製造上より見たる電球の發達*

正會員 八 卷 升 次

(東京電氣株式會社)

History of Development on the Electric Lamp Manufacture.

By M. Yamaki, Member

(Tokyo Electric Company.)

内 容 梗 概

電燈50年記念祭に當り本邦に於ける電球製造上の發達を述べたもので、炭素電球より説き起しタング

ステン繊維の研究改良、瓦斯入電球の發達を叙し、最後に私見を多少附記した。

SYNOPSIS

This is an abstract of the lecture made at the commemorating lecture meeting of the Light Golden Jubilee in Tokyo, and describes some historical notes on the development of lamp manufacture, in which the author treats with his own experience in the Tokyo Electric Company.

Starting from the development of carbon filament he explains the researches on leading-in wires, tungsten filament and gasfilled lamps, and in conclusion he express his hope for the glow lamp development as well as that of incandescent lamp.

1. 緒 言

白熱電球は溫度輻射の原理を應用したもので、固體を高溫度に熱して行けば固體は遂に發光するに至ることは皆様已に御承知の筈であります。白熱體は溫度に従つて輻射束の分布が夫々異つて居りまして、黒體の輻射に於ては圖の如き分布になり、溫度が高い程可視範圍内の輻射線が多くなり能率が良くなるのであります。而して白金の如く或は特殊な稀土金屬の酸化物の如きものは、同じ溫度に於ても輻射線の分布が黒體と一致いたしませんで可視範圍に接近して居るのがあります。此現象を選択輻射と申します。白熱電球の進歩發達と申しまして、一言で申しますならば白熱體の溫度を如何にして支障なく高めるかと云ふことに就て、種々の苦心研究が續けられ、炭素繊維からタンタル、タングステンとなり、或はゲッターの研究となり、遂に瓦斯入タングステン電球となつて今日の普及發展を見るに至つたのであります。タングステンの熔融點は約3,650°Kでありまして10KW電球の如きは約3,350°Kで點火されて居り、白熱電球としては極度に近い點まで進んで居りますので、溫度輻射による電球即ち白熱電球の將來の進歩は行詰れりと悲觀論を唱ふる者の現はれる所以であります。エヂソン翁が竹を炭化して電球を作つた頃の事はあまりに有名でありますから、

* 電燈50年記念講演 (昭和4年10月10日)

私は今から約20年前東京電氣株式會社に入社致しまして實際に見聞いたしました當時からの記憶を

第 1 圖 溫度輻射曲線

た。尤もずつと以前には排氣にスプレンドルの水銀ポンプを使用した以外は悉く手作業であつたこと存じますが、生産が増加して参りましてからはステム、頭繼ぎ、封じ、排氣等に稍や機械らしいものを使用する様になりました。而して頭繼ぎの機械は最近無尖端電球となるまで何の改良も施されず其儘用ひられて來ました。

b. 材料に就て申しますれば初めは曹達硝子を使用して居ましたが、作業上に種々の故障を伴ひますので苦心研究の結果、適當な鉛硝子の成分を發見致しましてから作業能率が甚だしく改善され、此硝子は遂に大正13年の震災直後迄、即ちタングステン電球になりましてからも引續き同一成分を其儘使用されて参りました。

た。電球用の硝子材料は熔け難くして宜しからず熔け易くして適せず、また導入線に對して畧同様の膨脹率を持て居なければならぬのは勿論のこと、風化作用にも丈夫でなければならぬのでありまして、其成分を變更するには極めて慎重な實驗研究を要するのであります。口金の殼とアイレット

連つて、製作方法の變遷發達に關し極めて概略を申述べたいと思ひます。

2. 炭素纖維條電球

a. 炭素纖維條電球は大正の年代に入りましてからもなほ盛に製作されて居りましたが、其製作工程に於ても其設備、方法に於ても、明治40年頃より以降には、これぞと申す程の改良進歩は無かつた様に記憶して居ります。其製作工程は第2圖に示す通りでありまし

第 2 圖 炭素電球の製作工程

炭素線電球製作工程

この絶縁には陶器を使用して居りました。此時代の末頃になりましてから現在の口金の如く陶器を廢して硝子に換へまして、茲に大量生産の第一歩に踏み入れた次第であります。

第3圖 炭素繊維の製作工程

次に其繊維製作方法に就ては第3圖に示した様なものでありますが、東京電氣株式會社に於ける炭素電球も専ら此方法を採用して居つたのであります。此方法に於ては、先づ脱脂綿を鹽化亜鉛の濃溶液に溶解させ、どろどろの液體になつたものに壓力を加へて、硝子の細孔を通してアルコールの中に押出します、すると素麵の様に固まりますから、それを酸の溶液を以て洗ひ、蒸汽の通つたドラムに捲いて乾燥し、更に繊維に格構を附ける爲に、橢圓又は螺旋形に卷いて窯に入れ炭化させ、之れをガソリン蒸氣中で一度處理を致します。此ガソリン處理が炭素繊維に關する大きな改良でありました。それから電気抵抗を測つて燭光、電壓別に種別して電球工場へ供給したのであります。

3. タングステン電球初期

a. 押出繊維 (明治41—44年)

タングステンを白熱電球の繊維に使用することは

1902年に奧太利の Vienna に於ける Alexander Just 及び Franz Hanamann に依つて發明されたのであります。此等のことは書物なり雑誌なりに詳細出て居りますから私は申しませんが、只押出タングステン繊維を作る概略を申しますれば、タングステンの粉末を砂糖やアラビア護謨と共に練り合せて糊の状態とし高い壓力を加へてダイヤモンドの小さい孔から押し出し、焼いてバインダーを逐ひ出し、更に水素の氣流の中で電流を通じ乍ら型を付けたものであります。

本邦に於きましては東京電氣會社が此繊維を輸入して、明治40年頃からタング

第4圖 押出タングステン繊維電球の製作工程

ステン電球製作の研究を始め、愈々東海道線川崎驛に隣接した田圃の中に工場を建て、電球の製作

を開始したのは、明治42年かと記憶して居ります。今日を以て當時の状況に比較致しますれば、實に隔世の觀があるのであります。生産高は1日に200—300も出なかつたのでありませう。織條は其性質として極めて脆く、而も價格は1個16燭光で2圓20錢位であつたと記憶致しますが、それでも感心によく賣れました。尤も時には猛烈な苦情に接することもありましたが、兎に角盛に需要があつた處を見ましても、世間は炭素電球の如き赤味がゝつた色合では満足しなかつたことが判ると思ひます。

b. 引線タングステン織條電球（大正12年以前）

東京電氣株式會社で作りますタングステン電球が押出織條から引線タングステンに変更されたのは明治44年頃と記憶致します。最初は上下の吊子が銅線で作つたフックとなり、導入線のニッケルの部分が矢張り銅線に變つた位のもので、其他には餘り變更がありませんでしたが、其内漸次品質の向上に關し種々の改善が施されまして、アンカーの如きも銅線を磨めて細いタングステン線を用ひる様になり、彈力性がありますので織條の機械的強さを大變に増して参りました。電球製作工程の中で品質に最も重大なる影響を及ぼすものは排氣方法でありますが、排氣方法は此時代に於て長足の進歩をいたしました。それには諸種の科學が貢獻して居ることは勿論であります。私は大半の功績を敢てマクレオド・ゲーヂに歸したいと考へるのであります。

次に此時代に至りまして製作工程中の變化としては測光であります。それは測定方法の變化ではなく、各個の電球を全部に亘り測定する必要が無くなつたことであります。前には炭素電球でも押出タングステン電球でも、或は其織條の性質上或は電球の構造上何うしても各電球につき測光して適當な使用電壓に種別して供給するを以て最も誠意あり親切な方法としたのでありますが、引線タングステン電球になりましてからは、線條の太さを精密に測定することが出来るのみならず、長さも適當な型を使用して極めて正確に切ることが出来ますので、製品の光束は以前に比較して遙かに均齊なものとなりましたので、測光は一部の抜取試験で足ることになりました。従つてエーディングの必要がなくなると同時に運搬途中の斷線率を著しく減少することが出来ました。

c. 材料に就て

硝子は矢張り鉛硝子を使用して居りましたが、御承知の如く鉛はすべて輸入品でありまして、かの歐洲大戰に際しては價格が非常に騰貴しましたので、鉛を含まぬ硝子に変更せんと種々と研究いたしました。が容易に成功いたしませず、震災直後に初めて其緒に就いた様な次第でありまして、要するに此時代に於きましては硝子に關する進歩改良は一向目覺しいものが無かつたのであります。

導入線は炭素電球時代は勿論のこと此時代の初め頃迄は白金を使用しましたが、その内に特殊の合金を白金で被覆した代用線を使用致しましたが、これには白金が尙20—30%程含まれて居たと思ひます。次に全然白金を含まない處の現在のデユメット・ワイアと稱する代用線が發明されまして、廢球の値が一時に下落し古電球はたゞでも屑屋さへ持つて行かなくなつた程であります。此代用線はニッケル・スチールの合金を芯にして是れに銅を被覆したもので、銅の厚さを加減することにより硝子の膨脹に一致せしめたものであります。

口金著材料としては、炭素纖維電球時代は申すに及ばず次のタングステン電球時代に於ても、専ら石膏を用ひましたので作業能率は極めて低いものでありました。此時代に至つて初めてシェラックとセメントの混合物を用ふることになり、口金著作業の能率が急激に増進いたしました。

又此時代に於ける最も大きな進歩改良はゲッターであります。タングステンが如何に熔融點が高く又其蒸氣壓が低いとは申しまして、何しろ真空中で高温度に熱するのであるから、纖維の表面から蒸發して硝子球の内面に沈積して、所謂黒化が起るのであります。若しもそこに水分がありましたならば一種の促進作用が起りまして、此現象が極めて顯著に現はれるのであります。此硝子球の内面黒化の現象を防止する爲に用ふる藥品をゲッターと申しまして種々のゲッターが發明されましたが、内面に沈積した金屬タングステンの分子を金屬の狀態に置かすして光の透過を妨げない様な化合物にすることを目的としたのであります。ゲッターを用ひなければ容量の小さい電球は左程でもありませんが、100燭以上位になりますと其働程が非常に悪くなりまして、殆ど實用に適しない程の黒化が起るのであります。ゲッターを使用する様になりましてから真空電球でも1,000燭の如き大容量のものが製作される様になりました。電球の品質向上に就きましては種々の點が考慮されるのであります。此働程の改良の如きは重要な項目の1つであります。

d. 設 備

此時代の末頃から製作設備の改良が弗々實現して参りまして、振止め附け機械、排氣機械等の如く著しき進歩を見たものもあります。

4. 瓦斯入電球時代

Dr. Langmuir が1909年 G. E. 會社に入社以來タングステン纖維のオフセツティングに關する研究から真空電球の黒化現象の研究に進み、遂に瓦斯入電球の發明となつたのでありまして、私共が製作を開始したのは大正 3, 4 年頃と記憶して居ります。初めは窒素瓦斯を填充して居りましたが、只今では窒素の代りに更に不活潑性なアルゴン瓦斯を填充して居ります。大容量の電球では左程でもありませんが小容量の電球では同一壽命を得るのに、填充瓦斯が窒素の場合とアルゴンの場合とは能率に於て格段の差異があります。即ちアルゴン瓦斯を填充するやうになりましてから 100ヴォルト40ワットとか30ワットとか云ふ小容量の電球までも、瓦斯入電球にすることが出来るやうになつたのであります。填充瓦斯が窒素からアルゴンに變つたのは電球としては大きな變化の1つであります。外觀上では判別することが出来ない爲め一般には未だ御存じない方もあるやうであります。

次に大きな變化は作業工程表で御覽の如く從來の電球の頭が無くなつて、所謂チップレス電球になつたことであります。電球として從來の如く頭のあるものよりも無尖端の方が一段の進歩であることは、誰が見ても異存のない處であります。製造原價の點からはどうしても從來の電球より高くなるので甚だ困りました。然し電球としての進歩であるから犠牲を忍ぶことになりまして大正13年頃に斷然全部の電球を無尖端電球に変更いたしました。

頭繼ぎの作業は從來簡單な機械で行はれました。他の作業は製作機械に夫々の改良が施され殊に振止め挿しや排氣の機械は可なり自動的になつて参りました爲、漸次熟練職工を要せなくなりまし

たが、頭繼ぎの機械は炭素電球時代から少しも改良された處がなく、従つて製作工程中最も困難な作業として取残されてしまひ、新規工員を完全に養成するには1ヶ年以上も要したものであります

が、無尖端電球となつてから此厄
 介な作業が消滅し大變樂になりました。以前から無尖端電球を作る方法があるには有りましたが、多くは手作業でありまして大量生産の方法に採用すべきものは無かつたのであります。然るに圖示の方法はステム製作々業に於て同時に完了するのでありますから極めて重大なる改善と云はねばなりません。

茲に一寸申述べたいことは内面艶消電球であります、不破技師が初めて内面艶消の硝子球で電球を作ることを提案されましたのは大正 7, 8 年頃かと記憶いたしますが、内面艶消の硝子球に頭繼ぎをすると瓦斯焰の爲に尖頭の周圍だけが元の透明に還り頗る不體裁になるので其儘沙汰止みになつて居りました。處が其後頭繼ぎが廢されて無尖端電球となるに及び、内面艶消電球は遂に吾邦は勿論世界各國共に標準化され今日の如き普及を見るに至つた次第でありまして、不破氏の内面艶消と無尖端電球とは切つても切れない因縁があるのであります。

次に真空電球では製作不可能である處の 10 KW の如き大容量の電球も瓦斯入電球では容易に作る

ことが出来る様になりました。また瓦斯入電球では光源を殆ど點光源に近いまで小さく作ることが出来るやうになりました。是等の特徴のために白熱電球の應用の範圍が以前に比較して遙かに擴大さ

第 5 圖 瓦斯入電球製作工程

れることになりました。

次に此時代殊に最近に於ける設備の進歩即ち製作機械の進歩改良は實に素晴らしいものでありまして、例へばステムとアンカーリングと2つの作業を同時に完了する1つの機械に唯1人の女子が附いて尙ほよく1日に8,000個を作り得る機械が出現致しましたことに依つても製作機械の進歩せる状況を御想像出来やうと思ひます。要するに大量生産によつて作業能率の増進をはかることが近來に於ける製作上の方針の1つで、製品の單純化が必要なる所以もまた茲にあるのであります。

硝子は前にも申した通り長い間鉛硝子を使用して参りましたが、鉛の價格が騰貴いたしましたので研究を續けて居りましたが、硝子の成分の變更は一朝一夕に決行することが出来ず久しい間其儘にして置きましたが、震災後先づ鉛の含量を約半減した程度の暫定的成分を採用し、最近には全然鉛を含まない所謂石灰硝子に成功して今日はこれを採用して居ります。鉛が悉く外國産であることを考へましたならば、これもまた國家的貢獻の一部であると信するのであります。

成分に就ては唯今申述べた通りであります、其製造方法の進歩に至つては恐らく皆様の御想像の外であると思ひます。つい先頃迄はボット窯により手吹きの方法で1日1人の生産高が精々1,500個位、半自働機械によつても尙ほ1日1人の生産高は4,000個を出でなかつたのでありますが、最近のタンク窯により自働機械の1基1晝夜間の生産高は實に75,000—80,000個に達するのであります。

硝子の管も以前は飴細工の如く口で吹きながら長い廊下で引張つて作つたもので、非常に技術の熟練を要したのみならず、生産能率極めて低く品質もまた到底均齊なるものを得ることが出来なかつたのであります。唯今ではダンナー式と稱し自働的に連續作業を爲すことが出来まして、能率に於て實に人力車が自動車に變つた様な變化をもたしました。

タングステン繊維の製作方法に就ては極めて簡単に申し上げます。其製作工程は第6圖の如くでありまして製造方法の性質上、硝子材料の製法や電球の製法の如き目醒ましい進歩改良を指摘することは出来ませんが、大量生産になると同時に作業能率及び原料節約の點に於て可なりな進歩を示して居ります。

最後に申し上げたいことは電球には斯の如く種々の材料を使ひ、其材料を作るには其れ以上に種類の多い原料

第6圖 纖維製作工程

料を要するのでありますが、今日に至りましては此等の材料は悉く内地産で自給自足し得るやうになりました。1例を申せば以前には排氣作業に無くてはならないゴム管の如き、内地品では結果悪

くどうしても外國品に待たねばならぬのに外國品が拂底した場合などには困り抜いた揚句、一旦使つて捨てたゴム管を拾ひ集め更に選り分けて使つたりした時代もありましたが、唯今では内地品で外國品に優ることも劣らないやうになりました。

又伸線に最も肝要なダイヤモンド・ダイの如きも以前は適當な穿孔が出来ないので外國品を使用しましたが、唯今では從來最も困難とされた 100 ヴォルト 5 燭用の細い纖維を引くに要するドロッキング・ダイまで私共の工場で作成することが出来る様になりました。要するに斯の如く自給自足し得る迄に進歩發達致しましたことは邦家のため御同慶に存する次第であります。

5. 結 論

炭素電球から始まり最近の瓦斯入電球に至る迄の製作の進歩變遷は時間の關係上詳細をつくすことが出来なかつたことを遺憾に存じますが、大體唯今まで申述べた通りであります。

私は結論に於きまして、白熱電球將來の進歩に關する私の想像を申述べて皆様の御批判を仰ぎたいと存じます。

燈火は炬火に始まり、油燈、石油ランプ、瓦斯燈、炭素電球、真空タングステン電球、瓦斯入タングステン電球と進歩して参りましたが、何れも白熱即ち溫度輻射の原理に基礎を置くものでありまして、進歩の道程は輻射勢力のスペクトルの分布をして成るべく可視範圍に近付けようとして、

第 7 圖 電球と船舶の比較

即ち白熱體の溫度を高めることによりまして此目的を達成せんとして、あらゆる苦心努力を重ねた跡が歴然として明瞭なのであります。

燈火の進歩と船舶の進歩とを對照して見ますと面白い因縁を發見するのであります。私は軍艦

用電球の件につき、造船所や海軍工廠にも行きまして軍艦の試運轉の時は屢々便乗いたしました、最近の造船術乃至造艦術の進歩には驚くの外ありません。それがあらゆる工業あらゆる科學の綜合であることは、最近の軍艦又は船舶を御覽の方は等しく感ぜられることゝ存じます。我田引水と御笑ひになるかも知れませんが、電球の製作も其所要材料を自給自足するとして考へる時は、造船術に劣らぬ程複雑した綜合的技術でありまして、先づ此處に對照點を見出した次第であります。而して船の進歩と電球の進歩とを對照して見ますと第7圖の如くなります。

船は筏の時代から昨今のディーゼル式、又はタービン式優良船に至るまで一貫して水上浮力の原理を應用して居るのに對し、燈火は炬火の昔から瓦斯入電球の今日に至るまで一貫して溫度輻射の原理を基礎として進んで來て居ります。而して船舶の速力に就きましては現在のディーゼル機關式又は蒸氣タービン式の船を以て大體行詰りに達したと承つて居ります。白熱電球に於ては其能率に就て、現在の瓦斯入電球を以て矢張り行詰りに達したかの如く申されて居ります。然るに先般ツェッペリン伯號の飛來によつて運輸交通上の速力に關しては最新式汽船と雖も、到底比較にならぬことを目撃して驚嘆いたしました、一方電燈に於ても放電に依る電燈が近來著しく發達して參りまして其輻射束の殆ど全部が可視範圍に入ると云ふ特徴を有する爲に、能率の點に就ては理論上極めて優秀でありまして、瓦斯入電球と雖も遠く及ばない程であります。ツェッペリン伯號飛行船は水上浮力の應用によらぬ如く、放電電燈は溫度輻射の原理に關係はないのであります。然しながらツェッペリン伯號が如何に改良されましても其運輸力、即ち容量に於て大西洋航路 50,000噸級の汽船に匹敵し得る時代がありとは考へられませんが、放電電燈によりて 30 KW の瓦斯入電球を驅逐し得べしとも考へられないのであります。即ち放電電燈は其特殊の使命を果すべく益々進歩發達するのでありませうが、白熱電球の今後の進歩も亦決して悲觀するに及ばないと考へるのであります。白熱體としては現在ではタングステンに優るものが無い様にも見えますが、ウェルสบアツハ氏が瓦斯マンテルに使用したトリウム・オキサイドの如く、選擇輻射の特性を有する物質を探すのも1つの方法でありませう。要するに溫度輻射による發光方法の行詰りを打破するには、選擇輻射の方法によるか點火溫度を高めるかの2つに歸するのであります。前者に就ては研究室に於ける學者に御苦勞を願はねばならないが、それは恰も行き詰まれる本邦の人口問題、食糧問題を解決する爲め、新たに殖民地を發見すべく探險隊を繰り出すやうなものであると申しては穩當でないかも知れませんが、或は外交に依り或は海外投資によりて滿蒙と云はす南米と云はす此2問題の爲に經濟的殖民地を確立せんと、あらゆる機會に努力して居るが今尙は思ふ様にならぬのは已に御承知の如くであります、研究室の研究も之れと同様でなかなか思ふ様な發明發見を期待することは困難でありますから、此等の根本的研究を夫々進めると同時にひとつ確實性のある方面の開拓をも同時に心掛ける必要があると考へます。

50ワットの瓦斯入電球の纖條は $2,685^{\circ}\text{K}$ の溫度に點火され能率は 10.0 Lm/W でありまして、

30 KW の電球に於きましては纖維は $3,350^{\circ}\text{K}$ に點火されて居ります。而してタングステンの熔融點は約 $3,650^{\circ}\text{K}$ でありまして、線條の溫度を熔融點迄上昇せしむることは不可能でありますが、30 KW 電球に於て已に $3,350^{\circ}\text{K}$ 迄上昇した實例があるのでありますから、此處迄は一種の確實性があることになります。

然しながら50ワットの如き細い纖維を斯の如き高溫度に熱することは、實際問題として甚だ困難でありますから、ずつと讓歩して $2,760^{\circ}\text{K}$ 迄上昇したとすれば能率は約30%向上いたします。現在の50ワット電球で電球の能率を、若しも30%向上することが出来ましたならば、恐らく真空電球時代に瓦斯入電球が發明されたよりも以上の改良發達になるのであります。

殖民地を發見獲得せんと努力すると同時に、現在の領土内に於ける未開墾地を開拓すべきであり、且つ其方法が遙かに確實性に富むが如く、白熱電球の根本的改良研究に努むると同時に、もつと確實性のある現在の電球を基礎として一步一步これが進歩改良を計るべきであると考えるのであります。瓦斯入電球の發明に依りまして、白熱電球が已に今日の如き域迄進歩發達いたしました上に、更に一步を進めんとするには餘程の覺悟が必要であります。

要するに將來の進歩は放電電燈の進歩發達と相俟つて白熱電球の進歩に於ても更に開拓さるべき餘地が充分に存在することを信じて疑はない次第であります。

第 1 表 電球能率と纖維溫度

電 球	ルーメン/ワット	最大溫度($^{\circ}\text{K}$)
眞 空 球		
50W 炭素	3.3	2115
50W セム	4.0	2180
50W タンタル	4.9	2160
10W タングステン	7.7	2355
25W "	9.8	2450
40W "	10.0	2460
60W "	10.1	2465
普 通 瓦 斯 入 電 球		
50W タングステン	10.0	2685
75W "	11.1	2735
100W "	12.9	2760
200W "	15.2	2840
300W "	16.3	2870
500W "	18.1	2930
1000W "	20.0	2990
特 殊 瓦 斯 入 球		
1000W ステレオプ チコン	24.2	3185
900W 活動寫眞用	27.3	3290
10KW	31.0	3350
30KW	31.0	3350

第 8 圖 各種物質の融點