

蛍光ランプの寿命に関する諸因子

Factors Affecting the Life of Fluorescent Lamps

福本 務* 谷口 栄二*

内 容 梗 概

蛍光ランプの寿命の大多数の原因は陰極オキシドの損耗による不点灯が多く、陰極構造、オキシドの質と量、アルゴン封入圧、排気の程度および排気中の炭酸塩の分解の程度などがおもなものである。最近の製品は以上の諸点の改善によつて連続定格電圧寿命試験では平均約 14,000 時間になつた。これらの寿命管理のために (1) 電極構造とオキシド量、(2) 陰極の輝点温度、(3) エミッション、(4) アルゴン封入圧などの実験結果および検討を加えた。

他方使用条件による寿命影響は無視すべき問題でなく、電源の電圧、周波数の変動、安定器によるランプ電流波形、点滅頻度、起動方式などによつていちじるしく相違しかつ低下する。これらを総合して、グロースタータのフリッカレス安定器を使用し電圧変動 10% の条件の下で 1 日 10 時間点灯をすることを仮定した場合には連続寿命の 40% となる。

〔I〕 緒 言

最近の蛍光ランプの製作技術の進歩改善は、特に寿命時間の延長の傾向に強く、工場の連続寿命試験では平均 14,000 時間になつた。これは陰極構造、電子放射物の質と量、アルゴン封入圧の規正化、排気および排気中の陰極に塗布された炭酸塩の分解法などの改善によるところが大きい。他方使用条件によつて寿命におよぼす影響は看過すべき問題でなく、電源の電圧周波数の変動、安定器によるランプ電流波形、点滅頻度、起動方式などによつていちじるしく相違する。

ここにこれら寿命に関係する諸因子および工場における試験試料、ならびに品質管理の二三について記述し参考に供する。

〔II〕 蛍光ランプの構造と寿命

一般に使用される蛍光ランプは予熱型熱陰極低圧蛍光放電管と称するもので、第 1 図はこのランプの構造を示す。ガラス管内壁に蛍光体の一種または数種を混合して薄く塗布してあり、両端にタングステンフィラメントの二重コイルにしたものを導入線間に継線し、その上に電子放射物質 (普通オキシドと呼称し、バリウム、ストロンチウム、カルシウムなどの酸化物) が被覆された電極があり、管内を十分排気したのち少量のアルゴンと水銀を封入して、口金を接着剤で高温焼付によつて取付けたものである。

放電の起動機構は別稿にゆずるが、陰極オキシドより熱電子が放射され、水銀原子に衝突して、その励発に際し水銀固有の紫外線を発する。この紫外線が蛍光膜を刺戟して、ストークスの法則にしたがい可視光線に転換する。これが蛍光ランプの発光の原理であるが、寿命がつきるにはつぎの場合がある。

* 日立蛍光ランプ株式会社

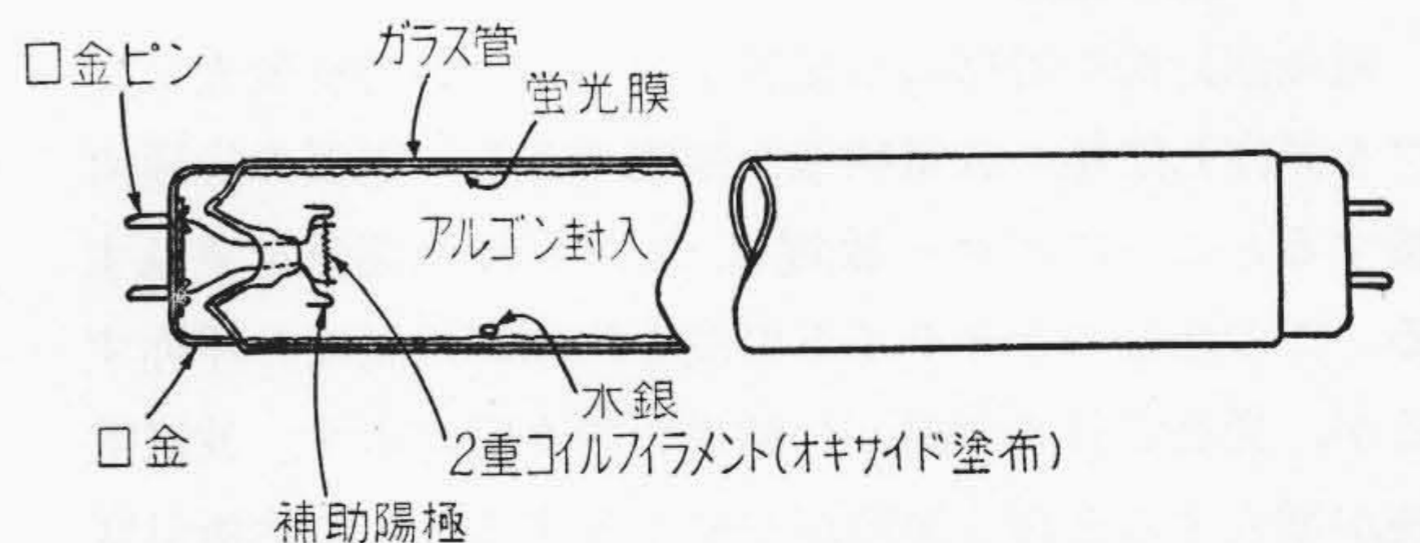
- (1) オキシドが消耗した場合
- (2) ガラスに空気漏洩があり、真空不足となつた場合
- (3) 水銀蒸気が不足し水銀固有の紫外線を発生せぬ場合
- (4) 蛍光体が劣化して可視光線の発生がはなはだしく減少した場合

(2) (3) の不良原因は製作の過誤であり、(4) の不良現象は数年前まで多かつたが最近の製作技術の向上と蛍光体の進歩⁽¹⁾によりほとんど姿を消した。したがつて寿命を支配する原因の 99% は (1) のオキシドの消耗である。第 2 図は新しいランプおよびその電極部のオキシド附着状態と寿命のつきた品のそれを示す写真である。寿命のつきた品の電極にはオキシドがほとんどなく、ランプ管端にオキシドの還元物質やタングステンならびにニッケル (陽極) などの微粒子が蒸着して真黒くなつている。

〔III〕 設計製作上の寿命因子

一般の蛍光ランプのオキシド消耗はつぎの諸因子により影響する。

- (1) 電極構造とオキシド量
- (2) 使用状態における陰極温度
- (3) 陰極の電子放射能 (エミッション)



第 1 図 蛍 光 ラ ン プ の 構 造
Fig. 1. Construction of Fluorescent Lamp

(4) アルゴンの封入圧

これらの各項目は設計製作に当つて考慮すべきことで、以下実験結果および品質管理の一端をのべる。

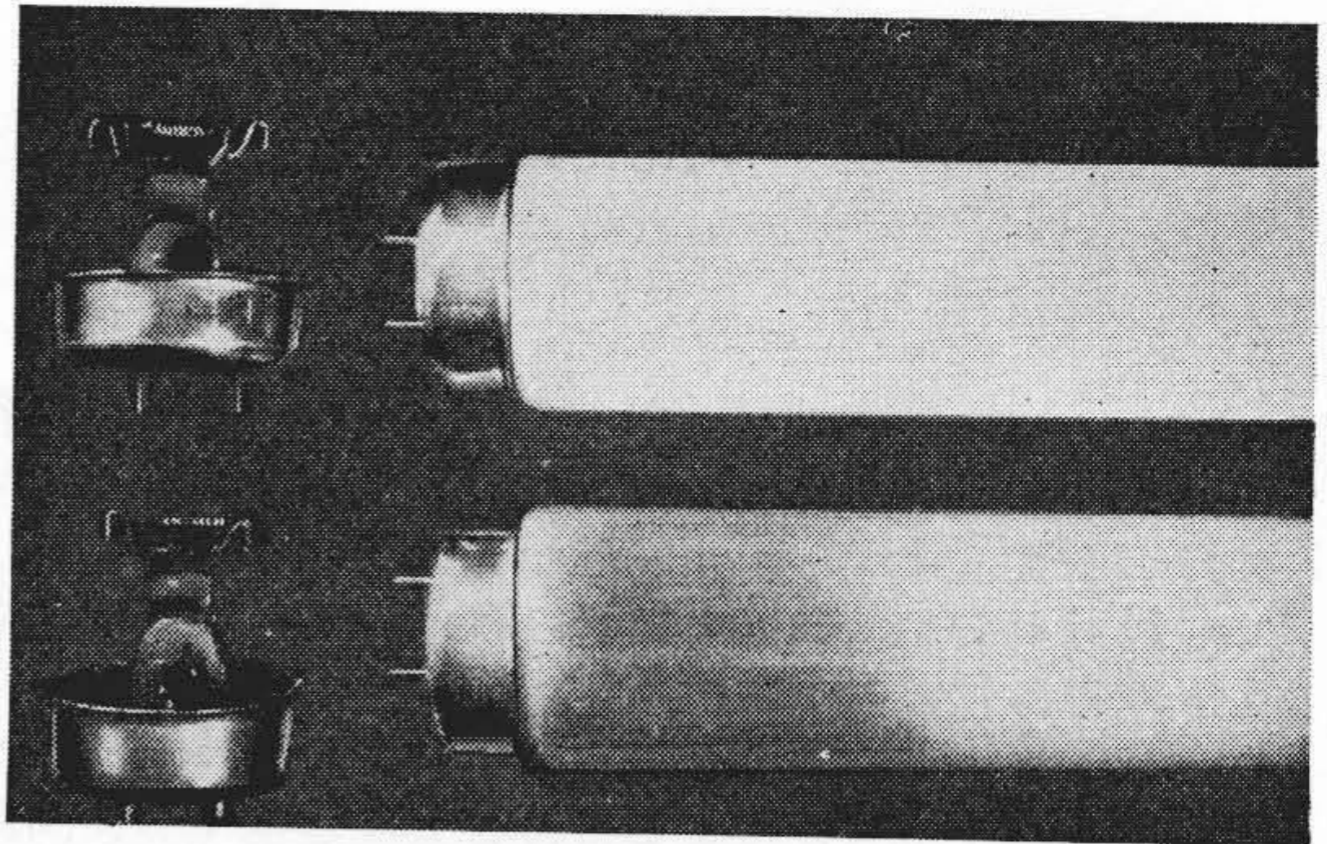
(1) 電極構造とオキサイド量

蛍光ランプの陰極の構造は第1図、第2図で明示したが、前記陰極のほかに角状のニッケル線の補助陽極が附随している。放電すると陰極から放射された熱電子が水銀原子に衝突し、励発電離しながら大部分が他端の電極の補助陽極に集束され、一部の電子は陰極のタングステン線に流入し、電流が流れる。直流の場合には一方の電極が常に陰極、他方が常に陽極であるが、交流点灯の場合には各電極は周波数の数だけ交番する。補助陽極がない構造のものもある。この場合は陰極のタングステンが全陽極の動作をするので通常放電のときにはなんらさしつかえないが、過電圧印加時における陰極は陰極および陽極動作の過負荷にたえず、その温度が上昇しすぎることになりオキサイドの蒸発損耗をはげしく短寿命にする。またその位置が正常でないときは陰極を適正温度に保持できぬことが生ずる。この陰極温度については次項に論述する。

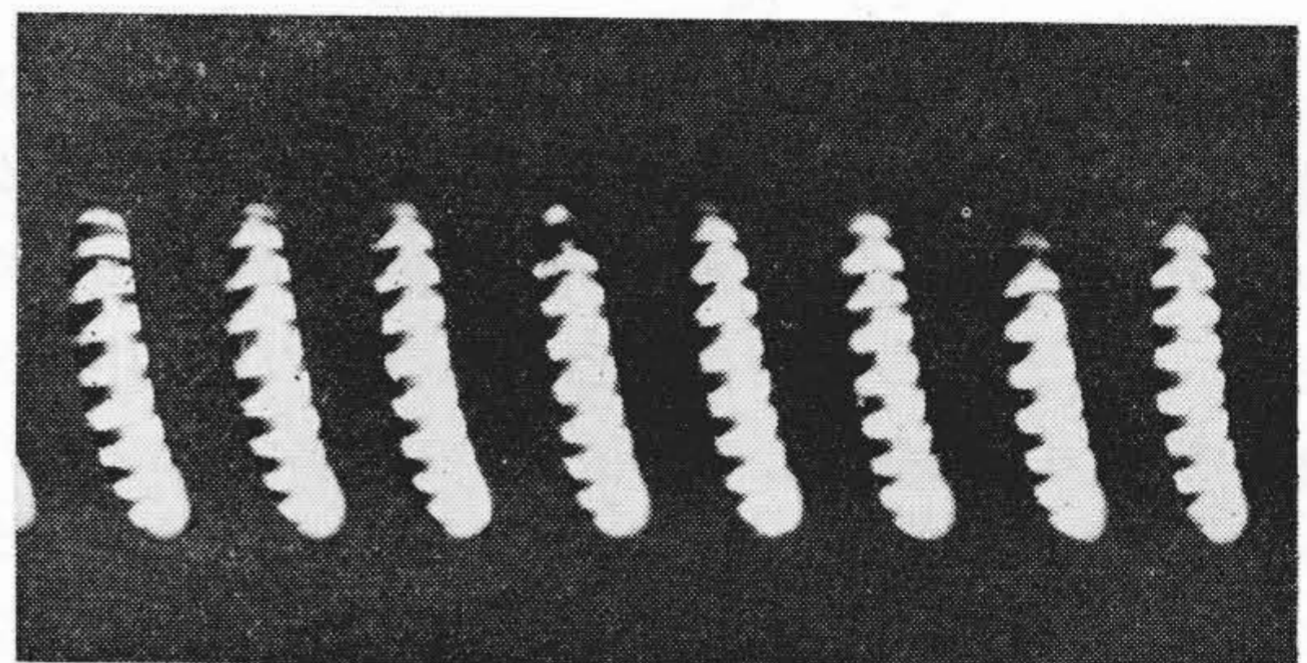
オキサイドは二重コイルの一重コイル内に第3図に示すように充填されることがのぞましく、その量はフィラメントの設計によりまた塗布法および乾燥法により左右されることが製作上しばしば経験するところであり、かつ改善を要するところである。この量の大小は寿命にほぼ比例することは他言を要しない。抜取破壊試験により量および附着状態を管理することは重大であるが、破壊せずに管理が可能ならば利益が大きい。第4図はこの要望にそつて当社において実施している測定回路である。オキサイド附着量はその多少によつて熱容量をことにし、フィラメントに一定通電を行えば温度上昇に遅速を生じ、その抵抗増加すなわち電圧増加速度に大小がともなうわけであるから、一定電圧降下に到達する時間を計量することにより測定⁽²⁾が可能である。このさい留意すべきことはフィラメント抵抗の差によつて測定時間に誤差を生ずる。第5図はフィラメント抵抗をパラメータにした時間とオキサイド量の関係を示す。

(2) 陰極温度

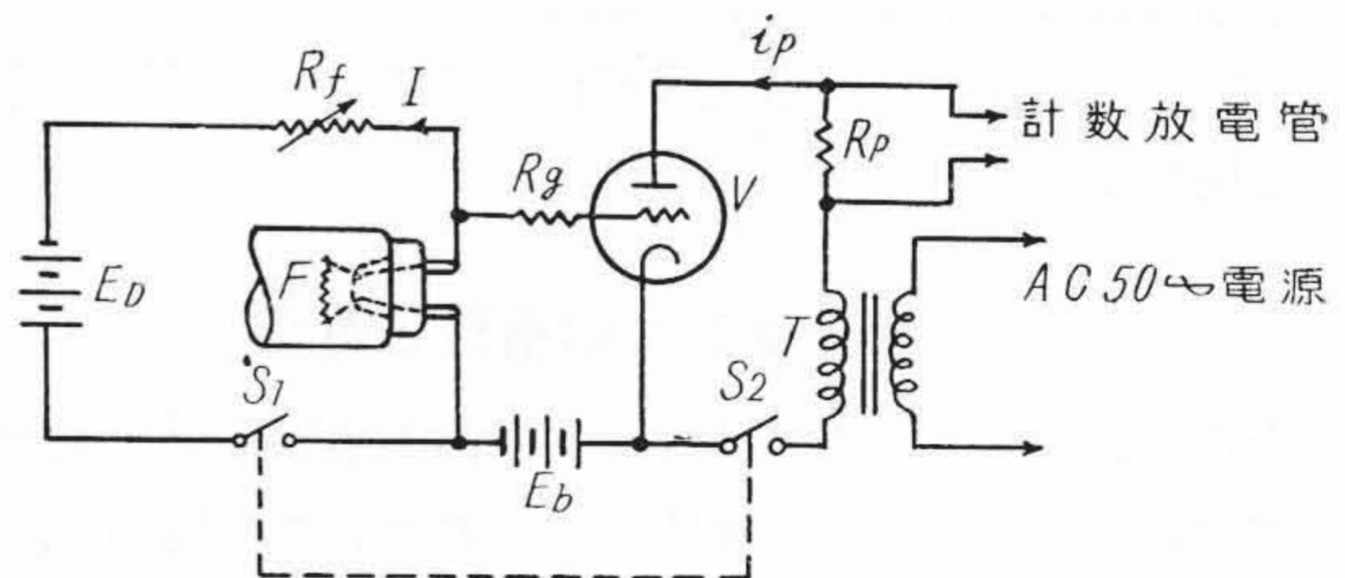
電極部近傍の管壁に蛍光膜を塗布しない特殊蛍光ランプを試作し陰極の放電状態を観察すると、電弧の陰極に接するところにグロー放電につつまれた部分を発見する。この部分のオキサイド温度を陰極輝点温度と呼称するが、光高温計で測温した結果を第6図に示す。放電電流が増大すると輝点温度がやや上昇する。この陰極温度を考察する。寿命はオキサイド蒸発速度に逆比例するとすると、その蒸発速度 $M^{(4)}$ はオキサイドの温度すなわち



第2図 蛍光ランプの管端と電極
上：新品 下：寿命のつきた品
Fig. 2. Bulb-ends and Electrodes of Fluorescent Lamp Above: New Lamp, Below: Lamp at End of Life



第3図 陰極のオキサイド附着状態
Fig. 3. Electrodes Carrying Oxide



- F : 蛍光ランプのフィラメント
- V : 3極サイロトロン 66G
- ED: フィラメント加熱用 DC電源
- Eb: バイアス電池
- T : 陽極電源用変圧器
- Rf: 加減抵抗
- Rg: グリッド抵抗
- Rp: プレート抵抗
- I : フィラメント電流 (一定)
- ip: 陽極電流
- S1, S2: 同時連動開閉器

第4図 オキサイド量測定回路
Fig. 4. Circuit for Measuring Amount of Oxide

輝点温度 $T [^{\circ}K]$ によつて左右される。一般に次式であらわされる。

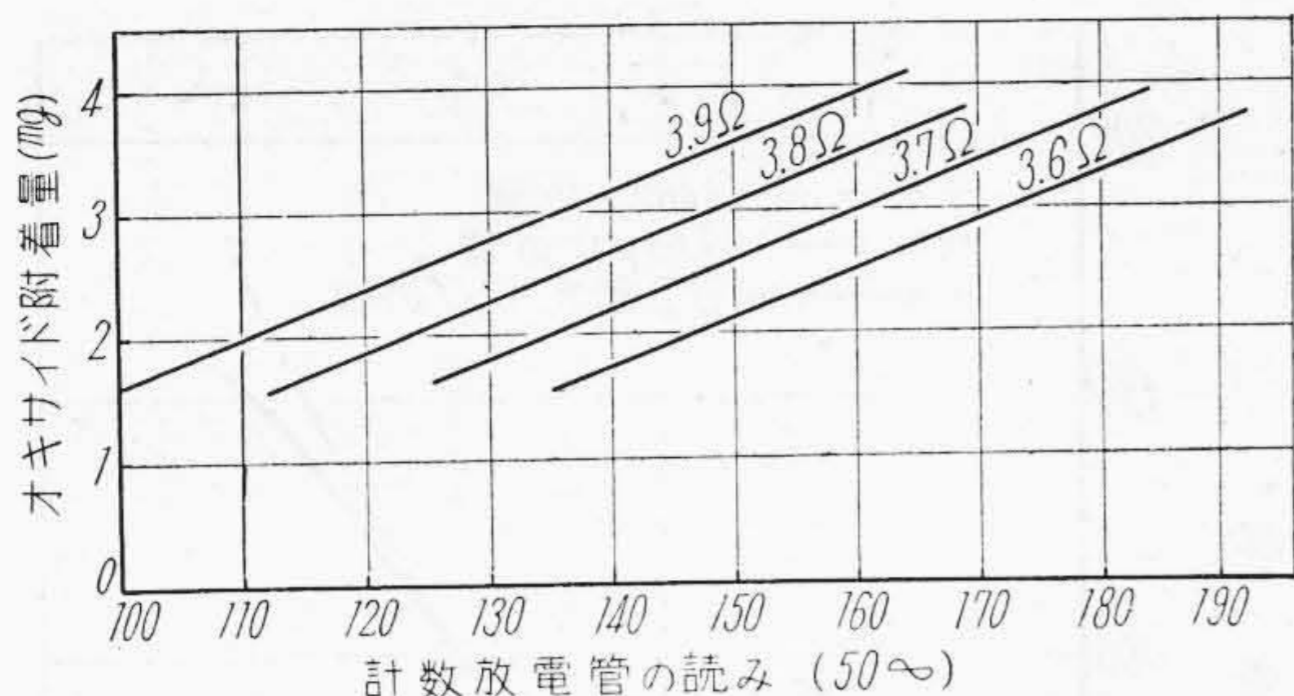
$$M = AT_{exp} (-E_{V1}/RT) \dots \dots \dots (1)$$

ここに A : 比例常数

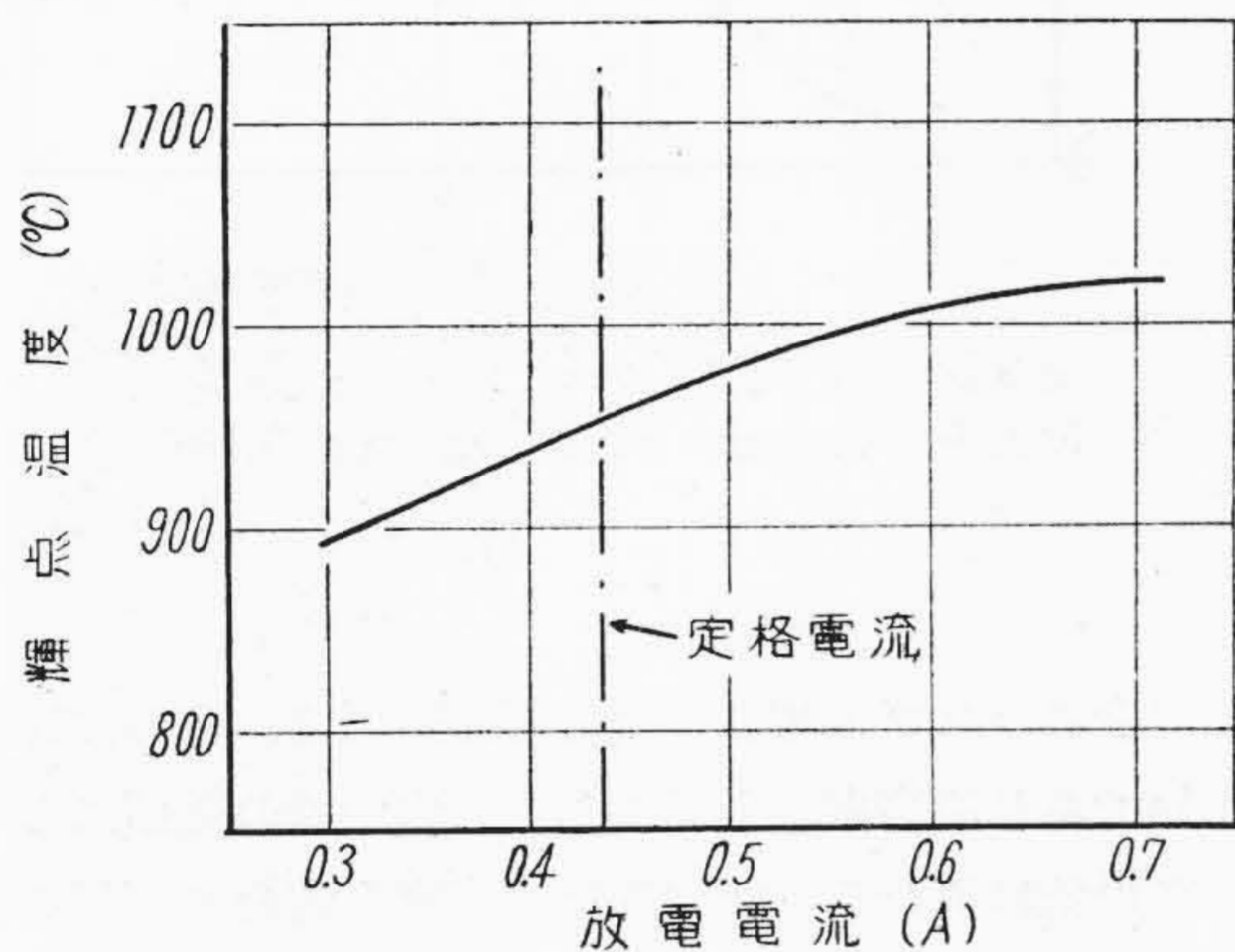
E_{V1} : 蒸発エネルギー

R : Boltzmann 定数

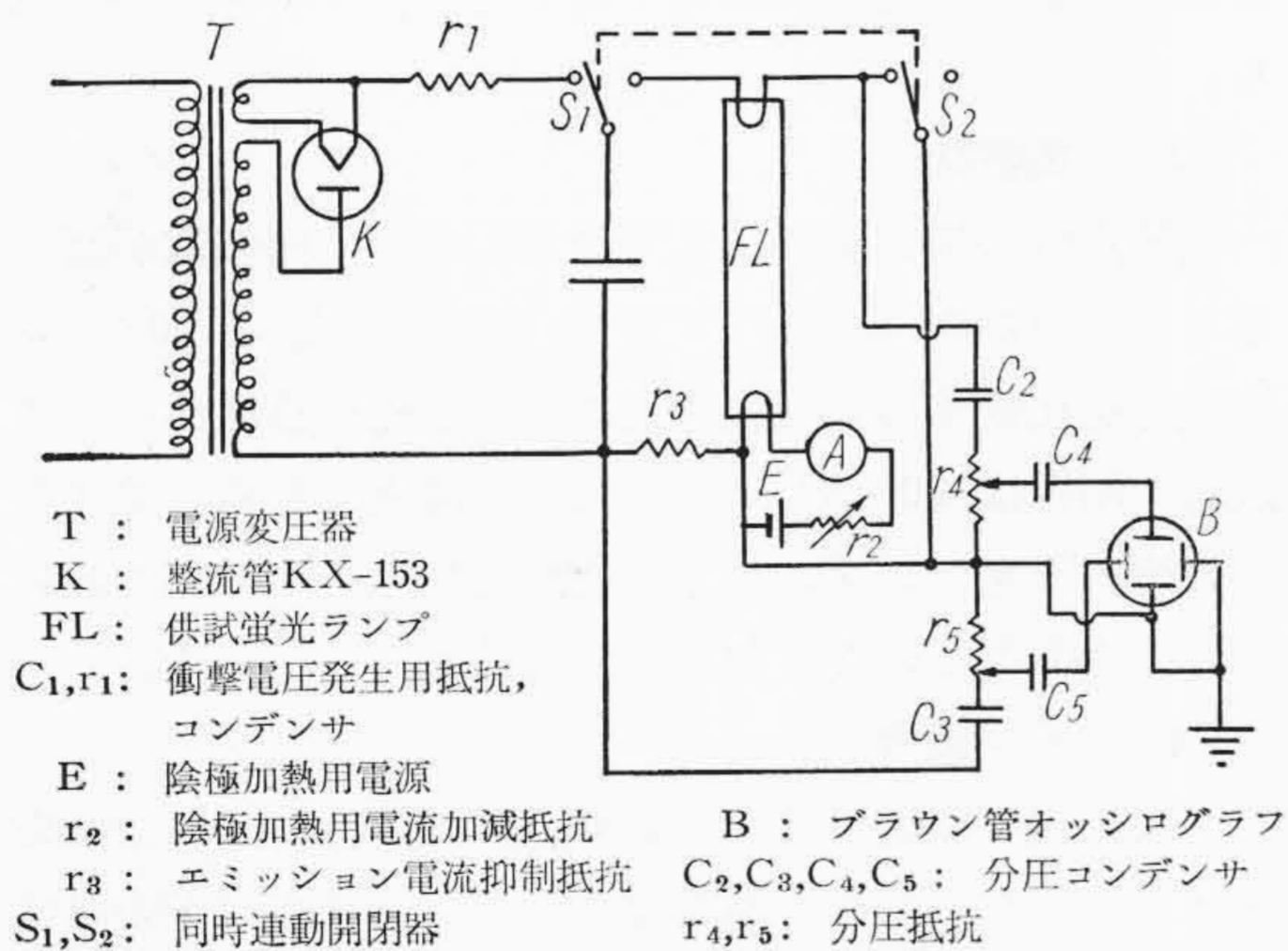
フィラメント設計構造の改善により、たとえば $T_1 = 1,000^{\circ}C$ を $T_2 = 950^{\circ}C$ に下げたとすれば、それらに対応



第5図 オキサイド附着量と計数放電管の読み
Fig. 5. Amount of Oxide and Reading with Counting Tube



第6図 40W 蛍光ランプの陰極の輝点温度
Fig. 6. Bright-Spot Temperature of 40-Watt Fluorescent Lamp Cathode



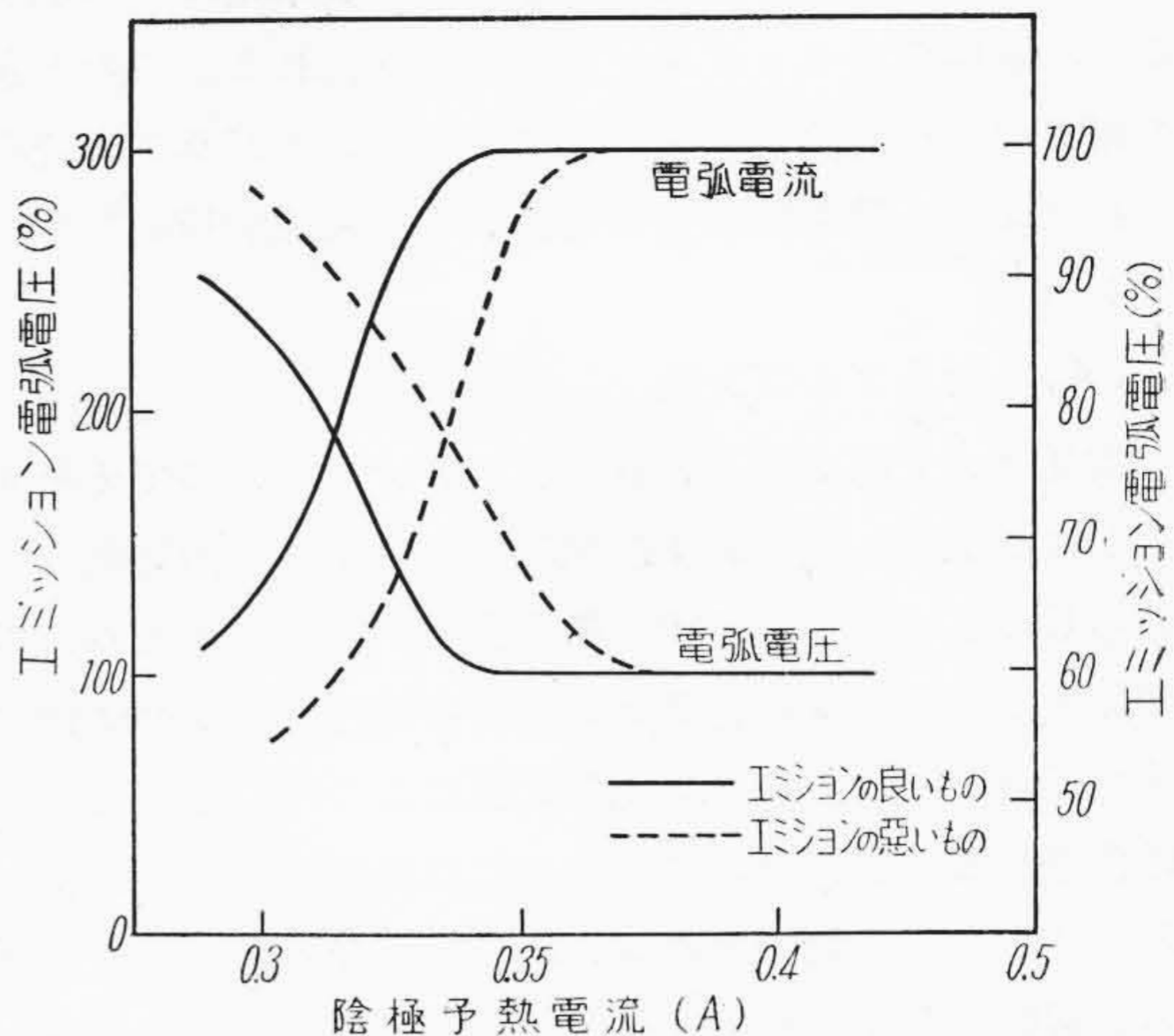
第7図 蛍光ランプの陰極のエミッション測定回路
Fig. 7. Circuit for Emission Measurement of Fluorescent Lamp Cathode

する蒸発速度 M_1, M_2 の比は

$$\frac{M_1}{M_2} = \frac{T_1}{T_2} \exp \left\{ E_{V1} \left(\frac{1}{RT_2} - \frac{1}{RT_1} \right) \right\} \dots (2)$$

である。ここに E_{V1} の値として 4.0 eV を適用すれば

$$\frac{M_1}{M_2} = 4.8$$



第8図 40W 蛍光ランプのエミッション特性
Fig. 8. Emission Characteristics of 40-Watt Fluorescent Lamp

すなわち、寿命は 4.3 倍に延長されることになる。

またエミッション電流 I と輝点温度との間には次式
の関係があり、この関係にしたがつて温度の低下とともに
エミッション電流は減少する。

$$I = BT^{\frac{5}{4}} \exp \left(-\frac{E_{V2}}{RT} \right) \dots (3)$$

ここに B : 比例常数

R : Boltzmann 定数

E_{V2} : (Ba, Sr) O の仕事函数

フィラメント設計が悪く輝点温度が低過ぎたと仮定すれば、ランプの放電電流がエミッション電流を超過するので、陰極降下が増大して電子やイオン衝撃によつて輝点温度を上昇させ、ランプ電流とエミッション電流が平衡することにならう。この場合電子やイオン衝撃によつてオキサイドを壊散させて寿命に悪影響をあたえる。すなわち陰極の輝点温度の適正な選定にあつては、二重コイルフィラメントの設計ならびに補助陽極の位置を慎重に決定しなければならない。

(3) エミッション

電子管の良否は一に陰極エミッションの良否にある。蛍光ランプにおいても同様で、エミッションが悪い場合には陰極降下を増大させるので短寿命になる。エミッションの良否はオキサイドの化学的物理的性状、フィラメントとオキサイドの界面の接触状態、製作中の排気度、炭酸塩よりオキサイドへの分解方法、エージング電流および時間の方法などによつて相違する。

蛍光ランプのエミッションの測定法はそのなかにアルゴンおよび水銀蒸気が封入されているので、真空管とおなじ方法ではイオン電流が流れるので不可能である。第7図はエミッション測定回路で蛍光ランプの一端の陰極

を規定温度に加熱して他端の電極より衝撃電圧を印加すると、陰極のエミッション電流のみが流れる。このときの電弧の電圧電流特性をブラウン管オシログラフで読みとればよい。第8図はこの電圧および電流を描いたものである。

(4) 封入アルゴン圧

蛍光ランプ内に封入されたアルゴン圧によつてオキサイドは、壊散、蒸発および拡散作用によつて消耗度合がいちじるしくことなる⁽⁴⁾。第9図はアルゴン圧と寿命の関係を示す。日立蛍光ランプの寿命特性は Thayer 氏の値⁽⁵⁾に近似で、アルゴン圧の変動によつていちじるしく影響される。長寿命にするためには高圧力を狙えばよいわけであるが、他方アルゴン圧が高くなると蛍光ランプの放電開始電圧が高くなり、周囲温度が低くなるとそれがさらに高くなる。第10図は日立蛍光ランプのアルゴン圧と放電開始電圧を示す。第11図は最近の一般用日立蛍光ランプの封入アルゴン圧の度数分布を示す。

以上設計製作上の重要因子である。最近の日立蛍光ランプではこれら諸因子の改善により第12図のように急速に長寿命になった。

〔IV〕 使用条件による影響

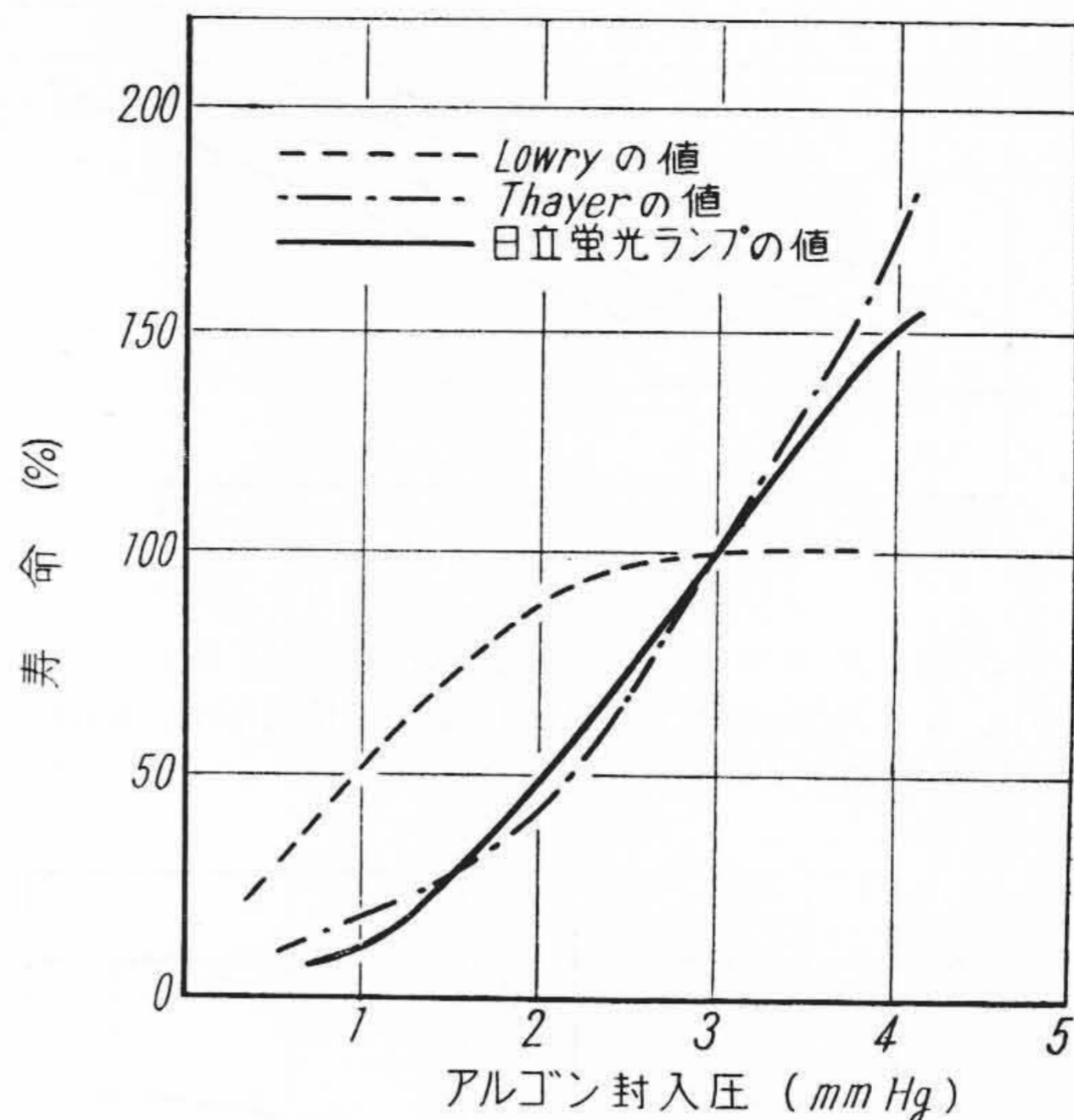
電源電圧、周波数の変動、ランプ電流波形、周波数、周囲温度点灯の頻度、点灯方式など実際に使用される条件は種々にことなる。これらの条件についての工場実験結果および検討を記述する。

(1) 電源電圧周波数の変動

蛍光ランプの電圧電流特性は一般の電弧放電と同様負特性であるので直列に電流安定用のインピーダンスを接続する。これを安定器といい、直流点灯の場合抵抗であるが、交流点灯においては、遅相インダクタンスまたは蓄電器とインダクタンスを組合せたものを使用する。一般には前者であるが、フリッカレスの回路には前者と後者の組合せた安定器を使用する。電源電圧および周波数が変動すればこの安定器のインピーダンス降下の増減によつてランプ電流は変化する。ランプ電流が変化すれば第6図のように、陰極輝点温度が増減して(1)および(3)式により寿命に影響するのは当然であろう。第13図は遅相安定器と組合せた場合の、工場実験結果で過電圧の場合は(1)式のオキサイドの蒸発消耗のために、低電圧の場合は(3)式のエミッション不足の電子イオン衝撃によるオキサイド壊散によつて短寿命になっている。低電圧になつて放電電流が0.2 A 以下になると寿命の短縮は急激である。

(2) ランプ電流波形

回路の電源電圧が正弦波であつても遅相安定器を組合



第9図 封入アルゴン圧と寿命
Fig. 9. Argon Pressure and Life

せた場合にランプ電流は三角波形に近似で、その波形率は1.14であり波高率は1.45である。安定器の種類によりこれらの値は異なる。第14図は波高率と寿命の関係を示すもので波高率が大きくなるといちじるしく短寿命である。この理由は交流点灯のサイクルごとの再点弧時におけるイオン衝撃によるオキサイド壊散と推定する。これらより一部の安定器は改善を要することがあきらかである。

(3) 周波数

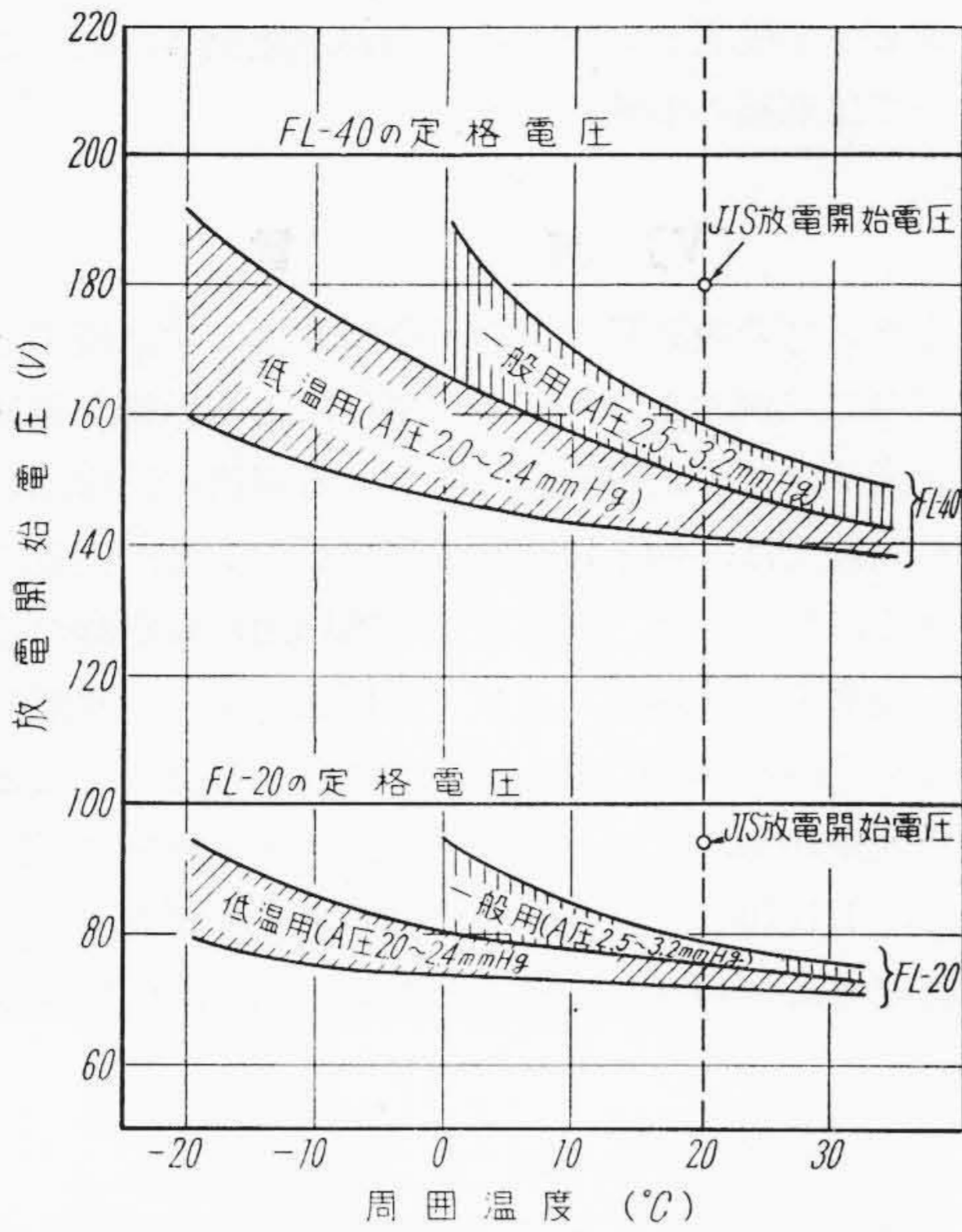
直流点灯の場合もつとも寿命が短かく、周波数が高くなると寿命がのびるようである。それは直流と50~交流点灯を比較すると同一電流に対し陰極輝点温度が直流点灯の場合は20~30°C 高いためと考えられる。筆者らは直流用蛍光ランプに対し輝度温度が上らず、短寿命にならぬよう電極の設計製作に考慮をはらっている。

(4) 周囲温度

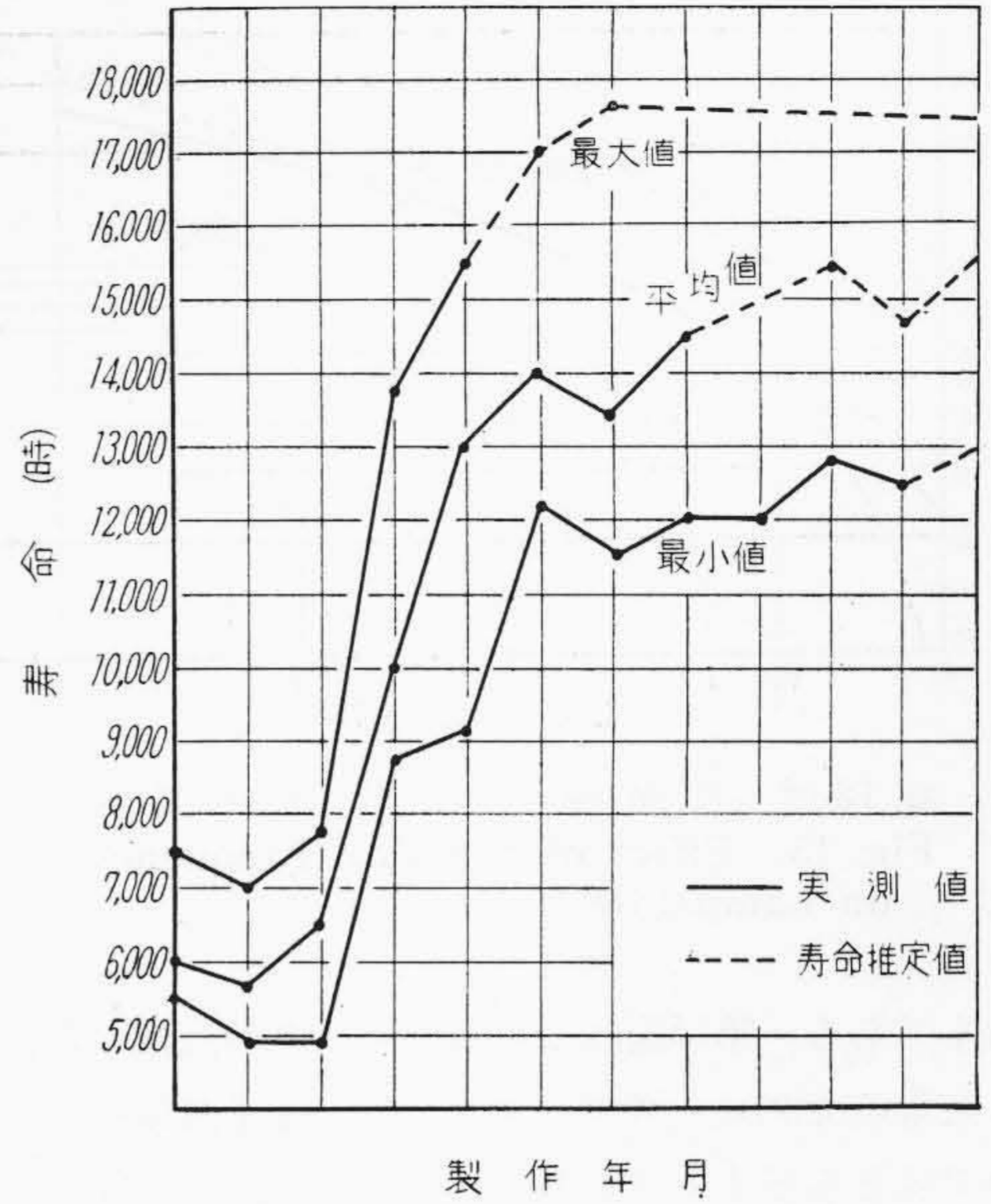
工場実験の結果では0~30°Cの周囲温度では寿命に影響はないようである。冷蔵庫内そのほか0°C以下の温度使用について特に放電開始電圧を留意した低温用ランプはアルゴン圧を第10図のように少くしているので寿命は短くなる。

(5) 点灯頻度

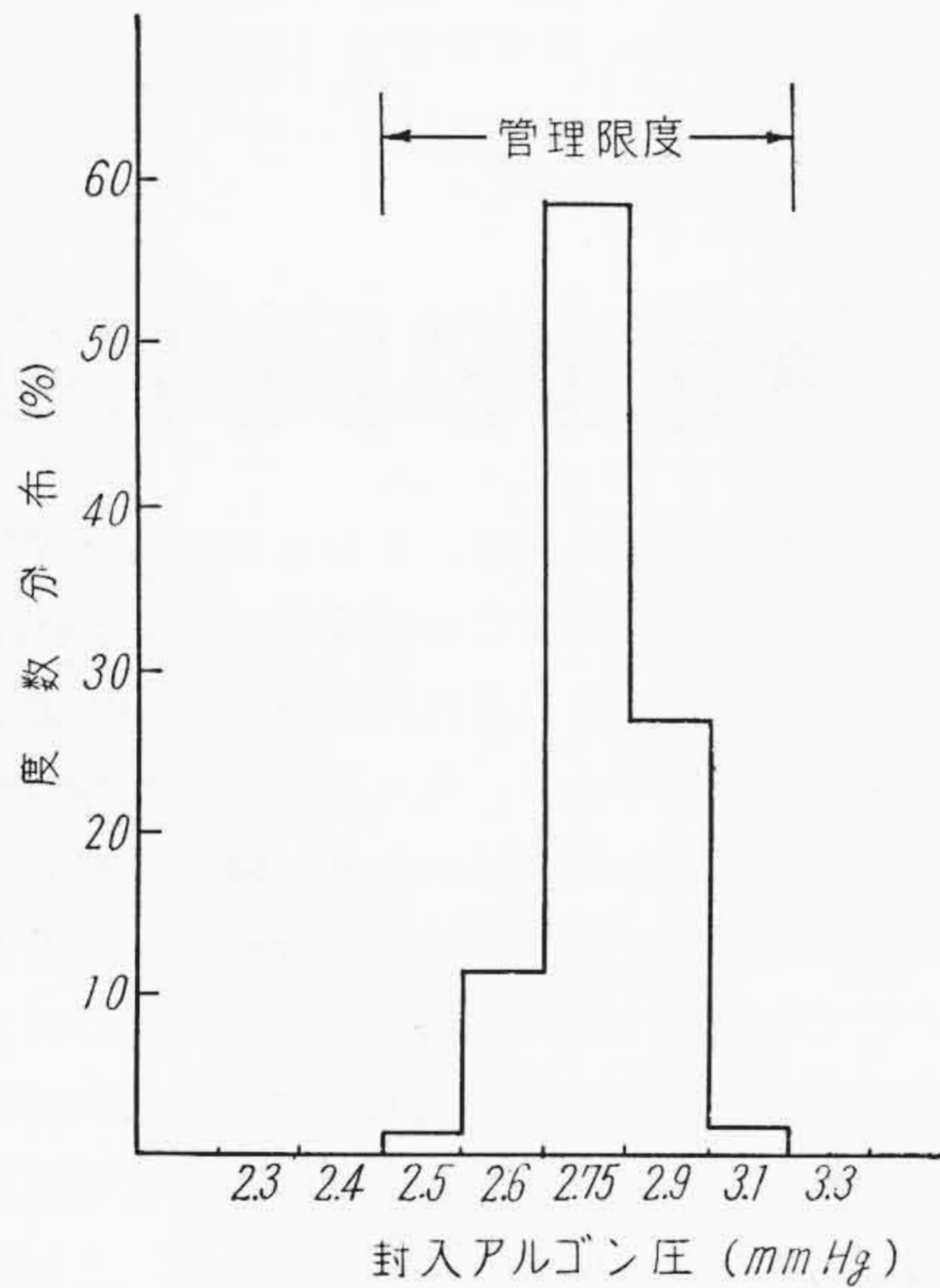
点灯頻度と寿命との関係については多くの報告があるが、中村氏⁽⁶⁾は、「起動操作時のオキサイドは加熱蒸発および壊散を受け損耗する。このさい陰極オキサイドはフィラメントの周囲からフィラメント全長にわたり、各所一様に損耗する。起動後の放電による損耗は電源端か



第10図 封入アルゴン圧と放電開始電圧
Fig. 10. Argon Pressure and Starting Voltage



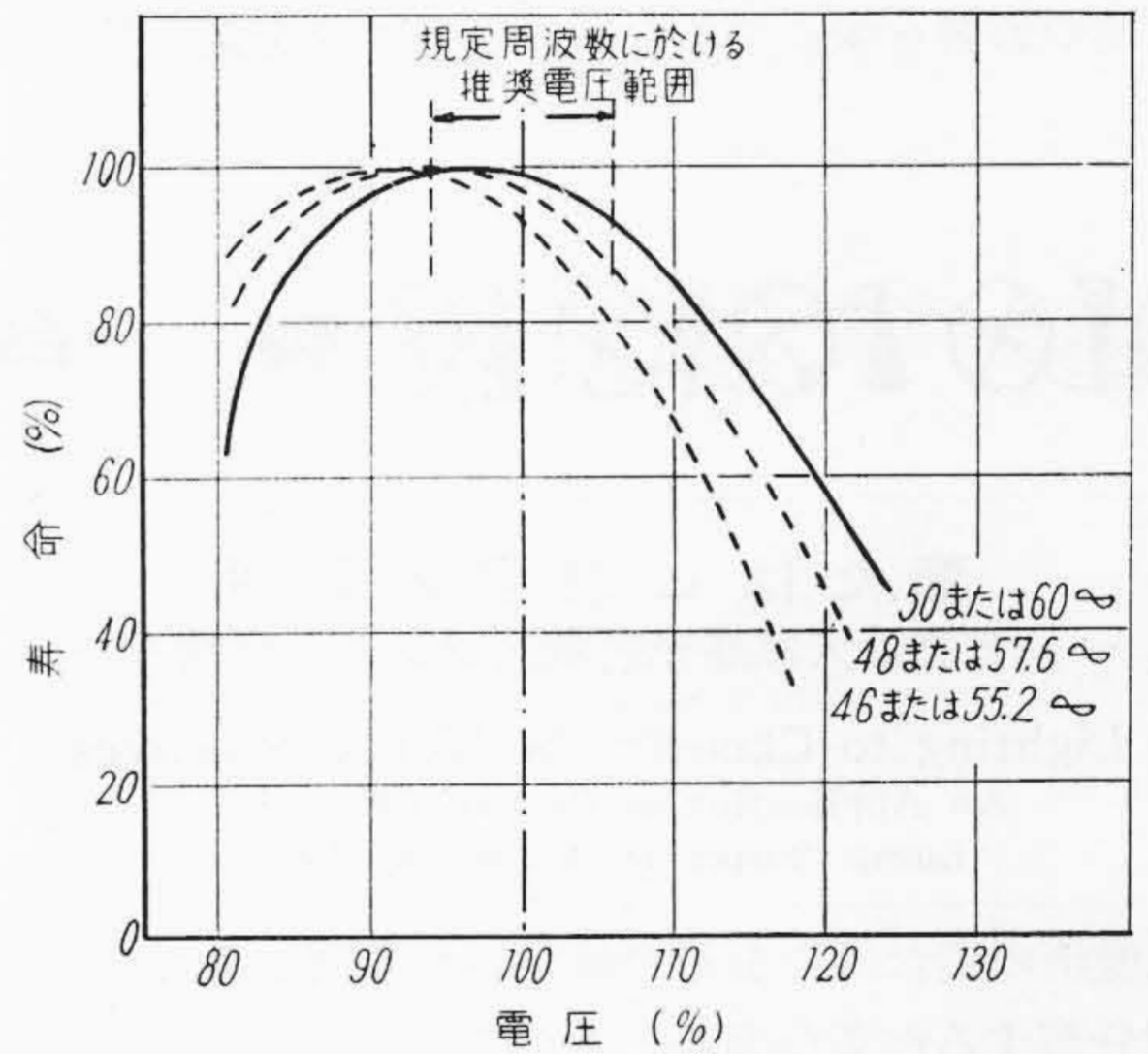
第12図 40W 蛍光ランプの連続点灯寿命試験の経過
Fig. 12. Tendency of Life of 40-Watt Fluorescent Lamp (Continuous Lighting)



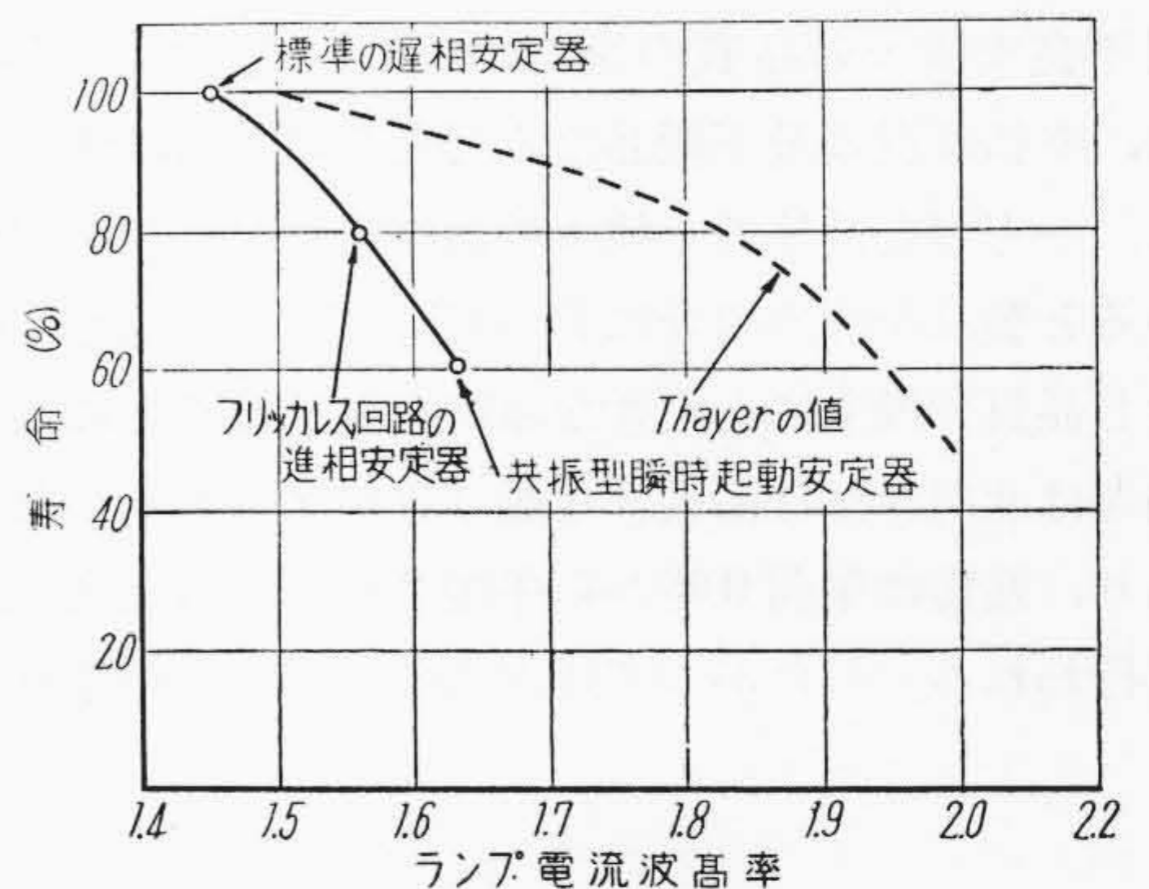
第11図 40W 蛍光ランプの封入アルゴン圧度数分布 (測定本数 11,297 本)
Fig. 11. Frequency Distribution of Argon Pressure of 40-Watt Fluorescent Lamp

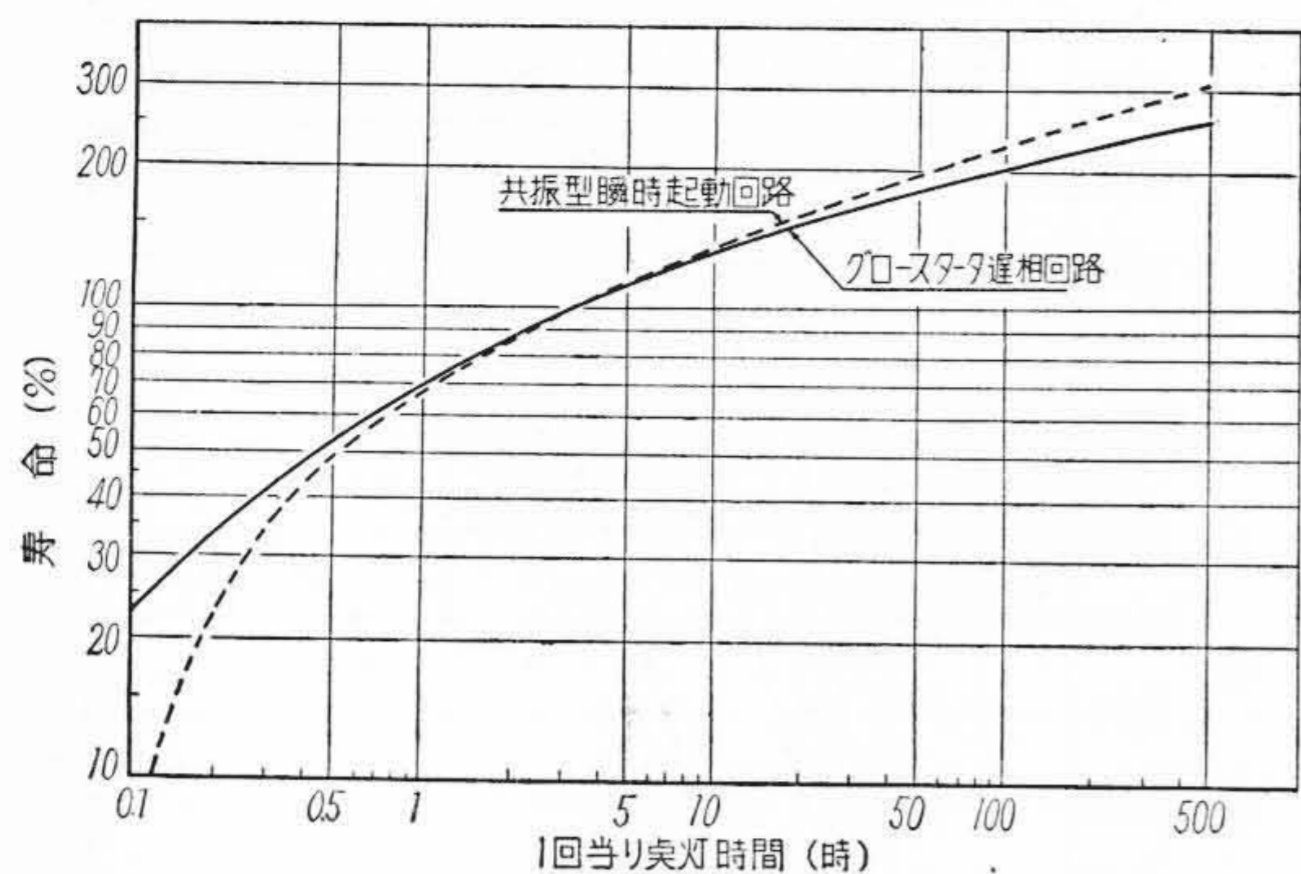
ら他端へ向つて進行する。」とのべている。しかしこれは起動方式の相違により陰極が十分予熱されるか否かで相違し、1回の起動の損耗量に大きな差があることはも

第14図 波高率と寿命の関係
Fig. 14. Relation between the Crest Factor and Life



第13図 電圧周波数の変動による寿命の影響
Fig. 13. Effect of Voltage and Frequency on the Lamp Life





第15図 点滅頻度と寿命の関係
Fig. 15. Effect of Starting Frequency on Lamp Life

ちろんである。第15図は一般蛍光ランプの点滅の影響を示したものでグロースタータ回路が十分予熱後起動されるのでほとんどオキサイドの加熱蒸発と推定され損耗が少ないが、共振型瞬時起動回路では電子イオン衝撃による壊散と考えられ影響が大きい。

以上外部条件についての寿命におよぼす影響を列挙したが蛍光ランプの設計製作に当りこれらの影響とくに点灯頻度の影響を少なくするための研究成果をえて日立スー

パーラピット蛍光ランプとその回路が開発された。これについては別稿の参照をこう。

〔V〕 結 言

蛍光ランプの設計製作上の寿命におよぼす諸因子と寿命管理の二三例および外部使用条件による影響を記述した。蛍光ランプの工場実験室における定格電圧印加の連続寿命試験では、平均14,000時間であるものが実際に使用されるに当つては、電源変動(第13図)安定器の差異による波高率(第14図)点滅(第15図)などの外部条件の影響を受けるものであるからこれらを考慮してたとえば電圧変動10%、グロースタータ式フリッカレス回路において、1日10時間点灯の場合を考慮すれば実用寿命は前記連続寿命の40%となることをあきらかにして擧筆する。

参 考 文 献

- (1) 伴野, 青木, 江本: 日立評論 38 (昭 31-3) 465
- (2) 中村: 未発表
- (3) 中村: 照学誌 38 (昭 29) 281
- (4) 中村: 照学誌 37 (昭 28) 347
- (5) R.N. Thayer: Ill. Eng. 49-11 (1954) 527
- (6) たとえば中村: 3学会連大 (昭 31-5)

製 品 紹 介

葉たばこ調理と照明 —日立純天然昼光色蛍光ランプの応用—

Lighting to Classify the Tobacco Leaves
An Application of Hitachi Fluorescent
Lamp "Super De Luxe Daylight."

乾燥済の葉たばこをその耕作者が品質の良否によつて選別分類する作業を調理とよんでいる。調理したものは専売公社の収納場に搬入されて、等級付けをされ、その等級に応じて支払が行われる。したがつて調理の良否はただちに耕作者の取得金に大きな影響をおよぼすが一方調理不良で種々の品質の葉たばこが混入している場合には、支払は混入最下級品なみとなり耕作者は不利益となる。一方専売公社でも種々の品質の葉たばこが混入していると製品を作る場合に葉組(葉たばこの配合)に齟齬を生じ品質管理上にも大きな障害を受けることになる。収納場は北向きだけに大きな曇りガラス窓をもつた部屋であり、鑑定は午前9時から午後2時までの北窓光によつて行われる。したがつて耕作者の調理もこの条件に厳

密に合せることが理想である。しかし耕作者は昼間は田畑の農耕作業に従事せねばならず調理期である秋は稲の刈入れなどの農繁期にあたるために昼間調理作業を行うことは事実上不可能である。また東北北陸地方の産地においては調理期は秋から冬にわたり、積雪のため北窓光線を利用することは不可能である場合がはなはだ多い。いずれにしても調理は室内作業であつて農家の労力配分から考えても北窓光と同等な人工光源さえあれば夜間作業を実施することがのぞましい。このような光源としては北窓光と同様に6,500°Kの色温度をもち、さらに演色性がきわめて優秀であることが要求される。

日立純天然昼光色蛍光ランプははじめ専売公社秦野たばこ試験場の御指導の下に葉たばこ調理用ランプとして完成されたもので葉たばこ調理には特に適している。分光エネルギー分布測定および三色色合せ法により、色温度は6,500°Kに管理され、一方両眼視法および評価点計算法(本文蛍光ランプの色と演色性参照)により演色性の最良な蛍光体配合が採用されている。