

近似形状の構築が可能な缶アート制作支援システム

高橋和茂^{†1} 高井昌彰^{†2} 高井那美^{†3}

近年、食品や飲料の缶を空間的に多数配置した缶アート作品の制作が盛んである。しかし、缶アートの制作には缶の空間配置の安定性や缶ラベルの色合わせなどを事前に十分検討しておく必要がある。そこで本研究では、テクスチャ付き 3D ポリゴンモデルデータを入力として与え、物理法則に基づく配置の安定性評価と最適な色合わせを踏まえて、これを缶アートで近似表現した 3D モデルを仮想空間で可視化する缶アート制作支援システムについて述べる。

Virtual Can Construction System with Shape and Color Approximation

KAZUSHIGE TAKAHASHI,^{†1} YOSHIAKI TAKAI^{†2} and NAMI TAKAI^{†3}

One of the most common method to represent 3D objects is a geometric combination of primitives. In this paper, we propose a virtual can construction system. Can construction represents any object by a combination of cans with colored labels. Our system is able to automatically generate an approximated representation of 3D textured polygon model. A user gives a 3D textured polygon model to our system. The system estimates shape and surface colors of the model and visualizes suitable arrangement of cans with label color pattern.

1. はじめに

レゴブロックや立体パズル、ユニット折り紙など基本となる数種類の形状の組み合わせによって任意の形を構築できるおもちゃ・遊びは広く普及している。組み合わせの多様性から、同じ最終形を目標として構築しても完成した形状は制作者によって異なる。3D モデルの近似形状を自動構築する研究¹⁾ や、拡張現実を利用し組み立てを支援する研究²⁾、あるいは教育・教育に利用した研究³⁾ など、立体的構築に関して現在幅広い分野から注目を集めている。

また近年、食品や飲料の空き缶リユースの一環として、あるいは芸術作品の一種として、缶をタイル状に配置した絵画や空間的に配置したオブジェなどの缶アート作品の制作が盛んである(図1)。缶アートも先の例と同様、基本となる形状の組み合わせによって任意の形を構築する遊び・芸術の一種である。しかし缶アートは通常、部品同士をはめ込むための凹凸などがなく、ブロックなどの例と比較し構築の自由度は高い。すなわち缶アートの制作において十分な完成度を



©滋賀県立大学 第12回湖風祭

©Canstruction Inc.

図1 缶アート作品

得るためには、缶の空間配置や缶ラベルの色合わせなどを事前に十分検討しておく必要がある。また、缶の数の見積もりに応じて実際に大量の缶や広い制作場所を用意する必要があり、制作の敷居を高くしている。

そこで本研究では立体的なオブジェ作品を対象とし、テクスチャ付き 3D ポリゴンモデルデータを入力として与え、これを缶アートで近似表現した 3D モデルを仮想空間内に自動構築する缶アート制作支援システムの開発を目的とした。仮想空間上で缶アート環境等を定義・実装することで、仮想空間における缶アートの制作を可能とする。また自動構築機能を実装することで、仮想空間における缶アート制作の支援や、実際の缶アート制作における缶の空間配置や缶ラベル色合わせなどの事前設計の支援を行う。

†1 北海道大学大学院情報科学研究科

Graduate School of Information Science and Technology, Hokkaido University

†2 北海道大学情報基盤センター

Information Initiative Center, Hokkaido University

†3 北海道情報大学経営情報学部

Business Administration and Information Science, Hokkaido Information University

2. 缶アート

広義の缶アートは、個々の缶を変形・加工して作成するアートと、個々の缶を加工せず平面的あるいは空間的に配置することで作成するアートの二種類に大別することができる。本研究における缶アートは後者を対象としている。

本研究では特に立体的なオブジェ作品を対象としており、以降は同一サイズの缶を加工せずに空間的に配置したオブジェ及びこれを仮想空間上に生成した3Dモデルを缶アートと呼ぶ。

缶アートは平らな床面上に缶を配置し、色と形状を考慮しながら缶の上に次々と別の缶を積み上げていくことで立体的なオブジェを構築していく。

通常、缶アートは缶のみによって構築されるが、単純に置くだけでは不可能な缶配置を実現したい場合のみ、薄い板や接着剤の使用を許す。

3. 缶ボックスセルと缶ボックスセル変換

ある3Dモデルを缶アートで近似表現する際の、缶アートを構成する単位となる缶一個の3Dモデルデータを本研究では缶ボックスセルと定義する。

開発したシステム(以降、本システム)にはあらかじめ缶ボックスセルのいくつかのプリミティブが用意されており、プリミティブを多数組み合わせることにより缶アートで近似表現した3Dモデルを構築する。本システムでは、缶ボックスセルのプリミティブは直径と高さの比が5:6となる同一のサイズとし、缶ラベルのみ異なる数種類のプリミティブを用意している。

ここで、入力した3Dポリゴンモデルデータを缶アートで近似表現する変換を缶ボックスセル変換と呼ぶ⁽⁴⁾⁽⁵⁾⁽⁶⁾。

3.1 缶ボックスセル変換

缶ボックスセル変換は以下の3つの処理に分けることができる。

- (1) 配置の安定性を考慮しながら、缶ボックスセルの空間配置を決定する
- (2) 缶ボックスセルのラベルと向きを決定する
- (3) 缶ボックスセルを生成し、入力モデルの近似形状を構築する

以降、それぞれについて述べる。

3.2 缶ボックスセルの空間配置

システムに入力した3Dポリゴンモデルデータに一定高さ毎の水平断面のクリッピングを行い、クリッピングした各水平断面画像に対する缶の配置と各缶ボックスセルに対する配置の安定性判定を行うことで、缶ボックスセルの空間座標を決定する。なお、配置安定性の判定手法については後述する。

水平断面における缶配置の流れを図4に示す。

まずクリッピングで取得した水平断面の領域に対し境界追跡を行う。次に角度の閾値により境界点列から

特徴となるエッジ境界点を求め、エッジ境界点に対して優先的に缶を配置する。

その後境界点列上に缶を配置していき、最後に領域内部に配置する。このとき、缶の空間配置に対する安定性判定を行い、判定結果を改善するように配置座標を調整する。

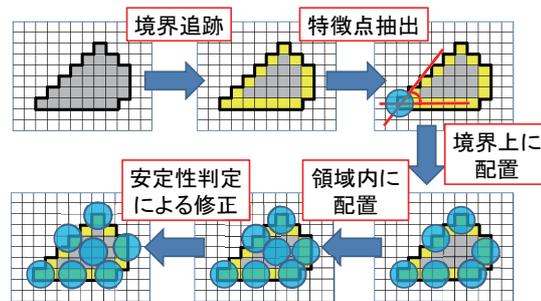


図2 水平断面における缶ボックスセルの配置

缶ボックスセルの配置安定性の判定

判定対象缶ボックスセルとその直下層にある缶ボックスセルの配置座標から接触している下層の缶ボックスセル(下層缶ボックスセル l)を求め、 l の個数 $|l|$ に応じて各安定性判定を行い、必要ならば配置座標を修正する。

安定性判定は各缶ボックスセルの水平断面における平面座標と底面円の半径による幾何計算によって求め、重力や回転モーメントなど物理的な安定性については考慮しない。

下層缶ボックスセルが二個以上のとき、すなわち $|l| \geq 2$ のとき、対象缶と下層缶の底面円の交点 P_i からなる多角領域 A を考える。領域 A に対象缶の底面円の中心 C が含まれる場合を安定、含まれない場合を不安定とする。

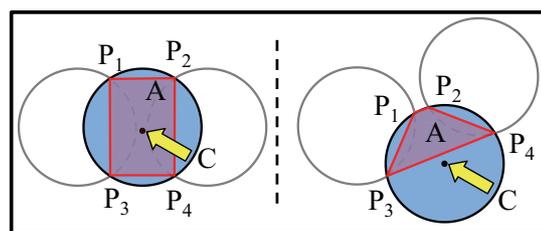


図3 $|l| \geq 2$ のとき：(左) 安定 (右) 不安定

下層缶ボックスセルが一個のとき、すなわち $|l| = 1$ のとき、対象缶と下層缶の底面円の中心 C, C_L 間の距離 D と底面円の半径 R を考える。距離 D が半径 R 以下を安定、そうでない場合を不安定とする。

下層缶ボックスセルがないとき、すなわち $|l| = 0$ のとき、対象缶が床面や支持板の直上である場合を安定とし、それ以外の場合を不安定とする。

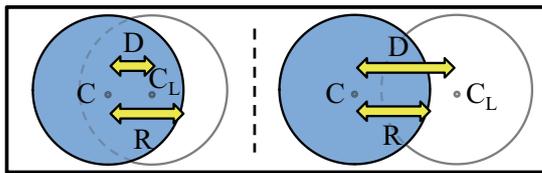


図4 $|l|=1$ のとき：(左) 安定 (右) 不安定

3.3 缶ラベルの色合わせ

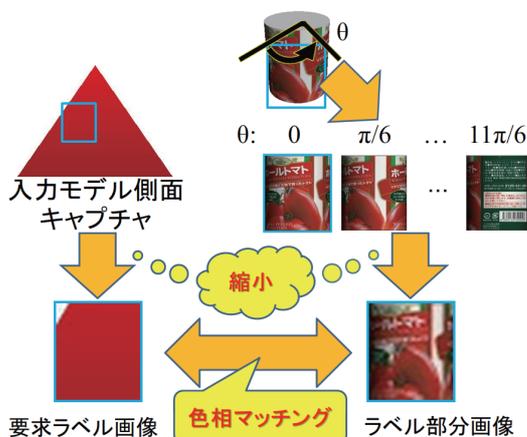
缶ラベルの色合わせ処理を図5に示す。

決定した缶ボックスの空間座標から、各缶ボックスが缶アート3Dモデルの表面に位置しているか、また3Dモデル表面であるならどの向きになるかを判定する。この結果を入力モデルの側面キャプチャ画像と組み合わせることで、各缶ボックスに要求される色や模様を定める。

次に、用意されている缶ボックスの各プリミティブに鉛直方向を軸とする3D回転を行った缶ラベル部分画像を生成し、缶ボックスで要求される画像と色相マッチングを行う。このとき以下の理由から、両画像に対し同一サイズとなるよう縮小したのち、色相マッチングを行う。

- 両画像の画像サイズに比例して計算コストがかかるため
 - 缶ラベル画像の細部より概観を重視するため
- 各画素間の色相差を求め、色相差の総和をマッチング距離とする。画像縮小手法⁷⁾は、上記の理由から高速かつ缶ラベルの色合いや模様といった特徴を活かす手法を選択する必要がある。5.2の実験より、本研究では対象領域内の画素を輝度によってソートし、その中央値を縮小画素とする手法を選択した。

以上より、マッチング距離最小となった缶ラベルと、マッチングしたラベル部分画像が缶アート3Dモデル表面として見えるための回転角度を決定する。



©株式会社 朝日
図5 缶ラベルの色合わせ

3.4 缶アート3Dモデル生成

各缶ボックスの空間座標と缶ラベルの回転角度が定まると、システムはそれらの情報に従い仮想空間上に缶ボックスを配置し、缶アート3Dモデルを生成する。

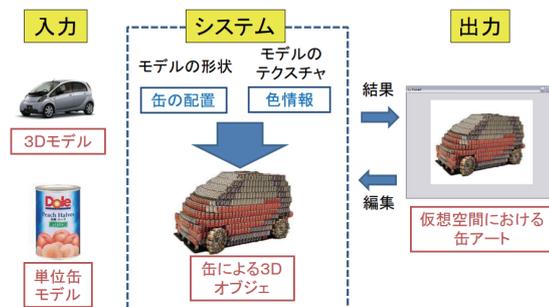
4. 缶アート制作支援システム概要

本システムの流れを図6に示す。

まずユーザは一般的な3Dモデリングソフトによりテクスチャ付き3Dポリゴンモデルデータを作成し、これをシステムに入力する。

次にユーザはモデル側面のキャプチャ、及びモデル水平断面のクリッピングの後に自動生成機能呼び出すことで、システムは缶ボックス変換を実行し、缶アート3Dモデルを生成する。結果は3DCGで表示される。

簡易的なGUIにより、ユーザが缶アート3Dモデルを缶ボックス単位に編集することもできる。



©三菱自動車工業株式会社
©DOLE FOOD COMPANY INC.
©Canstruction Inc.
図6 缶アート制作支援システム

5. システムの実行結果

5.1 実装環境

本システムの実装は、開発言語にC#を、3DCGの描画ライブラリにOpenGL⁸⁾、C#からOpenGLを呼び出すためのラッパーライブラリにGLSharp⁹⁾を使用した。

また、CPU : Intel Xeon E5540 2.53GHz, RAM : 6.0GB, OS : Windows 7 Professional x64, GPU : NVIDIA Quadro FX 580のPC上で本システムを実装し、以降の結果も同PC上で実行したものである。

5.2 画像縮小手法の選択

3.3で記した画像縮小の手法を選択するため、いくつかの画像縮小手法を実装し、実際の缶ラベルの部分画像に対して適用することで、本システムに適した手法を決定する。ここで画像縮小手法とは、入力画像の対象矩形領域($W * H$)から出力画像の画素($1 * 1$)を

決定する手法のことである．本実験で比較する画像縮小手法は以下の4手法である．

- 対象領域内の平均色
- 対象領域内の中央色
- 対象領域内の最頻色
- 対象領域の指定画素

なお画像の拡大・縮小手法としてバイリニア法やバイキュービック法がよく知られているが、これらの手法はそのアルゴリズムからそれぞれ 1/2, 1/4 を超える縮小率となったとき画素情報の欠損が発生する．本研究で行う画像縮小は、パラメータや近似対象 3D モデルなどに依存するものの、縮小率 1/10 を超える場合も多いことから、これらの手法は本実験の対象外とする．

(1) 平均色

対象領域内の R, G, B それぞれの平均値をその領域における平均色とする．

(2) 中央色

対象領域内の各画素について R, G, B の値から輝度 Y を求め、Y を基準に画素をソートする．ソートした結果の中央値をその領域における中央色とする．なお、輝度 Y は以下の式を用いて算出する．

$$Y = 30\% * R + 69\% * G + 11\% * B \quad (1)$$

(3) 最頻色

対象領域内の各画素について R, G, B を要素とする 3 次元ヒストグラムを作成する．ヒストグラムの最大値をその領域における最頻色とする．

(4) 指定画素

対象領域の指定座標にある画素を出力画素とする．指定座標には一般に矩形の最左下、矩形の中央などを使用する．本実験では矩形の最左下を使用する．

5.2.1 ラベル部分画像の縮小

縮小するラベル部分画像を図 7 に示す．画像サイズは 375*450 である．この画像に対し、画像サイズ 10*12 となるよう上記 4 手法を適用した結果が図 8 である (図は元画像と同程度のサイズまで引き伸ばしたもの)．またその時の実行速度を表 1 に示す．



©DOLE FOOD COMPANY INC.

図 7 ラベルの部分画像

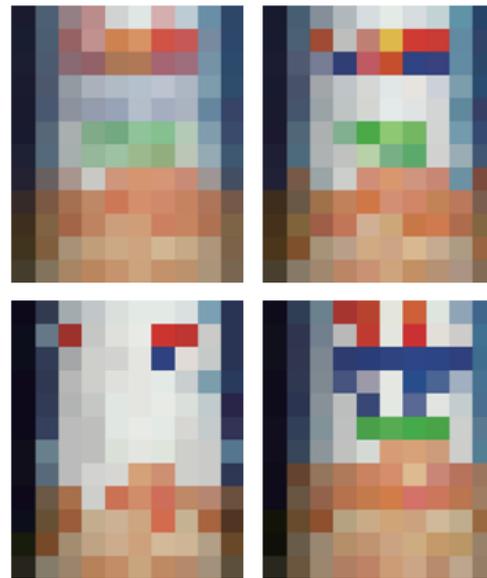


図 8 縮小結果
 (左上) 平均色 (右上) 中央色
 (左下) 最頻色 (右下) 指定画素

縮小手法	処理速度
平均色	10
中央色	70
最頻色	1600
指定画素	1(未満)

表 1 各画像縮小手法の実行速度 (単位は ms)

平均色の手法は比較的高速であるが、平均値をとるために入力画像中に存在しない色を出力画素とする可能性があり、色のマッチングを行いたい本研究の目的にそぐわない．中央色の手法は速度も十分であり、かつ入力画像の特徴を十分捉えた縮小結果となっている．最頻色の手法は他の手法に比べ低速であり、縮小結果についても画像中央の白文字や“テカリ”表現のための白塗りなどの影響を受け、入力画像の特徴となる色が消失しており、本研究に適さない．指定画素の手法は画素の解析・計算を行わないため非常に高速であるが、高縮小率のバイリニア法などと同様に画素情報が欠落し、入力画像における模様などの特徴が消失してしまい、十分な結果とは言えない．

以上より、本研究では画像縮小手法として (2) 中央色の手法を使用する．

5.3 形状の抽出

入力モデルに対し実際に自動構築機能を適用することで、入力モデルの近似形状の再現性を検証した．こ

ここでは形状の再現性の確認のみを行うため、単色の入力モデルと全面黒いラベルの缶ボックスのみを使用し、また安定性判定の結果なども考慮しないものとする。

使用した缶ボックスのプリミティブを図9に示す。入力モデルとして図10左のような塔のモデルを与え、自動構築の結果として図10右のような出力が得られた。



図9 使用した缶ボックス



図10 塔の入力モデル (左) と自動構築の実行結果 (右)

概ね入力モデルに近い形状を構築できていることが確認できるが、全体として垂直方向に潰れているような印象を受ける。これは入力モデルの水平面方向の形状が細かく、本システムで使用している缶ボックスの直径・高さの比では十分対応できないためと考えられる。入力モデルの形状から自動的に最適な缶ボックスサイズを決定する手法の考案などにより改善が可能である。

5.4 缶ラベルの色合わせ

缶ラベルの色合わせ処理を評価するため、幾つかのテクスチャ付き3Dポリゴンモデルデータを本システムに入力し、缶アート3Dモデルを自動構築した。使用した缶ボックスのプリミティブを図11に、その結果を図12に示す。

使用缶ボックスは図11のとおり、赤から黄へのグラデーション、緑から黄へのグラデーション、モデル内部と判定された缶ボックス用として5.3で使用した黒いラベル (図9) の計3種類である。

図12は正四角錐形状の入力モデルを与えた例であ

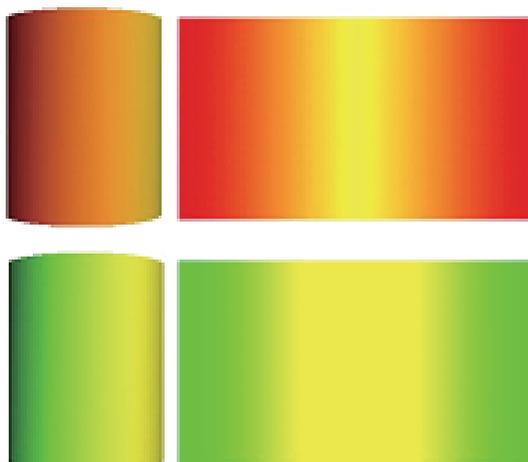


図11 使用した表面部用の缶ボックス (左) とその缶ラベル (右)

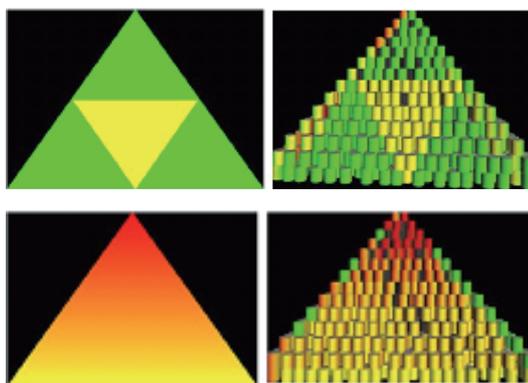


図12 入力モデル (左) と自動構築の実行結果 (右)

る。2つのモデルはそれぞれ側面の色合いをそれぞれ変化させている。図12上は緑色の面の内部に黄色の面が存在しており、図12下は上部が赤色、下部が黄色で、その中間は赤から黄へのグラデーションになっている。

図12の結果から、入力モデルの形状ならびに表面の色は概ね正確に再現できていることがわかる。

しかし、異なる色の面との境界 (図12三角形の側面における左右の辺) 上では色合わせが十分行われていないことがわかる。これは、缶ラベルの色合わせを側面ごとに独立に行っていることが原因であると考えられる。この問題は、複数の側面からの色合わせの重ねあわせにより最適な缶ラベルを決定することにより解決可能である。また、側面の一部において幾つか黒いラベルの缶ボックスを確認することができる。これは、缶ボックスが出力缶アートの表面に位置するかどうかの判定が完全ではないためと考えられる。缶ボックスがどの面から視認できるかを十分に考慮した判定方法を用いることにより解決可能である。

5.5 実際の缶ラベルによる色合わせ

5.4 では、缶ラベルの色合わせ処理を評価するため、理想的な缶ラベルを使用した。ここでは、実際に食品として販売されている幾つかの缶のラベルを使用し自動構築を行う。使用した缶ラベルは図 13 の 5 種類と図 9 の計 6 種類である。入力モデルと自動構築の実行結果を図 14 に示す。



©株式会社 朝日
©DOLE FOOD COMPANY INC.
©加藤産業 株式会社
©日本生活協同組合連合会
©株式会社 サンヨー堂
図 13 使用した実際の缶ラベル

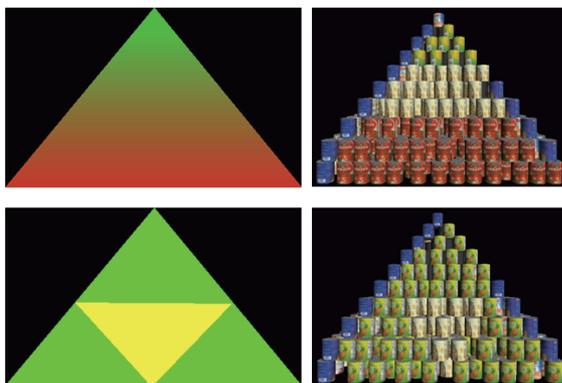


図 14 入力モデル (左) と自動構築の実行結果 (右)

図 14 上は上部緑色、下部赤色、中間はグラデーションとなっている面である。上部、下部はそれぞれ赤、緑の多いラベルと向きが選択されており、十分な色合わせであることがわかる。中間のグラデーションについては赤と緑の中間色である黄の多いラベルが選択されているが、明確な境目ができてしまっている。

図 14 下は全体緑色、内部に黄色を含む面である。緑、黄の多いラベルがそれぞれ選択されていることが

わかる。ただし、黄の三角形の辺がなめらかでなく、三角形部分の再現は十分ではない。明確な色の境界について判別し、ラベルと向き決定に反映できる手法が必要である。

6. まとめと今後の課題

本稿ではテクスチャ付き 3D ポリゴンモデルデータから、モデルの形状と表面の色合いを推定し、缶アートで近似表現した 3D モデルを仮想空間内に自動構築するシステムについて述べた。

今後、缶ボックス変換における形状再現性の向上や色マッチング手法の改良、缶ボックスの配置における物理的な安定性判定の改良、自動構築した 3D モデルと同様の缶アートを実際に構築するための支援機能の実現を目指す。

参 考 文 献

- 1) 田村友和, 高井昌彰, 高井那美: “ユニット折り紙を用いた 3 次元メッシュモデルの近似形状構築”, グラフィクスと CAD 研究会報告, 2010-CG-141 (2010).
- 2) 川島高志, 加藤博一, 橘啓八郎: “拡張現実感を用いた 3 次元部品組み立てマニュアルとその評価”, 電子情報通信学会技術研究報告, MVE2001 (2001).
- 3) 後藤顕一, 鮫島朋美, 高橋三男, 松原静郎: “レゴブロックの組み立て再現を利用した表現力育成の基礎的研究: 効果的な記録方法の基礎的なトレーニング”, 日本理科教育学会第 59 回全国大会, 日本理科教育学会全国大会要項 (2009).
- 4) 高橋和茂, 高井昌彰, 高井那美: “仮想空間における缶アート制作支援システム”, FIT2010, I-042, 第 3 分冊, pp.339-340 (2010).
- 5) 高橋和茂, 高井昌彰, 高井那美: “テクスチャ付きポリゴンモデルからの缶アート生成支援システム”, 情報処理学会第 73 回全国大会, 6Z-3, 第 4 分冊, pp.115-116 (2011).
- 6) 高橋和茂, 高井昌彰, 高井那美: “仮想空間における缶アート制作シミュレーションシステム”, FIT2011, I-052, 第 3 分冊, pp.399-400 (2011).
- 7) 昌達慶仁, “画像処理プログラミング”, ソフトバンククリエイティブ株式会社, (2008).
- 8) 松田晃一訳, “OpenGL プログラミングガイド 原著第 5 版”, ピアソン・エデュケーション, (2006).
- 9) GLSharp - C# OpenGL class library, http://sky.geocities.jp/freakish_osprey/