

1U-9 超刻刀：削る操作に基づいた立体モデリングシステム

平野晋一郎[†] 中山健^{††} 小林良岳[†] 前川守[†]

1 はじめに

版画や木彫りの熊のような、人間が微妙に加減を変えながら同じ操作を何度も繰り返して作ったような形状を PC 上で容易に作成可能な立体モデリングシステムを構築し、初心者にも、作成法などをイメージしやすいシステムを作成した。入力機器としてペンタブレットを用いた。

1.1 背景

現在一般に広く使われている 3D ツールは、角度が正確な多面体等の幾何学的形状は作成しやすい反面、彫刻刀で「削る」ような形状は作りづらい。それは、削るという操作の効果が、対象の物体の硬さや表面の形状などに依存し結果が異なるものであるが、従来の 3D ツールでは単純な物体同士の引き算はできても、それらを考慮した操作を行う事はできなかったためである。

3D ツールで行う操作は実世界で行う操作とはまったく異なるものがほとんどであり、そのため、目的の形状を作成するための操作や、操作を行った結果できる形状がどんなものであるかを、容易に想像する事ができない。

1.2 アプローチ

これらの問題を解決するため、実世界の道具である彫刻刀で行える操作を、PC 上で再現したシステムを作成した。

彫刻刀は実世界の、非常に良く知られた道具であるので、その使い方や結果として得られる形状は、多くの人に簡単にイメージできる。このことから、この彫刻刀を PC 上で再現する事で、3D 初心者にも敷居の低いシステムを作成できる。

彫刻刀は物を削る事に特化した道具であり、その削り後は物体の硬さや表面の形状に非常に影響を受けた形状になる。彫刻刀の動きを分析し、再現する事で、物体の硬さや表面の形状に依存した操作を PC 上で再現するという事ができる。

入力機器にペンタブレットを用いた理由は、彫刻刀では刃先の座標だけでなく、その時刃にかけている力も重要な要素なので、座標のデータのみしか得られないマウスでは不十分だという理由からである。また、安価であり一般にも広く普及しているので、導入しやすく、PC 初心者でも操作に慣れるのに時間がかからないという利点がある。

2 実世界の彫刻刀による切削の特徴

彫刻刀の動きを分析するため、彫刻刀による切削の特徴を考えた。

Title.

Tyokokuto: A 3D Modelling System based on Scraping, [†] 電気通信大学 大学院情報システム学研究所

Graduate School of Information Systems, University of Electro-Communications

1-5-1 Chofugaoka, Chofu-shi, Tokyo, 182, Japan

^{††} 電気通信大学 e ラーニング推進センター

Center for Developing e-Learning, University Electro Communications

1-5-1 Chofugaoka, Chofu-shi, Tokyo, 182, Japan

2.1 刃の移動経路

物体の表面に沿って移動する刃の移動経路は、ほぼ直線の経路を描くという特徴がある。この為、ゆるいカーブ程度なら描く事は可能であるが、極端なカーブや折れ曲がった線などを描く事はできない。これは、後述の削られる経路を表す削除線の決定の際に、手書き線の経路を彫刻刀の経路らしくする時に反映される。

2.2 削られる幅

削られる形状の幅は、平刀では基本的に刃の幅と同じになる。三角刀や丸刀では深さによって異なるが、単純に刃の形状による物であり、さほど複雑な物ではない。これは、後述の削られる部分の表面を表す削除面の決定の際に、削除面の幅として反映される。

2.3 削られる深さ

削られる深さもまた、極端に変化させる事は難しく、基本的にはなだらかに変化する。これは、深さは下方向に押す力が強いほど深くなるが、深く彫るには刃を下方向に向けなければならず、その時の刃は物体の中に埋まっているので、周りの物体に押されて刃の向きを大きく動かす事はできないためである。また、深さが深くなるほど刃を彫り進めるのに必要な力が増えていってしまうために、あまり深くまで削ろうとすると、それ以上刃を前に進める事ができなくなってしまう。これは、後述の元の形状から削りとられる立体を表す削除立体の決定の際に、削除立体の深さとして反映される。

3 手法

3.1 削り基準面

実世界において、削るという操作は 3 次元的操作である。しかしながら、当研究ではペンタブレットという 2 次元の操作しかできない入力機器を使用している。そこで、2 次元の操作で 3 次元の操作を行えるような仕組みを考慮しなければならない。

実世界の彫刻刀で物体を削る際、基本的に、削りたい面が視点と平行になるようにして操作を行う。そして、削る操作自体もまた、削りたい面と平行に行う事がほとんどである。このことから、彫刻刀での作業は、削りたい面に平行な平面上で行われていると考える事ができる。

このことから、その平面を削る操作の基準として考え、その平面をペンタブレットの平面に対応させる事で、2 次元平面上の操作で 3 次元の操作を行えるようにした。この平面を削り基準面と呼ぶ事にする。削り基準面は、削りたい面に平行で、かつ視点にも平行になるように、削りたい面を変更すると視点もそれに伴って移動する、という特性がある。

3.2 手書き線描画

実世界で物を削る場合、版画を削るように、削る操作と関係なく物体を固定した状態で削るケースと、りんごの皮むきのように、削る操作にあわせて削る物体を動かしながら物体表面に沿って削ってゆくケースの 2 つがある。

この2つのケースは、削り基準面の挙動に2通りの方式を用意する事で再現する事ができる。

3.2.1 削り基準面固定

物体を固定した状態で削るケースは、削り基準面を1回の削る操作を始めてから終わるまでそのまま動かさない事で再現できる。削り基準面を動かさないで、視点も動かす必要は無い。

3.2.2 削り基準面浮動

物体を動かしながら物体表面に沿って削ってゆくケースは、削り基準面を1回の削る操作の最中もペン先の移動にあわせて動かす事で再現できる。削り基準面を動かすので、視点も動かす必要がある

3.3 削る立体の決定手順

手書き線のデータはただの線のデータであるが、最終的に得なければならないのは元の形状から削り取る立体のデータなので、この手書き線を3次元の立体のデータにするという操作が必要である。

よって、図1に示したように、手書き線を整形し、その線に幅を与えて平面に、さらにその平面に対して筆圧データを利用して深さを与えるという操作を行う事で、削り取る立体のデータを手書き線から作成した。

手書き線を整形した線を削除線、削除線に幅を与えた物を削除面、削除面に深さを与えた物を削除立体と定義した。

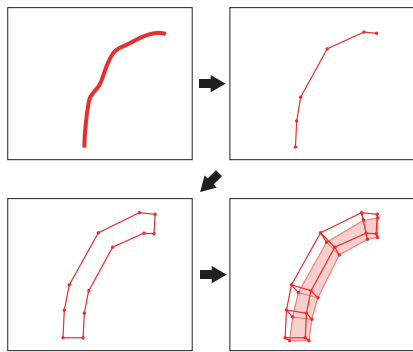


図 1: 手書き線から削除立体の生成の例

4 作成したシステムの操作手順

4.1 手書き線の描画手順

削り基準面浮動の場合の、手書き線の描画の例を図2に示す。図2の(1)から(2)の間で引かれた手書き線は、削られる形状の同じ平面上にあるので視点は視点に対して平行移動しかしていない。(2)から(3)では手書き線が異なる2つの面をまたいでいるのでペンの先端がある面と平行になるように視点が回転している。

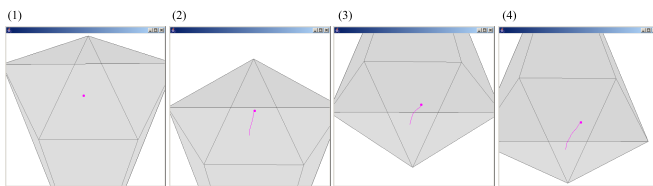


図 2: 手書き線描画の例

この際に削り基準面は、図3のように移動している。

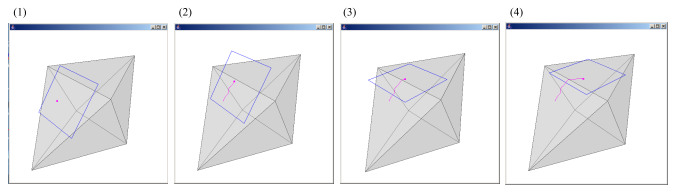


図 3: 削り基準面の移動の例

4.2 手書き線から削除立体の生成例

作成した手書き線から削除立体を生成する過程の例を図4に示した。(1)の手書き線が、(2)で削除線に、(3)で削除面に、(4)で削除立体に変換されている。

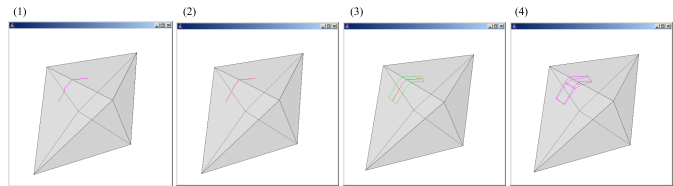


図 4: 手書き線から削除立体の生成例

5 システム概要

作成したシステムのモジュール図を図5に示した。

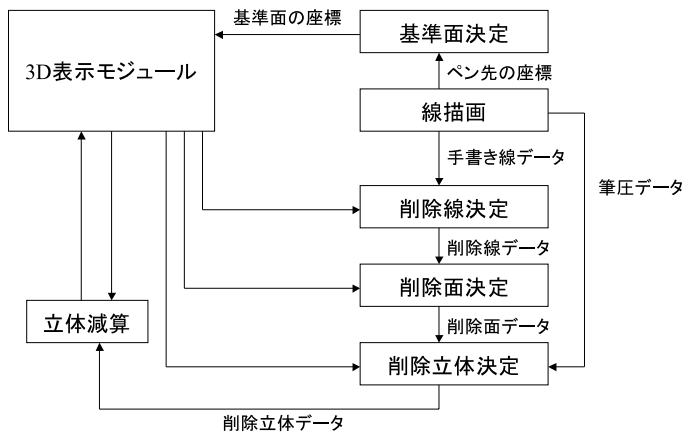


図 5: システムモジュール図

6 関連研究

平面上に描いた手書き自由曲線から三次元モデルを作成するシステムとして、[1]がよく知られている。また、立体減算モジュールの作成の際、[2]のアルゴリズムを参考にした。

参考文献

[1] Satoshi Matsuoka Hidehiko Tanaka, Takeo Igarashi. Teddy: A sketching interface for 3d freeform design. *ACM SIGGRAPH'99*, pp. 409-416, 1999.

[2] Herbert B. Requicha, Aristides A.G.Voelcker. Boolean operations in solid modelling: Boundary evaluation and merging algorithms. In *Production Automation Project; TM-26*. Production Automation Project, University of Rochester., 1984.