

NAIST-IS-MT9651081

修士論文

拡張現実感を用いたカード型情報管理システム

仲村 元亨

1998年2月13日

奈良先端科学技術大学院大学  
情報科学研究科 情報システム学専攻

本論文は奈良先端科学技術大学院大学情報科学研究科に  
修士(工学)授与の要件として提出した修士論文である。

仲村 元亨

指導教官： 横矢 直和 教授  
千原 國宏 教授  
竹村 治雄 助教授

# 拡張現実感を用いたカード型情報管理システム\*

仲村 元亨

## 内容梗概

現実世界での作業において，その作業を補助する情報を作業者に提示できる技術として，拡張現実感 (AR: Augmented Reality) が注目されている．従来の AR を利用したシステムでは，予めデータベース中に登録された情報を現実世界に重畳して提示するのみであり，ユーザは新たな情報を入力できない．そこで本研究では，AR の特徴を活かせる作業空間の提供を目的とし，提示される情報をユーザが新たに入力する手法について検討した．また，入力された情報が多くなると，それらを分類・整理する手法が必要となる．本研究では AR 環境への提示情報を分類・整理する手法についても検討し，AR 環境におけるカード型情報管理システムを実装した．このシステムでは，AR 環境への提示情報の入力として，小型カメラからの画像情報を内容として持つ仮想的なカードを AR 環境に生成する．また，3次元ポインタによる生成したカードの再配置，複製，消去及び複数のカード間の関係付けにより，提示情報の分類・整理ができ，提示情報を階層的に管理する．また，実装システムの操作性を改善するために，カードの管理のためのインタフェースとして実装したボタンメニューの提示手法に関する比較実験を実施した．実験の結果，作業環境の指定した位置に常に提示されるボタンメニューを用いた作業時間が最も短く，表示中はその位置を変えないポップアップ形式のボタンメニューに対する被験者の主観評価値が最も高かった．最後に本システムの応用例として，図書管理システムと思考支援システムについても論じる．

## キーワード

拡張現実感，CCD カメラ，情報視覚化，作業補助，情報付加

\*奈良先端科学技術大学院大学 情報科学研究科 情報システム学専攻 修士論文，NAIST-IS-MT9651081, 1998年2月13日.

# A virtual tag system for information management in AR space\*

Motoyuki Nakamura

## Abstract

Augmented reality(AR) can make it possible for users to manipulate both real and virtual objects simultaneously. In this paper, proposed is an information management system, with which a user can input and manage visual information as virtual tags using a CCD video camera in an AR workspace. A user can generate virtual tags which have textures of captured images such as handwritten characters, printed matters and pictures. A user can also manage the tags by rearranging, copying, deleting and grouping with a 3D pointer. An empirical study is conducted for evaluating four types of virtual button menus that are for operating virtual tags. The four types are combinations of two types regarding positions of the menu and two types regarding a period of time for showing the menu. As a result, it was found that the always-shown/fixed-in-world-coordinate button requires the least time to achieve the experimental task. It was else found that the fixed-in-eye-coordinate/pop-up menu was the best type in terms of subjective evaluation.

## Keywords:

augmented reality, CCD camera, information visualization, computer supported work, information addition

---

\*Master's Thesis, Department of Information Systems, Graduate School of Information Science, Nara Institute of Science and Technology, NAIST-IS-MT9651081, February 13, 1998.

# 目次

1. はじめに	1
2. 拡張現実感	3
2.1 拡張現実感の構成手法と技術課題	3
2.2 拡張現実感を利用した従来研究	7
3. カード型情報管理システム	9
3.1 開発の目的	9
3.2 開発の方針	10
3.3 システムの構成	11
3.4 仮想カードの生成	16
3.5 仮想カードの管理	18
3.5.1 仮想カードの再配置・複製・消去・選択	18
3.5.2 仮想カードのグループ化	19
4. 仮想カードの操作方法に関する検討	22
4.1 仮想ボタンメニューによる操作	22
4.2 実験の設定	26
4.3 結果と考察	28
5. 応用システム	35
5.1 図書情報管理システム	35
5.1.1 図書情報の入力と図書への関係付け	36
5.1.2 図書情報の分類	37
5.1.3 図書情報の探索	37
5.2 思考支援システム	39
5.2.1 カード内容の入力	39
5.2.2 カードの分類	40
5.2.3 カードのグループ化	41

6. 考察	42
7. むすび	46
謝辞	48
参考文献	49

## 目 次

1	光学シースルー方式	4
2	ビデオシースルー方式	4
3	位置ずれの問題	6
4	見回し遅延の問題	6
5	HMD の解像度の問題	6
6	システムの提示画面	12
7	システムの使用状況	12
8	小型カメラ	14
9	3D ポインタ	14
10	システムの構成	15
11	小型カメラによる入力	17
12	グループに属するカードの管理	20
13	空間固定-常時提示型メニュー	24
14	視線追従-常時提示型メニュー	24
15	空間固定-ポップアップメニュー	25
16	視線追従-ポップアップメニュー	25
17	実験タスクの設定	27
18	T1 の測定時間の結果	31
19	T2 の測定時間の結果	31
20	T1 と T2 の合計時間の結果	32
21	主観評価の結果	32
22	図書情報管理システムの提示画面	36
23	ツリーによる階層構造の表示	38
24	思考支援システムの提示画面	40
25	現実物体に追従した提示情報の移動	43
26	観察者の視点位置による見え方の違い	44

## 表 目 次

1	入力デバイスと入力可能な情報 . . . . .	11
2	実装に用いた機器 . . . . .	13
3	各ボタンメニューの平均タスク達成時間(単位：秒) . . . . .	29



## 1. はじめに

現実の世界において、機器の修理やメンテナンスなどの予め知識を必要とする作業や、手術などの複雑な作業を行なう際に、作業の手順や作業対象となる物体の情報が利用できれば、作業者は作業を行ないやすくなる。さらに、その情報が情報の内容に関連した現実世界の適切な位置で利用できれば、作業者は提示された情報の内容や提示されている意味を容易に理解できると考えられる。例えば、ある作業の手順が作業の対象となる物体の付近に提示されていると、その作業に対する知識が少ない作業者であっても、提示された手順を確認しながら容易に作業ができる。また、現実の物体に関する説明書きなどの情報がその物体の付近に提示されることで、観察者は提示された情報がどの物体に関する情報なのかを容易に理解できる。

このような作業環境を実現するための技術として、近年、拡張現実感 (AR: Augmented Reality) が注目されている。AR とは、計算機中で作られた仮想世界を現実世界に重ねて提示することで、仮想的な物体が現実世界に存在しているように見せる技術である [1]。以下では、AR を用いて現実世界と仮想世界が重ねられた環境を AR 環境と呼ぶ。AR 環境中においては仮想物体を 3 次元的に配置できるので、適切な位置に情報を提示することができ、作業者は作業手順や作業対象となる物体の情報などの、作業に関する情報を確認しながら作業を進めることができる。

このような環境で作業を行なう際には、メモ書きや作業状態の記録などの新しい情報を付加したり、提示情報を更新したいという要求が生じることが考えられる。この要求に対応するためには、作業者が作業中に自由に情報を生成、更新するための手段が必要となる。しかし、これまでの AR に関する研究で提案されてきた、作業を補助するためのシステムでは、AR 環境中に提示する情報は予めデータベース中に格納されているものであり、AR 環境中の作業者がシステムの利用時に自由に情報を生成する手法に関してはあまり研究されていない [2, 3]。また、作業者が自由に提示情報を生成できる場合、生成した情報の数が多くなると、AR 環境は複雑なものとなる。このため、提示情報間に関係付けを行なうなどして情報を分類したり、情報を必要なときのみ提示することで、AR 環境中の提示情報

を合理的に管理する必要が生じる。

本研究では、AR の特徴を活かした作業空間の提供を目的とし、AR 環境中に提示する情報の自由な生成・管理を行なうカード型情報管理システムについて、システムの考え方、設計方針及び実装について検討する [4, 5, 6]。AR を用いたカード型情報管理システムは、小型 CCD カメラからの入力画像を内容として持つ仮想的なカードを AR 環境中に生成することで AR 環境への情報の入力を行ない、このカードの移動、複製、消去、カード間の関係付けを自由に行なうことで AR 環境中の情報を管理するシステムである。本システムを現実世界での作業を補助するために用いることで、作業者は AR 環境中で作業をしながら提示される情報を自由に生成・管理できる。

以下、2章で本研究の背景技術となっている AR について述べ、AR の特徴、AR を利用した従来研究について整理する。3章で本研究の目的と目的達成のために本研究で選択した方針、及び実装したカード型情報管理システムの特長と機能について述べる。さらに、4章で本システムの提示情報の管理のためのインタフェースとして実装したボタンメニューについて述べ、そのボタンメニューの提示手法に関して実施した比較実験について述べる。また、5章で本システムの応用例として、図書管理システム、思考支援システムについて述べ、最後に考察を加えてむすびとする。

## 2. 拡張現実感

この章では、本研究の背景技術として利用している拡張現実感 (AR) について述べる。AR は仮想現実感 (VR: Virtual Reality) の応用技術であり、計算機によって生成した仮想世界を現実世界に重ねることによって、仮想物体が現実世界に存在しているように見せる技術である [1]。本論文では、AR を用いて現実世界に仮想世界を重ねて提示した環境を AR 環境と呼ぶこととする。

以下 2.1 節では、AR 環境を実現するために現実世界と仮想世界を重ね合わせる手法について述べた後、現状の AR で問題とされている技術課題について述べる。また、2.2 節では AR の特徴を利用した従来研究について述べる。

### 2.1 拡張現実感の構成手法と技術課題

前述のように、AR とは現実世界に仮想世界を重ねて表示することによって、仮想物体が現実世界に存在しているように見せる技術である。現実世界に仮想世界を重ね合わせるためには、観察者の視点の位置を求める必要がある。このために、3次元位置センサが用いられる。3次元位置センサには、磁気式のものや超音波式のもの一般によく用いられている。この3次元位置センサによる計測結果に基づいて、グラフィックワークステーションなどの計算機により、観察者の視点から見える仮想世界の映像であるコンピュータグラフィックス (CG) を生成する。生成した CG を、現実世界の視界に重ねて提示することで、AR 環境を提示できる。

現実世界と仮想世界を重ね合わせる際には、シースルー型の頭部装着型ディスプレイ (HMD: Head Mounted Display) がよく利用される。このシースルー HMD には、現実世界と仮想世界を重ね合わせる方式として、以下の2種類の方式がある [7]。

- 光学シースルー方式
- ビデオシースルー方式

光学シースルー方式は、ハーフミラーなどの光学系を利用した手法であり、観察者はハーフミラーに映り込む仮想世界と、ハーフミラーを透過して見える現実世

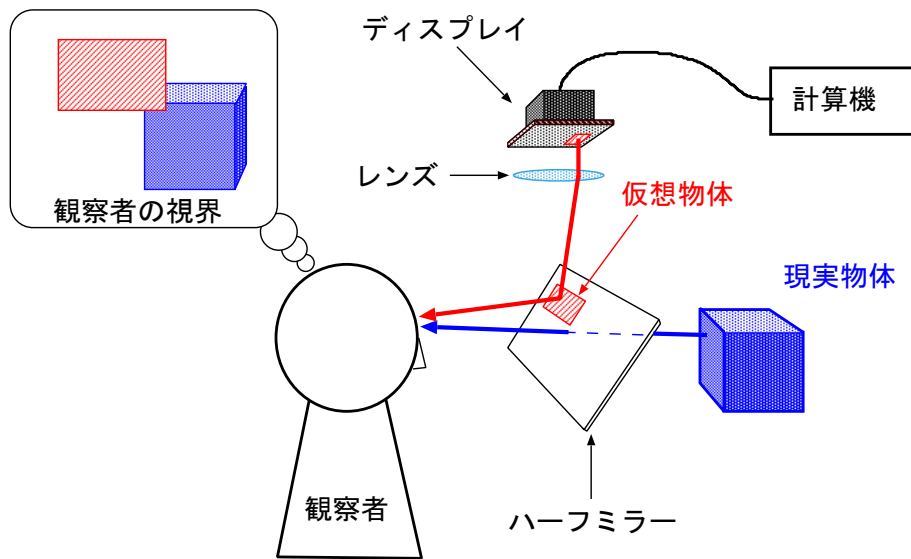


図 1 光学シースルー方式

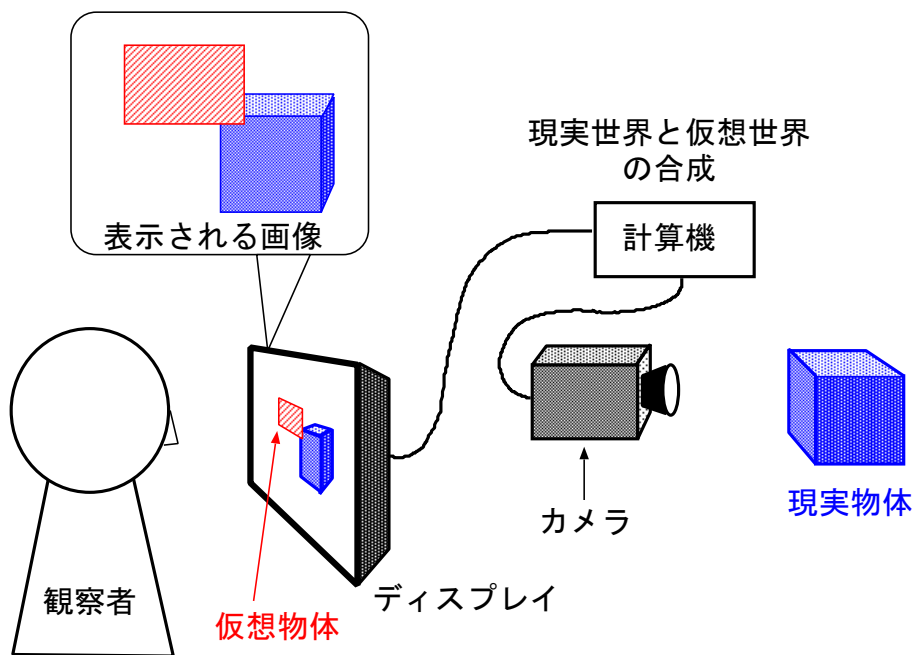


図 2 ビデオシースルー方式

界を同時に観察することによって、2つの世界の重ね合わされた視界を得ることができる(図1)。この光学シースルー方式を用いたAR環境の提示手法としては、光学系を利用した透過型のHMDに仮想世界を表示する手法が広く利用されている[2, 8, 9]。これに対してビデオシースルー方式は、観察者の視線とビデオカメラの光軸を一致させて撮像した現実世界の映像上に、仮想世界を重畳描画することで合成した画像を、観察者に提示する方式である(図2)。合成された画像をHMDなどに表示することで、観察者にAR環境を提示できる[10, 11, 12]。

HMDを用いてARを提示する際に検討しなければならない技術的な問題として、

- 現実世界と仮想世界の位置ずれの問題、
- 見回し遅延の問題、
- HMDの解像度の問題、

などが挙げられる。現実世界と仮想世界の位置ずれの問題は、現実世界と仮想世界の重ね合わせの際に生じる問題で、図3のように観察者の視点の位置によって仮想物体の提示位置にずれが生じるという問題である[13, 14]。このずれは、光学シースルー方式においては観察者の視点の3次元位置を求める際のセンサの計測誤差や、観察者毎に異なる両眼間隔などのパラメータの設定誤差などにより生じる[15, 16]。また、ビデオシースルー方式においてはカメラの3次元位置を求める際のセンサの計測誤差や、カメラにより撮像される現実世界の視野角と、現実世界に重畳描画される仮想世界の視界の設定誤差などにより生じる。この問題を解決するためには、観察者毎に異なるパラメータを補正するためのキャリブレーション手法の確立や、より高い精度をもつ3次元位置センサの使用が必要である。

AR環境において観察者が視線を変化させた場合、その視線の変化に応じてHMD上に表示する画像を変化させなければならない。しかし、その画像の描画や仮想物体の位置などの計算による遅延から、本来の視界の変化よりも遅れた画像の変化が観察者に提示される。描画する仮想物体の数が増加するに従って、その遅れは大きくなる(図4)。この遅れは見回し遅延と呼ばれ、光学シースルー方式においては実際に見えている現実世界と、HMDなどに表示される仮想世界の間が生じる位置ずれとなって現れる。また、ビデオシースルー方式においては、

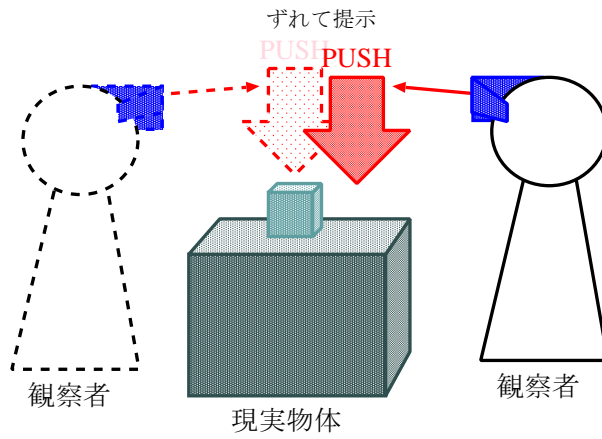


図 3 位置ずれの問題

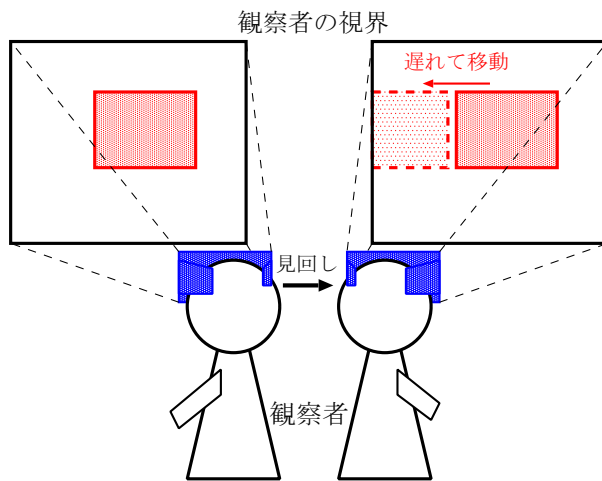


図 4 見回し遅延の問題

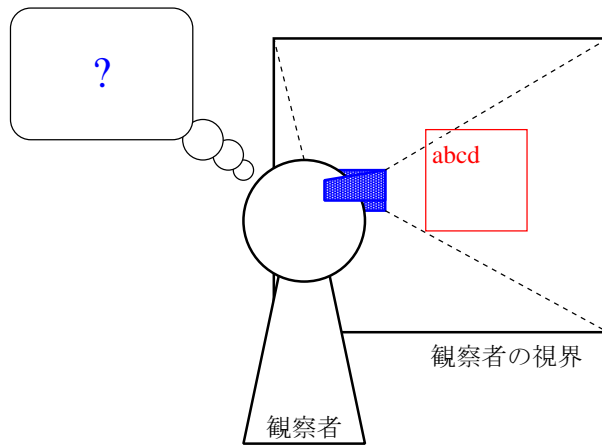


図 5 HMD の解像度の問題

予め現実世界に仮想世界を重畳描画してから観察者に提示するので、適切に合成すれば現実世界と仮想世界の間には位置ずれは生じないが、合成された視界全体が、本来見えるはずの視界から遅れて提示される。

AR 環境を HMD を用いて提示する場合、HMD の解像度の問題も挙げられる。現在製品化されている HMD はどれも CRT ディスプレイ程の解像度はなく、小さな文字の判別などは困難である (図 5)。光学シースルー方式を用いた提示では、AR 環境の観察者は、現実世界を直接観察しながら HMD に表示される仮想世界を観察する。従って、HMD の解像度による影響は仮想世界にのみ現れる。これに対して、ビデオシースルー方式を用いた提示では、現実世界と仮想世界が共に HMD に表示されるため、HMD の解像度による影響が両方の世界に現れる。

光学シースルー方式では現実世界の描画は必要でないため、ビデオシースルー方式よりも計算コストが低いという利点がある。逆に、光学シースルー方式では、ハーフミラーなどを透過する際に現実世界の輝度が低下するが、ビデオシースルー方式では現実空間の輝度を調節することが可能である。これら 2 種の提示手法は AR を使用する目的に応じて使い分ける必要がある。

次節では、それぞれの方式を用いた従来研究について述べ、それらの特徴と問題点について検討する。

## 2.2 拡張現実感を利用した従来研究

AR は、現実世界に仮想物体として情報を付加することができるという特徴から、様々な分野における利用が期待されている。実際に、これまでいくつかの分野において AR を利用するための研究が行なわれており、応用システムもいくつか提案されている [3]。本節ではこれらの従来研究がどのように AR を利用しているかについて述べる。

現実世界における作業を補助するために AR を利用した研究としては、プリンタや建築物、航空機などの修理、メンテナンス作業を補助するシステムに関する研究がある。Steven Feiner らは、プリンタのメンテナンスや修理を行なう際に、AR を利用して作業の補助を行なうシステムを提案している [2]。このシステムでは、プリンタの内部構造や作業手順が仮想物体として AR 環境中に提示され、

作業者はこれらの提示情報を確認しながら作業が行なえる。また、プリンタの内部構造を実際のプリンタの位置に重ねて表示したり，作業手順を作業対象となるレバーやボタンに重ねて表示するために，超音波センサによって作業者の頭部，プリンタの本体，及びトレイの位置を計測している。作業者は，頭部に装着した光学式の HMD を通して，提示される情報を観察する。このシステムでは，予めデータベース化された情報の内容や提示位置，仮想物体の形状，作業の手順をシステムが参照することによって，AR 環境に情報が提示される [17]。

建築物の内部構造や，航空機の壁の中にある配管や配線を AR を用いて作業者に提示する研究も行なわれている [8, 18]。これらのシステムでは，壁の中にある配管や配線，建築構造などが仮想物体として AR 環境中に提示され，作業者はこれらの情報を元に，配管や配線のメンテナンスや修理を行なえる。これらのシステムでは，作業者の頭部の位置は超音波センサによって計測されており，その計測値に基づいて作業者の装着した光学式の HMD 上に仮想物体を提示している。建築物の内部構造を提示するシステムでは，提示する情報をデータベース化する際に多大な労力がかかる点が問題点として挙げられている。

これらのシステムでは，ユーザが作業中に新しく情報を付加する手段については検討していない。そこで次章では，このような AR 環境を用いた情報提示システムで，ユーザが新たに情報を入力する手法について検討し，実装したシステムについて述べる。



### 3. カード型情報管理システム

この章では、前章で述べた AR 技術の構成手法、技術課題及び従来研究をふまえて、AR 技術を用いた作業環境において、より作業者が作業しやすくなるためには何が必要なのかを検討する。

3.1節では、本研究の目的について述べ、目的達成のために検討しなければならない課題を挙げる。また、3.2節ではこれらの課題について検討し、本研究で提案するシステムの実装方針について述べる。さらに、3.3節ではシステムの実装において用いた機器の構成について述べ、3.4、3.5節では、本システムの機能として提供した仮想カードの生成と管理について述べる。

#### 3.1 開発の目的

現実の世界において何らかの作業を行なう際に、その作業に対する情報をメモとして残しておきたい場合は多い。さらに、残したメモが多くなると、それらを合理的に管理する必要が生じると考えられる。現実の環境においては付箋などにそれらの情報を書き、現実の物体に張り付けておくことでメモ書きを残せるが、付箋の数が大規模になるとそれらを管理するのは困難である。

残したい情報を電子化し、仮想物体として AR 環境中に提示することで、大規模な情報の管理が容易になると考えられる。そこで、電子化したメモ書きなどの情報を AR 環境を用いて提示することによって、提示情報による作業の補助が可能になると同時に提示情報の管理が容易になる。これを実現するためには、AR 環境に提示する情報の入力手法と管理手法についての検討が必要となる。

これまで様々な AR を利用したシステムが研究されてきた [3]。しかしこれらのシステムは、データベース中に格納されている予め作られた情報を AR 環境に提示するものが多く、情報を自由に生成・更新する手法についてはあまり検討されていない。

本研究では、AR の特徴を活かした作業空間の提供を目的とする。このためには、現実の世界に関連した情報を現実の世界と情報の関係が容易に理解できるように提示する手法と、その提示する情報を生成する手法について検討する必要がある。

ある。また、現実世界の作業を補助するためには、現実物体の位置に情報を提示するなど、現実物体と提示情報を関係付けるための手法について検討する必要がある。

次節ではこれらの手法について検討し、本研究で選択したシステムの実装方針について述べる。

### 3.2 開発の方針

本節では、目的を達成するために必要な

- AR 環境の提示手法,
- AR 環境への情報の入力手法,
- 提示情報と現実世界を関係付ける手法,

について検討する。

2.1節で述べたように、AR 環境の提示手法には光学式シースルー方式とビデオシースルー方式がある。しかし、前述のようにビデオシースルー方式を用いる際には、見回し遅延の問題と HMD の解像度の問題が現実世界の視界にまで影響を与える。本研究では、AR の特徴を活かした作業空間の提供を目的としていることから、作業を行なう現実世界の視界に影響を与えることは望ましくない。そこで、本システムでは光学シースルー方式を用いることとした。本システムでは、光学系を用いた透過型 HMD に仮想世界を表示することで、AR 環境を提示する。

AR 環境に提示する情報の入力には、いくつかの手法が考えられる。従来研究されている VR 環境への情報の入力システムとしては、通常のキーボードからの入力による、テキスト情報を仮想的なカードとして生成するシステムなどがある [19]。カードの内容として、図形やマーク、さらに画像などが表示可能であれば、システムの適用可能範囲が広がると考えられる。これらの情報の入力のために、タブレットやパッドを用いることが考えられる。しかし、タブレットやパッドを用いた入力では、複雑で不規則な絵文字の入力は可能となるが、画像や紙面に印刷された文書の入力は困難である (表 1)。本システムでは、多様な入力を可能と

表 1 入力デバイスと入力可能な情報

	キーボード	タブレット	小型カメラ
文字情報の入力	○	△	△
手書きの図形やマークの入力	△	○	○
実画像の入力	×	×	○

するために小型カメラを用いることで、AR 環境における情報の入力することとする。

AR 環境に入力された情報は、現実世界において作業を行なう際に、現実物体の位置に 3 次元的に提示することによって、その現実物体との関係を明示することができる。このためには、提示情報の提示位置を現実世界の 3 次元的な位置と対応付ける必要がある。本システムでは、3 次元位置センサを用いて作業者の視点、3 次元入力デバイス (3D ポインタ) 及び小型カメラの 3 次元的な位置を計測することによって、提示情報の位置を現実世界の位置と対応付ける。入力された情報は、3D ポインタを用いることによって、提示位置を変更することができる。

以上の手法によって、本研究ではカード型情報管理システムを実装した [4, 5, 6]。このシステムは、小型 CCD カメラからの入力画像を内容として持つカードを仮想物体として生成し、AR 環境中に提示することで AR 環境に情報を入力するシステムである。

### 3.3 システムの構成

本システムでは、光学シースルー方式の透過型 HMD を用いて AR 環境を提示する (図 6, 7)。つまり、システムの利用者には、透過型 HMD のハーフミラーを通して現実世界を提示すると同時に、ハーフミラーに映り込む仮想世界を提示する。また、利用者の両眼のそれぞれに視差を与えた仮想世界を提示することにより、仮想物体の立体視を行なわせている。

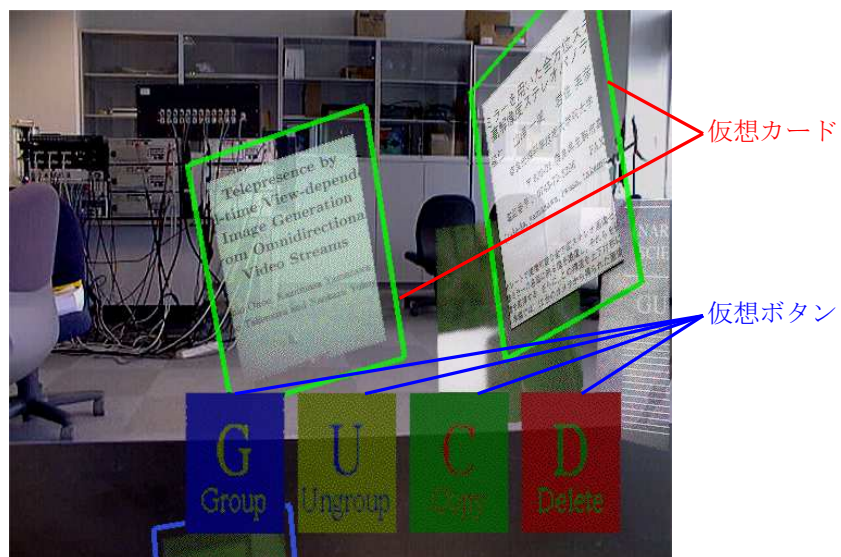


図 6 システムの提示画面

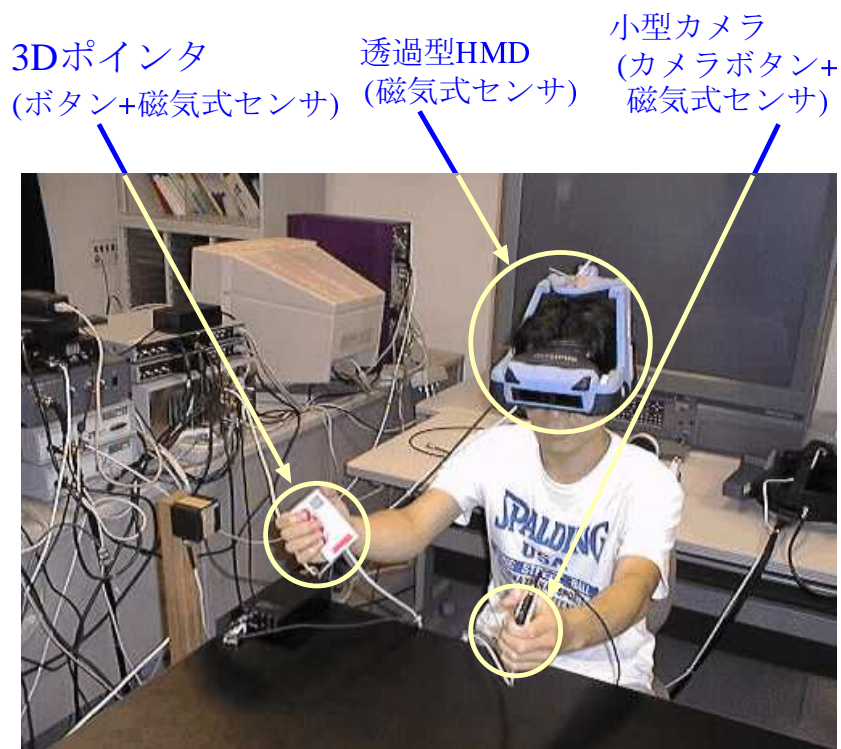


図 7 システムの使用状況

表 2 実装に用いた機器

	メーカー名	製品名
GWS	SGI 社	INDIGO2 MAXIMUM IMPACT
HMD	OLYMPUS 社	MEDIAMASK
3次元位置センサ	POLHEMUS 社	3SPACE FASTRAK
小型カメラ	東芝社	CCD カラーカメラ IK-UM42

AR 環境に提示する情報の入力には、小型 CCD カメラを用いる。小型カメラには、情報の入力時に用いるボタン（カメラボタン）が取り付けられている（図 8）。AR 環境中には、入力された情報が仮想カードとして提示される他、仮想カードを操作するための 3 次元カーソルが提示されている。このカーソルの操作には、3D ポインタを用いている。3D ポインタには 4 つの押下式のボタンが取り付けられており、システムに設けられた様々な機能の実行に用いられる（図 9）。

透過型 HMD、小型カメラ、3D ポインタには、それぞれ磁気式の 3 次元位置センサが取り付けられており、それぞれの 3 次元的位置と姿勢が計測できるようになっている。この計測された位置・姿勢に基づいて、グラフィックワークステーションによって透過型 HMD に表示する仮想世界を生成している（図 10）。

実装には、グラフィックワークステーションに SGI 社の INDIGO2 MAXIMUM IMPACT、HMD に OLYMPUS 社の MEDIAMASK、3 次元位置センサに POLHEMUS 社の 3SPACE FASTRAK、小型 CCD カメラに東芝の CCD カラーカメラ IK-UM42、計算機へのビデオ入力には IMPACT VIDEO SYSTEM を用いている（表 2）。また、仮想空間の描画にはグラフィックスライブラリとして OpenGL を利用しており、実装言語としては C++ を用いた。



図 8 小型カメラ

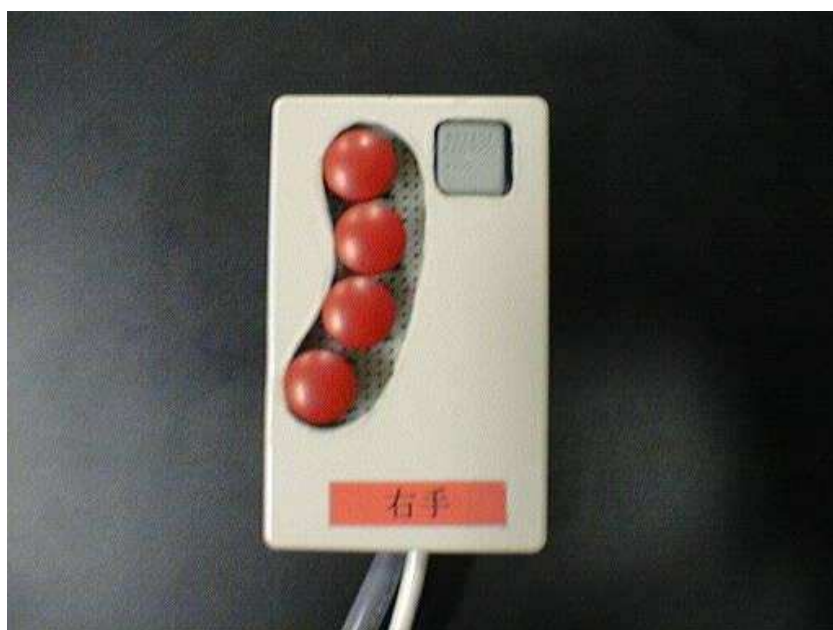


図 9 3D ポインタ

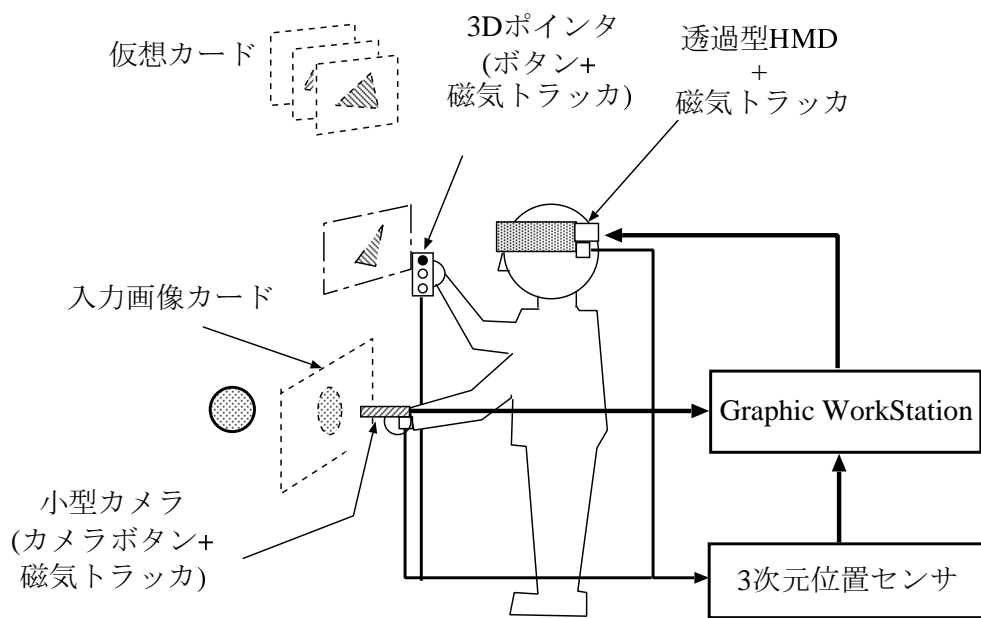


図 10 システムの構成

### 3.4 仮想カードの生成

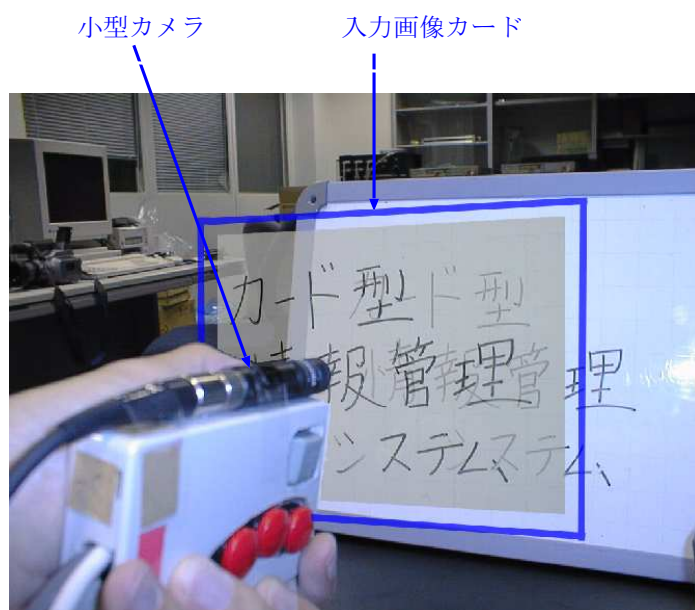
本システムでは、カメラからの入力画像が実時間で更新される仮想的なカード(入力画像カード)を AR 環境中に提示する。システムの利用者は、この入力画像カードを確認しながらカメラボタンを押すことで、その瞬間の静止画像を内容として持つ仮想カードを生成することができる。入力画像カードの提示によって、利用者は常に生成後のカードの状態を確認しながら入力ができ、システムの利便性が増すと考えられる。入力画像カードと生成された仮想カードの区別のために、入力画像カードの周りには青色のフレームを表示している。

本システムでは、入力画像カードを常に AR 環境中の小型カメラの正面の位置に提示し、小型カメラを移動すると、それに追従して入力画像カードも移動させる。カメラボタンが押されると、その瞬間の入力画像カードの位置に仮想カードが生成される。これによって、入力位置の情報も保存することが可能となる。

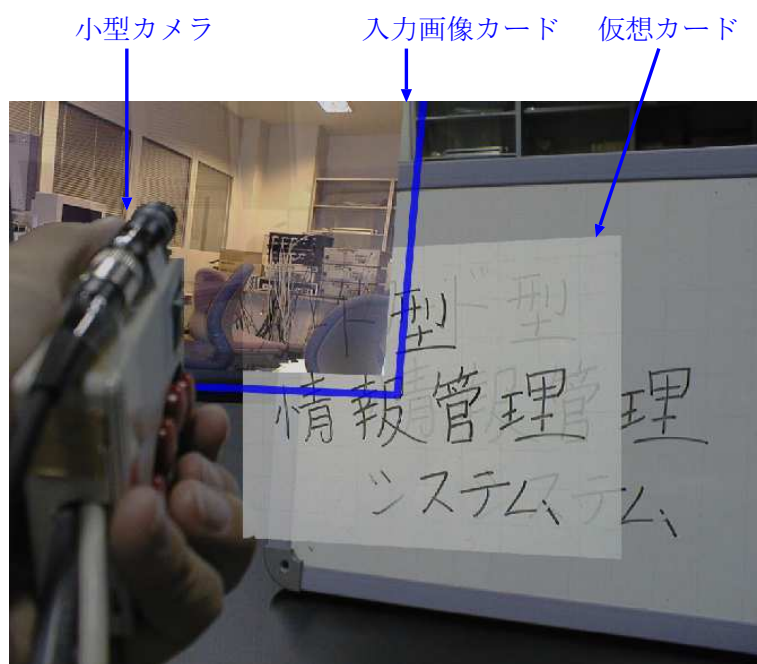
図 11 はホワイトボードに書かれた文字を小型カメラで撮像することで、手書きの文字情報を仮想カードとして入力している様子である。図 11(a) において、システムの利用者は小型カメラの正面に提示される入力画像カードを確認しながらカメラボタンを押す。すると、図 11(b) のように、図 11(a) で入力画像カードが提示されていた位置に仮想カードを生成することができる。このとき、カメラの移動に伴って入力画像カードの提示位置と内容が変化しているのが分かる。

実装には、OpenGL のテクスチャの切替え機能を利用して、入力画像カードと仮想カードの描画、テクスチャ画像の管理を行なっている。また、入力画像カードの提示位置は、3次元位置センサにより計測される視点とカメラの位置から計算される。





(a): 入力画像カード (入力前)



(b): 仮想カードの生成 (入力後)

図 11 小型カメラによる入力

### 3.5 仮想カードの管理

提示される情報の数が増えてくると、作業環境は繁雑なものとなる。このため、提示される情報を分類・整理することで、提示情報を管理する必要が出てくる。本システムでは、提示情報を管理するために、情報の提示位置の変更、提示情報の複製、提示情報の消去及び提示情報同士のグループ化の機能を提供している。また、大規模な情報を管理するためには、ファイルとディレクトリの様に情報を階層的に管理する機能が必要になる。本研究では、複数の情報をグループ化する機能を提供し、あるグループも他のグループの要素とできるようにすることで、AR環境に提示された情報を階層的に管理することを考えた。この節では、これらの機能について詳しく述べる。

#### 3.5.1 仮想カードの再配置・複製・消去・選択

システムの使用目的によっては、カードの生成位置には意味がなく、システムの利用者がカードを再配置することで初めてカードの位置に意味が生じる場合が考えられる。例えば、現実物体に関する説明をホワイトボードなどに書き、それをカメラにより撮像して入力し、その後に現実物体に関連付ける場合などである。この場合、ホワイトボードを撮像した位置には意味がなく、生成後に現実物体と関連付けて再配置されたカードの位置が重要となる。このため、本システムではカードの再配置の機能を提供している。

また、生成したカードが不要な場合や、同じ内容のカードが複数必要な場合も考えられる。本システムでは、カードの複製や消去の機能も提供しており、提示されているカードを複製、消去できる。

さらに、複数のカードに対して同じ操作を施したい場合には、予め操作したいカードを選択してから一括して操作する機能があれば便利である。本システムではカードの選択機能を提供しており、選択した複数のカードに対して一度に複製、消去などの処理を施すことを可能にしている。

以下では、本システムの機能の実行の仕方について、機能毎に述べる。

**カードの再配置：**本システムの利用者は、3Dポインタにより操作されるカーソルを用いて、生成した仮想カードを自由に再配置できる。カーソルの指示

する仮想カードには、周囲に黄色のフレームを表示することによって、そのカードが操作可能であることをシステムの利用者に明示する。利用者は、再配置したい仮想カードを指示しながら、3Dポインタの再配置のためのボタン(把持ボタン)を押すことによって、指示した仮想カードを把持することができる。把持されたカードは、把持ボタンが解放されるまで把持され続け、カーソルの動きに追従して移動する。把持ボタンを解放することによって、その時の仮想カードの位置に再配置できる。

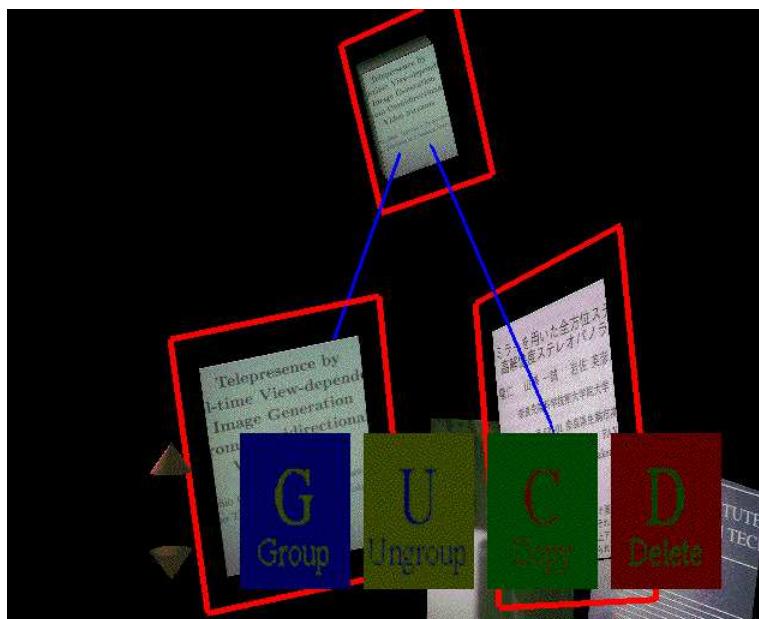
**カードの複製・消去**：本システムの利用者は、3Dポインタの複製ボタンや消去ボタンを押すことで、指示している仮想カードの複製や消去が可能である。仮想カードを複製すると、指示したカードと同じ位置に同じ画像を内容として持つ仮想カードを生成できる。

**カードの選択**：選択したい仮想カードを指示しながら3Dポインタの選択ボタンを押すことによって、指示した仮想カードを選択できる。選択されている仮想カードには、周囲に緑色のフレームを表示することで、選択されていることをシステムの利用者に明示する。複数のカードを選択した状態で複製ボタンや消去ボタンを押すことで、選択した仮想カードを一括して複製、消去できる。選択された仮想カードを指示しながら再度選択ボタンを押すことにより、選択の解除が行なえる。

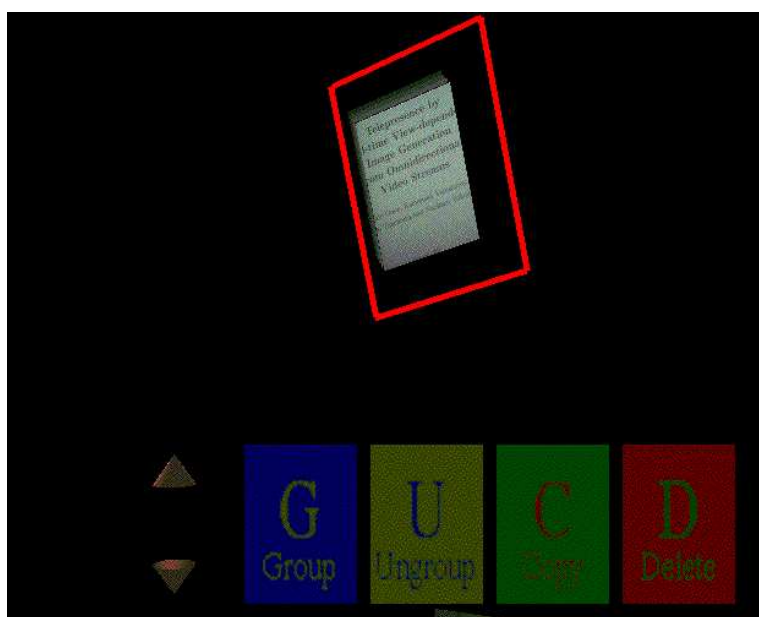
3Dポインタ上のボタンの数は有限であるため、割り当てることができる機能の数には限りがある。本システムでは、3Dポインタのボタンによる直接操作以外に、仮想的なボタン(仮想ボタン)をAR環境中に提示し、カーソルを用いてその仮想ボタンをクリックすることにより、予め選択されたカードに対する操作が可能としている。これにより、システムの機能が増加した場合にも対応する。仮想ボタンをクリックする際には、3Dポインタの把持ボタンを用いる。

### 3.5.2 仮想カードのグループ化

生成した仮想カードの数が多くなると、AR環境中は繁雑なものとなる。この繁雑化は、複数のカードを関係付けて分類したり、カードを必要なときのみ表示



(a): グループに属するカードを表示した状態



(b): グループに属するカードが非表示の状態

図 12 グループに属するカードの管理

することで避けることができる。

本システムでは、AR 環境に提示された複数の仮想カードを、1つのグループとしてグループ化する機能を提供している。システムの利用者は、グループ化したい複数のカードを予め選択し、仮想ボタンの1つであるグループ化ボタンを押すことで選択したカードをグループ化できる。また、既にあるグループにカードを順次追加していく機能も提供している。

前述のように、システムの利用者がカードの位置に意味を持たせた配置を行なった場合、個々のカードの位置を保存する必要がある。しかし、カードを個々の位置に提示したままでは、カードの数が膨大になると視界が繁雑になると同時に、同一のグループに属するといったカード間の関係を利用者に明示することが困難となる。本システムではこの問題を解消するために、グループをアイコン(グループアイコン)として表示する。グループアイコンをカーソルによりクリックすることで、そのグループに属するカードの表示・非表示を切替えることができる(図12)。さらに、同一グループに属するカードを明示するために、グループアイコンをクリックすることで、そのグループに属するカードの周囲に赤色のフレームを表示するハイライト機能も提供している。

グループアイコンには、そのグループの内容が分かるような画像を縮小した画像(サムネイル画像)が表示される。グループアイコンも仮想カードと同様に、自由に再配置できる。また、グループアイコンを選択することは、そのグループに属する全ての仮想カードを選択することに相当し、グループアイコンを選択して複製、消去することにより、グループに属する全てのカードを複製、消去できる。つまり、グループアイコンに処理を施すことで、グループ単位での処理が可能である。さらに、グループアイコンを別のグループの要素としてグループ化することで、情報の階層的な管理が可能である。

## 4. 仮想カードの操作方法に関する検討

本システムでは、生成した仮想カードの管理のための機能として移動、選択、複製、消去、グループ化の機能を提供している。これらの機能は、3D ポインタのボタンに割り当てられている。しかし、3D ポインタのボタンの数は有限であることから、本システムでは機能の増加に対応するために、AR 環境に提示される仮想ボタンを提供している。

仮想ボタンには様々な提示手法が考えられる。そこで、システムをより使いやすいために、仮想カードの操作に適した仮想ボタンの提示手法について検討し、試作した4種類の提示手法に対する比較実験を実施した。

以下、4.1節では比較した提示手法である4種類のボタンメニューについて述べ、4.2節では実施した実験の設定、4.3節では実験の結果と考察について述べる。

### 4.1 仮想ボタンメニューによる操作

複数の仮想ボタンを並べて提示したものをボタンメニューと呼ぶこととする。ボタンメニューの提示には様々な手法が考えられる。例えば、ボタンメニューの提示位置はどこにするか、ボタンメニューを常に提示するか必要なときのみ提示するか、ボタンメニューの形や大きさをどのようにするかなど、考慮すべき要素は多い。本研究では、これらの要素のうち特に作業に影響を与えると考えられる、ボタンメニューの提示位置とボタンメニューの提示期間に注目し、比較実験を実施した。本実験では、以下に示す2通りの提示位置と、2通りの提示期間を組み合わせた4種類のボタンメニューを試作した。

- 提示位置

ボタンメニューは3D ポインタによって直接クリックされることで動作するため、ボタンメニューが提示される位置の違いが3D ポインタの操作に与える影響は大きいと考えられる。そこで、ボタンメニューを提示する位置について、作業空間に対して一定の位置を保つ提示手法が良いか、利用者の動きに応じて自動的に移動する提示手法が良いかを見るために、空間固定型と視線追従型について検討した。

**空間固定型**：ボタンメニューの提示位置を，利用者が再配置しない限り AR 環境中の一定の位置に固定した提示。

**視線追従型**：ボタンメニューの提示位置を頭の向きに追従して変化させる提示。この時，HMD の画面におけるボタンメニューの表示位置は視点に対して相対的な位置に固定される。

- **提示期間**

提示情報が増え，AR 空間が繁雑になった場合など，ボタンメニューが情報を隠すなどして作業に影響を与える場合が考えられる。そこで，ボタンメニューを，作業環境に常に提示するのが良いか，必要な時のみ行なうのが良いかを見るために，常時提示型とポップアップ型について検討した。

**常時提示型**：ボタンメニューを常に AR 環境中に提示。

**ポップアップ型**：ボタンメニューを必要な時のみ提示。具体的には，カーソルが何も指示しない状態で 3 次元ポインタ上の把持ボタンを押すことによって，その瞬間のカーソルの位置にメニューを開くことができる。把持ボタンを解放するまでは，ボタンメニューは提示され続ける。

以上の 2 つの要素の組合せにより試作した 4 種類のボタンメニューについてまとめると以下のようなになる。

**空間固定-常時提示メニュー**：作業空間中に常に提示され，利用者がメニューの上部を把持ボタンを用いて掴むことにより再配置しない限りは，その位置を保って提示される。(図 13)。

**視線追従-常時提示メニュー**：常にユーザの視界の下方に提示されるボタンメニュー(図 14)。頭部が移動すると，HMD の画面中の一定の位置を保つように，その 3 次元位置を変化させる。

**空間固定-ポップアップメニュー**：カーソルに仮想カードが触れていない状態で 3D ポインタの把持ボタンを押すことで，その瞬間のカーソルの位置に開かれるボタンメニュー。把持ボタンが解放されない限りは表示され続け，表示中は作業空間における位置を変化させない(図 15)。

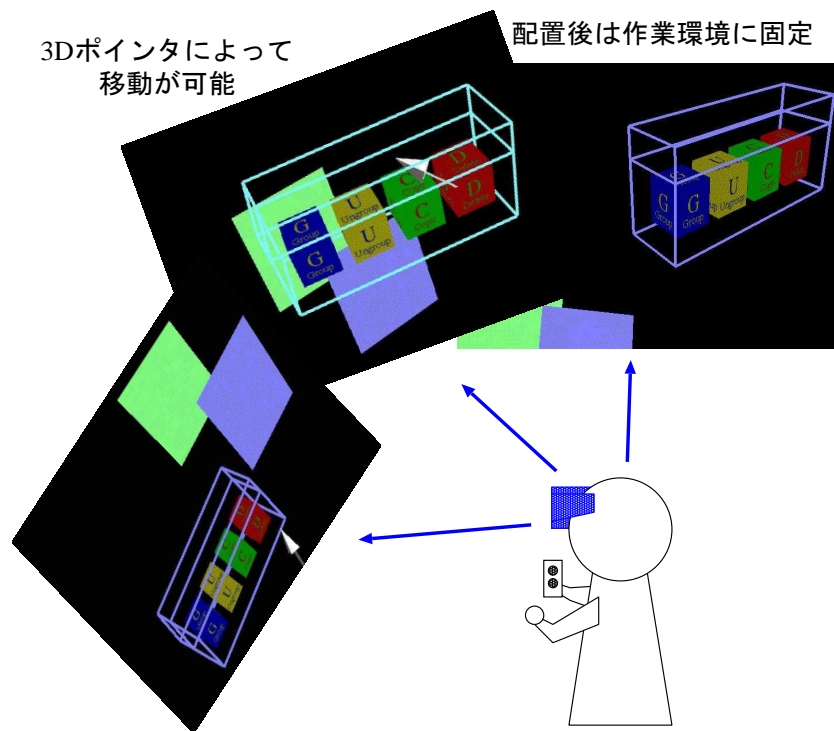


図 13 空間固定-常時提示型メニュー

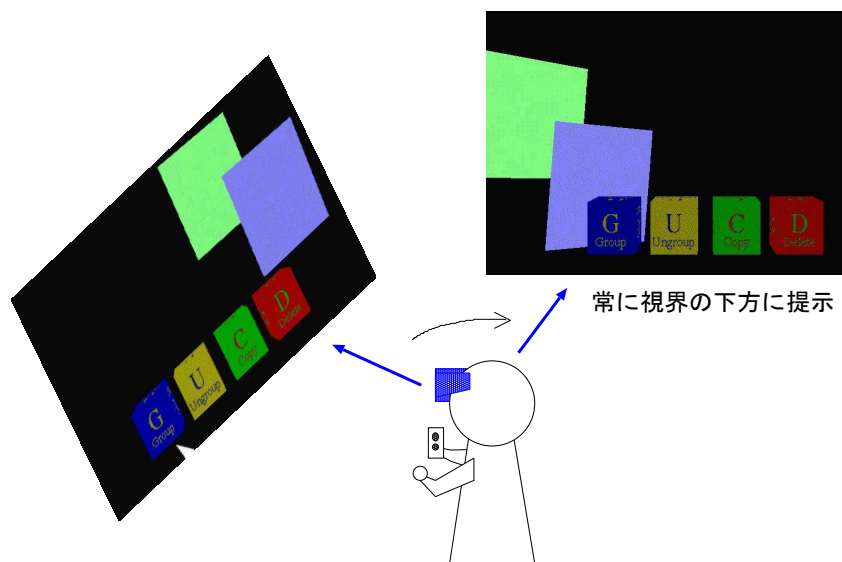


図 14 視線追従-常時提示型メニュー



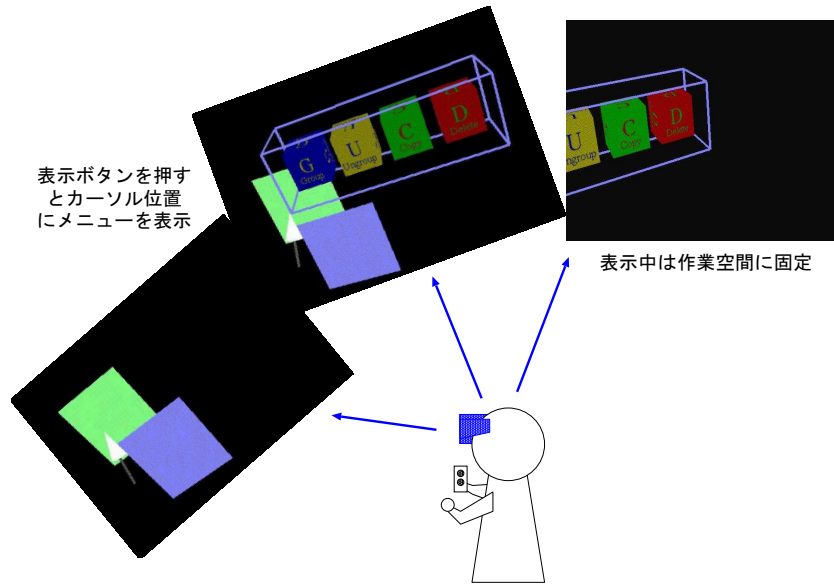


図 15 空間固定-ポップアップメニュー

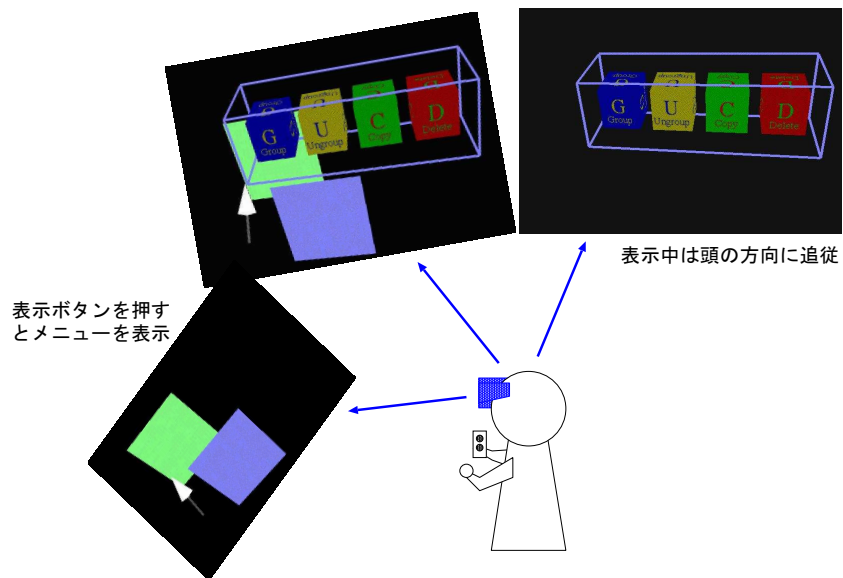


図 16 視線追従-ポップアップメニュー

**視線追従-ポップアップメニュー**：空間固定-ポップアップメニューと同様に、把持ボタンを押すことで、その瞬間のカーソルの位置に開かれる。開かれると、その瞬間のユーザの視界中の位置を保つように、頭部の動きに追従してその3次元位置を変化させる(図16)。

常時提示型のボタンメニューを用いる場合、仮想ボタンを3Dポインタの把持ボタンを用いてクリックすることにより、その仮想ボタンに割り当てられた機能を実行する。ポップアップメニューを用いる場合は、選択したい仮想ボタンを指示しながら把持ボタンを解放することで、メニューを非表示にすると同時に指示した仮想ボタンに割り当てられた機能を実行する。

## 4.2 実験の設定

この節では、試作した4種類のボタンメニューに対して実施した比較実験の設定について述べる。被験者には、それぞれのボタンメニューについて以下の作業を順に行なわせた(図17)。

1. 3Dポインタにより、AR環境中に提示される2枚の仮想カードA、Bを、Aから順に選択する。
2. ボタンメニュー中の一番左の仮想ボタンを押す。

以上の作業を1タスクとして、各タスク毎に、後に述べる規則に従ってカードの提示位置を変化させた。この実験タスクは、複数のカードを選択してグループ化するなど、ボタンメニューが使用される状況で最も頻繁に行なわれる動作を想定したタスクである。このタスクにかかる時間や主観を調べれば、これらのボタンメニューの実使用での特徴が明らかになると考えられる。

被験者には、20タスクを1セットとし、各ボタンメニュー毎に練習として1セットのタスクを行なわせた後に本試行を5セット行なわせた。被験者10人はすべて本学の学生で、その内5人には視線追従-常時提示メニュー、空間固定-常時提示メニュー、空間固定-ポップアップメニュー、視線追従-ポップアップメニューの順で試行させ、残りの5人にはその逆順で試行させた。

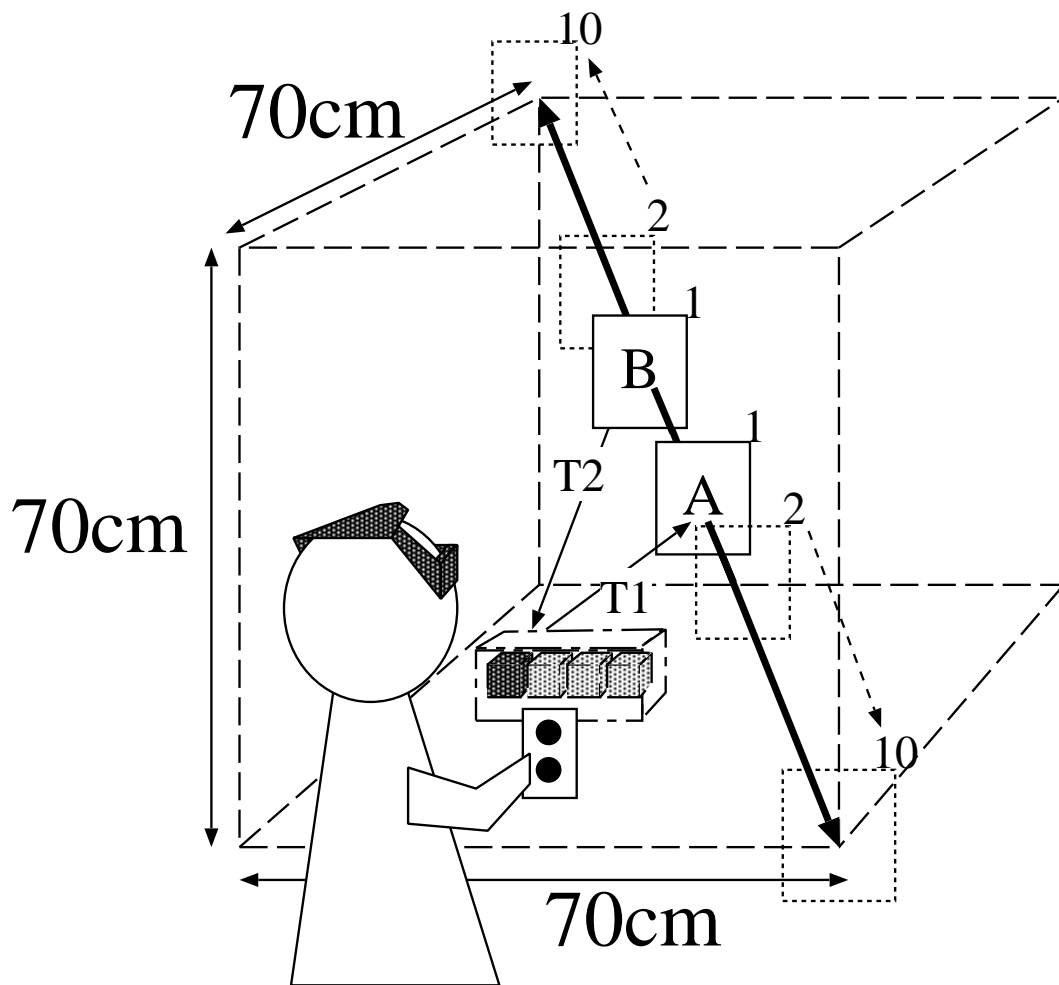


図 17 実験タスクの設定

仮想カード A, B の提示位置は, タスク毎に図 17 のように一辺 70cm の立方体の対角線に沿って変化させた. 2 枚の仮想カードの初期位置は, 図 17 の A, B の間隔が最も狭い位置であり, タスク毎に 2 枚のカードの間隔が約 10cm 広がる方向に提示位置が変化する. 10 回目のタスクで, それぞれのカードが立方体の頂点に提示され, 次の 10 回のタスクでは逆にカードの間隔が狭くなる方向に提示位置が変化する.

このカードの提示位置の変化は, 被験者が大きく体を動かすことなく腕の動作だけでカードを選択できる範囲内で, 最も遠い位置から近い位置までのデータ系列を得るために定めた. また, 少ないデータ量でこの作業範囲内における平均的なタスクの達成時間を知るために, 上下, 左右, 奥行き方向に均等にカードの提示位置を変化させた. 本実験では, カードの位置を探索する時間を除き, 仮想ボタンの操作に関わる時間のみを比較するために, このカードの変化を予め被験者に教示した.

各タスクにおいて, カードが提示されてからカード A を選択するまでの時間 T1, カード B を選択してから仮想ボタンを押すまでの時間 T2, 仮想ボタンを押した位置を測定した. また, すべてのボタンメニューでの試行の終了後に被験者にアンケートを実施し, それぞれのボタンについて以下の 5 つの項目について 5 段階で主観評価を行なわせ, 評価の理由についても調査した.

- ボタンの位置のを見つけやすさ.
- ボタンの押しやすさ.
- ボタンの使いやすさ.
- ボタンの好み.
- ボタンの疲れにくさ.

次節では, 以上の設定により実施した実験の結果と考察について述べる.

### 4.3 結果と考察

まず, 客観評価値の全体的な傾向を見るために, カードの提示位置を考慮せずにボタンメニュー毎のタスク達成時間 (T1+T2) を比較した. 統計的有意差の検

表 3 各ボタンメニューの平均タスク達成時間 (単位：秒)

	常時提示	ポップアップ	有意差
空間固定 (分散)	3.305071 (1.53304)	3.611687 (2.16314)	あり ( $P < 0.05$ )
視線追従 (分散)	3.788778 (2.517717)	3.870431 (4.054624)	なし ( $P = 0.314$ )
有意差	あり ( $P = 0.05$ )	あり ( $P < 0.05$ )	

定には、分散分析 ( $\alpha = 0.05$ ) を用いた (表 3)。この結果、作業空間に対してボタンメニューの提示座標を固定した場合、常時提示型を用いた場合の方が、ポップアップメニューを用いた場合よりもタスク達成時間が短かった。しかし、ボタンメニューを視線に追従して提示した場合、常時提示型とポップアップ型を用いたタスク達成時間に有意差は見られなかった。

また、ボタンメニューを常に表示する場合、空間固定型を用いた場合の方が、視線追従型を用いた場合よりもタスク達成時間が短かった。ポップアップメニューを用いる場合には、空間固定型を用いた場合の方が、視線追従型を用いた場合よりもタスク達成時間が短かった。タスク達成時間が最も短かったのは空間固定-常時提示メニューを用いた場合で、次いで空間固定-ポップアップメニューが短かった。

より詳細に分析するために、カードの提示位置の違いを考慮して、時間 T1, T2, 及びそれらの合計時間を比較した。図 18, 19, 20 はそれぞれの時間の測定結果であり、横軸のカード提示位置とはカード A とカード B の提示位置を示す番号である。番号が大きくなる程、カード A, B の間距離は大きくなる。どのボタンメニューについても、カード提示位置の変化によるカーソルの移動距離の増加に伴って、時間 T1, T2 は増加する傾向が見られたが、視線追従-ポップアップメニューでの時間 T2 に限ってはこの傾向が見られなかった。これはカード間距離が短くなると、ポップアップメニューの表示位置とカードが重ならない位置まで

カーソルを移動させてからメニューを開かねばならず，それに必要なカーソルと頭部の移動にかかる時間が影響していると思われる．

以上の実験結果及びアンケートから得られた被験者の主観評価を考慮して，それぞれのボタンメニューの特徴について考察する．図 21はアンケートの結果から，それぞれのボタンメニューについて項目別に被験者全員の評価値を平均したものである．奥行き方向はアンケート項目，横軸はボタンメニューの違い，縦軸はそれぞれの項目に関する評価値を示している．

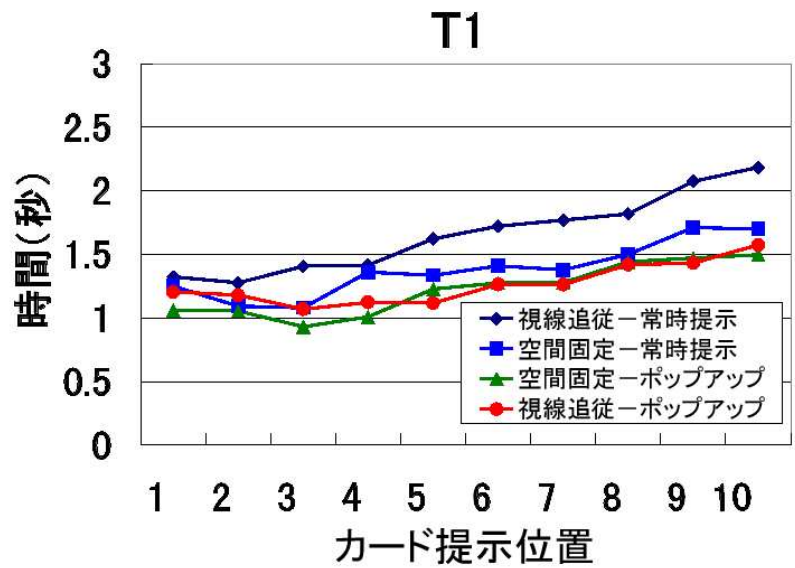


図 18 T1 の測定時間の結果

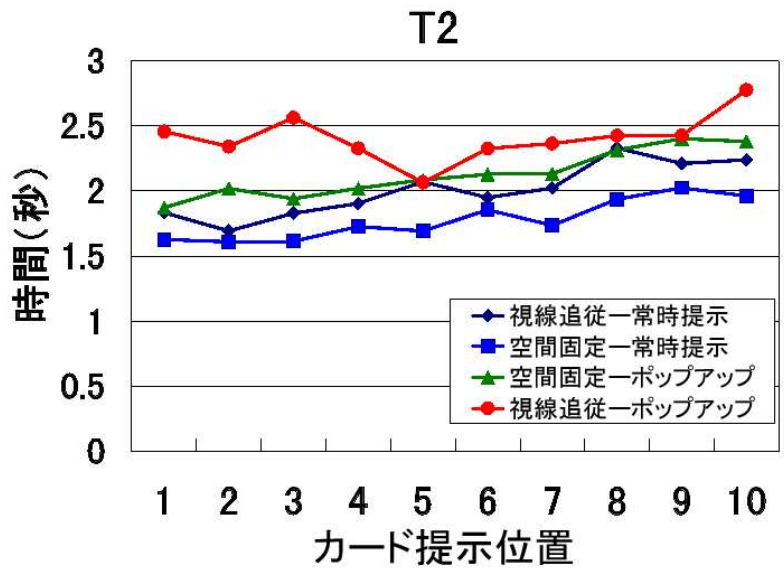


図 19 T2 の測定時間の結果

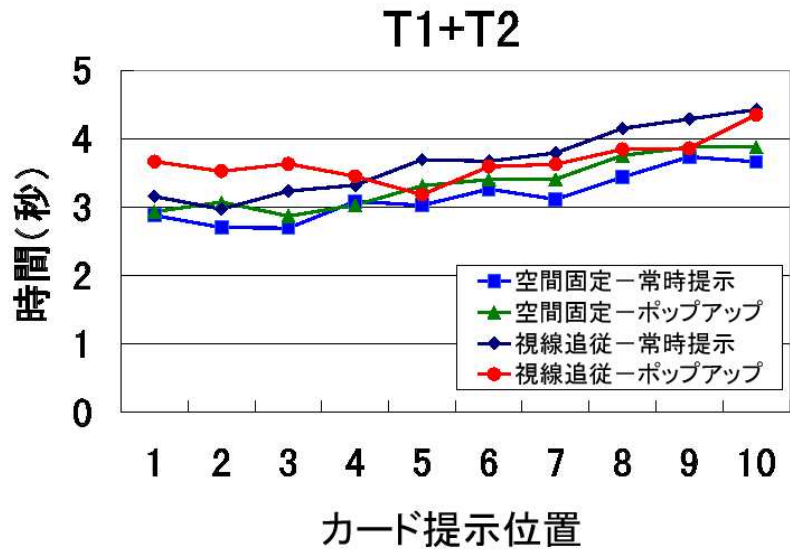


図 20 T1 と T2 の合計時間の結果

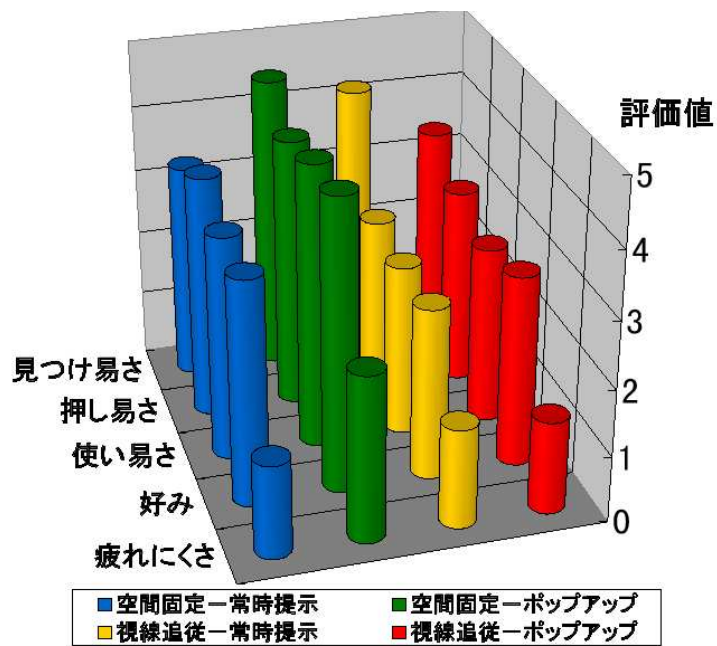


図 21 主観評価の結果



**空間固定-常時提示メニュー**：カード B を選択してから仮想ボタンを押すまでの時間 T2 は、他のメニューに比べて最も短かった。また、T1 と T2 の合計時間も最も短いことから、時間的な効率是最も良いと考えられる。この理由として、運動視差により仮想ボタンの奥行きが認識しやすく、カーソルを仮想ボタンに合わせやすかったことが被験者の意見から考えられる。実験中の観察から、被験者はメニューを最初に好みの位置に配置した後は再配置することが少なく、仮想ボタンカード間距離によらず一定の場所で押されていた。主観評価については、空間固定-ポップアップメニューに次いで評価値が全体的に高かったが、メニューの位置の見つけやすさの評価値は他のボタンメニューと比較して低かった。

**空間固定-ポップアップメニュー**：時間 T1 は他のメニューと比較して最も短かったが、時間 T2 は常時提示型に比べて長かった。この理由として、仮想ボタンを押すためにはポップアップメニューを開くというステップと、仮想ボタンを選択するというステップが必要であることが考えられる。仮想ボタンを押した位置にはカード間距離による影響はみられなかったが、ほとんどの被験者がカード B を選択した後、姿勢的に楽な位置までカーソルを移動した後、ボタンメニューを表示していた。主観評価については、すべての項目において最も評価値が高いことが分かった。ポップアップメニューは、3次元ポインタのボタンを押すと常にカーソルの位置に表示される。このため、被験者は仮想ボタンの3次元的な位置が把握しやすく、カーソルによる指示がしやすかったことが、主観評価の結果が良かった理由であると、被験者の意見より考えられる。

**視線追従型-常時提示メニュー**：すべての時間が空間固定-常時提示メニューより長かった。この理由として、多くの被験者が、頭の位置のぶれにより仮想ボタンの位置が把握しにくいと訴えていることから、カーソルと仮想ボタンの位置合わせの難しさが考えられる。また、視線追従型-ポップアップメニューとの間に、有意差は見られなかった。実験中の観察から、被験者はカード B を選択した直後にカード B の提示位置付近で仮想ボタンを押す傾向があり、仮想ボタンを押す位置はカード間距離に従って変化していた。主

観評価についても，空間固定型より全体的に評価値が低かった．

**視線追従型-ポップアップメニュー**：T1以外の時間に関して，空間固定-ポップアップメニューより長かった．この理由として，視線追従型-常時提示メニュー同様，カーソルと仮想ボタンの位置合わせの難しさが考えられる．仮想ボタンを押した位置については，空間固定-ポップアップメニューと同様，カード間距離による影響はみられなかった．主観評価についても，空間固定型より全体的に評価が低かった．

以上の結果と考察より，作業時間については，測定結果から空間固定-常時提示メニューが最も短いと考えられる．インタフェースとしての使いやすさについては，主観評価の評価値が高かったことから，空間固定-ポップアップメニューが最も使いやすいと結論づけることができる．

しかし，視線追従型のボタンメニューは，慣れると頭の動きも用いたカーソルと仮想ボタンの位置合わせができ，使いやすいと答えた被験者もいた．このことから，習熟度による仮想ボタンの使いやすさの検討も必要と思われる．また，設定したタスクが単調な作業を繰り返すものであったことから，より複雑な作業における比較実験を行ない，検討する必要もあると考えられる．

## 5. 応用システム

本章では提案したカード型情報管理システムの利用例として

- 図書情報管理システム
- 思考支援システム

について述べる。図書情報管理システムとは、実際の図書の書庫における位置にその図書の情報を残すことで、図書の内容に関する付加的な情報を利用者に提供することができるシステムである。思考支援システムとは、考えやアイデアの書かれたカードを自由に生成、グループ化することで思考の整理などを行なうことができるシステムである。

以下、それぞれのシステムにおいて要求される機能が、提案したカード型情報管理システムの機能を利用することによって実現できることを示すことで、カード型情報管理システムの汎用性を示す。

### 5.1 図書情報管理システム

このシステムは実際の本に関する情報を、仮想カードとして AR 環境中に提示するシステムである。ある本に関する情報の書かれたカードを、書庫中のその本のある位置に表示する。これにより、提示情報と共に現実世界の本の位置もシステムの利用者に対して明示でき、大規模なデータの中から特定の本を見つけたい場合に、カードの情報を利用しての探索が可能となる。さらに、利用者が新しい情報を自由に生成、追加することも可能であり、AR 環境中において図書情報を生成、管理するために用いることができる。

図 22 は図書情報管理システムを利用する際の利用者の視界を示したものである。同じ本に関する情報を、その本のある位置の付近に 1 まとめて配置している。また、複数のグループをまとめて 1 つのジャンルとし、ジャンル名をグループアイコンに提示している。

このシステムに必要な機能としては、次のようなものが挙げられる。

- 図書情報を自由に入力し、実際の図書の位置に関係付けて配置する機能。



図 22 図書情報管理システムの提示画面

- 図書情報をジャンル毎に分類し、階層的に管理する機能.
- 目的の図書の位置と情報を探索するための機能.

以下、これらの機能について述べる.

### 5.1.1 図書情報の入力と図書への関係付け

図書情報管理システムでは、カード型情報管理システムの入力の機能を利用して、図書の表紙や内容、手書きのメモなどの図書情報を入力できる。入力された情報は、仮想カードとして AR 環境中に生成される。利用者は、生成されたカードを 3D ポインタを用いて、図書情報をその内容と関連する実際の図書の位置に配置することで、その図書情報がどの図書に関連する情報なのかを明示することができる。

図 22では、本のタイトルの書かれた仮想カードを、その本の位置に配置することによって、図書のある位置を明示した例である。

### 5.1.2 図書情報の分類

本システムでは、図書情報をその図書毎、あるいはその図書のジャンル毎に分類するために、カード型情報管理システムにおけるグループ化の機能を利用する。同じ図書やジャンルに属する複数の図書情報を 3D ポインタの選択ボタンにより選択し、仮想ボタンの 1 つであるグループ化ボタンを押すことにより、選択したカードをグループとして 1 まとめにすることができる。この際、グループアイコンに付けられるサムネイル画像を例えば本のタイトルや表紙にすることで、グループ化したカードがすべてその本に関する情報であることが理解しやすくなる。

また、1 冊の図書に関するカードやグループは複数のグループに属することが可能であるから、実際の図書では困難な 1 冊の図書が複数のジャンルに属するような場合の分類が可能となる。また、複数のジャンルをさらに大きなジャンルとしてグループ化していくことで、大規模な図書情報をジャンル毎に階層的に管理することが可能となる。

図 22 の例では、同じタイトルの本に関する情報は 1 箇所にもまとめて配置し、同じ分野に属する図書の情報をグループ化している。

### 5.1.3 図書情報の探索

図書情報管理システムでは、階層化された図書情報のグループ構造を、グループの親子関係を示す枝を表示する機能を利用して、ツリーとして表示することができる (図 23)。このツリーの各ノードはグループアイコンに相当し、グループの内容を示すサムネイル画像で表している。

システムの利用者はツリーのノードをクリックすることで、そのグループの下にあるグループやカードの表示／非表示を切替えることができる。これは提示情報の量の増加に伴ってノードの数が増えてきた場合、すべてのノードを提示するのではなく見たい階層の下にある情報のみを提示することで、視界の繁雑化を回避することができるからである。

また、ノードをクリックすることにより、そのグループに属するカードやグループアイコンを AR 環境中での指定された位置においてハイライトすることができる。これによりユーザは見たい図書を、ツリーの上位層からジャンルなどのグルー

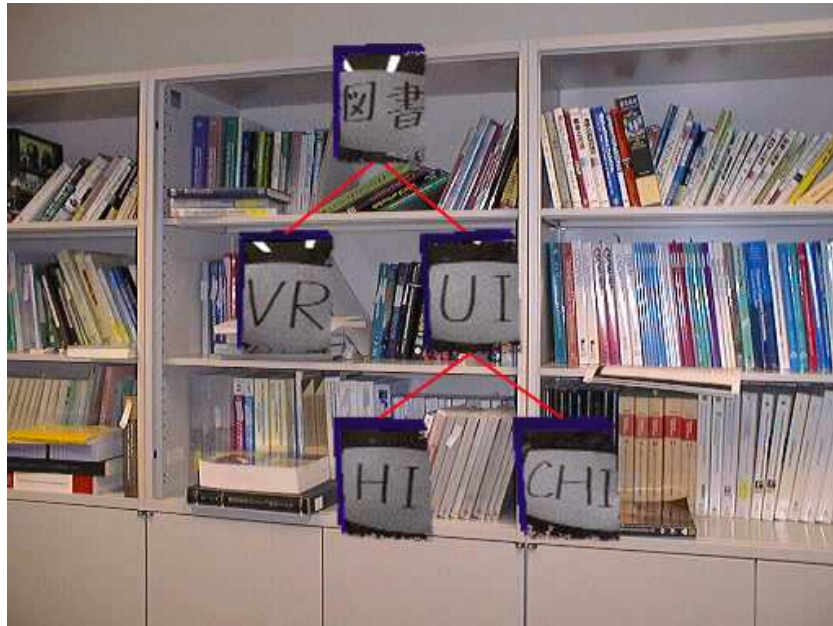


図 23 ツリーによる階層構造の表示

プ化した基準に従って探索していくことで，その図書のある場所を知ることができる。

## 5.2 思考支援システム

一般に、紙に書いた考えを分類，ラベル付けしていくことで自分の考えをまとめていく手法として KJ 法が知られている [20]. KJ 法では，考えやアイデアの書かれたカードを，ある基準に基づいて分類，整理し，分類された 1 まとまりをグループとしてラベル付けを行なう．さらに，複数のグループをいくつかのグループに分類していき，階層的にすべてのカードを分類する．この作業によって作業者が自分の思考を整理することができる．

本アプリケーションシステムは，AR 環境において利用者がアイデアや考えを書いたカードを分類，整理，グループ化することで，考えをまとめるためのシステムである．このシステムを用いると，机の平面上だけでなく，3 次元的な空間を用いてこれらの作業ができる．例として，旅行先を決定するというプロセスを思考支援システムを用いて行なっている様子を図 24 に示す．旅行の参加者によって挙げられた，希望先を書いたカードを分類，グループ化していくことで，旅行先を決定している．

思考支援システムに必要な機能としては，次のものが挙げられる．

- 手書きの文字やマークを自由に入力する機能．
- カードを自由に再配置することで，カードを分類する機能．
- 分類したカードをグループ化し，グループに名前を付ける機能．

以下，これらの機能について述べる．

### 5.2.1 カード内容の入力

KJ 法などで知られる思考支援手法においては，活字ではなく手書きの文字やマークのような曖昧さを残した情報が重要な意味を持つ場合がある [20, 21]．しかし，キーボードによる情報の入力では手書きの文字やマークなどの入力は困難である．本システムではカード型情報管理システムの入力手法である，小型 CCD カメラからの入力を用いることで，手書きの文字やマークなどの入力を可能としている．

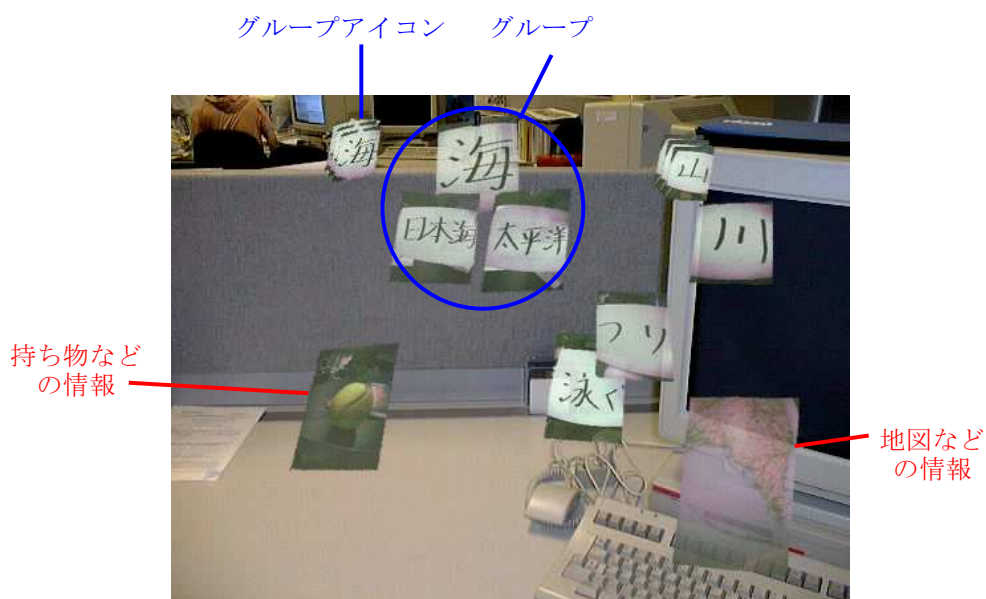


図 24 思考支援システムの提示画面

図 24では，旅行先の候補が書かれた紙を小型カメラで撮像する．撮像された文字は，図のように AR 環境中の仮想カードとして提示される．また，旅行先の地図や持ち物の写真などもカメラによって撮像することで AR 環境に入力できる．

### 5.2.2 カードの分類

思考支援システムでは，カード型情報管理システムのカードの再位置の機能を用いることにより，アイデアや考えの書かれた複数のカードを分類，整理する．これによって，システムの利用者は KJ 法の手順に従って自分の考えをまとめることができる．また，複数のグループに属するカードの生成や，必要でないカードの消去のために，カード型情報管理システムのカードの複製，消去の機能も利用する．

図 24では，旅行先を決定するために，関連する内容のカードを並べて配置することで思考の整理を行なっている．



### 5.2.3 カードのグループ化

カードを分類していく作業において、同じグループとして分類された複数のカードを1つのまとまりとして見なすために、カード型情報管理システムのグループ化機能を用いる。

本システムの場合、前述の図書情報管理システムとは異なり、現実の空間におけるカードの提示位置にはあまり意味がなく、複数のカードの相対的な位置関係が意味を持つ。本システムの利用者は、カードを操作して分類し、ある程度分類されたカードは1つのグループとしてまとめる。まとめられたグループはアイコン表示され、グループ名を書いた画像などをアイコンのサムネイル画像に指定することで、そのグループに含まれるカードの関係付けを行なうことができる。

図 24では、“海”，“日本海”，“太平洋”と書かれたカードを，“海”という1つのグループにまとめている。グループアイコンを3Dポインタによってクリックすることで、グループに属するカードの表示・非表示を切替えることができる。

## 6. 考察

3.1節で述べたように，本研究では AR の特徴を活かした作業空間の提供を目的とし，

- AR 環境に提示する情報の自由な入力手法，
- AR 環境に提示された情報の管理手法，

について検討してきた．本章では，本研究においてこれらの手法を提案することができたのかを改めて考察する．さらに，本研究の現状での問題点について述べ，その解決策と今後の課題について検討する．

まず始めに，AR 環境に提示する情報の自由な入力手法の提案について検討する．実装したカード型情報管理システムは，小型 CCD カメラを用いることによって AR 環境に情報を入力する．カメラに取り付けられたカメラボタンを押すことによって，システムの利用者は容易にその瞬間の撮像画像を情報として AR 環境に取り込むことができる．カメラボタンを押す際，利用者は入力画像を実時間で更新して提示した入力画像カード見ることによって，入力後の情報を常に確認しながら入力できる．以上のことから，AR 環境に提示する情報を自由に入力する手法を提案することができたと考えられる．

次に，AR 環境に提示された情報の管理手法の提案について考察する．本システムでは，AR 環境に入力された情報は，入力画像を内容として持つ仮想カードとして提示される．システムの利用者は，3D ポインタによって仮想カードを移動，選択，複製，消去，グループ化することによって管理できる．複数の仮想カードがグループ化されるとグループを表すアイコンが生成され，このアイコンに対して処理を行なうことでそのグループに属するすべての仮想カードに一括して処理を施すことができる．また，アイコンをさらに別のグループの要素とすることにより，情報を階層的に管理することが可能となる．このことから，AR 環境に提示された情報を管理する手法を提案することができたと考えられる．

以上のことから，本システムの提案によって本研究の目的である AR の特徴を活かした作業空間の提供が行なえたと考えられる．しかし，AR の特徴を活かし

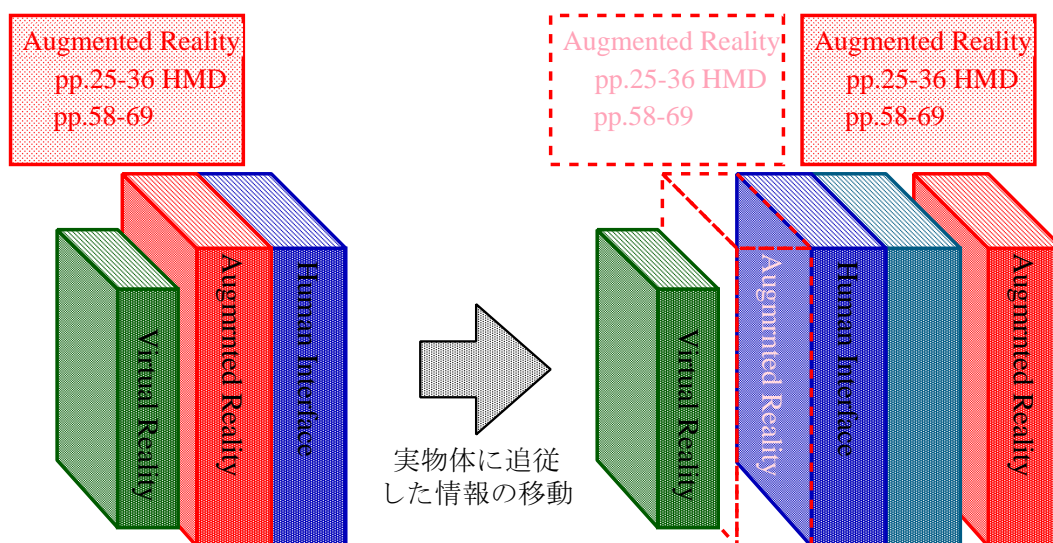


図 25 現実物体に追従した提示情報の移動

た作業空間を提供する上で、本研究で検討してきた AR 環境における提示情報の入力手法と管理手法を実現する過程で、以下のことを検討する必要が出てきた。

- 現実世界の状況変化に対応した仮想物体の提示位置の変化.
- 利用者の視点の移動に基づいた情報の提示手法の変化.
- 現実世界と仮想世界の正確な位置合わせ.
- 利用者の移動可能範囲の拡張.

以下、これらの事柄について詳しく述べる。

現在は現実物体の位置にカードを配置した場合のように、カードと現実物体の相対位置に意味がある場合であっても、現実物体が移動するとカードはその位置に残されてしまう。現実物体に追従して、カードの提示位置を変更させるためには、現実物体の移動などの現実世界の状況の変化を正確に求める手法が必要となる(図 25)。この手法としては、現実の物体に位置を計測するためのセンサを取り付ける手法や、現実の物体にマーカなどを付け、常にマーカを撮像できるようなカメラを用いることにより物体の位置を推測する手法などが考えられる [11]。

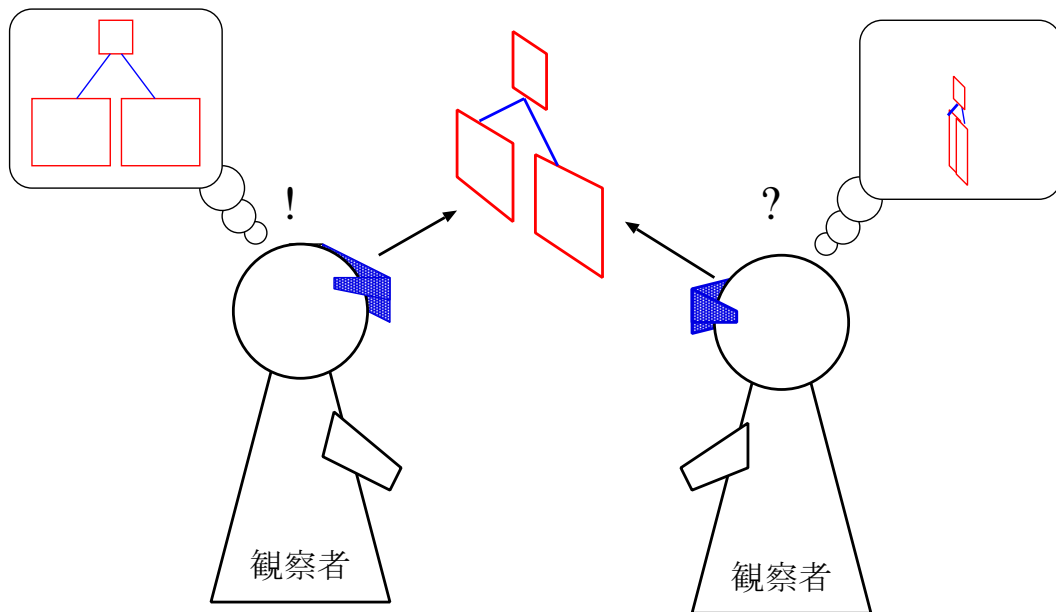


図 26 観察者の視点位置による見え方の違い

本システムでは、システムの利用者が AR 環境中のある場所で情報を生成し、仮想カードの再配置などを行なっても、利用者が移動することで提示情報の見え方が変化する。また、仮想カードは 2 次元的なものであるため、図 26 利用者の位置によってはカードの内容が見えないという問題も生じる。これらの問題に対する解決策としては、常に利用者との相対位置を保つカードや、常に利用者の方向を向いて提示されるカードの実装などが考えられる。また、別のカードによって隠される位置に提示された情報を、利用者に明示する手法の検討も必要となる。

AR を用いたシステムでは必ず考慮しなければならない問題として、現実空間と仮想空間の間の位置ずれの解消に関する問題がある。本システムでは、仮想カードの再配置はシステムの利用者が行なうため、再配置の際の現実物体と仮想カードの位置合わせはシステムの利用者に委ねられている。しかし、仮想世界と現実世界の正確な位置合わせが行なわれていないと、小型カメラの位置とカメラ画像の提示位置の間にずれが生じたり、利用者が AR 環境中を移動することで再配置したカードの位置と現実物体の位置の間にずれが生じるため、正確な位置合わせ

の手法の検討が必要である。

本システムでは位置の計測に磁気式の 3 次元位置センサを用いているが、その計測範囲は約 3 メートル以内である。現在市販されている磁気式のセンサで最も有効範囲の広い装置でも、その有効範囲は約 9 メートルである。従って、本システムは小さな部屋の内部では十分に活用できるが、広大な空間における利用を可能とするためには、センサの改良や他の位置計測手法の検討が必要となる。

また、現段階における本システムの実装上の問題点として検討すべき事柄として、以下の事柄が挙げられる。

- 入力可能な情報の多様化。
- 入力情報からの対象領域の抽出や、撮像時の歪みの補正。
- システムのインタフェースの改良。

まず、システムをより汎用的なものとするためには、入力情報をさらに多様化することが考えられる。現在は入力情報は小型カメラからの入力画像であるが、この場合表 1 に示したように、文字情報の入力が困難である。文字情報の入力を行なうには、一度ホワイトボードなどに文字を書き、そのホワイトボードを撮像しなければならない。入力のために、キーボードやタブレットを併用することによって、これらの情報をより容易に入力することが可能になると考えられる。これにより、本システムの応用分野がさらに広がると考えられる。

また、現在は小型カメラにより撮像された画像をそのまま仮想カードの内容としている。しかし、入力情報をより見やすく利用者に提示するためには、撮像した画像の撮像時の透視投影歪みや樽型歪みを補正する [22] 機能や、撮像画像から見たい領域のみを切り出す機能なども必要になると考えられる。

システムのインタフェースに関しても、さらなる評価実験と改良の余地があると考えられる。例えば、仮想カードの操作に対する音声による補助や、両手による操作の導入が考えられる。また、アニメーションを利用して作業状態の更新、変化を提示する機能を加えることによって、利用者は提示情報の状態をより容易に理解することが可能になると考えられる。

以上の問題を解消することで、本研究で実装したシステムはより使いやすいものとなり、その応用範囲も広がると考える。

## 7. むすび

本論文では、AR 環境に提示する情報のインタラクティブな生成、更新のための手法と、生成した情報の管理手法について検討し、試作した AR を用いたカード型情報管理システムについて述べた。このシステムは、小型カメラからの入力画像を内容として持つ仮想的なカードを生成することで AR 環境に情報を入力し、3D ポインタによりカードの移動、選択、複製、消去、グループ化することによって情報を管理するシステムである。

このシステムを用いることによって、システムの利用者は現実空間における作業を行ないながら、AR 環境中にメモ書きなどの情報をインタラクティブに残すことができる。また、情報をグループ化するなどして管理することにより、一度入力した情報の探索や必要な場所への提示が可能となる。

また、仮想カードの管理に必要な機能のインタフェースとして、仮想的ボタンを実装した。仮想ボタンを 3D ポインタでクリックすることにより、その仮想ボタンに割り当てられた機能を実行することができる。本論文では、この仮想ボタンの提示手法についても検討し、4 種類の提示手法に対して実施した比較実験についても報告した。実験の結果、作業空間に対して固定された位置に常に表示されている仮想ボタンの作業時間が最も短いのに対して、カーソルの位置に必要な時のみ表示され、表示中はその 3 次元的位置を変えない仮想ボタンが使いやすいと感じる人が多いことがわかった。

さらに、本システムの応用例として試作した図書情報管理システムと、思考支援システムについて述べた。図書情報管理システムは、図書情報を AR 環境に提示することで書庫の管理の補助を行なうと同時に、欲しい図書の探索も行なうことができるシステムである。また、思考支援システムは、アイデアや考えの書かれたカードをグループ化、ラベル付けすることで思考の支援を行なうシステムである。これらの他にも、現実の世界における作業を補助する目的で、本システムを応用する例が考えられる。

今後の課題としては、システムの幅広い応用を目的とした機能拡張や、システムをより使いやすいものとするためのインタフェースの評価、改善が挙げられる。また、現実物体に関連した情報を現実物体の付近に提示した場合、現実物体の移

動に追従して情報の提示位置を変化させる手法や、システムの利用者が作業環境中の広範囲を移動する場合の情報の提示手法についても検討する必要がある。さらに、現実世界と仮想世界の正確な位置合わせや、3次元位置センサの有効範囲の拡張などが可能となれば、本システムの応用分野は広がると考えられる。

## 謝辞

本研究の全過程を通して、直接、懇切なる御指導、御鞭撻を賜ったソフトウェア基礎講座 横矢 直和教授に心より深謝致します。本研究の遂行にあたり、終始、有益な御助言と御鞭撻を賜った像情報処理学講座 千原 國宏教授に厚く御礼申し上げます。本研究の全過程を通して、直接、懇切なる御指導、御鞭撻を賜ったソフトウェア基礎講座 竹村 治雄助教授に深く感謝致します。そして本研究を通じて、有益な御助言を頂いたソフトウェア基礎講座 岩佐 英彦助手、並びに山澤 一誠助手に厚く感謝致します。また、物心両面において常に暖かい御助言を頂き、また本研究の評価実験においてもこころよく御協力を頂いたソフトウェア基礎講座の諸氏に深く感謝致します。特に、本研究の遂行に多大なる御助言、御鞭撻を賜った大隈 隆史氏、清川 清氏には厚く御礼申し上げます。最後に、ソフトウェア基礎講座事務補佐員 福永 博美嬢、並びに、元ソフトウェア基礎講座事務補佐員 村上 和代嬢に深く感謝します。



## 参考文献

- [1] Aliga, D. : “Virtual Objects in the Real World, ” Communications of the ACM, Vol.40, No.3, pp.49-54, 1997.
- [2] Feiner, S., MacIntyre, B., and Seligmann, D. : “Annotating the real world with knowledge-based graphics on a see-through head-mounted display, ” Proc. Graphics Interface '92, pp.78-85, 1992.
- [3] Azuma, R. : “A Survey of Augmented Reality, ” Presence, Vol.6, No.4, pp.355-385, 1997.
- [4] 仲村元亨, 大隈隆史, 竹村治雄, 横矢直和 : “小型カメラを用いた AR 空間における仮想付箋の試作”, 信学総大会, A-16-17, 1997.
- [5] 仲村元亨, 大隈隆史, 竹村治雄, 横矢直和 : “AR 環境におけるカード型情報管理システム”, 第13回ヒューマンインタフェースシンポジウム論文集, pp.353-358, 1997.
- [6] 仲村元亨, 大隈隆史, 竹村治雄, 横矢直和 : “AR 環境における情報の生成・管理手法の一考察”, 情報処理学会ヒューマンインタフェース研究会報告 98-HI-76, pp.31-36, 1998.
- [7] Rolland, J., Holloway, R., Fuchs, H. : “A comparison of optical and video see-through head-mounted display, ” Proc. SPIE, Vol.2351, pp.293-307, 1994.
- [8] Feiner, S., Webster, A., Krueger, T., MacIntyre, B., Keller, E. : “Architectural Anatomy, ” Presence, Vol.4, No.3, pp.318-326, 1995.
- [9] Starner, T., Mann, S., Rhodes, B., Levine, J., Healey, J., Kirsch, D., Picard, R., Pentland, A. : “Augmented Reality through Wearable Computing, ” Presence, Vol.6, No.4, pp.386-398, 1997.

- [10] 玉田隆史, 亀井克之, 瀬尾和男: “ビデオ空間と CG 空間の融合による高解像度 3次元仮想都市空間管理環境の構築”, 日本 VR 学会論文集, Vol.1, pp.167-168, 1996.
- [11] 大隈隆史, 清川清, 竹村治雄, 横矢直和: “ビデオシースルー型拡張現実のための実画像からのカメラパラメータの実時間推定”, 信学技報, PRMU97-113, 1997.
- [12] Fitzmaurice, G.: “Situated Information Spaces and Spatially Aware Palm-top Computers, ” Communications of the ACM, Vol.36, No.7, pp.39-49, 1993.
- [13] Holloway, R.: “Registration Error Analysis for Augmented Reality, ” Presence, Vol.6, No.4, pp.413-432, 1997.
- [14] Klinker, G., Ahlers, K., Breeb, D., Chevalier, P., Crampton, C., Greer, D., Koller, D., Kramew, A., Rose, E., Tuceryan, M., Whitaker, R.: “Confluence of Computer Vision and Interactive Graphics for Augmented Reality, ” Presence, Vol.6, No.4, pp.433-451, 1997.
- [15] Azuma, R.: “Tracking requirements for augmented reality, ” Communications of the ACM, Vol.36, No.7, pp.50-51, 1993.
- [16] Azuma, R., Bishop, G.: “Improving Static and Dynamic Registration in an Optical See-Through HMD, ” Proc. SIGGRAPH'94, pp.197-204, 1994.
- [17] Feiner, S.: “Automated Generation of Intent-Based 3D Illustrations, ” Proc. SIGGRAPH'91, pp.123-132, 1991.
- [18] Sims, D.: “New realities in aircraft design and manufacture, ” IEEE Computer Graphics and Applications, Vol.14, No.2, pp.91, 1994.
- [19] 飯沼, 三輪, 西山, 福永, 高堂谷, 上野, 小木, 柳川, 森田: “仮想空間を用いた情報蓄積・検索手法”, Human Interface News and Report, Vol.10, No.2, pp.205-210, 1995.

- [20] 川喜田二郎 : “KJ 法”, 中央公論社, 1986.
- [21] 杉山公造 : “思考支援ツール”, 信学誌, Vol.74, No.2, pp.159-165, 1991.
- [22] Tsai, R. : “A Versatile Camera Calibration Technique for High-Accuracy 3D Machine Vision Metrology Using Off-the-Shelf TV Cameras and Lenses, ”  
IEEE Journal of Robotics and Automation, Vol.RA-3, No.4, pp.323-344, 1987.