

戦略的創造研究推進事業  
発展研究（SORST）

研究終了報告書

研究課題「思考支援とコミュニケーションの  
ための3次元CG製作・利用技術」

研究期間：平成 18 年 4 月 1 日～  
平成 20 年 3 月 31 日

五十嵐健夫  
（東京大学大学院情報理工学系研究  
科准教授）

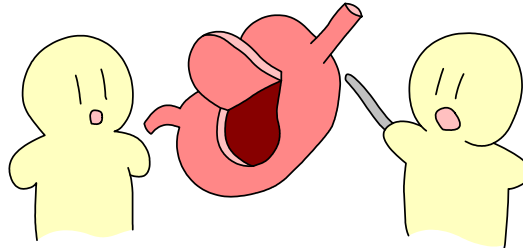
（注）本報告書は研究期間終了後、公開致します。

## 1. 研究課題名

思考支援とコミュニケーションのための3次元CG製作・利用技術

## 2. 研究実施の概要

研究の目的は、「専門家が時間をかけて作成したものを一般の人が鑑賞する」という現在の3次元CGの利用方法を革新し、ワープロや電子メールのような日常的な知的生産活動の道具として利用することのできるような3次元CGの構築・利用環境を実現することである。より具体的には、医療や建築の現場のような3次元情報を扱う知的活動の場において、自分の頭の中を整理して理解を深めたり、共同作業者やクライアントに3次元的な情報を伝えたりするための道具としての利用を想定している。長期的には、このような3次元的な表現を手軽に使えるようにしていくことで、人間社会における知的活動をより豊かにしていくことを目標としている。



3次元CGを利用したコミュニケーション支援

具体的な成果としては、以下の3項目について研究を行い、成果を得た。

### ● 3次元モデリング手法の発展

本研究は、研究者本人が過去に開発しすでに世界的に高い評価を受けている「手書きスケッチによるモデリングシステム」の発展である。以前のシステムでは、いったん作成したモデルをより詳細に制御することは難しかったが、新しい手法では、必要に応じて細かい制御を加えていくことが可能となる。本手法は、世の中で現在使われている主要な3次元モデリング手法の代わりとなる可能性のある重要な技術である。

### ● 縫製玩具の設計支援

手書きスケッチを利用したモデリング操作によって、ぬいぐるみの形状を対話的にデザインしていくシステムを提案した。ユーザからの入力ストロークと物理的制約を元に常にぬいぐるみになるような3次元モデルをモデリングしていく。対応する型紙はユーザがモデリングするたびにインタラクティブに更新される。このようにオリジナルなぬいぐるみ作成に必要な型紙生成の工程をコンピュータで支援することによって、素人にも手軽にオリジナルなぬいぐるみをデザインすることが可能となる。

### ● ライティングデザイン手法の開発

3次元モデルに対する3次元的な環境照明をデザインする手法について研究開発を行った。従来、イメージベースの照明環境をデザインするためには、直接イメージエディタで画像を編集する必要があったが、これは初心者には困難な作業であった。本研究では、3次元モデルの上に直接ペイントすることで、望む照明効果の結果を直接指定できる手法を提案した。特に、前計算による高速な環境光効果の計算を利用することによって従来不可能であったインタラクティブな動作を実現している。

これらの研究成果については、すでに国際的にもっとも権威ある学会である、ACM SIGGRAPH および Pacific Graphics において発表済みであり、コンピュータグラフィックスの可能性を広げる研究として、高い評価を受けている。

### 3. 研究構想

具体的な内容を以下に記す。すべてのテーマに関して、アルゴリズムの開発と並んで、インタフェースのデザインが重要な課題となる。研究にあたっては、新しい手法に基づくプロトタイプシステムを個別に作成した後、自分達や外部のユーザによるテストを繰り返すことによって最適なインタフェースを設計する。できあがったシステムは使いやすい形にして外部に公開し、成果を社会に還元するとともに、得られるフィードバックを元に改良を進めていく。

#### 1) 形状を表現する技術

これまでの研究において、主に動物などの丸っこい形状の表現、および衣服の形状表現について技術開発を行ってきた。本研究では、新たに、より複雑な構造を持った3次元形状の表現を目指す。具体的には、植物や建物、生物の微細構造といった、すべて手作業で作りにくいことが不可能な複雑な形状について、ユーザの対話的な操作と、システムによる自動的な規則推論による支援を組み合わせた手法を提案する、特に、インタフェース技術を用いて、複雑な形状の制御を実現することに重点を置く。具体的には、ユーザが複数の例を与え、計算機がそれらに共通な規則を自動的に推測し、それをさらにユーザがインタラクティブに修正していくことによって、直接記述することの困難な複雑な規則を設定するような手法を開発していく。

#### 2) 動きを表現する技術

これまでの研究において、アニメーションを簡単に作成する手法として、「対象オブジェクトを直接操作して、その様子をそのまま記録してアニメーションとする」という考え方を元にした手法を開発した。本研究においては、その基礎技術を発展させ、より実用的なものとするような技術開発を行う。具体的には、多数のキャラクタを同時に操作する手法、物理シミュレーションやスクリプトなどと組み合わせて利用する手法、移動を伴う動きを生成する手法などの開発を行う。また、単なる研究室での技術開発にとどまらず、実際のユーザに使ってもらいながら問題点を修正していく、といった作業も行う。たとえば、CG キャラクタアニメーションの生成、スポーツにおける体の動きやプレイヤーの動きの表現、生物や機械などの動作の表現などに実際に試用してもらうことを検討している。

#### 3) 立体構造や動作の理解を助けるための技術

これまでの研究において、内部構造を含めた形状の作成技術や動作の表現技術を開発してきた。本研究においては、こうして作成された3次元モデルやアニメーションが与えられたときに、その構造や動作を理解するのを助けるためのブラウジング手法を開発する。複雑な情報の理解を助けるための手法として、大規模データの情報視覚化の研究が行われてきているが、複雑な3次元構造を分かりやすく提示するといった研究はあまり行われていない。現状では、角度を変えて見る他は、パラメータを手作業で調整したり、あらかじめ用意されたシナリオに従って開いたり閉じたりする程度で、実世界でものを手にして自由自在に観察するといった行為に対応するような操作はあまり実現されていない。本研究では、ただ単に一枚の絵として結果を提示するのではなく、ユーザの操作に対するシステムの返答といった一連の操作を通じて内容を理解させるという、よりダイナミックな表現の実現を目指す。具体的には、自在に物体の一部を切り開いて中を観察したり、自由な場所で切断して断面図を得たり、液体を流しこんで中身のつながり具合を確認したりといったような操作を直感的に行える手法について検討している。簡単な疑似物理シミュレーションのようなものを組み込むことで、自然で直感的な動きを実現

することが可能と期待できる。

#### 4. 研究実施内容

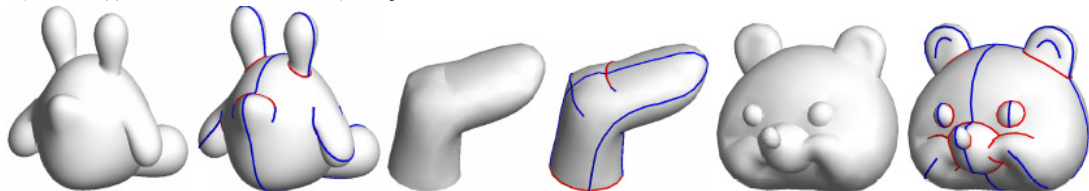
##### (1) 実施の内容

以下の3項目について研究を行った。

- 3次元モデリング手法の発展

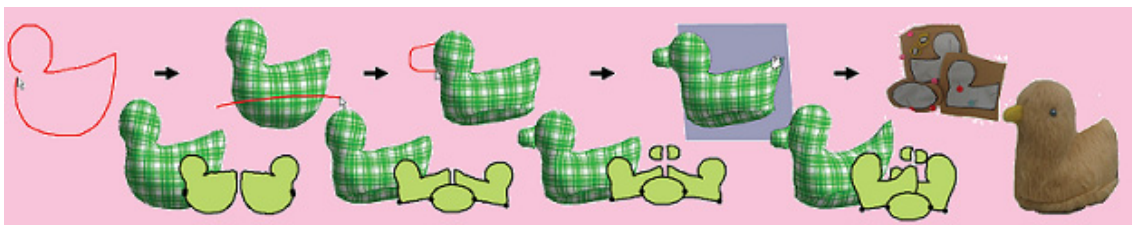
本研究は、研究者本人が過去に開発しすでに世界的に高い評価を受けている「手書きスケッチによるモデリングシステム」の発展である。以前のシステムでは、いったん作成したモデルをより詳細に制御することは難しかったが、新しい手法では、必要に応じて細かい制御を加えていくことが可能となる。本手法は、世の中で現在使われている主要な3次元モデリング手法の代わりとなる可能性のある重要な技術である。

具体的には、ユーザが描いたスケッチの線が制御曲線として3次元サーフェス上に残り、これをつまんでひっぱることで更なる変形が可能となる。ユーザは必要に応じてサーフェス上に線を描くことで制御曲線を追加したり、消しゴムツールで削除したるすることが可能である。システムは、与えられた制御曲線を元に、「曲率の変化率が最小となる」ように曲面を生成しユーザに提示する。



- 縫製玩具の設計支援

手書きスケッチを利用したモデリング操作によって、ぬいぐるみの形状を対話的にデザインしていくシステムを提案した。ユーザからの入力ストロークと物理的制約を元に常にぬいぐるみになるような3次元モデルをモデリングしていく。対応する型紙はユーザがモデリングするたびにインタラクティブに更新される。このようにオリジナルなぬいぐるみ作成に必要な型紙生成の工程をコンピュータで支援することによって、素人にも手軽にオリジナルなぬいぐるみをデザインすることが可能となる。実際にぬいぐるみ作成やバルーンに適用した例を紹介する。本システムはシミュレーションとモデリングを同時に行うことにより、物理的に実現可能である3次元モデルを作成することができる。現実的な制約をデザインプロセスに組み込むことで効率よくモデリングすることが可能になる。

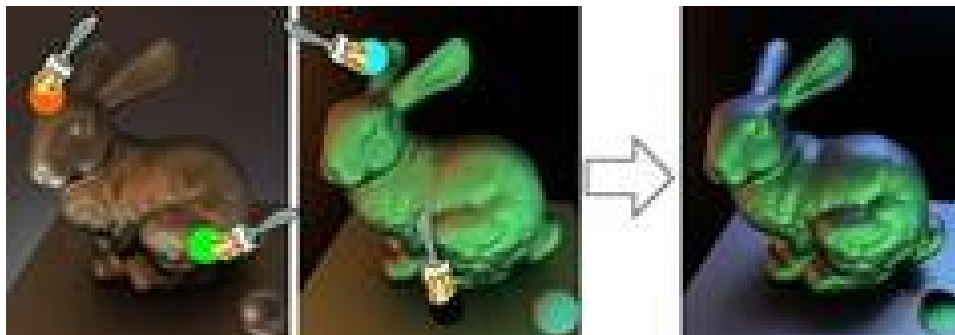


図：スケッチ入力から3次元モデルを展開パターンを同時に生成する。

- ライティングデザイン手法の開発

3次元モデルに対する3次元的な環境照明をデザインする手法について研究開発を行った。従来、イメージベースの照明環境をデザインするためには、直接イメージエディタで画像

を編集する必要があったが、これは初心者には困難な作業であった。本研究では、3次元モデルの上に直接ペイントすることで、望む照明効果の結果を直接指定できる手法を提案した。特に、前計算による高速な環境光効果の計算を利用することによって従来不可能であったインタラクティブな動作を実現している。



図：3次元モデルに直接ペイントすることで環境照明をデザインする。

## (2) 得られた研究成果の状況及び今後期待される効果

それぞれの研究において以下のような成果が得られた。

### ● 3次元モデリング手法の発展

実際に本手法を用いて様々な形状を簡単に作成できることが示された。成果として得られたソフトウェアは研究用のプロトタイプとして、すでに公開済みである。内容をまとめた論文は、コンピュータグラフィックスの分野でもっとも権威ある学会である ACM SIGGRAPH に採択され、登壇発表済みである。

Andrew Nealen, Takeo Igarashi, Olga Sorkine, Marc Alexa, "FiberMesh: Designing Freeform Surfaces with 3D Curves", ACM Transactions on Computer Graphics, ACM SIGGRAPH 2007.

提案した手法は、今後は広く3次元形状モデリングの基本手法として普及していくことが期待できる。

### ● 縫製玩具の設計支援

実際に本手法を用いてさまざまなぬいぐるみが実際に作成可能であることが示された。特に科学未来館において初心者の親子を対象としたワークショップを開催し、実際に初心者でも利用可能であることを確認した。内容をまとめた論文は、コンピュータグラフィックスの分野でもっとも権威ある学会である ACM SIGGRAPH に採択され、登壇発表済みである。

Yuki Mori, Takeo Igarashi, "Plushie: An Interactive Design System for Plush Toys", ACM Transactions on Computer Graphics, ACM SIGGRAPH 2007.

本手法は、ぬいぐるみをデザインするためのシステムとして実用的な価値が高い。また、物理シミュレーションを走らせながらの3次元モデリングという意味で、新規性の高い手法を提案しており、学術的な価値も高いといえる。今後、このような方向での研究が盛ん

になることが期待でき、本研究はそのさきがけになるものと考えられる。

- ライティングデザイン手法の開発

実際に本手法を用いて、効果的な照明デザインが手軽に行えることを確認した。内容をまとめた論文は、コンピュータグラフィックスの分野で権威ある学会である Pacific Graphics に採択され、登壇発表済みである。

Makoto Okabe, Yasuyuki Matsushita, Li Shen, Takeo Igarashi, "Illumination Brush: Interactive Design of All-frequency Lighting", Proceedings of Pacific Graphics 2007.

本手法は、複雑なCGデザインの問題を簡単なインタフェースで解決するという考え方を、形状モデリング以外の対象に適用したものと、価値が高い。また、実用的な価値も高く、実際にCGのプロダクションで利用することを検討している。

## 5. 類似研究の国内外の研究動向・状況と本研究課題の位置づけ

コンピュータグラフィックスの国内外の研究において、従来のようにただひたすらに美しく高度な画像を生成するだけでなく、それを作るための負担を減らそうという研究や、初心者にも使える手法を開発していこうという研究が増えている。我々はこのような方向で10年近く研究をすすめてきており、この流れのさきがけであったといえる。

研究動向として、形状モデリングについては、さまざまな対象に特化したインタフェースの提案が多いが、本研究では、自由曲面からなる形状デザインという基本的な問題に取り組み大きな成果を挙げている。

縫製玩具のデザインについては、近年、コンピュータの内部だけでなく、実際に手で触れるものをデザインできるようにしようという研究が増えてきているが、この流れにのったものである。ただし、既存の研究はすでにある3次元モデルを実際に紙や布で作成するというものであり、ゼロから作るものではなかった。

照明デザインについては、与えられたイメージベースライトを高速に計算する手法についての研究が盛んである。本研究では、このような成果をうまく利用し、イメージベースライトのデザインに応用したものであり、新規性が高い。

6. 研究実施体制

氏名	所属	役職	研究項目	参加時期
五十嵐健夫	東京大学	准教授	すべて	平成 18 年 4 月～ 平成 20 年 3 月
岡部誠 井尻敬	東京大学	大学院学生	照明のデザイン 形状モデリング	平成 18 年 4 月～ 平成 20 年 3 月
森悠紀 HyoJong Shin	東京大学	大学院学生	縫製玩具のデザイン 形状モデリング	平成 18 年 4 月～ 平成 19 年 3 月
高山健志	東京大学	大学院学生	形状モデリング	平成 19 年 4 月

7. 研究期間中の主な活動

(1) ワークショップ・シンポジウム等

年月日	名称	場所	参加人数	概要

(2) 招聘した研究者等

氏名（所属、役職）	招聘の目的	滞在先	滞在期間

## 8. 発展研究による主な研究成果

### (1) 論文発表 (英文論文 7 件 邦文論文 0 件)

- Andrew Nealen, Takeo Igarashi, Olga Sorkine, Marc Alexa, "FiberMesh: Designing Freeform Surfaces with 3D Curves", ACM Transactions on Computer Graphics, ACM SIGGRAPH 2007.
- Yuki Mori, Takeo Igarashi, "Plushie: An Interactive Design System for Plush Toys", ACM Transactions on Computer Graphics, ACM SIGGRAPH 2007. PDF
- Makoto Okabe, Yasuyuki Matsushita, Li Shen, Takeo Igarashi, "Illumination Brush: Interactive Design of All-frequency Lighting", Proceedings of Pacific Graphics 2007.
- Makoto Okabe, Kenshi Takayama, Takashi Ijiri, Takeo Igarashi, "Light Shower: A Poor Man's Light Stage Built with an Off-the-shelf Umbrella and Projector", DVD publication at SIGGRAPH 2007 Sketches.
- Kenshi Takayama, Takeo Igarashi, Ryo Haraguchi, Kazuo Nakazawa, "A Sketch-Based Interface for Modeling Myocardial Fiber Orientation", Smart Graphics, , 2007, pp.1--9.
- HyoJong Shin, Takeo Igarashi, "Magic canvas: interactive design of a 3-D scene prototype from freehand sketches", GI '07: Proceedings of Graphics Interface 2007, , 2007, pp.63--70.
- Takashi Ijiri, Shigeru Owada, Takeo Igarashi, "Seamless Integration of Initial Sketching and Subsequent Detail Editing in Flower Modeling", Eurographics 2006, Vienna, Austria, September 4-8, 2006, pp. 617-624.

### (2) 口頭発表

#### ①学会

国内 0 件, 海外 7 件

#### ②その他

国内 0 件, 海外 0 件

### (3) 特許出願 (SORST 研究の成果に関わる特許 (出願人が JST 以外のものを含む))

	件数
国内出願	0
海外出願	0
計	0

### (4) その他特記事項

#### 受賞

Katayanagi Prize in Computer Science, Carnegie Mellon University and Tokyo University of Technology, March 22, 2006.

The Significant New Researcher Award, ACM SIGGRAPH, August, 2006.



本研究を発展させる内容で創造科学技術推進事業、戦略的創造研究推進事業 ERATO 型研究に採択されている。

## 9. 結び

研究内容については、個別の内容については当初の計画と異なる部分もあるが、使いやすい3次元CG作成技術を創るという目的に沿って、価値の高い成果をだすことができたと考えている。今後は、ERATOプロジェクトの中で、今回の成果を発展させた研究をつづけていく予定である。