

# 空間型作業での選択・移動操作を容易にする ピンセット型デバイスの実現

大槻 麻衣<sup>\*1</sup>, 高見 雄介<sup>\*1</sup>, 塚平 将司<sup>\*1</sup>  
木村 朝子<sup>\*2</sup>, 柴田 史久<sup>\*1</sup>, 田村 秀行<sup>\*1</sup>

## A Realization of Tweezers Device Facilitating Pick and Move Manipulation in Spatial Works

Mai Otsuki<sup>\*1</sup>, Yusuke Takami<sup>\*1</sup>, Masashi Tsukadaira<sup>\*1</sup>  
Asako Kimura<sup>\*2</sup>, Fumihisa Shibata<sup>\*1</sup>, Hideyuki Tamura<sup>\*1</sup>

**Abstract** -We have been proposed a set of devices for various manipulations in spatial works. The devices use metaphors of existing tools which are familiar in everyday life. Such tools have good affordance themselves, and at the same time, every user already has the mental model for their operations. We believe that such advantages not only lead users to the correct operation, but provide an intuitive operation. As the first device, we realized TweezersDevice which facilitates pick and move manipulations in the spatial works. This paper describes its details and the test-bed for its evaluations.

**Keywords:** Interactive manipulation, tool device, pick and move manipulation, tweezers.

### 1. はじめに

近年、コンピュータの処理能力の向上、電子化された作業の増大と共に、狭いモニタ画面上での平面的な作業を前提としたWIMP型GUIの限界が感じられるようになってきた。とりわけ、広い作業領域が必要な各種設計作業、多種多様なデータを一挙に扱うレイアウト作業、3次元物体への操作と奥行き知覚が必要な造形作業等での傾向が顕著である。

このような空間型作業（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、プロジェクタ投影タイプを含む）のための対話デバイスには WANDA や 3D マウス、データグローブ等が存在するが、誰もが直観的に操作でき、様々な作業を支援する対話デバイスは少ない。

そこで我々は、空間型作業に幅広く用いられ、対話操作を円滑にする新しい道具型の対話デバイスの研究を行っている。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となると考えられる。

対話デバイスを「専用」と「汎用」に分類した軸上では、本研究が目指すものは「準汎用」と位置づけられる（図 1）。先行研究の多くは、単一のデバイスによって様々な作業が可能で万能型のデバイスを目指しているのに対し、本研究では、実世界での作業により近づけるた



図 1 デバイスの汎用と専用

め、目的に応じて異なる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。

機器間でのデータ転送や、壁面ディスプレイへの描画用の対話デバイスに道具の形状を採用する研究はこれまでもいくつか存在する<sup>[1-4]</sup>。これに対して我々は、複数の道具型デバイスを利用することで、仮想空間での作業を直観的に行えるよう支援することを目的としている。

本稿では、このツールセットの最初の道具型デバイスとして構築した選択・移動用の対話デバイスであるピンセット型デバイスの実現と、その評価のために試作したテストベッドについて報告する。

### 2. 関連研究

既存の道具のメタファを利用した対話デバイスの研究は、これまでもいくつか報告されている。池田らは、実体のないデジタル情報を機器間でやり取りするために、現実の道具を模したデバイスを提案している<sup>[1]</sup>。例えばスポイト型デバイスの先端をディスプレイ上の曲名リストに接触させ、楽曲データを「吸い出す」操作を行うことで、そのデータをデバイス内に格納することができる。続けてスピーカに取り付けられたカップの上にデータを「押し出す」ことでその曲を再生することができる。また Ryokai らは新しい描画ツールとして、I/O Brush

\*1: 立命館大学

\*2: 科学技術振興機構さきかけ

\*1: Ritsumeikan University

\*2: PRESTO

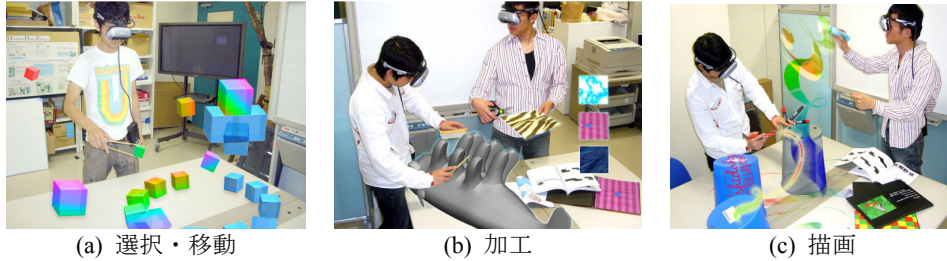


図2 想定する3つの操作

を提案している<sup>[2]</sup>。このデバイスは一般的な絵筆のような形状をしているが、ユーザは大画面に直接描画できるだけでなく、内蔵されたカメラによって、身の回りのあらゆるものを絵の具として利用することができる。北村らはVR空間における箸を用いた仮想物体の移動操作手法を提案している<sup>[3]</sup>。MR分野においては加藤らが実物のパドルを用いて仮想の家具をすくい、移動するインテリアデザインシステムを提案している<sup>[4]</sup>。

これらの研究はどれも既存の道具のメタファを利用し、直観的な操作を実現している。本研究でも同様にデバイスに既存の道具のメタファを利用するが、本研究が目指す道具型デバイスには以下のような特徴がある。

- ・ 空間での様々な作業を容易にすることができる「デバイスセット」を目指す。すなわち、ユーザは実世界同様、用意された複数のデバイスの中から操作に応じて最も適切なデバイスを選択する。
- ・ ユーザがその操作方法を直観的に理解できるよう、各デバイスは外観だけでなく操作方法や操作結果の応答・確認用のユーザフィードバックも、その道具らしいものとする。
- ・ 同じデバイスを使って、仮想物体だけでなく、実物体も同じように操作できる。

我々は、上記デバイスセットを考える上で、まず広い空間に適した作業として、設計、レイアウト、立体造形等を想定し、それらを実現する操作として、選択・移動、加工、描画という3つの操作(図2)に絞り込みデバイスの開発を行うこととした。

### 3. ピンセット型デバイス

#### 3.1 選択・移動のための道具

本研究では、まず選択・移動を行う道具型デバイスの実現から着手した。コンピュータのユーザインタフェースではマウスによるドラッグ&ドロップで実現されるこの操作を、本研究では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。

実世界でモノを選択・移動する道具には、ピンセットの他にも、箸、スプーン、フォークなどが存在する。しかしこれらの道具は、選択・移動以外にもモノ(食べ物)を切る、潰すなどの用途が考えられる。これに対してピンセットは、選択・移動に特化した道具であり、その形

状から選択・移動以外の用途を想像する余地がほとんどない。すなわちユーザはピンセットの外観から、移動・選択という用途と、その使い方を容易に想像することができると考えられる。

#### 3.2 ピンセット型デバイスの実現

##### 【外観】

図3に本研究で試作したピンセット型デバイスの外観を示す。ピンセット型デバイスの外観は、一般的なピンセットを容易にイメージできるデザインとした。

##### 【内部機構】

図4にピンセット型デバイスの内部機構を示す。ピンセット型デバイスを使って空間に配置された仮想物体を選択・移動するためには、まず以下の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)位置にあるかどうかを判定したり、ピンセット型デバイスで選択した仮想物体をデバイスに追従して表示する機能。

(2) 挟み幅検出：仮想物体を挟んだかの判定機能。

試作デバイスでは、前者用にPolhemus社製の磁気センサ3SPACE FASTRAKを、後者用に一般的な回転式ポテンシオメータを内蔵する。実物のピンセットでは、挟むモノの大きさに応じて、必要な挟み幅が変わる。ピンセット型デバイスでも、仮想物体が大きい場合はデバイスを少し閉じるだけで選択でき、小さい場合は挟み幅がその仮想物体の大きさと同じになるまで選択されないよう、

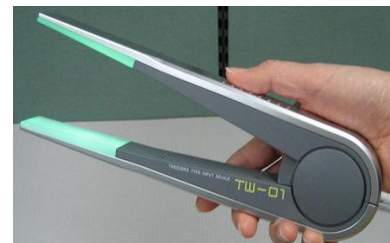


図3 ピンセット型デバイスの外観

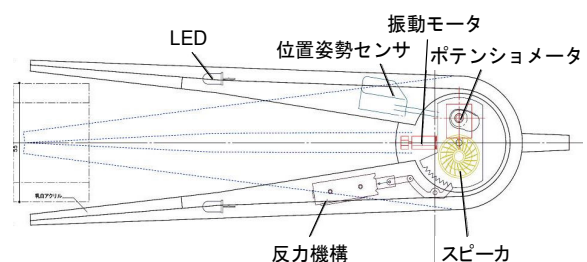


図4 ピンセット型デバイスの内部機構

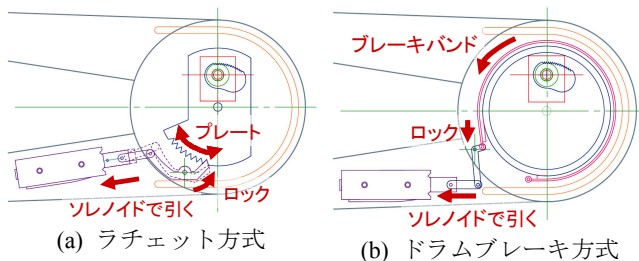


図5 反力提示機構

デバイスの挟み幅は64段階で取得する。

次に操作結果の応答、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：あたかもピンセット型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。

(4) 反力提示：ピンセットでモノを挟もうとするとき、ピンセットの両先端の内側の面がそのモノに触れると、ピンセットの側面をそれ以上押し込んでも挟み幅は小さくならず、ユーザは指に反力を感じる。ただし挟んでいるモノの硬さ・軟らかさに応じてこの反力は異なり、硬いモノを挟んでいる場合は、側面をどんなに強く押ししても挟み幅は変わらないが、軟らかいものを挟んでいる場合は、側面を押し強さに応じて挟み幅が変化する。以上のような反力を提示する。

(5) 触感提示：操作対象が動きを伴う仮想物体であるときに、その動きを提示するため振動を提示する。またこの振動は、上記(4)のような反力ではなく、機構の単純な振動を操作結果の応答・確認のために提示することで、どの程度操作感が得られるのかを検証するためにも利用する。

(6) 視覚提示：デバイスの動作確認のため、デバイスの状況を光で提示する。

試作デバイスでは、(3)(5)(6)を実現するためデバイス内部に小型スピーカ、振動モータ、RGB3色のLEDを内蔵する。また(4)の反力については、以下のような機構を内蔵する。まず何も挿んでいないピンセットの金属バネの触感を再現するために、ピンセット型デバイスの支点到バネを内蔵する。また仮想物体の大きさ・硬さに応じて反力を提示する機構として、本研究では、ラチェット方式とドラムブレーキ方式の2種類の反力提示機構を考案・試作した(図5)。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。この方式では、仮想物体の大きさに応じて先端の挟み幅をロックすることができるが、仮想物体の硬さに応じた反力提示はできない。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、仮想物体の大きさに応じて挟み幅を固定するだけでなく、仮想物体が

軟らかい場合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、仮想物体の軟らかさを提示することができる。

### 3.3 ピンセット型デバイスを用いたインタラクション

3.2で述べたピンセット型デバイスを用いることで、以下のようなインタラクションが可能となる。

#### (a) 選択(挟む)

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。デバイスの3次元位置は磁気センサより取得可能であるため、3次元空間内に配置されている／移動している仮想物体を直接選択することができる。またドラムブレーキ方式のピンセット型デバイスでは、もう1段階強く挟むことで仮想物体が変形する／仮想物体の詳細情報が提示されるなどの操作も考えられる。

#### (b) 移動・回転

選択された仮想物体を、3次元空間の任意の場所へ移動することができる。また、磁気センサによってデバイスの位置だけでなくその姿勢も取得可能であるため、デバイスを回転しながら移動させることで、仮想物体の移動と回転を同時に行うことが可能である。

#### (c) 選択解除(放す)

仮想物体を把持している力を緩め、デバイスの先端を開くことによって、仮想物体を放すことができる。この際、仮想物体をその場で放す、机上などに落とす、投げるなどの方法が考えられる。

## 4. デバイス評価のためのテストベッド

### 4.1 評価すべき項目

ピンセット型デバイスの特性を確認するための評価実験用テストベッドを構築するにあたり、以下のような評価項目を設定した。

- ・ 操作方法の学習の容易さ
- ・ 静止・移動している仮想物体の選択の容易さ
- ・ 仮想物体の移動・回転の容易さ・正確さ
- ・ 仮想物体を目的の位置に配置(選択解除)する際の容易さ・正確さ
- ・ 操作結果の応答、確認のための各種機構の有用性

### 4.2 テストベッドのシステム構成

ピンセット型デバイスの機能を検証するために、作業空間をMR空間としたテストベッド、すなわち試作したピンセット型デバイスでMR空間中の仮想物体を選択、移動・回転、選択解除することが可能なシステムを構築した(図6)。ピンセット型デバイスの入出力制御は、デバイス制御用I/O BOXを介してデバイス制御用PC(Panasonic製Let'sNoteR5)からシリアル通信で行う(図7)。ピンセット型デバイスと仮想物体が選択可能な位置関係にあるか、仮想物体を選択したかどうかは3.2で述べたデバイス内蔵の磁気センサとポテンショメータの情報をもとに判断する。ピンセット型デバイスが仮想物体を選択するとLEDが選択した物体に応じた色に点灯、効果音が再生、振動モータの稼働、物体の大きさに応じた

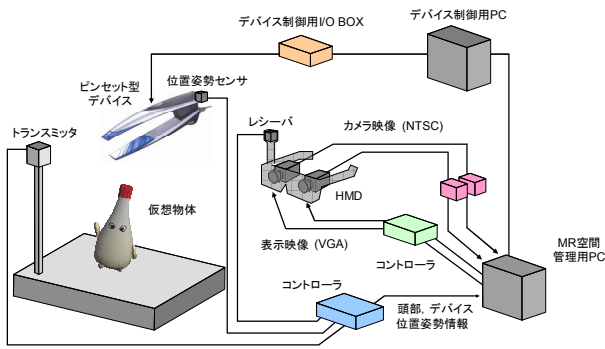


図6 システム構成

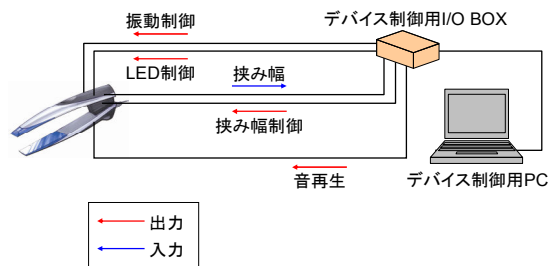


図7 ピンセット型デバイスの入出力制御

開口角度での反力提示がデバイス制御用 I/O ボックスを通じて行われる。MR 空間の提示は、キャノン製の MR プラットフォーム・システムを用い、ユーザはビデオシーンスルー型 HMD (Canon VH-2002) を装着することで、現実世界の光景と CG で描いたオブジェクトの実時間合成結果を確認することができる。

### 4.3 テストベッドの機能

テストベッドシステムでは、3次元空間に配置/動き回る仮想物体をピンセット型デバイスで挟み、実物/仮想の容器の中に入れることができる。また仮想物体の大きさ、移動速度と容器の大きさを任意に設定することが可能である。仮想物体を実物/仮想の容器に入れる方法としては、仮想物体を選択した状態から、ピンセット型デバイスを容器の上で開く、またはピンセット型デバイスを開きながら仮想物体を容器の方へ放り投げるという2種類を実装した。仮想物体を投げた方向と飛距離は、ピンセット型デバイスを開いた時のデバイスの3次元位置と、その直前の3次元位置から算出する。最終的には、正しく選択、移動、選択解除できた回数とそれぞれの作業にかかった時間を記録することができる。

### 4.4 体験システム

前述のテストベッドを利用し、CGのごみを実物のごみ箱に分別するという体験システムを作成した。体験者がピンセット型デバイスでCGのごみを選択する(図8(a))と、スピーカから効果音(ごみの悲鳴)が提示され、選択されたごみは各々に設定されたアニメーション(缶がつぶれる、暴れるなど)を行う。ごみが暴れるアニメーションの際には、その動きに応じて振動を提示する。体験者は挟んだごみを対応するごみ箱の上で放すことで分別を行う(図8(b))。ごみを放り投げる(図8(c))

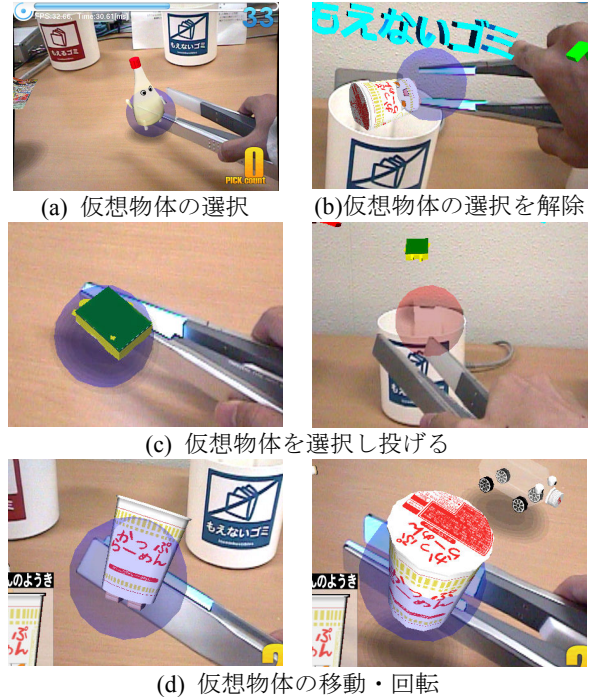


図8 ピンセット型デバイスによるインタラクション

ことも可能である。デバイスの開口角度のロックはごみの大きさに応じて決定する。ドラムブレーキ式のデバイスを用いる場合は、各ごみのやわらかさも提示する。体験者はごみを選択した状態でデバイスを動かすことで、ごみを3次元空間中の任意の位置に動かすことができる。また、デバイスを回転させることでCGのごみを様々な方向から観察することができる(図8(d))。体験終了後、正しく分別できた数と分別の早さに応じた評価が表示される。

## 5. むすび

空間型作業を支援する新しい対話デバイスとして、複数の道具型デバイスをツールセットとして利用する方式を提案し、その第1弾として選択・移動操作のためのピンセット型デバイスを実現した。またデバイスの評価のためのテストベッドも試作した。今後はピンセット型デバイスの評価を行うとともに、加工、描画用の道具型デバイスを順次設計・開発していく。本研究は、JST 戦略的創造研究推進事業(さがけタイプ)「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] 池田洋一 他: 道具の持つアフォーダンスを利用した触覚フィードバックデバイス, 日本 VR 学会論文誌, Vol. 7, No.3, pp. 339-345, (2002).
- [2] K. Ryokai *et al.*: I/O Brush: Drawing with everyday objects as ink, Proc. of CHI 2004, pp.303-310, (2004).
- [3] Y. Kitamura *et al.*: Virtual Chopsticks: Object manipulation using multiple exact interactions, Proc. of IEEE VR, pp.198-204, (1999).
- [4] H. Kato *et al.*: Virtual object manipulation on a table-top AR environment, Proc. of ISAR 2000, pp.111-119, (2000).