

05 デジタルデザイン技術を活用した工作と手芸

五十嵐悠紀（筑波大学／日本学術振興会）

従来の工作・手芸のデザイン

読者の中にぬいぐるみを作った経験のある人はいるだろうか？「ある」と思った人の中で、自分で型紙まで設計して作ったという人はいるだろうか？これがぬいぐるみではなく、ペーパークラフトなら自分で型紙を設計してオリジナルデザインで作った、という人が多少は増えるかもしれない。ぬいぐるみを作ろうとする場合にはそれに対応する型紙（設計図）が必要であるが、その際には市販の書籍や制作キットを購入してくる場合がほとんどであろう。

通常、手芸や工芸といった分野では、初心者が何か手作りの作品を作る際には、専門家がデザインした設計図に従って作ることが多く、形状をデザインし、それに沿った作品を作ることは大変難しい作業である。特にできあがり立体（3次元）のものは3次元形状を想像しながら、2次元で設計図・展開図等をデザインしなければならず、これは熟練者であっても、試行錯誤をしながら時間をかけて手作業で展開図を作成している。

一方、近年ではコンピュータグラフィクス（CG）が身近になってきており、CGデザイナーだけでなく初心者でも簡単に3次元CGモデルを作成できるようになってきた。それに伴い、作成したモデルをディスプレイ上で眺めるだけでなく、手にとって現実世界で楽しみたいという欲求も高まってきている。

本稿ではデジタルデザイン技術を活用した手芸や工作に関する研究を紹介する。具体的には工作としてペーパークラフト、ポップアップカード、ステンシルデザインを、手芸としてぬいぐるみや衣服デザイン、ビーズデザインを取り上げて解説する。

従来の設計・製作支援の分野のシステムはCAD（Computer-Aided Design）などのように専門家向けが中心であったが、これに対し、本稿で紹介するのは初心者を対象としたシステムであることにも注目されたい。そのため、紙や布という素材の特性を熟知していない初心者でも簡単にデザインできるようにするためにコンピュータで支援することを行っている。一般ユーザ向けワークショップの開催の様子なども紹介する。

コンピュータグラフィクスを用いた工作

■ ペーパークラフト

紙を用いた工作としてCGで作成するペーパークラフトを紹介する。少数の面からなる簡単な3次元ポリゴンモデルについては、それを直接平面展開することでペーパークラフト用の展開図を出力する「ペパクラデザイナー」^{☆1}が販売されている。しかし、3次元スキャナなどで作成されたモデルなどは数万もの三角形の集合で表されているため、これを単純に平面展開するだけでは作成に膨大な手間がかかり現実的ではない。そこで、三谷ら¹⁾はこのような3次元モデルをストリップと呼ばれる細長い三角形の集合で表現された帯状の形の集合で近似させ、展開図を生成する手法を提案している（図-1）。生成された展開図に従って組み立てることで実物のペーパークラフトを作成することができる。

この研究は従来コンピュータ内で眺めることしかできなかったモデルを実世界へと取りだした先駆け

☆1 <http://www.tamasoft.co.jp/pepakura/>

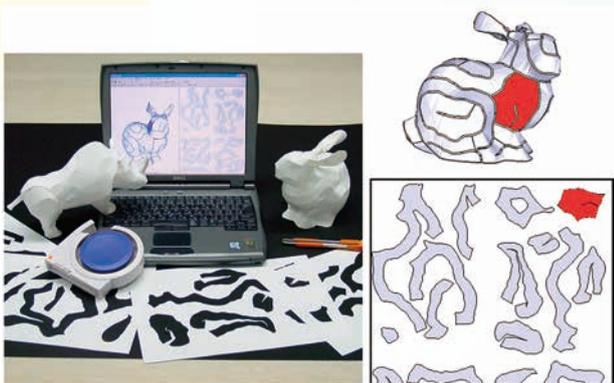


図-1 三谷らのシステム¹⁾を用いて既存3次元モデルからペーパークラフトを自動生成する様子
© Jun Mitani, Included here by permission.

となる研究であり、この研究以降、ペーパークラフトはもちろん、他の工作・手芸などを対象とした研究がコンピュータグラフィクス業界で多々研究され、発表され続けている。

■ ポップアップカード

次に紹介するのはポップアップカードである。折り曲げた紙を開いたときに「お誕生日おめでとう！」などと飛び出してくるカードをもらった覚えはないだろうか？ 実際にデザインしてみようとすると思わぬ難しさがあるが、この「飛び出す絵本」も手作業で初心者がデザインするのは大変難しい。Liらは既存の3次元モデルと背景および地面になる面を指定することで、90度を開いたときに安定したポップアップカードになるような手法を提案した²⁾ (図-2)。この手法では生成されたすべての面が背景または地面と平行になるように計算され、さらにつぶれたりしないように「安定した形状」にする工夫を行っている。本手法を用いたソフトウェア「Paper Architecture Maker」^{☆2}がフリーで配布されており、実際に好きな3次元モデルを入力してポップアップカードを作ってみることができる。

■ ステンシルデザイン

ステンシルとは穴のあいた紙の上にインクをのせ

☆2 <http://cg.cs.tsinghua.edu.cn/people/xianying/>

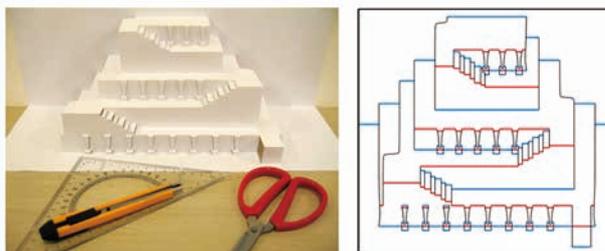


図-2 Liらのシステム²⁾を用いて既存3次元モデルからポップアップカードを自動生成する様子。黒い線が切断、赤い線は山折り、青い線は谷折り ©Xian-Ying Li, Included here by permission.



図-3 ステンシルデザインシステム Holly³⁾の利用シーン

ていくアートである。冬のクリスマスの時期に窓ガラスの装飾に使われたり、年賀状に使ったりした覚えのある方もいるだろう。このステンシル用の型版は常に1枚につながっているという制約を満たすようにデザインしなければならない。

Holly³⁾は通常のドローソフトのように自由に図柄をデザインしていくと、ユーザの描いた線を元に、1枚につながるという制約に基づいて対話的にステンシル型版を生成するシステムである(図-3)。結果はベクタデータとして出力できるため、カッタープリンタなどを用いて本物のステンシル型版を簡単に作成することができ、ユーザはそれを用いて自由に布や手紙、ポストカードなどにステンシルを施すことができる。

コンピュータグラフィクスを用いた手芸

■ ぬいぐるみ

インタラクティブにぬいぐるみをデザインしていくシステム Plushie⁴⁾を紹介する。このシステムはスケッチインタフェースによってユーザが入力した形の輪郭線と物理的制約を元にぬいぐるみになる形状の3次元モデルを生成する。対応する型紙はユ



図-4 Plushie⁴⁾を用いたオリジナルなぬいぐるみデザイン



図-5 Pillow⁵⁾を用いて既存モデルへ縫い目をデザインしてぬいぐるみやバルーンを作成する

ーザが形状を変更するたびにリアルタイムに更新される。通常3次元モデリングとシミュレーションは別々の過程で行われるが、Plushieではモデリングを行いながら並行してシミュレーションを行うことで、布の特性を活かしたモデリングを効率良く行うことを提案している。また、ユーザーの入力をそのまま型紙にしてしまうと裁縫してできる形は一回り小さくなってしまいが、物理シミュレーションを適用した結果がユーザーの入力した外形に一致するような型紙を生成する工夫などがされている。ユーザーはそのような物理制約を気にすることなく、図-4のようにモデリング操作を行ってモデルを切断したり、突起生成したりしながら好きな形状をモデリングしていけばよい。最後に自動生成された型紙をプリンタで印刷して縫えば、自分だけのオリジナルなぬいぐるみを実際に作成できる。

■ バルーン

イベントブースやスキー場に行くと子どもたちが集まりそうな場所にキャラクタなどのバルーンが置いてあるのを目にしたことのある人も多いであろう。このようなバルーンを制作する際も型紙設計の専門家が行っているが、どのような形状をデザインする



図-6 スケッチインタフェースを用いて対話的に洋服をデザインする技術⁶⁾ © Philippe Decaudin, Included here by permission.

かをあらかじめ検討するために3次元モデルを制作してからそれを元に型紙をデザインしていくことが多いそうである。

Pillow⁵⁾は既存の3次元モデルを入力して、ユーザーがモデルの表面形状に沿って縫い目を描くと、システムが型紙を生成してくれるシステムである(図-5)。入力される3次元モデルは布で作られているということを考慮していない形状であるため、布の伸縮を考慮せずに出力された型紙を実際に縫い合わせた形状は入力モデルと比較すると大きな差異が生じる。そのため、自動生成された型紙を使って縫い合わせ、綿をつめた結果の形状をシミュレーションしてユーザーにリアルタイムで提示する。これによりユーザーは、実際に作る前にできあがりのぬいぐるみ形状を検証することが可能となるため、さらに縫い目を入れたり、コンピュータ上で試行錯誤をした上で実際にぬいぐるみやバルーンを作成できる。バルーンは専門家がオリジナルデザインで制作する際には2カ月の納期がかかっていたが、Pillowを使うことで2週間に短縮された事例もある。もちろん先に紹介したPlushieシステムで出力された型紙で同様のバルーンを作ることも可能である。

■ 洋服

Decaudinらはスケッチインタフェースを用いて対話的に洋服をデザインする手法⁶⁾を提案した。ユーザーは3次元のマネキンの上にドレスなどの洋服の外形をデザインする(図-6)。システムはユーザーの入力した線を元に「マネキンを横切った線は縫い合わせない」、「マネキンを横切らなかった線は縫

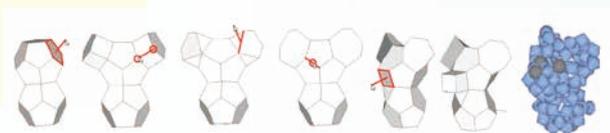


図-7 Beady⁷⁾では、ジェスチャインタフェースを用いて構造をデザインする



図-8 実際に制作するために、ワイヤ経路の自動計算、3次元CGIによる制作支援などもある⁷⁾

い合わせる」などのいくつかの制約に基づいて洋服の形状を計算する。この形状を計算するには可展面^{☆3}になるような制約に基づいて3次元化を行う。ドレープ（ひだ）の線も谷線，折れ線を定義しておくことで形状をデザインできる。

■ ビーズデザイン

最後に3次元ビーズ作品のデザインおよび制作のためのインタラクティブなシステム Beady⁷⁾を紹介する。ビーズ制作とは1つ1つのビーズをテグスと呼ばれる1本の糸でつないで作品を作るものである。

ユーザは図-7のようにまずビーズ作品の構造を表すデザインモデルを制作する。このモデルの辺はビーズに対応しており、ビーズは単一種類を前提としているため、「すべての辺の長さが等しいモデリング」をすることになる。システム内部ではユーザのモデリング中に常に近傍のビーズやテグスとの物理制約を考慮して計算しており、3次元モデルの頂点はこのシミュレーションによって決定する。よって、ユーザはジェスチャだけで構造をデザインしていくことができるようなインタフェースを考案している。また、図-8のようにメッシュモデルから適切なワイヤ経路を計算したり、手作業でビーズ作品を制作するために3次元CGIを用いた1ステップご

☆3 可展面とは1枚の紙を伸び縮みさせずにできる曲面のこと。



図-9 Plushieを用いたワークショップの様子（上段）と子どもたちによるオリジナルデザインのぬいぐるみ（下段）

との制作手順ガイドの提示も行っている。

一般ユーザを対象とした活動事例

従来、大学における研究成果は論文や特許として発表されるにとどまっていることが多く、一般の人の目に触れることがあまりなかったが、近年はワークショップ、シンポジウムなどのかたちで一般を対象として公開されることが増えてきた。上記で紹介したぬいぐるみデザインシステム Plushie を用いた、一般の子どもたちを対象にしたワークショップも日本科学未来館にて数回開催された（図-9）。また、ステンシルデザインシステム Holly を用いたワークショップも開催され、好評であった（図-10）。自らの手で自分がデザインした“モノ”を作る体験は、老若男女問わず楽しいものであり、モノづくり大国である日本にとってはこれからも大事にしていくべき文化ではないだろうか。

このように、学術的な研究成果としての発表の場とは別に、一般に対して研究成果をアピールするフィールドワークも大変重要である。体験する一般市民・子どもたちが最先端の科学技術に触れることが



Hollyを用いてデザイン

ステンシルを楽しむ



子どもたちによるオリジナルデザインのステンシルエコバッグ

図-10 ステンシルデザインシステム Holly を使ったワークショップの様子

でき、科学に興味を持つ子どもの育成にも貢献できる。筆者はこのようなアウトリーチ活動にも力を入れて研究に取り組んでいる。

これからの工作と手芸

本稿では工作や手芸に関する最近の研究の中からいくつかを紹介したが、コンピュータグラフィクスとインタラクティブ技術のトップカンファレンスである ACM SIGGRAPH でもファブリケーションに関する研究テーマが毎年多々発表されており、近年注目されている分野の1つであることには間違いのない。SIGGRAPH ではほかにも“浮き彫り細工”や“影絵”といった多くの身近なテーマを扱う研究が発表されている。

これらの研究は決してこれまでの専門家の仕事に取って代わろうとしているのではない。たとえば、ぬいぐるみデザインシステムができて素人でもデザインができるようになったら、ぬいぐるみデザイナーという職種がなくなるわけではない。これまでデザイ

ンしようとしても知識や経験がなくてできなかった人（子どもや主婦などの初心者）に対して、コンピュータを利用することで「創りだす体験」を経験できるようにする、そのためのものである。これにより、興味を持つユーザー層が増えることは世の中としても良いことであると考えられる。

これからの工作・手芸は与えられたキットを使うだけではなく、一部分だけでも自分でデザインしてみようかなと思う人が増えるかもしれない。また、デザインした作品をデータベースなどにアップすることで、友人とデザインをシェアしたり、共同作品をデザインしたりするようになるかもしれない。おばあちゃんが孫のために、孫がおばあちゃんのために、独自のデザインの何かをプレゼントし合うというようなことも増えるかもしれない。「創る」というのはとても素晴らしいことなのである。

参考文献

- 1) Mitani, J. and Suzuki, H. : Making Papercraft Toys from Meshes using Strip-based Approximate Unfolding, ACM Transactions on Graphics (Proceedings of SIGGRAPH 2004), 23 (3), pp.259-263 (2004).
- 2) Li, X.-Y., Shen, C.-H., Huang, S.-S., Ju, T. and Hu, S.-M. : Popup : Automatic Paper Architectures from 3D Models, ACM Transactions on Graphics (Proceedings of SIGGRAPH 2010), 29 (4), article:111 (2010).
- 3) Igarashi, Y. and Igarashi, T. : Holly : A Drawing Editor for Designing Stencils, IEEE Computer Graphics and Applications, 30 (4), pp.8-14 (2010).
- 4) Mori, Y. and Igarashi, T. : Plushie : An Interactive Design System for Plush Toys, ACM Transactions on Graphics (Proceedings of SIGGRAPH 2007), 26 (3), 45:1-8 (2007).
- 5) Igarashi, Y. and Igarashi, T. : Pillow : Interactive Flattening of a 3D Model for Plush Toy Design, Lecture Notes in Computer Science, Springer (SmartGraphics 2008), Vol.5166/2008, pp.1-7 (2008).
- 6) Decaudin, P., Julius, D., Wither, J., Boissieux, L., Sheffer, A. and Cani, M.-P. : Virtual Garments : A Fully Geometric Approach for Clothing Design, Computer Graphics Forum (Eurographics 2006 Conference Proceedings), Vol.25, pp.625-634 (2006).
- 7) Igarashi, Y., Igarashi, T. and Mitani, J. : Beady : Interactive Beadwork Design and Construction, ACM Transactions on Graphics (Proceedings of SIGGRAPH 2012), Vol.31, Issue 4, Article No.49 (2012).

(2012年9月5日受付)

■ 五十嵐悠紀（正会員） yukim@acm.org

2010年東京大学大学院工学系研究科博士課程修了。博士（工学）。2010年より日本学術振興会特別研究員PD（筑波大学）。ACM SRC Grand Finalist, 先端技術大賞最優秀文部科学大臣賞等受賞。コンピュータグラフィクス、ユーザインタフェースに関する研究に従事。