

次世代アニメーションシステムに関する研究

ノンフォトリアリスティックアニメーションの生成

金子 満 中嶋 正之

東京工業大学情報理工学研究科, 計算工学専攻

セルアニメは絵本やコミックス雑誌の画調と同じ雰囲気が出し得るため、映画やテレビで最も人気のある映像表現法となっている。そのコンピュータ化は、1970年代から2Dグラフィックス技術によって試みられ、現在ではいくつかのシステムが実用化されているが、動画工程では、手描きのアニメとは異なる技能を要求されるため、一般的には使用されないのが現状である。本研究は、セルアニメのコンピュータ化を、CGのノンフォトリアリスティックな応用としてとらえ、動画工程のコンピュータ化を指向している。本報告では、新しい輪郭線発生アルゴリズムを提案すると共に、セルアニメタッチ映像に欠かせないキャラクタの動きや、セルアニメ独特のカメラワーク等を実用化するための諸アルゴリズムを「リディメンション法」と総称し提案している。

A study on Next Generation Animation System
Generation of Non-Photorealistic Animation

Mitsuru Kaneko Masayuki Nakajima

Dept. of Computer Science, Graduate School of Computer Science and Engineering
Tokyo Institute of Technology

Cel-animated cartoon is one of most popular method of motion picture making. People like it because it gives the same impression as picture books and comics. Its computerization started in the late 1970s using 2D computer graphics technology. Although there are a few available working systems now, the process of animation or inbetweening is not practically used by the production people because it gives different motion compared with that of conventional's. This study started to search possibility of using 3D computer graphics technology for cel-animated cartoon production purpose. In this report studies such as generation of character lines, generation of automatic inbetweening are discussed and presented as "Redimension Method".

1 はじめに

セルアニメは、絵本やコミックス雑誌の画調と同じ雰囲気を読者に与える映像であるところから、映画やテレビメディアで最も人気のある映像表現法としての地位を確立している。そのコンピュータ化については、省力化の観点から、セルロイド上の色塗りとアニメーションスタンドによる撮影工程の検討がなされ、質的な向上をはかる観点から、動画工程のコンピュータ化が研究されてきた[1][2]。

これらのコンピュータ化は、2Dグラフィック技術によって研究開発が試みられており、現在もいくつかの実用化されたシステムが存在する[3]。動画工程では、インビトゥーン法、スケルトン法などが提案されたが[2]、両手法共に手描きのアニメーションとは異なる特殊技能を必要とするため[7]、一般的には使用されないのが現状である。

本研究は、CG技術によるセルアニメのコンピュータ化を、CGのノンフォトリアスティックな応用としてとらえた。

そして、第一報「セルアニメタッチ画像生成のための3次元CG画像の2次元化アルゴリズム」[4]は、3Dグラフィックス技術を利用して動画工程およびその他の工程のコンピュータ化について提案した。本報告では、新しい輪郭線発生アルゴリズムを提案すると共に、セルアニメタッチ映像に欠かせないキャラクタやモデルの動きや、セルアニメ独特のカメラワーク、更に従来型制作においてはオブカル処理をせざるを得ない特使効果等を、3Dグラフィックス技術によって実用化するための諸アルゴリズムを「リディメンション法」と総称し提案する。

2 リディメンション法の目的

2-1 新しい制作手法の提案

セルアニメは、映画が発明実用化された1890年台後半から現在に至るまで、映画の表現方法として重要であった。セルロイドに色を塗り、それを重ねて照明を当て撮影をするという手法は

1917年ごろから試みられている[5]。それ以来トーキー、カラーフィルム、ワイドスクリーンなど、映画としての技術改革は大幅に進展したが、セルアニメの制作手法には大きな変革は無かった。1979年と80年にはイギリスのアラン・キッチン(Alan Kitching)、アメリカ NYIT(New York Institute of technology)から相次いでセルアニメのコンピュータを利用した制作システムが発表された[1][2]。これらは従来型のセルアニメ制作工程を忠実にコンピュータ化しようとしたもので、それぞれ動画生成工程をのぞいて、現在デジタルインクアンドペイント法と呼ばれる2Dアニメーション制作手法の中核技術となっている。

しかしデジタルインクアンドペイント法では、基本的に一枚一枚動画を生成処理しなければならないという欠点があり、制作にかかわる人数を少なくすることが難しい。

本研究で提案する3DCG技術を使えば、これまでのコンピュータアニメーションシステムでは実用化が難しかった動画部分を含め、彩色も自動化され、制作工程の単純化、省力化が実現できる。またアニメーションの諸データは3Dで保存されるため、キャラクタなどのデータベース構築も容易になる。

2-2 質的な向上

制作費と日数を節約する必要から開発された日本独特のセルアニメ表現は、最近ではジャパニメーションという国際的に認知されたジャンルを確立している。しかしアニメーションの特色は、あくまでもキャラクタの動きであり、ジャパニメーションがセルアニメの主流になるとは考えにくい。ディズニーに代表される本格的な動き主体の制作ノウハウはアーティストの感性と技術によるところが大きく、すでに日本では消滅しかかっている。

セルアニメのキャラクタを3Dモデリングで表現することができれば、モーションキャプチャリング[7]によるデータや、物理法則や流体力学の可視化プログラム等を利用することが可能なため、アーティストの技術を補うことができる。又、カメラ位置、アングル、サイズ等は、2D技術の

コンピュータアニメーションでは全て作画工程の段階で決定していなければならないが、3D技術では全ての段階でも変更が可能である。

2-3 新しい表現技法の導入

セルアニメが表現技法として実写映画より優れている点は、ロケーションや大型のセットを組むことなく自由な発想で環境設定ができることにある。しかし、大群衆シーンや画面一杯の海のシーンのような、不規則にしかも個別に動くオブジェクトをリアルに表現することは不可能であるといえる。又、複雑な柄を持つ衣服や動物等は、最初から登場させることをあきらめざるを得なかった。

ジャパニメーションでは、透過光とよばれるセルロイドの背面から光を当てて撮影する技術が多用されているが、稲光りや銃の発射光のようなフィルム現像時の処理によるオプチカル効果は、結果が出るまでの時間がかかりすぎるためやはり最初から使用をあきらめるか制限せざるを得なかった。3D技術を利用することによって、これらの制限は殆どなくなることが期待される。

筆者らは、先に文献[4]において、基本的な3次元映像の2次元化アルゴリズムについて提案したが、より正確なセルアニメタッチの諸技法を自動生成するアルゴリズムの検討を続けてきた。そこで以下に新しいアルゴリズムについて報告する。

3 リディメンション法の諸アルゴリズム

ここではリディメンション法として利用されるふちどり線の新しい発生アルゴリズムや陰などの自動生成アルゴリズムについて提案する。

3-1 ふちどり線の自動生成アルゴリズム

セルアニメが最もセルアニメらしく見えるのは、登場するキャラクターのふちどり線である。ふちどり線の自動発生法としてこれまでシルエット法、オープンライン法及びクロズドライン法を提案したが[4]、いずれの手法も一旦カラーレンダリングを完了させてから、その絵のデータをもとにしてふちどり線自動発生のプロセスに入らな

ければならなかった。又、カラーによって、線の発生が安定しない場合がある。これらを解決する方法として、新しくZバッファ法を提案する。

3-1-1 Zバッファ法

Zバッファ法はスキャンライン、レイトレーシングなどと同様に広く利用されている3次元レンダリング手法のひとつで、その処理スピードが早いことが大きな特色である[8]。

Zバッファ法をオブジェクトのエッジライン発生に利用する試みは、主に工業製品を対象として、カラー静止画像の「形状理解を助けるためのカラー画像の強調表現法」として試みられている[6]。ここではZバッファ組み込みによるエッジ描画アルゴリズムとして、ポリゴンの境界をエッジとして描かれぬもの、輪郭線となるもの、それに内形線になるものの3種類に分類しカラー画像にエッジ線を加える手法を提案している。

本提案では基本的に文献[6]の手法を使用するが、内形線発生に新しい機能を加えた。セルアニメでは、人物や衣服など柔らかい物体が多用される。そのた

め陰やしわの表現のため一定のしきい値を設定することとした。Zバッファ法を使用すれば、シルエット法では難しかった例えばキャラクターが視点に向かって腕組みをしている腕の部分などの処理の自動化が容易になる。又、クロズドライン法ではできなかった顔のしわなどを内形線として発生させることができる。キャラクターを形成するポリゴンのどの部分にふちどり線を発生させるかは、以下のように定義する。

ふちどり線として描かれぬ境界の定義。

- a 境界を形成する2つのポリゴンが、ともに不可視の場合。
- b 境界を形成する2つのポリゴンが、スムーズシェディングをかけるか、色の変化が一定のしきい値内である部分で、ともに可視の場合。

ふちどり線として描かれる境界の定義。

- a 境界を形成する2つのポリゴンの属性が異なる場合。

- b 境界を形成する2つのポリゴンの属性は同じだがスムーズシェーディングをかけないか、あるいは色の変化が一定のしきい値を越える場合。
- c 境界を形成する2つのポリゴンがスムーズシェーディングをかけるか、一定のしきい値内の色を持つが、どちらか一方が不可視である場合。

図1にZバッファ法によるふちどり線発生アルゴリズムを示す。ここでは、あるポリゴンはそのZ値の情報に基づき、ふちどり線として描かれるか描かれないかを判定してゆくアルゴリズムとなっている。

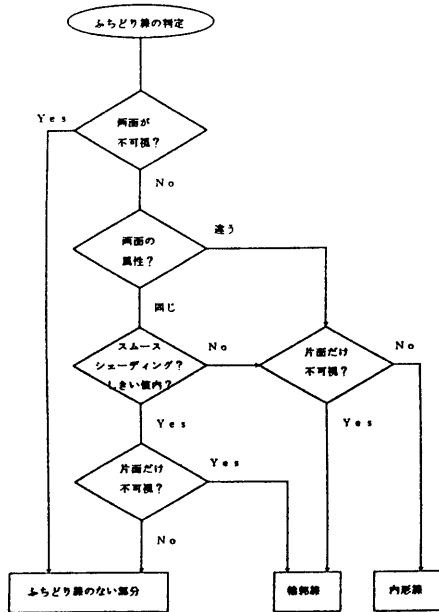


図1 Zバッファ法によるふちどり線生成のアルゴリズム

3-2 セルアニメタッチの色と影

セルアニメではフォトリリスティックCGと異なり、影(シャドウ)や陰(シェード)を、あるべきところすべてに付与すれば良い、という

ものではない。全体のバランスや映像内容によってはかえって映像を分かりにくくしたり、制作意図を伝えられないことがある。例えばアニメ制作の業界では、ディズニーブルーといわれる夜間シーン表現がある。これは、ディズニーが夜のシーンを分かりやすくきれいに表現するために開発したもので、実際の夜景とは全く異なる感覚で作られている。セルアニメの影の表現も、実物と光源から発生する影を正確に表現するというより、雰囲気をかもしだすために付けられる場合が多かった。

一方セルアニメタッチの色表現については、24ビット以上の色数が自由に選べる3DCG技術の応用によるメリットは大きい。又、テクスチャマップにより、複雑なパターンをキャラクターに貼り付けることもメリットである。

影の表現については文献[4]では、特別なパターンを作り、それを本キャラクターに付加させる方法を提案したが、背景を3Dで制作する場合には、点光源ないしは平行光源を1ヶ所設定し図2のような手順で影を発生させ、リディメンション法で制作した本体とコンポジットすることが最もセルアニメらしい効果を生むことが明らかになった。

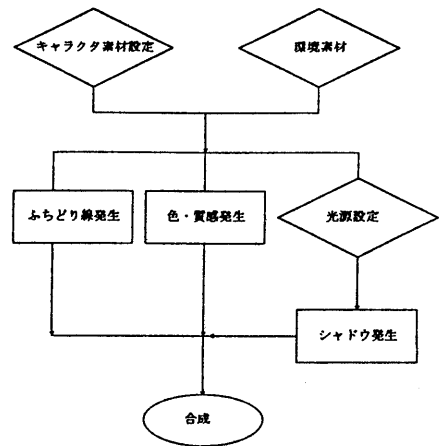


図2 シャドウ付きセルアニメタッチキャラクターの生成プロセス

3-3 セルアニメタッチの陰

セルアニメにおける陰（シェード）も、影（シャドウ）の場合と同じ理由で、ノンリアリスティックな表現手法を用いるか、あるいは最初から付加をあきらめているのが現状である。陰を付加する場合は、従来型制作ではセルが完成した後、キャラクターのその部分の基本色よりやや濃い色を陰の部分に塗布するか、一枚一枚毎にエアブラシで効果を加えるかどちらかの手法で制作している。これはデジタルインクアンドペイント法でも全く同様で、非常に手間のかかる工程である。本報告では、文献[4]で述べた方法を更に検討した結果、フラット法とシェード法の2手法を提案する。

3-3-1 フラット法

フラット法とはオブジェクト全体ないしは広範囲な部分を単一色で塗り潰すもので、テレビアニメやコミックで最もポピュラーな画像である。シリーズものなど大規模な制作体制をとる場合、極端に単純化した作業工程が望ましく、キャラクターの持つ中心カラーのみで色付けを完了させることができる。従来型制作及びデジタルインクアンドペイントに共通して、この工程は最も人手がかかる。そのため3D手法を利用することによりカラー3次元対象立体に対して、明度は変化するが同一のカラー領域になっている部分全体を、その領域のなかの代表となるカラーの明度で、自動的に色塗りを施すのがフラット法である。このフラット法は自動化処理が極めて早くしかも塗り残し、塗り違いのリテーク要因をなくすことができるという特徴をもっている。そのため本手法による人件費の削減効果は極めて大きい。

3-3-2 シェード法

シェード法とは、ふちどり線発生のために必要なデータとして生成するフルシェード画像を、16ビット、8ビット、4ビット階調に落とし、同系色間の階調差を利用して目に見えるグラデーションを発生させる手法である。フォトリアリスティック画像では受け入れにくい階段状の色差があたかもセルアニメで色を塗り重ねた効果を持つ

ことが確認された。勿論フルシェード画像そのものをリディメンション法で生成されたふちどり線に合成することも可能で、セルアニメでは大変手のかかる画像がほぼ自動的に作成できることになる。図3にフラット法及びシェード法の制作の流れを示す。又、図4にフラット法、シェード法による画像例を示したが、シェード法ではセルアニメ独特の明快さがなくなるため、用途に応じた選択が必要になるとも考えられる。

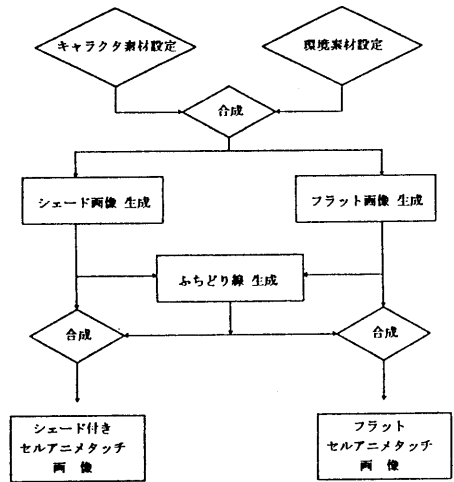


図3 シェード法及びフラット法制作フロー

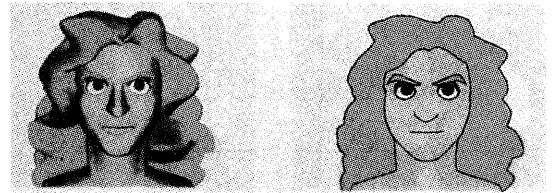


図4 シェード法（左）及びフラット法（右）による画像例

3-4 アクション・モーショープラス・カメラビューによる動画の生成

セルアニメの動きは、従来型制作に於いては

術によって生成される。デジタルインクアンドペイント法に於いても、アニメータは動画の殆どを作成するので従来型制作と比較してメリットは極めて少ない、そればかりでなく、従来型制作の特色であるパンやズームなどのカメラによる動きは非常に制限されている。又、動きが良いか悪いかの判断は、従来型では、ペンシルテストという紙に描かれた段階でのテスト以外に有効な方法がなく、非常に不便である。動きのテストはデジタルインクアンドペイント法に於いては従来型よりも後工程でも可能であるが、カメラモーションそのものに制限があるので、ジャパニメーションの特色を生かすことは難しい。3DCG技術を利用すれば従来型制作で確立された動画テクニックの殆どを再現できると考えた。

3-4-1 動画生成に至るアプローチ

まずセルアニメ特有の動きがどうやって生成されているかを以下のように分析した。

- a 2 s, 3 s, 4 s などコマ撮りの利点を生かす省略。
- b スクイーズアンドストレッチに代表される誇張。
- c 現実的なアクションとモーションパス。
- d 機械的に滑らかなパンとズーム。

ここでいう 2 s, 3 s, 4 s とは、それぞれ同じ画像を 2 コマ, 3 コマ, 4 コマ分使用するということである。

次にセルアニメにおける動きの属性を以下のように分類した。

- a キャラクタ自身が脚を交互に動かすとか目をパチパチさせるなどのオブジェクトアクション。
- b キャラクタやモデルが位置を変えることによって生ずるモーションパス。
- c カメラが動くことによって視野を変化させるビュー。

以上のような経過を経て、3DCGに於いて一般的に使われているプリミティブオブジェクトを利用するセルアニメ動画工程のシミュレーション

を検討した。

3-4-2 プリミティブを使用する利点

プリミティブとは、CGでは一般的に画像や立体を構成する基本要素を総称し、主としてモデリング段階やプレビューで、画像を待ち時間をできるだけ少なくして表示したい場合に使用される。プリミティブを使用する利点として以下のことがあげられる。

- a データ量が少ないため動きのチェックに不可欠な、リアルタイムプレイバックをいつでも行うことができる。
- b 変更が容易。
- c アクション、モーションパス、カメラビューなどあらゆる属性の動きに対応できる。
- d ある属性の動きのでの変更を他の属性の動きに関連づけることが可能。

本報告では、すでに完成したキャラクタやモデルのプリミティブデータを利用して、セルアニメ独特のキャラクタ毎に異なる動きやタイミングをコントロールする手法を、動きの属性別に3種類に分けて提案する。

3-4-3 アクションプリミティブ法

アニメータが動きの全てを創造する従来型とデジタルインクアンドペイントでは、キャラクタ自身の通常の動きも、スクイーズアンドストレッチ、オーバーアクションなどセルアニメに独特な技術もアニメータの感性に頼らねばならない。3DCG技術、とくにインバースキネマティックにより、3Dアニメーションの表現力および生成時間は大幅に改善されている。又、デジタルモーションキャプチャリングなど動態データ採集システムも充実しつつあり、メリットは極めて大きい。図4にアクションプリミティブ法のアルゴリズムを示す。どの程度のプリミティブを使用するかは対象物体及び表現スタイルによって異なるが、人体では最高で24パーツ、最低では胴体と脚の2パーツという場合もある。又、ここで使用

するアニメーションスプレッドシートは、縦軸にコマ数ないしは秒数、横軸にレイヤ数を配したものを使用する。

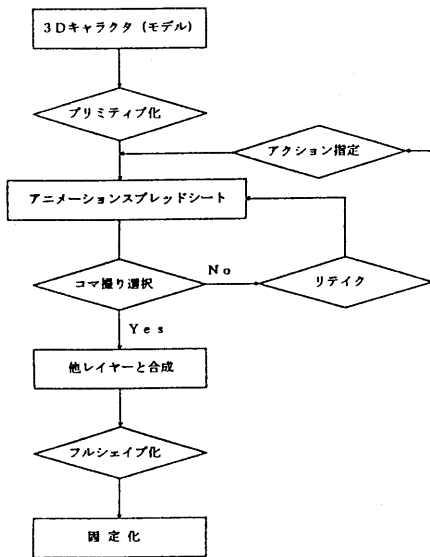


図4 アクションプリミティブ法の流れ

3-4-4 パスプリミティブ法

フォトリアリスティックなアニメーションは、主として劇映画の特殊効果として発展してきた。それだけに画面に多数のオブジェクトを表示しそれらが複雑に動くというような需要は多くはない。むしろ、ディズニーの最新作「ライオンキング」の大暴走シーンに見られるようにセルアニメでの潜在的な需要は大きい。3DCG技術を利用すればオブジェクトのモーションパスには、物理法則や流体データが使えることになり、セルアニメの表現力を飛躍的に高めることができる。図5にパスプリミティブ法のアルゴリズムを示す。このパス指定は従来型制作では、最も手間のかかるもので、3Dソフトウェアでは充実しているスプライン曲線によるモーションパス指定などでの省力化の効果は極めて大きい。

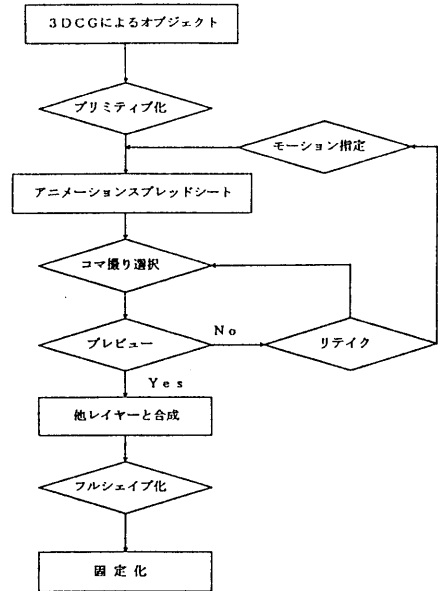


図5 パスプリミティブ法の流れ

3-4-5 ビュープリミティブ法

ジャパニメーションの特色は、少しでも動きを滑らかに見せるために撮影段階のカメラワークを増やし、その分制作に時間のかかる動画枚数を減らしたことに起因している。マルチプレーンと多方向パニング、ズームングを利用した独特の動きをレイヤ毎に指定することによって奥行き感、流動感を出している。又、モーションコントロール法を利用して撮影カメラそのものを移動せさせるテクニックも実用化されている。デジタルインクアンドペイント法では以上のような従来型セルアニメの撮影上のテクニックは殆どシミュレーションが不可能であった。3DCG技術を利用するとカメラ、つまりビューの行動に制限がなくなる。さらに後述のアニメーションスプレッドシートとの組み合わせによって、ほとんどのカメラワークを実現することが可能になった。図6にビュープリミティブ法のアルゴリズムを示す。

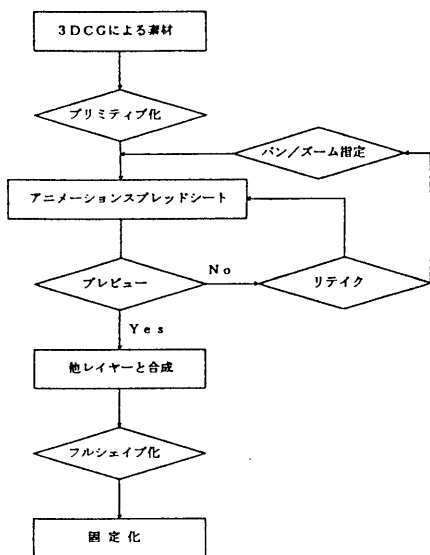


図6 ビュープリミティブ法の流れ

以上の3つの属性の動きは、アニメーションスプレッドシート上でどの属性からのリテイクもお互いに関係付けられるため、従来型セルアニメ制作で最も予測の付けにくい動画工程に大きな変革をもたらすことが期待できる。

4 まとめ

3DCGアニメーションソフトウェアは、従来はワークステーションないしは一部のパーソナルコンピュータ用に限られていたが、急速なPCの普及で現在では容易に入手できる状況になった。ただし機能やテクニカルチームがまちまちで、アニメーションアーティストは、制作するアニメーションの内容によって数種類のアニメーションソフトをウィンドウ上で操作したり独自のソフトを開発しなければならないのが現状である。また、どの3Dソフトウェアもセルアニメタッチ映像の制作を意識した構成にはなっていないため、セルアニメアーティストが3DCG技法を利用するためには大変な準備と知識を必要とする。

本手法を、トータルに「リディメンション法」と総称する目的は、各種のアニメーションソフトで生成された画像データを活用し、総合的なセルアニメタッチの動きを生成しようとするためであって、それらを統合しセルアニメタッチのアニメーションを容易に制作できる、「リディメンションスタジオ」という、いわば仮想スタジオをコンピュータ上で実現したいからにはほかならない。今後はセルアニメ独特の特殊効果アルゴリズム、及びアニメーションスプレッドシートによる総合的な画像データマネージメントとの併用による、セルアニメ制作の環境改善などについて検討する予定である。

5 謝辞

本研究に当たってパラゴンビジュアルシステムズ、東映アニメーション研究所、埼玉大学近藤邦雄助教授、望月義典両氏のご協力に感謝いたします。

6 参考文献

- [1] Alan Kitching: "Antics from Stone Age to Steam Age" pp.394-404, The BKTS Journal England No. 8 (1980)
- [2] 安居院, 中嶋, 大江: 「コンピュータアニメーション」 産報出版 (1983)
- [3] 特集 "2次元アニメーションの技術と製品" ピクセル6月号 pp. 76-93 (1994)
- [4] 金子, 中嶋: 「セルアニメタッチ画像生成のための3次元CG画像の2次元化アルゴリズム」 テレビジョン学会, 10月号掲載予定 (1995)
- [5] Charles Solomon, THE HISTORY OF ANIMATION Alfred A. Knopf, Publisher N.Y. (1989), pp.11-18, 44-51.
- [6] 望月, 近藤: 「形状認識を助けるためのカラー画像の強調表現手法」 埼玉大学情報工学部 ICS-95B-34 (1995)
- [7] 中嶋, 山田, 他: 「Motion Capture Systemを用いた表情アニメーションの作成」, 信学総合大会, D-671 (1995)
- [8] 安居院, 中嶋: コンピュータグラフィックス, 第4章 昭晃堂, (1992)