

# IGEL

## ～ヒートカッターを模した 3 次元形状モデリング～

今泉仁美 伊藤貴之

IGEL : A 3D Shape Modeling Tool Mimicking Heat Cutters

Hitomi Imaizumi Takayuki Itoh

**Abstract** — IGEL is a 3DCG modeling system mimicking heat cutters. Heat cutter is a tool for processing styrene form. Since blades of cutters are steal wires, user can freely bend them. IGEL realizes this operation by a sketch input system. IGEL has two different modes, 2D and 3D modes, and users can switch them freely. In 2D mode, users can draw the shapes of cutters freely. In 3D mode, users can cut the styrene forms using their own cutters. Our implementation represents the styrene forms as triangular meshes, and cuts the meshes according to the user's operation.

**Keywords** : Computer Graphics, Modeling, User Interface

### 1. 概要

今日 3DCG は映画、ゲームなどのエンタテインメントにおいて欠かせないものとなっている。モデリングとは、3DCG の制作において物体の形状を設計する段階を指す。3DCG の制作には多くの場合において専用のモデリングソフトが用いられているが、これらのモデリングソフトは直観的ではなく、CG の知識や使用経験のない初心者には使いにくいものとなっている。そこで近年、初心者でも楽しみながら直観的なモデリングができるような手法が多く提案されてきた。しかし、初心者に向けたインタフェースでは複雑な形状の設計は難しい場合が多い。

そこで本報告では、スチロール加工等に使用される工具であるヒートカッターを模倣した、スケッチベースの 3 次元形状モデリング手法「IGEL」を提案する。ヒートカッターとは、電熱線を利用して熱に弱いスチロールを切断するための工具である。IGEL では、ヒートカッターの電熱線の形状と軌跡の両方を、ユーザがスケッチ入力する。ユーザはまずヒートカッターの電熱線の形状をスケッチ入力し、それを 3 次元座標系で自由に動かすことで、初期形状を削りながら加工することができる。IGEL では、切断する工具の形状もユーザが自由に設計できる。そのため、例えば波のような形の Cutter 形状を描くことで波状の表面形状を持つ立方体を製作できる。また、星形の Cutter 形状を描いて、立方体を星形にくりぬくことも可能である。IGEL では、このような従来の手法では設計することが困難だった形状を、数

回のストロークで直感的に設計することができるようになると思われる。

IGEL とは、ドイツ語でハリネズミという意味を持つ。ヒートカッターの刃が針のようであることと掛け合わせて、我々はこのように名づけた。

### 2. 関連研究

手軽に簡単な 3 次元形状をモデリングするための手法として、スケッチ入力をもとにして 3 次元形状を生成する手法[1]が活発に研究されている。このように 2 次元入力から 3 次元形状を生成する手法は、直感的で誰もが簡単にモデリングを行えるが、形状の奥行き方向は自動的に決定されてしまうため、細部まで凝ったモデリングをするのには不向きである。手法[2]ではその問題点を、大まかな形状を生成したあと、スケッチ入力によるメッシュ変形を行うことで補っている。

これらの手法は絵を描くようにモデリングを行うという視点から研究されているが、3 次元形状として存在しているものを加工するという視点から提案された手法もある。このような手法は、2 次元形状から 3 次元形状を生成する手法と比べて、繊細な形状の制作に向いていると考えられる。我々は本研究において対象とするユーザ層を、ある程度熟達した趣味としてモデリングを楽しみたい者としている。そこで前者と比較して、制作に時間はかかるものの、微調節を得意とし、徐々に作品を仕上げていく達成感をユーザに与えることができる後者の視点から研究を行っている。

手法[3]では、野菜を切ることを模倣して 3 次元ボリュームデータを切断する。この手法におけ

る切断面は、軌跡に沿った平面などに制限される。IGEL では、カッターの形状を自由にデザインできるため、複雑な切断面を持つ物体形状を少ないストローク数で生成できる。

また、手法[4]のように彫刻刀などの工具を模倣して 3 次元形状を加工する手法もいくつか報告されている。工具を模した手法はユーザにとって直感的であり、ユーザの個性を表現することにも適している。しかし、彫刻等を模した手法は、大まかな切断作業を苦手としている。ヒートカッターは刃の形状をある程度自由に設計できるため、大まかな切断にも、微細な加工を必要とする部分にも、設計中に刃の形状を変更することで柔軟に対応できる。

### 3. 提案内容

本研究では、主にスチロール造形に使用されるヒートカッターという工具に着目した。ヒートカッターは、電熱線で発泡スチロール等の素材を切断する工具である。電熱線の形状を工夫することで、様々な使い方が可能になる。業務用のヒートカッターでは、電熱線の形状は強度の問題で自由に變形することはできないが、IGEL では電熱線の形状もユーザが自由に變形できるようにした。これによりユーザは、作成したい形状に合わせたカッターの形を自分で設計することができ、より自由に 3 次元形状を設計できる。また IGEL では、実際のヒートカッターでは実現できない閉曲線状の刃も設計できるため、物体をくりぬくような操作が可能になる。これにより、従来なら差集合演算を必要とした形状も、直感的に設計できる。

IGEL では、ユーザは以下の 2 つのモードを切り替えることで、3 次元形状モデリングを行う。

- カッター形状をスケッチ入力するための 2 次元モード
- スケッチ入力したカッター形状で物体を加工するための 3 次元モード

また、IGEL では切断される物体の形状や切断面を三角形メッシュで表現している。以下に IGEL の処理手順を示す。

#### 3.1 2 次元モード

図 1 に示すように、IGEL では 2 次元モードでヒートカッターの形状をスケッチ入力する機能を提供する。画面にはユーザの入力の目安となるように、補助線を表示している。入力デバイスには、現在はマウスを用いている。ユーザがマウス

をドラッグすると、画面上に曲線が描かれる。続いてこの曲線は、図 2 に示すように折れ線に近似される。近似のアルゴリズムは以下の通りである。入力された曲線の始点と終点を端点とする線分と、曲線上の各頂点の距離を計算する。そして図 2(1)に示すように、距離が最大となる点を求め、これを新しい頂点として線分を 2 分割する。この処理を新しい頂点の左側 (図 2(2)参照) および右側 (図 2(3)参照) について再帰的に反復し、最大距離が閾値を越えなくなったら終了する。以上の処理を終了した段階での線分群の例を、図 2(4)に示す。この処理によって曲線を構成する頂点数を大幅に削減できるので、これ以降の処理量を軽減し、実行時の処理速度低下を防ぐことができる。また、描いたカッター形状が気に入らない場合は、そのまま新しいカッター形状を描くと、前に描いたカッター形状は破棄される。

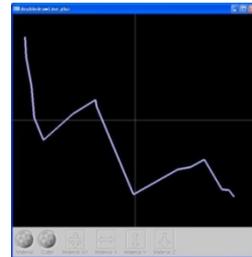


図 1: 2 次元モードでの入力画面

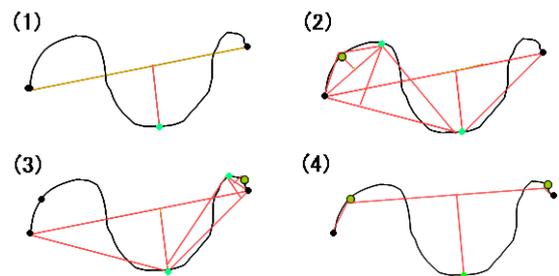


図 2: 2 次元モードでの近似アルゴリズム

#### 3.2 3 次元モード

ヒートカッターの形状を入力後、ユーザは IGEL を 3 次元モードに切り替えることができる。3 次元モードでは、2 次元モードで描いたカッターを、マウスを動かすことで操作できる。ドラッグを開始するとカッターの色が変化し、切断操作を開始する。そしてドラッグした軌跡を切断の軌跡として、画面上の 3 次元形状を切断・加工することができる。軌跡の入力を終了すると、IGEL は以下の手順で 3 次元形状を表現するメッシュ

を切断する。

### 3.2.1 切断面メッシュの生成

IGEL では、ヒートカッターの軌跡として得られる曲面と、3次元形状の交差判定によって、3次元形状の切断処理を実現する。本報告では、この曲面を近似する三角形メッシュを、切断面メッシュと呼ぶ。切断面メッシュは、軌跡の入力中に並行して生成され、軌跡の入力を終了した時点で完成となる。IGEL では図3に示すように、ヒートカッターの形状を構成する頂点群を、ユーザが入力した軌跡に沿って移動させ、一定間隔ごとに頂点を生成し、それらを連結することで三角形メッシュを生成する。

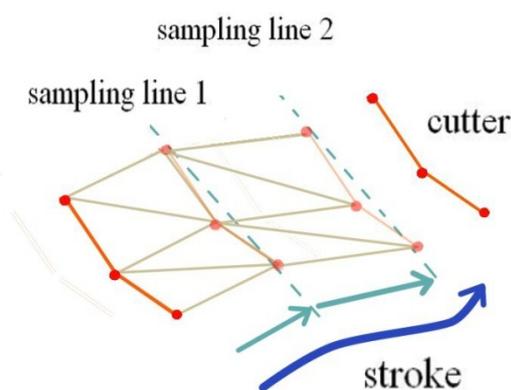


図3: 切断面メッシュの生成

### 3.2.2 メッシュの交差線の生成

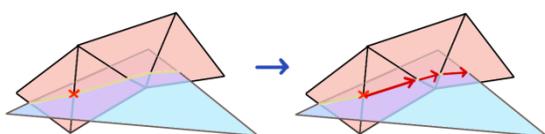


図4: 交差線の生成

切断面メッシュが生成されると、次にIGELは切断面メッシュと切断される3次元形状メッシュの交差判定を行う。交差判定では、切断面メッシュと切断されるメッシュにおいて、一方の三角形メッシュの辺と他方の三角形メッシュの面の交点をひとつ検出し、メッシュの新しい頂点として追加する。そして図4に示すように、この始点から一定方向に追跡しながら、交点を検出し、新しい頂点として追加することで、交線群を生成する。この交線が閉じた時点で、交差線の生成を終

了する。現段階の我々の実装では、交差線が複数発生する場合や、閉じた交差線が生成されない場合(切断メッシュを通過中に切断を中断するなど)には、まだ対応していない。

### 3.2.3 メッシュの分割

IGEL では生成された交差線を制約辺とみなし、制約付きドロネメッシュの生成アルゴリズムに基づいて、頂点を随時追加するような形でメッシュ分割を実現する。また、ドロネメッシュの生成アルゴリズムでは、メッシュを分割する度にメッシュの組み換え判定を行う。図5に組み換え判定の手順を示す。まず図5(1)に示す三角形メッシュに対して、図5(2)に示すように新しい頂点を追加し、制約付きドロネメッシュの生成アルゴリズムに基づいて新しい三角形を生成する。続いて、新しい三角形の各々について、隣接している三角形メッシュを調べる。図5(3)で色の塗られた三角形が、組み替えるべき三角形の例であり、図5(4)がこれを組み替えた例である。この処理を再帰的に繰り返すことで、メッシュの組み換えが適切に行われる。

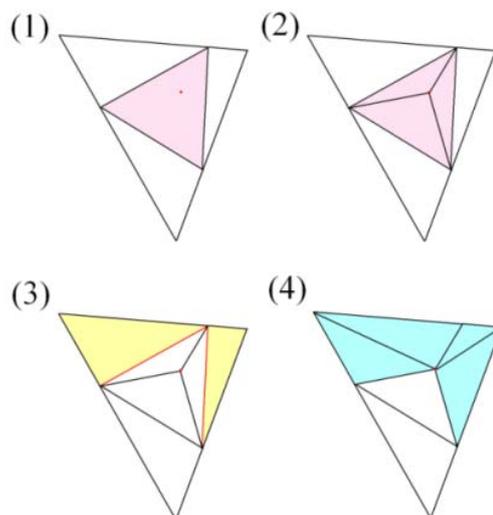


図5: メッシュの組み換え

しかし、IGEL では分割前の三角形ごとにメッシュ分割処理を適用するため、分割過程にてこの処理を行うだけでは完全に効率の良い組み換えを実現できない。そのため、組み換え処理はメッシュが新しく生成された後に実行している。

IGEL ではまず、交差線上の頂点全てを、その頂点が含まれる三角形ごとに線群として分類し、分割前の三角形の中で再帰的に分割処理を行う。この処理によって、制約辺なしのメッシュを生成する。続いて図6に示すように、分割された三角

形群が制約辺に接するように辺の組み換えを行う。これらの処理を全ての線群に対して行う。また、切断されるメッシュだけでなく、切断面メッシュにも処理を適用する。分割処理適用後の切断面メッシュの、交差線で閉じている部分が新しいメッシュの切り口部分となる。

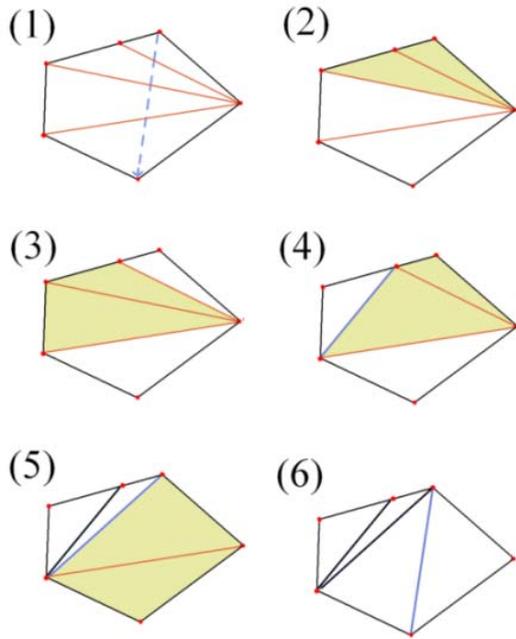


図 6: 制約辺に沿うための組み換え処理

### 3.2.4 メッシュの選択

切断される 3 次元形状メッシュと切断面メッシュに対して分割処理を終了すると、IGEL では図 7(左)に示すように、切断されるメッシュの色を、切断面との交線を境界として 2 色に塗り分ける。この時ユーザが 2 色のいずれかの領域をクリックすると、IGEL は選択された色のメッシュと切断面の貼り付け処理を行い、メッシュの組み換え処理を行い、結果として図 7(右)に示すような新しいメッシュを生成する。その後ユーザは、3 次元モードのまま 3 次元形状を加工し続けることも、再び 2 次元モードに切り替えて新しいカッター形状を描くことも可能である。

### 3.3 ユーザインタフェース

IGEL では、ユーザの回転操作、平行移動操作などを容易にするため、GLUI によるサブウィンドウ上での操作を可能にした。このサブウィンドウは 3 次元モードにおける操作を支援するものであり、切断される物体やカッターの回転・平行移動、および視点の変更などに用いるものである。現在は実装途中のため、これに加えてキーボード

による操作を伴う。たとえば、2D モードと 3D モードの切り替えは、キーボードでの操作に依存している。しかし将来的には、マウスもしくはペンタブレットなど、十分に普及したポインティング入力デバイスのみにより、直観的な基本操作を可能にできるように開発を進めたい。

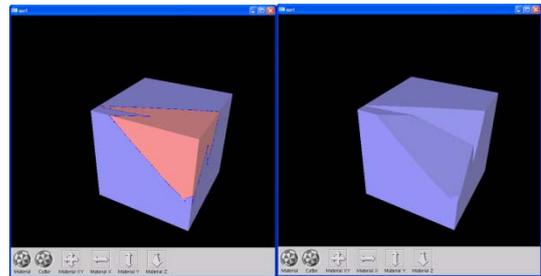


図 7(左): メッシュの選択画面

図 7(右): 生成されたメッシュ

## 4. まとめと今後の課題

本報告では、ヒートカッターを模した新しいモデリングの一手法 IGEL を提案した。

今後の課題は以下のとおりである。まず、現在の実装では、交差線が閉じない場合や切断面を複数持つ場合に対応していないので、これらに対応したい。また、操作面での課題として、奥行き方向の快適な移動や、手首のひねりといった複雑な操作を実現することがあげられる。奥行き方向への操作に関しては、入力デバイスをペンタブレットに限定することで筆圧を利用することを検討中である。また、現段階ではメッシュを切断する処理しかできないが、将来的には、やすりがけを模倣する形状平滑化処理や、ボンドを模倣する形状接合処理など、ユーザが楽しみながら快適にモデリングできるような機能の実装を検討したい。

### 参考文献

- [1] T. Igarashi, S. Matsuoka, H. Tanaka, Teddy: A Sketching Interface for 3D Freedom Design, Proc. SIGGRAPH 99, pp. 409-416, 1999.
- [2] J. J. Cherlin, F. Samavati, M. C. Sousa, J. A. Jorge, Sketch-based modeling with few strokes, Proceedings of the 21st spring conference on Computer graphics, pp. 137-145, 2005.
- [3] 大和田, 赤保谷, F. Nielsen, 楠, 五十嵐, 切る, WISS 第 12 回インタラクティブシステムとソフトウェアに関するワークショップ 2004, pp. 1-4, 2004.
- [4] 水野, 岡田, 鳥脇, 横井, 仮想彫刻-仮想空間における対話型形状生成の一手法, 情報処理学会論文誌, vol. 38, No. 12, pp. 2509-2516, 1997.