 動作領域特性

適正な i_k で動作させるための使用 e_{bb} に対する陰極抵抗 R_k は、図4で求められるが、適正なパルス動作を行なわせるにはこれだけでは十分な駆動条件にはならない。2.1で述べたパルス動作の t_p , D_u を考慮しなければならない。このパルス条件は電卓の回路設計で決定される。このためパルス条件と使用可能 e_{bb} との関係を表わした動作領域特性が必要になってくる。図5は「ラインスターHI833B」の数字「1」を表示させ、 D_u をパラメータに t_p と「ばける」 e_{bb} の上限値を示したもので、たとえば $t_p = 100 \mu s$, $D_u = \frac{1}{20}$ では e_{bb}

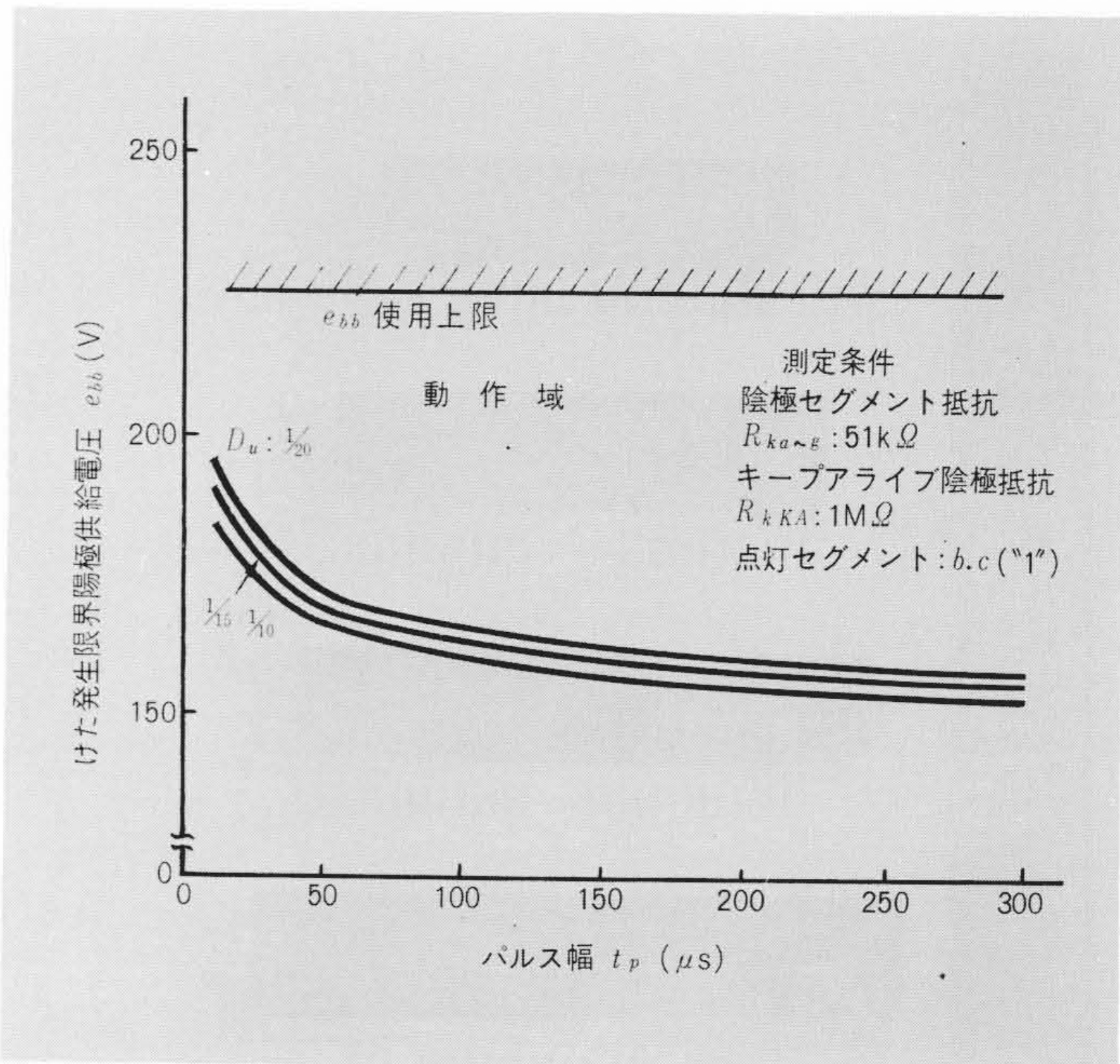


図5 「ラインスター」HI833Bの動作特性 「ラインスター」はおもに電卓にパルス駆動して使用されているが、回路設計が種々でパルス発振周波数も種々ある。本図は各 t_p に対し使用できる陽極電圧の上下限を示したもので、「ラインスター」使用条件検討の基本的データである。

Fig. 5 Operating Characteristics (HI833B Segments "a" through g)

$= 160V$ が「ばける」 e_{bb} の最大値で160V以上であれば均一な表示状態が得られることになる。

しかし、使用する e_{bb} は、表示状態のほかに e_z , スタート遅れ時間を考慮して決定しなければならない。「ラインスター」の標準使用条件における e_{bb} は、200Vになっている。また「ラインスター」はセグメント表示方式のため、点灯数字に

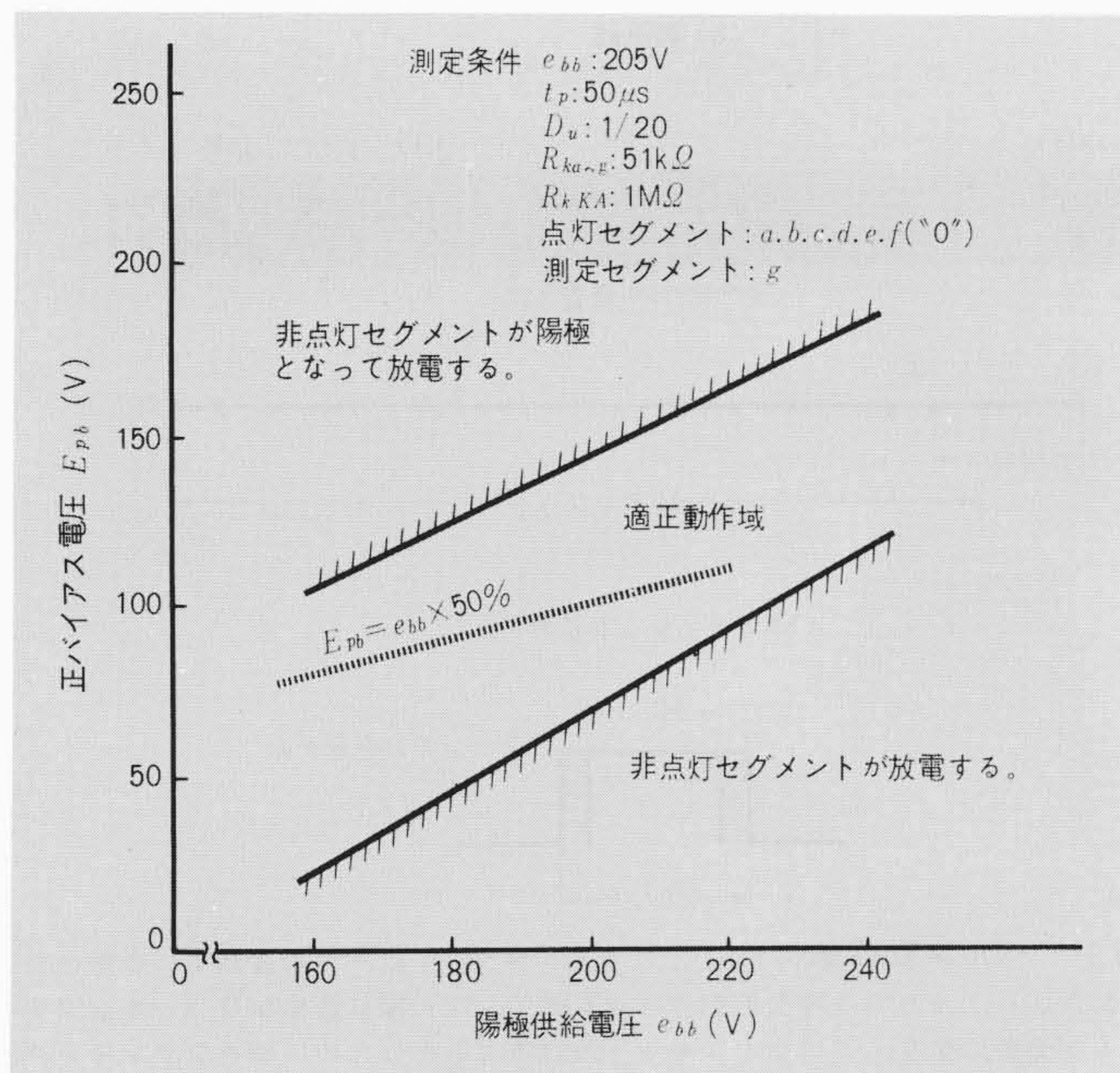


図6 「ラインスターHI833B」の正バイアス特性 「ラインスター」はいくつかのセグメント陰極を組み合わせてある数字を表示させるので、必ず点灯しているセグメントと不点灯セグメントができる。このうち、不点灯セグメントは必ずある電位にすることが必要である。この電位の上下を陽極電圧に対して示したものである。

Fig. 6 Prebias Characteristics (HI833B)

より消費電力が大幅に異なり電源変動率の悪い電源ではAC入力電圧の変動以外にも e_{bb} の変動要因になるので、安定化電源にすることが必要である。これは特に“0”サブレス方式の電卓においては必要条件になる。なお t_p とは各デジット間にそう入される禁止期間(ブランキング)を除いた一けたあたりの陰極への点灯信号の時間幅である。

2.3 正バイアス特性

「ラインスター」はトランジスタ駆動で使用されるので、点灯陰極以外の非点灯陰極には正バイアス電圧 E_{pb2} が印加されることになる。この E_{pb2} が低い場合には非点灯セグメントが陰極として放電し、誤読の原因や表示品位を阻害し、逆に高い場合は非点灯電極が陽極となり、異常放電を生ずる原因となる。特に多けた表示放電管は隣接けたの影響に注意が必要である。このため各陰極側に正バイアス抵抗をそう入し、これを通して適当な E_{pb2} を加えクランプする必要がある(図2参照)。

図6は“0”を点灯したときの正バイアス特性を示すものである。これから E_{pb2} は e_{bb} のほぼ50~60%程度が適当である。一方、陽極駆動用トランジスタの耐圧保持として陽極、つまりトランジスタのコレクタに並列に抵抗を通してクランプする方法が採用されるが、この場合 E_{pb2} と陽極側のクランプ電圧 E_{pb1} は同電位にし、 E_{pb2} を加える点は各陰極抵抗の下側、すなわち陰極駆動用トランジスタのコレクタ側にするのが適当である。これはパルス動作の非点灯時間の陽極~陰極間電位差における問題で、同電位の場合、イオン消滅がおそくなり2.4で述べる放電遅れ時間を短くさせ、ほけ、欠けに対して好影響を与えることにある。

2.4 放電遅れ時間

連続パルス動作をする場合、 e_{bb} 印加後放電陰極電流が立ち上がるまでに遅れが発生する。この遅れ時間を放電遅れ

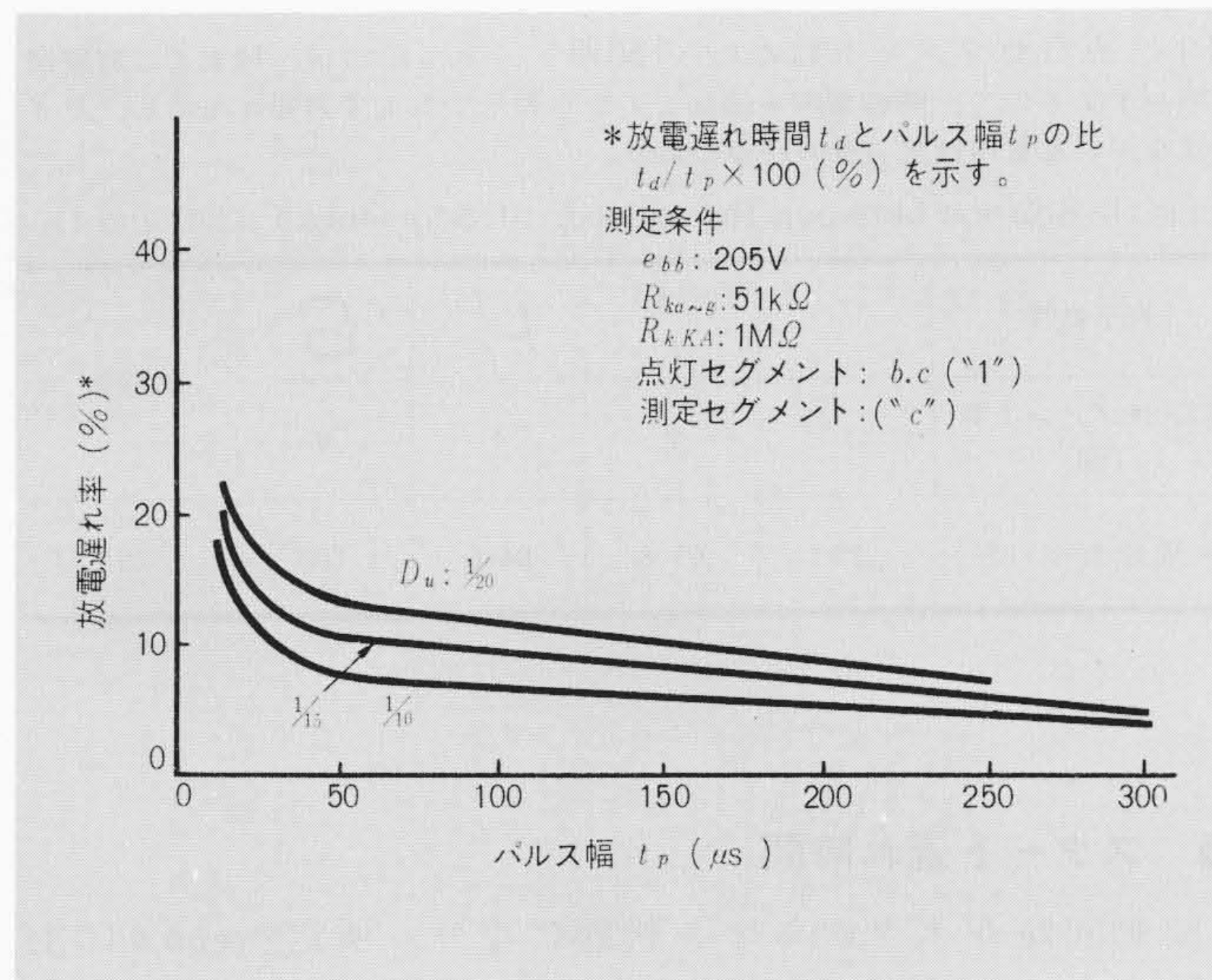


図7 「ラインスターHI833B」の放電遅れ時間特性(1) 「ラインスター」は冷陰極放電管であるため、陽極電圧が加わっても直ちに陰極電流は流れない。陽極電圧が加わってから陰極電流の流れ出すまでの時間を、パルス幅との関係で示した設計データの一つである。

Fig. 7 Re-ionization Time Characteristics (1) (HI833B)

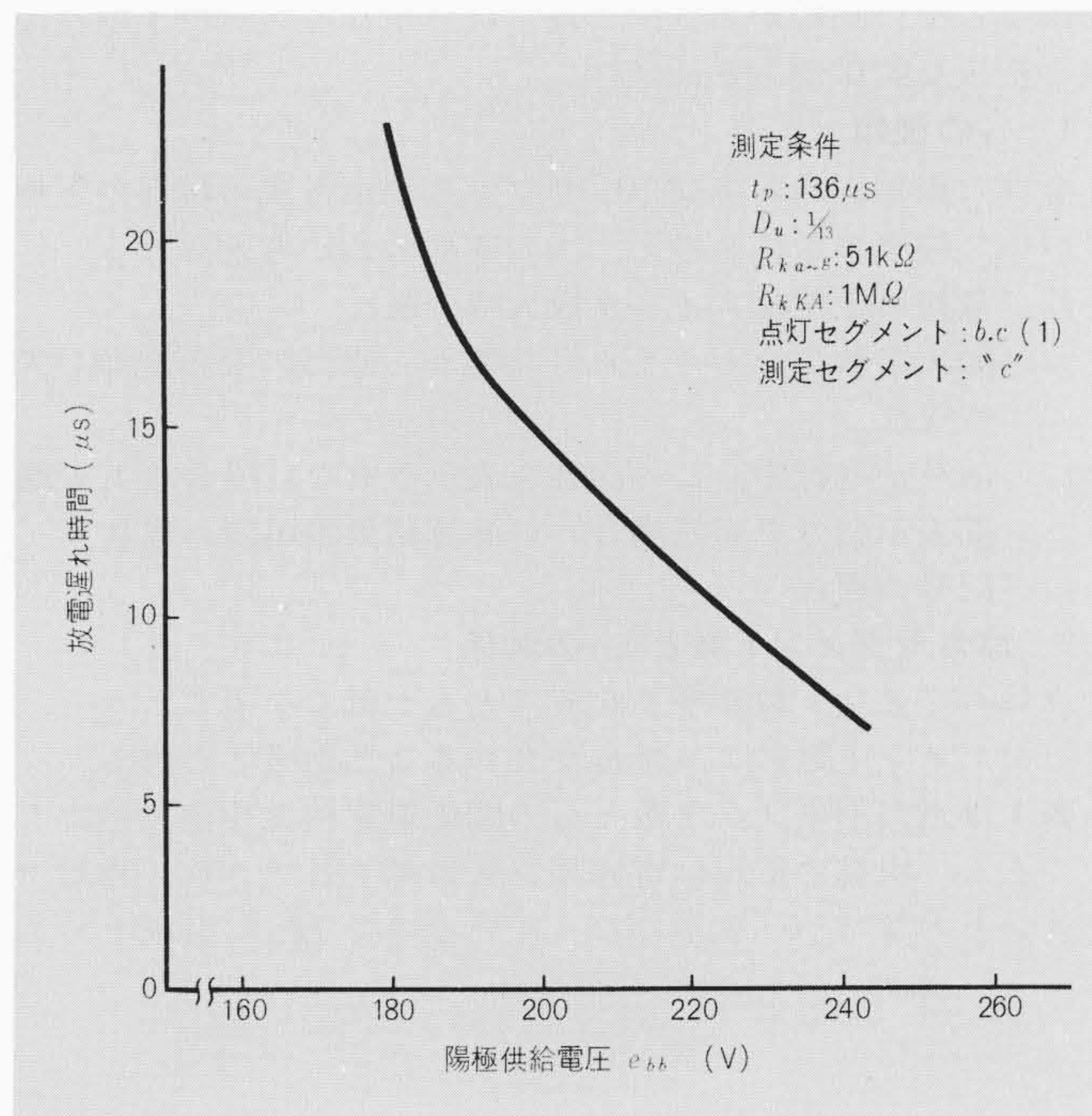


図8 「ラインスターHI833B」の放電遅れ時間特性(2) 図7と同様、陽極電圧との関係で示したものである。

Fig. 8 Re-ionization Time Characteristics (2) (HI833B)

時間 t_d という。 t_d が大きいことは見かけ上「ラインスター」の放電時間が短くなって、ほけ、欠け特性に関連することになる。この現象はパルス動作においては必然のもので、根本機構は残留イオンと電界に関係している。 t_d は陽極パルス立ち上がり点から i_k が最大値の90%に達する時間と定義し、 t_p との比をもって放電遅れ率 $t_d/t_p \times 100(\%)$ で表わしている。単管では数字により t_d に差があったが、平面構造の有利さから「ラインスター」においては各セグメントが均一になっている。図7および図8は e_{bb} と t_p 、 D_u との関係を示すものである。

表1 点灯セグメント数と t_{z1} の関係 e_{bb} 印加後1秒までの放電発生率を示すもので、陽極電圧を印加してから表示するまでの遅れを示し、「ラインスター」品質特性データの一つである。

Table. 1 Relation between the Number of Segments Fired and t_{z1}

表示数字	—	1	4	0	試験数
点灯セグメント数(個)	1	2	4	6	
放電発生率(%)	23	53.8	84.6	100	26

3 スタート遅れ時間

駆動回路がオフからオン状態になり、所定の e_{bb} が印加されてから点灯表示するまでの時間に遅れおよび不整が生ずることがある。この点灯までの時間をスタート遅れ時間 t_z と呼んでいる。現在の電卓では表示を見やすくするため各種のブランキングタイム t_{BL} を設け、たとえば不要上位けたの0を消去する“0”サプレス方式が一般的となり、またセグメント表示方式のためにディジット間に t_{BL} を入れて使用しなければならない制約があり、これらはいずれもスタート遅れ現象と密接な関係がある。

3.1 t_z の種類

全けた表示方式および“0”サプレス表示方式の現在の電卓において種々の条件を考え、次の4種の t_z が考えられる。

- t_{z1} : 最初の主電源スイッチ投入時の遅れ
- t_{z2} : 順次置数したとき不点灯状態から点灯になる先頭けたの遅れ
- t_{z3} : 演算が進行中、この内容を表示させない場合(ある期間表示信号を切る場合)の演算結果表示時の遅れ
- t_{z4} : 記号の遅れ

3.2 点灯セグメント数と t_{z1} の関係

点灯セグメント数が多くなるほど e_z が低くなることから、点灯セグメント数によって t_z が変わることが考えられる。

表1は点灯セグメント数と t_z の関係を累積発生率で示すものである。現在の電卓は電源オン後自動クリアされ、点灯セグメントの多い“0”表示になっているので t_{z1} に有利といえる。

3.3 t_{BL} と t_{z2} , t_{z3}

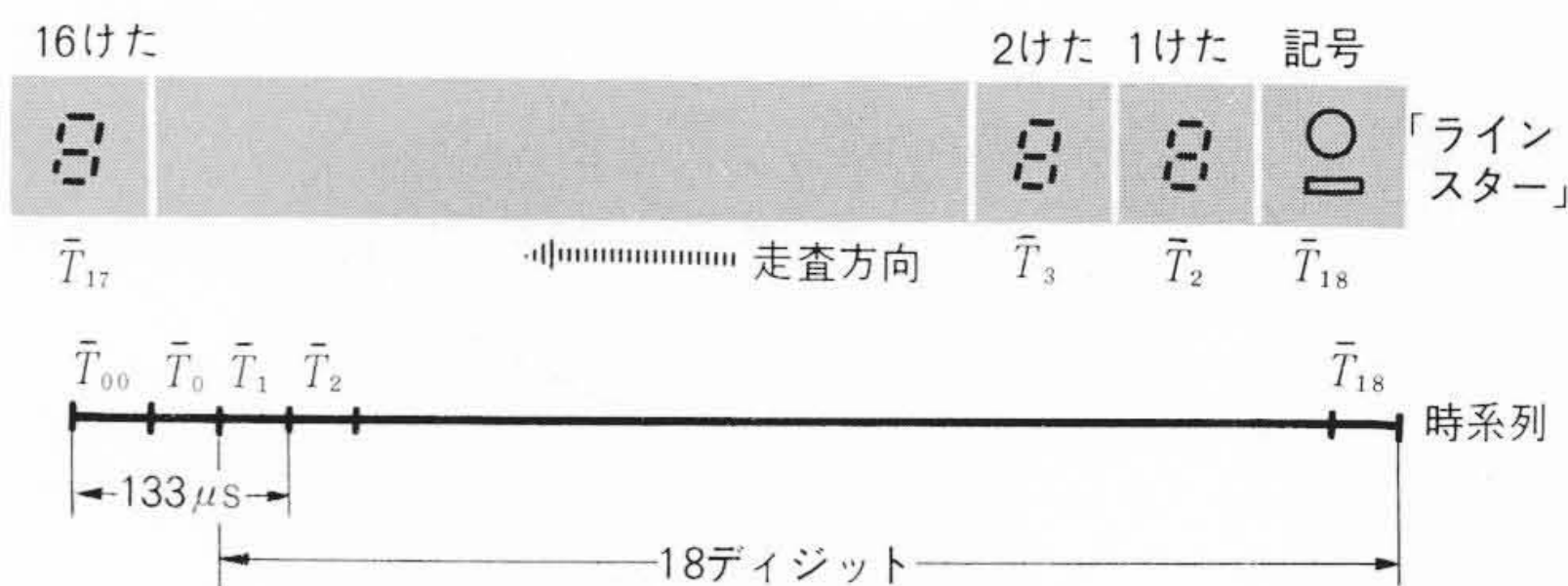
使用状態における t_{BL} を考えると次の4種類になる。

- (1) ディジット間の t_{BL} : 異状放電防止のため一般には一けた(4ビット)につき1ビット分の t_{BL} を入れる。
- (2) 遊びディジットの t_{BL} : LSI(大規模集積回路)などの関係から17けた「ラインスター」を20分割で点灯させるとき、使用しない3分割の時間
- (3) “0”サプレス t_{BL} : 不点灯けたの時間、一けただけの点灯時が最も長くなる。
- (4) 演算中の t_{BL} : 演算中の表示を消す時間、演算内容によって異なる。

図9を一例として(“0”サプレス表示方式)、上記(1)~(4)を求めると、

- (a) 1ビット $16.7\mu s$
- (b) T_{00} , T_0 , T_1 の t_{BL} $150\mu s$
- (c) 最大で下一けた点灯のとき(1)および(2)を含めて $16.7 \times$

(a) 時系列



(b) 1ディジット波形

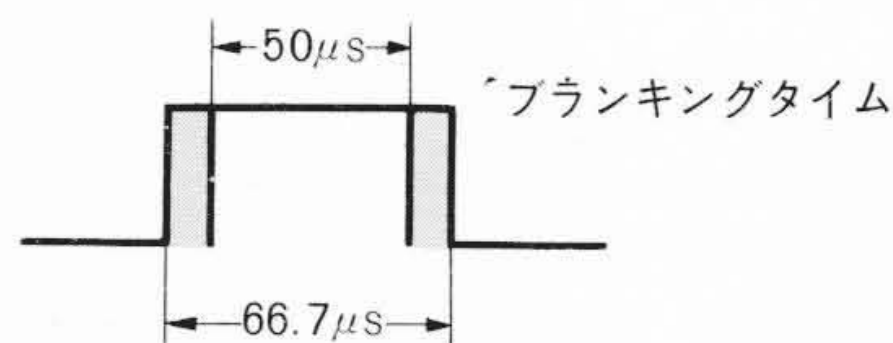


図9 パルス動作条件例 「ラインスター」は一つの容器中に多数けたが封入され、それらを時分割動作させるので、けた間に適当なブランキングタイムが必要になり、このほかにセット設計表示改善のために種々ブランキングタイムが設けられる。この説明のため、使用条件の一例を示したものである。

Fig. 9 Example of Pulse Operating Condition

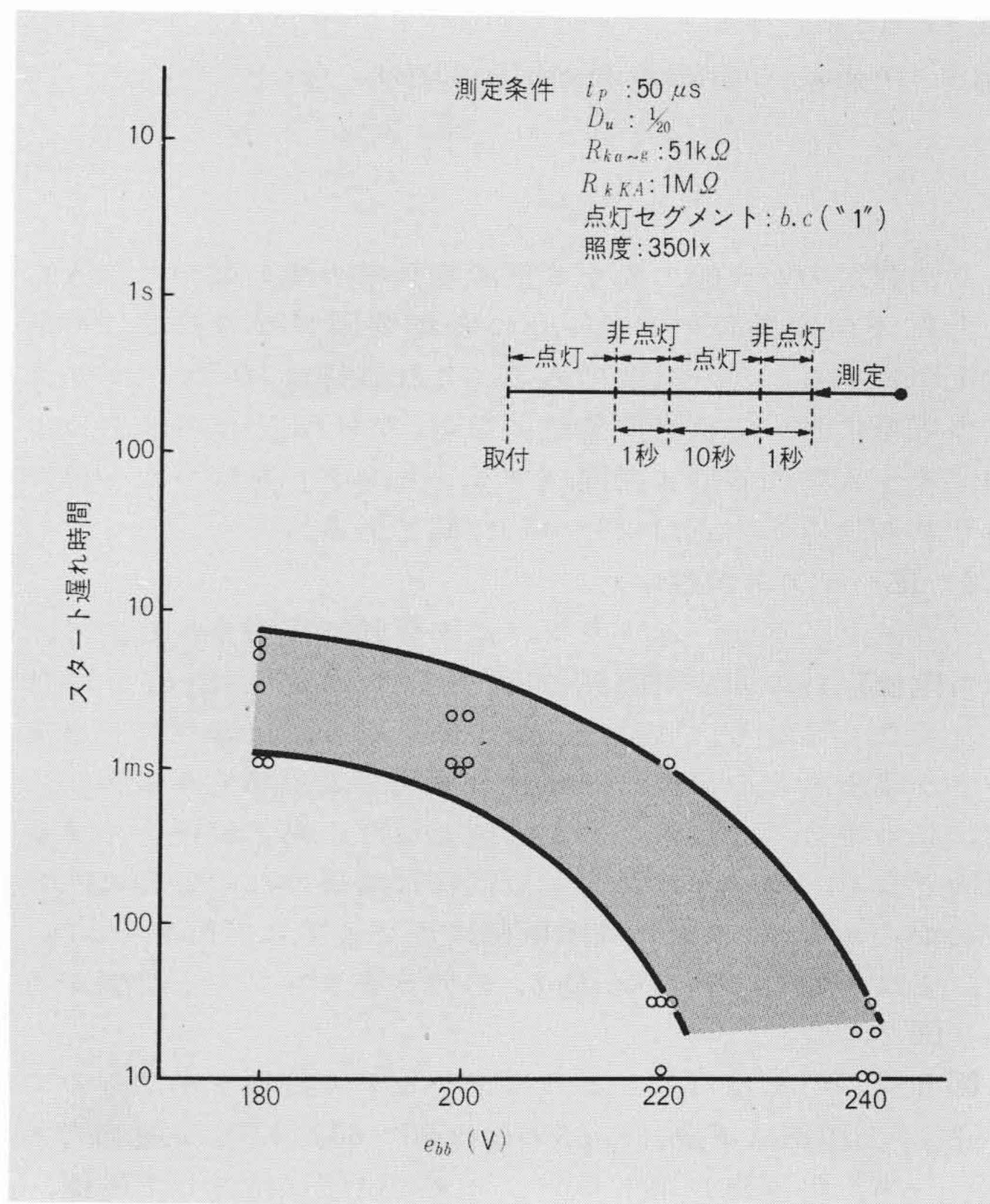


図10 「ラインスターHI833B」のスタート遅れ時間特性 表1と同様、スタート遅れ特性は種々な条件の影響を受けるが、本図は最も影響の大きい陽極電圧との関係で示した。

Fig. 10 Ionization Time Characteristics (HI833B)

$$4 \times 19 - 16.7 \times 3 = 1,216.7 \mu s$$

- (d) ワorstケースで300ms, たとえば20語分のとき。 $20 \text{ 語} \times 19 \text{ ディジット} / \text{語} \times 4 \text{ ビット} / \text{ディジット} \times 16.7 \mu s / \text{ビット} \approx 25 \text{ ms}$

となる。これらはいずれも点灯しているけたから次の点灯するけたまでの時間で、長くなると消イオン時間との関係でスタート遅れが発生することになる。 t_{BL} 中時間的に長く t_z に影響するものは(d)で電卓では0.5~0.7秒のものがある。

図10は実用の0.5~0.7秒を考え、1秒の t_{BL} の後の t_z (t_{z2} , t_{z3} に相当) を ebb との関係で示したもので、測定は一けただけの点灯で故意に照度を 3501_x に上げ、他要因によるばらつきを少なくした。 ebb 220Vで6msの遅れがある。

3.4 走査方向

時分割パルス動作の走査方向には、

- (1) 下位けたから上位けたへ順次走査する方法
 - (2) 上位けたから下位けたへ順次走査する方法
 - (3) 順次走査せずけた飛び越し動作させる方法
- があり、(1)が一般的ではある。 $t_{BL}=0.5\sim 1.0$ 秒とし、「0」サプレス表示方式における走査方向と t_z の関係を調査した結果、
- (a) 走査方向(1)においては t_{BL} は下位けたに対して長くなり、点灯けたから次の点灯けた(上位けた)は1ビットであり短い。したがって、遅れは置数時には問題なく、演算後の遅れ t_{z3} として走査順の早い下位けたに発生しやすい。
 - (b) また、走査方向(2)では、 t_{z3} のほかに置数によるけたくり上がり時は走査順と点灯順が逆方向であり、 t_{BL} は長く t_{z2} が認められる。
 - (c) t_{z4} は記号けたの位置に大きく影響し、たとえば記号けたが右端にあり走査方向が(1)のとき(b)同様遅れに不利になることがわかった。

3.5 キープアライブ電極

3.4 で述べた t_z を解決する方法を考えてみると、走査順序の早いほうの表示けたを早く点灯させることが必要になる。走査方向(1)の場合は第一けために常時点灯させる電極(キープアライブ)があればよい。しかし、「0」サプレス表示方式で走査方向(2)の場合、表示けた数は任意であり、特定けたのキープアライブ電極設置では解決せず、全けたにキープアライブ電極を設けなければならない。これから「ラインスター」は全けたにキープアライブ電極を設け、 $500k\Omega\sim 1M\Omega$ の高抵抗で常時点灯させ、消イオン時間が短いために問題になりやすい t_{BL} による遅れを完全になくす構造になっている。また電源オン後の t_{z1} に対しては、放射性同位元素の封入位置を適正にし、いずれの走査方向に対しても考慮されている。

4 表示特性

図11は平均陰極電流と輝度を示すものである。これから輝度は平均陰極電流にほぼ比例する。したがって ebb , D_u および陰極電流が同じでも放電遅れの大きい使用条件では平均陰極電流が減少し、輝度も低下することになる。なお字形については、設計段階で官能検査による字形評価を実施している。

5 環境試験

「ラインスター」の使用環境条件は単管同様と考えられるが、パッケージの構造が全く異なること、使い方も市販のコネクタに組み合わせて使用される点などで単管と異なり、信頼性については単管とは別の見方で十分に確認しておく必要がある。

5.1 温度湿度サイクリング試験

温度、湿度および温度湿度のサイクル内容は図12の条件で40回往復後、振動数 25Hz ($1,500\text{rpm}$) 加速度 $2.5g$ の振動を X, Y, Z 各方向1時間実施する。また、外部接続部(端子部)

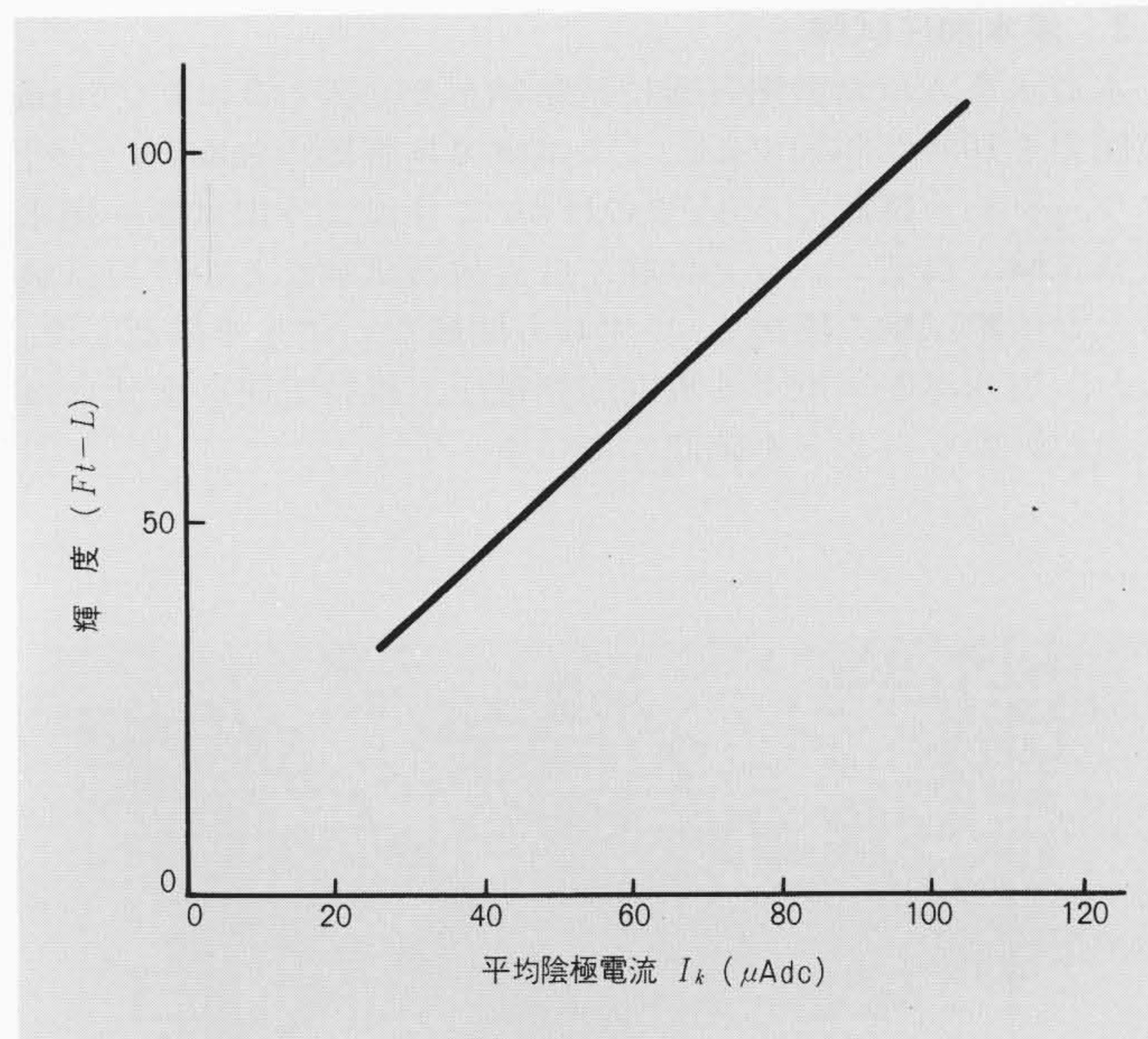


図11 「ラインスター HI833B」の輝度特性 「ラインスター」の輝度を陰極電流との関係で示した。

Fig. 11 Brightness Characteristics (HI833B)

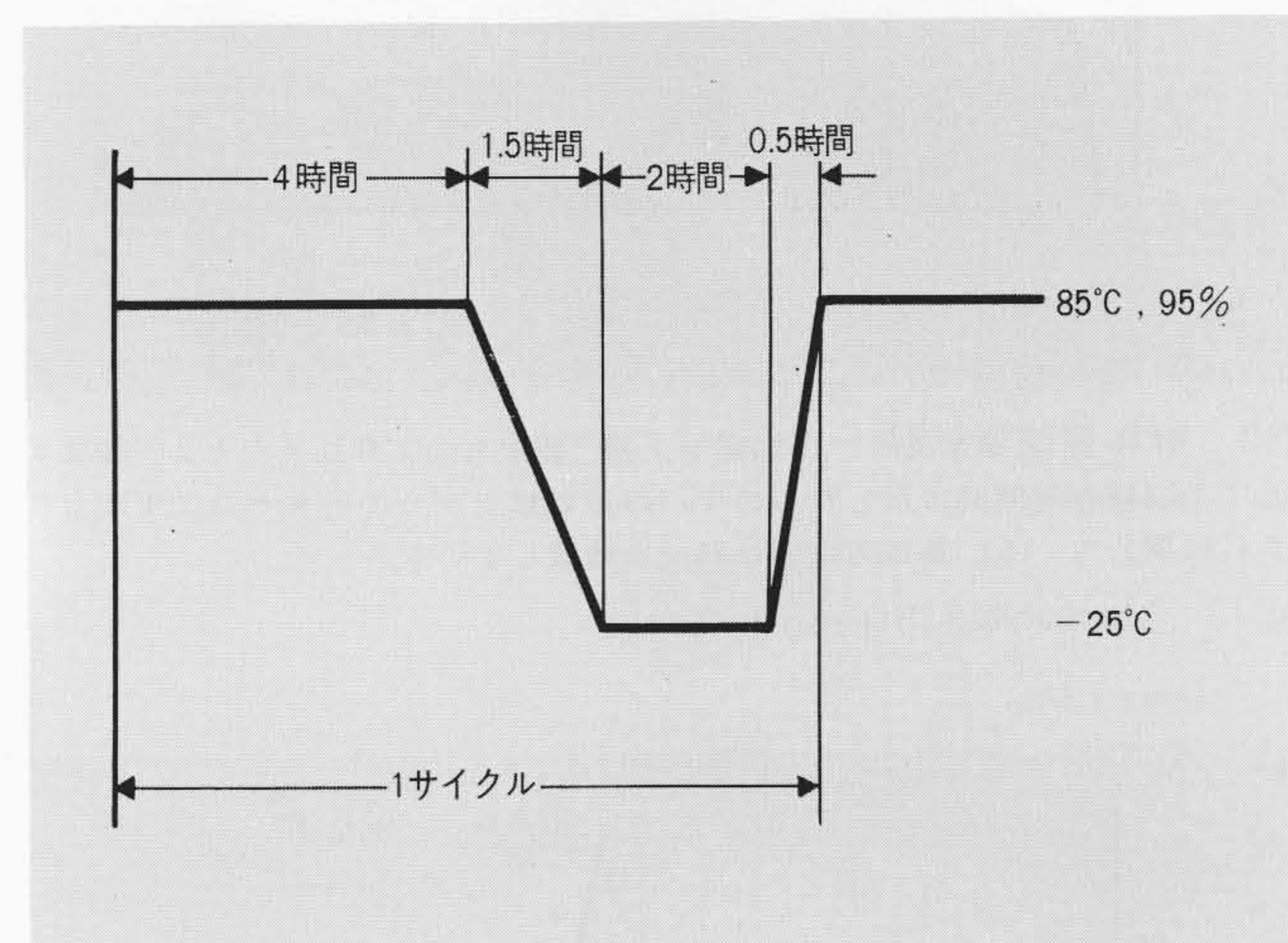


図12 温度湿度サイクル試験 温度湿度サイクル試験の条件設定を示した。

Fig. 12 Graphical Representation of Temperature-Humidity Cycling Test

に対しては、ソケットへの抜き差しを規定回数くり返した後、ソケットに差し込んだ状態およびソケットをはずした状態で温度湿度サイクル試験を行なう。この試験で確認できる項目はリーク、導通性、端子部とソケットとの接触抵抗の変化などである。ソケットとの接触抵抗はソケットの接触圧の影響も大きい。市販のソケットについて調査した結果、いずれも 0.1Ω 以下であることを確認している。

5.2 静加重破壊試験

「ラインスター」の気密容器はガラスとセラミックとで構成されている。この場合の強度確認としてテンシロンにて支点間隔 60mm で取り付け、 5kg ごとに1分間の静加重を破壊するまで加える試験を実施している。図13は「ラインスター HI833B」の試験結果を示すものである。破壊する部分はいずれもガラス(上板)部分で、加重の方向による強度の違いはガラスの圧縮される場合と引っぱられる場合の差を示している。

5.3 浸水加圧試験

水道水を入れた密閉容器に試験球をそう入し3および5atmの圧力を10時間印加する。この試験では容器の強度(リーク、クラック)が確認できる。このほか、こう温こう湿試験、塩水噴霧試験、温度ショック試験、低温放置試験などの環境試験および衝撃試験を実施し、いずれも問題ないことを確認した。なお、周囲温度に対する放電開始電圧、維持電圧の変化はほとんど影響ないことを確認している。

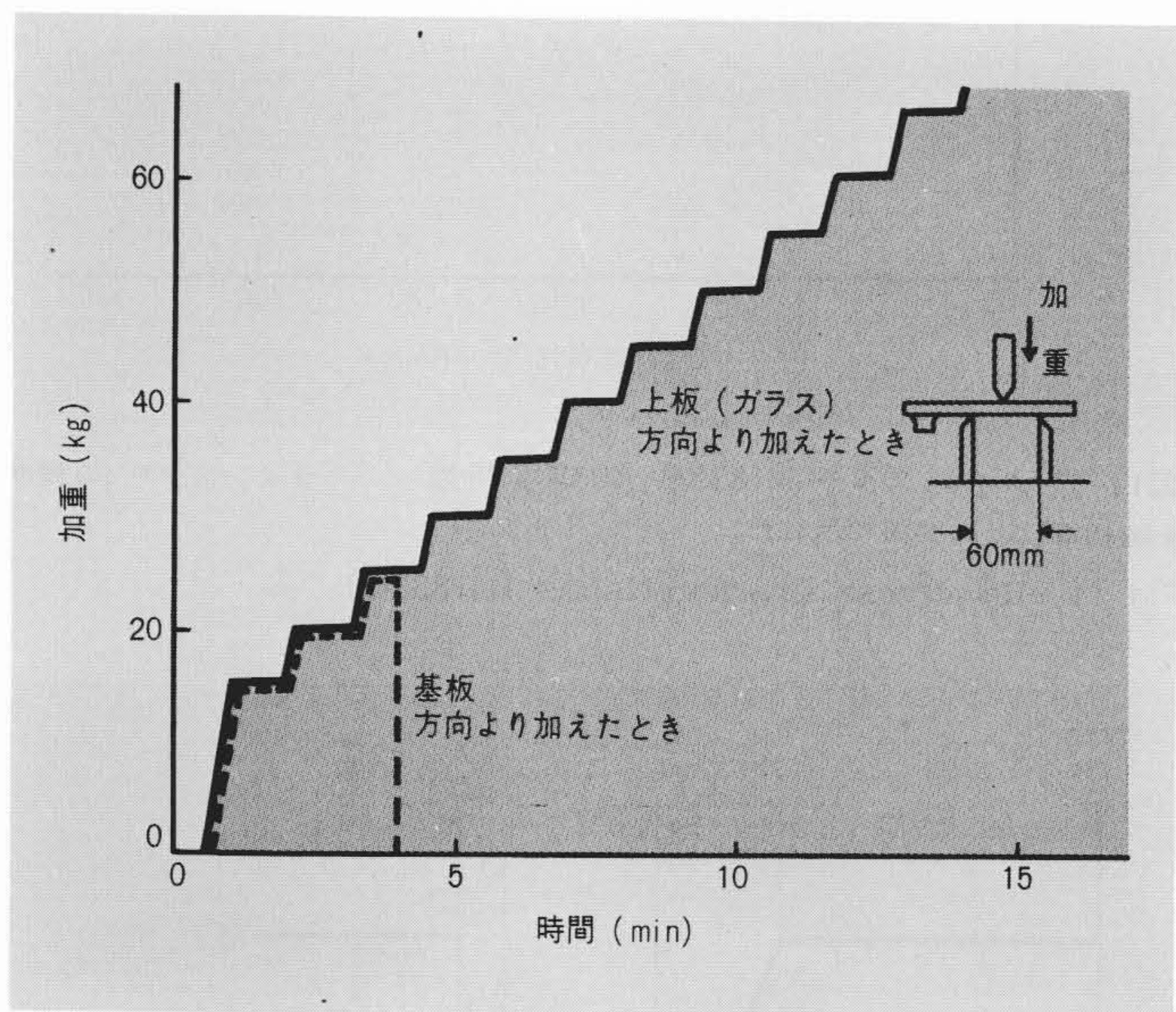


図13 静加重破壊試験 加重を上板、基板方向より加えたとき、破壊するまでの過程を時間的に示したもので、階段状に上がって行きゼロに下がったときに破壊している。基板方向値は25kgで破壊している。

Fig.13 Mechanical Strength Test

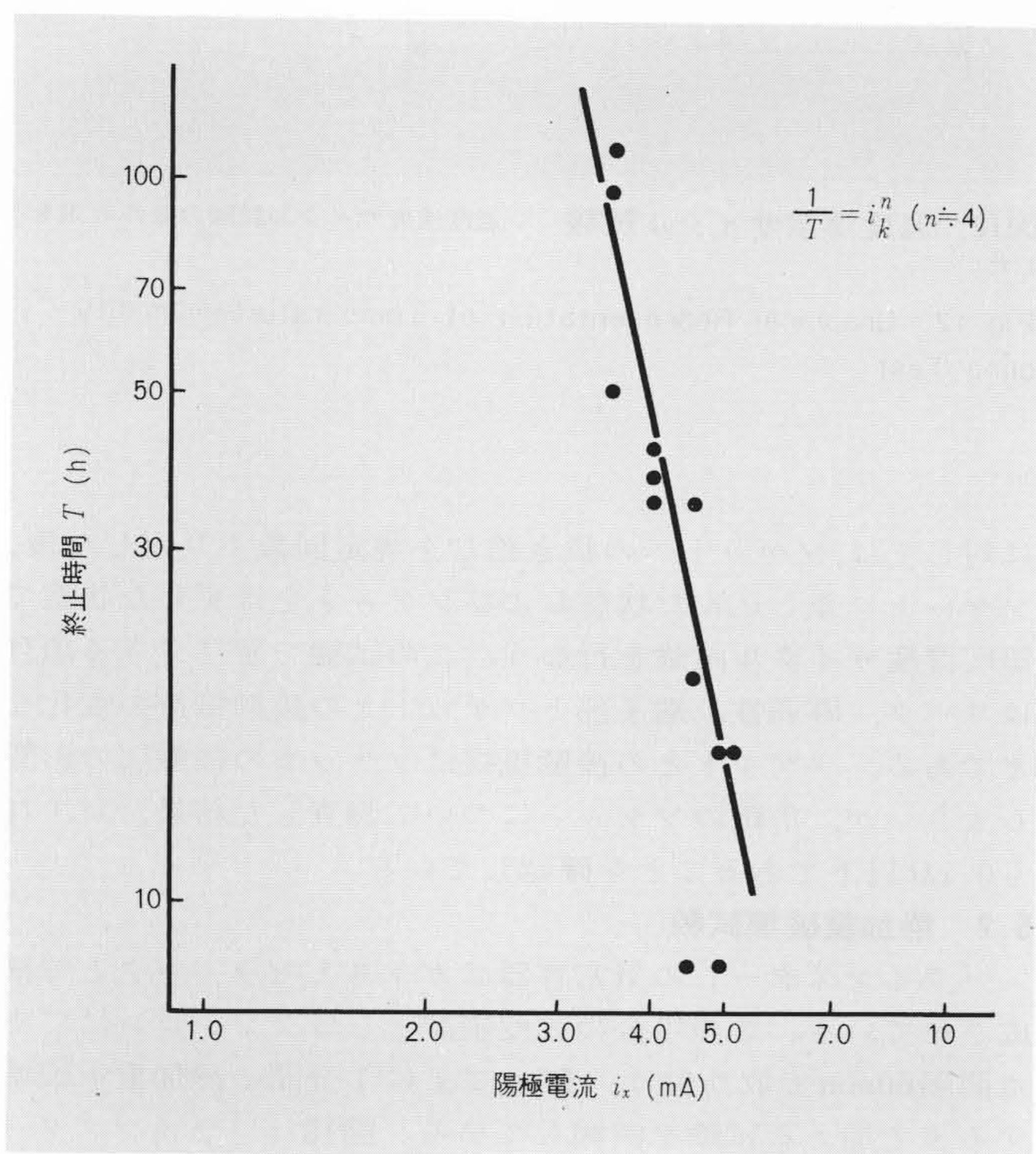


図14 寿命試験結果 陰極間絶縁抵抗が $10^6 \Omega$ になる時間と陰極電流の関係を示した加速データである。

Fig.14 Life Test Performance

6 寿命試験

冷陰極放電管における寿命特性には点灯陰極よりのスパッタの影響を考えなければならない。一般にこのスパッタ量については放電陰極電流 i_k に依存し、ほぼ i_k の3乗に比例して進行すると言われている。図14はこの関係を「ラインスター」について調査した結果を示すものである。図14は全波整流波形の i_k とスパッタ量の関係をスパッタ付着による陰極間絶縁抵抗の変化を測定し、各 i_k に対し絶縁抵抗が $10^6 \Omega$ になるまでの時間で示したものである。これから $\frac{1}{T} \propto i_k^4$ 、すなわち陰極からのスパッタは i_k のほぼ4乗に比例するデータを得た。この「ラインスター」の測定においては水銀の動向に注目することが必要で、前述の値との違いは容器の温度こう配による水銀不足部分が生ずることが影響していると考えている。一方、電卓などにおける「ラインスター」の使用方法から寿命試験方法として各数字を交互に点滅させるサイクリング寿命と特定数字を連続点灯する連続点灯寿命が考えられる。

- (1) サイクリング寿命試験の場合は、各陰極よりのスパッタ付着によりガラス(上板)が黒化して、点灯数字の明るさが低下し見にくくなることおよび陰極間の絶縁抵抗が劣化し、非点灯であるべき陰極が点灯し誤読の原因になることが寿命終止の主要因であるが、スパッタ防止の目的で水銀が封入されているので、この寿命は長く適正な使用条件であれば、数万時間以上と推定される。「ラインスター」は開発後まもないが、サイクリング寿命(1, 2 …… 9, 0の点灯順で各数字1分点灯させる)においては現在まで7,000時間経過しているが不良発生は認められない。
 - (2) 単管の特定数字連続点灯寿命試験では、点灯陰極の影響(スパッタ)によって隣接非点灯陰極に放電ばけ、欠けなどの表示劣化が発生しやすかった。不良発生時間の差はあるが、「ラインスター」にも同様な現象がある。一方、電卓において連続点灯時間が長い数字は“0”であるが市場における使用では、特定数字が数百時間も連続点灯されることはほとんどなく、むしろ電卓製造工程の100時間内外のエイジング工程時(特定数字が連続点灯される場合が多い)を考えなければならない。
- 以上から、陰極電流を最大定格値に設定し、市場での使用を対象としたサイクリング寿命試験と機器製造工程を対象とした数字“0”を100時間連続点灯する安定度試験とに分け実施している。

7 結 言

電卓用として開発した多けた表示放電管「ラインスター」の開発時点における評価として行なった各種特性試験、信頼性試験およびその結果について述べた。このような試験で確認され、かつこれに適合するよう設計製造された「ラインスター」はすでに相当数市場に出ているが、電卓製造工程、市場(最終需要家での使用)での不良は従来の単管と同等あるいはそれ以下の好結果を得ており、当初の開発目標である高信頼度、使いやすさという点で実績を上げつつある。さらに今後信頼性データを積み上げ、装置技術者の参考に供したいと考えている。

参考文献

- (1) 小泉:「電子式卓上計算機用多桁表示放電管ラインスター」日立評論 54 787(昭47-9)
- (2) 小泉:「多桁数字表示管→ラインスター」エレクトロニクス p.126(昭47-11)

参考資料:日立製作所電子事業部:ラインスターの使い方(CE-128)