

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

お茶の水女子大学大学院

IGEL : A 3D Shape Modeling Tool Mimicking Heat Cutters

Hitomi Imaizumi Takayuki Itoh

Graduate School of Humanities and Sciences, Ochanomizu University

{hitomi, itot} @ itolab.is.ocha.ac.jp

概要

我々は 3 次元コンピュータグラフィックスのための新しい形状モデリングシステム IGEL を提案する。IGEL は、発泡スチロール等の加工に用いるヒートカッターを模することで、直観的な 3 次元形状モデリングを実現するものである。IGEL はスケッチ入力によってヒートカッターと同等な操作を実現する。スケッチ入力には 2 次元モードと 3 次元モードがあり、ユーザは 2 つのモードを自由に切り替えられる。2 次元モードは、ヒートカッターの電熱線の形状を自由に設計するためのものである。3 次元モードは、電熱線を用いて発泡スチロールを切るためのものである。我々の実装では、発泡スチロールの表面形状を三角メッシュで表現し、電熱線の軌跡が描く曲面との交差処理によってその三角メッシュを加工するものである。本論文では、IGEL の処理手順と 3 次元形状加工例を示し、今後の展望を議論する。

Abstract

IGEL is a new shape modeling tool mimicking heat cutters for 3D computer graphics. 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. This paper describes the processing flow of IGEL, shows examples, and discusses our future works.

1 はじめに

3次元コンピュータグラフィックス（以下3DCG）は現在、非常に多くの産業分野において普及と発展を遂げている。典型的な例として、映画、ゲームなどのエンタテインメント産業におけるキャラクターおよびシーンの制作、自動車や建築などの工業技術における設計やプレゼンテーション、ウェブサイトや学術施設などにおけるバーチャルリアリティなどがあげられる。

3DCGの制作過程は、形状モデリングやレンダリングなど、いくつもの工程に分けられる。ここで形状モデリングとは、3DCGの制作において物体の形状を設計する段階を指す。3DCGの形状モデリングには、多くの場合において専用のモデリングソフトウェアが用いられている。これらのモデリングソフトウェアの多くは、キャラクターデザイナーや工業製品設計者などの職業制作者を対象にして開発されている。よって多くのモデリングソフトウェアは高価であり、操作方法が直観的ではない、CGの知識や使用経験のない初心者には使いにくい、などの傾向がある。近年では動画や音楽などのマルチメディア分野において、消費者生成コンテンツの普及が急速に進んでいるのに対して、3DCGの消費者生成コンテンツの普及は進んでいるとはいえない。モデリングソフトの難解さは、その理由の一つであろうと考えられる。

一方で近年、3DCGの専門知識を有さない人にも、楽しみながら直観的な形状モデリングができるような手法が多く提案されてきた。典型的な例として、スケッチ入力に基づく手法 [1][2][3][4] や、3次元形状を「彫る」「折る」「切る」といった現実の加工操作を模倣する手法 [5][6][7][8][9] があげられる。これらの研究は、職業制作者ではない一般消費者にも、3DCGコンテンツを制作する喜びをもたらす可能性があると考えられる。また、職業制作者にとっても、制作期間の短縮などに貢献できる可能性があると考えられる。我々が本論文で提案する手法も、このような直観的な形状モデリング手法の一種として位置づけられる。

我々は本研究に着手するにあたり、以下のような設計思想を前提とすることにした。

- スケッチ入力などの直観的な操作方法に専念し、メニュー選択やキーボード入力を極力用いない手法を確立する。
- 3次元形状を「切る」「彫る」といった、現実の3次元形状加工方法に近い手法を確立する。
- 高度な入力デバイスやグラフィックスシステムの利用を前提としない。
- ユーザ層や利用目的として、工業製品設計のようなミリ単位での厳密な形状モデリングを想定しない。しかし、ある程度の高度な趣味として3DCGに接する人が、見た目上ある程度精密な形状モデリングを実現したい、という要求を想定する。

本論文では、上記の設計思想を満たすことを目標とした、スケッチベースの3次元形状モデリング手法「IGEL」[10]を提案する。IGEL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形状モデリング手法である。ヒートカッターとは図1に示すように、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。IGELでは、このような従来の手法での設計に手間がかかった形状を、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。



図1: ヒートカッター。

以上の処理をIGELは、マウスやペンタブレットなど、一般に普及した入力デバイスだけで実現する。またIGELは、高度なグラフィックスシステムを有さない環境（例えばGPUプログラミングが有効でない環境）でも稼働できるようにという設計思想から、モデリングする形状を単純な三角メッシュで表現する。

以下、IGELという名前の由来について述べる。IGELはInteractive Graphics Enabling Light-modelingの略である。我々は、手軽な形状モデリングをインタラクティブに実現したい、という願いをこの名前に込めている。またIGELは、ドイツ語でハリネズミを意味する単語でもあり、「イーゲル」と発音する。我々はこの名前をつけるにあたり、ヒートカッターの刃が針のようであることも掛け合わせている。

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、スケッチ入力によって描かれた2次元形状から3次元形状を生成する手法 [1][2] が活発に研究

されている。このように2次元スケッチ入力から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実現できる可能性があり、3DCGの普及に対して大きな可能性があると考えられる。しかしその反面として、これらの手法の多くは、手法固有のヒューリスティクスに基づいて画面奥行き方向の形状的特徴を自動的に決定する。そのため特に奥行き方向に対して、細部にわたって精巧な形状表現を目指す場合には不向きなこともある。このことから一般的に、スケッチ入力に基づく形状モデリングにおいて、手軽さと精巧さはトレードオフの関係にあると考えられる。

近年発表されたスケッチ入力ベースの形状モデリング手法の中には、このようなトレードオフの解決を目指すものが見られる。Cherlinらの手法[3]では、パラメトリック曲面に基づく概略的な形状生成、スケッチ入力による形状変形、などのステップを経ることで、形状モデリングの手軽さと精巧さの両立を目指している。またモデリングの対象物体を絞ることで、形状モデリングの手軽さと精巧さを両立することは可能である。一例として井尻らの手法[4]は、精巧な植物の形状モデリングを手軽なスケッチ入力で実現している。

一方で、現実の3次元形状加工技術や3次元制作素材を模倣する形状モデリング手法も多く提案されている。典型的な例として、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[5]、吹きつけ工具を仮想した手法[6]などがあげられる。また現実の3次元制作素材を模倣した手法として、粘土を仮想した手法[7]や折り紙を仮想した手法[8]があげられる。このような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。また、このような手法は、形状制作に時間がかかることが多い反面、現実感のある加工過程を体験できる、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、といった点で魅力があると考えられる。我々は本研究において、ある程度熟達した趣味としてモデリングを楽しみたい方々を、主たるユーザ層として想定している。このようなことから我々は、現実の3次元形状加工技術を模倣する手法に着目している。

本論文の提案手法IGELは、以上の手法に大きく関連している。IGELはヒートカッターという現実の3次元形状加工技術を模倣するものであり、またその操作方法としてスケッチ入力を導入している。このような観点からIGELに最も深く関連している手法の一つとして、大和田らの手法[9]があげられる。この手法では野菜など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。この手法は1ストロークのスケッチ入力ですぐに切断操作を実現し、その切り口におけるテクスチャを適応的に生成できる。しかしその切断面形状は、平面やスイープ曲面などに制限されると考えられる。IGELでは、カッター形状入力、カッター軌跡入力、という2種類のスケッチ入力を要する代わりに、より自在に複雑な切断面形状を生成できると考えられる。

3 IGEL～ヒートカッターを模した3次元形状モデリング～

本章では、まずヒートカッターを模した3次元形状モデリングの意義について述べる。続いて本論文の提案手法IGELの概要について述べ、さらにIGELを構成する各処理の詳細について述べる。

3.1 ヒートカッターを模する意義

我々は新しい形状モデリング手法の開発に際して、ヒートカッターという工具に着目した。ヒートカッターとは、電熱線で発泡スチロール等の素材を加工する工具である。具体的な加工手段としてヒートカッターは、切断する、くり抜く、溶かす、といった処理を実現する。ヒートカッターの電熱線は多くの場合において直線であるが、電熱線の形状を工夫することで、より多彩な加工表現を可能にする。彫刻刀に数種類の形があるように、ヒートカッターの電熱線にも数種類の形が用意されていることが多い。

形状モデリング手法としてヒートカッターを模することの意義は、以下のとおりであると考えられる。まず、現実の3次元形状加工手法、例えば「彫る」[5]「切る」[9]といった手法を模倣することで、現実の形状加工に近い感覚での形状モデリングを実現できる、という点がある。また、電熱線の形状を自在に選択する、という単純な操作によって多彩な形状表現が可能になるため、ある程度精巧で、かつ多彩な形状モデリングを直観的に実現できる、という点もあげられる。

3.2 IGELの概要

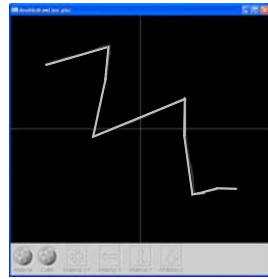
IGELはヒートカッターを模する形状モデリングを、スケッチ入力に基づいて実現する手法である。IGELでは図2に示すように、ユーザが以下の2つのモードを切り替えることで、3次元形状モデリングを実現する。

- 2次元モード: カッター形状をスケッチ入力するためのモード。
- 3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モード。

一般的に市販されているヒートカッターでは、電熱線の形状を自由に変形することはできない。しかしIGELでは、現実のヒートカッターよりも自由度を高めて、電熱線の形状もユーザが自由に設計できるようにした。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。

我々の実装では、高度な入力デバイスを前提としないという設計思想に基づき、2次元モードおよび3次元モードの操作を、マウスのドラッグ操作だけで実現できるようにした。また我々の実装では、GPUプログラミング環境などの高度なグラフィックシステムを前提としないという設計思想に基づき、既にオペレーティングシステム等に付属されているOpenGLなど

2次元モード(カッター形状を入力)



3次元モード(描いたカッターで素材を切断)

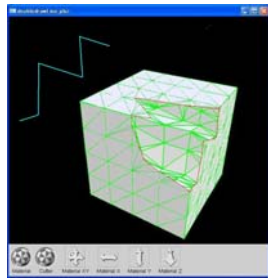


図 2: 2次元モードと3次元モード。

のグラフィックスライブラリのみを用いて実装できるよう、単純な三角メッシュで形状を表現している。これらはいくまでも、我々の設計思想に基づいて判断した結果である。我々は本論文において、高度な3次元入力デバイスの利用や、GPUプログラミングを前提としたボリウムモデルやポイントモデルの採用によってIGELと同等な手法を実装することを否定するものではない。

IGELの操作手順・処理手順は以下のとおりである。

1. 2次元モードを起動し、カッターの形状をスケッチ入力する。
2. カッターの形状を折れ線で近似する。
3. 3次元モードを起動し、カッターの軌跡をスケッチ入力する。
4. カッターの軌跡として得られる曲面を近似する三角メッシュ(以後「切断面メッシュ」と称する)を生成する。
5. 切断される素材を表現した三角メッシュ(以後「素材メッシュ」と称する)と、切断面メッシュの交差を判定する。
6. 切断後の素材メッシュを生成し、再描画する。
7. カッターの形状を替える時は1.に戻る。同じカッターを使い続ける時は3.に戻る。

また将来的に我々は、実際のヒートカッターでは実現できない閉曲線状の刃を設計できるように、IGELを拡張する予定である。これによって、野菜や粘土の型を使うような感覚で、物体をくり抜く操作が可能になる。このようなくり抜き操作は、従来のモデリングソフトウェアでは差集合演算を必要とする場合が多かったのに比べると、より直感的に実現できると考えられる。

次節以降では、IGELの各処理について具体的に論じる。

3.3 2次元モード

図2(上)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3に示すように折れ線に近似される。近似のアルゴリズムには、2値ラスタ画像からのベクトル生成手法[11]に類似する以下のものを採用している。まず、入力された曲線の始点 v_1 と終点 v_2 を端点とする線分 l_1 と、曲線上の各頂点の距離を計算する。そして図3(1)に示すように、距離が最大となる点 v_3 を求め、点 v_1 と点 v_3 を両端とする線分 l_2 と、点 v_3 と点 v_2 を両端とする線分 l_3 により曲線を近似する。この処理を線分 l_2 および l_3 について再帰的に反復し(図3(2)(3)参照)、最大距離が閾値を越えなくなったら終了する。以上の処理によって近似された曲線の例を、図3(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。

なお、描いたカッター形状を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。

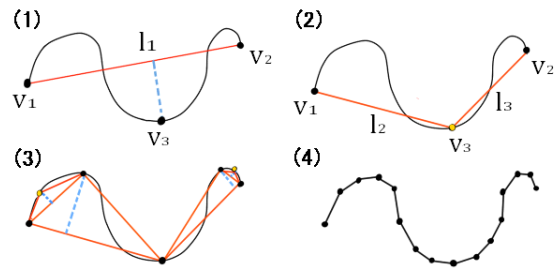


図 3: 2次元モードでの近似アルゴリズム。

3.4 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。

なお現時点の我々の実装では、ヒートカッターは投影面に平行な面上での平行移動のみによって生成され

る．興行き方向への平行移動，ひねりなどの回転移動，などを実現するためには，マウス以外の操作デバイスを用いることが必要であると考えられる．

3.4.1 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．本論文では，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4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．なお図4において「cutter」はカッター形状，「stroke」はスケッチ入力によるカッター軌跡，「sampling line」はカッター軌跡中のサンプル点を端点としてカッター形状を複製してできる曲線を示している．

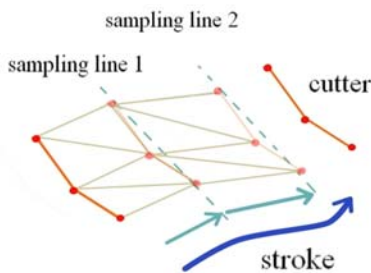


図4: 切断面メッシュの生成．

3.4.2 メッシュの交差線の生成

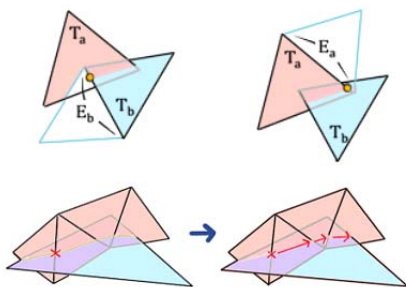


図5: 交差線の生成．

切断面メッシュを生成した後に，IGEL は切断面メッシュと素材メッシュの交差線を求める．交差線の生成処理では，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検出する，という処理を一

定方向に反復し，最初に検出された交点に到達した時点で反復を終了する．以上の処理を図5に示す．また，処理手順を以下の通り要約する．

1. 素材メッシュの三角形 T_a と切断面メッシュの三角形 T_b の1辺 E_b との1交点 V_1 を生成する．次の処理のために $i = 1$ とする．2. または3. に進む．
2. T_a と T_b の辺 E_b が交差するときには，以下の処理を行う．
 - T_a と E_b の交点 V_{i+1} を生成し， $V_i V_{i+1}$ を交差線の1辺とする． V_{i+1} と V_1 が同一頂点であれば，処理を終了する．
 - T_b に隣接する三角形で E_b を共有するものを T_b とする．
 - 2. または3. のうち該当する方に進む．
3. T_a の辺 E_a と T_b と交差するときには，以下の処理を行う．
 - E_a と T_b の交点 V_{i+1} を生成し， $V_i V_{i+1}$ を交差線の1辺とする． V_{i+1} と V_1 が同一頂点であれば，処理を終了する．
 - T_a に隣接する三角形で E_a を共有するものを T_a とする．
 - 2. または3. のうち該当する方に進む．

なお现阶段の我々の実装では，素材メッシュの内部を通過中に切断を中断した場合などのように，交差線が閉じたループを形成できない場合の処理は想定されていない．また凹凸を含む形状の切断において，交差線が複数の閉じたループを形成すべき場合の処理も，まだ実現できていない．

3.4.3 メッシュの再分割

メッシュの交差線が生成された時点で，素材メッシュおよび切断メッシュには，交差線上に新しい頂点が生成されている．IGEL では生成された交差線を構成する各々の線分を制約辺とみなし，制約付きドローネメッシュ生成手法に基づいて，素材メッシュおよび切断メッシュを再分割する．

我々の実装では，制約付きドローネメッシュの実現のために，頂点を1個ずつ追加する Sloan のアルゴリズム [12] を採用している．このアルゴリズムでは，頂点を1個追加するたびに，メッシュ組み換えの可否を判定する．ここでメッシュ組み換えとは，辺 AB を共有する隣接三角形 PAB と QBA に対して，辺 AB を削除する代わりに辺 PQ を生成し，2三角形を PAQ と PQB に改めることを意味する．

Sloan のアルゴリズムによる組み換え判定の手順を，図6に示す．この処理手順では，まず図6(1)に示す三角形メッシュに対して，図6(2)に示すように新しい頂点を追加し，その頂点を内包する三角形を3個に分割する．続いて，分割されてきた3個の三角形の各々について，隣接している三角形との組み換えの可否を判定する．ここでメッシュ組み換えは，

- 組み換えによって三角形形状が改善される．

- 組み換えによって制約辺に重なるメッシュ辺が削除されない。

の2条件を満たす際に適用される。図6(3)で色の塗られた三角形が、組み換えるべき三角形の例であり、図6(4)がこれを組み換えた例である。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実現される。

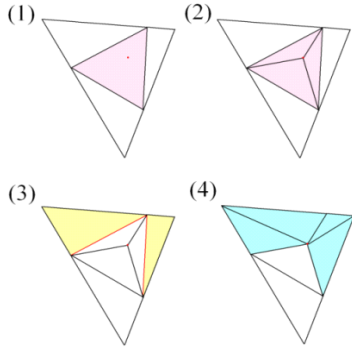


図 6: メッシュの組み換え。

制約辺を考慮したメッシュ組み換えを、効率よく、かつ誤りなく実現するために、IGELではSloanのアルゴリズムを拡張した以下の処理手順を採用している。まず交差線上の全ての頂点を用いて、制約辺を考慮せずにメッシュを組み換える。続いて交差線を構成する各々の制約辺について、制約辺が交差する三角形群を抽出し、三角形と制約辺の交差がなくなるようにメッシュの組み換えを再実行する。組み換え再実行の処理手順を図7に示す。ここで、図7(1)における点線が1本の制約辺であり、この制約辺は4個の三角形と交差している。このとき我々の実装では、4個の三角形のうち隣接する2三角形を抽出し、この2三角形の組み換えによって制約辺との交差三角形数が減少するならば組み換えを実行する。図7(3)で黄色に塗られた2三角形を組み換えると、図7(4)に示すように制約辺との交差三角形数は3個に減少する。さらに図7(4)で黄色に塗られた2三角形を組み換えると、図7(5)に示すように制約辺との交差三角形数は2個に減少する。そして図7(5)で黄色に塗られた2三角形を組み換えることで、図7(6)の青い線分に示すように、メッシュ辺と制約辺が一致する。これをもって、当該制約辺に関するメッシュ組み換えを完了する。

現時点での我々の実装では、メッシュ再分割の効率性と品質の観点から、交差線の処理が完了してから一気にメッシュ再分割を実行している。しかし原理的には、メッシュの交差線を構成する各線分が1本ずつ生成されるたびに、反復的にメッシュ再分割を実行することも可能である。

IGELでは以上の処理を、素材メッシュと切断面メッシュの両方に適用する。ここで、再分割後の切断面メッシュにて交差線で閉じている部分が、素材メッシュの加工後の切り口部分となる。

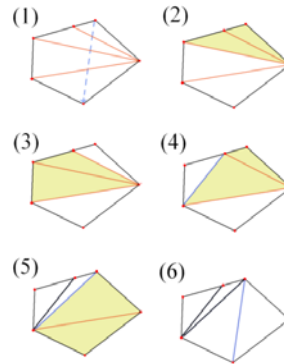


図 7: 制約辺に沿うための組み換え処理。

3.4.4 メッシュの選択

素材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8(左)に示すように、素材メッシュの色を、交差線を境界として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8(右)に示すような新しい素材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。

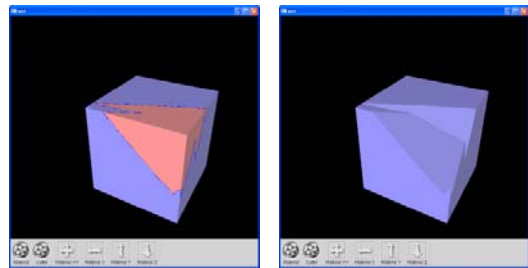


図 8: 素材メッシュの選択。(左) 素材メッシュの選択画面。(右) 素材メッシュの加工結果。

3.5 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に基づく操作パネルを提供している。このパネルは主に、3次元モードにおける操作を支援するものであり、素材メッシュやカッターの回転・平行移動、および視点の変更などに用いるものである。

現在の実装ではこれに加えて、キーボードによる操作を伴う。例えば、2次元モードと3次元モードの切り替えには、キーボード上で所定のキーを押す必要が

ある。より直観的な操作を実現するために現在、これらのキーボード操作を排除する手段を検討中である。

3.6 実行例

図 9 に、IGEL を用いて、5 回のストロークによって複雑な形状を作成した例を示す。

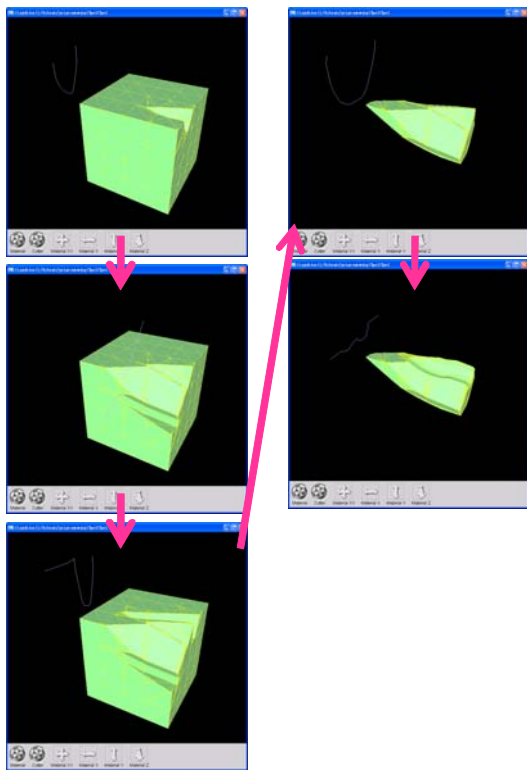


図 9: 実行例。

4 今後の展望

IGEL をより使いやすい形状モデリング手法として確立するために、我々には非常に多くの課題が残っている。本章では、IGEL の研究開発における今後の課題と展望について論じる。

切断処理の拡張

我々の現時点の実装では前述の通り、3 次元モードにおいて、交差線が 1 個の閉じたループを形成した時点で、素材メッシュと切断面メッシュを再分割する。逆にいえば、交差線がまだ閉じていない時点、例えば切断処理の途中では切断面は生成されない。これが切断途中で生成できるようになれば、現時点の実装よりも、操作時の視認性と操作性が向上すると考えられる。

また同様な理由により、切断操作を途中で止めて、途中で切り込まれた切断面を形成することも、現時点での実装では不可能である。これが実現できれば、さらに形状表現が広がると考えられる。

また、凹凸をもつ素材形状に対する切断処理において、交差線が複数のループを構成する可能性がある。これらについても処理できるように、現時点の実装を拡張する必要がある。

くり抜き操作の実現

くり抜き操作を実現するためには、現時点での切断処理を大幅に拡張する必要がある。具体的には、くり抜きのために生成される表側と裏側のループを検出し、素材内部を貫通するように表側と裏側のループを接続するようなメッシュを生成する処理を実装する必要がある。ヒートカッターを模するにあたり、くり抜きの実現は非常に重要であるので、早急の実現したいと考えている。

入力デバイスに関する考察

現時点での我々の実装における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した上で、筆圧を利用することを検討中である。

また、力覚表現の可能な入力デバイスを用いることができる場合には、ヒートカッターと素材が衝突した瞬間に反作用を発生させることで、ユーザの手に衝突を感じさせる、という効果を生じることも可能である。

切断処理の評価

我々は現時点で、まだ IGEL の切断処理について評価を進めていない。この評価を進めるにあたり、まず現実のヒートカッターによる加工作品を研究し、それと同等な加工を IGEL で実現できるか検証したいと考えている。またそれと同時に、被験者による切断結果を収集し、IGEL がどのような切断に向いているか、IGEL 特有の作風は存在するか、といった点も検証したいと考えている。

その他の操作の実現

現実のヒートカッターは電熱線を用いているため、発泡スチロールなどの素材を「溶かす」効果が存在するが、現時点での我々の実装ではこれを考慮していない。この効果を実装することで、さらに形状表現が広がると考えられる。

ヒートカッター以外の工具による加工手段を IGEL に実装することも、有効であると考えられる。将来的には例えば、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も、IGEL の機能の一部として実装したい。

5 まとめ

本論文では、ヒートカッターを模した新しいモデリングの一手法 IGEL のコンセプトを提案し、最も基本的な操作である素材の切断処理について我々の実装を述べた。

我々は今後、前章で述べた展望にしたがって、IGEL の拡張と評価を進める予定である。そして究極的には、ユーザが楽しみながら快適にモデリングできる 3 次元モデリングシステムの確立を目指したい。

参考文献

- [1] T. Igarashi, S. Matsuoka, H. Tanaka, Teddy: A Sketching Interface for 3D Freedom Design, *Proceedings of ACM SIGGRAPH '99*, pp. 409-416, 1999.
- [2] O. A. Karpenko, J. F. Hughes, SmoothSketch: 3D Free-Form Shapes from Complex Sketches, *Proceedings of ACM SIGGRAPH 2006*, pp. 589-598, 2006
- [3] 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.
- [4] T. Ijiri, S. Owada, M. Okabe, T. Igarashi, Floral Diagrams and Inflorescences: Interactive Flower Modeling using Botanical Structural Constraints, *Proceedings of ACM SIGGRAPH 2005*, pp.720-726, 2005.
- [5] 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.
- [6] 野田, 田中, 大西, 吹きつけによる 3 次元形状モデリングの提案, *情報処理学会ヒューマンインタフェース研究報告*, Vol. 97, No. 43, pp. 7-12, 1997.
- [7] 荒田, 高井, 高井, 山本, 仮想粘土による 3 次元自由形状モデリング, *情報処理学会グラフィクスと CAD 研究報告*, Vol. 98, No. 94, pp. 19-24, 1998.
- [8] 古田, 木本, 三谷, 福井, マウスによる仮想折り紙の対話的操作のための計算モデルとインタフェース, *情報処理学会論文誌*, Vol. 48, No. 12, pp. 3658-3669, 2007.
- [9] 大和田, 赤保谷, F. Nielsen, 楠, 五十嵐, 切る, 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 (WISS 2004), pp. 1-4, 2004.
- [10] 今泉, 伊藤, IGEL ~ ヒートカッターを模した 3 次元形状モデリング~, *エンタテインメントコンピューティング 2008*, pp. 127-130, 2008.
- [11] CG-ARTS 協会, デジタル画像処理, 10-3-4「ベクトル化」, ISBN4-903474-01-1-C-3004Y, pp. 189-190, 2004.

- [12] S. W. Sloan, A Fast Algorithm for Constructing Delaunay Triangulations in the Plane, *Advances in Engineering Software*, Vol. 9, No. 1, pp. 34-55, 1987.

今泉 仁美



2008 年お茶の水女子大学理学部情報科学科卒業。現在お茶の水女子大学大学院人間文化創成化学研究科理学専攻博士前期課程在学中。

伊藤 貴之



1990 年早稲田大学理工学部電子通信学科卒業。1992 年早稲田大学大学院理工学研究科電気工学専攻修士課程修了。同年日本アイ・ピー・エム (株) 入社。1997 年博士 (工学)。2000 年米国カーネギーメロン大学客員研究員。2003 年から 2005 年まで京都大学大学院情報学研究科 COE 研究員 (客員助教授相当)。2005 年日本アイ・ピー・エム (株) 退職, 2005 年よりお茶の水女子大学理学部情報科学科准教授。ACM, IEEE Computer Society, 情報処理学会, 芸術科学会, 画像電子学会, 可視化情報学会, 他会員。