

# 仮想作業空間における 3次元形状操作ツールの実現

平池 龍一・篠原 克也 (日本電気・中央研究所)

## Abstract

Virtual manipulating tools; virtual hand, cutter, stick and color-ring, which increase usability of three-dimensional(3D) shape design, are developed. The virtual hand enables a user to grasp, move, and assemble objects directly. The virtual cutter can be used to deform objects. A user can also paint objects by pointing an arbitrary color on the virtual color-ring with the virtual stick. With these tools, 3D shapes can be easily designed in the virtual working space.

**Keywords:** Virtual/Artificial Reality, Human-Computer Interface/Interaction, Virtual Tool, Direct Manipulation, Three-Dimensional Shape Modeling.

## 1. はじめに

近年、計算機の作り出した仮想的な3次元空間の中に入り込んで、歩き回ったり、そこにある仮想的な物体に触れるなど、様々な疑似体験を可能とする人工現実感 (VR: Virtual Reality) の技術が注目を浴びている<sup>[1]</sup>。

我々は、VR技術の利用により操作性の向上を実現する新たなヒューマンインタフェースとして、仮想空間にある物体を自分の手で直接操作しながら形状設計などを行う手法である「ダイレクトモデリング手法」を提案している<sup>[4-5]</sup>。本手法を用いることで、設計者 (デザイナー) はあたかも粘土細工を行うかの如く、3次元形状の組立/変形を繰り返しながら、造形作業を進めることが可能となる。

本稿では、ダイレクトモデリング手法の拡張として、操作者の手の動きに連動する仮想的な操作ツールを用いて物体の形状や色を変更する手法について述べる。また、自動車の意匠設計を例として、提案手法を実装した実験システムについて述べる。

## 2. 3次元形状操作ツール

操作者は、手袋型の入力機器 (データグローブ) と立体視用の液晶シャッター眼鏡を装着して、計算機内に作り出した仮想的な3次元空間 (仮想作業空間) の中で造形作業を行う [写真1]。

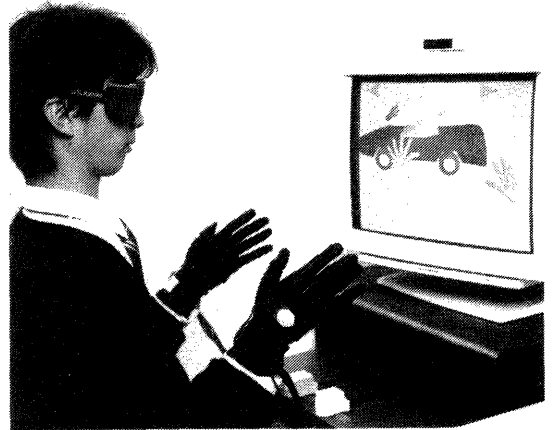


写真1 仮想空間における造形作業

Virtual Tools for Three-Dimensional Objects Manipulation  
HIRAIKE Ryuichi, SHINOHARA Katsuya (NEC Corporation)

造形作業は、

- ① 仮想的な手で物体を掴んで移動する。
- ② 仮想的なカッターで物体を削って変形する。
- ③ 仮想的な指示棒でカラーリング上の所望の色を指示することで物体に着色する。

という操作を繰り返すことにより行う。

以下では、上記三つの仮想ツールと形状操作手法について述べる。

## 2.1 把持ツール

物体の把持は、人の手の形状に類似した仮想的な手で対象を掴むことにより行う〔写真1〕。掴むことで複数の物体の中から特定の物体が選択される。仮想手は操作者の手（指）の動きに連動しており、掴んだ状態で手を動かすことにより特定の物体を移動することができる。

把持の方式として、

- ① 2本の指で物体を挟み込む方法

- ② 手全体で物体を包み込む方法

の二つの方法を併用する方式を採用した。操作者は、①および②の把持方法を自由に選択できる。システムは常時、①に対する把持判定を行っており、“掴む”というジェスチャが生じた時点で、②に対する把持判定を行う。次に、①および②の方法について詳述する。

①では、複雑な形状に対しても実時間で把持判定を行えるように、指先と物体との直接的な接触ではなく、物体を外包する直方体と指先との位置関係により判定する手法を開発した。具体的には、外包直方体の対向する面の一方から親指の指先を挿入するとともに、他方の面から親指以外の指の指先を挿入するものである〔図1(a)〕。この際、指先を球で、外包直方体を物体に固有な座標系の各座標軸に垂直な平面で構成しておく。その結果、球の中心座標を直方体に固有な座標系に変換した後は、比較などの処理量の少ない演算で指先と外包直方体との位置関係の判定（内外判定）が可能となった。

②でも、複雑な形状に対しても実時間で把持判定を行えるように、①と同様の外包直方体を利用している。ただし、②では特定のジェスチャを行った際の手と物体との簡単な位置関係に基づいて判定する手法を開発した。具体的には、“掴む”というイメージを象徴する

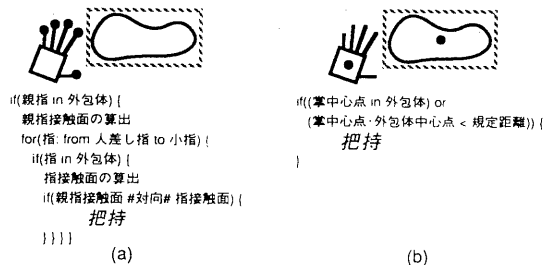


図1 物体の把持判定

「すべての指を屈曲する（グー）」というジェスチャがなされた時点で、掌の中心点と外包直方体の中心点とが一定距離内に存在するか、あるいは掌の中心点が外包直方体の内部に存在する場合に、把持したと判定する〔図1(b)〕。②は“掴む”ためのジェスチャが生じた時点でのみ把持判定を行えばよいと、常に指と外包物体との内外判定を行うことで把持の有無を判定している①と比較して、無視できる処理量で実現できた。

上述した二つの方法を併用する方式を用いることにより、操作者は空間に密に配置された物体群の中からも、①の方法を使って、所望の物体を確実に選び出せるとともに、空間に疎らに配置された物体群からは、②の方法を使って、所望の物体をより簡単に掴むことが可能となった。

## 2.2 変形ツール

物体の変形は、操作者の手の動きに連動する平面状の仮想的なカッターで、対象の一部を切り落とす操作（カット操作）により行う〔写真2〕。

平面カッターは、機能的には無限平面であるが、表示上は有限平面（半透明）である。操作者は、画面を見ながら手の位置と向きを変えることで、仮想空間内の自由な位置／向きに平面カッターを設定可能である。

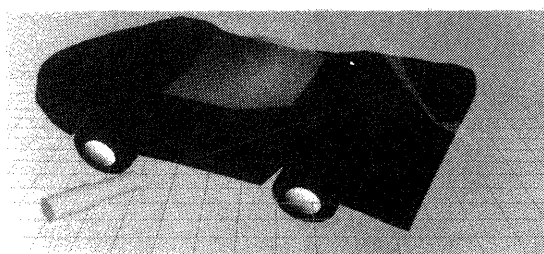


写真2 仮想カッターによる物体の変形  
左側の円柱は指示棒、右側の四角い平面がカッター

カット操作は両手を使って行う。まず、操作者の一方の手に対応する仮想手で対象物体を掴む。これにより、仮想空間内にある複数の物体から、無限平面カッターによる切断の作用を受ける対象を選択している。次に、操作者のもう一方の手に対応する平面カッターを切り落したい部分に設定した状態で、「すべての指を屈曲する」というジェスチャをする。このカット操作により、平面の片側（操作者の手の甲の側）に存在する部分が切り捨てられる。

物体の形状データは、境界表現法（多面体）で記述されている。カット操作が生じると、集合演算により図形要素（頂点／稜線／面）を追加／削除することで、形状を変形する。カット操作を繰り返すことにより、任意の凸多面体形状を作成できる<sup>[3]</sup>。例として、2回のカット操作により直方体を変形している様子を図2に示す。凹多面体形状は、複数の凸多面体形状を互いに接合することにより作成する<sup>[4-5]</sup>。

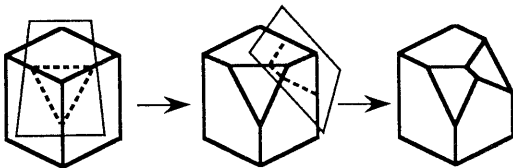


図2 カット操作による形状変形

操作者の手の動きに連動する平面カッターを用いた結果、数値入力やカーソルでの図形指示という複雑な操作を繰り返していた従来手法に比べて、アクション回数の低減に伴い効率的な変形作業が可能となった。

### 2.3 着色ツール

物体の着色は、操作者の手の動きに連動する仮想的な指示棒で、連続的に色が変化するしているカラーリング上で所望の色を指示することにより行う[写真3]。

物体の着色時には、まず着色対象となる物体を選択する。具体的には、仮想手で対象物体を掴んでカラーリングの中に置く。もし、物体の中心点がリングの中心点から一定の距離内に存在すれば、その物体を着色対象として選択する。選択された場合には、リングの内周および外周を物体と同一の色に変化させることで、どの物体が着色対象となっているのかを操作者に示す。このようにして、仮想空間内にある複数の物体から、着色作用を受ける対象を限定しておく。

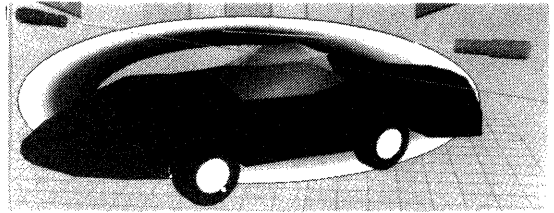


写真3 仮想指示棒による物体の着色

カラーリングは、二つの角錐形状を底面で張り合わせたHLSモデル<sup>[2]</sup>の側面を、一方の頂点が内周に、他方の頂点が外周に対応するように平面状のリングにマッピングして生成した[図3]。このためリング上では、周方向に色相が、径方向に明度／彩度が連続的に変化する。

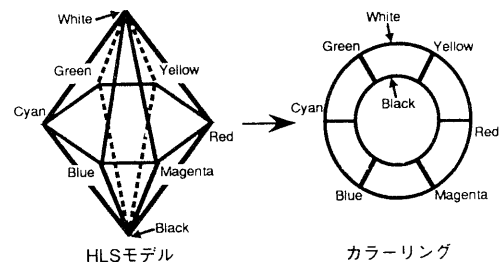


図3 カラーリングの生成（色モデルの変換）

操作者の手の動きに連動する指示棒でカラーリング上の色を指示しながら着色する手法を採用した結果、RGB成分毎に輝度を設定したり、テーブル内の限られた色の中から選択する手法に比べて、容易に好みの色に着色することが可能となった。

ただし、カラーリングでは立体表面のみを平面へマッピングしたものであり、立体内部はマッピングされていないため、フルカラー（約1600万色：RGB各成分を256階調で表現）とはならない。そこで、両手に対応する二つの指示棒で選択した2色に対して、RGB各成分毎に演算を施して1色を合成することにより、物体の色としてフルカラーの中から選択することを可能とした。

### 2.4 仮想ツール間の切り替え

以上に述べた仮想ツールは、ジェスチャにより切り替えることができる。手とカッターとの切り替えには、通常は起こり得ない「親指のみを曲げて伸ばす」というジェスチャを用いた。また、指示棒への変換には、手の形との対応が直感的でわかり易い「人差し指のみ

を伸ばす」というジェスチャを用いた。図4に「掴む」「切る」などの各仮想ツールでのジェスチャと、仮想ツール間の切り替えを行うためのジェスチャを示す。

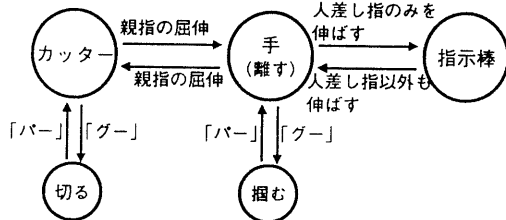


図4 ジェスチャによる状態遷移

### 3. 実現例

以上に述べた種々の仮想ツールを実装した実験システムとして、自動車の意匠設計/デザイン検討を支援するシステムを試作した〔図5〕。本システムでは、ボディおよびタイヤに対する変形・着色操作の他、ボディへのタイヤの取付作業を行うことができる。

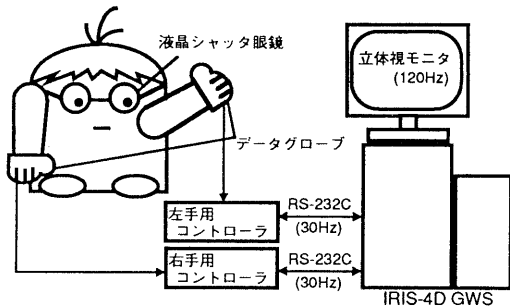


図5 システム構成

#### 仮想ボタン

本システムでは、キーボードやマウスによるメニュー選択に代わるインタフェースとして、仮想的な押しボタンを実装した〔写真4〕。操作者が仮想手の指で仮想ボタンを押すと、次のように動作する。中央のボタンをカラーリングが現れる。また、その左右のボタンを押すと各々ボディとタイヤが格納された半透明のパーツケースが現れる。さらに、両端の三角ボタンを押すと操作者の視点の位置を変更することができる。

#### 仮想パーツケース

パーツケースは、仮想空間を有効に利用するために、通常は表示されておらず、仮想ボタンを押した時点で表示される。また、ケースにはボディおよびタイヤが縮小サイズで格納されている。操作者は、任意の方向

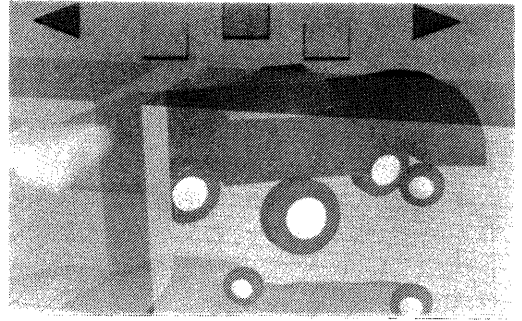


写真4 仮想ボタンと仮想パーツケース

最上部の横一列が仮想ボタン、左下部がボディ用仮想パーツケース、中央下部がタイヤ用仮想パーツケース

からパーツケースに手を入れて、対象を取り出すことができる。対象は操作者が初めて手で掴んだ瞬間から標準サイズとなる。

このように本システムでは、形状の作成、メニューの選択など、すべての操作を手（データグローブ）の動きに連動する仮想ツールで行っており、従来の入力機器（キーボード、マウス、ダイヤルなど）を用いた方式と比べて容易な操作が可能となることを確認した。

### 4. おわりに

本稿では、仮想的なツールを使って直接仮想物体を操作しながら3次元形状の作成を行う手法を提案した。実験システムにより、従来の入力機器を用いた方式に比べて操作が容易となることを確認した。

今後は、簡単に掴む/思い通りに変形するという観点から、定量的な実験を重ねながら操作手法の改良を図る予定である。

#### 謝辞

本研究の機会を与えて頂いた日本電気(株)C&Cシステム研究所山本所長に深謝致します。また、本研究を進める上で有益な御意見を頂いたターミナルシステム研究部 西谷部長 ならびに 川越課長に感謝致します。

参考文献

- [1] "人工現実感の世界", 電気・情報関連学会 連合大会講演論文集 PART3-S16, Sep. 1991.
- [2] "Computer Graphics: Principles and Practice", Addison-Wesley, 1990.
- [3] 関根 他: 平面カーソルを用いた対話的な形状モデリング, 情報グラフィクスとCAD研究会, Vol. 87, No. 56, Aug. 1987.
- [4] 平池 他: 仮想作業スペースにおけるダイレクトモデリング手法, 情報 第43回全大4F-13, Oct. 1991.
- [5] 平池 他: 人工現実感による3次元形状操作, 機械 第1回設計工学システム部門講演会129, Jan. 1992.