GEにおける蛍光ランプ開発の経緯[†]

George E. Inman* and Charles L. Amick** 専門会員 河本康太郎***訳

1. ま え が き

1988年は、1938年4月1日にGE社（General Electric Company）が、Nela Parkにおいて蛍光ランプの量産設備の製作および設置を完了して量産体制を整え、昼光色および白色蛍光ランプ4品種と5種類の色物蛍光ランプ発売の報道発表をしてからちょうど50年目に当たる（なお、WH社（Westinghouse Company）も、同日に蛍光ランプ発売の報道発表をしている）。

そこで、この50周年の機会に1930年前後のGE社における蛍光ランプ、およびその量産設備開発の状況などについてご紹介させていただくこととする。

2. 1920年ごろまでの蛍光ランプ関連技術の歴史

まず最初に、蛍光ランプの前史として蛍光現象や蛍光物質の歴史、および実用蛍光ランプ以前の関連技術の状況について簡単に触れておくこととする。

蛍光の現象については、数世紀前にすでに見いだされていたとの記録がある。しかし関連する技術が発達し、技術者達によって蛍光現象と結び付けられ、照明用光源（蛍光ランプ）としてまとめようとされたのは、今世紀になってからである。

蛍光の現象を照明の光源に利用するという考えに対し、技術者達が挑戦するには、一見希望が薄いように思われていた先入観的かつ背景的理由は、それまでに発見されていた蛍光物質の蛍光の光の強度の弱さであった。蛍光現象が蛍光ランプとして具現されるまでの発達段階は、次のとおりである。

蛍光やりん光に関する最初の記録は、西暦1000年ごろの「草を食べている雄牛を描いた東洋の絵が、暗く成ってからも光っていた。」という記述に見られる。さらに有名な初期の蛍光やりん光の記録としては、1602年にイタリアのボローニアの靴屋であり、錬金術師でもあったV. Cosciarolaによって発見された、強い光を照射すること

により残光（蛍光）を発する物質の記録がある。

このイタリアにおける蛍光物質の発見以降50年の間に、技術者達は、蛍光の発光過程は照射される光（励起光）によって変化はしないので、蛍光物質からの蛍光の発光波長は、励起光の色（波長）によらず一定であることを見いだした。これらの現象に関する調査・研究が科学者達の間で盛んとなり、蛍光発光の機構についていろいろな説明が発表された。たとえば、I. Newtonは1704年に蛍光現象は物質内部の反射に帰するという説を発表している。またその他に物質内部の分散が、蛍光の真の原因であると発表された例もあった。1852年にはアイルランドの物理学者G. G. Stokesが、蛍光物質の発達史上非常に有効となった法則を発見している。Stokesは、この法則の発見に関連して図1に示すような公開実験を行なっている。

図1 G. G. Stokesが行なった蛍光現象に関する公開実験（1850年ごろ）

このStokesの発見のすぐ後の1895年に、フランスの科学者A. E. Becquerelが、管内に蛍光物質層を設け、かつ管内の空気の圧力を下げた管（tube）の構想を発表している。このときBecquerelが試作した管は、光源としては実用的でなかったけれども、彼の考えは、その後ベルギー、イギリス、フランス、ドイツ、オランダ、そしてアメリカなどに引き継がれ研究が続けられた。それらの成果の一つとして、1896年にT. A. Edisonが「蛍光ランプ」を発明し1907年に特許を取得している。しかしEdisonの「蛍光ランプ」もまた実用的ではなかった。

蛍光物質についての研究も盛んに行なわれ、適切な放射の照射によって励起され、光を放出する金属化合物が数多く発見された。また、気体放電管についても研究が進めら

[†] First Development of the Fluorescent Lamp at GE

* General Electric Company (now retired)

** Emerson Electric Corporation (Formerly General Electric Company)

***陶東芝総合研究所 Kohtaro Kohmoto

れ、H. Geissler (ドイツ)、W. Crooks (イギリス)、D. M. Moore (イギリス)、G. Claude (フランス) 等の研究の成果により、限られた用途ではあったが気体放電管が実用化された。

1920年代に、蛍光物質を使用したランプ(光源)が、たまたま標識の分野において使用されている。これはウラニウム・ガラス管によって製作されたアルゴン-水銀放電管で、このアルゴン-水銀放電管により多量の緑色の光が得られた。この当時は、発光の原理については十分な説明がなされていなかったが、後年これはウラニウム・ガラスからの蛍光であると証明された。

1920年代には、蛍光ランプの概念と構想については、すでに多くの科学者達に知られており、蛍光物質と水銀放電、およびそれらの組み合わせについては、1920年代の中ごろにはすでに古くからある問題となっていた。しかし、(1)効率の良い紫外放射発生システムと、(2)その紫外放射を効率良く可視放射に変換することができる蛍光物質との組み合わせの条件はまだ見いだされていなかった。

3. 1930年ごろまでのGEの状況

前項で述べたように、1920年代の終わりごろまでに今日の蛍光ランプ実現のための要点となった技術は、この分野の関連技術者達の手によってほぼ明らかにされていた。ただし、アメリカそのものは蛍光ランプについては後発であり、少なくとも1920年代までは蛍光ランプの開発史上、特筆されるべき技術的貢献は、アメリカにおいては少なかったといえる。

当時、GE社には光源の開発を担当すべき組織として二つの研究所があった。一つはSchenectadyにあったGE研究所(General Electric Research Laboratory)であり、今一つは、Nela Parkにあった光源開発技術研究所(Lamp Department's own Engineering Laboratories)であった。1920年代までは、これらのGE社の研究所においても蛍光ランプに関連した開発の成果は少なかった。

GE研究所においては、1920年ごろにW. S. Andrewによって圧力10 mTorrの水銀の放電により、最も効率良く紫外放射を発生させることができることが明らかにされた。また光源開発技術研究所においては、電極や適当な種類と圧力の緩衝気体の効果など、(水銀)の低圧放電を安定に、しかも長期にわたって維持するための関連技術が開発された。ただし率直にいうと、GE社が本格的に蛍光ランプの開発に着手した1934年の時点においては、それ以降の開発の基本となった事項の大部分は、ヨーロッパの科学者や技術者達によって得られた成果であるということを認めざるを得ない。

たとえば(ガラス)管の内面に蛍光物質層を設け、そこで(紫外放射を変換して)光を得る方法とその蛍光物質層の適正化については、1930年代のはじめにフランスとドイツの科学者達によって研究が進められていた。また家庭用の商用電源電圧(100~200 V)によって、放電維持を

可能とした低電圧点灯の基本技術は、ドイツの技術者であるF. Meyer, H. Spanner, E. Germerらによって1926年に研究され、1927年にアメリカにおいて特許が取得されている。

4. GE社における実用蛍光ランプの開発の状況

GE社において、蛍光ランプを本格的に市場に出そうと考え、技術開発を積極的に進めるようになったのは1934年からである。

1933年、当時GE社の光源事業部の開発技術担当部長であったW. L. Enfield博士がヨーロッパに出張し、パリにおいてネオン管灯式の蛍光ランプの点灯状況と、その照明効果を見て非常な感銘を受けた。次いで翌1934年に、光源開発技術研究所の所長であったA. H. Compton博士がイギリスへ出張し、冷陰極形の蛍光ランプとその照明器具を見て同様に感銘を受け、このランプが通常の商用電源によって点灯できれば、一般照明用として大いに普及するであろうと考えた。

Comptonが帰国後、ただちに関係の科学者や技術者達が集められ、種々の検討が加えられるとともに、組織的にも体制が整備され、光源開発技術研究所を中心として光源開発部(Lamp Engineering Department)、照明研究所(Lighting Research Laboratory)も加わった開発チームが編成され、精力的に開発が進められることとなった。このとき開発チームに加わったのがR. Thayer, E. Lemmers, W. A. Roberts, G. E. Inman, A. B. Oday, R. F. Cissell, W. M. Potter, W. G. Darley, A. H. Taylor, C. L. Amickなどである。図2に蛍光ランプの試験をしている、この当時のInmanとThayerの写真を示す。

図2 蛍光ランプの実験をしている
G. E. Inman (左)とR. Thayer (右) (1934年)

前項において述べたように、蛍光ランプの実用化に関連している基本技術の大部分は、1920年代までにほぼ明らかになっていたもので、当時、開発のために実施する必要のあったことは、実用蛍光ランプとして最高の効果を得るために、各要素をいかに適切に組み合わせるかということであった。要素として代表的なものは次のとおりである。

(1) 中波長の紫外放射、(2) (1)の紫外放射に適合する蛍光体、(3) ガラス管内壁の蛍光体層の形成、(4) 適切な電

流密度、(5) 熱陰極。

このほかに種々の関連の要素があり、それらを含めた(1)～(5)の組み合わせと最適化の検討(寸法や電気特性も含む)が、上記の人々を含む非常に多くの技術者、作業者の協力のもとに進められた。そのときに使用された開発のマップを図3に示す。非常に多くの材料とそれらの使用方法、全体のランプの構成や寸法などが、消費者に最も利便を提供することができるような蛍光ランプの特性、性能を得るために種々検討され、最終的には1,000,000以上の組み合わせが検討された。

図3 GEの蛍光ランプ開発チームにおいて作成された当時の開発マップ。最適性能を得るために1,000,000以上の組み合わせが検討された。(1934年～1935年)

1935年までの、開発チームにおける開発の進行のスピードは速かった。1934年の年末までに、低電圧で点灯可能な蛍光物質を発光源とするランプ(現在の蛍光ランプの原型)の開発をほぼ完了することができた。

化合物の蛍光物質(蛍光体)は、すでに量産することができるようになっており、また同じように重要なことであるが、水銀の低圧放電の紫外放射に適合した効率の良い蛍光体もすでにいくつか開発されていた。またガラス管の内面に形成する蛍光体層の最適化と、それを実際に実現する方法についても精力的に検討が進められた(結果として、最適な蛍光体層の厚さは、蛍光ランプ用に使用可能な蛍光体の場合、大抵0.00008～0.002 inchesである。したがって、計算の結果によれば当時の40 W 蛍光ランプの場合、ランプ1本当たりの蛍光体の粒子の数は数10,000,000,000個であることになる!)

白色光を得るための(当時はまだ白色の蛍光体が開発されていなかった)蛍光体の組み合わせについても検討された。また点灯器具との組み合わせについては、当時の管状白熱電球の実験結果が参考にされた。またそれまでの放電ランプの製造に関する長年の know-how と、放電ラ

ンプを低電圧で点灯する技術が、光源開発技術研究所の技術者達によって、最初の低電圧で点灯可能な実用的蛍光ランプを開発する上での重要な要素となった。

1935年9月シンシナティで行なわれたアメリカ照明学会の年次総会において、実用的で低電圧で点灯可能な蛍光ランプがはじめて展示公開された。この1935年9月にはじめて公開された蛍光ランプは、その後、全世界的に普及し多くの人々の生活に有用となっている現在の蛍光ランプと構造・寸法、電気特性的に互換性のあるものである。

次いで、1936年11月にアメリカの特許庁の創立100年祭が実施されたが、このGEの蛍光ランプが華やかにこの記念祭に色を添えた。さらに1938年と1939年の二度の万国博覧会において、この蛍光ランプの照明効果がより広範な人々により認識された(図4参照)。

図4 1938年ニューヨークで開催された万国博覧会における蛍光ランプの展示状況

5. 量産機械の開発と製品化の発表

以上述べたように、GE社においては1934年の末に実用蛍光ランプの開発を完了していたが、一般への発売開始にはさらに3年強の期間を必要とした。

その背景には二つの理由があった。一つは消費者への円滑な蛍光ランプの供給体制の整備に時間が必要としたこと、今一つはパイオニアとしての当然の配慮であるが、蛍光ランプの定格、寸法などの標準化を慎重に行なったことである。

標準形の蛍光ランプについては、高速の量産のための自動製造機械の開発が、Nela Parkにおいて1934年末ごろからスタートした。そして種々の経緯を経て、1937年に量産体制が整備された。この自動量産設備の開発は、実用蛍光ランプの設計の完成とともに、GE社の蛍光ランプ事業に対する大きな貢献であると評価できると考えている。

寸法や電気定格などについては、当時のアメリカにおけるもう一つの光源の大手メーカーであったWH社と発売前に十分協議をした。そして1937年11月29日、両社間で販売品種の共通化と寸法、電気定格の標準化についての合意書が作成された。

以上のように、製品発売のための諸準備が完了したのでWH社とあらかじめ協議した上で、1938年4月1日、GE

社は実用蛍光ランプを一般に販売することを発表した。このときの製品の構成は、標準形（昼光色および白色）4品種と、5種類の色物の蛍光ランプであった。この製品発表時にGE社においては、すでに標準形（昼光色および白色）の自動量産設備が稼働していたことはいうまでもない。

図5 学校の教室における蛍光ランプの照明
(1939年)
白熱電球(左)と蛍光ランプ(右)との比較により、
蛍光ランプの効果がよくわかる。

図5に、発売初期の蛍光ランプによる照明施設の例を示す。これは学校の教室の照明の例であるが、従来の白熱電球による照明（左側）と、蛍光ランプによる照明（右側）との比較による差がよく出ている。

6. 蛍光ランプの開発経費と販売数量

最後に、ご参考として当時の開発経費と販売数量について触れておくこととする。

GE社において、蛍光ランプの開発に着手した1934年から1938年の発売までに支出した、蛍光ランプに関する開発経費は表1に示したとおりである。この期間の合計は\$170,200となる（(訳者注)為替レートが現在とは異なっているので、実態を表わしていないかもしれないが、当時の\$1が今の2,000円に相当するとして計算すると、約3億5千万円となる。したがって量産機械の製作費用などは含まれていないものと思われる）。

ちなみに、1938年に発売された蛍光ランプの販売価格は1本当たり20W形で\$2.00（上述のレートによる邦貨換算、約4,000円）であった。ただしこの価格は、その後の量産設備の改良と生産速度の向上などにより、1945年には\$0.75（約1,500円）にまで引き下げられた。

またアメリカにおける総販売数量については、発売した1938年には合計20万本程度であったが、年を追って増加し、たとえば1945年には4千万本を越えるまでになった。

表1 GE社における蛍光ランプの開発経費（1934～1938年）

年	1934	1935	1936	1937	1938	合計
開発経費	\$200	\$13,400	\$42,600	\$65,000	\$49,000	\$170,200
邦貨換算 (千円)	400	26,800	85,200	130,000	98,000	340,400

(注) 邦貨への換算は当時の\$1が、現在の2,000円に相当するとして行なった。

7. あとがき

以上が、GEにおける実用蛍光ランプ開発当時の経緯と状況の概略である。

実用蛍光ランプの開発の経過を通じて強く感じたのは、技術の実用化に対しては、もし明確な事業戦略とその戦略に基づく開発思想と、明確な開発の目標と、開発を推進する有効な組織と、信念あるリーダーシップと、執念のある有能な人々と、それらの人々が力を発揮することのできる土壌と十分な開発経費があれば、着手時期の遅れはそれほどハンディキャップにはならないということである。このことは、Edisonの白熱電球の事業化の経緯についてもいえていたことであるし、また同時に現代の新しい開発業務についても当てはまることである。

蛍光ランプについては、ご承知のようにその後に引き続いた技術者達の努力によって、40W形や110W形、スリム・ライン形や環形蛍光ランプ、U形、W形、小型のものなど、形のバリエーションのあるランプやグローブ状の容器に収納したものなど、長さや形状の異なった品種が製品化され、利用される範囲が一層広げられるとともに、また量産設備の改良と生産速度の向上などにより、ランプのコストも、漸次引き下げられ、それにつれて普及性が増大し、より一層、広く普及するところとなっていることはよく知られているとおりである。

ランプの性能についても、光束や寿命などが逐次改良され、現在（1988年）のものは、1938年当時のものに比べて効率がほぼ6倍、寿命はほぼ4倍になっている。また、点灯回路についても改良、開発がなされ、蛍光ランプ照明の普及に貢献していることはいうまでもない。

現在および将来の技術者達の努力がさらに継続されれば、蛍光ランプ照明は今後とも発展し続けることであろう。

× × × ×

<訳者付記>

以上の本文を読まれたかたがたへのご参考として、本資料を「蛍光ランプ実用化50年」特集号に掲載するに至ったいきさつを簡単に記しておきたい。

本特集号を企画するに当たり、1938年にGE社において当時の実用蛍光ランプの開発に最も貢献したとされているGeorge E. Inmanのpersonalityや、開発当時の状況の執筆を、当時の事情をよく承知しておられる現存のアメリカのどなたかにご依頼をしようと考え、執筆候補者を検討した。

たまたま、私が分担させていただいているCIE（国際照明委員会）の業務に関連して、ちょうど現在のアメリカCIEの会長がCharles L. Amickであることを知った。ご承知の方が多いと思うが、AmickもGE社の光源開発技術部において、長年蛍光ランプの技術開発関連業務に従事しており、しかも蛍光ランプ技術史上の名著といわれる“Fluorescent Lighting Manual”を1942年に上梓してい

る。この“Fluorescent Lighting Manual”は、蛍光ランプ技術者の登竜門的な基本の書として、今でも世界中で広く読まれており、私自身も今の会社に入社直後に、当時蛍光ランプについて直接ご指導いただいた上司の薦めで買ひもとめ精読したことのある書で、私自身の現在の蛍光ランプについての技術ポテンシャルのうちの何10%かはこの本のお陰である、といっても過言ではないと思っている。

しかも運が良かったことに、この企画をしていたころの約半年後にCIEベニス大会の開催が予定されており、私も出席できることが内定していたので、もしかしたらベニスで、Amickに会うことができるかもしれないと期待された。“Fluorescent Lighting Manual”をはじめて読んだときから、著者であるAmickにもし将来、機会があれば会いたいと思いつけていたことと、現在では、私自身も蛍光ランプに携わった期間が長くなっており、はじめて“Fluorescent Lighting Manual”を読んだころよりは、多少は技術ポテンシャルも高くなっているであろうから、Amickと会っても、少しは内容のある議論ができるのではないかと思ったこと、および本原稿の執筆を依頼するとしたら、Amickは最適の候補のひとりであること、等からこの機会を絶対に逃すまいと決心し、Amickにベニスでぜひお会いしたいとの連絡の手紙を出した。

図6 CIEベニス大会(1987年)におけるC. L. Amick(左側)と訳者

幸いAmickもベニス大会に出席され、6月22日の第7部会の部会会議のあと約4時間ほど話をすることができた(図6参照)。最初に本特集号の原稿依頼の主旨説明をすると(依頼そのものは、事前の手紙によりしてあった)Amickは次のようにいった。

「Kohmotoの依頼の趣きはわかったが、50年前の蛍光ランプの開発の経過を書くとするば、Inmanのことだけを書くわけにはいかない。50年前にGE社において実用化された蛍光ランプは、人間社会に提供した価値の内容を考えると、確かにEdisonの白熱電球に匹敵するものであるかもしれないが、「蛍光ランプ」におけるInmanは、「白熱電球」におけるEdisonではない。

「Inmanのころは、“Edison Era”とは時代が違っている。Inmanは偉大な技術者ではあったが、あくまで“one of them”だ。もちろん“one of them”であったことが、彼の評価をいささかも下げることにならないことは当然で

あり、私自身は十分に彼に敬意を払っていることはいうまでもないが。」

私が、「もちろんあなたのいうとおりで結構です。ただしどのような経緯かよくわかりませんが、日本では『実用蛍光ランプ』開発の最大の貢献者はInmanである(場合によっては、『蛍光ランプ』の発明者がInmanである)といわれています。」という、彼はしばらく考えた後、次のように続けて、

「それは、多分何らかの事情でInmanだけが特に強調されて伝えられたのだろう。だがもしKohmotoおよび日本の照明学会が、どうしてもInmanに敬意を表することを考えているなら、Inmanの書いた原稿を掲載したらどうか? もっとも彼は、今はもう原稿を書くことができないので、少し古い外部への未発表原稿しかないが、……」

と、本資料(1946年にGE社の社内報である“The Magazine of Light”に掲載されたもの)の推薦を受けた。

内容を検討させていただいた結果、GE社の社内報に掲載されたものではあるが、外部へは未発表であり、内容的に依頼の主旨によく合っていると判断されたので、GE社の許可を受け、また共著者であるAmickの今の視点により内容的に若干の補足をしていただき、本資料を翻訳、掲載することとなったわけである。

このような経過で掲載させていただくこととなった本原稿は、今まであまり日本に知られていなかったと思われる50年前の実用蛍光ランプの開発の状況が、当事者達の手によって生々しく書かれており、会員各位にご関心を持っていただける内容であると同時に、蛍光ランプの発達史上貴重な資料になると考えられる(ただし、訳者の英語力の不足から生々しさが十分に伝えられていないかもしれないが、……)。

終わりにのぞみ、本原稿の翻訳、掲載をご許可いただいたGE社照明事業部総務担当のMr. James H. JensenおよびDr. C. L. Amickに、また関連の資料のご提供をいただきましたGE社の蛍光ランプシステム部(Fluorescent Systems Department)のDr. E. J. Covington、ならびに本稿の原文の入手について、種々お世話になりましたGE社の光源応用開発部(Lamp Application Department)のDr. Terry K. McGowanの各位に厚くお礼申し上げます。

なお翻訳に当たり下記文献を参考にしました。

参 考 文 献

- (1) Inman, G. E.: Characteristics of Fluorescent Lamps, Transactions I. E. S. 58-1 (1939) 65~86
- (2) Amick, C. L.: Fluorescent Lighting Manual, McGraw-Hill Book Company, Inc., (1942)
- (3) Bright, Jr., A. A.: The Electric-Lamp Industry, MacMillan Company, (1949)
- (4) The General Electric Story, Volume III: On the Shoulders of Giants 1925~1946, An Elfum GE Hall of History Publication, (1979)

(受付1988年2月17日)