

# 電球製作時における諸要因が初特性および寿命におよぼす影響について

## Effect of Various Factors in Manufacturing of Incandescent Lamps on the Initial Characteristics and the Life

山本徳太郎\* 高橋治男\* 本郷和郎\*

### 内容梗概

最近の一般照明用電球の進歩，すなわち製品品質の向上およびその製作技術の改善にはめざましいものがあるが，これが裏付けをなす基礎資料として，従来種々論議推定されてきた材料部品および製作上の諸要因について，あらためて現況に立脚した再吟味を行つた。そのうちここではタングステン線素材，アルゴンガスの圧力および濃度の問題を取りあげ，それぞれの要因が電球の初特性（消費電力，あかるさ，効率）および寿命などにかゝる影響あるかをまとめた。

### 〔I〕 緒 言

われわれの毎日の生活にとつてもつともなじみ深い家庭電気品である電球の最近2~3年間における品質向上，製作技術の進歩改善には，まことにめざましいものがあるといわねばならない。すなわち近代工業におけるもつとも代表的な量産品の一つとして，その製作方法のオートメーション化あるいは材料の検収，選定から完成品の発送に至る間の全工程を通じて，最近の数理にもとづく統計的品質管理法の駆使などなどである。そしていまやこれらの量産機構や生産管理方法の改変は，(1) 電球の効率や寿命の増大ならびに均斉化，(2) 二重コイル電球のような高能率電球生産比率の増加，(3) 生産原価の低減（コストダウン），(4) 日本工業規格 JIS C-7501（単コイル電球），7517（二重コイル電球）のレベルアップ（すでに案の調査審議は済んで，近く実施されるはこびになつている）となつて逐次具体化されつつある。

このような趨勢にさいし上述のような幾多の改善施策を実施し，その効果を100パーセント有効適切なものとするためには，これまでの材料，部品構造はもちろんのこと作業法，検査法などに至るまで，種々な面において工場の現況に立脚した再検討がなされ，確実な基礎と見透の上にたつことがまず必要である。かかる見地から電球製作時の諸要因（Factor）が，初特性あるいは寿命におよぼす影響について系統的にしらべてみた。

ここでは，そのうちタングステン素材，封入アルゴンガス圧および濃度の影響を，主として実際の球によつてしらべた結果を整理記述する。すなわちいずれの場合も対象となる要因以外の Factor，たとえば機械や製作日などはできるかぎり同一条件化し，製作上やむをえざる誤差変動は，無作為化（Randomization）する方法をとつて単コイル電球（L100V-40W）を製作し，要因の各段階における初特性，寿命係数，寿命時間などを整理し，品質改善の方向を求めた。

\* 日立蛍光ランプ株式会社

### 〔II〕 タングステン線材質の影響

#### (1) メーカーおよびロット間の差異について

まずタングステン線のメーカー別および同一メーカーであっても，インゴットおよび製作条件などをことにするロットにわけて次表のような組合せを行い，それぞれ25個のL100V 40W電球をつくり，5個ずつ110, 120, 130, 140, 150Vの各段階の過電圧効率  $E\left(\frac{lm}{W}\right)$  と過電圧寿命  $L(h)$  を測定する。

一般に電球の効率  $E$  と寿命  $L$  間の関係式として

$$LE^\alpha = \beta \dots\dots\dots(1)$$

ただし  $\alpha$  ..... 寿命指数

$\beta$  ..... 寿命常数

があり，通常寿命は効率の7.0乗（真空電球）あるいは7.1乗（ガス入電球）に逆比例するとされている。

すなわち(1)式は変形すると，

$$\log L = -\alpha \log E + \log \beta \dots\dots\dots(2)$$

となるので，このことは  $\log L$  と  $\log E$  は直線関係を有し，かつ指数  $\alpha=7.0$  or  $7.1$  なること， $\alpha$ 一定とした場合  $\beta$ の大きいタングステン線ほど材質的にすぐれているということになる。しかしながら，実際には  $\alpha$  はタングステン線や電球のフィラメント温度，したがつて品種により少しずつことなつた値をとるから，厳密には  $\beta$  の大小のみで決定できない。

第1表 タングステン線の材質に関する試料の組合表

Table 1. Combination Table of Several Tungsten Wires

試料名称	総製作数	タングステン線メーカー	タングステン線のロット名(記号化する)	備考
A a	25ヶ	A社	a	
B b	25ヶ	B社	b	
C c	25ヶ	C社	c	
A d	25ヶ	A社	d	
C e	25ヶ	C社	e	

かかる法則にしたがい本試作結果を、まず第1表のメーカーおよびロットの組合せによる試料別に、効率対寿命回帰直線図にまとめれば第1図となる。また(2)形式の実験式とし、回帰直線の相関係数(r)および定格100Vで日本工業規格(JIS C 7501)の中心効率10.7 lm/wになるよう製作された場合の寿命時間(標準効率換算寿命)といふ同一条件でつくられた場合に、タングステン線の良否を間接的に示すものと考えてよい)を求めると第2表となる。

(2) タングステン線のロットテスト成績

前項の結果からして、まだ試験個数が僅少とはいえ、タングステンロットにより寿命係数 $\alpha, \beta$ に非常な差異があり、タングステン線の良否に大きな懸隔があることが判明、電球製作上、すぐれたタングステン線の選定ということがいかに重要かが示唆された。

ここでなおこのような大きな差異については再確認すべきと考え、つぎの調査を行つた。すなわち工場では3~4年前よりメーカーの協力をえて、タングステンロットが生産された場合、細線引前に先行試験(ロットテスト)といひ、単コイル電球ではL100V-100Wで実施)を行ひ、結果のよいロットを指定購入している。したがつて上記各試料ロットについて納入前(通常1~2ヶ月前)に行われた100W球ロットテスト成績を集計し、対比してみると第2図のようになる。これによれば、今回のタングステン線別の電圧特性試験結果(第1表および第1図)

における素線の寿命良否は、非常によくその線のロットテスト時の優劣に合致することがわかる。すなわち少数の試験結果ながら、このように明確な直線関係が線のサイズ(60Wと100W線)および電球製作日(今回とロットテスト時)をこととした2回のテスト間にあらわれたことは、少くとも素線の品位に相当な懸隔があり、これまでよくいわれているとおり、この選定が電球生産の第1関門であることを物語るものである。

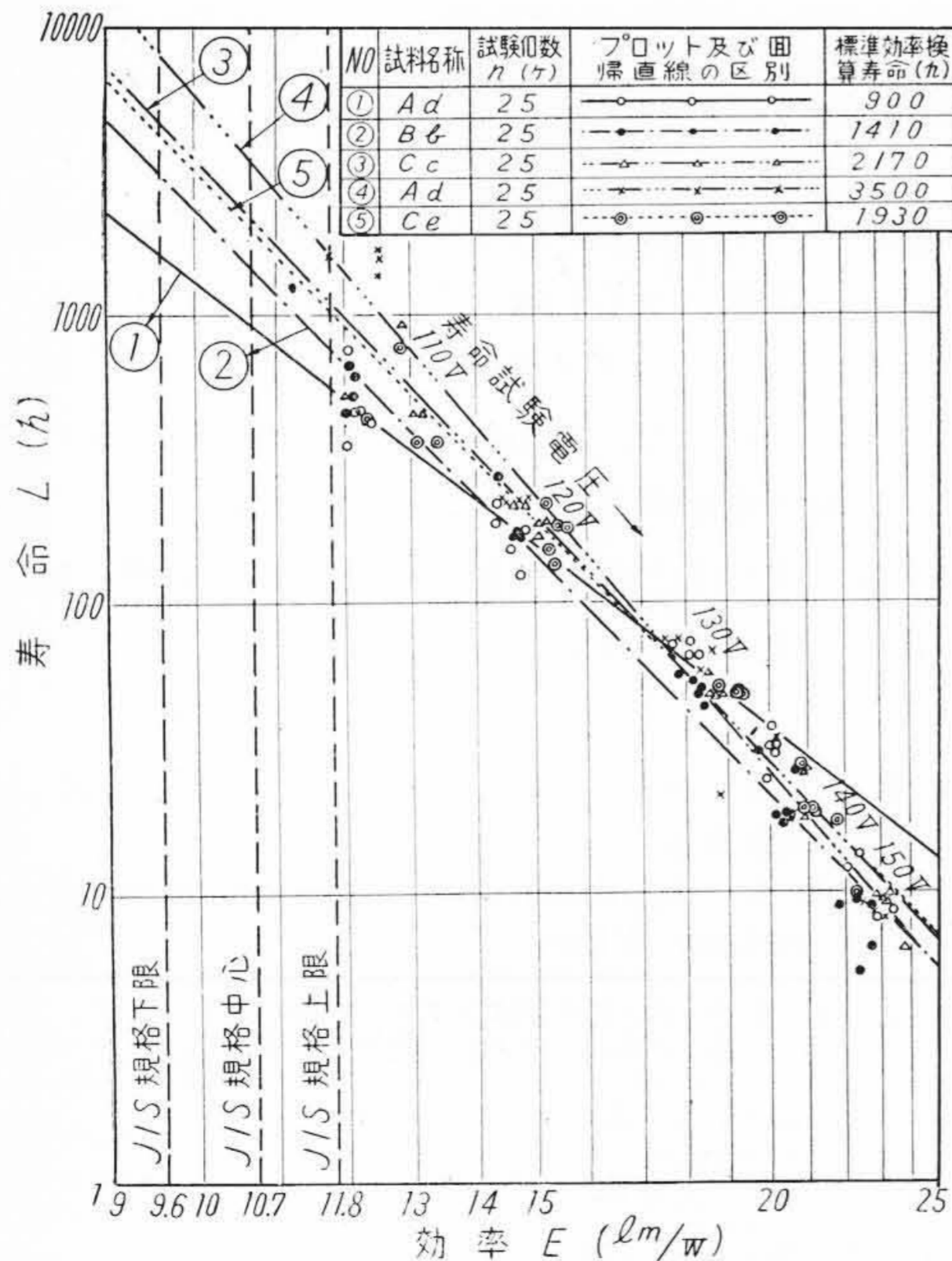
〔III〕 封入ガス圧について

電球があかるくなつて効率が改善されるにつれ、それだけタングステンフィラメントの蒸発は増大するので、これを防ぐために通常の電球では窒素、アルゴン、最近一部の球にてクリプトン、キセノンなどの不活性ガスが充填される。ただし一方においてガスは熱伝導や対流に

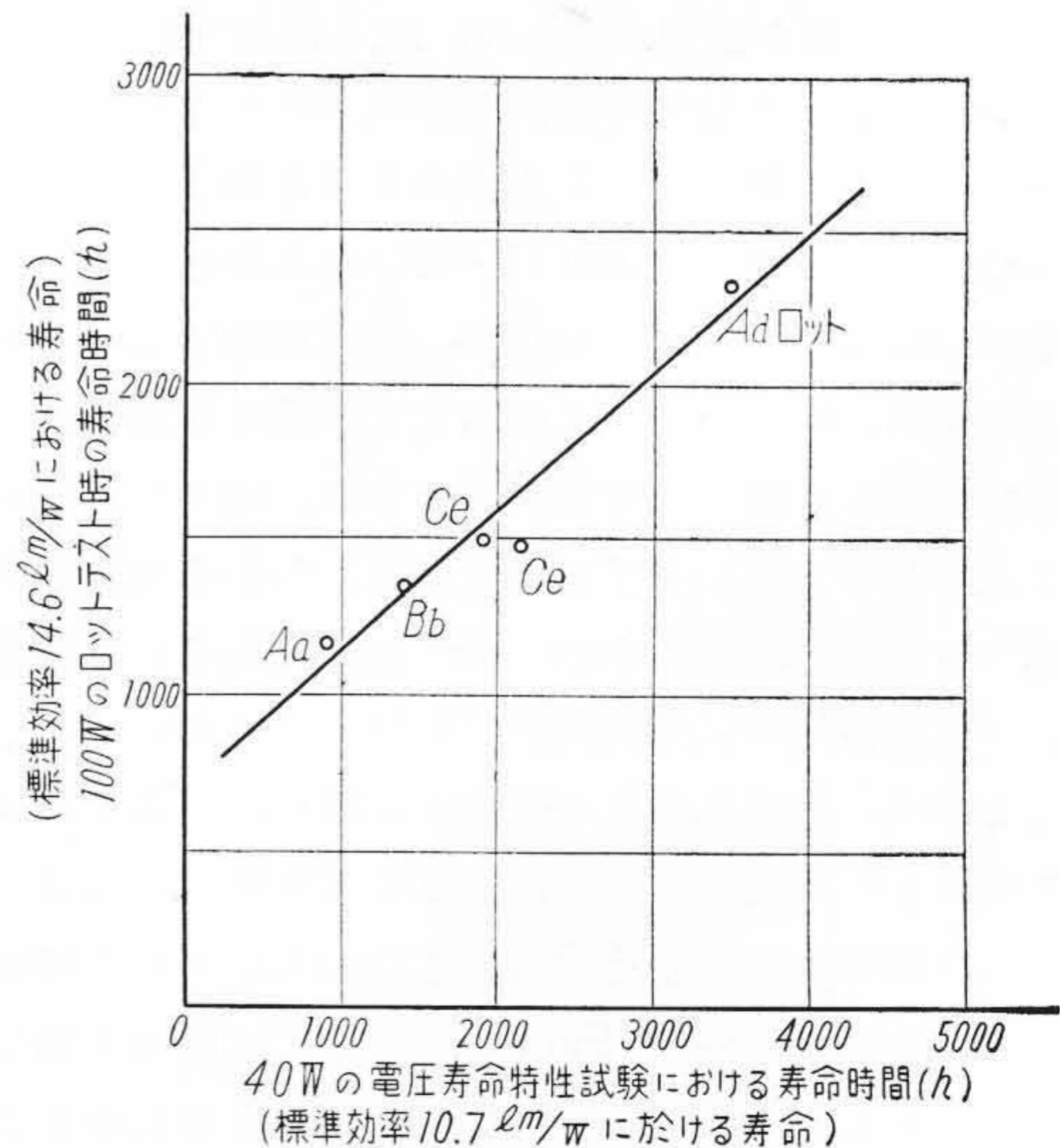
第2表 タングステンメーカー、ロット別の寿命実験式

Table 2. Empirical Formulas of Life for Several Tungsten Makers and Lots

試料名称	寿命実験式	相関係数 r	一定のあかるさに換算した場合の寿命(標準効率換算寿命)(h)
Aa	$\log L = -5.14 \log E + 8.253$	-0.956	900
Bb	$\log L = -6.76 \log E + 10.115$	-0.987	1410
Cc	$\log L = -6.98 \log E + 10.523$	-0.993	2170
Ad	$\log L = -7.81 \log E + 11.574$	-0.988	3500
Ce	$\log L = -6.82 \log E + 10.315$	-0.989	1930



第1図 各タングステン線ロットの寿命特性図  
Fig. 1. Life Characteristics of Tungsten Wire for Different Lots



第2図 ロットテスト(100W)の時の寿命と電圧寿命特性試験(40W, 第1図)より求めた寿命の相関図

Fig. 2. Relation between Life at 100W Lot Test and Life at Voltage Life Test (40W, Fig. 1)

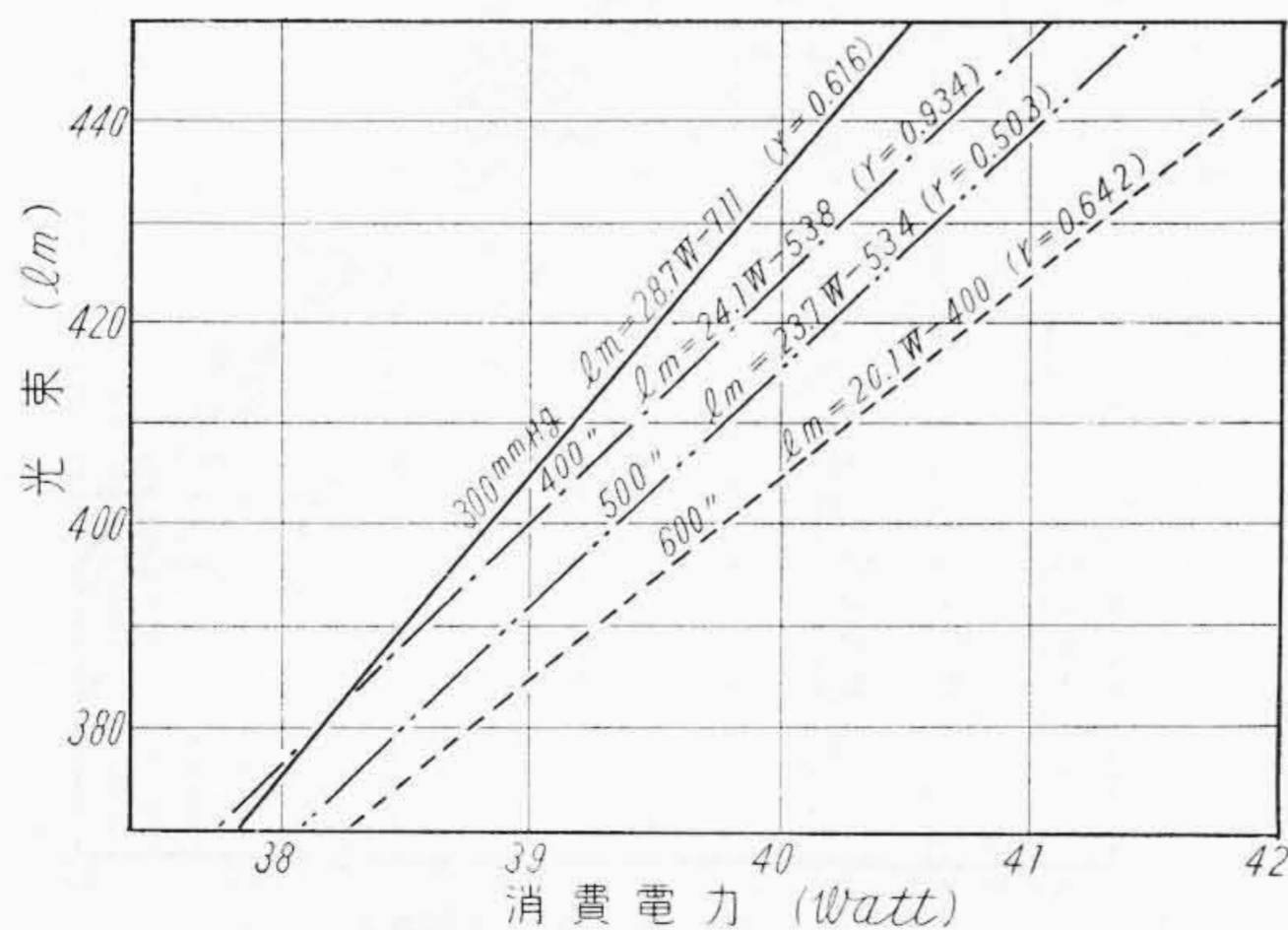
よつて 10~20% 程度の熱損失を招く。そこでもつとも普通に用いられるアルゴンガスについてその圧力および濃度をかえて行つた場合に、電球の初特性や寿命にどのような影響をあたえるかについてあらためて検討をくわえることとした。

すなわちアルゴンガスの圧力のみ 300, 400, 500, 600mmHg の 4 段階に変化させ、そのほかの条件は極力均斉化して 40W 電球各 25 箇をつくり、まず消費電力と光束 (第 3 図) およびガス圧と効率 (第 4 図) の関係を求めた。すなわちガス圧が増加するほど熱伝導および対流による熱損失がふえ、同一消費電力ではフィラメント温度は下がり効果は落るが、一方上記タングステン線の場合と同様にして、ガス圧と寿命の関係を電圧をかえて測定すると第 5 図のようになり、圧力増加により寿命特性はいちじるしく改善され、寿命常数  $\beta$  も大きくなることわかる。ただし第 3 図特性図は、フィラメント継線伸率などの製作時における誤差変動をできるだけ補正したもので、煩瑣をさけるため各点のプロットは略し、それぞれの回帰直線、関係式および相関係数のみを示した。また第 5 図について寿命実験式、相関係数をまとめれば第 3 表となる。

なおこの表における計算寿命とは、600 mmHg にて 3,360 時間という標準効率換算寿命を基準にして、圧力が減少した場合の寿命を、タングステンの蒸発式より計算

第 3 表 各ガス圧における寿命実験式  
Table 3. Empirical Life Formulas for Various Gas Pressures

ガス圧 (mmHg)	寿命実験式	相関係数 $r$	標準効率換算寿命 (h)	計算寿命 (h)
300	$\log L = -7.57 \log E + 11.050$	-0.956	1840	1790
400	$\log L = -7.57 \log E + 11.202$	-0.980	2750	2340
500	$\log L = -7.74 \log E + 11.360$	-0.990	2600	2860
600	$\log L = -8.21 \log E + 11.958$	-0.990	3360	3360

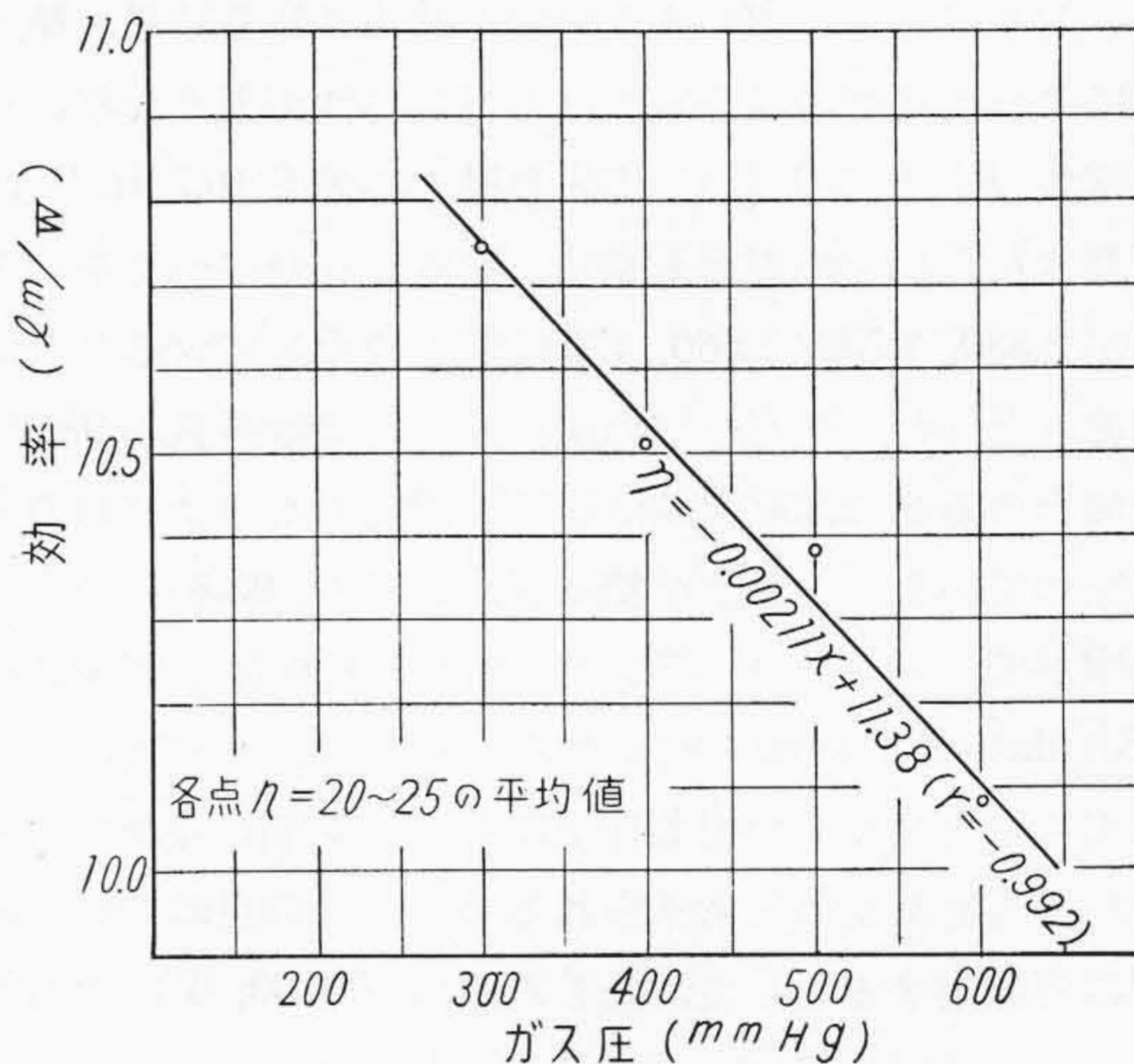


第 3 図 各ガス圧における消費電力と光束の相関図  
Fig. 3. Relation between Flux and Watts at Different Gas Pressures

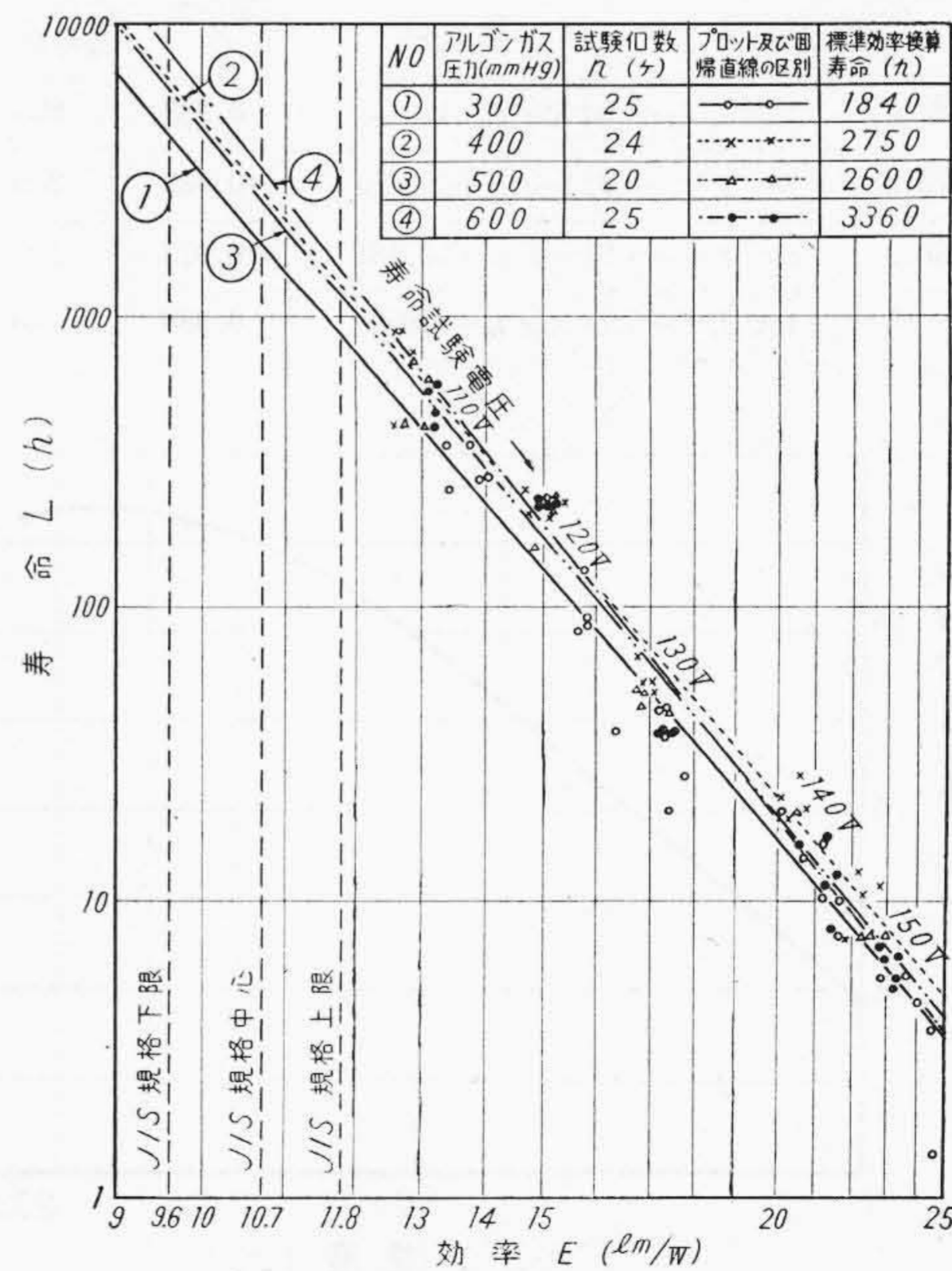
推定したもので、実測値と多少の喰違いは見られるが、比較的良好一致し、製作ならびに試験条件の均斉化において大きな誤りがなかつたことがわかる。

〔IV〕 アルゴンガス濃度の影響

前述のように電球の消費エネルギーの十数パーセントが、ガスの熱伝導および対流によつて失われ、効率を下げることとなるが、気体の熱伝導率は分子量の平方根に逆比例し、重い気体ほど熱を伝えないので、この度合は



第 4 図 効率におよぼすガス圧の影響  
Fig. 4. Effect of Gas Pressure on Efficiency



第 5 図 各ガス圧における寿命特性図  
Fig. 5. Life Characteristics at Different Gas Pressures

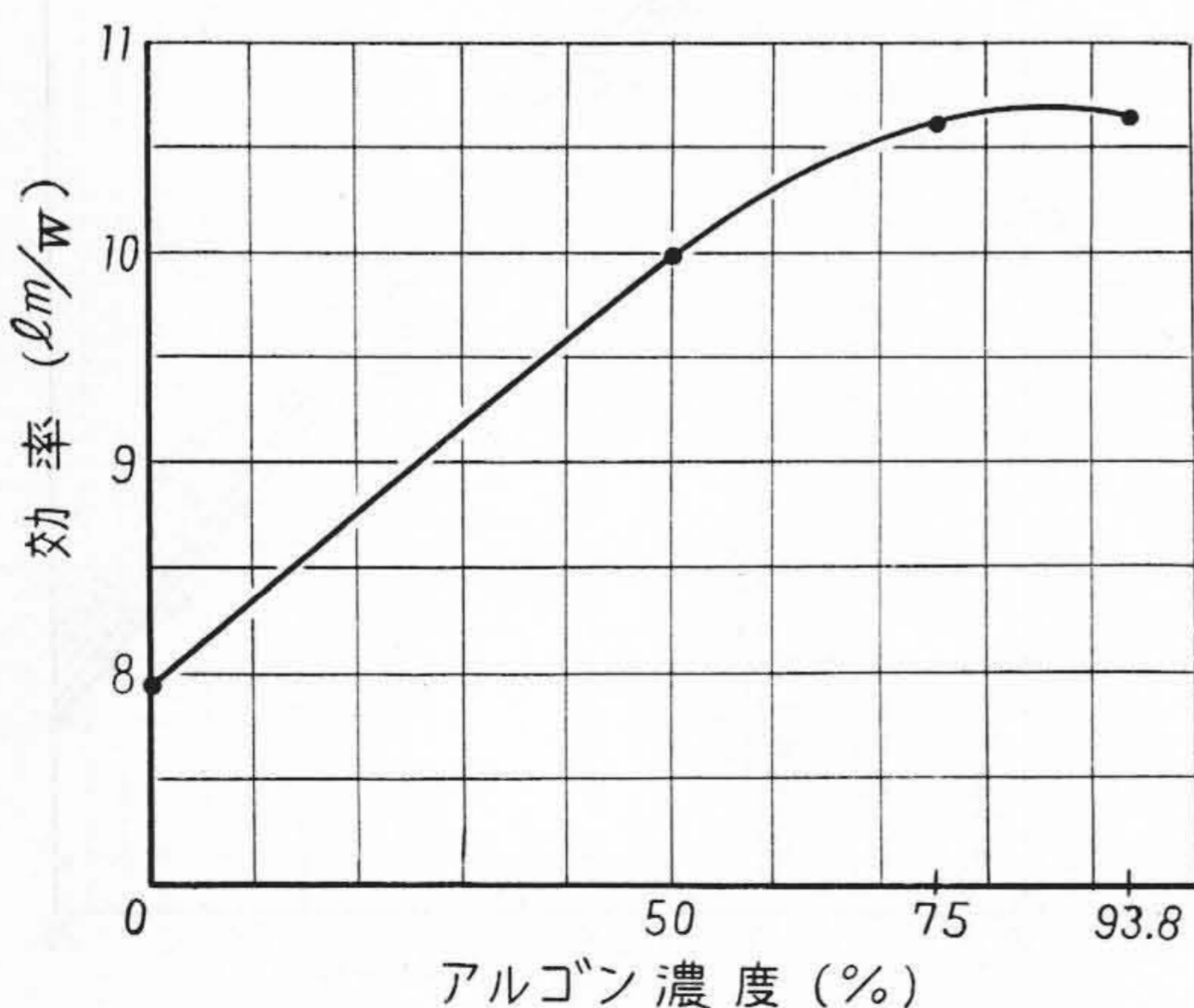
アルゴンガスと窒素ガスの割合（以下濃度という）によつて変化する。

そこでアルゴンガス濃度 93.8, 95.0, 50.0, 0%（100%窒素ということ）と変えて、電球とし濃度と効率の関係（第6図）および 110~150V の5段階過電圧寿命特性（第7図）を測定し、現状において濃度をあげることが、何パーセントの改善に相応するかを求めた。

結果を要約すれば、(1) 濃度が高いほど効率は改善され、熱損失の割合が少くなり、その大略の傾向は第6図のとおりである。(2) また効率が改善される結果、第7図によれば濃度の高いものほど寿命特性がよくなり、寿命常数  $\beta$  の値も大きく、JIS規格中心効率 10.7 lm/W に換算された場合の寿命も長く、濃度にしたがつてその差異が 2,330, 2,750, 1,560, 470 時間と変化していることが明確となつた。ただしこの図において濃度最良の 93.8% の場合の寿命 2,330 時間が 75% 濃度のものより短寿命になつていることおよび第6図における、93.8% の点の効率が低くほとんど 75% の場合と変りなく飽和曲線 (Saturation Curve) となつていることについては、同一理由にもとづくもので製作上になにか予期しなかつた変動が混入したためと考えられるので、この点については別に再測定するとして、むしろ濃度 75, 50, 0% の特性

第4表 各アルゴンガス濃度における寿命実験  
Table 4. Empirical Formulas Life for Various Argon Concentrations

ガス濃度 %	寿命実験式	相関係数 r	標準効率換算寿命(h)
93.8	$\log L = -7.04 \log E + 10.591$	-0.983	2330
75.0	$\log L = -7.25 \log E + 10.879$	-0.982	2750
50.0	$\log L = -6.81 \log E + 10.181$	-0.973	1560
0	$\log L = -6.14 \log E + 8.959$	-0.986	470



第6図 効率におよぼすアルゴン濃度の影響  
Fig. 6. Effect of Argon Concentration on Efficiency

改善、寿命増大の傾向に注目する必要がある。

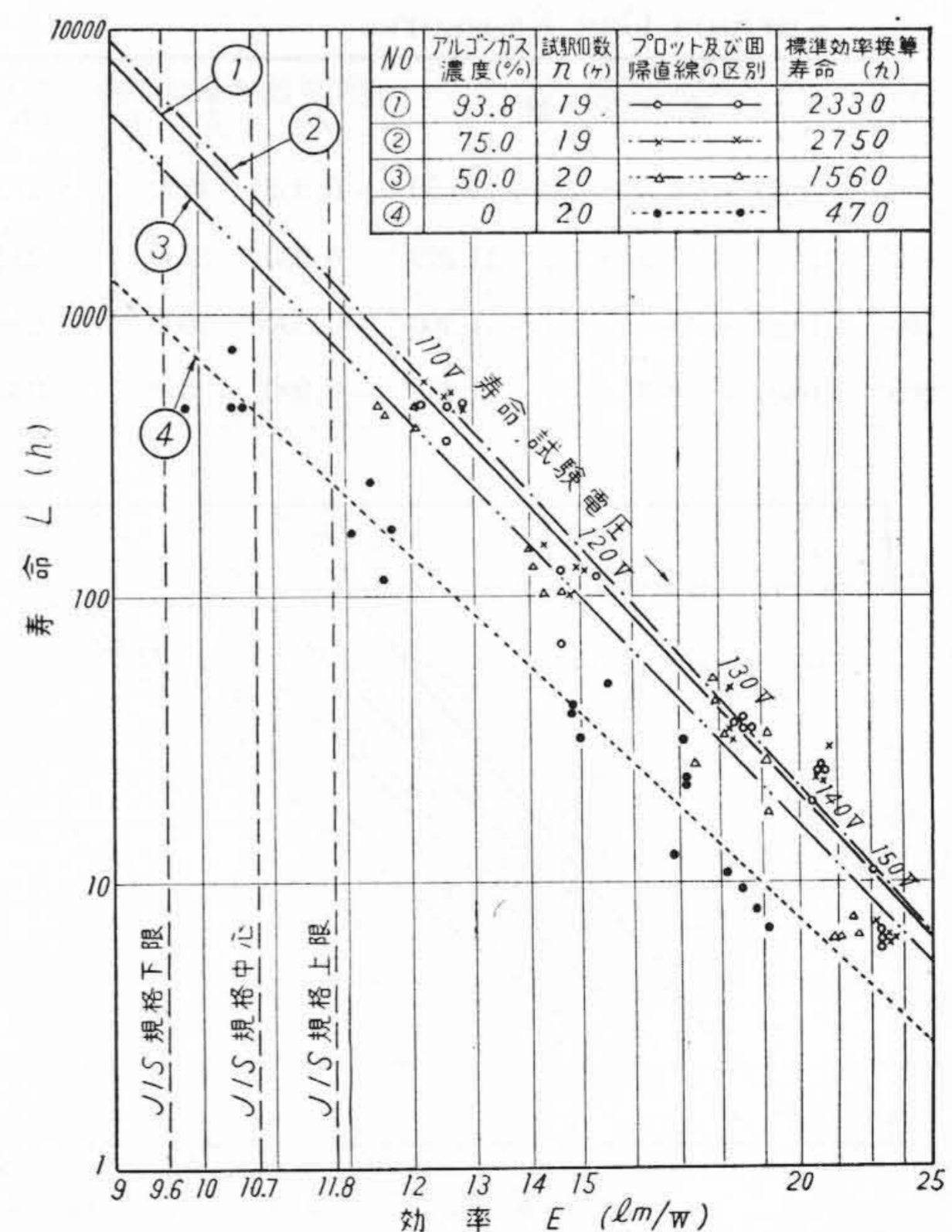
なおこの場合の実験式、相関係数は第4表のようになる。

### 〔V〕 結 言

電球工業全般のレベルアップ、二重コイル電球などの高能率電球生産の増大および日本工業規格の改訂などともない、工場においては細かな材料から部品に至る数多くの材料の入手選定の適正化、製作技術の改良などが相次いで実施されつつあるが、このような具体化のかけには、工場において従来経験してきた事柄についてもあらためて再検討し、現在の製作技術における変動（級内変動）や主要要因の製品特性および寿命におよぼす影響についてのたえざる調査研究が必要である。これらのうち、タングステン素材およびアルゴンガスの圧力、濃度の影響をここにまとめたものである。

ただし以上の結果は、まだわずかなものの実験結果にすぎないので、今後これらの結果に補遺し、総合された型において理論的な考察を加えてみたい考えである。なおこれとは別にほかの諸要因についての調査結果も逐次発表して、多数の方々の御一考と御叱正がえられれば幸である。

終りにのぞみ本実験を遂行するに当り、種々協力を賜りました日立蛍光ランプ株式会社電球課、検査課および技術課の関係者に厚く感謝の意を表す。



第7図 各 Ar 濃度における寿命特性図  
Fig. 7. Life Characteristics at Different Argon Concentrations