

特別研究報告書

バーチャルスタジオにおける 現実物体を用いた仮想物体の直接操作

指導教員 美濃 導彦 教授

京都大学工学部情報学科

大島 康介

平成18年2月10日

バーチャルスタジオにおける現実物体を用いた 仮想物体の直接操作

大島 康介

内容梗概

映像コンテンツ制作においてコンピュータグラフィックス（CG）の利用が普及してきている．映像コンテンツにCGを用いると，様々な物体表現や特殊効果を用いた多様な映像が作成可能となる．講師が視聴者に対して説明を行う教育用映像を考えた時，説明対象にCGを用いることによって，より理解しやすい教材の作成が可能となる．

CGの仮想物体と現実物体の合成映像を作成するためのシステムとして，バーチャルスタジオがある．しかし，従来のバーチャルスタジオでは，仮想物体を背景に登場させることしかできなかった．これに対し，教育用映像でCGを説明対象として用いる場合，講師がCGの仮想物体を直接操作し，自由に動かすことが求められる．そこで，バーチャルスタジオにおける仮想物体の直接操作を実現することが本研究の目的となる．

この目的を達成するためには五つの課題がある．まず，映像に登場する仮想物体はデータ上の存在であるため，バーチャルスタジオ内の演者は直接仮想物体を見ることも，触れることもできない．このような状況では演者の操作の動きは自然なものにならず，演者は仮想物体をうまく操作できない．よって，演者に仮想物体を視認させる課題と演者に対して仮想物体の触感を与える課題に対処しなければならない．次に，演者の操作に合わせた仮想物体を合成するために，演者が仮想物体に与える操作を検出することが必要となる．これに対してまず，演者が説明対象を操作する動作に合わせて，合成する仮想物体を並進・回転させる必要がある．これを実現するため，演者が行う並進・回転操作を検出することが課題となる．さらに，仮想物体特有の操作として，演者の意図に応じて特殊効果が発生させることを考える．このような操作を可能にするために，演者の合図となる動作を検出することが課題となる．最後に，仮想物体の重畳領域を検出する課題がある．従来のバーチャルスタジオでは仮想物体の登場は背景に限られていたため，演者と仮想物体の前後関係は一定であり，重畳領域の検出が容易であった．しかし，演者が仮想物体を把持しながら操作する映像では，演者が仮想物体で隠れたり，仮想物体の一部が演者の手によって隠

れたりする状況が起きるため、演者と仮想物体との前後関係が複雑となり、重畳領域の検出が難しい。

バーチャルリアリティの分野では様々なセンサを用いることで、以上に述べた個々の課題に対処した研究がいくつかある。しかしバーチャルスタジオの制約として映像を見る視聴者の存在があるため、センサ機器が映像に映り込まないことが要求される。

本研究では以上の仮想物体操作に関する課題に対して、仮想物体と同形の現実物体を用いる手法を提案する。スタジオでは演者が現実物体を把持しながら操作し、視聴者に提示する映像では演者が操作する現実物体を仮想物体に置き換える。この手法によって、演者が直接手で把持しながら仮想物体を並進・回転させ、仮想物体に対する特殊効果を発生させる映像が実現できる。ただし、演者は操作対象に対する指示動作によって仮想物体に対する特殊効果の種類や発生タイミングを合図することとする。

この手法では、仮想物体の視認と触感の課題に関して、演者に見ることも触れることも可能な現実物体を用いることで解決できる。演者の仮想物体に対する並進・回転操作の検出の課題に対しては、操作対象となる現実物体の位置姿勢を検出することで対処する。現実物体の位置姿勢は演者の並進・回転操作を直接反映しているため、演者の動きに合った仮想物体の提示が可能となる。現実物体の位置姿勢の推定は、操作対象に貼ったマーカの位置を撮影映像中から検出することで実現する。また、特殊効果発生のための演者の指示動作検出にも、位置姿勢推定に用いたマーカを用いる。通常、スタジオ撮影では演者が常に操作対象をカメラに向けるため、カメラに向いている面に貼られているマーカは全て見えていると仮定できる。演者がマーカを指示している場合には、指でマーカが隠れるため、そのマーカは撮影映像から検出できない。指で隠れたこのマーカを検出することで、演者による指示動作の検出を実現することができる。仮想物体の重畳領域の検出の課題に対しては、撮影映像中における現実物体の領域を用いて対処する。現実物体領域の検出は、現実物体を単色とすることで領域抽出を行うことで実現する。

本手法を用いて実際に仮想物体操作映像を作成した。操作現実物体はマーカを貼った白色の球形物体、重畳する仮想物体は地球のCGとした。現実物体を介して仮想物体の並進、回転と特殊効果発生が可能になったこと、映像合成において演者と仮想物体の前後関係の整合性を保つことを確認した。

Direct Manipulation of Virtual Object Using Real Object in Virtual Studio

Kosuke OSHIMA

Abstract

Computer Graphics (CG) objects are often used for making various video contents. Using CG virtual objects (models of real object or artificial CG objects) and visual effects to them enable to make various video contents. In educational video contents which a lecturer explains to audiences, CG objects help the audiences to understand the explanation.

The virtual studio system enables us to synthesize virtual objects and real ones in the same scene. Current virtual studio system aims that virtual objects appear to only background in the scene. In order to make video contents in which the lecturer has interaction with virtual objects, manipulate these objects freely and explain their in the virtual studio system, my research aims at realizing the direct manipulation of virtual objects in virtual studio.

There are five problems for the virtual object manipulation. Firstly, in the scene created with virtual studio system, the audience can see virtual objects. But the actor in virtual studio is not able to see any virtual objects from his point of view nor to touch his body to virtual ones. In these situations, it is difficult for the actor to act naturally. To overcome this difficulty, it is required to visualize virtual objects and get tactile sensation of virtual objects for the actor.

Next, the system has to detect the interaction between the actor and virtual objects. One kind of interaction is that the actor translates and rotates virtual objects at the hand. Object motion depends on actor's physically motion, in the situation that there are not any objects. So, the system has to detect translational and rotational manipulations of the actor. And I think that an occurrence of CG special effects by actor's pointing to a virtual object is also one of virtual object manipulations. To realize an occurrence of CG special effect, the system has to detect the actor's pointing motion. Translational and rotational manipulations are directly proportional to actor's physical motion, but a manipulation occurring special effects is not proportional and the system

detect whether the pointing of actor is ON or OFF. And last problem, the system has to synthesize the actor and virtual objects, in consequence of their each other's occluded part. In the scene that actor manipulate virtual objects at his hand, it is possible that actor's hand occlude the part of virtual object. In this situation, the merging image has to be in coherent.

For handling these problems, it is not desirable that some equipment for sensing actor's interaction are used, because the audience can not come to pay attention in explanation by this device.

To overcome five problems for virtual object manipulation, I propose new method using a real object being same figure to virtual object. When the actor grasps and manipulates the real object in virtual studio, the virtual object substitute for real object in the merged video contents. This method realizes three manipulations. They are translation, rotation and appearing special effects by actor's pointing. About visualization and tactile of virtual object, the actor can visualize and touch the real object. Detection of translation and rotation of virtual object is realized by the model-based pose estimation of object. The estimation method uses markers attached on the real object. Translation and rotation that is the output of pose estimation for real object is applied as the motion of the virtual object. In order to detect pointing motion of actor onto the real object for occurring special effect, we use markers used to the pose estimation. The system detects a marker which is hidden by finger. We assume that the actor in studio exposes the manipulating object to camera (and audience), so the hidden marker is detected from markers that can see from the camera. To merge virtual objects and actor, we use a single color real object. Detecting a region of real object provides the detecting a region where the virtual object is displayed.

We evaluate the effectiveness of the proposed method by the experiment. These manipulations which are translation, rotation and occurring animation are realized. I used a spherical real object and an earth by CG. Using proposed method, we could merge the actor images and virtual objects naturally.

バーチャルスタジオにおける現実物体を用いた 仮想物体の直接操作

目次

第1章	緒論	1
第2章	バーチャルスタジオにおける仮想物体操作	3
2.1	バーチャルスタジオ	3
2.2	インタラクティブバーチャルスタジオ	4
2.3	バーチャルスタジオで想定する仮想物体操作の種類	5
第3章	バーチャルスタジオにおける仮想物体操作の課題	7
3.1	演者に対する仮想物体提示の課題	7
3.1.1	仮想物体の視認に関する従来手法	7
3.1.2	仮想物体の触感問題と従来手法	9
3.2	仮想物体の表示に関する課題	9
3.2.1	仮想物体の並進・回転操作の検出	10
3.2.2	演者の指示動作の検出	11
3.2.3	仮想物体の表示領域の検出	12
第4章	提案手法	12
4.1	演者に対する現実物体による仮想物体提示	13
4.2	現実物体を用いた場合の仮想物体合成	15
4.2.1	現実物体の位置姿勢推定を用いた仮想物体の姿勢変化	15
4.2.2	マーカを用いた指示動作の検出手法	16
4.2.3	単色現実物体による仮想物体重畳領域の検出	17
第5章	実験	18
5.1	システム実装	18
5.2	実験結果	20
5.3	考察	20
第6章	結論	23
	謝辞	24
	参考文献	25

第1章 緒論

近年，映像コンテンツ制作の分野においてコンピュータグラフィックス（CG）を用いた仮想物体の利用が普及してきている．映像コンテンツにおいてCGを用いることは，様々な現実物体モデルや架空の物体を表現することができたり，それらの物体に対して特殊効果を加えることもできたりする利点があり，多様な映像作成が可能になる．このようなCGを用いた映像コンテンツとして，講師が視聴者に対して説明を行う教材映像を考える．黒板などの二次元的な表現では具体的なイメージを説明することが難しかった三次元的な説明対象について，CGを用いて説明することは有用である．そこでは現実世界の講師映像と仮想物体を融合し，一つの映像にして提示することが必要となる．

CGの仮想世界と現実世界の合成映像は“バーチャルスタジオ”と呼ばれるシステムで撮影することができる．バーチャルスタジオによって，CGの仮想セット内に演者が存在するような映像が得られる．通常のスタジオとは異なり，バーチャルスタジオは現実物体のスタジオセットを用意する必要がなく，セットの改造も容易になるという点で利用価値がある．しかしバーチャルスタジオの既存機能では，仮想物体の登場は背景だけに留まっている．先に述べたような教育用映像コンテンツ作成のためには，演者がCGの仮想物体を直接操作し，自由に動かせる“仮想物体操作”の機能をバーチャルスタジオに加えることが必要になる．そこで本研究では，バーチャルスタジオにおいて演者による仮想物体の直接操作を実現することを目的とする．実現する操作は，演者が直接手で把持しながら仮想物体を並進，回転させる操作に加え，演者の指示動作に応じて仮想物体に特殊効果を発生させる三つの操作とする．

このような目的に対して，バーチャルスタジオには五つの課題がある．まず，仮想物体はデータ上の存在であるため，スタジオ内の演者にとっては見ることや触ることができない．そのような条件で物体操作の演技をすることは，仮想物体の位置を確認することや操作の実感を得ることができず，演者の動きは不自然なものとなる．このようなバーチャルスタジオ内の演者に対し，仮想物体を視認させること，仮想物体の触感を与えることの二つは演者における仮想物体操作に対する課題となる．

さらに，演者の操作を検出する必要がある．演者が仮想物体を操作する映像では，演者の操作に応じて仮想物体の像が変化する．仮想物体像を求め，演者

映像と合成するためには、演者の操作を検出することが必要となる。このため、演者の操作を検出する方法を考えなければならない。本手法では、仮想物体の並進、回転という操作と指示動作に応じた特殊効果発生の中の三つの操作を対象としており、それらの操作について演者の行う操作とシステムの検出する操作が一致している必要がある。この三つの操作のうち、並進と回転操作については演者の物理的な操作に合わせて仮想物体が動き、特殊効果発生操作については、発生の合図となる動作を検出し、特殊効果を発生させることが必要となる。このことから、並進と回転操作については演者の操作による仮想物体の動きを検出することが課題となる。これとは別に、指示動作の検出が必要となる。

また、演者が仮想物体を把持しながら操作する映像では、演者の手によって仮想物体の一部が隠れる状況が起きる。このような手によって隠れられた仮想物体像を求めるためには、仮想物体領域と演者領域を検出しておき、それに従って映像合成を行う。このため、合成映像における仮想物体の表示領域を検出することが課題となる。

本研究では、以上の課題に対処するために現実物体を用いる手法を提案する。スタジオでは演者が現実物体を把持しながら操作する様子を撮影し、視聴者に提示される合成映像では操作される現実物体を仮想物体に置き換えることによって仮想物体操作の映像を作成する。演者における仮想物体の視認と触感の課題に関しては、仮想物体と演者のインタフェースに仮想物体と同形の現実物体を用いることで解決する。映像合成における演者の並進・回転操作の検出という課題に対しては、操作現実物体にマーカを貼り、その現実物体を映した画像によって現実物体の位置姿勢推定を行う。現実物体の位置姿勢は演者の操作を直接反映しており、現実物体の位置姿勢に基づく仮想物体像を得ることができる。これにより、仮想物体の並進と回転操作は実現できる。また、特殊効果の発生を起こす演者の指示動作の検出は、位置姿勢推定に用いたマーカに対する指示動作のタイミングを求めることによって実現する。この検出においては、スタジオ撮影では演者が常に仮想物体をカメラに向けるという仮定を用い、見えているはずのマーカを求めることによって指で隠れているマーカを検出する。演者の手による仮想物体の隠れ問題は、現実物体を単色とし、現実物体色の領域抽出を行うことで仮想物体領域とし、演者の手によって仮想物体が隠れるような合成映像が得られる。

本稿の内容は、2章で研究の題材であるバーチャルスタジオと仮想物体操作

というテーマについて説明する．3章ではバーチャルスタジオにおける仮想物体操作と従来手法に関する課題を挙げる．4章では，本研究の提案手法と具体的な方法内容，3章で述べた課題にどのように対処するのかを述べる．5章では提案手法を用いて実際に仮想物体操作の映像を作成した実験について述べ，最後の6章では研究のまとめと今後の課題について述べる．

第2章 バーチャルスタジオにおける仮想物体操作

2.1 バーチャルスタジオ

バーチャルスタジオとは，現実空間とCGで表現される仮想空間や仮想物体の合成映像を作成するためのシステムである．スタジオの壁や床は青などの単色の布で覆われており，その中の演者をスタジオカメラで撮影する（図1は学術情報メディアセンターにあるバーチャルスタジオの画像）．

バーチャルスタジオでは，スタジオで撮影した映像を，特定の色の領域を抽出する装置であるクロマキーヤーに送る．クロマキーヤーによるクロマキー処理によって撮影映像をスタジオの背景色領域とそれ以外の演者・現実物体領域に切り分け，演者・現実物体領域を抽出する．この演者・現実物体領域をあらかじめ用意しておいたCGスタジオセットに重ねて提示することにより，CGセットの中に演者がいるような映像を作成できる．映像撮影に用いるスタジオカメラにはセンサを装着しており，スタジオ内でのカメラの位置や方向，ズーム値などのカメラパラメータを獲得することができる．これらのカメラパラメータを用いて仮想セットの像を三次元的に変化させることで，撮影において自由なカメラワークを実現する．

バーチャルスタジオの利点として，背景や道具類のようなスタジオセットの作成，修正，改造や設置，移動や保管，再利用などが容易になることが挙げられる．また，CG仮想物体は容易に様々な物体を用意できるとともに，映像に特殊効果を加えることができる利点もある．この他に，バーチャルスタジオのクロマキー処理で得る人間の像を，別の場所で撮影している映像に登場させることによって，遠隔地にいる人間が同じ空間にいるかのような映像も作成できる．このようにバーチャルスタジオは，CGの利用や映像の合成などの点で様々な映像の作成を可能にできるという利用価値から，テレビの気象情報をはじめとした様々な映像コンテンツ制作で利用されるようになってきている．



図 1: バーチャルスタジオ

2.2 インタラクティブバーチャルスタジオ

バーチャルスタジオを用いて、講師が視聴者に対して説明をするような教育用映像を作成することを考える。講師が視聴者に対して三次元の物体について説明する場合、説明対象の物体を手で扱い、様々な操作を加えながら説明することが多い。バーチャルスタジオで教育用映像を作成する際、この説明対象物体をCGで表現することが考えられる。例えば、黒板などに書いて二次元的に表現することが難しかった説明対象を、CGを用いて三次元的に直接操作しながら説明できる。CGの利用によって、現実には用意できない物体の具体的なイメージを視聴者に伝達することや特殊効果を用いて説明することが可能となる。このような教育の場面におけるCGの利用は、講師の説明を視聴者が理解しやすくなるなどの点で有用である。人間がCGの仮想物体を直接操作し、自由に動かせる“仮想物体操作”の機能をバーチャルスタジオに持たせることを本研究の目的とする。

仮想物体操作の映像を作成しようとする場合、計算機による処理を行わない最も単純な方法として以下の二つが考えられる。一つは、予め仮想物体の動きを演者に示しておいて演者がそれに合わせる形で演技する方法であり、もう一つはスタジオ技術者が演者の動きに合わせて仮想物体をコントロールする方法である（ポストプロダクション）。前者の方法では演者が仮想物体の動きに合わせるために、予め演技の練習を行うことが必要となる。後者でも演者の動きに

合わせた仮想物体を合成するために大きな技量と労力が要求される。今後、マルチメディア教材の作成が普及するためには、そのような映像作成の労力を減らすことが必要となる。

仮想物体操作を人間の演技や技術者の技量によらず、システムとして実現することで、仮想物体と現実の人間が相互作用しているような（インタラクティブな）映像作成機能をバーチャルスタジオに加えることになる。これまでのバーチャルスタジオで、仮想物体と現実物体を単純に貼り合わせる形の合成が目的であり、演者の全身像の背景に仮想セットを表示することが中心だった。これに対して、演者と仮想世界の相互作用が可能な「インタラクティブバーチャルスタジオ」の実現は映像コンテンツ作成にとって有用である。このインタラクティブバーチャルスタジオに向けて、仮想物体操作を実現することは一つの課題となる。

バーチャルスタジオにおける仮想物体操作については、これまで様々な研究がなされてきた [1] [2] [3] [4]。本研究では、これらの研究で採られていない手法を提案する。

2.3 バーチャルスタジオで想定する仮想物体操作の種類

この節ではバーチャルスタジオにおける仮想物体操作では具体的にどのような操作があるのかを述べる。

まず、現実物体と同様の操作を仮想物体でも行うことが考えられるため、並進、回転、変形という三つの操作が挙げられる。

- 並進 物体の向きは変わらずに位置が変化するもの
- 回転 物体の向きが変わるもの
- 変形 物体の形状が変わるもの

この三つの操作は、現実世界で物体に起きる物理的な変化に対応する。変形の例としては、柔らかい物体を押した時にへこんだり、流体が容器の形によって形を変化させるようなものがある。

これに加えて仮想物体では、特殊効果が発生させることができる。この特殊効果発生を演者の意図通りに起こすことができる場合、操作に加えることができる。

- 特殊効果発生 CGによる特殊効果が起こるもの

特殊効果発生は現実物体では不可能な操作であり，CG特有のものである．特殊効果の例としては，植物や生物の何年分かの成長の様子を数秒で表現するアニメーションや，仮想物体だけに特別な光環境を与えて強く光らせることなどが考えられる．

上記のような操作を実現する際，演者と仮想物体のインタフェースについて議論することもできる．Graphical User Interface(GUI)では，オブジェクトの物理的な移動等に基づく操作を直接操作(Direct Manipulation)と呼んでいる[6]．本研究で行うバーチャルスタジオにおける仮想物体操作も，演者が操作する部分の物理的な移動に基づいて行うため，この直接操作に含まれる．さらに，直接操作の中でも，どのように演者と仮想物体が触れるのかについて，以下の分類ができる．

- 演者が仮想物体を直接手で操作する場合
- 演者が現実物体を介して仮想物体を操作する場合

現実世界における操作もこの二つのアプローチが基本となる．手で直接操作する場合は，手の平と五本の指がある操作部位の複雑さがあり，操作の内容も複雑なものとなる．これに対して，演者が現実物体を操作し，その現実物体によって操作する場合は，手による操作ほど複雑にはならない．

表1はここまでの説明を下に仮想物体操作の手法を分類したものである．バーチャルスタジオにおける既存研究では，棒状現実物体を用いて仮想物体の並進操作を行うものがあった[2]．また，手で直接操作し，並進と回転を実現するものもある[4]．本研究の手法では，演者が仮想物体に直接手で触れ，把持しながら

		直接，手による操作	物体を介する操作
現実物体 で可能	並進	本研究，従来[4]	従来[2]
	回転	本研究，従来[4]	
	変形		
仮想物体 のみ	特殊効果 の発生	本研究	

表1: 仮想物体操作の分類

ら「並進」，「回転」と「特殊効果発生」の変化を起こす操作を対象とする．特

殊効果発生は、演者の仮想物体に対する指示動作によって起こす。

第3章 バーチャルスタジオにおける仮想物体操作の課題

この章ではバーチャルスタジオにおける仮想物体操作を実現しようとする際、何が課題となるのかを述べる。それらの課題に対し、従来手法による解決法とその問題点を挙げる。

課題は大きく二つに分かれる。一つは演者に対して仮想世界や仮想物体を提示することである。もう一つは、演者の操作に応じた仮想物体の合成に関する課題である。これらについて各節で説明する。

3.1 演者に対する仮想物体提示の課題

仮想セットや仮想物体はCGデータとして表現されるため、通常のバーチャルスタジオではスタジオ内にいる演者には仮想セットも仮想物体も見ることができず、単色のスタジオ風景しか見えない。仮想物体の位置を確認するために、これまでのバーチャルスタジオでは何らかの方法で仮想物体を出力させてきた。演者に対して仮想物体を視認させることは仮想物体操作の課題となる。

次に、やはり仮想物体がCGデータであることから、演者における仮想物体の触感が課題となる。演者が仮想物体の触感を得られないことは、演者にとって操作の感触が得られないことになり、動作に影響を及ぼす。演者に対して仮想物体の触感を与えることも課題となる。

バーチャルスタジオにおける演者に対する仮想物体の提示では、特に視認と触感が問題となる。以下にそれぞれについて述べる。

3.1.1 仮想物体の視認に関する従来手法

演者に仮想物体を視認させる従来の方法の一つとして、スタジオ内の演者から見える位置にフロアモニタを設置して、そこに仮想物体と演者の合成映像を表示する方法がある。フロアモニタは、これまでの仮想物体の背景と演者を合成するだけのバーチャルスタジオにおいて、背景にどのようなCGが表示されているのかを確認するのに用いられてきた。しかし、この方法で仮想物体操作

を行う場合、フロアモニタに表示される映像はカメラの視点からの映像であり、演者の視点からのものではない。このため、演者が左に動いた場合、カメラ映像では逆に動くように見えるように、左右の向きが逆になる点で演技しにくいという問題がある。また、演者の視線方向がモニタの方を向き、視聴者にとっては演者が仮想物体を見ずに操作しているように見えるため、不自然な印象を受けることになる。

演者に仮想物体を視認させる別の従来手法として、演者が透過型ヘッドマウントディスプレイ（HMD）を装着する方法がある [1] [2] [3]。透過型HMDは、拡張現実感（Augmented Reality, AR）で用いられる頭に装着する眼鏡のようなディスプレイで、ユーザが見ている現実世界の上に仮想物体を重ねて登場させる装置である。バーチャルスタジオ内で演者が透過型HMDを装着することによって、演者は演者の視点から見える仮想物体を得ることができる。これによって視線方向は仮想物体に向くことになり、視聴者にとって演者の視線方向が不自然になることはない。しかし、HMDは小型なものも存在するとはいえ、視聴者にとって演者が見慣れない装置を着けていることになる。作成する映像は演者が視聴者に対して説明を行う教育用映像であることを考えると、視聴者が講師の説明に集中するために余計な機器が映り込まないことが望ましい。ユーザに対して仮想世界を提示することを目的とした人口現実感（Virtual Reality, VR）やARでは透過型HMDを用いることは有効だが、バーチャルスタジオでは視聴者の存在を考慮し、できるだけセンサなどの機器を用いない方法を使うか、使っても映像に映り込まない機器だけを用いて仮想物体を提示することが要求される。

以上のような仮想物体の視認方法については、フロアモニタでは視線方向、HMDでは機器の映り込みが問題となった。このような問題を解決することが要求される。

さらに、本研究では演者の仮想物体に対する指示動作により仮想物体に特殊効果を生じさせる操作も実現する。仮想物体に対する正確な指示動作を行うには、現実空間のどの位置に指示対象が存在するのかを演者が認識できなければならない。上で挙げたような仮想物体の形状に関する視認だけでなく、指示位置に関する視認を可能にすることも要求される。

3.1.2 仮想物体の触感問題と従来手法

視認の問題と同じく仮想物体はデータ上の存在であるため、スタジオ内の演者にとっては仮想物体に触れているという触感がない。このような場合、演者は何も無いところであたかも物体が存在しているかのようにパントマイムのような演技をすることになる。手で仮想物体を操作する演技の場合、仮想物体の形状に合わせた手の姿勢を取ることが必要となるが、何も無いところで適切な手の姿勢を取るのは難しい。このため手の姿勢と仮想物体の形状に整合性が無くなることが起きてしまう。また仮想物体の触感が無い場合、演者が操作していると考えていても、仮想物体を操作している実感を持っていないため、演者にとって本来の目的である説明に集中できなくなってしまう問題がある。

仮想物体操作における演者に触感を与える従来手法としては、触感のある棒状の現実物体を介して仮想物体を並進させる方法があった [2]。このような現実物体を介して仮想物体を操作する方法はARの分野で見られる。現実物体を介して仮想物体を操作する方法は、人間と仮想物体との相互作用を現実物体と仮想物体との間の相互作用に単純化させたもので、人間が仮想物体に直接触れて操作することはできない。さらに、このような方法では、操作を媒介する現実物体の触感はあっても仮想物体の直接の触感は演者に与えられないため、やはり操作の実感を演者が持つことはできないと考えられる。

このように仮想物体の触感を与える問題については、仮想物体そのものの触感を与える方法はバーチャルスタジオ研究ではされていなかった。これに対し、バーチャルリアリティ (VR) 分野においてはCyberGraspという手袋型の装置を用いて仮想物体の触感を付与することが行われていた [5]。しかし、CyberGraspも前項で述べた機器の映り込みの点で視聴者に提示する映像としては問題となる。

このような触感の問題について、これまでのバーチャルスタジオにおける研究では、仮想物体の触感を直接与えるものはなかった。本研究ではこの触感の問題にも対処する。

3.2 仮想物体の表示に関する課題

仮想物体操作の実現に関して、バーチャルスタジオで撮影した際の演者の操作と仮想物体映像の合成においてクリアしなければならない課題もある。視聴者にとって合成映像に映っている仮想物体が演者とインタラクションしている

ように見えるためには、以下の三つの課題に対処する必要がある。それは、演者の操作と仮想物体の動きが合っていること、演者の指示動作と仮想物体に特殊効果が発生するタイミングが合っていること、演者と仮想物体の隠ぺいについて、正しい合成結果となっていることの三つの課題である。

3.2.1 仮想物体の並進・回転操作の検出

視聴者に提示する演者と仮想物体の合成映像では、演者の操作と仮想物体の動きに整合性が取れている必要がある。そのため、仮想物体を並進・回転させる剛体操作に関して、演者の操作を検出することが課題となる。検出した演者の操作に応じて、仮想物体が動くことにより、演者の操作動作と仮想物体の動きが整合性の取れたものとなる。

演者の並進・回転操作を検出する際、スタジオ内の演者が何もいないところで演技をする場合は演者の身体を直接センシングすることが考えられる。また、演者が触れることのできる現実物体によって間接的に仮想物体を操作する場合は、現実物体の動きを検出することにより並進・回転操作の検出が実現できる。現実物体を用いる場合は、演者は現実物体を介して間接的に仮想物体を操作する。身体と現実物体のいずれをセンシングするにせよ、センシングは三次元的なセンサを用いる場合と、画像を用いる場合が考えられる。さらに、その時にどんな操作をしているのかを確実に理解できるのは演者だけであることから、システムによって検出された並進・回転操作と演者の意図している操作動作との間に違いが起きない方法を採用する必要がある。

このような演者の並進・回転操作検出という課題に対するバーチャルスタジオの従来研究としては、演者が棒状現実物体を動かす、その棒状現実物体によって演者の操作を検出するものがある [2]。この方法では、棒状現実物体の三次元的な位置姿勢をセンサと画像から求めることにより、演者の並進操作を検出した。この棒状現実物体と仮想物体との間に接触が起きているかどうかを検出し、接触点から物体中心の向きに仮想物体を並進させる操作が可能になる。しかし、この方法で実現した操作は仮想物体の並進だけだった。

また、バーチャルスタジオで用いられる別の手法として、データグローブを用いて演者の手の動きを認識することで操作動作を検出する方法がある [4]。データグローブとは、手袋のように手に装着するセンサであり、ユーザの手の三次元的な位置姿勢を求める。この手法では、データグローブによって求めた演者

の手の位置姿勢によって、手の平が仮想物体の中心を向き仮想物体の表面に触れている時に「物体を把持している」と認識するなどして演者の操作動作を検出する。把持中の手の動かし方によって仮想物体の並進や回転操作を可能にした。この方法では、演者の意図通りに仮想物体が並進・回転するかどうかの点で問題がある。見ることも触ることもできない仮想物体の操作において、「表面に触れる」などの微妙な手の姿勢が要求されるため、演技の習熟が必要となる問題がある。

また、バーチャルスタジオとは異なるAR分野でも仮想物体に姿勢変化を起こすような研究がなされている。例えばARToolKit[9]のように、専用の模様を描いたシート（一辺10cm程度）の位置姿勢をそのシートの画像から検出する方法がある。その位置姿勢に応じて仮想物体の位置姿勢変化をさせ、それをHMDを着けたユーザに提示する。これは、シートを介してユーザの操作動作を検出したことになる。ただこの方法では、シートがカメラに向けられている場合は位置姿勢推定を問題なくできるのだが、それ以上の回転が起きるような場合には立方体のような専用のマーカを用いる必要がある。そのマーカは手で隠れることを想定していないため、演者の直接操作する物体には用いることができない。

上記のような演者の並進・回転操作検出という課題を解決するために、演者に演技の習熟を必要とせず、演者の意図する操作を正確に検出する手法を考えなければならない。

3.2.2 演者の指示動作の検出

仮想物体操作の一つである特殊効果の発生について、本研究では演者の指示動作によって起こすことを考える。特殊効果の種類や特殊効果を表示する位置を演者の指示位置によって変えるため、指示動作のタイミングと指示する位置を検出することが必要となる。演者に指示位置を視認させる問題は3.1.1節の仮想物体の視認の部分で述べた。演者が指示位置を視認し、実際に指示動作を意図している場合に、システムがどのように指示動作を検出するのかを考えなければならない。また、このような指示動作検出の課題に対する方法では、視聴者に機器の存在を感じさせないことも求められる。以上のような課題を解決することを考える。

3.2.3 仮想物体の表示領域の検出

背景に仮想世界を登場させるだけのバーチャルスタジオでは、常に演者の全身が仮想セットの前にあると仮定できた。これに対して仮想物体操作をバーチャルスタジオで行うとなると、演者と仮想物体のカメラに対する前後関係を考慮に入れて、仮想物体による演者の隠ぺいや、演者による仮想物体の隠ぺいに対処しなければならない。例えば、仮想物体の把持を意図している演者の手と仮想物体の関係は、合成映像でも演者が手で仮想物体を把持しているように表示される必要がある。このような対処をしない場合、視聴者映像で演者の手が仮想物体にめりこんでいるようになってしまう。よって視聴者に提示する映像では仮想物体の表示に関して演者と仮想物体の位置関係に基づき、映像の各フレーム画像における仮想物体の表示領域を検出することが課題となる。

この課題に対して考えられる手法としては、三次元位置センサによって演者の手の位置を求め、仮想物体との前後関係を求め、その結果に合わせて仮想物体の像を得る方法が考えられる。この方法では、各指ごとに位置計測が必要となり、多くのセンサを必要としたり、データグローブのような機器を装着する必要が出てくる。スタジオ撮影映像では、多くのセンサやデータグローブが視聴者の目に入ることになり望ましくない。

以上で見てきたように、バーチャルスタジオにおいて仮想物体を直接把持して行う操作（本研究では並進、回転、指示による特殊効果発生）の映像を作成するためには、大きく五つの課題が存在する。演者における仮想物体の視認問題、演者における仮想物体の触感問題、仮想物体の表示における演者の並進・回転操作の検出、演者の指示動作の検出、そして演者と仮想物体の互いの隠ぺい検出の五つである。

これらの問題に対する本研究での提案手法について、次の4章で述べる。

第4章 提案手法

3章で述べたようなバーチャルスタジオにおける仮想物体の直接操作に関する五つの課題に対して、本研究ではこれまでのバーチャルスタジオ研究では行われていない、演者が手で現実物体を操作する手法を提案する。スタジオでは演者が現実物体を把持しながら操作し、視聴者に提示する映像では演者が操作

する現実物体を仮想物体に置き換える．現実物体は仮想物体と同じ形状のものとする．

提案手法では，仮想物体と同形の現実物体を用いることによって演者における仮想物体の位置・形状の視認と操作の手応えである触感の問題を解決する．演者が現実物体を直接操作する様子を撮影し，合成映像においては現実物体の位置に仮想物体を置き換えて表示する．ここで表示する仮想物体は，演者の操作と演者による隠ぺいを反映させたものになっている．

提案手法による仮想物体操作の映像作成について，処理の流れを図2に示す．処理の流れは，おおまかには「スタジオ撮影」「現実物体の位置姿勢推定」「映像合成」の三つになる．最初のスタジオ撮影では，マーカを貼った単色現実物体を操作している演者を撮影する．次に撮影映像と現実物体モデルを用いて，カメラ座標上での現実物体の位置姿勢推定を行う．この位置姿勢推定計算で得られた位置ベクトルと回転行列を用いて，演者がマーカを指示しているかどうかを検出する．最後の映像合成で，現実物体の位置姿勢を与えた仮想物体をクロマキー処理で得られた演者領域と合成させる．映像合成の時に，指示動作を検出している場合は特殊効果を与えた仮想物体を表示させる．

この手法では操作される仮想物体は現実物体と同形になるため，利用できる仮想物体の形状に対する制約は強くなる．しかし，この手法によって演者が仮想物体を直接把持しながら並進，回転させ，指示動作によって状態変化を起こす操作に関しては，演者にとって特に演技の練習が必要なく可能となる．本章では，この手法によって3章で挙げた課題をいかに解決するのか述べる．

4.1 演者に対する現実物体による仮想物体提示

3.1節で示した仮想物体の直接操作における演者の視認と触感を与える課題について，対処法を述べる．

提案手法ではスタジオ内の演者は現実物体を直接操作する．演者は操作する現実物体と同じ位置と形状の仮想物体を想定すればよいため，仮想物体の視認問題は解決される．仮想物体の直接視認が可能となることによって，合成映像での演者の視線は仮想物体の方を向くことになり，フロアモニタによる視認で見られたような視聴者にとっての演者動作の不自然さは解決される．また，HMDのような機器を使う必要もないため，機器の移り込みによって視聴者にとって不自然に見える問題も解決される．

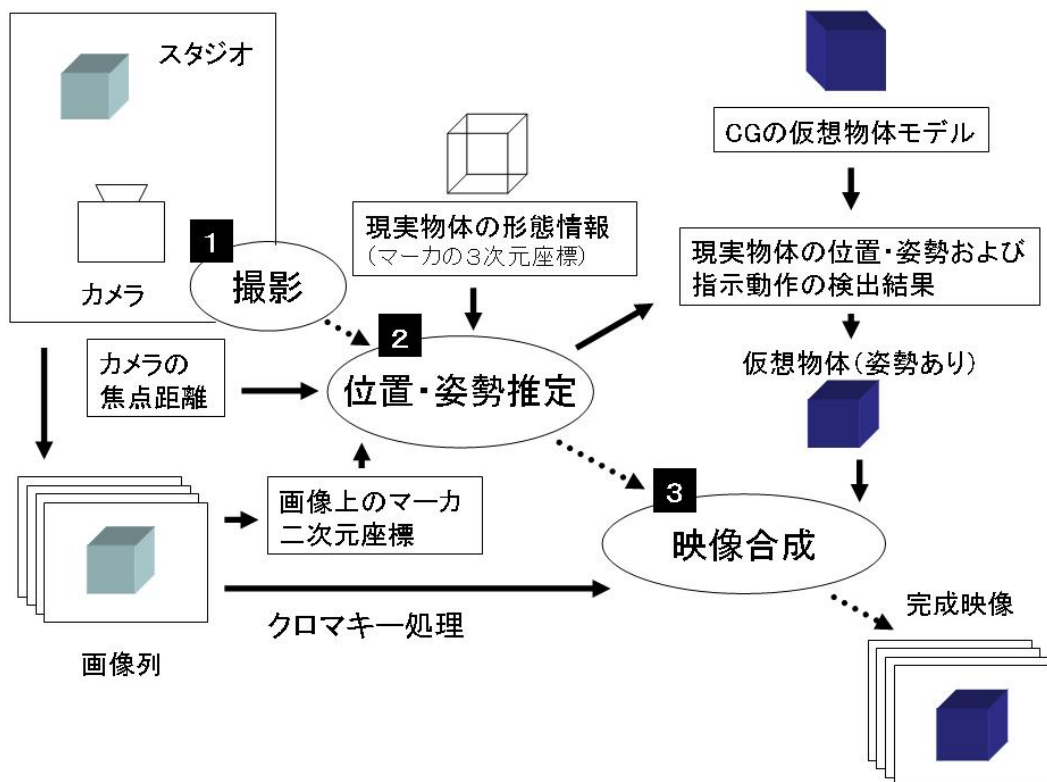


図 2: 提案手法による処理の流れ

演者に対して仮想物体の触感を与える点についても、現実物体の触感によって解決される。このような仮想物体との触感インタフェースに現実物体を用いる手法は、Phicon (ファイコン) [7] という考え方を利用したものである。Phiconとは“ Physical Icon ”の略であり、人間とコンピュータのグラフィカルインタフェースにおけるアイコンを実世界で物理的に実現しようとするものである。石井らの研究 [7] では“ Tangible Bits ”という言葉で“ ビットデータに触れる ”ことの重要性を強調している。

演者は現実物体から得られる操作の実感を得られ、現実物体の動きに仮想物体が対応するという前提のもとで演技できる。このように現実物体を用いた仮想物体の視認と触感によって、演者は仮想物体操作に関して、ほぼ事前の練習なしに演技できるようになる。これは、教育用映像の目的である対象の説明に集中できることにつながる。

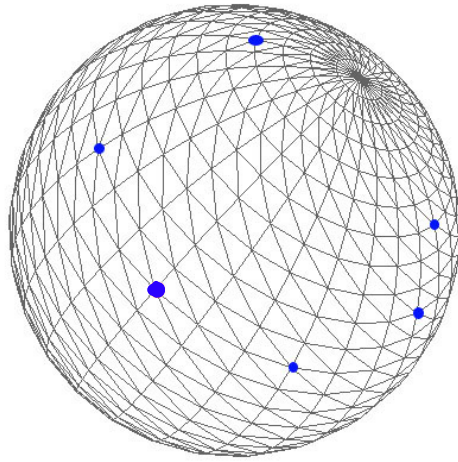


図 3: 現実物体モデルのイメージ

4.2 現実物体を用いた場合の仮想物体合成

演者が現実物体を直接操作する提案手法によって 3.2 節で述べた視聴者映像における合成映像の課題をどのように解決するのかを述べる。

4.2.1 現実物体の位置姿勢推定を用いた仮想物体の姿勢変化

演者が現実物体を操作する本手法では、演者の操作する現実物体そのものを仮想物体の姿勢変化の検出に用いる。表示する仮想物体の姿勢は操作する現実物体の姿勢に一致するとみなして、現実物体の姿勢推定を行う。この現実物体の姿勢推定に応じた合成映像での仮想物体の姿勢変化によって、3.2.1 節で述べた合成映像における仮想物体の姿勢変化検出問題を解決する。

現実物体の位置姿勢推定に対しては、一台のカメラ画像と物体上の特徴点によって物体の位置姿勢推定を行う P O S I T アルゴリズム [8] を用いる。物体上の特徴点として単色のマーカ（シール）を操作する現実物体に貼る。

この P O S I T アルゴリズムは、撮影したカメラの焦点距離を与え、同一平面上にない特徴点が四つ以上見えていれば物体の位置姿勢を計算できる。操作する現実物体表面上の特徴点の三次元座標を求め、その三次元座標の集合を現実物体モデル（図 3 に現実物体モデルのイメージを挙げる）とする。一台のカメラから見える特徴点の画像上での二次元座標を検出することにより、物体の三次元的な位置姿勢を計算する。特徴点によって現実物体モデルと仮想物体モデルの間での対応は一意に定まる。位置姿勢の計算には画像上の特徴点とモデ

ル上の特徴点の対応を求めることも必要となる．このアルゴリズムの出力としては姿勢行列 R として 3×3 の行列と位置ベクトル T として 3×1 のベクトルを得る．この行列とベクトルを用いることによってカメラ座標における特徴点の3次元位置を求めることができる．以下に挙げる式において， A は特徴点モデルの座標値， B は推定時に特徴点の存在する座標値とする．POSIT ではこのような姿勢行列 R と位置ベクトル T を求めている．

$$B = A \cdot R + T \quad (1)$$

本研究では，画像上でのマーカ検出として色情報による特徴点追跡を行う．マーカを現実物体に貼るだけで実現できるため，特別な現実物体を必要としない．また，仮想物体と現実物体が同形である本手法では，マーカは視聴者映像では仮想物体によって完全に隠れるため，合成映像に影響を与えない．また，操作現実物体のモデルとして用いる特徴点の三次元座標は，複数カメラによる三次元形状獲得の方法を用いる．

このように撮影カメラの内部情報である焦点距離を獲得しておけば，カメラ座標系における現実物体の姿勢行列と位置ベクトルを求めることができ，撮影映像に対して重畳する仮想物体の像を得ることができる．

4.2.2 マーカを用いた指示動作の検出手法

現実物体にマーカを貼る本研究の手法では，演者が位置姿勢推定に用いた現実物体上のマーカを指示することによって仮想物体上に特殊効果を発生させる．現実物体に貼り付けるマーカとしては，仮想物体の姿勢検出に用いたものを使う．このようなマーカの利用は，演者に対して指示するべき位置を認識させるのに役立ち，マーカに対してボタンのような機能を与える．マーカへの指示を用いた本手法によって，仮想物体の特長である特殊効果の発生が可能となる．

指示動作の検出として，演者の指によるマーカの隠れを検出する方法を採る．この方法では，4.2.1 節の仮想物体の姿勢推定から得られた姿勢行列と位置ベクトルを用いる．現実物体の位置姿勢からカメラ座標上での三次元特徴点位置を計算し，カメラに対して見えているはずの特徴点を求める．カメラ画像から得られる特徴点と見えているはずの特徴点を比較し，カメラ画像に映っている特徴点の中で検出できない特徴点が無いかを調べる．もしも隠れている特徴点がある場合はその特徴点を演者が指で押さえているとみなして，演者のマー

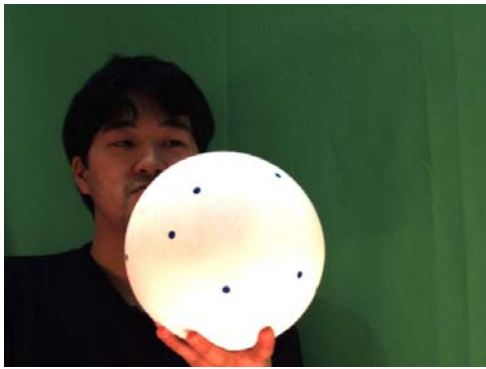


図 4: 入力画像



図 5: クロマキー処理後の画像

力指示動作を検出する．押しているのがモデル中のどのマーカかを検出できるため，押したマーカに応じて発生させる特殊効果を変えることができる．これは，スタジオ撮影では演者が操作物体を常にカメラに向けており，物体上の特徴点は演者によって隠されない限りはカメラに見えていることを仮定している．この仮定は，演者が現実物体を把持してカメラに向ける際に，マーカを押さえないように気をつけるだけで可能になる．

4.2.3 単色現実物体による仮想物体重畳領域の検出

本手法では，合成映像における仮想物体の重畳領域の検出をするため，演者が操作する現実物体の色を単色とする．撮影映像の各フレームにおいてクロマキー処理を行い，仮想物体の表示領域を検出する．具体的には，まず通常のパーティクルスタジオと同じく背景色によるクロマキー処理によって背景領域以外の演者と現実物体の領域を抽出する．これに加えて本手法では，演者と現実物体の領域に対して再度，現実物体色によるクロマキー処理をすることで，現実物体領域を抽出する（図 4 に現実物体操作の入力画像を，図 5 にクロマキー処理後の画像を示す）．この処理によって得られた操作現実物体領域が仮想物体を重畳する領域となる．

これは仮想物体と演者の前後関係を三次元的に処理するのではなく，画像上で二次元的に処理していることになる．画像に対する処理だけで可能となるため，三次元センサなどは必要とならない．

このように現実物体を単色にする方法によって，視聴者に提示する合成映像で，演者の手が仮想物体にめりこむという問題は起きない．

第5章 実験

4章で提案した本研究の手法を実装し、実際に映像を作成した。

作成する映像として、演者が仮想物体の地球を手で直接操作するものを実現する。演者がスタジオ内で操作する現実物体は球状の単色物体である。仮想物体の地球に対して、演者が並進、回転、特殊効果の発生の操作を加える映像を実現する。

5.1 システム実装

スタジオにおける演者と現実物体の撮影には、今回は擬似的なバーチャルスタジオとしてついたてに緑色の布をかけることによって単色背景の状況を作った。そこでCCDカメラを用いて、演者が現実物体を操作する様子を撮影し、横640、縦480ピクセルの画像を獲得した。カメラパラメータの獲得として、チェス板を用いたキャリブレーションを行った[10]。このカメラから得られた映像をそのまま現実物体の位置姿勢推定に用いる。演者が操作する現実物体は白色の石膏でできた球を用いた。現実物体に貼るマーカには青色のシールを用いた。現実物体の位置姿勢推定では、最低でも四点以上のマーカが見えていることが必要になるため、どの方向から見ても四点は見えているように15個のマーカを用いた。このとき、見えている点によって姿勢が一意に定まるように不規則に貼ってある。

図6はグリーンバックのスタジオで青色マーカを貼った白色現実物体を持っているスタジオの様子の画像、図7は演者が現実物体上のマーカを指示している場面の画像である。現実物体の位置ベクトルと回転行列を求める位置姿勢計



図6: 現実物体の画像例



図7: 現実物体指示の画像例

算には Intel 社のコンピュータビジョンに関するライブラリである OpenCV のプログラムを利用した。開発環境は VisualStudio.NET を用い、言語は C++ を使った。

この位置姿勢推定に対する入力の一つである現実物体モデルについて、その獲得方法を述べる。現実物体モデルは現実物体に貼ったマーカの三次元相対位置関係で表現される。この位置関係の計算は、キャリブレーション済みカメラによるステレオ視を行うことで、各マーカの世界座標系の三次元座標値が求まる。全てのマーカの座標を一度の撮影で求める必要があるため、複数カメラによる形状獲得システムによって計算を行った。

位置姿勢推定へのもう一つの入力である画像上でのマーカの二次元座標は、画像におけるピクセル値の色情報を用いて連続画像上の同一点を追跡した。現実物体モデルの特徴点と画像に見えているマーカとの初期の対応付けは手動で与え、見え隠れによる対応付けも手動で行った。

指示動作の検出は、現実物体の位置姿勢推定で位置ベクトルと回転行列を得た後に行う。得られた回転行列と位置ベクトルによって、現実物体上マーカのカメラ座標系での三次元座標が求まる。球状現実物体の中心の三次元座標と各マーカに対するカメラからの距離を比較し、中心よりも近いマーカをカメラに映るはずのマーカと判別し、その中から画像上に見えていない点を求めた。この方法によって演者の指示動作を検出し、次の映像合成に対して指示対象のマーカのデータを送る。この計算も現実物体の位置姿勢推定と同じ計算機環境を用いる。

合成する仮想物体は、CG作成ツールを用いて用意することができる。地球仮想物体の例を図8に示す。撮影映像、仮想物体、現実物体の位置姿勢データ、指示動作の検出結果が揃ったら、映像合成を行う。各フレーム画像において、背景色と現実物体色のクロマキー処理、仮想物体に対して位置姿勢データを与え、指示動作による特殊効果の発生、合成という順序で処理を行う。クロマキー処理は各ピクセルのHSV値を用いた二値化によって行う。この処理によって演者の手と仮想物体が合成される。特殊効果として、ニューヨークの位置に自由の女神像が出現するものを作成した。図9は特殊効果の例である。CGレンダリング用のライブラリとして Microsoft DirectX を利用し、開発環境としては VisualStudio.NET を用いた。



図 8: 地球仮想物体の例

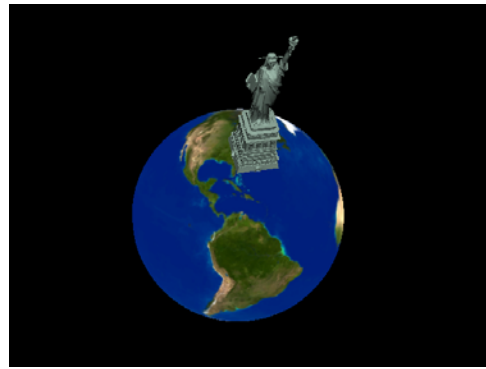


図 9: 特殊効果の例（自由の女神）

5.2 実験結果

前節のような実装を行い，実験としてスタジオ内の演者が現実物体を並進させる映像，回転させる映像，指示する映像を撮影した．それらの映像に対して，並進，回転，特殊効果発生が仮想物体に起きることが想定する結果である．実験結果を以下に示す．

まず，図 10 に仮想物体の並進操作の結果を挙げる（図の下の数字はフレーム番号である．背景はクロマキー後に白色とした，ここに様々な画像やCG背景を重畳することは可能である）．演者はカメラに対して，左右の並進と前後の並進を行う．合成する仮想物体はこの現実物体の位置に合っている．

次に仮想物体の回転操作について，図 11 に載せる．演者はカメラに対して，二つの軸に関して回転操作を行う．合成する仮想物体はこの現実物体の姿勢に合っている．

最後に，仮想物体の特殊効果発生操作を図 12 に載せる．演者は現実物体上のマーカを押さえることによって，特殊効果発生の合図を行った．指示によって特殊効果の自由の女神像がニューヨークの位置において徐々に大きくなり，指示を外すことによって自由の女神像が小さくなっていった後に消える．このような特殊効果発生操作が実現できた．

5.3 考察

実際に操作を行ってみたところ，全ての操作に関して現実物体を用いることで演者には操作の実感が得られる．このため，演者が仮想物体操作をする際に，説明に集中できる．また演者の視線方向はカメラや仮想物体の方を向き，機器

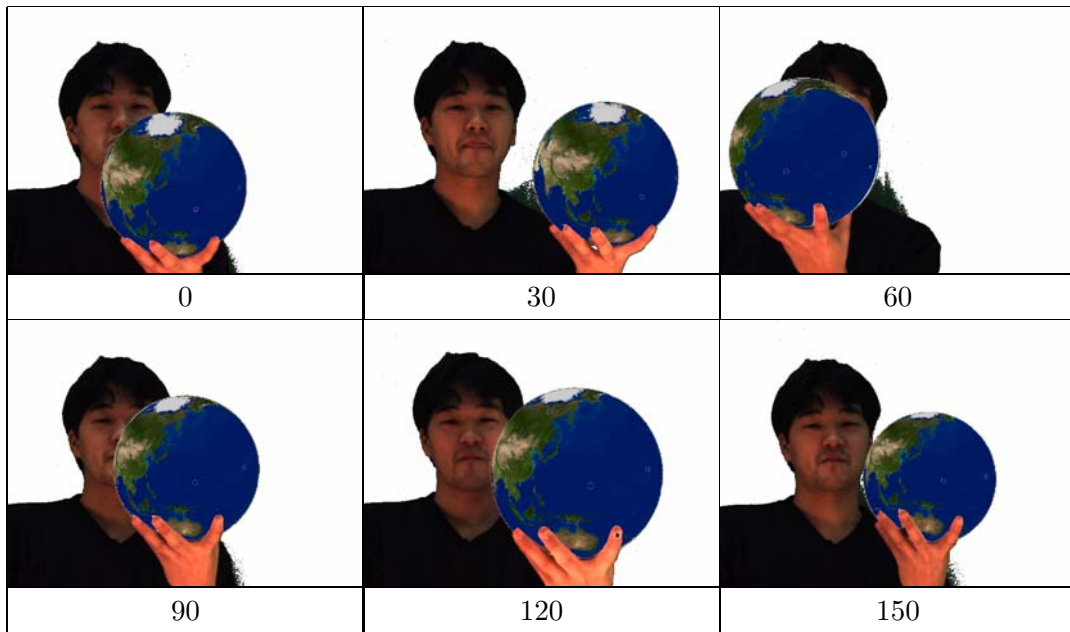


図 10: 並進操作の結果

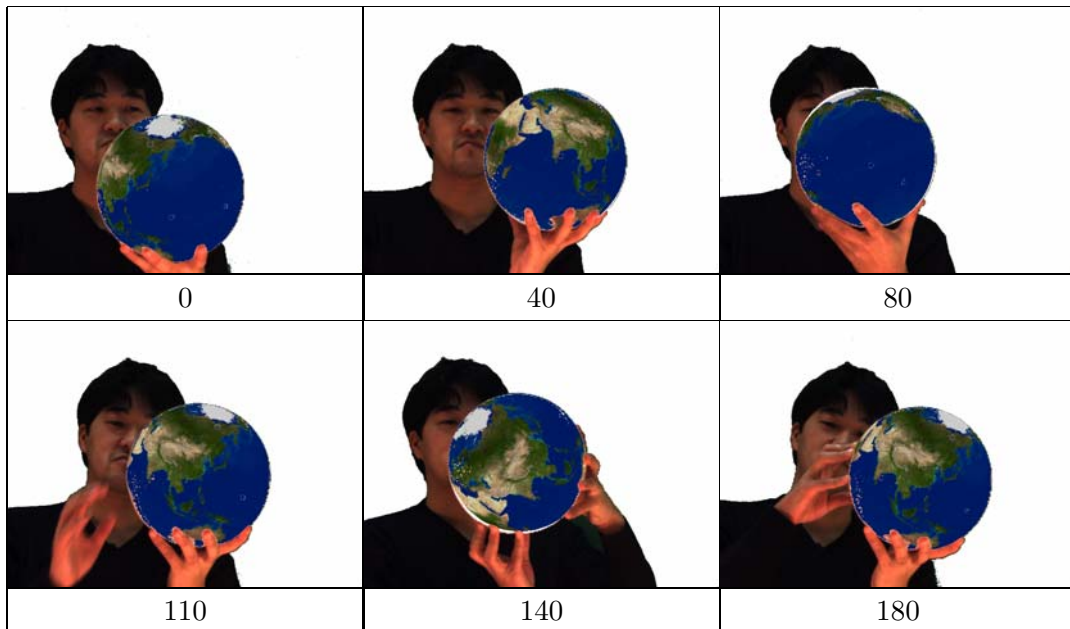


図 11: 回転操作の結果

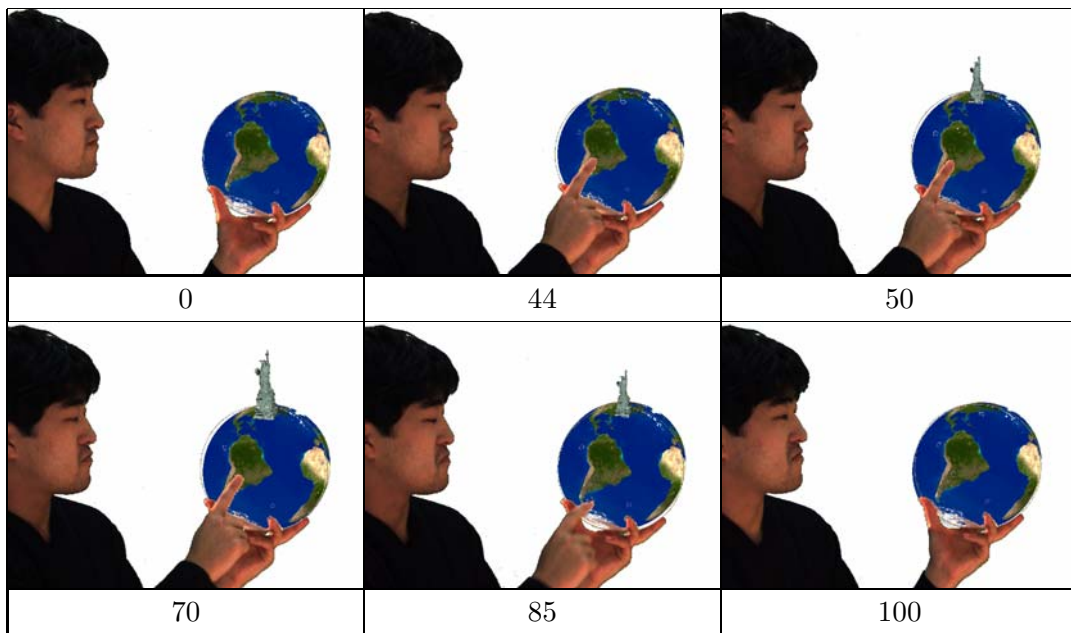


図 12: 指示による特殊効果発生の結果

の映り込みもない。

それぞれの操作について、演者の動きと仮想物体の動きは妥当なものになっている。並進と回転操作の映像では演者の物理的な動きを、指示による特殊効果発生では演者の指示動作のタイミングを検出することができている。

全ての操作に関して、現実物体ではそれほど振動していない場面でも仮想物体が振動しているように見える。これは、現実物体の位置姿勢推定のために求める画像上での二次元座標がぶれることで発生することが原因と思われる。今回の実験ではマーカとして用いたシールが大きかったために、このようなぶれが発生した。

また、クロマキー処理の課題として、現実物体の縁部分とマーカの縁部分が残ってしまったことや、演者領域でも背景や現実物体領域として検出されてしまったことが挙げられる。ピクセルの画素値によってクロマキー処理を行ったためこのような結果となったが、領域分割によって、微小領域を考慮することにより、細かい縁部分のクロマキー処理を補完することが考えられる。

第6章 結論

本研究では，バーチャルスタジオにおいて演者が仮想物体を直接操作することを目的とし，現実物体を用いることによって仮想物体の並進，回転，指示による特殊効果発生などの三つの操作を実現した．

バーチャルスタジオにおける仮想物体操作の課題には，演者にとって仮想物体が視認できない課題，触感がない課題，仮想物体の姿勢変化を現実空間から検出する課題，演者の指示動作を検出する課題，合成映像における仮想物体と演者の隠ぺいの課題がある．これらの課題に対し，演者が現実物体を操作することによって演者に対する仮想物体の視認と触感の問題を解決し，単色現実物体を用いることによって隠ぺいを踏まえた合成映像を実現した．仮想物体の姿勢変化の検出については，現実物体にマーカを貼ることによって画像を用いた特徴点ベースの物体姿勢推定を行うことによって対処した．指示動作の検出に対しては，姿勢推定のために現実物体に貼ったマーカを押さえる指示を検出することによって実現した．演者がマーカを押さえたかどうかを検出することによって，仮想物体に対して状態変化を起こすタイミングと特殊効果の種類を認識できる．以上の問題解決により，仮想物体の並進，回転，特殊効果発生操作が可能となる．

現実物体を用いる本手法では，仮想物体の位置や形状についての視認と触感を現実物体から演者が得ることができる．これは，演者が仮想物体操作の演技を困難なく行える点で有効である．さらに，バーチャルスタジオでは，視聴者が撮影映像を見るという前提がある．これは，VRで用いられるユーザに対して仮想物体を視認させるためのHMDや触感を与えるためのCyber Grasp，現実物体の動きを検出するためのセンサなどの機器は，視聴者映像における自然さの点から用いることができないという制約がある．この点に関して，演者が特別な機器を装着せずに仮想物体を操作することができる本研究の手法は有効である．

本研究の実験では，演者の使用する現実物体として球形の白色物体を用いたが，マーカを貼ることのできる単色物体ならば本研究の方法による仮想物体操作の映像作成に用いることができる．様々な現実物体を用いることによって，今後，様々な形状のCG仮想物体を用いた映像コンテンツを作成する際に，対応することが可能になる．

今後の課題としては、現実物体の位置姿勢推定時に入力する画像上でのマーカ座標のリアルタイムでの抽出が挙げられる。本研究では、対応付けを手動で行ったため、全過程のリアルタイム化を実現できなかった。演者が自分の操作と仮想物体との相互作用を確認しながら操作を行うことが要求されるため、映像作成の自動化、つまり全過程におけるリアルタイム化は重要である。マーカ位置と対応の獲得を自動化することが、この映像作成の自動化には必要となる。

仮想物体操作に関する将来的な課題としては、より多様な操作映像を可能にすることが挙げられる。例えば、現実物体のボールをへこませた時に仮想物体のボールもへこむような変形操作や、コップなどの透明現実物体を演者が操作し、コップ中の液体にCGを用いるものなどが考えられる。また、今後の応用としては、演者の操作する現実物体からはみ出る形になる仮想物体を操作することも考えられる。今回の実験では、演者の操作する現実物体と仮想物体の形状を同じにしたため、このようなことが起こらなかったが、特殊効果発生操作において、地球モデルから自由の女神が突き出る映像を作成した。このような特殊効果を考える場合、演者と仮想物体の合成について、どのように重畳を行うのかは今後の課題となる。今回の場合は、演者領域が最優先に表示され、次に仮想物体、最後に背景という形で重畳した。このため現実物体領域からはみ出た仮想物体が演者領域にかかる時は、演者が優先的に表示されてしまう。このような課題については、用いる仮想物体によって重畳を考えることが必要となる。

謝辞

特別研究を行うにあたり多くのご教示と指導を賜りました美濃導彦教授、角所考助教授、飯山将晃助手に深く感謝いたします。また、実装面に関する支援や本論文に対する校正など、研究に関するあらゆる面で相談に乗っていただいた船富卓哉氏にも特に深く感謝いたします。また、グループミーティングにおいて様々な指摘を与えて下さった美濃研究室モデルグループ各位、研究を進めるにあたり様々な面で協力、励ましをいただいた美濃研究室各位に対し、深く感謝の意を表します。

参考文献

- [1] 君田和也: 修士論文 バーチャルスタジオにおける現実物体を用いた仮想物体のポインティング, 京都大学大学院情報学研究科知能情報学専攻 (2002)
- [2] 武笠知幸: 学士論文 バーチャルスタジオでの仮想物体操作のための棒状物体の位置・姿勢推定, 京都大学工学部情報学科 (2003)
- [3] 松村晋吾: 修士論文 バーチャルスタジオにおける演者と仮想物体のインタラクションのための適応的レジストレーション, 京都大学大学院情報学研究科知能情報学専攻 (2003)
- [4] 尾原秀登: 修士論文 バーチャルスタジオにおける演者と仮想物体のインタラクションのための適応的レジストレーション, 京都大学大学院情報学研究科知能情報学専攻 (2005)
- [5] Immersion Corporation: 3D Technologies Cyber Grasp:
http://www.immersion.com/3d/products/cyber_grasp.php
- [6] B. Schneiderman. Direct Manipulation: A Step Beyond Programming Languages. IEEE Computer, 16(8):57-69, 1983.
- [7] Ishii, H. and Ullmer, B. “ Tangible Bits: Towards Seamless Interfaces between People, Bits and Atoms ”. Proceedings of CHI ‘ 97: pp.234-241, ACM Press, 1997
- [8] DeMenthon, D.F. and L.S.Davis “ Model-Based Object Pose in 25 Lines of Code ”. Computer Vision-ECCV 92, Lecture Notes in Computer Science 588: pp.335-343, Springer-Verlag, 1992
- [9] Kato, H., Billinghamurst, M.,Poupyrev, I., Imamoto, K., “ Virtual Object Manipulation on a Table-Top AR Environment ”. In Proceedings of the International Symposium on Augmented Reality, pp.111-119, 2000
- [10] Z.Zhang, “ A Flexible New Technique for Camera Calibration ”. Technical Report MSR-TR-98-71, 1998