

飛び出す絵本シミュレータ

加世田 匠† 斎藤 隆文‡ 宮村 (中村) 浩子‡
† 東京農工大学 工学部 情報コミュニケーション工学科
‡ 東京農工大学 大学院生物システム応用科学教育部

本稿では、飛び出す絵本シミュレータについて報告する。飛び出す絵本とは、ページを開くと、ページに付けた紙が立体的に飛び出してくる本である。貼り付けた紙の動きは、その形状、貼り付ける位置、角度に依存し、動きを事前に予想することが難しい。我々が試作したシステムでは、絵本に貼り付けるべき 2 次元形状と、その貼り付け方をユーザが指定することで、ページの開閉に伴う 3 次元の動きを CG アニメーションで確認することができる。

Popup Books Simulator

KASEDA Takumi † , SAITO Takafumi ‡ , and MIYAMURA NAKAMURA Hiroko ‡
† Department of Computer, Information and Communication Sciences,
‡ Graduate School of Bio-Applications and Systems Engineering,
Tokyo University of Agriculture and Technology

In this paper, a simulator of popup books is introduced. In popup books, popup objects sprang out on papers when these pages are opened. The object movement depends on these shapes, positions and angles, and it is hard to imagine such movement without making real 3D objects. We have developed a system which simulates the object movement.

1. はじめに

飛び出す絵本やポップアップカードなどはページを開いたり閉じたりすると、ページに貼り付けられた紙が起きたり倒れたりする。これは、絵に動きが加わるため、普通の本と比べて、楽しさが増す。しかし、飛び出す絵本の製作は、作り慣れた人でなければ意図した動きを行わせるように製作することは困難である。また、新しい動きを出す為にも試行錯誤を繰り返さなければならず、製作に手間と時間を要する。

そこで、飛び出す絵本の製作を手助けするようなシミュレータを開発する。飛び出す絵本には、本を 90 度を開いたときに絵が飛び出す 90 度型や 180 度を開く 180 度型、360 度を開く 360 度型などがある¹⁾。試作したシステムは、180 度型という、見開きページを 180 度を開いた時に最適な立体となる型を扱う。また、貼り付け方は飛び出す絵本でよく用いられる飛び出す紙を V 字のように折り、折った角を見開きページの折り目に合わせて貼り付ける型を扱う。

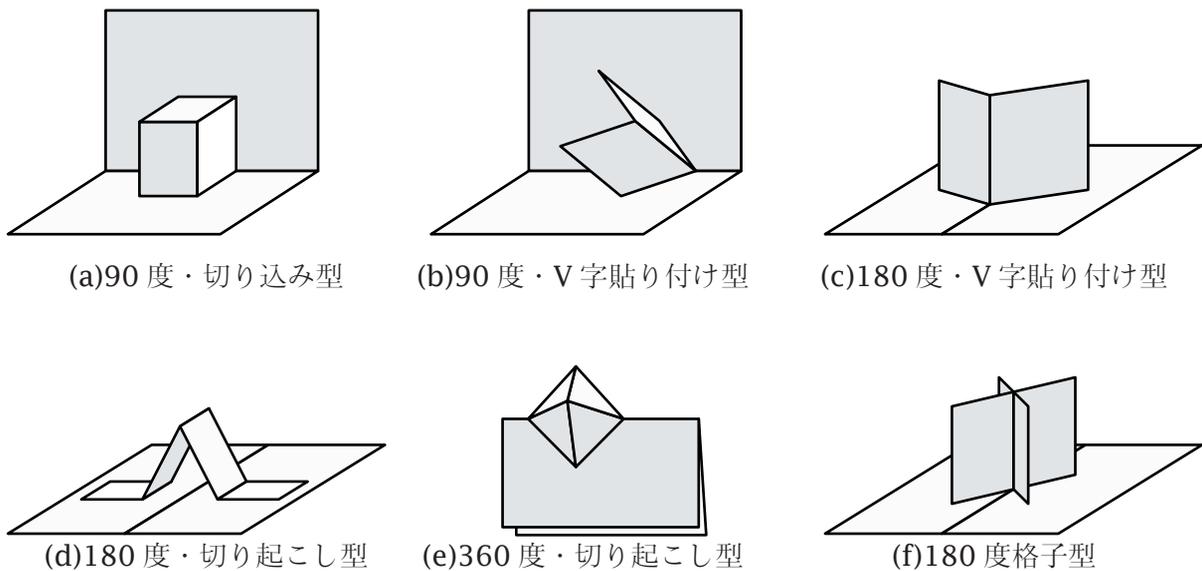


図1 飛び出し型

2. 飛び出す絵本

飛び出す絵本やポップアップカードは、紙を飛び出させるだけでなく、実際の建築物などを紙の立体造形物として表現し、折り畳める折り紙建築²⁾と作成原理は同じである。しかし、飛び出す絵本はページを開いたり閉じたりして飛び出す紙の動きを楽しむ事もでき、また、複数のページを持ち、物語を綴る事もできる。

2.1 設計による種類

飛び出す絵本には、立体が飛び出すときのページの角度によって、いくつかの種類に分けられる。代表的なものは3種類あり、90度型、180度型、360度型である¹⁾。それぞれ、型の角度までページを開けば、最適な飛び出し方となるように設計されている。

また、立体の型にもいくつか種類がある。茶谷は折り紙建築の作品を区別するための分類を提示した³⁾。本稿では茶谷の分類を参考に、飛び出す仕組みに着目して図1に示す6種類に分類する。切り込み、折り込みを入れて作る型(図1(a))⁴⁾⁻⁶⁾と、飛び出す絵本でよく用いられる飛び出す紙とページ

の折り目を同一平面上になるようにV字に貼る型(図1(b)、(c))、ページ部分の一部を切り出し起こして作る切り起こし型(図1(d)、(e))^{3),7)}などがある。また、蛇腹や畳めるように格子を組んだ物をページに貼り付ける型(図1(f))がある³⁾。

切り込み型は90度型で製作でき⁴⁾⁻⁶⁾、切り起こし型は90度、180度、360度型で製作できる^{3),7)}。V字貼り付け型は90度型と180度型で製作できる。格子型は180度型で制作できる³⁾。

2.2 先行研究

90度切り込み型について、三谷らは、3次元ポリゴンモデルからボクセルモデルを生成し、折り紙建築として表現できるよう最適化し、展開図を生成する手法を提案している^{4),6)}。3次元ポリゴンモデルそのままでは折り紙建築に用いられないため、この手法ではボクセル表現に変換している。それによって、3次元ポリゴン表現が省略できる。

三谷らはさらに、自由に形状を表現するために、平面多角形の集合でモデルを表現する手法を提案している⁵⁾。ここでは、CGによる設計支援エディタも制作されている。そし

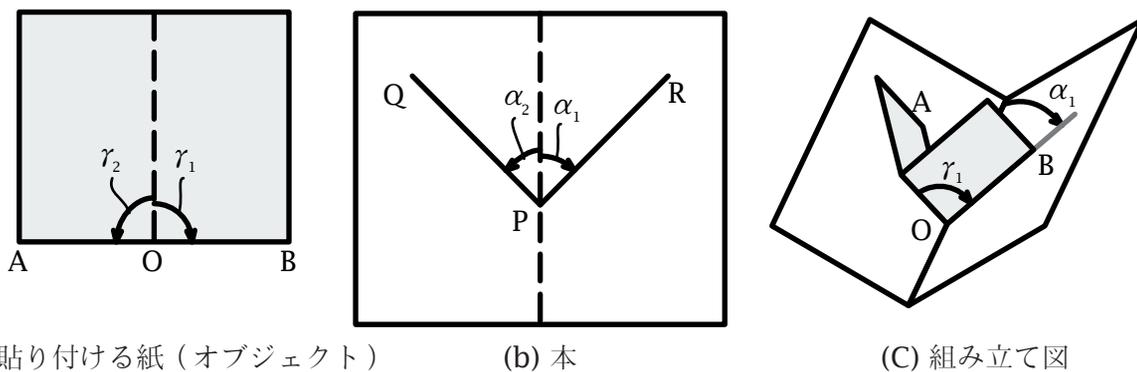


図 2 飛び出す絵本の構成

て、これらの機能を搭載し CG によるシミュレートできるソフトが市販されている⁸⁾。

飛び出す絵本を対象とする場合、開く角度は 180 度型が望ましい。180 度の切り起こし型の折り紙建築については 3 次元ポリゴンモデルからページに配置し、そこから、畳める事を考慮した展開図を生成するアルゴリズムが開発されている⁷⁾。

本システムでは、飛び出す動きもシミュレートするため、起きあがる角度を様々に変えられる 180 度 V 字貼り付け型を対象とする。

3. 動作原理

本節では、本を開く動作による立体の飛び出し方をシミュレートするために必要なパラメータを求める。

3.1 構成要素

飛び出す絵本の 180 度 V 字貼り付け型の最小構成を図 2 に示す。

図 2(a) の貼り付ける紙、(b) のページについて、点 O と点 P を合わせ、(a) の辺 OA、OB をそれぞれ、(b) の線分 PQ、PR に合わせるように貼り付ける。これで、飛び出す絵本 (c) が製作できる。

3.2 本としての条件

本やカードは見開きの両ページの面が合わさるまで閉じなければならない。そのため、

貼り付ける際に決めなければならない角度 α_1 、 α_2 、 r_1 、 r_2 に対して、以下の条件を設ける：

$$\alpha_1 = \alpha_2 = \alpha$$

$$r_1 = r_2 = r$$

また、180 度型はページが 180 度を開かなければならない。そのためには、以下に示す条件を与える：

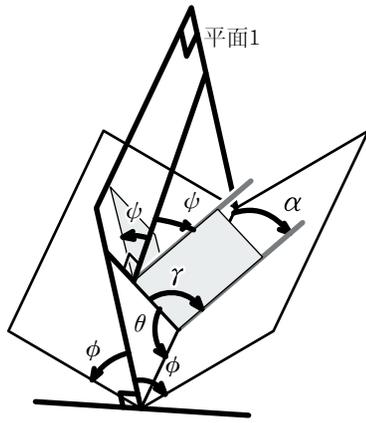
$$\alpha \leq r \quad \left(\alpha < \frac{\pi}{2} \right)$$

$$|\pi - \alpha| \leq r \quad \left(\alpha > \frac{\pi}{2} \right)$$

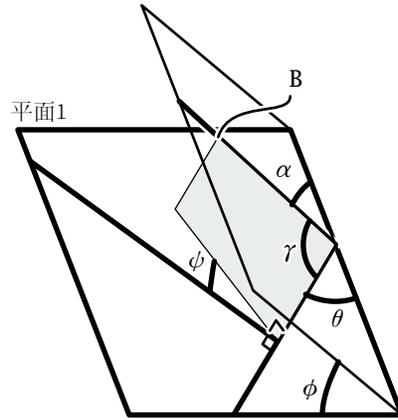
3.3 開閉に伴う動作

次に、飛び出す絵本の組み立てた図を図 3(a) に示す。ここでは、本を閉じた状態の両ページが重なる平面を平面 1 とし、そこから、角度 ϕ 開いた時の本の立体図を表している。角 θ は飛び出す紙が本の折り目からの角度、角 ψ は飛び出す紙が閉じた状態からの開いた角度である。シミュレーションのために導く角は θ と ψ であり、 α 、 r は定数、 ϕ はページの開閉によりインタラクティブに入力される。

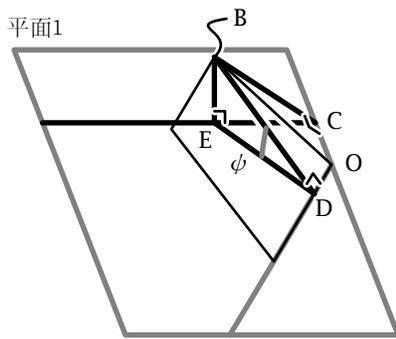
図 3(b) は平面 1 を底面として考えた図である。次に図 3(c) のように点 B を通る平面 1 との垂線を取り交点を点 E とする。点 E から本の折り目に垂直に線を引き、交



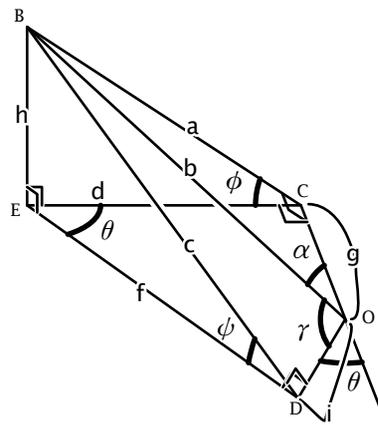
(a) 組み立て図



(b) 平面1を底辺とした図



(c) 平面1とオブジェクト



(b) 平面1とオブジェクトで作られる立体

図3 導出

点をCとし、点Eから飛び出す物体の折り目に垂直に線を引き、交点をDとする。その点B、C、O、D、Eで構成される立体を考えると、それは角 α 、 γ 、 θ 、 ϕ 、 ψ を用いた最小構成する立体(図3(d))であり、これにより、角度の関係を導く。

図3(b)より、

$$b = \frac{a}{\sin \alpha}$$

$$c = b \sin \gamma = \frac{a \sin \gamma}{\sin \alpha}$$

$$d = a \cos \phi$$

$$f = c \cos \phi = \frac{a \sin \gamma \cos \phi}{\sin \alpha}$$

$$g = \frac{a}{\cos \alpha}$$

$$i = b \cos \gamma = \frac{a \cos \gamma}{\sin \alpha}$$

$$h = a \sin \phi = c \sin \phi$$

が成り立つ。

次にhの式より、

$$\begin{aligned} a \sin \phi &= c \sin \phi \\ &= \frac{a \sin \gamma \sin \phi}{\sin \alpha} \end{aligned}$$

$$\sin \phi = \frac{\sin \alpha}{\sin \gamma} \cdot \sin \phi$$

となり、 ϕ が求まる。次に θ は、

$$\theta = \tan^{-1}\left(\frac{g}{d}\right) + \tan^{-1}\left(\frac{i}{f}\right)$$

であるので、

$$\theta = \tan^{-1}\left(\frac{1}{\cos\alpha \cos\phi}\right) + \tan^{-1}\left(\frac{1}{\tan\gamma \cos\phi}\right)$$

となる。これで、 ϕ と θ が求まり、シミュレーションを動作できる。

4. システム概要

本システムは3ツールからなる。

- 編集ツール
- 編集用シミュレータ
- プレイヤー

これらについて次項以降で説明する。

形状のデータ形式はベクトルデータとし、1ページに複数貼り付けられる。それらを、複数ページ構成できる。

4.1 編集ツール

編集ツールではオブジェクトの形状、角

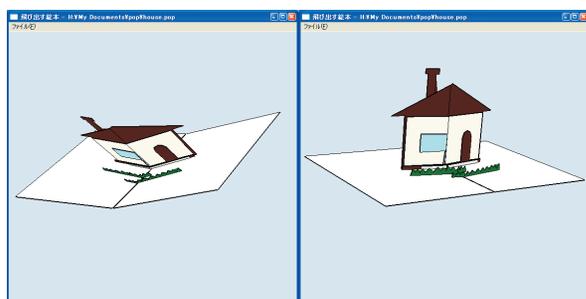
度、位置を対話的に設定できる。形状データは多角形のベクトルデータで扱い、パスやアンカーポイントは追加や削除、移動ができ、様々な形状に変更できる。オブジェクトの色(RGB)や本の角度(α)、紙のカット(γ)、貼り付け位置を入力し変更できる。さらに、オブジェクトの管理、ページの管理も行える。

4.2 編集用シミュレータ

編集用シミュレータは、編集ツールで編集中のページをシミュレートするツールで、マウスの動きによりインタラクティブに開閉が行える。これは、編集ツールで編集中のオブジェクトの動作確認を行うためのものである。編集データは編集ツールとメモリ上で共有し、編集ツールでの変更は随時更新される。

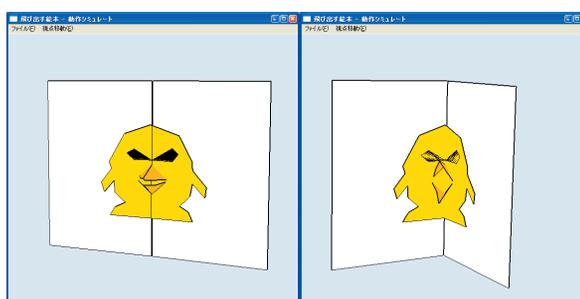
4.3 プレイヤー

プレイヤーは複数ページ対応のシミュレータである。編集ツールで製作した飛び出す絵本をファイル経由で読み込み、本の感覚でページをめくる操作ができる。本を開く、ページをめくる以外の操作は編集用シミュレータと同じである。



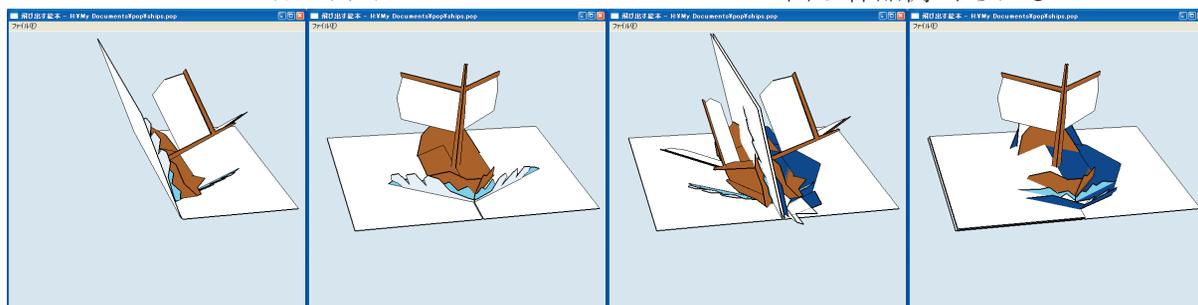
(a) (b)

図4 作品例 家



(a) (b)

図5 作品例 くちばし



(a) 本を開く (b) 見開き 180度 (c) ページをめくる (d) 見開き 180度

図6 プレイヤーを使用して絵本のページをめくる

5. 製作例

本稿で紹介したシステムを使用し、飛び出す絵本を製作した。図 4-6 が製作した作品例である。図 4 では、家と草のように異なるオブジェクトを作成している。図 5 ではオブジェクトをクチバシになるよう向かい合わせて貼り付けて製作した。ページを 180 度を開いた状態ではクチバシが閉じているが、少しページを閉じると、クチバシが開くことがわかる。図 6 は、プレイヤーによりページをめくる操作を示している。航海中の船が次のページで沈没するというストーリーになっている。

これら作品例の制作時間は、図 4 と図 5 は 30 分ほどで制作し、図 6 は各ページを合わせ 1 時間で制作した。

6. システムの制約と課題

まず、編集及び描画できる形状は多角形のみで、曲線には対応していない。

次に、1 ページに複数のオブジェクトを貼り付けた場合、パラメータの設定によっては、オブジェクト同士が貫通してしまう。これらを回避するためには衝突判定が必要である。また、ページを閉じた時に、オブジェクトがはみ出してしまう場合がある。これは、本やカードには好ましくないので、回避させる手法を考える必要がある。さらに、ページやオブジェクトが同一平面上に存在した時、優先度を付けた描画を行っていないため、混ざった描画となる。

7. おわりに

本稿で提案した飛び出す絵本シミュレータでは、オブジェクトを貼り付ける際の各パラメータを指定した時の動作が 3 次元 CG アニメーションにより簡単に対話的に確認でき

る。また、複数オブジェクト、複数ページに対応し、絵本としての製作も可能にした。さらにそれを、プレイヤーで実行することで、3 次元 CG アニメーションの絵本が見られる。

今後の課題として、6 節で述べたものの他に、以下の機能の実装があげられる。まず、オブジェクトに複雑な着色やテクスチャ描画を行うためのドローイングツールが必要である。また、作った作品を図面に起こし印刷できる機能があれば、その場で実物を作る事ができ、製作はさらに容易となる。

参考文献

- 1) 中沢圭子：紙ニュケーションアート、<http://www.neo-di.com/KAI/>
- 2) 茶谷正洋：Origamic Architecture、http://www.japandesign.ne.jp/IAA/chatani/Q_A/
- 3) 茶谷正洋：折り紙建築虎の巻、彰国社、1985 年
- 4) 三谷純，宇野弘，鈴木宏正：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，情報処理学会論文誌，Vol.44，No.5，pp.1372-1379，2003 年
- 5) 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 年
- 6) 三谷純，鈴木宏正，宇野弘：3D ポリゴンモデルからの「折り紙建築」モデル生成手法，情報処理学会研究報告，2002-CG-107，pp.7-12，2002 年
- 7) 藤原大三郎，渡辺大地：切り起こし 180 度型折り紙建築の設計支援に関する研究，情報処理学会第 67 回全国大会，6Y-4，2005 年
- 8) 多摩ソフトウェア有限公司：ポップアップカードデザイナー、<http://www.tamasoft.co.jp/craft/popupcard/index.html>