

2003年度 卒業論文

デッサン初心者の習熟を想定した  
デッサン画からの3次元形状の生成

指導教員：渡辺 大地 講師

メディア学部 3DCG アプリケーション構築プロジェクト

学籍番号 00P008

足立 啓介

2003年度 卒業論文概要

論文題目

デッサン初心者の習熟を想定した  
デッサン画からの3次元形状の生成

メディア学部  
学籍番号：00P008

氏名

足立 啓介

指導  
教員

渡辺 大地 講師

キーワード

デッサン画, 特徴稜線, イメージベースドレンダリング,  
コンピュータグラフィックス

デッサンの習熟には専門的な知識を持った人による指導が行われることが望ましい。しかし、専門的な知識と技術を持ち指導できる人材は少ない。専門的な指導を受けることができるのは一部の人たちだけであり、個人でデッサンの習熟を達成することは難しい。専門的な知識や技術を持った指導者がいなくても個人で初歩的なデッサンの練習ができるシステムが望まれている。

本研究では個人でデッサンの練習がおこなえるように、デッサン画習熟において形を正確にデッサンすることを支援するシステムを提案する。デッサン画から画題を3次元形状として生成することでユーザにデッサンの歪みを視覚的に提示し、デッサンの上達を支援する。3次元形状の生成は、人間が2次元画像を見たときに想起する形状を3Dモデルで作成し、データとして与える。画題を見る角度と3Dモデルを見る角度を一致させ、デッサンの稜線と3Dモデルの可視特徴稜線を透視投影平面上で比較し、一致するように3Dモデルを変形することで3次元形状の生成を実現した。

提案するシステムに正確に描かれたデッサンを入力した場合、歪んでいない3Dモデルをユーザに提示することができ、ユーザに描いたデッサンが正確であると示すことができた。正確に描かれていないデッサンを入力すると歪んだ3Dモデルをユーザに提示することができた。

# 目次

第1章	序論	1
第2章	デッサン	4
2.1	デッサンの工程	4
2.2	形と調子	6
2.3	扱う画題	7
第3章	デッサン支援システムの概要	9
3.1	概要	9
3.2	提案手法	10
3.3	処理手順	11
第4章	デッサン支援システム	13
4.1	表記定義	13
4.2	3Dモデルと画題の向き的一致	14
4.3	3Dモデルの可視特徴稜線抽出	15
4.4	モデルの変形	16
4.4.1	頂点変形方向の決定	16
4.4.2	可視特徴稜線・輪郭線構成頂点の移動(自動)	17
4.4.3	可視特徴稜線・輪郭線構成頂点の移動(手動)	18
4.4.4	可視特徴稜線構成頂点以外の頂点の移動	19
第5章	評価	20
5.1	立方体の生成	20
5.1.1	正確に描かれた立方体の生成	20
5.1.2	歪んで描かれた立方体の生成	21
5.2	円柱の生成	23
5.2.1	正確に描かれた円柱の生成	23
5.2.2	歪んで描かれた円柱の生成	24
5.3	画題と異なる角度で見たときの3次元形状の生成	26

第6章	問題点と展望	28
6.1	問題点	28
6.1.1	扱える形状	28
6.1.2	画題と3Dモデルの見る角度の影響	28
6.1.3	デッサン修正案を示す	29
6.1.4	複数画題からの3次元形状の生成	29
6.2	将来への展望	29
第7章	結論	30
	謝辞	31
	参考文献	32

# 目 次

1.1	同じ画題を描いた2つのデッサン	2
2.1	大まかな形を描く	5
2.2	軽く陰影をつける	5
2.3	ガラスの形を描く	5
2.4	立体的になるように陰影をつける	5
2.5	形の細かいところまで描き込む	5
2.6	完成したデッサン	5
2.7	特徴稜線のみを描いたデッサン	6
2.8	調子のみで描かれたデッサン	6
2.9	円柱のデッサン	7
2.10	見る角度による円の見え方の違い	8
3.1	凹と凸が認識できる	10
4.1	面の可視判定	15
4.2	立方体の可視特徴稜線	16
4.3	円柱の可視特徴稜線	16
5.1	立方体の可視特徴稜線	21
5.2	生成した形状	21
5.3	他の角度で見た生成した形状	21
5.4	歪んだ立方体の特徴稜線	22
5.5	生成した形状	23
5.6	他の角度で見た生成した形状	23
5.7	円柱の可視特徴稜線	24
5.8	生成した形状	24
5.9	他の角度で見た生成した形状	24
5.10	円柱の特徴稜線	25
5.11	生成した形状	26
5.12	他の角度で見た生成した形状	26

5.13 生成した形状 . . . . .	27
5.14 他の角度で見た生成した形状 . . . . .	27

# 第 1 章

## 序論

美術分野において、デッサンでは適切な評価がされ、その評価をフィードバックすることが習熟において重要である。デッサン画の習熟において最初に行うのは画題の形を正確にデッサンすることである。そのためには形状を正確に把握しなければならない。初心者には画題の形を正確にとらえ、描くことは難しい。形状が正確に描かれているかどうかを指導ができるのは、専門的知識と技術を持った人である。このような理由から、デッサンの習熟には専門的な知識を持った人に指導されることが望ましく、適切な指導なくして個人でデッサンの習熟を達成することは難しい。しかし、専門的な知識と技術を持ち指導できる人材は少なく、専門的な指導を受けることができるのは一部の人たちだけである。専門的な知識や技術を持った指導者がいなくても、デッサンを練習する人に形状が正確に描かれているかを示し、フィードバックできるシステムが望まれている。

デッサン支援システムとしては合田らの研究 [1] がある。物体の稜線・輪郭線から特徴を抽出し、データベースに蓄積した3次元形状と線画を比較することでデッサンの誤りをユーザに示し、アドバイスすることに成功している。画題を3次元形状で生成し、形状を多視点で見せることにより、デッサンの狂いを分かりやすく示し、描かれた画題が正確に投影されているか判断を容易にすることを示した。しかしながら、画題の3次元形状を生成するために、画題の大きさや配置など様々なパラメータを入力しなければならず、デッサンとは関係のない工程が多くユー

ザへの負担が多い。このような理由から、簡単にデッサン画から3次元形状を生成する手法が望まれている。

また、2次元画像から3次元形状を生成する手法については様々な研究が行われている [2] ~ [5]。その中でも、2次元画像の陰影から面の傾きを指定することによって、3次元形状を再構成する Shape from Shading 手法の研究は古くから行われており池内らの提案 [6] などがある。3次元再構成をする上で、陰影情報だけでは面の傾きを一意に決定することができない。しかし、池内らは物体の形状が滑らかであるという仮定を作ることで再構成する手法を提案した。このように、陰影情報から3次元形状を再構成する際には、様々な制約を必要としなければならない。また、陰影から3次元形状を再構成するため、陰影の小さなノイズが形状に大きく影響してしまう。Shape from Shading 手法は写真やCGのようなノイズの少ない2次元画像に適している手法である。デッサンにおいて、陰影は画題の形状を立体的に表現するためのものであり、同じ画題を描いても陰影が一意に定まるものではない。陰影の濃さが一意に決まらないデッサンにおいて Shape from Shading 手法を用いてデッサン画の3次元再構成を行うことは難しい。

図 1.1 は同じ画題を別々の人がデッサンしたものである。陰影の濃さが違うことが分かる。

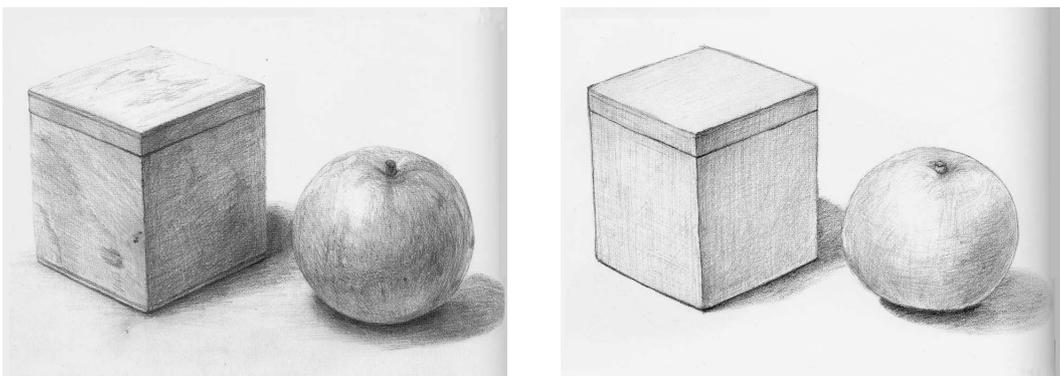


図 1.1: 同じ画題を描いた2つのデッサン

一方で、Igarashi ら [7] のシステムを改良した鈴木ら [8] は入力した断面図を元に

丸みを帯びた 3 次元形状を生成している。しかし、この手法では断面図を元に滑らかな形状しか作ることしかできないのでデッサンの画題としてよく使用する立方体などの角張った形状を生成することはできない。

本研究では入力したデッサン画から画題の 3 次元形状の生成し、ユーザにデッサンの狂いを視覚的に示すことで、画題を正確に投影して描かれているか判断することを容易にし、ユーザのデッサン上達を補助することを目的とする。3 次元形状の生成は画題の形状を 3D モデルで与え、3D モデルの稜線を 2 次元平面に投影し、描かれた画題の稜線・輪郭線と一致するように 3D モデルを変形することで実現する。画題がどのような形状をしているか入力することにより、デッサン画から適切な形状を生成することが可能となる。また、提案する手法では、画題の大きさ、配置などを測定して入力する必要がなく、合田らの研究より簡易的に 3 次元形状の生成をすることが可能となり、ユーザの負担を少なくする。デッサンから画題を 3 次元形状を生成することにより、描いたデッサンがどのような形状をしているのか多視点で見ることができ、デッサンの狂いを見やすくなる。

本論文の章構成は次のとおりである。2 章では本論分で扱うデッサンとは何か述べる。3 章ではデッサン支援システムの概要を述べる。4 章デッサン支援システムの実装を説明する。5 章で評価、6 章で問題点、展望を述べる。7 章で結論を述べる。

# 第 2 章

## デッサン

### 2.1 デッサンの工程

本論分で扱うデッサンとはどのようなものか定義するために実際のデッサンがどのようにおこなわれているか説明する。ここでは例として布とガラスのデッサンを紹介する [9]。このデッサンは以下の手順で描かれている。

1. 画題をよく観察し、全体の大きさや形を捉えて描く。
2. 最も色の濃い場所を軽く塗る。
3. 次に補助線などを使用しつつ正確に形を描きこんでいく。
4. 画題が立体的になるように陰影を描き込む。
5. 最後に細かい形の書き込みや陰影をつけて完成する。

図 2.1 ~ 図 2.6 は布とガラスのデッサンの様子である。

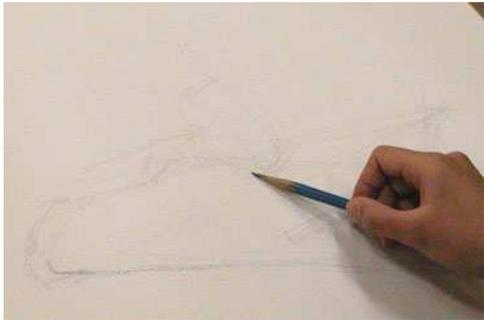


図 2.1: 大まかな形を描く

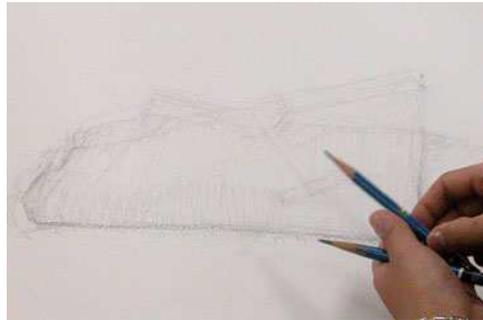


図 2.2: 軽く陰影をつける



図 2.3: グラスの形を描く

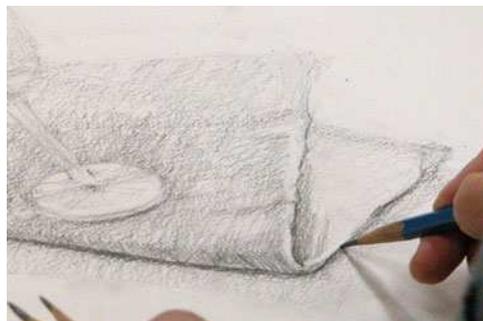


図 2.4: 立体的になるように陰影をつける



図 2.5: 形の細かいところまで描き込む



図 2.6: 完成したデッサン

## 2.2 形と調子

デッサンの作業を大きく分けると、画題の「形をとらえる」、「調子をつける」という2つの作業に分かれる。「形をとらえる」とは遠近などを考慮し、画題の稜線や輪郭線を描き込むことである。デッサンにおいて稜線とは暗部と明部の境界線を示す。前節のデッサン工程の1,3,5がそれに当たる。「調子をつける」とは光の方向から決定する陰影、固有色、質感、量感などを濃淡やタッチを工夫して描き込むことである。前節のデッサン工程2,4,5がそれに当たる。

通常のデッサンではこの2つの作業を別々におこなうことはなく、並行しておこなわれる。しかし、デッサンの練習では形だけを把握し稜線・輪郭線のみ描く練習と、稜線・輪郭線は最初から描いてありそこに陰影などを描き調子だけをつける練習がある。

本研究では初期のデッサン練習を想定し、形をとらえた稜線・輪郭線のみで描かれたデッサンを研究対象にする。

図2.7は「形をとらえる」練習をしたデッサンである。図2.8は「調子をつける」練習をしたデッサンである。

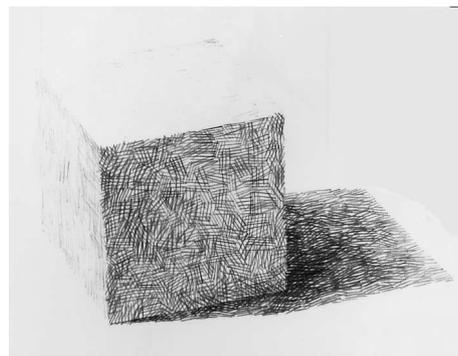
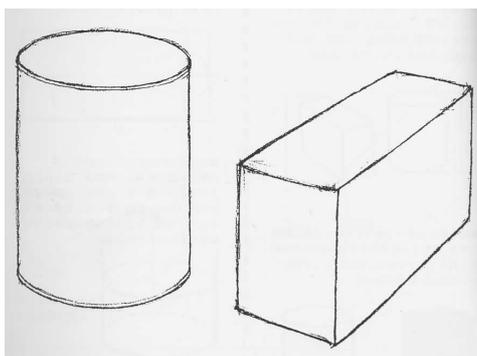


図 2.7: 特徴稜線のみを描いたデッサン      図 2.8: 調子のみで描かれたデッサン

## 2.3 扱う画題

本研究では2つの基本的な形状を扱う。この2つはデッサン画の練習時によく画題にされるものであり、重要な基本要素を学ぶのに適している [10] ~ [12]。

- 立方体

立方体は静物画の画題としてよく使用される箱や本などの角柱体を描くために必要な要素を多く含む。立方体を描くことで天面と底面の稜線が消失点に収束しているかどうか、消失点への収束が強すぎないかなどのデッサンの基礎を学ぶことができる。

- 円柱

円柱は静物画で欠かせない円の練習に適している。円を見る角度によって描かれる楕円の大きさが変わるなどの基礎を学ぶことができる。

円柱をデッサンした時によく見ることができるデッサンの狂いとは、天面と底面との大きさの関係が狂ってしまうことである。円柱において、底面は天面より大きく描かれなければならない。

図 2.9は正確に描かれた円柱 (左) と、天面と底面の関係が狂った円柱 (右) のデッサンである。図 2.10は見る角度による円の見え方の違いである。

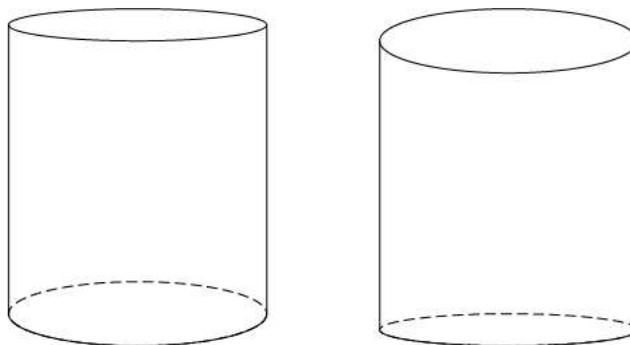


図 2.9: 円柱のデッサン

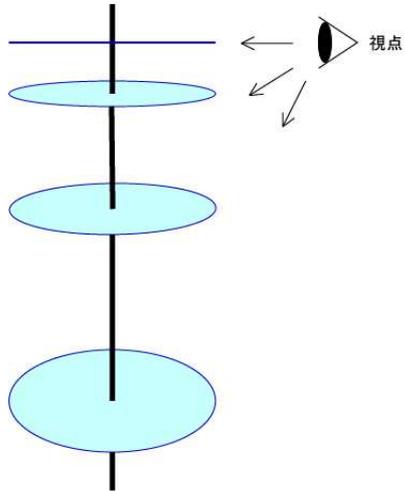


図 2.10: 見る角度による円の見え方の違い

## 第 3 章

# デッサン支援システムの概要

### 3.1 概要

人間は 1 枚の写真や絵画を見た時、経験により構図内のもとの 3 次元形状または世界を想像し、再構成することができる。図 3.1 は CG で作られた画像である。あるグラデーション画像と、その画像を 180 度回転した画像が描かれている。180 度回転しただけだが、同じグラデーション画像が凹んでいる部分と膨らんでいる部分との 2 種類の形状に見える。これは日常生活では光は上方からくることが多いため、上に陰影のついた部分を凹、下に陰影の付いた部分を凸と解釈する経験の効果 [13] による。

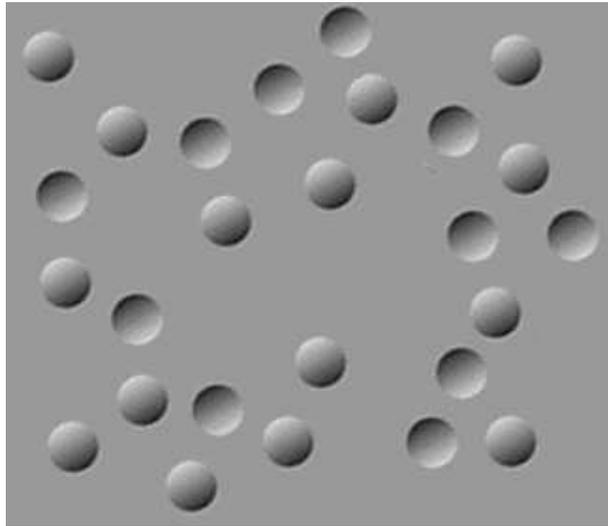


図 3.1: 凹と凸が認識できる

鈴木らの研究 [8] では輪郭線を元に丸みを持った 3 次元形状を生成している。この手法では 3 次元形状を輪郭線情報のみから行っており、輪郭線から人間がどのような形状を想起するかを考慮していない。このため、輪郭線から生成する形状が人間が想起する形状と大きく異なる場合がある。また、この手法では、立方体のような角張った形状を生成することができず、デッサン画からの 3 次元形状生成には向いてない。本研究では上記で示した人間の経験の代わりとなる形状データを入力することにより特徴稜線からデッサン画に適した 3 次元形状の生成手法を提案する。

## 3.2 提案手法

デッサンは画題と描いたデッサン画とを比較し、形状が正確に描かれたか判断する。しかし、専門的な技術がないと個人で判断するのは難しい。デッサン画から生成した 3 次元形状を多視点から観察することにより、デッサンの狂いを分かりやすく示すことが可能となり、デッサン画が画題を正確に投影したのかどうか判断しやすくする。

本研究では3次元形状を生成するにあたり、画題の形状を模した3Dモデルを用意し、画題を見る角度と3Dモデルを見る角度を同じにする。デッサン画と3Dモデルを投影平面上で比較し、投影平面上で一致するように3Dモデルを変形する。

本研究で扱うデッサンで描かれるのは画題の稜線と輪郭線である。3Dモデルにおいて、デッサン画の稜線・輪郭線に相当するものをデッサン画と比較する。3Dモデルでは、面の変化が強い部分が特徴稜線である。また、視点から隠れる稜線はデッサン画では描かれないので特徴稜線から除く。除いた結果、残った特徴稜線を可視特徴稜線とする。可視特徴稜線を挟む隣接する面は暗部と明部の差があり、デッサンの稜線に相当すると考えることができる。3Dモデルの可視特徴稜線・輪郭線を2次元平面に投影し、デッサン画の稜線・輪郭線と比較する。投影平面上で稜線を一致するように3Dモデルを変形させることで、描かれた画題の3次元形状生成を行うことができる。

3Dモデルの可視特徴稜線・輪郭線を構成する頂点の移動方向はデッサン画でよく見られるデッサンの狂いを考慮し、3Dモデルの本来の形状がなるべく崩れないように決定した。各頂点はデッサンの稜線・輪郭線に達するまで自動的に移動し、修正はユーザの手で行うようにした。頂点が稜線・輪郭線に達したかはデッサン画の濃淡を基準に判定した。可視特徴稜線以外の特徴稜線はデッサン画では描かれていないので、デッサン画の情報からは頂点の移動量を決定できない。そこで、隣接する可視特徴稜線の移動量と各頂点ごとの移動方向から判断して、3Dモデルの形状が崩れないように移動するものとした。

### 3.3 処理手順

本研究のデッサン画からの3次元形状の生成は次の通り行った。

1. 画題を見る角度と、3Dモデルを見る角度を一致するように3Dモデルと視点を動かす。
2. 3Dモデルの可視特徴稜線を抽出する。

3. 3D モデルの可視特徴稜線を構成する頂点をデッサンでよく見られる狂いを考慮し、3D モデルの形状が崩れないように求めた変形方向に移動する。変形方法は、描かれた画題の特徴稜線まで頂点を自動的に移動させる部分と、その後手動で修正する部分に分かれる。
4. 可視特徴稜線を構成しない頂点を可視特徴稜線の移動量から推測し移動する。

以上の手順でデッサン画から 3 次元形状の生成を行った。次章で、提案する具体的な 3 次元形状の生成の詳細を述べる。

# 第 4 章

## デッサン支援システム

### 4.1 表記定義

- 3D モデルは  $(P, K)$  のペアで表現する。ここで、 $P$  は  $n$  個からなる頂点座標  $\mathbf{p}_i$  であり、 $K$  は位相情報である複体を表す。 $\mathbf{p}_i$  は (4.1) 式のように定める。

$$\mathbf{p}_i = [(x_i, y_i, z_i) \in \mathbf{R}^3 (1 \leq i \leq n)] \quad (4.1)$$

- 座標値  $\mathbf{p}_i$  をもつ頂点位相を  $\{i\}$  と表す。
- 複体  $K$  は頂点集合  $v = \{i\} \in K$ 、稜線集合  $e = \{i, j\} \in K$ 、面集合  $f = \{i, j, k, \dots\}$  の 3 つの種類の要素から成り立つ。ただし、 $\{i, j\}$  は  $\{i\}, \{j\}$  を両端点にもち、面は  $\{i\}, \{j\}, \{k\}, \dots$  を頂点に持つ。
- $\{i, j\} \in K$ 、すなわち稜線  $\{i, j\}$  が複体  $K$  中に存在するとき、 $\{i\}$  と  $\{j\}$  は隣接するという。
- $N_v(i)$  を頂点  $\{i\}$  と隣接する頂点の集合とする。 $N_v(i)$  は  $N_v(i)_0, N_v(i)_1, \dots, N_v(i)_k$  で構成され、 $N_v(i)$  の個数を  $K_v(i)$  とする。 $N_v(i)$  を (4.2) 式のように定める。

$$N_v(i) = \{j | \{i, j\} \in K\} \quad (4.2)$$

- $N_f(i)$  は頂点  $\{i\}$  を含む面の集合とする。 $N_f(i)$  は  $N_f(i)_0, N_f(i)_1, \dots, N_f(i)_k$  で構成され、 $N_f(i)$  の個数を  $K_f(i)$  とする。

- 面  $f = \{i, j, k, \dots\}$  の法線ベクトルを  $\text{norm}(f)$  と表す。
- 視点を  $V$  と表す。空間中にある点  $p$  と  $V$  とを通る直線をその点の視線と呼び、 $p - V$  を視線ベクトルと呼ぶ。
- 頂点  $\{i\}$  の移動後の座標値は  $p'_i$  と表す。
- 頂点  $\{i\}$  の移動距離  $\text{Distance}(i)$  は (4.3) 式のように定める。

$$\text{Distance}(i) = |p'_i - p_i| \quad (4.3)$$

- 2次元平面上において、単位法線ベクトルが  $\mathbf{n}$ 、原点からの距離が  $h$  の直線の方程式は (4.4) 式のように表す。  $\mathbf{r}$  は直線上の点を表す。

$$\mathbf{n} \cdot \mathbf{r} = h, |\mathbf{n}| = 1 \quad (4.4)$$

- 3次元空間中において、単位法線ベクトルが  $\mathbf{n}$ 、原点からの距離が  $h$  の平面の方程式は (4.5) 式のように表す。  $\mathbf{r}$  は平面上の点を表す。

$$\mathbf{n} \cdot \mathbf{r} = h, |\mathbf{n}| = 1 \quad (4.5)$$

- 画像の  $(x, y)$  上の濃淡を  $I(x, y)$  と表す。

## 4.2 3D モデルと画題の向き的一致

デッサン画と比較するために、画題の代わりとなる 3D モデルを、画題を見たときと同じ角度から見る。デッサンにおいて、画題は平面上に設置して観察されるので、画題の向きはある程度、制約される。画題の代わりとなる 3D モデルは2つの軸で回転できるようにした。また、視点  $V$  を移動できるようにした。デッサンを行う時の、構図を決定する工程に近い感覚で 3D モデルを見る角度を決定することができ、ユーザの負担を減らした。

### 4.3 3Dモデルの可視特徴稜線抽出

凸多面体の面の可視稜線抽出 [14] は次のようにおこなう。図 4.1は立方体の面の法線ベクトルと視線ベクトルを表している。

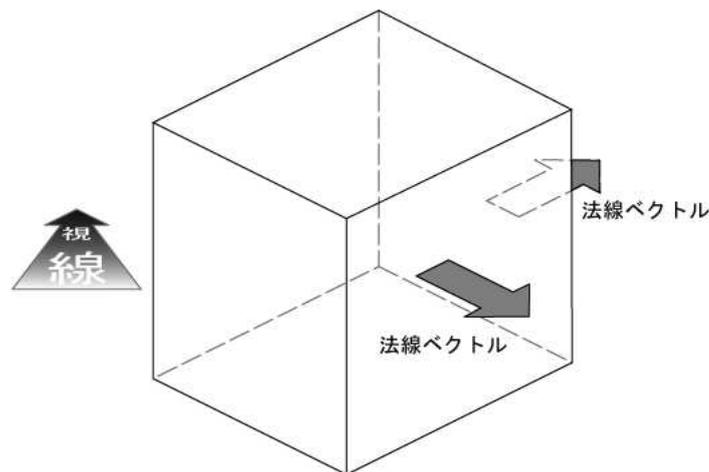


図 4.1: 面の可視判定

1. 面の可視は  $(\mathbf{p} - \mathbf{V})$  と  $\text{norm}(f)$  との内積の正負で判定することができる。  
(4.6) 式の場合、正であるから面は可視ではない。(4.7) 式の場合、負であるから面は可視である。

$$(\mathbf{p} - \mathbf{V}) \cdot \text{norm}(f_i) \geq 0 \quad (4.6)$$

$$(\mathbf{p} - \mathbf{V}) \cdot \text{norm}(f_j) \leq 0 \quad (4.7)$$

2. (a) 稜線の属する2つの面が両方とも可視である場合、稜線は可視である。  
面と面のなす角が一定以上大きいならばデッサンで描かれない稜線である可能性が高いので除く。  
(b) 稜線の属する面の片方が可視、残りが不可視の場合、稜線は可視であり輪郭線である。

(c) 稜線の属する2つの面が両方とも不可視である場合、稜線は不可視である。

以上の可視稜線抽出でデッサンで描かれる稜線を抽出することができる。今回扱う立方体、円柱は両方とも凸多面体である。よって上記の手法で立方体と円柱の可視特徴稜線を行うことができる。

図4.2、図4.3は上記手法で求めた可視特徴稜線である。可視特徴稜線を赤で示す。

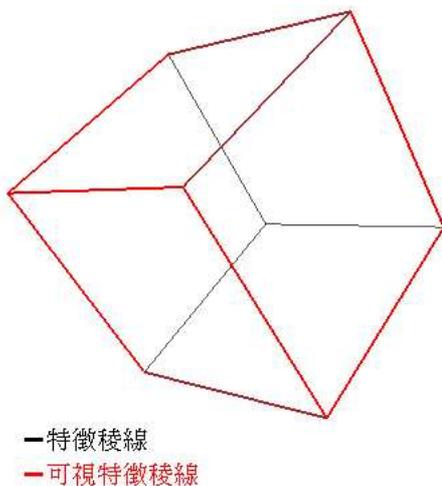


図 4.2: 立方体の可視特徴稜線

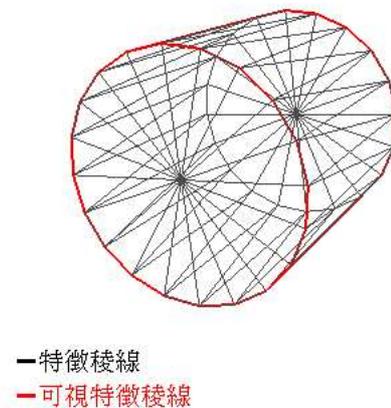


図 4.3: 円柱の可視特徴稜線

## 4.4 モデルの変形

### 4.4.1 頂点変形方向の決定

本研究では3Dモデルが持っている形状の特徴と第2.3節で示したデッサンの狂いを考慮し、できるだけ形が崩れないように変形をおこなう。以下では各形状ごとに頂点  $\{i\}$  の移動ベクトル  $\text{move}(i)$  を求める。

- 立法体の頂点変形方向の決定

立方体の形状が崩れないように、頂点の法線ベクトルを移動ベクトルとした。頂点  $v$  の法線ベクトル  $\text{norm}(v)$  は  $\text{norm}(N_f(i))$  の平均とし、 $\text{norm}(v)$

は (4.8) 式のように求めた。move( $i$ ) を norm( $v$ ) の単位ベクトルとし、(4.9) 式のように求めた。

$$\mathbf{norm}(v) = \frac{1}{K_f(i)} \sum_{k=0}^{K_f(i)} \mathbf{norm}(N_f(i)_k) \quad (4.8)$$

$$\mathbf{move}(i) = \frac{\mathbf{norm}(v)}{|\mathbf{norm}(v)|} \quad (4.9)$$

- 円柱の頂点変形方向の決定

円柱のデッサンで重要な点は天面と底面だと考え、円柱の頂点  $\{i\}$  の移動ベクトルは頂点の法線ベクトルではなく天面、底面の円の中心から頂点への方向にした。  $N_f(i)$  の中で天面、底面を構成する面を除いたものを  $N'_f(i)$  とした。 move( $i$ ) は norm( $N'_f(i)_k$ ) の平均とし、 move( $i$ ) は (4.10) 式のように求めた。天面、底面を除いた面の個数を  $K'_f(i)$  とした。

$$\mathbf{move}(i) = \frac{1}{K'_f(i)} \sum_{k=0}^{K'_f(i)} \mathbf{norm}(N'_f(i)_k) \quad (4.10)$$

#### 4.4.2 可視特徴稜線・輪郭線構成頂点の移動 (自動)

可視特徴稜線・輪郭線を構成する頂点  $\{i\}$  を前節で求めた移動方向 move( $i$ ) に移動させ、デッサン画で描かれた画題の稜線・輪郭線まで移動させる。稜線・輪郭線に達したかどうかは、頂点座標  $p'_i$  を 2 次元平面に投影し、画像上の濃淡  $I(x'_{ix}, x'_{iy})$  を参照し、(4.11) 式が成り立つ時とした。ここで  $I_T$  は適切な閾値である。空間中  $p_i$  の写像点  $x_i$  は視点  $V$ 、投影面を  $\mathbf{n} \cdot \mathbf{r} = h$  としたとき (4.12) 式 [15] で求めることができる。頂点  $\{i\}$  の移動後の座標  $p'_i$  は (4.13) 式のように求めた。

$$I(x'_{ix}, x'_{iy}) \geq I_T \quad (4.11)$$

$$\mathbf{x}_i = \frac{(\mathbf{n} \cdot \mathbf{p}_i) - h}{\mathbf{n} \cdot (\mathbf{p}_i - \mathbf{V})} \mathbf{V} - \frac{(\mathbf{n} \cdot \mathbf{V}) - h}{\mathbf{n} \cdot (\mathbf{p}_i - \mathbf{V})} \mathbf{p}_i \quad (4.12)$$

$$\mathbf{p}'_i = \mathbf{p}_i + a \cdot \text{move}(i) \quad (4.13)$$

#### 4.4.3 可視特徴稜線・輪郭線構成頂点の移動(手動)

可視特徴稜線・輪郭線を構成する頂点  $\{i\}$  を手動で動かし座標値  $\mathbf{p}'_i$  を決定する。まず、3次元空間を2次元平面に投影し、頂点  $\{i\}$  をデッサン画の稜線・輪郭線と一致するように動かす。しかし、投影平面上でデッサン画と一致するようにしても、奥行きが決定しないので3次元空間中の頂点座標  $\mathbf{p}'_i$  は一意に決定しない。本研究では、3Dモデルの形状が崩れないように3次元空間中の座標を決定する。以下に  $\mathbf{p}'_i$  を求める手順を述べる。

1. 頂点  $\{i\}$  と  $\text{move}(i)$  で表す直線を投影面に投影し、その直線を  $\mathbf{n} \cdot \mathbf{r} = h$  で表す。ユーザが投影平面上に決定した頂点  $\mathbf{x}_i$  からその直線に下ろした垂線の足  $\mathbf{x}_{Hi}$  は (4.14) 式で求めることができる。

$$\mathbf{x}_{Hi} = \mathbf{x}_i - ((\mathbf{n} \cdot \mathbf{x}_i) - h)\mathbf{n} \quad (4.14)$$

2. 点  $\mathbf{x}_{Hi}$  の視線と、頂点  $\{i\}$  と  $\text{move}(i)$  で表す直線との交点を  $\mathbf{x}'_{Hi}$  とし、その点と視点  $\mathbf{V}$  との距離  $\text{Distance}_V(i)$  は (4.15) 式で求めることができる。

$$\text{Distance}_V(i) = |\mathbf{x}'_{Hi} - \mathbf{V}| \quad (4.15)$$

3. 求める頂点座標  $\mathbf{p}'_i$  は、頂点座標  $\mathbf{p}_i$  と視点  $\mathbf{V}$  との距離を  $\text{Distance}_V(i)$  として求めた。頂点座標  $\mathbf{p}'_i$  は (4.16) 式で求めることができる。

$$\mathbf{p}'_i = \frac{\text{Distance}_V(i) \cdot (\mathbf{x}_i - \mathbf{V})}{|\mathbf{x}_i - \mathbf{V}|} \quad (4.16)$$

#### 4.4.4 可視特徴稜線構成頂点以外の頂点の移動

可視特徴稜線を構成しない頂点  $\{i\}$  の移動量を隣接する頂点集合  $N_v(i)$  の移動量に基づいて求める。

1.  $N_v(i)$  が可視特徴稜線を構成する頂点か調べる。
2. (a) 可視特徴稜線を構成する場合、 $\{i\}$  の移動量  $\text{Distance}(i)$  は  $N_v(i)$  の移動量の平均とした。 $\text{Distance}(i)$  は (4.17) 式のように求めた。

$$\text{Distance}(i) = \frac{1}{K_v(i)} \sum_{k=0}^{K_v(i)-1} \text{Distance}(N_v(i)_k) \quad (4.17)$$

- (b) 可視特徴稜線を構成していない場合、最も近い距離にある可視特徴稜線を構成する頂点  $\{j\}$  を調べる。頂点  $\{i\}$  の移動量  $\text{Distance}(i)$  は頂点  $\{j\}$  の移動量とした。 $\text{Distance}(i)$  は (4.18) 式のように求めた。

$$\text{Distance}(i) = \text{Distance}(j) \quad (4.18)$$

3. 移動後の頂点座標  $\mathbf{p}'_i$  を (4.19) 式のように求めた。

$$\mathbf{p}'_i = \mathbf{p}_i + \text{Distance}(i) \cdot \text{move}(i) \quad (4.19)$$

# 第 5 章

## 評価

### 5.1 立方体の生成

#### 5.1.1 正確に描かれた立方体の生成

今回、評価をするために CG で制作した正確な立方体の可視特徴稜線画像を使用した。この 2 次元画像と比較し 3 次元形状の生成を行い、立方体が生成できるか確かめた。正確な立方体の特徴稜線が入力された場合、どの角度から見ても綺麗な立方体が生成できた。様々な角度で見ることができるため自分が描いたデッサンがどのような形をしているのか観察することができた。

図 5.1 は正確に描かれた立方体である。図 5.2 は図 5.1 を元に生成した 3 次元形状である。図 5.3 は生成した形状を他の角度から見たものである。

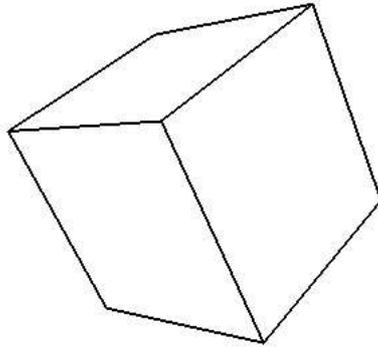


図 5.1: 立方体の可視特徴稜線

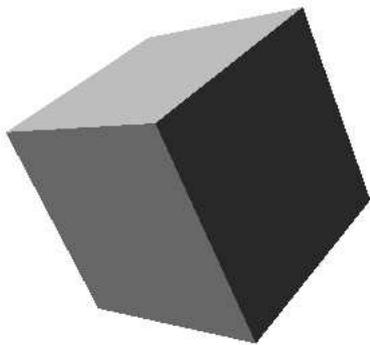


図 5.2: 生成した形状

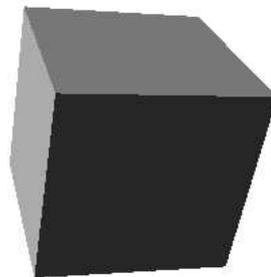


図 5.3: 他の角度で見た生成した形状

### 5.1.2 歪んで描かれた立方体の生成

デッサンで立方体が描かれた時に、立方体の天面のパースが歪んでいることがよくみられる。今回は天面のパースが狂っている 2 次元画像を使用し、3 次元形状

の生成を行った。歪んだ天面の各頂点に引っ張られ他の面も歪んだ形状が生成できた。様々な角度から生成した形状を見ることができる。歪んだ立方体が観察でき、デッサンが狂っていたことが分かる。

図 5.4は天面が歪んだデッサンである。図 5.5は図 5.4を元に生成した 3 次元形状である。図 5.6は天面の垂直方向から生成した 3 次元形状を見たものである。天面が歪んでいるのが分かる。

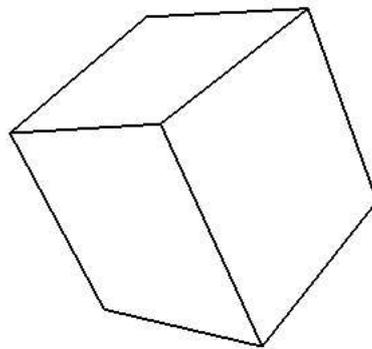


図 5.4: 歪んだ立方体の特徴稜線

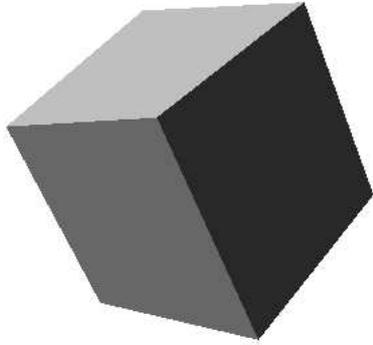


図 5.5: 生成した形状

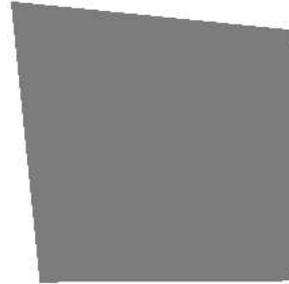


図 5.6: 他の角度で見た生成した形状

## 5.2 円柱の生成

### 5.2.1 正確に描かれた円柱の生成

立方体と同様に、CG で制作した正確な円柱の可視特徴稜線画像を使用した。この 2 次元画像を元に 3 次元形状の生成を行い、円柱が生成できるか確かめた。正確な円柱の特徴稜線画像が入力された場合、どの角度から見ても綺麗な円柱が生成できた。様々な角度から見ることができ、自分のデッサンがどのような形状をしているのか観察することができた。

図 5.7 は正確に描かれた円柱である。図 5.8 は図 5.7 を元に生成した 3 次元形状である。図 5.9 は生成した形状を他の角度から見たものである。

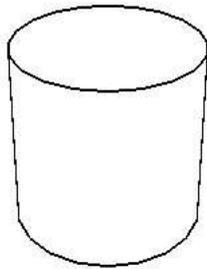


図 5.7: 円柱の可視特徴稜線

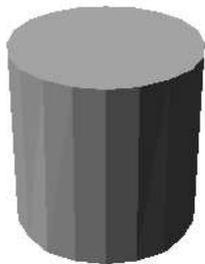


図 5.8: 生成した形状

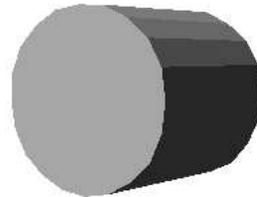


図 5.9: 他の角度で見た生成した形状

### 5.2.2 歪んで描かれた円柱の生成

デッサンで円柱が描かれた時に、天面と底面の関係が狂っていることがよく見られる。今回は底面が天面より小さくなってしまっている 2 次元画像を使用し、3

次元形状の生成を行った。天面は正確に描かれているため綺麗な円になったが、底面は楕円にゆがみ小さくなってしまい、歪んだ円柱が生成できた。底面が歪んだ3次元形状を生成したことから底面のデッサンが狂っていることが分かる。

図 5.10は底面が歪んだ円柱のデッサンである。図 5.11は図 5.10を元に生成した3次元形状である。図 5.12は生成した形状を別の角度から見たものである。底面が天面より小さくなっており円柱が歪んでいるのが分かる。

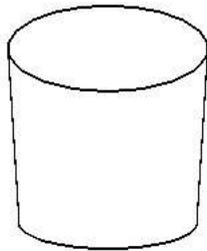


図 5.10: 円柱の特徴稜線

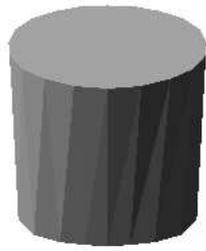


図 5.11: 生成した形状

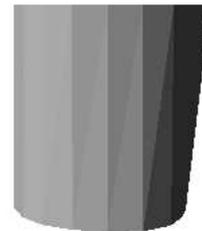


図 5.12: 他の角度で見た生成した形状

### 5.3 画題と異なる角度で見たときの3次元形状の生成

正確に描いたデッサンを使用するが、画題を見る角度と3Dモデルを見る角度が異なる場合の3次元形状の生成を行った。今回は正確に描いた円柱のデッサンを使用し、3Dモデルを画題よりもユーザ側に傾けて3次元形状の生成を行った。天面、底面ともに円ではなく楕円になってしまい、正確な円柱を生成することができず、歪んだ円柱を生成した。使用したデッサン画は図 5.7である。

図 5.13は図 5.7を元に、画題と3Dモデルの見る角度が異なる場合の生成した形状である。図 5.14は生成した形状を他の角度から見たものである。天面が楕円に歪んでしまっているのが分かる。

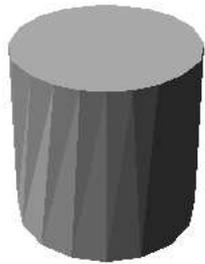


図 5.13: 生成した形状



図 5.14: 他の角度で見た生成した形状

以上のことから、正確なデッサン画を元に、画題と 3D モデルの見る角度の一致を行えば 3 次元形状を正確に生成できることが分かった。また、正確でないデッサン画では画題とは異なる 3 次元形状が生成でき、デッサンが狂っていることを分かりやすく示すことができた。

# 第 6 章

## 問題点と展望

### 6.1 問題点

本研究ではデッサンの 3 次元形状の生成を行い、ユーザにデッサンの狂いを示すことはできたが、いくつかの問題点がある。

#### 6.1.1 扱える形状

本研究では、基本的な形状である立方体、円柱について 3 次元形状の生成を行った。本研究において重要である頂点の変形方向の決定はこのような基本的な形状の場合、比較的容易に求めることができる。しかし、石膏の胸像のような複雑な形状を対象としたときに各頂点の変形方向を求めることが難しく扱うことができない。

#### 6.1.2 画題と 3D モデルの見る角度の影響

3 次元形状の生成をする時に 3D モデルと画題の向きを一致さ、同じ角度で見えるようにするが、誤差があると生成する 3 次元形状に大きく影響してしまう。頂点の変形方向の奥行き成分が大きかった場合、投影平面上では少し移動しただけだが、奥行き方向に大きく変形してしまうためである。

### 6.1.3 デッサン修正案を示す

デッサンを3次元形状で生成し、形状を多視点からみることで、デッサンの狂いを分かりやすく見せることはできた。しかし、そのデッサンの狂いをどのように直せばよいのか、具体的な提案をすることができなかった。

### 6.1.4 複数画題からの3次元形状の生成

デッサンでは複数の画題を扱うことがあり、画題が奥行き方向に重なる場合がある。本研究ではデッサン画の稜線・輪郭線と、デッサン画がどのような形状をしているのかデータを与えることで3次元形状を生成している。稜線・輪郭線のみからでは奥行きを決定することができず、重なる複数の画題を扱うことができない。

## 6.2 将来への展望

本研究では画題と3Dモデルの向き的一致と両特徴稜線の比較、一致させ3次元形状の生成を実現し、ユーザにデッサンの狂いを示した。しかし、デッサンは特徴稜線を描いた線画だけではなく、調子をつけた濃淡画像であり、濃淡情報は3次元形状を生成する上で重要な情報である。第1章で述べたように、ノイズの多いデッサンではShape from Shading手法は扱うことができないが、画像処理で面の認識を行い、同一面上の濃淡を均一にすることで改善し、Shape from Shading手法もデッサン画からの3次元形状に適用できると考えられる。

本研究では形状の生成を行い、ユーザに修正方法を示すことができなかった。デッサンから3次元形状を生成したことにより、デッサンで用いられる補助線を簡単に表示することが可能になると考えられる。稜線を延長することにより、消失点が収束していないことを示すこともできると考えられる。また、円柱の天面、底面の最長軸と最短軸の交点は直角にならなければならない。補助線を表示し、楕円の歪みがユーザに分かりやすく示すことが可能になることにより、ユーザのデッサン上達を支援することが期待できる。

## 第 7 章

### 結論

本研究ではデッサン初期に行われる「形をとらえる」という練習を想定し、デッサン画を元に 3 次元形状を生成することで多視点から生成した形状を見ることができ、デッサンの狂いを 2 次元画像であった時よりも分かりやすく示すシステムを提案した。

既存の 2 次元画像から 3 次元形状の生成手法では濃淡を使用するものが多かったが、デッサン画は濃淡が均一でなく、個々の差があるためノイズが多くデッサンに不向きであった。稜線に注目した手法では、稜線を見て人間がどのような形状を想起するか考慮せず、生成する形状が想起する形状とは異なる場合があり、デッサンに不向きであった。本研究では稜線に注目し、稜線がどのような形状しているのかを画題と似た 3D モデルと、デッサンでよく見られる狂いを考慮し、本来の形状が崩れないように頂点の変形方向を与えることによって 3 次元形状の生成を行った。3 次元形状の生成はデッサンで描かれた特徴稜線と 3D モデルの可視特徴稜線を比較し一致するように 3D モデルを変形することで実現した。生成した形状を様々な角度から見ることができ、デッサンの狂いを 2 次元画像だったデッサンの時よりも分かりやすく示すことに成功した。

前章で示したように問題点は多いが、改善していき少しでも多くのデッサン上達を目指す人達に役立つシステムを実現していきたい。

## 謝辞

本論分を締めくくるにあたり、ご指導を頂き本研究に適切な助言、ご教授を頂きました本校メディア学部渡辺大地講師、および和田篤氏(電気通信大学)に心から感謝申し上げます。

さらに、実際にデッサンを描く練習から指導して頂き、美術分野の実状などをご教授頂きました本校メディア学部淵上季代絵教授に深く感謝申し上げます。

画像処理の観点から様々なアドバイスを頂きました本校メディア学部宮岡伸一郎教授に感謝申し上げます。

本研究に御協力頂いた全ての皆様に厚く御礼申し上げます。

## 参考文献

- [1] 合田隆三, 丸山依子, 川西英彰, 梶本信幸, 高木佐恵子, 吉本富士市, "初心者  
のための鉛筆デッサン支援システム," 情報処理学会論文誌「グラフィクスと  
CAD」No.106 - 004, 2002.
- [2] Pentland, A.P., "Local shading analysis," IEEE Trans.Pattern Analysis and  
Machine Intelligence, PAMI-6, 2, pp.170-187, 1984.
- [3] 大浦直子, 尾川浩一, 国枝悦夫, "少数投影からの3次元画像再構成," 法政大学  
計算科学研究センター vol13, 2000.
- [4] 北野哲彦, "CGによる実写画像加工技術," 長野県情報技術試験場研究報告  
No.13, 1997.
- [5] 丹羽敏行, 渡辺凡夫, "ステレオ法による多面体の再構成," 情報処理学会論文  
誌「コンピュータビジョンとイメージメディア」No.048 - 003, 2001.
- [6] 池内克志, "反射地図に基づき二次元濃淡画像から3次元形状を再構成する2  
手法," 進学論, J65-D, 7, pp.842-849, 1982.
- [7] Takeo Igarashi, Satoshi Matsuoka, Hidehiko Tanaka, "Teddy:A Sketching  
Interface for 3D Freeform Design," ACM SIGGRAPH'99, pp.159-160, 1999.

- [8] 鈴木俊博, 松田浩一, 近藤邦雄, "手描きスケッチにおける陰影表現を用いた 3 次元形状制御手法," 情報処理学会論文誌「グラフィックスと CAD」No.108-02, 2002.
- [9] デッサンプロジェクト,  
<http://www.teu.ac.jp/aqua/dessin/project/>.
- [10] 内田広由紀, デッサン 7 日間, 視覚デザイン研究所, 1996.
- [11] Bert Dodson, デッサンの 55 の秘訣, エルテ出版, 1991.
- [12] 三澤寛志, 鉛筆で描く, グラフィック社, 1993.
- [13] 泉武博, 3 次元映像の基礎, 株式会社オーム社, 1995.
- [14] Electronic Textbook on CG,  
<http://nis-lab.is.s.u-tokyo.ac.jp/~nis/CG/cgtxt/index2.htm>.
- [15] 金谷健一, 形状 CAD と図形の数学, 共立出版株式会社, 1998.