

CG を用いたポップアップカード作成教材の図学教育への応用

Making Use of a CG Based Pop-up Card Design System for Graphics Science Education.

三谷 純 Jun MITANI

鈴木 宏正 Hiromasa SUZUKI

概要

我々は3次元コンピュータグラフィックスの技術を用いることで、PC上でポップアップカードの設計を対話的に行えるソフトウェアの研究開発を行ってきた。このソフトウェアを用いることで、PCの画面に表示されるポップアップカードの立体図をマウスとキーボードのカーソルキーで編集し、その展開図をプリンタから出力することができる。この展開図を元にカッターなどを用いて紙工作することで、PCの画面で設計したポップアップカードを実際に手に触れて確認できるようになる。本稿では、このソフトウェアを初等および中等教育における図工や技術・家庭科を対象とした新しい教材として活用することを提案する。中学校の技術・家庭の授業で試行的に利用してもらうために幾つかの機能拡張を行い、そして実際に授業で試行することによって教材としての評価を行った。

キーワード：図学教育 / 空間幾何学 / CG / ポップアップカード

Abstract

We have been studying software on that users can design pop-up cards intuitively. With this software, the user can edit a pop-up card in 3D with simple interface using a keyboard and a mouse. The unfolded pattern of the pop-up card is generated automatically by this software and can be printed.

In this paper, we propose the use of this unique software to further expand the graphic scientific education of elementary and junior high school students. The educational material was used in a course of Art-and-Housecraft class at a junior high school. This is a report of the effect of the material.

Keywords : Graphics science education / 3D geometry / CG / Pop-up card

1. はじめに

本研究では、初等および中等教育における図工や技術家庭科を対象に、PC上の3次元CGソフトウェアと紙工作を融合させた新しい教材の提案を行う。これは、生徒がPCを用いて自分の考えた立体形状を設計し、出力される展開図を元に実際にその形状を紙を用いて工作するものである。これにより、単にディスプレイ上の画像による設計だけでなく、その立体を紙工作として実体化することによって、自分の手を使って形を作ることの楽しみを体験させることができる。このように、情報メディアと紙という実体メディアを融合させた教材システムを実現するところに本研究の特色があり、これによって工作という「もの作り」に対する生徒の興味を喚起しようとするものである。

本研究では、このような目的を実現するための題材としてポップアップカードを用いた。対象とするポップアップカードは1枚の紙から切り込みと折り曲げだけで作成され、90度を開いたときに立体が立ち上がる。このようなポップアップカードは、折り紙建築という名称で

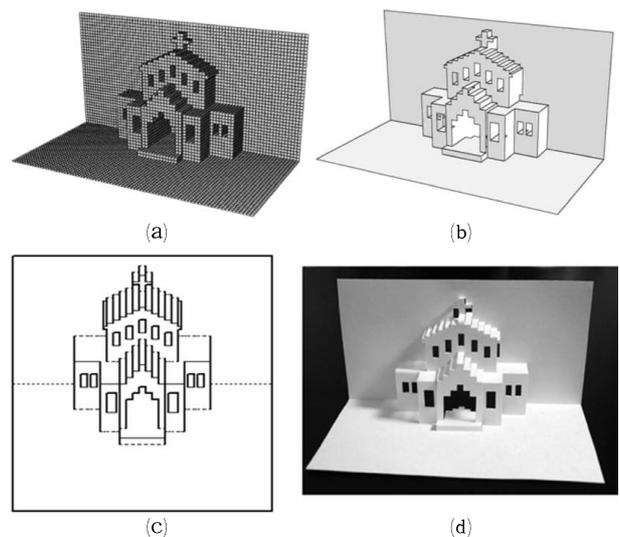


図1 ポクセル表現を用いた折り紙建築の設計支援
(a)ポクセルによる形状表現 (b)折り紙建築のCG
(c)展開図 (d)工作した折り紙建築の写真

広く知られており^[1]、手軽に工作できる特長がある．ところで、我々はCGの世界で立体形状を表現するための一手法として用いられるボクセル表現^[2]を利用して、ポップアップカードの設計を計算機で支援するための研究を行い、実際にアプリケーションの開発などを行った(図1)^[3,4,5]．そこで、このアプリケーションを元に、中学校の技術・家庭の授業で試行的に利用してもらうために、幾つかの機能拡張を行い、そして実際に授業で試行することによって教材としての評価を行った．

2 ソフトウェアの概要

本章では、本研究で使用したポップアップカード作成ソフト(以降「3Dカードメーカー」と呼ぶ)について説明する．3Dカードメーカーは、マウスとカーソルの簡単な操作でポップアップカード用の3次元形状を作成でき、その展開図を印刷できるところに特長がある．この展開図を切り取って折り曲げると、オリジナルのポップアップカードが完成する．

以下、操作手順を図2を用いて説明する．

1. 3Dカードメーカーを起動すると、図2(a)のような画面が現れる．画面中央にポップアップカードを開いた状態の立体図が表示される．最初はまだ何も形状が作成されていないので、2つ折りされた単純な形状が表示される．水平面の左上の小さな四角形がカーソルである．
2. カーソルをカーソルキー()によって図2(b)のように任意の場所に移動させる．
3. 移動したところでスペースキーを押すと図2(c)のように直方体が立ち上がる．
4. さらにスペースキーを数回入力すると、その分だけ直方体が高くなり図2(d)のようになる．
5. カーソルを動かして立ち上げる、という操作を繰り返すことによって、図2(e)のようなデザインを行うことができる．なお、このような操作によって作成されるポップアップカードは、ソフトウェアによって自動的に「1枚の紙で作成される」という制約が満たされる．
6. 図2(f)の状態ではカーソルキーの[z]を押すと、直方体の削除によって形を図2(g)のように凹ませることができる．
7. 編集モードを「開口部」に切り替えることで図2(h)のように、カーソルが垂直面を移動するようになり、この状態でスペースキーを押すと、図2(i)のようにカーソルの場所に開口部を設けることができる．

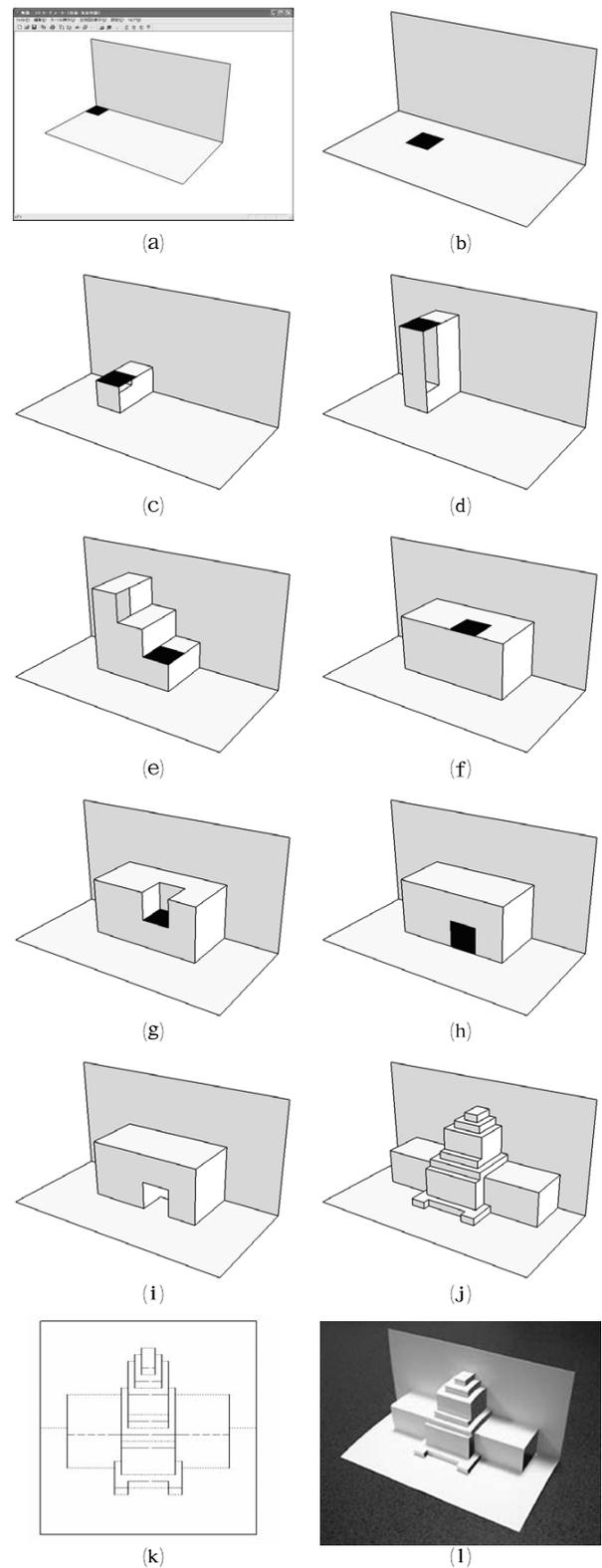


図2 ソフトウェアの概要

8. 以上の手順を組み合わせることで図2(j)のような形状を作成することができる．なおカーソルの大きさは変更可能である．最終的に図2(k)のような展開図が自動的に作られるのでこれを印刷する．
9. 印刷された展開図を元に、まず定規とカッターなどの道具を準備し、実線を切断する．山折線と谷折線に

は、折曲げやすくなるようにカッターの背などで軽くなぞっておき、印刷面が裏に回るように折り曲げると図2(1)のような作品が完成する。

3 授業向けの拡張

前章で記したソフトウェアの概要は、ボクセル表現を用いたポップアップカードの設計支援のために開発された機能についてのものである。これらの機能に追加する形で、生徒の授業に役立てるための拡張を行った。

3.1 仮想的な立方体の側面表示機能

ボクセル表現によって作成されるポップアップカードは、内部的には仮想的な立方体を構成要素とし、その集合で形状が定義されている。通常はその上面と正面のみを画面に表示することで、ポップアップカードの完成図を表示できるが⁴⁾、この内部の構成を視覚的に確認できるように、仮想的に存在する内部の立方体の側面を表示し、ブロックの集合として形状を表示する機能を追加した。これにより、ポップアップカードが表現する立体形状を把握しやすくすることができる。図3(a)はポップアップカードの完成図であるが、図3(b)はこのポップアップカードの形状を定義するために存在する仮想的な立方体集合の側面を表示するようにしたものである。

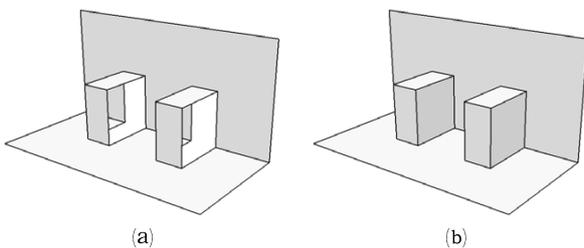


図3 仮想的な立方体の側面表示機能
(a)完成図 (b)側面の表示

3.2 正投影図表示機能

CGでは、立体の奥行きを把握しやすくするために、透視図を画面に表示することが多いが、製作図の学習内容に合わせて、第三角法による正投影図の表示を行えるようにした。3次元のCGだけでなく、図面を出力でき

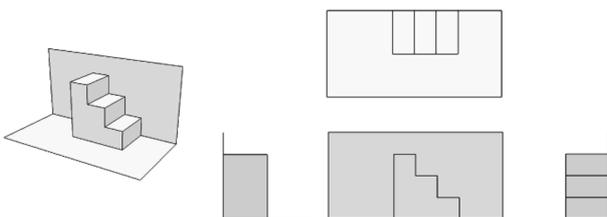


図4 正投影図表示機能

ることが重要である。図4左のように、通常の画面表示されたものを、それぞれ側面と正面、上面から正投影表示したものを図4右に示す。

3.3 ビューワーアプレット

生徒の作成したポップアップカードの形状データをインターネット上で公開し、意見交換するために、ポップアップカードを表示し、またその展開の様子をアニメーション表示できるビューワーを開発した。これは、自分でデザインした作品を、アニメーションというより興味深い形で表し、それをお互いに公開しあい、また、外部に対して情報発信することによって生徒のモチベーションを高めようとするためのものである。

ビューワーはJavaアプレットで開発し、一般的なWebブラウザ上で動作させることができる。

4 試行授業

試行授業は、宮城県仙台市立田子中学校の協力を得て、1年生の技術・家庭科の授業の一環として実施した。

4.1 技術・家庭科

本研究では中学校の技術・家庭科における「ものづくり」の学習の一部をターゲットとした。ここでは、以下のような内容を学習する。まず、自分が思いついたものを総合的に検討するために絵に描き、検討した結果をまとめて構想図や製作図を書く。また、自分が設計したものを正確に人に伝えるためには製図の決まりに従って図面を書き表す必要がある。このような決まりには、キャビネット図、等角図などがある。それぞれについて、

- 1) キャビネット図による構想図の描き方
- 2) 等角図による構想図の描き方

などを学習する。簡単なものの製作はこれらの構造図で行えるが、複雑なものは構想図だけでは製作できないので、立体の各面の形や寸法などを表した図面が必要となる。この図面を製作図という。製作図には組立図と部品図があり、第三角法による正投影法によって描かれる。

つまり、ものを作るときには、作りたいものの3次元の形を、平面上に図として表す必要があり、それには規則があることを学習する。しかし、この3次元から2次元への変換、さらには規則に従った図化は、空間認知力を必要とし、それなりの訓練を行わないと簡単にはできない。それは誤った構造図や製作図を書く生徒が多いことから明らかである。また、図において立体をどの方

向から見るか、例えば製作図において正面図をどれにするかについても任意性があり、立体の特徴がよく捉えられる方向からの図を書くのも訓練を必要とする。このような技術・家庭科の項目に対応する形で、ポップアップカードを使用し、紙工作の授業を行った。

4.2 授業の内容

授業は延べ6回(6時限分)行われた。表1に各回の授業内容を示す。最後に作品の展示を行い、またインターネットにおいてPCで作ったモデルの表示と工作したカードの画像を公開し、さらに投票によってコンテストを行った。

表1 授業の内容

回	内 容
1	ポップアップカードの説明を行う。PCは使わずに簡単なポップアップカードを実際に作らせてみて、その仕組みを理解させる。
2	PC上で3Dカードメーカーの使い方や印刷の仕方を説明する。
3 6	PCでポップアップカードをデザインし、実技としてそれをカッターで切って組み立てさせた。課題としては、アルファベットの文字と立体(建築物など)を与えた。

4.3 授業の様子

図5に授業の様子を示す。図5(a)のように、生徒一人一人がPC上の3Dカードメーカーを用いてデザインを行った。3Dカードメーカーを使う前に、紙にデザインをするように指導しており、そのデザインを見ながら

入力する。図5(b)と(c)はネットワークに接続されたプリンタを使ってポップアップカードの展開図を印刷している様子である。用紙は本来ケント紙のような厚手の紙が望ましいが、プリンタの制約から、少々厚めの印刷用紙を使っている。図5(d),(e),(f)は、印刷された展開図に対してカッターや定規、ハサミ等で紙工作を行っている様子である。実際には切り間違えや、誤って破ってしまったという失敗も少なくなかった。図5(g)は簡単な作品例である。

また、授業の後半には生徒も慣れてきて、図6に示すような複雑な例題に積極的に取り組んでいた。生徒の作品は校内に展示され、父兄にも公開された。また、インターネット上でも公開され、人気投票コンテストなども行われた。このように授業は盛り上がりを見せた。授業の様子はホームページで公開されている^[9,10,11,12]。

4.4 授業におけるソフトウェアの評価

授業で3Dカードメーカーを使用し、以下のような評価を得た。

- 最初のもっとも基本的な機能だけを紹介し、その後、グリッドの大きさを変えたり、背景の色を変えるなどの操作を段階的に紹介することは必須である。また、機能を小出しにすることは、向上心を刺激することにもなる。
- システムのユーザーインターフェースは簡明で習熟には全く問題がなかった。
- PCを使うこと自体は日常化しており、大きな動機付けとはなっていないが、クラスメートと同じ課題に取

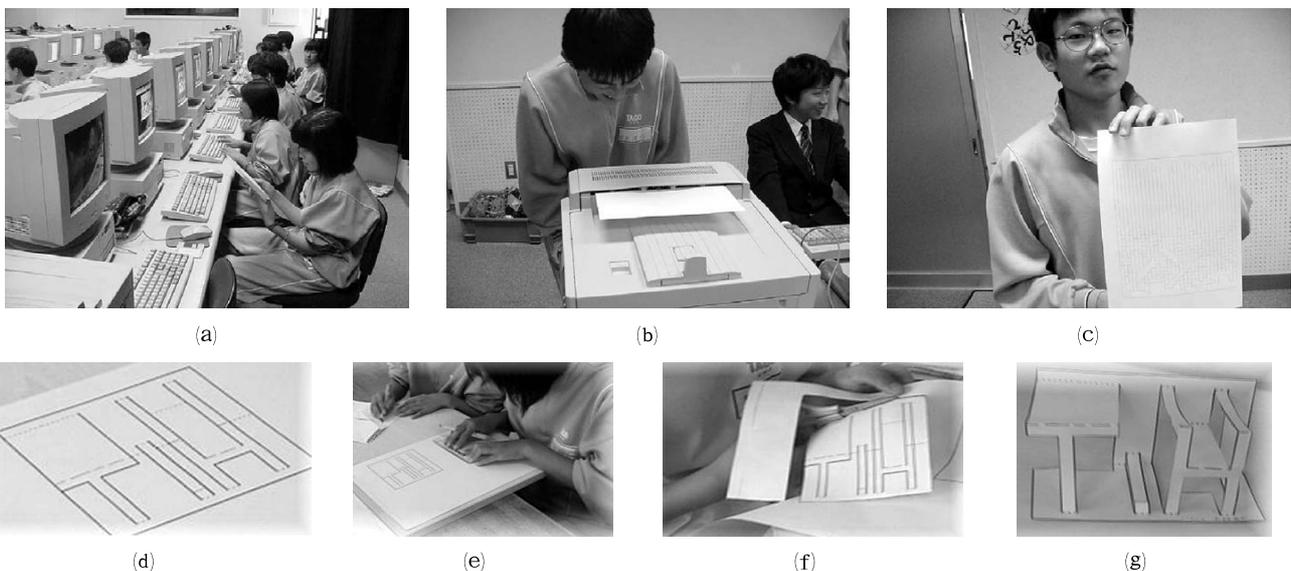
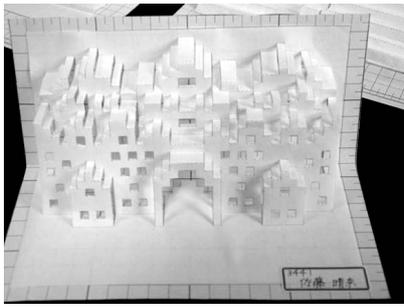


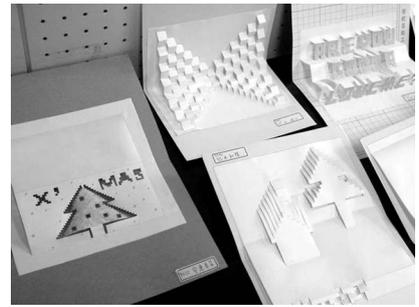
図5 授業の様子



(a)



(b)



(c)

図6 生徒の作品

り組むことによって、作品はもちろんのこと、ソフトウェアに付属の機能を用いた画面の色のカスタマイズなど、お互いに競い合うようにして熱中していたようだ。

5 まとめ

3次元CGと紙工作を融合した教材システムに関して、中学校の試行授業などを通じて、本研究において得られた知見を以下にまとめる。

(1)教育効果

本研究で開発する教材システムでは、まず生徒はソフトウェアによって3次元立体を仮想世界でデザインする。ここでは、3次元CGによるゲーム的な画像の面白さを体験するとともに、ものを作る過程での試行錯誤を仮想世界において自由に行うことができる。通常の工作では、限られた時間やコストのために、試行錯誤が非常に限られており、「失敗することができない」という、工作への動機付けを失わせる一つの要因を回避できたといえる。

そして、デザインが終了すると、その立体を実体化するための材料が紙という素材として出力され、生徒はそれを工作する。既存のデザインではなく、自分がデザインしたものが実体化されることの達成感を与えることができ、よりもの作りへの動機付けを行えると考えられる。

また、コンピューター上ではいくらかでも複雑なものができるが、実際には工作の段階で挫折する例があり、構想段階から現実の工作を意識するということが訓練される。とかくTVゲームなどと違い現実の制約を考える重要性が指導できる。

(2)3次元認識能力の開発

3次元空間における、形や物と物との位置関係、奥行きなどを把握する空間認識能力は基本的な能力の一つである。技術・家庭においては、構想図や製作図の書き方

を指導する過程で、3次元物体を認識し、2次元の図で表現するという課題を扱っているが、正確に表現を行える能力は教科書の図などの平面的な教材では涵養しにくいと考えられる。本教材での3次元CGによって、様々な方向から物体を回転して見ることができ、また、ポップアップカードが展開して行く過程をアニメーション表示することによって3次元形状の認識が容易にできる。さらに、その3面図も同時に表示できるので、3次元と2次元の関係を把握する能力が効果的に涵養できると期待される。そして、紙工作によって実体を手に取ることによってさらにそれを体験することができる。

(3)新しい図工教材分野の開拓

本研究では、教育現場での試行を通じて、提案するシステムを教育現場に適したものと改良し、マニュアルや素材なども充実して、誰でもが簡単に利用できる教材として提供することができた。これによってCGと工作との融合により、もの作りの楽しさを味わうという新しい教育法や教材分野の可能性を提示し、同種の教材ソフトウェアの開発や、将来の教育現場への普及が期待できる。

今回は中学校において試行授業を行ったが、使用したソフトウェアは極めて簡単なインターフェースであるため、小学校の授業への導入も十分可能と考えられる。今後は小学校での試行授業による評価も行いたい。

また、次のような発展的な内容を追加することで、高校生や大学生を対象とした学習教材にも活用できると考えられる。

- 1) 立体と展開図の対応関係、ポップアップカードが立ち上がる原理の学習など、より図学に関係の深い内容の学習。
- 2) 作成できる形状の自由度がより高い、論文[13]で提案された多角形集合によるポップアップカードのデザイン。

謝辞

本研究の一部は(財)松下視聴覚教育助成研究開発助成を受けています。ここに感謝いたします。また本研究を行うにあたり、試行授業調査にご協力をいただいた宮城県仙台市田子中学校の山田貢校長と同福嶋政一先生に感謝いたします。

参考文献

- [1] 茶谷正洋, “折り紙建築虎の巻”, 彰国社, 1985.
- [2] A. V. エイホ, J. E. ホップクロフト, J. D. ウルフマン, データ構造とアルゴリズム. 培風館, 1992.
- [3] 三谷純, 鈴木宏正, 宇野弘, “ボクセルを用いた「折り紙建築」形状の設計”, 2002年度精密工学会春季大会学術講演会講演論文集, p. 265.
- [4] 三谷純, 鈴木宏正, 宇野弘, “計算機による「折り紙」形状の設計支援”, 2002年度日本図学会大会学術講演論文集, pp. 35-40.
- [5] 三谷純, 鈴木宏正, 宇野弘, “計算機によるボクセルを用いた「折り紙建築」モデルの設計手法”, 情報処理学会誌 Vol. 44, No. 5, pp. 1372-1373, 2003.
- [9] 宮城県仙台市立田子中学校, 3Dカードメーカーを利用した実践
<http://www2.sendai-c.ed.jp/tago/3d/index.htm>
- [10] 宮城県仙台市立田子中学校, 生徒作品展
<http://www.yamazaki-kk.com/soft3/tago/soft1/3dcrd.htm>
- [11] 宮城県仙台市立田子中学校, 制作の様子
<http://www.yamazaki-kk.com/soft3/tago/soft1/4/sss.htm>
- [12] 宮城県仙台市立田子中学校, ペーパークラフト生徒作品展
<http://www.yamazaki-kk.com/soft3/tago/card3d/>
- [13] 三谷純, 鈴木宏正, “平面多角形の集合による「折り紙建築」モデルの表現と計算機による設計支援”, 情報処理学会論文誌 Vol. 45, No. 3, pp. 969-976, 2004

2004年 8月25日受付

みたに じゅん

独立行政法人理化学研究所 基礎科学 特別研究員

1975年 6月28日生

経歴

2000年 東京大学大学院工学系研究科情報工学専攻修士課程修了, 同博士課程進学.

2003年 東京大学大学院工学系研究科精密機械工学専攻転専攻.

2004年 東京大学大学院工学系研究科精密機械工学専攻博士課程修了.

2004年 独立行政法人理化学研究所入所.

研究領域

コンピュータグラフィックス, 形状処理

論文・著書など

- Making Papercraft Toys from Meshes using Strip-based Approximate Unfolding, ACM Transactions on Graphics, Vol. 23, No. 3, pp. 259-263 (2004).

- 平面多角形の集合による「折り紙建築」モデルの表現と計算機による設計支援, 情報処理学会論文誌, Vol. 45, No. 3, pp. 969-976 (2004). 連絡先

jmitani@riken.jp

すずき ひろまさ

東京大学東京大学先端科学技術研究センター 教授 工学博士

1957年 5月7日生

経歴

1986年 東京大学大学院博士課程修了・工学博士

1987年 東京大学助手(教養学部)

1988年 東京大学講師(同)

1990年 東京大学助教授(同)

1994年 東京大学助教授(精密機械工学専攻)

2003年 東京大学教授(同), 現在に至る.

研究領域

形状モデリング, CAD/CAM システム

論文・著書など

- Subdivision Surface Approximation of Data Points and Polygon Models, JSME Int. J, Series C, Vol. 45, No. 3, pp. 809-814 (2002).

- H. Suzuki, A. Rockwood, L. Kobbelt eds. Proc. Pacific Graphics 2001, The Ninth Conference on Computer Graphics and Applications, Tokyo, Japan, Oct. 16-18, 2001, IEEE Computer Science Press (2001)

連絡先

suzuki@den.rcast.u-tokyo.ac.jp