

## AR環境における情報の生成・管理手法の一考察

石村 元亨 大隈 隆史 竹村 治雄 横矢 直和

奈良先端科学技術大学院大学  
〒630-01 奈良県生駒市高山町 8916-5

近年、実世界での作業を補助する技術として Augmented Reality(AR)に関する研究が盛んになってきている。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、そのために必要なAR環境に提示する情報のインタラクティブな入力と、提示された情報の関係付けからなる、AR環境におけるカード型情報管理システムを実装した。本システムでは、小型カメラを用いて画像情報を内容として持つ仮想的なカードを生成し、AR環境に提示することで多様な情報の入力を行なう。また、3次元ポインタでのカードの自由な移動、複製、消去、カード間の関係付けにより、AR環境における情報の階層的管理を行える。本稿では、本システムの特徴と、システムのインタフェースとして考えられる4種類の仮想的なボタンの提示手法を比較するために実施した比較実験について述べる。

### A Study on Information Input and Management in AR Space.

Motoyuki NAKAMURA, Takashi OKUMA, Haruo TAKEMURA and Naokazu YOKOYA

Nara Institute of Science and Technology  
8916-5 Takayama, Ikoma, Nara, 630-01  
{motoyu-n, takasi-o, takemura, yokoya}@is.aist-nara.ac.jp

Augmented reality(AR) can make it possible for users to manipulate both real and virtual objects simultaneously. We propose an information management system, with which a user can input and manage visual information as virtual tags using a CCD camera in AR space. A user can generate various visual information such as handwritten characters, printed matters and pictures, as a virtual tag which has a texture of a captured image. A user can also manage the tag by rearranging, copying, deleting and grouping tags with a 3D pointer. In this paper, we describe the system and an empirical study for evaluating four types of virtual buttons to operate virtual tags.

#### 1 はじめに

AR(Augmented Reality)環境とは、現実の世界に仮想世界を重ねて提示することで、仮想的な物体が現実の世界に存在しているように見せる環境である。このAR環境を用いれば、現実の世界での空間的な位置と仮

想世界での空間的な位置を対応付け、現実の物体に関連した情報をその物体に近い位置に提示できる。

AR環境は、この特徴を利用して、現実の世界での作業を補助する情報を付加するための情報提示空間や作業空間として用いることができる。例えば、AR環境中に作業手順などの情報を提示することで、利用者



図 1: システムの使用状況と提示画面

は手順を確認しながら作業を進めることができる。

従来の AR 環境の具体的な例として、プリンタのメンテナンス作業を行なう際に、プリンタの内部構造や作業手順を AR 環境中に提示するシステム [1, 7] や、ディスプレイ上という限られた作業空間を拡張するために AR を利用する研究などが挙げられる [2, 3]。

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。現実の環境においては付箋などにそれらの情報を書き、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 環境を用いて提示することで、大規模な情報の管理が容易になると考えられる。前述の様に、これまで様々な AR 環境を利用したシステムが研究されてきた [6]。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、情報をインタラクティブに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、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、その提示情報をインタラクティブに生成・管理する手法を確立することを目的とし、

(1) AR 環境に提示する情報のインタラクティブな入力手法。

(2) 提示情報のグループ化、階層化手法。

を提案し、カード型情報管理システムを実装した [4, 5]。本報告では、このシステムの特徴と、グループ化を中心としたシステムの機能のインタフェースに関する比較実験について述べる。

## 2 カード型情報管理システム

本システムは、小型 CCD カメラを用いて画像を内容として持つ仮想的なカードを生成し、それを透過型 HMD により AR 環境に提示することにより、AR 環

境における情報を生成するシステムである。また、それらのカードは 3 次元ポインティングデバイス (3 次元ポインタ) や仮想的なボタンを用いての移動、選択、複製、消去などの操作により管理される。

図 1 はシステムの使用状況とユーザが見る視界を示したものである。図の左上に示すように、視界には数種類の仮想カードが提示されており、ユーザには現実を写した仮想カードが作業空間中に存在しているように見える。

HMD、小型 CCD カメラ、3 次元ポインタには磁気式の 3 次元位置センサが取り付けられており、各々の位置と姿勢を計測している。また、3 次元ポインタには 4 つのボタンが取り付けられており、これらのボタンは AR 環境中に提示されるカーソルが指示する仮想カードや仮想ボタンの操作に用いられる。

以下、試作したシステムの実装を、機能毎に述べる。

### 2.1 カードの生成

AR 環境に提示する情報は、小型 CCD カメラにより取り込まれる画像情報とした。これにより手書きの文字やマーク、既存の文章、実環境の様子といった多様な情報の入力が可能となり、システムの汎用性が増す。

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) をカメラの前部に常時提示しておく。ユーザは、この入力画像カードを確認しながら、カメラに取り付けられたボタン (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その瞬間の入力画像カードの位置に生成する。

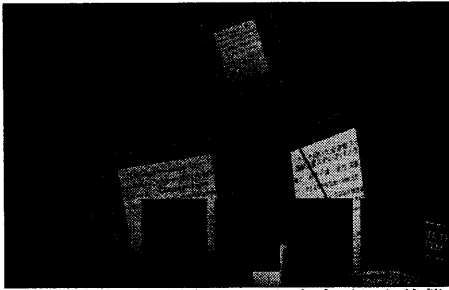
撮像位置を保存するのは、実世界における物体の位置・姿勢も 1 つの情報であるからである。例えば、物体の三面図を仮想カードとして生成する場合、撮像した画像と共にその画像を見ることのできる位置の情報も重要な情報となる。

### 2.2 カードの移動、選択、複製、消去

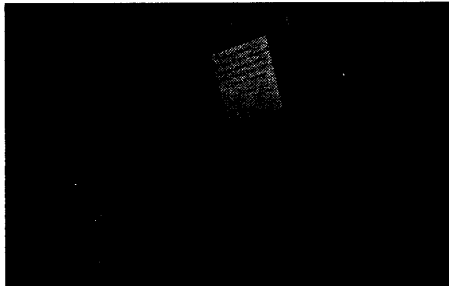
本システムでは、ユーザは生成したカードを 3 次元ポインタにより自由に再配置することができる。これは、システムの使用目的によっては、カードの生成位置には意味がなく、ユーザがカードを再配置することでカードの位置に意味を持たせる場合も考えられるからである。例えば、実物体に関する説明をホワイトボードなどに書き、それをカメラにより撮像して入力し、その後実物体に関連付ける場合などである。この場合、ホワイトボードを撮像した位置には意味がなく、実物体と関連付けて再配置された後のカードの位置が重要となる。

また、カードを指示しながら 3 次元ポインタの複製ボタンや消去ボタンを押すことで、そのカードの複製や、消去が可能である。さらに、3 次元ポインタの選択ボタンにより複数のカードを選択してからの一括した操作も可能である。

3 次元ポインタ上のボタンの数は有限であるため、割



(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 2: グループに属するカードの管理

り当てる機能の数には限りがある。本システムでは、3次元ポインタのボタンによる直接操作以外に、仮想ボタンをAR環境中に提示し、3次元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したカードに対する操作を可能としている。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。

### 2.3 カードのグループ化

本システムでは、AR環境に提示する複数のカードを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。

ユーザ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。

前述のようにユーザ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表示したままでは、提示情報の数が膨大になると視界が繁雑になることや、同一のグループに属するといったカード間の関係を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として表示し、そのアイコンを3次元ポインタ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・非表示を切替える機能を提供した(図2)。さらに、同一グループのカードを明示するために、グループを示すアイコンをクリックすることで、そのグルー

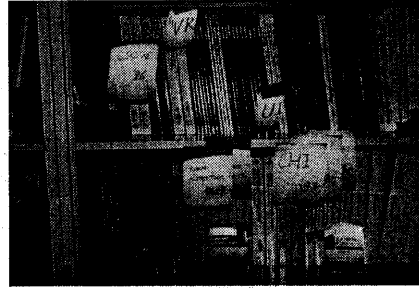


図 3: 図書管理システム

プに属するカードにハイライト処理を施す機能も提供している。

アイコンには、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)を付けることができる。アイコンもカードと同様に3次元ポインタで自由に再配置できる。また、アイコンを選択して複製、消去することによりグループ単位での処理も、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。

### 2.4 システムの応用例

筆者らはカード型情報管理システムの応用例として、図書管理システムを試作した(図3)。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、書庫中のその本の所在位置に配置する。これにより、提示情報と共に現実の本の位置もユーザに明示することができ、大規模な図書の中から欲しい本を探す際に、カードの情報を利用した探索が可能となる。さらに、ユーザが情報をインタラクティブに生成することも可能であり、AR環境を用いた図書情報の生成、階層構造による管理が可能である。

### 3 比較実験

本システムでは、生成した仮想カードを管理するためのインタフェースとして仮想ボタンを提供している。しかしこれらのボタンには様々な提示手法が考えられる。そこで、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調べるために、4種類の提示手法の作業効率と使用者の主観に対する比較実験を実施した。本実験では、作業効率は後に述べる試行にかかる時間、使用者の主観は被験者によるアンケートの結果により求める。以下、試作した仮想ボタンと実験について述べる。

#### 3.1 ボタンメニュー

複数の仮想ボタンを並べて表示したメニューをボタンメニューと呼ぶこととする。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ることで4種類のボタンメニューを試作した。

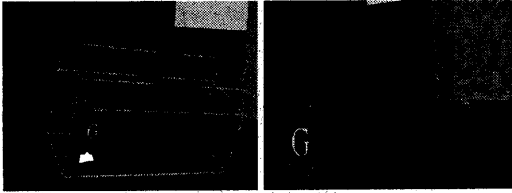


図 4: 空間固定-常時提示型 図 5: 視線追従-常時提示型

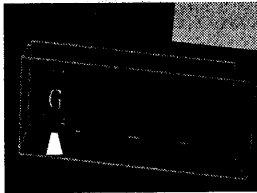


図 6: ポップアップメニュー

#### ・提示位置

**空間固定型:** ボタンメニューの提示位置を作業空間に対して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 内のボタンメニューの表示は視点に対して相対的な位置に固定される。

#### ・提示期間

**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。本実験では、3次元ポインタ上の表示ボタンが押されると、その瞬間のカーソルの位置にメニュー開かれ、表示ボタンを押し続ける間は提示されている(図 6)。

空間固定-常時提示メニューは、ユーザが自由に再配置できる(図 4)、視線追従-常時提示メニューは、常にユーザの視界の下方に提示される(図 5)、空間固定-ポップアップメニューは、カーソルの位置に開かれると、表示中は作業空間における位置は変化させない。視線追従-ポップアップメニューは、カーソルの位置に開かれると、表示中は常にユーザの視界中のその位置を保って提示される。

### 3.2 実験の設定

試作した 4 種類のボタンメニューに対する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。

- (1) 3次元ポインタにより、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。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

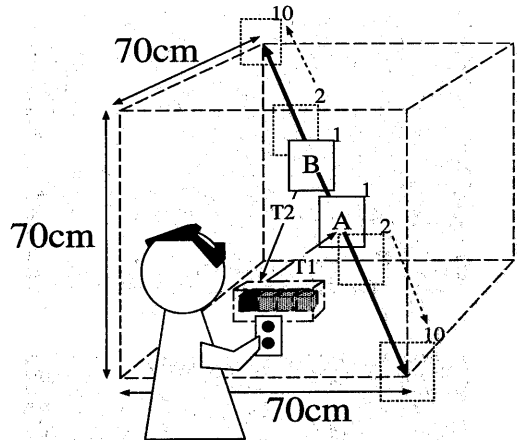


図 7: 実験タスクの設定

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。

仮想カード A, B の提示位置は、仮想ボタンが押される毎に図 7 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 7 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。上下、左右、奥行き方向に均等に变化させることで、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ことができると考えた。

また、変化の範囲を 70cm の立方体の内部に設定したのは、最もカード間距離が長い位置を、選択の際に体の移動無しで手の届く位置でかつ、頭の回転が必要な位置とすることで、視線追従型と空間固定型の違いを明確に示すことができると考えたからである。本実験ではこの変化を予め被験者に教示することで、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できると考えた。

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 つの要素に対する主観

表1: 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 ( $P < 0.05$ )	

を調査した。

- ボタンの位置の見つけ易さ。
- ボタンの押し易さ。
- ボタンの使い易さ。
- ボタンの好み。
- ボタンの疲れにくさ。

各要素について5段階で評価を行なわせ、評価の理由についても尋ねた。

### 3.3 結果と考察

まず、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。統計的有意差の検定には、分散分析( $\alpha = 0.05$ )を用いた(表1)。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8)。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9はアンケートの結果から、そ

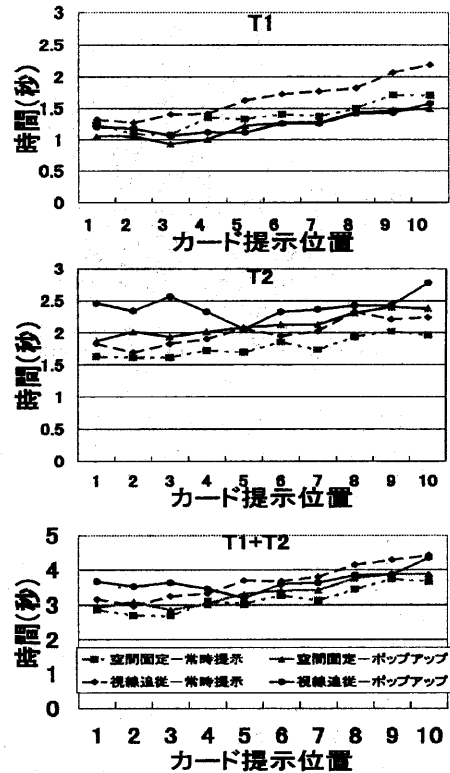


図8: 測定時間の結果

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。

**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、時間的な効率は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易く、カーソルを仮想ボタンに合わせ易かったことが被験者の意見から考えられる。仮想ボタンを押した位置については、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、仮想ボタンは一定の位置にあったため、カード間距離による差はなかった。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易さの評価値は低かった。

**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

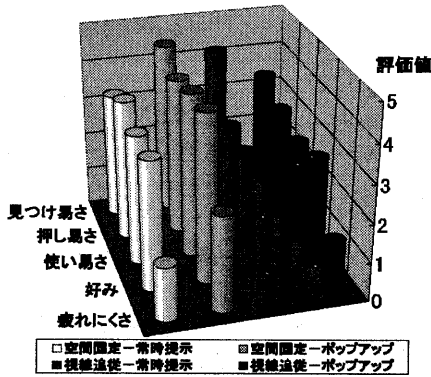


図 9: 主観評価の結果

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。この理由として、3次元ポイントのボタンを押しやすきにカーソルの位置が表示されるため、3次元的な位置が把握し易く、位置合わせが行ない易かったことが被験者の意見から考えられる。

**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。仮想ボタンを押しした位置については、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、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、時間的な作業効率については、作業時間の測定結果から空間固定-常時提示メニューが最も良いと考えられる。インタフェースとしての使い易さについては、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易いと考察できる。

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、使い易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易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。

#### 4 まとめ

本研究では、AR 環境に提示する情報を簡単にインタラクティブに入力する手法と、提示された情報の関係付けを行なう手法を提案し、これらの手法を用いたカード型情報管理システムを試作した。本システムを用いることで、AR 環境に提示する情報を仮想的なカードとして自由に生成し、そのカードの移動、複製、消去、カード間のグループ化、階層化といった操作により、AR 環境において情報を管理できる。

また、情報を管理する際に用いる仮想ボタンを 4 種類試作し、それらの作業時間、使い易さを比較する評価実験を行なった。その結果、単調な反復作業においては、作業効率の面では空間的に固定され常に提示される仮想ボタンが最も良く、使い易さ・好みといった主観的な評価においては、必要な時のみカーソルの位置に表示され表示中は空間的にその位置に固定される仮想ボタンが最も良いと考えられる。

今後の課題として、さらに評価実験を行ない、ユーザの行動とそれに適したインタフェースについて検討することが挙げられる。また、視点移動したときに生じる、実物体と仮想物体の位置ずれの問題に対する解決法の検討なども挙げられる。さらに、撮像画像からの対象領域の抽出や、文書などを撮像した場合の透視投影歪みの補正法の検討なども必要である。

#### 参考文献

- [1] Feiner, S., MacIntyre, B., and Seligmann, D.: "Annotating the real world with knowledge-based graphics on a see-through head-mounted display.", Proceedings Graphics Interface '92, pp. 78-85 (1992).
- [2] Feiner, S., MacIntyre, B., Haupt, M., and Solomon, E.: "Windows on the World: 2D Windows for 3D Augmented Reality", Proceedings of ACM Symposium on UIST '93, pp. 145-154(1993).
- [3] 大隈隆史, 竹村治雄, 片山喜章, 岩佐英彦, 横矢直和: "重畳表示環境による作業領域拡大の実験評価", 信学技報, IE96-109, (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] Ronald, A.: "A Survey of Augmented Reality", Presence, Vol.6, No.4, pp. 355-385(1997).
- [7] 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).