

舞台照明器具技術の系統化調査

Systematic Survey on Stage Lighting Luminaire Technologies

浅川 久志 Hisashi Asakawa

■要旨

本報告書は、舞台照明器具の系統化調査として、日本における舞台照明器具の成り立ちを、用途区分および光学系の観点から体系的に整理したものである。舞台照明器具は、一般照明の目的である「明るくする」機能に加え、空間やセット、演者の立体感の表現、さらに時間・季節・気候などの状況変化を照明によって描写するという、舞台芸術特有の要請を担う。加えて、劇場という大空間を照明するため、大容量光源を用い、様々な配光特性を持つ器具へと多様化してきた。本調査では、これらの発展過程を光源技術と光学設計の両面から整理した。

まず、近代の劇場に導入された白熱電球期のスポットライト、フットライト、ボーダーライトの構造と特性について解説し、戦後に普及したハロゲン電球器具がもたらした影響について検討した。また、1980年代以降におけるプロファイルスポットライトおよびフォロースポットライトの光学系の高度化について解説し、演目や劇場によって異なる舞台照明器具への技術的要求が、伝統的な演目・ミュージカル・オペラ・コンサートの照明表現が舞台照明器具やその使用方法にどう影響をしたのかについて考察を行った。とりわけ、光のエッジ形状制御、照射範囲の限定、遠距離投射性能といった演出上の要請が器具設計にどのように反映されたかを示した。

さらに、国内メーカーによる独自技術として、大口径平凸レンズ、非球面レンズなどのハロゲン電球を含む白熱電球を使用した光学系の位置づけを整理し、欧米機器との比較から日本の発展の特徴を明らかにした。これらの技術は、舞台芸術の要求に応じて改良され、国産の舞台照明器具が独自の光学設計を確立する契機となった。

2000年代以降のLED化に関しては、COBモジュールの普及、演色性の改善、熱対策機構の高度化、PWM(pulse-width modulation)制御による調光などの基礎的な技術の構築など、課題と利点を示した。従来のフィラメント光源やアーク光源とは異なる発光特性が光学系の再設計を促し、舞台照明器具の構造そのものの再定義につながった点を示した。また、LED化は光源寿命・エネルギー効率の観点だけでなく、光学的・文化的な転換期として捉える必要があることを考察した。

本稿は、舞台照明器具の発展を、光源技術、光学設計、舞台芸術の実践という複数の視点から総合的に示したものである。

■ Abstract

This report presents a systematic survey of stage lighting luminaires in Japan, organizing their development from the perspectives of application categories and optical systems. In addition to the general-lighting function of providing illumination, stage lighting luminaires are required to meet the unique demands of the performing arts: expressing the three-dimensionality of spaces, stage sets, and performers, and depicting changes in conditions such as time of day, season, and weather through lighting. Furthermore, because they must illuminate the large interior volume of a theatre, they have diversified into luminaires employing high-output light sources and offering a wide range of light-distribution characteristics. This study organizes these developmental processes in terms of light-source technology and optical-design.

First, the report explains the structures and characteristics of spotlights, footlights, and border lights from the incandescent-lamp era that were introduced into modern theatres, and examines the effects brought about by the tungsten-halogen-lamp luminaires that became widespread after the Second World War. It also describes the advancement of optical systems for profile spotlights and follow spotlights from the 1980s onward, and analyzes how the differing technical requirements for stage lighting luminaires across productions and theatre types influenced both the luminaires themselves and their methods of use in lighting for traditional performances, musicals, operas, and concerts. In particular, it illustrates how staging demands, such as controlling the shape of the beam edge, limiting the illuminated area, and achieving long-distance projection performance, were reflected in luminaire design.

Furthermore, the report highlights optical systems that use incandescent lamps, including halogen lamps, and incorporate proprietary technologies developed by domestic manufacturers, such as large-diameter plano-convex lenses and aspherical lenses, and clarifies the characteristics of Japan's unique technological development through comparisons with European and American equipment. These technologies were refined in response to the demands of the performing arts, providing the impetus for domestically produced stage lighting luminaires to establish their own distinctive optical designs.

Regarding the shift to LEDs from the 2000s onward, the report identifies both the challenges and advantages, including the spread of COB modules, improvements in color rendering, advances in thermal-management mechanisms, and the establishment of fundamental technologies such as dimming through PWM (pulse-width modulation) control. It shows how the emission characteristics, different from those of conventional filament and arc light sources, prompted a redesign of optical systems and led to a redefinition of the very structure of stage lighting luminaires. It also argues that LED adoption must be understood not only from the perspectives of light-source longevity and energy efficiency, but also as an optical and cultural turning point.

This paper presents the development of stage lighting luminaires from multiple perspectives, including light-source technology, optical design, and the practical application of the performing arts.

■ Profile

浅川 久志 *Hisashi Asakawa*

国立科学博物館 産業技術史資料情報センター 主任調査員

- 1985年 日本大学生産工学部機械工学科卒業
丸茂電機株式会社入社、開発部において舞台照明器具の開発に従事
- 2002年 舞台照明器具の光学設計および管理、教育業務に従事
- 2017年 開発部主幹
- 2022年 開発部シニアアドバイザー
- 2025年 国立科学博物館産業技術史資料情報センター 主任調査員
- 2005年～2019年 東海大学工学部光・画像工学科 非常勤講師
- 2005年～2007年 日本照明器具工業会「国際規格回答原案調査作成委員会分科会」委員
- 2013年～2025年 劇場演出空間技術協会「演出空間用LED照明器具表示規格研究会」主査
- 2016年～2025年 日本照明家協会「技術委員会」委員

■ Contents

1. はじめに	004
2. 光源の変遷と舞台照明器具	005
3. 舞台照明器具の種類	010
4. 上演作品の様式(ジャンル)によって異なる舞台 照明器具と使用方法	018
5. フラッドライトの光学系の特徴と変遷	034
6. 単レンズスポットライトの光学系の特徴と変遷	049
7. プロファイルスポットライトの光学系の特徴と 変遷	073
8. そのほかのスポットライトとエフェクトライト	088
9. 舞台照明器具のLED化	100
10. おわりに	104

1 | はじめに

観劇は本来、日常生活から切り離された「ハレの場」として位置づけられ、特別な衣装や食事とともに楽しめる非日常的な体験であった。現代においては、演劇やコンサートはよりカジュアルに享受される文化として定着しつつあるものの、その基盤となる劇場やホールでの上演は、依然として限られた観客層に支えられている。実際に、人気のあるミュージカルであっても年間の観劇経験者は人口の数%程度にとどまり、歌舞伎などの伝統芸能ではさらにその割合は低いとされる。このため、チケット収入のみで安定的な運営を行うことは困難であり、舞台芸術は文化的価値を背景とした特殊な産業構造のもとで成立している。

一方で、舞台芸術を支える技術、とりわけ舞台照明に対して求められる性能や表現力は極めて高度である。舞台照明は単に舞台を明るく照らすための設備ではなく、演者や舞台装置の立体感を強調し、時間帯や季節、天候、さらには心理的な情景までも光によって表現する役割を担っている。そのため、一般照明ではコストや生産量、効率といった制約から採用が困難な技術であっても、舞台照明の分野では積極的に導入されてきた。

舞台照明器具の特徴の一つは、その光学系にある。配光制御のために平凸レンズやフレネルレンズが用いられ、さらに配光の均一性や効率を向上させる目的で、レンズ面を非球面化する設計も早くから採用されてきた。また、結像光学系を用いるプロファイルスポットライトやフォロースポットライトにおいては、150 mmを超える大口径レンズを非球面化することで、結像特性などの改善が図られている。これらの光学的工夫は、舞台という特殊な使用環境と演出上の要求に応えるために発展してきたものである。

1980年代以降、コンピュータによる光学シミュレーション技術の導入は、舞台照明器具の性能向上に大きな影響を与えた。従来は経験則や試作を重ねることで行われていた光学設計が、数値解析に基づいて行われるようになり、配光特性や効率の最適化が飛躍的に進展した。さらに2010年代以降は、計算機性能の向上により、従来は扱うことが難しかった配光分布全体や照度分布、光強度を評価関数に含めた最適化手法が実用化され、舞台照明用光学系の設計思想そのものが変化しつつある。

舞台照明器具に用いられる結像光学系は、明るさの確保やコスト、重量の制約からレンズ枚数を増やすこ

とが難しく、残存収差が大きい「単純な光学系」であると捉えられがちである。しかし、残存収差が大きい光学系は最適化の過程で解が発散しやすく、設計自由度が限られる中で所要性能を満たすことは必ずしも容易ではない。舞台照明器具の光学設計は、構成が簡素であるがゆえに高度な設計判断を要する分野であるといえる。

舞台照明器具は、用途や設置場所、照射対象によって名称や分類が異なり、その全体像は必ずしも分かりやすいものではない。観客の目に触れない位置に設置されることが多いため、劇場内のどこにどのような照明器具があり、どのような役割を果たしているのかを体系的に理解する機会は限られている。

舞台照明器具の選択や使用方法は、上演される作品の様式によって大きく異なる。欧米で発展したオペラやミュージカルと、日本の伝統的な能や歌舞伎とは、舞台空間の捉え方や演出思想が異なり、それに応じて用いられる照明器具や照明手法にも顕著な違いが見られる。舞台照明器具は単なる技術的装置ではなく、それぞれの舞台芸術が育まれてきた文化的背景を反映した存在である。

本報告書は、舞台芸術を構成する要素でありながら、一般には目に触れる機会の少ない舞台照明器具について、その種類と分類を光学的構成の観点から体系的に整理することを目的としている。カーボンアーク灯に始まる電気光源の導入以降、舞台照明器具がどのような構造と光学系を持ち、いかに発展してきたかを明らかにすることで、舞台照明技術の系統的理解を試みる。

なお、電気照明以前の時代においても、ろうそくや油灯、ガス灯といった燃焼光源を用いながら、用途に応じた配光の工夫や調光の試みが行われていた。本報告書では、このような舞台照明器具について、光源の変遷、用途による分類、上演様式との関係、そして光学系の構成という複数の視点から、その成り立ちと発展の過程を体系的に整理する。舞台照明器具を単なる舞台機材としてではなく、舞台芸術の要求に応答しながら進化してきた技術の系譜として捉えることで、その技術的・文化的価値を明らかにしたい。

本稿が、舞台の裏側に隠れてきた舞台照明器具という存在に関心を向け、光学設計という視点から舞台照明を読み解く手がかりとなれば幸いである。

2 | 光源の変遷と舞台照明器具

舞台照明に使用している光源の変遷と、その光源を使用した舞台照明器具について概説をする。

電気を使用したアーク光源、白熱電球、メタルハライドランプやLEDについては、後の章で詳しく解説を行うためここでは、ろうそくや油灯などの燃焼光源からガス灯までの解説を行う。

また、参考までにギリシャ・ローマ時代などの自然光を用いた演劇と、アーク灯の初期についても解説する。

2.1 自然光による照明

演劇の始まりは、舞踊を含めて考えると、おそらく人間が社会的活動を開始した時期とほぼ同時であったと考えられる。演者を観客に見せるためには照明が不可欠であり、そのため光源の存在は演劇において重要な要素である。

光源には自然光と人工光源があるが、人工光源を自由に使用できるようになったのは、演劇の長い歴史から見れば比較的近年のことである。それ以前の演劇では、太陽光を光源として用いる形態が主流であり、屋外劇場のみならず、有蓋劇場においても長期間にわたって自然光が利用されてきた。

太陽光を光源として使用する場合、劇場の方位は、太陽から受ける光の方向に大きく影響されるため、極めて重要な要素となる。また、時間の経過に伴って光源の位置が変化することも考慮に入れる必要があった。

一方で、松明や油灯などの人工光源も、夜間に行われる演劇に対して徐々に用いられるようになっていった¹⁾。

2.2 人工光による照明の始まり

2.2.1 ろうそくや油灯を用いた舞台照明 (1500年代から1800年頃)

ろうそくや油灯などの燃焼光源を利用して、16世紀のイタリアの建築家セバスティアーノ・セルリオ (Sebastiano Serlio) (1475年から1554年)は舞台背景に遠近法を導入する方法や、照明光の向き、照明によってできる影など照明光の重要性を唱え舞台照明技術の礎を築いた(図2.1)。

セルリオが1545年に著した「建築学」の第2巻では、

「舞台」の項目の中に照明に関する記述があり、そこには「背景に対する人工照明について」と題して以下のように記されている²⁾。

「私は背景の項で、種々の透明色の人工光を創り出す方法に就いて述べる約束をした。第一に私は最も美しい色であるサファイヤブルーについて語ろう。塩化アンモニアの片をとり、一方理髪屋の使うたらい或は他の真鍮のたらいに少量の水を入れたものを準備する。これに塩化アンモニアを入れてすりつぶす。すりつぶし乍ら少量ずつ水を増す。色を濃くするためには塩化アンモニアを沢山入れる。この溶液がたらいに一杯になると、目の細かい布で濾して他の器に移す。かくして、最も美しい青が得られる。薄い色がほしければ水を混入すればよい。かようにして一つの溶液から欲するままの濃さの色が得られる。」

このように、光源の前に色水の入った「Bozze」と呼ぶガラスの器を置き、照明の光に色を付ける演出を行った²⁾(図2.2)。



図 2.1 セバスティアーノ・セルリオ

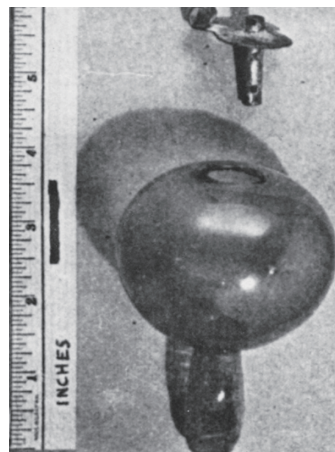


図 2.2 色水を入れるガラス容器「Bozze」

2.2.2 油灯・ろうそくによる舞台照明の発展

その後、油灯やろうそくを使用した舞台照明も様々な発展を遂げていき、1600年頃から舞台装置や舞台照明のデザインで影響力のあった、イタリアの建築家ニコラ・サバティーニ (Nicola Sabbatini) (1574年から1654年) が、ろうそくに筒をかぶせて調光を行う方法などを発表している³⁾ (図2.3)。

また、サバティーニは、舞台装置に対して遠近法を使用した構成の提案を行った (図2.4)。

さらに、現在使われているエフェクトやプロジェクションに該当するような、雲や波などを舞台上に表現する方法も提案した¹⁾。

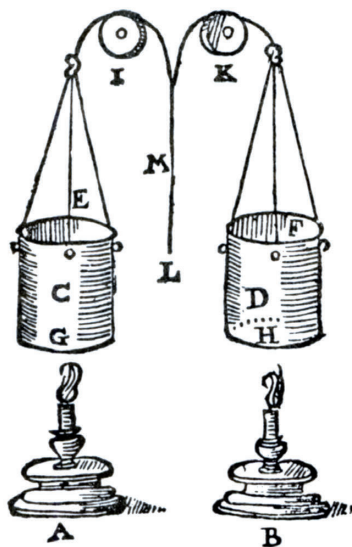


図2.3 サバティーニの調光方法

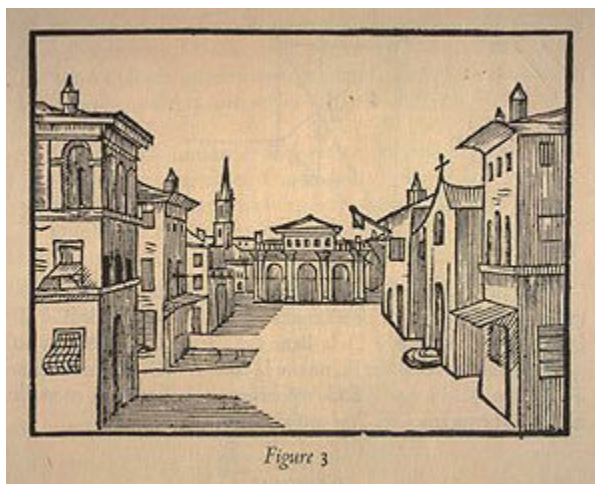


図2.4 舞台セットの遠近法による図面

2.2.3 日本でのろうそくを使った舞台照明 (1870年代以前)

日本においても屋外で演劇を行う場合には松明などを使っていたようであるが、屋内での公演では火災防

止の観点から火気の使用は公式には禁止されていた。しかし、実際には公演時間の遅延などによって、ろうそくやランプでの照明を行っていた。

ろうそくは奈良時代に仏教の伝来とともに日本に入ってきたといわれているが、とても高価だったようである⁴⁾。

1803年発行の式亭三馬著「戯場訓蒙図彙」において、当時の芝居の様子を面白おかしく記述しており、その「道具」の項では照明器具についての記述がある (図2.5)。

これを見ると、現在のサイドライトに当たる「燭台」やフットライトにあたる「戯台下灯 (舞台下のともしび)」、フォースポットライトにあたるような「差出」などが使用されていたことがわかる。「差出」の項には、以下のような記述があり、歌舞伎の「見得 (みえ)」について風刺している⁵⁾。

「これはなんの為になるか、さっぱりわからず。おおかたまじないにでもなるにや。此ともしびを、顔の先へ差し付けると、顔が熱くなると見えて、顔をしかめたり、睨んだりして力む也」

このように当時の日本においても、様々な舞台照明にろうそくを使用していることがわかる。



図2.5 ろうそくを用いた照明

2.2.4 石油ランプを使った舞台照明

ケロシンランプ (石油ランプ) が発明されて、それまでの油灯やろうそくと比べて格段に明るい光源として使用され、劇場の照明が大きく変わった。

その後、ガス灯が使用されるようになり、使用されていた期間は短いが1883年のミュンヘンベルクで使用されたとの記録がある⁶⁾。その時に使用された石油ランプの写真を図2.6に示す。日本の劇場では、石油ランプが高価であり、また石油の供給安定化は19世紀後半となっていたため、ごく一部で使用されたに過ぎない⁷⁾。

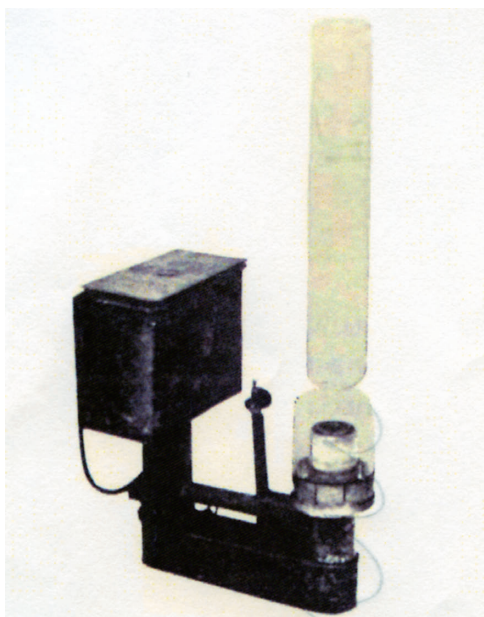


図 2.6 劇場で使用された石油ランプ

2.2.5 ガス灯による舞台照明(1800 年頃から)

スコットランドの発明家であるウィリアム・マードック (William Murdoch) (1754 年から 1839 年) が、石炭ガスを利用したガス灯の実用化を行った。舞台照明においてもガス灯の有効性から劇場に使用されたが、油灯やろうそくが約 2 世紀、白熱電球が約 1 世紀にわたって使用されたのに対し、劇場の照明に使われたのは約 60 年間で光源の歴史からすると短命であった⁸⁾。劇場でガス灯を使用したのは、1815 年にロンドンのオリンピック劇場の客席で、舞台上では 1817 年にロンドンのライシャム劇場で使ったのが最初だと考えられている。

ガス灯は、その後マントルを使用したガスランプが 1880 年ごろまで使われており、舞台上部に設置する現在のボーダーライトにあたる図 2.7 のような「Gasbatten」

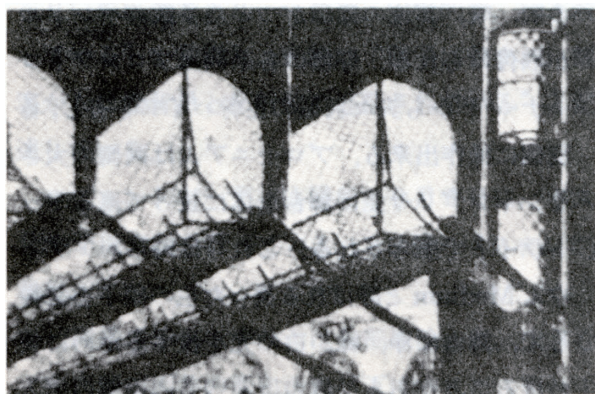


図 2.7 ガスボーダーライト

と呼ばれる設備や、図 2.8 のようなフットライトに使用して照明を行っていた⁸⁾。

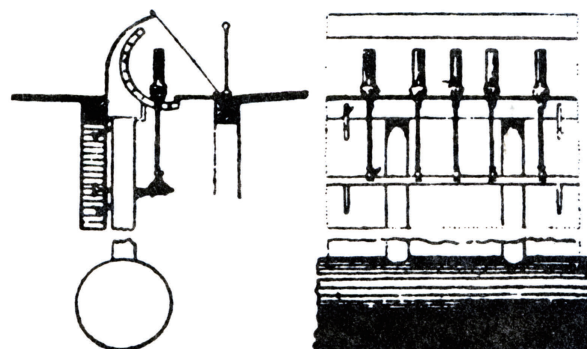


図 2.8 ガスフットライト

2.2.6 日本でのガス灯による舞台照明(1871 年から)

日本において最初に灯された西洋式のガス灯は、大阪造幣局のガス灯で、1871 年に点灯された。翌年の 1872 年には、実業家の高島嘉右衛門 (1832 年から 1914 年) が横浜でガス会社を興し、馬車道にガス灯を設置した。舞台照明では、1874 年に横浜住吉町に高島嘉右衛門が湊座を開場し、ここで初めてガス灯による舞台照明が行われたと言われている。しかし、実際にはこれより 1 年前の 1873 年に、横浜外国人居留区にある本町ゲート座でガス灯を用いた舞台公演が行われたようである⁹⁾。湊座のこけら落とし公演には、ガス灯で観せる芝居の珍しさもあって、入りきれなかった客が石を投げ込んだり、ガス灯の火屋を壊したりして逮捕される者もでたと、当時の新聞に記されている¹⁰⁾。図 2.9 に湊座の花道ガス灯を示す。ガス灯のパイプが途中で曲がっているのは、演者が火口に触れて火傷をするのを防ぐためである。



図 2.9 横浜湊座のガス灯

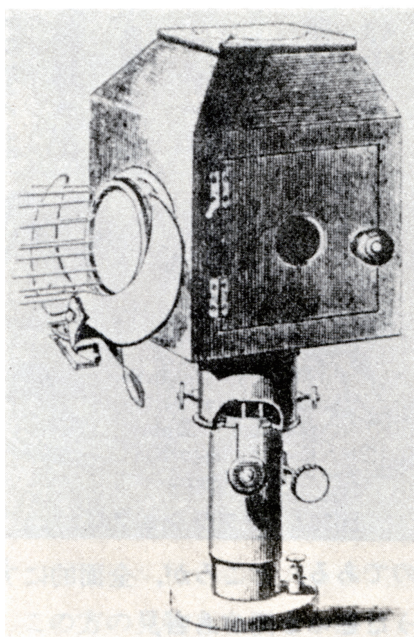


図 2.10 初期のアークスポットライト

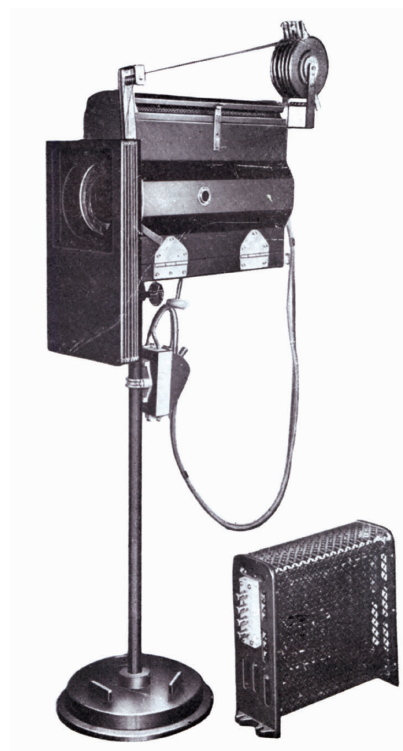


図 2.11 カーボンアークスポットライト
(丸茂電機製作所)

2.2.7 アーク灯による舞台照明(1850 年頃から)

イギリスの発明家ハンフリー・デービー (Humphry Davy) が、1808 年にカーボンアーク灯を電池で駆動する実演を行ったが、電源の問題もあり普及しなかった。

その後発電機が開発され、これを電源とすることで光源として普及することとなった¹¹⁾。

舞台照明においては、舞台照明器具として現在のものに近いものが、1860 年にアークスポットライトとして、パリ・オペラ座で「モーゼ」の上演に使用された(図 2.10)。

暗い背景に対して、白い衣裳のモーゼがまばゆいばかりの明るさで表現され、観客は驚嘆し演劇界で称賛された¹²⁾。

1900 年代に入ると舞台照明器具を専門に製作する会社ができ、1913 年にアメリカの Kliegl Brothers Universal Electric Stage Lighting Company が平凸レンズとカーボンアークを用いた舞台照明用のスポットライトの製品化を行った。

日本においては、丸茂電機製作所が欧米の機器を参考に 1920 年代に、容量と照射距離に応じた、口径 5 インチ、6 インチ、8 インチの平凸レンズを使用したカーボンアークスポットライトを実用化した¹³⁾(図 2.11)。

参考文献

- 1) Penzel, Frederick, 「Theatre Lighting Before Electricity」, Wesleyan University Press, p.3 (1978)
- 2) 遠山静雄, 「舞台照明学 上巻」, リプロポート, pp.174-175 (1988)
- 3) 遠山静雄, 「舞台照明学 上巻」, リプロポート, p.182 (1988)
- 4) 浅川久志, 「舞台照明器具及び舞台照明器具用光源の変遷」, 電気設備学会誌, 27 巻, 1 号, pp.13-16 (2007)
- 5) 式亭三馬, 勝川春英, 歌川豊國, 「戯場訓蒙図彙, 巻八」, p.2 (1803)
- 6) 遠山静雄, 「舞台照明学 上巻」, リプロポート, p.212 (1988)
- 7) 富永博夫, 「石油利用の今昔」, 化学と教育, 46 巻 3 号, pp.140-147 (1998)
- 8) 遠山静雄, 「舞台照明学 上巻」, リプロポート, p.215 (1988)
- 9) 升本匡彦, 「横浜ゲーテ座 明治・大正の西洋劇場 第二版」, 岩崎博物館出版期出版局, pp.34-35 (1986)
- 10) 横浜毎日新聞, 1874 年 7 月 28 日号 (1874)
- 11) 遠山静雄, 「舞台照明学 上巻」, リプロポート, p.234 (1988)

- 12) 「The History of Stage and Theatre Lighting」,
The Edison Electric Illuminating Company of
Boston, p.29 (1929)
- 13) 「スポットライトカタログ B-01」, 丸茂電機製作所
(1928)

図表引用 (掲載許諾)

- 図 2.1 [https://commons.wikipedia.org/w/index.
php?title=File:Sebastiano_Serlio_\(cropped\).
jpg&oldid=905728984](https://commons.wikipedia.org/w/index.php?title=File:Sebastiano_Serlio_(cropped).jpg&oldid=905728984) (2025 年 9 月 3 日閲覧)
- 図 2.2 Penzel, Frederick, Theatre Lighting Before
Electricity, Wesleyan University Press, p.5
(1978)
- 図 2.3 遠山静雄,「舞台照明学 上巻」, リプロポート,
p.182 (1988)
- 図 2.4 [https://commons.wikimedia.org/w/index.
php?title=File:Sabbatini-perspective.
jpg&oldid=1063236764](https://commons.wikimedia.org/w/index.php?title=File:Sabbatini-perspective.jpg&oldid=1063236764) (2025 年 9 月 3 日閲覧)

- 図 2.5 式亭三馬, 勝川春英, 歌川豊國, 「戯場訓蒙図
彙, 巻八」, p.2 (1803)
- 図 2.6 遠山静雄,「舞台照明学 上巻」, リプロポート,
p.212 (1988)
- 図 2.7 遠山静雄,「舞台照明学 上巻」, リプロポート,
p.218 (1988)
- 図 2.8 遠山静雄,「舞台照明学 上巻」, リプロポート,
p.218 (1988)
- 図 2.9 遠山静雄,「舞台照明学 上巻」, リプロポート,
p.224 (1988)
- 図 2.10 遠山静雄,「舞台照明学 上巻」, リプロポート,
p.235 (1988)
- 図 2.11 「スポットライトカタログ B-01」, 丸茂電機
製作所 (1928)

3 | 舞台照明器具の種類

3.1 舞台照明器具の使用場所と特徴

舞台照明の役割は、舞台に登場する演者や舞台装置を明るく見せることが大原則であるが、さらにその場面の情景描写や時間の流れなどを照明によって表現することも求められる。また、演者を見せる明かりも、ただ明るくするだけではなく、立体的に見せたり、シルエットで見せたりといったように、演出上の様々な見せ方が要求される。このため、非常に多くの種類の舞台照明器具が開発されていった。

舞台照明器具は舞台の中の上部や側面、舞台奥、床

面など様々な場所に設置され、さらに客席側の天井部や両サイドの壁面、客席後方の上部などにも設備される(図3.1)。

設備された舞台照明器具は、使用目的によって形状や機能、仕様が異なり、それぞれ特徴的な進化があったと考えられる。ここでは、舞台照明器具にはどのようなものがあるのか、舞台で使う場所によって異なる用途とそこで使われる舞台照明器具の概要について解説を行う。

舞台照明器具ごとの詳細な構造や特徴、光学系などは5章から8章で解説を行うが、概要を図3.1と表3.1のもとに本章で行う。

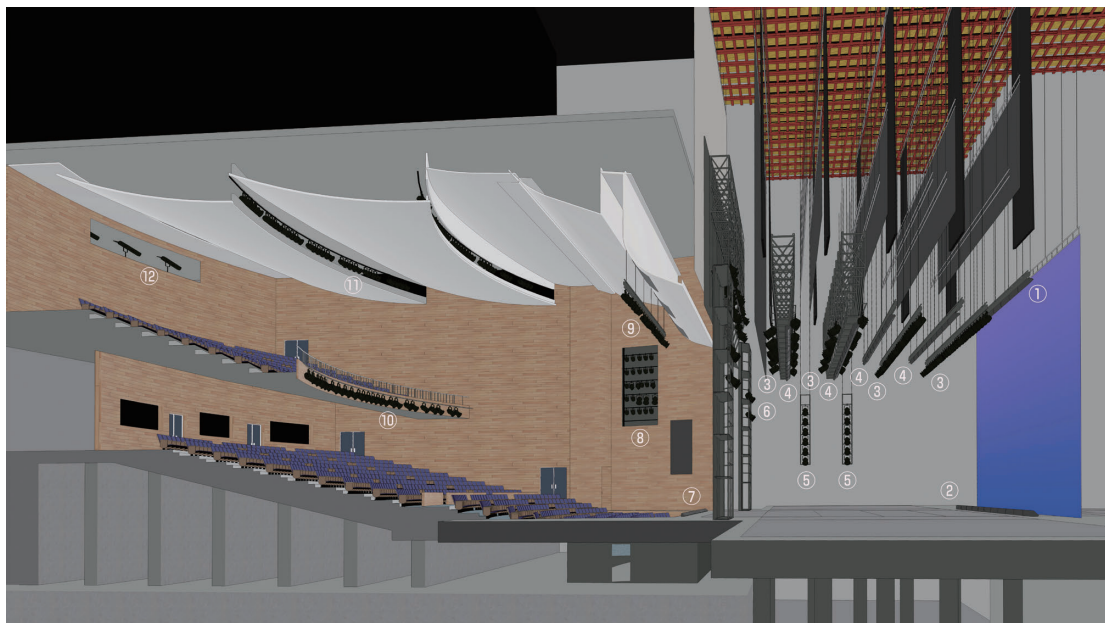


図3.1 舞台照明器具の配置

表3.1 舞台照明器具

No.	舞台照明設備の名称	舞台照明設備の特徴と役割
①	アッパー・ホリゾントライト	舞台奥のホリゾント幕を舞台上部から照射する照明器具。ホリゾント幕を染める光の色によって季節感、天候、時間の流れなどを表現する。
②	ローア・ホリゾントライト	舞台奥のホリゾント幕を床面から照射する照明器具。アッパー・ホリゾントライトと併用し、季節感、天候、時間の流れなどを表現する。
③	サスペンションスポットライト	舞台上部のバトンに設備されたスポットライト。演技者、大道具などに個別に照射することで、立体感を与え、舞台に奥行きをつくる。
④	ボーダーライト	舞台間口に合わせた長さで設置し、舞台全体を明るくするベース照明として用いられる。
⑤	タワースポットライト	舞台の両サイドのタワーに設置された照明器具。サイドからの明かりによって、演技者や大道具に立体感を与える。
⑥	トーマンタルスポットライト	プロセニウムアーチの舞台側両サイドの上部に設置されるスポットライト。
⑦	フットライト	舞台床面の前端部に設置される極状の照明器具。日本舞踊など古典芸能の舞台には欠かせない
⑧	フロントサイドスポットライト	客席の両側壁面に設備される照明器具。演技者や大道具を立体的に見せたり、上手・下手の光量の違いによって、光の方向性を強調した効果を表現する。
⑨	客席サスペンションスポットライト	プロセニウムアーチの客席側に位置し、前舞台用のサスペンションスポットライトの役割をする。
⑩	バルコニススポットライト	客席側の舞台正面のバルコニーに設備された照明器具。
⑪	シーリングスポットライト	客席上部の天井内に専用ブースが設けられ設備される照明器具。舞台に対して前方からの明かりとして、演技者や大道具を明るく見せる役割がある。
⑫	センターフォロースポットライト	舞台上の特定の演技者だけを照射する照明器具。演技者の動きに合わせて操作される明かりは「フォロー明かり」と呼ばれる。

また、舞台照明、特にスポットライトにおいては同じ平凸レンズスポットライトでも、サスペンション、フロントサイド、シーリングなど様々なところで使用されるため、スポットライトにおいてはスポットライトの種類で区分を行い、使用場所について解説を行うこととする。

3.1.1 ホリゾンライト

ドイツ語の地平線に由来する名称のホリゾン(Horizont)は、舞台後方にある壁もしくは布を使用して、様々な光色で照明を行い、空や空間の広がりを表すための装置で、ホリゾンの明るさや色で、時間や場所まで表現するものである(図3.2)。

ホリゾンを照明する器具は、ホリゾンが5 mから10 mと高く、ホリゾン壁の上部と下部しか照明器具を設置できないために、壁面をむらなく照明す

るように鉛直方向に延びる、特殊な配光を持った照明器具となっている¹⁾。

ハロゲン電球を使用したホリゾンライトは、光源とリフレクタで構成され配光を鉛直方向に延びるように配慮した反射鏡となっている(図3.3)。

上方から下方に向けてホリゾンを照明する①アッパーホリゾンライトと、逆に下方から上方に向けてホリゾンを照明する②ローアホリゾンライトがある。

ホリゾンライトは、基本的には白色もしくは灰色の壁面を照射する用途のため、演色性の問題が少ない。また、スポットライトのように器具の強度や光の指向性は重視されず、ホリゾンの壁面全体を均一に照明する用途であったため、舞台照明器具の中ではLED化が速く進んだ。カラーLEDで直接照明できることから、カラーLEDを実装した器具も開発され、これらの器具はカラーフィルタを不要としている(図3.4)。



図 3.2 照明されたホリゾン(ロームシアター京都)



図 3.3 ハロゲン電球を使用したホリゾンライト



図 3.4 カラーLEDを使用したホリゾンライト

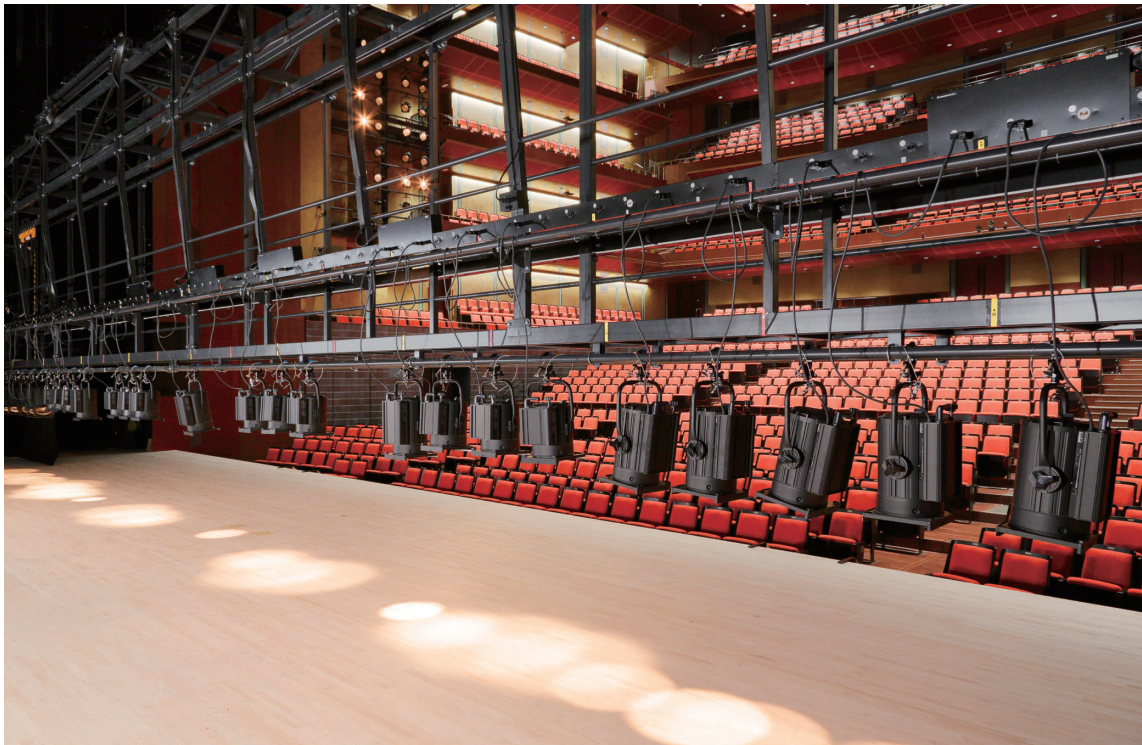


図 3.5 ブリッジに設置したサスペンションスポットライト (ロームシアター京都)

3.1.2 サスペンションスポットライト

舞台上部に設置されるバトンに必要に応じて吊されるスポットライトで、演者や舞台装置に対して上からの明かりを照明する。このバトンは、照明器具を吊るためのパイプと「フライダクト」と呼ばれる電源を供給するコンセントを備えた設備で構成されている (図 3.5)。

大きな劇場では、照明スタッフが乗り込みスポットライトを操作することができるライトブリッジという大規模なバトン機構もある。

サスペンションライトで使用するスポットライトの概要は後述するが、一般的に使用されるスポットライトの名称を以下に記す。

サスペンションスポットライトとしては、平凸レンズスポットライト、フレネルレンズスポットライト、プロファイルスポットライト、PAR ライトなどのスポットライトが使用される。

3.1.3 ボーダーライト

舞台上部から舞台全体を明るくするために使用される照明器具で、ボーダーライトの考え方は油灯やろうそく時代のシャンデリアから発している。

ボーダーライトは、反射鏡と光源がコンパートメントとなっており、多くの光源を直線状に配置した照明器具で、舞台の間口の長さに合わせて設備される。

コンパートメントは、3 灯もしくは 4 灯おきに点灯できるような回路構成となっており、同回路のコン

パートメントに同色のカラーフィルタを挿入することで、舞台全体をひとつの色で統一することや、数色の色を混ぜて多様な色のトーンを創り出すなど、様々な演出に使用する。

ボーダーライトは、舞台上部に複数列設置され、舞台の客席側から舞台奥に向かって第一ボーダー、第二ボーダーと呼び、約 2 m 間隔で設置される (図 3.6)。

歌舞伎や日本舞踊などの伝統的な演目では、ベースライト (舞台全体を明るくする基本的な照明機器) と



図 3.6 ボーダーライトの配置 (歌舞伎座)



図 3.7 フットライトと花道フットライト（歌舞伎座）

して使用されている。

劇場には常設されることが多く、舞台上で大道具の仕込み等が行われる際には、舞台全体を明るくする作業灯としても使用される。

3.1.4 タワースポットライトと トーマンタルスポットライト

タワースポットライトは舞台上の上手、下手（客席からみて右側が上手、左側が下手）の横に配置した移動可能な仮設、常設の梯子状のタワーに配置したスポットライトである。

トーマンタルスポットライトは、舞台の額縁となるプロセニウムの内側側面のタワーに設置したスポットライトである。

タワースポットライトやトーマンタルスポットライトとして使用されるスポットライトは、平凸レンズスポットライト、プロファイルスポットライト、PARライトなどが主な機材となる。

3.1.5 フットライト

舞台框（舞台の客席側の端部）に設置して、下方向から演者を照明する器具である。

人物の表情や衣裳などを明るく見せる効果があるが、下方向からの明かりであるため、人物の顔などに不自然な影が出てくる。この不自然な影を消すために、ボーダーライトなどの上方向からの明かりと組み合わせ

せて使用することが多い²⁾。

構造はボーダーライトと同様に、銅板製の樋状で、反射鏡と光源のコンパートメントになっている。

また、フットライトは設置場所によって異なり、舞台の框部に設置するフットライトと花道に設置する花道フットライトがある（図 3.7）。

3.1.6 フロントサイドスポットライト

客席の壁側面の両側に設置する設備で演者や舞台装置などを斜め横前からの光で立体的に見せる用途に用いられる（図 3.8）。一般の市民会館や劇場などでは、平凸レンズスポットライトを使用することが多く、オペラやミュージカルなどを上演する専用劇場ではプロファイルスポットライトがよく用いられる。



図 3.8 フロントサイドスポットライト
（三田市総合文化センター）

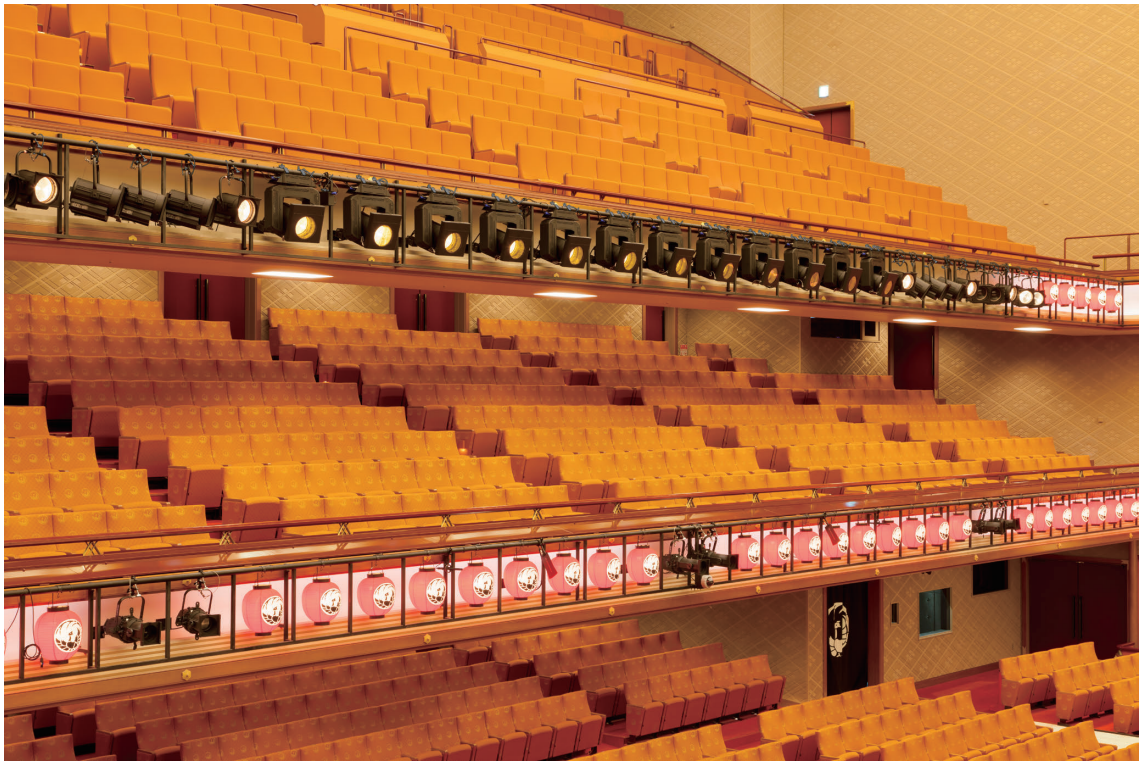


図 3.9 バルコニスポットライト (歌舞伎座)

3.1.7 客席サスペンションスポットライト

プロセニアムの前に前舞台がある劇場や仮設の前舞台が作られた際に、そのエリアに対して上部からの照明を行うサスペンションスポットライトで、舞台中のサスペンションスポットライトと同種の舞台照明器具が使用される。

3.1.8 バルコニスポットライト

劇場の2階、3階客席の前面、舞台正面のバルコニーに設置されているスポットライトで、その他の前明かりと同様に平凸レンズスポットライトもしくはプロファイルスポットライトが用いられる(図 3.9)。客席の前方にあるために向き、照射径の調整が難しく、リモートコントロールスポットライトを導入しているところも多い。

3.1.9 シーリングスポットライト

客席上部の天井内から舞台に向かって照明し、フロントサイドスポットライトと共に演者や舞台装置を立体的に見せる光を与える(図 3.10)。

シーリングスポットライトは舞台の框から水平線までの舞台面全面を照明する必要があるため、天井の位置や角度について、照明が可能な位置に設置される。

舞台までの距離が長いので、平凸レンズスポットライトの場合は 350 mm や 400 mm と焦点距離の長いレ

ンズのスポットライトが使用され、プロファイルスポットライトでも焦点距離が長く光量も必要となるため、2 kW など容量の大きなスポットライトが用いられる。



図 3.10 シーリングスポットライト (いわきアリオス)

3.1.10 フォロースポットライト

フォロースポットライトは舞台上の特定の演者に対して照射するスポットライトで、基本的には演者の動きに合わせて照明スタッフが方向を調節して照明を行う。このため、フォロースポットライトと呼ばれる。現在では光源にクセノンランプを使用したフォロースポットライトが主流となっている(図 3.11)。



図 3.11 フォロースポットライト
(いわきアリオス)

3.2 様々な場所で使用される スポットライトの種類

スポットライトはレンズや反射鏡などの光学部品を用いて、光源からの光を効率よく制御して、舞台上に局所的に光を照射する照明器具である。

フラッドライトと異なり、指向性の強い光で、演者や舞台装置に陰影を用いて立体的に見せることや、舞台上に明るい部分と暗い部分のコントラストをつくり出し、カラーフィルタを装着することで、様々な光色を表現することができる照明器具である。



スポットライトを設置する場所は、前述したように、ボーダーライト、フットライトや水平ライトなどのフラッドライトとは異なり、サスペンションライトと呼ばれる舞台上部、タワースポットやサイドスポットと呼ばれる舞台面の横、フロントサイド、シーリングやバルコニーライトなどの FOH (フロントオブハウスと呼ばれる客席側からの照明) などから投光することで演者や舞台装置をより立体的に見せることが可能となった。

フラッドライト同様、LED を光源としたスポットライトも増えてきており、ハロゲン電球と比較して熱の影響が少ないため、プラスチック製レンズを使用している照明器具も増えてきている。

3.2.1 平凸レンズスポットライト

このスポットライトは、平凸レンズに、白熱電球またはハロゲン電球と球面反射鏡を組み合わせたスポットライトで、日本では最も一般的なスポットライトとなる。

欧米でも平凸レンズスポットライトは使用されているが比較的少なく、日本では配光を改善するために、非球面レンズを採用するなど、独自の進化をしている照明器具である。

電球と反射鏡で構成された光源ユニットとレンズの距離を変化させることで照射範囲を調整している。

投光面の配光は、輪郭がはっきりしており、人物を追従するフォロー用として使用することもある(図 3.12)。

舞台上で使用している場所は、舞台上部のサスペンションスポットライト、客席側面から照明するフロントサイドスポットライトや客席天井部から照明するシーリングスポットライトまで様々な場所で使用されている。

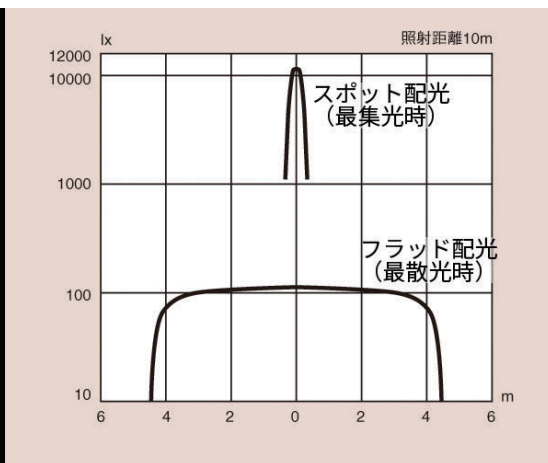


図 3.12 平凸レンズスポットの配光

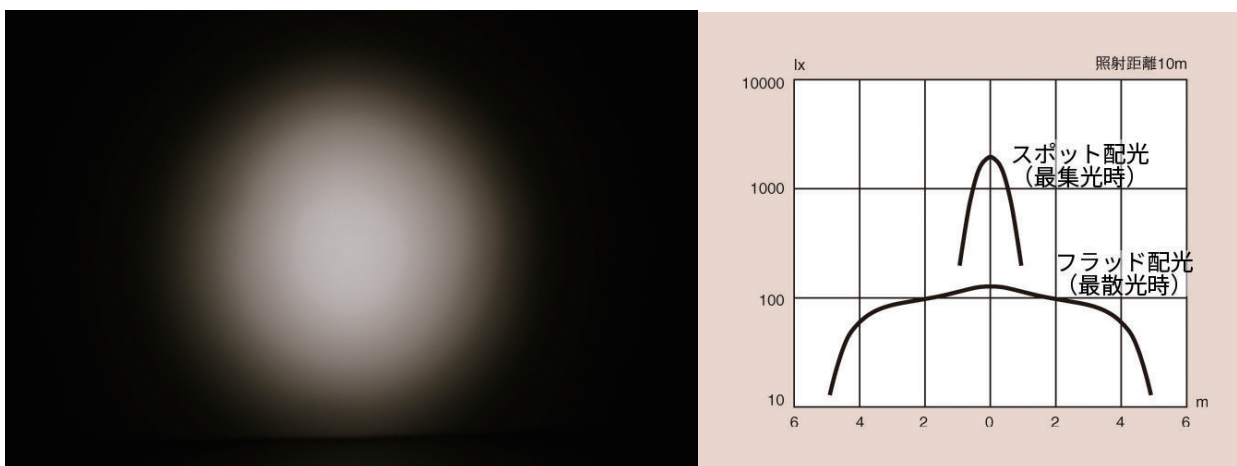


図 3.13 フレネルレンズスポットライトの配光

3.2.2 フレネルレンズスポットライト

スポットライトに使用するレンズは口径も大きく、前述した平凸レンズではレンズが厚くなり質量がかさんでしまう。また、平凸レンズでは口径より短い焦点距離の平凸レンズは製作できない。このため、軽量化と比較的短い距離で広いエリアを照明するためにフレネルレンズスポットライトが開発された³⁾。

フレネルレンズスポットライトの配光は、配光設計と裏目と呼ばれるレンズ裏面のファセットにより大きく変わるが代表的な配光を図 3.13 に示す。

3.2.3 プロファイルスポットライト

プロファイルスポットライトは、プロジェクターなどと同様にアパチャー（投影時のオブジェクトにあたる）に集光光学系で光を集め、そのアパチャーを結像系で投影する照明器具となる（図 3.14）。

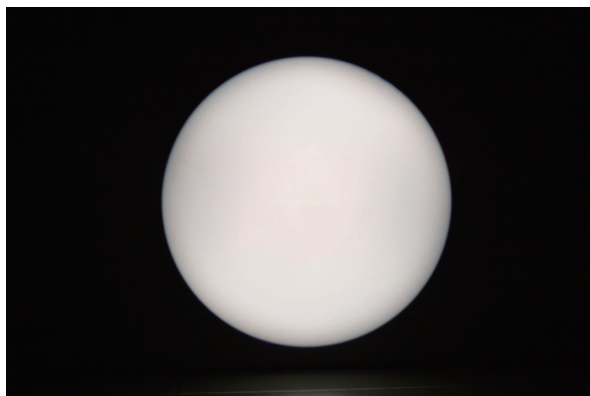


図 3.14 プロファイルスポットライトの配光

集光光学系として、楕円面反射鏡でアパチャーを集光照射するものと、光源からの光を非球面コンデンサーレンズなどで集めてアパチャーに光を集めるタイ

プのスポットライトがあり、前者を特にエリプソイダルスポットライトと呼ぶことも多いが、本稿では、両方の機種ともプロファイルスポットライトと呼び解説を行う。プロファイルスポットライトは、アパチャーにゴボと呼ばれる様々な形状の穴が開いたものを挿入して、そのパターンの投影や光芒を表現することや、フレーミングシャッターと呼ばれるものでアパチャーの形状を矩形や三角形にトリムして使用することで舞台上を照明する。

3.2.4 PAR ライト

PAR ライト（Parabolic Aluminized Reflector、略記号：PAR）は、放物面アルミ蒸着反射鏡とレンズを一体化させたシールドビーム型電球を光源に使用し、光源そのものの特性を生かした照明器具である⁴⁾。前面のレンズの配光には、ミディアム（中角）／ナロー（狭角）／ベリーナロー（超狭角）などがあり、電球の交換で配光を選択できる。

参考文献

- 1) 特許第 3816568 号
- 2) 遠山静雄, 「舞台照明学 下巻」, リプロポート, pp.90-94 (1988)
- 3) (公社) 日本照明家協会出版委員会, 「舞台・テレビジョン照明 基礎編 2021」, (公社) 日本照明家協会, pp.150-151 (2021)
- 4) (公社) 日本照明家協会出版委員会, 「舞台・テレビジョン照明 基礎編 2021」, (公社) 日本照明家協会, pp.19-20 (2021)

図表引用(掲載許諾)

- | | |
|--|---|
| <p>図 3.1 佐伯隆夫,「舞台照明用調光装置の系統化調査」,国立科学博物館,技術の系統化調査報告,第 33 集, p.8 (2024)</p> <p>図 3.2 「LIGHTING DATA SHEET No.305 ロームシアター京都」,丸茂電機株式会社 (2015)</p> <p>図 3.3 「PROFESISONAL LIGHTING EQUIPMENT STAGE & TV STUDIO」,丸茂電機株式会社, p.60 (2023)</p> <p>図 3.4 https://www.tlt.co.jp/tlt/products/art/catalogue/led/led_hrl5.htm (2025 年 9 月 19 日閲覧)</p> <p>図 3.5 「LIGHTING DATA SHEET No.305 ロームシアター京都」,丸茂電機株式会社 (2015)</p> <p>図 3.6 「LIGHTING DATA SHEET No.297 歌舞伎座」,丸茂電機株式会社, p.7 (2013)</p> <p>図 3.7 「LIGHTING DATA SHEET No.297 歌舞伎座」,丸茂電機株式会社, p.3 (2013)</p> <p>図 3.8 「LIGHTING DATA SHEET No.277 三田市</p> | <p>総合文化センター」,丸茂電機株式会社 (2007)</p> <p>図 3.9 「LIGHTING DATA SHEET No.297 歌舞伎座」,丸茂電機株式会社, p.6 (2013)</p> <p>図 3.10 レklam社提供</p> <p>図 3.11 レklam社提供</p> <p>図 3.12 「明かりのイメージ」 https://www.marumo.co.jp/lineup/lightingimage/ (2025 年 9 月 18 日閲覧)</p> <p>図 3.13 「明かりのイメージ」 https://www.marumo.co.jp/lineup/lightingimage/ (2025 年 9 月 18 日閲覧)</p> <p>図 3.14 「明かりのイメージ」 https://www.marumo.co.jp/lineup/lightingimage/ (2025 年 9 月 18 日閲覧)</p> <p>表 3.1 佐伯隆夫,「舞台照明用調光装置の系統化調査」,国立科学博物館,技術の系統化調査報告,第 33 集, p.9 をもとに筆者作成</p> |
|--|---|

4 | 上演作品の様式(ジャンル)によって異なる舞台照明器具と使用方法

4.1 絵画にみる欧米と日本の光の捉え方の相違

歌舞伎に代表される日本の伝統的な舞台と、オペラのようにヨーロッパで生まれた舞台作品では、舞台照明に対する考え方や明かりのつくり方が大きく異なっている。歌舞伎の舞台では、演者や道具などの影が生じないように、舞台全体が明るくフラットになるような照明を行う。これに対して、オペラの舞台では演者や舞台装置を立体的に見せるために、光の方向性や光と影とのコントラストなどが強調された舞台照明がつけられる。こうした違いが何に起因しているのかは、いろいろな考察や背景があると考えられるが、岩崎令児の『美しい光を得るために』に基づいて、下記の様な考え方を参照してみたい。

舞台芸術が盛んであったヨーロッパは、日本と比較して緯度が高いことで、春夏の日照時間の長い季節は屋外での作業や外出を行い、寒く夜が長い冬の季節に絵画や音楽などの創作や鑑賞などに時間をかけたよう

である¹⁾。光に対する強い羨望で、ヨーロッパの絵画は図4.1のように光と影が強く描かれている¹⁾。17世紀から19世紀にかけてのヨーロッパ美術と日本の浮世絵を比較すると、両者における光の捉え方に本質的な差異が認められる。ヨーロッパ絵画、とりわけカラヴァッジョやレンブラント以降の写実主義的潮流は、単なる形態の描写にとどまらず、光線の入射方向を強く意識した表現を志向している(図4.1)。光源の位置と陰影を通じて立体感と時間性をもたらし、窓から差し込む自然光が人物や器物に投射される様子が、画面構成の基本となっている。このようにヨーロッパ美術は、光線の方向と物体の三次元的表現で発展したと考える²⁾。

一方で、日本ではヨーロッパと比較して緯度が低いことで豊かな太陽光を享受できている。

絵画において比較すると、同時代の日本における浮世絵版画は、光線の方向性を厳密に想定することは少なかった。鈴木春信や喜多川歌麿の美人画においては、人物の表情や衣裳文様が強調されるが、陰影の描写は



図4.1 レンブラント「病人たちを癒すキリスト」(1647年から1649年)



図 4.2 鈴木春信「坐敷八景 塗桶の暮雪」(1766 年)

省略され、光源の位置を特定し得る情報はほとんど与えられない(図 4.2)。葛飾北斎や歌川広重の風景版画においても、光はむしろ色の濃淡や雲などの表現を通じて示唆され、ヨーロッパ的な投射的陰影の描写は基本的に採用されなかった。浮世絵における光は、対象を照らす実体的な現象というよりも、画面の装飾性や情緒を構築するための色彩的要素として理解される。

このため、舞台芸術においても影が出ないような照明手法を採ることになる。

日本の浮世絵は木版多色刷という技術的制約のもとで、写実よりも「見立て」や「記号性」によって美を構築したため、陰影や光線の方向は省略可能な要素とされた。したがって、ヨーロッパにおける光表現が空間的

リアリズムを志向するのに対し、日本の浮世絵は平面的構成の中で象徴的・装飾的に光を扱ったといえる。

4.2 欧米と日本の舞台照明の違いについて

欧米における演出照明、とりわけオペラ・バレエ・ミュージカルなどの公演では、光の照射方向を強調し、影を効果的に利用するために照明機器が配置される。この背景には、自然光が時間や場所によって方向性と強度を有し、必然的に陰影を生じるという現実を舞台上で反映しようとする意図がある。

日本の舞台照明の黎明期においても、欧州の照明器

具の模倣から始まり、ボーダーライトやフットライト、さらにアーク灯や白熱灯を用いたスポットライトが製作された。照明手法の基本は、ボーダーライトとフットライトで舞台全体を照明し、ボーダーライトで背景を染め、さらにプロジェクタースポットで水平線に雲や雨などを投影することであった。スポットライトは主として演者を追従(フォロー)する目的で用いられた。欧米においても1920年代から第二次世界大戦前までは、フラッドライトで舞台全体を照明し、スポットライトで演者を追従するという手法が主流であった。しかし、白熱電球の普及以前に、舞台美術家アドルフ・アピア(Adolphe Appia)(1862年から1928年)が、全体を均質に照らす光のみならず、影を生み出す指向性の光の重要性を提唱していたことから、スポットライトによる陰影表現が早期から認識されていたと考えられる³⁾。この演出を実現するためには、指向性が明確で照射範囲の制御が可能なスポットライトが求められ、米国では1936年にCentury Lighting社がプロファイルスポットライト「Leko Lite」を開発した。これ以降、欧米ではプロファイルスポットライトが可搬照明機器として広く使用されるようになった⁴⁾。一方、日本の一般照明においては、蛍光灯やLEDによる均一照明が好まれる傾向があり、欧米で白熱電球を用いた低色温度の照明が好まれる点と対照的である。舞台照明においても、戦前期には欧米製品を模倣した器具が主であり、照明方法もボーダーライトやフットライトを用いた全体照明と、平凸レンズスポットによるフォローが基本であった。その後、スポットライトの種類と数量が増加し、ボーダーライトを使用しない手法も普及したが、依然としてフレネルレンズスポットライトで全域を照明し、平凸レンズスポットライトで演者を強調する方法が重視された。

さらに、FOH(Front of House)と呼ばれる客席側の舞台照明設備である、シーリングスポットライト、バルコニススポットライト、フロントサイドスポットライトといった「前明かり」においても、欧米では1960年代以降プロファイルスポットライトが広く導入されたのに対し、日本ではロングランを前提とした専用劇場が少ないことや運用方法の違いから、現在に至るまで平凸レンズスポットライトが主流である。このため、日本では大口径非球面平凸レンズの開発が進み、最大でφ250mmの非球面レンズが製作されるなど、欧米には見られない独自の発展を遂げた。また、非球面形状も単なる球面収差補正に留まらず、最終的な配光を考慮した設計が行われるようになった⁵⁾。

日本国内においても、舞台作品の様式(ジャンル)によって照明手法および使用される舞台照明器具は変遷

してきた。本稿では、演劇、歌舞伎などの伝統芸能、オペラ、ミュージカル、さらにはコンサートにおける照明手法の違いとその発展について、以下に解説を行う。

4.3 上演作品の様式(ジャンル)と舞台照明手法

舞台演出において、舞台照明は以下のことを主眼に成り立っている⁶⁾。

- 舞台及び演者を見せる。
- 舞台照明器具の使用で、舞台上の情景の説明(時刻、季節、場所、天候、方向)自然描写や雰囲気を構成する。
- 舞台装置を効果的に見せる。
- コンサートであれば曲のイメージを抽象的に表現する。

これを実現するための考え方はどの舞台作品でも同じであるが、上演作品が持つそれぞれ独自の様式によって、舞台表現の方法やそれに伴う舞台照明の手法も異なってくる。

本章ではその概要を解説する。

4.4 演劇における舞台照明の概要と変遷

明治期以降に西洋演劇が移入されるとともに明確な舞台照明器具が導入され、照明は舞台芸術の重要な構成要素として位置づけられるようになった。

特に東京の帝国劇場(1911年開場)は西洋式劇場の様式を取り入れ、ボーダーライトやフットライトが整備され、舞台照明の近代化が進んだ⁷⁾。また、大正から昭和初期にかけては新劇運動の展開とともに、リアリズムを志向する演出に対応した照明技法が模索され、欧米の舞台照明理論や器具の導入も行われた。その後、白熱電球やスポットライトの普及によって、舞台全体を均一に照らす従来の手法から、人物や場面を選択的に強調する手法へと発展した⁸⁾。

また、歌舞伎や文楽といった伝統芸能においては、舞台装置や演技様式との整合性を重視し、陰影を強調せず均質な明かりを用いる手法が依然として支配的であった。

高度経済成長期以降は、商業演劇の上演が増加し、欧米の照明機材やデザイン手法が積極的に導入された。さらに1980年代以降、コンピュータ制御の照明操作卓やムービングライトが普及し、演出に応じた表現が拡張されミュージカルやコンサートで用いられる照

このような照明手法は、日本の伝統芸能の多くが屋外で成立した歴史的背景に由来すると考えられる。すなわち、屋内や夜間における興行が始まり人工光が導入された後も、天空光を再現することを目的として白色光で舞台全体を均一に照明する方式が定着したものと推測される⁹⁾。

能舞台の照明については、1911年(明治44年)4月に開催された「能楽堂改良会」において、採光方法をめぐりガス灯・電灯・石油ランプのいずれを採用するのが適切かという議論が行われた¹⁰⁾。当時の日本における一般照明は、電灯・ガス灯・石油ランプが併用される過渡期にあったが、明治末期から大正期にかけて電球の改良が進み、より高輝度で長寿命かつ取り扱いも容易であったことから、急速に普及していった。

能楽堂改良会の討議では、電灯に比してガス灯の方が光色の点で芸術的に優れているとする意見もみられた。しかし、ガス灯は点火操作の煩雑さや光量の安定性に課題があり、その不完全さを理由に、最終的には電灯の採用が妥当であると判断された。また、観客席(見所)にフットライトを設置する案についても検討が行われたが、舞台照明に関しては装飾的意匠よりも合理性が優先されたことが窺える¹⁰⁾。

現代の能楽堂における照明器具は、基本的に電球を用いたものが主流である。具体的には、舞台および橋掛かりの欄間部分にハロゲン電球を用いたストリップライトを設置し、地明かりとして活用している。また、正面および脇方向からの前明かりは、天井のシーリングライトによって確保されている。さらに、一部の能楽堂では観客席の照明に蛍光灯を採用している例もみられる⁹⁾。

能楽の上演は場面転換がほとんど存在しないため、照明効果による演出の比重は低い。しかし、舞台や客席の光環境の均衡を調整するために、現代の能楽堂では調光器および調光卓が設置され、基本照明のバランスを制御できるようになっている。

4.5.2 歌舞伎の舞台照明について

歌舞伎には、時代物・世話物・舞踊など多様な演出形態が存在し、それに伴い舞台美術の形式も異なる。しかし、隈取りや鬘、衣裳といった役柄を示す様式は伝統的に継承されており、舞台装置も基本的には古典的な道具立てに依拠している。

舞台照明に関しては、能と同様にフラットな白色光を用いて舞台全体を均一に照らす手法が基本であり、その結果、舞台は二次元的な絵画のような印象を与える。この照明形式は演者の化粧表現を前提としたものであり、特殊な演目を除き、道具や背景に色光を付加

することはほとんどない。一般的な近代演劇においては、夜景や殺陣の場面などでスポットライトやカラーフィルタを用いた演出が多用されるが、歌舞伎ではフラットな白色光を基調とし、台詞や鐘の音などの音響効果、さらには前明かりと地明かりの明暗バランスを操作することで多様な情景を表現している¹¹⁾。

また、「青白」と呼ばれる照明技法があり、ライトブルーの光に白色光を混合して用いることで、夜の場面や雨や雪の情景、妖怪の出現などを表現する。この際、赤い衣裳や隈取りの発色を損なわないよう、光色の調整に配慮する必要があった。さらに、場面転換においては照明変化がほとんどないように見えても、各照明器具の調光レベルを微細に操作し、全体の均整を保ちながら滑らかに変化させる工夫が行われていた¹¹⁾。

4.5.3 歌舞伎における光源と照明器具の変遷

江戸時代から明治後期にかけて、日本の演劇を代表したのは歌舞伎であり、新しい光源はまず歌舞伎劇場で導入されることが多かった。第2章でも述べたように、舞台照明においてガス灯が初めて用いられたのも歌舞伎であり、1874年には横浜の本町湊座にて点灯され、その明るさに観客は強い驚きを示したと記録されている¹²⁾。さらに、1884年には大阪道頓堀の中座において、アークランプが舞台照明に初めて使用され、客席照明として導入された(図4.5)。当時は電力インフラが未整備であったため、電源は千日前竹林寺に仮設の発電装置を設けて供給された¹³⁾。

白熱電球の導入も歌舞伎劇場が先駆けであり、1889年には歌舞伎座において本格的に白熱電球を使用した照明が行われ、客席灯として36灯が設置された¹⁴⁾(図4.6)。当時の照明は現在のように多数の照明器具で影を消すことはできず、シャンデリアやブラケットのみで客席を照らすにとどまっていた。その後、1900年代に入って照明器具メーカーが成立すると、白熱電球を用いたボーダーライトやフットライトが製造されるようになり、現在に近い舞台照明の形態が整っていったと考えられる。

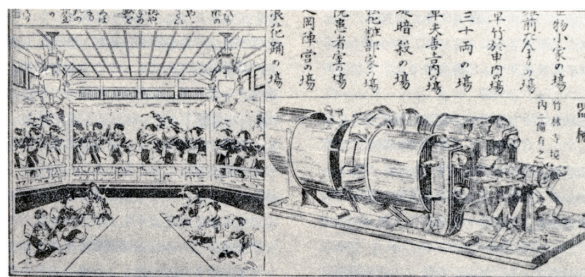


図 4.5 大阪中座のアーク灯及び発電機

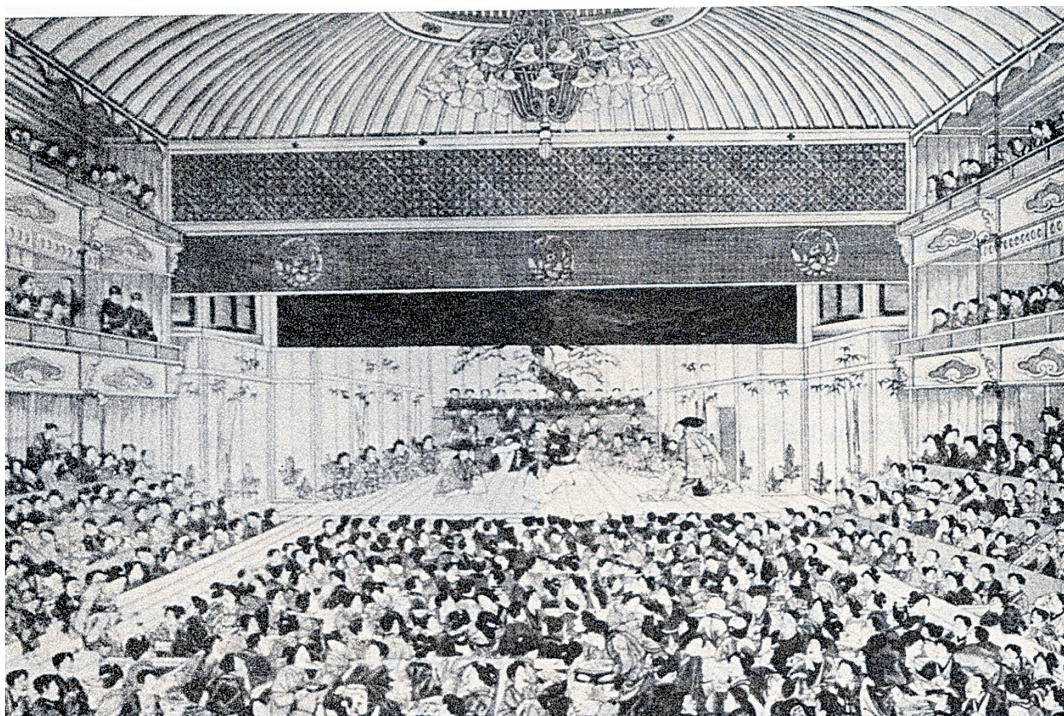


図 4.6 初代歌舞伎座内部

4.6 ミュージカルにおける 舞台照明の概要と変遷

ミュージカルは、音楽・歌唱・舞踊・台詞を融合させた総合舞台芸術であり、その成立過程から照明は視覚的演出の中核的要素として重要な役割を担ってきた。

ミュージカルはテンポの速い物語展開で、わかりやすい音楽、リズムカルな舞踊と豪華な舞台装置で表現する。その照明は、音楽や舞踊を理解し、照明機器の機能と効果を使用して様々な情景を表現することだといわれている¹⁵⁾。

4.6.1 1960年代のミュージカル

宝塚劇場と帝国劇場をはじめとする大劇場でミュージカル上演が行われた。

宝塚劇場で公演を行う宝塚歌劇団は、従来のレビューや歌劇様式を基盤としつつ、ミュージカルの演出を積極的に導入した。特に音楽、台詞、ダンスを一体化させる構成や群舞による視覚的効果と、舞台照明や美術もミュージカルの要素を重視した構成となった。このことで、宝塚歌劇団は日本の商業演劇におけるミュージカルの先駆的役割を果たした。

東宝株式会社が運営していた帝国劇場では、アメリカのブロードウェイで上演された作品などを翻案し、日本で本格的なミュージカル公演を行った。一方、1953年に設立された劇団四季もこの時期にミュージカル上演へと本格的に踏み出した。これによって、



図 4.7 日生劇場

ミュージカルが日本に定着する基盤が築かれた。

1960年代のミュージカル照明は、戦前から戦後直後にかけて欧米の照明手法が導入されたものの、劇場設備や上演形態の違いから独自の展開を見せた。特に平凸レンズスポットライトやフレネルレンズスポットライトが長く主流であり、舞台全体を均一に照らしつつ、人物を際立たせる明かりを重ねる手法が多用された。1963年竣工の日生劇場では、当初から光の方向性と影を重視していたようで、当時日本では主流のスポットライトではなかったプロファイルスポットライトも導入したようである(図4.7)。

欧米のプロファイルスポットライトを中心に照明を行う手法が日本において遅れたのは、専用劇場の少なさや多目的ホールでの上演が多かったことも、その要因のひとつと考えられる。

4.6.2 1970年代のミュージカル

アメリカのブロードウェイ・ミュージカルに強く影響を受け、ブロードウェイ制作のミュージカルを国内で上演する際には、照明においてもブロードウェイの演出スタイルを意識した手法が導入される。

日生劇場ではハロゲン電球を用いた、株式会社龍電社の940 エリスポットのような、本格的なプロファイルスポットを使ったライティングが用いられる(図4.8)。

その後、他メーカーもハロゲン電球を用いたプロファイルスポットライトを製作するようになった。

プロファイルスポットライトがミュージカルに普及するにつれ、それまでの平凸レンズを使用した楕円形の配光を重ねて作っていく照明と、プロファイルで矩形に切った照明を重ねていく方法を用いることで、光と影の方向を強く意識した照明を行うようになった(図4.9)。



図4.8 株式会社龍電社製 940 エリスポット

4.6.3 1980年代のミュージカル

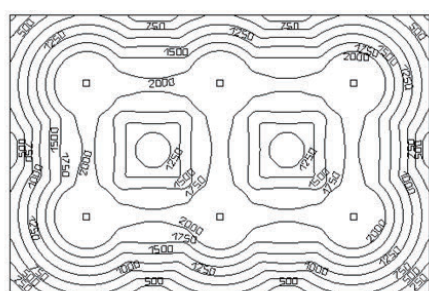
ブロードウェイやイギリスのウエストエンドからのミュージカル作品が次々と紹介され、日本において、ミュージカルが大衆文化として定着した時代であったと考えられる。

1983年、劇団四季は仮設劇場である「キャッツ・シアター」において、ミュージカル作曲家として著名なアンドルー・ロイド・ウェバーによる『キャッツ』を上演した。このキャッツ・シアターは日本初のミュージカル専用劇場であり、ロングラン公演を可能にした点で画期的であった。『キャッツ』は『オペラ座の怪人』と並び、世界的にも極めて成功を収めたミュージカルと位置づけられる(図4.10)。

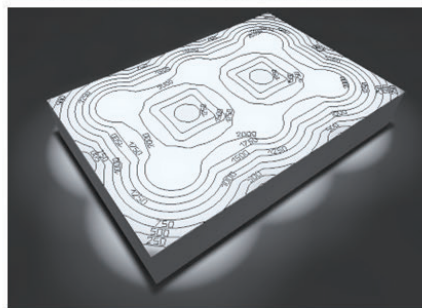
こうした大規模ミュージカルの上演に際しては、演出面でブロードウェイやウエストエンドに匹敵する水



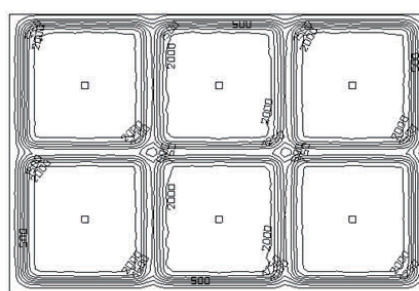
図4.10 キャッツ・シアター



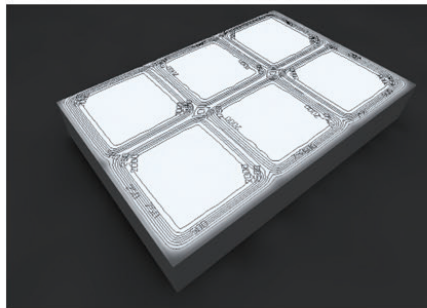
平凸レンズスポットライト等照度曲線(a)



平凸レンズスポットライト光線追跡鳥瞰図(c)



プロファイルスポットライト等照度曲線(b)



プロファイルスポットライト光線追跡鳥瞰図(d)

図4.9 平凸レンズスポットライトでのベースライト等照度曲線(a)・光線追跡鳥瞰図(c)
プロファイルスポットライトでのベースライト等照度曲線(b)・光線追跡鳥瞰図(d)

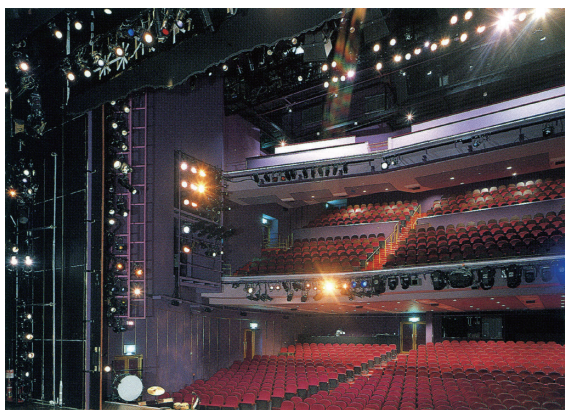


図 4.11 JR 東日本アートセンター 四季劇場「春」



図 4.12 JR 東日本アートセンター 四季劇場「秋」

準の照明クオリティが要求されるようになり、具体的には使用する照明機材の指定が行われるなど、舞台照明が急速に欧米スタイルへと移行した。また、ムービングライトが舞台に導入され始めた時期でもあり、光のビームを自在に動かす照明手法が一般化し、舞台上における光線の方向性や影の生成について、従来以上に精緻な考慮が求められるようになった。

4.6.4 1990年代から現代のミュージカル

劇団四季が公演を行う四季劇場「春」や四季劇場「秋」を皮切りに、ミュージカル専用劇場が次々と建設され、日本全国でブロードウェイやウエストエンドのミュージカルを鑑賞することができるようになった(図 4.11)(図 4.12)。この全国への展開によって、様々な公演のなかでもミュージカルが最もポピュラーなものとなったと考える¹⁶⁾。

また、常設で同じ演目をロングランで上演することによって、運営コストなどからも有利となり、劇場の一つの形態として定着していった。

舞台照明では、この頃から 2 kW や HMI (メタルハライドランプ) を使用したプロファイルスポットライトを使用するようになり、明るくインパクトのある照明器具が好まれるようになった。

4.7 オペラにおける舞台照明の概要と変遷

オペラは、舞台衣裳を身に着けたオペラ歌手の歌唱と演技によって、物語が展開していく舞台芸術である(図 4.13)。歌唱の伴奏や物語を進めていくための音楽の演奏は、舞台と客席の間に設けられたオーケストラピットでオーケストラによって行われる。



図 4.13 愛の妙薬 (新国立劇場 2010 年上演)

4.7.1 1960 年以前のオペラ

「藤原歌劇団」や「二期会」などの日本の歌劇団によるオペラ公演が、歌舞伎座や帝国劇場などで始まった。舞台照明については、劇場に設置してあるボーダーライトやフットライトと平凸レンズのスポットライトを使って行われた。

4.7.2 1956 年から 1980 年のオペラ

日本国内で本格的にオペラが上演されるようになったのは、1956 年から 1976 年にかけて NHK が主催したイタリア歌劇団のオペラ興行に端を発するとされる¹⁷⁾。

イタリア歌劇団の来日公演は、当初、主要な歌手や演奏家のみを招聘し、道具、衣裳、美術スタッフは日本国内で手配されていた。しかし、1963 年の第 4 次公演からは舞台装置をイタリア本国から輸送し、現地での公演を忠実に再現することに努めた。さらに 1967 年の第 5 次公演以降には衣裳もすべてイタリアで製作されたものを用いるようになり、道具、衣裳、美術スタッフもイタリアから招聘される体制が整った。これにより、日本国内でも本国と同水準の舞台美術が実現され、オペラに対する技術水準の向上が促された¹⁸⁾。

照明技術においては、当時の国内ではフレネルレンズスポットライトや平凸レンズスポットライトが主流であり、これらによって舞台照明が構成されていた。一方、欧米、特にヨーロッパ諸国では、プロファイルスポットライトが主要な役割を担っており、この点に大きな差異が見られた。そのため、日本では平凸レンズスポットライトの非球面レンズ化など独自の進化が進む一方、海外ではプロファイルスポットライトの改良が重ねられていった。

1960 年代以降にはバックライトを用いてシルエットを強調する照明技法が導入され、大光量を持つスポットライトの需要が高まった。これに対応するため、5 kW 級の白熱電球を搭載したスポットライトが開発され、さらに 1972 年にはドイツ・オスラム社によって開発された高輝度放電ランプ HMI が登場し、1970 年代後半には舞台照明にも本格的に導入されるようになった¹⁹⁾。

ミュージカルの項でも述べたように、オペラの舞台照明においても舞台のベース明かりは、平凸レンズの中心部が特に明るい尖った明かりで丸く重ねるのが日本の明かり、プロファイルの四角く切ったなどらかな配光を並べていくのが欧米の明かりという違いが明確になっていった。また、色光、明るさ、照射範囲、さらには光のエッジの処理が重要な要素であり、とりわけ光線の向きが極めて重視されてきた。これは舞台上の演者や舞台装置を立体的に浮かび上がらせる効果を

生み、観客の視覚的印象を大きく左右するためである。

背景表現の方法としては、伝統的に「ドロップ」と呼ばれる手描きの背景幕が広く用いられてきたが、これに加えて白色や灰色の幕に対してプロジェクタースポットライトを用い、背景を画像として投影する手法も導入された。この方法では、投影するスライドや図柄(いわゆる「ネタ」)を差し替えることにより、舞台背景を比較的容易に変更することが可能となった。その結果、場面転換に柔軟性が生まれ、従来のドロップを補完する手段として活用された。ここで用いられたプロジェクタースポットライトは、あくまでスライド式や投影用スポットライトなどのレガシーなプロジェクターであり、後のデジタルプロジェクション技術に至る以前の段階に位置づけられる(図 4.14)。



図 4.14 プロジェクタースポットライトによる背景の投影実験

4.7.3 1980 年から 2000 年のオペラ

1980 年代以降、スポットライトの光源はハロゲン化が進展し、国産メーカーによるプロファイルスポットライトが実用化された。これにより、日本国内の劇場においても、従来主流であった平凸レンズスポットライトからプロファイルスポットライトへと移行する傾向が強まり、プロファイルを基軸とした照明構成が普及していった。

スクローラ型カラーチェンジャーの導入により、1 台のスポットライトで使用できる色数が飛躍的に増加した。従来は複数台の照明器具を用いて色の異なるフィ

ルタを切り替えていたが、カラーチェンジャーの使用によって限られた台数の機材で多彩な色表現が可能となり、照明設計の柔軟性と効率性が大きく向上した。

この流れを象徴するのが、1997年に竣工した新国立劇場である。同劇場では、サスペンションスポットライトやシーリングスポットライト、フロントサイドスポットライトといった基本的な照明器具に、プロファイルスポットライトおよびフレネルレンズスポットライトが採用された。光源としてはハロゲン2 kW級やHMI光源を搭載したプロファイルスポットライトが導入され、従来に比べて大光量かつ高演色性を備えた照明環境が整えられた。

プロファイルスポットライトを用いることで、照射

したい領域と照らしたくない領域を明確に区分することが可能となった。これにより、舞台照明は単に明るさを確保するだけでなく、演出意図に応じて光の形や境界を制御できる段階へと発展した。セットや背景に対して色彩や陰影の効果を与えることで、照明自体が演出の一要素として機能するようになった。特にフレーミングシャッターを用いた光の整形技術で部分的に照明することが可能となり、舞台美術と照明設計を一体化させ、視覚的構成をより立体的かつ劇的に表現するための基盤を築いた(図4.15)(図4.16)。

新国立劇場は、複数の演目を日替わりで上演を行うレパートリーシステムによる運営を目指していたため、照明器具の位置調整や再現性が重視された。その



図 4.15 全体を照明したシーン



図 4.16 プロファイルスポットライトでセットそれぞれを照らしたシーン

ため、スポットライトには照射角度、ズーム、フォーカス位置を記録できる目盛りが付加され、器具の再設定を容易にする工夫が施された。この手法は同劇場にとどまらず、その後の国内劇場にも広がり、スポットライトの傾斜固定金具やフォーカス位置に目盛りを設ける仕様が一般化していった(図 4.17)。

また、新国立劇場ではコネクタのロック機構が採用され、他の劇場にはない特殊なコネクタが採用された(図 4.18)。

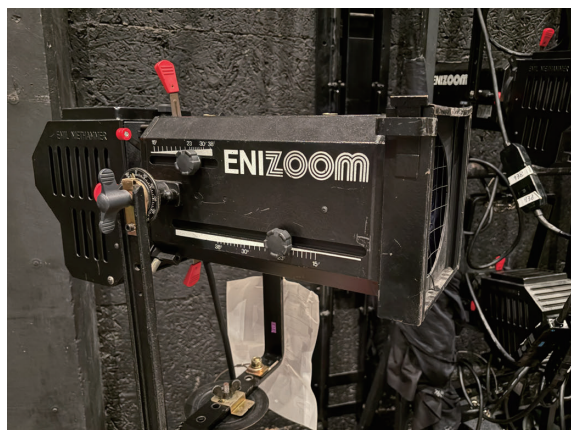


図 4.17 チルト・フォーカス・ズーム目盛り付きのプロファイルスポットライト

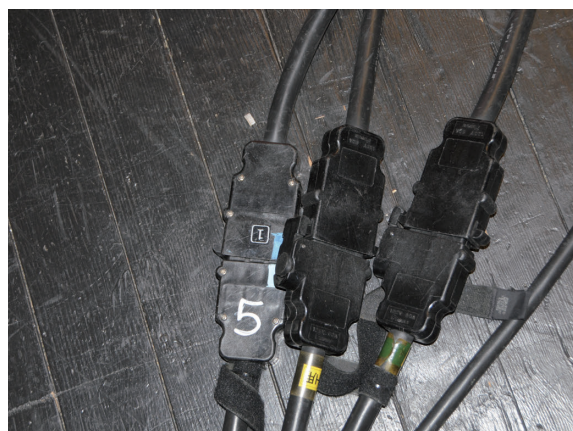


図 4.18 ロック付き 30 A(左) 60 A(中、右) コネクタ

4.8 コンサートにおける舞台照明の概要と変遷

4.8.1 コンサートと演劇やミュージカル、オペラの舞台照明の相違

ここではクラシック音楽のコンサートではなく、ロックやポップスなど一般にポピュラー音楽と呼ばれる音楽のコンサートの舞台照明について述べる。

コンサートにおける舞台照明は、演劇、ミュージカルやオペラの舞台照明とは根本的にその目的と方法論が異なる。これは演劇、ミュージカルやオペラの舞台照明が、物語の展開や登場人物の心理描写を支えることを主眼とするのに対し、コンサート照明は音楽そのもの、すなわち楽曲のイメージや歌詞の内容を視覚的に拡張する役割を担っていることに由来する。

以下に、演劇、ミュージカルやオペラの舞台照明とコンサートの舞台照明の特徴を対比的に示す²⁰⁾。

演劇、ミュージカルやオペラの舞台照明の考え方

- 台本を基に、ストーリーの流れに沿って場面の情景を構築する。
- 物語の進行に合わせ、時間の経過や季節の移ろいを、照明の方向性、影の落ち方、明るさや色彩の変化によって表現する。
- 基本的には、照明器具そのものを観客に見せることは避けられる。
- 必要な情景を成立させるため、舞台進行に応じて必要な照明を「付加していく」アプローチをとる。

演劇照明の作り方を図 4.19 に示す。

コンサート照明

- コンサート照明は音楽やセットリストから発想されるシーンをもとに機材構成を考え、舞台空間を設計する。
- 具体的な情景描写に基づく場合もあるが、多くは抽象的かつ感覚的な表現が中心となる。

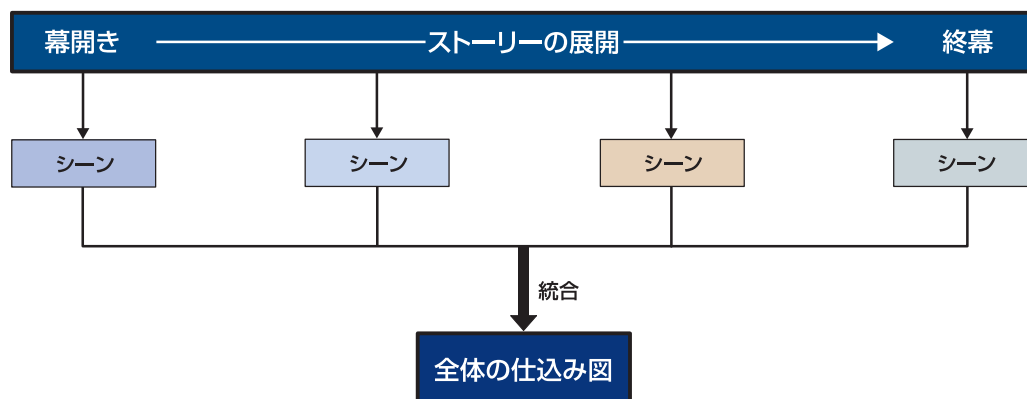


図 4.19 演劇やオペラ、ミュージカルの舞台照明

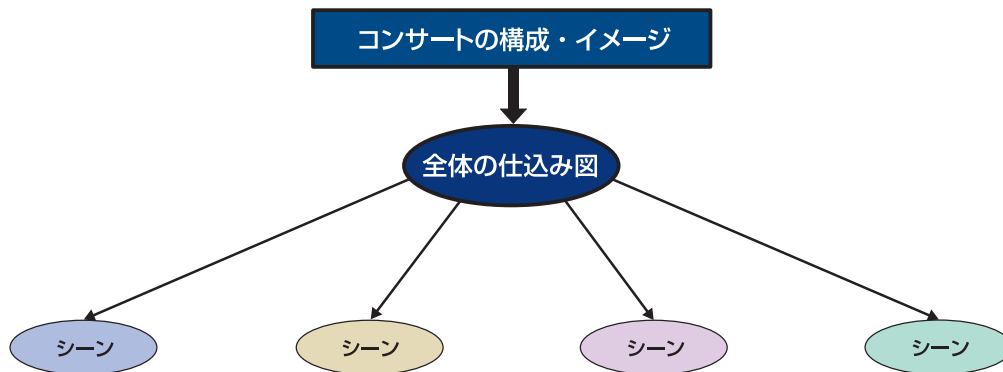


図 4.20 コンサート照明の作り方

- 曲のリズムやメロディーを、光色の変化や明滅と同期させて視覚化する。
- ステージ全体を照明する光に対し、補色関係にある光を PAR ライトやゴボ付きプロファイルスポットライトで加えることで、ステージの立体感を強調する。
- スポットライトやそれを支持するトラスなどを観客に積極的には見せ、ステージセットの一部として演出に組み込む。
- 演劇の照明と異なり、コンサート全体の構成を意識したシーンの構成をイメージして照明プランを作成する (図 4.20)。

4.8.2 1970 年代までのコンサートと舞台照明器具

1970 年頃までの日本におけるコンサートで使用される舞台照明器具は、照明機材の選択肢が潤沢ではなかったため、会場となる会館やホールに設備されている平凸レンズスポットライトやフレネルレンズスポットライトが中心であった。

照明手法としては、フレネルレンズスポットライトで舞台全体をフラットに明るくし、平凸レンズスポットライトやフォロースポットライトでアーティストを強調する方法が一般的で、さらにサスペンションスポットライト、サイドスポットライト、 Horizont ライトなどを組み合わせて空間を構成し、カラーフィルタを使用して楽曲のイメージを色彩で表現する手法が採られていた。また、1960 年代後半から登場したグループサウンズによるテンポの速い楽曲においても、ジョーゼットや立ち木の舞台セット、電飾を用いてシーンを構成することも多く見られた (図 4.21)。

また、容量の大きなスポットライトで上手もしくは下手からの片明かりで演出する方法も多用された (図 4.22)。当時は曲の途中での転換は基本的には行わず、1 曲で 1 シーン、同じシーン明かりで複数の曲が演奏されることもあった。

この頃から大規模なコンサートやイベントが日本武道館のような舞台照明設備の整っていない施設で行われ始め、会場の特性に応じた照明方法が模索された。日本武道館でのコンサートでは天井から舞台照明器具を吊り込むことができなかったため、サイドにイントレ (仮設槽) を組み、10 kW や 5 kW のサンスポットを設置して全体を照射する手法が採用されている。



図 4.21 舞台装置として布を使ったコンサートのステージ

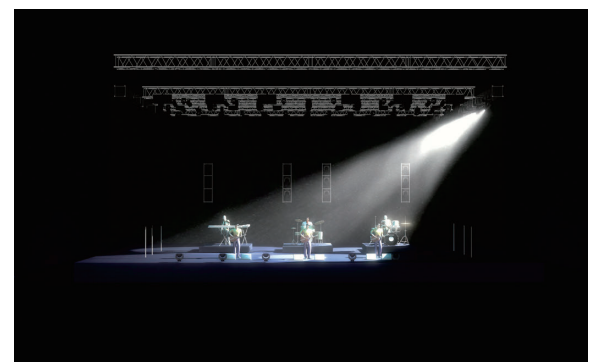


図 4.22 サイドライトによる片明かり

4.8.3 1970 年代後半から 1980 年代のコンサートと舞台照明器具

1970 年代後半から 1980 年代にかけて、舞台照明器具そのものを演出の一部として積極的に組み込む手法

が増加し、セット内部に電飾や舞台照明器具を仕込み、舞台全体が発光しているように見える演出が行われるようになった。

ツアー公演においては、会場となる会館・ホールの設備に依存せず、オリジナルの演出を再現するための工夫が必要であった。特に調光回路の不足を補うために、移動型の調光器をツアー機材として持参する例も多かった。また、会館・ホールに常設されている舞台照明器具は、性能やメンテナンスに問題を抱える場合が少なくなかったため、フレネルレンズスポットライトなど主要な舞台照明器具も、特殊な機材と伴に持ち込まれた。照明プランは、当時会館・ホールに普及していた3段プリセットフェーダー式の調光卓で再現可能な範囲を前提として構成されていた。

舞台照明器具では平凸スポットライトの500 Wが広く活用された。同器は取り扱いやすさに加えて十分な光量を有しており、舞台セットへの照射やアーティストを抜き出す用途に多用された。

コンサート照明において大きな転換点となったのは、1980年頃にスモークマシンが導入されたことである。これにより、光のビームを使った表現が可能となった。実際の運用では、フレネルレンズスポットライトでベースの明かりを作り、平凸レンズスポットライトのフォーカスを絞り、ビームを強調することで新しいシーン構成が実現された。

1980年代に入ると、舞台の照明を舞台だけでなく、客席側へも向ける手法が積極的に導入され、観客に直接光を浴びせることで演出に没入感を与える表現が生まれた。これにより、照明は舞台を照らすだけでなく、観客をも巻き込む「体験型の演出装置」としての性格を強めていった。

4.8.4 1980年代後半から1995年頃の コンサートと舞台照明器具

1980年代後半から1995年頃にかけて、コンサート照明は急速な変革を遂げ、この時期には、米国において、バリライト (Vari*Lite) が導入され、ビームの制御やカラーの即時変化が可能となった。しかし、当時のバリライトは販売ではなく専属オペレーターを含むレンタル形式でのみ提供されていたため、世界的に画期的な技術であったにもかかわらず、市場全体に普及するには至らなかった。

質量が軽く取り回しやすく、かつ明るく美しいビームを形成する PAR ライトが急速に普及し、コンサート照明の主流を占めるようになった。スモークマシンの使用が一般化したことで、スポットライトや PAR

ライトからのビームを空間に可視化し、ステージを立体的に見せる手法が定着した。さらに、光そのものを演出要素として強調するため、舞台照明器具自体を観客から見えるように配置するスタイルが取り入れられた (図 4.23)。

また、より細く鋭いビーム効果を求める演出が広がり、24 V または 28 V で点灯する低電圧の AC 球 (Aircraft Landing Light) が使用されるようになった。これらは応答速度に優れ、カットイン／カットアウトによる瞬時の明滅表現に適していた。また、プロファイルスポットライトにゴボを装着して模様付きのビームを投射する表現も一般化し、照明が単に照らす明かりではなく視覚的デザインの中核を担うようになった (図 4.24)。

1980年代後半以降はトラスを用いた照明システムが普及し、ステージ上部に器具を自由に配置できる構造が整った。これにより、バンドセットを直接的に照らし、光のビームによって立体的なステージイメージを構築する演出が主流となった。

こうした空間を立体的に見せるデザインが主流となり、コンサートにおいてホリズントを使った照明表現は行われなくなった。



図 4.23 PAR ライトを使用したビームを見せるステージ



図 4.24 プロファイルスポットライトのゴボの効果

4.8.5 1995 年以降から 2010 年代の コンサートと舞台照明器具

1995 年以降、コンサート照明の主役は従来の PAR ライトや固定型スポットライトから、ムービングライトへと移行していった。特に、HMI をはじめとするメタルハライドランプや反射鏡一体型メタルハライドランプを光源とする機種は、高い色温度と明瞭なビームを実現し、従来にはないシャープな照明表現を可能とした。

ムービングスポットライトにはカラーチェンジャーが内蔵され、①ダイクロイックフィルタをホイールに実装し回転させて色を切り替える方式、②複数の色ガラスを組み合わせて変化を得る方式、③ダイクロイックフィルタによる混色方式の 3 種が開発された。さらに、複数のゴボホイールを用いたゴボチェンジャーや、投影したゴボを回転させるゴボローテータが搭載され、ビームの形状や投影像がリアルタイムに動的変化する演出が可能となった(図 4.25)。



図 4.25 ゴボチェンジャー

このムービングライトをコントロールする制御卓も高機能化が進み多様な制御が可能となっていった。

このような性能の向上により、従来 PAR ライト 10 台を必要とした演出がムービングライト 6 台で実現できるなど、省力化と効率化が進んだ。当初は非常に高価であったものの、次第に価格が低下し、2000 年代に入るとコンサート照明に限らずイベント照明全般に普及し、演出照明の主流を占めるに至った。

また、2000 年頃からは LED バックパネルが導入され、映像と照明が一体化した演出が一般化し始めた。これにより、従来明確に区分されていた「映像」と「照明」の境界が曖昧になり、ステージ表現はより複合的でダイナミックな方向へと拡張した。さらに、従来のプロファイルタイプに加え、ウォッシュタイプや PAR ライトに類似したビームタイプのムービングライトも製品化され、用途に応じた多様な光表現が可能となった。結果として、ムービングライトは単なる特殊効果機材ではなく、コンサート照明の基本的な照明器具として不可欠な存在へと位置づけられるようになった(図 4.26)。

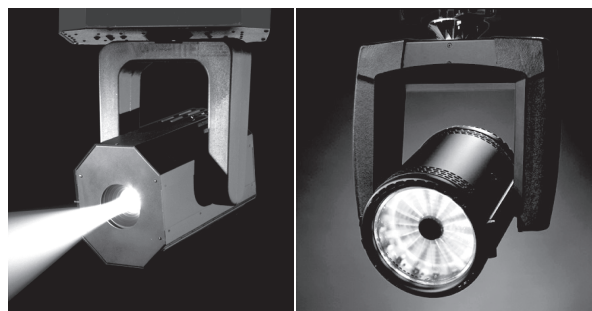


図 4.26 プロファイルタイプ(左)とウォッシュタイプ(右)のムービングライト

4.8.6 2010 から現在のコンサートと舞台照明器具

2010 年以降、コンサートは従来の規模からさらに拡大し、ライブ専用ホールやアリーナ、さらにはスタジアムといった大規模会場で開催される事例が主流となった。これに伴い、従来の会館・ホールを使用したコンサートは減少傾向にある。

舞台照明器具ではムービングライトの生産国が多様化し、2010 年頃には「安かろう悪かろう」と評される低品質な製品も散見されたが、その後技術革新が進み、今日では低価格であっても高精度かつ高性能な製品が数多く登場している。

ムービングライトの光源に LED が採用され始めたことは大きな転換点であった。その後急速に LED 化が進展し、現在ではムービングライトの光源はほぼ LED が主流となっている。これにより、消費電力の低減、長寿命化、発熱量の抑制といった利点がもたらされただけでなく、色変化や調光制御においても従来よりも柔軟な表現が可能となった。

市民会館などの一般の会館においても、ムービングライトやムービングライトに対応した制御卓が設備されるようになり多色の LED などの制御にも使用されるようになった。

照明デザインの分野ではビジュアルライザーと呼ばれるシミュレーションソフトが導入され、モデリングや

シミュレーションを通じて高精度な3Dモデルを生成することが可能となった。これにより、演出家やバンドリーダーに対して視覚的にわかりやすい照明デザインの提案を行えるようになり、事前打合せやプランニングの効率化が著しく進展した。また、シミュレーションデータをそのまま制御卓(コントローラ)に入力できる機能も普及し、仕込みや調整作業の省力化にも大きく寄与している(図4.27)。

もっとも、シミュレータと実機の間には依然として差異が存在する。特に明るさ、色再現性、動作の滑らかさといった点では、ソフトウェア上の表現と実際の照明機材の出力に乖離が生じることがある。そのため、シミュレータを活用した効率化が進む一方で、使用機材の特性に関する十分な知識と、光の表現を正しくイメージする高度なスキルが求められる。

参考文献

- 1) 岩崎令兒,「美しい光を得るために」, 日本照明家協会, pp.18-19 (1990)
- 2) 宮内良広,「光と影の画家レンブラントー技法と生涯」, 光学, 第49巻第9号, pp.377-378 (2017)
- 3) 遠山静雄,「舞台照明学上巻」, リプロポート, pp.250-253 (1988)
- 4) US.PATENT2076240
- 5) 特公平 02-017881
- 6) 牛丸光生,「やさしい舞台照明入門」, 彩光社, pp.6-7 (1975)
- 7) 日本照明家協会編,『日本舞台照明近代史』, 日本照明家協会, p.4 (1993)
- 8) 遠山静雄,「舞台照明学 下巻」, リプロポート, pp.106-107 (1988)

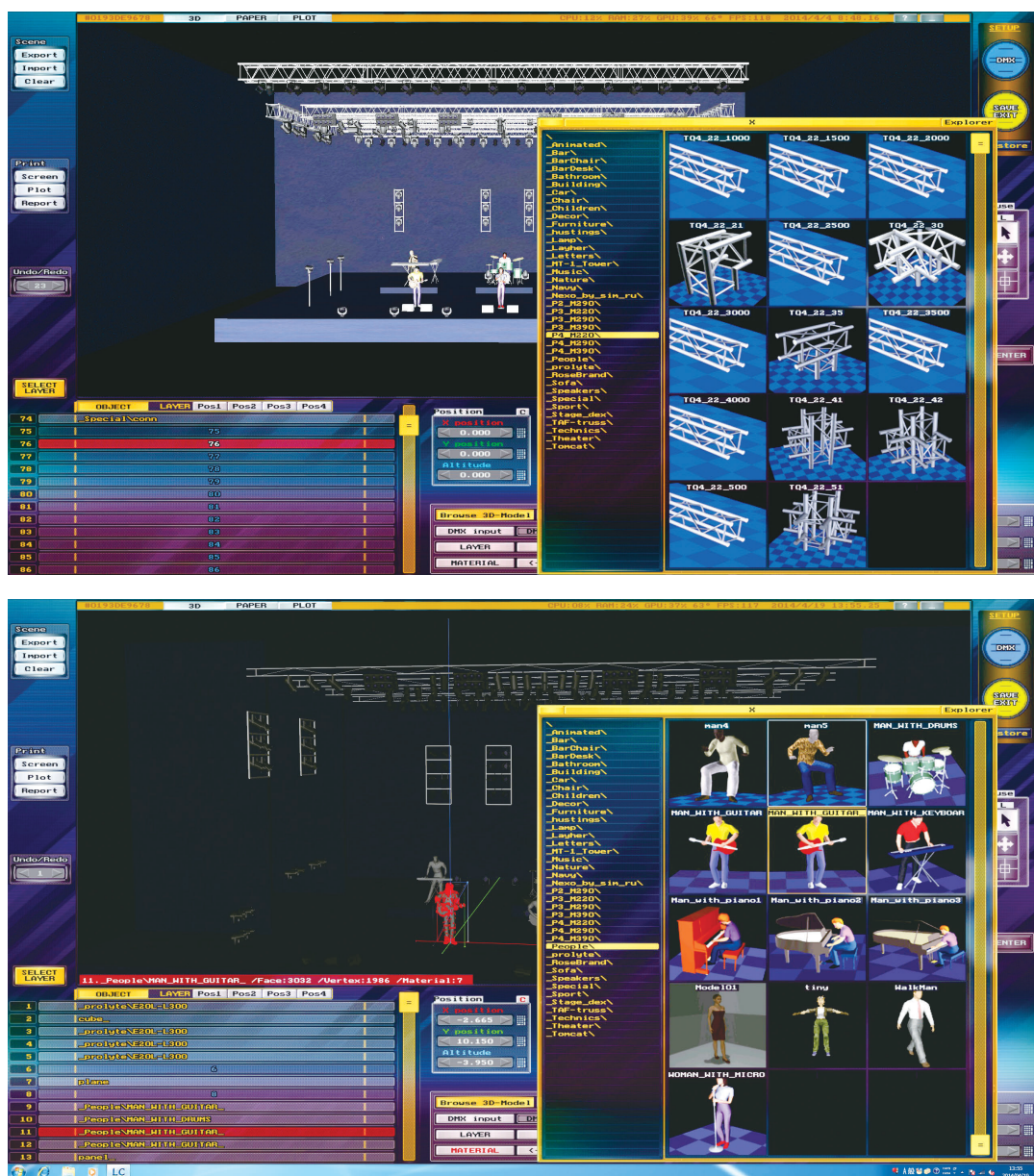


図 4.27 舞台照明用シミュレーションソフトの例

- 9) 新編『舞台テレビジョン照明』[知識編], 日本照明家協会, pp.186-188 (1998)
- 10) 奥富利幸, 「日本建築学会計画論文集 第73巻 第632号」, pp.2235-2240 (2008)
- 11) 新編「舞台テレビジョン照明」[知識編], 日本照明家協会, pp.188-191 (1998)
- 12) 横浜毎日新聞 1874年7月28日号
- 13) 遠山静雄, 「舞台照明学 上巻」, リプロポート, p.237 (1988)
- 14) 遠山静雄, 「舞台照明学 上巻」, リプロポート, pp.245-248 (1988)
- 15) 牛丸光生, 「やさしい舞台照明入門」, 彩光社, pp.13-15 (1975)
- 16) 「文化に関する世論調査報告書」, 文化庁, p.7 (2025)
- 17) NHK交響楽団「フィルハーモニー」28(7), NHK交響楽団, pp.40-43, 1956-07. 国立国会図書館デジタルコレクション <https://dl.ndl.go.jp/pid/2258517> (2025-09-13 閲覧)
- 18) NHK交響楽団「フィルハーモニー」43(8), NHK交響楽団, p.27, 1971-09. 国立国会図書館デジタルコレクション <https://dl.ndl.go.jp/pid/2258683> (2025-09-13 閲覧)
- 19) 日本音響材料協会[編]「音響技術」11(1)(37), 日本音響材料協会, pp.19-22, 1982-02. 国立国会図書館デジタルコレクション <https://dl.ndl.go.jp/pid/3235790> (2025-09-13 閲覧)
- 20) 加藤憲治, 「コンサートライティング入門」, レクラム社, pp.7-9 (2014)

図表引用(掲載許諾)

- | | | |
|-------|--|--|
| 図 4.1 | https://commons.wikimedia.org/w/index.php?title=File:Rembrandt_The_Hundred_Guilder_Print.jpg&oldid=1040453593 (2025年9月3日閲覧) | by-Ogata-Gekko-1891.png&oldid=903707631. (2025年9月10日閲覧) |
| 図 4.2 | https://commons.wikimedia.org/w/index.php?title=File:Suzuki_Harunobu_-_Evening_Snow_on_the_Heater.jpg&oldid=967887721 (2025年9月10日閲覧) | 図 4.5 遠山静雄, 「舞台照明学 上巻」, リプロポート, p.237 (1988) |
| 図 4.3 | 日本照明家協会, 「舞台テレビジョン照明 知識編」, p.187 (1998) | 図 4.6 遠山静雄, 「舞台照明学 上巻」, リプロポート, p.247 (1988) |
| 図 4.4 | https://commons.wikimedia.org/w/index.php?title=File:Nogaku-In-the_Noh-Theatre- | 図 4.7 「LIGHTING DATA SHEET No.308 日生劇場」, 丸茂電機株式会社 (2017) |
| | | 図 4.8 遠山静雄, 「舞台照明学 下巻」, リプロポート, p.108 (1988) |
| | | 図 4.9 筆者作成 |
| | 図 4.10 https://commons.wikimedia.org/w/index.php?title=File:Catstheater2.jpg&oldid=851702378 (2025年9月10日閲覧) | |
| | 図 4.11 「LIGHTING DATA SHEET No.248 四季劇場「春」「秋」」, 丸茂電機株式会社 (2017) | |
| | 図 4.12 「LIGHTING DATA SHEET No.248 四季劇場「春」「秋」」, 丸茂電機株式会社 (2017) | |
| | 図 4.13 新国立劇場より提供 (2025年10月3日) | |
| | 図 4.14 新国立劇場より提供 (2025年10月3日) | |
| | 図 4.15 新国立劇場より提供 (2025年10月3日) | |
| | 図 4.16 新国立劇場より提供 (2025年10月3日) | |
| | 図 4.17 筆者撮影 (2025年10月2日, 新国立劇場) | |
| | 図 4.18 筆者撮影 (2025年10月2日, 新国立劇場) | |
| | 図 4.19 加藤憲治, 「コンサートライティング入門」, レクラム社, p.9 (2014) をもとに筆者作成 | |
| | 図 4.20 加藤憲治, 「コンサートライティング入門」, レクラム社, p.9 (2014) をもとに筆者作成 | |
| | 図 4.21 加藤憲治, 「コンサートライティング入門」, レクラム社, p.10 (2014) | |
| | 図 4.22 加藤憲治, 「コンサートライティング入門」, レクラム社, p.42 (2014) | |
| | 図 4.23 加藤憲治, 「コンサートライティング入門」, レクラム社, p.12 (2014) | |
| | 図 4.24 加藤憲治, 「コンサートライティング入門」, レクラム社, p.21 (2014) | |
| | 図 4.25 加藤憲治, 「コンサートライティング入門」, レクラム社, p.117 (2014) | |
| | 図 4.26 加藤憲治, 「コンサートライティング入門」, レクラム社, p.110 (2014) | |
| | 図 4.27 加藤憲治, 「コンサートライティング入門」, レクラム社, p.130 (2014) | |

5 | フラッドライトの光学系の特徴と変遷

舞台照明器具は、その光学的機能によって大きく二つに分類できる。すなわち、反射鏡と光源のみで構成され、広い範囲を柔らかな光で照射するフラッドライトと、レンズなどの光学部品を用いて明確な照射範囲を形成するスポットライトである。フラッドライトは使用環境や求められる配光に応じて反射鏡の形状が工夫されており、一方のスポットライトは平凸レンズ、フレネルレンズをはじめ、反射鏡でゲートを照射し結像レンズで投影するプロファイル型に至るまで、多様な光学系が発展してきた。本章では、このように多様化してきた舞台照明器具の光学系について、その特徴と変遷を光学部品の観点から中心に整理する。なお、舞台照明に用いられた光源は、15世紀の油灯やろうそくに始まり、ガス灯、アーク灯、白熱電球、各種放電灯、さらにはLEDに至るまで多岐にわたるが、光学系の発展に大きな意義をもたらしたのはアーク灯以降であるため、本稿では主としてアーク灯以降の時代に焦点を当て、最初に各種フラッドライトの解説を行う。

フラッドライトは、光源とリフレクタ（反射鏡）を基本構成要素とし、その照射範囲は原則として調節不可能である。広範囲を均一に照明する目的のため、リフレクタは拡散面として設計されている。

本章では、フラッドライトの光学系の歴史的変遷を中心に、代表的な照明器具の特徴を述べる。

5.1 ボーダーライトの光学的な特徴と変遷

ボーダーライトおよびフットライトの概念は、舞台照明の黎明期に遡ることができる。黎明期においては油灯やろうそくによる照明が用いられ、演者を上方（ボーダーライト）および下方（フットライト）から照射する工夫が施されてきた。ボーダーライトは舞台全

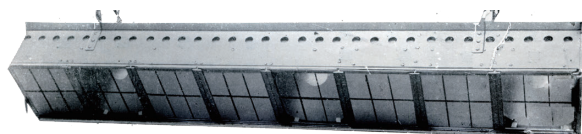


図 5.1 1930 年代の丸茂電機製作所製ボーダーライト

体の均一な照明を目的とし、陰影が付きにくいいため、演出空間を平面的に見せる傾向がある。

近年の演劇やミュージカルでは、立体的な演出効果を狙ったスポットライトの使用が一般的であり、ボーダーライトはやや前時代的な設備とみなされることも多い。しかしながら、歌舞伎や日本舞踊など、平面的な空間演出を特徴とする伝統芸能においては、依然として重要な役割を果たしている。

ボーダーライトの基本構造は、白熱電球の採用以降ほぼ 100 年間にわたり大きな変化がなく、槌状の灯具が複数のコンパートメントに分割され、それぞれに光源、反射鏡およびカラーフィルタを挿入するフィルタホルダ（差し枠）が備えられている。照明器具の配置は、舞台奥に向かって約 30 度の角度で設置され、舞台の奥行きに応じて 4～6 列を上部に設置し、3 回路または 4 回路にて点灯される。

図 5.1 に約 100 年前に丸茂電機製作所によって製造されていたボーダーライトを示す。

以下に、ボーダーライトの光学的変遷とその特徴について詳細に述べる。

5.1.1 ボーダーライトの光源について

1930 年代から 2000 年代までの主な光源は白熱電球であり、シリカ電球の普及後も艶消し電球が好まれて使用されていた¹⁾。図 5.2 は、艶消し電球 LF 100 V 150 W とシリカ電球 LW 100 V 150 W を 50% 調光した際の比較である。左側に示すシリカ電球は電球全体が光っているのに対し、右側の艶消し電球はフィラメントが発光してグローブで散乱していることが確認で



図 5.2 LF 電球（右）と LW 電球（左）の違い

きる。発光点の拡大は光の制御を困難にするため、適度な拡散度合いが望ましい。

2000年代以降はハロゲン電球への移行が進み、発光部が小さいため舞台面からの見た目がより明瞭で輝度が高くなるという特徴がある(図5.3)。

このため、演者からハロゲン電球は光源の輝度が高いため「まぶしい」という意見も出ていた。



図 5.3 ハロゲン電球を使用したボーダーライト

5.1.2 ボーダーライトの反射鏡について

ボーダーライトの反射鏡は、光源からの直射光および反射鏡を経由した光線が約90度の開きとなるよう設計されている。また、電球のグローブによる拡散効果および反射鏡自体の拡散特性を利用することで、明るさの変動が少なく滑らかな配光を実現している。

連続灯具としてのボーダーライトが普及し始めた時期から現在に至るまで、反射鏡の形状は楕円面、もしくは、近似楕円面と球面を複合した構造が用いられている(図5.4)。1930年代から1950年代半ばにかけては、アルミニウム合金板を絞り加工し、バフ研磨後に自然

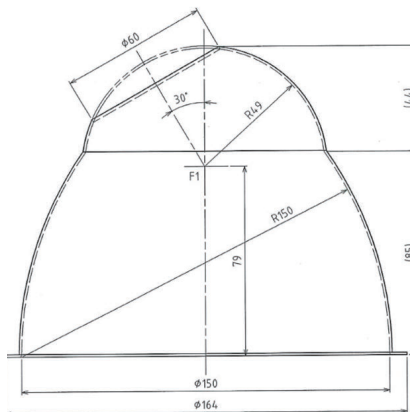


図 5.4 反射鏡の形状

酸化被膜を形成させた反射鏡が主流であった。

1950年代以降、アルマイト技術の進歩に伴い、陽極酸化被膜処理を施した反射鏡が主流となっている。

5.1.3 ボーダーライトの配光について

フラッドライト類は反射鏡の設計で配光を主に制御しており、ボーダーライトやフットライトなどの用途や設置条件によって設計が異なっている。ここではそれぞれのフラッドライトの用途と配光について光学系モデルを作成して光線追跡シミュレーションで確認をおこなった。

まず、ボーダーライトの配光を確認するため、現行のボーダーライトの光学系をコンピュータ上でモデル化し実際の見た目と同様なリアル解析と、照度分布を等照度曲線で表した。

電球のフィラメントはC-6を模して円柱状のフィラメントモデルとし、電球のグローブ形状は実際の寸法とした。グローブの散乱特性は艶消しガラスの特性でモデル化を行った(図5.5)。

反射鏡は図5.4の形状とし、反射面の散乱特性は実際の反射鏡を測定しそのデータを用いてモデル化を行った。

光線追跡の条件として、照明器具の設置高さは床面から6m、照射面の大きさは幅5m奥行き6mで水平の設置位置は中心、奥行き方向が舞台框から奥に向かって2mとした。角度は電球鉛直として追跡を行った(図5.6)。

照明器具の配光をわかりやすくするため単灯でのシミュレーションであるが、全体になだらかな配光が確認できる。

配光が舞台横方向、奥方向に重畳されれば、上述したように舞台全体を均一に明るくすることが可能になる。

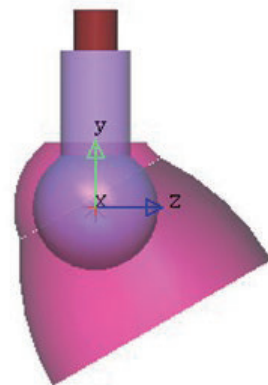


図 5.5 コンピュータ上に構成したボーダーライト光学系

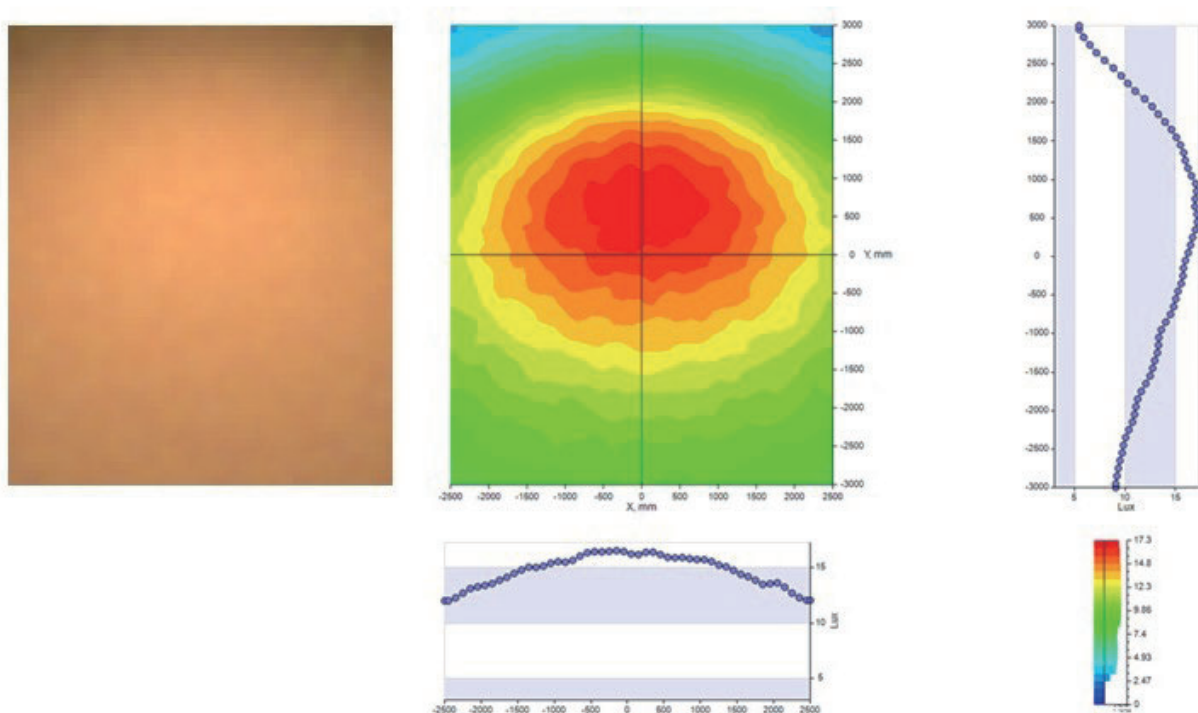


図 5.6 ボーダーライトの配光に関するシミュレーション結果

5.2 フットライトの光学的な特徴と変遷

フットライトは舞台前面に設置され、下方向からの光によって演者や衣裳を明瞭かつ美しく見せる照明器具であり、基本的にはボーダーライトと併用して用いられる。舞台前縁に設置されるため、観客の視線を遮らないよう器具全体の高さを低く抑える構造が採られ、また使用しない際には舞台面に埋め込む形式や、演目の必要に応じて設置・撤去する形式が採用されてきた。

構造的にはボーダーライトと同様に、光源（電球）と反射鏡を銅板製のコンパートメントに分割し、フィルタホルダによって多様な色光を得る方式が主流である。1930年代に舞台照明器具においても白熱電球が普及すると、現在と同様に「埋め込み型」「置き型」「引っ掛け型」「花道用」といった複数の形式が製造されてきた³⁾。また1930年代から1960年代にかけては、フットライトはきわめて重要な照明器具と位置づけられ、舞台框の曲線に対応した曲線型フットライトや、奥行き狭い舞台向けに照射角度を調整したバリエーションも開発されている³⁾。

近年では、照明演出の方向性変化やサスペンションスポットライトなどの上方照明器具の多様化に伴い「フットライトは必ずしも必要ではない」との意見もあり、実際に設置を行わない劇場も増えている。しか

しながら、歌舞伎や日本舞踊などの伝統的な演目においては依然として不可欠な照明器具として位置づけられている²⁾。

それぞれの光学系の詳細な特徴については後述するが、図 5.7 に 1936 年製のフットライトを、図 5.8 に現行のフットライトを示す。

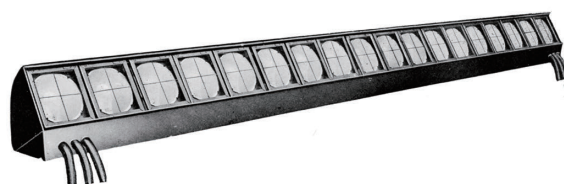


図 5.7 埋め込み型フットライト (丸茂電機製作所)



図 5.8 埋め込み型フットライト (丸茂電機株式会社)

5.2.1 埋め込み型・置き型フットライトについて

図 5.7 に示すのは、1936 年に丸茂電機製作所によって製造された埋め込み型フットライトであり、舞台框に切られた溝へ常設する形式である。当時のフットラ

イトは常設設置が一般的であったが、1937 年の丸茂電機製作所カタログには次のような記述が見られる。「講堂等ノ舞台ニ於キマシテ、フットライトヲ使用シナイ場合ニ舞台下ニ隠蔽スル事ヲ要求セラルル場合ガ多イノデアリマスガ、本装置ハ唯一ノ手ニ依リテ簡単ニ此目的ヲ達シ得ル装置デアリマス。」⁴⁾。すなわち、使用しない際には舞台面から視覚的に隠すことが求められ、その要求に応える設計思想がすでに見られる。

一方、置き型フットライトは埋め込み型と光学的構成は同一であるが、舞台框に溝を設けられない場合などに使用される。高さをできるだけ低く抑える設計がなされており、図 5.9 に 1936 年製の置き型フットライトを示す。

光学的配置はボーダーライトと同様に、光源と反射鏡の組み合わせによって反射鏡の光軸方向に対し約 90 度の開きで配光を得よう設計されている。それぞれの機種での配光特性検証のため、フットライトについてもボーダーライトと同様にモデル化を行い、



図 5.9 置き型フットライト (丸茂電機製作所)

シミュレーションをおこなった。解析を行う条件として、図 5.11 の光学モデルに示すよう光源に LF 100 V 60 W を用い、反射鏡は近似楕円面と球面の複合反射鏡で構成した (図 5.10)。

シミュレーション条件として、フットライトで人物を照明することを想定し、照明器具から 1.8 m 離れた位置に 3 m × 3 m の照射面を設定した。この条件で光線追跡を行った場合の配光を解析した (図 5.12)。

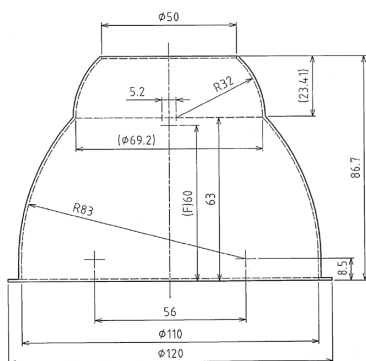


図 5.10 埋め込み型・置き型フットライト反射鏡

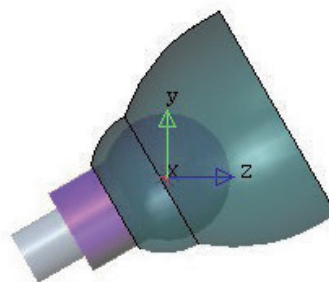


図 5.11 埋め込み型・置き型フットライト光学モデル

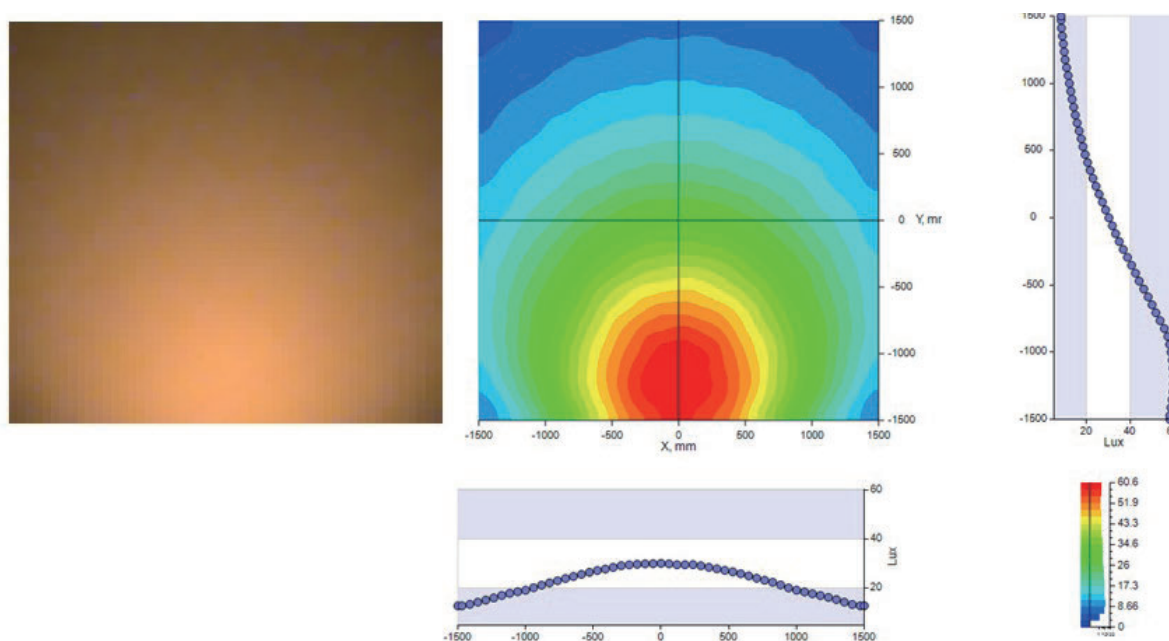


図 5.12 埋め込み型・置き型フットライトの配光に関するシミュレーション結果

埋め込み型および置き型フットライトは、後述する花道フットライトなど他の形式のフットライトと比較して光学部品の配置に制約が少ない。このため、舞台面から上方向にかけてなだらかで均一性の高い配光を得ることが可能であることが確認された。

5.2.2 花道フットライトについて

日本の伝統芸能には欠かすことのできない花道であるが、花道の幅は約 1.6 m 程度で、演者や道具が通るため、花道の表面に照明器具が露出することは許されない。このため、花道に細い溝を切ってフットライトを埋め込み、上部をガラス製のカバーで覆う構造とし、演者が花道上にいる際の脚光として使用する専用器具が花道フットライトである(図 5.13)。

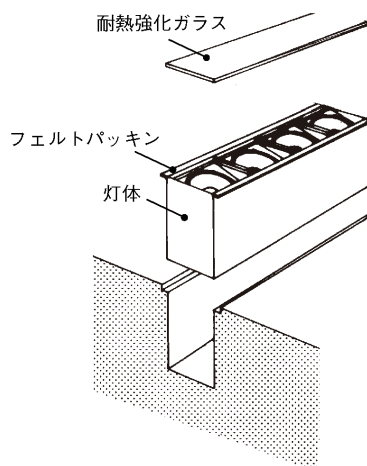


図 5.13 花道フットライトの構造

1930 年代の花道フットライトは、現在の製品と異なり、LF 電球を 2 灯 1 ユニットとして構成されていた。反射鏡は白色塗装面を用い、光を厳密に制御するのではなく、効率よく上方へ照射する設計であった。なお、1937 年当時のカタログには 1 ユニット 11 円と記載されておりユニット単位で販売されていた(図 5.14)。

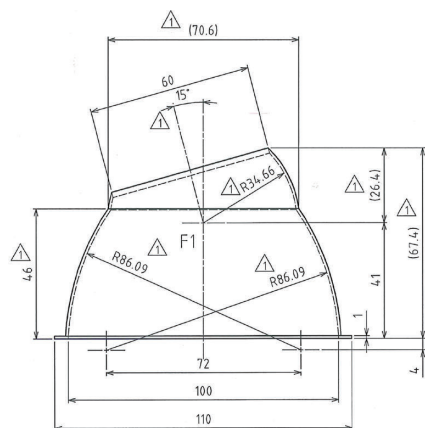


図 5.15 花道フットライトの反射鏡寸法

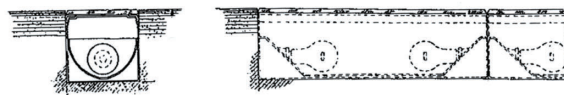


図 5.14 1930 年代の花道フットライトの構造

1950 年代以降の花道フットライトは、1930 年代の花道フットライトに対して、埋め込み型や置き型のフットライトと同様に独立した反射鏡が採用された。現在の花道フットライトと比較すると、反射鏡の反射率に若干の差はあるものの、基本的な構造や光学的な考え方は大きく変わっていない。

また、他のフットライトと比較すると、筐体を浅くするためと直近の照度を確保するために反射鏡の深さが浅いことが特徴である(図 5.15)。

このような光学的特徴を持った花道フットライトの配光を確認するため、図 5.16 に示す光学モデルを作成し、光線追跡シミュレーションを行った。他のフットライトでは光源から 1.8 m の位置に投影面を設定したが、花道という特殊条件を考慮し、本検証では 0.9 m の位置に投影面を設置した。

その解析結果を図 5.17 に示す。

5.2.3 フットライトの光学的比較と考察

先にも述べたように、フットライトは設置方法や用途の違いに応じて、埋め込み型、置き型、引っ掛け型、花道用の 4 種類に大別される。今回は配光に特徴のある埋め込み型、置き型と花道フットライトについて解析を行ったが、それぞれの光学的特徴を整理すると以下の通りである。

埋め込み型、置き型フットライトは、光学部品の配置に制約が少なく、反射鏡と光源の組み合わせにより、舞台面から上方に向かってなだらかに広がる均質な配光を示す。そのため演者を自然に照らし、演者や衣裳

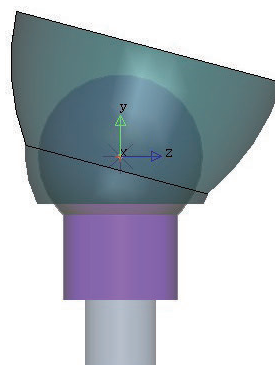


図 5.16 花道フットライトの光学モデル

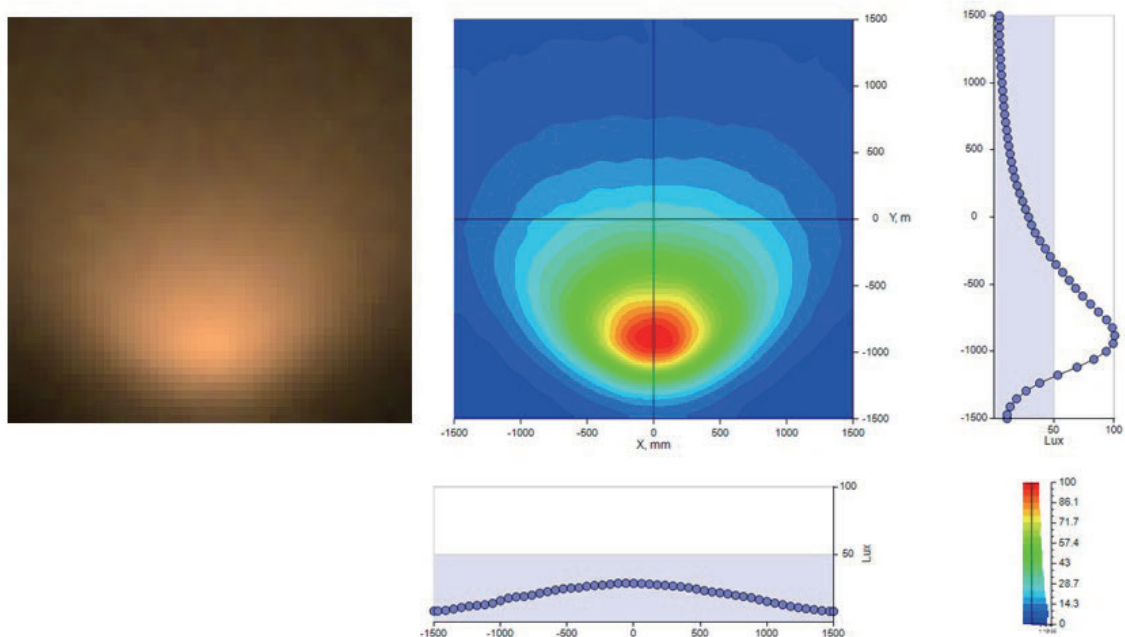


図 5.17 花道フットライトの配光に関するシミュレーション結果

を柔らかく表現するのに適している。

花道フットライトは、花道に埋め込んで使用する専用器具であり、演者を近接から脚光的に照らすことを目的とする。そのため反射鏡の深さは浅く設計され、直近の舞台面を効率よく明るくする特性を示す。照射範囲は限定的であるが、花道を多用する伝統芸能において不可欠な照明器具である。

これらの比較から、フットライトは設置場所の物理的制約（舞台框や花道）や演出上の要求（均質な照明を求めるか、効率的な照明を求めるか）に応じて光学設計が最適化されてきたことがわかる。すなわち、フットライトの変遷は単なる構造上の違いではなく、舞台空間の利用方法と演出上の要請に密接に関連して発展してきたといえる。

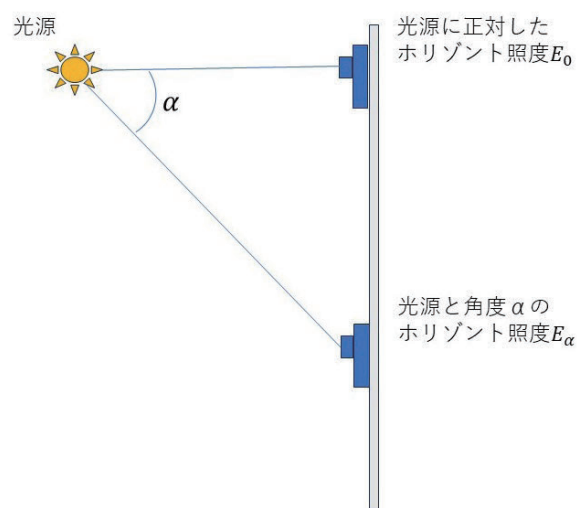


図 5.18 ホリゾンライトの照度

位置における照度 E_α は以下の式であらわされる

$$E_\alpha = E_0 \cos^3 \alpha$$

図 5.19 は、照射距離を 1.5 m、3 m、5 m に変化させた場合の水平面上の相対照度分布を示している。基準を 1.5 m とすると、距離が増すと正面の明るさは、逆二乗則により照度は低下するが、鉛直方向への光の広がり相対的に改善される。

さらに、ホリゾンライトの初期に使用されていた照明器具をモデル化して、光源直径 6 mm、光束 10,000 lm、反射鏡直径 75 mm、曲率半径 50 mm のモデルを用いて光線追跡を行った。この時のホリゾン面の見え方を図 5.20 に示す。照射距離を短くすると正面方向の明るさは向上する一方、鉛直方向への光の伸びは不足し、上下方向に明暗のムラが生じやすい。

5.3 ホリゾンライトの光学的特徴と変遷

ホリゾンライトはサイクロラマライトとも呼ばれ、舞台後部に設置されたホリゾン幕を照らす専用照明器具である（3.1.1 章参照）。舞台上で青空や夕景、夜、さらには特殊な空間を表現するため、器具にはカラーフィルタを装着して色彩表現を行うことが一般的である。カラーフィルタは 3 色 (RGB) もしくは 4 色 (RGBW) を用いて、多様な色彩効果を演出できる。

背景幕を均一に照明するためには、鉛直方向および水平方向の光の広がり非常に重要である。反射鏡を用いず光源のみで照射する場合、図 5.18 に示すように、照明器具に正対する面の照度を E_0 とすると角度 α の

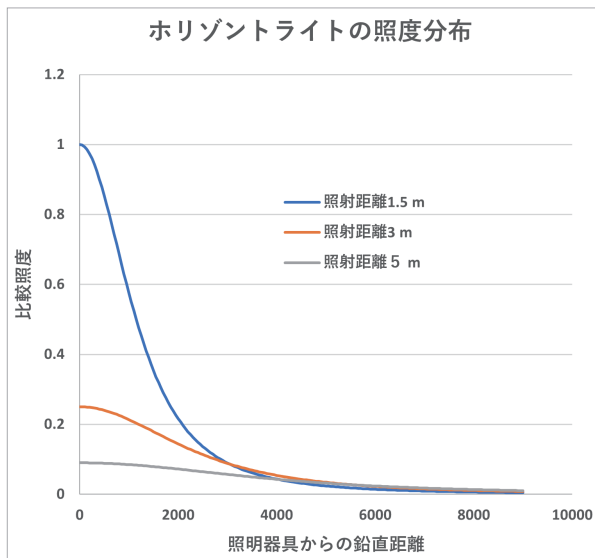


図 5.19 照射距離を変えた場合の水平ライトの配光

このことから初期の水平ライトにおいては、水平面から十分離さないと、水平ライトとして機能しなかった。

この相反する事象に対応するために、水平ライトでは技術の進化に伴い、配光の制御が可能な反射鏡や光学デバイスが開発され、照度ムラが少なく、かつ鉛直方向への光の広がりが良好な光学系が採用されるようになった。このことによって現在の水平ライトでは、背景幕全体を均一かつ自然に照明することが可能となっている。

5.3.1 1930 年～ 1950 年頃までの 水平ライト

1930 年代に白熱電球が舞台照明器具で一般的に使用されるようになると、水平ライトはカンテラ型の構造を持つ照明器具として登場した(図 5.21)。光源には PS の 500 W または 1 kW の電球が用いられ、電球グローブは透明で、反射鏡には球面反射鏡が採用されていた。

水平ライトは背景幕の均一な照明を重視するため、光のムラや影を嫌う設計となっている。特に、フィルタ装着部は円筒形として開口面の影が水平面に投影されないよう工夫されていた。また、この円筒形構造により、光源からフィルタまでの距離を確保し、熱によるフィルタへの影響を軽減している。また、1960 年代までフィルタ材料としてゼラチンが使用されており、使用者による手作業や染色によって色が再現されるため、安定性の確保が難しく、吸湿性や耐久性の低さ、コスト面での課題もあった⁵⁾。

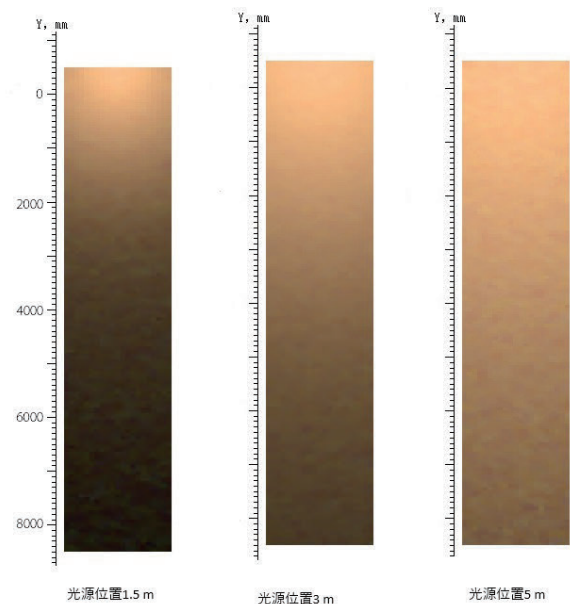


図 5.20 照明器具の照射位置と配光に関するシミュレーション結果

一方、舞台下方から水平面を照らすローア水平ライトは、図 5.22 に示す構造を持つ。光源には白熱電球の PS 200 W を横置きに使用し、水平面の光の伸びを重視している。電球は反射鏡に対して光線の制御がしやすく、散乱の少ない透明グローブが採用されていた。反射鏡の正確な形状は当時の資料が写真以外に残っていないため不明であるが、浅い放物面形状であったと考えられる。表面処理はアルミニウム合金の自然酸化被膜で行われている。

図 5.22 のローア水平ライトは 6 灯のコンパートメント構造で、3 回路に分かれ 3 灯おきに点灯する回路設計となっており、部分的な調光や段階的な点灯が可能となっていた。

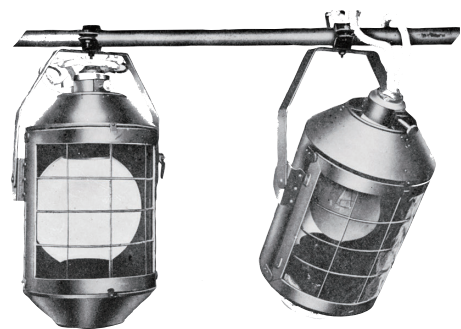


図 5.21 1930 年代のアップア水平ライト

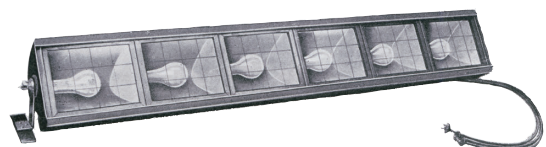


図 5.22 1930 年代のローア水平ライト

5.3.2 1950年代～1960年代の Horizont ライト

1950年代に入ると、反射鏡の加工技術が大幅に進歩し、陽極酸化被膜や高純度アルミニウムを用いた反射鏡が導入されるようになった。これにより、より明るく、効率的な Horizont ライトの開発が可能となった。反射鏡を活用して配光を制御することで、鉛直方向の光の伸びが改善され、1930年代の Horizont ライトのように Horizont 面から 5 m もの距離を必要



図 5.23 複合反射鏡を使用したアップー Horizont ライト

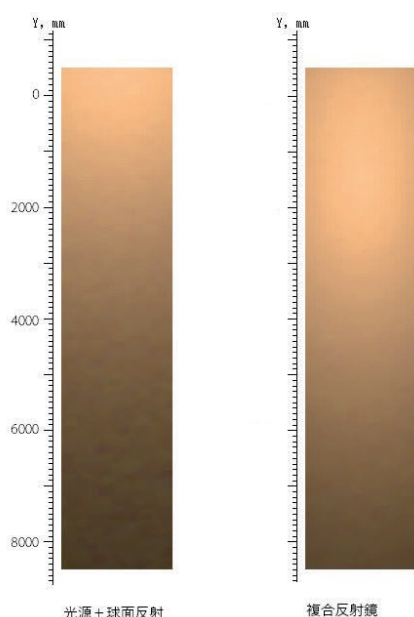


図 5.24 複合反射鏡を使用したアップー Horizont ライトの配光に関するシミュレーション結果



図 5.25 1950年代反射鏡を利用したローアー Horizont ライト

とせずとも十分な照明が可能となった。

光源は 1930 年代と同様に PS 500 W が使用されているが、図 5.23 に示す Horizont ライトでは、反射鏡の上部を鉛直に対して 20 度傾斜させた軸外しの放物面、下部を疑似楕円面で構成して配光を制御している。実際の反射鏡形状は図面等の資料が残されていないため推測に基づくが、絞りの木型を調整しながら成形されたものと考えられる⁶⁾。

カタログの寸法をもとにモデルを作成し、直径 6 mm、光束 10,000 lm の光源、Horizont 面からの距離を 1.5 m としたときの光線追跡結果を、光源+球面リフレクタモデルとの比較で示す。複合反射鏡を用いた場合に鉛直方向の光の伸びが明確に改善されることが確認できた(図 5.24)。また、カラーフィルタ装着部を平面の四角形にすることで、カラーフィルタの加工が容易になり、必要な面積を小さくできるため、経済的な効果もあったと報告されている⁶⁾。

ローアー Horizont ライトも同時期に改良され、図 5.25 に示すようにボーダーライトと同様の回転楕円面リフレクタを採用することで、従来製品に比べ明るさが向上した。ローアー Horizont ライトは床面に設置され、舞台面をなるべく広く確保するため、Horizont からの距離(引き)が短くなる構造である。そのため、反射鏡により 1 m の引きでも十分な配光を確保できるよう設計されている。光源は PS 200 W と A 100 W が使用され、反射鏡口径はそれぞれ $\phi 200$ mm、 $\phi 150$ mm である。

5.3.3 1960年代～1970年代の Horizont ライト

1959 年に石英ガラスを用いたハロゲン電球が開発され、1960 年代中頃から舞台照明器具にも導入され始めた。ハロゲン電球はハロゲンサイクルにより黒化が生じにくく、寿命も延びる特性を持つため、当初は調光で印加電圧を下げるのが少ないスタジオ用器具を中心に使用された。当時、舞台照明用器具において、電球はほぼハロゲン電球に置き換わりつつあったが、使用されていたのはダブルエンド型のハロゲン電球であり、点灯時の傾きに制限があったため、Horizont ライトを含むフラッドライトに主に使用されていた。さらに、当時の認識として誤解もあり、当時のカタログには以下のような記述が見られる⁷⁾。

「QF 型フラッドライトはヨウ素電球を使用したフラッドライトであります。石英ヨウ素電球は其性質をよく知って使用すれば面白い用途がたくさんあります。石英ヨウ素電球は溶融石英で電球管が作られているから点火中に水をかけても壊れない。」

図 5.26 に示す Horizont ライトでは、ダブルエンド型ハロゲン電球を光源とすることで、反射鏡の形状設計が断面の作図から求められるようになった。また、加工においても従来のヘラ絞りによる加工ではなく、ベンダーやローラーで反射鏡を曲げて成形する方法を用いるようになった。現在でも、LED ではない Horizont ライトの光源は主にダブルエンド型ハロゲン電球が使用されている。一方、ローア・Horizont ライトに関しては、1960 年代でも 1950 年代と同様の構造の Horizont ライトが使用されていた。

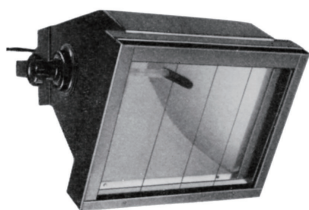


図 5.26 ハロゲン電球を使用した初期の Horizont ライト

5.3.4 1970 年代から現在の Horizont ライト

1970 年代以降、大規模劇場で使用される Horizont ライトはほとんどが、図 5.27 に示すように容量 300 W から 750 W、全長 117.6 mm のダブルエンドハロゲン電球を光源とする構造に統一された。従来の PS 電球を使用した照明器具と比較すると、光学系や構造が大きく改良されている。現在のハロゲン電球を用いたアップア・Horizont ライトの例を図 5.28 に示す。ローア・Horizont ライトは、アップア・Horizont ライト



図 5.27 ダブルエンドハロゲン電球



アップア・Horizont ライト



ローア・Horizont ライト

図 5.28 アップア・ローア・Horizont ライト

トの天地を反転させた構造を基にしており、設置や撤去の容易さから、劇場では 8 灯または 9 灯のコンパートメントを持つ連続灯具もよく用いられている。

Horizont ライトの反射鏡設計は、図 5.29 に示すように照明器具の断面で考慮され、光源からの光束を以下の 3 種類に分けて制御している：

- ① 光源から直接壁面を照射する光束。
- ② 光源からの光を、光軸を傾けたシリンダリカル放物面で反射させて、照明器具から遠い部分を照射する光束。
- ③ 光源からの光を、光軸を傾けたシリンダリカル楕円面で反射させ、離れた位置に二次光源を形成して少し離れた場所を照射する光束。

この構造により、Horizont 面を可能な限り遠方まで均一に、かつバランスよく照明することが可能となった⁸⁾。光源からの光は断面方向で均一に放射すると仮定し、光線の進路を作図で求めることで製品の配光設計を行う方法が確立され、現在では光線追跡ソフトウェアを用いた設計や最適化も可能となっている。しかし、基本的な光学構成はまず作図で求め、ソフトウェアで確認・修正する手法が、精度の高い設計を行う上で有効である。

また、小規模劇場や学校などで使用する Horizont ライトとして、JD タイプのミニハロゲン電球を光源とする小型製品も開発され、可搬性と設置性に優れた構造が採用されている。

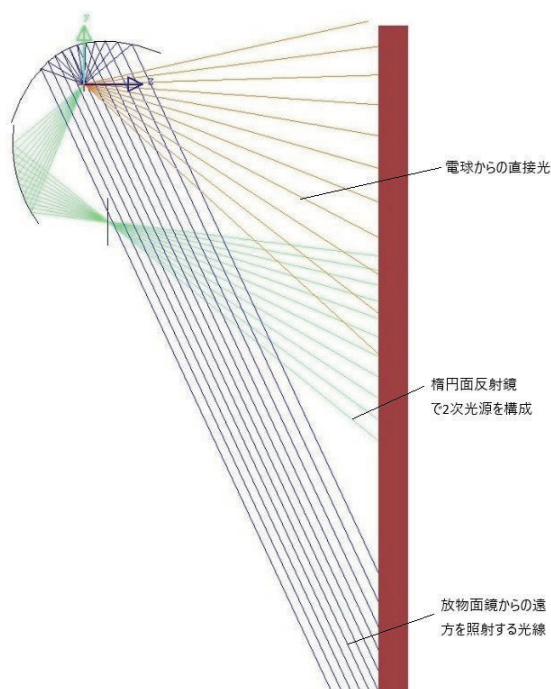


図 5.29 Horizont ライト反射鏡の設計

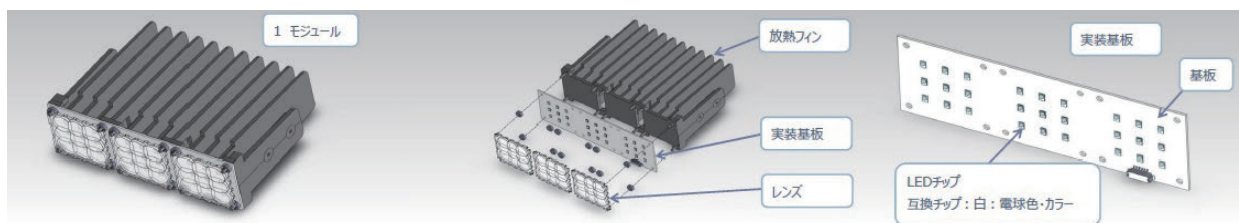


図 5.30 LED モジュール

5.3.5 2010 年頃からの Horizont ライト LED 化について

2005 年頃から 1 W 級の白色 LED が市場に登場し、LED を用いた舞台照明器具の開発が始まった。当時の白色 LED は発光効率が約 40 lm/W と低く、舞台に必要な光束を確保するには不十分であったため、各メーカーでの開発は基礎的な試作にとどまっていた。しかし、2011 年の東日本大震災を契機に電力供給が逼迫したことで、省電力光源としての LED 照明のニーズが急増した。舞台照明機器は大規模な電力を消費するため、発光効率の改善と省電力性を兼ね備えた LED 照明の導入が一気に進展した。

初期の LED Horizont ライトは、図 5.30 に示すように、LED パッケージを基板に実装し、放熱器に取り付けた構成となっている。配光は、非球面の 3 × 3 アレイレンズを 3 セット使用する光学デバイスで制御され、LED からの光を Horizont 照明に適した配光に集光している。この LED 光源モジュールに筐体、電源、LED ドライバを組み合わせることで、LED Horizont ライトとして構成された。

その後、表現色域の拡大や配光の改善を目的として、5 色あるいは 6 色の LED を実装し、多様な光学デバイスを用いた製品が開発された。図 5.31 は 6 色 LED を実装した Horizont ライトであり、図 5.32 に示す通り再現可能な色域を大幅に拡大している。

また、LED は発光点が小さく発熱量も少ないため、図 5.33 のようにプラスチック製のウェッジ型ロッドレンズを用いてカラー LED 光を混色し、Horizont の遠方を照明する構成（図 5.34）も実現された⁹⁾。

LED 化により、従来のハロゲン電球に比べて省電力かつ長寿命で、多色表現や精密な配光制御が可能となり、現代の舞台照明において LED Horizont ライトは主要な光源として定着している。

5.4 ストリップライトの変遷と特徴的な使用方法

ストリップライト（「板付」とも呼ばれる）は、図 5.35 に示すように桶状のコンパートメントを持つフラッドラ



図 5.31 6 色の LED を使用したアップパー Horizont ライト

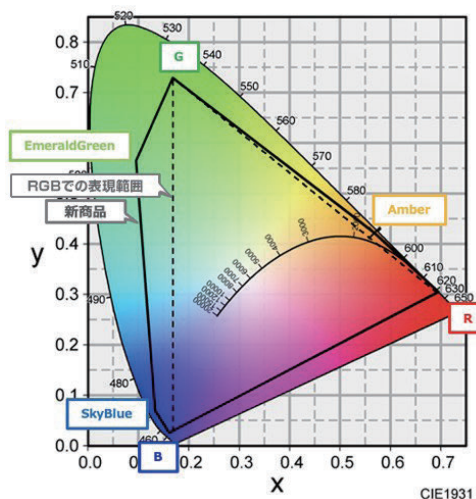


図 5.32 6 色の LED を使用した Horizont ライトの再現色域

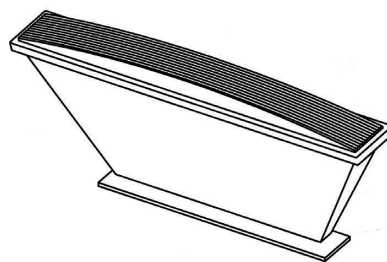


図 5.33 ロッドレンズを LED 直近に追加した LED モジュール



図 5.34 ロッドレンズを使用した Horizont ライト



図 5.35 現在のストリップライト

イトであり、図 5.36 のように屋体の欄間や舞台セットの窓内側などに取り付けることを前提として設計されている。光源は 1930 年代以降、60 W ～ 100 W の白熱電球が主に使用されてきた。

構造は 1930 年代から現在までほぼ変わらず、銅板製の連続灯具として製作されている。現在の製品と比較すると電源の取り出し方法や配線の違いはあるものの、1 灯ごとの寸法や配置はほぼ同一である。ストリップライトには独立した反射鏡はなく、外郭の内面を白色に塗装して反射鏡として利用している。

製品の標準構成も 1930 年代から変わらず、3 尺（約 900 mm）、6 尺（約 1,800 mm）、9 尺（約 2,700 mm）の長さがあり、基本的には 2 回路構成である。9 尺タイプのみ、3 回路構成を持つ製品も存在する。

近年では、ミニハロゲン電球を使用した高さ 100 mm 以下のコンパクト型ストリップライトも製品化され、舞

台の狭いスペースや小規模セットへの設置に適した照明器具として利用されている。

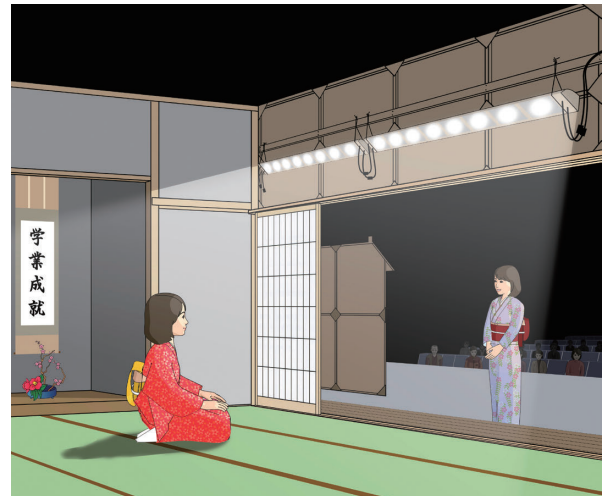


図 5.36 屋体吊されたストリップライト

5.5 フラッドライトのまとめ

様々なフラッドライトが演出の用途によって変遷してきた。それぞれのフラッドライトの光学的な特徴や配光について、まとめたものを表 5.1 に示す。

表 5.1 舞台照明フラッドライト比較表（著者作成）

種類	時代	光源	光学系・特徴	配光・表現
ボーダーライト	1930 ～ 1950 年代	白熱電球（艶消し、シリカ電球 100 ～ 150 W）	桶状灯具、複数コンパートメント、反射鏡は楕円面または楕円＋球面複合。舞台上方に吊り下げ設置	舞台全体を均一に照明。陰影が少なく平面的表現
	1950 ～ 1960 年代	白熱電球	反射鏡のアルミ精度向上、陽極酸化被膜処理。配光制御改善	鉛直方向・横方向の配光均一性向上
	1970 年代～現代	ハロゲン電球、LED	小型光源＋レンズや LED アレイで配光制御。複色色 LED で色域拡大	舞台上全体を均一照明、省電力化。色表現や配光制御精度向上
フットライト	1930 ～ 1950 年代	白熱電球（LF、PS 型 60 ～ 200 W）	埋め込み型・置き型・花道用・引っ掛け型。光源＋楕円／球面反射鏡で 90 度前後の配光	舞台前面の下方向照明。中心明るく、なだらかな配光で演者や衣裳を強調
	1960 ～ 1970 年代	白熱電球、ハロゲン電球（ダブルエンド）	光学系は基本構造維持。反射鏡材質や角度で光の均一性向上	花道や舞台前端でもコンパクトに照射。光の伸びや中心照度を改善
	現代	ハロゲン電球、LED（ミニ LED）	基本構造は維持。LED は小型光源＋アレイレンズで配光制御	花道や舞台端に最適化、省電力・耐久性向上。多色表現も可能
ホリゾンタライト	1930 ～ 1950 年代	白熱電球（PS 型 500 W ～ 1 kW）	球面反射鏡、円筒フィルタで色を表現。鉛直方向への配光は限定的	ホリゾン幕を均等に照明。空や特殊空間の表現
	1950 ～ 1960 年代	白熱電球（PS 型 500 W ～ 1 kW）	反射鏡技術向上（陽極酸化・純アルミ）で鉛直方向に配光改善	短距離でも均一配光。フィルタの装着効率向上
	1960 ～ 1970 年代	ハロゲン電球（ダブルエンド）	光学設計の自由度向上、反射鏡曲面の作図で配光制御	長寿命・安定光。鉛直・水平方向の光の伸び改善
	1970 ～ 2010 年代	ハロゲン電球（300 ～ 750 W）	光軸傾斜のシリンドリカル放物面・楕円面で遠方までバランス良く配光	大規模劇場向け。コンパートメント連続灯具で設置撤去容易
	2010 年代～現在	LED（1 W ～ 6 色 LED アレイ）	小型発光点＋アレイレンズやウェッジ型ロッドレンズで配光制御	省電力・高色再現性。遠距離均一配光、多色表現が可能
ストリップライト	1930 年代～現在	白熱電球（60 ～ 100 W）、ミニハロゲン	桶状コンパートメント、反射鏡なし。内面白色塗装で反射	舞台の横方向や窓・欄間の均一照明。回路分割で色表現も可能

参考文献

- 1) 石崎有義,「白熱電球の技術の系統化調査」, 国立科学博物館, 技術の系統化調査報告, 共同研究編, 第4集, pp.18-19 (2011)
- 2) 岩崎令兒,「美しい光を得るために」, 日本照明家協会, pp.41-43 (1990)
- 3) 丸茂電機製作所,「カタログ B-06」, pp.33-37 (1937)
- 4) 丸茂電機製作所,「カタログ B-06」, p.37 (1937)
- 5) 岩崎令兒,「美しい光を得るために」, 日本照明家協会, p.49 (1990)
- 6) 丸茂電機製作所,「カタログ B-12」, p.16 (1955)
- 7) 丸茂電機製作所,「カタログ B-16」, p.19 (1963)
- 8) 特許第 3816568 号
- 9) 特許第 6919860 号

図表引用(掲載許諾)

- 図 5.1 丸茂電機製作所,「カタログ B-02」(1930)
- 図 5.2 筆者撮影
- 図 5.3 筆者撮影
- 図 5.4 筆者作成
- 図 5.5 筆者作成
- 図 5.6 筆者作成
- 図 5.7 丸茂電機製作所,「カタログ B-06」, p.33(1937)
- 図 5.8 「PROFESISONAL LIGHTING EQUIPMENT STAGE & TV STUDIO」, 丸茂電機株式会社, p.66 (2023)
- 図 5.9 丸茂電機製作所,「カタログ B-06」, p.33(1937)
- 図 5.10 筆者作成
- 図 5.11 筆者作成
- 図 5.12 筆者作成
- 図 5.13 丸茂電機製作所,「フットライト取扱説明書 OPMK-9155」(2025)

- 図 5.14 丸茂電機製作所,「カタログ B-06」, p.36 (1937)
- 図 5.15 筆者作成
- 図 5.16 筆者作成
- 図 5.17 筆者作成
- 図 5.18 筆者作成
- 図 5.19 筆者作成
- 図 5.20 筆者作成
- 図 5.21 丸茂電機製作所,「カタログ B-06」, p.26 (1937)
- 図 5.22 丸茂電機製作所,「カタログ B-06」, p.27 (1937)
- 図 5.23 丸茂電機製作所,「カタログ B-12」, p.16 (1955)
- 図 5.24 筆者作成
- 図 5.25 丸茂電機製作所,「カタログ B-12」, p.17 (1955)
- 図 5.26 丸茂電機製作所,「カタログ B-18」, p.28 (1967)
- 図 5.27 丸茂電機株式会社, WEB カタログ・ランプ (2025)
- 図 5.28 丸茂電機株式会社,
「PROFESISONAL LIGHTING EQUIPMENT STAGE & TV STUDIO」, p.66 (2023)
- 図 5.29 特許第 3816568 号をもとに筆者作成
- 図 5.30 筆者作成
- 図 5.31 <https://www2.panasonic.biz/jp/lighting/control/stage/floodlight/aero-upper-horizontlight/> (2025 年 9 月 3 日閲覧)
- 図 5.32 <https://www2.panasonic.biz/jp/lighting/control/stage/floodlight/aero-upper-horizontlight/> (2025 年 9 月 3 日閲覧)
- 図 5.33 特許第 6919860 号
- 図 5.34 筆者撮影
- 図 5.35 丸茂電機製作所,
「PROFESISONAL LIGHTING EQUIPMENT STAGE & TV STUDIO」, p.68 (2023)
- 図 5.36 レクラム社より提供

コラム 反射鏡の設計と製造について

舞台照明における反射鏡設計の難しさ

舞台照明器具では、スポットライトもフラッドライトも、多くの場合で反射鏡を使用している。若いエンジニアの中には、反射鏡や非結像レンズ、結像レンズの設計で、しばしば「反射鏡は単純だから簡単だ」と考える傾向が見られる。しかし実際には、その印象とは異なる難しさがある。結像レンズの設計は理論体系が確立されており、評価指標（MTFや収差解析など）も明確であるため、比較的論理的に進めることができる。それに対して、非結像系の光学設計では「何をゴールとするのか」が曖昧になりやすく、設計者にとって手探りの部分が多い。

特に反射鏡設計においては、鏡面反射を前提とした設計は比較的取り組みやすい一方で、散乱面を用いた反射鏡になると状況は大きく変わる。反射面の形状、すなわち反射面の法線に対してどの方向に光を導くかという基本設計に加え、図1に示す特性から散乱特性をどう組み込むかが問題となる。

現在の光線追跡ソフトウェアは、ガウス散乱、コサインN乗散乱、ランバート散乱、さらには実測データに基づく散乱特性を指定して解析できるようになっている。だが、散乱を考慮すると光線本数が膨大になり、計算時間が大幅に増加するという新たな課題が生じる。

このように、設計のゴールイメージに近づけようとしても、なかなかスムーズに進まない。それが、反射鏡設計における特有の難しさであり、筆者自身の長年の経験からも強く感じている点である。



図1 反射鏡の反射特性

反射鏡の製造

舞台照明器具に使用される反射鏡の製造方法には大きく分けて二つの系統がある。

ひとつはアルミニウム合金板を成形加工し、その後研磨やブラスト処理を施す方法、もうひとつはガラス材料をプレス成形し、多層膜の真空蒸着を行う方法である。本節では、フラッドライトにおいて広く採用されているアルミニウム合金製反射鏡の製造工程について述べる。

アルミニウム合金製反射鏡の製造工程は、図2に示すような手順で行われる。

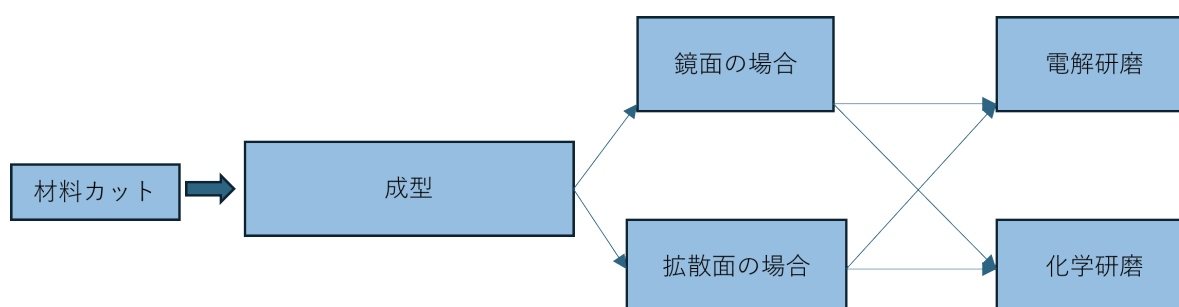


図2 反射鏡の製造工程

反射鏡の成型方法は、反射鏡の形状や寸法に応じて、成型方法には「プレス加工」と「へら絞り加工」の二種類が用いられる。図3(a)はへら絞りによる加工の様子を示したものであり、回転する素材に対して金属工具を押し当て、少しずつ目的の曲面形状に仕上げていく工程である。



図3(a) 反射鏡絞り加工

表面仕上げの方法は、求める反射特性によって異なる。図3(b)に示すような鏡面反射鏡の場合は、図3(c)のようにバフ研磨を行い、滑らかな鏡面を得る。



図3(b) バフ研磨後の鏡面反射鏡



図3(c) バフ研磨での鏡面加工

一方、図3(d)に示すような拡散反射型の反射鏡では、図3(e)のようにブラストマシンを用いて表面に微細な凹凸を形成し、拡散面に仕上げる。



図3(d) 拡散面を持った反射鏡



図3(e) ブラスト加工用ブラストマシン

鏡面型・拡散型いずれの場合も、最終工程としてアルマイト処理（陽極酸化皮膜処理）が施される。アルマイト処理に先立って行う研磨工程は、研磨量の大小によって手法が異なり、除去量が少ない場合は化学研磨を、除去量が多い場合は電解研磨を採用する。その後、アルマイトによって表面の保護層と反射特性の安定化が図られる。

多品種少量生産としての反射鏡

舞台照明器具に用いられる反射鏡は、この分野の特徴である多品種少量生産に対応しており、器具の種類に応じて多様な形状や寸法のもので製造されている。

舞台照明器具に使用される反射鏡は、長期間にわたり蓄積された製造技術とノウハウに支えられており、その継続的な生産体制が照明器具の安定供給と発展を支えている。

取材協力

佐藤電研株式会社（2025年7月4日取材）

図1 筆者作成

図2 取材をもとに筆者作成

図3(a) 取材時に許諾を得て筆者撮影

図3(b) 取材時に許諾を得て筆者撮影

図3(c) 取材時に許諾を得て筆者撮影

図3(d) 取材時に許諾を得て筆者撮影

図3(e) 取材時に許諾を得て筆者撮影

6 | 単レンズスポットライトの光学系の特徴と変遷

スポットライトは、第3章「舞台照明設備」で述べたように、サスペンションスポットライトやシーリングスポットライトなど、使用場所による呼称の違いが存在する。しかし、器具の技術的特徴を理解するためには、設置位置や用途による分類だけでなく、光学系や構造に基づく系統的整理が必要である。

本章では、スポットライトの光学系に着目し、その中でも特に、光源ユニットと単一のレンズによって構成される「単レンズスポットライト」に焦点を当てる。単レンズスポットライトには、平凸レンズを用いたものと、フレネルレンズを用いたものが存在するが、いずれもシンプルな光学構成と比較的軽量の機構を特徴とし、日本における舞台照明史において最も基本的かつ広範に普及したカテゴリーである。平凸レンズスポットライトは、明瞭な配光を得やすい反面、非球面レンズ以前では、球面収差による照射範囲の拡大に伴う中心部の暗さなどの課題を有していた。

フレネルレンズスポットライトは、同等の口径を持つ平凸レンズに比べて軽量で、広角照射や照射径の調整に優れることから、映画撮影用照明器具やテレビスタジオ用照明器具、さらに舞台のサスペンション

スポットライトへと用途が広がっていった。本章では、これらの単レンズスポットライトについて、光学的特徴と技術的変遷を平行して整理し、舞台照明の中で果たした役割と発展の過程を明らかにする。

6.1 平凸レンズスポットライト

平凸レンズスポットライトと、後述するフレネルレンズスポットライトは、一般的に図6.1に示すような構造を有しており、使用環境に応じて吊り下げて使用する場合にはハンガー、床置きの場合にはスタンド等に取り付けて使用される。

パン方向(左右方向)の調整は、ハンガーのパン固定ハンドルを軽く締めた状態で方向を調整し、その後、ハンドルを確実に締めて固定する。上下方向の調整は、チルト固定ハンドルを軽く緩めてチルト方向(上下)を調整し、同様に固定ハンドルを締めて保持する方式である¹⁾。

照射径の調整は、図中のフォーカス調整ハンドルを回転させることにより、レンズと光源の間隔を可変とし、照射径を変化させる仕組みである¹⁾。一般的に、平凸

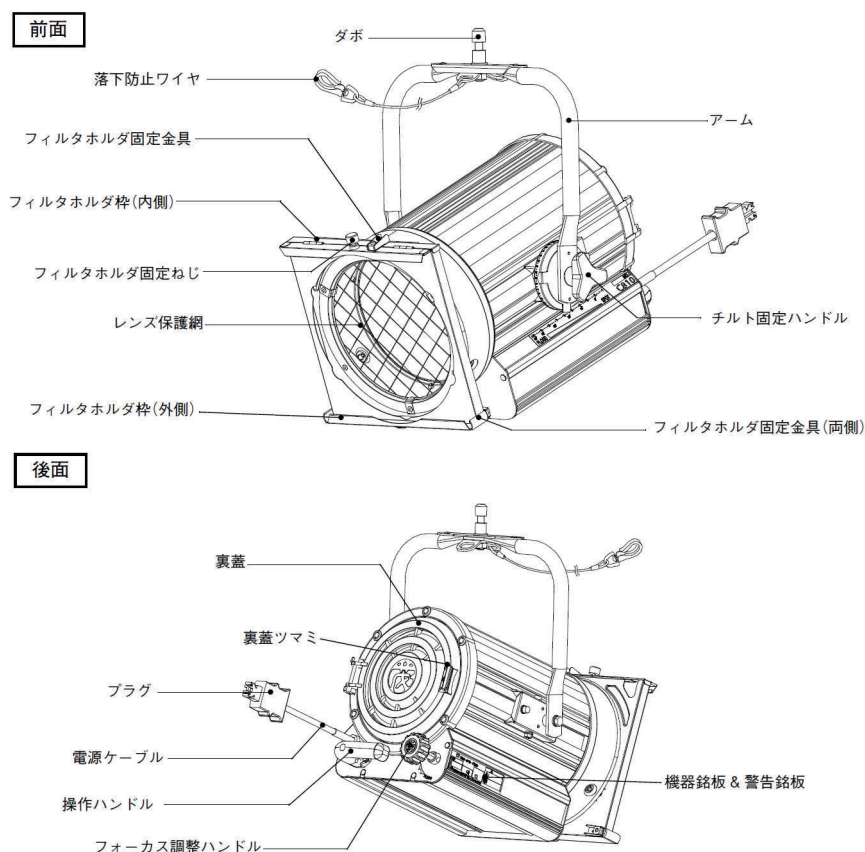


図6.1 単レンズスポットライトの構造

レンズスポットライトおよびフレネルレンズスポットライトは、単レンズスポットライトと総称されている。

本節では、単レンズスポットライトのうち、平凸レンズスポットライトについて、カーボンアークを光源としたもの、白熱電球を光源としたものの2系統に分けて解説を行う。

6.2 カーボンアークを使用した平凸レンズスポットライト

1920年代から1930年代にかけての舞台照明においては、現在のように多数の照明器具を組み合わせる舞台面を均一に照らす手法はまだ一般的ではなかった。そのため、演者の動きを追従して強調することや、陰影を効果的に生み出すことを目的としたスポットライトが主流を占めていた。

この時代のスポットライトには、主として平凸(Plano-Convex, PC)レンズが用いられ、1920年代以降は光源として白熱電球が徐々に普及していった。しかし、特に高い照度が求められる演劇やレビューなどの場面においては、依然としてカーボンアークを光源とするスポットライトが好まれ続けた(図6.2)。カーボンアーク式スポットライトは、炭素電極間の放電によって強力かつ指向性の高い光を得る方式であり、その光は白熱電球に比してはるかに高輝度であった。一方で、この方式には以下のような特徴がみられる。

- 電極消耗に伴うアーク長の変化により、光の安定性が低下する。
- 電極の交換やアーク長調整など、継続的な操作・保守を要する。
- 発熱量が大きく、換気や冷却設備が必要とされる。

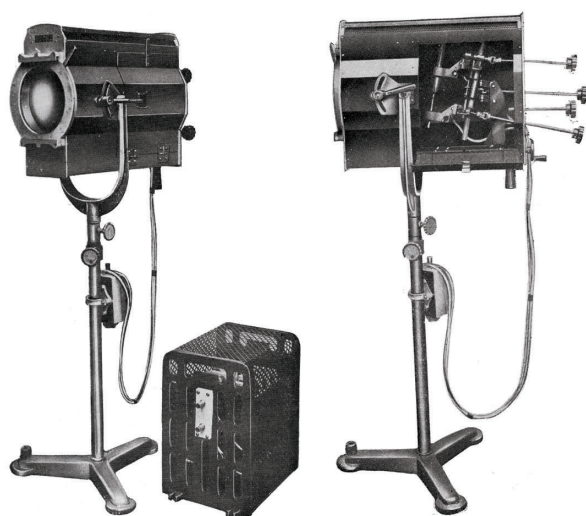


図 6.2 KLD 型アーク平凸スポットライト
(丸茂電機製作所)

給電方式としては、1920年代から1930年代の戦前期には交流・直流の両方が使用されていた。アークを安定して維持するため、いずれの場合にも直列抵抗器が併用され、放電電流を制御する仕組みとなっていた²⁾。

1935年頃からは、交流電源に対して、安定器(バラスト)が使用されるようになり、放電の安定性および電力効率が改善された。また、電極の送り機構やフォーカス(照射径)の調整を後部操作部に集約した機材も登場し、これにより一人の操作員が2台のスポットライトを同時に扱い、二人の演者をフォローする運用も可能となった¹⁾。

この時代には、様々なアークスポットライトが開発されている。たとえば、BS型アークスポットライト(図6.3)は直流専用機材として設計され、正極に直径13 mm、負極に直径8 mmの銅被覆カーボンを使用し、陽極を光軸上に水平に配置、負極を下方から送る方式で、陽極像の投影を試みた製品である。また、従来機の約1/3から1/4の容量を持つ小型スポットライトも開発され、限られたエリアの照明に適していたとされる。

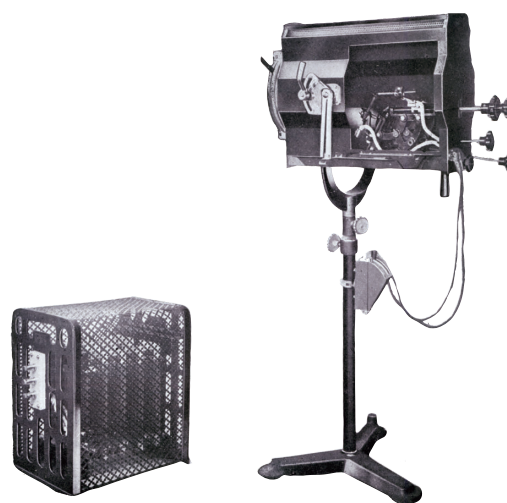


図 6.3 BS 型アーク平凸スポットライト
(丸茂電機製作所)

1955年以降は、交流電源に安定器を組み合わせた点灯方式が主流となり、この方式は1970年代までKLS型アークスポットライトとして使用が続けられた。もっとも、カーボンアーク式照明では、放電を安定させるために常に電極間隔の調整が必要であり、さらに演者の動きを追従する際には照射方向の微調整も欠かせなかった。このため、点灯中は常に専任の技術者が操作にあたる必要があった。結果として、カーボンアークスポットライトは、特にフォロースポットライトとしての用途に広く用いられることとなった。

光の質においてカーボンアーク光源は他に代替のない特性を持っていたため、1920年代のカーボンアーク照明器具から1960年代のカーボンアークスポットライトまで、細部の設計に差異はあるものの、基本構造や設計思想はほぼ同一で生産されており、このことは、当時の舞台照明においてカーボンアーク方式が独自の地位を維持していたことを示している。

もっとも、1960年代に入ると、キセノンランプやメタルハライドランプを用いた新しいフォロースポットライトが登場し普及したことで、カーボンアーク式スポットライトは徐々に姿を消していった。しかし、それまでの長い期間、舞台照明の中心的な光源として用いられ続け、その設計思想は数十年にわたりほとんど変化することがなかった。

6.2.1 カーボンアークの光学的特性(分光特性)

カーボンアーク光源は、可視域全体にわたって連続スペクトルを有するが、その特性は太陽光と比較して異なる。図 6.4 に示すように、紫外域から青色にかけて強いピークを持ち、高い出力を示すのが特徴である。一方、長波長側は若干出力が低下する。このため、舞台上で

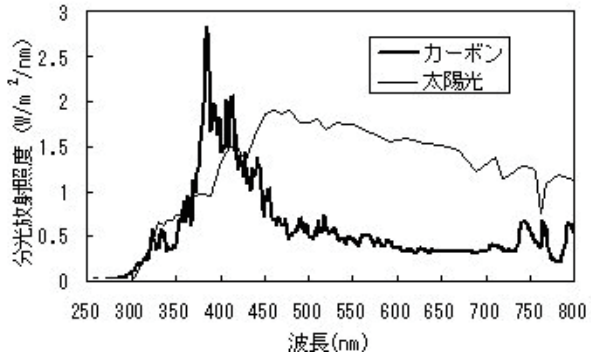


図 6.4 カーボンアークの分光強度

は「やや青みを帯びた白色光」として見え、演者や舞台美術を鮮明に浮かび上がらせる効果があった。

この分光特性は、演者を強く際立たせ、陰影を鮮烈に表現するのに適していたため、20 世紀前半から中期にかけてフォロースポットライトとして広く使用された要因の一つと考えられる。

6.2.2 アーク光源と電極送り機構について

1920 年代から 1960 年代にかけて、平凸レンズスポットライトにはカーボンアークおよびガス入り白熱電球が併用されていた。舞台照明器具は用途ごとに細分化されており、同じ設置場所に置かれた器具でも、必ずしも同じ目的で使用されるわけではなかった。特に演者を追従する「フォロー用途」では、顔抜きと呼ばれる極めて狭いエリアのみを照射する必要があった。

白熱電球を用いたスポットライトでは、照射径を小さく絞るとフィラメント像が演者の顔に投影され、不自然な影や縞模様を生じるため、きれいな照明効果が得られなかった。白熱電球は大光量化に伴ってフィラメントも大型化するため、遠距離から小面積を明るく均質に照明する用途には不向きであった。

これに対して、カーボンアーク光源は点光源で、狭い範囲を鮮明かつ明瞭に照射することが可能であった。このため、舞台上での演者フォローや強調照明には特に適しており、長期間にわたり広く使用された。

カーボンアークスポットライトでは、アーク放電を安定的に維持するために電極間隔の調整(電極送り機構)が不可欠であり、様々な方式が開発された。

・直動型送り機構

図 6.5 に示すように、電極ホルダ上部に正ねじ、下部に逆ねじを組み合わせた送りねじ機構を用

表 6.1 平凸レンズアークスポットライト仕様の変遷

製造年 カタログ	器具型名	容量	光源	電極送り	レンズ			価格	備考
					直径	焦点距離	種別		
1928 年	KL-1000	25 A	交直	直動	127	250	H		電極送りは 15 度傾き
	KL-1001	35 A	交直	直動	152	250	H		
	KL-1004	35 A	交直	直動	200	305	H		
	KL-1005	50 A	交直	直動	200	305	H		
1937 年	KL-1000	25 A	交直	直動	127	250	H	194	
	KL-1001	35 A	交直	直動	152	250	H	206	
	KL-1003	50 A	交直	直動	152	250	H	228	
	KLD-4016	50 A	交直	直動	200	305	H	252	電極調整後電極別々に調整
	KLD-4017	70 A	交直	直動	200	305	H	286	
	KLD-4018	100 A	交直	直動	200	305	H	360	
	BS-4005	50 A	直流	特殊	200	305	H	263	
	EF-1039	10 ～ 20 A	交流	シザーズ	114	178	O	120	シザーズ電極ホルダ、廉価版
1955 年 1963 年	KLS-5601	50 ～ 60 A 70 ～ 80 A	交流直流	直動	200	305			1970 年代まで生産
1967 年～	KLS-5601	50 ～ 60 A	交流	直動	200	305			この年から電源は交流安定期

い、灯体下部のハンドル操作で電極ホルダを直線的に移動させて電極間隔を調整する方式で、国内ではこの方式が最初に実用化された。

- シザーズ型送り機構

図 6.6 のように、はさみ状のアームを送りねじで駆動し、支点を中心に円弧を描くように電極を動かす方式。構造が単純でコストが低いため、世界的には最初に開発された機構であり、国内でもやがて採用が進み、容量が小さくシンプルなスポットライトに搭載された。

このように、カーボンアーク光源と多様な電極送り機構の組み合わせは、戦前から戦後にかけての舞台照明において、不可欠な技術的基盤を形成していたといえる。

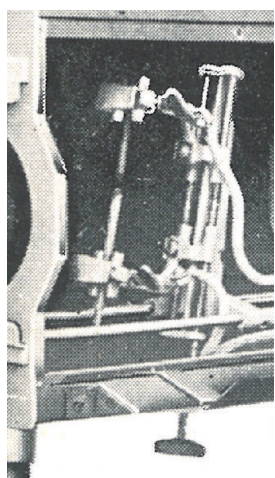


図 6.5 ねじ送り型電極送り装置

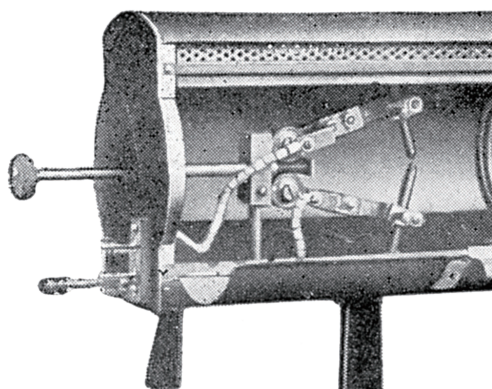


図 6.6 シザーズ型電極送り装置

6.2.3 カーボンアークスポットライトの平凸レンズ

1920 年代から 1955 年にかけて、楕円面反射鏡を備えたフォロースポットライトが登場する以前は、平凸レンズを使用したカーボンアークスポットライトが、演者を追従するための主要な照明器具であった。そのため、使用されるレンズは光学的に高品質なものが求められていた。

1920 年代から 1930 年代の戦前期において、照射距離 10 ～ 20 m 程度で使用するスポットライトには、口径 127 mm または 152 mm、焦点距離 250 mm の平凸レンズが搭載されていた。これにより、比較的距離でのフォロー照明に対応していた。

一方で、30 ～ 40 m の遠距離から照明するスポットライトでは、焦点距離 305 mm の平凸レンズが必要となった。この場合、光源位置からレンズ口径を見通す立体角を確保するため、口径 200 mm クラスの大型レンズが採用された。

このように、当時のカーボンアークスポットライトでは、用途に応じて口径や焦点距離の異なる平凸レンズを選択し、舞台空間の規模や演者との距離に適応させていたことがわかる。

表 6.1 にカーボンアークスポットライト仕様の変遷を示す。

6.3 白熱電球を使用した平凸レンズスポットライト

1910 年代に GE によってガス入り白熱電球が開発され、日本国内でも生産が始まったことにより、映写用電球や投光用電球が舞台照明に導入されるようになった²⁾。

白熱電球はフィラメントからの熱放射を利用しているため、利用する光が連続のスペクトルであるため、演色性の点からも優れている(図 6.8)。

この光源の採用によって、調光器を用いた遠隔操作が可能となり、多数の照明器具を同時かつ自在に制御できるようになった。結果として、光の方向性を強調して人物や背景に立体感を与え、舞台上に明暗のコントラストを形成して情景を表現するなど、演出的な幅が大きく拡張された。また、照度変化やフィルタによる色彩の操作を通じて、時間的推移を視覚的に演出することも可能になった。

当時の平凸レンズスポットライトに用いられた電球は、出力や用途に応じて複数の規格が存在した。たとえば、500 W クラスには図 6.7 に示す T-64 (バルブ径 64 mm) の MAZDA 製映写用電球が使用され、1 kW クラスには G-127 (バルブ径 127 mm)、さらに 2 kW クラスには G-152 (バルブ径 152 mm) の MAZDA 製電球が搭載されていた。これらは主に E26 や E39 のねじ込み式口金を採用していたが、電球装着時にフィラメントが必ずしもレンズの光軸と正確に一致せず、さらに口金とソケットの受け金の組み合わせによって高さ方向の誤差も大きくなりやすかった。このため、少なくとも回転方向および高さ方向における電球位置

の調整機構が必要とされていた。

以下では、戦前期に開発された代表的な平凸レンズスポットライトについて、光源の容量・電球の種類・調整機構・使用レンズ・反射鏡といった観点から整理する。

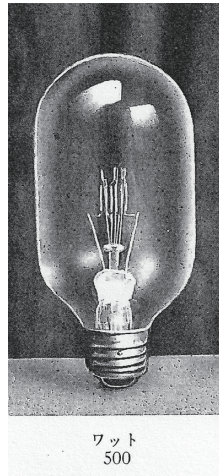


図 6.7 T-64 型 MAZDA 製 500 W 映写用電球

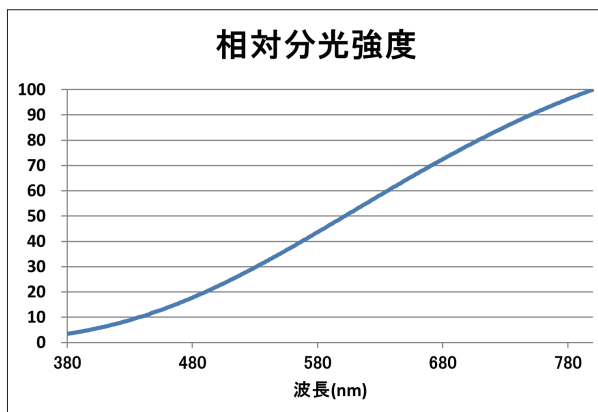


図 6.8 G 型白熱電球 (2800 K) の相対分光強度

6.3.1 国産最初期のスポットライト：MS 型・ML 型

1920 年代に入ると劇場で白熱電球を用いたスポットライトが本格的に普及し、1928 年の丸茂電機製作所カタログには MS 型、平凸レンズの焦点距離が長い ML 型が掲載されている (図 6.9)。両機種はアルミニウム合金鋳物の前後枠と銅板製灯体を組み合わせた構造を持ち、大型の電球を容易に交換できるよう上部開閉式を採用していた。電球調整装置は内部固定型であったため、点灯中の電球調整は不可能であった (図 6.10)。

光源には 1 kW (直径 127 mm)、2 kW (直径 152 mm) のガス入り電球 (G-127、G-152) が用いられ、フォーカス送りはねじ送り機構によってレンズと電球の距離を調整した。

演者のフォローを目的とした大容量スポットライトとして設計された点はカーボンアーク器具に通じる。レンズはフランス製ガラスを研磨・耐熱強化した優良品が

採用された。1920 年代は直径 152 mm・焦点距離 250 mm (1・2 kW 共通)、1930 年代には MS 型 2 kW で直径 200 mm へと変更された。ML 型では 1 kW 機種に直径 152 mm・焦点距離 355 mm、2 kW 機種には直径 200 mm が使用され、利用立体角の確保が図られている。

反射鏡には耐熱ガラス製銀メッキ反射鏡が用いられ、当時普及していたアルミニウム合金製反射鏡に比べ約 2.5 倍の高価格であった。MS 型、ML 型は 1930 年代で販売終了となったが、国産初期の白熱電球式スポットライトとして後の機種開発の基盤を築いた。



図 6.9 MS 型スポットライト (丸茂電機製作所)

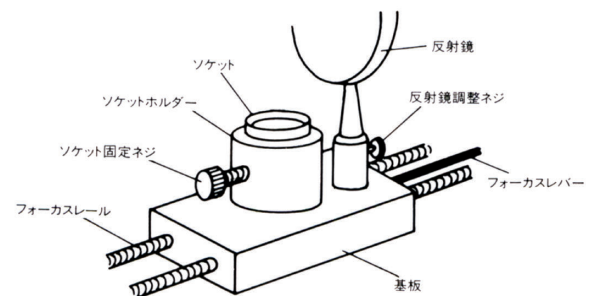


図 6.10 内部固定型電球調整装置詳細図

6.3.2 C 型スポットライト

1930 年に丸茂電機製作所によって開発された C 型スポットライトは、500 W および 1 kW の容量を有するスポットライトとして設計された (図 6.11)。MS 型と比較すると小型かつ軽量であり、取り扱いが容易であったことから、使用可能な場所が大きく広がった。

C 型スポットライトはその後若干のモデルチェンジを繰り返しながら 1960 年頃まで製作され平凸レンズスポットライトの代名詞となった。

構造は MS 型と同様であり、前後の枠はアルミニウム合金鋳物、側面および底部は銅板製、上部蓋は丁番によって開閉可能な構造となっている。



図 6.11 C 型平凸レンズスポットライト (丸茂電機製作所)

C 型スポットライトの光源には、1 kW モデルでは G-125 型白熱電球、500 W モデルでは T-64 型白熱電球が使用されていた。

C 型スポットライトにおける最も大きな特徴は、電球の調整が外部から可能となった点である。従来の製品では、上部蓋を開けて直接電球を動かす必要があり、点灯中の調整は現実的には不可能であった。この C 型スポットライト以降、外部から電球調整が可能な機構を有するスポットライトが一般的となっている³⁾。

電球調整機構は図 6.12 に示す構造を有し、調整方

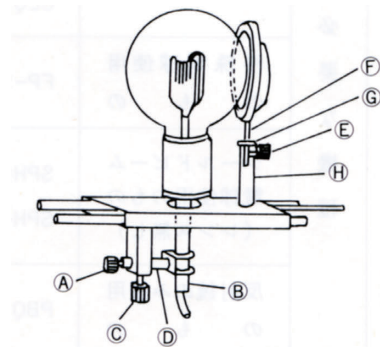


図 6.12 C 型電球調整装置 (丸茂電機製作所)

法は以下のとおりである。

- 電球をソケットにねじ込む。この時点では、フィラメントがレンズに正対するとは限らない。
- 図 6.12 に示す電球上下調整パイプのロックねじ A を緩め、上下調整パイプ B を回転させてフィラメントをレンズに正対させ、ロックねじ A を仮締めする。
- 反射鏡ロックねじ E を緩め、ストップリング G が反射鏡取付台 H の上部に接触しているかを確認し、反射鏡がレンズ面に適切に当たっているかを確認した後、反射鏡ロックねじ E を締める。この時点でフィラメントの向きおよび反射鏡の調整が完了する。
- 蓋を閉めて点灯し、壁面または水平面に照射してフィラメントの像が投影されるまでフォーカスを調整する。
- 再度ロックねじ A を緩め、上下調整パイプ B を上下させてフィラメントの直接像と反射鏡を経由した像の高さを一致させる。
- 電球前後調整軸のロックねじ C を緩め、調整軸 D を前後に移動させてフィラメントの直接像と反射鏡を経由した像の大きさを一致させた後、調整軸を左右いずれかに傾け、直接像の間に反射鏡像が並ぶように調整し、ロックねじを締めて電球調整を完了する。

- ▲ 電球上下調整パイプロックねじ
- ▲ 電球上下調整パイプ
- ▲ 電球前後調整軸ロックねじ
- ▲ 電球前後調整軸
- ▲ 反射鏡ロックねじ
- ▲ 反射鏡取付軸
- ▲ 反射鏡取付軸ストップリング
- ▲ 反射鏡取付台

表 6.2 白熱電球平凸レンズスポットライト仕様比較 1928 年から 1937 年

製造年 カタログ	器具型名	容量	光源	レンズ			電球調整 装置	反射鏡			価格 (円)	備考
				直径	焦点 距離	種別		直径	曲率 半径	種別		
1928	MS1000W	1 kW	白熱 G-127	152	250	H	丸茂 C 型	127	95	G		
	MS2000W	2 kW	白熱 G-152	152	250	H		152	127	G		
	ML1000W	1 kW	白熱 G-127	152	355	H		127	95	G		遠距離用
	ML2000W	2 kW	白熱 G-152	200	355	H		152	127	G		遠距離用
	C-500W	500 W	白熱 T-64	127	200	H		75	70	G		外部電球調整
	C-1000W	1 kW	白熱 G-127	152	250	H		127	95	G		外部電球調整
	K-500W	500 W	白熱 T-64	127	200	O		75	70	M		吊り下げ、外部電球調整、銅板製
	K-1000W	1 kW	白熱 G-127	152	200	O		127	95	M		吊り下げ、外部電球調整、銅板製
	F-500W	500 W	白熱 T-64	127	200	O		75	70	M		フォーカシングはレンズ可動
1937	MS1000W	1 kW	白熱 G-127	152	250	H	丸茂 C 型	127	95	G	93	1928 年とスペック同じ
	MS2000W	2 kW	白熱 G-152	200	250	H		152	127	G	142	レンズ 8 インチ化
	ML1000W	1 kW	白熱 G-127	152	355	H		127	95	G	98	1928 年とスペック同じ
	ML2000W	2 kW	白熱 G-152	200	355	H		152	127	G	152	1928 年とスペック同じ
	C-500W	500 W	白熱 T-64	127	200	H		75	70	G	61	フォーカスねじ送り引き出し棒
	C-1000W	1 kW	白熱 G-127	152	250	H		127	95	G	77	フォーカスねじ送り引き出し棒
	TH-500W	500 W	白熱 T-64	127	200	O		75	70	M	34	吊り下げ、銅板製
	TH-1000W	1 kW	白熱 G-127	152	250	O		127	95	M	38	吊り下げ、銅板製
	F-500W	500 W	白熱 T-64	127	200	O		75	70	M	38	1928 とスペック同じ
	T1-500W	500 W	白熱 T-64	114	178	O		75	70	M	21	現在でもほぼ同スペック

6.3.3 C型スポットライトの平凸レンズと反射鏡

C型スポットライト1kWに使用しているレンズは、MS型スポットライトと同じレンズを使用しており、表6.2の口径6インチ(152mm)焦点距離10インチ(250mm)のレンズであった。500Wは直径5インチ(127mm)焦点距離8インチ(200mm)のレンズを使用していた。

また、C型スポットライト1kWに使用している反射鏡はMS1kWと同じ反射鏡、500Wでは口径75mm曲率半径70mmの硝子銀鍍金製の反射鏡を使用していた。

硝子銀鍍金の反射鏡は初期反射率が高いが熱に弱く、1950年代にアルミ電解研磨の反射鏡が出ることで徐々に使用されなくなっていった。

6.3.4 T-1型スポットライト

T-1型スポットライトは小型で四角い形状をもち「ベビースポットライト」とも呼ばれ、舞台上で使用される最小のスポットライトである。吊り下げの使用で光芒を演出することや、床置きして足元を照らすフットスポットライトとして使用するなど、小型で廉価であったため、小劇場や高校演劇でも広く用いられ演劇界の底辺を広げることに貢献してきた。図6.13に1935年の初期モデルを示す。現行品も基本仕様は大きく変わらずに90年間の間製造が続けられてきたロングセラーな製品である。



図 6.13 T-1 型平凸レンズスポットライト
(丸茂電機製作所)

6.3.5 T-1型スポットライトの特徴と変遷

T-1型スポットライトの光源は開発初期にはT-64型500W白熱電球を用いていたが、現在はE26口金のハロゲン電球が採用されている。光軸の調整方法は点灯状態でフィラメント像を壁面に投影し、図6.14のソケット支持棒ロックねじを緩めて上下・回転方向を合わせる方式で、簡易かつ廉価版器具に適した構造となっている。

採用されているレンズは口径114mm・焦点距離178mmで、口径は小さいが使用するカラーフィルタ

も150mm角と小さく、他の500Wスポットライトよりも経済的である。

また、開発初期の反射鏡は口径75mm・曲率半径70mmのバフ研磨反射鏡を採用していたが、1950年以降に、口径90mm・曲率半径75mmの電解研磨反射鏡に改良され、現在も使用されている。

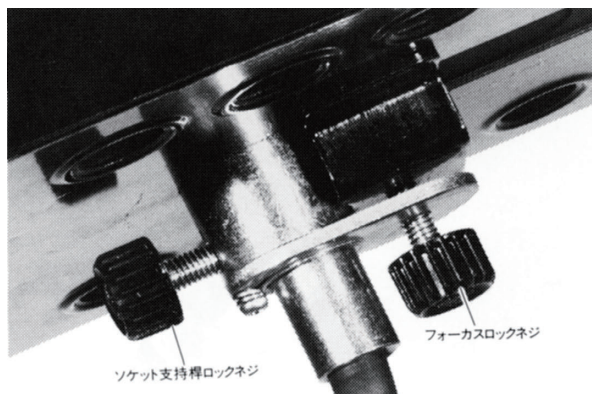


図 6.14 T-1 型スポットライト電球調整装置
(丸茂電機株式会社)

6.4 戦後に開発された白熱電球を使用した平凸レンズスポットライト

戦後、演劇やレビューの上演機会が増えるにつれ、照明設備・器具への需要も急速に高まった。

白熱電球を用いた平凸レンズスポットライトの開発では、大口径レンズによる明るさの向上と、大量の器具を効率的に扱うための操作性向上が重視された。

具体的には、下記の様な改良が進められた。

- レンズ口径の拡大による光量の増大
- 器具角度を保持するフリクション式チルト機構
- 点灯状態でも容易に調整可能な外部電球調整機構

といった改良が進められた。これらの工夫により、舞台現場での実用性が格段に向上し、戦後から現在に至るまで白熱電球スポットライトの基本構造を形成してきた。

6.4.1 C-8型スポットライト

1950年代半ば、大口径レンズの価格低下により、1kWスポットライトに8インチ(200mm)口径のレンズを搭載することが可能となった。その結果、舞台上の明るさが向上し、表現の幅が大きく広がったと考えられる。

丸茂電機株式会社は1956年に従来のC型スポットライトの電球調整機構を踏襲しつつ、新たに平凸8インチレンズを用いたC-8型スポットライトを開発した(図6.15)。当時としては非常に明るい機材であり、大きな反響を呼んだという。

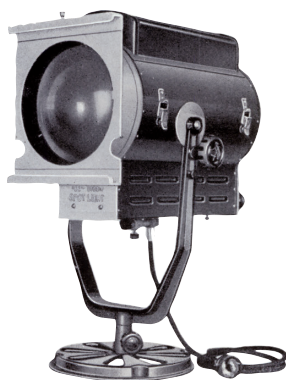


図 6.15 C-8 型スポットライト
(丸茂電機株式会社)

特に、6 インチ (150 mm) レンズと同じ 250 mm の焦点距離を持ちながら、同一の開きで比較すると C-8 型スポットライトは圧倒的に明るかった。そのため、以後は他社製品も含め、現在でも 1 kW 平凸レンズスポットライトを「C-8」と呼ぶ舞台照明家も多い。

図 6.16 に示すように、C 型 (6 インチ) と C-8 型 (8 インチ) のレンズ光学系を比較すると、両者は焦点距離が同じであるにもかかわらず、C-8 型は大口径レンズにより光束をより効率的に収束させ、結果として高い照度を実現していることがわかる。このことは当時のカタログから抜粋した表 6.3 に示された照度比較の数値からも裏付けられており、C-8 型が当時の舞台照明において革新的な存在であったことが理解できる。

C型とC-8型のレンズの比較

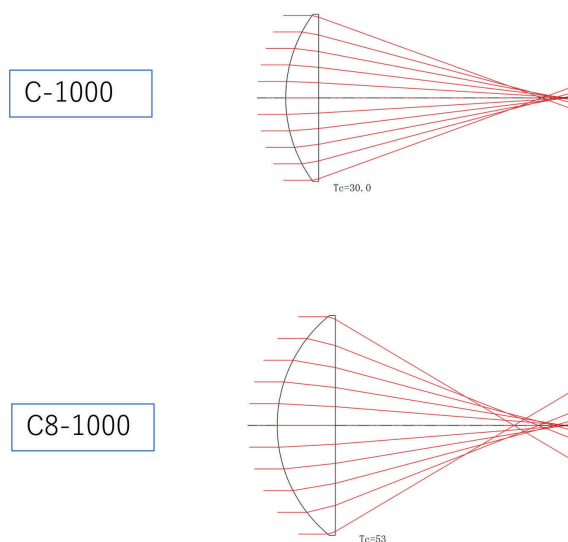


図 6.16 C 型 1 kW に使用しているレンズの 8 インチ化

表 6.3 C 型スポットライトの 8 インチ化による照度比較

C 型 1000W スポットライト性能表

レンズ径 150% 焦点距離 250% 1000W レンズと光源との距離はレンズ内側平面より測つたもの

レンズと電球光源との距離 cm	8	12	16	20	22	23
スポットライトから投光面までの距離 m	投光面の光度 直径 A (m) Lux	A (m) Lux	A (m) Lux	A (m) Lux	A (m) Lux	A (m) Lux
5	6.18 190	3.3 365	1.87 670	0.99 1610	0.66 3170	0.51 4900
10	12.4 48	6.6 92	3.75 167	2.0 410	1.34 770	1.05 1150
15		9.94 40	5.6 75	2.96 187	1.97 355	1.53 540
20			7.5 42	4.0 103	2.68 192	2.1 290
25			9.32 27	4.94 67	3.28 128	2.55 197

C-8 型 1000W スポットライト性能表

レンズ径 200% 焦点距離 250% 1000W レンズと光源との距離はレンズ内側平面より測つたもの

レンズと電球光源との距離 cm	8	10	12	14	16	18	20	22
スポットライトから投光面までの距離 m	投光面の光度 直径 A (m) Lux	A (m) Lux	A (m) Lux	A (m) Lux	A (m) Lux	A (m) Lux	A (m) Lux	A (m) Lux
5	8.25 155	5.09 214	3.63 518	2.68 810	1.97 1150	1.41 1900	0.96 3400	0.60 7300
10			7.00 140	5.11 214	3.70 330	2.57 570	1.66 1130	0.95 2920
15				7.53 98	5.42 153	3.72 270	2.36 560	1.30 1560
20					7.14 81	4.88 158	3.07 330	1.65 970
25						6.04 104	3.76 220	2.00 660

6.4.2 CK-6 型スポットライト

戦後、商業劇場の再興や公共会館の新設に伴い、舞台照明業界は活況を呈し、照明機器を製作する企業も増加した。印刷露光を主力とした株式会社松村電機製作所や、映画照明を中心に手がけていた株式会社龍電社なども舞台照明分野へ参入している。

その中で、株式会社松村電機製作所は1958年に1 kW・6 インチスポットライト「CK-6 型」を開発した(図 6.17)。この器具は外部電球調整機構を備えていた点に特徴がある。

従来は器具内部を開けて行わなければならなかった電球調整を、C 型スポットライトから始まった電球調整を外部から簡便かつ正確に行えるようにしたことで、舞台現場の実用性を大きく高めた。図 6.18 に示すように、この方式は後に各メーカーが競って採用する機構となり、ハロゲン電球が平凸レンズ用の光源として普及するまで広く利用された。

電球回転上下方向を合わせ④のダイキャストユニットを貫通した②のソケット取付棒を③の止めねじでとめるシンプルな構造で広く採用された。



図 6.17 CK-6 型スポットライト
(株式会社松村電機製作所)

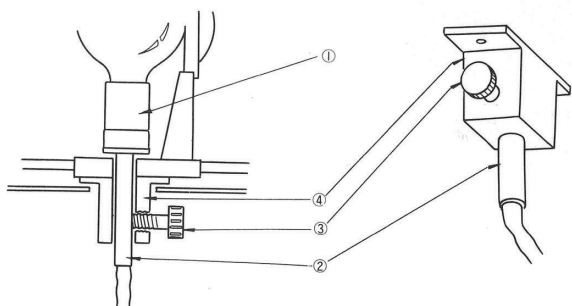


図 6.18 CK-6 型電球調整装置(株式会社松村電機製作所)

6.4.3 CE 型スポットライト

丸茂電機株式会社が1967年に開発したCE型スポットライトは焦点距離 254 mm の平凸レンズ、フレネルレンズのほかにあまり一般的にはなかったが、

照射形状を楕円にするオーバルレンズを採用したスポットライトであった(図 6.19)。

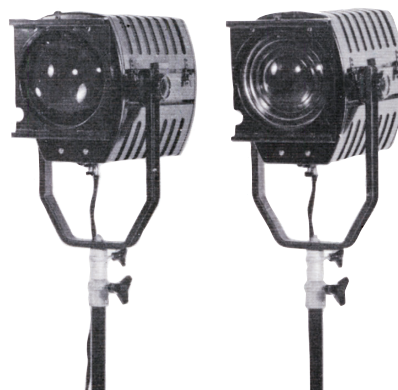


図 6.19 CE 型スポットライト(丸茂電機株式会社)

この製品のチルト固定ハンドルには、図 6.20 のような構造をしており、フリクションがある状態で回転動作する機構が採用されている。このため、舞台上部に吊り下げられたスポットライトの向きを、操作棒などで地上から調整することが可能となっている⁴⁾。

この機構は日本独自の構造でサスペンションスポットライトなどを設置したのちに、操作棒や竹竿で調整する方法が多用されていたためである。

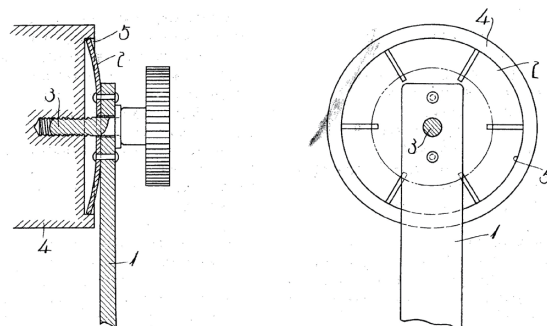


図 6.20 フリクション付き傾斜固定機構
(実公昭 39-664 より)

6.4.4 LTS-10 型スポットライト

株式会社龍電社は映画照明やテレビ照明の分野で知られるメーカーであり、1974年に口径 203 mm・焦点距離 254 mm の平凸レンズスポットライト「LTS-10 型」を開発した(図 6.21)。現在でも市民会館などで使用されている例がある。

電球調整は以下の手順で行う。

- 図 6.22 ⑤の固定ねじを緩める。
- ②のソケット取付棒でフィラメントをレンズに正対させ、高さを調整。
- ③の軸でソケットの前後・左右方向を合わせる。
- 最後に⑤の固定ねじを締めて調整を完了。

なお、②ソケット取付棒と③前後左右調整軸にはフリクションがかかっており、すべての調整を終えた後に1個の固定ねじで一括固定できる仕組みとなっていた。

1970年代には演目によって多数のスポットライトを使用するようになり、各メーカーが簡便で確実な電球調整機構を競って開発した時代背景を示す代表例である。

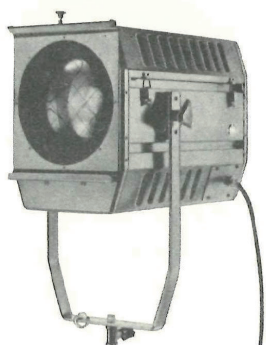


図 6.21 LTS-10 型スポットライト (株式会社龍電社)

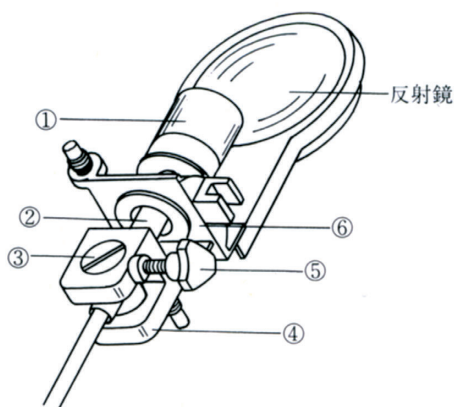


図 6.22 LTS-10 型電球調整装置

6.4.5 NQ30141 型スポットライト

1960 から 70 年代にかけて、スタジオ照明用のフレネルレンズスポットライトは次々とハロゲン化されたが、平凸レンズスポットライトのハロゲン化は遅れ、1970 年代までは従来のガス入り白熱電球が用いられていた。1981 年、松下電工株式会社は初めてハロゲン電球を実装した平凸レンズスポットライト「NQ30141 型」を製品化した(図 6.23)。ハロゲン電球はバイポスト(2ピン)口金を採用し、ソケット装着時にフィラメントが自動的にレンズへ正対する設計となっていた。このため従来必要だった電球調整機構が不要となった。さらに、ハロゲン電球は従来の G 球に比べ以下の利点があった。

- サイズ：約 1/10 と小型化。
 - 寿命：約 5 倍に延長。
 - 光束維持：バルブ壁の黒化による光量低下が解消。
- これにより、舞台照明の運用効率や表現力が大きく向上した。



図 6.23 ハロゲン電球平凸レンズスポットライト NQ30141 (松下電工株式会社)

コラム 電球調整の必要性

単レンズスポットライトの構造は図 1 のように光源、反射鏡、レンズで構成されており、きれいな配光、効率の良い状況で使用するためにはスポットライトの光軸があっていただなければならない。スポットライト用の光源として長く使用されていた、G-127 型白熱電球(以降 G 球と呼ぶ)はソケットとしてエジソンベースを使用しており、電球を装着したとき高さ、回転方向が定まらないため、光軸をそろえるための機構が必要だった。

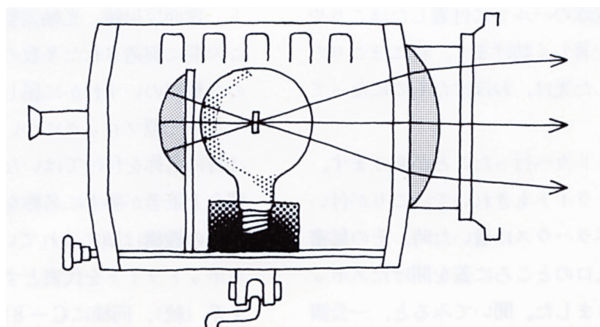


図 1 スポットライトの構成

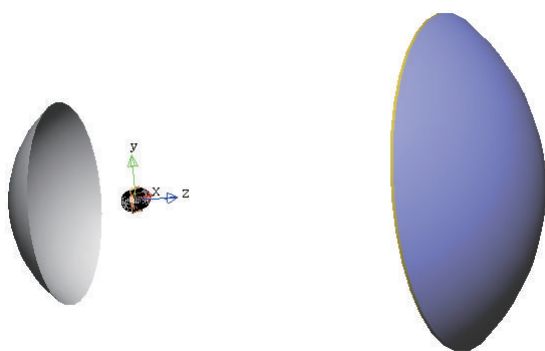


図2 電球調整の効果確認用モデル

電球の位置がずれている場合の配光を確認するために、次の図2の様に現行の1,000 Wの平凸レンズスポットライトを例に、下記の条件でモデル作成を行った。

- レンズ 直径200 mm 焦点距離250 mm 平凸レンズ
- 光源 フィラメントは直径0.8 mm 長さ15 mmの円柱モデルを3 mmピッチで6本配置、全光束 24,000 lm
- 反射鏡 直径120 mm 曲率半径75 mmの条件でモデル作成を行った。

電球調整の必要性を確認するために、電球のフィラメントがフィラメントの配列方向、上下方向光軸に沿った方向、回転した場合について確認した。

スポットライトからの光をできるだけ明るさのムラがなく美しい配光で使用するため、電球調整装置を使用して、図3のようにフィラメントの投影像の間にフィラメントの反射像が入るように調整することが望ましいとされている。

実際にはどのように見えるか、条件などを確認することが容易な光線追跡を行い確認した。

光源を正位置（光源を反射鏡曲率中心）に配置したときの光線追跡像と、フィラメントを原点からフィラメントの配列方向に0.75 mmずらして、反射像を間に入れた像を確認した。

光線追跡結果からわかるように、明らかに反射像をフィラメントの間に反射像を入れたものが、配光のスムーズさが改善されていることがわかる。

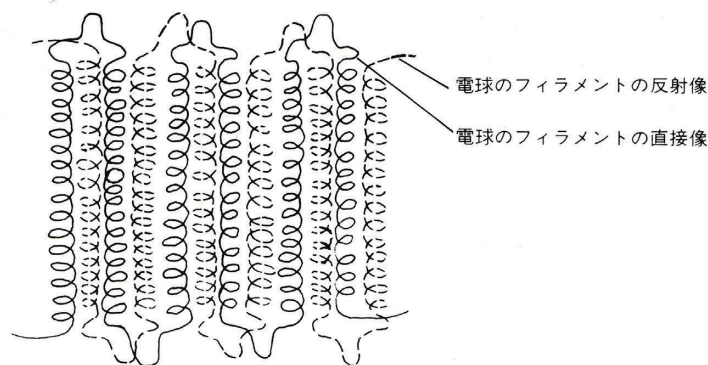


図3 電球調整後のフィラメント像

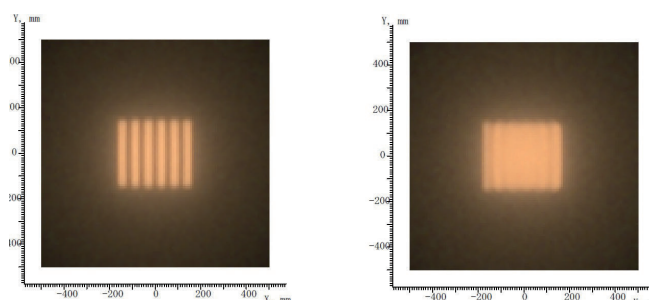


図4 正位置と反射像を調整したフィラメント像

電球調整 上下左右方向のずれ

電球が上下左右方向にずれが生じた場合にどのような配光になるか、同様に光線追跡を行った。

追跡結果がわかりやすいように上下左右とも 10 mm 光源をずらして追跡を行った (図 5)。

実際の照明器具ではここまで大きくずれることは少ないが、数ミリずれていても実際に使用する広がりにした場合、ずれた方向のエッジ (照射範囲のはじ) に明るさのムラが生じるため、美しい配光を得るためにも電球調整は重要である。

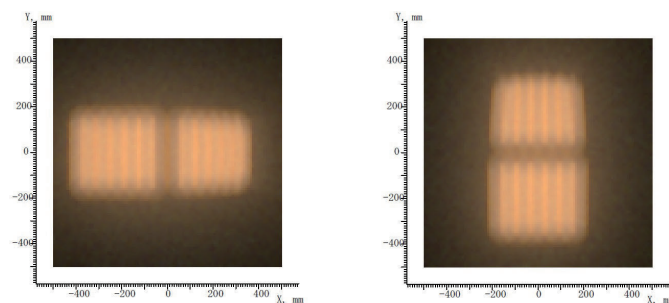


図 5 横、タテに方向にずれたフィラメント像

電球調整 前後方向、回転方向のずれ

電球の前後方向、回転方向も同様にフィラメント像を調整する必要がある

図 6 はフィラメントが反射鏡の曲率中心から後方にずれた場合のフィラメントと反射鏡による像を示している。図からもわかるように、反射鏡によるフィラメント像は反射鏡の曲率中心より前に拡大されて投影される。光線追跡でフィラメントを反射鏡の曲率中心から 7 mm 後方に配置し、レンズの焦点近傍で投影するとフィラメント像を囲むように、フレアのような像ができる。

電球がレンズ、反射鏡に正対せず、回転方向にずれた場合は左右でばやけ方が違う細長くなった電球像が投影されてしまう (図 7)。伝統芸能の舞台で、演者を追尾するフォロースポットとして平凸レンズスポットライトを使う場合、縦長の配光が望まれるために、意図的に電球を回転させて縦長配光の効果を得るといった使い方がされることもある。

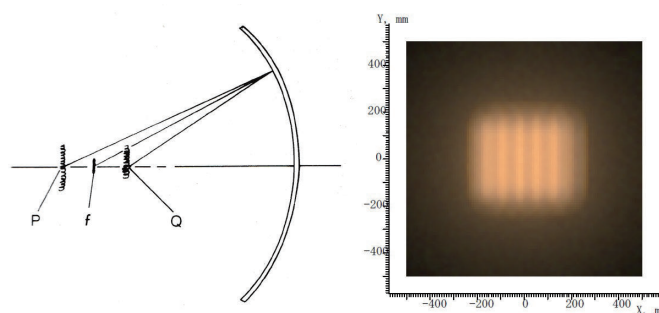


図 6 前後の電球調整の概念と前後にずれたフィラメント像

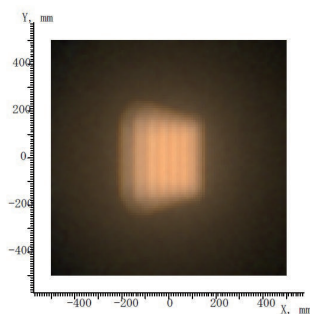


図 7 電球が 45 度回転した像

- 図1 岩崎令兒,「美しい光を得るために」,日本照明家協会, p.23 (1990)
 図2 筆者作成
 図3 「マルモ・ライティング・ニュース」45-3号,丸茂電機株式会社, p.9 (1970)
 図4 筆者作成
 図5 筆者作成
 図6 筆者作成
 図7 筆者作成

6.5 平凸レンズスポットライトの非球面化 (1985 から)

世界的に見ると、平凸レンズスポットライトを非球面化したのは日本独自の動向である⁵⁾。

欧米では、後述するプロファイルスポットライトが主流となり、フレーミングシャッターによって四角い明かりを重ねて舞台照明を構成していった。そのため、平凸レンズスポットライト自体の開発は重視されなかった。

日本における非球面レンズの採用は、1985年の松下電工株式会社製 NQ30137 型に始まり(図 6.24)、同年には他メーカーも追従して非球面平凸レンズが広く導入された⁶⁾。



図 6.24 NQ30137 スポットライト(松下電工株式会社)

例えば、図 6.25 に示す 2000 年に開発された株式会社松村電機製作所の CX-8S は、サスペンション専用の用途を想定して設計され、口径と同じ焦点距離 203 mm の非球面レンズを採用している。

平凸レンズスポットライトは、フィラメント像が投影されないよう、通常はある程度照射径を広げて使用する。そのため、同じ照射径で比較した場合、焦点距

離の短い非球面レンズのほうが高い光量を得られるという利点があった。

平凸レンズ非球面化の設計と実際のレンズ製作についてはコラムに記す。



図 6.25 CX-8S スポットライト
(株式会社松村電機製作所)

6.6 平凸レンズスポットライトの多機能化

スポットライトは点灯・消灯時に電球の発熱によって灯体金属が膨張・収縮し、接合部の歪みにより「パキパキ」「パチン」といった弾発音を発生させる。この現象は長年大きな課題であった。1980 年代後半以降、音楽専用ホールや劇場のシーリングライトといった静粛性が求められる環境での使用を前提に、歪みの発生を抑制する材質や構造を備えた静音設計のスポットライトが各メーカーから開発された参考例としてアールディエス株式会社製の AQS-10 型スポットライトを示す(図 6.26)。

さらに、ハロゲン電球は入力エネルギーの 80% 以上を赤外線として放射しており、照射面にも多量の赤外線が含まれる。そのため、音楽ホールでオーケスト



図 6.26 AQS-10 型低騒音スポットライト
(アールディエス株式会社)



図 6.27 広域赤外線カット平凸レンズスポットライト
ミュージクール (松下電工株式会社)

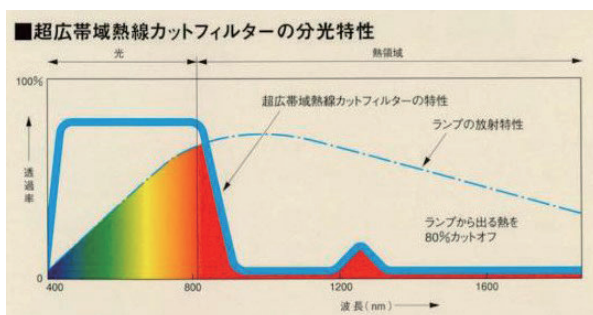


図 6.28 赤外線カットフィルタ付き
レンズミュージクール

ラを照明する際には、赤外線による楽器の温度変化が音程の狂いを招くという問題が生じた。これに対応して、松下電工株式会社が2000年に、赤外線カット機能を備えたスポットライトが開発され、赤外線の約80%を除去できる光学系が実用化された(図6.27)。分光特性(図6.28)を見ると、従来のハロゲン光源では800 nm以上の赤外線成分が多いのに対し、赤外線カット光学系では可視域(400 nmから800 nm)の透過率を保持しつつ、800 nm以降の赤外域が大幅に抑制されていることが確認できる。これにより、舞台照明として十分な演色性を維持しながら、楽器や舞台上の物品に対する熱的影響を大幅に低減することが可能となった。

6.6.1 平凸レンズスポットライトの発展のまとめ

舞台照明におけるスポットライトは、19世紀後半に登場したカーボンアーク灯に起源を持つ。アークスポットは強力な光を得られる反面、電源設備が大掛かりで、騒音や煙、電極消耗といった課題を抱えていた。これに対し、20世紀に入り白熱電球の性能が向上すると、より簡便かつ安全に使用できるスポットライトの開発が進んだ。その代表が平凸レンズスポットライトである。光源の点光源性を活かしてレンズで集光する構造はシンプルながら実用性が高く、戦後の日本においては劇場や公共ホールの普及とともに急速に広まった。1950年代から70年代にかけては電球調整機構やフリクション式チルトが導入され、1980年代にはハロゲン電球や非球面レンズの採用、赤外線カット機能などの多機能化が進展した。こうして平凸レンズスポットライトは、アークスポットライトに代わる基幹的な舞台照明器具として定着し、その後のプロフェイルスポットライトやLED器具への技術的架け橋となった。

コラム 非球面レンズの設計と製造について

平凸レンズスポットライトをはじめとする非結像系の光学設計において、「良い設計」や「良い配光」とは何かという問いに対して、現時点で明確な答えがあるわけではない。しかし、この課題は今後も舞台照明器具開発において考え続けるべき重要なテーマである。舞台照明器具の光学設計は、コンピュータとソフトウェアの進歩と歩調を合わせて発展してきた。1980年頃からミニコンピュータやパーソナルコンピュータを用いた光線追跡が行われるようになり、1980年代中頃にはエンジニアリング・ワークステーションの導入によって計算速度が飛躍的に向上した。筆者自身も1980年代には確かミニコンピュータ MELCOM70 だったと思うが、これを使用し、自社ソフトウェアでプロッタに光線追跡結果を出力していたが、多くの光線を描かせ過ぎると紙が破れることもあった。その後、1987年にはSUN-4ワークステーション上での解析を試み、レーザープリンタの特殊コマンドに苦戦しながらも光線追跡を進めていた。2000年頃には専用ソフトウェアを導入し、本格的な解析環境を整えることができた。

当時は非結像系を対象とした市販のシミュレーションソフトウェアが存在せず、幾何光学的な近似計算や自社開発ソフトによる設計に依存していた。その後、照明をはじめとする非結像光学系に特化した光線追跡ソフトが普及したことで、舞台照明器具の光学設計は大きく進化していった。

非球面レンズの設計

平凸レンズスポットライトも、1980年代中ごろから、配光改善のために次第に非球面レンズが採用されるようになった。非球面化が進む以前には球面レンズが主流であったが、その場合、入射光の光線高が大きくなるほど光軸で焦点位置からのずれが顕著となり、いわゆる球面収差が問題となった。その結果、照射範囲を広げると光束が均一に分布せず、中心部が暗くなるという現象が生じていた。非球面レンズはこうした欠点を補正し、光をより効率的に舞台上に届けるための重要な技術として位置づけられている。設計・解析の基盤を支えたコンピュータ技術の進歩とともに、レンズ設計そのものも新しい段階へと進んでいったのである。

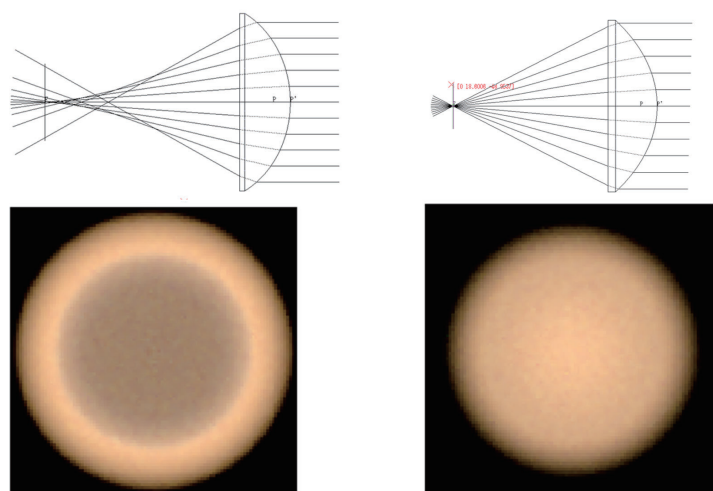


図 1 (a) 球面収差の大きい配光

図 1 (b) 球面収差の少ない配光

球面収差を改善するための設計方法はレンズの曲面を2次曲面で考えると、レンズの形状は次の式で与えられる。2次曲面の変数曲率半径は近軸焦点距離から求まるので曲面のパラメータはコーニック係数 k だけとなる。2次曲面レンズの面形状は、一般に次式で表される。

$$Z = \frac{CvY^2}{1 + \sqrt{1 - (1 + k)Cv^2Y^2}}$$

Z : レンズ頂点から光軸方向の変位

Cv : 面の曲率

Y : 光軸からの高さ

k : コーニック係数 $k = 0$ 球面、 $k = -1$ 放物面、 $0 > k > -1$ 楕円面

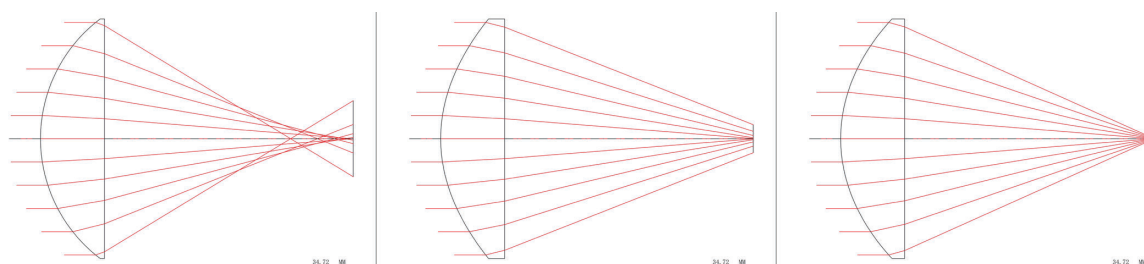


図 2 (a) $k = 0$ 球面

図 2 (b) $k = -1$ 放物面

図 2 (c) $k = -0.6$ 楕円面

コーニック係数を図2のように球面から放物面に変化させて光線追跡を行うと、 $k = -0.6$ の楕円面ではほぼ球面収差を除去できていることが確認できる。

照射面での配光を考慮した非球面レンズの設計手法は、図3のようにレンズの周辺部分から光源→裏面(屈折)→レンズ面でこの出射点と照射点を結べば当該入射光線角、出射光線角からレンズの法線が求まる。ここで法線の逆数をとって出射点からの接線と次の光源からの光線の交点を求めて計算を繰り返すことで、点光源の場合における照射面での配光を考慮した非球面レンズの設計が行える。

光源を点光源とし光源の方向による光度が大きいところは出射する光線のピッチを細かくし、例えば周辺など光度が小さい部分はピッチを大きくするなどを行い、レンズに入射する光源からの本数と同じ数で照射面を区切って、明るいところはピッチを細かく暗い部分はピッチを広くすることで点光源の2次元追跡での設計ではあるが光源の強度と配光を考慮したレンズが設計が可能となる。

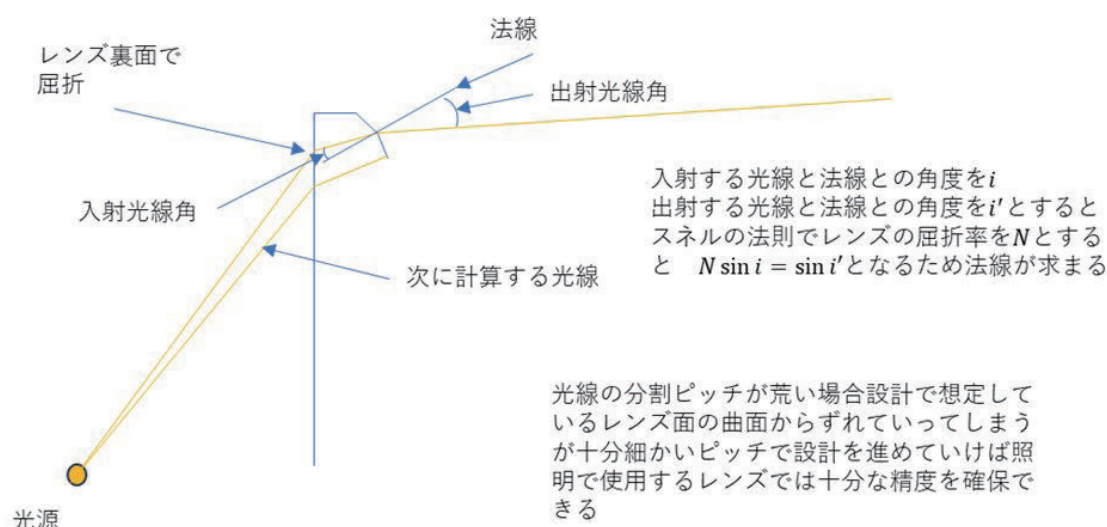


図3 配光から考えるレンズ面の設計手法

その後、コンピュータの性能向上とソフトウェアの進化で現在では光源の形状、配光、照射面の配光を考慮したレンズの設計が可能になっている。

レンズの面形状も、多項式の非球面だけでなく自由曲面も扱えるようになっている。

ただ、ソフトウェアが進化しても、基本的な物理法則は変わらないので基本的な考えを理解したうえで設計に臨むべきだと考える。

平凸レンズの製作

研磨レンズの製造はコートや芯取を行わないものもあるが、一般的に下記のような流れで行われる。



大量生産されるレンズは、ガラスメーカーによってプレス成形された製品が供給される。一方、生産数量が少ない場合には、ガラス素材の塊から個別に加工を行う。まず、図4(a)に示すように、所定のレンズ重量に合わせて素材を切り出す、次にプレス成形時に必要な高さを確保するため、図4(b)のように円柱状に「もみ上げ」工程を行い、素材を縦方向に延ばす。その後、図4(c)に示すようにプレス成形によってレンズ形状を与える。プレス工程の完了後、レンズは研削・研磨工程に移行する。研削工程(図4(d))では、レンズの最終形状に近い曲面を形成する。続く研磨工程(図4(e))では、研磨機を用いて表面を鏡面に仕上げ、光学的に必要な平滑度を得る。このように、少量生産のガラスレンズは、素材の切り出しからプレス、研削、研磨までの複数工程を経て製造される。

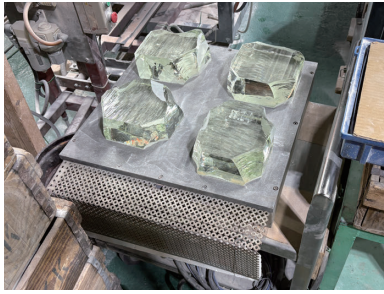


図 4 (a) 材料をカットして重さ大きさを合わせる



図 4 (b) 約 1,000 °C まで加熱しガラスを円柱状にもみ上げる



図 4 (c) レンズ形状にプレス

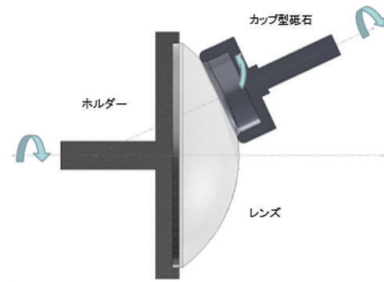


図 4 (d) 設計カーブに研削を行う
(この図は球面レンズ)



図 4 (e) 研磨機で研磨(徐々に研磨剤を細かくしていく)



図 4 (f) 研磨で製作した非球面レンズ

舞台照明器具は、一般照明器具と違い容量が大きいためレンズの口径も大きく製作できるレンズメーカーも非常に少ない。また、製作数量も少ないうえにいろいろな種類があって効率的とはいえないが、レンズメーカーの協力のもと今後も舞台照明器具用のレンズが製作できていければと考える。

非球面レンズ製造工程取材協力

泉陽光学株式会社 (2025 年 6 月 20 日取材)

関西特殊光学株式会社 (2025 年 6 月 20 日取材)

図 1 筆者作成

図 2 筆者作成

図 3 筆者作成

図 4 (a), (b), (c), (e) 取材時筆者撮影

図 4 (d) 筆者作成

図 4 (f) 「PROFESISONAL LIGHTING EQUIPMENT STAGE & TV STUDIO」, 丸茂電機株式会社, p.148 (2023)

6.7 フレネルレンズスポットライト

フレネルレンズは、レンズを同心円状に分割することにより厚みを削減した光学素子であり、その断面は鋸歯状の形態を有する。これにより、図 6.29 のように、通常の平凸レンズと比較して薄くなり、軽量化を図ることが可能となる。

スポットライトにおいて光源からの光束を効率的に利用しようとする場合、焦点距離は一般に短く設定される。しかし、平凸レンズをそのまま適用すると焦点距離の短縮に伴ってレンズ厚が増大し、質量の増加や製造上の制約により、スポットライトとしての実用性が著しく損なわれる。

一方、照射距離が 5 m 程度の比較的近距离で、かつ広範囲を照射する用途においては、短焦点の光学系を用いることで光束利用効率が高まり、より明るい照明効果を得ることができる。この条件下では、厚みを大幅に軽減できるフレネルレンズの構造的特性が大きな利点として発揮される。すなわち、フレネルレンズの採用は軽量化と高効率化を両立し、舞台照明における実用的な選択肢として重要な位置を占めるに至ったのである⁷⁾。

フレネルレンズスポットライトは、もともと映画撮影用照明機材として開発されたものであり、図 6.30 に示すような光源と放物面鏡を用いたサンスポットの代替として登場した。映画撮影においては大出力の照明器具が求められ、サンスポットはその代表的存在であった。最大容量のサンスポットは、光源に 10 kW の白熱電球を採用し、反射鏡の口径は 800 mm、質量は約 130 kg に達するなど、極めて大型かつ重量級の機材であった。

このような大型装置に代わるものとして開発されたフレネルレンズスポットライトは、フレネルレンズの

構造的利点により大幅な軽量化が可能となり、設置や取り扱いが容易であった。さらに、比較的近距离での照射性能に優れ、広範囲を均一に照射できるという特性を有していた。この結果、当初は映画撮影用として使用されていたフレネルレンズスポットライトは、やがて舞台上部から吊り下げて用いるサスペンションスポットライトとして広く普及していった。

従来のサスペンションフラッドライトに比べ、フレネルレンズスポットライトは明るく、照射範囲の調整が容易である点が評価され、舞台照明の標準的な機材の一つとして定着したのである。本稿では、こうした背景を踏まえつつ、時代の流れとともにフレネルレンズスポットライトがどのように変遷していったかを考察する。



図 6.30 サンスポットライト (丸茂電機製作所)

6.8 フレネルレンズスポットライトの変遷

6.8.1 HF 型スポットライト

丸茂電機製作所の HF 型フレネルレンズスポットライトは、1935 年に登場した国産初期のフレネルレン

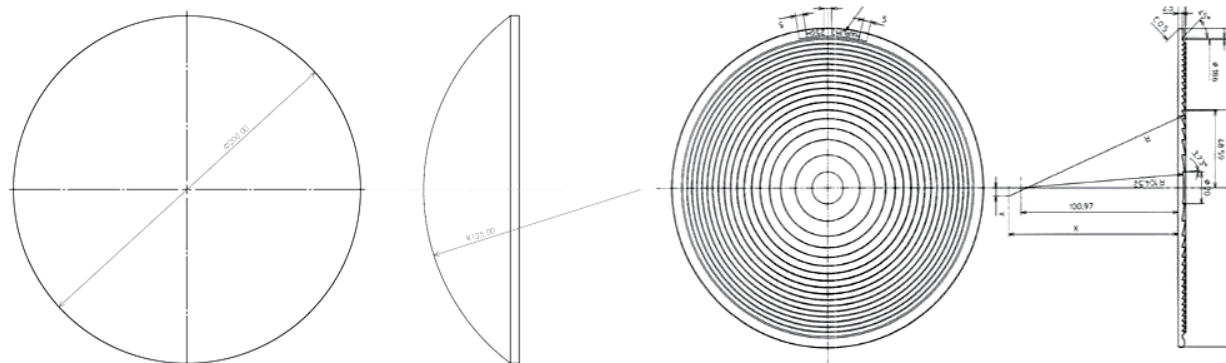


図 6.29 平凸レンズとフレネルレンズ

ズスポットライトである(図 6.31)。1 kW モデルには口径 7.5 インチ、2 kW モデルには 10 インチのフレネルレンズが用いられており、同容量のサンスポットに比べて約 2 倍の明るさを有すると当時のカタログには記されている⁸⁾。



図 6.31 HF 型フレネルレンズスポットライト
(丸茂電機製作所)

2 kW 級のサンスポットは口径 340 mm の反射鏡を備え、質量は約 35 kg であったのに対し、HF 型フレネルレンズスポットライトは約 28 kg に抑えられており、軽量化を実現していた。配光の点でも、放物面反射鏡を用いたサンスポットライトは照射径を開いた場合に中心部が暗くなるが、HF 型スポットライトは照射径を広げた状態でも、均質な配光特性であったため、実用性の面でも優れていた。ただし、当時のフレネルレンズは製造コストが高く、価格面の差は大きかった。同じ 2 kW モデルで比較した場合、平凸レンズスポットライトが 150 円であったのに対し、フレネルレンズスポットライトは 342 円と倍以上の価格差があった。当時の小学校教員の初任給が 45 円であったことを考慮すると、一般家庭で使用するものではないが、平凸レンズスポットライトも高価な機材であったが、フレネルレンズはさらに高価な製品であったことがわかる⁸⁾。

なお、2025 年現在においては、口径 250 mm の平凸レンズを用いたスポットライト、フレネルレンズを用いたスポットライトはいずれも約 23 万円で販売されており(丸茂電機株式会社カタログ調べ)、両者の価格差は解消されている。当時の HF 型フレネルレンズスポットライトは映画撮影での使用を想定して開発され、主としてスタンドに設置して用いられていた¹⁵⁾。

6.8.2 ジュニアソーラースポットライト

株式会社龍電社が開発を行った、ジュニアソーラースポットライトは、1955 年に登場したテレビスタジオ向けの代表的な照明器具である(図 6.32)。テレビ放送の普及とともに、従来の舞台照明とは異なり、スタジオ空間では上部の照明バトンから多数の器具を吊り込み、均質かつ自在に照明を行う方式が主流となった。この要求に応じるかたちで、株式会社龍電社は 1953 年に開発したソーラースポットライトを基盤とし、軽量化を進めたジュニアソーラースポットライトを市場に投入した。

ジュニアスポットライトは 500 W から 2 kW までの幅広い出力に対応し、スタジオ規模や撮影条件に応じた柔軟な運用を可能とした点に特徴がある。

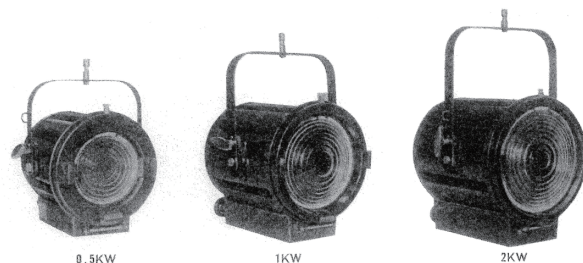


図 6.32 ジュニアソーラースポットライト
(株式会社龍電社)

6.8.3 LQS 型フレネルレンズスポットライト

1960 年代に入り、国内照明技術の発展に大きな転機をもたらしたのがハロゲン電球の導入である。1961 年にヨウ素入り白熱電球(いわゆるハロゲン電球)が開発され、従来の白熱電球に比べて高効率・長寿命・高出力が実現された。さらに 1966 年には、二重コイル構造を持つダブルエンド型ハロゲン電球を採用したフレネルレンズスポットライトが株式会社龍電社より開発され、LQS 型として製品化された(図 6.33)。これにより照明器具の高出力化と同時に小型化が進み、テレビスタジオや舞台現場における運用性が大きく向上した。

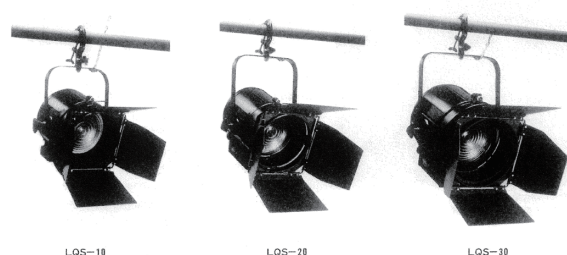


図 6.33 クォーツ(ハロゲン)スポットライト LQS 型
(株式会社龍電社)

また同時期には、フレネルレンズスポットライトに「バンドア(遮光羽根)」を付加し、光束の広がりや照射範囲を制御できる構造が一般化した。これにより演出的効果の幅が拡大し、舞台照明やテレビ撮影における多様な要求に対応できるようになった。また、当時のテレビカメラは感度が低く、十分な画質を得るためには大光量の照明が不可欠であった。そのため、LQS型のように高出力かつ操作性に優れた器具はテレビスタジオ照明の中核を担い、通称「ジュニアスポットライト」として広く普及した。

6.8.4 バイポスト型電球を使用したフレネルレンズスポットライト

1970年代に入ると、照明器具における光源技術はさらなる進化を遂げた。その代表例が、C-13形状にフィラメントを平面配置したバイポスト型ハロゲン電球の登場である。この電球は、従来のダブルエンド型ハロゲン電球に比べて発光面の均質性が高く、光学系との組み合わせによって照射面における配光のムラを大幅に低減することが可能となった。これにより、フレネルレンズスポットライトの性能は一段と向上し、均一で明るい光を提供できるようになった。

当初、この種のフレネルレンズスポットライトはテレビスタジオ用照明器具として開発されたものであった。しかし、器具自体が軽量かつコンパクトでありながら、均質な配光と十分な光量を備えていたため、舞台上部に設置するサスペンションスポットライトとしても急速に普及した。こうしてバイポスト型電球を採用したスポットライトは、テレビスタジオと舞台照明の双方で広く利用される汎用的な照明器具へと発展し、1970年代以降の標準的な光源・器具構成の一つとして定着していった(図 6.34)。



図 6.34 バイポスト型ハロゲン電球を使用したフレネルレンズスポットライト FQ-1500W (丸茂電機株式会社)

6.8.5 ハイベックスレンズスポットライト

ハイベックスレンズスポットライトは、従来の平凸レンズやフレネルレンズを用いたスポットライトに代わる、高性能な舞台照明機器として開発された(図 6.35)。従来のフレネルレンズでは、照射ムラやフレネルレンズで生じるリング状のハレーションおよび配光のエッジがくっきり出ないというような課題があった。ハイベックスレンズは非球面構造とガラスレンズにおいて非常に小さいステップのレンズ形状が製作できるような製造方法を採用することで、配光の均一性と収束性を向上させた。照射光の中心から周辺まで滑らかな配光を実現し、照射範囲内外での明暗の境界が明瞭かつ自然であるため、演出において非常に有効であった。

このハイベックスの発展型として登場したのがメニスカスハイベックスである(図 6.36)。メニスカス(凸凹)形状を採用することで、配光の滑らかさと効率の向上を実現した。ハイベックスおよびメニスカスハイベックスは、コンピュータの進化による光学設計技術と製造技術によって製作が可能になった製品である。



図 6.35 HQE 型ハイベックスレンズスポットライト (丸茂電機株式会社)



図 6.36 メニスカスハイベックスレンズを使用した FQH-1500S1 スポットライト (丸茂電機株式会社)

6.8.6 フレネルレンズスポットライトの変遷の

まとめ

1930年代に登場したフレネルレンズスポットライトは、映画撮影用サンスポットの代替として軽量・高効率な照明手段を提供し、舞台照明の世界に広く普及した。1935年の丸茂電機製作所のHF型を皮切りに、戦後はテレビスタジオの普及とともに株式会社龍電社のジュニアソーラースポットライト(1955)が開発され、さらに1960年代にはハロゲン電球の導入によりLQS型(1966)が登場し、コンパクトかつ高出力の性能を実現した。1970年代にはバイポスト型ハロゲン電球の採用によって配光の均一性が飛躍的に改善され、舞台・テレビスタジオの双方でフレネルスポットが標準的な器具として定着した。

1990年代には、光学設計と製造技術の進化を背景に、丸茂電機株式会社のハイベックスレンズスポットライト(1991)が開発された。従来のフレネルレンズに見られたリング状のハレーションなどの問題を克服し、非球面設計と精密な加工技術によって均一で滑らかな配光を実現した点は画期的であった。

従来のフレネルレンズスポットライトの主用途であるサスペンションスポットライトをターゲットにした。メニスカス形状を導入した派生型は、効率と演出性を一層高め、フレネルレンズの明かりを刷新した。

このように、フレネルレンズスポットライトは単なる軽量化技術から出発し、光源の進化とともに改良を重ね、「明るさの確保」から「光の質と表現力の追求」へと移行していった過程を端的に物語っている。

6.9 まとめ

単レンズスポットライトは、その構造の単純さから舞台照明の基礎を支え、1930年代以降、平凸レンズやフレネルレンズ、さらに非球面設計を用いた形へと進化を遂げてきた。これらは光学的には単一のレンズで配光を制御する、舞台照明における最も基本的な光学系の一つである。

また、舞台や映像表現の高度化に伴い、演目によっては、照射範囲の正確な成形、投影、鋭いエッジを持つ配光が求められるようになった。

これを実現する照明器具が、楕円面反射鏡やコンデンサーレンズを用いた集光光学系と結像光学系を組み合わせたプロファイルスポットライトであり、その特性を生かしたフォロースポットライトにも採用されるようになった。

次章では、これら複合光学系を用いたスポットライトについて、その構造的特徴と発展の系譜を整理し、照明技術の進化を明らかにする。

参考文献

- 1) 丸茂電機製作所,「カタログ B-06」, p.19 (1937)
- 2) 石崎有義,「白熱電球の技術の系統化調査」, 国立科学博物館, 技術の系統化報告, 共同研究編, 第4集, pp.15-17 (2011)
- 3) 実新 0195209 号
- 4) 実公昭 39-00664
- 5) 特公平 02-017881
- 6) 実公平 02-031926
- 7) (公社) 日本照明家協会出版委員会,「舞台・テレビジョン照明基礎編 2021」, (公社) 日本照明家協会, pp.150-151 (2021)
- 8) 丸茂電機製作所,「カタログ B-06a」(1937)

図表引用(掲載許諾)

- 図 6.1 丸茂電機株式会社,「取扱説明書 OPMK-3741」, p.4 (2023)
- 図 6.2 丸茂電機製作所,「カタログ B-01」(1928)
- 図 6.3 丸茂電機製作所,「カタログ B-06」, p.19 (1937)
- 図 6.4 岩崎電気株式会社,「技術資料 促進対候性試験機の現状」, <https://www.iwasaki.co.jp/tech-rep/technical/05/> (2025 年 9 月 20 日閲覧)
- 図 6.5 丸茂電機製作所,「カタログ B-06」, p.19 (1937)
- 図 6.6 丸茂電機製作所,「カタログ B-06」, p.21 (1937)
- 図 6.7 東京芝浦電気マツダ支社,「マツダ製品総合カタログ」, p.22 (1939)
- 図 6.8 筆者作成
- 図 6.9 丸茂電機製作所,「カタログ B-01」(1928)
- 図 6.10 岩崎令兒,「美しい光を得るために」, 日本照明家協会, p.24 (1990)
- 図 6.11 丸茂電機製作所,「カタログ B-01」(1928)
- 図 6.12 岩崎令兒,「美しい光を得るために」, 日本照明家協会, p.26 (1990)
- 図 6.13 丸茂電機製作所,「カタログ B-06」, p.16 (1937)
- 図 6.14 岩崎令兒,「美しい光を得るために」, 日本照明家協会, p.26 (1990)
- 図 6.15 丸茂電機株式会社,「カタログ B-14」, p.5 (1959)
- 図 6.16 筆者作成
- 図 6.17 株式会社松村電機製作所 100 周年記念サイト <https://www.matsumuradenki.co.jp/100th/history/2nd/>

- 図 6.18 岩崎令兒, 「美しい光を得るために」, 日本照明家協会, p.30 (1990)
- 図 6.19 丸茂電機株式会社, 「カタログ B-18」, pp.12-13 (1967)
- 図 6.20 実公昭 39-00664
- 図 6.21 遠山静雄, 「舞台照明学 下巻」, リプロポート, p.104 (1988)
- 図 6.22 岩崎令兒, 「美しい光を得るために」, 日本照明家協会, p.35 (1990)
- 図 6.23 松下電工株式会社, 「STAGE LIGHTING EQUIPMENT」
- 図 6.24 松下電工株式会社, 「STAGE LIGHTING EQUIPMENT」
- 図 6.25 株式会社松村電機製作所, CX CS カタログ
- 図 6.26 アールディエス株式会社, 「光とともに 50 年」, p.61 (1998)
- 図 6.27 松下電工株式会社, 「STAGE LIGHTING EQUIPMENT」 (1985)
- 図 6.28 松下電工株式会社, 「STAGE LIGHTING EQUIPMENT」 (1985)
- 図 6.29 筆者作成
- 図 6.30 丸茂電機製作所, 「カタログ P-02」, p.2 (1936)
- 図 6.31 丸茂電機製作所, 「カタログ B-06a」 (1937)
- 図 6.32 アールディエス株式会社, 「光とともに 50 年」, p.61 (1998)
- 図 6.33 アールディエス株式会社, 「光とともに 50 年」, p.61 (1998)
- 図 6.34 丸茂電機株式会社創立 100 周年社史編集委員会, 「丸茂電機株式会社の 100 年」, 丸茂電機株式会社, p.79 (2020)
- 図 6.35 丸茂電機株式会社創立 100 周年社史編集委員会, 「丸茂電機株式会社の 100 年」, 丸茂電機株式会社, p.109 (2020)
- 図 6.36 丸茂電機株式会社, 「PROFESISONAL LIGHTING EQUIPMENT STAGE & TV STUDIO」, p.149 (2023)

コラム フレネルレンズの設計と製造について

フレネルレンズの設計

非球面レンズの設計と同様に、フレネルレンズの設計もコンピュータ技術の進歩に伴い、設計手法が飛躍的に向上してきた。コンピュータが一般化する以前は、手作図によって設計を行うほかに手段がなく、硝子の屈折率および焦点位置を基に、中心部から外側に向かって各輪帯の曲率半径とその中心位置を逐次求めていく手法が用いられていた。フレネルレンズ周辺部の輪帯は図 1 のように軸外しの球面形状となるのが一般的であった。

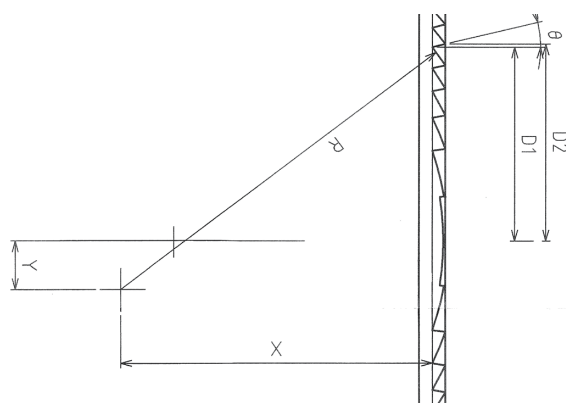


図 1 フレネルレンズの形状

1980 年代に入ると、設計にミニコンピュータやパーソナルコンピュータ (PC) が導入され始め、輪帯を楕円などの二次曲面で形成したフレネルレンズの設計が可能となった。

さらに 1980 年代後半には、EWS (エンジニアリング・ワークステーション) がシミュレーション環境として使用されるようになり、計算速度も大幅に向上した。ただし、現在の PC と比較すれば速度は遅かったものの、ユーザーインターフェースやグラフィック環境の進化により、設計・評価環境は飛躍的に改善された。このような技術進化の恩恵を受けて、フレネルレンズの設計も、当初は 2 次元配光データを用いた

設計であったが、やがて配光から逆算してレンズ曲面を生成する方式へと発展していった。現在では、光源の形状を実際の幾何形状として入力できるだけでなく、光源の配光データも正確に反映可能となり、希望する照射面での配光分布からレンズ形状を最適化して生成することが可能となっている。

この変化は、コンピュータシミュレーションおよび最適化技術の進化を如実に示しており、設計者としてその進歩を実感せざるを得ない。

照明とは少し離れるが、筆者は太陽光集光系のフレネルレンズの設計を行っていたことがあったことから太陽光発電に用いるフレネルレンズの設計について述べる。

化合物半導体を用いた太陽光発電で太陽光を集光する用途にフレネルレンズを利用することもあり太陽光からの光をフレネルレンズで集光してロッドレンズでホモジナイズするような構成である。

太陽光発電に使用するレンズでは視野角は半角で0.27度と小さいのに対して口径が大きい光学系であるため、主に球面収差が大きな影響をもたらす。

球面収差を除去するもっとも簡単な方法は入射側を平面として各光路長が同じになるように面を構成すれば球面収差は除去できる。光路長が同じということは図2において、光軸を通る $O'' \rightarrow O' \rightarrow O \rightarrow f$ の光路と任意の光線高を通る $P' \rightarrow P \rightarrow f$ の光路長が等しくなるようにすればよい、詳しい計算は省略するがこの曲面は双曲面となる。

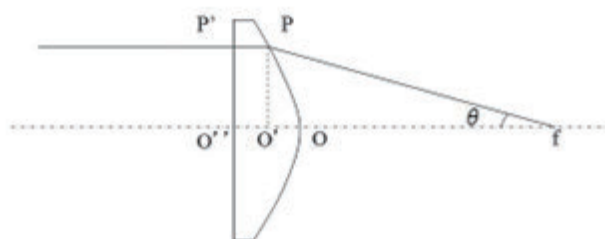


図2 光路長が同じ光学系の概念

この考えを各輪帯に適用してフレネルレンズを構成すれば平面側入射のフレネルレンズが設計できる。このようにフレネルレンズの設計もコンピュータの進歩とともに進化していったといえる。

フレネルレンズの製造

一般的に照明用のフレネルレンズは、研磨で製作することはできず、ダイレクトプレスという溶解したガラスを直接金型でプレスを行うことで成型する。

プレス加工では加工時の圧力、ガラスの温度（約1,300℃）、プレス圧力、プレスの保持時間や金型とガラスの離型のための煤のつけ具合など様々な条件を設定してプレスを行う。

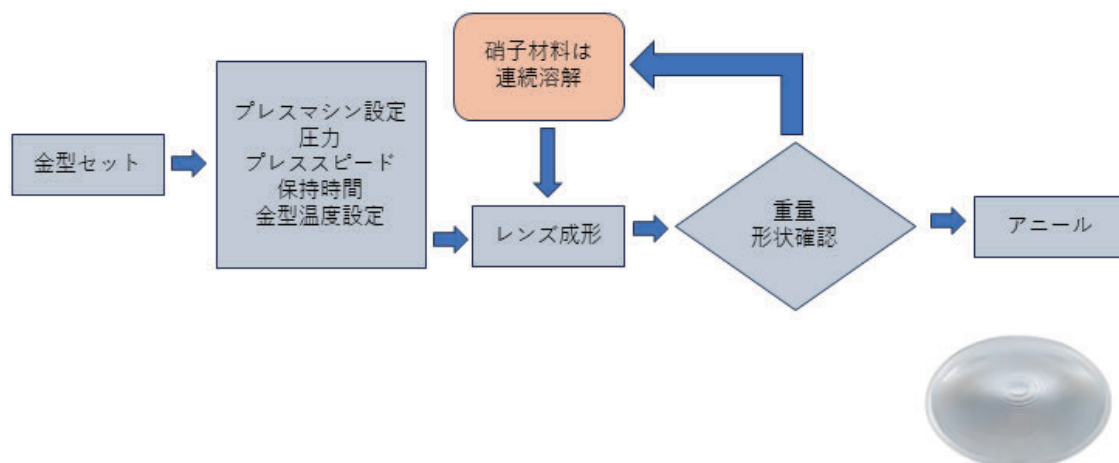


図3 フレネルレンズ製作工程



図 4 (a) 連続溶解炉からガラス種を金型に落としはさみで切る



図 4 (b) 切った後をバーナーでなじませプレスへ



図 4 (c) エアで冷却したのち取り出し



図 4 (d) 形状確認、重量測定



図 4 (e) OK ならアニールへ

フレネルレンズ製造現場

取材の中で印象的だったのは、フレネルレンズのプレス成形に関わる現場のご苦労である。いったんプレスが始まれば工程自体は流れていくものの、その前段階では膨大な準備が求められる。金型の取り付け、セッティング、そしてプレス条件の調整。これらは単なる機械的な操作ではなく、ガラスの温度、環境条件、湿度など細かな要因によって左右されるため、基本条件があるとはいえ、毎回多くのパラメータを突き合わせて設定しなければならない。まさに熟練の技術と経験に支えられた作業である。

さらに、製造頻度が高ければ条件が安定しやすいが、実際には多くても年に数回、場合によっては年に一度しか製作しないこともある。そのような中で最適な条件を思い出し、確実に製品を仕上げていくのは並大抵のことではない。その努力の積み重ねが、我々が日常的に使用する高精度なフレネルレンズを支えているのである。

厳しい環境の中で高品質な製品を作るためには、レンズメーカーの協力なしでは実現できない。

取材協力

日本無線硝子株式会社（2025 年 4 月 18 日取材）

図 1 筆者作成

図 2 筆者作成

図 3 筆者作成

図 4 (a), (b), (c), (d), (e) 日本無線硝子株式会社から提供

7 | プロファイルスポットライトの光学系の特徴と変遷

プロファイルスポットライトの光学系は、光源から発せられた光を反射鏡やレンズなどの光学部品によって制御し、アパチャーと呼ばれるゲート部に集光した後、それを投影レンズによって舞台上に投影する構造を持つ。反射鏡を用いる形式では、反射鏡の形状が楕円面であることからエリプソイダルスポットライト (Ellipsoidal Spotlight) とも呼ばれている (図 7.1)。

また、2 kW 級の大出力ハロゲン電球を光源とするタイプでは、非球面コンデンサーレンズを組み込んだ集光光学系が採用され、よりフラットな配光と効率的な集光が可能となっている (図 7.2)。

このような光学系を備えたスポットライトは、サスペンションスポットライト、フロントサイドスポットライト、バルコニススポットライト、シーリングスポットライトといった多様な設置場所で利用され、さらに

フォロースポットライトとしても応用されている。ただしフォロースポットライトは演者のフォローを行うという用途に特化しているため、構造上に特殊な工夫を持つ場合が多い。したがって本章では、まずフォロースポットライト以外のプロファイルスポットライトについて述べ、その後にフォロースポットライトについて解説を行う。

7.1 フォロースポットライト以外のプロファイルスポットライト

外観構造は灯体中央にゲート部を有し、そこには可動式のカッター (フレーミングシャッター) が装備されている。この機構により、照射光の形状を矩形や台形などに調整でき、舞台上の必要な範囲だけを精密に

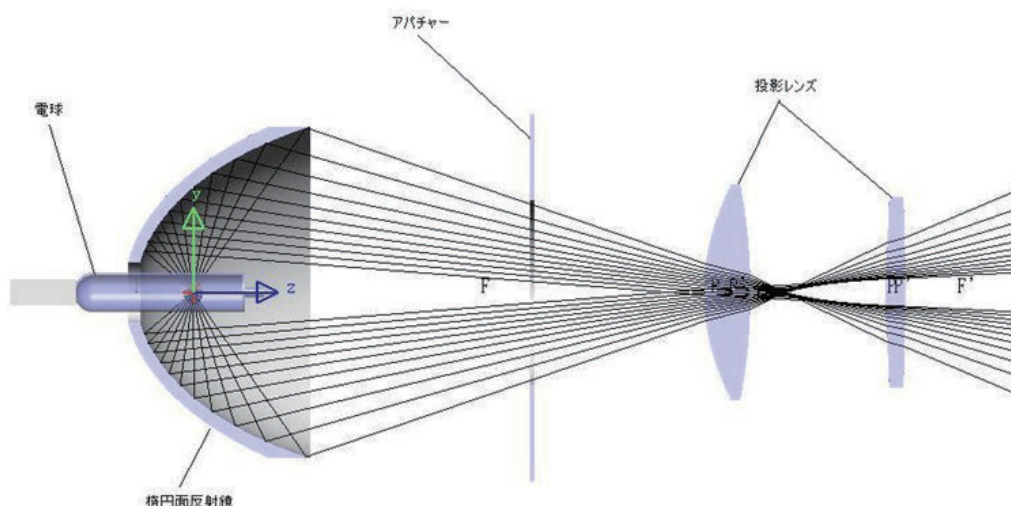


図 7.1 プロファイルスポットライトの集光光学系 (エリプソイダルリフレクタ)

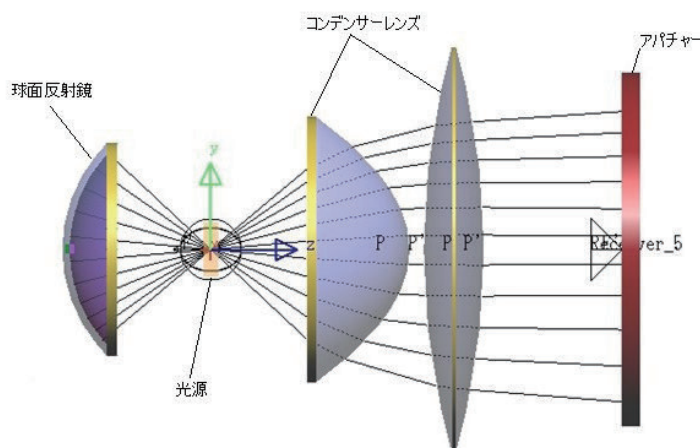


図 7.2 非球面コンデンサーレンズを用いた集光光学系

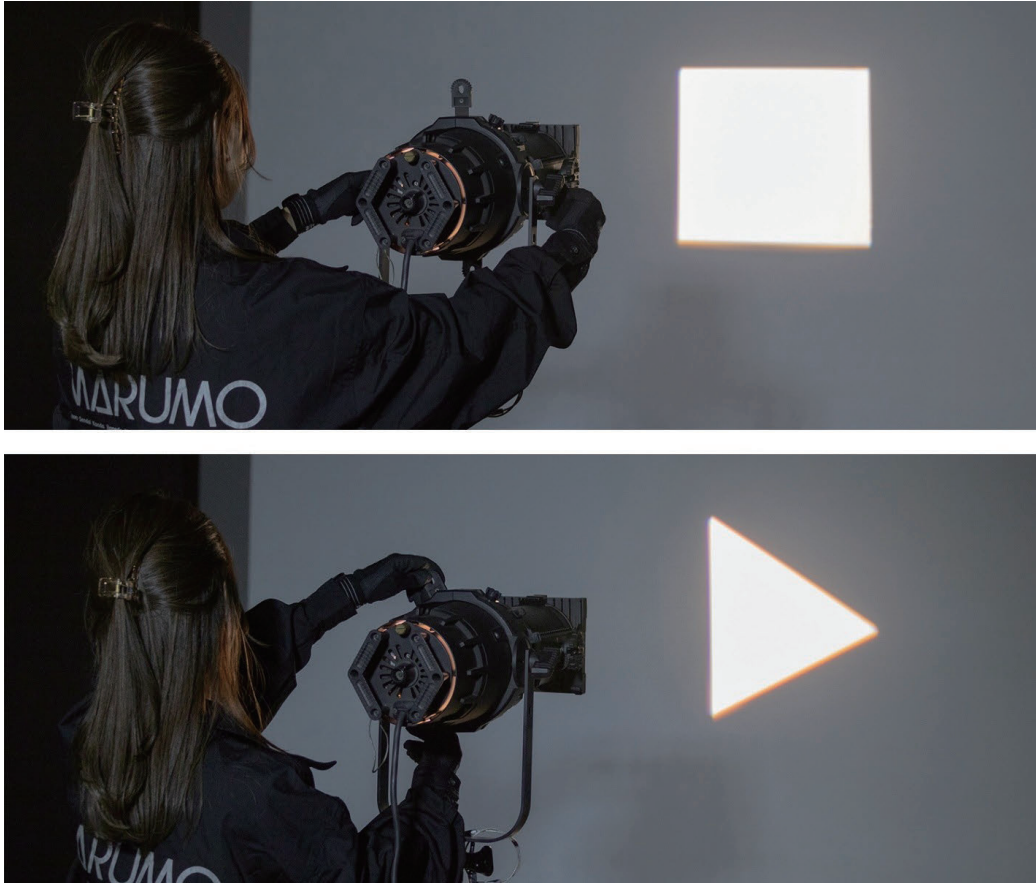


図 7.3 カッターを使用して明かりをカット

切り取って照射する手法が可能となった(図 7.3)。

さらに、ゲート部に「ゴボ」と呼ばれる金属製あるいはガラス製のパターン板を挿入することにより、照射面に模様や図形を明瞭に投影するプロジェクター的な用途に加え、ピントを意図的に外して光の境界を柔らかくすることで、空間的・視覚的効果を演出することも可能である。

このようにプロファイルスポットライトの普及は、従来の一様な配光を基盤とした照明とは異なり、照射範囲・形状・明暗のコントロールによって空間全体の印象を造形する手法を一般化させ、舞台照明の表現を広げたといえる。

各時代のプロファイルスポットライトについて解説を加える。

7.1.1 ERS 型スポットライト

丸茂電機株式会社が1963年に開発したERS型スポットライトは、フォロースポットライトとして開発を行った後述するER-2型スポットライトに対してフロントサイドなどからの照明として、アイリスシャッターではなくフレーミングシャッターを実装して、照明器具を吊った状態でも使用できるような構造とした(図 7.4)。

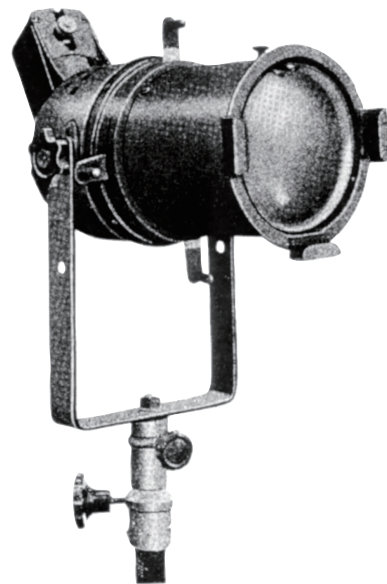


図 7.4 ERS 型スポットライト(丸茂電機株式会社)

7.1.2 SPOX

株式会社松村電機製作所が1971年に開発したSPOX 300 W は、国産初期のプロファイルスポットライト製品である。楕円面反射鏡による光学系を採用し、ゲート部に集光された光をレンズ系で投影するこ

とで、明瞭なエッジと均一な照度分布を実現した。光源には 300 W のハロゲンランプを使用し、当時としては優れた演色性と明るさを両立していた。筐体は軽量で扱いやすく、小劇場やショールームなどでの使用を想定して設計されていた(図 7.5)。



図 7.5 SPOX150、300W (株式会社松村電機製作所)

7.1.3 940 エリスポット

940 エリスポットは、株式会社龍電社が 1980 年前後に開発したハロゲン電球を光源とした、プロファイルスポットライトである。明るく操作性が良いことで、オペラやバレエ、さらには本格的な演劇照明において広く採用された。940 型は日生劇場をはじめとする国内主要劇場に導入され、当時の舞台照明の標準的なプロファイルスポットとなった。この製品により、ミュージカルやオペラでは、平凸レンズを主としたスポットライトから、プロファイルスポットへの移行が加速した(図 7.6)。



図 7.6 940 エリスポットライト (株式会社龍電社)

7.1.4 MIP-6Z、MIP シリーズ

株式会社松村電機製作所が 1982 年に開発した

「MIP-6Z」は、国内で初期に製品化されたズーム式エリプソイダルスポットライトで、可変焦点化を実現した製品である。従来の固定焦点型プロファイルスポットライトに対して、ズーム機構を導入することで、投影距離や用途に応じた照射角の調整が可能となった。

光学系は 2 群構成のズームレンズを採用し、13 度から 27 度の範囲での照射角の連続調整を可能としていた。1987 年には固定焦点のエリプソイダルスポットライトをシリーズ化して、固定焦点の 20 度、30 度、40 度、50 度の製品と 23 度から 40 度の広角型ズームスポットライトを開発した。



図 7.7 MIP シリーズエリプソイダルスポットライト (株式会社松村電機製作所)

7.1.5 ハレーション防止プロファイルスポットライト

カッター (フレーミングシャッター) を用いて照射光をカットすると、投影レンズ裏面からの反射光でカッター羽根が照らされどうしても羽根のハレーションがおきてしまう。

松下電工株式会社が開発したこの製品は、カッターの羽根を 2 重にすることでハレーションを少なくした製品である¹⁾(図 7.8)。

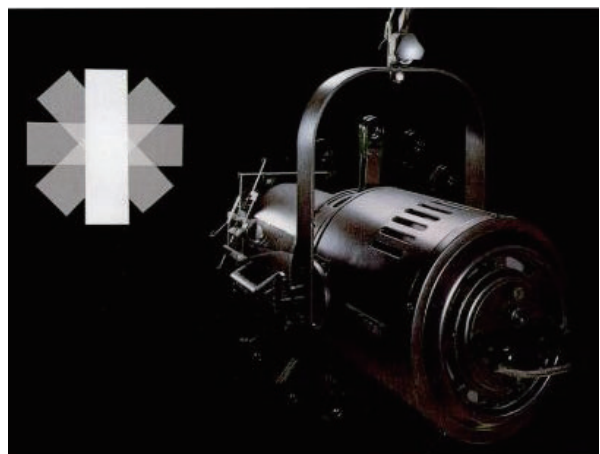


図 7.8 ハレーション防止スポットライト (松下電工株式会社)

7.1.6 ソースフォー スポットライト

1990年にETC社(Electronic Theatre Controls)が開発したソースフォー スポットライトは、エリプソイダル スポットライトの標準を塗り替えた製品である。開発当初は19度、26度、36度、50度の固定焦点レンズを搭載したモデルが製品化され、その後15度から30度、25度から50度のズームレンズがラインナップに加わった。外観はダイキャスト筐体を採用し、レンズチューブ全体を前後に移動させることでフォーカス調整を行う構造となっている(図7.9)。

光源には従来のエリプソイダル スポットライトで用いられていた二重コイルのハロゲン電球に代えて、



図 7.9 ソースフォー (ETC 社)



図 7.10 HPL 型電球

HPL 型電球が採用された。HPL 型は光軸に対して円周上に4セルのフィラメントを配置することで、アパチャーに対する集光効率を高め、より明るい照射面としている(図7.10)。

反射鏡には赤外線透過型楕円面反射鏡を採用し、ゴボやカラーフィルタへの熱影響を低減した。

投影レンズについては、投影レンズの非球面化を行い、明るさを損なうことなく収差補正を可能とした。このことによって、標準的なプロファイル スポットライトとして、広く普及するに至った。

7.1.7 ECR2 プロファイル スポットライト、 ECR2 ズーム プロファイル スポットライト

日本国内においてもオペラやミュージカル分野でプロファイル スポットライトの使用が一般化し、その需要が拡大する中、国産で高水準の性能を持つ機材の開発を目指し、2000年に「ECR スポットライト」を丸茂電機株式会社が発表した。初期モデルは多層膜反射鏡および非球面レンズを用いた結像光学系を採用し、筐体にはエンジニアリングプラスチックを導入するなど、軽量化と高性能化を目標とした設計がなされていた。その後、2003年にはコスト低減とバリエーション拡充を目的に「ECR2 型 プロファイル スポットライト」として製品化され、ズーム機構を搭載した新モデルが加わった(図7.11)。

ラインナップは19度、26度、36度、50度の固定焦点4機種と15度から25度、20度から35度、30度から50度のズームタイプ3種類とし、光源にはC-13D型フィラメントの750 W ハロゲン電球が採用された。反射鏡は多層膜構造を持ち、赤外線の照射面への放射を抑制している²⁾。



図 7.11 ECR 2 ズーム プロファイル スポットライト
(丸茂電機株式会社)

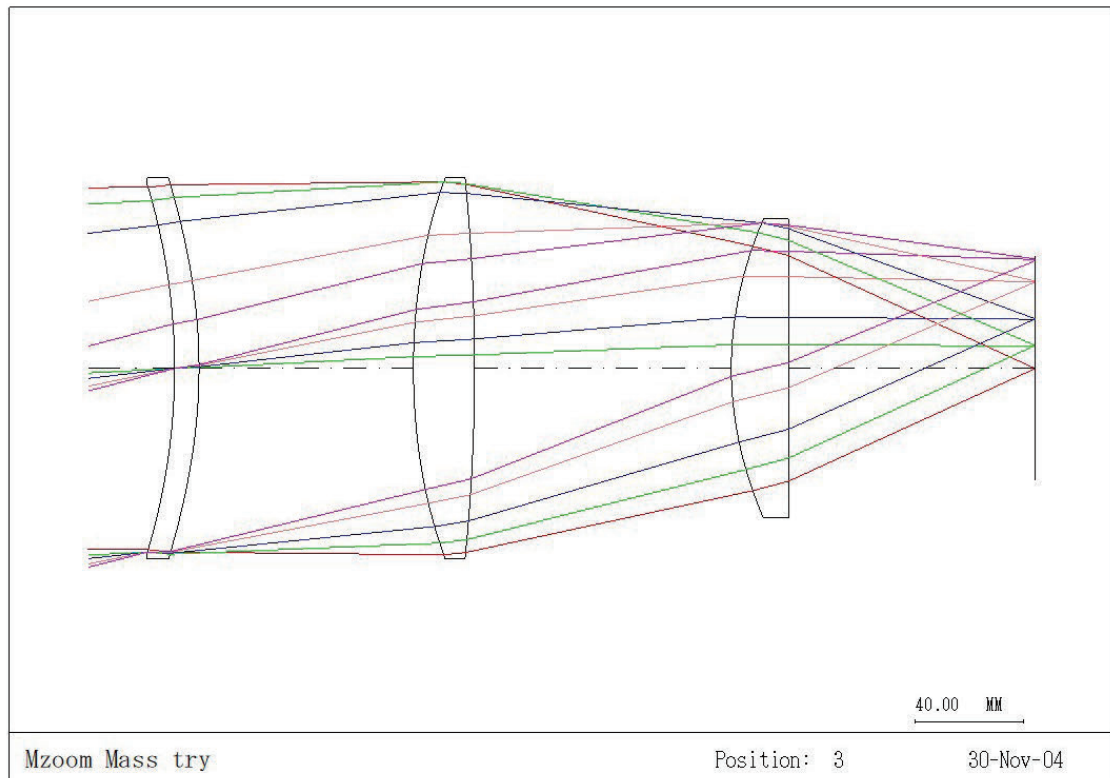


図 7.12 ECR 2 ズームの光路図

光学性能において特に重視されたのは結像性能で、従来比で照射面においてコントラスト 3 倍の向上を目標として開発が進められた。照明用レンズの硝材として一般的な N-BK7 や B270 に代えて結像性能を向上させるため、従来と異なる光学ガラスを採用し、収差補正を行った。開発当初は両面非球面や大きな変曲点を持つレンズ設計も試みられたが、設計と実測値の乖離が大きく、最終的には 1 枚のレンズに対して 1 面のみの非球面レンズを採用し、変曲を伴わない安定した形状へと再設計された。製品化したスポットライトの光路図を記す(図 7.12)。

ズームレンズ構成はいずれも 3 群 3 枚で、ズーミング動作においても焦点位置が変動しない「合焦ズーム」が採用された。これは他の光学機器では一般的な技術であったが、舞台照明器具としては当時画期的であり、高精度な回転ごとに送り量の異なる不等ピッチ送りネジの導入により実現された。従来機材にはズームとピント調整を一体化した操作系を備えるものもあったが、ズーミング中も完全に焦点を保持できる仕様を実現したのは、本製品が国内初の例であった³⁾。

7.1.8 プロファイルスポットライトのまとめ

プロファイルスポットライトは、国内では 1960 年代から開発が始まり、光源やフレーミングシャッター、

操作性の改良を経て、1990 年の ETC ソースフォー、2000 年からの ECR/ECR2 へと発展してきた。これにより、舞台照明の表現力が向上し、現代の演劇・オペラ・ミュージカルにおいて不可欠な機材として確立された。

7.2 FOH に使用する容量の大きなプロファイルスポットライト

劇場の大型化が進むとともに、オペラやミュージカルを中心とした演目を主とする劇場が増加している。このような背景から、2 kW 以上の大出力を有するプロファイルスポットライトが、FOH (Front of House: フロントサイドやシーリングなどの前明かり) において使用される機会が増加している。

特にバルコニーやシーリングなどの位置では、照射距離が長くなるため、明るくかつ開き角の小さい(狭角)照明器具が必要とされる。このニーズに応える形で、2 kW クラスの固定焦点型およびズーム型プロファイルスポットライトが製品化された。

これらの機器に用いられる光学系は主に二種類に大別され、一つは楕円面反射鏡を用いて光をゲート位置へ集光する方式であり、もう一つは非球面コンデンサーレンズを使用する方式である。いずれも、光束を



図 7.13 EM シリーズプロファイルスポットライト (株式会社松村電機製作所)

効率的に収束と投影性能の向上を目的とした設計となっている。

7.2.1 EM プロファイルスポットライトシリーズ

株式会社松村電機製作所が 1998 年に開発した「EM プロファイルシリーズ」は楕円面反射鏡を使用した製品群で、12 度、17 度、23 度、30 度の 4 種類の固定焦点モデルと、17 度から 30 度のズームモデルが製品化された (図 7.13)。

このシリーズでは、2 kW クラスのハロゲン電球が採用されており、電球には特にベースアップ (口金が上方に位置する取付方向) での使用環境対策として、電球内部に遮熱壁を設け、封止部の温度上昇を抑制する防熱構造を採用している。

反射鏡は、アルミニウム合金製基材に多層膜 (ダイクロイックコーティング) を施したメタルダイクロイックミラーを採用しており、反射効率と照射光に含まれる赤外線を低減している。

また、通風経路を最適化した筐体構造で冷却性能も考慮されている。

7.2.2 ENIZOOM プロファイルスポットライト

エミールニートハマー社が 1990 年に販売した非球面コンデンサーレンズを用いたプロファイルスポットライトで 10 度から 22 度、15 度から 40 度のズームプロファイルスポットライトである。非球面コンデンサーレンズを用いたプロファイルスポットライトは欧州の製品が一般的でエミールニートハマー社もドイツ企業である。

非球面コンデンサーレンズのプロファイルスポットライトは楕円面反射鏡の製品と比較すると中心部と周辺部の明るさの差が少ないフラットな配光が得られる傾向であることから、カッター (フレーミングシャッター) でエリアを作ってベースライトとする用途が多くオペラの舞台照明で使用する主要機材となっている (図 7.14)。



図 7.14 HPZ 112 (エミールニートハマー社)

7.2.3 FOH に使用する

プロファイルスポットライトのまとめ

FOH 用の大容量プロファイルスポットライトは、舞台の規模拡大やオペラなど演目の多様化に対応するために使用されることが増えてきた。楕円面反射鏡型や非球面コンデンサー型などゲートに対する、集光光学系は異なるが、平凸スポットライトと比較すると複雑な演出が可能になり、FOH からの明かりは変革していったと考える。

7.3 ITO-650 W とその周辺

7.3.1 ITO-650 W

ITO-650 W は、株式会社東京舞台照明が「欧米製機材に引けを取らない国産プロファイルスポットライトの開発」を掲げて 1986 年に製品化した照明器具で、本製品においては、プロファイルスポットライトの基本構成要素である光源 (電球) とレンズ光学系に特に注力がなされた⁴⁾ (図 7.15)。

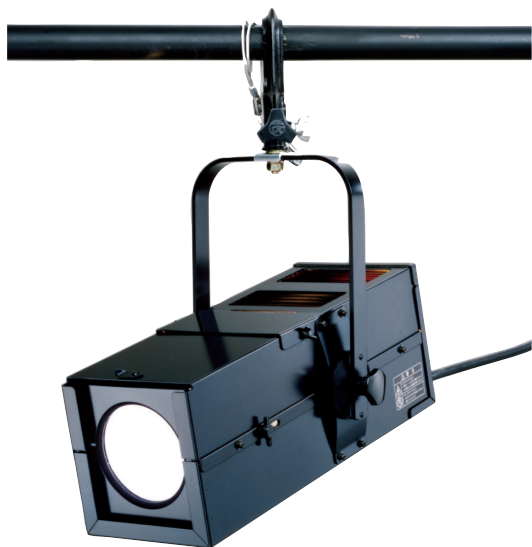


図 7.15 ITO-650 W フィールド角 23度
(株式会社東京舞台照明)

開発コンセプトの中心的な役割を担ったのは株式会社東京舞台照明に所属された舞台照明家の伊東保典で、とりわけゴボ（模様板）使用時の光束描写の美

しさに強いこだわりを持って設計指針が策定された。初期のコンセプトスケッチには、「クオリティーパーライト（高品質なパーライト）」という表記が確認でき、そこには「くっきりとしたビーム」「明瞭なエッジでの投影」など、ビーム品質に対する高い設計目標が明記されている（図 7.16）。

光源の寿命は当時の一般的なスポットライトだと 500 時間程度であるが、明るさを優先するために、70 時間の寿命とされた。また、反射鏡一体型の電球を採用しており、電球とリフレクタの相対位置が工場出荷時に最適化されているため、個体ごとの光軸ずれや集光不良の発生を最小限に抑えることが可能となった。ITO-650 W の開発においては、照明器具本体のみならず、専用ゴボおよびアクセサリ類の開発も同時並行で進められた（図 7.17）。その結果、従来のプロファイルスポットとしての用途に加え、エフェクトスポットライトとしての活用も可能な汎用性を有する製品となった。本機は、その完成度と市場適合性の高さにより、単一型式のスポットライトとしては異例の年間出荷数 3,000 台を超える販売実績を記録し、国産舞台照明機器の中でも特に成功を収めた製品のひとつと位置づけられる⁵⁾。

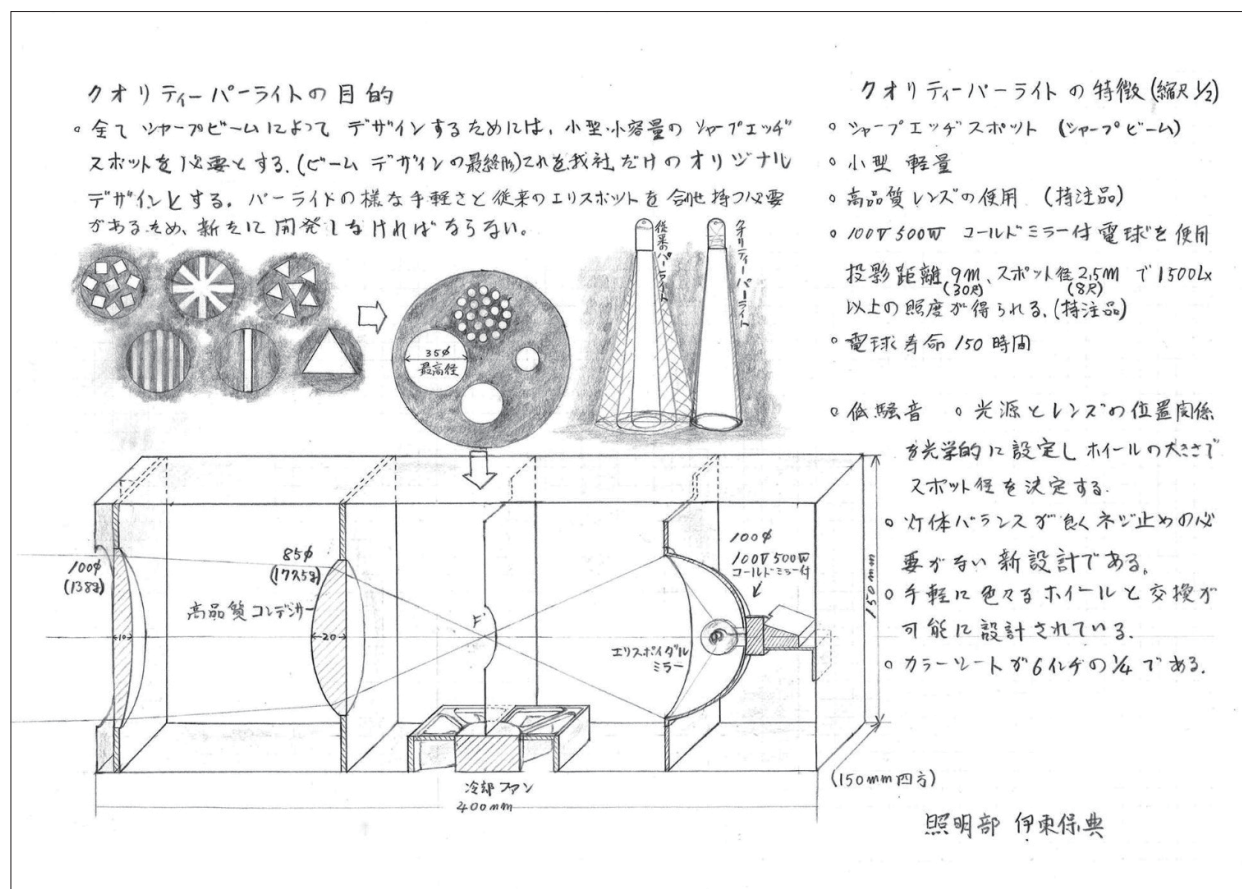


図 7.16 ITO-650 W 初期コンセプト (1986)

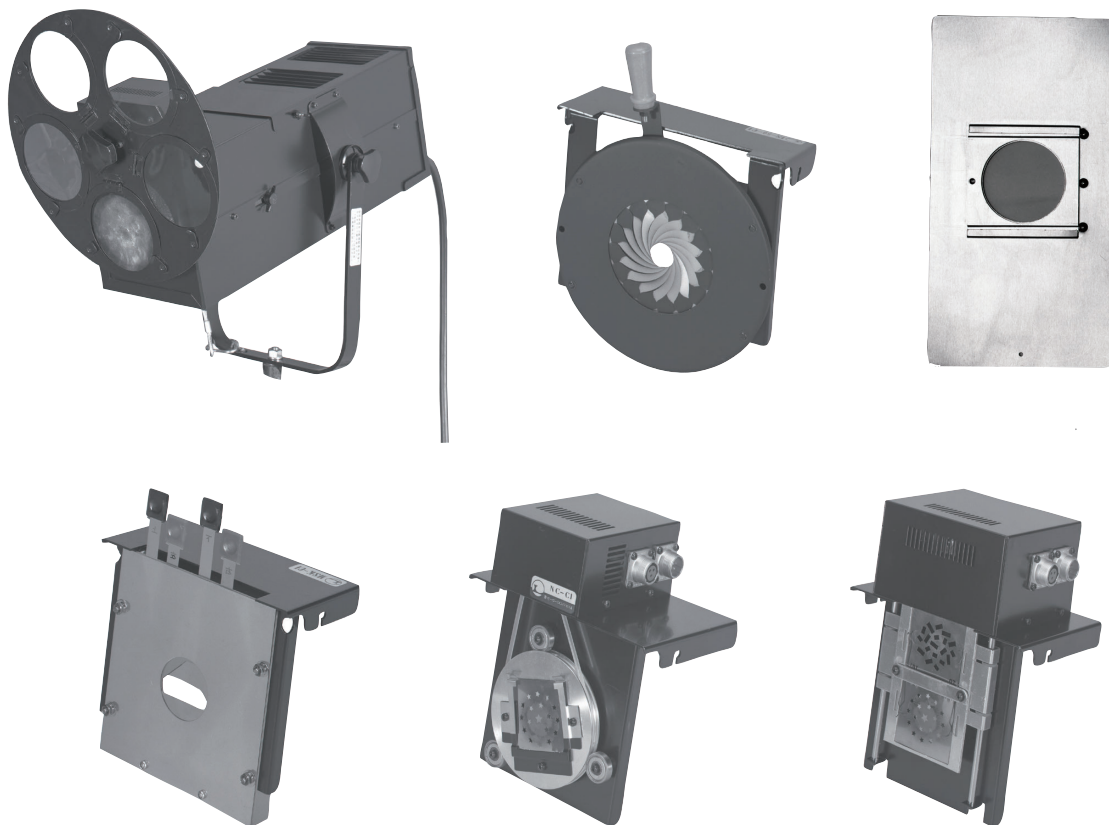


図 7.17 ITO-650 W 用アクセサリ（株式会社東京舞台照明）

その後 ITO-650 W のコンセプトが幅広く浸透するとともに、同じコンセプトを持った製品が開発された。ITO-650 W を運用するうえでランニングコストの問題があった。特に反射鏡一体型の電球は価格が高いことと、明るさを追求するために、寿命を犠牲にした側面があったため、運用コストは高い製品であった。

7.3.2 ピュアビジョン

アールディエス株式会社が 1995 年に開発したピュアビジョンは、反射鏡と電球は個別の構成となっており、電球だけの交換が可能となっている。また、エフェクト



図 7.18 ピュアビジョン（アールディエス株式会社）

マシンを差し込むためのマシンスロットは横と下の部分も外せるようになっていてカッター（フレーミングシャッター）の操作も楽に行えるようになっていた（図 7.18）。

7.3.3 絵夢ライト

株式会社松村電機製作所が 1990 年に開発した絵夢ライトは、ITO のコンセプトと同様にマシン類を使

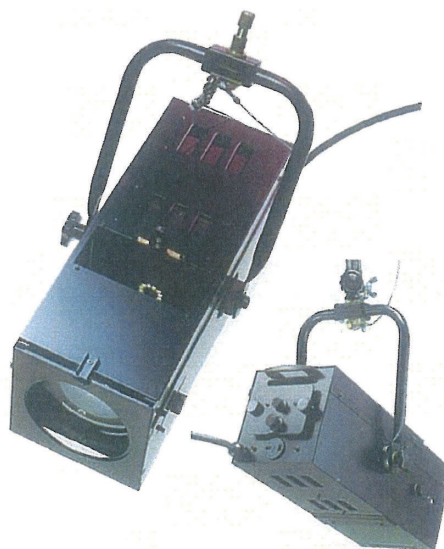


図 7.19 絵夢ライト（株式会社松村電機製作所）

用してエフェク的な効果を上げるSタイプとガラスやフィルムを投影することが可能なLタイプの2種類が製品化されLタイプはズームを採用していた(図7.19)。

7.4 フォロースポットライト

フォロースポットライトは、光学的な構成はプロファイルスポットライトの一種であるが、舞台照明において特定の演者や物体を追尾して照らすための特殊なスポットライトである。主に観客席の後方のフォロースポット室、シーリングなどから操作され、照射範囲・方向・明るさを手動で調整できるように設計されている。照射径の調整(アイリス)、カラーフィルタ(着色)なども調整可能で、舞台上の主演や歌手、ダンサーなどの注目を集める演出に必須の機材である。

現代のフォロースポットライトには、クセノンランプやLED光源が用いられ、大規模ホールの対応も可能な大容量の機種が存在する。操作には経験と技術が必要で演出の重要な役割を担っている。



図 7.20 ER-2 型プロファイルスポットライト
(丸茂電機株式会社)

7.4.1 白熱電球を用いたフォロースポットライト

1950 年代のフォロースポットライトには、後述するカーボンアーク光源を用いた製品も存在していたが、これらは装置全体が非常に大型であったため、主に大規模な劇場やホール等において使用されていた。一方、小規模劇場やフロントサイド(側面前方)からの照射を目的とした用途では、白熱電球を光源とするコンパクトなスポットライトが多く用いられていた。

7.4.2 ER-2 型フォロースポットライト

1955 年に丸茂電機株式会社より製品化された ER-2 型フォロースポットライトは、ガス入り白熱電球を光源とし、楕円面反射鏡、アイリスシャッター、および投影レンズで構成される、初期の白熱電球式フォロースポットライトの代表的製品である(図 7.20)。

特許図面と比較してもわかるように 1937 年に Century 社で開発を行った LekoLite を参考に開発を進めていったと考えられる⁶⁾(図 7.21)。

ER-2 型には D74 型電球が使用されており、ベースアップ(口金上向き)での設置を前提として設計されていた。フォロースポットライトとしての照射径の調

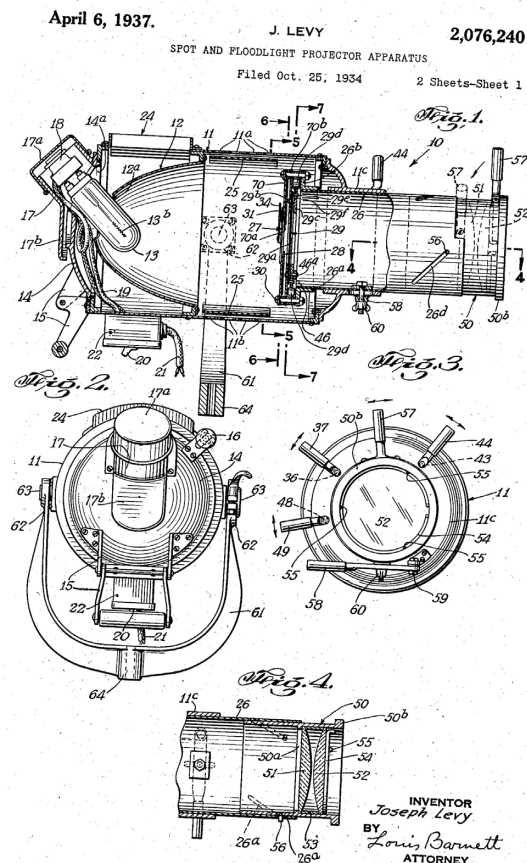


図 7.21 Lekolite 特許図面
(米国登録特許 US 2076240 A より抜粋)

整は、アイリスシャッターの操作によって行われた。

当時は光源に関する光束などの数値データが明示されておらず、容量(ワット数)を指標としておおよその明るさを判断していた。この傾向は現代の照明器具にも共通しており、LED 照明器具においても LED の消費電力から明るさをイメージする傾向がみられる。

ER-2 型フォロースポットライトの構成は、D74 型電球のように外形寸法の大きい電球を使用していたため、口径 300 mm 以上の非常に大きな楕円面反射鏡が採用されていた。このため、現在の 1 kW クラスのフォロースポットライトの投影レンズの口径が 150 mm 前後であるのに対し、口径 200 mm の大型レンズが用いられていた(図 7.22)。これにより、光束を効率的に利用し、実用的な照度を確保していた。実際に 1961 年製造の製品を分解清掃して点灯を行ったが、アイリスシャッターの羽根が熱で変形していて動作は渋かったが配光は非常にきれいであった。



図 7.22 D 74 型電球

7.4.3 MIP-6P、MIP-10 型フォロースポットライト

1971 年に株式会社松村電機製作所が開発した MIP-6P 型フォロースポットライトは、650 W ハロゲン電球を光源とし、ハロゲン電球の小型高出力を活かした光学系で明るく操作性に優れていたため、小規模劇場やホテル、結婚式場など多用途で活用され、カーボンアーク式に比べて扱いやすいため普及した。また、その上位機種である MIP-10 型は 1 kW ハロゲン電球を搭載し、口径 255 mm の大口径レンズを備え、より明るいフォロースポットライトとして使用された(図 7.23)。

1988 年には MIP-6L 型が登場し、MIP-10 と同じ容

量の 1 kW ハロゲン電球を使用しながら、口径 152 mm のレンズを採用することにより軽量化を図り、様々な運用が可能となった。



図 7.23 MIP-6 P(左), MIP-10(右)
(株式会社松村電機製作所)

7.4.4 放電灯を用いたフォロースポットライト

フォロースポットライトにおける放電を利用した光源は、1950 年代から 1970 年代にかけてはカーボンアークランプが主流であり、色温度が高く、強力な白色光で、大劇場や映画館、屋外ステージで長距離投射用として用いられた。しかし、炭素棒の消耗による短い連続使用時間、煙や臭気の発生、交換や調整の煩雑さ、換気・安全対策の必要性など、多くの運用上の制約があったため、1970 年代には代替光源が求められるようになった。

この時期に登場した代表的光源が HMI (Hydrargyrum Medium Arc Iodide) ランプである。HMI は水銀と金属ヨウ化物を封入したアーク放電ランプで、約 5600 K の昼光色に近い色温度と高演色性を持ち、カーボンアークに比べ軽量・扱いやすい点からフォロースポットに適していた。

さらにクセノンアークランプが普及し、分光特性や操作性の点から、1980 年代以降は、国内外でクセノン光源を採用したフォロースポットライトが劇場、コンサートホール、スタジアムに急速に浸透した。

このように、フォロースポットライトの光源は 1950 年代のカーボンアークから 1970 年代の HMI、1980 年代以降のクセノンへと移行し、各時代の要求に応じて進化してきた。近年では LED 光源への移行も進むが、高出力放電光源は現在も大規模劇場など大きな光量が必要な用途で使用され続けている。

7.4.5 カーボンアークフォロースポットライト (1955 年～ 1970 年代)

日本における本格的なカーボンアーク式フォロースポットライトは、1955 年に丸茂電機株式会社製、1957 年に株式会社松村電機製作所製の製品が開発された。構造は直流電源を用いて水平配置した炭素電極



図 7.24 SEB 型フォロースポット (丸茂電機株式会社)



図 7.25 SAP 型カーボンアークフォロースポット (株式会社松村電機製作所)

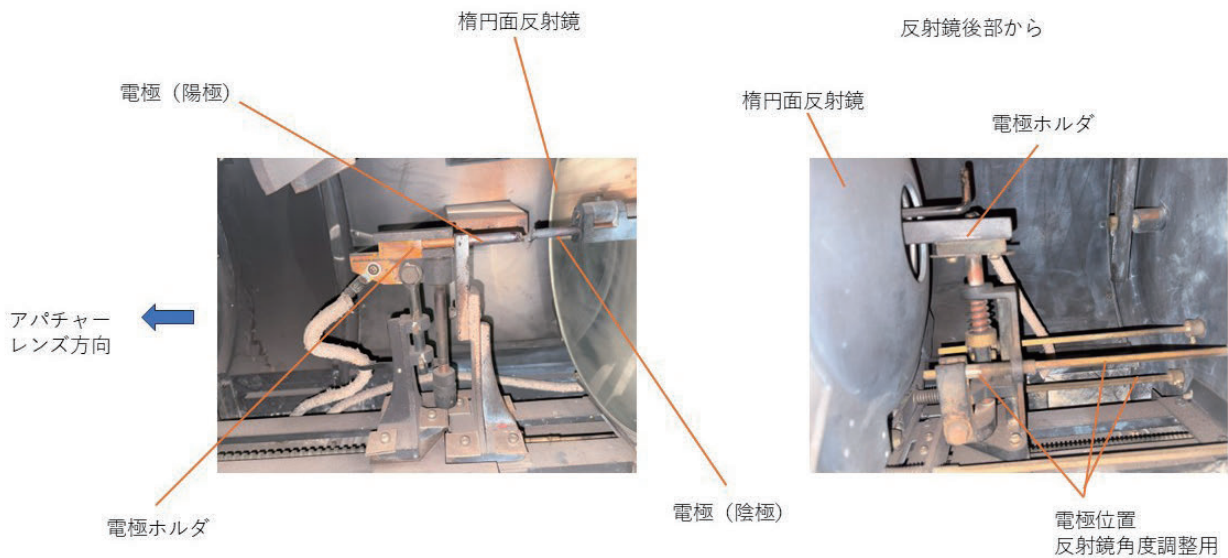


図 7.26 カーボンアークフォロースポットライト反射鏡及び電極調整機構

間にアークを発生させ、楕円面反射鏡で焦点に集光した光をアパチャーへ導き、投影レンズで照射する方式であった(図 7.24, 図 7.25)。

使用に伴い炭素電極が消耗するため、アーク距離や軸合わせを常に調整する必要があり、機材には反射鏡や電極を多方向に微調整する機構が装備されていた。特に陽極・陰極の間隔調整やアーク位置の制御は精密を要し、操作には高度な技術が必要であった(図 7.26)。

これらの調整は運用者の技能に依存する度合いが大きく、熟練を欠く場合は十分な性能を発揮できなかった。筆者自身の実体験からも、理想的な光学調整は容易ではなく、当時のカーボンアーク式フォロースポットライトの操作は熟練技術者の力量に大きく支えられていたことが分かった。

7.4.6 VRX 型クセノンオートスポットライト

1960 年代に開発された丸茂電機株式会社製 VRX 型クセノンオートスポットライトは、国産フォロースポットライト史においてエポックメイキングな存在で、クセノンランプの垂直点灯時における安定性を活かし、タテ型のリモートコントロールスポットライトとして設計された。

光学系には楕円面反射鏡を採用し、アイリスシャッター、フォーカシング機構、カラーチェンジャー、フォロー用ミラー、さらにはイグナイターに至るまで、すべてを遠隔操作でき、当時としては画期的な仕様であった⁷⁾。

性能面では、照射距離約 30 m に対して照射径約 4 m のビームを形成し、主にフロントサイドからのフォロー照明に用いられた(図 7.27)。

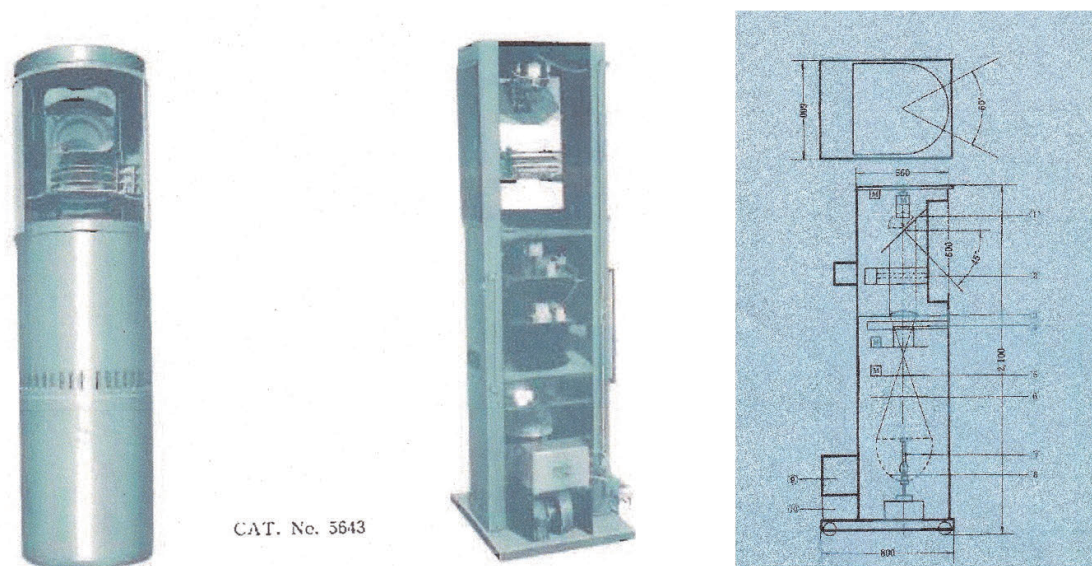


図 7.27 VRX 型クセノンオートスポットライト (丸茂電機株式会社)

7.4.7 メタルハライドランプを使用した フォロースポットライト

カーボンアークフォロースポットライトは高品位な光を得られる一方で、煤や臭気の発生、さらに点灯中も電極調整を要するなど運用上の課題が多く、操作員に負担が大きかった。これに代わる光源として、1960年代後半にオスラム社がHMIランプを開発し、1970年代後半には映画・映像照明を経て舞台分野にも導入された。

HMIランプは昼光色相当の色温度(約 5600 K)、短アーク長、高効率(約 92 lm/W)、高演色性($Ra \geq 90$)、点灯姿勢の自由度といった特性を有する。分光強度分布をみると、封入金属の輝線スペクトルにより効率と演色性が両立されており、舞台上での自然な色再現と十分な光量の確保が可能となっている(図 7.28)。

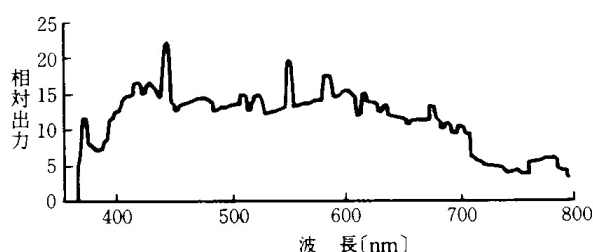


図 7.28 高演色型メタルハライドランプの分光強度

7.4.8 HMI 光源の導入と HMI-1200 SUPER

1980 年、株式会社松村電機製作所は HMI ランプの特性を活かしたフォロースポットライト HMI-1200 SUPER を開発した。本機は高照度と優れた色再

現性を備え、従来のカーボンアーク式に比べ操作性・保守性が大幅に向上した(図 7.29)。



図 7.29 HMI 1200 SUPER フォロースポットライト
(株式会社松村電機製作所)

7.4.9 クセノンフォロースポットライト

クセノンランプの技術はメタルハライドランプに先行して発展したが、バルブ内の対流や重力の影響でアークが不安定となり、光の揺らぎが生じるため、当初はフォロースポット用光源としては実用化が難しかった。

1970 年代にコイルによる磁界制御技術が確立し、アークの安定化が可能となったことでフォロースポットライ



図 7.30 SUN BEAM フォロースポットライト (株式会社松村電機製作所)



図 7.31 SUPERSOL クセノンフォロースポットライト (ウシオライティング株式会社)

トにおいてもクセノンランプの採用が進んだ。以後、今日に至るまでクセノンランプは主要な光源として広く用いられている⁸⁾(図 7.30)。

株式会社松村電機製作所はクセノンランプを使用した「サンビームスポットライト」を開発し、2 kW モデルを中心に 500 W、1 kW、2 kW、4 kW と幅広い出力をラインナップしていた。

クセノンランプは金属ハライドランプに比べ発光効率では劣るものの、連続スペクトルを有し太陽光に近い分光特性を示し演色性が高く、点灯後ランプからの光が安定するまでの時間が短いことで、舞台やイベ

ント現場で高い利便性を持ったフォロースポットライトとして定着した。

7.4.10 SUPERSOL クセノンフォロースポットライト

1980 年代後半、株式会社ウシオユーテック (現ウシオライティング株式会社) はクセノンランプに関する技術を背景に、クセノンランプを光源とした SUPERSOL シリーズを製品化した。SUPERSOL は 2 ～ 3 kW クラスの遠距離投射用モデルを中心に展開され、クセノンフォロースポットの代表的ラインとして確立された(図 7.31)。クセノンショートアークランプは、連続

スペクトルを有する点で太陽光に近い分光特性を持っていることが大きな利点であり(図 7.32)、自然な色再現と即時点灯の利便性を兼ね備える。現在ではこのクセノンフォロースポットライトが国内外のスタンダードとなっている。

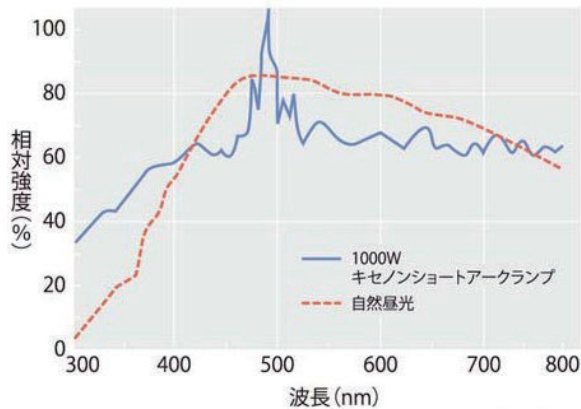


図 7.32 クセノンショートアークランプの分光強度

7.4.1.1 フォロースポットライトのまとめ

フォロースポットライトの光源は、

カーボンアーク (1950 年代) → クセノンの萌芽 (1960 年代) → HMI 導入 (1970 ~ 80 年代) → クセノン本格普及 (1980 年代以降) という流れで変遷した。

各段階での光源選択は、出力 (光量)、演色性 (色再現)、運用性 (操作・保守の容易さ) といった舞台照明特有の要求に応じた「技術的最適化」の結果であり、その時代の技術と演出の要求によって変化していった。

参考文献

- 1) 実登 1726598 号
- 2) 丸茂電機株式会社創立 100 周年社史編纂委員会, 「丸茂電機株式会社の 100 年」, 丸茂電機株式会社, p.168 (2020)
- 3) 特許第 3599727 号
- 4) 50 周年社史制作委員会, 「設立 50 年のあゆみ」, 株式会社東京舞台照明ホールディングス, p.129 (2009)
- 5) 50 周年社史制作委員会, 「設立 50 年のあゆみ」, 株式会社東京舞台照明ホールディングス, pp.87-88 (2009)
- 6) US2076240A
- 7) 丸茂電機株式会社創立 100 周年社史編纂委員会, 「丸茂電機株式会社の 100 年」, 丸茂電機株式会社, p.61 (2020)
- 8) 早尾卓, 橋本恒一, 「最近の光源」, テレビジョン, 1968, 22 巻, 11 号, pp.848-856, 公開日 2011/03/14,

図表引用 (掲載許諾)

- 図 7.1 筆者作成
- 図 7.2 筆者作成
- 図 7.3 丸茂電機株式会社, 「明かりのイメージ」
<https://www.marumo.co.jp/lineup/lightingimage/> (2025 年 9 月 18 日閲覧)
- 図 7.4 丸茂電機製作所, 「カタログ B-16」, p.4 (1963)
- 図 7.5 株式会社松村電機製作所, カタログ SPOX
- 図 7.6 遠山静雄, 「舞台照明学 下巻」, リプロポート, p.108 (1988)
- 図 7.7 株式会社松村電機製作所, 「カタログエリシリーズ」
- 図 7.8 松下電工株式会社,
「STAGE LIGHTING EQUIPMENT」 (1985)
- 図 7.9 丸茂電機株式会社,
「PROFESISONAL LIGHTING EQUIPMENT STAGE & TV STUDIO」, p.50 (2023)
- 図 7.10 ウシオライティング WEB カタログ
<https://www.ushio-pro.com/lightsource/product/detail.html?pdid=HPL100V750WC> (2025 年 9 月 19 日閲覧)
- 図 7.11 丸茂電機株式会社,
「PROFESISONAL LIGHTING EQUIPMENT STAGE & TV STUDIO」, p.47 (2023)
- 図 7.12 筆者作成
- 図 7.13 東芝ライテック株式会社,
「東芝ライテックニートハマーカタログ」
- 図 7.15 丸茂電機株式会社創立 100 周年社史編纂委員会, 「丸茂電機株式会社の 100 年」, 丸茂電機株式会社, p.111 (2020)
- 図 7.16 伊東保典氏作成 (1986 年頃伊東保典氏から資料提供、株式会社東京舞台照明より掲載許諾)
- 図 7.17 丸茂電機株式会社創立 100 周年社史編纂委員会, 「丸茂電機株式会社の 100 年」, 丸茂電機株式会社, p.111 (2020)
- 図 7.18 東芝ライテック株式会社より提供
- 図 7.19 株式会社松村電機製作所, 「カタログ絵夢 LIGHT」
- 図 7.20 丸茂電機株式会社創立 100 周年社史編纂委員会, 「丸茂電機株式会社の 100 年」, 丸茂電機株式会社, p.37 (2020)
- 図 7.21 US2076240A
- 図 7.22 筆者撮影

- 図 7.23 株式会社松村電機製作所, 「カタログ MIP-6P MIP-10」
- 図 7.24 丸茂電機株式会社創立 100 周年社史編纂委員会, 「丸茂電機株式会社の 100 年」, 丸茂電機株式会社, p.40 (2020)
- 図 7.25 株式会社松村電機製作所提供
- 図 7.26 筆者撮影
- 図 7.27 丸茂電機株式会社創立 100 周年社史編纂委員会, 「丸茂電機株式会社の 100 年」, 丸茂電機株式会社, p.61 (2020)
- 図 7.28 東忠利, 「メタルハライドランプの発光原理と点灯動作の理論解析」, 照明学会誌, 1989, 73 巻, 9 号, pp.566-572
- 図 7.29 株式会社松村電機製作所, 「カタログ HMI-1200SUPER」, 株式会社松村電機製作所 (1980)
- 図 7.30 株式会社松村電機製作所, 「カタログ XENON FOLLOW SPOTLIGHT SUN BEAM」
- 図 7.31 ウシオライティング株式会社 WEB カタログ
<https://www.ushio-pro.com/entertainment/product/detail.html?pdid=3001LSR%2fe>
(2025 年 9 月 19 日閲覧)
- 図 7.32 ウシオ電機株式会社, 光技術用語解説クセノンショートアークランプ
https://www.ushio.co.jp/jp/technology/glossary/glossary_ka/xenon_short_arc_lamp_02.html (2025 年 9 月 19 日閲覧)

8 | そのほかのスポットライトとエフェクトライト

8.1 レンズレススポットライト

レンズレススポットライトは、集光にレンズを用いず、反射鏡の形状のみで光束を制御するスポットライトである。一般に放物面（パラボラ）を用いて光源からの光を指向性をもったビームとして前方に放射する。レンズを省くことで光学損失や質量を低減でき、取り扱いが容易という利点がある。一方、レンズを備えたスポットライトに比べるとビームエッジの鮮明さや均一性に限界があり、舞台照明ではビームを生かした演出に適している。

8.1.1 PAR ライト

(Parabolic Aluminized Reflector light)

PAR ライトは、リフレクタとレンズが電球と一体化したシールドビーム型ハロゲン電球を使用する。ランプはVN（ベリーナロー）、N（ナロー）、M（ミディアム）など配光角度の異なる種類が用意され、電球を交換することでビームの太さや照射範囲を選択できる（図8.1）。

照射光は楕円形であるため、電球をソケットごと回転させることで光軸方向を調整可能である。灯体自体は、筒状外郭とヨーク（取付腕）、ソケットから成る極めてシンプルな構造で、軽量かつ扱いやすい。サイズは使用ランプによって区別され、PAR64、PAR36などが代表的である（図8.2）。

その特性から、PAR ライトはコンサートやライブで光のビームそのものを見せる演出に多用されてきた。また、安価で頑丈なため大量に並列使用しやすく、

ステージデザインにおける象徴的な照明器具となっている。



図 8.2 PAR ライト外観

8.1.2 ACL ライト

PAR ライトはシールドビーム電球を使用し、そのビーム角度は使用する電球固有の設計で決定される（図8.1）。最も狭角な 500 W の VN 型電球であっても、開き角は長手方向 9 度、短手方向 5 度が限界であった。これをより鋭く狭いビームを得るために利用したのが ACL (Air Craft Landing) ランプである。ACL ランプは本来航空機の着陸灯として設計されたもので、点灯電圧 28 V、定格電力 250 W、寿命 25 時間と極めて短命ながら、非常にシャープで高輝度なビームを形成できた。そのため 1980 年代のロックコンサートや大規模イベントにおいて、ビームエフェクトを強調する演出手法に多用された。しかし寿命の短さや交換コストの高さが運用上の課題であった。

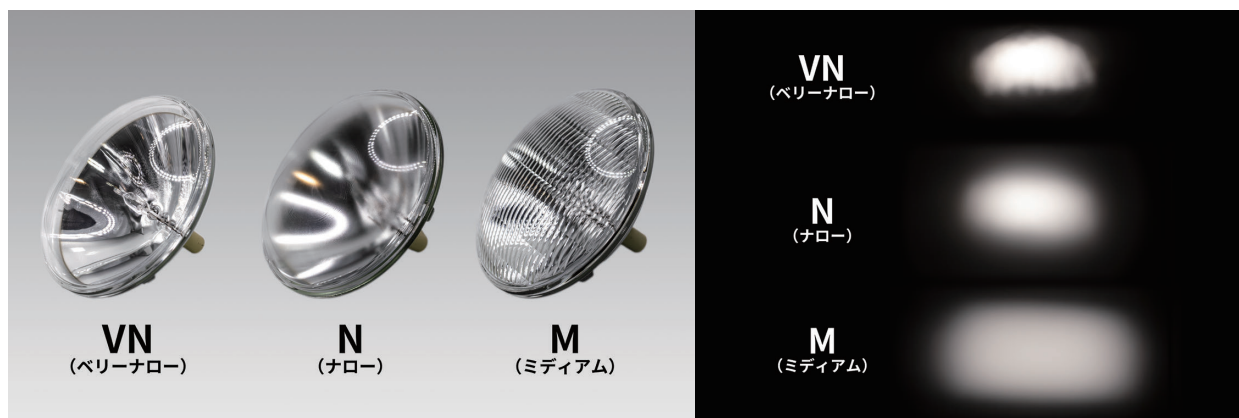


図 8.1 PAR ランプと配光

8.1.3 ステージビーム

電球寿命や電球交換の課題を解消するために、1988年に松下電工株式会社は電球交換式のスポットライト「ステージビーム」を開発した(図8.3)。同時期に株式会社松村電機製作所も同様の製品を発表している。ステージビームは従来のPARやACLの「電球固有の配光」に依存せず、灯体に適合する電球を交換することで、用途に応じた配光を柔軟に選択できるのが特長であった。

配光特性は中心光度の鋭いビームが特徴で、ACLよりも寿命や運用コストの面で優れていた。



図 8.3 ステージビームスポットライト(松下電工株式会社)

8.2 エフェクトライト

舞台照明器具は映写機の技術を応用したものが多く、その中には舞台照明に電気が導入された初期から模様や風景を投影して効果を高める機材が存在した。カーボンアークを光源とする黎明期には、稲妻や炎、雲、雨といった自然現象を舞台上に投影し、演出を補強する試みがすでに行われていた。こうした装置は、舞台に写実的な背景や幻想的な雰囲気を与える「効果器(エフェクトライト)」として重要な役割を担った。

エフェクトライトは専用機としてだけでなく、既存のスポットライトに「元玉」と呼ばれるレンズユニットを追加し、種板(パターン)を挿入することで使用される場合も多かった。規模や用途に応じて、小型のエフェクトスポットライト、大劇場向けの大容量プロジェクター、波や炎・虹などの動的効果を生み出すエフェクトマシンへと展開し、多様な形態を取っている。

8.2.1 エフェクトスポットライトとその構成

エフェクトスポットライトとは、投影レンズを用いて模様やパターンを水平線や舞台セットに投影し、場面の状況や雰囲気を視覚的に演出する機器である。光学的には投影機的一种に分類されるが、目的は

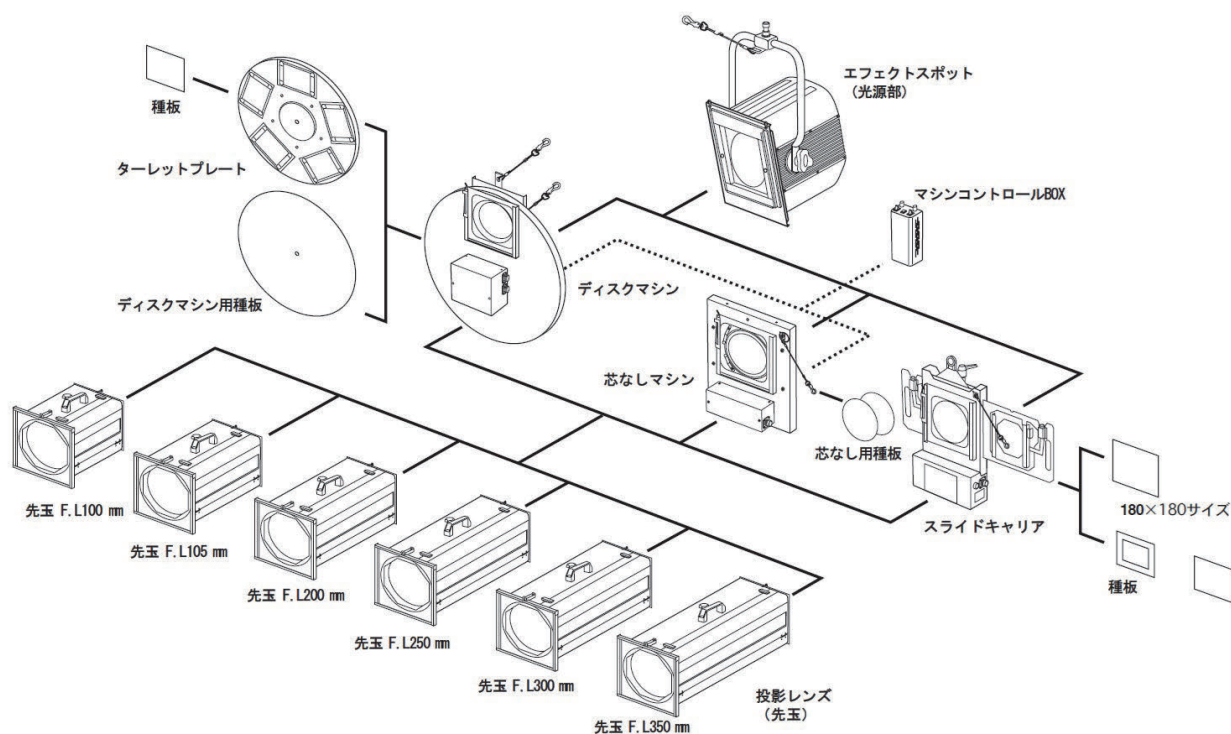


図 8.4 エフェクトスポットライトの構成

映像再現ではなく、あくまで「光による効果」を創出することにある。そのため舞台照明では「効果器」と呼ばれる。演出上、必ずしもシャープな像を得る必要はなく、意図的にピントをぼかすことで幻想性や雰囲気高める場合も多い。エフェクトスポットライトは光源部・種板部・先玉部の三要素で構成され、一般的なプロジェクターが一体化しているのに対し、舞台用エフェクトスポットは用途に応じて各部を組み合わせて使うのが特徴である。種板部には静止画像用と動画画像用があり、先玉部は投影距離や像の大きさに合わせて複数の焦点距離から選択される(図 8.4)。

ディスクマシンによる雨や雪の投影、フィルムや描画を行ったスライドを投影する画像投影はいずれも典型的な使用例で、時代ごとに多様なエフェクトスポットライトが開発され、舞台演出の重要な手段として継承されてきた(図 8.5)。



図 8.5 ディスクマシンで雨のパターンを投影

8.2.2 平凸レンズスポットライト利用のエフェクトスポットライト

1930 年代から 1960 年代にかけて、舞台照明では平凸レンズスポットライトを応用したエフェクト機材が多く用いられた。丸茂電機製作所が製作した 1935 年製のエフェクトスポットライトは、その代表例である。図には「ディスクマシン」と呼ばれる効果装置と、タケノコ型の投影レンズが実装されている(図 8.6)。

光源部は、平凸レンズスポットライトの前部に追加レンズを取り付け、凸面をスポットライト側に向けて配置する方法が採られた。これにより焦点距離を短縮し、電球からの光束を有効に利用して投影効率を高める工夫が施されていた(図 8.7)。

光学的には、2 枚のレンズを組み合わせた場合の合成焦点距離は、レンズ間隔を小さくすることで合成焦点距離を短縮でき、概ね 1/2 程度にすることが可能である。



図 8.6 平凸レンズスポットライトを利用したエフェクトスポットライト(丸茂電機製作所)

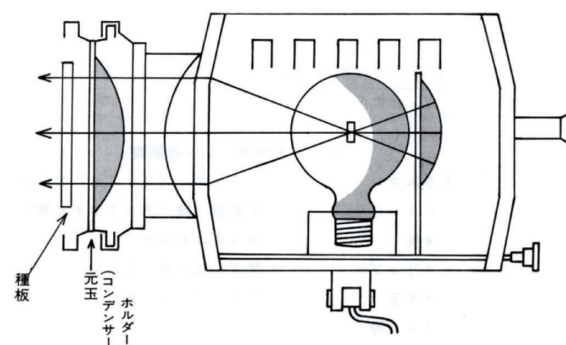


図 8.7 平凸レンズスポットライトを利用したエフェクトスポットライトの構造

8.2.3 SES 型プロジェクタースポットライト

1950 年代半ば、舞台照明において投影効果を専門的に担う機材として登場したのが、丸茂電機株式会社の SES 型プロジェクタースポットライトである。光学系の考え方自体は、従来の平凸レンズスポットライトに元玉(前玉レンズ)を組み合わせる方式と同一であり、光源も同じく 1 kW クラスの G-127 電球を使用していた。種板に光を効率的に集めるために 3 枚のレンズを用いた集光系が組み込まれ、従来の平凸レンズ + 元玉構成と比較して約 30 % の明るさ向上が実現されたと記録されている。また、光源部と光学部が一体構造となったことで、取り扱いや操作性も改善され、舞台現場での実用性が大幅に向上した¹⁾。

SES 型は、戦前から戦後にかけての「既存スポット

ライトに付加装置を組み合わせる方式」から、専用の投影機材として製品化された初期の事例である(図8.8)。

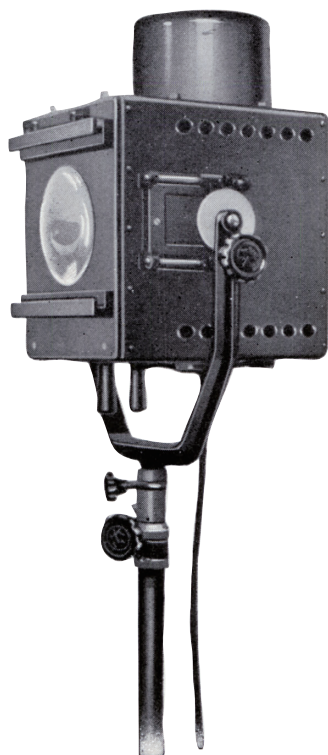


図 8.8 SES 型プロジェクター用スポットライト
(丸茂電機株式会社)

8.2.4 2次曲面反射鏡を使用した エフェクトスポットライト

1960年代までのエフェクトスポットライトは、球面反射鏡と平凸レンズを組み合わせた光学系が主流であった。例えば、前述のSES型ではG-127(直径127mm)の電球を球面反射鏡と平凸レンズ3枚で集光し、全体質量は約14kgに達した。さらに、マシン部や投影レンズを組み合わせると相当な重量となり、舞台運用においては取り扱いの負担が大きかった。

1970年代に入り、より効率的な光学系を求めてハロゲン電球と2次曲面反射鏡(放物面・楕円面反射鏡)を用いた光源部が開発された。1975年には株式会社龍電社が楕円面反射鏡を採用したEQS型スポットラ



図 8.9 エフェクトスポットライト(株式会社龍電社)

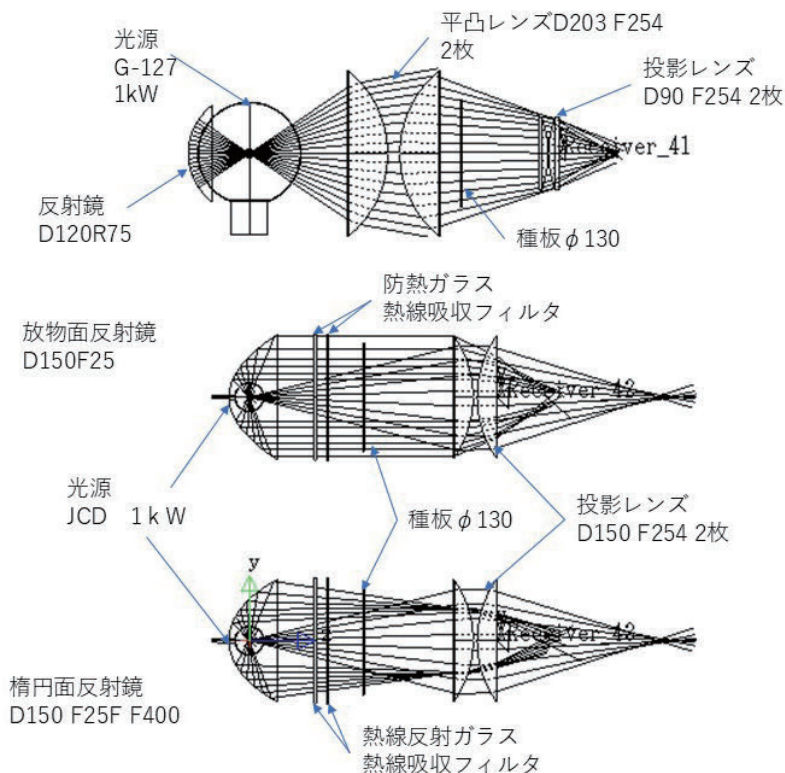


図 8.10 各光学系の構成比較

イトを製品化した(図 8.9)。続いて株式会社松村電機製作所は PIS 型を、丸茂電機株式会社は放物面反射鏡を用いた EPQ 型をそれぞれ発売した。これらは従来機に比べて小型軽量化が進み、いずれも質量は約 10 kg 程度に抑えられた。さらに、光学効率の比較を光線追跡で行うと、1930 年代から 1960 年代に主流だった平凸レンズ+元玉+先玉φ 90 の構成では効率は約 25 %にとどまっていた。これに対し、1970 年代以降の光学モデルでは放物面反射鏡+先玉φ 150 で約 50 %、楕円面反射鏡+先玉φ 150 では約 60 %に達しており、光束利用効率が大幅に改善された(図 8.10)。

また、反射鏡の多層膜コーティングや赤外線カットフィルタの導入により、熱線カットの性能も向上し、舞台上での演出に必要な長時間安定運用が可能となった。

8.2.5 精密先玉 POL

従来のエフェクトスポットライトの先玉(投影レンズ部)は、図 8.10 にも示すように基本的に同一焦点距離の平凸レンズを拝み合わせて使用する構成であった。この方式は、木漏れ日や「芯なしマシン」によるビーム模様など、投影像の精度を必ずしも要求しない用途では問題なかった。しかし、スライドフィルムや写真素材を投影する場合には像面湾曲や歪曲などの影響が顕著に現れ、投影品質が大きく低下するという課題を抱えていた。

こうした状況に対応するため、1982 年に株式会社松村電機製作所は従来の投影レンズを改良し、収差を大幅に低減した精密先玉「POL シリーズ」を製品化した(図 8.11)。この精密先玉は、従来の単純な平凸レンズの構成では補正できなかった像面湾曲や歪曲を抑制し、より忠実な投影像を実現することを目的とし



図 8.11 精密先玉(株式会社松村電機製作所)

て開発されたものである。

POL シリーズの登場により、舞台照明においてもスライドや写真を用いた高精細な投影が可能となり、従来の「効果器」としての用途から一歩進んで、舞台上にリアルなイメージを直接再現する演出手段としての利用が拡大した。

8.3 大規模プロジェクター

1960 年代までは、大規模劇場で背景や特殊効果を投影する際、光源としてカーボンアーク灯が用いられた。雲や雨の動的効果はエフェクトマシンによって再現され、背景投影にはスライドキャリアを使用した(図 8.12)。

1980 年代に入ると、取り扱いが容易で高演色性を有するメタルハライドランプが普及し、アールディエス株式会社による HMI 2.5 kW 光源搭載のエフェクトスポットライトや、オーストリア PANI 社の舞台用プロジェクターが開発された。

1990 年代になると、日本各地に本格的なオペラ上演が可能な大型劇場が新設され、PANI 社製の 2.5 kW および 4 kW 大型プロジェクターが導入された(図 8.13)。投影素材にはポジフィルムのほか、耐熱ガラスに専用ペイントで描画したスライドも用いられた。さらに、着色スライドを 2 枚重ね、一方のピントをわずかに外すことで、背景投影に立体感を持たせる手法も採用された²⁾。

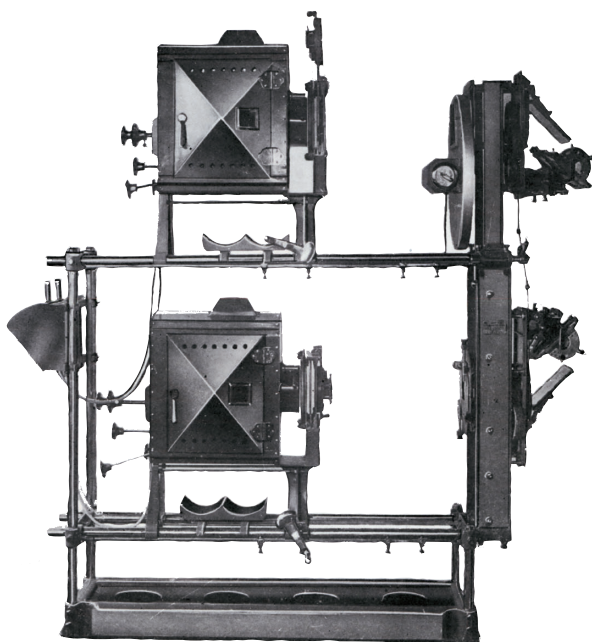


図 8.12 大規模プロジェクター アートグラフ
(1935 丸茂電機製作所)

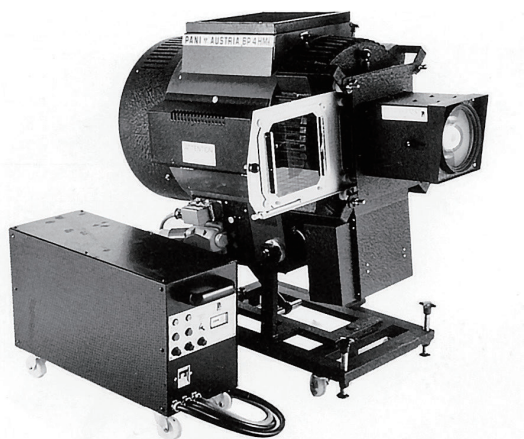


図 8.13 PANI BP4Compact (PANI 社)

は時代とともに姿を消したが、波のエフェクトのように今日まで残る機器もあり、舞台照明における「光で自然現象を再現する技術」の重要性を示している。

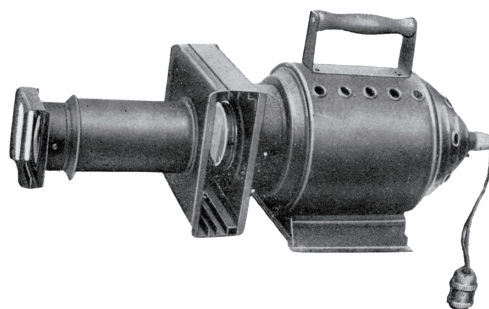


図 8.14 ハンドプロジェクター (丸茂電機製作所)

8.4 エフェクトマシン

エフェクトスポットライトが多様な模様や背景投影に対応する「多用途型」であったのに対し、舞台照明では特定の効果を得るために設計された、専用のエフェクトマシンも存在した。これらは光学的には単純な構造でありながら、舞台演出に象徴的な効果をもたらした。

1928年には、丸茂電機製作所が開発したハンドプロジェクターがあり、トンボや蝶のパターンを手持ちで背景幕に投影を行った(図 8.14)。1935年には虹の投影機を製品化しプリズムを利用して虹を舞台上に再現する構造を持っていた。

1969年には、ダブルエンド形ハロゲン電球を光源とする小型の虹エフェクト装置が登場し、従来よりもコンパクトで容易に虹効果を再現できるようになった。

また、回転ドラムの内部に光源を組み合わせたドラムマシン(別称：オーロラマシン)はカラーフィルタを装着して擬似的なオーロラを作り出し、幻想的な演出を可能にした(図 8.15)。

波のエフェクト装置は1969年の開発から、ほぼ同一形状で現在も製造・使用が続いているエフェクトマシンである。構造は、ダブルエンド形ハロゲン電球とシリンダリカル形状の反射鏡を用い、鋼板ロールに開けられた独特の模様を回転、さざ波のような光の揺らぎを投影する仕組みである。投影光量自体は少ないが、模様や光路のわずかな変更でも効果が損なわれるため、数十年にわたって同一設計が維持されてきた(図 8.16, 図 8.17)。

このように、エフェクトマシンは必ずしも高出力や高精度を追求したものではなく、特定の演出効果を確実に得るために特化した舞台装置であった。その多く



図 8.15 オーロラマシン (丸茂電機製作所)

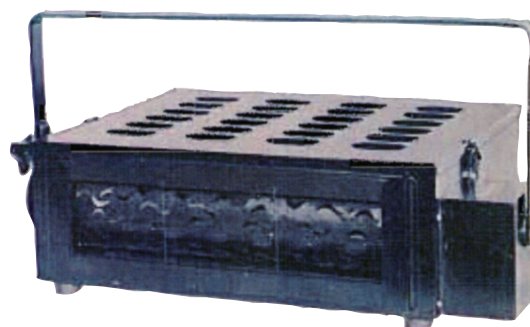


図 8.16 波のエフェクト (丸茂電機製株式会社)

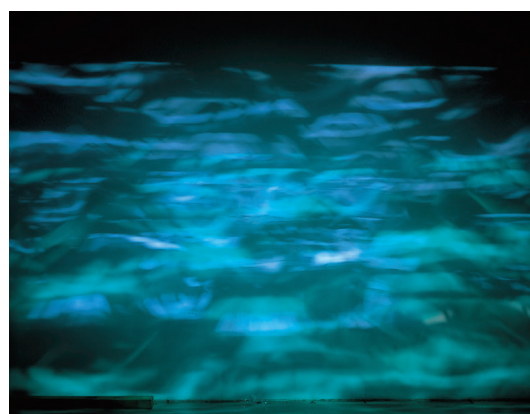


図 8.17 波のエフェクトの投影効果

8.5 リモートコントロールスポットライト

舞台照明において、照明器具のリモートコントロール化は以下の理由から強く求められてきた。

- 照明器具の設置場所が人の立ち入りや直接操作に適さない高所や狭隘部である場合。
- 多数の照明器具を設置するため、調整対象が多岐にわたり、作業効率が課題となる場合。
- 一つの照明器具を複数の用途に転用し、演出の自由度を高めたい場合。

これらの要件は特にテレビスタジオで顕著であった。テレビスタジオでは、照明器具をバトンに取り付けたのち、バトンを上部に「飛ばし(上昇させる)」、その後に舞台美術やセットを組み込む。いったんセットが完成すると、物理的に照明器具へ直接アクセスすることが困難となる。このため、調整作業は現場にとって大きな制約となっていた。

その解決策として導入されたのが、照明操作棒である。これを用いることで、照明器具の方向、バンドアの開閉、フォーカス調整などを遠隔的に行うことが可能となった。今日においても、すべての設備が完全にリモートコントロール化されているわけではなく、照明操作棒による調整は依然として多くの現場で活用されている(図 8.18)。

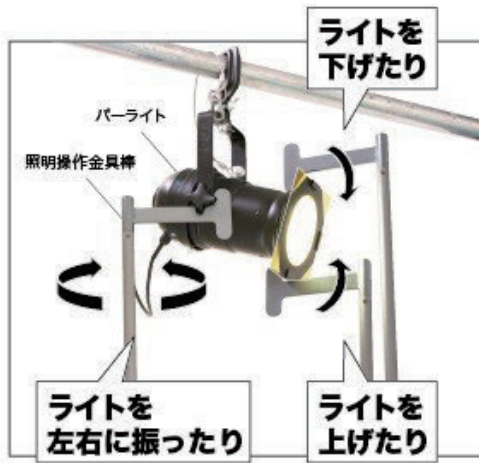


図 8.18 照明操作棒

8.5.1 リモートコントロールスポットライトの本格的な開発と普及

テレビスタジオにおける照明器具のリモートコントロール化は、1969 年に NHK CT-101 スタジオへ導入された株式会社龍電社製の 5 kW リモートコントロールスポットライトを嚆矢とする。このリモートコントロールスポットライトは、パン・チルト・フォーカスの遠隔制

御に加え、3 色のカラーチェンジャーを備えており、当時としては画期的な機能を有していた(図 8.19)。

当時のリモートコントロール方式は、スポットライト本体とリレー制御盤を多芯ケーブルで直接接続し、個別に制御信号を送るシステムであった。このため配線は煩雑であった。

その後、舞台やテレビにとどまらず、ホテルや結婚式場のバンケットホールなどでも主役の入場時にフォロー照明を遠隔操作するニーズが高まったこともあり、こうした用途に向け、専用操作器でパン・チルトと点灯・消灯を制御するシンプルなりモートコントロールスポットライトが開発された。1985 年に松下電工株式会社が製品化した NQ31172 はその代表例であり、操作対象が限定される場面に特化した機器として普及した(図 8.20)。



図 8.19 NHK の CT-101 スタジオに導入された 5 kW テレビスタジオ向けリモートコントロールスポットライト(株式会社龍電社)

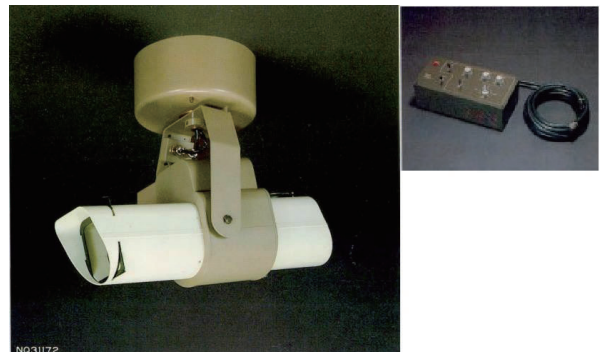


図 8.20 NQ31172 リモートコントロールスポットライト(松下電工株式会社)

8.5.2 1980 年代後半におけるコンサート用可動式照明器具の登場

1980 年代後半、コンサートやイベントを中心に舞

台照明に動的効果を求めるニーズが高まり、従来の固定型スポットライトでは得られない表現を可能にする可動式照明器具が登場した。代表的な例として、PAR ライトにカラースクローラー（ロール状のカラーフィルタを順次移動させる装置）を装着し、パン・チルト機構を加えたムービングスポットが開発された（図 8.21）。これらの装置は数十台規模での運用が一般化し、制御対象もパン・チルトに加え、色選択など複数パラメータに及んだため、従来のアナログ制御では対応が困難となった。そのためシリアル伝送によるデジタル信号制御が採用され、当初は公益社団法人劇場演出空間技術協会（JATET：Japan Association of Theatre and Entertainment Technology）の L-3010 規格が国内で用いられた³⁾。しかしメーカーごとの独自規格が混在したことにより、調光卓や設備運用に非効率を生じた。この課題を解消するため、米国劇場技術協会（USITT：United States Institute for Theatre Technology）が策定した DMX512-A 規格が国際標準となり、以後は世界的に共通のデジタル制御インターフェースとして普及することとなった⁴⁾。



図 8.21 MSP-1000W 型イベント向けムービングスポット（丸茂電機株式会社）

8.5.3 TV スタジオにおけるリモートコントロールスポットライトの展開

テレビスタジオにおいては 1960 年代から照明器具のリモートコントロール化が強く求められていた。テレビスタジオ照明は高所に多数設置されるため、パン・チルト・フォーカス調整に加え、バンドアの開閉や回転といった複数の機能を一台で遠隔操作できることが必要とされた。

使用台数の増加に伴い、アナログ制御では限界が生じ、1970 年代以降はシリアル伝送方式が導入されるようになった。NHK 放送センター CT-101 スタジオ

には株式会社龍電社製 3 kW リモコンスポットライトが 106 台設置され、大規模にリモート制御が行われた事例として知られている。

8.5.4 「照射点方式シューティングシステム」の開発

テレビスタジオではリモートコントロールスポットライトの設置台数が増加し、さらに各器具に実装される制御機能（パン・チルト、フォーカス、バンドアなど）が複雑化した結果、1 台ごとに照射位置を個別設定する作業は大きな負担となった。特に、バトンを昇降させた際に照射点の変動してしまう問題は、運用効率を著しく低下させていた。この問題に対して、丸茂電機株式会社は 1992 年に「照射点方式シューティングシステム」を開発した。この方式では、各スポットライトの位置情報と照明バトンの高さ情報をもとに演算を行い、所定の「照射点」を自動算出する。これにより、バトンが上下動しても照射点が変わらず、収録番組の違いによってバトンの高さが変わっても、常に安定した投光が可能となった（図 8.22）。

このシステムの導入により、スタジオ内で照明配置を変更する場合でも、制御卓に記録されたデータを読み出すだけで迅速に照明セッティングを再現できるようになった。その結果、調整作業の簡略化・再現性の向上・運用効率化が同時に実現され、テレビスタジオ照明における画期的な進展となった⁵⁾。

照射点方式を採用したリモートコントロールシステムは 1994 年に TBS のスタジオに導入された。

1996 年には、この方式を採用した RHE 型リモートコントロールスポットライトが丸茂電機株式会社によって製品化され、照射点方式は実用レベルで広く利用可能となった（図 8.23）。



図 8.22 照射点方式シューティングシステム（丸茂電機株式会社）



図 8.23 RHE 型リモートコントロールスポットライト
(丸茂電機株式会社)

8.5.5 劇場意匠対応型、球形リモートコントロールスポットライト

1970 年代後半以降、劇場建築において意匠性の重視が進むと、舞台照明機器に対しても従来の工業的外観ではなく、美観に配慮したデザインが求められるようになった(図 8.24)。その要請に応える形で、丸茂電機株式会社や松下電工株式会社は 1990 年に外形を球体としたリモートコントロールスポットライトを製作した。本機はパン・チルト・フォーカスといった基本的な遠隔制御機能を備え、球形の筐体を採用することで照明器具を建築空間に溶け込ませたことが特徴である。従来のリモートコントロールスポットライトが持っていた照明器具としての外観と異なり、劇場のデザイン要素の一部として成立することを意図した照明器具であった(図 8.25)。



図 8.24 劇場建築に配慮した舞台照明器具
(水戸芸術館コンサートホール ATM)



図 8.25 NQ 39841 球形リモートコントロールスポットライト 1.5 kW (松下電工株式会社)

8.5.6 LED リモートコントロールスポットライト

2000 年代以降、舞台およびテレビスタジオ照明においても省電力化・高演色性・長寿命を志向する流れから、ハロゲン電球やメタルハライドランプに代わり LED 光源を用いたリモートコントロールスポットライトが開発された。丸茂電機株式会社が 2016 年に開発した LED リモートコントロールスポットライトは、駆動部を含む消費電力は 150 W であるが、従来の 1 kW ハロゲンスポットライトに相当する光束を有する。質量は 16.5 kg と軽量で、既存の舞台吊り込み運用にも適合する仕様となっている。

本機は高演色性を特長とし、肌色の自然な再現が可能であり、調光動作も滑らかで舞台・放送用途に適する。また、従来機に比べ静粛な機構動作音を実現しており、電源投入時の初期化動作を必要としない利便性を備える。さらに、長期運用を見据えた各種管理機能やメンテナンス性に優れた構造が採用されている点も特徴的である(図 8.26)。



図 8.26 LED リモートコントロールスポットライト
(丸茂電機株式会社)

TBS テレビのスタジオに導入された事例が報告されており、放送現場における LED リモートコントロールスポットライトの有効性を示している⁶⁾。

8.5.7 ムービングスポットライト

1980 年代以降、コンサートを中心に舞台照明表現の多様化が進み、遠隔操作で自在に動作する「ムービングスポットライト」が登場した。その嚆矢とされるのが、1981 年にバリライト社から発表された VL-1 である。VL-1 は、GE 社がプロジェクター用に開発した Marc 350 反射鏡一体型電球を光源とし、3 枚のカラーホイールを搭載していた。さらに、ビーム径を調整可能なホールを含む計 8 枚のゴボ、パン・チルトによる機構制御、シャッターによる調光機能を備え、従来の固定型スポットライトでは不可能であった多彩な効果を実現した(図 8.27)。

初期のムービングスポットライトは主にコンサート照明においてエフェクト的用途で用いられたが、その後の技術進化に伴い、より精緻な色変化や複雑なパターン投影、ダイナミックなビーム操作が可能となった。こうした機能拡張により、用途は演劇、ミュージカル、オペラといった舞台芸術へと広がり、固定型スポットライトを補完する存在として定着していった。

今日、ムービングスポットライトはコンサート照明を象徴する機材であると同時に、舞台照明全般に不可欠な技術基盤となっている。VL-1 の登場は、舞台照明における「静的な光」から「動的な光」への転換を告げる歴史的転機であったと位置づけられる。



図 8.27 VL-1 (バリライト社)

リモートコントロールスポットライトの技術的進化は、制御方式のアナログからデジタルへの移行、美観

と演出性の両立、さらには自動化システムの導入など、舞台照明の設置・操作・演出の全側面に影響を与えた。その成果は後に登場するムービングライトや DMX 制御規格の普及へと継承され、舞台照明技術の近代化において重要な役割を果たしたといえる。

8.6 少し特殊なスポットライト

8.6.1 液晶シャッタースポットライト(1995)

1995 年 3 月、NHK 放送センター「スタジオパーク」に公開スタジオ CT-450 が開設された。このスタジオは外光が差し込む構造を持っていたため、外光と色温度が近く、かつ高効率な高輝度放電灯で調光可能な照明器具が求められた。その要請を受け、NHK・住友電気工業株式会社と丸茂電機株式会社の共同で「液晶シャッタースポットライト」が開発された。

本機は安定器と灯具を一体化したうえで前面に液晶シャッターを装着する構成を採用した(図 8.28)。高耐熱ポリマー分散液晶による透過 $\leftrightarrow$ 散乱と切替る仕組みで光量を制御する方式であり、ハロゲン電球の調光に比べて応答が圧倒的に高速であったため、ストロボ的な明滅表現も可能であった。この制御技術は後年の LED 照明器具の高速調光にも活かされることになる。

液晶シャッター自体は、TN (Twisted Nematic) 型と異なり偏光板を必要とせず透過率が高い、熱の影響を受けにくい、応答速度が速い、大面積化に適する、といった特徴を持つ。調光が難しかった高輝度放電灯に対して画期的なデバイスであった。



図 8.28 液晶シャッタースポットライト (丸茂電機株式会社)

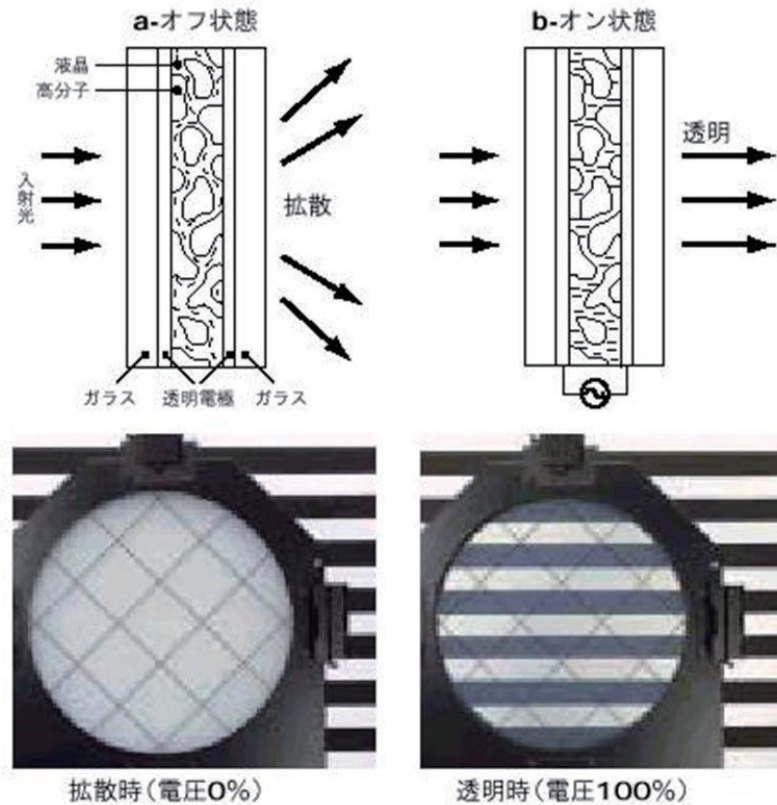


図 8.29 液晶シャッターの動作

8.6.2 液晶光シャッターの動作原理

液晶光シャッターの基本構造は、ネマティック液晶とポリマーが μm オーダーで入り組んだ複合膜を2枚の透明電極で挟み込んだ構造を持つ。電圧が印加されない状態(図 8.29 a- オフ)では、液晶分子はポリマー界面に沿ってランダムに配向し、複屈折によって光を強く散乱させ、曇りガラスのように白濁した状態となる。一方、十分な電圧を印加すると(図 8.29 b- オン)、液晶分子は電圧方向に整列し、あらかじめ液晶の常光屈折率とポリマーの屈折率を一致させることで散乱が抑制され、光は直進して透過する。この透過 $\leftrightarrow$ 散乱の切替によって調光が可能となる⁷⁾。

もっとも舞台用途への展開には制約があった。液晶シャッターは照射点において1:100程度の照度比を得られる一方、散乱光の影響が避けられず、演劇やオペラのように繊細な光制御を要する環境には不向きであった。しかし、テレビスタジオのように自然光と混在する環境では、太陽光に近い色温度を持つメタルハライドランプの調光を可能とする手段として極めて有効であった。

参考文献

- 1) 丸茂電機株式会社「カタログ B-18」, P.32 (1967)
- 2) 東芝ライテック株式会社,
「STAGINGNo.3」, pp.21-22 (1996)
- 3) 北博,「照明等演出用設備の伝送規格 JATET-L-3010 について」, 照明学会誌 82 巻 4 号, pp.264-265 (1998)
- 4) 関根伸也,「DMX512 信号システムなどの現状技術」, 電気設備学会誌 41 巻 7 号, pp.382-385 (2021)
- 5) 特許第 2015429 号
- 6) 丸茂電機株式会社創立 100 周年社史編纂委員会,
「丸茂電機株式会社の 100 年」, 丸茂電機株式会社, p.196 (2020)
- 7) 藤井, 藤掛, 滝沢, 平林, 田中, 平片, 浅川, 田村, 北, 原, 高田:「液晶光シャッターと高輝度放電灯を用いたスポット照明装置」, 照明学会誌, 83-8A, pp.534-542

図表引用(掲載許諾)

図 8.1 丸茂電機株式会社,「明かりのイメージ」
<https://www.marumo.co.jp/lineup/lightingimage/> (2025 年 9 月 18 日閲覧)

- 図 8.2 丸茂電機株式会社,
「PROFESISONAL LIGHTING EQUIPMENT
STAGE & TV STUDIO」, p.42 (2023)
- 図 8.3 松下電工株式会社,
「STAGE LIGHTING EQUIPMENT」(1988)
- 図 8.4 丸茂電機株式会社,
「PROFESISONAL LIGHTING EQUIPMENT
STAGE & TV STUDIO」, p.72 (2023)
- 図 8.5 丸茂電機株式会社創立 100 周年社史編纂委
員会, 「丸茂電機株式会社の 100 年」, 丸茂
電機株式会社, p.169 (2020)
- 図 8.6 丸茂電機製作所, 「カタログ B-06」, p.40 (1937)
- 図 8.7 岩崎令兒, 「美しい光を得るために」, (社) 日
本照明家協会, p.96 (1990)
- 図 8.8 丸茂電機株式会社, 「カタログ B-18」, p.32
(1967)
- 図 8.9 東芝ライテック株式会社から提供
- 図 8.10 筆者作成
- 図 8.11 株式会社松村電機製作所から提供
- 図 8.12 丸茂電機製作所, 「カタログ B-06」, p.49 (1937)
- 図 8.13 東芝ライテック株式会社, 「カタログ PANI
プロジェクトシステム」
- 図 8.14 丸茂電機製作所, 「カタログ B-01」(1928)
- 図 8.15 丸茂電機製作所, 「カタログ B-06」, p.47 (1937)
- 図 8.16 丸茂電機株式会社創立 100 周年社史編纂委
員会, 「丸茂電機株式会社の 100 年」, 丸茂
電機株式会社, p.61 (2020)
- 図 8.17 丸茂電機株式会社 WEB カタログ
[https://www.marumo.co.jp/marumo_
wp/wp-content/themes/marumowp/pdf/](https://www.marumo.co.jp/marumo_wp/wp-content/themes/marumowp/pdf/catalog/effect/NAE.pdf)
catalog/effect/NAE.pdf (2025 年 9 月 20 日
閲覧)
- 図 8.18 「JEFCOM 総合カタログ」, Vol.36, p.381
(2025)
- 図 8.19 アールディエス株式会社, 「光とともに 50
年」, p.40 (1998)
- 図 8.20 松下電工株式会社,
「STAGE LIGHTING EQUIPMENT」(1985)
- 図 8.21 丸茂電機株式会社創立 100 周年社史編纂委
員会, 「丸茂電機株式会社の 100 年」, 丸茂
電機株式会社, p.105 (2020)
- 図 8.22 丸茂電機株式会社創立 100 周年社史編纂委
員会, 「丸茂電機株式会社の 100 年」, 丸茂
電機株式会社, p.148 (2020)
- 図 8.23 丸茂電機株式会社創立 100 周年社史編纂委
員会, 「丸茂電機株式会社の 100 年」, 丸茂
電機株式会社, p.142 (2020)
- 図 8.24 「舞台照明設備 No.144 水戸芸術館」, 丸茂電
機株式会社 (1990)
- 図 8.25 松下電工株式会社,
「STAGE LIGHTING EQUIPMENT」(1997)
- 図 8.26 丸茂電機株式会社創立 100 周年社史編纂委
員会, 「丸茂電機株式会社の 100 年」, 丸茂
電機株式会社, p.196 (2020)
- 図 8.27 佐伯隆夫, 「舞台照明用調光装置の系統化調
査」, 国立科学博物館, 技術の系統化調査報
告, 第 33 集, p.103 (2024)
- 図 8.28 筆者撮影
- 図 8.29 筆者作成

9 | 舞台照明器具の LED 化

舞台照明器具に使用する光源は長い間特に白熱電球に至っては 100 年以上前から使用されてきた。

その後効率の良さ、明るさから放電灯も使用されてきていた。舞台照明器具は調光が必須ということで、一般照明では蛍光灯や放電灯が使用されていても、舞台照明器具の光源の主演はやはりハロゲン電球であった。当時製品化されていた LED は主に表示用途で使用する砲弾型の LED など、舞台照明に使用する大きな光量が必要なところには使用できなかった。

ところが、2000 年頃から 1 W クラスのパッケージ型の LED が市場に現れて、各メーカーも LED を光源として使用したフラッドライトやスポットライトの開発を進めてきた。現在では新規に製品化を行う製品はほぼ LED の製品で、保守を除けばほとんどが LED の製品になっていくと考えられる。

筆者も 2000 年頃から LED の開発に携わっていたが、自分が現役の間は舞台照明器具の LED 化はなされないだろうと考えていた。

次項から年代を追って LED 舞台照明器具の変遷を追っていこうと思う。

9.1 2000 年～2010 年

9.1.1 フラッドライトの LED 化

2000 年代初頭の LED は、依然として絶対的な光出力が不足しており、さらに演色性も十分とは言えなかった。しかし、この時期に登場した 1 W クラスのパッケージ型パワー LED (日亜化学工業 NCCW023 など) の製品化は、舞台照明用途への応用を現実のものとし、各社が試作・開発に着手する契機となった。図 9.1 に示すように、まずはフラッドライトの LED 化が試みられ、舞台やホールにおける基礎的な光源と



図 9.1 ForEver-X (松村電機製作所)



図 9.2 カラー LED 天井反射板ライトの効果

して導入が始まった。

その後、舞台上方に設置される天井反射板ライトについても、一般照明に近い用途からLED化が進められた。従来、天井反射板ライトは白色光による反射・拡散を主眼としていたが、同時期に1 WクラスのカラーLEDが市販され始めたことで状況は一変する。図9.2に示すように、天井反射板ライトにカラーLEDを組み込み、舞台空間全体を色彩で演出する新たな手法が実現可能となったのである。

この段階ではまだ器具の光量や演色性に制約が多く残されていたが、LEDによる「色を自在に扱える照明」という特性が、従来にはなかった演出可能性を提示した点で、舞台照明の歴史における重要な転換期となった。

9.1.2 スポットライトの開発について

2000年代においては、LED単体の発光出力が依然として弱く、またパッケージ型素子が主流であったため、スポットライト用途への応用は極めて困難であった。この制約に対して、東芝ライテック株式会社は2003年に、図9.3および図9.4に示すような構造を採用し、多数のLEDからの光を集光する試みを行った¹⁾。この試作過程では、LEDの冷却機構、駆動方式[PWM (pulse-width modulation) 方式やAM (amplitude modulation) 方式]、さらにはテレビカメラ撮影時のフリッカー抑制といった課題が浮き彫りとなった。これらの改善を重ねた成果は、のちのLEDスポットライト製品化の基盤となった。一方、丸茂電機株式会社においても、2005年にLEDスポットライトの光学系に関する原理試作が行われた。図9.5および図9.6に示

すように、複数光源からの光を効率的にホモジナイズする光学構成を導入することで、十分な配光性能が得られることが確認された²⁾³⁾。この技術が将来的な実用化への道筋を示したと考えている。このように、2000年代における各社の試作・研究開発は、LEDスポットライト実用化に不可欠な技術課題の解決を推し進め、舞台照明器具のLED化における重要な礎となった。

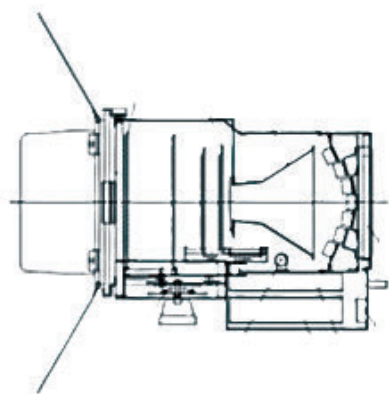


図9.3 LED集光系(東芝ライテック株式会社)



図9.4 LEDスポットライト(東芝ライテック株式会社)

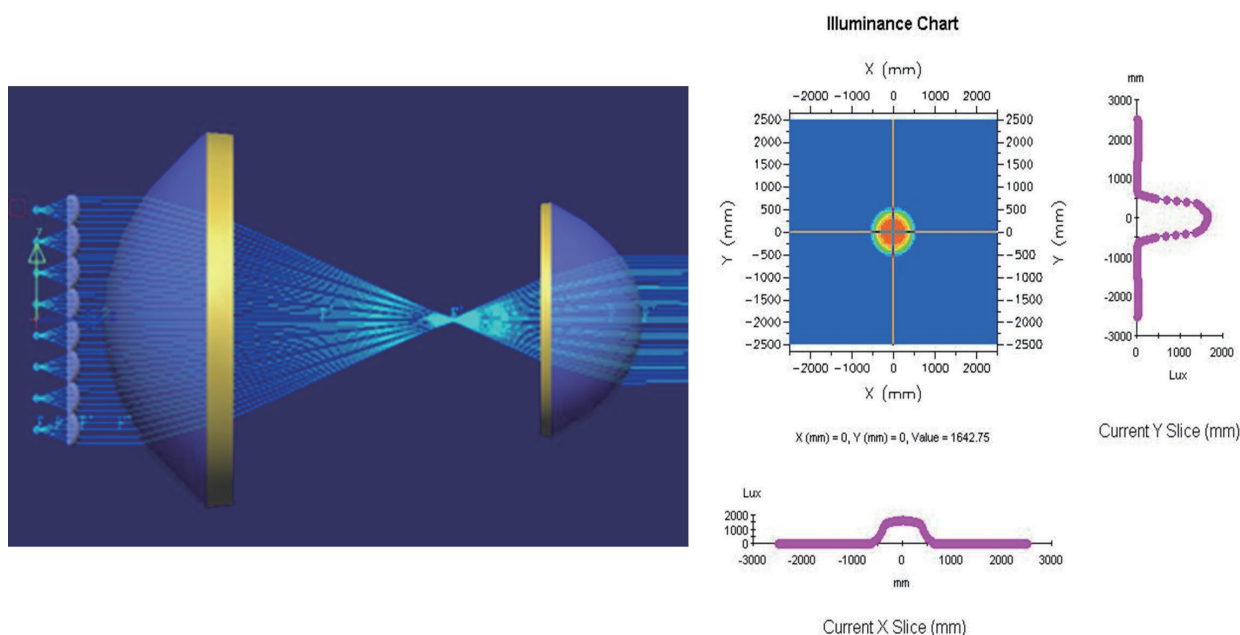


図9.5 LEDスポットライト光学図(丸茂電機株式会社)

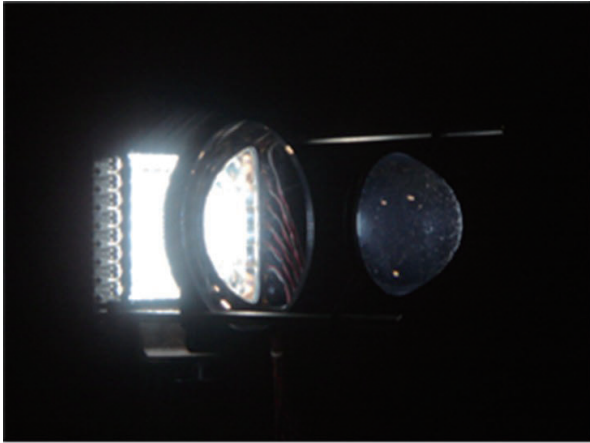


図9.6 LED スポットライト試作光学系(丸茂電機株式会社)

9.2 2011 年～現在まで

2011 年に発生した東日本大震災は、日本社会全体を省エネルギー志向へと大きく転換させた。この潮流の中で舞台照明器具も例外ではなく、電力消費削減への強い要請を受け、LED 化が一気に加速することとなった。以降、国内主要メーカーは相次いで LED を用いた新製品を開発し、市場投入を進めていった。初期の段階では、ホリゾントライトやボーダーライト、さらにテレビスタジオで使用されるブロードライトといった比較的広範囲を照射する用途の器具から LED 化が始まった。しかし 2010 年頃からは、複数の LED チップを基板上に直接実装する COB (Chip On Board) 技術(図 9.7)の普及によって、光源の小型化・高出力化が飛躍的に進展した。これにより、従来は不可能と考えられていたスポットライト用途にも LED が適用可能となったのである。図 9.8 に現在の LED ホリゾントライト、図 9.9 に平凸レンズタイプの LED スポットライト、さらに図 9.10 に LED プロファイルスポットライトの例を示す。ただし、LED 化がすべての面で従来光源を凌駕したわけではなく、特有の課題が存在した。具体的には以下の点が挙げられる。

- ハロゲン電球と比較すると発光面積が大きいいため、単位面積あたりの光束が低く、狭い範囲を強烈に照射することが難しい。
- 演色評価数 (Ra) は向上したが、依然としてハロゲン電球の色再現性には及ばず、色味の差異が問題視された。
- 白色 LED にカラーフィルタを用いた場合、従来光源とは異なる色表現となる。
- 冷却のためにファンを使用すると騒音が発生する。

- LED は熱に弱く、十分な放熱設計が不可欠である。
- PWM による駆動では、テレビカメラのフレーミングレートと干渉し、フリッカーが生じる場合がある。
- ハロゲン器具にはなかった電磁ノイズ対策が必要となる。

これらの課題は開発の過程で一つひとつ解決が図られたが、それを上回る利点、すなわち低消費電力・長寿命・調色自由度の高さ・小型化といったメリットが舞台照明にとって決定的な価値を持った。その結果、舞台照明器具の LED 化は現在に至るまで急速に進展し、照明設計や演出のあり方そのものを変革するに至っている。

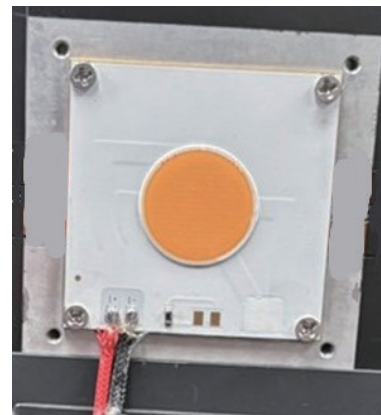


図 9.7 COB LED



図 9.8 LED ホリゾントライト(東芝ライテック株式会社)



図 9.9 LED 平凸タイプスポットライト
(パナソニック株式会社)



図 9.10 LED プロファイルスポットライト
(株式会社松村電機製作所)

9.3 LED 舞台照明器具の今後の展望

舞台照明器具の LED 化は、この 10 余年で一気に普及し、現在では新規開発されるほとんどの機種が LED を光源としている。技術進歩は依然として続いており、今後は以下の方向性がさらに加速すると考えられる。

まず光源の高出力化と小型軽量化が一層進むであろう。COB 技術の発展や新素材の利用により、従来は困難であった狭角度での高輝度投射も可能になり、ハロゲン電球に匹敵する、舞台上の強いアクセント照明や長距離投射が LED で完全に代替可能になると考える。

制御技術の高度化とネットワーク化が進展する。DMX に加え、Art-Net などのネットワークプロトコルが普及し、照明機器は単なる光源ではなく「制御端末」としての性格を強めている。照明機器の明るさや動作などを制御する照明操作卓や効果をシミュレートするビ

ジュアライザーなどのソフトウェアとの連携により、光量・色彩・動きがより直感的かつ精緻にコントロールされるようになり、演出の自由度は飛躍的に拡大する。

以上のように、舞台照明の LED 化は単なる光源置換にとどまらず、舞台照明デザインや舞台演出の概念そのものを変革する段階に入っている。今後は、より高品質で柔軟な光を提供するとともに、環境負荷低減と舞台芸術の創造性向上を両立させる技術革新が期待される。

参考文献

- 1) 特許第 4397314 号
- 2) 浅川久志, 馬場洵子, 若木守明, 「高出力 LED を用いた配光制御型照明器具の開発」, 照明学会誌 92 巻 5 号, pp.257-261 (2008)
- 3) 特許第 4632899 号

図表引用(掲載許諾)

- 図 9.1 株式会社松村電機製作所 100 周年のあゆみ
<https://www.matsumuradenki.co.jp/100th/history/4th/> (2025 年 9 月 19 日閲覧)
- 図 9.2 「LIGHTING DATA SHEET No.300 弘前市民会館」, 丸茂電機株式会社, p.12 (2014)
- 図 9.3 東芝ライテック株式会社より提供
- 図 9.4 東芝ライテック株式会社より提供
- 図 9.5 筆者作成
- 図 9.6 筆者作成
- 図 9.7 筆者撮影
- 図 9.8 東芝ライテック株式会社, 「フルカラー LED ホリゾントライト」 (2025)
- 図 9.9 パナソニック株式会社, 「施設・屋外・店舗照明総合カタログ 2025」, p.1311 (2025)
- 図 9.10 株式会社松村電機製作所, 「Crenostar LED シリーズ」 (2024)

10 | おわりに

舞台照明器具には実に多くの種類があり、今回「舞台照明器具の系統化調査」を行うにあたり、改めてその広がりとお深さを実感した。これまで筆者は、個別の器具や光学設計に向き合うことが中心であり、全体像を俯瞰する機会は少なかった。しかし本系統化調査を通じて、照明器具の発展を歴史的な流れとしてとらえることができ、視野を広げる契機ともなった。

舞台照明の長い歴史を振り返れば、先人たちの知恵と工夫が光学部品や器具の形状に色濃く刻まれていることがわかる。非球面レンズによる収差補正や、フレネルレンズの独特な設計手法、さらには反射鏡の多品種少量生産と散乱面の扱いなど、どれも単純に見えて複雑であり、設計の難しさと製造現場の努力の積み重ねによって支えられてきたものである。過去には50年以上前の図面をもとに製造が行われることもあり、現状に合わない条件であっても製作現場の工夫によって製品化されていたことには、今も深い敬意と感謝の念を抱いている。

筆者自身、設計の現場から一区切りを迎えるにあたり、資料や文献がほとんど残されていない非結像系光学設計をまとめておきたいと考えてきた。しかしその調査対象はあまりに多岐にわたり、調査範囲を定めることすら難しく、長らく着手できずにいた。2005年よりLED照明に関する共同研究¹⁾を行った東海大学の故若木守明教授からも、照明系の光学設計を体系化することの重要性を示唆されていたが、ようやく今回の系統化調査報告をきっかけに、その一端を形にする

ことができた。

調査を進める中で、ホリゾントライト以外のフラッドライトについては60年以上もの間、大きな設計変更がなかった理由を知り、その必然性に納得することができた。また、スポットライトについても、漠然としたイメージで理解していた使用法の背後に、演出の意図と密接に結びついた深い設計思想があったことにも改めて気付かされた。

そして21世紀に入り、LEDという新しい光源が舞台照明に本格的に導入され、光学設計の発想そのものを大きく変えつつある。省エネルギー化、コンパクト化、多機能化が進む中で、非球面や自由曲面、さらにはフレネルや反射鏡も含めた光学要素は、改めて最適化が求められている。歴史の延長線上にある最新技術としてのLED照明をどう設計に生かしていくかという課題は、次の世代の舞台照明器具設計者に託された重要な課題である。

本稿は拙い点も多く、筆者の思考が時に脱線して読みづらい部分もあったかもしれない。しかし、舞台照明器具を長く支えてきた設計と製造、そして新たな展望へ向かう技術の歩みを記すことで、少しでも今後の研究・実務の一助となれば幸いである。

参考文献

- 1) 浅川久志, 馬場洵子, 若木守明, 「高出力LEDを用いた配光制御型照明器具の開発」, 照明学会誌, 92巻, 5号, pp.257-261 (2008)

謝辞

本報告書の作成にあたり、資料の提供、取材へのご協力、執筆へのご助力を賜りました皆様に、心より御礼申し上げます。

舞台照明における照明機材は多種多様であるにもかかわらず、系統化調査報告書第33集の際に扱った調光器や調光卓に比べて資料がほとんど残されておられません。資料提供をお願いするにあたり、関係の皆様には多大なご負担をおかけしたものと存じます。

コンサート照明における舞台照明器具の変遷や特徴についてお話を伺い、あわせて資料をご提供くださいましたライティングビッグワン株式会社の加藤憲治様、オペラの写真提供および機材に関する情報をご提供いただきました新国立劇場運営財団の立田雄士様、島野真実様、ミュージカルに関する情報をご提供いただいた、東京文化会館の乳原一美様に、深く感謝申し上げます。

また、舞台照明器具に関する資料をご提供いただきました東芝ライテック株式会社の直江政俊様、大石哲也様、パナソニック株式会社の役野善道様、株式会社松村電機製作所の升崎宏昭様に、それぞれ篤く御礼申し上げます。

さらに、一般的には目に触れる機会の少ないレンズや反射鏡の製造工程の取材にご協力いただきました泉

陽光学株式会社の黒田拓也様、そして関西特殊光学株式会社の堤原宗己様には、平凸レンズの製造工程に関する情報提供および取材の機会を賜りました。日本無線硝子株式会社の三羽輝彦様には、フレネルレンズの製造工程に関する資料提供と取材にご協力いただきました。佐藤電研株式会社の佐藤聖之様には、反射鏡の製造工程に関する資料提供および製造現場の取材にご協力いただきました。ご担当者の方、関係者の方たちに篤く御礼申し上げます。

公益社団法人日本照明家協会の清水高明様、林之弘様には日本照明家協会が発行している出版物からの資料を提供いただきました。株式会社レklam社の有江久吉様にはイラストなどの資料を提供いただきました。深く感謝いたします。

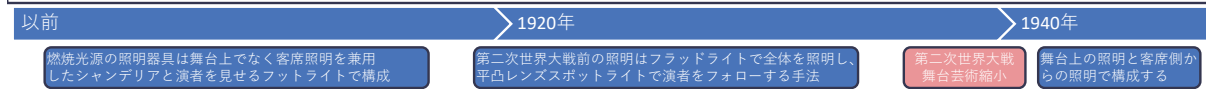
また、本調査報告を執筆するにあたって、遠山静雄氏の「舞台照明学 上巻，下巻」は舞台照明のみならず劇場建築や演目についても詳細に記されており、非常に参考になりました。深く感謝いたします。

皆様からの多大なるご支援なしには、本報告書をまとめ上げることはできませんでした。

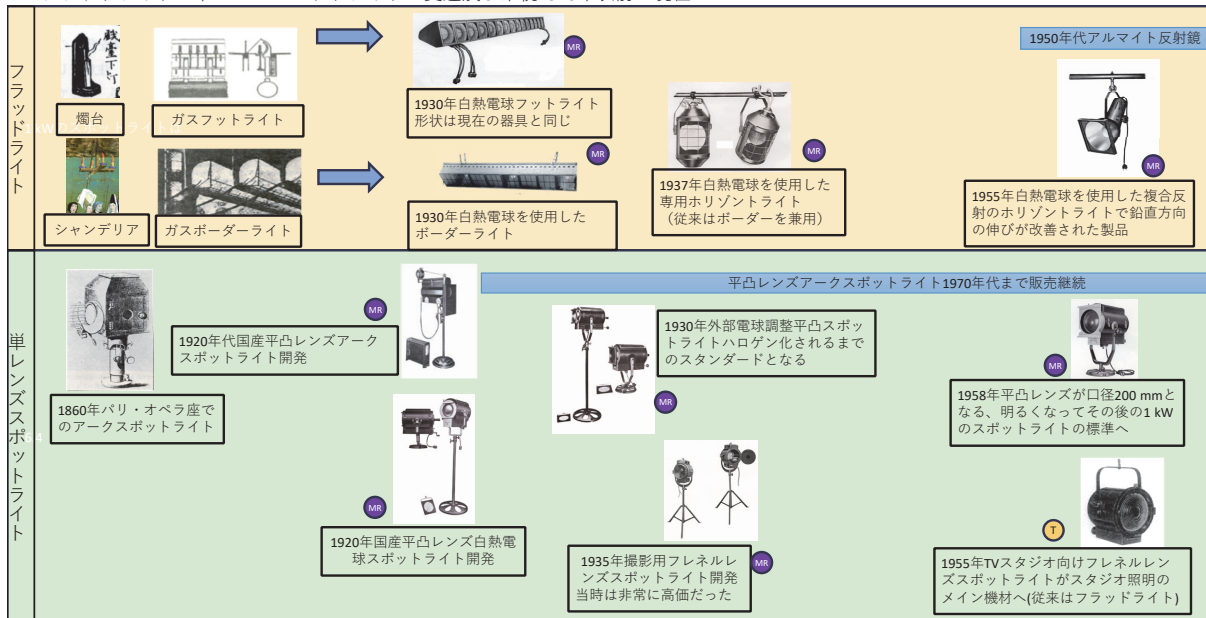
本報告書をきっかけとして、舞台照明器具に関心を持つ方が一人でも多く増え、今後も魅力的な機材が開発されていくことを心より願っております。

舞台照明器具技術の系統図

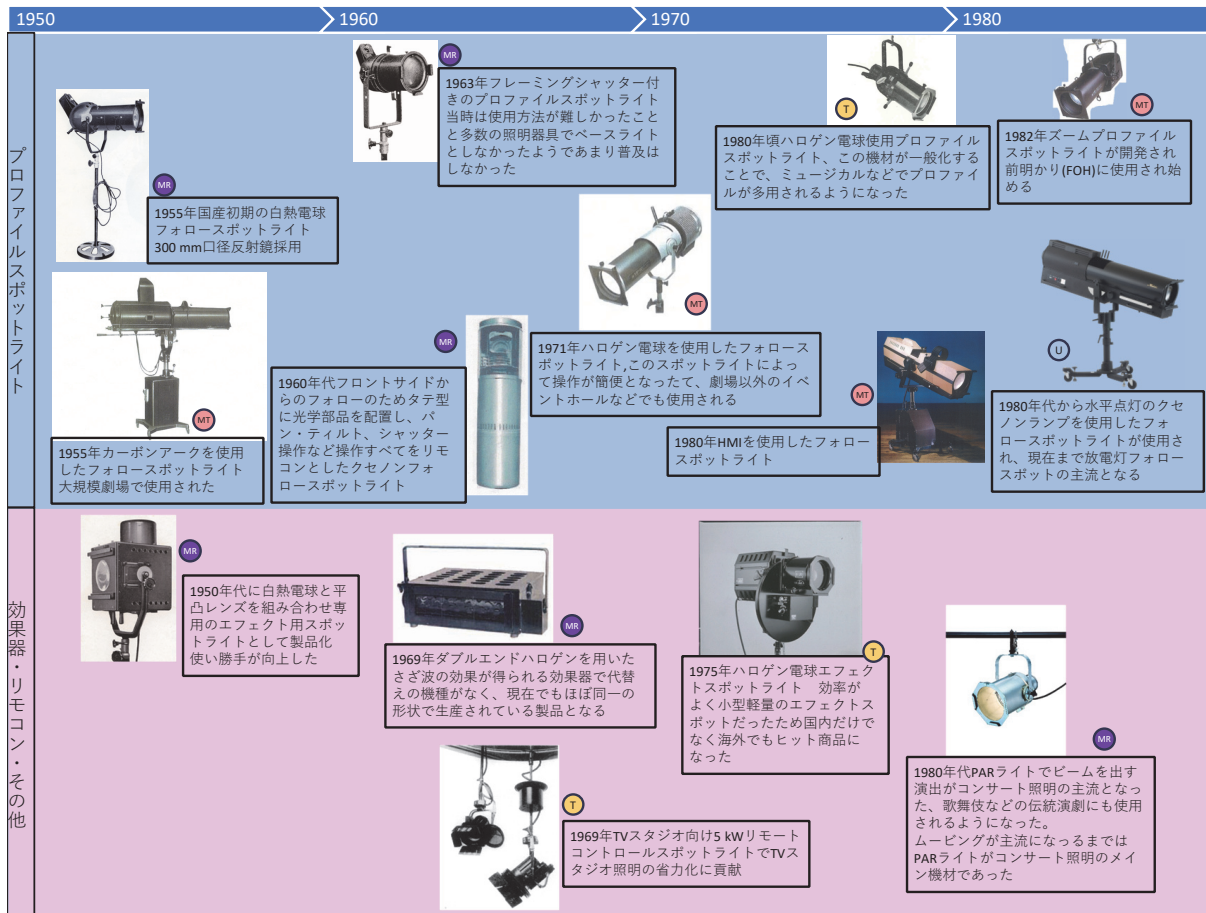
光源の変遷	1870年ガス灯	1889年白熱灯(歌舞伎座)	1915年ガス入り電球	1920年代カーボンアーク	1922年二重コイル電球	1944年クセノンランプ
-------	----------	----------------	-------------	---------------	--------------	--------------



フラッドライト・単レンズスポットライトの変遷及び系統1920年以前～現在



二次光学系を用いたプロファイルスポットライト及び効果器類・リモコンスポットライト・その他のスポットライトの変遷及び系統化1950年～現在まで



舞台照明器具の系統化調査 産業技術史資料 所在確認

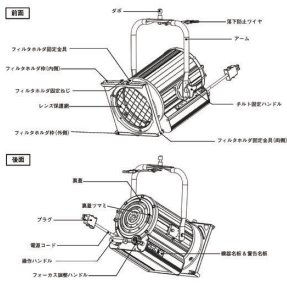
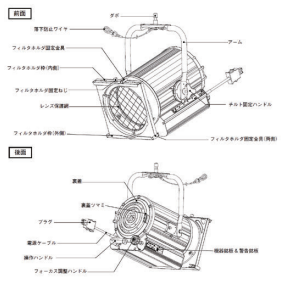
番号	名称	製作年等	製造社	所在地		選定理由
1	KLS 型 カーボンアーク スポットライト	(1955) 1964	丸茂電機 株式会社	丸茂電機 山梨工場	山梨県 南アルプス市 六科御崎 285-1	舞台照明器具の黎明期においては、カーボンアーク光源を用いた平凸レンズスポットライトがフォロースポットライトとして多用され、演出照明において極めて重要な役割を担っていた。これらの照明器具は、1920 年代から 1970 年代にかけて長期間にわたり使用された。
2	C-8 型平凸レン ズスポットライト	1958	丸茂電機 株式会社	丸茂電機 山梨工場	山梨県 南アルプス市 六科御崎 285-1	KLS 型は、日本において 1928 年に最初に製造された KL 型の系譜を引くスポットライトであり、本資料は彦根市民会館で実際に使用されていた個体である。カーボンアークスポットライトは、約半世紀にわたりフォロースポットライトの主流として一時代を築いた照明器具であり、舞台照明技術の発展を示す重要な資料である。
3	非球面平凸レン ズスポットライト NQ30137	1985	松下電工 株式会社 現パナソニック 株式会社	パナソニック 株式会社 エレクトリック ワークス社	大阪府門真市 大字門真 1048	点灯中でも電球位置の調整が可能な調整機構を備えた C 型スポットライトの機構を継承し、レンズ径を 200 mm とすることで電球からの光を効率よく利用し、従来機よりも高い照度を実現した照明器具である。この特性により、全国の劇場や会館に広く普及した。1 kW 級の平凸レンズスポットライトは、他社製品を含めて長期間にわたり「C-8」と総称され、現在に至る平凸レンズスポットライトの基本形式を確立した照明器具である。当時の演出照明器具として革新的な存在であり、舞台照明器具の技術的発展を示す重要な資料と位置づけられる。
4	ミュージケール ハロゲン スポットライト NQ30273B	2003	松下電工 株式会社 現パナソニック 株式会社	パナソニック 株式会社 エレクトリック ワークス社	大阪府門真市 大字門真 1048	球面平凸レンズを用いたスポットライトでは、レンズの球面収差の影響により照射中心部の照度が低下する、いわゆる「中落ち」と呼ばれる現象が生じていた。NQ30137 スポットライトは、世界に先駆けてレンズ面を非球面化することにより、この中落ち現象を改善したスポットライトである。現在では、日本国内における平凸レンズスポットライトはすべて非球面レンズを採用しており、本器はその技術的転換点を示す存在である。平凸レンズスポットライトの配光性能を大きく改善した非球面レンズ採用の先駆的事例として、舞台照明器具の光学設計の発展を示す重要な資料である。
						白熱電球を用いたスポットライトは、光源の特性上、多量の赤外線を放射するため、照射対象の温度が上昇するという問題があった。この影響により、演奏中に楽器のチューニングが狂うなど、音楽演奏に悪影響を及ぼす事例が生じていた。このスポットライトは、レンズに赤外線を低減する機能を付与することで、これらの熱的影響を抑制した照明器具である。さらに、点灯・消灯時に灯体の熱膨張によって発生するいわゆる「パキパキ音」についても、灯体構造の一体化などの対策を講じることで低減を図っている。本器は、音楽ホール専用機材として求められる熱的影響および動作音への配慮といった機能を先駆的に付加した照明器具であり、舞台照明器具の用途分化と高機能化を示す重要な資料である。

5	ECR-750W プロファイル スポットライト	2000	丸茂電機 株式会社	丸茂電機 山梨工場	山梨県 南アルプス市 六科御崎 285-1	海外の標準的な製品に対して圧倒的に高いコントラストを有するプロファイルスポットライトの開発を目標とし、電球、反射鏡、レンズのいずれについても従来の設計思想にとらわれることなく新たに開発が行われた。特にズームプロファイルにおいては、3群3枚構成の非球面レンズによる結像系を採用するとともに、不等ピッチズームカムを用いることで、従来のプロファイルスポットライトでは実現できていなかった合焦ズーム機構を実現している。本器は、光学設計および機構設計の両面において国際水準を超える性能を備えたプロファイルスポットライトとして製品化されたものであり、その製品仕様および設計技術を含め、舞台照明器具の高度化を示す重要な資料と位置づけられる。
6	ITO-650W スポットライト	1986	株式会社 東京舞台照明	東京舞台照明 本社	東京都江東区 千石 1-14-21	コンサートなどにおいてビームを用いた照明演出を実現するため、反射鏡一体型電球や高品質なレンズを採用することで、シャープで指向性の高い光を得ることが可能となり、高い演出効果を実現した照明器具である。さらに、専用の「ゴボ」やエフェクトマシンを製品化することで、プロファイルスポットライトとしての用途にとどまらず、簡易的なエフェクトマシンとしても使用できる構成が採られている。本器は、国内の舞台用照明器具の中でも年間出荷量が最も多かった機種の一つであり、一般の会館においてもビームを用いた演出や、エフェクトマシンによってビームを動かす表現が可能とした。照明演出の表現手法を大きく拡張し、その普及に寄与した機材として重要な資料である。
7	ピュアビジョン プロファイル スポットライト	1995	アールディエス 株式会社 現東芝ライテック 株式会社	東芝ライテック 本社	神奈川県 横須賀市 船越町 1-201-1	アールディエス株式会社が1995年に開発したピュアビジョンは、反射鏡と電球を別体構成とすることで、消耗部品である電球のみの交換が可能とし、運用コストの低減を図ったスポットライトである。この構成は、反射鏡一体型光源と比較して保守性に優れていた。また、エフェクトマシンを挿入するためのマシンスロットは、側面および下面の一部を開放可能な構造とされており、アクセサリーの着脱性が高められている。これにより、カッター（フレミングシヤッター）の操作も容易となり、仕込みや調整作業における作業性が大きく改善された。ピュアビジョンは、光学性能のみならず、保守性および操作性といった運用面の合理化を重視した設計を特徴として、性能と運用効率の両立へと展開していく重要な資料と位置づけられる。
8	MIP-6P フォロー スポットライト MIP-10 フォロー スポットライト	(1971) 1979 (1971) 1988	株式会社 松村電機製作所	松村電機製作所 川越工場	埼玉県 川越市芳野台 2-8-44	MIP-6P および MIP-10 は、ハロゲン電球と回転楕円面反射鏡を用いたフォロースポットライトであり、放電を利用したフォロースポットライトと比較して、取り扱いが容易で安定した運用が可能な点の特徴とする。輪郭の明瞭な投光面を有し、演者の的確にフォローできることから、舞台照明における実用性の高いフォロースポットライトとして用いられた。MIP-10 は、長距離投光を想定して1kW級のハロゲン電球を採用し、高い照度とシャープなエッジを両立した機種であり、ハロゲン電球を用いたフォロースポットライトの嚆矢的存在と位置づけられる。一方、MIP-6P は中距離での使用を主眼としたモデルであり、より汎用性が高く、劇場用途にとどまらず、結婚式場や宴会場などのイベントホールにも広く普及した。これらの機種は、ハロゲン電球を用いたフォロースポットライトの実用性と有効性を示すとともに、フォロースポットライトを専門的な舞台機材から、より一般的なイベント照明機材へと展開させる契機となった照明器具である。そのため、フォロースポットライトの用途拡大と一般化の過程を示す重要な資料と位置づけられる。

9	SEB 型 カーボンアーク スポットライト	(1955) 1966	丸茂電機 株式会社	丸茂電機 山梨工場	山梨県 南アルプス市 六科御崎 285-1	本器は、カーボンアーク光源を用い、楕円面反射鏡によって光をアパーチャーに集光し、結像レンズにより投影する構成を持つフォロースポットライトであり、大規模劇場において演者を追尾する用途に使用されていた。本照明器具は、第2期帝国劇場に納入された後、1995年にクセノンフォロースポットライトへ更新されるまで、約30年にわたり継続して使用された実績を有する。本器は、大規模な劇場空間においてシャープなエッジを持つフォロースポット照明を可能とした初期のフォロースポットライトの一つであり、フォロースポットライトの光学構成および運用の確立を示す重要な資料と位置づけられる。
10	SAP 型 カーボンアーク スポットライト	(1957) 1962	株式会社 松村電機製作所	松村電機製作所 川越工場	埼玉県 川越市芳野台 2-8-44	本器は、楕円面反射鏡を用いたフォロースポットライトであり、アークを安定させるための安定器をスタンド部に組み込むことで、設置性および操作性の向上が図られている。カーボンアークを用いた他のフォロースポットライトにおいても共通する点であるが、アークを安定して維持しつつ演者を追尾するためには、照明操作に高度な技能が要求された。本器は、こうした光源特性と運用技術が一体となった初期のカーボンアーク式フォロースポットライトの代表的事例であり、フォロースポットライトの成立過程を示す重要な資料と位置づけられる。
11	EQS 型 エフェクト スポットライト	(1975) 2008	アールデイエス 株式会社 現東芝ライテック 株式会社	東芝ライテック 本社	神奈川県 横須賀市 船越町 1-201-1	本器は、舞台背景に画像や雨、雲などの模様を投影することで視覚的效果を得ることを目的としたエフェクトスポットライトであり、反射鏡によって光を集光する構造を採用している。投影画像への熱的影響を低減するため、熱線反射ガラスおよび熱線吸収ガラスを組み合わせて用いることで、スライドやフィルムなどの劣化を抑制する設計がなされている。小型でありながら高い光量を有していたことから実用性が高く、国内にとどまらず海外展開も行われ、エフェクトスポットライトの標準的機種として広く用いられた。舞台演出における背景表現や環境表現の手法を拡張し、その普及に寄与した照明器具として重要な資料である。
12	シューティング システム (RHE 型スポット ライト)	1991	丸茂電機 株式会社	丸茂電機 技術センター	東京都 大田区 西糺谷 3-37-7	RHEB 型は、リモコンスポットライトのフルオート化を目指して開発された機種であり、従来のパン、チルト、フォーカス制御に加え、4枚のバンドアをそれぞれ独立して開閉できる機構を備えるとともに、バンドア全体の回転操作を可能とした点に特徴がある。本器は、パトンの高さを自動検出し、常に照射位置が変化しないようスポットライトの角度を自動補正する「照射点方式シューティングシステム」によって制御されている。この制御方式により、テレビのレギュラー番組制作においては、番組名を指定して実行再生するだけで照明状態を再現することが可能となり、限られた時間内で行われる仕込み替え作業を大幅に削減する効果をもたらした。RHEB 型は、リモートコントロールスポットライトの高度化と省力化を実現した機種であり、放送照明における自動化・再現性向上の流れを示す重要な資料と位置づけられる。
13	液晶シャッター スポットライト	1994	丸茂電機 株式会社	丸茂電機 技術センター	東京都 大田区 西糺谷 3-37-7	本スポットライトは、外光が射し込むテレビのオープンスタジオなどで使用するために、太陽光に近い色温度を有しかつ高効率な高輝度放電灯を用いたスポットライトの調光用シャッターとして開発されたものである。従来の高輝度放電灯器具における調光は、ブラインドシャッターなどの機械的方式に依存しており、連続的で滑らかな調光を行うことが困難であった。これに対し、液晶を用いた方式では、電圧を印加することで透過状態を透明ガラス状から曇りガラス状まで連続的に変化させることが可能となり、スムーズな調光動作を実現している。本方式は、高効率光源を用いながら、テレビカメラに対する影響の少ない調光制御を可能とした点に特徴があり、舞台・放送照明における照明光の電子的制御の先駆的事例として、後のデジタル制御照明技術につながる重要な資料と位置づけられる。

「舞台照明器具技術の系統化調査（2025 年度版）」

報告書冊子との相違点（正誤表）

ページ	段落	行	第 35 集 冊子版 2026 年 3 月	全文 PDF 版 2026 年 6 月 (正)
4	左	8 行目	観劇経験者は人口の数%程度にとどまり	年間の観劇経験者は人口の数%程度にとどまり
28	図 4.17	図題	ティルト	チルト
36	左	下から 7 行目	可撓型フットライト	曲線型フットライト
49	左	16 行目	球面収差や照射範囲	球面収差による照射範囲
49	図 6.1	図内右下	 機器名板 & 警告名板	 機器銘板 & 警告銘板
64	コラム	8 行目	ピッチを大きくなど	ピッチを大きくするなど
67	左	9 行目	配向の点でも	配光の点でも
75	左	下から 1 行目	1982 年開発した	1982 年に開発した
91	右	6 行目	平凸レンズ 2 ～ 3 枚	平凸レンズ 3 枚
109	所在確認表	番号 8 製作年等	(1971) 1988 (1971) 1988	(1971) 1979 (1971) 1988