

東芝照明事業 125年の歩みとこれからの取組み

Toshiba's 125 Years of Progress in Lighting Business and Approaches to LED Lighting Technologies

丸山 辰雄

■ MARUYAMA Tatsuo

わが国の照明事業の歴史をさかのぼると、必ず藤岡市助と合資会社 白熱舎（以下、白熱舎と略記）にたどり着く。東芝の発祥の一つである白熱舎が1890年にカーボンフィラメント電球を実用化してから2015年で125年となるが、この間、様々な種類の光源や、点灯回路、照明器具、制御装置などを開発してきた。また、製品開発だけでなく、照明の啓蒙（けいもう）活動などを通じてわが国のあかり文化の発展にも貢献してきた。

今後、照明器具は省エネや、長寿命、小形かつ軽量など、多くの機能で従来の光源に勝るLED（発光ダイオード）に置き換わるものと予想される。LED照明の新たな価値を創造する技術の開発に取り組んでいく。

One hundred and twenty-five years have passed since Ichisuke Fujioka established Hakunetsu-sha & Co., Ltd., one of the forerunners of Toshiba, and succeeded in the practical application of Japan's first carbon-filament lamps in 1890. Toshiba has been developing various types of technologies as a leading company in the lighting field during this period, such as light sources, lighting circuits, luminaires, and lighting control devices. We have been contributing not only to the development of lighting products but also to the growth of lighting culture in Japan through various educational activities.

With the recent dissemination of light-emitting diode (LED) lighting, which possesses numerous advantages including energy saving, long lifetime, compactness, and light weight compared with conventional lighting, we have been actively focusing on the development of LED lighting technologies to offer new value to users.

わが国初の白熱電球実用化から125年

人々が利用している“あかり”の技術は、機能ごとにいくつかの構成要素に分けることができ、また用いられる様々な分野において特有の発展を遂げてきた。

構成要素としては、基本となる“光源”，安定して点灯させるための“回路”，光の広がりを制御する“照明器具”，並びにこれら光源、照明器具、及び回路の点灯状態を操作する“照明制御”がある。

用いられる分野としては、屋内外の一般照明に加えて、演出効果が重要な“舞台及びスタジオ”や、特別な安全性が要求される“空港”，電力の見える化やその他の家電製品と連携可能な“HEMS (Home Energy Management System) 連動照明”などがある。また、様々な波長の光が持つエネルギーを利用する産業分野も重要である。

ここでは、白熱舎の創立から現在に至る125年の歴史の中で、豊かで快適な

暮らしの実現に様々な場面で貢献してきた東芝の主要な技術について述べる（表1）。

■光源

炎を用いず、電気エネルギーを光に変える光源の歴史は白熱電球から始まる。1884年に渡米した藤岡市助は、エジソンが1879年に発明した白熱電球（実用炭素電球）の知識を得てわが国に戻り、試行錯誤を重ねて1890年に国産初の白熱電球を実用化した。東芝ライテック（株）（1989年に分社）の発祥となる白熱舎はこうして生まれた。1910年、米国General Electric Company（以下、GE社と略記）をはじめとする世界の電球メーカーが一堂に集まり、品質の優れたランプに対して、“MAZDA Lamp（マツダランプ）”と名付けた。ゾロアスター教の最高神である火の神“アウラ・マツダ”にちなんだ命名であった。わが国では東京電気（株）（1899年に白熱舎から社名変更）のランプにこの名称が認められ、東京芝浦電気（株）（1939年に東京

電気（株）と（株）芝浦製作所が合併、1984年に東芝へ社名変更）へと引き継がれた。

白熱電球よりも効率の良い、熱陰極形の蛍光ランプは1938年に米国で実用化され、国内では1940年に少量ながら生産できるようになった。発熱が少なく明るい光源であったことから、法隆寺金堂壁画の模写作業にも利用された。その後、より大光束用の光源として、種々のHID（高輝度放電）ランプを開発してきた。

■照明器具及び回路

光源の寿命が延び、明るさが増すにしたがい、まぶしさを抑え、かつランプの光を有効利用するために、照明器具を考案及び改良してきた。

現在でもオフィスや、工場、店舗などで多数使われている直管蛍光ランプ照明器具の一つである“逆富士形器具”^(注1)は1955年に、東京芝浦電気（株）が世

(注1) 2灯のランプ間に三角形の白色反射板を配置した照明器具。

表1. 照明の歴史と東芝照明事業 125年の変遷

Timeline showing history of lighting development and Toshiba's lighting business over past 125 years

西暦年	製品やトピックスなど*1
1879	白熱電球（実用炭素電球）の発明（米国 エジソン）
1890	白熱舎創立
1899	東京電気（株）に社名変更
1910	世界の電球メーカーが品質の優れたランプを“マツダランプ”と名付ける 引線タングステン電球の発明（GE社 クーリッジ）
1913	ガス入り電球の発明（GE社 ラングミュア）
1921	二重コイル電球の発明
1925	内面艶消し電球の発明
1927	マツダ照明学校の設立
1938	熱陰極蛍光ランプの実用化（GE社）
1939	東京電気（株）と（株）芝浦製作所が合併して東京芝浦電気（株）になる
1940	蛍光ランプの実用化*2 法隆寺金堂の壁画模写
1947	映画撮影用照明器具の製造と商品化
1953	自動車用シールドビーム電球の製造
1955	逆富士形器具の考案と商品化
1959	ナイロン原料の合成用ランプ、東洋レーヨン（株）（現 東レ（株））と共同開発開始
1961	ハロゲンランプを川崎球場ナイターに使用*2
1963	日生劇場に大規模サイリスタ調光装置納入*2
1964	殺菌用UVランプの商品化 自動車用ウェッジベースランプの量産開始
1966	羽田空港にC滑走路向け滑走路中心線灯納入
1978	蛍光灯電子安定器の商品化*3
1980	MESL-D 調光機能付照明制御システムの商品化*2 ボール形状電球形蛍光ランプの商品化*3
1984	（株）東芝へ社名変更
1987	液晶バックバックライト用冷陰極放電灯の量産開始
1989	東芝ライテック（株）発足
1996	白色LEDの開発（日亜化学工業（株））
2006	個別照明器具制御システムT/Flecsの商品化
2007	LEDダウンライトE-CORE 40の製品化
2008	自動車前照灯用水銀フリー HIDランプの量産開始
2009	一般電球形の電球形LEDランプの商品化
2012	中尊寺金色堂、LEDスポットライト・ライン照明納入
2013	ホームIT対応LEDシーリングライト及びダウンライトの商品化 ルーヴル美術館“モナ・リザ”と“赤の間”にLED照明の設置
2014	わが国の研究者が青色LED発明でノーベル物理学賞受賞 平等院鳳凰堂へのLED照明機器の納入
2015	GaNパワーデバイス搭載ハロゲン電球形LED電球*3 光反応用LEDランプの量産開始 Smart Home Panel（住宅用分電盤）の商品化

*1：発明者や実施者などが無記載の製品やトピックスは東芝による

*2：わが国初

*3：世界初

に送り出した。

照明器具は当初、室内のあかりとしての利用が主であったが、より明るい光源が開発されるにしたがい、住宅街路や、商業街路、交通街路などへの利用が進んだ⁽¹⁾。

一方、蛍光ランプやHIDランプは白熱電球とは異なり、安定して点灯させる

ための回路が必要になる。当初は、鉄心に銅線を巻き付け、そのインダクタ成分を利用する銅鉄形安定器が使われた。その後、1970年代のオイルショックを機に省エネの要求が高まり、また電子部品の品質・性能向上に伴い、銅鉄形安定器よりも損失の小さい電子安定器を開発してきた。

■ 舞台・スタジオ照明、及び空港照明

一般照明とは異なる分野への応用も始まった。1950年頃に大衆文化の花形であった映画は、夜でも昼間を模した舞台セットを活用して撮影された。このような現場では、大光量の照射ができる照明器具が利用され、演出を目的とした使い方も発展した。ここから“舞台・スタジオ照明”の分野が築かれてきた。

高度経済成長を迎えたわが国では、1964年に開催されるオリンピック誘致が決まった後、国内の基幹施設が強化された。世界からの訪問者を受け入れる空港施設もその対象で、海外製品に頼っていた滑走路中心線灯などが国内製品に切り替えられた。国内の各メーカーが競って提案した製品の中で、実用試験に唯一合格した東京芝浦電気（株）の製品が、国内製品第1号として採用された。こうして“空港照明”の分野が築かれてきた。

■ 照明制御及びHEMS

照明器具の利用に際しては、点灯や消灯だけでなく、部分的に消灯したい、明るさを変えたい、などのニーズが出てきた。従来はスイッチや調光器の個別操作で対応できていたが、電子制御技術が進むにつれ、一斉制御が可能になった。また、点灯エリアを分けたり、昼光が利用できる場所では調光するなど、照明を制御する技術が発展した。東京芝浦電気（株）は1979年、業界初となる調光機能付きの照明制御システムMESL-Dを発表した。その後、改良を重ね、MESLの基盤技術を確立した。その後インターネットの利用が浸透し、更にIT（情報技術）も高度化すると、エネルギーの有効活用と組み合わせたHEMSや、BEMS（Building EMS）などが注目されるようになった。2013年、東芝ライテック（株）は業界で先行して、ネットワークにつないで操作できるLEDシーリングライトとLEDダウンライトを商品化した。

■産業分野

一般照明向けに開発してきた光源を、あかりとしての使い方以外の分野へも適用するようになった。繊維産業の発達とあいまって、1959年、東洋レーヨン(株)(現 東レ(株))でナイロン原料の合成のために東京芝浦電気(株)の光反応プロセス用光源が利用され始めた。1964年には口金のない小形電球としてウェッジベースランプを開発した。このウェッジベースランプは、車載用として多用された。同じ頃、紫外線(UV)ランプも開発し、殺菌用途への適用を進めた。

1980年代後半以降は、液晶バックライト用途としての細管冷陰極蛍光ランプの開発が盛んになった。その後、LEDの性能向上に伴い、産業分野においても省エネ光源としてLEDの利用が進んだ。東芝ライテック(株)は2015年に光化学反応用LEDランプを開発した。このように、一般照明以外の用途で、様々な波長の光が持つエネルギーを利用する産業分野への適用が広がってきた。

■現在の照明

1996年に白色LEDが開発され、その基本となる青色LEDの発明に対して、2014年にわが国の研究者3名にノーベル物理学賞が授与されたことは記憶に新しい(囲み記事参照)。

東芝ライテック(株)は、2002年に発売した常夜灯形の電球形LEDランプ(以下、LED電球と呼ぶ)を皮切りに、多様なLED照明製品を開発してきた。2007年に発表した電源ユニット内蔵タイプの高効率LEDダウンライトE-CORE 40は、白熱電球器具から置き換えることで、器具の費用であるインシャルコストと、電気料金などのランニングコストを合わせたトータルコストを低減できる初めての製品であった。2008年に北海道で開催された主要8か国首脳会議(北海道洞爺湖サミット)の国際メディアセンターに展示して注目を集めた。その後LED照明器具の普及は急速に進み、

2014年時点で国内の全照明器具の出荷台数中で占める割合が70%に達している⁽²⁾。

LEDの性能は、省エネや、長寿命、小形かつ軽量、瞬時点灯、調色など、多くの機能で、白熱電球や、蛍光ランプ、HIDランプなどの従来光源より優れており、今後、照明製品の大半がLEDに置き換わっていくものと考えられる。

その一方で、省エネ性能を意味する発光効率(lm/W)は、実験室レベルでは理論限界値の約270lm/W⁽³⁾に到達しつつあり、今後LEDの発光効率の向上速度は鈍ってくるものと思われる。そのため、どのメーカーもLED照明の新たな価値を提供するための開発を進めている。

最近では、通信分野における技術革新が目覚ましく、無線技術の応用も進んでいる。照明分野においても、インターネット環境を活用したIoT(Internet of Things)制御技術が注目されている。スマートフォンなどの携帯端末で気軽に照明制御をすることで、むだに点灯している照明を簡単に消して、省エネすることも可能である。また、生活環境の中で、気分に合わせて、好きな明るさに調光したり色を変えたりして、あかりを楽しむ趣向にも広く対応できるようになってきた。

このように、単純に照明の機能だけを使うのではなく、制御の技術と融合することで、新たな価値が生み出され、今後照明の用途が更に広がっていくと考えられる。

今後目指す照明のコンセプトと推進する技術

■目指すべきあかり

東芝ライテック(株)は、今後、人の生活を便利に、そして豊かにするあかりに加え、光を応用する分野での要求仕様に適合した、よりきめ細かな製品開発を目指していく。

そのために求められる技術は、照明器具としての配光を制御するハードウェア

の視点だけでなく、要求される照明空間をどのような光と器具で実現するかというソフトウェアの視点を加えることが重要になる。

例えば既に実用化している良質な眠りをもたらす光技術は、眠りを促すホルモンの一種であるメラトニンの分泌を妨げない暖色系のあかりを利用する研究に基づいている。更に、脳を活性化する光技術は、光の波長と脳の覚醒度の関係についての研究成果である。また、空間の明るさ感を向上できるWeluna^(注2)を用いた手法は、壁や、床、天井面などから目に届く間接照度を考慮して照明設計を行う。同じエネルギーでも、より明るい照明空間を提供する手法として活用できる。

これらの手法を応用し、人にとって、より豊かな照明空間を実現していく。

■推進する技術

東芝ライテック(株)が開発を推進している照明技術のポイントについて、以下に述べる。

●LED電球における性能の進化と最新技術

LED電球を商品化して以来、開発の究極の目標は白熱電球を完全に置き換えることができるLED電球の開発であり、これを目指して明るさ、省エネ、配光、小形化、コスト低減、及び高演色性に重点が置かれてきた。これらはひととおり達成されてきたが、例えば、ホテルなどの商業分野での特殊な用途では、顧客の要望に十分に答えていないものがある。望まれているのは“きらめき感”の再現である。点光源の輝きは、陰影を作る基本となり、めりはりを作ってきたきらめき感を出すポイントでもある。特に演出を重視するホテルの宴会場では、その特長が求められている。発光部を白熱電球より小さくし、点光源へ近づけることで白熱電球を超えるきらめき

(注2) 東芝ライテック(株)が独自に開発して2011年10月に発表した明るさ感を表すコンセプト。

ノーベル物理学賞を受賞した青色LEDの発明が克服した技術的問題点

青色LEDの製作が困難であった理由として、次の3点が技術的に難しかったことが挙げられる。

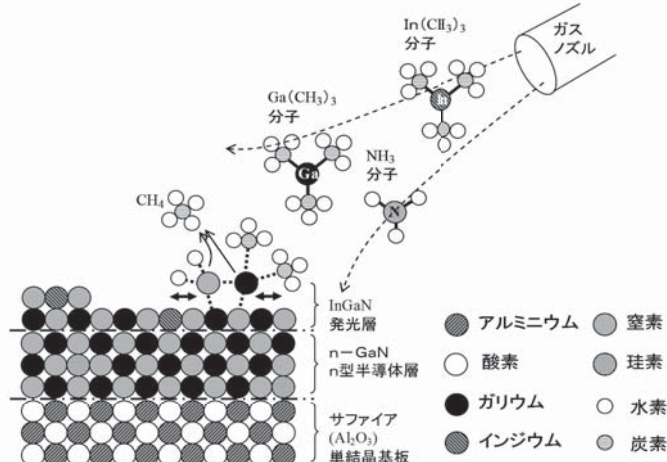
- (1) 転位(ひずみ)の少ないきれいな窒化ガリウム(GaN)の単結晶を作ること
- (2) p型半導体を作成し、pn接合を実現すること
- (3) 紫外発光するGaN-LEDにインジウム(In)を付加して窒化インジウムガリウム(InGaN)層を形成し、青色発光にすること

GaN系のLEDは、格子定数の近いサファイア基板上に、活性なアンモニアを含むガスを流して結晶を気相成長させるMOVPE (Metal-Organic Vapor Phase Epitaxy) 法(図A)を用いて作られるが、次の問題点があった。

- (1) 格子定数が近いと言っても、サファイアとGaNで15%の差があるために結晶が成長しにくいこと
- (2) 無理に結晶を成長させていくときに生ずる転位*(図B)を減らす技術がなかったこと

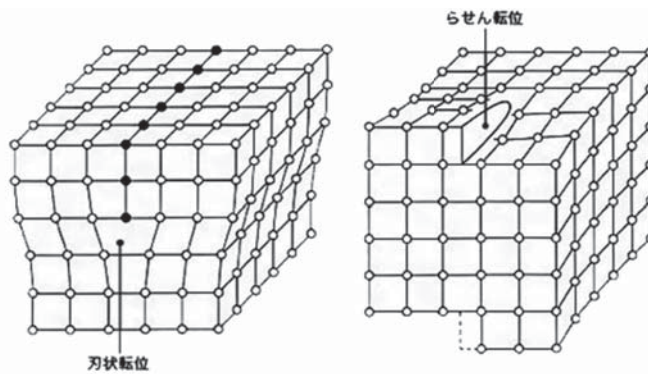
赤崎勇及び天野浩両氏により、サファイア基板とGaN層の間に窒化アルミニウム(AIN)低温バッファ層を形成する技術が発明されたことによって、これらの問題を克服する道が開かれた。

次の問題として、GaNはn型と比べて、p型を作ることが難しいという点があった。これを克服する技術として、1989年に赤崎勇及び天野浩両氏により、電子線の照射によってマグネシウム(Mg)ドーピング



出典：LED照明推進協議会編「LED照明ハンドブック 改訂版」

図A. MOVPE法によるInGaN層の成長イメージ



出典：小学館「日本大百科全書(ニッポニカ)」

図B. 転位の幾何図形

のGaNが作られ、初めてpn接合のGaNダイオードが作られた。その後、中村修二氏により熱アニール処理を用いて効率的にp型GaNが作られることが示され、更に、発光層として使われるInGaN層をp型及びn型のGaN層で挟み込むダブルヘテロ型

LEDが1993年に発明された。現在の青色LEDの原形となるが、その時の外部量子効率率は0.22%であったと報告されている⁽⁴⁾。

* LEDの発光を阻害する要因としては、刃状転位とらせん転位を起点として結晶中を貫通する“貫通転位”が重要になる

感を持ったLED電球 一般電球形クリアタイプの開発を進めている。(この特集のp.7-10参照)。

●照明制御システムの最新技術

1980年に自動で照明パターン制御を行う省電力照明制御システムMESLを商品化して以降、多様なセンサとの組合せにより、制御の自動化を進めた。2006年8月に商品化した個別照明器具制御シ

テムT/Flecsは、照明器具1台単位の制御が可能で、よりきめ細かく運用できる。更にビル設備の統合運用管理で利用したいという要望もあり、これに応えるため、ビル管理のオープンネットワーク通信プロトコル規格BACnet⁽⁷⁾への対応を進めている。また、無線照明制御システムを開発し、施工時の工事を省力化することで製品の普及を図っている。

更にオフィス照明では、LEDの特長である光学制御のしやすさや応答性の良さなどを生かし、自然の昼光利用やタスク灯(作業灯)利用の制御で省エネを図り、同時に作業者の目の疲れを軽減させる輝度制御を行うことで、省エネと健康や快適性との両立を実現している(同p.11-14参照)。

●光反応プロセス用47 kW LEDランプの開発

ナイロン原料の合成に用いる光源では、1959年から東洋レーヨン(株)(現東レ(株))との共同研究を進め、水銀ランプからナトリウムランプの実用光源へと進化させてきた。ここでもLED化が望まれ、2015年に製品化に成功した。合成に必要な波長領域(600~700 nm)に対して全放射エネルギーを集中させることは、ナトリウムランプでは実現できなかったが、LED化することでこれを実現し、30%の省エネを達成した。顧客の要求仕様に応え、VOC (Voice of Customer) を実現した例である(同p.15-19参照)。

●産業用UV光源・装置の技術

産業分野におけるUV利用も応用範囲は広い。光による加工がより有効な“液晶製造”並びに“水及び空気の殺菌処理”ではそれぞれ光特性への要望も異なり、要求の難易度は高い。UV利用の目的で、特に殺菌用途などの短波長領域では、LEDより既存の放電ランプのほうが現状では特性が良い。それぞれの産業用途で、要求されるUVの波長ごとに適した光源を使い分け、LED化の要望にも対応している(同p.20-24参照)。

●文化財向け空間演出照明システム

世界の文化や社会への貢献につながる歴史的建造物や美術工芸品に対する照明設計は、周辺環境の保護や、対象物の色再現、劣化対策などに配慮が必要である。また、顧客の要望によっては演出効果も取り込む必要がある。「平等院鳳凰堂の荘厳な姿を見せて欲しい」という顧客の声に応え、LEDならではの解決策を実現した(同p.25-28参照)。

●照明用LED応用に向けたGaN-on-Si技術

GaN-on-Si技術は、窒化ガリウム(GaN)系の薄膜を結晶成長させる際、従来のサファイア基板でなく8インチのシリコン(Si)基板を用いるものであり、LED素子の低コスト化技術として期待されている。

照明に必要な光束を得るためには高温での外部量子効率を向上させる必要があるが、そのためには、転位密度を低減させることが課題であった。これを実現する独自の技術を開発し、青色LED作製を可能にした(同p.29-33参照)。

●自然光のスペクトルを再現した白色LED

3色の蛍光体を組み合わせた白色LEDから発する連続スペクトルによって、自然光スペクトルを再現する技術を開発した。この光源による照明は、視対象が自然な色に見えることが特長である。美術館やレストランなどの照明として提供したのをはじめ、医療用途に適合した照明デバイスの商品化も進めている(同p.34-37参照)。

あかり文化の啓蒙に貢献する東芝

■マツダ照明学校

東京電気(株)が1927年7月に創立した“マツダ照明学校”は、わが国の照明文化啓蒙の出発点となった。約750 m²の展示空間では、その時々最新の照明製品とその応用例を、実物の空間で“生の光”として見る事ができた。照明はカタログよりもその光を直接見ることが大切で、顧客にとっても理解しやすい。これは現在にも通じる試みである。また、必ず説明員が同行し詳細に解説を行っていたため、「百聞は一見にしかず」と好評を得ていた。

東京電気(株)はまた、ビジネス向けだけではなく、全国の照明教育施設と連携し、その設備の改善業務にも協力していた⁽⁵⁾。

照明の啓蒙活動は現在、東京、大阪、及び福岡に開設している東芝ライテック(株)のLED照明シミュレーションラボラトリー“CO-LAB [コ・ラボ]”に受け継がれている。

あとがき

東芝照明事業125年の歴史は、わが国の電灯照明の歴史そのものと言える。

これは、東芝ライテック(株)だけが継承できる貴重な無形資産である。

われわれの先人は、白熱電球の実用化を始めた1890年から、人々にとって利用しやすいあかりのあるべき姿を常に考え、試し、実現してきた。

一般社団法人 照明学会も2016年には創立100年となり、100年史を編纂(へんさん)して発行することが決まっている。技術活動の成果の多くは、東芝が貢献してきた実績である。

これらの実績とこれまで培われてきた技術開発のノウハウは、形を変えて、現在そして未来にも応用できるものである。

人と地球の明日のために、今後も一歩進んだ技術を開発し続け、照明事業を進めていく。

文 献

- (1) 東京電気. マツダ街路照明写真帖. 東京, 東京電気, 1926, 123p.
- (2) 平井宏和. 第3章 照明器具および機器. 照明学会誌. **99**, 8, 2015, p.414-421.
- (3) 板東完治. 照明用白色LEDの発光効率と進歩. 照明学会誌. **94**, 4, 2010, p.228-232.
- (4) Nakamura, S. et al. P-GaN/N-InGaN/N-GaN Double-Heterostructure Blue-Light-Emitting Diodes. Jpn.J.Appl.Phys. **32**, Part2, No.1A/B, 15 January, 1993, L8-L11.
- (5) 東京芝浦電気株式会社マツダ支社編. 東京電気株式会社五十年史. 東京, 東京芝浦電気, 1940, 698p.

・BACnetは、米国暖房冷凍空調学会の米国及びその他の国における商標又は登録商標。



丸山 辰雄
MARUYAMA Tatsuo

東芝ライテック(株) 取締役 統括技師長。
照明関連の技術・品質戦略及び技術開発に従事。
照明学会会員。
Toshiba Lighting & Technology Corp.