

W26

## 対話的 3 次元自由形状生成のためのポリゴン制御型モデリング方式の開発

清田学<sup>†</sup>, 石井郁夫<sup>†</sup>, 牧野秀夫<sup>††</sup>, 中静真<sup>††</sup>

† 新潟大学大学院自然科学研究科, †† 新潟大学工学部情報工学科

## 1. はじめに

従来の 3 次元 CAD のモデリング法は幾何学的形状の生成は容易であるが、例えば彫刻の胸像のような自由形状の生成などは難しい。CAD で用意されている曲線や曲面の生成や変形、FFD 変形などの対話的作法では、期待する形状を実現するためにどのような操作をすればよいかを正確に予測できない。木彫などの実空間造形は比較的単純な操作の組み合わせで行なわれるので、最適な操作内容を経験的に把握することが容易であることが正確な作業の実現を可能にしていると考えられる。

制作者の意図した通りの自由形状生成と試行錯誤の容易なモデリング環境実現のための一方法として、木彫の手法と仮想世界の特徴を活用した、ポリゴン制御型モデリング方式を提案する。本方式では、仮想 3 次元空間中の仮想物体を彫刻のような感覚で直接操作し造形することができる。

## 2. ポリゴン制御型モデリング方式の概念

通常のモデリング方式では、3 次元形状がポリゴン頂点座標や稜線などのデータの集合として表現される。ここで提案するモデリング法は、立体形状を頂点座標を陽に用いて表現する方式でなく、平面の合成として表現する方式を用いる。したがって、立体形状は主に平面を表すパラメータとその隣接関係をセットにしたデータの集合として記述される。

2 平面を与えたとき、それらの交線が稜線となり、稜線のどちら側が物体面になるかを示す情報を与える。3 平面が与えられたときそれらの交点として頂点が現れる。1 平面内に他の複数の平面との交線(稜線)によって囲まれた領域が生じたときそれがポリゴンとなる。また、複数のポリゴンで囲まれた閉空間が生じたときそれがソリッドとなる。ある平面の移動によって、稜線、頂点、ポリゴンやソリッドの形状が変更される。

木彫では平面で物体をカットして概形を整える“粗取り”と呼ばれる作業がある。刃の移動平面で物体を分割し、不要部分を除去する。同様の作業は仮想空間でも容易である。木彫では除去した部分の修正は困難であるが、仮想物体では形状を平面パラメータで表現しておけば切断面を移動することによって試行錯誤的な修正ができる。いくつかの面を組み合わせ、彫り込む形状の生成や突起の追加、それらの形状の修正な

ども可能である。形状の細かい部分までこの手法を適用することによって、単純な作業の組み合わせだけで意図した形状の生成が可能である。

## 3. 対話的操作環境

仮想空間内の直接造形作業を実現するため、仮想ペンによる操作方式を用いる [1]。実空間のペン握り部を手で操作すると、仮想空間内のペン先が連動する。ペン先で操作対象を把持し、位置・姿勢の調整を行なう。ペン握り部には A と B の 2 個のボタンがあり、主に A は操作の確定機能、B は操作の選択機能を持たせ、これらの操作だけで造形作業が進行する。

## 4. 初期物体の生成

造形作業の最初に初期物体を仮想空間に登場させる。初期物体は適当なプリミティブをファイルから選択するか、複数の平面の組み合わせで新たに生成する。新たに生成する場合は以下の方法による。

## (1) 平面の配置

アイコンを選択して、法線ベクトルが視点方向の平面を表示する。平面の大きさはデフォルト値とする。ペン先で触れた平面をボタン A のクリックで把持、次のクリックで平面を離す。また、平面の法線ベクトルの向きをボタン B で切替え、法線ベクトルの負領域にオブジェクトがあるものとする。把持後の平面の姿勢はペンの操作と一体で変化し、離れた位置で固定される。生成された平面パラメータを順次、平面リストに格納する。

## (2) 2 枚の平面の交差

アイコンを選択して平面 2 を表示する。ペン先で把持すると平面 1 との交線が表示される。2 平面のオブジェクトの存在範囲の領域だけが表示される。3 枚目以降の平面についても同様である。

## (3) 頂点の判定

新たな平面が生成される毎に、平面リスト中の他の 2 平面との交差頂点を求め、座標値と属する平面のコードを頂点リストに登録する。ここで、点  $P = (x_p, y_p, z_p)$  と平面  $S: ax + by + cz + d = 0$  の位置関係の判別関数、

$$F(S, P) = ax_p + by_p + cz_p + d \quad (1)$$

の符号が負または零のとき、点はオブジェクト内の点である [2]。頂点座標が平面リストの全平面について負であるとき、その頂点がオブジェクトの定義に必要な頂点であると判定する。この判定結果により平面の隣接関係を表すデータを生成し平面リストに格納する。

頂点判定を高速化するため、ある範囲の既定義平面群の影響範囲のバウンディングボリュームを定義し、関係のあるバウンディングボリュームに属する平面についてのみ判定を行なうことによって処理量を削減する。

## 5. 変形操作

### (1) ポリゴンの移動

任意のポリゴンをペンで把持し移動することによって変形を行なう。移動方法には図 1 の 4 種類があり、移動により隣接面との交線が変化する。ボタン A のクリックでポリゴンを選択すると対象ポリゴンが変色する。ボタン B のクリック毎に 4 種類の移動方法が巡回し、A のクリックで確定する。稜線固定、頂点固定移動の場合、対象となる稜線または頂点が強調表示され、B のクリックでそれが巡回し、A のクリックで確定する。次にペンでポリゴンを把持、移動し固定する。

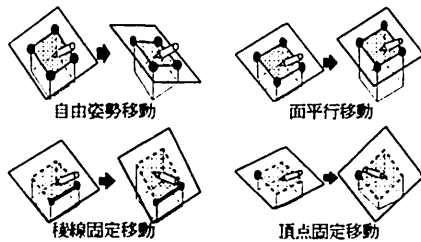


図 1 ポリゴンの移動方法

### (2) 突起、窪みの生成

すでに形成されているオブジェクトに突起、窪みを生成する。4.(1) と同じ方法で平面を生成し、把持してオブジェクトと交差させる。オブジェクトの外側、内側のうち、平面を離す直前のペンの把持位置の属する部分が残る。複数の平面により旧オブジェクト表面との間で閉空間が確定した後、そのオブジェクトに属する旧表面にペンで触れボタン A をクリックすると旧平面が自動的に消される。窪みについてはあらかじめ窪みの底の平面を決めておくことで貫通孔ができるのを防ぐ。

### (3) 切除

アイコンの選択により長方形のナイフを選択する。他の物体と接触していない状態でボタン A を押すと時間とともに幅が拡大し、ボタン

を離してから再び押すと逆に時間とともに縮小する。同様にボタン B で長さを変更する。ナイフをオブジェクトと交差させボタン A をクリックすると交差部分に切り込みが入る。ナイフ面がオブジェクトを 2 分している場合は、ナイフの見えている面に接している部分が除去される。ナイフによる数個の切り込み面を組み合わせることができる立体を削除することができる。

### (4) 集合演算

各種プリミティブや予め定義してある形状をペンで把持し、移動して他のプリミティブと交差させ複合物体を作る。ペンの把持位置が被交差物体の外側であれば和演算を行ない、また、ペンの把持位置が交差部分であれば交差部分が除去され差演算が行なわれる。このとき、両物体の演算前の情報を演算後も残しておくことで、後で交差状態を再び変更することができる。

## 6. まとめ、今後の課題

木彫の手法を参考に、簡単な操作の組合せだけで自由形状造形を実現するポリゴン制御型モデリング方式を提案した。本方式には以下のような特徴がある。

- 4. 5. に示した機能だけで基本的な自由形状造形が実現できる。したがって、操作の種類が少なく、小規模なシステムで実現できる。
- 従来のモデリング手法に比べて造形時間がかかるが、意図した形状を生成するための操作計画を立てやすい。
- 実空間作業に近い対話的操作により、訓練を殆んど必要としない。
- データの相互交換により他の造形方式との併用が可能である。

今後は物体のスケーリングによる微細部分の加工機能、制作した物体の実空間への取出し機能などを追加し、高機能化を図りたい。また、左手で仮想物体を任意の姿勢で把持して、右手でナイフを操作し形状を変化させるというような、実空間作業により近い操作形態を実現したい。

## 参考文献

- [1] 高橋章, 石井郁夫, 牧野秀夫, 中静真: “人工現実感インターフェースのための単眼画像からのマーカの位置と姿勢の計測”, 電子情報通信学会論文誌 A, J79-A.3, pp.804-812, (1996 年)
- [2] 中前 栄八郎・西田 友是共著: “3 次元コンピュータグラフィックス”, 昭和 62 年, 昭晃堂