

螢光放電燈による人工照明

基礎編 I

螢光放電燈と白熱電球との量的比較に就て

岡山大学医学部衛生学教室（指導：緒方益雄教授）

専攻生 成 瀬 龍 城

〔昭和31年10月17日受稿〕

第1章 緒 言

人類文化の発達と共に燈火も亦幾多の変遷を見た。アッシリヤ、バビロニアの太古より、又神代の遠き時代から光り輝く太陽が崇められ、光明を善として之を尊び憧れ、暗黒を悪として之を恐れこれより遁れんとした。そして我々の祖先はより良き光源を作り、世の中をより明るくせんと努力を重ねた。我が国に於ても燦火の時代より燈台、行燈、石油ランプを経て明治初年ガス燈が輸入され、1878年（明治11年）炭素アーク燈が点ぜられた。翌1879年（明治12年）Thomas A. Edison が白熱炭素電球を発明、1882年（明治15年）東京電燈会社が創立され、電球の改良と共に急激に普及して近年に至った。然し白熱電球は光色と効率に於て遙かに劣り、冷光への撓ゆまざる研究の結果、遂に1938年（昭和13年）アメリカ General Electric 会社の Inman により、優れた効率と秀でた色光を出す今日の螢光放電燈が完成され、理想の燈火として世の中に現われたのである。我が国に於ても之と同時に研究に着手し、1940年（昭和15年）より昼光色螢光放電燈の生産が開始され、同年8月27日に法隆寺金堂壁画の模写用光源として実用化の輝かしき第一歩を踏み出したのであるが、不幸にも太平洋戦争に突入した為著しく発達が阻害された。然し終戦後間もなく再び生産が開始され、その優秀性を以て燎原の火の勢を以て普及しつつある。この理想的新光源と云われる螢光放電燈の、現在長所と

して挙げられている点を記せば 1) 効率が高い 2) 輝度が低く光が拡散性である 3) 螢光物質の組合せ如何により、種々の光色が自由に得られる 4) 熱輻射が少い 5) 寿命が長い 6) 耐震的であること等である。その一面短所としては 1) 点燈に時間がかかる 2) 交流で点燈する時チラツキを生ずる 3) 点燈に附属装置を必要とする 4) 低温では点燈し難い点等が指摘されている。斯くて螢光放電燈は革命的な人工光源として世に喧伝せられ、驚くべき普及率を以て広く日常生活に滲透し、我々と密接な関係を有するに至った。然しこの螢光放電燈は、果して理想的な人工光源であろうか。従来も新しきものが世に出ても日ならずして姿を消し、過去の遺物となつたものも決して尠くない。今日迄螢光放電燈に関する理論的技術的研究は、電気学者、照明学者によつて可成多くの業績が発表されているが、出現以来日尚浅き為か、人工照明としての螢光放電燈の影響に関する研究は、未だ殆んど見当らない。よつて余は桑原と共同して、人工光源としての螢光放電燈の影響を、量的及び質的両方面より、白熱電球のそれと比較検討することとし、余は主として基礎的実験を、桑原は臨床的応用方面を担当した。即ち、余は本実験に於て、光度、輝度、効率、表面温度、温度特性、点燈初期の光度変化、螢光放電燈各部分の明るさ、照度曲線、電源電圧との関係、照度の時間的变化、動程及び寿命等に就て両者を比較研究したのでその結果を報告する。

第2章 人工光源発達の歴史¹⁾²⁾³⁾⁴⁾

古今東西孰れの民族の歴史をみても、皆光明と暗黒との対立の物語を以て始つて居り、燈火は最も神聖なものとされて尊崇されていた。而して人工の光で暗黒を征服することは、人間が火を作ることを覚えて以来の宿願であつたが、19世紀頃迄の進歩は極めて遅々たるものであつた。即ち太古の世にあつては木を燃やし、次で油を光源とした。この油も最初は動物性の魚油であり、次で植物油となり、最後が近年迄使われて来た鉱物性の石油である。後ガス燈が出現し、漸く近代光源としての脚光を浴びるに至つたが、尚大部分のエネルギーは熱に変わり、極く一部分だけが光になるという効率の悪いものであつた。他方1802年 Sir Humphrey Davy が白熱アークの実験を行つたことにより白熱電球研究の端を發し、De la Rue, William Robert Grove を経て1841年 Frederick de Moleyns は電球に関する世界最初の特許を得、1845年には J. W. Starr も白金と炭素とを發光体とする電球2種の特許を得た。Starr は甘蔗の繊維を焼いて炭素フィラメントを作らんと試み、これに關聯し、真空の必要なこと、及び温度と効率との間に法則の存在することを認めたが、之が後年 Edison の發明に寄与したのである。又 Jobart, W. E. Staite, M. J. Roberts, M. de Changy, Moses G. Farmer, Alexandre de Lodyguine, Konn, Tyler, William E. Sawyer, St. G. L. Fox 等は諸種金属を發光体材料とする電球を發表し、更に Heinrich Goebel, Joseph W. Swan, W. E. Sawyer, Albon Man 等により炭素電球の研究が進み、遂に1879年 Thomas A. Edison の頭上に、実用的な白熱炭素フィラメント電球の發明者としての榮冠が輝くに至つたのである。其の後暫くガス燈と電燈との競争が続いたが、1909年 Alexander Just, Franz Hannaman 及び W. D. Coolidge により真空タングステン白熱電球が完成され、人工光源としての優位を確立するに至つた。同年 Irving Langmuir は、電球内に

不活性ガスを封入することによつて効率を高め得ることを發表し、1921年(大正10年)三浦順一は2重コイルフィラメントの使用により、更に効率の良くなることを發明、1925年(大正14年)不破橋三及び-Marvin Pipkin により、効率に殆ど変化なく、しかも著しく輝度を低下させた内面艶消電球の出現となつた。然しこの白熱タングステン電球も、輻射エネルギーは入力¹⁾の80~90%に及び、効率も100 Volt 60 Watt 電球にて12 lm/Wに過ぎず、且フィラメント温度は2400°~2700°Kで、太陽光に比較して光色の違いが著しい。白熱電球の最大の欠点たるこの効率を更に向上させるには、フィラメント温度を上げなければならず、斯くすれば電球の寿命は著しく短くなる。例えば100 Volt 60 Watt ガス入電球にて、電圧100 Volt の時色温度2780°K、効率12.20 lm/W、寿命1000時間のものが、130 Volt にて点燈すれば、色温度は3090°Kとなり、効率も20.38 lm/Wと良くなるが、寿命は僅か28時間となる。又光色を改善する為には、色ガラスによつて長波長側の赤黄系統の輻射を減ずるほかに、その為²⁾に効率を犠牲にしなければならぬ。斯くて白熱電球は、効率と光色の点から、その進歩は殆んど行詰りの状態となつた。斯くの如き温度輻射のみに頼る光源の行詰りは、既に以前から予想されていたところであり、新しい光源として、温度輻射以外の電気ルミネッセンスを利用する研究も可成進んで行われて来た。

適当な気圧で気体又は金属蒸気を封入した、両端に電極をもつ細長いガラス管、即ち放電管の電極間に電圧を加えると、管内に放電が起り、發光現象が見られる。この發光を利用した光源を放電燈と云う。放電燈への関心は、1850年 Geisler の研究に始まり、Sir William Crookes, Mc Farlan Moore, Cooper-Hewitt 等の諸研究を経て、1918年 A. Claude はネオンサイン管を完成、M. Pirani は高効率のナトリウム放電燈及び高圧水銀燈を發明、C. Bol は超高圧水銀燈(300 気圧)を發表したが、此等は光のスペクトルエネルギー分布が天然

昼光とかけ離れて悪く、複雑な装置を必要とし、且高価の為一般照明用光源としては尚不適当であつた。斯くて効率の良い、換言すれば冷光と共に太陽光に類似する白色光源を、人工的に創ることに就て多くの努力が払われた。1936年ドイツの Rüttenauer は、水銀入りのネオンサイン型の高電圧放電燈の内壁に、螢光塗料を塗つて白色を出させることに成功したが、高電圧を必要とし、且余りに細長に過ぎて一般室内用照明には不便であつた。やがてこの放電燈の改良と、電圧を低くする方法として特殊の電極と起動法とに成功し、遂に1938年(昭和13年)4月21日アメリカ General Electric 会社の G. Inman によつて、優れた白色性と、高能率且実用的な点燈方式を有する低電圧水銀燈を母体とした、今日の型の螢光放電燈が完成されたのである。

第3章 螢光放電燈の概要¹⁾³⁾⁴⁾⁵⁾⁶⁾

螢光放電燈には a) 冷陰極型螢光放電燈即ち螢光ネオン b) 低電圧熱陰極型螢光放電燈 c) 高電圧熱陰極型螢光放電燈一名スリムライン型螢光放電燈 d) 環型螢光放電燈 e) 速時起動型螢光放電燈等の諸型式があるが、此等の中一般照明用として、最も多量に使用されている標準型の低電圧熱陰極型螢光放電燈(以後単に螢光放電燈と云う)に就て述べる。

第1節 螢光放電燈の構造⁷⁾⁸⁾

螢光放電燈は低電圧水銀燈の1種で、外見上白く塗つた細長い直円筒のガラス管の両端にバリウム、ストロンチウム等の酸化物たる電子放出材料を被覆したタングステンの2重コイルフィラメントの熱陰極と、その両端に熔接した2つのニッケル線の陽極より成る電極を封入し、之に通ずる2本のピンを有する口金がある。螢光放電燈は普通交流で点燈されるから、両端のフィラメントは、半サイクル毎に交互に陽極となり陰極となる。管内には数 mg の水銀と、放電開始を容易にする為に数 mm 気圧のアルゴンを封入する。管壁内面には螢光物質を1種又は数種組合わせて薄く均等に塗布してある。この螢光物質の種類に

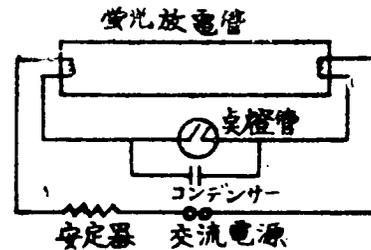
よつて、光色を可成広範囲に変えることが出来る。

第2節 螢光放電燈の特性

第1項 点燈方式

螢光放電燈の点燈方式は数多あるが、最も普遍的に使用されているのは glow switch による回路(第1図)である。即ち管電流を或

第1図 グロースイッチによる点燈回路



一定値に制限する為安定器(交流ではチョーク・コイル、直流では抵抗)を放電管と直列に接続し、又放電を容易にする為の点燈管(glow switch)を、それと反対側に放電管に並列に入れる。ラジオに対する雑音を避ける為には、点燈管に並列にコンデンサーを入れると良い。安定器の損失は、20 Watt 螢光放電燈で 4 Watt 即ち約25%である。

第2項 螢光物質

螢光放電燈は、水銀蒸気中の放電によつて生ずる紫外線(主に2537 Å)が、管壁に塗布された螢光物質を刺戟して可視光線を出さしめるものである。Stokes の法則(1852年)によれば、一般に螢光が発する輻射の波長は、照射された輻射の波長より常に長い。螢光放電管に使用される螢光物質は、波長 2537 Å の紫外線によく感じ、且充分安定なものが必要である。現在最も広く用いられているのは、Ca-halo-phosphate : Sb 又は Mn (その螢光は白色)、CaWO₄ (青色)、MgWO₄ (青白色)、ZnSiO₃ (緑色)、CaSiO₃ (橙色)、CdB₂O₅ (桃色)、CaB₂O₅ (黄色)等で、此等を1種又は数種適量混合することにより、比較的自由に光色を変えられる。螢光放電燈では、チラツキを出来るだけ少くする為、残光時間の長いものがよい。実用上残光時間が10⁻³秒未満のものは、全く残光を伴わないものと看做し得

第1表 各種螢光体の残光時間

螢光体	螢光の色	励起波長	残光時間
CaWO ₄	青	2537 Å	1×10 ⁻⁵ 秒
MgWO ₄	青 白	〃	5×10 ⁻⁵
ZnSiO ₃	緑	〃	14×10 ⁻³
CdSiO ₃	橙	〃	24×10 ⁻³
CdB ₂ O ₅	桃	〃	16×10 ⁻³
ZnS	青	3650	3.4×10 ⁻³
ZnCdS	黄	〃	3.0×10 ⁻³

る(第1表)⁹⁾。

螢光物質¹⁰⁾の螢光強度は、温度が著しく高くなれば急激に減弱するが、实用範囲の0°~80°Cの間では温度に殆んど影響されない¹¹⁾。

第3項 周囲温度の影響

然し紫外線2537 Åの輻射効率は、水銀蒸気圧に関係し、水銀蒸気圧は管壁温度に左右される。而して管壁温度はその周囲温度に影響されるから、螢光放電燈の効率は周囲温度と密接な関係を有することになる。一般に螢光放電燈の最大光束は、周囲温度20°~25°Cの時に得られ、それより高温でも低温でも効率は減少する。管周囲の空気が動くと管壁からの熱損失が大となるから、風の影響も考慮しなければならぬ。

第4項 効率、電力と管の大きさ、電流、電圧の関係

電流と管長が一定で管径のみ増す時は、光束、電圧共に減ずるも効率はあまり変らない。電流と管径が一定で管長のみ増す時は、電圧、電力、光束何れも増加し効率も高くなる。電流密度と管長を一定にして管径のみ増した時は、管電圧は降下し、電力及び光束は増加するが効率は低下する。管長、管径を一定にして電流のみ増す場合は、電圧は下り電力と共に光束も増加するが、効率は却つて悪くなる。又電源電圧の変動に対する光度の変化は、電圧1%に対して1~2%で、白熱電球の3.0~3.5%より少い。

第5項 輝 度

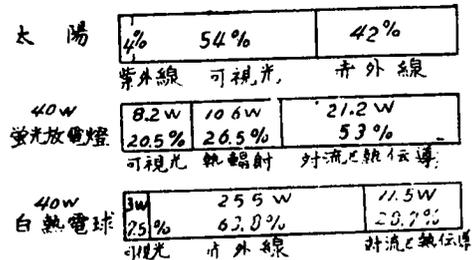
螢光放電燈は、斯様に最適温度と電流密度の制限の為、電球に比して電力の割に長大と

なる。光は螢光膜の全面から発散されるので、発光面積が大きく、従つて輝度が低い。この利点の反面投光器用光源としては不適である。

第6項 効 率

螢光放電燈は、水銀の2537 Å線の良好な発起能率と、これによつて有効に励起される螢光物質の組合せによつて優れた能率が得られる。即ち白熱電球では入力60 Wattで6 Watt(10%)、40 Wattで3 Watt(7.5%)に対し、螢光放電燈では40 Wattで8.2 Watt(20.5%)、20 Wattで3 Watt(15%)の可視光線が得られる(第2図)⁵⁾。

第2図 各種光源の輻射エネルギー配分



第7項 寿 命

白熱電球では、定格電圧より高い時のみ寿命が短くなり低い時は延長するが、螢光放電燈では電源電圧の変化は、高低何れも寿命が短くなる。又点滅を繰返す時は、熱陰極の消耗激しく著しく短命となる。更に螢光物質の変質が関与し、点燈後最初の100時間迄は急速な発散光束の減衰が認められ、以後は比較的安定する。光束が初期の60%に低下した時、又は放電不能になる迄の時間を寿命と云い、我が国の螢光放電燈の規格では3000時間とされている。

第8項 光のチラツキ

光のチラツキ%は $\frac{\text{最高光度} - \text{平均光度}}{\text{平均光度}} \times 100$

で示される。螢光物質の残光性の長い物程少く、最初の点燈時、寿命の終端、電源電圧の変動、高速度に移動する物体を視る時等に現われる。普通螢光放電燈では青色90%、昼光色55%、白色35%、桃色20%で、白熱タングステン電球40 Wattの13%、100 Wattの5%

に比較して非常に大きい。然し2燈或は3燈式フリッカレス回路を用うれば、昼光色螢光放電燈で夫々25%、7%と可成改善される⁹⁾。

第3節 螢光放電燈の種類と規格
次に我が国のマツダ螢光放電燈の種類と特性を表示する⁹⁾。

第2表 螢光放電燈の種類と特性 (マツダ螢光放電燈)

形式	種別	1) 大きさ (W)	2) 長さ (mm)	管径 (mm)	管電流 (A)	管電圧 (V)	定格電圧 (V)	放電開始電圧 (V)	3) 輝度 (c/cm ²)	4) 全光束 (lm)	効率 (lm/W)	5) 平均寿命 (h)
FL-10D-A	昼光色	10	330	25	0.22	50	100	94以下	0.65	350	36.0	2000
FL-10W-A	白色	10	330	25	0.22	50	100	94 \approx	0.72	380	40.0	2000
FL-20D	昼光色	20	580	38	0.35	62	100	94 \approx	0.48	750	39.0	3000
FL-20W	白色	20	580	38	0.35	62	100	94 \approx	0.53	840	43.0	3000
FL-20B	青色	20	580	38	0.35	62	100	94 \approx	0.15	230	12.0	3000
FL-20BW	青白色	20	580	38	0.35	62	100	94 \approx	0.35	555	29.0	3000
FL-20Pk	桃色	20	580	38	0.35	62	100	94 \approx	0.20	320	17.0	3000
FL-20G	緑色	20	580	38	0.35	62	100	94 \approx	0.67	1050	55.0	3000
FL-40D	昼光色	40	1198	38	0.42	106	200	180 \approx	0.54	1850	47.0	3000
FL-40W	白色	40	1198	38	0.42	106	200	180 \approx	0.61	2100	53.0	3000

註 1) 昼光色及び白色の色温度は、夫々 6500°K 及び 4500°K を標準とする。

2) 大きさは放電管電力のみを示し、総電力は之に安定器損失 (10W 用で約 2.5W, 20W 用で約 4.5W, 40W 用で約 9W) を加えたものである。

3) 放電管の中心に於て、管軸に垂直方向の輝度の最大値。

4) 全光束は平均水平光度の約 9.25 倍である。但し水平光度は、管の中央を通り、管軸に垂直な方向の光度であつて、その測光は管長の 4 倍以上の距離で行うを原則とする。光度及び光束は周囲温度 20°C の無風状態に於て、定格電圧にて約 10 分間点燈し、特性が略々一定になつた後に行う。

5) 放電管の寿命とは、連続点燈、或は 1 回の点燈 6 時間以上、且その消燈時間を 20 分以上として反復点燈せる場合放電不能となる迄の点燈時間、或はそれ以前に全光束が初期光束の 60% に低下する迄の点燈時間を云う。

第4章 測光に就て

従来照明の研究に当り、工学者は照明理論に偏し、医学者は衛生学的方面のみを重視し、兎角測光計器に附随せる誤差を軽視する傾向がある。此の点大いに慎しむべきことである。余は本実験に先立ち、測光に就て略述する。

第1節 照明術語と単位

単に明るさといつても光源の大小により、又同一光源でも距離により、或は被照面の照度により夫々異なるものである。此等の区別を明確にする為一定の術語が定められている。

光束 単位時間当りに通過する光量を光束と云い、ルーメン (lumen lm) を単位とする。1 lumen は 1 cd の光度を有する一様な点光源から、単位立体角内に発散する光束である。

光度 光源の或方向に発する単位立体角当りの光束をその方向の光度と云い、カンデラ (candela cd) を単位とする。1 candela は白金の凝固点 (2042°K) に於ける黒体の、1 m² の平らな表面の垂直方向の光度の 1/600,000 の光度である。熔融している白金の輝度は、従来国際燭単位で云えば 59.60c/cm² であるが、之を 60cd/cm² としたもので、従つて 1c = 1.0067cd に相当する。

照度 照らされる面積当りの光束を照度と云い、単位はルクス (lux lx) で現わされる。1 lux は 1 m² 当り 1 lumen (lm/m²) に当る。照度は光源からの距離の自乗に逆比例し、光の方向と照らされる面の法線とのなす角 θ の cosine に比例する。1 cd の点光源から 1 m の距離に於ける法線照度は 1 lux である。

輝度又は輝き 光源の観測方向の投影面積（光源の見掛けの面積）当りの光度を、輝度又は輝きと云う。輝度の単位は、 cm^2 当り燭 (cd/cm^2) で表し、之をスチルブ (stilb sb) ともいう。

光束発散度 照らされた面を見て感ずる明るさは、その面の照度に反射率を乗じた値で決まる。之を面の光束発散度と云い、ラドルクス (radlux rlx) を単位とする。

効率 光源の光束と電力との比を効率といい、 lm/W を以て表す。

色温度 総べての温度に於て、すべての波長の光を 100% 吸収し、又最も強く発起する物体を黒体と称し、光源の光色が或温度の黒体の光色と同じである時、その黒体の温度をその光源の色温度という。

第2節 測光の原則

測光に際しては測定せんとする光源を、それと同種若しくは同形の標準体と置換して之等と比較し、或は一一致させることによつて値を決定することを原則とする。標準光源と被験光源との分光エネルギー分布が全く相等しい時、即ち同色測光の場合は、受光器の分光感度は測光値に影響しない。然し実際の測光に於ては、完全な同色測光は極めて少く、殆んど異色測光に属する。斯かる場合には、規準比視感度に相似な受光器を必要とするが、実際には却々困難である。規準比視感度は、健全眼の代表的な分光感度として国際的に協定されたものであるから、健全眼は代表的な受光器である。然し眼は物理眼と異り、測光量の絶対値を評価することは不可能で、視野の輝きや色の対比を判別し得るのみである。従つて一般の視覚測光では、比較視野の輝きが等しくなるように平衡をとることを原則としている。若し比較視野に色の差がある時は、輝きの差を判別することは困難となり、斯かる方法では直接異色測光を行うことは出来ない。

第3節 測光標準器¹⁷⁾

光の強さを表現するに際し、仮に単位の光を作れば、眼の機能を適当に応用せる測定器

械の助けによつて、この標準光と比較することにより、未知の光の強さを測定することが出来る。然し光の単位を正確に製定することは極めて困難で、黒体より発する輻射線を基礎としようとする物理的研究も多数行われ、既に1908年 Waider 及び Burgess¹²⁾によつて、熔融する白金中に於ける黒体より発する光を採用せんと企てられ、尚 Ives, Brodhun, Hoffmann, Fleury¹³⁾等によつて種々研究されたが実用に供せられるに至らなかつた。最も古く採用されたのは一定の蠟燭の光で、ドイツでは1872年採用されたパラフィン蠟燭の他にステアリン蠟燭等があつた。此等は種々の環境により変動甚しく不便であつたが、Hefner—Alteneck により Hefner 燈が製作されるに及び、以後長く測光標準器となつた。余の研究に当り採用したのもこの Hefner 燈であり、古くより緒方教授¹⁴⁾の推奨されたるものである。

Hefner 燈¹⁵⁾ Hefner 燈は燃料として醋酸アミールを用い、内径 8mm, 外径 8.3mm, 長さ 25mm の洋銀製の心管に木綿糸にて作られた心を挿入し、歯車にて上下移動し得られる。点火後10分以上経過し焰の安定せる後、気圧 760mm, 湿度 6.6 (1cbm に付き 6.6 立の水蒸気を含む), CO_2 含有量 1cbm に付き 0.7 立の条件のもとに、焰の高さが心筒の端縁より 40mm の時 (中央に隔壁を有する眼鏡を覗いて焰の先端が隔壁に達する高さ)、1時間に生ずる光量を 1 Hefnerlumen とする。又この焰の水平光度を 1 Hefner 燭光 (Hefnerkerze, HK) とし、光度の単位とするものである。

ドイツ照明学会1927年の報告によれば、一般に気圧 b , 水蒸気の含有 f Liter/cbm の時の Hefner 燈の光度は、 $1.049 - 0.0055 f + 0.00015 (b - 760)$ HK である。

1 Hefner 燭光の光度を有する Hefner 燈の焰より、1m の距離に於ける法線照度を 1 Hefnerlux と云い照度の単位とする。Hefner 燈は外気の状態に関係し、且携帯に不便であるので、白熱電球を補助標準燈として採用し

ている。

国際燭 他方古くよりイギリスに於ても、1877年 Vernon Hercourt の考案せる Vernon Hercourt's pentane lamp, フランスの Carzel 燈等が標準器として採用されている。此等の各国光度標準器の間には特別の連絡がないので、アメリカの提唱により、1909年英・米・仏の国立実験所が光度の国際比較を行い、茲に国際燭 (international candle I. C. P.) が採用されるに至つた。我が国の計量法施行法では、光度の単位である燭とは、圧力1.013250バールの下で、0.8%の水蒸気を含む空气中に於て、10燭光 Hercourt's pentane lamp の示す光度の $1/10$ をいうと規定されている。

1国際燭光の光度を有する標準燈より1mの距離に於ける垂直面照度は1luxであり、1呎の場合を1呎燭光 (foot-candle) という。

国際度量衡委員会が1930年及び1933年に採用した一次標準器は、白金凝固点(2042°K)に於ける黒体炉で、その製作や測光は相当困難であるが複製性は極めて優れている。この標準原器の輝度が 59.60 c/cm^2 であるのを切上げて60単位としたもので、之が 60 cd/cm^2 に当る。従つて $1 \text{ c} = 1.0067 \text{ cd}$ に相当する。実際に使用する光源の色温度は、多くの場合之よりも更に高いので、或一定の種類の特グステン電球の光度及び光束を、この原器から直接又は間接に誘導して校正したものを二次標準器として単位の大きさが現示されている。

光度及び照度の種々なる単位相互の関係を、Bloch¹⁶⁾の著書 Lichttechnik より引用すれば第3表、第4表の如くである。

第3表 光度の種々なる単位の相互関係 (Bloch による)

	Hefnerkerze (独)	国際燭 bougie décimale (仏) American candle (米) pentane candle (英)	Carzel (仏)
Hefnerkerze (独)	1	0.9009	0.093
国際燭 bougie décimale (仏) American candle (米) pentane candle (英)	1.11	1	0.1033
Carzel (仏)	10.75	9.685	1

第4表 照度の種々なる単位の相互関係 (Bloch による)

	Hefnerlux	Hefnerfoot	Candle-meter bougie-mètre	Candle-foot	Carzel-mètre
Hefnerlux	1	0.0929	0.9009	0.0837	0.093
Hefnerfoot	10.764	1	9.694	0.9009	1.001
Candle-meter	1.11	0.1031	1	0.0929	0.1033
Candle-foot	11.95	1.11	10.764	1	1.111
Carzel-mètre	10.75	0.999	9.685	0.8997	1

第4節 光の測定法¹⁷⁾

光の測定法は、光の感受体として吾々の視覚による主観的測定法と、光の物理的又は化学的作用による客観的測定法とに大別される。

第1項 光の主観的測定法

一般光度計及び照度計は、逆自乗の法則に基づいて製作され、心理生理学的考慮のもと

に Weber の法則及び光覚の上昇の関係等を加味したものである。

視覚による測光器械で、光度計に属するものには Bunsen, Lummer-Brodhun, Trotter, Slot, Ritchie, Bechstein 氏等の光度計及び Lummer-Brodhun 氏の対比光度計及び Bechstein, Schmidt und Haensch, Whitman 氏等の交照光度計 (Flimmerphotometer) が

ある。又光度計と照度計を兼ねたものには Weber 氏の光度計があり、照度計には Marshall, Preece-Trotter, Trotter, Everett, Harrison, Mascart, Martin, Macbeth, Philips, Bechstein, Osram 氏等の照度計, Foot candle meter, 労研照度計, YY 式照度計等多数ある。

一般に視覚測光では、比較視野の輝きの差を判別して、それが等しくなる如く平衡をとることを原則としている。此等の測定法は、吾人の視器に作用する光の強弱によつて断定せらるべきものであるから (イ)測定時の心理状態に左右されることがある (ロ)測定に時間を要するので、戸外等で刻々変化する照度等を追求する際に不便である (ハ)異色測光に困難を感じる (ニ)測定値に個人差を認める (ホ)観察者の熟練の影響が大きい (ヘ)観察者の眼の調応状態、中心視力、疲労等の影響を受ける (ト) Purkinje 氏現象の影響がある等の欠点がある。

第2項 光の客観的測定法

光の客観的測定法は、視覚によることなく化学的物理的方法を応用するもので、化学的測定法としては、種々の感光紙に光を当て、その化学的変化の程度により光度を測定するものであるが、その測定値は比較的のもので実用的ではない

物理的測定法には、光電管及び光電池が最もよく用いられているが、何れも光のエネルギーを電気的エネルギーに換え、電気的に測定するものである。これには分光エネルギー分布と、受光器（物理眼）の分光感度に注意を要する。光電池¹⁸⁾は眼と同様照度は正しく捕捉するが、照度の捕捉限界及び識別能力が肉眼より遙かに大であり、又色に対しては肉眼と異り殆んど color-blind である。光電池は Lange の説によれば、光が当たると半導体（セレン）と境界層の間に電子密度の差が出来、その為に光電池に起電力が生ずる。而してこの電子密度の差は光の強さに比例するが故に、投射された光量に比例した電流が生ずることとなる。之を精密なる電流計で測れば、光電池面への投射光量を知ることが出来る。

光電池は使用法簡便であり、増幅器がないので指示が安定し、且小型で軽便であるが或程度以上の光束を必要とし、強い光では可成疲労現象が認められる。之に反し光電管は非常に感度が高いが、外部より電圧を与える必要があり、随つて装置も複雑で測定に時間を要する。此等光電照度計の欠点とするところは (イ)各波長に対する感度の相違 (ロ)光電池の初期効果に注意を要し(ハ)感度の経年変化が比較的大きく(ニ)温度殊に湿気の影響を受け易く、目盛全般に互る較正試験を時々行う必要がある。又 (ホ)疲労現象の為長時間使用することは避けなければならない等であるが、測定は容易で短時間に行い得るので、最近では視覚測光よりも物理測光が盛となり、その製品も多数市販されている。

第3項 余の実験に使用せる光の測定器械に就て

余は実験にあたり光度、照度の測定には視覚による Walter Bechstein の Flimmerphotometer, Leonhard Weber の Photometer, Walter Bechstein の Luxmeter 及び物理的測定法として Tavolux, B. Lange の Standard-Beleuchtungsmesser を使用して誤りなきを期した。以下その各器械に就て略述する。

1) Walter Bechstein の Flimmerphotometer¹⁹⁾

之は直線且水平なる長さ250cmの鉄梁の上に置かれ、その上を自由に滑動することが出来、その一端に標準燈又は既知の光源を、他端に未知の光源を設置する。両光源より来る光線は、夫々3個の円形の孔を有する集光器を通じ、光度計の拡散性角稜の両表面に入射して反射せられ、レンズにより同一視野に来る。その際にレンズを適當の速度に回転せしめ、同心円内の両光源の光を交互に交換させる時は、若し同一光度となれば、同心円の周縁と中央との明暗の差即ちフリンメルが消失する。之を作るには両光源を固定して、鉄梁上を光度計を移動せしめて適當の距離を求めれば、 $J_2 = J_1 R^2 / r^2$ (J_2 は未知光源の光度、 J_1 は標準燈又は既知光源の光度、 R は未知

光源よりの距離、 r は標準燈又は既知光源よりの距離(即ち $250\text{cm} - R\text{cm}$) なる式より算出される。該器は同色測光は勿論異色光測定にも誠に至便なものであるが、之は暗室内に固定設置されるもので移動に不便であり、又照度の測定も不可能である。使用に際し注意すべきは、レンズの回転速度は可及的緩徐にし、又多数の実験をなし少くとも6回以上の読みをとり、更に180度回転して反対側より6回以上の読みを採用し、平均値を求むることが望ましい。

W. Bechstein の Flimmerphotometer はドイツにて一般に使用せられ、緒方教授²⁰⁾により我が国に紹介され、白玖²¹⁾、高橋²²⁾、桑原¹⁷⁾氏等の研究に使用された。

2) Leonhard Weber の Photometer

L. Weber の Photometer は1883年考案され、H. Cohn²³⁾ 以来幾多の研究に広く使用せられ、光度計及び照度計として最も信頼し得

るもので、他の簡易携帯用照度計の正確度を検定する標準器械とされている。この Photometer は、其の明暗の差が非常に明瞭で殆んど練習を要しないこと、各種照明に用いられること、対照のペンチン燈の代りに電燈を用うれば昼光照明或は白色光に近いものも測定可能であること、異色光の場合も赤及び緑の色硝子を用うれば計算上その値が得られること、反射面と光度計とのなす角は直角より30度以上遠去からなければ照度は変らないこと等の利点を具備している。

使用法は該器説明書及び各種教科書にあるを以て実験上の注意を云えば、Weber の係数の問題である。この係数は比較燈に使用するペンチンの異なる場合、又反射面を取替えた場合は必ず測定する必要がある。今先人の記入せるものと余の測定値を記せば第5表の如くである。

3) Walter Bechstein の Luxmeter²⁴⁾²⁵⁾

第5表 Weber の Photometer の係数表

光度計に挿入する硝子板の種類	光度 J の計算に使用する公式 $J = C \frac{R^2}{r^2} H K$ に於ける係数 C の値			
	検者	A	B	著者
3	$C_3 =$	0.2514	0.2386	0.31341
3 + 4	$C_4 =$	0.5518	0.5301	0.70998
3 + 4 + 5	$C_5 =$	1.017	1.829	1.41233
3 + 4 + 5 + 6	$C_6 =$			2.23914
光度計に挿入する硝子板の種類	照度 E の計算に使用する公式 $E = C' \frac{100^2}{r^2} H L x$ に於ける係数 C' の値			
	検者	A	B	著者
硝子板なき時	$C'_0 =$	0.1371	0.1183	0.14461
暗色硝子 1	$C'_1 =$	0.3323	0.2744	0.36002
暗色硝子 1 + 2	$C'_2 =$	0.7442	0.6445	0.84927
乳色硝子 3	$C'_3 =$	7.224	6.9608	7.4136
乳色硝子 3 + 4	$C'_4 =$	15.63	17.49	17.102
乳色硝子 3 + 4 + 5	$C'_5 =$			32.005
乳色硝子 3 + 4 + 5 + 6	$C'_6 =$			72.856

光学的照度計中最も屢々使用されるもので、その使用法取扱も簡便、測定は迅速に行われ、且昼光測定も可能で、その正確度も可成信頼するに足るものである。その使用法は、先ず乾電池により光源の豆電球に点燈し、その電

流を所定の値を得る如く抵抗器にて調節する。円形窓の半分は硫酸バリウムを塗つた白い面を納め、他の半分は光源が乳白硝子を通した明るさを見る如くなつている。器械側方のツマミを回転して光源(豆電球)の光度を加減

し、これと硫酸バリウムの白い面の明るさ（測定せんとする照度）の一致する点を求めれば、ツマミの回転によつて直ちに照度の読みが目盛板に HLx を以て現われる。

4) Tavolux

色温度 2700°K のガス入白熱電球の照度測定に適合するもので、昼光には 0.4, 昼光電球 0.97, 青色光 0.9 の補正係数を乗じなければならない。0°~25°C の範囲内にて使用することが望ましい。

5) B. Lange の Standard-Beleuchtungsmesser

教室が新しくドイツより購入せるもので、その性能は余の予備実験による成績第 6 表、

第 6 表 Standard-Beleuchtungsmesser の 正 確 度

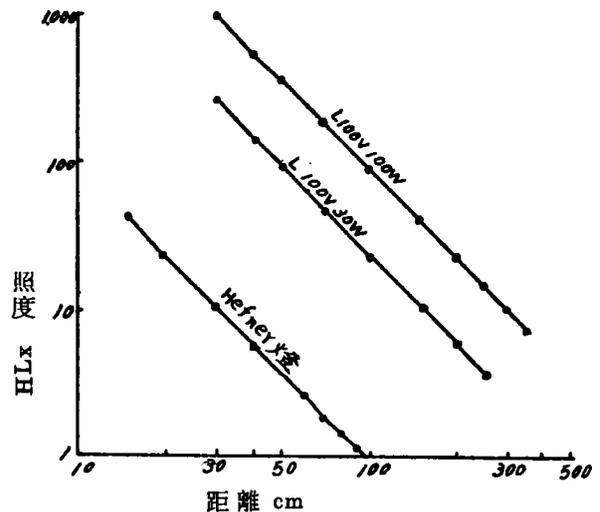
Hefner 燈 よりの距離 cm	実 測 値 HLx	計 算 値 HLx	差 %
15	43.1	44.444	-3.0
20	23.8	25.000	-4.8
30	10.2	11.111	-8.1
40	6.0	6.250	-4.0
50	3.7	4.000	-7.5
60	2.7	2.777	-2.7
70	1.9	2.040	-6.8
80	1.5	1.562	-4.0
90	1.2	1.234	-2.8
100	0.95	1.000	-5.0
平 均			-4.87

第 7 表 Standard-Beleuchtungsmesser による照度と距離の関係

光 源 距離cm	マツタ100V 100W 艶消電球 91V 1.0A 15°C	マツタ100V 30W 艶消電球 90V 0.34A 15°C
	30	1.000 HLx
40	561	145
50	366	96.0
70	188	50.0
100	92.0	24.2
150	41.5	10.6
200	22.6	6.0
250	14.7	3.8
300	10.1	
350	7.5	

第 7 表及び第 3 図の如く極めて優秀な光電池照度計である。即ち他の光電池照度計では、低照度或は高照度の時誤差大なるもの多きに比し、Standard-Beleuchtungsmesser は標準器 Hefner 燈との誤差は平均 5% 以下であり、且光源との距離の自乗に略々正確に逆比例する関係を示し、極めて満足すべきものである。

第 3 図 Standard-Beleuchtungsmesser の性能 (両軸共対数目盛)



第 4 項 測光時の注意

A. 白熱電球の場合

- (イ) 白熱電球の測光に際しては、必ず特定方向の光度を測定し、常にその方向にのみ使用すべきである。
- (ロ) 白熱電球は 100 時間につき、約 3~4% 其の光度を減ずる。
- (ハ) 電圧が 1% 変動すれば、光度は 3~3.5% 変化する。
- (ニ) 製造直後のものは点燈により特性に変化を来す。定格電圧にて約 6 時間点燈すれば略々安定する。

B. 螢光放電燈の場合

- (イ) 通常放電管を水平に点燈して試験を行う。
- (ロ) 最初の点燈 100 時間位迄は急速な光束減衰があり、この時 10~15% 暗くなる。その後は略々安定し、徐々に光束の低下を来す。故に試験に際しては、100 時間枯化後使用すべきである。
- (ハ) 光度、光束の測定は、定格電圧で約 15 分点燈し、特性が略々一定になつた

後行う。

(イ) 電源電圧1%の変動に対し、光束は1~2%変化する。

(ロ) 放電管附近の周囲温度20°C(5°~30°C)無風状態にて測定する。

(ハ) 光度の測定に当り、螢光放電燈を点光源と看做す為には、管長の4倍以上の距離より行うを原則とする。

その他電気計測器は精密なるものを用い、測定者は正常眼特に色神異常のない者で、測定時の眼の調応状態、疲労等に注意を要することは論を俟たない。

第5章 実験方法並びに実験成績

第1節 一般実験方法

個々の実験方法はその都度述べることとし、以下一般実験方法に就て記す。

第1項 実験室

実験は総べて岡山大学医学部衛生学教室大暗室内で行つた。暗室は壁、天井総べて黒色で、南側に2個の遮光扉を有する窓を備え、北側に出入扉があり、いずれも2重黒色カーテンを以て完全に遮光される。

第2項 検者

検者は筆者で、眼科学的に疾病皆無、視力1.2を有する正視眼者で色神正常である。

第3項 実験材料

使用せる光源は、白熱電球としては100V 16C炭素フィラメント電球(以下単に100V 16C炭素電球とする)、ヒット100V 40W単コイルタングステンフィラメント透明電球(以下単にL100V 40W透明電球とする。Lは一般照明用を表す)、マツダ100V 100Wガス入単コイルタングステンフィラメント内面艶消電球(以下L100V 100W艶消電球とする)、ナショナル100V 100Wガス入単コイルタングステンフィラメント昼光電球(以下L100V 100W昼光電球とする)及び螢光放電燈としては20W昼光色螢光放電燈(以下単にFL-20Dとする。FLは螢光放電燈〔普通型〕を、次の数字は大きさWattを、次の数字は種別を表す)、20W白色螢光放電燈

(以下FL-20Wとする)、20W桃色螢光放電燈(以下FL-20Pkとする)、20W綠色螢光放電燈(以下FL-20Gとする)、20W青白色螢光放電燈(以下FL-20BWとする)、20W青色螢光放電燈(以下FL-20Bとする)で何れもマツダである。

白熱電球は特に指定しない限り常位置即ち口金を上方にする位置とし、螢光放電燈は総べて水平位置に点燈し、測光には充分枯化した後使用、白熱電球では定格電圧にて点燈後1分以上、螢光放電燈では特に指定しない限り10分以上経過し、安定したる後実験に供した。尚螢光放電燈の点燈装置は、反射笠のない最も簡単なもので、其の表面は黒色に塗り出来る限り反射を少くした。

第4項 実験器械

光の測定にはWalter BechsteinのFlimmerphotometer、Leonhard WeberのPhotometer、Walter BechsteinのLuxmeter、Tavolux及びB. LangeのStandard-Beleuchtungsmesserを使用、電圧計電流計は精密なるものを選び、スライダック抵抗器を用いた。

第2節 光度、輝度、効率、表面温度

第1項 光度測定時の光源と測光器との距離

理論上の点光源は存するも、實際に於ては人工光源は総べて大きさを有する。従つて光度測定の場合には、測光器と光源との距離が問題となつて来る。殊に螢光放電燈の如く細長の光源では注意を要する。成書¹³⁾⁵⁾²⁶⁾には螢光放電燈の測光時に於て、之を点光源と看做し得るには、換言すれば逆自乗の法則を用いてもその誤差を無視し得る為には、燈器最大長の少くとも4~10倍以上の距離を保たなければならぬと云う。然るに螢光放電燈の最大長は、普通20Wで55.5cmあるから250~550cm以上の距離より測定せねばならず極めて不便である。従つて余は先ずStandard-Beleuchtungsmesserを用い、光源との距離と照度との関係を螢光放電燈に就て検討した。

即ち光源としてFL-20W、FL-20G、FL-

20B を使用し、光源より 20~400cm の距離にて各照度を測定し、この値を計算により光度に換算すれば第 8 表の如き成績となり、之

を図示すれば第 4 図の如くなる。之を見れば明らかな如く、光源との距離が、螢光放電燈の最大長たる 60cm 以内に近接する時は誤差

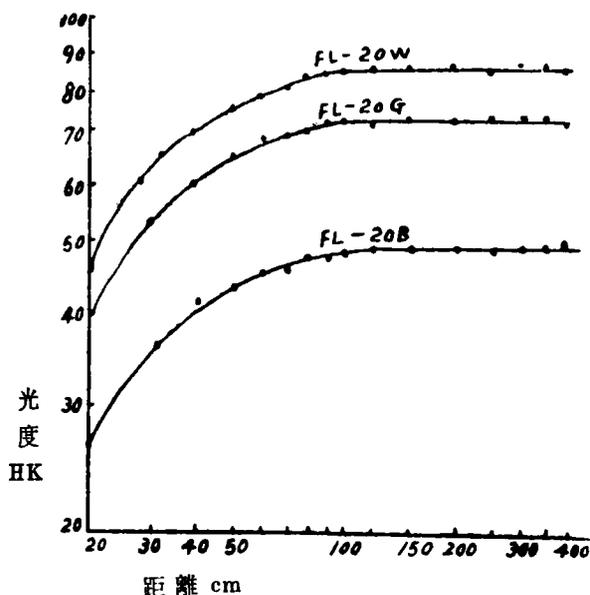
第 8 表 光源との距離と光度との関係

光源 距離cm	FL-20W		FL-20G		FL-20B	
	照度実測値 HLx	光度換算値 HK	照度実測値 HLx	光度換算値 HK	照度実測値 HLx	光度換算値 HK
20	1170	46.80	1000	40.00	671	26.84
30	695	62.55	587	52.83	393	35.37
40	437	69.92	373	59.68	256	40.96
50	303	75.75	259	64.75	172	43.00
60	219	78.84	191	68.76	125	45.00
70	165	80.85	141	69.09	93.0	45.57
80	130	83.20	109	69.76	73.5	47.04
90	103	83.43	88.5	71.69	58.3	47.22
100	85.0	85.00	72.3	72.30	47.8	47.80
120	59.2	85.25	50.0	72.00	33.6	48.38
150	37.9	85.28	32.2	72.45	21.6	48.60
200	21.4	85.60	18.1	72.40	12.1	48.40
250	13.6	85.00	11.7	73.13	7.7	48.13
300	9.6	86.40	8.1	72.90	5.4	48.60
350	7.0	85.75	6.0	73.50	4.0	49.00
400	5.3	84.80	4.5	72.00	3.1	49.60

第 9 表 各種光源の光度

光 源		光								
		Flimmerphoto-meter		Weber の Photometer () に R-G 法			Luxmeter			
		12°C 実測値	20°C 補正値	12°C 実測値	20°C 補正値	Flimmer 値との差 %	12°C 実測値	20°C 補正値	Flimmer 値との差 %	
白 熱 電 球	100V 16C 炭素電球 (92V 0.60A)	HK 9.04	HK	HK 8.80 (8.54)	HK	-2.7 (-5.5)	HK 8.63	HK	-4.5	
	L100V 40W 透明電球 (90V 0.46A)	22.02		21.97 (22.63)		-0.2 (+2.7)	22.70		+3.0	
	L100V 100W 昼光電球 (86V 1.00A)	60.36		58.18 (59.10)		-3.6 (-2.1)	60.11		-0.3	
螢 光 放 電 燈	FL-20D (62V 0.35A)	74.51	78.27	73.22 (74.94)	76.91 (78.72)	-1.7 (+0.5)	73.30	77.00	-1.6	
	FL-20W (62V 0.35A)	91.13	95.73	92.33 (91.59)	96.99 (96.21)	+1.2 (+0.4)	92.16	96.81	+1.1	
	FL-20Pk (62V 0.35A)	36.31	38.14	33.77 (37.19)	35.47 (39.06)	-6.8 (+2.4)	35.19	36.96	-3.1	
	FL-20G (62V 0.35A)	107.37	112.78	(/)	(/)	(/)	89.00	93.49	-17.1	
	FL-20BW (62V 0.35A)	74.19	77.93	74.67 (/)	78.44 (/)	+0.5 (/)	75.05	78.83	+1.2	
	FL-20B (62V 0.35A)	25.64	26.93	23.50 (/)	24.69 (/)	-8.2 (/)	24.35	25.58	+5.0	

第4図 光源との距離と光度との関係
(両軸共対数目盛)



は急激に大となり、60~120cmの間は距離の短縮に従い僅かづつ誤差を増し、120cm以遠換言すれば螢光放電燈の最大長の2倍以上の距離では、誤差は極めて僅少で、逆自乗の法則を適用するも実用上殆んど支障を来さないことを知り得た。

第2項 測定方法

光源には 100V 16C 炭素電球, L 100V 40W 透明電球, L100V 100W 昼光電球及び FL-20 D, FL-20 W, FL-20 Pk, FL-20 G, FL-20BW, FL-20 B を使用し, Bechstein の Flimmerphotometer にて光度を, 又 Weber の Photometer, Bechstein の Luxmeter, Tavolux, Standard-Beleuchtungsmesser にて光源よりの距離白熱電球にては 100cm, 螢光放電燈にては 150 cm の照度を測定し, 之より計算上の光度を求めた。而して測定時の室温は 12°C であつたので, 螢光放電燈に於ては後述の温度特性より 20°C の値に補正を行つた。輝度は Flimmerphotometer による光度の値 HK に 0.9009 を乗じて国際燭光 c を求め, 之を光源の正射影面積 (55.3cm×3.8cm = 210.14cm²) を以て除したものである。効率率は Flimmerphotometer にて実測せる光度の 20°C の補正值 HK に 0.9009 を乗じて国際燭光 c を算出, 更に 9.25 倍して全光束 lumen を求め, 之と電力との比を以て表した。光源

・ 輝 度 ・ 効 率 ・ 表 面 温 度

度							輝 度	効 率	表面温度 (室温13.8°C)
Tavolux			Standard-Beleuchtungsmesser						
12°C 実測値	20°C 補正值	Flimmer 値との差	12°C 実測値	20°C 補正值	Flimmer 値との差	補正係数			
HK 7.1	HK	% -21.3	HK 8.9	HK	% -1.5	1.02	c/cm ²	1m/W 1.9	°C 35.5
17.5		-20.5	21.2		-3.7	1.04		6.0	42.1
45.8		-24.1	58.7		-2.7	1.03		7.9	60~82
53.08	55.76	-28.7	71.08	74.66	-4.6	1.05	0.37	30.1	26.2
73.55	77.26	-19.3	85.21	89.51	-6.5	1.07	0.46	36.7	28.0
26.54	27.88	-26.8	29.69	31.19	-18.2	1.22	0.18	14.6	27.5
63.20	66.39	-41.2	71.97	75.60	-32.9	1.49	0.54	43.2	27.4
61.85	64.97	-16.6	81.64	85.76	+10.0	0.91	0.37	29.9	26.5
41.16	43.24	+60.5	48.36	50.80	+88.6	0.53	0.13	10.3	25.3

の表面温度は、点燈後 10~15 分、室温 10.8°~13.8°C の時皮膚温度計にて測定せるものである。

第3項 測定成績

測定成績は第9表に示す通りである。

1) 螢光放電燈の光度に於ては、FL-20G の 112.78HK を最高とし、FL-20W 之に次ぎ、以下 FL-20 D, FL-20 BW, FL-20 Pk, FL-20 B の順に小さくなる。

2) 而して各種測光器による値と Flimmerphotometer による測定値との誤差を比較すれば

(イ) Weber の Photometer にては最大 FL-20 B の (-) 8.2%, 最小 L100V 40W 透明電球の (-) 0.2% でその差は極めて小さい。然し色光の甚だ異なる FL-20 G, FL-20 BW, FL-20 B では R-G 法による測定は不可能であつた。

(ロ) Bechstein の Luxmeter にては、FL-20G の (-) 17.1% を除けば他は 0.3~5.0% で差は僅少である。

(ハ) Tavolux にては FL-20 B の (+) 60.5% を最大とし、最小は FL-20 BW の (-) 16.6% でその誤差は一般に大きい。

(ニ) Standard-Beleuchtungsmesser に於ては、一般照明用人工光源たる白熱電球及び FL-20 D, FL-20 W にては (-) 1.5~(-) 6.5% で其の誤差は小さく、光電池照度計としては優秀なものと思われる。然し異色光の FL-20 Pk では (-) 18.2%, FL-20 G では (-) 32.9% と誤差大きく、又波長の短い FL-20 BW では (+) 10.0%, 更に FL-20 B では (+) 88.6% と過大に現れるので、補正係数を求める必要がある。

3) 螢光放電燈は光束の割に発光面積が大きいので、一般に輝度は小さく、FL-20G の 0.54c/cm² を最大とし、FL-20W 0.46c/cm², FL-20D 0.37c/cm² 之に次ぎ、最小は FL-20B の 0.13c/cm² で、何れも他の人工源に比し甚だ小さい。

4) 効率はタングステン白熱電球では 6~8 lm/W であるが、螢光放電燈では FL-20G が 43.2lm/W の高効率を示し、以下 FL-20W 36, 7lm/W, FL-20 D 30.1lm/W, FL-20 BW 29.9 lm/W 之に次ぎ、FL-20 Pk, FL-20 B にても尚 10~15lm/W であり、白熱電球に比し格段の優秀さを示している。

5) 光源の表面温度は、室温 13.8°C に於て白熱電球 L100V 40W は 42.1°C, L100V 100W では 80°C 以上を示すに対し、螢光放電燈では総べて 25°~28°C で殆んど熱を感じない。

第3節 螢光放電燈の温度特性

螢光放電燈の光束、光度が温度により影響を蒙ることは、諸家の指摘するところである。而して室温 20°C の時最高値を示すことは総べて一致するも、其の他の温度による減少率は孰れも相違しているので、此の関係を究明せんと試みた。

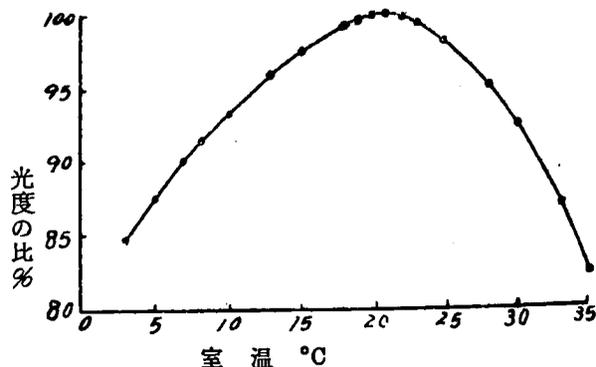
第1項 測定方法

FL-20W を水平に定格電圧にて点燈し、その中央部を通り管軸に垂直方向に、距離 150 cm の法線照度を Standard-Beleuchtungsmesser にて無風状態、3°~35°C の範囲内にて測定し、それより計算上の各温度に於ける光度を求めた。

第2項 測定成績

室温と、FL-20W 無風状態時の光度の関係は、第10表、第5図の如くである。即ち最高の光度は室温 20°~21°C の時得られ、10°C 及び 30°C では約 7% の光度の減少を来し、

第5図 温度特性 FL-20W (無風状態)



第10表 室温とFL-20Wの光度（無風状態）

室温 °C	光度 HK	室温20°Cの光度との比 %
3	75.7	84.6
5	78.5	87.7
8	81.9	91.5
10	83.6	93.4
13	85.9	96.0
15	87.3	97.5
18	88.6	99.0
19	89.0	99.4
20	89.5	100.0
21	89.5	100.0
22	89.2	99.7
23	89.1	99.5
25	88.0	98.3
28	85.4	95.4
30	82.8	92.5
33	77.9	87.0
35	73.6	82.3

3°Cにては約15%低下する。従つて螢光放電燈の光度（光束）測定に当つては、20°C以外の周囲温度の時には之を補正する必要がある。

第4節 螢光放電燈点燈初期の光度変化

寒冷季に螢光放電燈を点燈すると、管壁温度が上昇するに従い、光度が急速に増加して我々の眼に感ずる程明るくなり、臆て管内の水銀蒸気圧が安定し、光度が一定して来る。この状態を逐時的に観察せんとした。

第1項 測定方法

FL-20W を水平に定格電圧にて点燈し、その中央を通り管軸に垂直方向に距離150cmに於て、Standard-Beleuchtungsmesser を以て点燈直後より30秒毎に10分間照度を測定し、その値より光度を算出した。測定時室温は12°Cである。

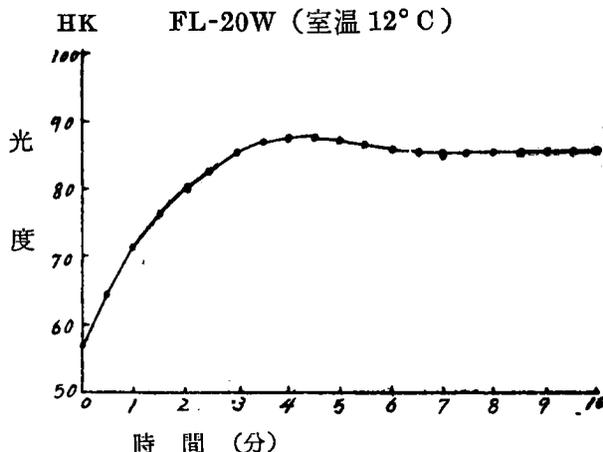
第2項 測定成績

点燈初期に於ける FL-20W の光度の変化は、第11表及び第6図の如くである。即ち点燈直後より光度は急速に上昇して4~4.5分にて最高となり、それより僅かに減少し、8分以後は概ね一定して来る。而して点燈直後の

第11表 点燈初期に於ける光度の変化 FL-20W（室温12°C）

時間 分	光度 HK	時間 分	光度 HK
0	56.03	5.5	86.40
0.5	64.58	6.0	85.73
1.0	71.10	6.5	85.28
1.5	76.73	7.0	85.05
2.0	80.33	7.5	85.28
2.5	82.80	8.0	85.28
3.0	85.28	8.5	85.28
3.5	87.08	9.0	85.28
4.0	87.53	9.5	85.28
4.5	87.53	10.0	85.28
5.0	87.30		

第6図 点燈初期に於ける光度の変化 FL-20W（室温12°C）



光度は最高値の64%、安定後の65.7%に過ぎない。従つて通常螢光放電燈の光度、光束、照度、輝度の測定に際しては、点燈後少くとも10分以上経過し、安定したる後行わねばならない。

第5節 螢光放電燈各部分の明るさ

螢光放電燈はその機構上、放電時の発光状態の分布を見るに、陰極面上に陰極光、次で Crookes 暗黒部、陰光芒、Faraday 暗黒部を経て陽光柱が陽極直前迄続く。螢光放電燈はこの陽光柱を利用せるものであるが、交流点燈時には之が交互に現れ、両電極に近い部分はチラツキが著しく少し暗い。之は半サイクル毎に出現する暗黒部の為である。以下螢光放電燈の中央部と両端部との光度を比較検討した。

第1項 測定方法

螢光放電燈の発光部分の長さ 55.5cm を 5 等分し、被検部分以外は黒色の厚紙にて被覆し、被検部の中央を通り、管軸に垂直方向に距離 50cm の法線照度を Standard-Beleuchtungsmesser にて測定し、それより該部の光度を求めた。被検光源は FL-20D, FL-20W, FL-20Pk, FL-20G, 及び FL-20BW の 5 種で、孰れも管電圧は 62V, 管電流は 0.35A, 測定時室温は 15°C である。

第2項 測定成績

測定成績は第12表に示す如くである。即ち螢光放電燈全長の光度を 100 とせる時の各部分の光度は、放電管の外側 $1/5$ は各々 21~24% に対し、中央部 $1/5$ 及びその中間 $1/5$ は夫々 30~35% である。外側 $1/5$ 及び中 $3/5$ の 5 種平均は 22.78% 及び 33.10% となり、外側 $1/5$ の光度は、中 $3/5$ の光度の 68.8% に相当する。即ち外側 $1/5$ は中 $3/5$ 部分に対し、約 30% 暗いことを示す。

第12表 螢光放電燈各部

光源	全光度	外側 1/5			中間 1/5		
		距離50cmの照度		全光度に対する比	距離50cmの照度		全光度に対する比
		HLx	HK		HLx	HK	
FL-20D	72.90	65.9	16.48	22.6	94.8	23.70	32.5
FL-20W	87.30	78.6	19.65	22.5	122.0	30.50	34.9
FL-20Pk	30.38	25.5	6.38	21.0	37.9	9.48	31.2
FL-20G	73.80	68.8	17.20	23.3	102.0	25.50	34.6
FL-20BW	83.48	79.5	19.88	23.8	110.0	27.50	33.0

第13表 水平面照度

被検面 被光源 光源直下よりの 水平距離	光源の高さ200cm床上75cmの水平面照度			
	FL-20W		L100V100W 艶消電球	
	管軸に垂直方向 A	管軸に平行方向 B	右の180°反対方向 C	フィラメントの開いた方向 D
0cm	52.6HLx (100.0)	52.6HLx (100.0)	70.5HLx (100.0)	70.5HLx (100.0)
50	40.8 (77.5)	36.2 (68.8)	46.2 (65.5)	41.3 (58.6)
100	25.6 (48.6)	17.1 (32.5)	24.4 (34.6)	23.8 (33.8)
150	13.2 (25.1)	6.3 (12.0)	12.2 (17.3)	12.0 (17.0)
200	7.1 (13.5)	3.0 (5.7)	7.2 (10.2)	6.5 (9.2)
250	4.0 (7.6)	1.0 (1.9)	3.7 (5.3)	3.1 (4.4)
300	2.6 (4.9)	0.3 (0.6)	2.2 (3.1)	2.0 (2.8)
350	1.3 (2.5)	0.1 (0.2)	1.6 (2.3)	1.2 (1.7)
400	0.9 (1.7)	0 (0)	1.1 (1.6)	1.0 (1.4)
450	0.4 (0.8)	0 (0)	0.8 (1.1)	0.7 (1.0)
500	0.2 (0.4)	0 (0)	0.4 (0.6)	0.4 (0.6)

第6節 照度曲線

照度を必要とする所は作業対象物の置かれるところで、立業では床上 85cm, 坐業では床上 40cm が基準となつている。然しテーブルの高さは普通 2 尺 5 寸約 75cm であるので、此等の面の水平面照度曲線を測定せんとした。

第1項 測定方法

光源を床上 200cm の高さに常位置に定格電圧にて点燈し、床上 75cm 及び 40cm に於て、光源直下より距離 500cm 以内の水平面照度を、各光源に就て 2 方向より Standard-Beleuchtungsmesser を以て測定した。方向の 1 は螢光放電燈にあつては、管の中央を通り管軸に垂直方向、1 は管軸に平行方向であり、白熱電

球にては、輪形コイルフィラメントの開いた方向及びその180度反対方向である。被検光源はFL-20W及びL100V100W内面艶消電球、室温は30°Cである。

第2項 測定成績

その成績は第13表に示す通りであり、光源直下の照度を100とする時の各水平距離の照度比を図示すれば、第7図及び第8図の如くである。即ち

- 1) 螢光放電燈にあつては、光源の高さ床分の明るさ(室温15°C)

上200cm、床上75cm換言すれば光源の高さ125cmの水平面照度は、光源直下よりの距離150cm迄は甚だ急激に照度は減弱し、以後250cm迄は緩徐に、それ以遠は極めて僅か宛低下する。光源の高さ床上200cm、床上40cmの水平面照度は、距離200cm迄は急激に、350cm迄は稍々急に、それ以遠は緩徐に低下する。この傾向は管軸に垂直、平行両方向に認められるが、平行方向に於ては垂直方向より

中央 1/5			中間 1/5			外側 1/5		
距離50cmの照度	光度換算値	全光度に対する比	距離50cmの照度	光度換算値	全光度に対する比	距離50cmの照度	光度換算値	全光度に対する比
HLx	HK	%	HLx	HK	%	HLx	HK	%
98.8	24.70	33.9	98.8	24.70	33.9	63.0	15.75	21.6
122.0	30.50	34.9	123.0	30.75	35.2	76.8	19.20	22.0
36.2	9.05	29.8	36.0	9.00	29.6	28.4	7.10	23.4
103.0	25.75	34.9	102.0	25.50	34.6	71.1	17.78	24.1
106.0	26.50	31.8	107.0	26.75	32.1	78.5	19.63	23.5

() は光源直下の照度との比

光源の高さ200cm床上40cmの水平面照度			
FL-20W		L100V100W艶消電球	
管軸に垂直方向 E	管軸に平行方向 F	右の180°反対方向 G	フィラメントの開いた方向 H
32.1HLx (100.0)	32.1HLx (100.0)	46.7HLx (100.0)	46.7HLx (100.0)
27.2 (84.8)	25.0 (77.9)	32.0 (68.5)	28.2 (60.5)
19.8 (61.7)	15.2 (47.4)	19.2 (41.1)	18.3 (39.2)
12.9 (40.2)	8.0 (24.9)	12.3 (26.4)	11.2 (24.0)
8.0 (24.9)	4.0 (12.5)	7.9 (16.9)	6.6 (14.1)
4.7 (14.6)	2.0 (6.2)	4.7 (10.1)	3.9 (8.4)
3.1 (9.7)	1.1 (3.4)	2.8 (6.0)	2.2 (4.7)
2.0 (6.2)	0.4 (1.2)	1.8 (3.9)	1.5 (3.2)
1.4 (4.4)	0.3 (0.9)	1.2 (2.6)	1.1 (2.4)
1.0 (3.1)	0.2 (0.6)	1.0 (2.1)	0.8 (1.7)
0.7 (2.2)	0.1 (0.3)	0.7 (1.5)	0.6 (1.3)

一般に照度は著しく劣り、400cm以遠では床上75cmの場合殆んど0であつた。尚第7図第8図により明らかな如く、水平距離50cmにて白熱電球には見られない特異な屈曲が認められる。

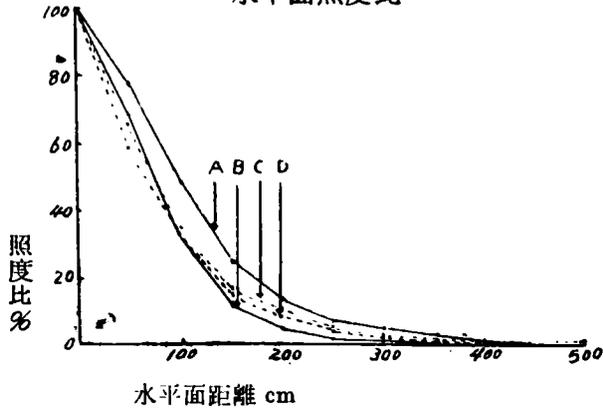
- 2) 白熱電球に於ては、水平距離に対する照度の関係は、螢光放電燈の場合と略々

同様であるが、コイルフィラメントの開いた方向では、その反対方向より全般的に照度が僅少なから低いのを認めた。

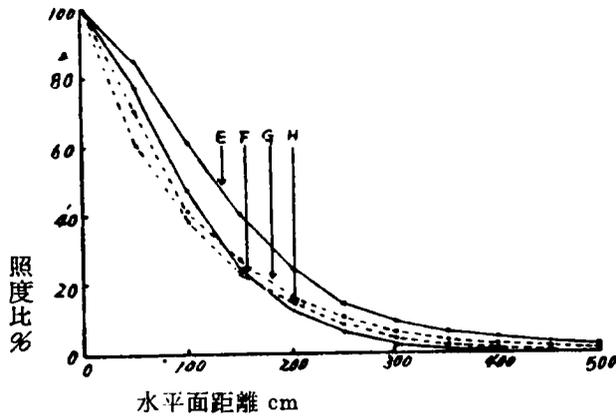
第7節 電源電圧との関係

白熱電球は、電源電圧が変化すればフィラメントの温度が変化し、従つて抵抗が変化し、電流、電力、光度、光束、効率更に寿命も変

第7図 光源の高さ200cm 床上75cmの
水平面照度比



第8図 光源の高さ200cm 床上40cm
の水平面照度比



化して来る。蛍光放電燈に於ては、電源電圧が定格電圧より上昇すれば、電流が増加し、

光束も少々増すが、電極加熱の為電極物質の消耗激しく寿命が短くなる。又電源電圧の降下は、電流の減少を来し、水銀蒸気圧の過小及び起動に長時間を要する為に電極の過熱となり、矢張短寿命となる。斯くの如く電源電圧の変化は各要素に影響を及ぼすものであるが、先づ点燈時の電源電圧と光度との関係に就て測定を試みた。

第1項 測定方法

被検光源としてFL-20W及びL100V100W内面艶消電球を用い、之を常位置にて点燈し、抵抗器を以て電圧を加減し、前者は80~105V、後者は40~105Vの範囲内にて、夫々5V間隔にStandard-Beleuchtungsmesserにて照度を測定し、之より光度を求めた。測定時室温は18°Cである。

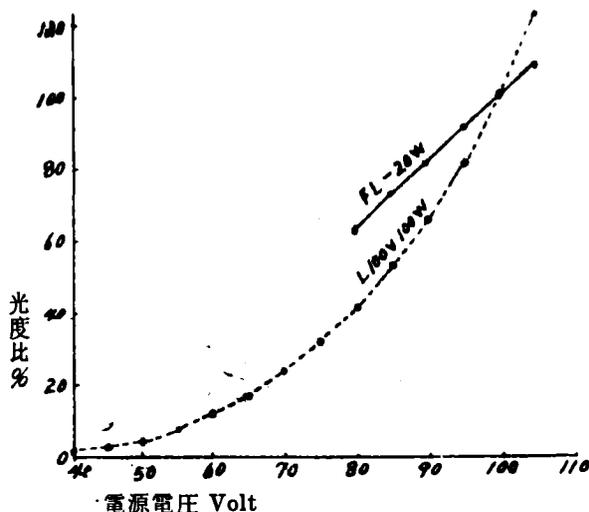
第2項 測定成績

測定成績は第14表及び第9図の如くである。即ち蛍光放電燈に於ては、電源電圧100Vの時の光度を100%とすれば、105Vにて108.3%と上昇し、又電圧が下降して95Vとなれば光度は91.0%、更に90Vでは81.8%となり、電源電圧の変化に対しその光度は略々直線的に変化する。而して電源電圧1%の変動に対する光度の変化の比は、電源電圧80~105V

第14表 電源電圧と光度との関係 (室温18°C)

光源 電源電圧 Volt	FL-20W			L100V100W艶消電球		
	光 度 HK	電圧100Vの 光度との比 %	電圧1%の変化に 対する光度変化 %	光 度 HK	電圧100Vの 光度との比 %	電圧1%の変化に 対する光度変化 %
105	95.99	108.3	1.7	157	122.7	4.5
100	88.63	100.0	1.8	128	100.0	3.9
95	80.65	91.0	1.8	103	80.5	3.0
90	72.50	81.8	1.8	84.1	65.7	2.5
85	64.70	73.0	2.1	67.8	53.0	2.2
80	55.39	62.5		53.5	41.8	1.9
75				41.1	32.1	1.6
70				30.6	23.9	1.3
65				22.4	17.5	1.1
60				15.6	12.2	0.8
55				10.6	8.3	0.6
50				6.5	5.1	0.4
45				4.1	3.2	0.1
40				3.5	2.7	

第9図 電源電圧と光度との関係(室温18°C)



の範囲内では大凡1.8%である。

白熱電球に於ては、定格電圧100Vより5%の電圧上昇に対し、光度は22.7%の増大となり、又95V即ち電圧5%の降下によつて光度は19.5%の減少を認め、電源電圧1%の昇降に対し、光度の変化は3.9~4.5%に及び、螢光放電燈のそれより電源電圧の変化の影響を蒙ること遙かに大である。而して電源電圧80~100Vでは電圧1%の変化に対し光度は2.2~3.9%、60~80Vでは1.1~1.9%、40~60Vでは0.1~0.8%と遞減し、曲線的関係を有する。

第8節 照度の時間的变化

普通の電源にて螢光放電燈或は白熱電球を

点燈し、その照射下に於て作業を行う時、屢々明暗の変化を眼に感ずることは日常経験するところである。一般に電源電圧は種々の要因により時々刻々変化して居り、それに随つて之より点燈せる光源の光度も変化しているのは当然である。第7節に述べたる如く、電源電圧の変化に対する光度の影響は、螢光放電燈は白熱電球に比して僅少であるが、任意の一定時間内に於ける照度の変化の様相を、両光源に就て比較実験した。

第1項 測定方法

- 1) FL-20W及びL100V 100W内面艶消電球を直接一般電源より点燈し、その直下に於て10HLx及び50HLxになる如く光源の距離を加減し、1分毎10回10分間の照度を繰返し2回Standard-Beleuchtungsmesserにて測定した。
- 2) 同光源を同様の方法を以て点燈し、50HLx, 80HLx, 200HLxの照度に就て、任意の5分間に於ける照度の変化をStandard-Beleuchtungsmesserにより、肉眼を以て認め得る範囲の逐時的变化を測定した。室温は20.3°~20.5°Cである。

第2項 測定成績

- 1) 1分毎10回10分間の照度の変化は第15表の如く、最高最低の差は、螢光放電燈に於ては基準照度10HLxの時第1回0.4

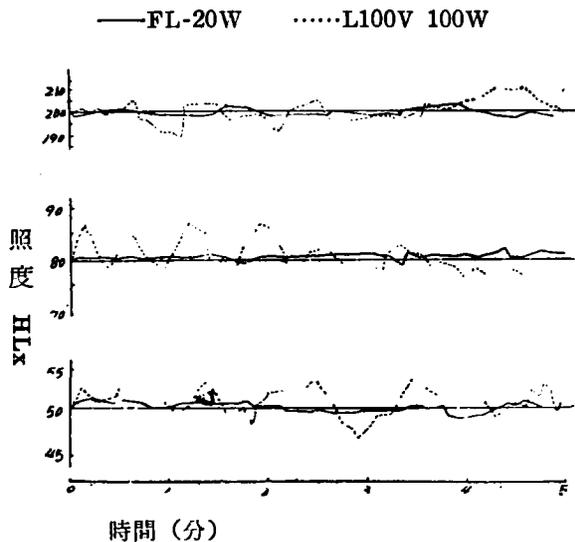
第15表 照度の時間的变化

時間 分	基準照度		10HLx				50HLx			
	光源		FL-20W		L100V 100W		FL-20W		L100V 100W	
	第1回	第2回	第1回	第2回	第1回	第2回	第1回	第2回		
	HLx	HLx	HLx	HLx	HLx	HLx	HLx	HLx		
0	10.0	10.0	10.0	10.0	50.0	50.0	50.0	50.0		
1	10.2	10.1	11.1	11.0	47.4	46.5	54.0	49.1		
2	10.1	10.1	11.0	10.6	48.1	48.8	55.9	51.0		
3	10.2	10.2	11.0	11.5	49.8	46.6	54.8	51.3		
4	10.25	10.0	11.1	10.8	49.2	46.2	49.8	49.3		
5	10.1	10.0	10.8	10.0	50.1	49.5	51.7	56.0		
6	9.9	10.1	10.9	10.7	47.0	48.3	54.1	53.2		
7	10.1	10.25	10.8	11.2	48.2	49.9	52.0	50.0		
8	10.0	10.1	10.9	10.4	47.7	48.7	52.2	48.7		
9	10.3	10.2	10.0	10.8	48.0	50.8	53.9	49.0		
10	10.2	10.2	11.0	11.6	49.7	50.3	51.0	51.4		

HLx, 第2回 0.25HLx, 照度 50HLx の時 3.1HLx 及び 4.6HLx であり, 白熱電球にあつては照度 10HLx の時 1.1HLx 及び 1.6HLx, 照度 50HLx の時 6.1HLx 及び 7.3HLx で, 白熱電球照明時はその照度の変動が蛍光放電燈照明時に比し遙かに大である。

2) 任意の5分間に於ける照度の逐時的変化は第10図の如くである。即ち 50HLx, 80HLx, 200HLx より始まる5分間の照度計に現われたる照度の変化は, 蛍光放電燈にあつては40回, 53回, 28回, 白熱電球にては夫々46回, 58回, 49回で, 孰れも蛍光放電燈照明の場合が変動回数少く, 且照度の差も蛍光放電燈の 49.0~51.2HLx (4.6%), 79.0~81.8HLx (3.5%), 197~202HLx (2.5%) に対し, 白熱電球は夫々 46.7~54.5HLx (16.7%), 74.0~86.7HLx (17.1%), 190~209HLx (10.0%) にて変化の差は前者より著しく大である。

第10図 照度の逐時的変化 (5分間)



第9節 蛍光放電燈の動程及び寿命

蛍光放電燈は発表以来蛍光塗料の改善により光束, 効率, 動程, 寿命等が著しく向上して来たので, 最近発売の放電燈に就て動程及び寿命を測定した。

第1項 測定方法

新しく購入せる FL-20W を定格電圧にて

水平位置に点燈し, 管の中央を通り管軸に垂直方向に距離 150cm の照度を, 点燈直後より連続点燈 7000 時間に就て Standard-Beleuchtungsmesser を以て測定し, 之より光度を求めた。期間は昭和28年2月8日~同年11月30日迄であり, 測定時室温が夫々異なる為総べて 20°C の値に補正し, 点燈初期の光度との比を併記した。

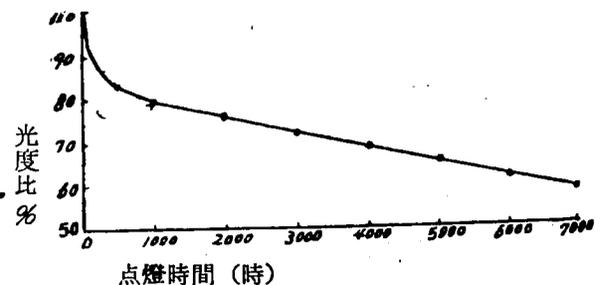
第2項 測定成績

FL-20W の動程は第16表に示す通りで, 之を図示すれば第11図の如き動程曲線となる。即ち光度は点燈初期に著しき減衰を示し, 100 時間後には 91.1% となり, 以後は緩徐な低下を来し, 1000 時間にて約 80%, 3000 時間にて約 70%, 6000 時間にて 61.5%, 7000 時間にて 58% となつた。尚 JIS によれば蛍光放電燈の寿命とは, 光束が初期の 60% に低下せる時, 又は放電不能となる迄の点燈時間を云

第16表 FL-20W の動程

点燈時間 時	室温 °C	光 度		
		実測値 HLx	20°C 補正值 HK	比 %
0	6.5	79.12	88.40	100.0
50	8.4	75.87	82.74	93.6
100	8.0	73.68	80.53	91.1
200	7.6	69.83	77.08	87.2
300	8.1	69.57	75.95	85.9
500	10.0	68.43	73.27	82.9
1000	12.3	66.98	70.28	79.5
2000	18.0	66.26	66.93	75.7
3000	21.2	63.33	63.46	71.8
4000	25.3	58.74	59.94	67.8
5000	23.5	57.23	57.81	65.4
6000	18.7	53.99	54.37	61.5
7000	8.0	46.91	51.27	58.0

第11図 FL-20W の動程曲線



い、点滅回数が多くなる程寿命も又短縮される。余の実験によれば連続点燈の場合には、FL-20Wの寿命は上記の成績より6000~7000時間と云える。

第6章 総 括

螢光放電燈は発表以来種々研究改良を重ね、光度、光束の増大、効率の向上、寿命の延長等短期間に長足の進歩を遂げ、その止まるところを知らない。螢光放電燈の効率は優秀であるとはいえ、FL-40Wでは入力の中可視光になるのは20.5%、FL-20Wで15%に過ぎず、螢光物質の研究による向上の余地は多大である。尚種々の色光を得るに当り、製造工程に於て螢光物質の混合物を使用している為製品にムラがみられるが、之も化合物を採用することにより品質の均一化が実現することであろう。

現今市販の簡易照度計は、低照度或は高照度の時誤差比較的大なるもの多きに対し、余の実験に使用せる Lange の Standard-Beleuchtungsmesser は、Bechstein の Flimmerphotometer 値との誤差少く、白熱電球 1.5~3.7%、Hefner 燈にても 4.87%に過ぎず、且光源との距離の自乗に略々正確に逆比例する関係を認め、甚だ優秀なるものである。

元来光度、照度の測定に当り、逆自乗の法則が適用されるのは点光源の場合なるも、実際に於ては人工光源は総べて大きさを有する。就中螢光放電燈は長大にして、測光に際し光源との距離が問題となる。一定の大きさを有する光源を点光源と看做し得るには、関²⁶⁾は光源の長径の10倍以上の距離を必要とすると云い、内田³⁾は5倍以上、原田⁵⁾は4倍以上と云い、又 Moon and Spencer²⁷⁾は5倍以上ならば1%以内の誤差にて逆自乗の法則が成立つと云う。余の実験によれば、20Watt 螢光放電燈にて測定するに、管長をL、光源と測光器の距離をRとすれば、 $R=L$ の時約(-)10%となり、 $R>2L$ ならば逆自乗の法則を適用するも誤差僅少にて、特に精密なる測定を要せざる限り実用に供し得られるものと思

われる。

螢光放電燈の光度、光束は白熱電球のそれに比して遙かに大きく、従つて効率も後者の6.0~7.9 lm/Wに対し、FL-20Gは実に43.2 lm/W、FL-20W 36.7 lm/W、FL-20D 30.1 lm/Wと格段の優秀さを示している。而して一般照明用光源としては、6500°KのFL-20Dより柔か味のある4500°KのFL-20Wが効率も高く、推奨すべきものである。Moon and Spencer²⁷⁾によれば、視野内が一様な明るさならば、作業面照度は 10^5 lm/m²の日光の値迄は最高値と称するものはなく、高ければ高い程望ましい。一般に専門家の推奨する標準照度は、最良のものではなく経済的な妥協案であり、年々照度標準が次第に高くなりつつあるのは事実で、従来の傾向は10年間に約2倍位の割で明るくなつてゐる。人類は将来益々理想の照度を求め、経済的な、より効率の高い光源への改良が不断に続けられるであろう。

輝度に関しては、螢光放電燈はFL-20W 0.46 c/cm²、FL-20D 0.37 c/cm²で、従来の白熱電球のLd 100V 60W透明電球の251c/cm²⁴⁾、L100V 100W艶消電球の32c/cm²に比すれば極めて小さい。然し視界内に入る輝度の許容限度は、一時的には0.5c/cm²、長時間継続の場合には0.2c/cm²以下でなければならぬから、螢光放電燈の輝度は小なりと雖も照明設計に當つては注意を要する。輝度が低く且光が拡散性であることは、螢光放電燈の人工光源としての大きな利点の一要素であるが、反面投光器用光源としては不適當であり、物体の立体感が失われ、表面の粗密が不明瞭となり、又距離の観念が不明確となる。されば螢光放電燈と白熱電球とは互にその長所を活かし、目的に応じて適当に使用すべきである。

表面温度は、室温13.8° Cの時螢光放電燈では25°~28° Cで殆んど熱を感じない程度である。Luckiesh²⁸⁾は100Watt電球の照度が1350 lm/m²の時その輻射を感ずると云う。之より計算し Moon and Spencer は螢光放電燈

照明に関し、平均照度 8600 lm/m^2 以下であれば、その輻射熱は無視し得ると云う。従つて螢光放電燈は室温を上昇せしめることは極めて少いと云い得る。

Bechstein の Flimmerphotometer と各種測光器とを比較するに Weber の Photometer は各種色光に対し、その誤差僅少であるが、測定に時間を要し且 FL-20G, FL-20BW, FL-20B に対しては R-G 法による測定は不可能である。Bechstein の Luxmeter は測定も比較的簡便であり、FL-20G の (-) 17.0% を除いては誤差は 5% 以内に止まる。然し所謂白色光以外の場合は、平衡判定に稍々遺憾な点がある。Tavolux は白熱電球にて (-) 20.5 ~ (-) 24.1%, FL-20W (-) 19.3%, FL-20D (-) 28.7% と誤差大であるが、之は経年変化の為と思われる。Lange の Standard-Beleuchtungsmesser にては白熱電球 (-) 2.7 ~ (-) 3.7%, FL-20D (-) 4.6%, FL-20W (-) 6.5% であり、更に FL-20Pk では (-) 18.2%, FL-20G (-) 32.9% と過小に、短波長側の FL-20BW では反対に (+) 10.0%, FL-20B では実に (+) 88.6% と過大に現われる。元来光電池照度計で最も重要なものは、物理眼たる受光器であり、之は規準比視感度に相似の分光感度をもつことが必要であるが、実際にはそれは極めて困難であり、製法や構成及び処理により、又個々によつても異なる。普通市販の照度計は、標準光の色温度を 2400°K 又は 2700°K として製作されて居り、各種光源に対する補正係数を予め測定しておく必要がある。従来成書に発表せる補正係数は夫々区々の値を示しているが、之は前述の理由によるものであり、個々の照度計に就て各自求むべき性質のものである。

螢光放電燈の周囲温度の影響に関しては、M. H. Gabriel²⁹⁾ 等によれば、光束は 24°C から 35°C の変化で約 10% の低下を認め、測定の標準温度は 27°C と指定している。我が国の発表を見るに、最高の光度、光束は周囲温度 20°C 無風状態の時得られることは総べて一致するも、他の温度に於ける光度、光束比

は夫々相違している。例えば 10°C の時尾本、本城¹⁾は 78%、内田³⁾は 85%、原田⁵⁾は 95% という。余の成績によれば 93.4% であつた。之は各国夫々の気温、気湿に適應せる設計の為であり、又同一国内でも各メーカーにより、更に製造時期の相違によるものと考えられる。

螢光放電燈を点燈する時は、管壁温度の上昇に伴い急激に光度を増し、4~5分にて最高となり、その後は僅かに低下し、8分以後は概ね一定する。之は管の新旧及び周囲温度にも影響するものと思われるが、一般に測光時には少くとも点燈後10分以上経過し、安定したる後に行うを要する。

螢光放電燈の各部分の光度は、両端 $1/5$ に於ては他の各部分に比し約 30% 低く、従つて輝度も各部位により異なるを以て、測定時には注意が肝要である。又光度及び平均水平光度より全光束を求むるに際しては、必ず管長の中央を通り管軸に垂直方向より測定しなければならぬ。

光源よりの距離 125cm 及び 160cm に於ける水平照度は、光源の光度が等しい場合、螢光放電燈にてはその管軸に垂直方向の照度は、各水平距離に於て他の何れの場合の照度よりも高く、管軸に平行方向にては 150cm 以遠では他の何れの場合の照度よりも低い。尚照度曲線を見るに、水平距離 50cm に於て特異の屈曲が認められるが、之は光源が長大なるに起因するものであろう。白熱電球にてはコイルフィラメントの位置により照度も異なるが故に、測光に際しては常に光源の位置、測定方向を一定にするを要する。

電源電圧の変化に対しては、白熱電球では直ちにフィラメントの温度、抵抗が変化し、電圧上昇により電流、電力、光度、光束が増し、効率も向上するが寿命は短くなる。反対に電圧降下に際しては、電流、電力、光度、光束が減り、更に効率も低下するが寿命は著しく延長する。螢光放電燈では電源電圧の上昇により、管電流は増すも管電圧は低下し、光度は幾分増加し、電圧が下降すればその反

対となる。然し寿命は電源電圧の昇降孰れも短くなる。而して室川³⁰⁾は螢光放電燈の照度は、電源電圧の増加に伴つて曲線的に増大するに對し、白熱電球の場合は殆んど直線的な關係を示すと云うが、余の実験によれば寧ろその反対で、電源電圧の変化1%に對する光度の変化の比は、白熱電球では電圧が高くなる程大きく、90~105Vでは3.0~4.5%に達し、低電圧になるに随つて遞減し曲線的關係を示すが、螢光放電燈では80~105Vの範囲内では、平均約1.8%で略々直線的に変化する。

単位時間内に於ける照度の変動回数も、白熱電球は螢光放電燈に比して多く、且照度の増減の差も后者の2.5~4.6%に比して10.0~17.1%と遙かに大きく、作業時不快を感ずる。

螢光放電燈の動程は、安定器の良否、電圧の不整、点滅回数等に左右される。その初期点燈100時間に大きな減衰を示すが、内田³⁾は之を10~15%と云い、関²⁶⁾は5~8%と云う。余の成績では9%であつた。アメリカでは1947年以後螢光塗料中に Sb_2O_4 を混合するようになり、之により光束も増加し、その製品の6,000時間後の効率は以前の製品の3,000時間のそれよりも優るといふ¹⁾。我が国でも寿命は当初1,500時間と云われたが、その後2,000時間、更に3,000時間と延長し、最近では5,000~7,000時間を稱するに至つた。余の成績も6,000~7,000時間であり、諸種成書の値と異なるのは螢光物質の研究、動程の改善、技術の向上等による年代的相違と思われ、従つて之等と比較することは出来ないと考えらる。

第7章 結 論

理想の燈火と稱せられる新光源螢光放電燈と白熱電球に就て、主として量的方面より比較実験を行い、次の如き結論を得た。

1) LangeのStandard-Beleuchtungsmesserは、その光電流は照度に正確に比例し、Hefner燈との誤差約5%で極めて優秀な光

電池照度計である。

2) 測光に際しては光源の長径の2倍以上の距離であれば、逆自乗の法則を適用するもその誤差は僅少である。

3) 螢光放電燈の光度、効率は綠色最も高く以下白色、昼光色、青白色、桃色、青色の順に小さくなる。

4) BechsteinのFlimmerphotometerによる光度測定値と、各種測光器による値を比較するに

a) WeberのPhotometerは一般に誤差は僅少であるが、色光の異なる綠色、青白色、青色ではR-G法は測定不可能である。

b) BechsteinのLuxmeterは綠色以外の誤差は5%以下である。然し所謂白色光以外の異色光の測定時には、平衡判定が稍々困難な憾みがある。

c) Tavoluxの誤差は甚だ大であるが、之は経年変化の爲と思われる。

d) LangeのStandard-Beleuchtungsmesserは白色光では誤差小なるも、異色光では可成大きい。一般に物理眼は完全に規準比視感度曲線と一致せしめることは至難であるので、個々の測光器に就て補正係数を求める必要がある。

5) 螢光放電燈の輝度は極めて小さく白色 $0.46c/cm^2$ 、昼光色 $0.37c/cm^2$ で100Watt白熱電球(艶消)の $1/70$ に過ぎない。一方効率は白熱電球の5~7倍に及ぶ。

6) 螢光放電燈の表面温度は甚だ低く、熱輻射少く所謂冷光である。

7) 螢光放電燈は周囲温度 $10^{\circ}\sim 30^{\circ}C$ の範囲内で点燈することが望ましく、最大光度は $20^{\circ}\sim 21^{\circ}C$ の時得られる。

8) 螢光放電燈の測光に際しては、点燈後少くとも10分以上経過したる後行わねばならぬ。

9) 螢光放電燈の両端 $1/5$ は、他の部に比し約30%暗い。

10) 螢光放電燈の水平面照度曲線に於て、光源直下より50cmの水平距離にて特異の屈曲が認められる。

11) 光度, 照度測定に当つては, 光源の位置, 方向は常に一定にしなければならぬ.

12) 電源電圧1%の変化に対する光度の変化は, 螢光放電燈では1.8%で略々直線的に変化する. 白熱電球では電圧の上昇するに随い, その変化の度合大きく曲線的關係を有する. 単位時間内の照度の変化は, 螢光放電燈は白熱電球のそれより回数, 程度共に遙かに小さく, 電源電圧の変化の影響を蒙ることが少い.

13) 螢光放電燈は最初の点燈 100 時間にて光度は著しく減衰し(約9%), 以後緩徐に低下する. 寿命は 6,000~7,000 時間である.

14) 螢光放電燈に関する従來の成書の成績が夫々異なるのは, 被檢材料の製造時期の相違によるもので, 螢光放電燈の進歩改善の歴史を示すものであろう. この傾向は今後も更に継続するものと考えられる.

15) 螢光放電燈と白熱電球とは, 夫々その長短相補い将来も共存するであろう.

擧筆するに臨み, 終始御懇篤なる御指導と御校閲を賜つた恩師緒方教授に深謝の意を表する.

本論文の要旨は第21回, 第22回日本衛生学会総会に於て発表した. 尚本研究は文部省科学研究費により行つた.

文 献

- 1) 尾本, 本城: 照明・電熱, 共立社 (昭26)
- 2) 東芝レビュー, 第4巻, 第4号 (昭25)
- 3) 内田: 螢光灯と照明, 電気書院 (昭28)
- 4) 照明のデータブック, オーム社 (昭29)
- 5) 原田: 螢光灯取扱の実際, オーム社 (昭28)
- 6) 小寺: 螢光体とその応用, オーム社 (昭30)
- 7) C. L. Amick . Fluorescent Lighting Manual (1947)
- 8) 照明普及委員会: 螢光燈照明のプラクティス (昭26)
- 9) 原田: 放電燈, オーム社 (昭25)
- 10) H. W. Leverenz : Luminescence of Solids (1950)
- 11) W. Marden, N. C. Bees, and G. Meister : T. I. E. S. January (1939)
- 12) H. T. Wenzel, W. M. F. Roeser, L. E. Barlow, F. R. Caldwell : Bureau of Stand. Journ. of Research, 6, s. 1103 (1931)
- 13) W. Dziobek : Licht u. Lampe. Heft 3, s. 77 (1928)
- 14) 緒方教授 自然採光と人工照明ニ就テ, 第5回日本聯合衛生学会特別講演別冊 (昭8)
- 15) E. Liebenthal : Praktische Photometrie, Braunschweig., s. 111 (1907)
- 16) Bloch : Lichttechnik (1921)
- 17) 桑原一郎: 照明ノ眼衛生的研究, 岡山医誌, 第47年, 第8号 (昭10)
- 18) 齊藤: 光電比色計による臨床化学検査, 南山堂 (昭27)
- 19) W. Bechstein: Zeitschr. f. Instrumentenkunde 25. Jahrg., s. 45 (1905)
- 20) 緒方教授: 照明の衛生的考察, 勞働科学研究, 第3巻, 第1号 (大15)
- 21) 白玖: 岡山医誌, 第42年, 第5号 (昭5)
- 22) 高橋: 日眼, 第36巻, 第12号 (昭7)
- 23) H. Cohn : Deutsche med. Wochenschrift., Nr. 38 (1884) Nr. 46, s. 876 (1894)
- 24) W. Bechstein : Licht u. Lampe, Heft 9, s. 207 (1923)
- 25) 學術研究会議委員会: 環境衛生測定法 (昭25)
- 26) 関: 電灯照明, 電機学園 (昭30)
- 27) Parry Moon, D. E. Spencer : Lighting Design (1947)
- 28) M. Luckiesh : Mag. of Light, No. 8, P. 23 (1938)
- 29) M. H. Gabriel, C. F. Koenig, E. S. Steeb, JR; Photometry Part I G. E. Rev. 54—9 (1951) 30—37.
- 30) 室川 暹信医学, 第2巻, 第4号, 77—78頁 (昭26)

The Department of Hygiene, the Medical School, Okayama University

Artificial Lighting by Fluorescent Lamps

Part I. Fundamental Study

On the quantitative comparison of fluorescent lamps with incandescent lamps

By

Ryujo Naruse, Post-graduate student,
under the direction of Prof. M. Ogata

The fluorescent lamp, a new light-source which is called the "ideal light", was experimentally compared with the incandescent lamp on the quantitative basis, and the undermentioned conclusions were obtained.

(1) In Lange's Standard-Beleuchtungsmesser, the photoelectric current is accurately proportional to the intensity of illumination, and the error is within a range of about 5% as checked with the Hefner's lamp, proving that it is an excellent photo-cell illuminometer.

(2) In photometry, if there is a space more than double the length of major axis, the error is slight even though the inverse square law is applied.

(3) The green fluorescent lamp is the highest in luminous intensity and lamp efficiency, which values lessen in order of the white fluorescent lamp, daylight fluorescent lamp, blue-white fluorescent lamp, pink fluorescent lamp and blue fluorescent lamp.

(4) The comparison between the value of luminous intensity as measured by Bechstein's Flimmerphotometer and the values obtained by photometers of other types proves the following :

(a) The error is generally small in Weber's photometer, but in case of green, blue-white or blue light, which differs in color of light, the measurement of R-G is impracticable.

(b) The error in Bechstein's Luxmeter is less than 5% in any colors of light except green. However, in measurement of different colors other than the so-called "white", there is a trend that the judgement of equilibrium is apt to accompany difficulties.

(c) Errors in Tavolux are rather great, but this is considered to be due to the variation caused by age.

(d) In Lange's Standard-Beleuchtungsmesser, the error is small in case of white lights, but is fairly great in case of heterochromatic lights. Generally it is difficult to make the physical eye perfectly in accord with the international standard visibility curve, hence there is the need to obtain the light-meter correction factors with respective photometers.

(5) Brightness is extremely small in fluorescent lamps, being 0.46 c/cm² for the white fluorescent lamp, and 0.37 c/cm² for the daylight fluorescent lamp, or so small as 1/70 of the 100 W frosted incandescent lamp, whereas the lamp efficiency is so high as 5~7 times the incandescent lamp.

(6) The bulb-wall temperature of a fluorescent lamp is very low, while its heat radiation is small. It is a so-called cool light.

(7) It is desirable to light a fluorescent lamp at an ambient temperature within the range of 10°~30°C. The maximum luminous intensity is attained at the temperature of 20°~21°C.

(8) In photometric measurement of a fluorescent lamp, it must be carried out after the lapse of more than 10 minutes from the time when the lamp is lit first.

(9) One-fifths of both end-parts of a fluorescent lamp are darker by about 30% as compared with other parts of the lamp.

(10) In the horizontal illumination curve of fluorescent lamp, there is witnessed a peculiar refraction at the horizontal distance of 50 cm right beneath the light-source.

(11) When measuring the luminous intensity and illumination, the location and direction of light-source must always be kept constant.

(12) The variation in luminous intensity for every 1% of the change in the voltage of light-source is 1.8% with the fluorescent lamp, and such variations are lineal as shown in graph. In the incandescent lamp, the variation in luminous intensity grows large in proportion to the rise in voltage, and keep the relations between each other which are represented by a curve. The variations in intensity of illumination within any given time-unit are far less in frequency and degree compared with the incandescent lamp, and are less affected by the fluctuations in the voltage of the source of electric supply.

(13) A fluorescent lamp shows a marked decrement in luminous intensity (about 9%) in the first 100 hours of lighting service. Thence a gradual decrement continues, and its life is estimated at 6,000~7,000 hours.

(14) The discrepancies in various records concerning fluorescent lamps as appearing in literature in the past may be attributable to the difference in the time of manufacturing of the samples used in such tests, and may be indicative of the history of progresses and improvements of the fluorescent lamps. This tendency may continue further on for the future.

(15) Both fluorescent lamps and incandescent lamps will co-exist in the future, mutually balancing respective merits and demerits.
