

# 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フェース

安福 尚文                      佐賀 聡人

室蘭工業大学 情報工学科

〒050-0071 北海道室蘭市水元町 27-1

Tel: 0143-46-5415, Fax: 0143-46-5499

E-mail: naofumi@hahakigi.csse.muroran-it.ac.jp, saga@csse.muroran-it.ac.jp

## 概要

人間は空間描画動作によって、3次元構造物の形状、大きさ、位置、姿勢などを一度に相当程度まで表現することができる。このような自然な表現法を3次元モデラのヒューマンインタフェースとして活用できれば、より直感的かつ効率的な形状入力の実現が期待できる。本論文では、このような考えから、空間描画動作を活用した立体プリミティブ入力インタフェースの基本的なアイデアを示す。また、空間手書き描画動作から幾何曲線を同定するオンライン曲線プリミティブ入力インタフェースを没入型仮想環境を用いて構築することにより、提案する立体プリミティブ入力インタフェースの実現可能性を実験的に示す。

## A Primitive Solid Input Interface on the Basis of a Spatial Gesture Identification

Naofumi YASUFUKU                      Sato SAGA

Department of Computer Science and Systems Engineering,  
Muroran Institute of Technology

## Abstract

Man can express 3-D object's shape, volume, position and orientation all at once using spatial gestures. It is expected that utilization of this natural expression in a human interface for 3-D modeler brings a realization of intuitive and efficient input of 3-D objects. In this paper, we show an idea of primitive solid input interface on the basis of a spatial gesture identification technique. We also demonstrate the feasibility of the proposed solid input interface by realizing an on-line primitive curve input interface, which identifies geometric curves from spatial freehand drawing, using an immersive virtual environment.

### 1 はじめに

現在の3次元モデラでは、詳細設計支援機能の豊富さに比較して、意匠設計において思い描いた形状を自由に生成する機能は十分に充実していない。この要因として、CRTやマウスといった2次元入出力機器を基本としたインタフェースを介して間接的に3次元設計を行っていること、また、形状生成にメニューの選択や形状パラメータの入力といった煩雑な作業を伴うことが挙げられる。

前者の解決手段のひとつとして、立体ディスプレイや3次元デジタルタイザといった様々な入出力機器

を利用し、仮想空間を通じてシステムとの直接的でインタラクティブな情報伝達を実現するVR(Virtual Reality, 仮想現実)技術の活用がある。これまで、このVR技術を3次元モデラのヒューマンインタフェースに活用した「仮想物体モデラ」が研究されており、例えば文献[1]のような試みがある。仮想物体モデラの利用者は、仮想空間内で3次元構造物を現実と同様の感覚で観察でき、その形状を直接的に操作、編集することが可能となる。

つぎに、後者の解決手段として、人間の自然な形状表現を形状入力インタフェースに活用することが

考えられる。人間は空間描画動作によって物体の形状、大きさ、位置、姿勢などを一度に相当程度まで表現することができ、このような人間の形状表現能力を仮想物体モデラの形状入力に利用できれば、あたかも仮想空間中にデッサンするような感覚で3次元意匠デザインが可能なインタフェースを構築できると思われる。こうした、人間の描画動作を形状入力に積極的に活用する試みとして、文献[2]などが挙げられる。

このような考えから、我々は文献[3]および[4]で、人間の空間描画動作を活用した立体プリミティブ入力インタフェースの基本的なアイデアを提案し、それが空間描画の幾何曲線同定によって実現されることを示した。さらに、その中核技術となる3次元手書き曲線同定法「FSCI-3D」を導出することで、3次元曲線プリミティブ入力インタフェースを試作し、その基本動作を確認した。

本論文では、我々の提案する立体プリミティブ入力インタフェースについて概説し、その構築にあたり没入型仮想環境の利用が有効であることを示す。また、没入型仮想環境に実装した3次元曲線プリミティブ入力インタフェースによる空間描画動作同定実験を行うことで、提案する立体プリミティブ入力インタフェースの実現可能性を示す。

## 2 空間描画動作による立体プリミティブ入力インタフェース

3次元設計において形状生成の元となる立体プリミティブとしては、立方体、直方体、球、楕円体、円柱、円錐、角柱、角錐、トーラス(円環面)など様々なものが挙げられる。しかし、各立体プリミティブごとに多くの性質の異なるパラメータの指定が要求され、操作が困難になる。この問題に対し、例えば文献[2]では、それぞれの立体プリミティブごとにパラメータ指定に相当する描画ストロークの組を定義し、それらを用いて簡易に形状入力を行うことを提案しているが、種々の立体プリミティブについて汎用的かつ統一的操作を実現するには至っていない。

そこで我々は、これら多様な立体プリミティブを簡素かつ統一的に表現する手法として図1のようなスイープ操作を導入することとした。スイープ操作は、立体プリミティブの形状をパラメトリックに指定する代わりに、スイープ図形とそのスイープ経路によって指定するため、人間の直感で理解しやすい

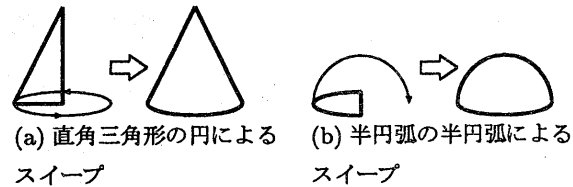


図 1: スイープ操作による円錐と半球の表現例

表 1: スイープ操作による立体プリミティブの表現例

立体プリミティブ	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
角錐	—	—
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

上に、その表現力は汎用性に優れており、上述の立体プリミティブの大半は例えば表1のようにスイープ操作で統一的に表現できる。

### 2.1 曲線プリミティブによる立体プリミティブの汎用的な表現

スイープ操作によって立体プリミティブを表現することにすれば、その指定は空間中におけるスイープ図形とスイープ経路の指定に帰着される。ここで、スイープ経路に関しては表1にみるように、線分、円、円弧がその主なものとなり、スイープ図形に関しても線分、円、円弧、楕円、楕円弧という高々5種類の組み合わせで表現できる。

すなわち、線分、円、円弧、楕円、楕円弧という5種類の曲線プリミティブを指定できれば、主な立体プリミティブは表現可能となる。

### 2.2 空間描画による汎用的な立体プリミティブ入力の実現

前述の曲線プリミティブを、人間は空間中の描画動作によって直感的かつ瞬間的に表現できる。この空間描画表現を活用して意図した幾何図形を入力できれば、直感的で汎用的な立体プリミティブ入力インタフェースが実現できると思われる。ここで、描画から幾何図形を同定する手法としてファジィスプライン曲線同定法「FSCI (Fuzzy Spline Curve Identifier)」と呼ばれる2次元手書き曲線同定法が提案されており[5],[6],[7],[8],[9]、これを3次元に拡張することができれば、空間描画の同定が可能となる。

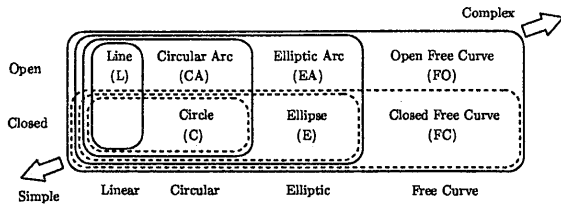


図 2: 7 曲線クラス間の包含関係

### 3 2次元 FSCI の概要[5]-[9],[10],[11]

FSCI は、汎用的な手書き図形認識法の確立のために提案された 2次元幾何曲線プリミティブ同定アルゴリズムであり、手書き曲線を 2 で挙げた 5 曲線を含む線分 (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 7 クラスの曲線プリミティブとして同定する。

幾何図形の同定問題を扱う際、幾何図形間の包含関係に伴う固有の問題が存在する。すなわち、上記 7 曲線クラスの間には、図 2 にみられるような 2 重の包含関係がある。同図で、右上側ほど自由度が高く複雑な曲線クラスとなり、左下側ほど自由度が低く単純な曲線クラスとなる。手書きでは、当然正確な幾何図形を描画することは不可能であり、その形状だけを厳密にみる限りにおいては、すべての手書き曲線は最も自由度の高い自由曲線とみなさざるを得なくなってしまう。

この問題を解決するため、FSCI では、描画形状とともに、その適当さ(雑さ)の程度をも情報として活用する。つまり、FSCI は、図 3 のように描画からその適当さ加減に対応する広がりをもった曖昧な曲線を想起し、その中に見い出せるなるべく単純なクラスの曲線プリミティブとして手書き曲線を同定しようとする。これにより、単純な曲線クラスを入力したい場合には適当で象徴的な描画を、また複雑な曲線クラスを入力したい場合には丁寧で形状の具体性を強調した描画を行うことでその意図を表現できるようにする。すなわち、FSCI は、書き手に意図した曲線クラスをその描画の適当さ加減によって表現する手段を提供する。

実際の FSCI の処理は、ファジィスプライン補間による曖昧な手書き曲線の内部表現の生成と、同定単位への分割処理、およびそれらの同定処理に分けられる。

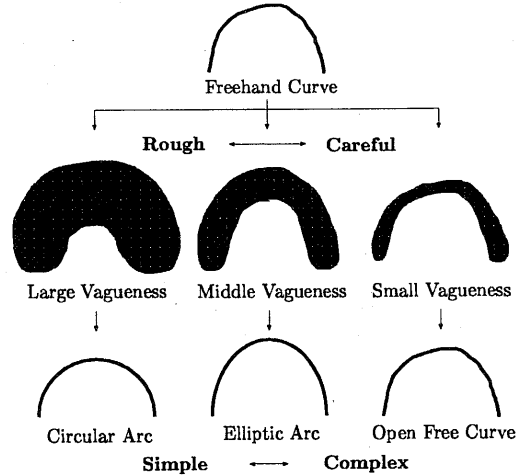
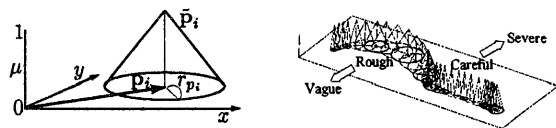


図 3: 描画の適当さ加減の活用



(a) 円錐型ファジィ点 (b) ファジィスプライン曲線

図 4: ファジィスプライン補間

#### 3.1 ファジィスプライン補間

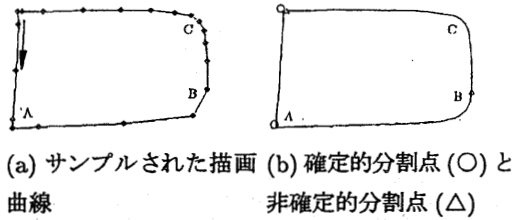
手書き曲線は、デジタル化によってサンプリングされ離散的な点の時系列データ  $p_i (i = 1, 2, \dots, k)$  として入力される。FSCI では、まずこれらの点列のそれぞれ  $p_i$  を曖昧な位置情報をもつ点とみなして図 4(a) に示すような円錐型メンバシップ関数

$$\mu_{\bar{p}_i}(v) = \left(1 - \frac{\|v - p_i\|}{r_{p_i}}\right) \vee 0 \quad (1)$$

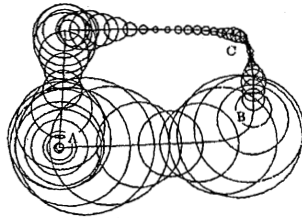
をもつ円錐型ファジィ点  $\bar{p}_i (i = 1, 2, \dots, k)$  として表現する。この円錐型ファジィ点  $\bar{p}_i$  は、点  $p_i$  に存在する可能性が 1 であり、そこから離れるにしたがって存在の可能性が下がり、円錐底円の外に存在する可能性が 0 であることを示している。したがって円錐底円の半径  $r_{p_i}$  が点の位置情報の曖昧さを表すパラメータとなる。この曖昧さ  $r_{p_i}$  はその点における描画の適当さ加減に応じて設定されるが、FSCI では簡単のためこれを描画動作の加速度に代表させ、各点での加速度の絶対値に比例した値として曖昧さ  $r_{p_i}$  を設定している。

このような円錐型ファジィ点列  $\bar{p}_i (i = 1, 2, \dots, k)$  に対してファジィスプライン補間<sup>[6]</sup>を施すことにより曖昧な手書き曲線の内部表現となるファジィスプ

<sup>1</sup>  $\vee$  は max 演算を表す。



(a) サンプルされた描画 (b) 確定的分割点 (○) と曲線 非確定的分割点 (△)



(c) ファジィスプライン曲線による内部表現

図 5: 描画動作の違いによる分割結果の違い

ライン曲線が

$$\tilde{s}^n(u) = \sum_{i=0}^{L+n-1} \tilde{d}_i N_i^n(u) \quad (2)$$

と得られる。ただし、ここで  $N_i^n(u)$  は正規化 B スプライン関数、 $\tilde{d}_i$  はファジィ制御多角形を構成する円錐型ファジィ点列である。こうして定義されるファジィスプライン曲線は、図 4(b) にみるように円錐型ファジィ点の移動軌跡となっている。

### 3.2 同定単位分割処理

同定処理に先ち、描画を停止動作に基づいて同定単位セグメントに分割する処理が行われる。FSCI では、この分割処理はファジィスプライン曲線の分析によるファジィ的な停止動作の評価として実現される<sup>[6]</sup>。例えば、図 5 中の点 A のように確実な停止動作を行うと確定的分割点と評価され自動的に分割されるが、点 B 近傍のように曖昧な停止動作を行うと非確定的分割点と評価されユーザに判断が求められる。一方、点 C 近傍のように丁寧に描画している部分では、点の移動が非常にゆっくりとしているにもかかわらず、点自体の曖昧さが小さいために確実に移動しているものと評価され、不要な停止点が検出されたりはしない。

### 3.3 同定処理

分割処理によって得られた各セグメントについて、曖昧な描画動作の内部表現であるファジィスプライン曲線からなるべく単純な曲線クラスを選択しようとするファジィ推論を実行し、書き手の意図した曲

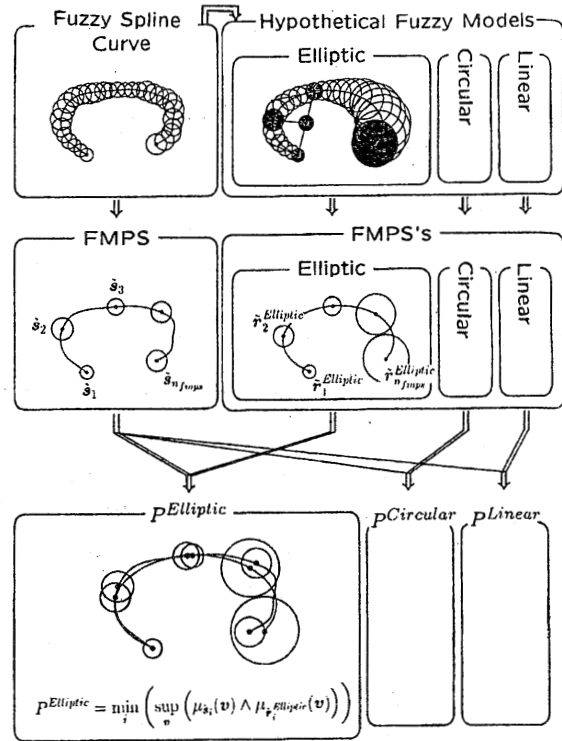


図 6: 可能性評価処理

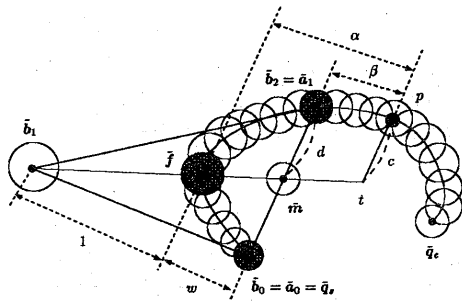
線クラスを同定する<sup>[7]</sup>。この同定処理は「可能性評価」と「曲線クラス推論」の二段階に分かれる。

a. 可能性評価 可能性評価処理は図 6 のようになる。まずファジィスプライン曲線が与えられたら、なるべくこれを近似するような楕円形、円形、線形仮説ファジィモデルを文献 [7] で示されている手法に従い、有理型 Bézier 曲線を拡張した有理型ファジィ Bézier 曲線として構成する。例えば、楕円形仮説ファジィモデルは、図 7 に示す三つのファジィ代表点  $\tilde{a}_0$ ,  $\tilde{a}_1$ ,  $\tilde{f}$  と一つの補助代表点  $p$  を満足する 2 次有理型ファジィ Bézier 曲線

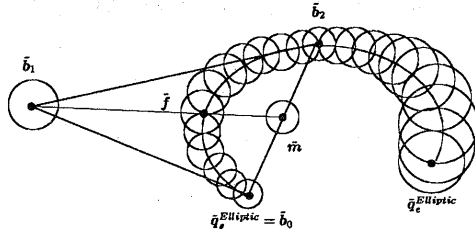
$$\tilde{b}(t) = \frac{B_0^2(t)\tilde{b}_0 + wB_1^2(t)\tilde{b}_1 + B_2^2(t)\tilde{b}_2}{B_0^2(t) + wB_1^2(t) + B_2^2(t)} \quad (3)$$

として構成する。ここで  $B_i^2(t)$  は Bernstein 多項式である。次に、ファジィスプライン曲線および各仮説ファジィモデル上から等距離間隔に一定個数 ( $n_{fmops}$  個) のファジィマッチングポイントセット (FMPS) を選出し<sup>2</sup>、最終的にこれらの FMPS を利用して、ファジィスプライン曲線とそれぞれの仮説ファジィモデル

<sup>2</sup>図 6 の例では、 $\{\tilde{s}_1, \tilde{s}_2, \dots, \tilde{s}_{n_{fmops}}\}$  がファジィスプライン曲線の FMPS、 $\{\tilde{r}_1^{Elliptic}, \tilde{r}_2^{Elliptic}, \dots, \tilde{r}_{n_{fmops}}^{Elliptic}\}$  が楕円形ファジィモデルの FMPS を表している。



(a) ファジィスプライン曲線上の代表点



(b) (a) から構成する楕円形仮説ファジィモデル

図 7: 楕円形仮説ファジィモデルの構成例

が曲線全体に渡ってどの程度適合しているかを  $[0, 1]$  の範囲の実数値である可能性値  $p^{Elliptic}$ ,  $p^{Circular}$ ,  $p^{Linear}$  として求める. 具体的には, 各可能性値はファジィスプライン曲線と仮説ファジィモデルの両 FMPS の対応するファジィマッチングポイント間から求められる  $n_{fmps}$  個の適合可能性値の論理積として算出する. さらに, 閉曲線性の可能性値  $p^{Closed}$  を, ファジィスプライン曲線の始終点の適合可能性値より求める.

**b. 曲線クラス推論** 曲線クラス推論処理は図 8 の 7 つのファジィ論理式で実現され, 先ほど求めた 4 つの可能性値を入力とし, 結果として各曲線クラスのグレード値がやはり  $[0, 1]$  の範囲の実数値で得られる<sup>3</sup>. ここで  $1-P$  は  $P$  の否定, また  $\min$  演算  $\wedge$  は論理積を意味する. 従って, 例えば図 8 の 5 行目は, 「線形の可能性がなく, 円形の可能性がなく, 楕円形の可能性があり, 閉じている可能性がなければ楕円弧である」ことに相当し, これらのファジィ論理式は全体としてなるべく単純な曲線クラスを選択しようとするファジィ推論を実現している.

#### 4 3次元手書き曲線同定法「FSCI-3D」

ここでは, 2次元 FSCI を 3次元に拡張することにより 3次元手書き曲線同定法「FSCI-3D」を導出する. 基本的には, (1)2次元円錐型ファジィ点の 3次元

<sup>3</sup>これらのグレード値の比較によって次候補選択にも容易に対応できる.

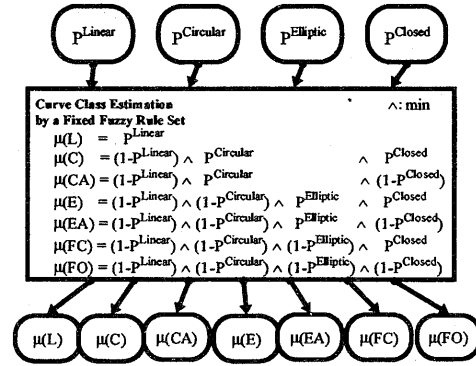
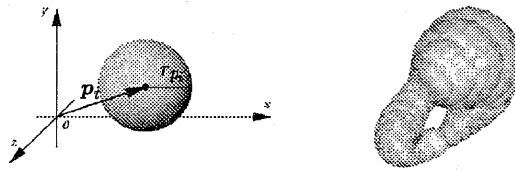


図 8: 曲線クラス推論処理



(a) 超円錐型ファジィ点 (b) ファジィスプライン曲線

図 9: 3次元ファジィスプライン補間

元超円錐型ファジィ点への拡張, (2) 楕円形仮説ファジィモデルの構成法の変更, の 2 点を考慮することで FSCI-3D は実現される.

#### 4.1 3次元ファジィ点の定義と 3次元ファジィスプライン曲線の構成

2次元円錐型ファジィ点の拡張として, 式 (1) の  $p_i$  を 3次元位置ベクトルとみなすことにより得られる超円錐型メンバシップ関数を用いて 3次元空間中のファジィ点を定義する. 図 9(a) は, その 3次元超円錐型ファジィ点を視覚的に表現したものであり, 球は超円錐の超底円を表している. このように 3次元ファジィ点を定義すれば, 図 9(b) のような 3次元ファジィスプライン曲線も式 (2) と同形式で定義されることになる. このことから, FSCI-3D は 2次元 FSCI のアルゴリズムをほぼそのまま 3次元に拡張することで構築されることになる.

#### 4.2 3次元楕円形仮説ファジィモデルの構成

前述のように, FSCI-3D は 2次元 FSCI の 3次元への自然な拡張として実現されるが, 空間描画では 3.3 の a で述べた楕円形仮説ファジィモデルの構成に必要な四つの代表点が一般に同一平面上に存在しないという問題がある. 従って, FSCI-3D では, 2次元 FSCI と同様に補助代表点を求めた後, これを三つのファジィ代表点の頂点が構成する平面上に垂直

射影したものを、新たに3次元楕円形仮説ファジィモデルの補助代表点とする。

## 5 空間描画による立体プリミティブ入力インタフェースへの没入型仮想環境活用の有効性

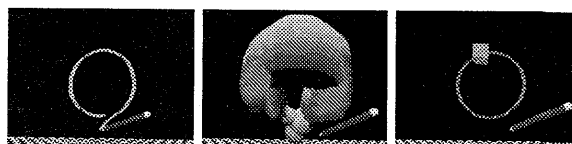
さて、3および4で示したFSCI-3Dを中核とする3次元曲線プリミティブ入力インタフェースを仮想環境に実装すれば、2で示した方針により空間描画動作同定に基づく立体プリミティブ入力インタフェースの構築が可能になると考えられる。ここで、本インタフェースの実現にあたって、特に没入型仮想環境の活用が有効であることを以下に示す。

### 5.1 自在な視点および姿勢移動

CRTと液晶シャッターメガネなどから構成される非没入型の仮想環境では、書き手の描画動作がCRTの前面領域に制限される。よって、例えば2で挙げた円錐をスイープ操作で表現する際、直角三角形を上から眺めてスイープするといった動作が困難になり、スイープ図形をスイープしやすい姿勢に変更するといった間接的な作業を伴うことになる。一方、ディスプレイ・サブシステムとしてヘッドマウンテッドディスプレイ(HMD)を使用する没入型仮想環境では、このような制限を受けることなく任意の方向および姿勢からスイープ図形を観察することが可能であり、より直接的なスイープ操作を実現できる。

### 5.2 位置ずれの問題の解消

FSCI-3Dは、描画動作の動特性をもとにその曖昧さを定量化することで、描画動作に込められた書き手の意図を汲み取り、幾何曲線を同定するシステムである。従って、書き手が描画動作に意図を的確に反映させることのできる環境にあることが非常に重要となる。しかし、非没入型の仮想環境では、描画を行う現実空間とその描画が反映される仮想空間との間に生じる位置的なずれのために、書き手は意図した形状を思い通りに描画することが困難である。そこで、没入型仮想環境の活用により、書き手が仮想空間内に没入するようなシステムを構築することで、書き手の現実認識において仮想空間の占有度が大きくなり、現実空間との位置的なずれをそれほど意識することなく直感的かつ直接的に所望の形状を描画することが可能となる。



描画曲線 → ファジィスプライン曲線 → 同定結果  
(a) 適当に描画された場合



描画曲線 → ファジィスプライン曲線 → 同定結果  
(b) 丁寧に描画された場合

図 10: FSCI-3D による同定例

## 6 曲線プリミティブ入力インタフェースの動作実験

2で概説した立体プリミティブ入力インタフェースの実現可能性を示すため、FSCI-3Dを没入型仮想環境に実装したオンライン曲線プリミティブ入力インタフェースの動作例を示すとともに、認識率の評価について報告する。また、具体的な空間描画によるスイープ操作の表現例についても示す。

### 6.1 システム構成

没入型仮想環境は、グラフィックワークステーション(GWS)と、それに接続されたHMD、3次元デジタルライザから構成される。書き手の描画動作は、3次元デジタルライザによって空間中の点の時系列データとしてサンプリングされ、その過程はGWSによって奥行き感のある立体映像としてHMDにリアルタイムに表示される。FSCI-3Dは、GWS上にC言語を用いて実装されており、サンプリングされた空間描画からオンラインで幾何曲線を同定する。

### 6.2 インタフェースの動作例

FSCI-3Dによる空間描画曲線の同定例を図10に示す。(a)は円を意図し、適当で象徴的な描画を行った場合である。このとき、描画の適当さを反映した曖昧さの大きいファジィスプライン曲線が得られ、その中に見い出せる比較的単純な曲線クラスである円(C)が同定されている。一方、(b)は同様な描画形状でも、細部の具体性を強調し丁寧な描画を行った場合である。このときは、描画に忠実で曖昧さの小さいファジィスプライン曲線が得られ、複雑な開自由曲線(FO)が同定されている。7クラス全ての曲線プリミティブについての同定例を図11に示す。

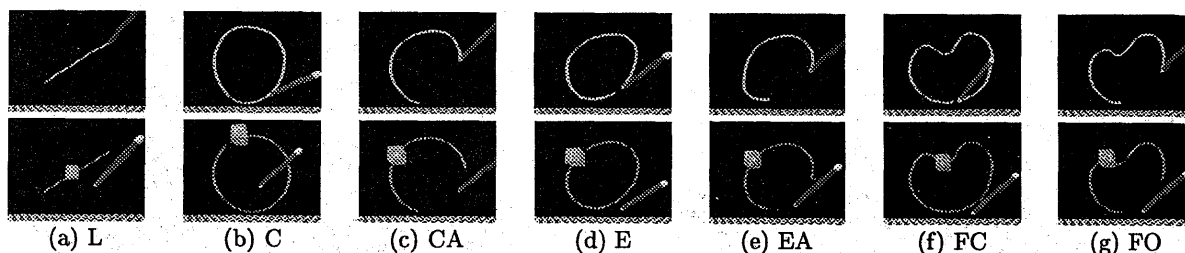
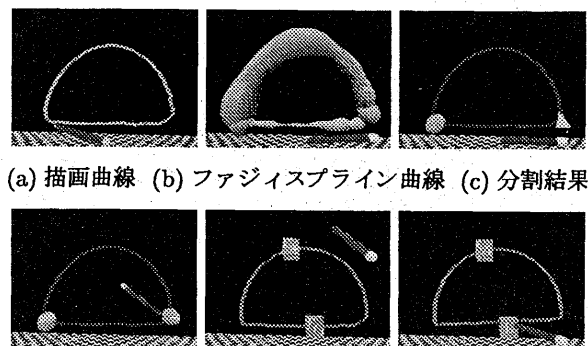


図 11: 7 曲線クラスの同定例 (描画曲線と同定結果)



(a) 描画曲線 (b) ファジィスプライン曲線 (c) 分割結果

(d) 分割修正 (e) 同定結果 (f) 次候補選択

図 12: 本インタフェースの動作例

また、本システムが実用的なインタフェースとなり得る一例として、誤同定に対しても柔軟に対応できる様子を半円の入力を例として図 12 に示す。まず、同定単位の分割に関して、(a) のように入力された空間描画曲線をもとに (c) のように確定的分割点 (図中では球で表示) と非確定的分割点 (図中では正四面体で表示) を提示している。(d) のようにユーザーが必要に応じて非確定的分割点をペンでクリックすることにより確定的分割点と決定すると、この分割に基づいて各セグメントの同定を行う。次に、それらの同定に関しても、次候補選択に即座に対応することができ、例えば (e) のように、各セグメントの第一候補が円弧 (CA)、開自由曲線 (FO) と提示された場合、ユーザーは必要に応じて各セグメントの候補をペンでクリックすることにより次候補選択を行って、最終的に (f) のように円弧 (CA)、線分 (L) と所望の幾何曲線列を得ることができる。

### 6.3 認識率の評価

FSCI-3D による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フェースの有効性を示すため、認識率の評価を行った。FSCI-3D の同定特性を理解している被験者に、7 曲線クラスを 1 セットとして 100 セット入力したときの第 3 候補までの

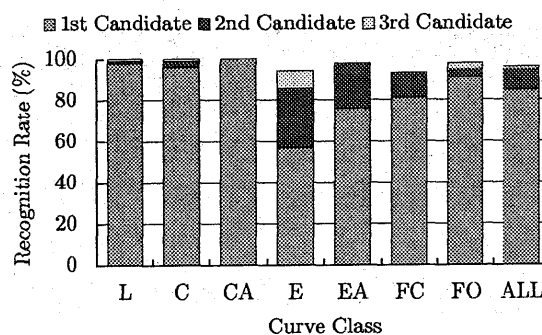


図 13: FSCI-3D の認識率

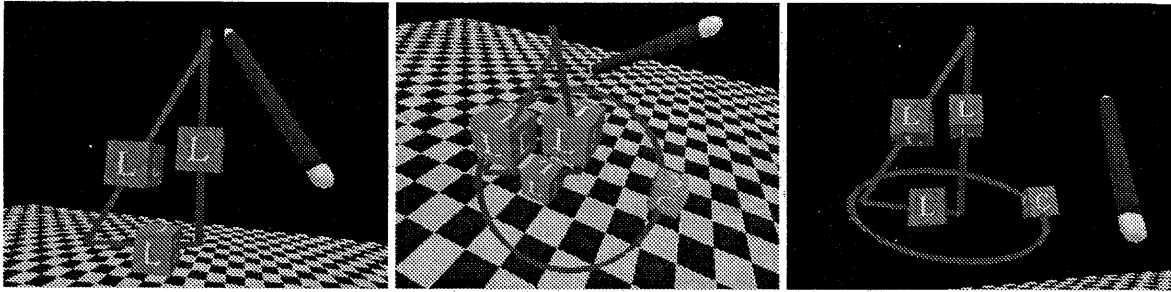
認識率を図 13 に示す。比較的単純な曲線クラスに関しては、ほぼ 100% 同定しており、楕円を境に若干認識率は下がるものの、第 3 候補までに 90% 以上の割合で同定している。また、文献 [3] と比較して、各曲線クラス全体的に認識率が向上している。これは、没入型仮想環境の導入により、現実空間との位置情報のずれをそれほど意識すること無く、より直観的に空間描画を行うことが可能になったことに起因すると思われる。以上から、空間描画動作から書き手の意図した幾何曲線列を同定することが基本的に可能であると考えられる。

### 6.4 空間描画によるスイープ操作の表現例

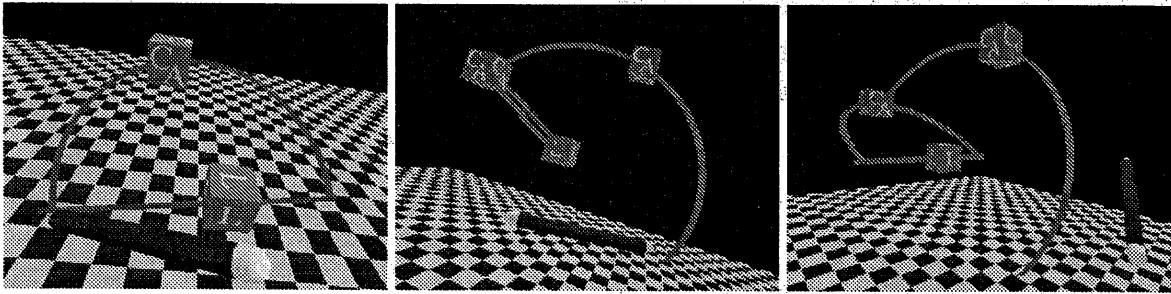
2 で例に挙げた、円錐と半球のスイープ操作による表現例を図 14 に示す。

(a) は、直角三角形を入力した後、それを上から眺めながら円でスイープする様子を示す。また、(b) は、半円を入力した後、それを水平方向から眺めながら円弧でスイープする様子を示す。

このように、空間描画の幾何曲線同定を可能にする本インタフェースをもとに、2 で提案したように、同定幾何曲線をプリミティブとして、その組合せによる直観的かつ汎用的な立体プリミティブ入力インタフェースを実現できると思われる。



(a) 円錐のスイープ操作による表現



(b) 半球のスイープ操作による表現

図 14: 空間描画によるスイープ操作の表現例

## 7 むすび

本論文では、空間中にデッサンするような直感的な操作による直接的な3次元設計の実現を目的として、空間描画動作を活用した立体プリミティブ入力インタフェースの基本的なアイデアを示した。また、没入型仮想環境に実装した3次元曲線プリミティブ入力インタフェースによる空間描画の幾何曲線同定実験を行うことで、その実現可能性を示した。

さらに、本システムの3次元設計におけるインタフェースとしての有効性を十分に示すには、

- スイッピング処理
- 同定幾何曲線列のスナッピング処理
- 形状、位置、姿勢の微調整インタフェース

などを実装する必要がある。

今後、これらの実装を行い、本論文で提案した立体プリミティブ入力インタフェースの実現に向けて研究を進める予定である。

## 参考文献

- [1] 清川清, 竹村治男, 片山喜章, 岩佐英彦, 横矢直和. 両手操作を用いた仮想物体モデラ vlego. 電子情報通信学会論文誌, Vol. J80-A, No. 9, pp. 1517-1526, 1997.
- [2] R.C. Zeleznik, K.P. Herndon, and J.F. Hughes. Sketch: An interface for sketching 3d scenes. In *Proc. of SIG-GRAPH'96*, pp. 163-170, 1996.

- [3] 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フェース. *インタラクション'98 研究会資料*, pp. 81-84. 情報処理学会, 3月1998.
- [4] 安福尚文, 佐賀聡人. 没入型仮想環境を用いた3次元プリミティブ曲線入力インタフェース. *情報処理学会研究報告*, Vol. 98, No. 94, pp. 25-30, 1998.
- [5] S. Saga and H. Makino. Fuzzy spline interpolation and its application to on-line freehand curve identification. In *Proc. of 2nd IEEE International Conference on Fuzzy Systems*, pp. 1183-1190. IEEE, March 1993.
- [6] 佐賀聡人, 牧野宏美, 佐々木淳一. 手書き曲線モデルの一構成法 — ファジースプライン補間法 —. *電子情報通信学会論文誌*, Vol. J77-D-II, No. 8, pp. 1610-1619, 1994.
- [7] 佐賀聡人, 牧野宏美, 佐々木淳一. ファジースプライン曲線同定法. *電子情報通信学会論文誌*, Vol. J77-D-II, No. 8, pp. 1620-1629, 1994.
- [8] 佐賀聡人, 佐々木淳一. ファジースプライン曲線同定法を用いた手書きcad図形入力インタフェースの試作. *情報処理学会論文誌*, Vol. 36, No. 2, pp. 338-350, 1995.
- [9] S. Saga. A freehand interface for computer aided drawing systems based on the fuzzy spline curve identifier. In *Proc. of 1995 IEEE International Conference on Systems, Man and Cybernetics*, pp. 2754-2759. IEEE, October 1995.
- [10] L.A. Zadeh. Fuzzy sets as a basis for a theory of possibility. *Fuzzy Sets and Systems*, Vol. 1, No. 1, pp. 3-28, 1978.
- [11] G. Farin. *Curves and Surfaces for Computer Aided Geometric Design: A Practical Guide*. Academic Press, Inc., New York, 1988.