

空間型メディア作品を強化する7つ道具型対話デバイス

Seven-tool-style Interaction Device Enhancing Spatial Media Contents

○立命館大学/JST・木村 朝子, 立命館大学・柴田 史久, 田村 秀行

Ritsumeikan Univ./JST・Asako Kimura, Ritsumeikan Univ.・Fumihisa Shibata, and Hideyuki Tamura

Abstract – In this paper, we present a concept of our novel interaction devices; ToolDevice, which is widely used in spatial interactive art and entertainment, facilitate interactive operation, improve the value of media contents. ToolDevice imitates not only the shapes of existing tools and their usages, but also the tactile and audio sensation to increase presences of virtual objects and improve operational feelings. Thus, the user easily figures out how to use the tools. Additionally, ToolDevice is a set of interaction devices using a metaphor of existing tools which are familiar in everyday life. In this paper we introduce TweezersDevice for pick and move manipulation, Top-AttachableToolDevice for modeling, and BrushDevice for painting as examples of ToolDevice.

1. はじめに

コンピュータやプロジェクトの急速な進歩により、メディアアートは大きく様変わりした。CG技術の発展を核として、ビデオゲームも大きな市場を形成するようになった。我々は、その発展に大きな役割を果たすのは、魅力的で使いやすい対話デバイスの存在ではないかと考えている。過去15~20年を振り返ってみても、GUI (Graphical User Interface)とマウスという存在がコンピュータ・ソフトウェアのあり方を大きく変えた。また、ゲームソフトの発展の影には、グリップ感があり操作感の良いゲームパッドの存在があったからだと言える。いずれも、その操作性が事実上標準化された対話デバイスが確立したゆえに、アプリケーション・ソフトウェアやコンテンツの開発が一層加速したと考えられる。

このような背景から、インタラクティブ・アート&エンターテインメント分野でも、情報やデータを実世界で実物に触れる感覚で操作する「実世界指向インタフェース[1]」や「タンジブルインタフェース[2]」など、より効果的に、より直観的に対話操作ができる新たな対話デバイスが期待されている。実際、このような考えに基づき、これまでに多くの魅力的な対話デバイスが開発されてきた。例えば、Underkofflerら[3]は、レンズや建物を模した実物体を手で動かすことで、光の屈折や影のシミュレーションを行なう対話デバイスを提案している。また、Ryokaiら[4]やVandorenら[5]は、ブラシ型の対話デバイスを導入し、新しい描画ツールを実現している。しかし、こうした対話デバイスの大半は、その用途ごとに検討・提案されたものであり、様々な作業を支援するだけの汎用性は有していない。

そこで本研究では、誰もが直観的に利用でき、様々な空間型作業に幅広く用いられ、対話操作を円滑にする道具型の対話デバイスの提案・提供することを目的としている。但し、ここで言う「空間型」は複合現実感 (Mixed Reality; MR) 技術を利用する立体視可能なシステムや、プロジェクト投影タイプ、テーブルトップ型のシステムを含む。今日、多くの人々が利用している既存の道具は、良いアフォーダンスを持つと同時に、操作に関するメンタルモデルが幼少の頃からユーザの中に形成されている。このような道具の特性を対話デバイスに利用できれば、ユーザに正しい操作イメージを与えるだけでなく、直観的な操作が可能になると考えられる。

我々が提案する新しい「道具型デバイス」は、実世界同様、目的に応じて異なったデバイスに持ち替えて利用できる「ツールセット」を指向している。これは、従来の研究開発事例を踏まえつつ、道具型デバイスが備えるべき要件、利用者に提供すべき機能と利用時の形態も考慮して構想し結果得た研究姿勢である。

この構想の下で、新規ツールセットの最初の道具型デバイスとして、選択・移動用の対話デバイスにピンセット型デバイス、加工用に加工用先端着脱型デバイス、描画用に筆型デバイスを選び、これを実現した。

2. 道具型デバイス

2.1 基本概念

ある道具が、特別な学習負担なしに利用できる場合は、その道具のデザイン自体に、どう使えば良いかが備わっていることが多い。このような特性は「アフォーダンス」と呼ばれている[6]。例えばピンセットは、「掴む」「放す」



図1 ツールセット

動作を二股の形状からアフォードしている。長い歴史をもつ既存の道具は、良いアフォーダンスを有していると同時に、子供の頃からの利用経験で、我々の中に操作に関するメンタルモデルが形成されていると考えられる。

我々が提案する「道具型デバイス」は、慣れ親しんできた既存の道具の形状とその道具ならではの操作感（触感や操作音）を活用することで、ユーザに正しい操作イメージを与えるだけでなく、その用途や利用方法を直観的に把握させようとするものである。すなわち、見た目や手触りから用途が分かり、かつ柔軟な操作が可能なデバイスである。

さらに本研究では、デバイスをより直観的に利用するため、1つのデバイスに多種多様な機能をもたせた万能型デバイスではなく、目的に応じて異なった道具に持ち替えて利用できる汎用型のツールセットを指向している

(図1)。このような考え方を、我々は「最も適した道具を手にして使う」という意味で WYTIWIMF (What You Take Is What Is Most Fitting) と呼ぶ。研究方針としては、考え得る道具の全てを実現するのではなく、空間型の作業で重要と考えられる操作を分類・抽象化し、その操作に適した道具のみを実現して、その有用性を確かめる。

2.2 想定する操作内容

本研究では、空間型の作業として、広い作業領域が必要な設計作業、多種多様なデータを一举に取り扱うレイアウト作業、3次元物体操作と奥行き知覚が必要な立体造形作業などを想定し、それらを実現する操作として「選択・移動」「加工」「描画」の3種類に絞らんだ。

(1) 選択・移動：実世界で手やピンセットを使って物体を把持・移動するのと同様の感覚で2次元/3次元空間中の仮想物体 (CG) を選択・移動する。

(2) 加工：実世界でハンマやナイフなどを使って造形を行うのと同様の感覚で、CGに対して造形を行う。

(3) 描画：実世界で筆やペンなどを用いて描画するのと同様の感覚で、平面・立体物・自由空間に描画を行う。

本研究では、上記(1)~(3)の操作を行うデバイスの例として、ピンセット型デバイス、加工用先端着脱型デバイス、筆型デバイスの3つを試作した。

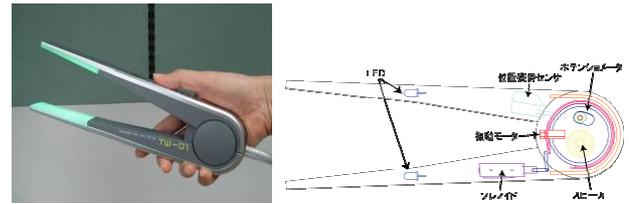
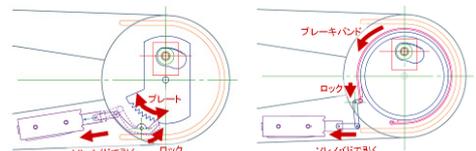


図2 ピンセット型デバイスの外観と内部機構



(a) ラチェット方式 (b) ドラムブレーキ方式

図3 反力提示機構

3. 道具型デバイスの実装例

3.1 選択・移動用デバイス

コンピュータのデータ操作ではマウスによるドラッグ&ドロップで実現されるこの行為を、実世界でモノを移動するための道具であるピンセットに関連付けた。ピンセットはその先端でモノを挟む道具で、側面を指で押すことにより、その間にある物体を挟むことができる。また、挟んだ物体の硬さや大きさを把持に必要な力から推測することができるという特徴がある。

【外観】形状は一見してピンセットを容易にイメージできるデザインとした(図2)。

【内部機構】図2に内部機構を示す。空間に配置された仮想物体を選択・移動するためには、内部機構として以下の2つの機能が必要である。

(1) 位置姿勢検出：仮想物体がピンセット型デバイスで挟める(選択できる)位置にあるか判定したり、選択した仮想物体をデバイスに追従して表示するための機構 (Polhemus社製の磁気センサ LIBERTY)。

(2) 挟み幅検出：仮想物体を挟んだかを判定するのに必要な機構 (回転式ポテンシオメータ)

また操作結果の応答、確認を視・聴・触力覚に対して行うために、以下の4つの情報を提示する。

(3) 聴覚提示：デバイスが仮想物体と接触したことを印象付けるため、音を発生させる機構 (小型スピーカ)

(4) 触感提示：操作対象が動きを伴う仮想物体である時、その動きを体感させるため振動を提示するための機構 (振動モータ)

(5) 視覚提示：動作確認のため、デバイスの状態 (モード) を光で提示するための機構 (RGB3色のLED)

(6) 反力提示：ピンセットで物を挟んだ時に感じる反

力を実現する機構。ただし、仮想物体の硬さによってこの反力の強さは異なるべきであるので、柔らかい物体の場合は、側面を押す強さに応じて挟み幅が変化するような反力を提示する

仮想物体の大きさ・硬さに応じて反力を提示する機構として、ラチェット方式とドラムブレーキ方式の2種類の方法を考案した(図3)。

ラチェット方式は、ソレノイドでロックツメを上下させ、プレートの溝に咬ませることで、一定角度ごとにピンセット型デバイスの開口角度をロックする。ドラムブレーキ方式は、ソレノイドがブレーキバンドを引き、ドラムを締め込むことでブレーキがかかり、ピンセット型デバイスがそれ以上閉じないようにする。この方式では、挟み幅を固定するだけでなく、仮想物体が柔らかい場合にはブレーキを緩めることで、デバイスの側面を強く押すとブレーキバンドが滑り、仮想物体の柔らかさを提示することができる。

3.2 加工用デバイス

道具型デバイスは、目的に応じて道具を持ち替える点に特徴があるが、細かい用途ごとに個別デバイスを制作してはその数は膨大になる。そこで、本研究では、ツールセットを指向するという道具型デバイスの特徴を残しつつ、これらの課題を解決する「先端着脱式道具型デバイス」を提案する。先端着脱型デバイスは、把持する「本体」と機能を表現する「着脱部」を組み合わせて使用するデバイスである。電気掃除機のアタッチメントの感覚で先端部を着脱、交換することで機能を切り替える。各道具に共通で必要な機構は本体に、道具固有の機構は着脱部に実装することで、共通の機構やPCとデバイス本体をつなぐケーブル、コネクタなどを一元化することができる。着脱部には道具のメタファやアフォーダンスを利用することで直観的な操作を可能とし、着脱部の道具の形状や重さにより道具らしい操作感を提供する。

本研究では、多種多様な道具を必要とする「加工」操作に対してこの方式を適用し、一般的な「切る」、操作が特徴的な「叩く」を対象とした先端着脱型デバイスの開発を行った。我々はこれらの行為をそれぞれナイフとハンマに関連付けた。

【外観】形状はピンセット同様、一見してナイフ、ハンマを容易にイメージできるデザインとした(図4(a))。

【内部機構】図4(b)~(d)に内部機構を示す。本体には以下の機構を内蔵している。

(1) 着脱部 ID 識別: 着脱部の ID を識別する機構(コネクタの4つのピンを利用した ON/OFF の組み合わせで

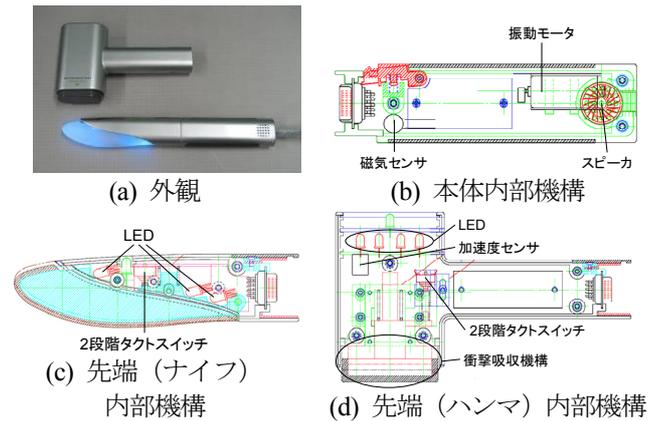


図4 加工用先端着脱型デバイスの内部機構

識別、16種類のID識別が可能)。

(2) 位置姿勢検出: デバイスが仮想物体を操作可能な位置にあるかを判定するための機構(Polhemus社製の磁気センサLIBERTY)

(3) 聴覚提示: デバイスが仮想物体と接触したことで音が発生したように印象付けるため、音をデバイス本体から提示する機構(小型スピーカー)

(4) 触覚提示: 仮想物体を「切る」「叩く」操作をした際の触感を提示する機能(振動モータ)

ナイフ型の着脱部には以下の機構を内蔵している。

(5) 視覚提示: 操作内容の確認のため、デバイスの状況を光で提示する機能(RGB3色のLED)

(6) 接触判定: 実物との接触を検出する機構(2段階タクトスイッチ)

また、ハンマ型の着脱部には上記に加えて以下の機構を内蔵している。

(7) 加速度検出: 「叩く」強さを検出する機構(加速度センサ)

3.3 描画用デバイス

描画用デバイスの第1弾として、我々は筆型デバイスを構築した。現実世界の筆は、大きく丸筆と平筆の2種類に分類され、それぞれ目的に応じて使い分けられている。丸筆は細かい描画、平筆は広い面積を一様に塗る用途で使用され、塗る面積によって、それぞれのタイプごとに複数の太さの筆が存在する。筆型デバイスでは、このような様々な筆先を、加工用デバイス同様、先端着脱方式によって切り替えることとした。

【外観】形状は図5の通り。筆先部分は、ウレタンゴムに植毛することで、筆先のやわらかさと滑らかさを再現する。

【内部機構】図5にデバイスの内部機構を示す。筆によ

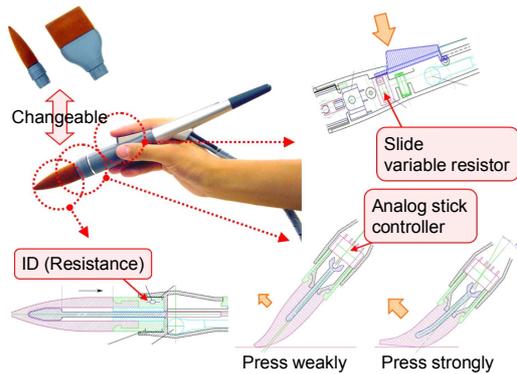


図5 筆型デバイスの外観と内部機構



(a) モデリングシステム (b) 描画システム

図6 道具型デバイスを用いた体験システム (イメージ)

る微妙な表現を再現するために、描画される筆の軌跡の太さを、現実の筆同様の方法でコントロールできる機構を組み込んだ。例えば、実世界では筆の軌跡を太くしたいとき、筆を描画対象に押し付けたり、水平に傾けたりする。そこで、筆型デバイスには、以下の(1)~(3)をセンシングできる機構を組み込んだ。ただし本研究は、実物体・仮想物体の両方を描画対象としており、押し付ける物理的な描画対象が存在しない場合がありうるため、(4)(5)を獲得するための機構も組み込んだ。

- (1) 描画対象へのデバイスの押し付け量
- (2) デバイスから描画対象までの距離
- (3) 描画対象に対するデバイスの傾き
- (4) デバイスを動かす速度
- (5) デバイスを把持する力

内部機構としては、(2)(3)(4) 検出用に位置姿勢センサ、(1) 検出用にアナログスティックコントローラ、(5) 検出用にスライド抵抗を内蔵している。

4. 体験システム

我々は、道具型デバイスを使用した体験システムとして、実世界の木工を模した幾何形状モデリングシステムと、実物体と仮想物体双方への描画が可能な描画システム(図6)を構築した。

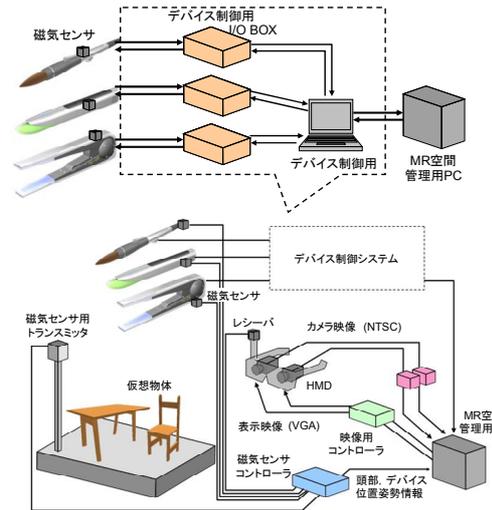


図7 システム構成

4.1 システム構成

システム構成を図7に示す。MR空間の管理用にはWindows XP OS, Intel Core2 Duo E4300 CPU, および2048 MB RAMを搭載するPCを、MR空間の映像提示には両眼立体視が可能なビデオシースルー型HMD (Head Mounted Display)であるCanon VH-2002を用いている。また、HMDおよびデバイスの位置姿勢情報の検出には、磁気ベースの3次元位置姿勢測定装置であるPolhemus社製LIBERTYを用いている。

4.2 モデリングシステム

複数の道具型デバイスを併用した体験システムとして、実世界の木工を模した幾何形状モデリングシステムを構築した。実際に手元を見ながら操作が行えるMR空間を利用し、HMDを通して仮想物体を直接視認することで、対象物体の存在する仮想空間とモデリングを行う現実空間とを一致させる。また、直観的な操作を実現するために、誰もが過去に体験したことがある造型操作をシステムの操作体系に取り入れることで、メンタルモデルの形成を容易にし、初心者でも扱える直観的なシステムを目指す。

本システムでは、ピンセット型デバイス、ナイフ型デバイス、ハンマ型デバイスを使用する。

空間内には、予め木材を模した仮想物体のプリミティブが用意されており、各種デバイスを用いてこれを加工し、モデリングを行う。モデリングは、ナイフ型デバイスを用いた仮想物体の切断、ピンセット型デバイスを用いた仮想物体の配置、ハンマ型デバイスを用いた仮想物体同士の結合の組み合わせで実現される。体験者はこれら切断・配置・結合の操作を繰り返し任意の形状をモデリングする。

【選択・移動】ピンセット型デバイスで仮想物体を挟むことで、その物体の選択を行う。選択時には、実際に物体を掴んだかのような反力が提示され、視覚フィードバックとしてデバイス先端のLEDが点灯する。仮想物体の選択後はデバイス位置に追従して物体が移動するため、物体を挟んだまま移動することで物体を3次元空間の任意の場所へ移動し、把持する力を緩め先端を開くことで、任意の位置に配置することができる。

【切断】ナイフ型デバイスを卓上でスライドさせることで仮想物体の切断を行う。切断手順を図8に示す。まず、

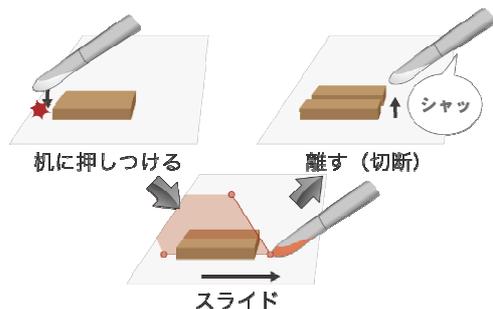


図8 切断手順



(a) 切断前 (b) 切断後

図9 操作風景・切断

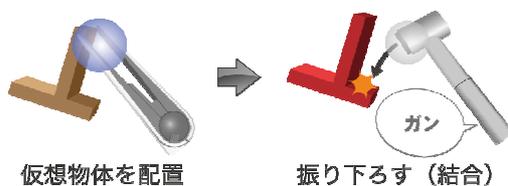


図10 結合手順



(a) 結合前 (b) 結合後

図11 操作風景・結合



図12 作品例

(1) デバイス先端部を卓上に押しつけ、(2) スライドさせることで、スライド開始位置と現在位置を結ぶ切断平面が表示され、視覚フィードバックとしてデバイス先端のLEDが点灯する。そして、(3) デバイスを卓上から離すことで、切断平面に沿って仮想物体を切断することができ、効果音が再生される。なお、押しつけの検出にはデバイスに内蔵したタクトスイッチを用いている。切断を行っている操作風景を図9に示す。

【結合】ハンマ型デバイスを振り下ろすことで仮想物体同士の結合を行う。結合手順は図10の通り、(1) ピンセット型デバイスを用いて仮想物体同士が重なるように配置、(2) 配置された仮想物体に対してハンマを振り下ろすことでそれらを結合することができる。結合の際には効果音が再生され、結合後の仮想物体は一時的に赤く強調される。なお、振り下ろしの検出には加速度センサを用いている。結合を行っている操作風景を図11に示す。

【削除】ピンセット型デバイスを用いて削除対象の仮想物体を掴んでテーブル上の実物のごみ箱上に移動させ、仮想物体を放すことで効果音とともに削除される。

数名の学生を対象に、試作したモデリングシステムの運用を行った。運用では、被験者に実際に造型作業を体験させた。まず被験者は、実験者から簡単なデモンストレーションを通して操作を学び、続いて、実際にシステムを使いながらモデリングの練習を行った。そして操作に慣れた後、自由にモデリングを行わせ、その後コメントを得た。

運用中に作成された作品を図12に示す。体験の様子を観察したところ、被験者はデモンストレーション時の実験者の操作を見て、すぐに操作方法を理解した様子で、デバイスを手にすると迷うことなくそれぞれの操作を行い、デバイス用途に応じて使い分けていた。このことから、操作と道具のマッピングの妥当性、道具を用いた操作の直観性が示されたと考える。

体験終了後に得られたコメントでは、実世界の造型操作を取り入れた点に関して、「操作が直観的で、新たなモデリングのアプローチとしておもしろい」などの好意的な意見が得られた。その一方で「ピンセット型デバイスを用いた配置作業が疲れる」「同時に多視点から眺められないため物体の位置関係を把握しづらい」といった、既存のモデリングソフトと比べ機能の劣点に関するコメントも得られた。また、ナイフ型とハンマ型デバイスを切り替える際の本体部分と着脱部分の抜き差しが、できるだけスムーズに行えることが望ましいというコメントもあった。

4.3 描画システム

筆型デバイスの体験システムとして、実物体と仮想物体、双方への描画が可能な描画システムを構築した。

本システムでは、体験者が太さの異なる丸筆2種類と、平筆1種類を適宜切り替えて使用することができる。体験者は、好みの筆先を選択しデバイス本体に装着する(はめ込む)。体験者の目前には、卓上の右手側にCGのパレットが表示されており、そこから絵の具を取り、複数の色を混ぜ合わせて使用することができる。実際に描画する際には、描画対象が実物体の場合は、3.3の(1)~(5)のうち、事前の検討で評価の高かった(1)描画対象へのデバイスの押し付け量と(2)対象と筆の距離、仮想物体の場合は、(2)対象と筆の距離と(5)デバイスを把持する力に応じて線の太さを変更する。

これらの軌跡は、磁気センサから得られた筆先の位置に、丸筆では円、平筆では長方形のテクスチャを並べることで描画している。また、平筆では、磁気センサからの筆の姿勢に応じて描画する長方形を回転させることで、筆の向きに応じた軌跡を再現している。体験者の筆使いに応じた筆の軌跡の太さは、3.3で述べた(1)~(5)の入力値に応じて、丸筆の場合は円の半径を、平筆の場合は長

方形の長辺の長さを変更することで実現する。

数名の学生を対象に試作した上記の描画システムの運用を行った(図13)。運用では、実物体の平面・立体、仮想物体の平面・立体を対象に、被験者に自由に描画を体験させた。まず被験者は、実験者から簡単なデモンストレーションを通して操作を学び、続いて、実際にシステムを使用して描画を行い、その後コメントを得た。

運用中に作成された作品を図14に示す。体験の様子を観察したところ、先端着脱機構に関しては、容易に付け替えができることが好評で、全体験者が、用途に応じて先端を積極的に付け替えて描画を行っていた。

また、実物体に対する描画は、非常に直感的であるが、磁気センサの誤差の影響で、描画位置がずれることが気になるというコメントが得られた。

5. むすび

慣れ親しんだ道具のメタファを利用することにより、電子作業空間とのインタラクションを円滑にする「道具型デバイス」の新しいツールセットを考案した。また対象となる作業内容を抽象化して「選択・移動」「加工」「描画」の3種に絞り込み、「選択・移動」に適した「ピンセット型デバイス」、「加工」に適した「加工用先端着脱型デバイス」、「描画」に適した「筆型デバイス」の機能設計を行い、安定した試作機を開発した。これらの「ツールセット」を使用する体験システムとしてモデリングシステム、および描画システムを構築し、運用した。これで「ツールセット」としての第1期品揃えが完成したので、今後は、運用の中で指摘された問題点を解決するとともに、他の作業への適応、デバイスの評価、次なる「ツールセット」の提案・開発を行っていく予定である。

本研究は、JST 戦略的創造研究推進事業(さきがけタイプ)「空間型メディア作品を強化する7つ道具型対話デバイス」による。

参考文献

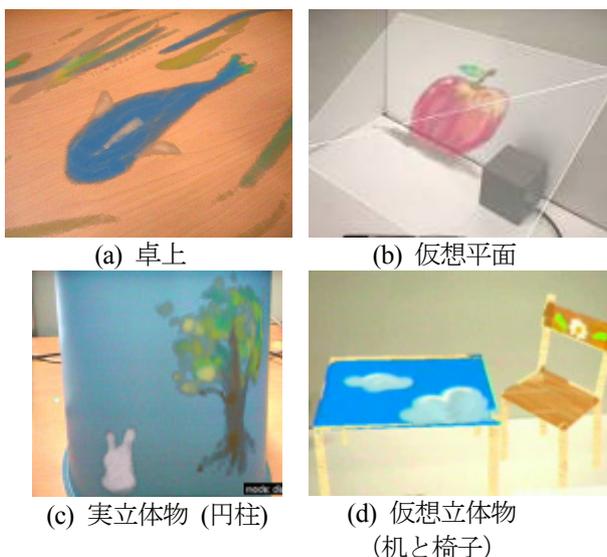
- [1] 暦本純一：“実世界指向インタフェース：実世界に拡張された直接操作環境”，情報処理，Vol. 43，No. 3，pp. 217 - 221，2002.
- [2] 石井裕：“Tangible Bits：情報の感触／情報の気配”，同上，Vol. 39，No. 8，pp. 745 - 751，1998.
- [3] J. Underkoffler, B. Ullmer, and H. Ishii: “Emancipated pixels: Real-World graphics in the luminous room,” Proc. SIGGRAPH 99, pp. 385 - 392, 1999.
- [4] K. Ryokai, S. Marti, and H. Ishii: “I/O Brush: Drawing with everyday objects as ink,” Proc. SIGCHI Conference on Human factors in Computing Systems (CHI 2004), pp. 303 - 310, 2004.
- [5] P. Vandoren, et al.: “IntuPaint: Bridging the gap between physical and digital painting,” Proc. TABLETOP 2008, pp. 71 - 78, 2008.
- [6] D. A. Norman 著，野島久雄 訳：“誰のためのデザイン？”，新曜社，1990.



実世界

ユーザ視点

図13 体験風景(実物体の巣箱に色を塗っている)



(a) 卓上

(b) 仮想平面

(c) 実立体物(円柱)

(d) 仮想立体物
(机と椅子)

図14 作品例