



# 映像監視空間の構築を支援する HMD を用いた 3D ユーザインタフェース

駒走友哉<sup>1)</sup>, 小池正英<sup>2)</sup>, Photchara Ratsamee<sup>1,3)</sup>, 間下以大<sup>1,3)</sup>, 浦西友樹<sup>1,3)</sup>, 竹村治雄<sup>1,3)</sup>

1) 大阪大学 大学院情報科学研究科 (〒 565-0871 大阪府吹田市山田丘 1-5, komabashiri.yuuya@lab.ime.cmc.osaka-u.ac.jp)

2) 三菱電機株式会社 先端技術総合研究所

3) 大阪大学 サイバーメディアセンター (〒 560-0043 大阪府豊中市待兼山町 1-32, mashita@ime.cmc.osaka-u.ac.jp)

**概要:** 今日の社会において, 監視カメラは多くの場所に配置されている. しかし, カメラの設置には費用がかかり, 再配置は大きな経済的損失を生じさせる. このようなリスクを減らすためには, 事前にカメラ配置のシミュレートを行うのが有効な手段であるが, 平面上では再現性が低いという欠点がある. 本発表では, Head Mount Display(HMD) を用いてバーチャル空間上に没入し, コントローラや直線ポイントによってカメラ配置をシミュレートできる 3D ユーザインタフェース (3DUI) を提案する. 更に提案システムを試作し, 被験者実験により有用性を確認した結果を示す.

**キーワード:** 3DUI, カメラ配置, シミュレーション

## 1. 序論

今日の社会において, 監視カメラの存在は大きく, 多くの場所に配置されている. 例えば, 犯罪の捜査や警備, 防災などの目的で配置される. 監視カメラの映像から歩容認証を行い, 人物を特定する研究 [1] も行われており, 監視カメラの存在が重要であることが確認できる.

カメラの設置には人手がかかり, 時間を必要とする上に, 一度配置すると修正には多くの手間を要する. 具体的には, 打ち合わせや再配置で時間がかかってしまうことや, 工賃や人件費などのコストの損失などが挙げられる. さらに, 顧客に配置を説明する際にも, 2次元平面上の図面では実際どのような見え方をするのか, どのような意図で設置したのかを説明するのは難しくなる. そこで, 近年注目されている Virtual Reality(VR) 技術を用いて, カメラの配置をバーチャル空間上で立体的にシミュレートすることで, これらの問題点を解決できるのではないかと考えた. バーチャル空間なので, 2次元平面上でシミュレート [2] するよりも視覚的に理解しやすいという利点があり, 打ち合わせや顧客への説明をスムーズに進めることができる. また, 情報の多さ (垂直方向の情報, ドアや机などのオブジェクトなど) を生かして, より良い配置を検討することができる.

しかし, バーチャル空間でカメラを設置することを考えると, 位置の自由度が 3, 角度の自由度が 3 であり, さらに, カメラが映している映像を実際に確認しながら設置する必要があるため, UI が複雑になる.

本研究では, 複雑な 3DUI について考慮した上で, VR と HMD を用いて, 監視カメラにおける映像監視空間の構築を支援する 3DUI を提案し, 監視カメラの配置をシミュレートする際の有用性について確かめる.

## 2. 関連研究

### 2.1 VR でのシミュレーション

VR を用いたシミュレーションは, 建設業界や医療業界などの様々な分野で提案, 導入されている. 建設業界では人為的ミスによる事故が多く, 安全確保が大きな課題となる. そこで Zhao ら [3] は, この課題を解決する方法として, VR シミュレーションに基づくトレーニングプログラムを提案している. 危険性を伴う作業を効果的にリハーサルし, 安全な作業手順について訓練するための魅力的かつ相互作用的なツールであると述べている. また Hilfert ら [4] は, 計画・建設・メンテナンス時に建築物を 3D モデルで提示することは, 共同作業において理解を助ける重要なステップであるとし, 建設アプリケーション向けの低コストなバーチャル空間を構築する方法を提案している. 医療業界では, Satava ら [5] が, 高度な技術を要求する低侵襲手術 (患者への負担を少なくする手術) のトレーニングとして VR シミュレーションを提案するなど, 現場での応用が進んでいる.

### 2.2 バーチャル空間での移動方法

バーチャル空間における操作手法は, ユーザにとって直感的で簡単に操作できるものであることが重要である. Bozgeyikli らの研究 [6] では, 移動方法として,

- ジョイスティックを利用して移動する方法
- 目的地を示し, そこへテレポートする方法
- 実際に体を動かして移動する方法

の 3 つを挙げ, 障害物への対処やユーザの満足度といった観点から比較実験を行った. 結果は, テレポートとジョイスティックによる移動が効果的だとしている. しかし Bowman ら [7] によれば, バーチャル空間においてある場所から別の

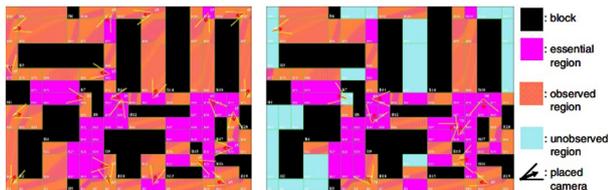


図 1: 重要な場所を考慮せずにカメラを配置した結果 (左) と、重要な場所を中心にカメラを配置した結果 (右)[8]

場所に一瞬で移動すると、方向感覚が失われるという報告もある。

### 2.3 カメラ配置の最適化

カバー率を最大限大きくする、台数を最小限に抑える、などのアプローチからカメラ配置を最適化する研究は、これまでに多く取り組まれている。Yabuta らの研究 [8] では、監視場所を“重要な場所”と“重要でない場所”に分類し、最適化を行った。ここでいう“重要な場所”とは、例えばドアの前や、(ショッピングモールなどの) ショーケースの前など、人通りの多い部分を指す。図 1 は、サンプルのマップに対するカメラ配置の一例である。左の図では、すべての場所を観測することを考えているため、20 台近くのカメラを配置している。しかし右の図では、重要な場所を中心に配置することで必要なカメラの台数を 10 台に削減した。

### 2.4 本研究の位置づけ

HMD とバーチャル空間を用いたシミュレーションは、建築業界や医療業界などに応用が進められており、その利便性が伺える。そのような VR 情勢の中で、“カメラの配置をシミュレートする 3D ユーザインタフェース”への応用はまだ進んでいない。そこで、従来の 3DUI に関連する研究や実際の事例を参考に、監視カメラの配置をシミュレートするための VR システムとカメラ操作 UI を開発する。さらに被験者実験を行い、提案する UI の評価を行う。

## 3. 映像監視空間のための UI 設計

### 3.1 実際の配置方法

実際の監視カメラの配置は以下の例のような手順で決められる。建屋を実験棟 (高さ 5m 程度) に改装した際に、カメラを 36 台配置することになった。監視カメラは仕様上、台数がある程度固定されている。最初は、カメラの選択である。カメラは、予算の都合もあり、値段を重視して決定した。次点で、撮影範囲の関係で画角も意識して購入していた。そのカメラの設置場所は、設計図の段階で設置位置が記載されており、カメラは各部屋の対角線の両端に 2 台ずつ設置し、高さはできるだけ天井に近く、という指示になっていた。しかし現場に設置するまでは、具体的なシミュレーションは行われていなかった。次に、実際の設置である。これは専門の業者が設置し、経験からおおよその調整を指示する。最終決定は社員と業者で行い、カメラの角度やズームを調整する。この調整は、カメラの映像を別室のレコーダで確認しながら行い、業者がカメラの設置場所に、社員がレコーダの設置場所において、携帯電話でやり取りを

行っていた。設置後の社員の所感としては、あとで大きいものを置きたいときに、それによってカメラの死角ができてしまうのが面倒であったり、LAN の配線工事が数百万程度かかり、多くの費用がかかってしまうというのがあった。

### 3.2 3DUI の設計

上記の例では以下のような問題点が挙げられる。

- カメラの位置が平面上の設計図に記載されており、垂直方向の情報が存在しない
- 調整時に、設置する側がカメラの映像を確認できない
- 配置に問題が見つかった場合、再配置に費用がかかる

このような実例からの問題点を踏まえて、以下のような UI を提案する。

【HMD の使用】バーチャル空間に没入することは、シーンを直感的に把握できる重要な要素の 1 つである。VR 用の HMD はユーザに大きな視野を与え、ユーザの頭部の動きを仮想カメラに変換することで、バーチャル空間での自然な操作を可能にする [4]。本システムでは HMD を用いることで、没入感のある UI を実現し、ユーザは物体との距離感などの情報をより直感的に感じ取ることができる。

【バーチャル空間内での移動】実際に現場で設置するような感覚でシミュレートを行いたいため、バーチャル空間を現実世界のように自由に移動できるようにする [6]。

【カメラの位置・角度の調整】バーチャル空間内を移動しながら、カメラを自由に設置し、設置したカメラの位置・角度の調整を簡単な操作で行うことができるようにする。また、バーチャル空間内で、カメラの映像を HMD で確認しながら設置のシミュレーションを行うことができれば、現場でのスムーズな設置が期待できる。さらに、設置には多くの費用がかかり、設置してから再配置が難しいという問題も、設置する前のシミュレーションで入念に確認すれば、再配置による経済的損失のリスクを減らすことができる。

【View Volume の可視化】カメラの位置や角度を調整するに当たって、バーチャル空間内でカメラが捉えている範囲を把握できれば、調整の目安となる。そこでカメラの View Volume を可視化し、ユーザの調整の補助としての役割を期待する。

### 3.3 調整時の視点

上記の UI 設計の中で、カメラの調整の項目について、更に具体的に示す。調整する際の視点として、一人称視点、三人称視点の 2 つを用意する。

【一人称視点】一人称視点操作では、設置したカメラの視点になって映像を確認しながら、調整を行うことができる。そのカメラは HMD と位置、角度を同期し、ユーザは HMD を動かしながらカメラの位置、角度を決定する。

【三人称視点】三人称視点操作では、可視化した View Volume を見ながら、調整を行うことができる。View Volume をバーチャル空間内の様々な視点から客観的に確認しながら、カメラの位置、角度を決定する。

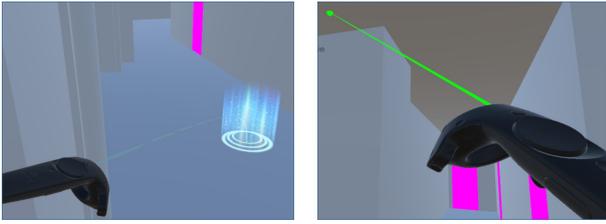


図 2: テレポートに用いる曲線ポインタ (左) と, カメラの調整に用いる直線ポインタ (右).

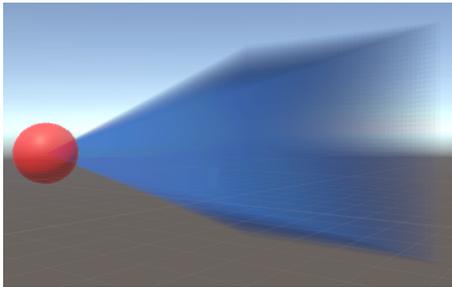


図 3: 実際にバーチャル空間で設置する View Volume . 赤の球体がカメラの位置, 青い領域が View Volume を可視化したものである.

#### 4. カメラ配置のシミュレーションシステム

考察した UI 設計を元に, バーチャル空間でのカメラ配置シミュレーションシステムを試作した. 試作システムは Unity 2017.1.0p5 で実装し, HMD とコントローラーのセットとして HTC Vive を使用した. 以下にその詳細を示す.

【モード】操作時には, Move, Angle, Position, Position\_and\_Angle の 4 種類のモードがある. 同じ操作を行っても, モードによって結果は異なる. Move モードではカメラの設置, Angle モードでは 3 人称視点からの角度調整, Position モードでは 3 人称視点からの位置調整, Position\_and\_Angle モードでは, 1 人称視点からの位置, 角度の調整を行う事ができる.

【カメラの設置】Bozgeyikli らの研究 [6] から, バーチャル空間内の移動にはテレポートが最も良く, 時点でジョイスティック (タッチパッド) による移動が良いと考えた. よって移動方法としては, この 2 つを採用した. Bowman らの報告 [7] では, 空間把握の観点からテレポートは非推奨であったが, ユーザにとって手軽な操作であること, タッチパッドによる移動もあることから, テレポートによる移動は問題ないと考えた. 本システムでは, 左のコントローラから出る曲線ポインタ (図 2 の左図) を用いることで, 指し示した場所にテレポートで移動することができる. さらに, HMD の正面を前方として, タッチパッドによって前後左右に移動ができる. カメラの設置は, Move モードにおいて右のコントローラから出る直線ポインタ (図 2 の右図) に天井に向け, 設置したい場所で解除することでカメラを設置することができる. ポインタを解除すると, 図 3 に示すような View Volume を設置することができる.

【三人称視点からの調整】図 4 に示すように, Angle モード

時にコントローラの向きがカメラの角度と同期できるので, これを利用して角度を調整することができる. また, 図 5 に示すように, Position モード時に直線ポインタを用いてドラッグ&ドロップで位置を調整することができる.

【一人称視点からの調整】図 6 に示すように, Position\_and\_Angle モード時にカメラの視点になって調整を行うこともできる. 実際に映像を確認しながら, HMD の向きで角度を調整し, コントローラで位置の調整が可能である.

## 5. 被験者実験

### 5.1 実験内容と目的

操作方法として, 三人称視点からの調整, 一人称視点からの調整, 両方の視点からの調整 (ハイブリッド) の 3 つを用いた. これらの操作方法に対してそれぞれ 4 人ずつ, 計 12 人に操作してもらった.

被験者は与えられたバーチャル空間 (図 7 の線で囲まれた空間) に, 計 4 台のカメラを配置する. この際, 空間内に存在する 14 個のドアは, 優先して監視するように指示した. これは, Yabuta らの研究 [8] において重要な空間の指定が有効であったこと, そして, ドアが人通りの多い重要なオブジェクトであるという考えに基づいている. 実験の際には,

- 観測できたドアの数
- カメラを設置し終わるまでの時間

の 2 つを計測した. 前者は, どの程度カメラを正確に設置できたかを示す指標として, 後者は, どの程度スムーズに設置できたかを示す指標として用いる. この 2 つの計測データに対して分散分析を行い, 3 つの操作方法の間に有意差が存在するかを検証する. また, 被験者に対して操作方法の観点と, View Volume が認識できたかという観点からアンケートを行い, その結果から今後の改善へと務める.

### 5.2 実験結果と考察

表 1 は設置にかかった時間と監視できたドアの個数, 表 2 は分散分析の結果, 表 3 はアンケートの結果である. 分散分析の結果では, かかった時間において棄却域 5% に対して P 値が十分に大きく, F 値が F 境界値を十分に下回っている. また, 監視できたドアの個数に関しても, 同様の結果が得られた. よって今回の被験者実験からは, スムーズに操作ができるか, カメラが正確に設置できるかという観点からは, 各操作間に有意差は認められなかった. アンケートでは, 3 つの操作方法全てにおいて, 概ね良好な評価を得ることができた. 一方で, View Volume の認識に関しては, あまり良い評価を得ることはできなかった. これは, View Volume を複数枚の三角形の面で構成していたために透過率が悪く, 見通しが良くなかったためだと思われる.

## 6. 結論

監視カメラを配置する際には, 1. 節で述べたような様々な問題点が存在する. 本研究では, それらの問題点を解決できるような, カメラ配置をシミュレートする 3DUI を提案し, それを実装したシステムの開発に取り組んだ. また,

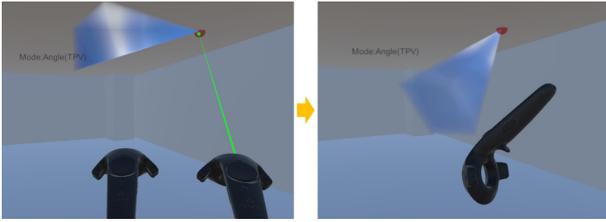


図 4: 角度の調整方法. **Angle** モード時に赤い球体を直線ポインタで指定することで、コントローラの角度とカメラの角度が同期する。

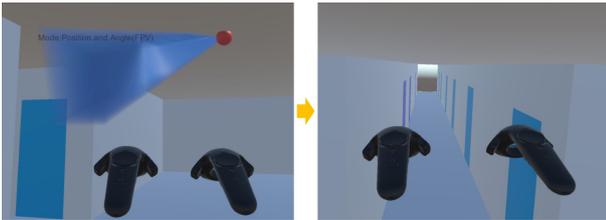


図 6: 一人称視点での調整. **Position and Angle** モード時に赤い球体を直線ポインタで指定することで、カメラの視点に移動できる。

実装したシステムに対して被験者実験を行い、操作性が確保できていることを確認できた。ただし、View Volume の可視化に関しては、透過率を上げて視認性を良くすることが課題である。今後は、カメラ配置する際に、カバー率や視認率といったパラメータを考慮して、ユーザが配置したカメラに対して評価を行い、スコアリングする機能を実装する予定である。更には、最適なカメラ配置を計算するアルゴリズムに関する論文を参考に、与えられた空間に対して最適なカメラ配置を自動で計算する、より利便性の高いシステムの開発にも取り組んでいきたい。

表 1: 計測データの平均と分散

操作視点	設置時間 (秒)		ドアの数	
	平均	分散	平均	分散
一人称	400	34160	9.25	8.25
三人称	378	44506	11.50	7.00
ハイブリッド	662	98842	9.50	13.67

表 2: 分散分析の結果

集計データ	F 値	P 値	F 境界値
設置時間	0.63	0.55	4.26
ドアの数	1.69	0.24	2.26

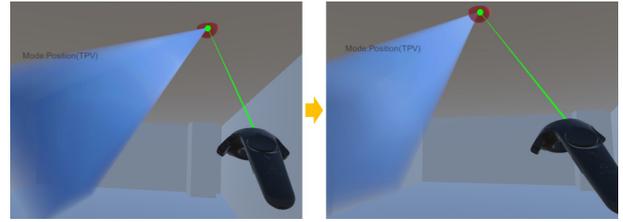


図 5: 位置の調整方法. **Position** モード時に直線ポインタを用いて、赤い球体をドラッグ&ドロップで移動させることができる。

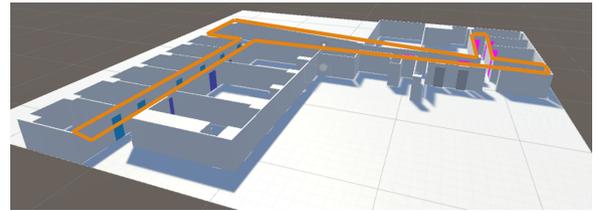


図 7: 被験者実験で使用した空間

表 3: アンケートの結果 (5 段階評価の平均)

操作方法	操作感	View Volume の認識
一人称視点	4.25	2.50
三人称視点	4.00	3.50
ハイブリッド	4.25	3.00

#### 参考文献

- [1] 村松大吾・他 “歩容事前知識を用いた歩容特徴再生”, 暗号と情報セキュリティシンポジウム, 1B2-2, Jan 2017.
- [2] TOA 社 3D 画角シミュレーションソフト (2018/7/27) [https://www.toa-products.com/hanbaishien/simulation/]
- [3] D. Zhao, *et al.*, “Virtual reality simulation for construction safety promotion,” *ICSP*, Vol. 22, No. 1, pp. 57-67, Jan 2014.
- [4] T. Hilfert, *et al.*, “Low-cost virtual reality environment for engineering and construction,” *Visualization in Engineering*, Vol. 4, No. 2, Jan 2016.
- [5] RM. Satava, “Virtual reality surgical simulator: the first steps,” *Surg Endosc*, Vol. 7, No. 3, pp. 203-205, May-Jun 1993.
- [6] Evren Bozgeyikli, *et al.*, “Point & Teleport Locomotion Technique for Virtual Reality,” *In Proceedings of ACM*, pp. 205-216, USA, Oct 2016.
- [7] D.A. Bowman, *et al.*, “A Methodology for the Evaluation of Travel Techniques for Immersive Virtual Environment,” *Journal of the Virtual Reality Society*, Vol. 3, No. 2, pp. 120-131, Jun 1998.
- [8] Kenichi Yabuta, *et al.*, “Optimum Camera Placement Considering Camera Specification for Security Monitoring,” *In Proceedings of IEEE ISCAS2008*, pp. 2114-2117, USA, May 2008.