

Design research of subjective-interaction for 3DCG tools

藤木, 淳

<https://doi.org/10.15017/459602>

出版情報 : 九州大学, 2006, 博士 (芸術工学), 課程博士
バージョン :
権利関係 :

第2章

はいぱーぺいんと：3次元CGモデリングツールのための
主観指向インタラクションデザイン1

2.1 はじめに

本章では3次元CGモデリングソフトのための主観指向インタラクションデザインについて述べる。2次元を意識して操作したものが3次元として反映されるようなインタラクションデザインを考える。

「はいばーべいと」は複数の立方体の組み合わせで立体形状を生成し、立体形状や土台となる箱に着色可能な3次元CGモデリングツールである[16-20]。本研究では、立体の配置と着色操作の主観指向インタラクションデザインを用いて楽しく操作できるものとするを目的とする。

図2.1に「はいばーべいと」の画面を示す。右下の広い領域が操作を行うためのキャンバスであり、キャンバス内の内側から見た大きな箱オブジェクトが、立方体を配置する土台のジオラマ箱である。画面最上段の9色の色鉛筆ツールにより形状やジオラマ箱に線を描画できる。その下の段は立方体ツールで9色から選択する。キャンバスの左に並ぶツール群は、上から順にキャンバス空間を回転させるための手ツール、追加した立方体を削除するための削除ツール、キャンバスのイメージを印刷するためのプリンタツール、セッションを終了するドアツールである。

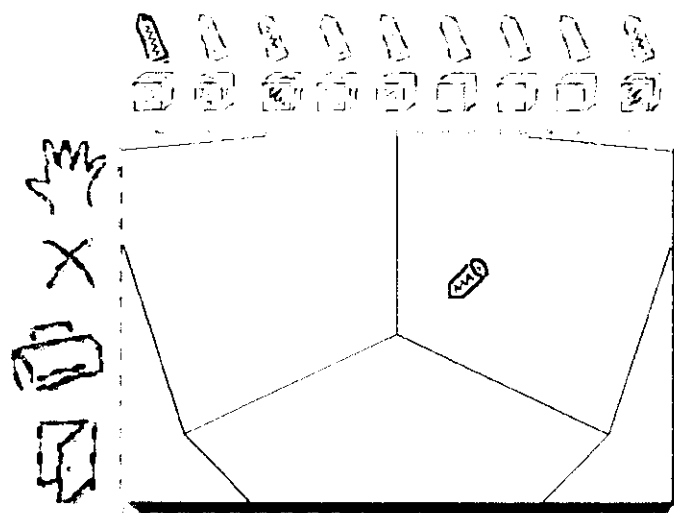
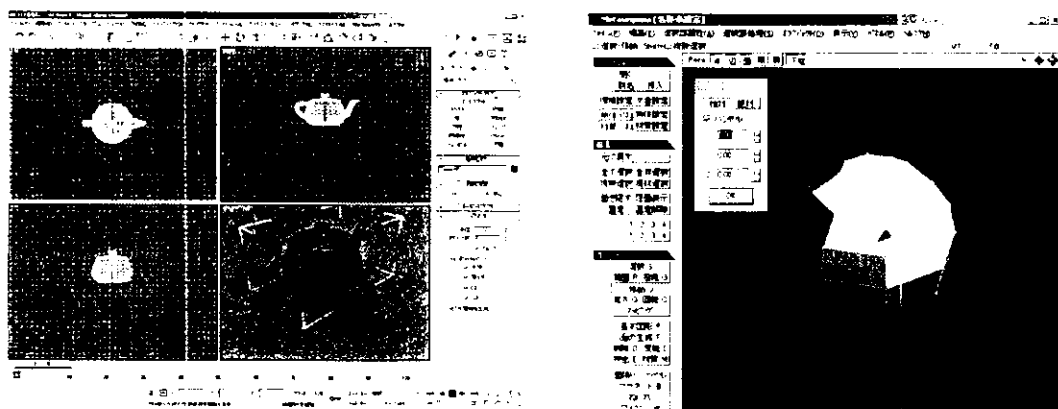


図 2.1 「はいばーべいと」の画面

既存の3次元CGモデリングツール[29-31]のモデリング操作は、3面図と透視図を表示し各投影面で作業を行う(図2.2(a))、選択しているオブジェクトからXYZ軸に沿って出てくるハンドルを用い作業を行う等の方法が取られている(図3.2(b))。よって、それらは現実にはない表示、物体であり、直観的であるとは言い難い。一方、「はいばーんいんを」では、3次元形状の表示方法はユーザからの視点のみとし、この領域内で行える簡単で楽しい操作方法を考えた。

コンピュータ内の3次元形状はディスプレイという2次元の窓を通して表示される。ここで実世界での操作とコンピュータ環境での操作との間に差異が生じる。シミュレーションによって現実との差異は好ましいことではないが、本研究では、この差異を利用した立体の配置と着色における主観指向インタラクションデザインを開発し、ユーザ視点の表示領域内で3次元を意識せずに立体を配置と着色できることからユーザ満足度を向上するものと考えた。

「はいばーんいんを」は Microsoft 社の Visual C++[32]と同社の Microsoft DirectX 9SDK[33]を用いて開発した。



(a) 3面図と透視図

(b) ハンドル

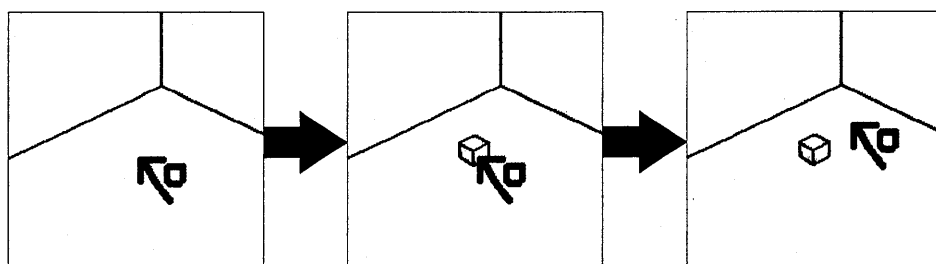
図 2.2 既存の3次元CGモデリングツール

2.2 インタラクションデザイン

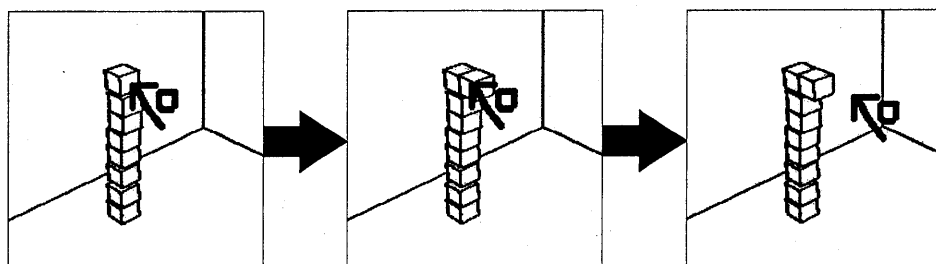
2.2.1 立方体による立体構成

一般的な3次元CGモデリングツール[29-31]における形状の生成方法は、プリミティブの組み合わせで行う方法、複数のポリゴンで生成する方法、大まかな形状から滑らかな形状に変換する方法など様々な方法がある。複数のポリゴンによる形状生成では、ユーザが目的とする形状を生成するため多くの時間と慣れが必要となる。本研究では、積み木のように立方体の組み合わせで容易に形状を生成する方法を用い、ユーザの負担を減らした。立方体の組み合わせによる形状生成では、精密な形状を作成することは困難であるが、作成された形状に対してサブディビジョン[34]やメタボール[35]などの技法を用いることにより精密な形状に変換することができる。

立方体の配置はユーザのクリックに基づいて行われる。立方体ツールが選択された状態で、ジオラマ箱もしくは既存の立方体の側面をクリックする



(a) ジオラマ箱に吸着する立方体



(b) 既存の立方体に吸着する立方体

図 2.3 立方体の配置

と、クリックされた面に吸着するように新しい立方体を配置するようにした
(図 2.3(a)、図 2.3(b))。クリックした位置にジオラマ箱の面や既存立方体
の面がない場合は何も追加されない。この配置方法では、画面に見えていな
い側面には新しい立方体を配置できない。したがって、キャンバス空間を回転する
ことで、画面に見えていなかった側面に対しても新しい立方体を配置可能と
なる。立方体の生成時の色は9色から選択できるが、着色により色を変更す
ることができる。削除するモードで立方体をクリックすると、クリックされ
た立方体は削除される。

2.2.2 線描画機能

ユーザは線描画ツールを用いて3次元空間内に線を描画できる。描画色は
9色から選択できる。3次元CGモデリングツールには3Dペイントと呼ば
れる同様な機能がある[36]。3Dペイント機能は、ユーザの期待に反しない
ように、選択したオブジェクトの描画以外には描画が行われなというクリ
ッピング機能を提供する。「白ははーいんた」では、オブジェクトの表面
以外の領域にはみ出して描画することを許容する。これは、はみ出しを描画
した部分がユーザに意外性を与えることを意図している。図 2.4のように立
体形状に大雑把に線を描き空間を回転すると、立体形状の背後であった部分
には色が塗られていないといった現象が出現する。対象とするオブジェクト
に描画領域を限定しないことで、ユーザには新しい効果を生み出す余地が残
される。

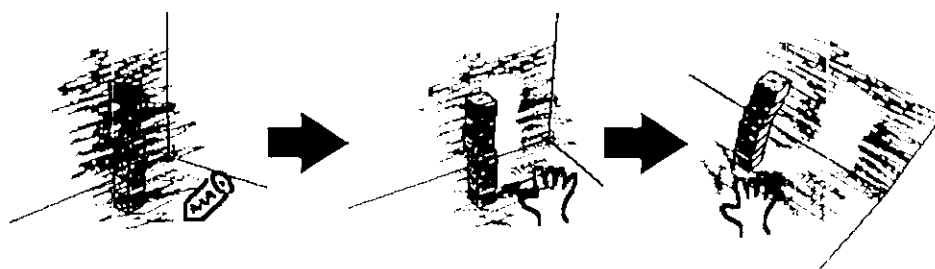


図 2.4 領域を限定しない描画の例

2.3 実装

本節では、まずシステム全体の処理の流れを示す。次に、立方体の配置機能および線描画機能の実装方法について述べる。

2.3.1 システム全体の処理の流れ

本システムでは、スクリーン上でクリックした位置から対象オブジェクトを取得する技法およびオブジェクトの輪郭線を描画する技法が必要になる。

マウスクリックから目的とするオブジェクトを取得する技法は、クリック位置から視線方向に向かうベクトルとすべてのオブジェクトの面との交差判定から最も近い交点を持つオブジェクトを取得する手法と、Zバッファ法により各ピクセルに面のアドレス値を格納し、クリックした位置から対応するピクセルに格納された面を持つオブジェクトを取得する手法がある。

輪郭線の描画は ID エッジ抽出法、深度エッジ抽出法、法線エッジ抽出法等様々な手法がある[51]。ID エッジ抽出法はレンダリング時に固有の ID 値を各ピクセルに埋め込み、近辺の ID 値が違うピクセルを輪郭として処理する技法である。深度エッジ抽出法は、レンダリング時にカメラからの距離である深度を各ピクセルに埋め込み、ID エッジ抽出法と同様に近辺のピクセルの深度を比較し輪郭線処理する。法線エッジ抽出法は、ピクセルに面の法線情報を埋め込み、同じく近辺のピクセルと比較する。深度エッジ抽出法は同じ深度間では輪郭線は描かれないので、左右に隣り合う立方体の間には輪郭線を描くことができない。法線エッジ抽出法では左右のみならずどの方向にも隣接するオブジェクト間に輪郭線を描くことができない。

以上から、本システムでは、輪郭線の描画に ID エッジ抽出法を採用する。また、この ID 値を面のアドレス値とし、マウスクリックから対象とするオブジェクトを取得する方法を用いて処理の効率化を図る。全体処理のフローチャートを図 2.5 に示す。以下で処理の流れを述べる。

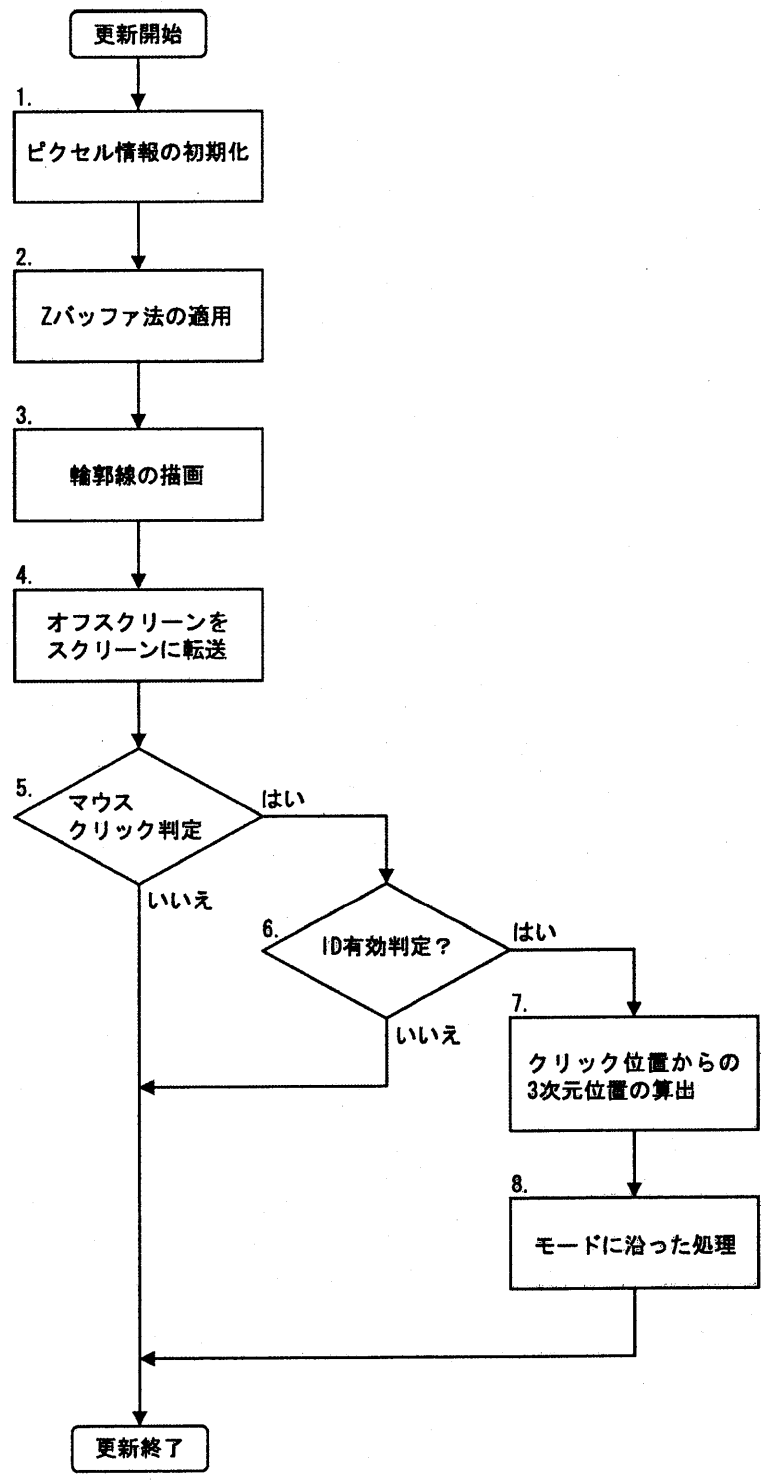


図 2.5 全体処理のフローチャート

1) ピクセル情報の初期化

スクリーンサイズの描画バッファであるオフスクリーンの中ピクセルを背景色で塗り、無効の ID である NULL 値を設定する。

2) Z バッファ法の適用

Z バッファ法によりオフスクリーンに描画する際、オブジェクトの面のアドレス値を ID 値としてオフスクリーンの各ピクセルに格納する。Z バッファ法とは、画面を構成する各ピクセルに奥行き情報をもたせ、座標変換された面の描画時に、同じ座標の各ピクセルの奥行き情報を比較して、手前にある面の奥行き情報と面の色を更新する手法である。Z バッファ法で各ピクセルの情報を更新する際、ピクセルに面のアドレス値を書き込ませる(図 2.6)。

3) 輪郭線の描画

1 ピクセル右のピクセルの ID 値と 1 ピクセル下のピクセルの ID 値を比較し、ID 値が異なる場合は輪郭色に置き換える(図 2.7)。

4) オフスクリーンをスクリーンに転送

オフスクリーンをスクリーンに転送し、ディスプレイに表示させる。

5) マウスクリック判定

マウスがクリックされた、もしくはドラッグされたかを判定する。

6) ID 有効判定

マウス座標にあるピクセルの ID 値を参照し、ID が有効である場合は次

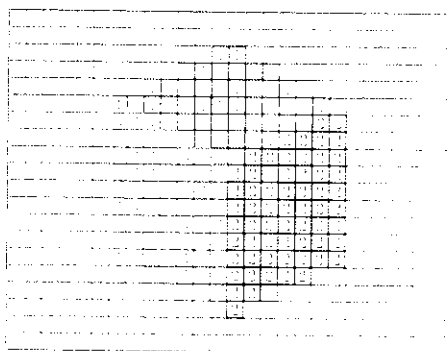


図 2.6 オフスクリーンの各ピクセルに格納された ID 値

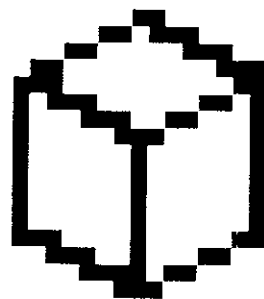


図 2.7 輪郭線の描画

の処理へ移る。

7) マウスをクリックした3次元位置の算出

マウスでクリックされたスクリーン座標から仮想空間内の3次元位置を算出する。マウスカーソル位置のスクリーン座標 $S(x, y)$ の3次元空間での位置 $P1(x, y, z)$ は次式で導かれる。

$$P1x = ((2*S(x)/W-1) / mProj(11))$$

$$P1y = ((2*S(y)/H-1) / mProj(22))$$

$$P1z = 1$$

W 、 H はそれぞれ描画領域の幅、高さ、 $mProj$ は射影トランスフォーム行列である。 $mProj(11)$ は $mProj$ の1行1列目の値、 $mProj(22)$ は $mProj$ の2行2列目の値を示す。

8) モードに沿った処理

ステップ 7) で得られた3次元位置を基に、現在の入力モードに沿った処理を行う。

2.3.2 立方体の配置

立方体の配置はステップ 8) において処理する。図 2.8 に側面から見たクリック先のオブジェクトに立方体を配置する様子を示す。具体的な処理は、

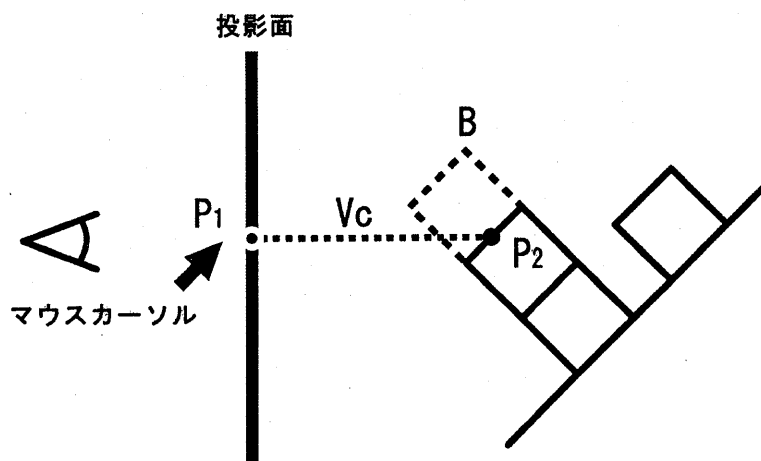


図 2.8 側面から見たクリック位置とオブジェクトの関係

次の通りである。

- 1) マウスクリック位置の仮想空間内の3次元位置から視線方向に向かうベクトルとクリック先にある面との交点の算出

クリック先にある面とマウスクリック位置の仮想空間内の3次元位置 P_1 から視線方向に向かうベクトル V_c との交点 P_2 を算出する。

- 2) 立方体の配置

P_2 上に立方体 (図 2.8 中の B) を配置する。

2.3.3 線描画

ユーザは色鉛筆ツールを用いて3次元空間内に塗り絵のような感覚で線を描画できる。線描画処理はステップ 8)にある時に処理する。技術的な原理は次の通りである。

新規に立方体が生成されると、立方体の6面それぞれに新しいテクスチャイメージを生成しテクスチャ座標を割り当てる。テクスチャ座標とは、面の各点に割り当てられる座標であり、縦、横それぞれの大きさを1とみなしたテクスチャイメージの相対的な位置を表す。ジオラマ箱には、はじめからテクスチャイメージが割り当てられている。このテクスチャイメージは通常単位となる立方体のテクスチャイメージに比べ、8倍大きなものとなっている。線形状を描く際、ユーザがカーソルを描画位置に合わせてマウスクリックすると、その位置から立方体の面のテクスチャ座標を算出し、対応するテクスチャイメージの色を更新する。具体的な手順は次の通りである。

- 1) マウスクリック位置の仮想空間内の3次元位置から視線方向ベクトルとクリック先にある面との交点の算出

立方体の配置と同様である。

- 2) ステップ 1)で算出した交点位置における面のテクスチャ座標の算出
面積比を用いた手法により算出する[37]。

- 3) テクスチャの更新

算出したテクスチャ座標にあるピクセルの色を描画色に変更する。

2.4 評価

学内外の展示により12歳から60歳までの年齢層の鑑賞者に1分弱の概要説明をした後「はいばーべいと」を使用してもらい、行動観察及びインタビューにより有効性の検証を行った(図2.9)〔E3.E7〕。その結果、立方体の生成ははじめから思った通りの形状を作成することは容易ではなく、ある程度の慣れを必要とすることが分かった。特に、はじめから宙に浮いた立方体を生成しようと意図したものが、結果としてジオラマ箱の側面に張り付き、思った通りにいかないという状況があった。また、ジオラマ箱の側面に沿って立方体を構成し平面的な造形を行うことも見られた。しかし、その意図しなかった結果に好感を持つユーザも見られた。インターネットで「はいばーべいと」をダウンロードしたユーザからは、立方体の配置に関する問題があるが楽しいという意見が得られた。

線描画に関しては、2次元を想定した線を描く傾向が多かったが、そのように描いた線が3次元空間に反映されている事実がおもしろいという意見も多く得られ、その事実が夢中になる者もいた。

また、「はいばーべいと」の特徴を応用するユーザもいた。以下はその

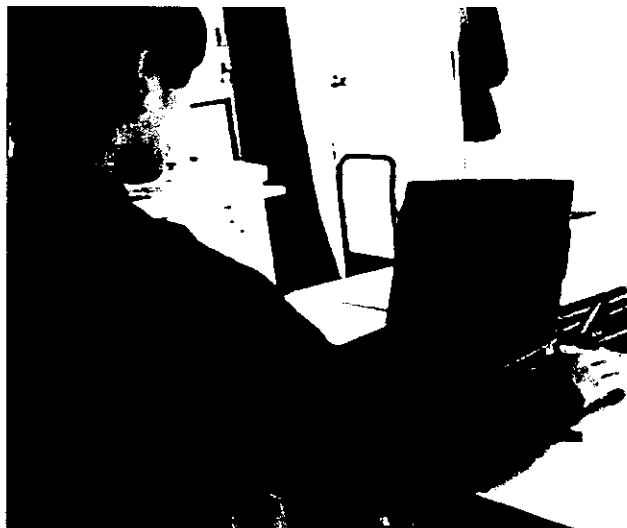


図 2.9 「はいばーべいと」を使用する様子

いくつかを紹介する

1) 影の生成

作成した形状とジオラマ箱を全て黒で塗る。はじめから黒色の立方体を用いてもよい。次に現在の視点から白色でシーン全体を塗る。立体形状の背後には白色が適用されず、結果として立体形状の「影」が生成される(図2.10)。白色を「光」として使い、投影の原理を活用したものである。

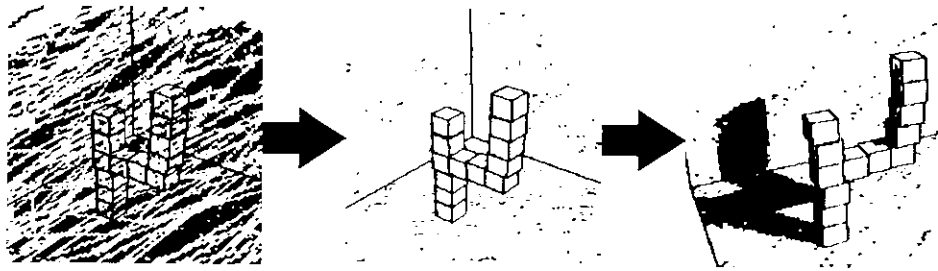


図 2.10 影の生成

2) ステンシル効果

ジオラマ箱の側面に立方体が組み合わさって平面的な模様を描き、シーン全体を塗る。立方体を取り除くと、立方体があった部分は色が塗られずステンシル効果が得られる(図2.11)。立方体を形状を構成するための要素として使用せず、色を抜くための道具に適用したものである。



図 2.11 ステンシル効果

3) だまし絵効果

立体形状を生成した後、地面と接する部分を削除し、「浮いた」状態とする。次に、現在の視点からその形状が「地面に接している」ような影の絵を描画する。ユーザは現在の視点から地面に接しているを認識するが、空間を回転するとその影は「地面に接して見えるように描かれた影の絵」と認識できる(図 2.12)。一般の3次元CGモデリングツールにおいて陰影処理は自動で行われるが、陰影処理までもユーザが行う「はいはいペイント」の特徴を活かした応用である。

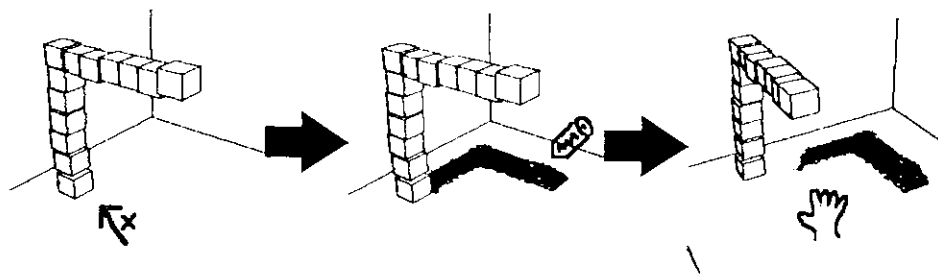


図 2.12 だまし絵効果

4) 絵の隠蔽

ジオラマ箱の下面や側面に描いた絵に、立方体を重ねて絵を隠す(図 2.13)。他のユーザに自分の絵を隠したり、探させたりする使い方である。これも立方体を別の用途に応用している。

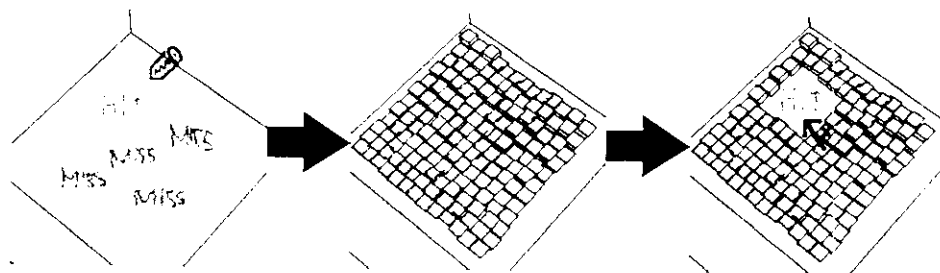


図 2.13 絵の隠蔽

また、「はいばーぺいんと」をコンテストへ応募し、ソフトウェアライブラリサイトに登録した。そして、専門家からの批評やレビューを得ることができた。以下に得られたコメントを引用する。

- 発想がそのままシンプルに形になっている。迷うことなく使えるため、子供向けという狙いにもぴったりの作りになっている。ビジュアルなどを整理すれば、製品化されてもよいのでは [C3]。
- あたかも水鉄砲で塗料を射出するかのごとく、ブロックに重なればブロックの面に、ブロックがなければキャンバスの面に色を塗れるのが面白い [C4]。
- もう少しひねりが欲しい [C5]。
- 面白い研究である (Asia Digital Art and Design Association 査読者のコメント [19])。

2.5 考察・まとめ

本章では立体の配置と着色操作のための主観指向インタラクションデザインを考案し、開発した。そして、ユーザ評価や専門家による評価により検証した。

ユーザ評価では、「はいばーぺいんと」の立方体位置操作はある程度の慣れを必要とし、直感的であるとは言い難いことが分かった。ユーザの行動観察の結果から、形状を作り始める際に宙に浮いた配置をしようとする様子が多く見られたが、この理由として周囲を囲むジオラマ箱に原因があると考えられる。他のブロックベース3次元CGモデリングツールは土台となる地面のみがあり、ここからブロックを配置していくのに対し、「はいばーぺいんと」はジオラマ箱の上面、側面、下面から立方体を配置できる。地面のみの構成は利用者に「下からの配置」を促すが、「はいばーぺいんと」のような囲まれた空間は、利用者に空間の方向性を意識させず「あらゆる方向への配置が

可能である」と認識してしまうものと推測する。しかし、その意図しなかった結果、すなわち、意外性のある表現にユーザが好感を得たことは、ユーザの満足度を向上する要因に繋がることとして留意した。

線描画に関しては、2次元を想定して描かれた線が3次元として描かれていることに多くのユーザが興味を示した。2次元から3次元への変換を楽しんだり、原理を理解し3次元を意識して色を塗りだしたり、また、この原理を応用し新しい楽しみ方をするなど様々な利用の仕方が見られ、2次元と3次元の次元に伴う差異によりユーザの好奇心が向上したことを確認した。

専門家による評価からは、「はいぱーぺいと」が楽しく操作できることを確認した。しかし、一方で、改善の余地を指摘する評価もあった。

以下に今後の展望を述べる。

- 立方体の高さの変更

立方体の高さを変更する主観指向インタラクションデザインを開発し、操作効率を向上させる。

- 立方体の移動

立方体はクリックした位置に生成可能であるが、配置した立方体は移動することができないため、別の位置に立方体を置き直す場合は、一度削除した後に新規に立方体を追加しなければならない。これをマウストラッグで立方体の移動を可能とすることで操作性を向上させる。

- 立方体の数の増減

立方体の数を変更するための楽しい主観指向インタラクションデザインの開発する。

- ペンのサイズの変更

ペンのサイズを変更するための楽しい主観指向インタラクションデザインを開発する。

「はいぱーぺいと」の線描画インタラクションは意外性の伴う効果により、ユーザの注意と好奇心を導くことができた。ユーザの「使用する」こと

のモチベーションは、操作の様々な面で影響が出る。「はいぱーぺいんと」で見られたような「意外性」による魅力から好奇心を向上させ、ユーザのモチベーションを高められると考える。しかし、実世界と掛け離れた現象に対しては、ユーザは意外性を感じる理由を連想できない。認知心理学者ラマチャンドラン氏[48]が述べるように、人間は想像する生き物であり、連想により脳を活性化させ満足度を得るものとする限り、ユーザの理解の範疇を超えない設計が必要となる。以上より、実世界での経験として2次元の知識を活かしつつ2次元と3次元の異なる次元の差異を扱う表現として「だまし絵」のような表現は3次元CGモデリングツールのための主観指向インタラクションの有効性を引き出すものとする。

本章の終わりに、「はいぱーぺいんと」の制作例を図 2.11 に示す。

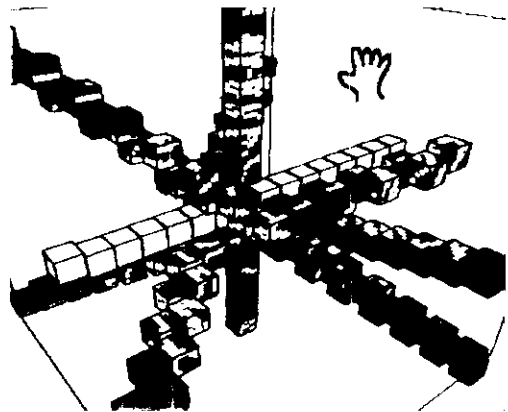
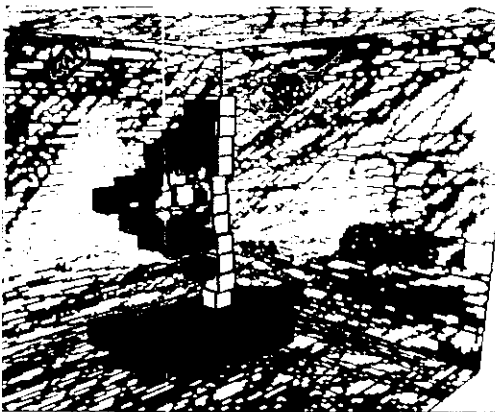
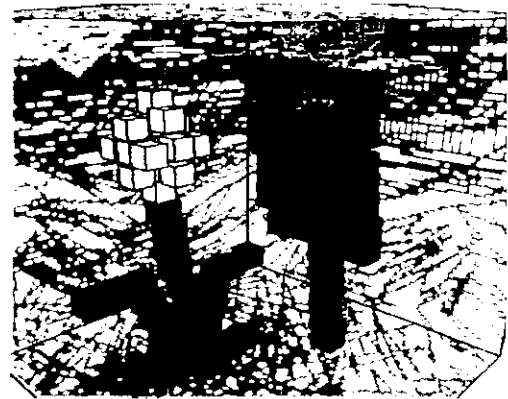
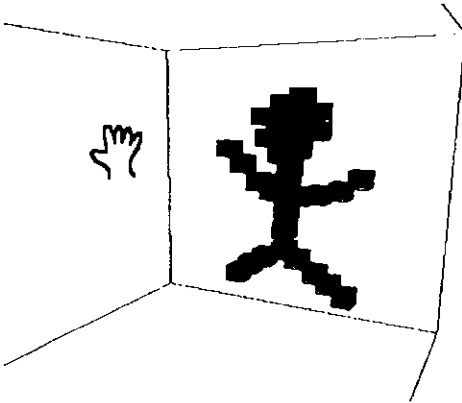
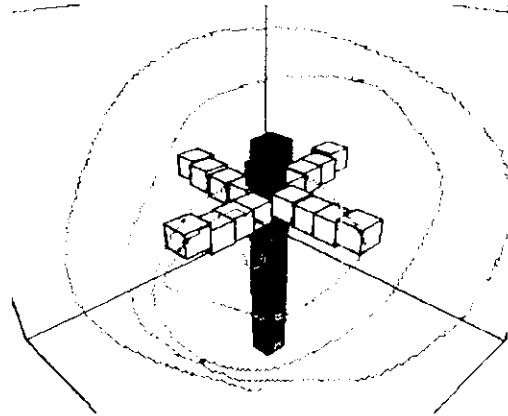
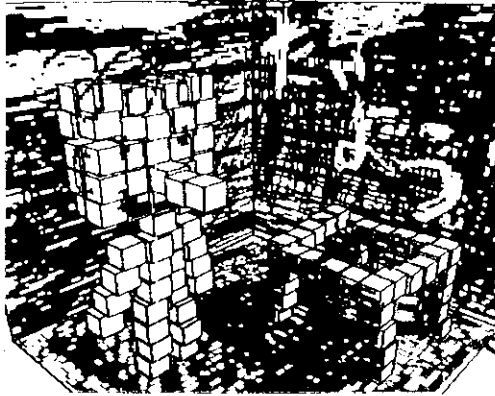


図 2.11 「はいばーべいと」の制作例