

LED 衣装システムの演出装置としての ディペンダビリティについて

柳沢 豊^{†2,†1} 藤本 実^{†1}

概要: 本稿では、LED が埋め込まれた衣装を装着してダンスを行なうことで、ドーム球場やアリーナ等の大型ステージにおいてもインパクトのある演出を行なうことができる、LED 衣装システムについて述べる。筆者らの開発したシステムは、30fps のフレームレートで最大 1024 個のフルカラー LED を無線により個別に点灯制御することが可能である。本システムは 3 年間に 100 回を超える公演で、のべ 300 人以上の演者が使用しており、演出効果を安定的に提供することを実現している。本稿では主に、大規模な公演で長期間にわたって、安定した演出を提供できる演出システムを運用する上での、課題と解決法について述べる。

Dependability for LED Suits System as a Wearable Performance Device

YANAGISAWA YUTAKA^{†2,†1} FUJIMOTO MINORU^{†1}

Abstract: In this paper, we describe a remote lighting control system for LED suits used in the performance show at dome stadiums, arena, and other large event stages. Our developed LED suits system can control 1024 full color LED chips at a frame rate of 30 fps, and empower the expression of dance performers in such large stages. We successfully use this LED suits system for more than 100 performance events in recent 3 years. This paper describes the problems and solutions for the stable operation of the wearable effect devices in large events.

1. はじめに

近年、エンタテインメント業界におけるライブの市場規模は右肩上がり増加している。2005 年に 1000 億円弱だった国内のライブ市場規模は、2013 年には 2300 億円と倍増し、2015 年には 3000 億円を超えるまでに成長した [3]。ライブイベントの公演数、入場者数ともに 10 年で 2 倍超となり、今後も成長が続くと予想されている。特に 1 万人を超えるアリーナクラスの公演は増加しており、会場の不足によりイベントが開催できない問題が発生するほどである。

ドームやアリーナなどのイベントでは、小型のステージ

では実現できないような、大規模な装置や構築物を使ったインパクトのある演出を行なうことが可能である。その一方で、大型の会場では観客とパフォーマーとの距離が大きくなり、これが観客の満足度を下げる要因となりやすい。これを改善するため、大型のディスプレイを使用して出演者を写し出したり、フロートと呼ばれる移動型舞台をつかって会場内を出演者が移動する等の、パフォーマーと観客との心理的な距離を縮める演出手法がよく用いられる。さらには、バルーンや飛行船、ドローン、キャノン砲といった、広くあいている空中の空間を利用した演出手法を活用し、ステージとの距離を感じさせなくする試みも多数なされている。

こうした中で、筆者らはダンスパフォーマー (演者) が LED を装着した衣装を着用し、音楽に合わせて LED の点灯タイミングを制御する方法を用いることで、高い視覚的

¹ m plus plus 株式会社
m plus plus, Shinagawa, Tokyo 142-0063, Japan

^{†1} 現在, m plus plus 株式会社
Presently with m plus plus Co.,Ltd.

^{†2} 現在, 神戸大学大学院工学研究科
Presently with Kobe University

なインパクトを与えることができる演出方法を提供してきた。演者が、高輝度の LED を多数用いた衣装を装着してダンスを行なうことから、ステージから距離がある位置にいる観客からも、演者の動きをはっきりと捕えることができる。このため、観客は拡大鏡を使ったり、ディスプレイを通して演者を見る必要がなく、演者と観客の間の心理的な距離を縮めることができる。また、光を放つ演者は遠方からでも容易に視認できることから、会場全体にパフォーマンスを配置することで、広い会場を生かした演出表現を行なうことも可能となった。本システムはこのような点が演出家や興行主、観客に評価された結果、この 3 年間に参加者 1 万人以上の規模のイベントで 100 回以上使用されるに至った。

このように、LED 衣装システムの使用機会が増加すると、LED 衣装システムの演出効果を高めることと同時に、いかに期待される演出効果を長期的に安定して提供し続けるかという、システムの運用面の問題についても考慮する必要が生じる。従来、演出効果を生むための演出システムは、高い演出効果をいかに生み出すかという点に、設計の重点が置かれることが多かった。しかし、演出システムを長期にわたって使用する場合には、演出効果を発生させる機能を実装するだけでは不十分である。システムが継続的に安定して運用可能でなければ、演出手法を多くのイベントで安定して利用することができず、演出手法そのものが広まらない要因となってしまう。しかも、これまで長期に渡って運用する演出システムを構築する方法については、システムの製作者や運用者の独自の経験とノウハウに頼ることが多かった。

筆者らは、LED 衣装システムを公演で運用しはじめた当初から、このような運用面についての問題について把握しており、継続的に運用方法の改善について検討を行ってきた。本稿では、大規模かつ長期的に行なわれる公演で、演者が装着して使用するシステムの運用を行なう上で重視すべき評価項目を、装着型演出システムの「ディペンダビリティ」と定義し、このディペンダビリティを満足するシステムの設計方法について、LED 衣装システムの例を通して述べる。

2. 装着型演出システムのディペンダビリティ

演出に使用する装置やシステムの安定した運用を行なうために、システムに必要なとされる品質要件についての議論については、これまで体系的に行なわれてこなかった。これは、演出システムの評価が「演出のインパクトの強さ、表現力の高さ」「演出としての新しさ(独創性)」という二点に集中しやすいためである。しかし、実際に演出システムを公演で繰り返し使用していくためには、期待される演出効果を安定的に提供できる形でシステムが構築されている必要がある。従来の演出装置やシステムの運用は、装

置を製作する職人や運用するスタッフの長年のノウハウに頼る部分が大きかった。しかし近年では、映像機器、機械、コンピュータを複雑に組合せた演出システムが次々と作られており、それらのシステムを扱う技術やノウハウの蓄積が難しい状況にある。このような、高度化、複雑化する演出システムを安定して運用するためには、従来のマンパワーに頼る運用には限界があり、システムそのものの運用性を向上させる取り組みが必須であると考えている。

筆者らは、3 年間にわたって LED 衣装システムをのべ 100 以上のイベントで運用し、安定した運用を実現する上で重視すべき評価項目についての洗い出しを行ってきた。この結果、下記の 4 つの項目が重要な項目であると考えられるに至った。

- 安全性 (Safety) : 使用する演者や、観客に対してシステムが被害を与える恐れのないこと。
- 信頼性 (Reliability) : システムが動作不良を起こしにくいこと。また、仮に故障等でシステムが十分に動作しない場合でも、演出効果を大きく損うことがないこと。
- 操作性 (Operability) : 技術的な知識を持たない演者やスタッフでも、システムを問題なく使用できること。
- 保守性 (Serviceability) : システムの復旧、部品交換、修理が容易であること。

これらを、本稿では演出システムのディペンダビリティ (Dependability) を構成する要素とする。上記 4 項目を要件とした理由について、順番に以下で説明する。

2.1 安全性

多数の観客がいる会場内で演者が装着して使用するシステムであることから、観客と装着した演者を傷つける恐れのないことが、システムを設計する上で最も重視すべきポイントである。LED 衣装システムの場合、演者に完全に装着した形でシステムが使用されることから、通常の衣類と同様に、観客に被害を与える可能性は極めて低い。そのため、基本的には演者に対する安全性について考慮すればよい。

LED 衣装システムで、人体に害を与える可能性がある要素としては、システムの発火や発熱がある。人体に装着して使用するシステムであることから、何らかの理由で発火すれば火傷の直接的な原因となる。発火や発熱は、電池の破損と電極のショートなどによる過電流が主な原因となって発生する。これらを未然に防ぐよう、システムを構築することが重要である。

2.2 信頼性

装着型の演出システムは、激しい動作をするパフォーマンスに装着して使用されることから、機械的な破損が起きやすい。破損して LED の制御ができない状態が発生する

と、演出効果を低下させる恐れがあるため、破損しないようにシステムを設計することが必要である。しかし、システムの破損を防ぐために装置を頑健にすると、装置の重量や増加やサイズの増大が起こり、パフォーマーの動きを阻害することになる。演出用装置の重量やサイズの増加によって、パフォーマーの動きが抑制されることになると、それはパフォーマンスそのもののクオリティの低下につながる。そのため、頑健な装置を作るという方法は、装着型演出システムの信頼性を高める方法として用いることはできない。

装置を頑健にすることが難しい以上、演出の機能を常時完全に維持しようとすることは現実的ではない。そこで、仮にシステムに障害が発生したとしても、演出の効果を大きく損なうことないようにシステムが動作するように設計するというアプローチを取る。システムが提供した演出の評価はあくまで人間が感性によって行なうものであるという点が、通常のコンピュータシステムと異なる点である。たとえば、装置に不具合が生じて予定通りの動作を行なわなかったとしても、演出全体が観客にとって「演出が失敗している」状態に見えなければ、演出の信頼性は十分であると言える。観客に明かに演出が失敗していると感じられるようなシステムの故障が生じるとすれば、演出システムの信頼性が低いと言える。これは、寺田らによる「みかけディペンダビリティ」[6]と呼ぶ概念に近いものである。

2.3 操作性

装着型の演出システムは、演者が装着して使用するシステムである一方で、演者は電子装置の取り扱い方法について詳細な知識を持たないことが多い。そのため、使用者に複雑な操作を要するシステムでは、現場で使うことができない。装置の専門家が演者に装置を取り付けて操作を行なうように運用する方法を取用すれば、演者の数が少ないイベントの場合であれば十分に対応できる。しかし、演者の数が100人を超えるような大規模なイベントにおいては、演者の数に見合うだけの専門家を用意することは現実的ではない。このため、装置そのものの操作を簡易化し、電子装置に関する知識を持たない演者やイベントスタッフでも問題なく使用できるように設計する必要がある。

また、ライブ等のイベントでは、数分程度の極めて短時間で演出装置の移動や装着、取り外しなどの作業を行なう必要がある。装着や取り外しに長い時間のかかる装置は、それが原因で使用できるシーンに制限を受けることになり、演出システムとしての汎用性を大きく下げることになる。これを防ぐためにも、数分程度の時間で演者への装着や取り外しやテストができるように、システムを予め設計しておく必要がある。

2.4 保守性

信頼性の項目で述べたように、装着型の演出システムは、物理的な破損により機能に損傷を受ける可能性が高い。イベントの進行途中でもシステムに障害が発生することがあることから、幕間の極めて短い時間でシステムの復旧を行なわなければならない。復旧を行なうためには、まず多数の装置の機能検査を同時並行的に行なって故障箇所を特定する必要がある。そして、技術的な専門知識を持たない多くのスタッフでも、故障部位を修繕、交換等の操作を行なって機能を回復できるように、システム全体を設計しておく必要もある。

2.5 既存の指標との関連性

従前のシステムの品質を評価する指標としては、例えばコンピュータシステムの品質を評価する指標であるRAS、RASISといった指標値がある[2]。RASは、信頼性(Reliability)、可用性(Availability)、保守性(Serviceability)の三つの項目を品質の評価要素としたものであり、古くからシステムの品質を評価する項目として使用されてきた。近年では、RASに保全性(Integrity)、機密性(Security)を加えたRASISを評価項目として使用されることも多い。

RASに含まれる指標のうち、信頼性、保守性に関しては演出システムについてもほぼ同様の要求があるが、可用性、機密性、保全性については、一般のコンピュータシステムに比べるとその要求は弱い。これらの要件は、一般のシステムが不特定多数のユーザが使用することを前提としているため、サービスが停止したり、システムが第三者に攻撃される可能性が考慮されているものと考えられる。一方で、演出システムは特定の演者とイベントスタッフのみが使用することから、機密性が問題となることはほとんどない。また可用性と保全性についても、システムの連続使用時間は数時間から長くても1日程度であるため、連続的な使用が可能であることを担保する必要性は小さい。可用性、保全性に関しては、十分にこれらを担保するためにはシステムを頑健に製作する必要がある、演出システムの重量やサイズ、運用コストを増大することになる。身体に装着するかえって運用を阻害する要因となりえる。こうした点を踏まえ、演出システムのディペンダビリティを評価する指標として、信頼性と保守性に関してのみRASの指標から取り入れることが適切であると考えている。

システムの安全性に関しては、これまでも多くの規格が制定されている。ソフトウェアを含む機器全般の安全性についての規格については、例えばIEC 61508がある[4]。これは主に家電や医療機器、プラントなどの大型の機器に関する規格であり、人間が装着する小型の機器に適用することは難しい。人間が装着するウェアラブル機器の安全性に関しては、近年になってようやく議論が進み始めたところであり、現時点ではこれに特化した品質の評価項目など

は策定されていない。類似の機器に対する安全性の規格としては、例えばオーディオ/ビデオ、情報及び通信技術機器の安全要求事項である IEC 62368-1 がある。ただし、この安全規格は一般のユーザが使用する機器を対象とするものであるため、特殊な環境下でのみ使用される演出システムに適用すると、演出効果を大きく制限する可能性がある。

こうしたことから演出システムの安全性については、前述の規格については十分に考慮しながらも、システムの使用法をある程度コントロール可能な環境下において使用することを前提に、検討していく必要がある。

3. LED 衣装システム

本章では、前章で述べたディペンダビリティの各要件に基づいて設計した、LED 衣装システムの設計手法について説明する。最初に LED 衣装システムの構成について述べ、次にディペンダビリティの要件を満たす手法について述べる。

3.1 システムの構成と設計

LED 衣装システムは、LED 衣装、点灯制御装置、送信装置の三つで構成される。LED 衣装には、フレキシブル基板の上に、フルカラー LED がカスケード接続されたテープ型 LED が、その表面に配置されている。それぞれの演者の衣装に設置された点灯制御装置は、それぞれの LED の色と明るさを制御する信号の生成と、LED を点灯するために必要となる電力の供給を行なうことができる。送信機は、無線通信装置を使って各点灯制御装置に対してコマンドを送信する。点灯制御装置はコマンドを受信機で受けとり、衣装表面に配置された LED の点灯状態を個別に制御する。

送信装置は、演目に使用する楽曲に正確に同期して制御信号を送信することで、LED の点灯状態を楽曲にあわせて精密に同期制御することができる。送信機は、複数の衣装を ID を用いて区別して、制御コマンドを送信することが可能であり、最大 256 個の点灯制御装置を個別に遠隔制御することが可能である。

以下、LED 衣装システムの設計において、装着型演出システムのディペンダビリティの各要件を満たす手法について、それぞれの構成要素毎に説明する。

3.2 LED 衣装

LED 衣装は、衣服の表面に LED テープを装着したものである。LED テープは、フルカラー RGB での個別点灯制御が可能な面実装タイプの LED チップをフレキシブル基板上に実装し、それぞれのチップを電源線、接地線、信号線の三線を用いてカスケード接続したものである。LED テープは、衣服表面に直接固定する方法と、表面にチャックが付いたメッシュ状の袋を設けて、その内部に LED テー

プを配置する方法がある。

メッシュ方式は、あらかじめ衣装をデザインする際に、LED を配置する経路を決めておき、その経路に沿って表面にメッシュ袋を衣服に取りつけておく。LED テープは、袋の表面に付けられたチャックを開けて、内部に配置する。LED テープ同士の接続は、袋の上下にあけられた孔を通してケーブルを衣服内部または外部に出し、そのケーブルの先に取りつけられたコネクタを使用して接続する。

衣服表面に固定する方法は、LED の点灯状態が直接観客から見えるため、メッシュ方式に比べて明るく見える。LED テープを衣装表面に直接張りつけることから、メッシュ袋のような特殊な構造を持つ衣装を製作する必要がなく、一般に販売されている衣装を流用することが可能である。一方で、衣服表面にテープを固定すると、テープが剥き出しの状態となって観客の目に直接的に触れることとなるため、衣装のデザイン性に大きな影響を与えてしまう。また、テープが他の演者や舞台装置等に直接接する可能性があることから、メッシュ方式に比べて破損が起きやすい。また、接着剤等の固定材を使ってテープが衣装に固定されていることから、破損したときに短時間で LED テープを取り替えることは難しいという、保守性の問題がある。

以上のように、製作コストの面では表面固定方式が優れているが、衣装のデザインの自由度の高さや保守性の面では、メッシュタイプのほうが優れている。

3.2.1 安全性

LED 衣装に関しては、演者の動作を阻害しないよう、通常の衣服と同様に自由に動ける構造であることが、演者の安全を確保する上で重要なポイントである。演者が転倒などを防ごうとして体を動かそうとしたとき、それを阻害するような構造の衣装を装着していると、演者自身が転倒を回避できなくなる。衣装を製作する上では、こうした点を考慮してデザインを行なうことが必要である。ただしこの点に関しては、衣装のデザインとの関連が最も強く、システムの設計とは直接の関連が少ないため、本稿では説明は行なわない。

3.2.2 信頼性

衣装に配置されている LED テープは、フレキシブル基板上に LED チップを直列に配置した状態で作られている。フレキシブル基板は柔軟性があるため、ある程度曲げることができる。しかし、何度も曲げ伸ばしを繰り返していると、金属疲労で基板上の配線が破断する。衣装表面に配置された LED テープは、装着している演者の激しい動きによって頻繁に曲げ伸ばしされることになるため、これが原因で故障が発生することが多い。

LED の配線について、間接などのよく曲がる部分に LED テープを直接配置すると、その部分の配線が破断してしまう。そのため、間接の構造を考慮した上で、屈曲がおこらない部分に LED のテープが配置されるよう、衣装のデザ

インを行なっている。屈曲する部分には LED を配置せず、LED テープ間をつなぐケーブルを通してている。こうした手法は、ロボットで関節を避けて配線を行なう方法と似ている。ただし、無闇に LED が存在しない区間を設けると、LED を点灯したときにその空白の部分が演出効果を下げるとなる。このため、空白部分をできるだけ少なくしつつも、関節などの稼働部分を避けるように、LED の配線を考慮する必要がある。

3.2.3 操作性

LED 衣装は、演目の途中で脱着を行なう必要があることから、短時間で脱着できる構造であることが求められる。LED 衣装の「操作性」は、現状ではこの脱着の容易を担保することであると考えている。

LED 衣装では、衣装表面に配置された LED テープに電力と信号を送るため、点灯制御装置から全身にケーブルが接続されている必要がある。このケーブルの接続作業をイベントの幕間に行うことは時間的に不可能であることから、あらかじめ服の内部でケーブルが接続された状態で、衣装を用意して置くことができるように、衣装の形状をデザインしておくことが必要となる。

筆者らは、上下の衣装部位が繋がった「ワンピース」タイプの衣装と、上部から羽織る「マント」と呼ぶタイプの衣装、および上着とズボンが分割された「セパレート」と呼ぶ三つの方式の衣装を提供している。「ワンピース」と「マント」タイプの衣装は、装置を収納するポケットが衣装に直接装着されており、すべてのケーブルをあらかじめ衣装内で結線できる形状に設計されている。このため、これらの衣装については数分程度の短時間でも脱着を行なうことができる。特にマントタイプについては、通常の衣装の上から羽織るだけで着用完了となるため、極めて短い時間でも脱着が可能である。

セパレートタイプは、上下の衣装が分割されており、上下に分割された衣装の間でケーブルを結線する操作が必要となることから、ワンピースタイプに比べて脱着に時間がかかる。一方で、ワンピースタイプに比べて、演者の体型差が衣装の装着の可否に大きく影響しないという利点もある。ワンピースタイプは、上下の衣装が繋がっていることから、演者の体のサイズと衣装のサイズの差が、着用の可否に大きく影響してしまう。特に、身長差があるとワンピースタイプはうまく装着できないことが多い。その一方で、セパレートタイプは身長差が着用の可否に影響しにくく、多くの種類のサイズの衣装を製作しなくても、かなりの体格差のある演者にも対応できる。

3.2.4 保守性

メッシュ型の衣装の場合、LED テープは接着剤やテープ等などでは固定されていないため、LED テープの両端にあるコネクタを外すことで、衣装から容易に取り外すことができる。この機構を用いることで、LED テープに破

断するなどの障害が発生した場合でも、比較的短時間で部品の交換を行なうことが可能である。

一方で、表面固定方式では LED テープ単体を短時間で取り替えることができないため、基本的には衣装そのものの予備を用意しておき、故障時には衣装ごと交換するという方法を用いる。この方法を多用しているマントタイプの衣装は、他の衣装の上から羽織るとい性質上、体の動きがダイレクトに LED テープの屈曲に繋がらないという特徴がある。そのため、屈曲による LED の破損はそれほど高い頻度では発生しないことから、このような衣装全体の交換という運用でも十分に対応可能な範囲である。

なお、ステージで使用される衣装は、演目にあわせてデザインを変更する必要があることから、LED 衣服は基本的に演目にあわせて個別に製作されることが多い。現時点では、ヘルメット、グローブ、靴を除く衣装のすべての部位を演目にあわせて製作しなおしている。一点物のオーダーメイドの衣装を製作している状態と同様であり、交換が難しいという点で保守性が低いものとなっている。将来的には、部位ごとに分割した状態で製作して組合せて使用できるようにする方法や、任意の衣装の表面にアタッチメントのように装着して使えるようにする方法についても検討している。

3.3 点灯制御装置

点灯制御装置は、送信装置から無線通信により受信したコマンドを解釈し、LED 衣装に取り付けられた LED テープを個別に点灯する機能をもつ。点灯装置は、電源と制御基板で構成され、それぞれは LED 衣装に取り付けられたポケット等に格納した状態で使用する。ポケット内部には、衣装表面に配置された LED テープへ接続できるコネクタがあり、このコネクタを点灯制御装置に嵌合させることで、制御装置から電力の供給と制御信号の送信を行なう。

3.3.1 安全性:

点灯制御装置は、1 台で最大 1024 個の LED を 30fps の速度で点灯制御する能力をもち、瞬間最大 75W の電力を供給することができる。点灯制御装置は大きな電力を供給することから、電池や装置が発熱する。このため、装置や電池の過熱を防ぐための放熱対策、ショートや物理的な破損が生じたときの発火の防止が、安全性の観点から必要になる。これらの対策のため、本システムではリチウムフェライト電池の採用と、放熱性と省スペース性をかねそなえた専用基板の開発という、二つの方法で安全性を確保している。

リチウムフェライト電池は、リチウムポリマー電池と同様に大きな電力を供給できる電池である。リチウムポリマー電池と比べると、同じサイズでは供給できる電力量が少ないことから、一般の電子機器にはほとんど用いられていない。その一方で、電解液を使わない構造を持つことか

ら、電池のパッケージが破損するような物理的損傷を受け、液もれや発火などの致命的な障害が起きることがない。ショート時にも電池が破裂するようなことがなく、安全性という面ではリチウムポリマー電池より格段に優れている。LED 衣装は、演者が激しい動作を行うため、装着されている電池が何らかの原因で強い衝撃を受ける可能性が高い。こうしたときに、リチウムポリマー電池では破損による発火や液漏れが生じる恐れがある。このため、本システムでは電池としてリチウムフェライト電池を採用し、安全性を担保している。

本装置は、人間に装着するタイプの装置としては、75W という比較的大きな電力を扱っており、無視できない程度の発熱がある。装置が正常に動作しているときは、この発熱は問題にならない程度であるが、何らかの理由で過電流が発生したときには、装置が過熱状態に陥ることがある。装置は演者に装着されていることから、過度の発熱は演者に火傷を負わせかねない。このような事故を防ぐことは、安全に演出システムを運用する上で極めて重要である。

過電流の発生は、LED テープ内でのショートによるものと、装置に対する衝撃によって電子基板の部品がショートモードで破損するという、二つのケースに分類できる。

テープ内のショートは、LED チップが衝突など衝撃で破損することで発生する。この破損そのものを防ぐことは難しいため、ショートが発生したときに次善の対処が行なえるよう、システムを設計する必要がある。ショートが発生するとラインに過電流が流れ、電源回路の部品を発熱で破壊する恐れがある。これを防ぐため、ライン毎に個別にリセット可能なヒューズを設置している。この素子は、一定以上の電流が流れたり、一定以上の温度になると電流を制限する素子である。この素子を挟むことで、仮に想定以上の過電流が流れたとしても、自動的に電流を遮断することができる。また、テープの交換などによってショート状態が解決されると、電流が流れる状態に自動で復帰する。これにより、物理的なヒューズを利用する場合と異なり、部品を交換する操作を不要にしている。ラインのショートはある程度の頻度で発生することから、自動的な遮断と復帰の機能は、装置の安全性と信頼性を確保する上で重要である。

一方で、衝撃によりコンデンサなどの電子部品がショートモードで破損し、電子基板内に大電流が流れることもある。特に電源回路内で破損が生じると、大電力を供給する能力をもつリチウムフェライト電池によって、20A を超える電流が回路内を流れる。通常の用途の電子基板では、阻止を破壊するような大きな衝撃が加わることは想定されないが、装着型の演出システムではしばしばそのような衝撃を受けることがある。このような物理的な破壊に対応するため、乗用車のヒューズボックスで用いられる、ソケットタイプの大型のヒューズを用いて電流制限を行なう回路を、点灯制御装置の電子基板内に導入している。

ソケットタイプのヒューズは、交換が可能であるという利点の他に、ヒューズのソケットと本体の大部分が金属であり、良好な放熱性能を持つ点という特徴をもつ。ソケットを電源回路と電池へのコネクタの途中に配置することで、大電流が流れた場合にはヒューズそのものが切れて、電流を制限することで安全性を担保する。部品の損傷の程度が少なく、ヒューズを切るほどではない程度の電流が過剰に流れているような場合にも、その電流で発生する熱がヒューズのソケットや本体を介して逃げるため、過度に発熱することが防げる。このように、ヒューズを緊急時のヒートシンクとしても活用するよう回路を設計することにより、少ないスペースで放熱性能を稼ぎ、過度の発熱を防ぐことを可能にしている。

3.3.2 信頼性

本装置には LED テープを並行に四つ接続できる、4 ラインの設計となっている。これは、制御できる LED の数そのものを増やすだけでなく、演出能力が LED テープの破損の影響を受けにくくするためでもある。LED テープは、前述の通り破断するとそれより先の LED に信号が届かなくなる。もし制御できるラインがひとつしかなく、すべての LED がそのラインに接続されていたときに、LED の根本 (装置に近い) 側で破断が起きると、LED の大部分が制御不能となってしまふ。あらかじめ複数のラインに分けておくことで、ひとつのラインに破断がおきても、残りのラインにある LED は制御可能な状態を維持することが可能になる。

また本装置では、個々のラインごとに、ハード的、ソフト的の両面から電力の供給を ON/OFF 制御できる機構を導入している。LED テープは、信号線が破断すると「点灯したまま」の状態に固定されることがある。これは、LED チップが新たな信号を受けとらない限り、前の状態を維持する仕様になっているためである。暗転状態で「付いたまま」の LED は、明らかに「演出として想定されていない状態」であることが観客からも分かるため、結果として大きく演出効果を削ぐ結果になる。そのため「点灯したままの状態」よりも「点灯すべきときに点灯しない」ほうが、演出効果を保全する上では「安全」とと言える。すなわち、本システムにおいては、不具合が発生したときに LED が OFF 状態となるように、システムを設計する必要がある。

具体的には、LED の破壊などでラインに過電流が発生した場合は、ハードウェア的にそのラインへの電力を遮断する回路機構を導入している。また、LED テープの配線が破断して制御不能となった場合は、一定の間隔ごとにラインへの電力供給を OFF にするソフトウェア機構を用いて対処する。これは、制御不能となった LED への電力供給を OFF にすると、以後は電力供給を再開しても点灯しないという性質を利用したものである。これらの機構により、演技中に LED テープに破損が生じた場合でも、演出

全体への影響を最小化することができる。

3.3.3 操作性

本装置は、基本的に電源を ON にする以外の操作をする必要がない設計としている。点灯制御装置の操作は、すべて無線にて送信装置からコマンドを送信することで行なう。また、装置と電池は完全にケースにパッケージされた状態で衣装に装着され、この状態でテストや充電などの操作が可能のように設計されていることから、演者やイベントスタッフがこれらの装置に直接触れる必要がない。これにより、システムについての専門的な知識を持たない演者やスタッフは、点灯制御装置の複雑な操作を覚えたり、実際に操作などを行なう必要がなくなる。

前述の通り、演者やスタッフは電子機器の操作に必ずしも習熟しているわけではない。複雑な操作や慎重な取り扱いを必要とする装置は、このような環境下においては誤操作や機材破損の原因となりえる。操作の単純化とパッケージ化によって、こうした問題が発生する原因を取り除き、システムの運用性を高めている。

3.3.4 保守性

保守性に関しては、一般的な電子機器と同様に予備の装置を予め一定数用意しておき、故障した装置はその場で交換するという方法で担保している。制御装置はすべての衣装で共通化されているため、いずれの装置が故障しても同じ部品を取り替えることで対処できる。

予備の装置を使用する際には、装着する演者毎に決められた ID を付与する必要があるが、装置表面に装着した DIP スイッチを使って ID を設定できるように設計している。この ID を物理的に変更するだけで、その装置が演者用に自動的にカスタマイズされ、即座にステージで使うことができる。これにより、幕間の極めて短い時間の間であっても、装置の復旧を行なうことを可能にしている。

3.4 送信装置

制御コマンドを送信する送信送信は、技術的な知識を持つ技術者のみが使用することから、点灯制御装置や LED 衣装には重要な要件となる安全性や操作性については、特別に考慮する必要がない。信頼性に関しては、送信機を多重化する方法を用いて担保している。送信装置は演者に取り付ける必要がないことから、重量やサイズの増加については特に問題がない。保守性に関しては、市販のパソコンと量産されている機材を組み合わせることで容易に送信装置を構成する方法を採っている。これにより、仮に装置が故障するなどしても、容易に代替装置を用意することを可能にしている。

4. おわりに

本稿では、大型のステージにおいて安定した長期運用を可能にするための、演出システムのディペンダビリティに

ついて述べた。そして、ディペンダビリティの各項目を満たすように、LED 衣装システムを設計する手法についても述べた。演出システムのディペンダビリティは、そのシステムを使用した演出手法が社会に広く浸透する上で、極めて重要な概念であると考えている。

筆者らは現在、演出用のロボットシステムの開発も進めている。これまでの演出システムの設計、運用を通して得られた、演出システムのディペンダビリティの要件を満たすようにシステムの設計を行ない、その有効性について検証していく予定である。

謝辞 本研究の一部は「NEDO 平成 25 年度イノベーション実用化ベンチャー支援事業」および「品川区平成 28 年度新製品・新技術開発費助成事業」の助成を受けたものである。ここに記して謝意を示す。

参考文献

- [1] 藤本 実、藤田 直生、寺田 努、塚本 昌彦: Lighting Choreographer, “ウェアラブル LED パフォーマンスシステムの設計と実装,” 日本バーチャルリアリティ学会論文誌, Vol.16, No.3, pp.517–525(2011).
- [2] M. Y. Hsiao, W. C. Carter, J. W. Thomas, and W. R. Stringfellow, “Reliability, Availability, and Serviceability of IBM Computer Systems: A Quarter Century of Progress,” IBM J. Res. Develop., Vol. 25, No. 5, pp. 453-465 (1981).
- [3] 一般社団法人コンサートプロモーターズ協会, “基礎調査推移表,” <http://www.acpc.or.jp/marketing/transition>
- [4] International Electrotechnical Commission International Standards and Conformity Assessment for all electrical, electronic and related technologies (IEC), “Functional Safety and IEC 61508,” <http://www.iec.ch/functionalsafety>
- [5] International Electrotechnical Commission International Standards and Conformity Assessment for all electrical, electronic and related technologies (IEC), “IEC 62368-1:2014: Audio/video, information and communication technology equipment - Part 1: Safety requirements,” <https://webstore.iec.ch/publication/6932>
- [6] 栗林 晃大, 寺田 努, 塚本 昌彦, “ウェアラブル・ユビキタスエンタテインメントシステムにおけるみかけディペンダビリティのためののびれにくさの定式化に向けて,” Ubiquitous Wearable Workshop (UWW) 2013 公演論文集 (2013).