

舞台照明用調光装置の系統化調査

Systematic Survey on the Dimming System for Stage Lighting

佐伯 隆夫 Takao Saeki

■要旨

舞台照明とは、舞台上におけるあらゆる光の効果を指し、観客が舞台を見るに十分な明るさを与えるための照明や、舞台上の人物の心理や劇的状況の転換などを表現するための効果としての照明である。

舞台照明の歴史は、古代ギリシャ時代まで遡る。古代ギリシャでは、紀元前 5 世紀ごろにギリシャ悲劇が成立し、巨大劇場で演じられるまでに発達していった。この時の舞台照明はもちろん太陽光である。我が国でも神楽や能の舞台は屋外に造られ、太陽光の下で演じられていた。演劇における昼光照明の時代は実に永かった。古代ギリシャ時代の演劇から、明治の歌舞伎に至るまで実に 24 世紀にも及ぶ。

自然光(太陽光)とともに人工光源が演劇に使われるようになったのは、16 世紀末から 17 世紀初頭のイタリアの劇場で油灯やろうそくが使用されるようになった。さらに石油ランプの時代を経て、19 世紀になるとガス灯の時代へと発展していく。舞台照明の発達が常に光源の開発に伴うことは歴史によって明らかであるが、白熱電球の発明は舞台照明に画期的な展開を示し、狭義な意味では舞台照明の歴史が 1880 年代に始まったともいえる。それは人為的に光を自由に制御できるようになったことにより、光を演出の要素として駆使し得るようになったからである。

日本で最初に本格的な舞台照明設備が導入されたのは、1911 年(明治 44 年)純欧風劇場として首都に出現した帝国劇場である。この時の調光装置はドイツのジューメンス社製のもので、調光器は金属抵抗器を使用し、舞台照明に適した操作機構を持った本格的なものであった。

国産の調光装置が初めて大劇場に導入されたのは、1925 年(大正 14 年)に開場した第三期歌舞伎座である。丸茂電機製作所により製作、納入された。その後明治座、京都南座、東京劇場などへ次々と納入され、ここから国産による舞台照明設備の時代が始まった。

1934 年(昭和 9 年)に開場した東京宝塚劇場に、我が国の舞台照明用調光装置の歴史の中でも特筆される成果である多分岐式調光変圧器が、世界に先駆けて丸茂電機製作所により開発、納入された。以来、我が国の舞台照明の調光方式は変圧器方式に変わり、第二次世界大戦をはさんで 30 年以上もの間この方式が主流となった。

1958 年アメリカの GE 社 (General Electric Company) で開発された SCR (Silicon Controlled Rectifier) を使用したサイリスタ調光装置は、我が国でも 1960 年代には実用化され、1961 年(昭和 36 年)NHK T-101 スタジオに初めて納入された。劇場では 1963 年(昭和 38 年)日生劇場、1966 年(昭和 41 年)帝国劇場、国立劇場に納入され、その後全国の劇場、ホールに納入されるようになった。現在では操作機構の調光操作卓にコンピュータを使用し、より複雑で多彩な演出を可能にしている。また、近年舞台照明器具の光源が LED に変わりつつあり、近い将来調光器が必要なくなり、全ての照明器具を制御信号によって調光やカラー制御をする時代が来るであろう。

■ Abstract

Stage lighting refers to any light effect on the stage, including lighting to provide sufficient light for the audience to see the stage, or as an effect to express the psychology of the characters on stage or dramatic turn of events.

The history of stage lighting dates back to ancient Greece. Greek tragedy was developed around the 5th century B.C. in ancient Greece, and was performed in huge theaters. The type of stage lighting at that time was, of course, sunlight. Even in Japan, Kagura and Noh plays were performed outdoors under the sun. The history of the use of daylight in the theater is a long one. From the theatre of ancient Greece to the Kabuki theater of the Meiji era, the era of daylight illumination in theater has stretched across 24 centuries.

Artificial light sources were used in conjunction with natural light (sunlight) for theatrical performances beginning with the use of oil lamps and candles in Italian theaters at the end of the 16th and beginning of the 17th century. The oil-lamp era transitioned to the era of gas lamps in the 19th century. History has demonstrated that the progress of stage lighting has always been accompanied by the development of light sources, and the invention of the incandescent light bulb marked a revolutionary development in stage lighting. In the strictest sense, the history of stage lighting can be seen to have begun in the 1880s, since light could be freely controlled artificially allowing it to be employed as an element in stage productions.

The first fully-fledged stage lighting system in Japan was installed in 1911 at the Imperial Theatre, manifesting in the capital as a purely European-style form of theater. The dimming equipment at that time was manufactured by Siemens of Germany, and the dimmer was an authentic system that used metal resistors and had an operating mechanism suitable for stage lighting.

The first domestically produced dimming system was installed in a large theater, the third Kabukiza, which opened in 1925. It was manufactured and delivered by Marumo Electric Works. Subsequent installations at the Meijiza Theater, the Kyoto Minamiza Theatre, and the Tokyo Gekijo Theatre ushered in the era of domestically produced stage lighting equipment.

The Tokyo Takarazuka Theater opened in 1934, and Marumo Electric Works developed and delivered a multi-branch type dimming transformer, a notable achievement in the history of dimming equipment for stage lighting in Japan, ahead of any other company in the world. Since that time, the dimming system for stage lighting in Japan has been replaced by the transformer system, and this system became the mainstream for more than 30 years, spanning WWII.

The Silicon Controlled Rectifier (SCR) dimming system developed by General Electric Company (GE) in the US in 1958 was put to practical use in Japan in the 1960s, and was delivered to NHK T-101 Studio for the first time in 1961. In theaters, SCR dimmers were delivered to the Nissay Theatre in 1963, the Imperial Theatre in 1966, and the National Theatre of Japan in 1966, and were subsequently delivered to theaters and halls throughout the country. Today, the dimmer control console in the operating mechanism uses a computer, enabling more complex and varied productions. Moreover, in recent years, the light source of stage lighting fixtures has been shifting to LED, and in the near future, dimmers and color control will no longer be required, with all lighting fixtures being dimmed by control signals.

■ Profile

佐伯 隆夫 *Takao Saeki*

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

1978年 日本大学生産工学部電気工学科卒業
1978年 丸茂電機株式会社入社 営業技術部技術課に配属
サンシャイン劇場舞台照明設備の設計、施工管理を
担当
1993年 営業技術部 設計課長
世田谷パブリックシアター、可見市文化創造センター、
博多座などの舞台照明設備の設計に従事
2001年 営業部 営業課長
帝国劇場、歌舞伎座、新橋演舞場、明治座、東京宝塚
劇場、新国立劇場を担当する。
2011年 営業部 営業統括課長
第五期歌舞伎座の舞台照明設備の担当として、設計から
2013年の開場まで携わる
2014年 営業部 営業部長
2015年 営業本部 部長
2020年 技術部 顧問
2023年 国立科学博物館 主任調査員

■ Contents

1. はじめに	4
2. 舞台照明設備の概要	6
3. 舞台照明の歴史	29
4. 欧米の模倣から始まった抵抗式調光器時代	41
5. 世界に先駆けて開発された変圧器式調光装置	54
6. 半導体技術によるサイリスタ調光器時代	70
7. サイリスタ調光装置における調光操作卓	86
8. 回路選択機構（パッチ機能）	96
9. 現代の舞台照明	103
10. おわりに	112

紡績技術の系統化調査

～1950年以降を中心として～

Systematic Survey on the Spinning Technology for Staple Fiber after 1950

松本 龍守 Tatsumori Matsumoto

■要旨

私たちが身にまとう衣服の多くは短繊維を撚り合わせてできる紡績糸から作られている。人類は地球上のそれぞれの土地で入手可能な素材から、気の遠くなるような時間と手間をかけて糸を紡ぎ、布を織り、衣服を作り暮らしてきた。やがて糸車生まれ、これがヨーロッパに伝わり16世紀にフライヤーが取り付けられ、ザクセン紡車と呼ばれる紡績道具が生まれる。18世紀後半、木製の道具を使って家庭で作られていた紡績糸は、鉄製の機械に変わり工場で作られるようになった。動力は人力や家畜から水力、蒸気機関へと24時間運転可能になり、大量生産が始まる。中世の糸車は1830年頃ミュール精紡機やリング精紡機に辿り着いた。200年後の今でもその原理機構は変わっていない。

第二次世界大戦後の経済復興期になると、さらに布の需要は増し、織機は次々に新しい緯糸挿入方式を実現した。シャトルからプロジェクトイル(グリッパー)、レピア、ウォータージェット、エアージェットと、いわゆる革新織機の出現である。布需要に対し糸生産が追い付かず、従来型の紡績方式の生産性の課題を分析し高速化に必要な条件が洗い直された。高速紡績には繊維束の連続性を断ち繊維端をオープンエンドにするか、連続性を維持し無撚のままフィラメントを巻き付ける。あるいは糊で固めて布にした後にこれを洗い流す。それとも仮撚りの撚り戻りを利用して一部の繊維を巻き付ける、また機械式往復運動、あるいは旋回エアーを用いてSZの交互撚りで2本の繊維束を緩く絡ませたあと撚糸機で撚りを入れるなど、様々な手法が世界中で試された。しかし多くは試験途中で撤退し、幸運にも商業生産にたどり着けたのは1967年のローター式オープンエンド精紡機(チェコスロバキア)、1981年の空気仮撚り式エアージェット精紡機(日本)、そして1997年の空気渦流式ボルテックス精紡機(日本)だけである。これら革新紡績機と呼ばれる高速化と省人化を意図して開発された機械の登場により、従来型の精紡機がすぐに置き換えられることを疑う人はいなかった。生産性が低く手間のかかるリング精紡機は次第にローター式オープンエンド精紡機に市場を失っていった。

ところが1970年代末にスプライサーと呼ぶ糸継ぎ技術が日本で発明され、結び目が多く高速の編み機や織機での使用は不可能と見られていた従来型の精紡機(リングやミュール)が生き残ることになる。1980年代のスプライサーの普及に1991年末のソ連邦の崩壊による貿易の自由化、経済のグローバル化が重なり、人件費が安く労働力豊富なアジア地域に生産地を移動することで、機械コストの安いリング精紡機に回帰したのだ。同時に生産量も爆発的に増加した。リング糸の優れた繊維の配行性と均一な撚りトルクが風合いの良い製品を生み出し、超細番手糸、コンパクト糸、サイロ糸、コアヤーン、スラブ糸、意匠糸などのニッチな用途にも広がった。

他方ローター式オープンエンド機は21世紀に入りローター回転数が上限に達したとはいえ(リング精紡の約8倍)、生産性と自動化の完成度の高さで、太番手カード糸の分野では圧倒的なコストパフォーマンスを発揮し、タオル、デニム、帆布、作業服、下着などリング紡績糸がかつて占めていたコモディティ商品の多くをすでに置き換えている。

仮撚り方式のエアージェット糸はその撚り構造から布の風合いが固いこと、また綿100%紡績が不得意なこともあり、2012年に生産を止め撤退した。このエアージェットスピニングの反省から撚り構造に拘って生まれたのがボルテックス精紡機である。空気の旋回で繊維束をバルーニングして仮撚りを生成するエアージェット方式と異なり、一旦繊維をオープンエンド化することで実撚りを実現し、布の風合いを落とすことなくリング精紡の20倍から30倍、ローター式オープンエンド方式の2倍から4倍の高速で紡績できる。また毛羽が少なく、2層の撚り構造から来る抗ビル性や洗濯耐性、寸法安定性などの独特の布特性を持つ。ボルテックス方式は繊維端をオープンエンド化する過程で、短繊維が排出空気と共に失われるためショートファイバーを多く含むカード綿でのファイバーロスが多い。しかしショートファイバーの少ない原料を使用する細番手綿糸や人造繊維なら中番手から細番手まで広い番手範囲に渡り紡績速度を落とすことなく、少ない部品交換でカバーでき、ローター方式が不得意な細番手を補完する。

この半世紀、多くの紡績法が考案されアイデアを競ってきたが、この喧騒も落ち着きを見せてきた。この報告書の後半はそれぞれの紡績方式の持つ特徴と限界、また過去に試された様々な紡績方式を眺めながら、次の紡績機の進化や、地球温暖化に伴う自然の脅威に直面する今、持続可能な地球環境のために紡績に出来る貢献について考える。最後に新しい技術を導入するために行ってきたマーケティングについて紹介する。

■ Abstract

The clothes we wear are made of spun yarn, which is made by twisting many staple fibers. Humans have spent much time and effort spinning yarn, weaving fabric, and making cloth from materials available in every region on the earth. The spinning wheel was subsequently developed and introduced to Europe, and in the 16th century, a flyer was attached to it, thereby creating a spinning tool called the Saxon spinning wheel. By the end of the 18th century, the wooden tools used to make yarn at home were replaced with iron machine in factories. Power changed from human and animal power to water and steam engine power, which could run around the clock, thus initiating mass production. By 1830, the medieval spinning wheel found its way into mule spinning machines and ring spinning machines. This basic mechanism has not changed in over 200 years.

During the economic boom that followed World War II, the demand for cloth continued to grow, and looms one by one achieved new methods of weft yarn insertion. From the shuttle to the projectile (gripper), rapier, water jet, and air jet, innovative looms emerged. Since yarn production could not keep up with the demand for cloth, the productivity problems of conventional spinning methods were analyzed and the conditions necessary for high-speed spinning were reconsidered. In high-speed spinning, either the continuity of the fiber-bundle is broken, and the fiber ends are left open, or the continuity is maintained, and the filaments are wound onto the untwisted core strand. Or, after the gluing together the fiber bundles to form fabric, the glue is washed off. Alternatively, use of untwisting of false-twist to wind fibers, or use of a mechanical reciprocating motion or rotating air to loosely entangle two fiber bundles with SZ alternate-twist, and then twisting with a twisting machine. Various methods have been tried around the world.

However, most of them withdrew from the trials, and the only ones which were fortunate enough to reach commercial production were the rotor-type open-end spinning machine (Czechoslovakia) in 1967, the air jet spinning machine with pneumatic false twisting (Japan) in 1981, and the vortex spinning machine (Japan) in 1997. No one doubted that the appearance of these innovative spinning machines, designed to increase speed and reduce labor, would soon replace conventional spinning machines. The low productivity and labor-intensive ring spinning machines gradually lost their market.

But at the end of the 1970s, a yarn-joining technology called splicer was invented in Japan, and traditional spinning machines, which had many knots and were thought to be impossible to use on high-speed knitting and weaving machines, survived. With the spread of splicers in 1980s, and trade liberalization and economic globalization due to the collapse of the Soviet Union at the end of 1991, production was relocated to Asian countries where labor was abundant and at low cost, causing ring spinning to return to the mainstream of yarn production. This was accompanied by an explosive increase in production. In addition, the ring yarn's excellent fiber orientation and uniformity of twisting torque create products with good texture, allowing it to expand into niche applications such as ultra-fine count yarn, compact yarn, Siro yarn, core yarn, and fancy yarn.

On the other hand, rotor-type open-end machines reached their maximum rotor speed (approximately 8 times that of ring spinning), but thanks to their high productivity and high degree of automation, they have demonstrated overwhelming cost performance in coarse count cotton spinning and have already replaced many of the commodities previously occupied by ring-spun yarn.

The air-jet spinning machine with the false twisting method was discontinued in 2012 due to the hard texture of the fabric resulting from its twisting structure and unsatisfactory performance in 100 % cotton spinning.

The vortex spinning machine was born from the reflection of the air jet spinning method and was developed with a twist structure in mind. Unlike the air jet spinning method, which creates false twists by ballooning the fiber bundle using swirling air, the vortex spinning machine achieves a real twist by making the fibers open ended and can produce yarns 20 to 30 times faster than the ring spinning machine, and 2 to 4 times faster than the rotor-type open-end spinning machine without deteriorating fabric texture. The two-layered twist structure results in unique fabric properties such as low pilling, wash resistance, dimensional stability, and good water absorption. The vortex spinning system can cover a wide range of counts from medium to fine without reducing spinning speed and with fewer part changes, complementing

fine counts that cannot be spun with the rotor method.

Over the past half century, many spinning methods have been devised and ideas have been in competition with one another, but the cacophony of the multitude of competing schools of thoughts has begun to abate. The second half of this report looks at the characteristics and limitations of each spinning method, as well as the various spinning methods that have been tried in the past, how spinning machines may contribute to earth sustainability in the face of the natural threats posed by global warming. This report concludes by covering the marketing we have carried out for this new technology.

■ Profile

松本 龍守 *Tatsumori Matsumoto*

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

1977年 京都工芸繊維大学工芸学部機械工学科卒業
1979年 京都工芸繊維大学大学院工芸学研究科機械工学専攻
修了
1979年 京都工芸繊維大学工芸学部 文部技官 教務職
1982年 村田機械株式会社繊維機械事業部 技術部員
／Murata of America (アメリカ)／Murata Machinery
Europa (ドイツ)
1993年 村田機械株式会社繊維機械事業部 研究開発部／技術
部／技術サービス部
2002年 繊維製品品質管理士
2007年 技術士(繊維部門)
2007年～2019年 日本繊維機械学会(学会誌編集委員長、理事、
監事など)
2010年 村田機械株式会社繊維機械事業部 営業部
2013年 日本繊維機械学会フェロー
2023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

■ Contents

1. はじめに	124
2. 18世紀イギリスの産業革命と紡績機	125
3. 新しい紡績法の試み	131
4. リング精紡は生き残れるか	168
5. 紡績機の未来	173
6. おわりに	180
7. 謝辞	184

大型光学赤外線望遠鏡の系統化調査

Systematic Survey on the Development and Evolution of Optical and Infrared Telescopes

三神 泉 Izumi Mikami

■要旨

「我々の望遠鏡は、いつになったら、こんなすごいオリオン座の写真が撮られるのだろうか。想像もできない！」このような賞賛の記事が多くアメリカの新聞に載った。1999年1月29日のことである。ちょうど1日前、日本の国立天文台は、すばる望遠鏡で取得したいくつかの天体写真を、初めてプレス公開していた。すばるは、1999年の初頭にハワイ島のマウナケア山頂で建設が終わり、観測を開始したばかりであった。その後、口径8.3メートルという、単一鏡として世界最大の反射鏡を持つすばるの焦点に設置された赤外線カメラは、様々な天体を撮像し、この日に備えていた。ほとんど同時期に、ヨーロッパ南天天文台が、口径8.2メートルの Very Large Telescope (VLT 望遠鏡) 4 台を、国際 GEMINI 8.0 メートル望遠鏡プロジェクト(アメリカ、イギリス、カナダ等の6か国で構成)が、口径8.1メートルの GEMINI 望遠鏡を2台完成させている。実は、これらの望遠鏡開発は、3つの国あるいは開発機関が、最遠の宇宙の姿の探索と未知の天体現象解明のため、最も鮮明な焦点の像品質と最大の集光力を競い合った技術の「オリンピック」であった。

この包括的な調査報告書では、光学赤外線望遠鏡に軸足を置き、前半で、天文学と望遠鏡の関係や相互発展の歴史を振り返り、かつ、世界と日本の望遠鏡口径の大型化の推移を述べる。後半では、上の3つの8メートル級望遠鏡開発チームが、最重要な要素開発、工学的アプローチ、設計、及び進捗管理等の遂行において遭遇した数多くの難問を、最先端技術を駆使してどのように解決したのかについて、すばる望遠鏡をベースに比較説明する。

■ Abstract

“Wow, I can’t imagine when our telescope will be able to capture such magnificent images of the Orion nebula!” Many compliments to the SUBARU Telescope (known as Pleiades in English) were featured in American newspapers published on January 29, 1999. Just one day prior, the National Astronomical Observatory of Japan issued the first press release featuring various celestial images taken by the SUBARU Telescope. Construction of the telescope was completed at the beginning of 1999 on the summit of Mauna Kea, Hawaii, and preliminary operations began thereafter. It had collected celestial images taken by an infrared light camera, positioned at the focal point of its optical system, representing a single-piece primary mirror measuring 8.3-meters (27 feet) in diameter—the largest in the world. Around the same time, the European Southern Observatory constructed four sets of Very Large Telescopes (VLT), each with an 8.2-meter aperture, and the International GEMINI 8-Meter Telescope Project, involving the US, UK, Canada, and others, established a pair of GEMINI Telescopes each with an 8.1-meter aperture. In essence, these three competing projects can be regarded as the Olympic games of giant telescopes, as they battled for the sharpest image quality and the most substantial light gathering power in the history of astronomical observation, thereby enabling us to explore the most distant corners of the universe and unveil unknown celestial phenomena.

In this comprehensive survey, the first half describes the history of the relationship between astronomy and telescopes, their interactive evolution, and the enlargement of telescope apertures worldwide and in Japan, with a focus on optical and infrared telescopes. The second half covers how the three teams overcame the numerous challenges they encountered during the development of crucial key elements, engineering, design, and progress control, based on that of the SUBARU Telescope, taking particular focus on different approaches to solve them with leading-edge technologies.

■ Profile

三神 泉 *Izumi Mikami*

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

1978年 東北大学工学部機械工学第二学科卒業
1978年 三菱電機(株)入社、主に以下の開発業務に従事
電波望遠鏡、大型アンテナ、光学赤外線望遠鏡
1994年 望遠鏡推進グループマネージャ
1997年 すばる望遠鏡プロジェクト部長
2003年 通信情報技術部長
2005年 通信情報コンポーネント製造部長
2006年 京都大学博士(工学)
2008年 通信機製作所副所長
2009年 電子システム事業本部 技師長
2010年 太洋無線(株)代表取締役社長
2016年 (一財)衛星測位利用推進センター専務理事
2021年 (一財)宇宙システム開発利用推進機構常務理事
2023年 国立科学博物館 主任調査員、現在に至る

■ Contents

1. はじめに	193
2. 望遠鏡の原理と方式	196
3. 天文学と望遠鏡の発展	201
4. 近代の光学望遠鏡の大型化	209
5. 8メートル級巨大望遠鏡の開発競争	215
6. すばる望遠鏡の貢献を支える設計思想	291
7. おわりに	300