

蛍光放電管の寿命と点灯頻度との関係

Effect of Starting Cycle on Life of Fluorescent Lamp

中村純之助*

内 容 梗 概

蛍光放電管においては点灯頻度が寿命に影響をおよぼす。すなわち点灯頻度が増すと寿命は短くなるものであつて、両者の関係については二三の報告があるが、その機構や理由については定性的説明がなされているのみで、詳しい報告はない。筆者は陰極フィラメントに塗布された熱電子放出物質損耗の過程において点灯中における損耗はフィラメントの電源側端子から他端へと向つて進み、起動時におけるそれはフィラメント周囲からフィラメント全長にわたり各部一様に損耗が進むと考え、寿命と点灯頻度との関係を導いた。

点灯頻度と寿命とに関する既往のデータを検討した結果、上述の関係式が満足されていることがわかつたので、損耗機構を前述のように考えてもよいものと思われる。

さらに本関係式を用いて熱電子放出物質の損耗量を求めたが、既往データについては点灯中の損耗速度 $(5 \sim 9) \times 10^{-4}$ mg/h, 起動時の損耗量 $10^{-3} \sim 10^{-2}$ mg/cm/回なる値がえられた。また日立製品について求めた結果はそれぞれ 3.7×10^{-4} mg/h, 1.7×10^{-4} mg/cm/回であつて、いずれも既往外国データより小さく、寿命が延びていることがよくうかがわれるが、ことに後者においては1桁少く、点滅耐力においていちじるしい改善がなされていることがわかる。

〔I〕 緒 言

白熱電球とおなじように蛍光放電管の寿命にも相対寿命と絶対寿命とがある。蛍光放電管を点灯し続けると陰極フィラメントに塗布された熱電子放出物質はしだいに消失し、ついに放電能力を失つて点灯不能となる。これは白熱電球のフィラメント断線に相当するもので、この点灯不能によつて決定される寿命が絶対寿命である。また蛍光放電管から出る光束も点灯時間とともにしだいに減少して行くが、相対寿命というのは光束がある規定値に低下したときをもつて寿命と規定するものであり、したがつて相対寿命がきたといつても必ずしも点灯不能という状態(絶対寿命)になつてはいるわけではない。経済的見地からは光束低下によつて寿命を規定するのが便利であるか、実用的には放電能力喪失によつて寿命とすることが多い。本論文において取扱う寿命はこの絶対寿命を指し、以下単に寿命と呼称する。

寿命に関係する因子としては蛍光体、封入気体の組成、圧力、および純度、ガラス管や電極から放出される不純ガス、電極構造、熱電子放出物質の良否など設計上、製造上の数多くの因子以外に使用上の因子もまた寿命に大いに関係がある。蛍光放電管の点灯を続けると電極がしだいに損耗してついに寿命がつきすることは当然のことであるが、点灯操作起動ごとに電極が傷み、頻々と点灯をくりかえすと寿命が短くなるものであつて、このことは白熱電球には見られない蛍光放電管独特の現象である。このように点灯頻度を増すと寿命は短くなるが、両者の関係については二、三の報告⁽¹⁾⁽²⁾⁽³⁾はあるが、その理由、機構に関しては定性的説明がなされているの

みで、くわしい説明はない。

筆者は本論文において起動時の電極損耗過程に簡単な仮定を設けて計算を進め、点灯頻度と寿命との関係を量的に論じ、その結果が既往データと傾向の一致することをたしかめ、さらに各例について損耗定数を求めた。また最近の製品についても損耗定数を求め、寿命のいちじるしく改善されたことを示した。

〔II〕 寿命と点灯頻度に関する既往のデータ

緒言において述べたように点灯頻度と寿命との関係についてはすでに先人の指摘したところであつて、二、三のデータがある⁽¹⁾⁽²⁾⁽³⁾。E. J. Vorlander および E. H. Raddin が1947年に購入した4社の40 W 白色蛍光放電管について点灯頻度と寿命との関係を求めたものは第1表である。C. L. Amick の著書および A. D. S. Atkinson の著書から引用したものがそれぞれ第2表および第3表である。以上の表には程度の差こそあれ、いずれも点灯頻度を増すと寿命は減少することが示されている。

このように点灯操作によつて電極が損耗を受けるので、点灯操作の寿命におよぼす影響をあらわすのに1回の点灯操作の損耗量が何時間の点灯時間のそれに相当するかという“起動時損耗量の連続点灯時間相当量”を求めるということが便宜的に行われたことがある。すなわちこの方法によれば相当量 Q (h) は次式であらわされる。

$$Q = (D_0 - D_n) / N_n \text{ (h/回)} \dots\dots\dots (1)$$

ここに D_0 : 点灯頻度 0, すなわち蛍光放電管を点灯し続けて1回も点滅を行わない場合の寿命

D_n : 点灯頻度 n , すなわち $1/n$ なる時間

* 日立製作所中央研究所工博

間隔で点灯を行つた場合の寿命

N_n : 点灯頻度 n の場合の寿命の尽きるまでの総点灯回数

1例として C.L. Amick データを用いて Q を求めると

第1表 点灯頻度と寿命 (E.J. Vorlander & E.H. Raddin のデータ)
Table 1. Starting Cycle and Life

点灯時間間隔 (h)	点灯頻度 (h ⁻¹)	平均寿命	
		(h)	相対値
0.5	2	1,688	0.22
1	1	2,531	0.33
2	0.5	3,590	0.47
4	0.25	4,177	0.54
8	0.125	5,120	0.665
16	0.0625	6,300	0.82
∞ (連続)	0	7,700	1.0

(註) 供試品は 40 W, 38 mm 径蛍光放電管

第2表 点灯頻度と寿命 (C.L. Amick のデータ)
Table 2. Starting Cycle and Life

点灯時間間隔 (h)	点灯頻度 (h ⁻¹)	平均寿命	
		(h)	相対値*
3	0.33	2,500	0.28
6	0.17	4,000	0.45
12	0.08	6,000	0.68

* 相対値は点灯時間々隔∞に対するもので、計算により求めた $D_0 = 8800^h$ から計算して筆者が附加した。

第3表 点灯頻度と寿命 (A.D.S. Atkinson のデータ)
Table 3. Starting Cycle and Life

点灯時間間隔 (h)	点灯頻度 (h ⁻¹)	平均寿命	
		(h)	相対値*
3	0.33	3,000	0.68
6	0.17	3,500	0.80
12	0.08	4,000	0.90

* 相対値は点灯時間々隔∞に対するもので、計算により求めた $D_0 = 4400^h$ から計算して筆者が加えた。

第4表 起動時損耗量の連結点灯時間相当量
Table 4. Starting Loss Equivalent to Connected Lighting Time

点灯時間間隔 (h)	連続点灯時間相当量 (h/回)
0.5	1.8
1	2.1
2	2.3
4	3.4
8	4.2
16	3.9

$$Q \cong 10.5 \text{ (h/回)} \dots\dots\dots (2)$$

となる。すなわち1回の点灯操作によつて寿命は10.5時間分だけ短縮されるというわけである。ところが、多くのデータをそろえた第1表からそれぞれの項について Q を求めてみると第4表のとおりであつて、計算に用いた点灯頻度によつて Q にはかなりの変動があり、このような機械的方法によつて点灯操作の影響を求めることには無理があるように思われる。

〔III〕 点灯操作による電極損耗の過程

予熱型蛍光放電管について、起動時に電極の損耗する過程を考察してみよう。電極とはいつても損耗する部分は陰極フィラメントに塗布された熱電子放出物質ではあるが、かりに電極という言葉を使用しておく。起動にさいしてはまずフィラメントは通電によつて加熱され、ついで電極間に過渡高電圧が印加され、点灯が行われる。したがつて通電加熱による熱電子放出物質の蒸発と加熱不十分な状態において放電電流が強制的に流れるために起る陰極壊散作用との2原因とによつて電極は損耗を受けるわけである。以上の2原因のうち、加熱による蒸発はフィラメント端部の冷却効果のためフィラメント温度は一樣ではないから、厳密には陰極各部からの熱電子放出物質の蒸発量はことなるわけであるが、大体一樣温度であると考えて、熱電子放出物質は電極各部から一樣に蒸発するものと考えてもよいであろう。壊散作用による熱電子放出物質の消失は電極各部一樣に起るとはいいがたいが、1箇所に限られるというべき性質のものでもないし、ことにグロースタータを使用する予熱起動型蛍光放電管においては蒸発による損耗が主力をなすものと考えうるから、壊散による損耗をあわせ考えても電極損耗は電極各部一樣に起るとしても大きい誤りにはならないものと思われる。

以上のような見地から起動の際の熱電子放出物質の損耗はフィラメント周囲からフィラメント長さ方向にそい各所一樣に起るものと仮定する。点灯中の熱電子放出物質の損耗はフィラメントの電源端から他端へと進むものである⁽⁴⁾⁽⁵⁾⁽⁶⁾。かくして点滅をくりかえしつつ使用した場合の電極損耗の状況を模型的に図示すると第1図のようになる。すなわち起動にさいしてはそのたびごとにフィラメント周囲に塗布された熱電子放出物質は表面から一樣に消失し、点灯中はフィラメント電源端側から損耗が進んで行くと考えられるわけである。

〔IV〕 点灯頻度と寿命との関係式

前述の仮定から出発して点灯頻度と寿命との関係を計算にのせてみることにする。いま1回の起動によつて熱

電子放出物質はフィラメント全長にわたって一様に損耗するが、その損耗量を a (mg/cm/回) とし、点灯中放電による損耗量は単位時間当たり一定で、 c (mg/s) とし、フィラメント電源端から x なる点 (第1図 (c)) でフィラメントにそい熱電子放出物質の損耗する線速度 (cm/s) を $v(x)$ とし、フィラメント単位長当りの熱電子放出物質の塗布量を m (mg/cm) とし、点灯頻度を単位時間当たり n (s⁻¹) とすれば、熱電子放出物質がフィラメントから x なる距離まで損耗したとき、それまでに経過した時間は

$$\int_0^x \frac{dx}{v(x)}$$

とあらわされる。この時間内に行われた点灯の回数は

$$n \int_0^x \frac{dx}{v(x)}$$

となり、熱電子放出物質残存部のこれまでの起動による損耗量は単位長当り

$$an \int_0^x \frac{dx}{v(x)}$$

となるから、 x なる点における単位長当りの熱電子放出物質塗布量は

$$m - an \int_0^x \frac{dx}{v(x)}$$

となる。したがって v , c , と前項との間にはつぎの関係式がなり立つ。

$$\frac{1}{v(x)} = \frac{1}{c} \left(m - an \int_0^x \frac{dx}{v(x)} \right) \dots \dots (3)$$

辺々微分して

$$\frac{1}{v^2(x)} \frac{dv(x)}{dx} = \frac{an}{c} \frac{1}{v(x)} \dots \dots (4)$$

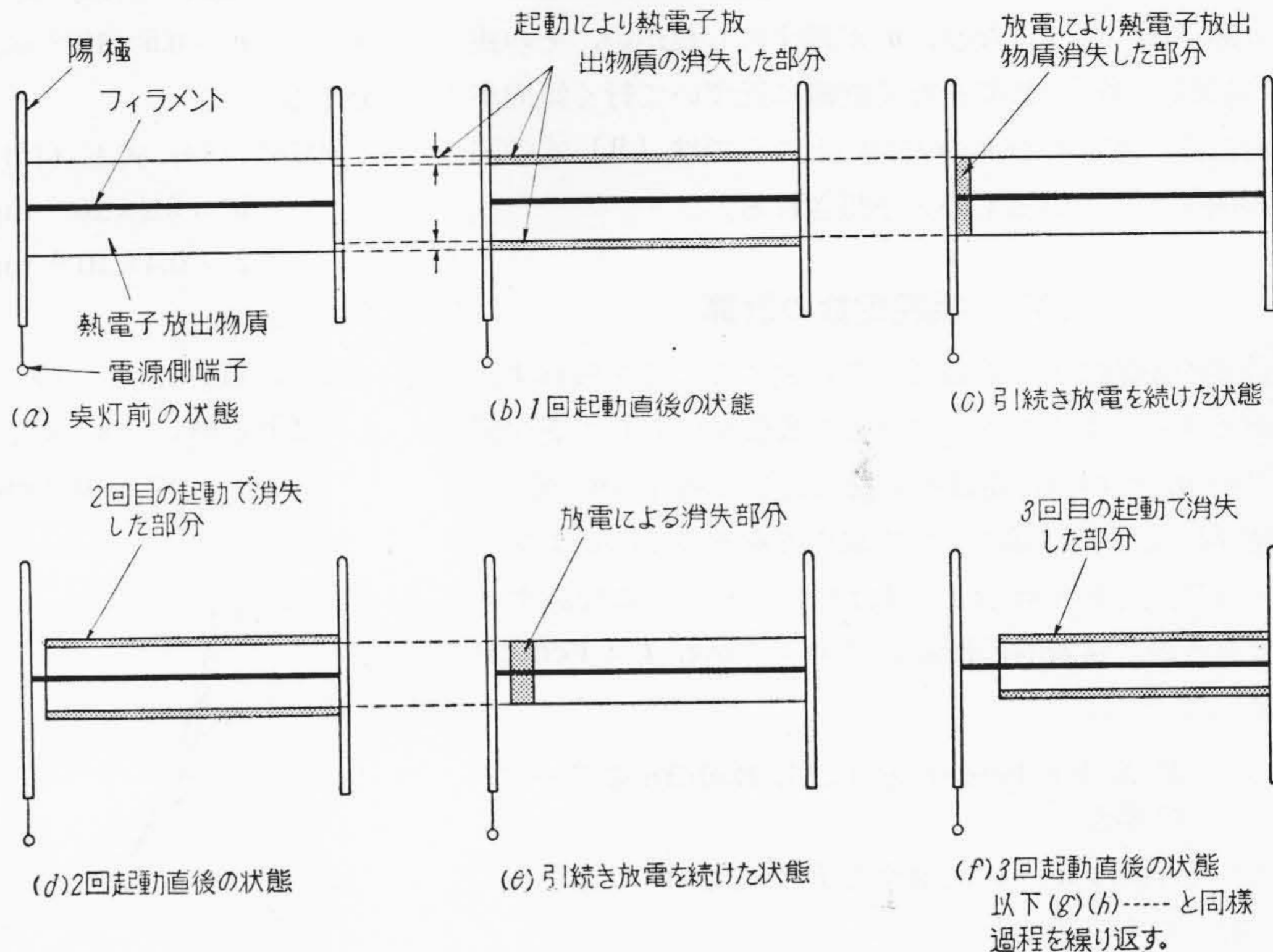
$$\therefore \log v(x) = anx/c + \log v_0 \dots \dots (5)$$

$$\therefore v = v_0 \exp(anx/c) \dots \dots (6)$$

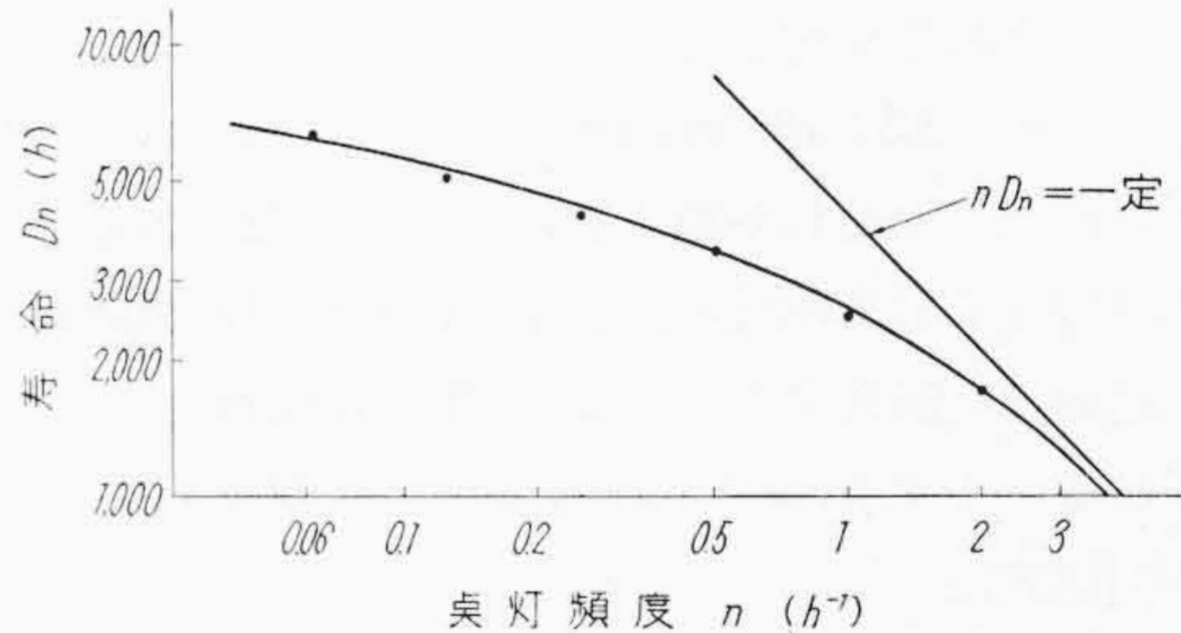
ここに $v_0 = c/m$

寿命 D は $x=0$ から $x=l$ に至るまでの時間であるから、(6) 式を積分して

$$D = \frac{m}{an} \left[1 - \exp\left(-\frac{anl}{c}\right) \right] \dots \dots (7)$$



第1図 電極損耗の過程
Fig. 1. Consuming Process of Emission Coating



第2図 対数目盛で示した点灯頻度と寿命
Fig. 2. Plots of Starting Cycle vs. Life in Logarithmic Scale (E. J. Vorlander & E. H. Raddin's Data)

をうる。これが点灯頻度 n と寿命 D との関係式である。また点滅をくりかえさず、連続的に点灯し続けた場合の寿命 D_0 は n を 0 に近づけた場合の D の極限值から求められ、

$$D_0 = ml/c \dots \dots (8)$$

であり、頻々と起動する場合の寿命 D_∞ は n を大きくとつて

$$D_\infty = m/an \dots \dots (9)$$

が導かれる。

便宜上、上式中の a, c , を損耗定数と呼ぶことにする。

(8) 式は起動のみを行つて点灯状態を続けない場合の式であるから当然の結果である。(9) 式については既往のデータについて吟味してみよう。この式は n の大きいところでは寿命は点灯頻度に逆比例することを示

す。第1表から寿命と点灯頻度との関係に対数目盛で示すと第2図のようになり、 n が増すにしたがい、その曲線は横軸と45°の傾斜をなす直線に近づいて行く傾向が見られる。すなわち n の大きいところでは(9)式の関係が満足されているものと予想される。

〔V〕 損耗定数の計算

前述の所論により寿命は(7)式によつてあらわすことができる。本式の各項に前表の数値を代入して既往データの a, c の損耗定数や連続点灯した場合($n=0$)の寿命 D_0 などを計算によつて求めてみることにしよう。なお(7)式中の m および l はしらべるわけに行かず不明であるが、常識的に推量して $m=4\text{ mg}$, $l=1\text{ cm}$ と仮定した。

(1) E. J. Vurlander と E. H. Raddin のデータの場合

この場合には $n=0$ に対する D があるので、(8)式を適用して C を求め、

$$c = 0.5 \times 10^{-3} \text{ mg/h} \dots\dots\dots (10)$$

をうる。この値およびことなる n に対する D を(7)式に代入すれば a は求まる。6個のことなる n に対して a を求め、それを平均して

$$a = 2.3 \times 10^{-3} \text{ mg/cm/回} \dots\dots\dots (11)$$

がえられた。すなわち第1表に引用した蛍光放電管の点灯中の熱電子放出物質の損耗速度は $0.5 \times 10^{-3} \text{ mg/h}$ であり、起動時に消失する量は $2.3 \times 10^{-3} \text{ mg/cm/回}$ ということになる。したがつてこの場合の寿命 D と点灯頻度 n との関係式は

$$D/D_0 = (1 - e^{-4.6 \times n}) / 4.6 \times n \dots\dots\dots (12)$$

という形であらわされる。この式を図示したものは第3図であつて、実測点はほぼその線上に位していることがわかる。

(2) C. L. Amick のデータの場合

この場合には $n=0$ の場合の寿命の値 D_0 がない。したがつてこれについては(8)式を用いるわけに行かないので、直接(7)式に必要な数値を代入して a, c および D_0 の値を求めてみることにする。

(7)式に第2表の値を代入すると

$$2,500 = \frac{3 \times 4}{a} \left\{ 1 - \exp\left(-\frac{a}{3c}\right) \right\} \dots (13)$$

$$4,000 = \frac{6 \times 4}{a} \left\{ 1 - \exp\left(-\frac{a}{6c}\right) \right\} \dots (14)$$

$$6,000 = \frac{12 \times 4}{a} \left\{ 1 - \exp\left(-\frac{a}{12c}\right) \right\} \dots (15)$$

がえられ、(13)式と(14)式とから指数項を消去すると、 a に関する二次方程式がえられ、 $a=0$ の根はすてて、

$$a = 4.5 \times 10^{-3} \text{ mg/cm/回} \dots\dots\dots (16)$$

をうる。これを(13)式または(14)式に代入して

$$c = 0.5 \times 10^{-3} \text{ mg/h} \dots\dots\dots (17)$$

をうる。

同様に(14)式と(15)式とからそれぞれ

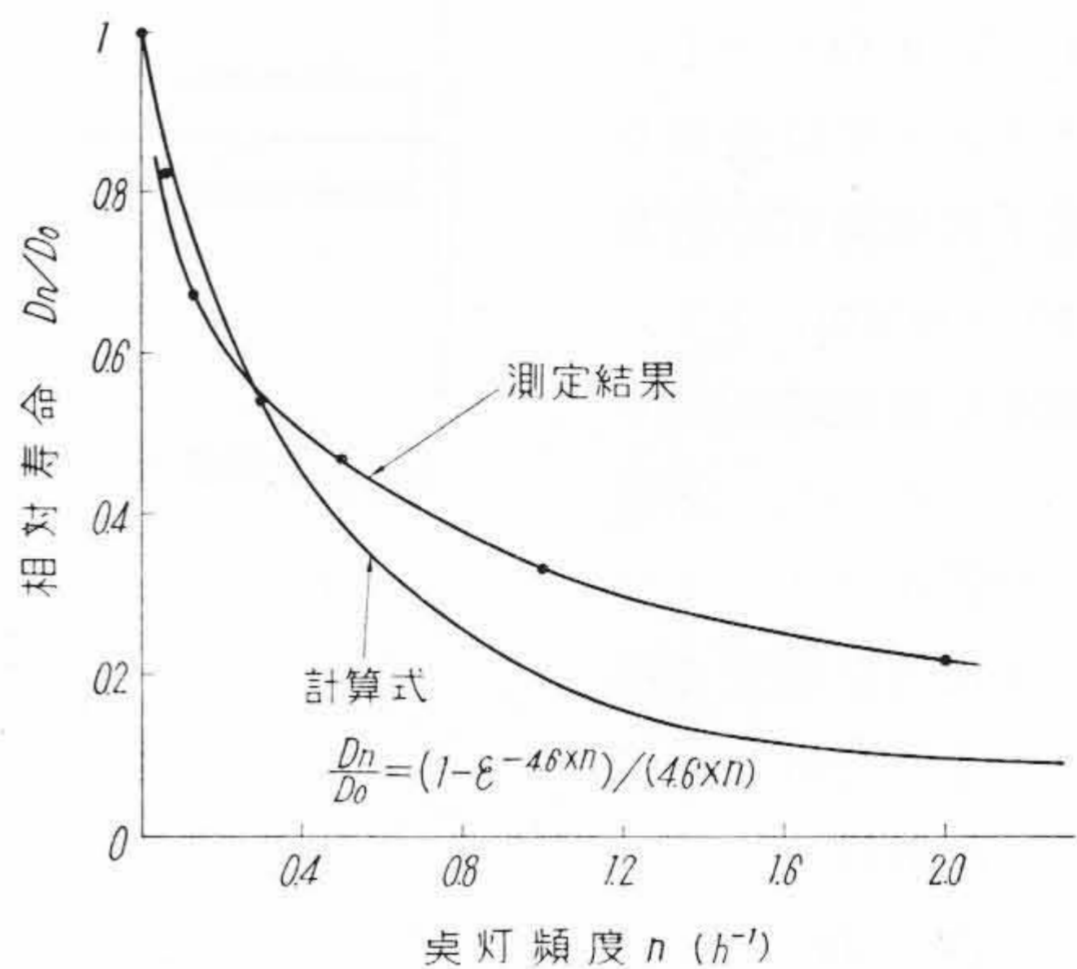
$$a = 5.2 \times 10^{-3} \text{ mg/cm/回} \dots\dots\dots (18)$$

$$c = 0.4 \times 10^{-3} \text{ mg/h} \dots\dots\dots (19)$$

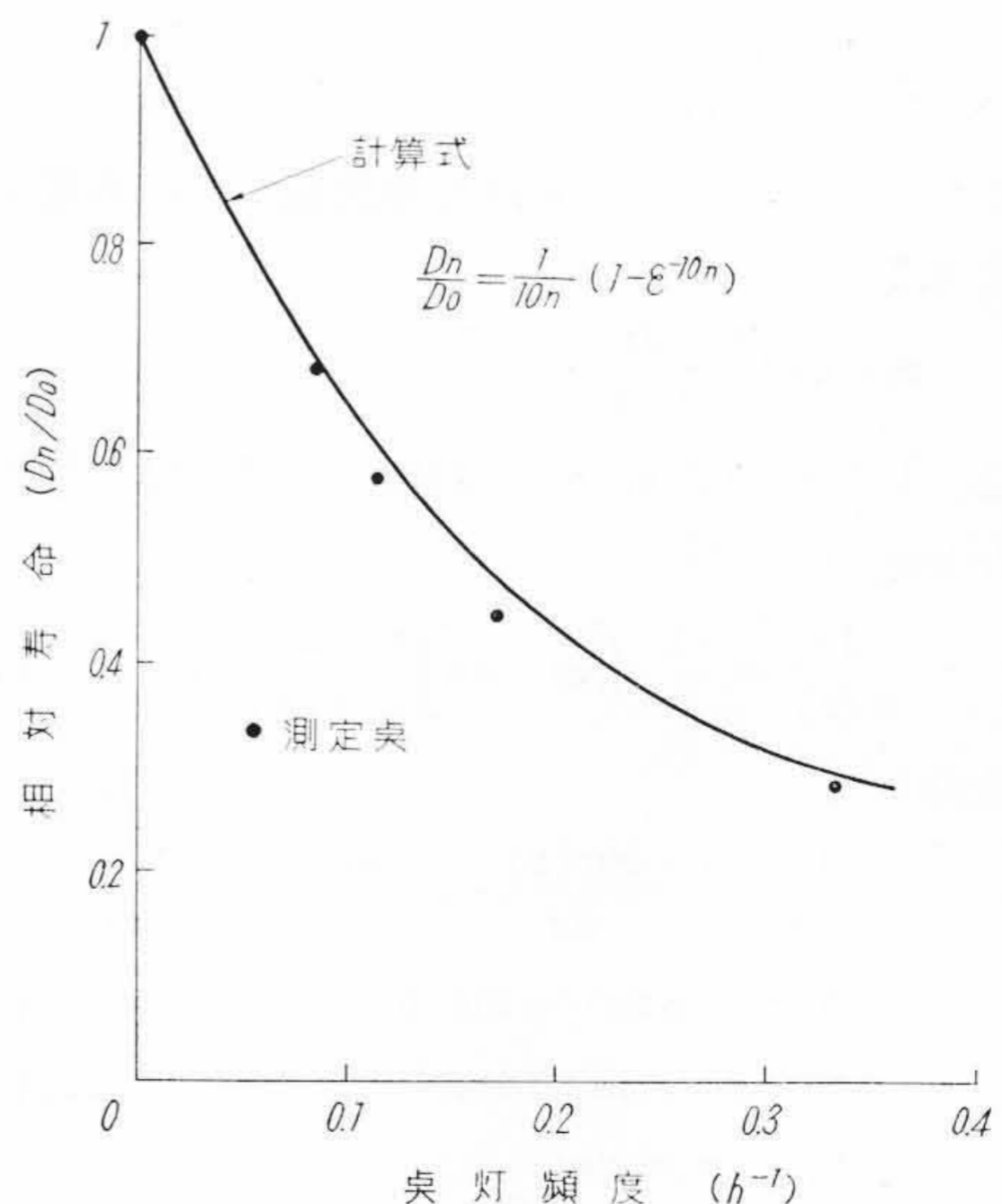
がえられる。

また、(13)式と(15)式とから a に関する四次式をえ、これを解いて a, c を求めると、それぞれ

$$a = 4.7 \times 10^{-3} \text{ mg/cm/回} \dots\dots\dots (20)$$



第3図 点灯頻度と寿命の実測値と計算曲線 (E.J.Vorlander, E.H.Raddin データ)
Fig. 3. Plots of Starting Cycle vs. Life and Calculated Curve (E. J. Vorlander & E. H. Raddin's Data)



第4図 点灯頻度と寿命の実測値と計算曲線 (C. L. Amick データ)
Fig. 4. Plots of Starting Cycle vs. Life and Calculated Curve (C. L. Amick's Data)

$$c = 0.45 \times 10^{-3} \text{ mg/h} \dots\dots\dots (21)$$

がえられた。よつてこれらの値を平均して

$$a = 5 \times 10^{-3} \text{ mg/cm/回} \dots\dots\dots (22)$$

$$c = 0.5 \times 10^{-3} \text{ mg/h} \dots\dots\dots (23)$$

となる。

この値を使用して D_0 を (7) 式から求めて

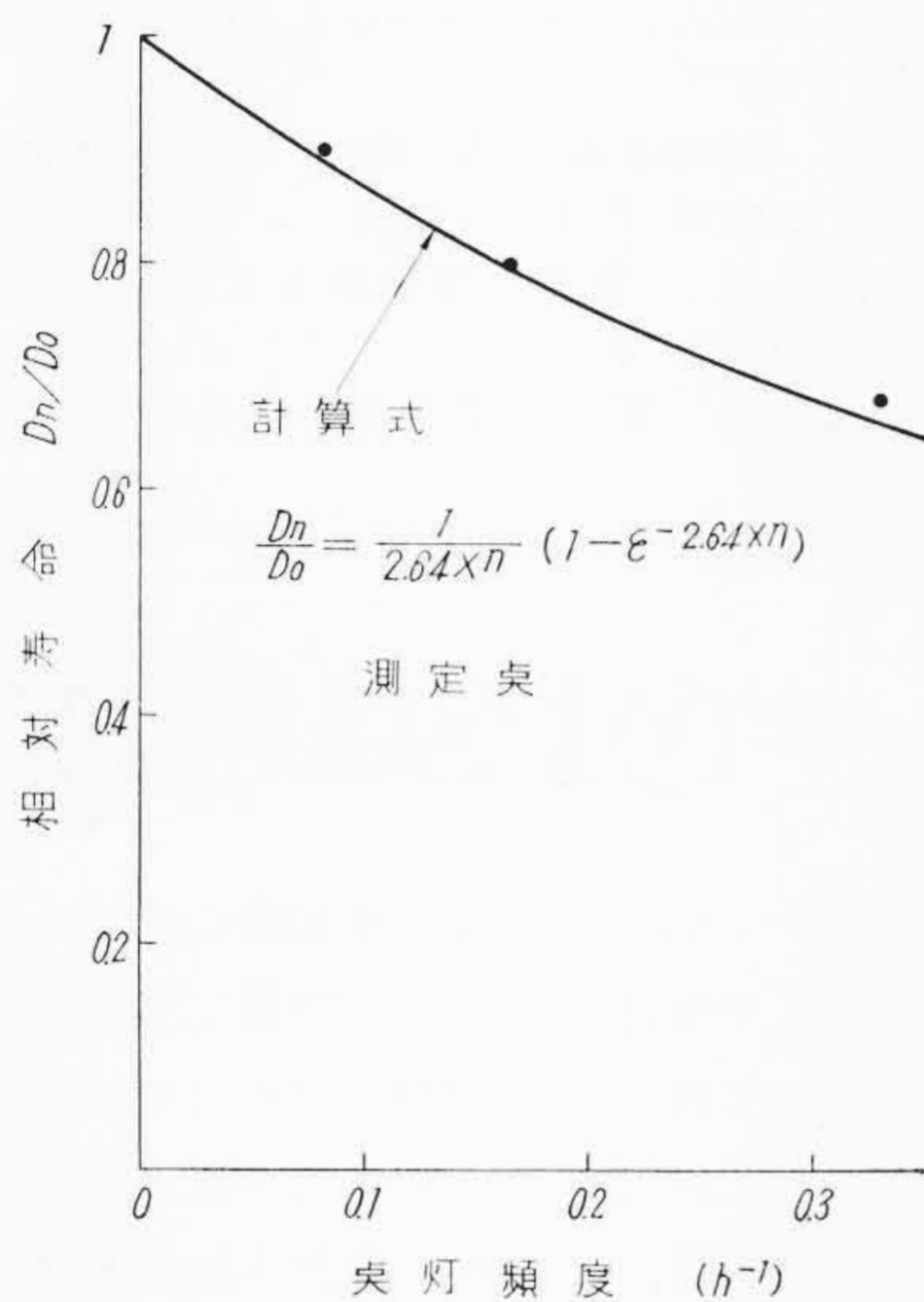
$$D_0 = 8800 \text{ h} \dots\dots\dots (24)$$

がえられる。

かくして求めた理論式

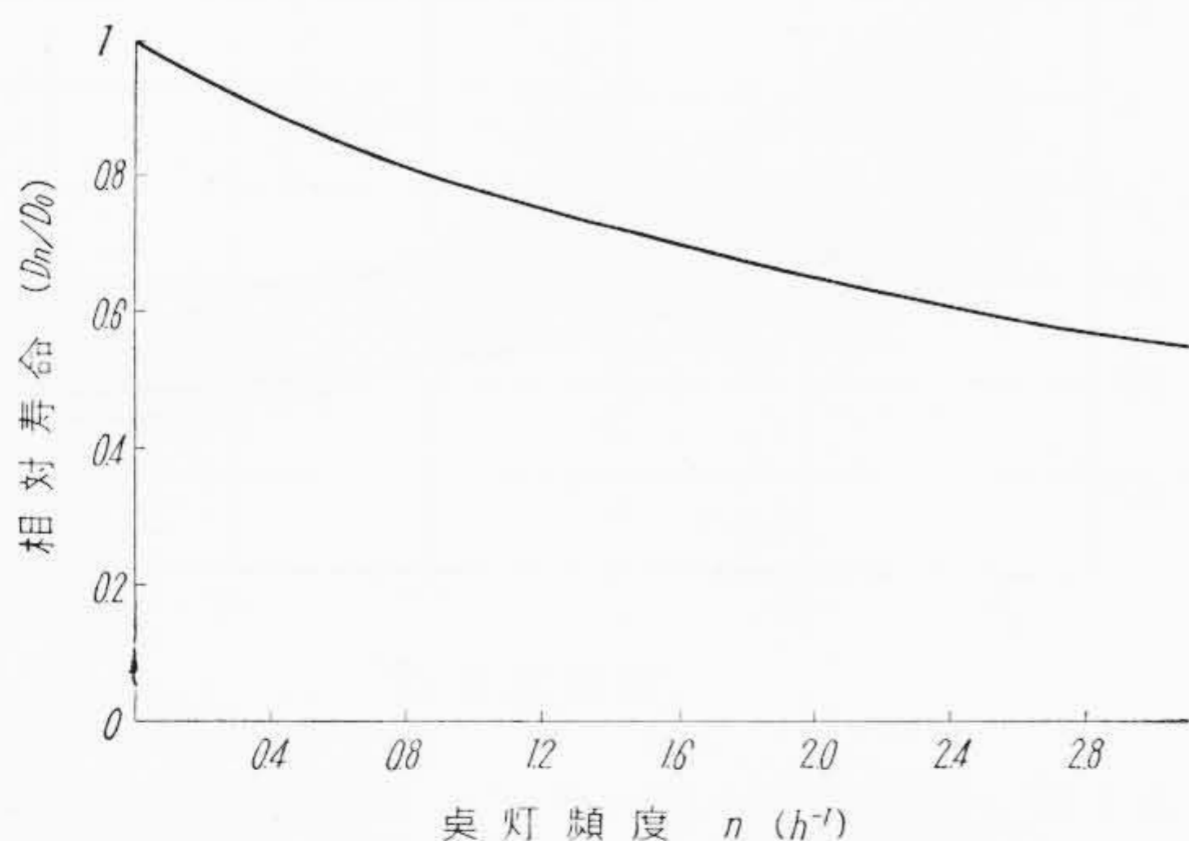
$$D/D_0 = (1 - \varepsilon^{-10n}) / 10n \dots\dots\dots (25)$$

と実測データとの比較を第4図に示した。実測点は曲線に非常によく乗っていることが認められる。



第5図 点灯頻度と寿命の実測値と計算曲線 (A. D. S. Atkinson データ)

Fig. 5. Plots of Starting Cycle vs. Life and Calculated Curve (A.D.S. Atkinson's Data)



第6図 日立製品の点灯頻度と寿命
Fig. 6. Starting Cycle-Life Curve of Hitachi Fluorescent Lamp

(3) A. D. S. Atkinson のデータの場合

(2) に述べた C. L. Amick のデータと同様にして a に関する二次方程式および四次方程式を導いて a, c を求めたが、その結果 a としては $2.0 \times 10^{-3}, 2.9 \times 10^{-3}, 2.3 \times 10^{-3}$, c としては $0.97 \times 10^{-3}, 0.88 \times 10^{-3}, 0.90 \times 10^{-3}$ がえられたので、それらの値を平均して

$$a = 2.4 \times 10^{-3} \text{ mg/cm/回} \dots\dots\dots (26)$$

$$c = 0.9 \times 10^{-3} \text{ mg/h} \dots\dots\dots (27)$$

がえられ、さらに D_0 を求めると

$$D_0 = 4400 \text{ h} \dots\dots\dots (28)$$

となつた。

かくして求めた理論式

$$D/D_0 = (1 - \varepsilon^{-2.64 \times n}) / 2.64 \times n \dots\dots\dots (29)$$

と実測データとの比較を第5図に示した。両者よく一致すること Amick の場合と同様である。

〔VI〕 最近の製品の損耗定数

最近の製品は寿命が長くなり、点灯頻度に対する特性も改善されたといわれるので、最近の製品について上述の損耗定数を求め、製品改善の状況をしらべてみよう。

供試品は日立製作所製 40 W 蛍光放電管 (1454 年製) で、点滅試験はグロースタータにより行い、点灯頻度は 23 分に 1 回で、点灯時間は各回 4 分である。この場合のデータとこれとは別に求めた連続点灯の場合の寿命とから損耗定数を求め、

$$a = 1.7 \times 10^{-4} \text{ mg/cm/回} \dots\dots\dots (31)$$

$$c = 0.37 \times 10^{-3} \text{ mg/h} \dots\dots\dots (32)$$

をえた。これを図示してみると第6図のようになる。既往外国データにくらべると格段の進歩が見られる。ことに点滅耐力においていちじるしい進歩がある。

〔VII〕 結 言

結びとして以上の結果をまとめておこう。蛍光放電管においてはその絶対寿命は熱電子放出物質の損耗によつて決定されるが、その損耗は点灯中のみならず、起動時においても起る。したがつて点灯頻度が寿命に影響をおよぼすわけであるが、これまでにその過程についてくわしい報告はなかつた。

筆者はこの点を明確にしようと試み、点灯中の損耗はフィラメントの電源端から他端へと向つて進む事実と起動時における損耗はフィラメント全長にわたり一様に起るといふ仮定とから、寿命 D と点灯頻度 n との関係を求め、つぎの結果をえた。

$$D = \frac{m}{an} \left\{ 1 - \exp\left(-\frac{anl}{c}\right) \right\} \dots\dots\dots (7)$$

寿命と点灯頻度とに関する 2 ~ 3 の既往データについ

第5表 損耗定数と連結点灯寿命
Table 5. Loss Constants and Connected Lighting Life

製品種類	起動時における 損耗量 a (mg/cm/回)	点灯中放電による 損耗速度 c (mg/h)	連続点灯寿命 D_0 (h)
E.J.Vorlander と E.H.Raddinのデータ	1×10^{-3}	0.5×10^{-3}	7,700
C.L.Amick データ	5×10^{-3}	0.5×10^{-3}	8,800
A.D.S.Atkisonデータ	2.4×10^{-3}	0.9×10^{-3}	4,400
日立製品	1.7×10^{-4}	0.37×10^{-3}	11,000

て本式を検討した結果、傾向のよく一致することが確認された。したがって起動時における損耗過程の仮定もかなりの妥当性を有するものといえよう。

上式を適用して損耗定数 a および c を既往データおよび最近の日立製品について求めた結果第5表のような値がえられた。すなわち損耗定数としては既往のデータについては、点灯中の熱電子放出物質の損耗速度は $(5 \sim 9) \times 10^{-4}$ mg/h, 起動時における損耗量は $10^{-3} \sim 10^{-2}$ mg/cm/回 なる値がえられた。最近の日立製品に求めた結果はそれぞれ 3.7×10^{-4} mg/h および 1.7×10^{-4} mg/cm/回 でいずれも既往値よりは小さく、寿命が延びたことがよ

製品紹介

低温用蛍光ランプ

Fluorescent Lamps for Low-Temperature Use

一般蛍光ランプは周囲温度 $10 \sim 35^\circ\text{C}$ の範囲内で使用されることが望ましい。しかし最近では冬期の屋外あるいは冷蔵庫内の照明など、 0°C 以下の低温度にも使用可能な蛍光灯照明が要望されるにいたつた。この要望にそつた低温用蛍光ランプは一般用に比較して、低温度において放電開始電圧が上昇せぬようその封入アルゴン圧を特に低くしたものであることが、別稿“蛍光ランプの寿命に関する諸因子”の第1図に示したとおりである。

なお低温度における起動特性はグロースタータの良否によることはなほ多く、低温度で確実に起動させるグロースタータの選別に特に注意を要し、かつ保守が面倒である。

近時、速時起動方式の蛍光ランプおよび回路の研究が行われたことは、別稿“日立スーパーラピッド蛍光灯”に記述したとおりであるが、低温用スーパーラピッド蛍光灯も開発された。これはグロースタータが不要であり、起動点灯動作などは一般のスーパーラピッド蛍光灯とまったく同じであるが、低温度における放電開始電圧は第

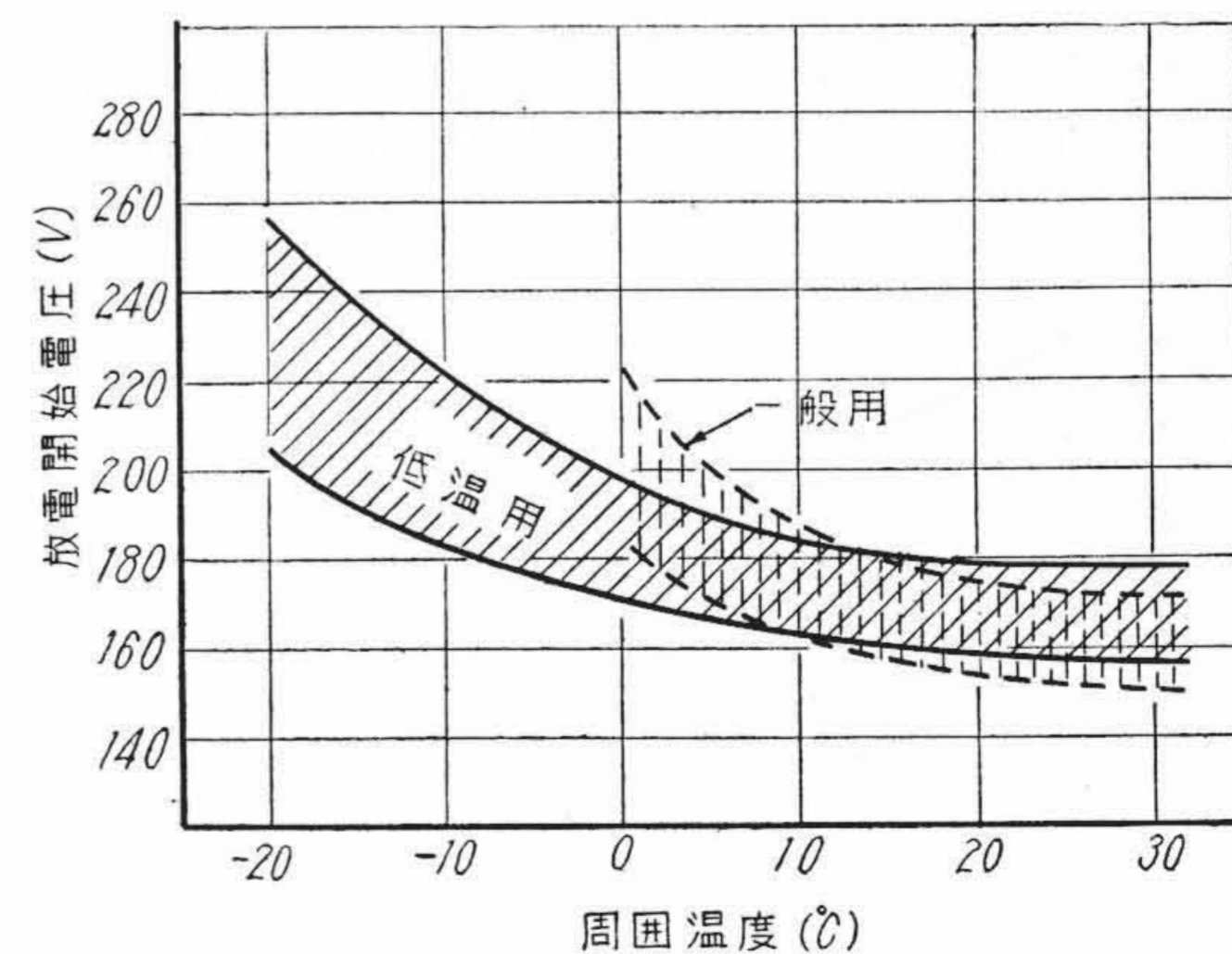
くうかがわれるが、ことに a の値が1桁少く、点滅耐力においていちじるしい改善がなされていることがわかる。

以上が本論文の結論であるが、本研究遂行に当り、日立製作所中央研究所長菊田多利男博士、浜田秀則博士、神原豊三博士からは終始御指導御鞭撻を受け、日立製作所亀戸工場の野崎松郎氏、日立蛍光ランプ株式会社谷口栄二課長には貴重な資料を提供され、理論式誘導に当つては日立製作所中央研究所山根幹也氏の御協力をえた。ここにこれらの方々に深甚の謝意を表わす。

参考文献

- (1) E. J. Vorlander & E. H. Raddin: Illum. Eng. 45 21 (1950)
- (2) C. L. Amick: Fluorescent Lighting Manual P. 98 (1947)
- (3) A.D.S. Atkinson: Modern Fluorescent Lighting, London P. 32 (1951)
- (4) 中村, 江川: 電気3学会東京支部連合大会予稿 6.10 昭26年11月
- (5) 中村, 嶋原: 電気3学会連合大会予稿 371 昭28年5月
- (6) 中村 : 照学誌 37, 347 昭28年10月

1図のようであつて、低温用は常温時における放電開始電圧が一般用よりも逆にやや高い特異な現象を示すことである。なおこの図より -20°C で点灯を確実にするために、安定器の二次電圧(ランプ印加電圧)は一般用よりも高いことが必要で、特殊に設計された低温用スーパーラピッド蛍光灯安定器を使用しなければならない。



第1図 低温用スーパーラピッド蛍光ランプの放電開始電圧特性
Fig. 1. Starting Voltage Characteristics of Low-Temperature Super Rapid Fluorescent Lamp