

Phantazuma: 視界制御フィルムとペッパーズゴーストを組み合わせた観賞者の位置によって異なる内容を観られる舞台機構の試作

千葉一磨^{†1} 中山祐之介^{†1} 橋田朋子^{†1}

本研究では観客の位置によって同じ舞台を見ながら異なる内容を観賞できる舞台機構の実現を目指している。そこで、見る角度によって透明・不透明が変化する視界制御フィルムを従来のペッパーズ・ゴーストの仕組みと組み合わせる。具体的には、舞台と観客の間に設置した複数のフィルム付ハーフミラーの角度と、演者が立つ奥の主舞台、ミラーに反射像（ゴースト）を映すためにある手前のゴースト舞台それぞれの照明の明るさを制御する。これにより同じ劇場にいる観客はそれぞれの観賞位置に応じて演者とゴーストのどちらか、あるいは両方の3つの異なる出現パターンを観ることができる。

Phantazuma: The prototype of stage machinery enabling the audience to watch different contents depending on their position by combining the vision control film and Pepper's ghost effect

KAZUMA CHIBA^{†1} YUUNOSUKE NAKAYAMA^{†2}
TOMOKO HASHIDA^{†3}

In this research, we aim to create a stage machinery which enables the audience members of stage performance to watch different contents dependent to their position. To achieve this goal, we combined a vision control film whose transparency changes depending on the viewing angle with the classic Pepper's ghost effect. Specifically, semi-transparent mirrors which the vision control film is adhered on is set between the main stage and the audience, and the rotational angle of each mirror is electronically controlled. Also, the brightness of illumination in each of the main stage and another hidden stage in front of the mirror to show a ghost is manipulated. Consequently, this system enables the audience members in the same theater to watch different scenes (live actors only, ghosts only, or both) depending on their position.

1. はじめに

演劇作品では「死」を人間にとっての普遍的なテーマとして描くことを目指し、幽霊といった超常現象を舞台上で表現するため特有の舞台装置や仕掛けが用意される。たとえば、ペッパーズ・ゴーストは幽霊を実体の無い存在と捉え、半透明の像を舞台上に出現させることを目的とした視覚効果である。この効果は2つの舞台空間を要し、観客が直接観賞する舞台に対して、黒幕で隠された別の空間が向かい合うように設置されている（以下、前者を主舞台、後者をゴースト舞台とする）。通常、観客は透明板を介して主舞台のみを観ているが、ゴースト舞台上に照明が当てられた場合に限り、ゴースト役の役者が透明板に反射し、半透明の姿で主舞台上の役者やセットと重なる。しかし、このような古典的な演出手法は原理が明かされているため、超常現象としての驚きが気薄である。筆者らは、幽霊とは見える人/見えない人が同時に存在し得る点が恐怖を助長させる要因になると考えた。

そこで本研究では、実物の演者（以下、演者とする）とゴーストのうち、観賞できるものが観客の位置によって異

なる舞台を実現する。これにより、同じ劇場にいたにもかかわらず、終演後も客席の場所によって舞台に対する感想が異なり、より超常的な現象を表現できると考えた。具体的な舞台装置としては、まず透明板ではなくハーフミラーをペッパーズ・ゴーストに使用し照明制御を行うことで、演者とゴーストのどちらか、あるいは両方の3パターンを選択的に提示することを可能にする。次に、見る角度によって透明度が変わる視界制御フィルムをハーフミラーに貼り合わせることで、観賞する位置によって主舞台の可視・不可視を変化させる。このようにハーフミラーを用いたペッパーズ・ゴーストと視界制御フィルムを組み合わせることで、正面の観賞者はゴーストと演者の共存が見られるが、左右の観賞者はゴーストのみが観賞可能になる。さらに、視界制御フィルムが貼られたハーフミラーを電子的に回転制御することで、それぞれの位置で観賞できるパターンが変わるため、1箇所の位置から移動せずに全てのパターンを観賞できる。

本稿では以下、提案する舞台装置の詳細と、ミニチュアサイズの模型で試作した結果について、詳しく述べる。

^{†1} 早稲田大学
Waseda University

2. 関連研究

2.1 ペッパーズ・ゴーストを活用した事例

ペッパーズ・ゴーストの活用例としてレアンドロ・エルリッヒの *The Chairman's Room* [1] というインスタレーションが挙げられる。この作品では、社長室を模倣した奥の空間と黒い壁紙で覆われた手前の部屋がガラスで隔てられており、手前の部屋に入った観客は自身が社長室に現れるゴーストになる体験ができる。また、ディズニーランドのホーンテッドマンション[2]においても、ペッパーズ・ゴーストが採用されている。このアトラクションの体験者は、ベルトコンベア上のソファ型マシンに乗り、ガラス越しに設置された舞踏会の舞台装飾とガラスの手前に隠されたゴーストの人形たちの反射像が重なった様子を観賞することができる。さらに、同アトラクションの終盤では、ハーフミラーに反射した体験者自身と局所的に照明を当てられたミラー奥の人形が隣り合う不気味な場面の演出に利用されている。

このように、近年ではペッパーズ・ゴーストが演劇の枠組みを越えて、アート作品やエンターテインメント施設で活用されている。しかし、ゴーストは観客の位置に関わらず観賞可能であるため、幽霊としては過度に明示的であり、超常現象としての衝撃が希薄である。一方、本研究では視界制御フィルムの活用により、観客の位置に応じて舞台そのものの見え方を変化させる。

2.2 実世界の視界制御を目的とした事例

実世界に特殊なフィルタを介在させ、観客の視界を操作する研究には多様な試みがなされている。暦本らの *Squama*[3]は眺望を保持しながらプライバシー保護を行うことを目的とし、格子状に構成された調光液晶シートのモジュールを用いて視界の透明・不透明領域を局所的に制御している。この場合、遮蔽された領域は観賞する位置にかかわらず不可視であるのに対し、本研究は同じ劇場空間にしながら観客の位置によって主舞台上の演者とゴーストの可視・不可視が変化する点で異なる。一方、視界制御フィルムを活用した川上らの *Lumisight*[4]では、ショーケースに貼られたフィルムの左右奥にプロジェクターを1台ずつ斜めに向けて配置し、それぞれ異なる映像 A・B を同じフィルム面に投影することで、各プロジェクターの対角線上では A・B の異なる映像を、さらに、正面では透過した背景を観察できる。しかし、*Lumisight* では3つすべての観察対象を観るために観客自身が移動しなければならないため、劇場での観劇には不向きである。本研究ではフィルムを回転制御し、客席左側・正面・右側の3方向それぞれに対してフィルムの透明・不透明状態を切り替え、1つの位置で観賞できるコンテンツのバリエーションを増やす。

3. Phantazuma

3.1 システム概要

提案システムに求められる要件は以下の通りである。

1. 主舞台上の演者のみ、ゴーストのみ、あるいは両方の3パターンの内容を提示できる
 2. 観客は同じ劇場で同時に舞台を観ながらも、それぞれの位置に応じて観賞できる内容が上記のうちで異なる
 3. 観客ひとりひとりが上記のパターン全てを観賞できる
- 要件1を満たすため、ハーフミラーをペッパーズ・ゴーストに用いて各舞台空間の照明制御を行う。要件2には視界制御フィルムをハーフミラーに貼付し、主舞台の透明・不透明を観賞する位置によって変化させる。要件3のために上記の視界制御フィルム付ハーフミラー（以下、ファントミラーとする）の回転制御を行う。以上を踏まえ、筆者は観客の位置によって異なる内容を観られる舞台機構 *Phantazuma* を提案する。なお、*Phantazuma* というネーミングはペッパーズゴーストが開発者自身の名前をとって称されたものであることから、筆者の名前になぞらえた。

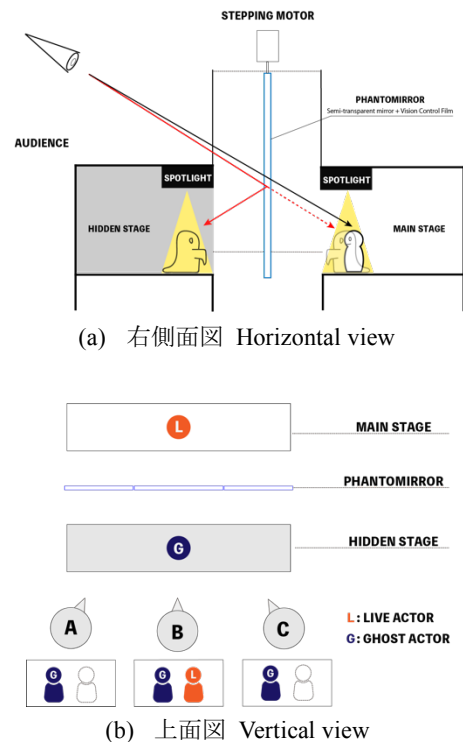


図1 Phantazuma の構成：(a) 右側面図，(b) 上面図
Figure 1 Configuration of Phantazuma: (a) Horizontal view, (b) Vertical view

図1(a)に示すように、今回提案する *Phantazuma* は劇場を模したミニチュア舞台装置であり、観客はゴースト舞台の真上から主舞台を見下ろす構図になっている。主舞台とゴースト舞台は向かい合い、ゴースト舞台は観客から直接観られないよう、黒幕で遮光しながら観客の真下に配置す

る。2つの舞台の間にファントミラーを設置し、その角度と、それぞれの舞台空間の照明の明るさを制御する。これにより、図1(b)に示すように観客は同じ劇場にいながらにして観賞する位置に応じて演者とゴーストのどちらか、あるいは両方の異なる出現パターンを観ることが可能になる。また、ファントミラーの回転により、それぞれの観賞位置に対してすべての出現パターンを提供できる。

3.2 ハーフミラーによる主舞台上の演者とペッパーズ・ゴーストの選択的提示

Phantazumaのシステムにおいては、板ガラスの代わりにハーフミラーをペッパーズ・ゴーストに利用し、ゴーストを実物の演者と切り離して独立的に出現することを可能にする。これはハーフミラーで分離された2つの空間の相対的な明るさの差に応じて観察できる対象が変化するためである。ハーフミラーはビームスプリッターに包括される光学装置であり、入射した光を透過光と反射光の2つの光束にはほぼ1:1の割合で分割する性質を持つ。この性質により、明るい空間からハーフミラーを見ると、明るい空間からの反射光が暗い空間からの透過光に勝るため、ハーフミラーは鏡として振る舞い、明るい空間が映る。反対に、暗い空間からハーフミラーを見ると、暗い空間からの反射光が明るい空間からの入射光にかき消され、ハーフミラーは半透明の板として振る舞い、明るい空間の様子が透けて観察できる。

ハーフミラーの性質を利用し、主舞台とゴースト舞台それぞれの照明を制御することで、実物の演者とゴーストのどちらか一方、あるいは両方を同時に観賞することを可能にする。具体的には、ゴースト舞台の照明を落とし、主舞台の照明を点ければ、主舞台のみ観賞できる。一方で、通常のペッパーズ・ゴーストのようにゴーストと主舞台を重畳させるためには両方の舞台空間の照明が点灯しなければならない。また、ゴーストのみの可視化は、主舞台の照明のみ消すことで可能である。しかし、この場合は観賞する位置に関わらず、主舞台上の演者が不可視になるため、主舞台を暗転せず、観賞する位置によって不透明に見せるには視界制御フィルムが必要となる。

3.3 視界制御フィルムの回転による各観賞位置から見た主舞台の可視・不可視の変化

視界制御フィルムは本来、景観を損なうことなくプライバシーの保護を行うために利用される透明フィルムである。視界制御フィルムはある角度からの入射光のみ拡散させ、それ以外は透過させる特性を持つため、見る角度によって透明・不透明に変化する。図2a)の通り、本システムに利用するY-2555フィルムは、その名が示す通り、観賞者の視線を0度とし、一方のみ25~55度の領域が不透明になるが、フィルム自身を反転させることで上下左右の任意の方向に対し、視界制御が可能である。

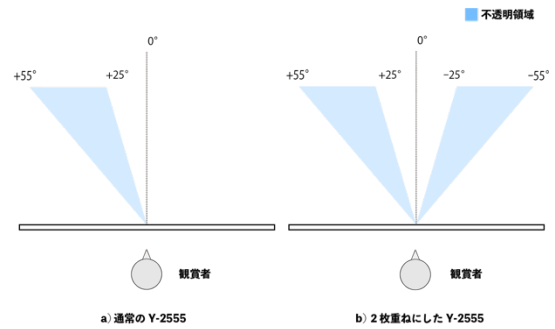


図2 視界制御フィルム Y-2555 の不透明領域

Figure 2 Vision control film Y-2555 and its property

本研究では、客席左側・正面・右側の3箇所の観賞位置に対し、ファントミラー（視界制御フィルム付ハーフミラー）を1枚ずつ用意する。図2b)に示すように、Y-2555タイプのフィルムを2枚左右反転させて貼り合わせることで、観賞者の視線を0度とし、左右両方向25~55度ずつ不透明にする。これにより、正面からは主舞台が透過して見えるが、左右の観賞者からは主舞台が見えなくなる。これをペッパーズ・ゴーストと組み合わせると、正面ではゴーストと主舞台上の演者両方が観えるが、左右からは演者が不可視になりゴーストのみを観賞できるようになる。さらに、フィルム自体を回転させることにより、各位置で観賞できるパターンが切り替わる。

4. 実装手法

4.1 ミニチュア舞台装置

Phantazumaのプロトタイプングとして、横幅600mm、奥行き350mm、高さ900mmのアルミ棚2セットを用いて、主舞台とゴースト舞台の空間を有するミニチュア舞台装置を制作した。その際、アルミ棚の土台の1つを天井として、2つの舞台のポールに取り付け、両舞台を固定した。これにより、両舞台の間にファントミラーを設置した際、それぞれの舞台空間とファントミラーの距離が常に等しくなるため、ゴーストと主舞台の位置の補正が有効になる。

4.2 ファントミラー

ファントミラーは視界制御フィルム付ハーフミラーである。ファントミラーの制作にあたり、縦320mm、横180mm、厚さ3mmの亚克力ハーフミラーを3枚用意した。1枚のファントミラーでは回転制御の際、主舞台とゴースト舞台との間隔を広く空けなければならないため、3枚に分割し観賞者との距離を縮めた。また、低コストであり、劇場という広い空間に適用するのにより現実的であるという観点から、ハーフミラーの素材として亚克力板を選定した。ハーフミラーの透過度は理論値が30%とされるものを選び、実験値を計測した結果、およそ31%であった。視界制御フィルムは、提案システムのサイズやフィルムのコストを考慮し、ヤマヒラ社が製造する視界制御フィルムのうち

Y-2555 を選定し、1 枚のフィルムにもう 1 枚のフィルムを 180 度回転させて重ね合わせ、左右両方向から不透明になるようにした。最後に、2 枚重ねの視界制御フィルムをハーフミラー 1 枚ずつに貼り合わせた。

4.3 ファントミラーの回転機構

本機構は、制作したファントミラーを所望の角度に回転する機構である。それぞれのファントミラーの回転にはステッピングモータ ST-42BYH1004-5013 を用いた。モータ軸には 3D プリントした回転盤を固定し、回転盤上にファントミラーを取り付け、主舞台とゴースト舞台の間で上から垂直に吊るして設置した。モータの角度制御にはステッピングモータドライバ L6470 と Arduino Mega 2560 を用いて行った。L6470 をモータ 1 台につき 1 つずつ繋げ、ドライバ同士をデジチェーン接続することで、複数台のステッピングモータに対し、独立に制御コマンドを送信することを可能にした。ファントミラーにはモータに対して 200 ステップ移動するコマンドを送信して回転させた。これは、200 ステップが 40 度回転に対応しており、40 度フィルムが回転すれば正面-15~+15 度が均等に不透明になるためである。

4.4 ゴースト出現のための各舞台照明の制御

主舞台とゴースト舞台それぞれの照明の ON/OFF を制御することで、演者とゴーストのうち、観賞できる対象を変化させる。主舞台側の照明は舞台全体を照らせばよいので、スイッチが備わった 2 台の LED 照明 (20W) を手動で制御した。一方、ゴースト舞台においては、ゴーストのみを主舞台上に重畳させられるよう、局所的にゴースト役の物体を照らすスポットライトを制作した。3W のパワーLED を 3 台使用し、ゴースト舞台の中央とそこから 9cm ずつ離れた箇所の天井に取り付けた。パワーLED の発光を安定化させるため、ドライバモジュール OSMR16-W1213 を各 LED に接続し、スイッチングには MOSFET K 4017 を用いた。元々、このパワーLED は 120 度の放射角があるため、スポットライトとしてゴーストのミニチュアのみを照らすために 3D プリントした筐体を LED の発光部に取り付けた。

5. 動作結果

Phantazuma の動作確認のため、スケールが 1:22.5 の人物模型 1 体を主舞台の中央に、3 体をゴースト舞台の左側 (G1)、中央 (G2)、右側 (G3) に配置した。本章では簡単のため、観客それぞれが 3 枚のうち中央のファントミラーのみを観ている状況を想定し、以下の 3 つのパラメータを変化させた時の演者とゴーストのうち観賞できるものを比較する。

1. 主舞台とゴースト舞台それぞれの照明の ON/OFF
2. 客席左側(A)、正面(B)、右側(C)の 3 つの観賞位置
3. ファントミラーの回転角：0 度、±40 度

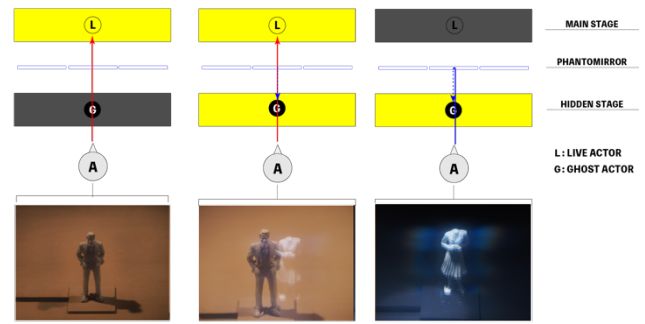


図3 ファントミラー回転角を 0 度とし観賞位置を中央に固定したときの各舞台照明の ON/OFF と観賞できる物体
Figure 3 Observable images depending on the brightness of each of two stages where the rotational angle of Phantomirror is set to zero and the position is fixed at the center

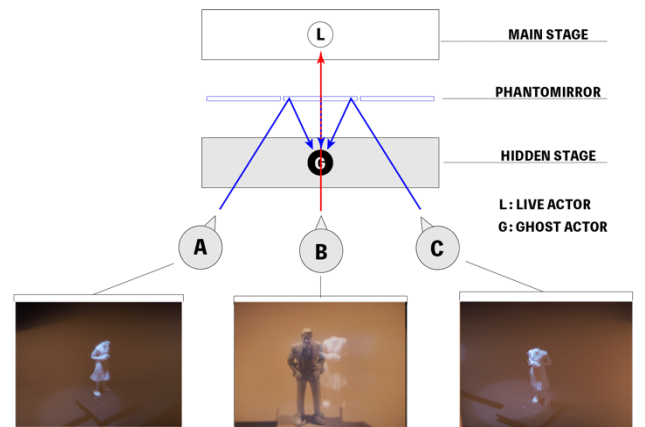


図4 ファントミラー回転角を 0 度とし両舞台照明を ON にしたときの観賞位置と観賞できる物体

Figure 4 Observable images depending on the position of audience members, where the rotational angle of Phantomirror is set to zero and both stages are lit

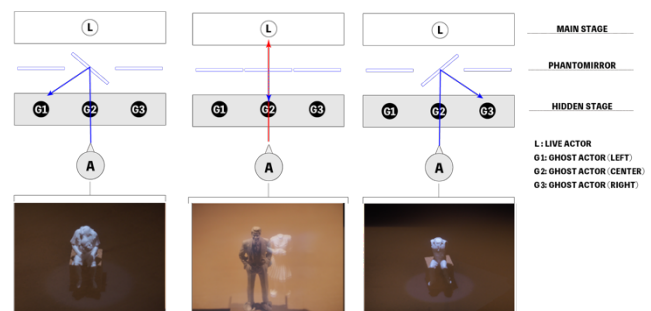


図5 観賞位置を中央に固定し両舞台照明を ON にしたときのファントミラーの回転角と観賞できる物体

Figure 5 Observable images depending on the rotational angle of Phantomirror

それぞれのパラメータを変化させて動作確認を行った際の図と写真を図 3~5 に示す。まず、図 3 に示す通り、フ

ファントミラー回転角を 0 度とし観賞位置を中央に固定したとき、主舞台のみ照明 ON の場合は演者のみ、ゴースト舞台のみ照明 ON の場合はゴーストのみ、両舞台が照明 ON であれば演者とゴーストの両方が観賞できる。次に図 4 に示すように、ファントミラー回転角を 0 度とし両舞台照明を ON にしたとき、正面からはゴーストと共に演者が見えるが、左右からは主舞台が不透明になり、ゴーストのみ観賞できる。最後に、図 5 の通り、観賞位置を中央に固定し両舞台照明を ON にしたとき、ファントミラーの回転角が 0 度のときは正面のゴーストと演者 (G2)、時計回りに 40 度回転させると演者が消失し左ゴースト (G1) のみ、反時計回りに 40 度回転させると同様に右ゴースト (G3) のみ観賞できる。

表 1. 視界制御フィルム付きハーフミラーの角度と各舞台照明の ON/OFF による見え方の違い

フィルム回転角		0°			40°			-40°		
観賞位置		A	B	C	A	B	C	A	B	C
照明	主 ON	演 X	演 O	演 X	演 O	演 X	演 X	演 X	演 X	演 O
	ゴ OFF	全 G X	全 G X	全 G X	全 G X	全 G X	全 G X	全 G X	全 G X	全 G X
	主 ON	演 X	演 O	演 X	演 O	演 X	演 X	演 X	演 X	演 O
	ゴ ON	G2 O	G2 O	G2 O	G1 O	G1 O	G1 O	G3 O	G3 O	G3 O
	主 OFF		演 X			演 X			演 X	
	ゴ ON		G2 O			G1 O			G3 O	

* 視界制御フィルム付ハーフミラーの回転軸を基に時計回りを正とする

主: 主舞台 ゴ: ゴースト舞台 演: 演者 全 G: 全ゴースト
G1: 左ゴースト G2: 中央ゴースト G3: 右ゴースト

O: 可視 X: 不可視

■ 従来のペッパーズ・ゴーストとの差分

3 つのパラメータを変化させた際の観賞できる対象をまとめた結果を表 1 に示す。演者とゴーストのうち、観賞できる組み合わせは 21 パターン生成される。中央だけでなく、左右のファントミラーを含め、3 枚を駆動させた場合は 63 パターンになるが、それぞれのファントミラーの回転角を複雑に操作することで、それ以上の数の組み合わせが生まれる。

従来のペッパーズ・ゴーストと本システムとの差分は、視界制御フィルムの導入により、主舞台の照明が ON のまま、鑑賞位置に応じて主舞台上の演者を消失させることができる点である (表 1 に赤色で示す)。なおフィルムの回転角に応じて、主舞台上の演者が消失してみえる観賞位置の組み合わせも変えることができる。これにより、ある位置では演者とゴーストの両方が観賞でき、一方で別の位置からではゴーストのみが観賞可能になる。ただし、ゴーストの出現と消失は視界制御フィルムではなく、ハーフミラーとゴースト舞台側の照明によるものであり、ゴーストとして登場する物体がハーフミラーに面していなければ観賞できない。動作確認の際は、その点を利用し、3 体のゴーストを置くことで、フィルムの回転角に応じて異なるゴーストの提示を可能にした。

6. 議論

本システムでは、視界制御フィルムの適用により、主舞台側の透明・不透明を制御し、演者の出現/消失を表現している。今後は、ゴースト側にもファントミラーを用意し、観賞位置に応じてゴーストの出現/消失を実現する。ファントミラーに用いたアクリルハーフミラーは湾曲してしまう性質があるため、ペッパーズゴーストの像が歪んで主舞台上に現れ、ゴーストの位置と主舞台との補正が困難になる。ガラスハーフミラーを代わりに用いることで反りの問題は解消されるが、アクリルハーフミラーよりもコストがかかってしまう。また、透過率 30% のアクリルハーフミラーは入射光の 40% を吸収するため、主舞台の色味がミラーを介すると変化してしまう問題がある。さらに、ファントミラーの回転により、隙間から主舞台を肉眼で観賞できてしまい、ファントミラーの効果が適用できない範囲が生まれてしまう。ハーフミラーといった光学素子やファントミラーの傾きの操作に関する改善点を克服すべく、システムの再構成が求められる。

7. まとめ

本稿では、観賞する位置に応じて異なる内容を見ることを可能にする舞台装置 Phantazuma を提案・試作した。Phantazuma には、2 つの舞台を多重化させる従来のペッパーズ・ゴースト効果にハーフミラーと複数照明の制御を応用し、それぞれの舞台空間を独立に提示させる作用をもたらした。さらに、視界制御フィルムを用いて観客の位置によって主舞台の可視・不可視を変化させることを実現した。これらを組み合わせ、観客は同じ劇場にいながらにして、観賞位置によって演者とゴーストのどちらか一方、あるいは両方の異なる 3 パターンを並列的に見ることができる。また、視界制御フィルム付ハーフミラーの回転により、1 箇所の観賞位置で上記すべてのパターンを観賞することが可能である。このように、Phantazuma の適用によって今までにない新たな観劇体験の実現を目指す。

参考文献

- 1) Park Ride History: “The History of & Changes to The Haunted Mansion | Disneyland”, https://www.youtube.com/watch?v=nPLgL_hGQ1M. Accessed on April 23rd, 2018.
- 2) Leandro Erlich: “The Chairman’s room”, <http://www.leandroerlich.art>. Accessed on November 14th, 2017.
- 3) Jun Rekimoto: “Squama: Modular Visibility Control of Walls and Windows for Programmable Physical Architectures”, AVI (International Working Conference on Advanced Visual Interfaces), 2012.
- 4) Rei KAWAKAMI, Yasuaki KAKEHI, Takeshi NAEMURA and Hiroshi HARASHIMA: “Lumisight: View-Dependent Transparent Display Using Lumisty Film”, The Proceedings of Interaction 2003, pp. 53-54.
- 5) YAMAHIRA, “ビジョンコントロールフィルム”, <http://www.yamahira.com/products/lumisty/index.html>. Accessed on December 15th, 2017.