

## 科学研究費助成事業（科学研究費補助金）研究成果報告書

平成24年5月24日現在

機関番号：12102

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2008～2011

課題番号：20700075

研究課題名（和文）

3次元形状データの多目的な活用を促進するためのデータ操作手法に関する研究

研究課題名（英文）

A study on 3D geometric data operations for versatile applications

研究代表者

三谷 純 (MITANI JUN)

筑波大学・システム情報系・准教授

研究者番号：40392138

研究成果の概要（和文）：

3DCG ソフトウェアの進歩と普及により、コンピュータを用いた形状設計が容易になったことで、数多くの3D形状データが作り出されている。しかしながら、作り出される3D形状の多くが、スクリーン上に表示することを主な目的としており、あくまで仮想的な形状にすぎない。これらをものづくりを含む多目的な用途で活用するためのデータ処理手法を考案し、評価用のシステムを実装した。

研究成果の概要（英文）：

Enormous numbers of data files of 3D geometry of objects have been generated by 3DCG software according to its progress and popularization. Most of the data files are, however, designed only for displaying on a screen. They are just virtual objects. In this project, we developed methods for processing the data so that we can fabricate them in the real world. We implemented prototype systems and evaluated them.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2008年度	700,000	210,000	910,000
2009年度	400,000	120,000	520,000
2010年度	600,000	180,000	780,000
2011年度	600,000	180,000	780,000
総計	2,300,000	690,000	2,990,000

研究分野：コンピュータグラフィックス

科研費の分科・細目：情報学、メディア情報学・データベース

キーワード：CG・3Dモデル・形状処理

## 1. 研究開始当初の背景

3DCG ソフトウェアの進歩と普及により、コンピュータを用いた形状設計が容易になったことで、数多くの3D形状データが作り出されている。

それに伴い、3D形状データを扱うことを前提とした仮想空間がオンライン上に展開されている。また、誰もが3D形状データを作成し、それを任意の場所に配置できる機能が

備わったWebサービスなども存在する。

このように、3D形状データは以前とは比較にならないほど数多く生成され、容易に手に入るようになった。しかしながら、このような3D形状データは仮想空間内で用いられるために作られたものであり、その目的は「PCの画面に表示する」ことに限られ、それ以外の用途で使用することは想定されていない。

そこで、現在の仮想空間に無数にある3D

形状データを、現実世界においても様々な用途に活用できれば極めて有効であると考えられる。これらをものづくりに活用できれば、既存の資産の有効活用を図ることができると考えられる。

しかしながら、3DCG ソフトウェアで作られた形は、そのままでは実世界のものづくりに使用できない場合が多い。一般に CG に用いられる 3D データは、「見た目がよければよい」という価値観のもとで作られているため、そのままでは「現実世界でのものづくり」に用いることができない。例えば宙に浮いた部品や、互いに貫通しあっている面の存在、あまりに微小な凹凸など、仮想空間では許容されながら、ものを作る上では問題となる形状の存在が挙げられる。これらの問題を手作業で修正したり、改めて CAD ソフトウェアでデザインしなおすことも可能であるが、既存のデータを効率的に再利用できることが望ましい。従来の CG データ処理の研究成果によって、任意の位相をもつ 3D ポリゴンデータを球と同相の形状に変換する手法などが提案されており、この技術を用いることも考えられるが、より現実的な「ものづくり」のためのデータ変換プロセスが必要である。

## 2. 研究の目的

既存の 3DCG ソフトウェアは、映像制作を主な目的としているため、そのままでは、ものづくりに適した形を生成することができない。しかしながら、手軽に形を作るための優れたインタフェースが多く考案され、安価に使用できるものが多く登場し、個人がホビーユースで用いることも多い。その一方で、ものづくりのための形状設計ツールとして 3DCAD が存在するが、産業用途を対象とし、高価で高性能なものが多く、広く我々の身近なところまで普及するに至っていない。

そこで、一般的な 3DCG ソフトウェアと同様のインタフェースで、手軽にものづくりを実現できるソフトウェア、および、既存の 3DCG ソフトウェアで作成したデータをものづくり可能な形式に変換するためのソフトウェアの研究開発を目的とする。

ものづくりの対象として、個人が手軽に扱えることを前提とするために、厚みを無視できる紙、厚みを考慮すべき紙（ダンボールやスチレンボード）、弾性変形する布、木材、3D プリンタに用いられる樹脂などの素材で、最終的な形をつくることを考慮する。

例えば、素材が紙の場合は自由曲面は作ることができないため、可展面の集合で形が表現されている必要がある。また、貼り合わせのための「のりしろ」が必要になる。素材が布の場合は、弾性特性を考慮し、適切な場所にダーツやプリーツを生成する。3D プリンタに用いられる樹脂の場合は、球と同相のモデ

ルに変換した後で、中空にするための内部面の生成を行うなどが考えられる。

入力となる 3D 形状データには様々なファイル形式が存在し、中には、ポリゴンスープと呼ばれるような、構成要素である面と面の接続関係を持たないデータも存在する。そこで、初期段階では、まず各種ファイルフォーマットに対応し、必要な形状データを抽出するアプリケーションと、その後の形状処理に柔軟に対応できるデータ構造の開発が必要となる。

本研究では、このように、ものづくりを主な目的とし、既存の 3D データを活用するためのデータ処理手法を考案し、評価用のシステムを実装する。その後、システム内に構築された形状データに対して、対象とするものの素材に適した処理を行うためのアプリケーションを開発し評価する。

## 3. 研究の方法

アプローチとして、既存の 3DCG および CAD システムから生成された形状データを、例えば紙などの素材で簡単に制作できる形式に変換することが考えられる。また、もう一つのアプローチとして、あらかじめ対象を限定し、ものづくりのために必要な制約を満たすデータを、3DCG と同様の簡単なインタフェースで再構築できるようにする方法が考えられる。

本研究では両方のアプローチを試みたが、ここでは前者のアプローチについて、紙のように厚みを無視することができる素材(1)と、スチレンボードのように厚みを考慮した加工が必要になる素材(2)の、それぞれについて手法を説明する。

入力データとして、3DCG ソフトウェア固有のフォーマットに依存しないですむように、位相情報を含まない多面体モデルを想定する。つまり、対象形状は 3 次元空間内に配置された複数の多角形によって表現されるものとし、多角形同士の接続関係の情報は含まれない。

(1) 紙のように厚みを持たない素材の場合、多角形要素間の接続関係を再構築し、その形状モデルに対して展開図を生成することになる。ただし、3DCG ソフトウェアで作成された一般的な形状は、形が複雑すぎてもものづくりに適さないことが多い。たとえば建築物に存在する細かい突起は視覚上は重要であるため 3DCG データには膨大な形状データが含まれる。一方で、その建築物の模型を制作しようとした場合、細かい突起は省略することが一般的である。

そこで、3 次元空間を立方格子の集合に分割し、その格子単位で接続関係の再構築と、

必要に応じた形状の簡略化を実現する。図1はイメージ図であるが、格子空間に多面体を配置し、多面体が存在する格子を識別し、対象形状の内外判定を行う。得られた格子から、元の形状を参照しつつ簡略し、なおかつ接続情報を持たせることで、新規の多面体モデルを再構築する。

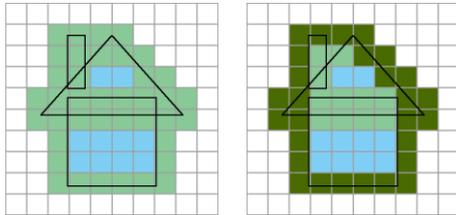


図1 格子空間を利用した形状簡略化と位相構築。  
濃い色の格子に立体の境界面が含まれる。

(2) スチレンボードのように厚みを持つ素材の場合、素材を折り曲げることはできず、各部材を貼りあわせて立体形状を構築することになる。その際に、元の形状データの多角形状が同一であっても、図2に示すように、その接合の仕方によって、端部の加工方法が異なる。たとえば部材の端が、他の部材と接続する場合、端部を斜めに切り落とす必要がある。この切り落としの程度は端部の角度であらわすことができる。

本研究では、2つの部材が接合する場合、どちら側をどの程度加工するかによって、その形態を図3に示す4通りに分類するものとした。具体例として、2枚の紙でスチレンを挟む形態のスチレンボードを対象とした場合、その接続方法によって端部の加工は「切り取り」「紙の一部を残す加工」「傾斜を持たせたカット」に分けることができる。部材の接合に応じて、これらを使い分けるためのデータを内部を持たせ、部品図の出力時に、加工する領域の塗りによって区別できるようにする。

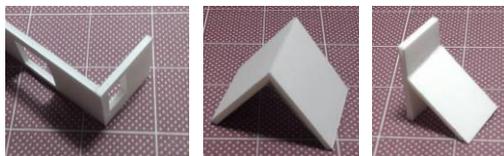


図2 厚みを持つ素材の接合方法

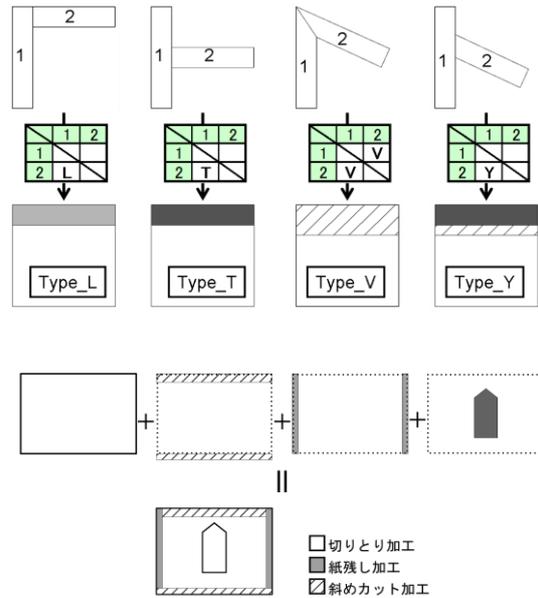


図3 異なる2つの部材の接合方法

#### 4. 研究成果

3DCG ソフトウェアで制作された各種データをもとに、実在するモノとして実現するための手法を考案し、評価用のシステム開発を行った。以下の(1)および(2)によって、厚さを無視できる紙による模型制作および、厚さを考慮した加工に基づく模型制作のためのシステムについての成果を述べるが、それ以外にも、幾何制約を満たす形状を簡易なインタフェースで構築するためのシステムなど、複数のシステム開発を行った。

(1) 多くの多角形が含まれるデータに対して、格子空間の詳細度によって、簡略化の程度を制御しつつ、位相的に接続した形状を得ることができた。また、格子空間内で、位相的に閉じた（球と同相の）立体だけでなく、非多様体の構造を持つ立体（1つの稜線に3つの面が接続する立体）の生成も実現した。これにより、実際に模型として実現するときに、実際の模型作りと近い展開図を生成することが可能となった。具体的には、小さな突起を持つ形状に対して、まずはラフな全体形状を構築し、そのあとで、突起部を追加することになる。

このような模型の3次元形状および、折り線や貼りあわせ表示を含む展開図を自動生成できることを確認した。

(2) 厚みを持つ素材を考慮した、形状の自動変換および、加工のための部品図を出力するシステムの開発を行った。形状処理の多くは(1)と共通するが、多角形面の接合部におい

て、その加工方法の決定が必要となる。複数の部材の中から、その優先度を決定し、その順番に応じて加工形状を選択するものとした。スチレンボードを用い、実際に建築模型を制作することで、その評価を行った。

#### 5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計 1 件)

- ① Satoshi Iizuka, Jun Mitani, Yoshihiro Kanamori and Yukio Fukui, "An interactive design system for pop-up cards with a physical simulation", The Visual Computer: Volume 27, Issue 6 (2011), Page 605-612.  
査読有

[学会発表] (計 11 件)

- ① Masaki Hirose, Jun Mitani, Yoshihiro Kanamori, and Yukio Fukui, "An Interactive Design System for Sphericon-based Geometric Toys using Conical Voxels", The 11th international symposium on Smart Graphics, Bremen, Germany, July 18-20, 2011.
- ② 廣瀬真輝, 三谷純, 福井幸男, 金森由博, "スフェリコンをベースとした幾何学玩具の形状デザインシステム", 2011 年度日本図学会春季大会, 東京電機大学 東京神田キャンパス, 東京都, 2011/5/14-15.
- ③ 鶴田直也, 三谷純, 金森由博, 福井幸男, "正三角形を基本単位とする立体の生成システム", 2011 年度日本図学会春季大会, 東京電機大学 東京神田キャンパス, 東京都, 2011/5/14-15.
- ④ 廣瀬真輝, 三谷純, 福井幸男, 金森由博, "スフェリコンをベースとした等高重心立体の形状デザインシステム", 情報処理学会第 73 回全国大会, 東京工業大学 大岡山キャンパス, 東京都, 2011/3/3.
- ⑤ 土肥雅志, 三谷純, 福井幸男, 金森由博, "間取り作成アプリケーションからのスチレンボード建築模型用展開図の自動生成", 2010 年度 日本図学会秋季大会, 法政大学市ヶ谷キャンパス, 東京都, 2010/11/27.
- ⑥ 三谷純, "立体折紙のタイリング技法", 日本応用数理学会 2010 年度年会, 明治大学駿河台キャンパス, 東京都, 2010/9/9.
- ⑦ 土肥雅志, 三谷純, 福井幸雄, "ポリゴン

モデルから紙模型を作成するための形状変換", 2009 年度日本図学会大会, 筑波技術大学, 茨城県, 2009 年 5 月 9 日.

- ⑧ 土肥雅志, 三谷純, 福井幸男, 西原清一, "実世界指向の 3D 形状データ変換手法の提案", 第 71 回情報処理学会全国大会, 立命館大学 びわこ・くさつキャンパス, 滋賀県, 2009 年 3 月 10 日.

#### 6. 研究組織

##### (1) 研究代表者

三谷 純 (MITANI JUN)

筑波大学・システム情報系・准教授

研究者番号: 40392138