

## 仮想空間中での手書き認識に基づいた 3次元モデリングインターフェース“BlueGrotto”の提案

井上 智之<sup>†</sup> 西住 直樹<sup>††</sup> 鈴木 伸明<sup>†</sup> 安福 尚文<sup>†</sup> 佐賀 聡人<sup>†</sup>

<sup>†</sup>室蘭工業大学 情報工学科

<sup>††</sup>株式会社 朋栄

### 概要

空間中の手書き動作から、線分、円、円弧、楕円、楕円弧、閉自由曲線、開自由曲線といった幾何曲線プリミティブを同定する空間ジェスチャ同定手法 FSCI-3D が既に提案されている。本稿では FSCI-3D とヘッドマウントディスプレイ、位置センサ付スタイラス、スペースマウスといったデバイスを装備した没入型仮想環境を組み合わせることで、3次元モデリングインターフェース“BlueGrotto”を構築することを提案する。また“BlueGrotto”を用いることで、ユーザが一貫した描画ジェスチャと簡単な操作で様々な種類の立体図形プリミティブを生成できることを実験結果により示す。

## A 3-D Modeling Interface “BlueGrotto” on the Basis of Drawing Gesture Identification in Virtual Space

Tomoyuki INOUE<sup>†</sup> Naoki NISHIZUMI<sup>††</sup> Nobuaki SUZUKI<sup>†</sup>  
Naofumi YASUFUKU<sup>†</sup> Sato SAGA<sup>†</sup>

<sup>†</sup>Department of Computer Science and Systems Engineering,  
Muroran Institute of Technology

<sup>††</sup>FOR.A

### Abstract

A spatial gesture identification technique named FSCI-3D, which identifies geometric curve primitives such as lines, circles, circular arcs, ellipses, elliptic arcs, open free curves and closed free curves from spatial freehand drawing, has been proposed. This paper proposes to construct a 3-D modeling interface “BlueGrotto” by combining FSCI-3D and an immersive virtual environment that is equipped with some devices such as a head mounted display, a stylus with a position sensor and a space mouse. Some experimental results demonstrate “BlueGrotto” enables a user to create various types of solid primitives by consistent drawing gestures and some simple operations.

## 1 はじめに

伝統的な 3 次元 CAD では立体図形の生成が作図平面上での間接的操作によって行なわれ、直感的な作業が難しい。一方、直接的な立体図形入力法としては、VLEGO[1]、SKETCH[2]、Teddy[3]などいくつかの試みがなされている。VLEGOでは、VR 環境中で立体図形プリミティブを組み合わせることにより直接的に立体のデザインを行なう環境が実現されているが、立体図形プリミティブ自体の生成に関しては直接的な手法がとられていない。SKETCHでは、直接的操作による立体図形プリミティブの生成を実現しているが、本格的な空間描画認識が行なわれていないため操作に一貫性がなく汎用性は高くない。さらに Teddy も直接的な描画による 3 次元構造物の生成を実現しているが、描画認識に重きを置いていないために主に自由形状物体の生成に用途が限られる。

ところで我々は既に、平面上の手書き描画動作から CAD 図形の構成要素として重要な幾何曲線プリミティブを認識する手法 FSCI を提案し、この FSCI を用いた 2 次元手書き CAD 図形入力インターフェースを構築した [6]。また一方で、FSCI を 3 次元に拡張することによって空間中の手書き描画動作から幾何曲線を認識する手法 FSCI-3D [4, 5] を開発した。

本稿では、FSCI-3D と没入型 VR デバイスを組み合わせることにより、3 次元 CAD で有用な種々の立体図形プリミティブを仮想空間中での直接的な操作により入力できる汎用的な手書き立体図形入力インターフェース “BlueGrotto” を提案する。

## 2 FSCI-3D の概要

文献 [4, 5] で提案されている FSCI-3D は、空間中において一筆書きされた曲線を、描画の停止性に基づいて小区間に分割し(セグメンテーション)、分割された各々の区間を基本的な 7 種類の幾何曲線プリミティブの何れかとして同定する(曲線同定)手法である。このとき、FSCI は曲線の形状とともにその描画動作の雑さの程度をファジィ情報として活用することを特徴としており、これによって描画の具体的な形状がどの程度意図的なものであったかを把握し、書き手の描画意図を推論する。

## 2.1 セグメンテーション

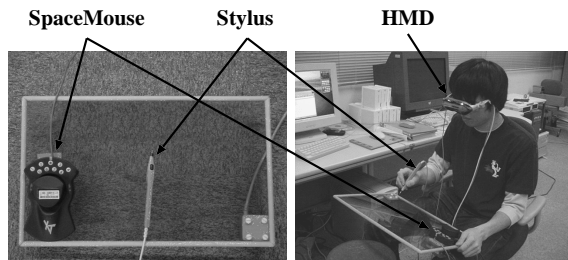
曲線描画中においてスタイラスの先が停止した点を検出し手書き曲線を分割する。ここで、実際の人間の描画では、たとえ書き手に停止させる意図があっても、必ずしも厳密に停止するとは限らない。このため FSCI-3D は、描画動作の雑さの程度を考慮した上で描画動作の停止性を評価し、丁寧な停止動作に対しては確定的分割点を検出する一方、あいまいな停止動作に対しても柔軟に対応して非確定的な分割点を検出する。これにより確定的分割点を自動分割する一方で非確定的な分割点を提示してユーザに最終的なセグメンテーションの意思を確認させるといったユーザーインターフェースを構築することができる。

## 2.2 曲線同定

分割された手書き曲線の各々が 7 種類のクラスの幾何曲線プリミティブ(線分(L)、円(C)、円弧(CA)、楕円(E)、楕円弧(EA)、閉自由曲線(FC)、開自由曲線(FO))の何れを意図して描画されたのかファジィ推論し、その結果をファジィ幾何曲線として同定する。ただし、ここでファジィ幾何曲線とは、7 種類の曲線クラス名を台集合とする離散的なファジィ集合によって表されるファジィ曲線クラスと 7 種類の曲線クラスのそれぞれに対応した形状パラメータをセットにしたものである。これはまた、ファジィ曲線クラスの各グレード値の大きさの順によって順序付けられる 7 つの幾何曲線候補群とみなすことができるため、この同定結果の第 1 候補の曲線クラスがユーザの描画意図と合致しない場合でもユーザ指示に従って次候補を順次提示するユーザーインターフェースを容易に構築することができる。

## 3 “BlueGrotto” の入力デバイス構成

提案する “BlueGrotto” の入力デバイスを図 1 に示すように、画板、スタイラス、スペースマウス、およびヘッドマウントディスプレイ(HMD)によって構成する。スタイラスは画板に固定したトランスミッタからの相対的な位置および姿勢を 6 自由度で検出することのできる ON・OFF スイッチ付きのペン型磁気センサで仮想空間への描画を行うために用いる。一方、画板に固定したスペースマウスは 3 次元的な “ひねり” や “ずらし” の程度を 6 自由度で検出するデバイスで図形空間の移動や



(a) 画板とスタイラス (b) 描画風景  
 図 1: “BlueGrotto” の入力デバイス構成

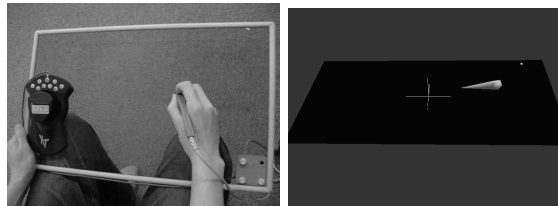


図 2: 画板とスタイラスに対応した、仮想画板と仮想スタイラス

回転を操作するために用いる。HMD には磁気センサが取り付けられており、ユーザの頭と画板の相対的な動きに合わせて仮想空間をユーザに立体視映像として提示するために用いる。

#### 4 “BlueGrotto” の 3 次元モデリングインターフェース

“BlueGrotto” の 3 次元モデリングインターフェースは図 2 に示すように、入力デバイスの画板およびスタイラスに対応した仮想画板および仮想スタイラスが表示される HMD による没入型仮想空間中に構成する。以下では、提案するモデリングインターフェースを「立体図形プリミティブ手書き入力インターフェース」、「図形空間移動回転操作インターフェース」、および「空間グリッド操作インターフェース」に分けて示す。

##### 4.1 立体図形プリミティブ手書き入力インターフェース

“BlueGrotto” における立体図形プリミティブ入力は、基本的に、スタイラスを用いた手書き描画で「スイープ図形」および「スイープ経路」を入力することで行う。図 3 に立体図形プリミティブ手書き入力インターフェースの流れを、モードの流れとデータの流に注目して示す。図中の太線の四角形はモードを、太い矢印はモードの流れを示す。モードの中の角丸四角形で囲まれた部分は上部がユーザの入力操作を、下部がそれによって行なわれる処理を示す。また細線の四角形はデー

タを、楕円は処理を、点線矢印はデータの流を示す。以下ではスイープ図形入力とスイープ経路入力に分けてその処理を順に示す。

##### 4.1.1 スイープ図形入力

###### (1) 手書き曲線取得

スイープ図形入力モードで、ユーザがスタイラスのスイッチを押しながら曲線を描画し始めると、手書き曲線取得処理が開始される(図 4-(a))。曲線描画が終わった時点でスイッチを離すと、手書き曲線がセグメンテーション処理に渡される。

###### (2) セグメンテーション

FSCI-3D が曲線描画動作の停止性を評価して、一筆書きの曲線を複数のセグメントに分割する。分割結果は確定的分割点および非確定的分割点が付加された分割情報付き手書き曲線として出力され、曲線分割モードに移行する。

###### (3) 分割点修正

曲線分割モードでは分割情報付き手書き曲線データを表示しユーザに分割意志の確認を促す(図 4-(b))。確定的分割点は球マークで、非確定的分割点は円錐マークで表示され、ここでユーザは分割意志のある非確定的分割点のマークをスタイラスでピックアップすることでこれらを確定的分割点に反転させ分割点を修正することができる。所望の分割点修正をすべて終了した時点で空間をクリックして確定の意図を伝えると、確定的分割点において分割された手書き曲線が曲線同定処理に渡される。

なお、曲線分割モードで空間をダブルクリックすることで、ここまで行なわれた処理をキャンセルし、スイープ図形入力モードに戻ることもできる。

###### (4) 曲線同定

FSCI-3D が分割された各々のセグメントをファジィ幾何曲線として同定することでファジィ幾何曲線列を出力し、次候補選択モードに移行する。

###### (5) 次候補選択

次候補選択モードでは、各々のセグメントのファジィ幾何曲線から第一候補の幾何曲線を選出して構成した幾何曲線列を表示し、ユーザの確認を促す(図 4-(c))。ユーザは、意図にそぐわない幾何曲線のクラスボックス(曲線クラス表示のある立方体マーク)を順次ピックアップし次候補選択を行なう。ユーザが所望の候補選択を終了した時点で空間をクリックして確定の意図を伝えると、幾何曲

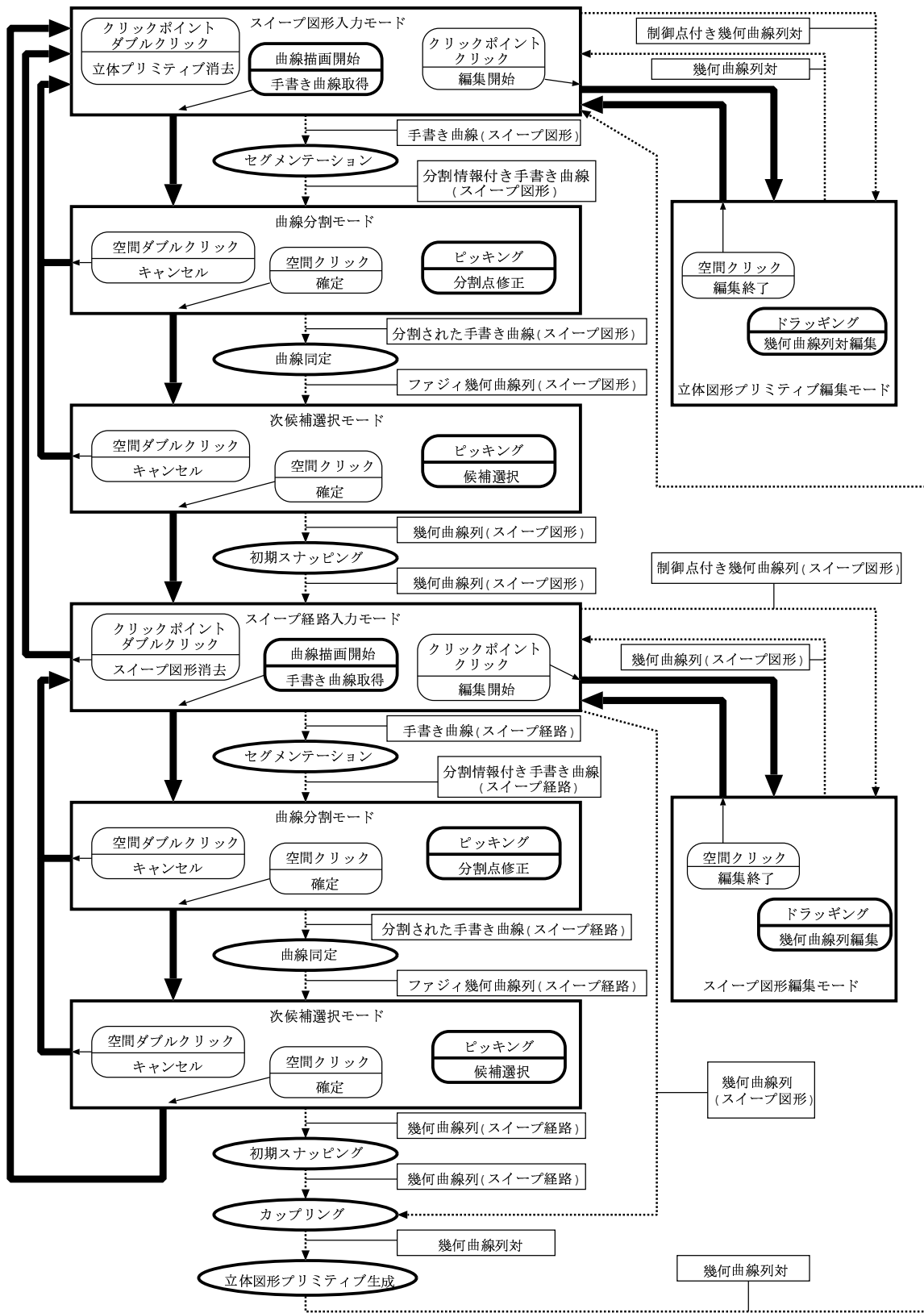


図 3: 立体図形プリミティブ手書き入力インターフェースの流れ

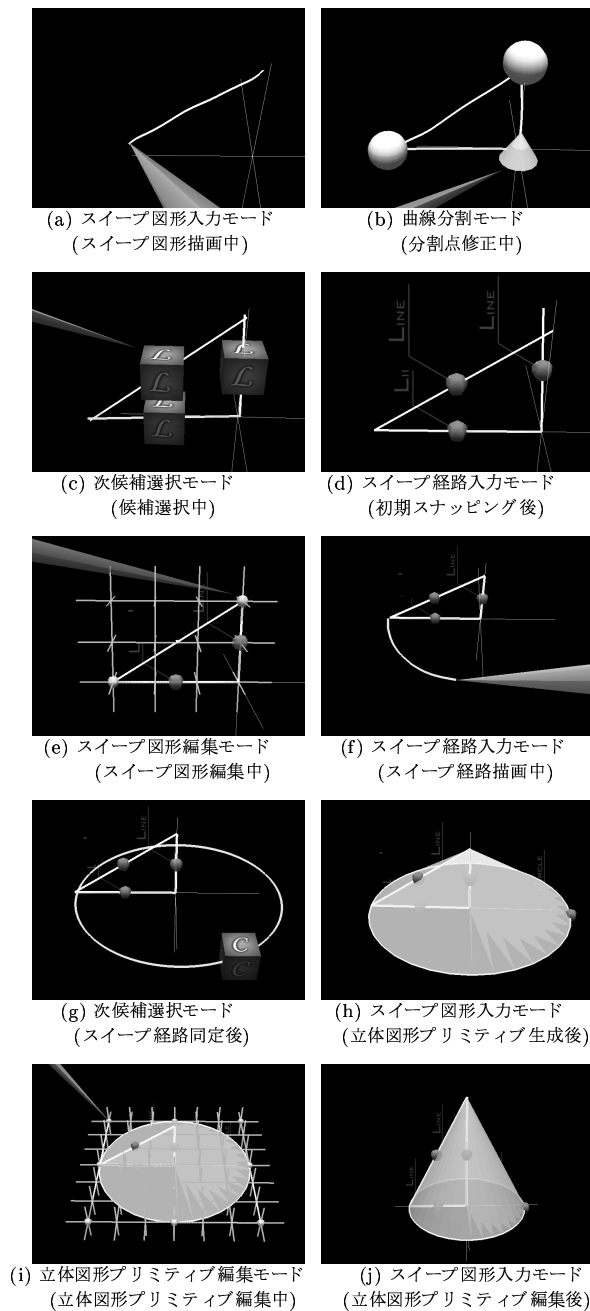


図 4: 立体図形プリミティブ手書き入力インターフェースにおける実際の入力例

線列が初期スナッピングに渡される。

なお、次候補選択モードでも空間をダブルクリックすることで、ここまで行なわれた処理をキャンセルし、スイープ図形入力モードに戻ることができる。

#### (6) 初期スナッピング

予めユーザが設定した単位量に従って幾何曲線

の形状パラメータ値を切りの良い値に丸め込む(スナッピング)ことにより幾何曲線列を自動整形し、スイープ経路入力モードに移行する。

#### (7) スイープ図形編集

初期スナッピング後の自動整形されたスイープ図形は、スイープ経路入力モードにおいてクリックポイント(幾何曲線ごとに附属する球マーク)付きの幾何曲線列として表示される(図 4-(d))が、ここでユーザがクリックポイントをクリックすることでスイープ図形編集モードに移行することができる。

スイープ図形編集モードでは、初期スナッピングにより整形された幾何曲線を制御点とともに表示し、ユーザに編集操作を促す(図 4-(e))。ユーザは制御点をスタイラスでドラッグすることで図形の編集を行なう。システムはスナッピングを行ないながらスタイラスの動きに合わせてリアルタイムに幾何曲線と制御点の表示を更新し、ユーザの編集作業を助ける。ユーザが所望の形状が得られた時点で空間をクリックして確定の意図を伝えると、スイープ図形編集モードを終了しスイープ経路入力モードに戻る。

#### 4.1.2 スイープ経路入力

##### (1) 手書き曲線取得 - (4) 初期スナッピング

手書き曲線取得から初期スナッピングまでの処理をスイープ図形入力と同様に行ない(図 4-(f)(g))、スイープ経路の幾何曲線列を生成する。

##### (5) カップリング

直前に生成されたスイープ図形の幾何曲線列とスイープ経路の幾何曲線列を対にして立体図形プリミティブ生成処理にデータを渡す。

##### (6) 立体図形プリミティブ生成

スイープ図形の幾何曲線列をスイープ経路の幾何曲線列に沿って移動させた軌跡図形を求めることで立体図形プリミティブを生成し、スイープ図形入力モードに移行する(図 4-(h))。

##### (7) 立体図形プリミティブ編集

生成された立体図形プリミティブは、スイープ図形入力モードにおいてクリックポイント付で表示される(図 4-(h))が、ここでユーザがクリックポイントをクリックすることで立体図形プリミティブ編集モードに移行することができる。

立体図形プリミティブ編集モードでは、スイー

プ経路の幾何曲線列とスイープ図形の幾何曲線列の双方を制御点とともに表示し、ユーザにこれらの編集操作を促す(図4(i))。ユーザは制御点をドラッグすることで立体図形プリミティブの編集を行なう。システムはドラッグが行なわれる度に立体図形プリミティブの形状を変化させ、ユーザの編集操作を助ける。ユーザが所望の形状が得られた時点で空間をクリックして確定の意図を伝えると、立体図形プリミティブ編集モードを終了しスイープ図形入力モードに戻る(図4(j))。

#### 4.2 図形空間移動回転操作インターフェース

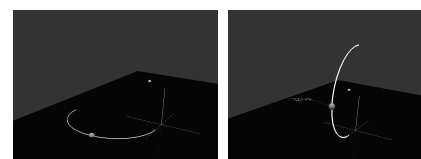
“BlueGrotto”はスペースマウスによって図形空間と仮想画板との相対的な位置関係の変更を6自由度でリアルタイムに行なうことのできるインターフェースフェイスをユーザに提供する。ユーザはスペースマウス上部のキャップをずらすことで図形空間の平行移動させたり、一方ひねることで画板の中央を中心として回転させたりすることができる。このような操作で描画しやすいように図形空間の位置、角度を合わせた上で、新たな描画を行なうことができる(図5-(a))。また、図形空間の任意の位置に画板表面を合わせた上で精密な平面描画を行なうことも可能である。例えば図5-(b)のように、入力された立方体の側面を画板表面に合わせることで、立方体側面への描画が可能となり、側面に対して垂直な円筒を描画することも容易に行なうことができる。

#### 4.3 空間グリッド操作インターフェース

“BlueGrotto”ではスタイラスを用いて空間グリッドを操作するインターフェースをユーザに提供し、ユーザの曲線描画を視覚的に補助する。仮想画板表面に表示されているクリックポイントををクリックすることで空間グリッドを表示させ、これを描画する際の目安として利用することができる(図6)。またクリックポイントをドラッグすることで任意の位置に空間グリッドを移動させて表示することも可能である。

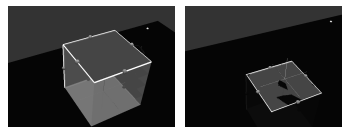
### 5 “BlueGrotto”における立体プリミティブ入力例

図7に“BlueGrotto”を使用した立体図形プリミティブの入力例を示す。これらは、セグメンテーション、曲線同定がユーザの意図した通りに行なわれ、かつ、スイープ図形とスイープ経路の位置

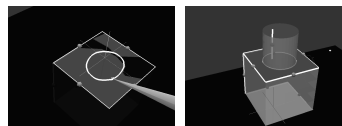


1. 図形空間操作前 2. 図形空間操作後

(a) 円弧を90°起こした例



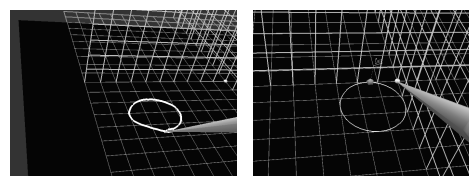
1. 図形空間操作前 2. 図形空間操作後



3. 側面への描画 4. 入力後

(b) 直方体の側面を画板に合わせて描画した例

図5: スペースマウスを用いた操作例



空間グリッドを用いた描画

空間グリッドの移動

図6: 空間グリッドの利用

が初期スナッピングによってうまく配置された例であり、このような場合では以下のように非常に少ない操作手順で立体図形プリミティブの入力を完了できることが分かる。

1. スイープ図形を描画する。
2. 空間をクリックする。(確定操作)
3. 空間をクリックする。(確定操作)
4. スイープ経路を描画する。
5. 空間をクリックする。(確定操作)
6. 空間をクリックする。(確定操作)

一方、入力の完了までに編集操作や図形空間操作を伴う例を図8に示す。例えば図8-(a)に示す球を入力する過程を整理すると以下ようになる。

1. スイープ図形を描画する。
2. 空間をクリックする。(確定操作)
3. 空間をクリックする。(確定操作)
4. スイープ経路を描画する。
5. 空間をクリックする。(確定操作)
6. 立体図形プリミティブのクリックポイントををクリックする。(編集開始操作)
7. 制御点をドラッグする。(編集操作)
8. 空間をクリックする。(確定操作)

この例では、初期スナッピング後、スイープ図

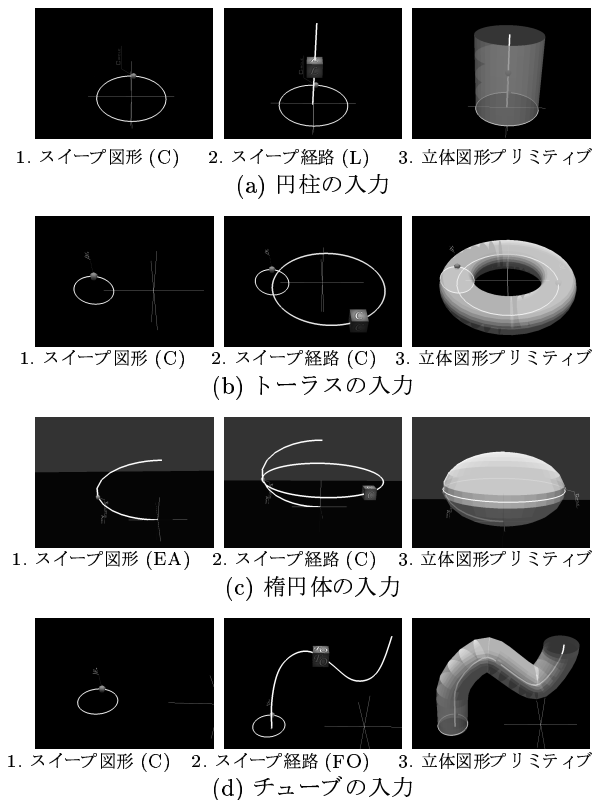


図 7: 立体図形プリミティブの入力例 - 1

形とスイープ経路がずれて配置されてしまったため、立体図形プリミティブ編集モードで位置の修正を行い、最終的に所望の球を入力している。

なお図に示した例以外にも、表 5 に示すように、多様な立体図形プリミティブを“BlueGrotto”で入力することが確かめられた。また、編集操作・図形空間操作に加え、空間グリッドや画板を利用した平面描画を総合的に用いることによって、図 9 のように、種々の立体図形プリミティブを組み合わせたモデリングも可能である。

## 6 考察

本インターフェースを実際に使用した過程で、以下のような特徴と問題点があることがわかった。

### 6.1 画板の効果

“BlueGrotto”では 3 で述べたとおり画板を導入した。ここでその効果について整理する。

#### 自然な描画範囲の制限

“Blue Grotto”では、ユーザが画板を持って描画を行なうため、その描画範囲は画板表面と画板上部の空間内に自然と限られる。このため画板に固定された 3 次元トランスミッタの有効範囲を超

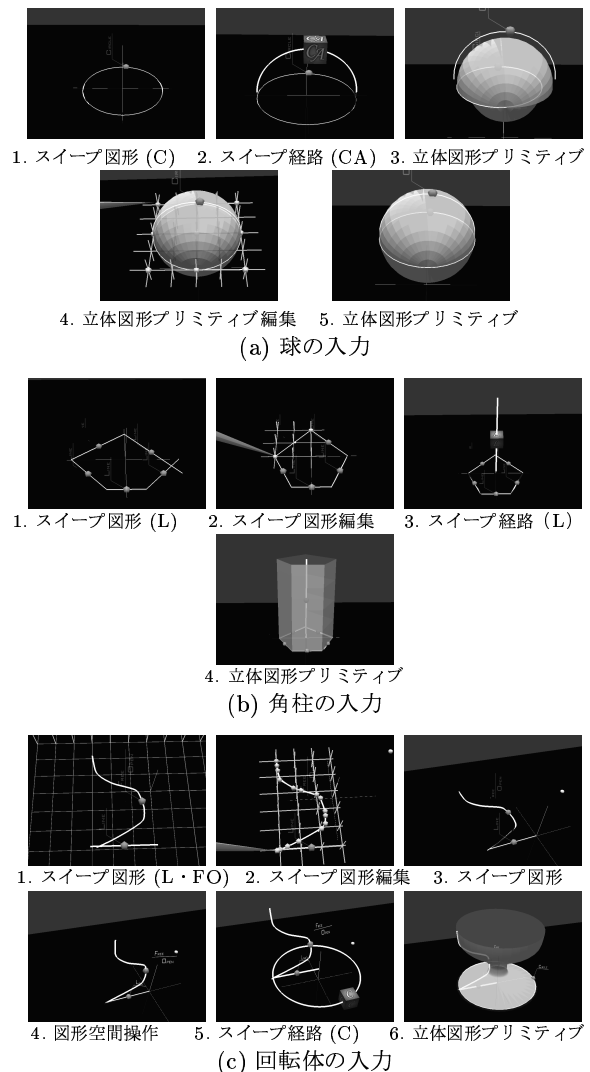


図 8: 立体図形プリミティブの入力例 - 2

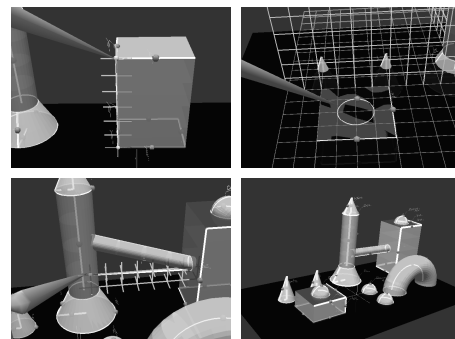


図 9: 種々の立体図形プリミティブを組み合わせたモデリング例

えた描画が起りにくくなり、ユーザは安心して描画に集中することができた。

#### 直感的な視点の移動

表 1: 立体図形プリミティブの表現例

立体図形 プリミティブ	スイープ図形	スイープ経路
立方体	正方形	線分
直方体	長方形	線分
球	円	半円弧
楕円体	楕円	半円弧
円柱	円	線分
円錐	直角三角形	円
角柱	多角形	線分
トーラス	円	円
半球	半円弧	半円弧
半円柱	長方形	半円弧
円錐台	台形	円
チューブ	円	自由曲線

“Blue Grotto”において視点の位置は、手に持った画板と頭の相対的な位置で決定される。したがって、両者の動きの組み合わせにより直感的ですばやい視点の移動が可能となった。

#### 画板上での平面描画の活用

仮想空間中への自由な空間描画に併せて、画板表面を利用することで精密かつ安定した平面描画も可能となった。また空間描画のみを続けると腕の疲労が問題となるが、画板が支えとなるためこれが軽減された。

#### 6.2 問題点

本インターフェースにある程度習熟したユーザにとってはあまり問題とはならなかったが、初心者ユーザにとっては以下のような点が問題となり、本ユーザインターフェースを使いこなすことが困難になる場面が観察された。

##### モード間移行の複雑さ

本インターフェースではモードの数が多く存在するため、ユーザがその時点で置かれているモードを見失い混乱を招く場面がたびたび観察された。この解決のためには、モードを分かりやすく提示する、あるいはモードをさらに整理してモード間移行を単純化する、などの対策が必要となる。

##### 空間中のクリック操作の難しさ

立体視仮想空間での奥行き知覚に慣れるまでは、クリックポイントにスタイラスの位置を合わせるのに苦労する場面があった。また、空間中では手のささえとなるものが無いため手のぶれなどでクリック操作に失敗する場合もあった。この解

決のためには、クリックポイントのデザインやクリック検出タイミングなどについて検討し改良を図る必要がある。

##### 描画開始終了操作の難しさ

スタイラスのスイッチの ON/OFF で曲線の書き始めと書き終りを指示する描画は、普段の生活における自然な描画とは異なるため、慣れるまでは曲線の書き始めと書き終りのタイミングが意図とずれてしまい FSCI-3D の認識結果に誤りが生じる場合が見られた。この問題の解決のためには、FSCI-3D のアルゴリズム側で何らかの対策を検討する必要がある。

#### 7 まとめ

本稿では、仮想空間中での手書き認識に基づいた 3次元モデリングインターフェース “BlueGrotto” を提案した。また、本インターフェースを実際に使用して 3次元 CAD で有用な種々の立体図形プリミティブを入力した結果を示し、本インターフェースが基本的に機能すること示した。

今後は、本稿で明らかとなったいくつかの問題点の解決と有効性の定量的な評価を進めることによって、さらに実用的なモデリングインターフェースとなるように操作性の改良を進める予定である。

#### 謝辞

本研究は、文部省科学研究費補助金（課題番号 14380153）による研究成果の一部である。

#### 参考文献

- [1] 清川清, 竹村治雄, 片山喜章, 岩佐英彦, 横矢直和, “両手を用いた仮想環境没入型モデラ: VLEGO”, ヒューマンインタフェースシンポジウム (HIS'95), 1518.
- [2] R.C. Zeleznik, K.P. Herndon, and J.F. Hughes, “SKETCH: An Interface for Sketching 3D Scenes”, Proc. SIGGRAPH'96, pp.163-170, 1996.
- [3] 五十嵐健夫, 松岡聡, 田中英彦, “手書きスケッチによるモデリングシステム Teddy”, 情報処理学会シンポジウムシリーズ (インタラクション'99 論文集), 99,4(1999-03), pp.147-148.
- [4] 佐々木聡, 佐賀聡人, “空間描画動作同定に基づく 3次元曲線プリミティブ入力インターフェース”, 情報処理学会シンポジウムシリーズ (インタラクション'98 論文集), 98,5(1998-03), pp.81-84.
- [5] 安福尚文, 佐賀聡人, “空間描画動作同定に基づく立体プリミティブ入力インターフェース”, 情報処理学会シンポジウムシリーズ (インタラクション'99 論文集), 99,4(1999-03), pp.119-126.
- [6] 佐賀聡人, 佐々木淳一, “フェジィスブライン曲線同定方を用いた手書き CAD 図形入力インターフェースの試作” 情報処理学会論文誌 Vol.36 95,2(1995-02), pp.338-350
- [7] 西住直樹, 井上智之, 安福尚文, 佐賀聡人, “手書き認識に基づく 3次元モデラ “BlueGrotto” の試作”, 情報処理学会シンポジウムシリーズ (インタラクション 2001 論文集), (2001-03), pp.67-68