

# 水銀ランプの放電開始機構

## The Starting of Mercury Lamps with Starting Electrode

広 田 泰 輔\* 坂 井 卓\*  
Taisuke Hirota Takashi Sakai

### 内 容 梗 概

水銀ランプが長寿命化され、従来よりも広範囲に、過酷な条件で使用されるようになり、その円滑な起動がますます重要になってきた。

本報告では、まず水銀ランプの放電開始電圧が特性を代表する値としてどのような意味をもっているかを検討した。

つぎに、現在の照明用水銀ランプのほとんどすべてに採用されている起動補助電極による放電開始について、ランプ製作直後の様相および影響要因などについて調査を行ない、放電開始助成効果を分析した。

### 1. 緒 言

放電現象における放電開始の機構を完全に説明しうる理論が確立されていない現在、水銀ランプの放電開始、とくに大多数の照明用水銀ランプに採用されている起動補助放電によって引き起こされる主放電の放電開始機構を定量的に誘導することはほとんど不可能である。放電開始の機構そのものは、いわゆる低圧の水銀放電管である蛍光ランプの起動機構からある程度の推定はでき、またそのような観点からの検討も見受けられる<sup>(1)</sup>。しかし起動補助電極による放電開始についてはまとまった検討例がすくない。

一方、放電開始に関し実際の商品としての水銀ランプを考えた場合、放電開始電圧の値は常に電源電圧によってきまる、ある一定値以下であることが経済的に要求され、しかも実際の使用条件が常温から冬期屋外の低温までを6,000時間とか12,000時間という長時間の使用に耐えねばならないという過酷な条件を負わされている。また起動補助電極以外で、放電開始に係る他の要因、たとえば封入ガス圧などは起動に有利な条件と他の特性である明るさや寿命に有利な条件とは相反する場合が多く、どの程度の値を妥協点とするかも商品としての水銀ランプの特性に関連してくる。このような放電開始の問題は、ランプが今後ますます高性能長寿命化されるにともなって、その寿命期間中の起動を完全に保証するという点でますます重要となってくる。本報では、製作初期の水銀ランプの放電開始に関し、まず現象的な面から現状を調査、分析したものであり、寿命期間中の諸要因の変化については割愛する。

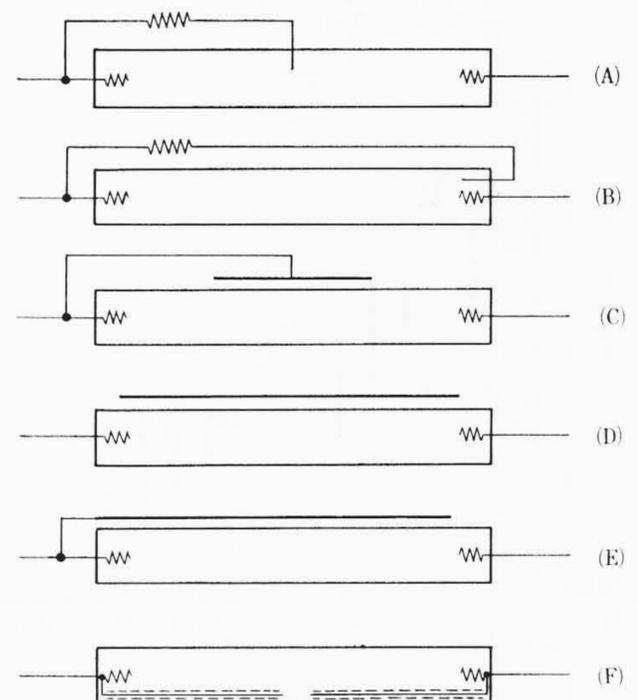
### 2. 水銀ランプの放電開始

#### 2.1 各種の放電開始補助手段

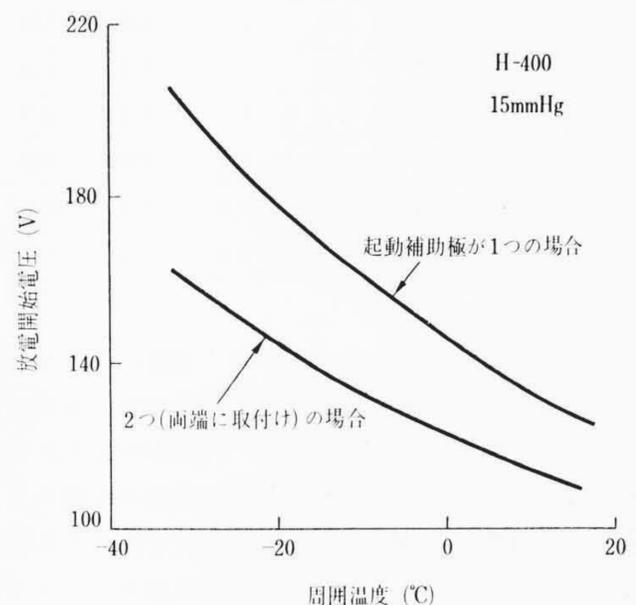
蛍光ランプの放電開始においては、電極に起きる局部放電が、両電極間の主放電開始電圧を低下せしめる決定的要因であることはよく知られている<sup>(1)</sup>。水銀ランプの起動補助電極の動作も原理的にはまったくこれと同一であると考えられる。

現在の照明用水銀ランプの大多数には起動補助電極が採用されている。放電灯の起動補助手段としては古くから第1図に示すように種類のものが考えられている<sup>(2)</sup>。これら各種方式のうち、水銀ランプについては(B)方式が採用されており、この場合の起動補助電極の数により第2図のような効果があらわれる。さらに(D)あるいは(E)に属する外部近接導体についても第1表のように比較検討がなされている<sup>(3)</sup>。これらは構造的な補助手段であるが、最近では封入ガスであるアルゴンにネオンを高い比率で混合することによる効果も検討されている<sup>(4)</sup>。また、波高値の高い安定器によるひずみ波形を利

\* 日立ランプ株式会社大森工場



第1図 構造的な放電開始補助手段例



第2図 第1図(B)方式における3極形と4極形起動補助電極の放電開始電圧の違い

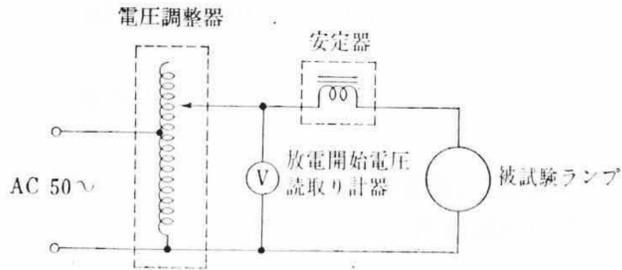
用する方法<sup>(5)</sup>、グロースタータを用いてパルス状過渡電圧を重畳する方法<sup>(6)</sup>なども考えられる。

#### 2.2 放電開始電圧の測定値について

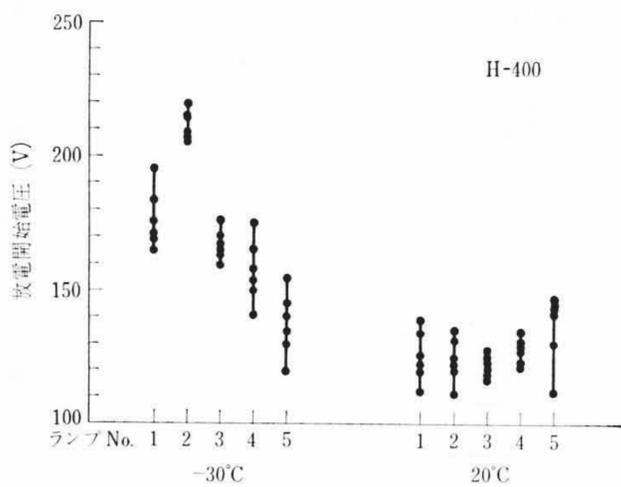
一般に、放電開始そのものが確率的要素を含み、画一性のあるものでなく、実際の水銀ランプでは、さらに個々のランプによって製作条件が異なったり、放電に関する外部条件が厳密には測定ごとに異ってくるので、放電開始電圧の測定値については当然ながら統計

第1表 近接導体と内部起動補助極との  
起動補助効果の差の1例<sup>(3)</sup>

起動電極	温度 (°C)	放電開始電圧 (V)
外部 近接導体	16	170
	-12	300
内部 補助極	16	125
	-12	165



第3図 放電開始電圧測定回路



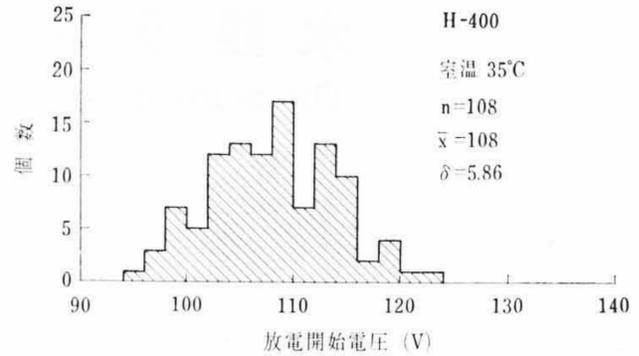
第4図 個々のランプの放電開始電圧の測定ごとの差  
( $n=5$ のランプについて、低温、常温で各6回測定)

第2表 個々のランプの放電開始電圧の測定ごとの変動

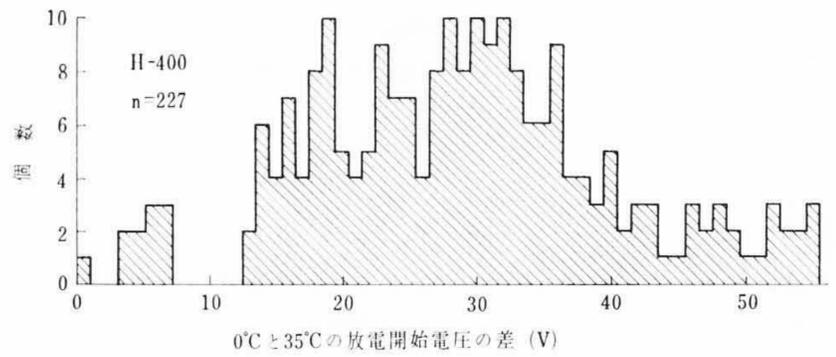
ランプ No.	測定ごとの変動						$\bar{x}$
	1	2	3	4	5		
20°C	$\bar{x}$	129V	126	124	129	136	128.2
	$\sigma$	9.9V	8.2	1.9	5.3	11.8	7.4
	$\sigma/\bar{x}$	7.8%	6.5	0.2	4.1	8.7	5.5
-30°C	$\bar{x}$	178V	213	168	158	139	171.2
	$\sigma$	3.1V	5.0	4.9	11.4	11.27	7.1
	$\sigma/\bar{x}$	0.2%	2.3	3.0	7.2	7.1	4.2

的な考え方が必要となってくる。そこで、実際のランプで測定値にどの程度のバラツキが存在するかを検討してみる。なお以下に示す放電開始電圧は、第3図の回路で、ランプ回路の電圧を10V/sの割合で上昇した場合の値である。第4図、第2表は5個のランプの放電開始電圧を周囲温度 -30°C および 20°C でそれぞれ6回測定した値の分布である。すなわち、測定値の分布は個々のランプによって大幅に異なるが、1個のランプの測定値のバラツキは周囲温度そのものには影響なく、平均して  $\sigma/\bar{x}$  の値で数%程度である。換言すれば、1回の測定値の場合、常温での普通の放電開始電圧値は130V程度で、 $\pm 2\sigma$  の確率では  $\pm 13V$  程度のバラツキを含んでいることになる。

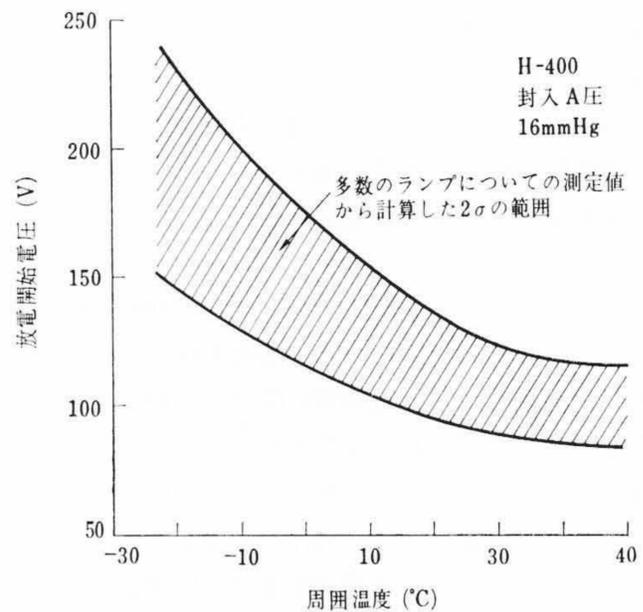
つぎに、ランプによって放電開始電圧がどのように異なるかを調べると、常温において同一ロット内のランプによる測定値の分布は第5図のとおりとなる。すなわち、 $\sigma/\bar{x}$  で数%程度バラツキがある。他方ロット間のバラツキを含めた同一品種、同一製作条件による水銀ランプ全体のバラツキは標準偏差で数Vから10V程度であるの



第5図 同一ロットの水銀ランプの放電開始電圧の分布例



第6図 35°Cと0°Cにおける放電開始電圧の差の分布



第7図 水銀ランプの放電開始電圧の温度特性例

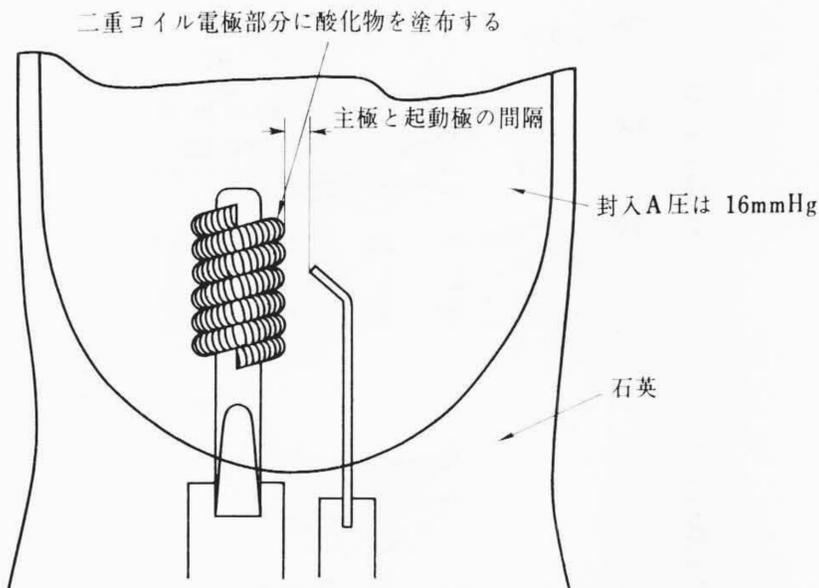
で、水銀ランプ全体としては放電開始電圧のバラツキの半分強がロット内の個々のランプのバラツキによっているといえる。換言すれば、常温では、ロット内から10本のランプを抜き取りそれぞれを1回ずつ測定し、10本のランプの平均値でそのロットの放電開始電圧を代表する場合、 $2\sigma$  の確率では  $\pm 7V$  程度のバラツキを含んでいることになる。

つぎに、低温になった場合、放電開始電圧の分布がどのように変化するか。前述のとおり、1本のランプの測定ごとのバラツキは温度に影響されないが、個々のランプによって低温になることによる放電開始電圧上昇の割合が異なってくる。第6図は35°Cと0°Cでの測定値の差の分布である。このようにランプによって上昇割合に差があるため、多数のランプについて放電開始電圧の温度特性を測定した場合、低温になるに従って放電開始電圧の分布に広がりが出てくる。第7図はこの一例である。

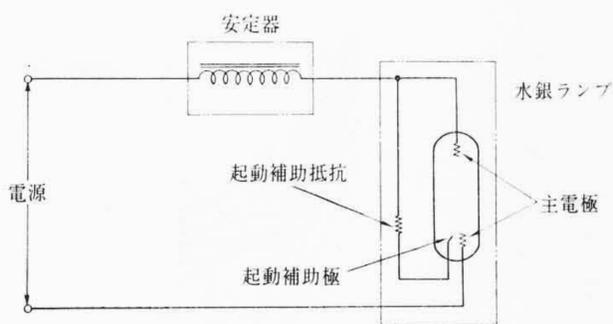
### 3. 起動補助極による放電開始の状態

#### 3.1 放電開始の一般的状態

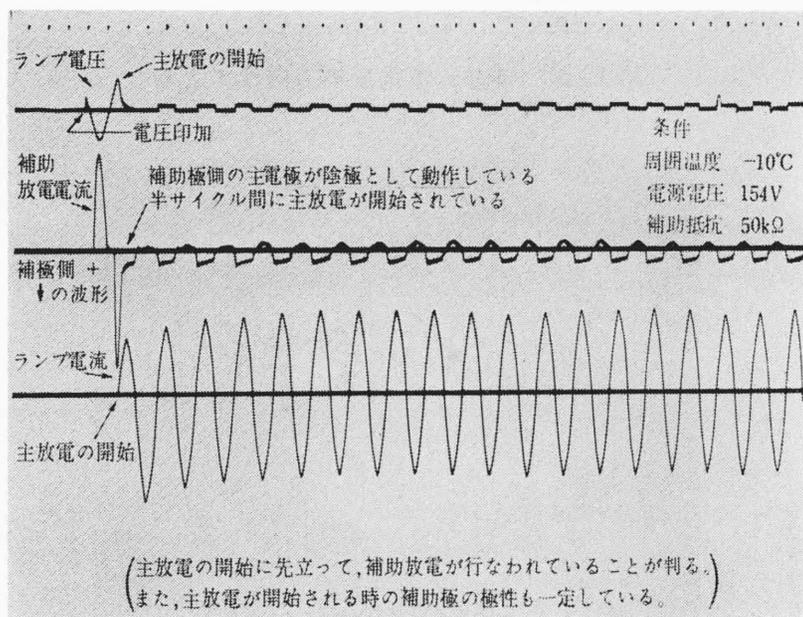
第8,9図に示すもっとも普通の起動補助極の構造について、一般



第8図 補極側電極部構造



第9図 水銀ランプ点灯回路の模型図



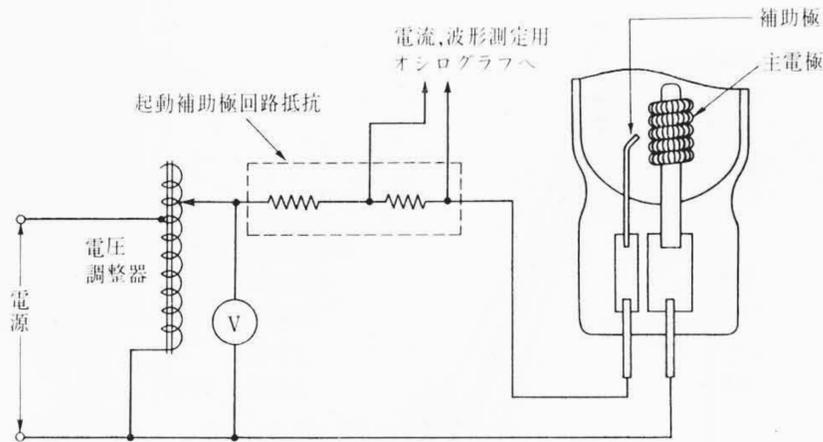
第10図 水銀ランプの放電開始初期のランプ電圧・電流および補助放電電流の関係

的な点灯回路での放電開始状態を考えてみる。

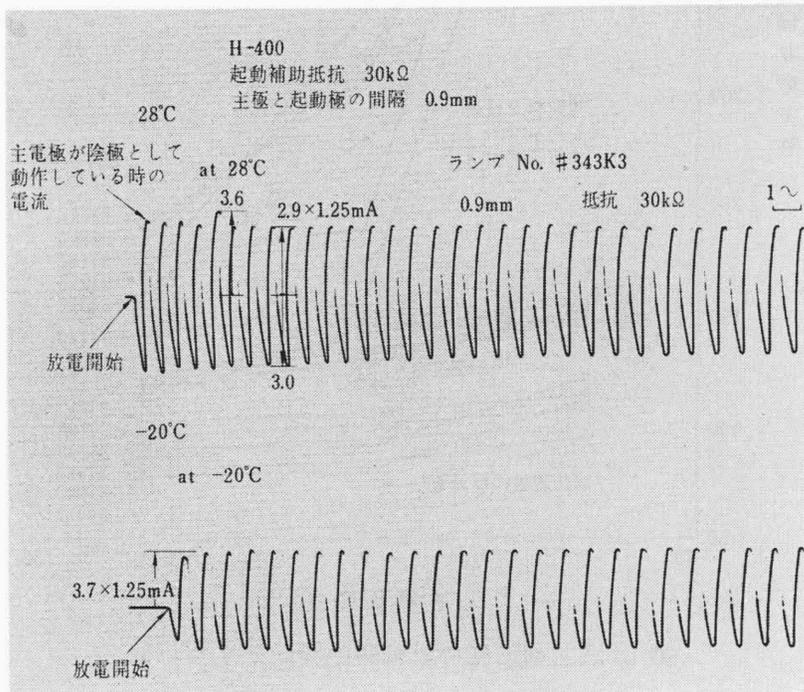
主放電開始直後の状態については比較的詳細な報告も見受けられるが<sup>(7)</sup>、電圧印加から主放電開始までの期間をさらに区分してみるとつぎのように考えられる。

- (A) 電圧印加と同時に補助極側の主極と起動補助極間にグロー放電（補助放電）が発生する。
- (B) 補助放電の発生により、内管内部がイオン化され主放電が起こりやすいガス状態になると同時に、補助放電を行なっている主電極の電子放射能力も上昇してくる。
- (C) 上記の過程を経た後、補助放電を行なっている主電極からの放射電子がもととなって、いわゆる Townsend 機構で両主電極間に主放電が起きる。

この間の過程を電磁オシログラフで観察した結果を第10図に示す。ただし、この第10図はこれらの過程をはっきりさせるため、とくに低温、低電圧の難放電開始状態で観察したものであり、普



第11図 補助放電回路の構成



第12図 補助放電電流波形の1例

通常温、定格電圧付近の点灯条件では電圧印加とほとんど同時に主放電が開始され、主放電開始前の補助放電波形は通常の方法では観測できない。もちろんこの場合でも補助放電回路を切り離れた場合は、主放電は定格電圧付近では起こりがたい場合があり、補助電極が主放電開始の助成効果を有していることは明らかである。これらについては次項で述べる。

### 3.2 補助放電の一般的状態

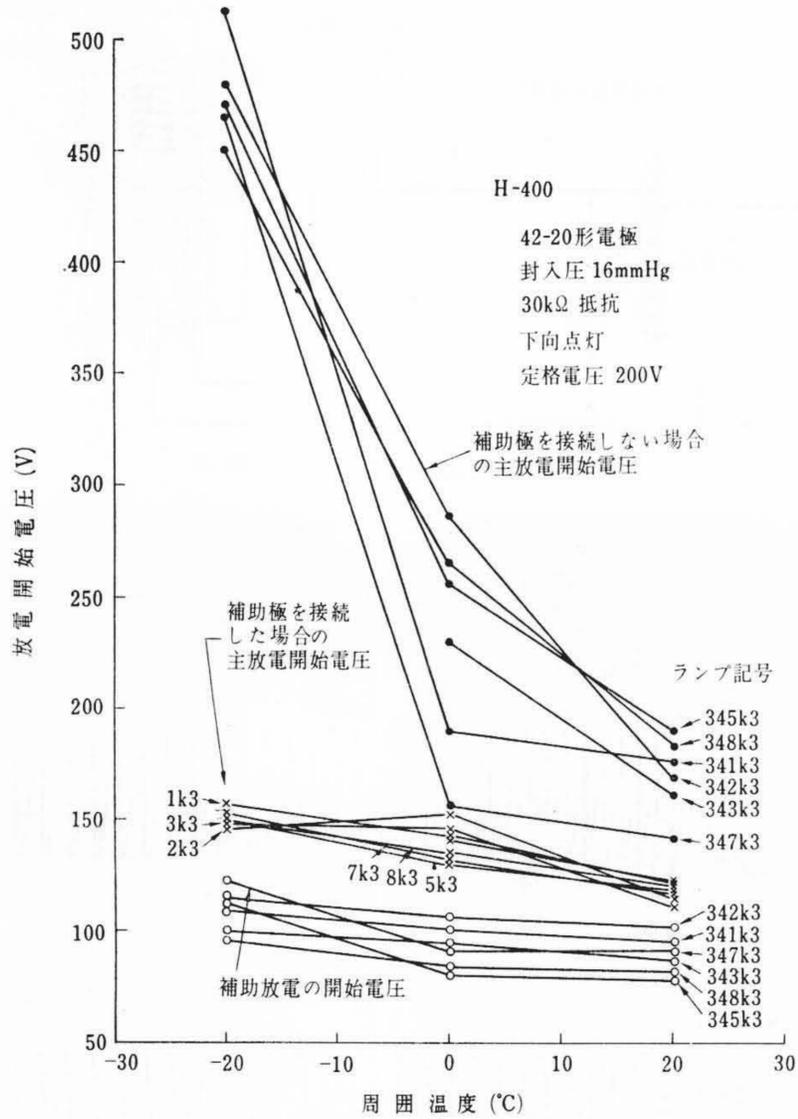
補助放電の回路のみについて考えると、回路構成は第11図のようになる。ここで、補助放電の観察を容易にするため主電極間には電圧を印加しないで、補助放電のみを継続して行なった場合の補助放電電流波形を示すと第12図のとおりとなる。すなわち、

- (A) 放電電極の非対称性（寸法および電子放射能について）のため、放電波形は非対称となっている。
- (B) 補助放電の開始時に突入電流が流れる場合がある。

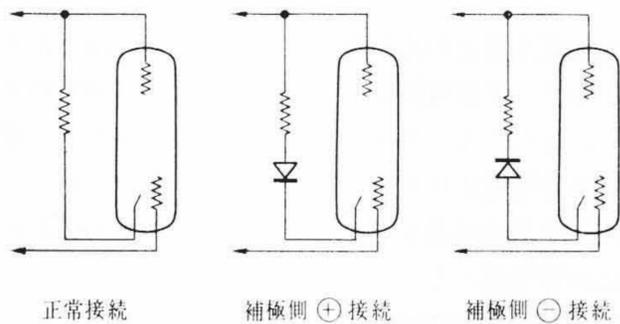
主電極間に放電が起きると、補助放電回路の電圧はランプ電圧に等しくなる。ランプ電圧は放電開始の初期は低く補助放電電流も小さくなるが安定放電時のランプ電圧は120~140V程度となり、この電圧に相当した補助放電電流がランプ安定点灯中常時流れていることになる。

### 3.3 起動補助極の助成効果

補助極を設けたことによって主電極間の放電開始電圧がどの程度低下しているかを調べるため、補助極を動作せしめた場合と補助極回路を開放した場合について比較した結果を第13図に示す。この結果は、補助放電そのものはランプの定格電圧が200Vであるのに対して、-20~+20°Cの範囲で定格電圧の40~60%電圧で動作していることを示す。補助極を開放した場合の主電極間の放電は20°Cでは定格電圧の80~100%電圧で点灯するが、0°Cになると大部分のランプは定格電圧では点灯しなくなり、-20°Cでは定格の200%以



第13図 補助極の放電開始補助効果の一例



第14図 補助放電電流の方向性による放電開始補助効果の調査回路

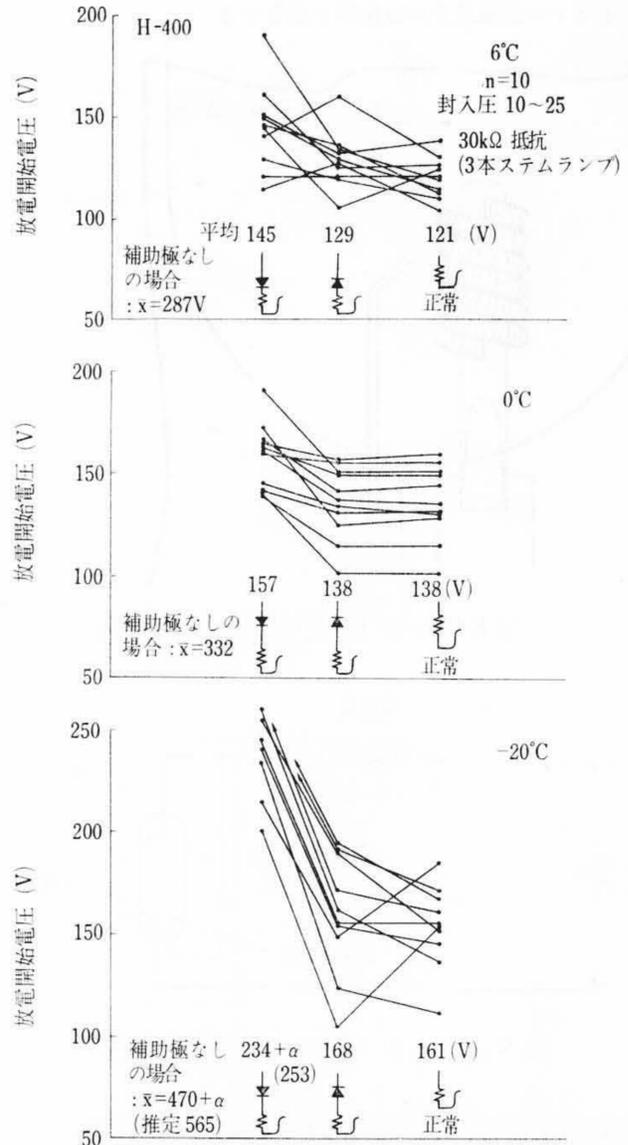
上の電圧が必要となってくる。補助極を動作せしめた場合には -20 ~ +20°C の範囲で 60~80% 電圧で点灯するようになり、主放電の開始を低下せしめる効果は周囲温度が低いほど大となっている。

他方、主電極間の放電開始電圧が低温になるに従って上昇する原因を考えると次のように推定される。

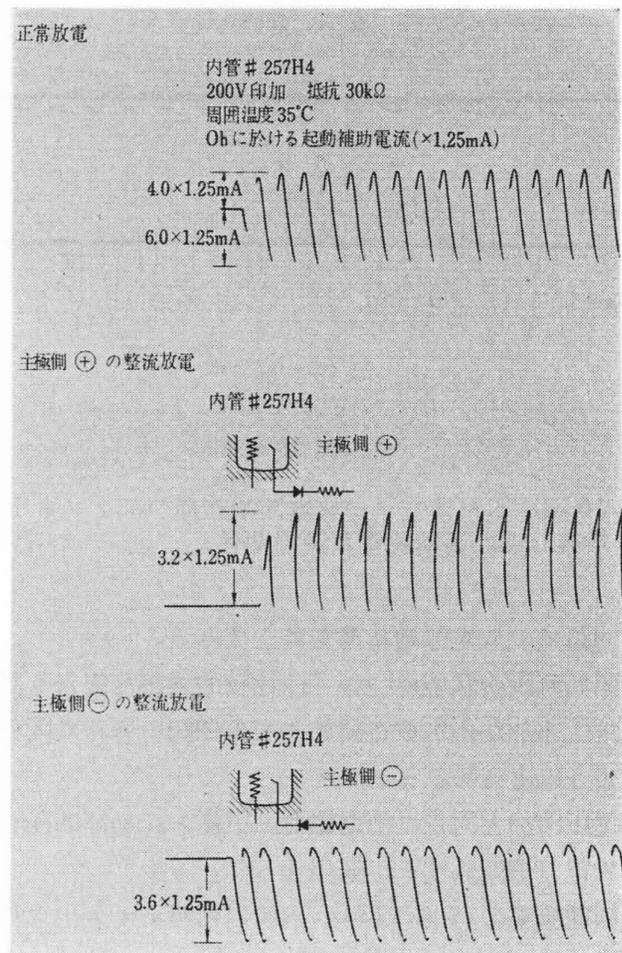
- (A) 低温になるに従って水銀の蒸気圧が減少し、封入アルゴンに対する分圧が減り、ガス状態そのものが主電極間の放電に対し不利となってくる。
- (B) 低温になることにより、主電極へのガスあるいは水銀の吸着などにより等価的に電極の仕事関数が大きくなり放電に不利となってくる。

したがって、当然のことながら補助極の効果もつぎのように区別して考えることができる。

- (イ) 補助放電によるイオン生成が、ガス状態を放電破壊しやすいほうにもっていく。
- (ロ) 補助放電を行なうことにより、主電極の温度上昇およびクリーニングを行ない、仕事関数を回復せしめる。
- (ハ) 補助放電により、電圧が印加されている主電極間に電子を



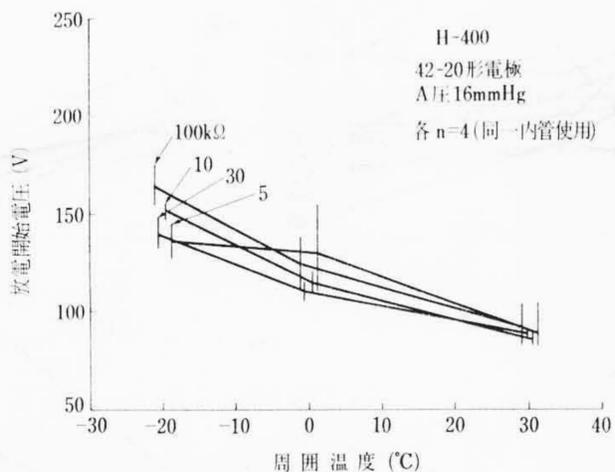
第15図 補助放電電流の方向性による放電開始補助効果の差(1)



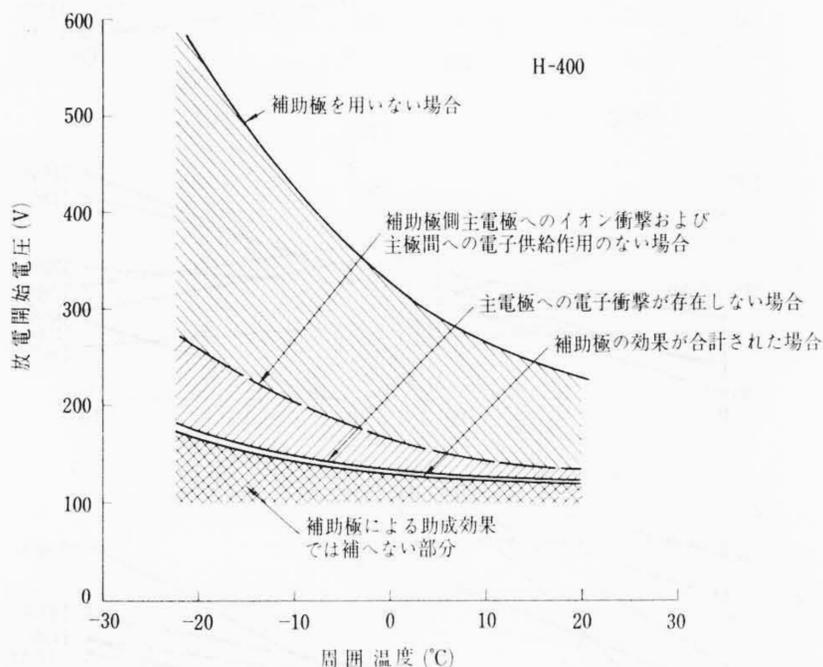
第16図 正常な起動補助放電と主極側 ⊖ および ⊕ の整流補助放電の場合の補助放電電流

供給し、放電破壊のきっかけを作る。この場合、当然ながら、主放電に対しては補助放電を行なっている主電極からの電子のみが効果を持っている。

つぎにこのような補助極の効果の大略の程度を調べるために第14図の回路での補助極の効果測定した。その結果を第15, 16図



第17図 抵抗値による放電開始電圧の差の一例



第18図 補助極の効果分解模型図

に示す。これらを要約すると次のとおりである。

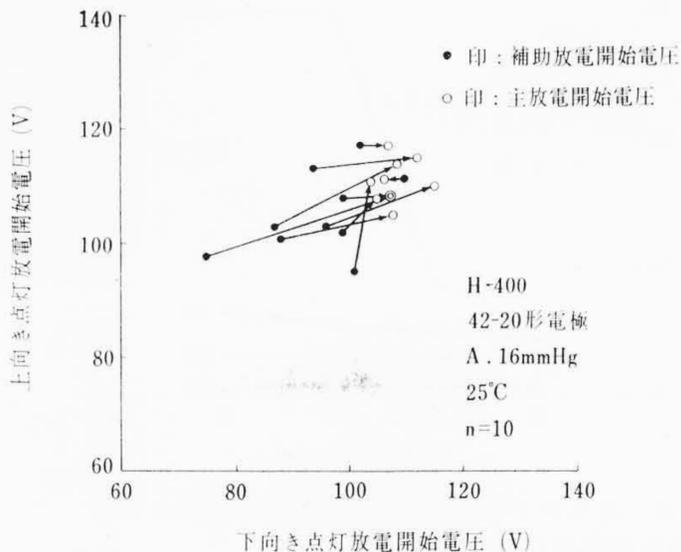
- (1) 普通の補助放電の場合と主電極からのみ電子放射を行なっている整流補助放電の場合とでは、主放電開始への助成効果はほとんど同一である。
- (2) 補助極からのみ電子放射を行なっている整流補助放電の場合は、助成効果は低い。
- (3) 換言すれば、上記(2)の場合には前記補助極効果の(ハ)および補助放電による主電極へのイオン衝撃が存在しない場合であり、さらに(1)の場合には補助放電による主電極への電子衝撃が存在しない場合に相当するわけである。(1)の場合の効果が普通の補助放電の場合とほとんど同一であることから推定して、補助極の助成効果の大部分は前述の(イ)と(ハ)にあるものと考えられる。

つぎに、補助放電の大きさによって助成効果がいかに変化するかを、起動補助抵抗の値を変えて調べた結果の一例を第17図に示す。すなわち、助成効果は補助放電の大きさに比例して大となり、ある値以上になると飽和する傾向をもっている。第18図は以上のような調査から補助極の効果を模型的に描いたものである。

#### 4. 補助極による放電開始に及ぼす二、三の要因

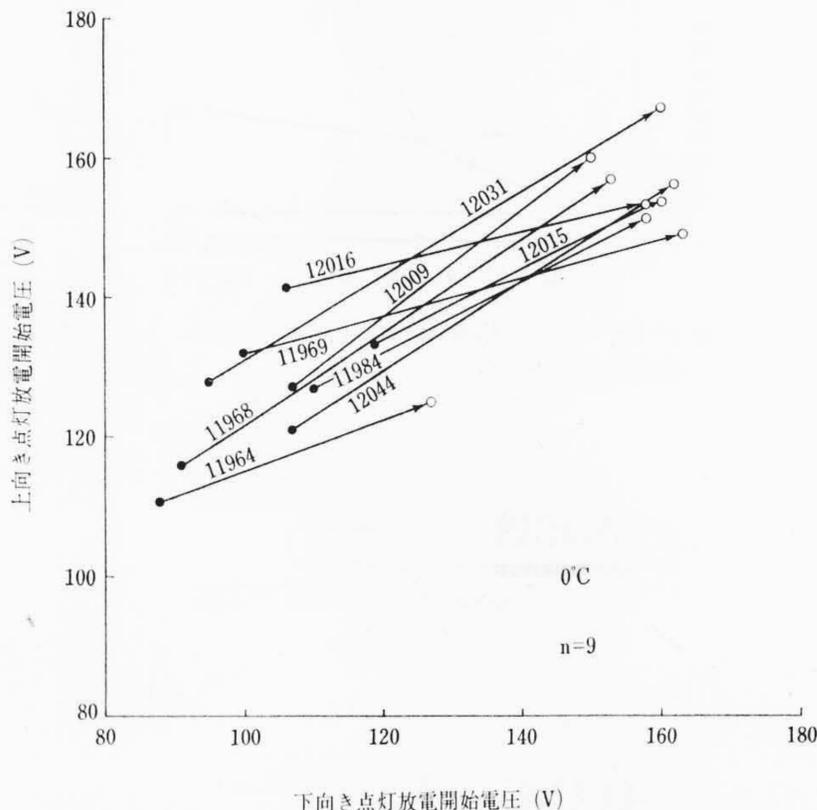
##### 4.1 ランプの点灯方向による影響

点灯方向による放電開始への影響は理論上はないはずであるが、実際には、たとえば、普通の片側に補助極が設けられている構造では、補助極側が下側で点灯されている場合、ランプ消灯後内管が冷却するに従って、内管内の水銀がもっとも早く冷却される補助極および補助極側の主極に付着し、極端な場合は主極の酸化物が水銀膜

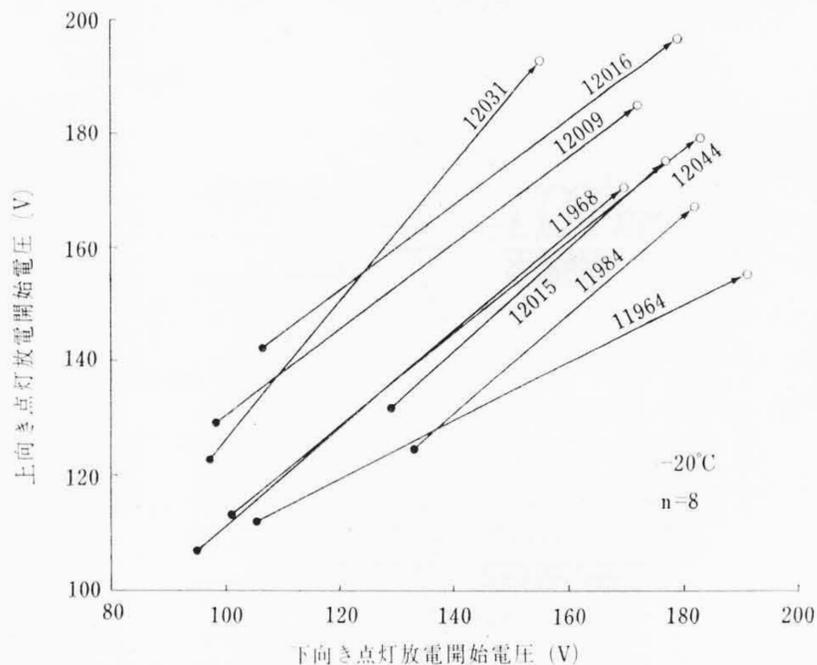


(上向きおよび下向き点灯で、補助放電が開始された電圧および主放電に移行した電圧を測定してプロットしたものである。)

第19図(1) 点灯の方向による放電開始電圧の差(常温)

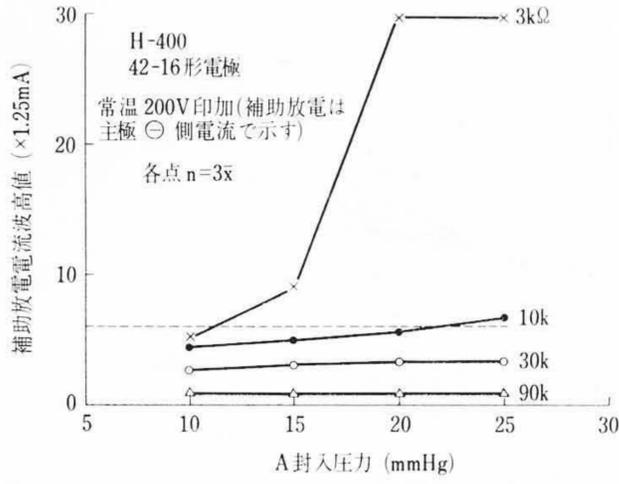


第19図(2) 点灯の方向による放電開始電圧の差(0°C)

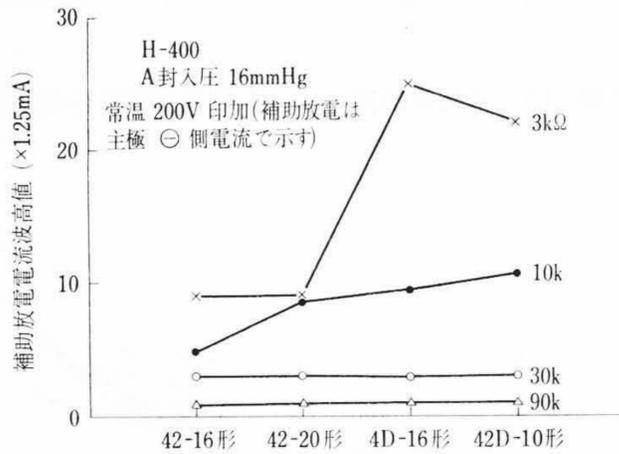


第19図(3) 点灯の方向による放電開始電圧の差

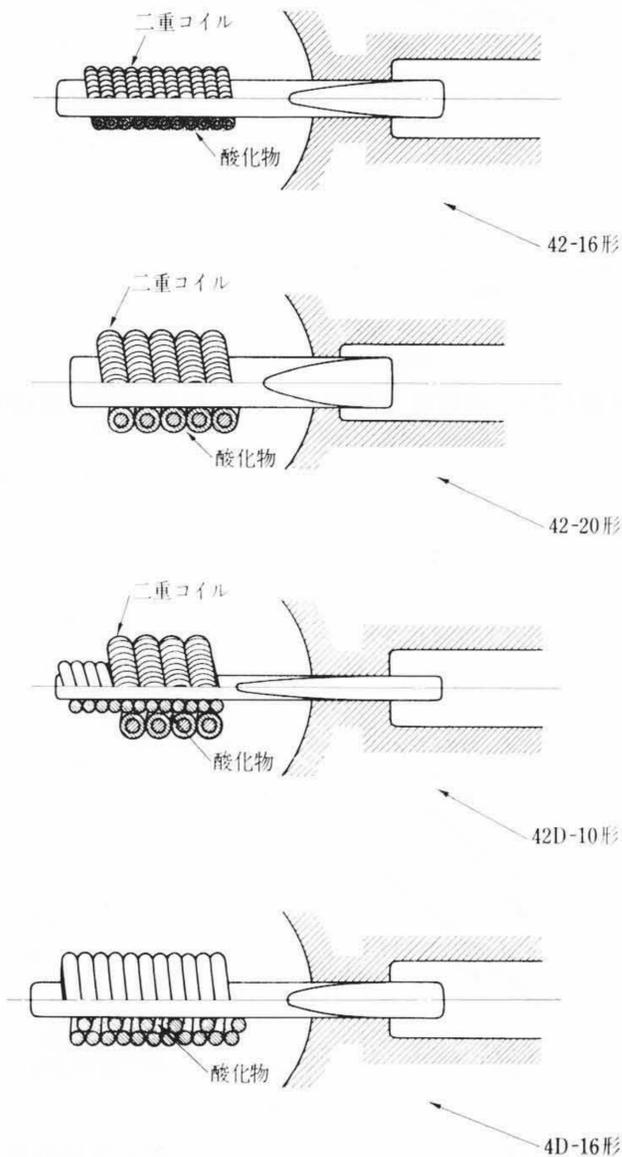
でおおわれた状態が肉眼で観察できる。このような状態では当然のことではあるが補助放電そのものの放電開始電圧が高くなることが予想される。第19図はこれらについての実験結果であり、つぎの



第20図 封入アルゴン圧および起動補助抵抗による補助放電電流の差



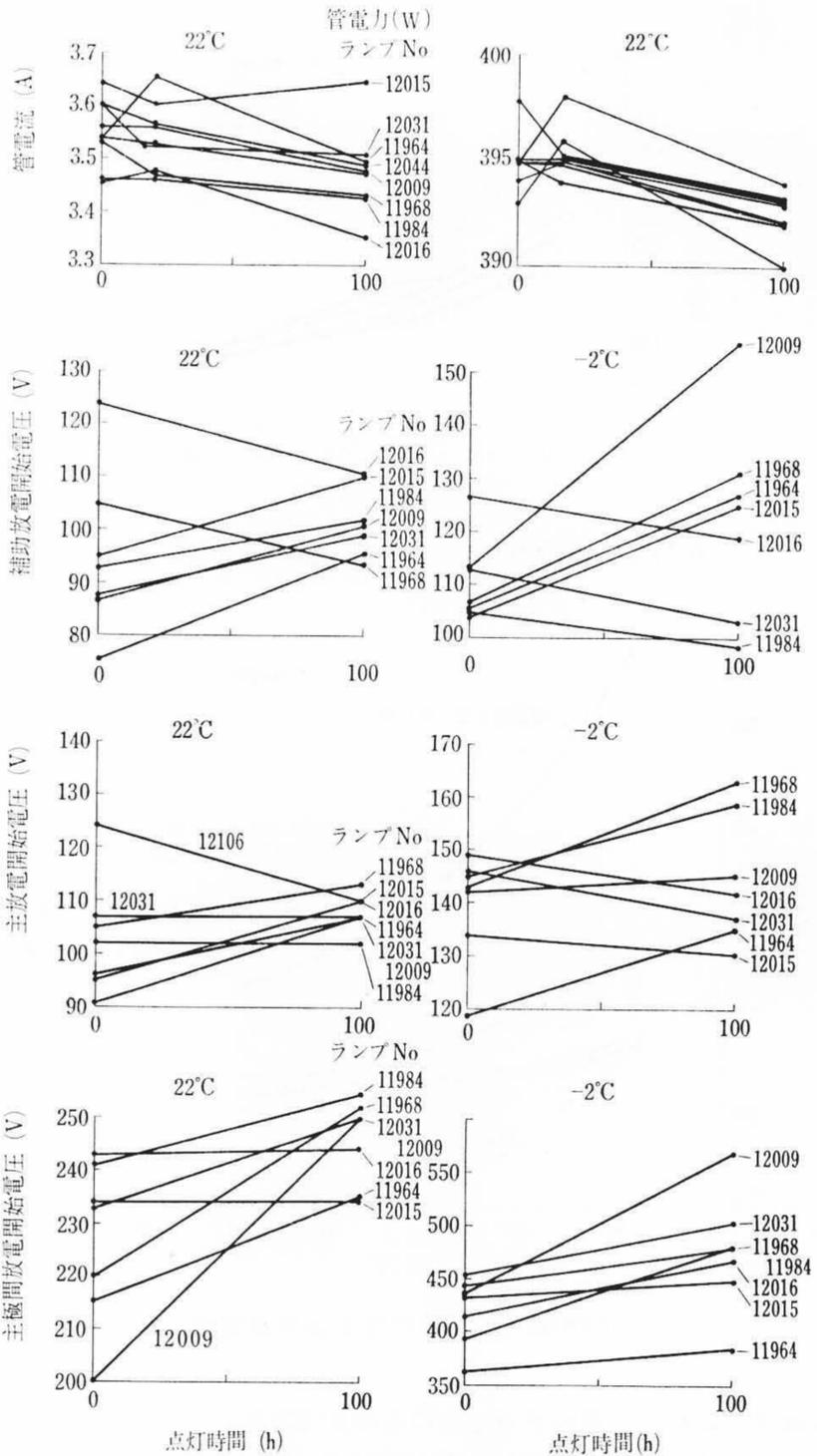
第21図 電極の相違および起動補助抵抗による補助放電電流の差



第22図 第21図の実験に使用した電極の構造

ように結論できる。

(A) 補助放電の開始電圧は上向き点灯の場合、下向き点灯より



第23図 初期の点灯による放電開始諸因子の変化例 (H-400, 42-16形電極)

高くなり、その差は常温で約5V、0°C以下では約20Vである。

- (B) 補助放電の開始そのものも低温になるに従って高くなるが、-20°C程度でも絶対値そのものは上向き点灯による上昇傾向を考慮に入れても定格電圧に対して十分余裕のある値である。
- (C) 主放電開始そのものは上下点灯の差が認められない。この原因は、主電極への水銀付着による影響が補助放電によって解消されるためと推定される。

4.2 起動補助抵抗による影響

起動補助抵抗の値による主放電開始への影響は前記第18図でその傾向はわかるが、この起動補助抵抗の相違は、換言すれば補助放電電流の値およびその波形の影響とみなすことができる。さらに、補助放電そのものは電極の構造や封入アルゴン圧によっても影響されるわけであり、これらについての実験結果を第20~22図に示す。すなわち、つぎのような傾向を持つといえる。

- (A) 抵抗値が3kΩ程度になってくると補助放電そのものが不安定となり、異常波高値が記録されるようになる。(放電の形態が異なってくる)
- (B) 異常波高値は封入アルゴン圧が高いほど発生しやすい。また、主電極の構造によっても影響を受け、10kΩ程度の抵抗値でも発生する場合がある。

(C) 異常波高値は低温になるほど発生しにくくなる傾向にある。

#### 4.3 初期の点灯による諸因子の変化

今まで種々検討を行ってきた補助極による放電開始の諸実験はいずれもランプ製作直後のものであり、ランプの寿命期間中には当然これらの諸因子は変化する。寿命期間中の長期にわたるこれらの変化については別稿にゆずるとして、ランプの特性が寿命期間中を通じてもっとも大きな変化をする、点灯初期の100時間程度のあいだにどのような変化傾向を示すかについて調べた結果の一例を第23図に示す。これらは、ランプの使用時、定格電圧で放電開始が不能となり、実質的にランプの寿命がつきることに関連するものであり、ランプの寿命という点からの検討項目であり、詳細は別稿にゆずることとする。

### 5. 結 言

以上、現在の照明用水銀ランプのほとんどの品種に採用されている起動補助極による放電開始の状態について、放電開始電圧の変化の傾向およびその影響要因などについて実験調査結果をまとめて述べた。

水銀ランプを実際に使用する場合の条件、たとえば電源電圧の変動などを考えると、ランプの起動の問題は、ランプの実質的な寿命と直接関連する問題であり、初期の起動そのものよりも、むしろ寿命期間中の起動影響要因の変化のほうがたいせつな問題となってくる。しかし、水銀ランプが現在より、さらに長寿命になり、広範囲に、また過酷な条件で使用されるためには、この起動の問題は、さらに基本的な点から検討し、解決することが必要と考え、本稿ではおもに現象的な面からの調査を行なった。

終わりに、本研究にあたり、たえずご指導を賜った日立製作所中央研究所山根・山本の両氏に深甚なる謝意を表す。

#### 参 考 文 献

- (1) たとえば、阪口：放電灯の起動ならびに再点灯に関する研究(昭-29)
- (2) D. W. Vyterhoeven: Elektrische Gasentladungs Lampen, p. 92 (1938)
- (3) H. K. Bourne: Discharge Lamps, 106 (1949)
- (4) 加納, 島津: 東芝レビュー, 19, 9 (1962)
- (5) R. J. Smith, W. C. Matz: 米国照明学会, 1961年総会論文, 12 (1961)
- (6) 広田, 合津: 照学誌, 46, 2, p. 13 (昭 37)
- (7) D. Harbert, O. Rost: Illum. Engng (June. 1955)

### 第 27 卷 目 次 第 3 号

- ・加 速 電 圧 50 万 ボ ル ト /  
——実用形超高圧電子鏡微鏡——
- ・法燈の町高野山に新装なった日本最大のケーブルカー設備
- ・“ひかり”号を走らせる384コの電刷子
- ・軽 量 時 代 の 立 役 者  
——軽合金鋳物に関する12問——
- ・新方式による電気炉用集じん装置完成
- ・日産自動車・座間工場の66kV屋外用キュービクル
- ・録 音 ミ ス は 昔 の 話  
——<レベルマチック>つきを——

- ・新時代を迎える“農村電話”日立全自動有線放送電話装置が完成
- ・いま静かなブームの日立全自動ドライクリーナ
- ・電線百話 第50話 あられ、ひしもち、ひな祭りと電線
- ・新 し い 照 明  
——大規模化するビル照明——
- ・読者の声 超小形で強力新しい日立家庭用ポンプ
- ・明日への道標：交流機関車の標準化 ED75形客貨両車  
交流電気機関車
- ・ハイライト：春を呼ぶ山々に日立ケーブルカー
- ・日 立 だ よ り

発行所 日立評論社  
取次店 株式会社 オーム社書店

東京都千代田区丸の内1丁目4番地  
振替口座 東京 71824 番  
東京都千代田区神田錦町3丁目1番地  
振替口座 東京 20018 番