The Virtual Reality Society of Japan

TVRSJ Vol.17 No.4 pp.317-325, 2012

応用論文

バーチャルジオラマと複合現実型提示を用いた舞台照明の演出計画支援

徳本 晋之介[*1]　北原 格[*1]　大田 友一[*1]

A Visual Support System for Planning of Stage Lights Control by Using Virtual-Diorama and Mixed-Reality

Shinnosuke Tokumoto[*1], Itaru Kitahara[*1] and Yuichi Ohta[*1]

Abstract --- This paper proposes a visual support system for planning stage lights control by using Virtual-Diorama and Mixed-Reality (MR). The Virtual Diorama visualizes effects of stage lighting so that every user can easily share a same image of the designed lighting. As the result the efficiency of the planning of stage lighting control can be improved. The MR technique solves problems in rehearsal such as limitation of practice-time and available lighting instruments. We implemented a pilot system of our proposed methods, and conduct on experimental evaluation to show the effectiveness.

Keywords: Mixed Reality, Virtual Diorama, Stage Light, Lighting Control, Subjective Evaluation

1 はじめに

本論文では，バーチャルリアリティ(VR)と複合現実感(MR)を用いることにより，舞台照明演出作業を効率化する手法について述べる．舞台照明は，音楽イベントやミュージカルなど舞台で行われるコンテンツの視覚的演出の重要な要素であるため，十分な時間と手間をかけて演出計画が練られている．舞台照明の演出計画では，複数人のオペレータが，イベントの様子をシミュレーションしながら，照明制御の検討とその効果の確認を繰り返し行うのが一般的である[1]．専門家同士でシミュレーションを行う場合には，照明に関する共通知識が存在するため，言語による感覚的なコミュニケーションでも意図した照明効果を伝えることができるが，経験や知識のレベルが異なるユーザが共同で演出計画を行う場合，言語情報だけで照明効果を正確に伝えることは容易ではない．我々は，その原因として，以下に示す三つの問題点に着目し，解決を目的とした研究開発に取り組んでいる．

一つ目は，照明操作を他のユーザに伝える場合，言語のみによるコミュニケーションでは，「パッパッ」「ジワジワ」などの感覚的表現が用いられることが多く，その結果，照明効果の適切な共有が困難となる問題である．二つ目は，照明演出計画時から時間が経過するのに伴ってユーザの記憶が曖昧になり，照明効果の正確な再現が困難となる問題である．三つ目は，使用する舞台や照明機材の利用制限により，リハーサル時に十分な機材が使えないケースが発生する問題である．この場合，ユーザは，不足機材の照明効果を頭の中で想像しながら，演出計画を立てることを強いられる．

本論文では，VR と MR を活用して，前述した三つの問題を解消し，舞台照明の演出計画を支援する方式を提案する．特に，学生アマチュア団体が学園祭などの特設イベントにおいて照明演出計画を行う場合，経験や知識のレベルが異なるユーザによる共同作業や，リハーサル時の機材不足など，本方式による支援が有効に機能することが期待できる．以下，第2章で照明演出計画に関連する従来研究を紹介し，提案する舞台照明演出計画支援方式の方向性を示す．第3章ではバーチャルジオラマを用いた舞台照明計画支援手法について，第4章では MR 提示を用いた舞台照明計画支援手法ついて各々述べる．第5章で提案支援方法の有効性を検証するために実施した実証実験について紹介し．最後に第7章で本研究のまとめと，ユーザテストにおいて指摘された課題について述べる．

2 バーチャルジオラマとMR提示を用いた照明演出計画支援

これまでにも照明のイメージを第三者に伝達することを目的とした研究開発が行われているが，空港や駐車場，店舗などにおける静的な照明効果のシミュレーションを目的とするものが主であった[2][3]．西濱らは，Diamond Touch と名付けたテーブルトップインタフェー

*1 筑波大学 大学院システム情報工学研究科 知能機能システム専攻
*1 Department of Intelligent Interaction Technologies, Graduate School of Systems and Information Engineering, University of Tsukuba

NII-Electronic Library Service

The Virtual Reality Society of Japan

ス上に役者のCGアバタを配置し，プロジェクタを用いて照明効果を付加することで，演劇の演出支援を実現しているが，我々が実現を目指す動的な照明操作は，対象としていない[4].

CAST 社の WYSIWYG[5]，Martin 社の Show Designer[6]，LIGHTCONVERSE[7]，TSMAX 3D Simulator などの舞台演出計画支援を目的とした VR システムを用いて，計画した照明効果を記録・保存・共有し，それを可視化することにより，前節で述べた「言語コミュニケーションによる照明効果の適切な共有」と「時間経過に伴うユーザの記憶の劣化」の問題を解決することが可能である．しかし，これら既存のシステムは，照明演出の専門家を主な対象として開発されているため，表現能力が高い反面，入力インタフェースが複雑であり，使いこなすためには照明に関する知識や作業経験が要求される．我々の支援方式における照明演出計画支援は，シンプルなインタフェースと操作手順で VR 照明を操作することにより，より幅広い（アマチュアレベルの）ユーザ層でも支援方式のメリットを受けることを目的とする．簡単化の影響により，既存のシステムと比べると表現能力がやや劣る場合があるが，その点は，MR 提示を用いた照明効果の確認作業により，適宜修正が行われることを期待している．

MR Pre-Viz Project[8]では，撮影空間の光学的特性を自在に変更可能な再照明付与手法と MR 技術を組み合わせ，現実世界の視覚情報に仮想照明の効果を付加している[9]．提案手法では，この手法を応用し，リハーサル時に利用できない照明を仮想照明で代替することにより，その照明効果を的確に把握しながら，演出計画を実施する手法を実現する．

本論文で提案する舞台照明の演出支援方式の概要を図 1 に示す．本方式は大きく，「計算機内部に構築した舞台のバーチャルジオラマを用いて舞台照明の演出計画を行い，それを記録・再生する部分」と，「MR 提示を用いてリハーサル時に利用が困難な照明の効果を再現する部分」から構成される．ユーザは，まずバーチャルジオラマを用いて照明演出計画を協議し，その結果を演出計画ログファイルとして保存する．次に，そのログファイルを，照明演出を行う会場に持ち込み，リハーサルを実施する．具体的には，演出計画ログファイルを舞台に備え付けの照明制御装置に入力し，ログファイルに沿った実照明操作を行い，演出計画を確認する．リハーサル時には利用できない照明機材がある場合は，MR 技術を用いて仮想照明を点灯させることにより，全ての照明を用いた演出計画を実現する．

舞台では，舞踊，演劇など多様なコンテンツが行われるが，その中でも音楽イベントは，短時間のイベント中に多数の照明パターンを動的に切り替える必要があるため，舞台コンテンツの中でも演出計画の難易度が高い．我々は，難易度が高い題材の方が提案手法の有効性を明らかにしやすいと考え，研究対象として音楽イベントを選択する．

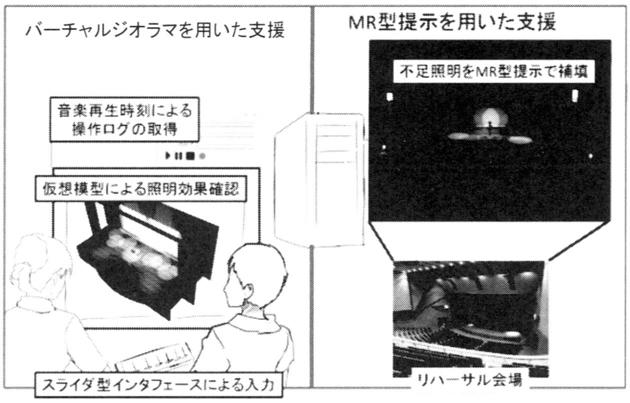


図1　バーチャルジオラマと MR 提示を用いた照明演出計画支援方式

Fig.1 Overview of our visual support system for planning of stage lights control.

3 バーチャルジオラマを用いた舞台照明の演出計画支援

図 2 に，我々が提案する舞台照明の演出計画支援システムを示す．バーチャルジオラマは，作業対象となる環境の3次元 CG モデルを縮小提示することにより，環境全体の俯瞰的な観察を可能とする提示手法である[10][11][12]．提案方式では，バーチャルジオラマの特長を活用することにより，照明効果の正確な共有を実現する．提示映像の写実性と処理速度は，トレードオフの関係にあることが知られているが，照明演出計画では，より多くのアイディアを試行することが優先されるため，提示映像の写実性は，照明操作のタイミングの記録や照射範囲などの照明効果の確認が可能なレベルにとどめることにより，高速処理を実現する．

バーチャルジオラマを用いた舞台照明の演出計画支援システムの作業手順について説明する．まずユーザは，作業対象環境のバーチャルジオラマにおいて，照明配置インタフェースを用いて仮想照明を配置する．次に，演奏楽曲を繰り返し再生しながら，照度レベル調整インタフェースを用いて舞台照明演出の計画を立てる．以降，各部の詳細について述べる．

3.1 バーチャルジオラマ

図 3 に示すバーチャルジオラマの3次元 CG モデルは，建物の設計図や3次元測量器で計測したデータを元に生成され，舞台の形状以外に，仮想照明の位置・姿勢に関する情報を有する．舞台を撮影した画像を3次元モデルにテクスチャマッピングすることにより，ジオ

NII-Electronic Library Service

The Virtual Reality Society of Japan

ラマの見栄えを向上させる．ユーザは，このバーチャルジオラマに対して仮想照明を照射し，その効果を観察しながら舞台照明の演出を計画することができる．

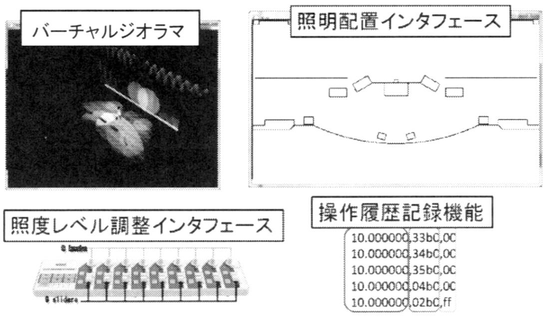


図2　バーチャルジオラマを用いた舞台照明演出計画支援法

Fig.2 A planning-support-system by using Virtual-Diorama.

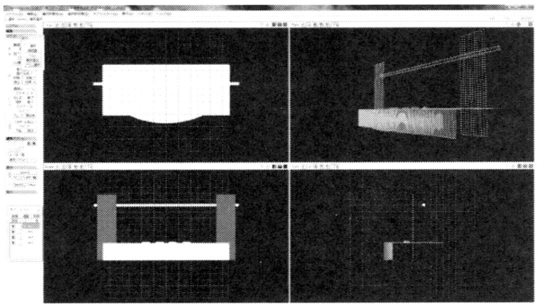


図3　舞台のバーチャルジオラマ
（三面図と透視投影図（右上））

Fig.3 The Virtual-Diorama of a target stage.

3.2 照明配置インタフェース

照明配置インタフェースは，図 4 のような対象空間（ステージ）の俯瞰図を用いて，仮想照明を配置するためのインタフェースである．まず，俯瞰図上でポインティング操作により，仮想照明を設置する場所を入力する．この際，照明機器の大きさや配線距離に応じて，照明が設置可能な場所を限定することにより，設置計画作業の簡易化を実現する．次に，照明を当てたい地点（照射点）をポインティングすることにより，照明の位置と姿勢を設定する．

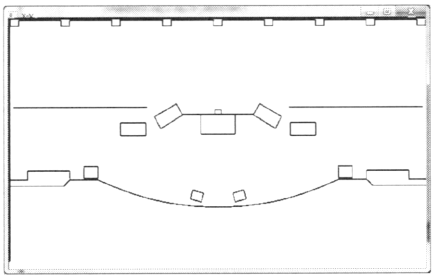


図4　照明配置インタフェース

Fig.4 An interface for setting up virtual lights.

3.3 照度レベル調整インタフェース

本方式で用いる照度レベル調整インタフェースを図 5 に示す．実際の舞台で使用されている照明調整機材（以降，照明操作卓）と同様にスライダ操作により仮想照明の照度レベルを制御する．本稿で構築したシステムでは，スライダ入力デバイスとして，出力信号の取り扱いが容易な MIDI コントローラを利用する．

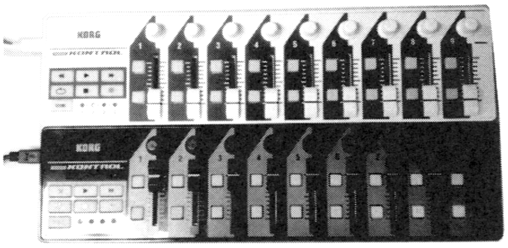


図5　照度レベル調整インタフェース

Fig.5 An interface for controlling light brightness.

3.4 照明演出履歴の記録と再生

本システムでは，仮想照明操作のタイムスタンプとして楽曲の再生時間を利用する．図 6 に示すように，照明演出計画時には，時刻毎に，タイムスタンプ（時刻），各仮想照明の識別情報（ID）と照度レベルが演出計画ログファイルとして保存される．ログファイルは，独自形式のテキストファイルとして保存されるが，一般的な照明制御装置で利用される KOMOS 形式や JASCII 形式への変更が可能である．

ログファイルの利用形態には，“記録”と“再現”の2種類のモードが存在する．記録モードでは，楽曲を再生しながら行った仮想照明操作が，逐次ログファイルに上書き記録される．再生モードは，これまでに計画した演出の確認を目的としたモードであり，ログファイルに保存された照明演出がバーチャルジオラマ上で再現される．

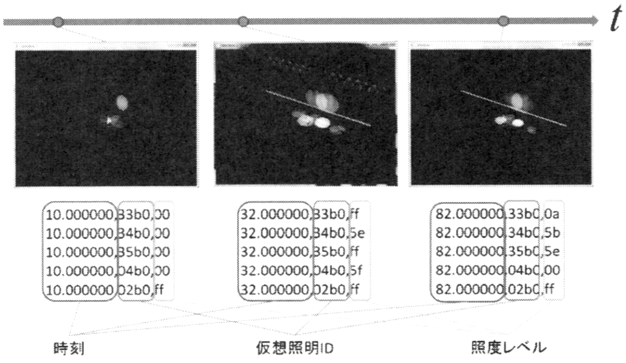


図6　照明演出の履歴情報

Fig.6 An example of log files of stage lights control.

NII-Electronic Library Service

The Virtual Reality Society of Japan

4 MR 提示を用いた舞台照明演出の支援

図 7 に示すように，イベントで実際に使用する舞台にバーチャルジオラマを用いて計画した舞台照明演出を MR 提示することにより，照明効果を確認する．MR 技術を活用することで，実在する照明（以下，実照明）と仮想照明の照明効果を同時に観察可能となり，リハーサル時には使用できない照明機器がある場合でも，その照明効果を補いながら，実際の舞台に近い状態で照明効果を確認することができる．

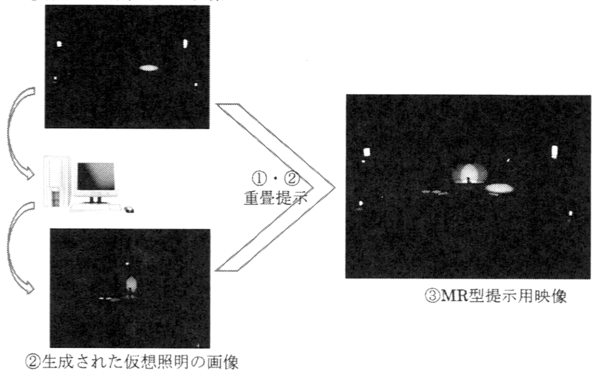


図7　MR 提示を用いた舞台照明演出の支援

Fig.7 A visual support system for stage light control by using MR technique.

仮想照明の効果を MR 提示するために必要な情報は，“ユーザ視点映像を撮影するカメラの位置・姿勢”，“舞台の3次元形状”，“実照明の位置・姿勢”，そして“舞台の光学的特性”である．

照明が暗転した状態では，映像情報からカメラの位置・姿勢を安定して推定することは困難であるが，照明効果の確認作業において，ユーザは視点を大きく移動させることは少ないと考え，環境光照明（客席照明）を点灯させた状態でユーザ視点カメラの位置合わせを行い，その結果を用いて MR 提示を実現する．舞台の3次元形状や実照明に関する情報は，バーチャルジオラマ構築時に獲得した情報を用いる．

本方式では，一刈らの再照明付与手法[7]を用いて，舞台の光学的特性の獲得を実現する．この方法は，事前に照度を様々に変更させながら撮影した映像を解析することによって生成した“照度-RGB テーブル”を用いて，照明効果を付与した画像の各画素の階調値を決定するものである．照射物体の反射分光分布の計測・推定処理をテーブル参照処理で代替するため，3次元モデル生成に必要な作業を大幅に軽減することができる．

しかし，3次元モデルの各面に対して，照度計を用いて照度計測を行うことは，依然作業コストが高い．そこで，図 8 に示す照度推定マーカを導入することにより，テーブル生成処理を簡単化する．まず，照度-RGB テーブル生成したい面にこのマーカを設置し，マーカ周辺の“照度推定領域”の RGB 値から撮影環境の照度を推定する．その結果と，マーカ中央の“RGB 値観測領域”において観測される RGB 値から照度-RGB ペアを獲得する．同様の処理を複数の照明環境下において実行し，注目面の照度-RGB テーブルを生成する．

図8　照度推定マーカ

Fig.8 A luminance estimation marker.

照度-RGB テーブルを用いて，仮想照明を付与した際の見え方（画素値）を推定する手法について述べる．まず，式(1), (2)を用いて，照度-RGB テーブルにおける照度値 E に対応する RGB のいずれか1色の照明付与前と付与後の階調値 V_{before}，V_{after} を計算する．ここで，a と b は照度-RGB テーブルの対数式のパラメータ，E_L は照明によって増加する照度，E_I は照明付与前の照度とする．

$$V_{before} = a\ln(E_I) \tag{1}$$

$$V_{after} = a\ln(E_I + E_L) + b \tag{2}$$

照明が白色光であれば，仮想照明付与後の照射点の階調値 B_L は，V_{before}，V_{after}，照射前の階調値 B_I を用いて，式(3)のように求めることができる．

$$B_L = \frac{V_{after}}{V_{before}} B_I \tag{3}$$

ホリゾントライトのような非白色光照明に対しても，RGB の要素毎に照射による変化を推定することにより，照明付与処理が実現可能である．図 9 に，本手法を用いてレンダリングした映像のスクリーンショットを示す．実際のステージ上に仮想照明が付与されたシーンが再現されていることが確認できる．

NII-Electronic Library Service

The Virtual Reality Society of Japan

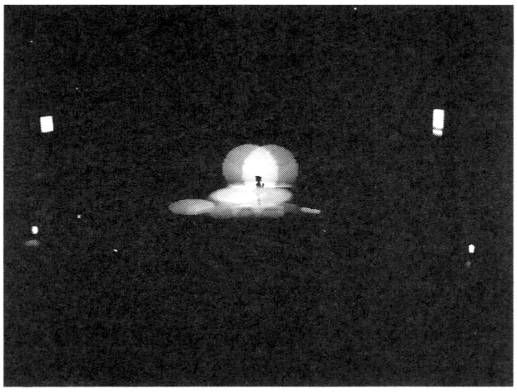


図9 照度-RGBテーブル法を用いたレンダリング結果
Fig.9 A displayed image rendered by using Luminance-RGB table.

5 評価実験

5.1 バーチャルジオラマを用いた舞台照明の演出計画支援システムの評価実験

3章で述べた，バーチャルジオラマを用いた舞台照明の演出計画支援システムの評価実験について述べる．実験会場は，設計図や機材仕様書に基づいて舞台の形状と照明機材の3次元モデルを事前に準備可能なことから，筑波大学の大学会館講堂を選択した．

5.1.1 実験方法

被験者は二人一組になり，図 10 に示す提案手法のパイロットシステムを用いて，楽曲の舞台照明の演出計画を行う．この際，舞台照明演出計画の経験の有無は問わないが，演出開始前に，制御システムの操作に慣れるために10分程度の練習時間を設けている．課題曲として，イントロ，A メロ，B メロ，サビで構成される約 1 分 30 秒の楽曲“rePrayer/YM1024 feat. lamie*”を使用する．実験に先立ち，楽曲を事前に聞き込んでくるよう指示をしてある．演出計画に要する時間は最大20分とし，その間のシステム操作ログは全て記録され，操作状況の解析に用いられる．なお被験者には，演出に満足した時点で，制限時間に関係なく終了するよう指示する．本実験で制御可能な照明の種類と制御系統を表 1 に示す．

演出計画終了後，下記4項目について評価アンケートを実施した．各質問項目を図 11 中の項目との対応と併せ，以下で紹介する．

1. 「伝達」に関する質問：バーチャルジオラマが照明イメージの伝達に役立ちましたか
2. 「アイディア」に関する質問：バーチャルジオラマによって新たな照明のアイディアが生まれましたか
3. 「配置」に関する質問：照明の配置は直感的に行えましたか
4. 「入力」に関する質問：照明パターンの入力はスムーズに行えましたか

なお，被験者には，各質問項目に対して 5 段階評価値（全く同意 2 点，同意 1 点，どちらとも言えない 0 点，同意できない-1 点，全く同意できない-2 点）を与えるよう指示している．

舞台照明演出計画の実務経験がある被験者（2組）に対しては，提案手法を用いない従来通りの手順により舞台照明演出計画を実施させ，その作業履歴を提案システム使用時と比較する．ここで，従来通りの手順とは，照明演出を行う楽曲を聞き，演出イメージを作業者で議論した後，各照明のパラメータを設定する，という一連の作業を意味する．

図10 バーチャルジオラマを用いた舞台照明演出計画支援システム操作の様子
Fig.10 Our developed pilot system by using Virtual-Diorama.

表1 実験で制御可能な照明機材
Table 1 Controllable virtual lights in our experiments.

	制御系統	位置変更可否
客電	1	×
シーリングライト	3	×
ボーダーライト	3	×
サイドスポットライト	2	×
フットライト	4	○
サスペンションライト	18	○
ホリゾントライトR	2	×
ホリゾントライトG	2	×
ホリゾントライトB	2	×

5.1.2 結果

20 代男女 12 名（6 組）の被験者に対して実施しアンケートの結果を図 11 に示す．評価値が 2.0 に近いほど

NII-Electronic Library Service

The Virtual Reality Society of Japan

良好な印象が得られていることを示す．また，提案手法利用時の操作履歴記録を図 12 に，従来手法による演出計画における操作履歴を記録したものを図13に示す．横軸は照明演出の試行回数(楽曲再生回数)，縦軸は変更された照明制御の個数を示す．変更量が少なくなればなるほど，演出計画のアイディアが固まり，被験者の思い描いたイメージが実現されていることを意味する．

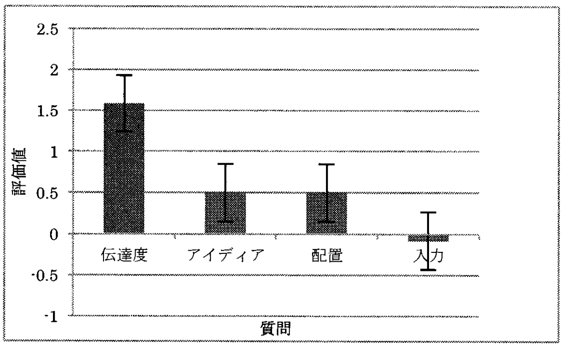


図11 主観評価の結果

Fig.11 Results of subjective evaluations.

5.1.3 考察

図 11 に示す主観評価の結果から，思い描く照明効果を相手に伝達する作業において，バーチャルジオラマが有効に機能することが確認された(伝達度)．また，思い描いていたイメージを可視化することによって，新たな舞台照明演出が浮かぶアイディア性や(アイディア)照明配置インタフェースの直感的操作感についても良好な評価を得た(配置)．しかし，照度レベル調整インタフェースに関しては，スライダを用いた多チャンネル入力操作に対するユーザの習熟度の違いにより「入力」の評価が変化し，全体としては有効性を確認するには至らなかった(入力)．そこで，「入力」の評価値の分散が大きい原因を検証したところ，照明演出の習熟度が高い被験者の評価値の平均は 0.45 であるのに対し，照明演出計画の知識が乏しい被験者の評価値の平均は -0.35 と差異が認められた．このことは，本システムの使用を重ね，照明演出計画の知識を習得することにより，舞台照明制御装置で実際に使われているスライダインタフェースの評価が向上する可能性を示している．

提案手法と従来手法を用いた照明演出計画の評価実験における試行回数と照明パラメータの変更操作の関係を各々図 12 と図 13 に示す．変更量が少ない程、照明演出のイメージが被験者グループ内に浸透し，意思疎通がはかれていることになる．舞台照明の経験が乏しい被験者は，従来手法での照明演出計画が困難であるため，提案手法を用いた評価実験のみ実施するが，照明演出経験がある被験者は，提案手法と従来手法の両方において評価実験を実施する．具体的には，図 12 のグループ1、2と図 13 のグループ A、B は同一メンバで構成される．提案手法を用いた実験(図 12)では，舞台照明の経験が乏しい被験者を含むグループ3～6でも，照明演出経験がある被験者グループ1，2と同様に，試行回数を重ねるにつれ作業回数の収束が見られる．一方，従来手法を用いた照明演出計画では，照明演出経験がある被験者グループでも，作業回数の収束が見られなかったことから，提案手法が，グループ間での意思疎通に有効に機能したことが確認できる．

各結果をより詳しく検証する．図 12 のグループ6の1回目の試行時の変更量がほとんどなかった点を精査したところ，他グループは音楽を再生せずに照明配置を変更していたのに対し，このグループのみ音楽を再生しつつ照明の配置を行っていたためであることがわかった．

一方，従来通りの手順で照明演出計画を行った場合は，常時音楽を繰り返し再生しながら，何度も修正を重ねている様子が確認された．結果的に時間内で納得いく演出が実現できたが，図13に示すように，変更回数が収束することはなかった．グループ A は，初めに3回楽曲を聴き，その後自分の作った照明効果を口頭で説明し，音楽を聴きながらお互いのイメージを理解しつつ全体の構成を作っていた．グループBは，開始と同時にどのような照明がいいか議論を初め，しばらくすると議論を中断し，お互いの照明イメージを想像することに時間を当てていた．いずれのグループもお互いがイメージした舞台照明演出が一致しないために確認へ時間を使うことが多く，議論が進展しない時間帯が発生していた．この結果より，本システムを使用することによって，舞台照明演出計画を各自のアイディアを十分に共有した上で進めることが可能であることが確認された．

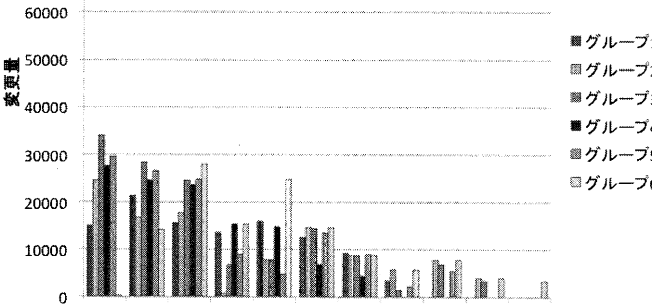


図12 提案手法を用いた場合の試行回数と変更操作の関係

Fig.12 Result of the numbers of system controlling times by using our developed system.

NII-Electronic Library Service

The Virtual Reality Society of Japan

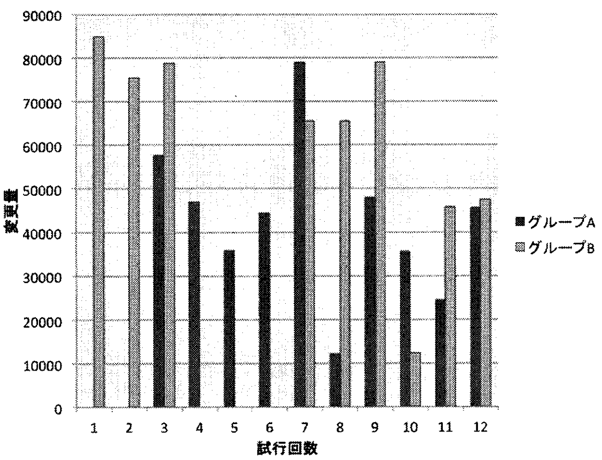


図13 従来通りの手順を用いた場合の試行回数と変更操作の関係

Fig.13 Result of the numbers of system controlling times by using an ordinary method.

5.2 MR 提示を用いた舞台照明演出計画支援の評価実験

4章で述べたMR提示を用いた舞台照明演出計画支援の性能評価実験について述べる．具体的には，リハーサルにおいて実照明が不足した場合，仮想照明によってそれを補う処理に関する実証実験を実施した．

MR 提示デバイスとしては，映像モニタ，HMD (Head-Mounted Display)，映像プロジェクタなどが考えられるが，ステージ規模の空間で，映像プロジェクタを用いて照明効果を MR 提示するためには，高輝度のプロジェクタを複数組み合わせた大掛かりな提示装置が必要となる．HMD を用いると手軽に高い没入感の MR 提示が可能であるが，提示装置と世界座標系との正確な位置合わせが必要であり，照明演出を行う環境では実現が困難である．映像モニタによる提示は，没入感は得られにくいが，提示装置を固定場合，世界座標系との位置合わせは一度だけ行えば良い．このような各方式の特性をふまえ，本実験では，照明効果の確認に主眼を置き映像モニタによる MR 提示を選択する．

5.2.1 実験方法

筑波大学大学会館講堂の2階客席最前列中央から舞台映像を撮影した．本実験では，舞台真上に設置したバトンに装着し，ステージ面や演者を照らすサスペンションライト，舞台上の前下方から演者の顔などを照らすフットライト，舞台背景のホリゾント幕を照らすホリゾントライト，舞台の前上方からステージ面を照射するシーリングライト，舞台上の演者を照らすフロントスポットライトの5種類のライトを使用した．なお，サスペンションライトの一部は客席を向くように設置されている．

比較評価実験で提示した画像を図 14 と図 15 に示す．図 14は，実際に撮影した舞台映像上に仮想照明による照明効果を重畳した MR 照明映像の一例である．図 15 は，実際に舞台の照明を点灯させて撮影した実照明映像の一例である．本実験では，各々2種類の MR 照明映像と実照明映像準備する．

被験者は，いずれかの演出計画で生成された仮想照明映像を観察した後，2種類の実照明映像を観察し，「仮想照明から実照明を想像することができたか」という質問項目（Q1）に回答する（できた:2 点，どちらともいえない:0 点，できない:-2 点）．その後，「仮想照明映像が，2種類の実照明映像のどちらの照明演出計画と対応しているか」という設問（Q2）について回答する．

5.2.2 結果

20 代男女 13 人の被験者に対して，評価実験を実施した結果を表 2 に示す．被験者番号 1 から 5 番は舞台照明演出の経験がある者，6 から 10 番は映像処理の研究活動に従事している者，11 から 13 番はそれ以外の被験者である．Q1 は数字が大きいほど良好な評価が得られていることを示す．Q2 において正解した者は 9 名，不正解だった者は 4 名という結果であった．

表2 正誤表と主観評価

Table 2 The results of True-False estimations and subjective evaluations.

被験者番号	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
Q1	1	1	1	0	0	1	2	2	1	2	2	1	1
Q2	○	○	○	○	○	○	○	○	○	×	×	×	×

5.2.3 考察

表 2 の Q1 の結果から，ほとんどの被験者が，「仮想照明が実在しない照明を想起する作業の手助けになると」感じていることがわかる．その理由として，「静止画の状態では照明の色合い違いが気になるが，動画になると全体の印象に注意が向くため細部の違いが気にならなくなる」という意見が得られた．一方で，照明演出計画の経験を有するユーザの評価が，その他のユーザに比べ低くなった．実験アンケートを確認したところ，経験のあるユーザは，実際の舞台照明の見え方をより具体的に把握しているため，人工的に生成された仮想照明のレンダリング品質への満足度が比較的低くなることが確認された．

Q2 の結果より，約7割の被験者が，仮想照明の照明効果を実照明映像と正しく対応づけることができたことから，リハーサル時の機材不足を仮想照明で補うことへの有効性が確認された．特に，舞台照明の演出を経験したことのある者にとっては有効であることがわかる．一方で Q2 が不正解だった被験者の多くは，舞台照明演

NII-Electronic Library Service

The Virtual Reality Society of Japan

出や映像処理の知識が豊富ではない被験者がであった．これらの被験者は，照明の位置や色合いよりも，切り替わりタイミングを重視する傾向にあることがアンケート調査の結果よりわかった．仮想照明重畳によって生じる処理遅延により，MR照明映像と実照明映像において照明切り替わりタイミングにズレが生じる部分があり，その部分の影響が Q2 における対応付け誤りの原因と考えられる．

これら Q1 と Q2 の結果から，仮想照明の MR 提示を用いた照明演出計画が有効に機能するのは，照明の見た目と切り替わりタイミングの両方を用いて照明の印象を捉えられる程度の演出計画の経験を有する，学生アマチュアレベルのユーザであることがわかった．

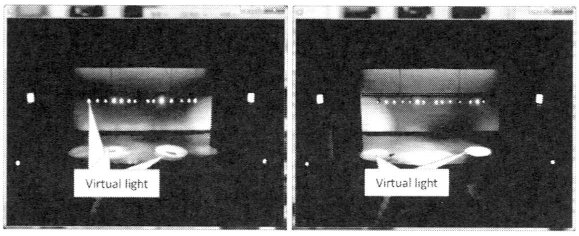


図14 仮想照明による MR 提示の例

Fig.14 The lighting effect of MR virtual lights.

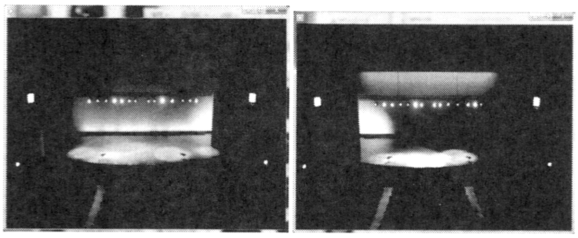


図15 比較対象動画（実照明）のスクリーンショット群

Fig.15 The lighting effect of the real lights.

6 おわりに

本論文では，バーチャルリアリティ（VR）と複合現実感（MR）を活用して，従来の舞台照明の演出計画支援における問題を解決し，舞台照明の演出計画を支援する方式を提案し，実際に構築した試作システムを用いて，提案手法の有効性を確認した．特に，学生アマチュア団体が学園祭などの特設イベントにおいて照明演出計画を行う場合，経験や知識のレベルが異なるユーザによる共同作業や，リハーサル時の機材不足など，本方式による支援が有効に機能することがわかった．バーチャルジオラマを用いた照明計画支援については，個々人が思い描いている舞台照明演出が，バーチャルジオラマにおいて可視化されることにより，円滑なコミュニケーションが可能になることを確認した．MR提示を用いた舞台照明演出計画支援については，仮想照明によりリハーサルの際に不足している照明機器を補えることが確認された．

舞台照明の演出計画支援方式としての実用性を確認するため，日常的に照明演出を行っているユーザを対象として，バーチャルジオラマを用いた照明演出計画シミュレーションから，MR 提示を用いた照明計画の確認（リハーサル），実照明を用いた本番までの一連の作業を実施し，提案方式の課題を指摘してもらった．まず，バーチャルジオラマを用いた照明演出計画シミュレーションにおいて，CG モデルの精度が仮想照明の品質に影響を与える点に関連して，CAD モデルが存在しない舞台においてもシミュレーションの品質を維持するためには，舞台の CG モデルを簡易かつ正確に生成する手法を準備する必要があることが指摘された．また，自調光卓を用いた照明操作を可能とするためには，スライダを用いた手動照明操作だけでなく，パターンの繰り返し設定などの人工的な照明操作への対応が必要であることが指摘された．さらに，MR 提示を用いた照明演出の確認においては，空気遠近法やスモークによる照明ボケを考慮した高品質な仮想照明効果の再現が求められている．また，リアリティの追求とは別に，アノテーション表示など，リハーサルを円滑に実施するインタフェース機能の追加に関する要望もあった．今後は，これらの指摘項目に対応し，提案方式の実用性の向上を目指す．

参考文献

[1] 藤井，"舞台の基礎から DMX，ムービングまで ステージ・舞台照明入門"，リットーミュージック，2006.
[2] 照明学会："住宅照明設計技術指南"，JIEG-009, 2006
[3] 山田，宿谷，"住宅居間の伝統照明における曝露照度と明るさ感・視的快適性の調査と実験"，日本建築学会環境系論文集，Vol. 74，No. 646，pp. 1275-1281, 2009
[4] 西濱，堀内，井上，岡田，"Diamond Theater: 演劇創作活動を支援する劇場再現空間"，情報処理学会研究報告, Vol.2010-GN-75, No.13, pp.1-6, 2010
[5] CAST WYSIWYG http://www.cast-soft.com/
[6] Martin Show Designer http://www.martinjp.com/
[7] LIGHTCONVERSE http://lightconverse.net/
[8] 一刈，川野，天目，大島，柴田，田村，"映画制作を支援する複合現実型プレビジュアリゼーションとキャメラワーク・オーサリング"，日本バーチャルリアリティ学会論文誌, Vol. 12, No. 3, pp. 343 - 354, 2007.
[9] 一刈，西沢，大島，柴田，田村，"再照明付与による複合現実空間のルック変更の試み -MR-PreVix 映像への映画的照明演出の例として-"，日本バーチャルリアリティ学会論文誌，Vol. 15, No. 2, 2010.
[10] R. Stoakley, M. J. Conway, R. Pausch, "Virtual Reality on a WIM: Interactive Worlds in Miniature," Proc. of the

NII-Electronic Library Service

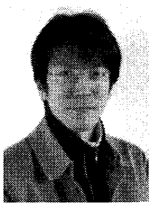
The Virtual Reality Society of Japan

ACM CHI'95, pp.265-272, 1995.
[11] T. Höllerer, S. Feiner, D. Hallaway, B. Bell, M. Lanzagorta, D. Brown, S. Julier, Y. Baillot, L. Rosenblum, "User interface management techniques for collaborative mobile augmented reality," COMPUTERS AND GRAPHICS, 25(5), pp799-810, 2001.
[12] 大隈, 興侶, 七田, 蔵田, “科学ミュージアムガイドにおける三次元地図提示のための仮想視点制御と体験誘導コンテンツ提示の効果”, 日本バーチャルリアリティ学会論文誌, 14(2): pp.213-221, 2009.

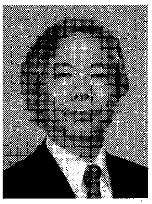
(2012 年 6 月 7 日)

[著者紹介]

徳本 晋之介（非会員）
2012 年筑波大学大学院システム情報工学研究科修了．同年ヤフー㈱入社．在学中は人工現実感・複合現実感の研究に従事．修士(工学)．



北原 格（正会員）
1996 年筑波大学大学院理工学研究科了．同年シャープ（株）入社．2000 年筑波大学先端学際領域研究センター助手．2003 年 ATR 研究員．2005 年筑波大学大学院システム情報工学研究科講師．2008 年同准教授．コンピュータビジョン，複合現実感の研究に従事．2001 年電子情報通信学会学術奨励賞．2003 年 IEEE VR2003 Honorable Mention，2009 年度本会論文賞など受賞，博士（工学）．



大田 友一（正会員）
1977 年京都大学大学院博士課程了．京都大学情報工学科助手，筑波大学電子・情報工学系講師，同助教授を経て，1992 年同教授．2004 年同大学院システム情報工学研究科教授．視覚情報メディア，複合現実感の研究に従事．パターン認識国際連盟フェロー，電子情報通信学会フェロー，情報処理学会フェロー．工学博士．

NII-Electronic Library Service