

次世代アニメーションシステムに関する研究 第一報 3次元CG画像の2次元化アルゴリズム

金子 満

中嶋 正之

東京工業大学 工学部 情報工学科

コンピュータによるセルアニメ表現の新しい手法について述べる。セルアニメは、映画の基本的な表現方法の一つとして、ほぼ100年間にわたって大きな技術的変革を経ずに使われてきた。しかしセルアニメの基本は、手作業により一枚一枚絵を描き、色を塗り、組み合わせてカメラで撮影するという作業が必要であるため、手工業の域を脱し得なかった。そのため、1970年代にはまずアメリカにおいて制作産業そのものが空洞化し、1980年代には日本でも同じ現象が始まった。これに対応するために、セルアニメ制作工程の中で、色塗りと撮影の部分をコンピュータ化した、デジタルインクアンドペイントシステムが実用化され、産業界での利用が始まったが、コンピュータが代替できる工程が少なく、日本では利用するメリットが少ないと考えられる。本研究は、デザイン段階からコンピュータを利用し、動画、色塗り、撮影、編集迄を3DCG技術を利用し省力化、自動化し、マルチメディア時代の到来と共に増大することが予測されるセルアニメタッチの映像制作をリストラクチャしようとするものである。

A STUDY ON NEXT GENERATION ANIMATION SYSTEMS PART 1 TWO DIMENSIONALIZATION ALGORITHMS OF 3D CG IMAGES

Mitsuru Kaneko

Masayuki Nakajima

Faculty of Engineering, Tokyo Institute of Technology
2-12-1 Ookayama, Meguro, Tokyo Japan 152

This paper is to describe a series of algorithms which enables 3D image data look like Cel animation images. Technique of making Cel animation, although it has been one of major techniques of film making, has not been changed basically from when movies were invented. It has been a typical hand industry which requires piece by piece hand drawing, painting, compositing and recording frame by frame on film. The industry of Cel animation had disappeared in the 1970s in the USA and in Japan in the 1980s because of labor cost. A production method called Digital Ink and Paint was introduced to the industry to computerize cel painting and recording. It has not taken over the conventional production methodology in Japan because it is not enough cost effective for the industry to change. This research started by using market available 3D image generation software to maximize the use of computer to create cheaper in cost and better in quality Cel animation touch images by adding a series of algorithms.

1. はじめに

ハード/ソフト両面の高性能、低価格化が著しいスピードで進行している。その結果CGによって映像制作を行なうことが広がってきた。

映像はその制作過程から「撮る」映像と「作る」映像に大別され、「撮る」映像は限りなくビデオ化され、「作る」映像は限りなくCG化されつつある。「作る」映像の分野において、常に親しみ易くいつの時代にも受け入れられているのが、セルアニメーション、つまりアニメ映画である。アニメは全て人が描くものであり、その枚数も、30分テレビ番組に換算して2万枚から3万枚にもなる。その手間は並大抵ではないところから、描く形や色数に制限があり、そのために却って表現が単純化され、制作者の意図が伝わりやすいし、受け取る方も理解しやすい。又、人は絵本やコミックスに馴れ親しんで成長してきており、それらのタッチに一番近い映像表現手段として、抵抗なく受け入れられている。

ところがアニメ制作は、アメリカ、日本など人件費の高い諸国で衰退の一途をたどっている。アニメーターやペインタのなり手が少ないのが原因となっている。これらの仕事は単純で、ほとんど同じ作業の繰り返しでありながら、熟練にはかなりの年月を要する。アニメ制作のコンピュータ化は、1976年頃から始まり、現在は幾つかのデジタルインクアンドペイント方式によるシステムが実用化されている。これらはアメリカでは多数のプロダクションが使用しているが、日本ではほとんど普及していない。これは、人件費の安い東南アジアや中国から距離的に近くコンピュータに頼らないでも従来型のアニメ制作が続けられるからである。しかし最近になってこの傾向に変化が生じてきた。台湾、韓国などでコンピュータ化を先取りする傾向があると共に、ビデオゲームやマルチメディア分野でのアニメ制作の需要が増大し、これまでの体制では対応し切れなくなってきたのである。

本研究は、これまで使用するハード/ソフトのコストパフォーマンスからいって、SFX映像やコマースなど、高い制作費用を計上できるもののみ利用されてきた3DCGに手を加え、アニメ映像の制作に応用する可能性を指向するものである。ここではコスト追求が最優先されるため、ハードは基本的にはPCを使用し、ソフトもパッケージソフトとして一般に入手可能なものを使用できるよう考慮した。従来方法によるアニメ制作をコンピュータ化する試みは、デジタルインクアンドペイント法として実用化されているが、省力化の面のみを検討

しても従来方法と比較して大きなメリットになっていない。従来に関連する研究としては、コンピュータに絵を描かせるという研究[1][2][3]、3D画像に画像処理をほどこして、油絵のタッチの画面を生成する研究[4]、自然画像から輪郭線を抽出する研究[5]などが数多くなされているが、本報告で提案する3D画像を2D化し、セルアニメタッチの動画像を効率的に生成する研究はほとんどなされていない。ここでは、アニメ制作への実用化を踏まえ、その第一段階として、すでにPC上で作動している市販のCGソフトを使用し、3D入力されたモデルに、これまでの3D映像制作では使用していなかった幾つかの手法や手順をを介在させ、セルアニメタッチの映像制作を試みたので報告する。

2. 2D化の目的

3D画像を2D化する目的は以下のように考えられる。

2-1 省力化

図1は従来型、つまりコンピュータを使わずに行うアニメ映像の音響制作を除いた制作工程である。又、それぞれの工程で実線で囲まれた部分はデジタルインクアンドペイント法によってコンピュータ化されている部分である。これを図2の3D映像制作工程と比較すると、原画工程と動画工程が大きく変わっていることがわかる。

原画は、セルアニメ制作において、もっとも技術と感性を要求されるもので、センスのある人材をトレーニングしても少なくとも3年以上かかるのは当たり前といわれる。アメリカ、フランスなどのセルアニメ生産国では、原画マン、つまりアニメーターの不足は深刻な状態になっている。又、動画工程は、原画を忠実になぞりながら、僅かずつ動きを変えてゆく部分を描くもので、原画と異なりほとんどクリエイティブな感性は必要としない。忍耐強く一枚一枚の絵を描かねばならないこのインビトゥイーナ、動画マンの確保は、原画マンと違った意味で難しくなっている。

3Dで一旦モデリングを行えば、複雑なアクションであっても、例え試行錯誤を繰り返しながらでもそのモデルに動きや演技を付けることはそう難しいことではない。特にキャラクタが回転したり、顔を横に向けてたりするアクションは、よほどの動画マンでないと手に負えないといわれているが、これも3Dモデルさえあれば、比較的簡単に制作が可能である。

現在30分テレビアニメ番組を想定し、どの位の省力化がはかれるかを検証中であるが、従来型、デジタルインクアンドペイント両方法共に、原画動画部分では常に30名から50名を用意しなくてはならない。この部分はモデラとディレクタに置き換えられることになる。

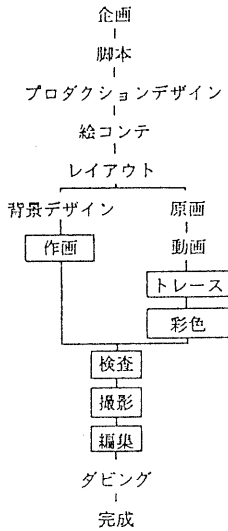


表1 従来型アニメ制作工程

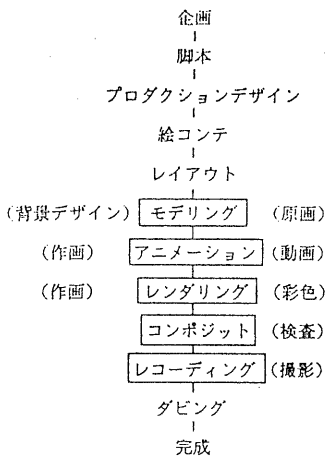


表2 3D映像制作工程

2-2 表現方法の拡大

セルアニメとデジタルインクアンドペイントに共通しているのは、一枚一枚の絵が平面情報しか持ちえないことである。一旦描いた絵のペースを変えたりサイズを変えることすら難しいので、全て新しく描き直さねばならない。又、キャラクターやモデルの動きは、全てアニメータの感性に頼る以外に方法はない。又、ガラスが割れるシーンとか、物体が落下するアクションなども、アニメータの技術に頼るしか方法がない。

アニメーションとは本来キャラクターやモデルに滑らかな動きを加え、生命感を作り出すことにあるのだが、アニメータの払底と共に、カメラワークによって「見た目」つまりビューポイントを動かして似たような効果を求めるようになった。これは日本のテレビアニメにもっとも顕著な現象で、日本調アニメと言えば、動画が少なくカメラワークが多いことを言う位である。

カメラワークは、従来型制作では、工程の一番最後にまとめて行われるため、あくまでも想像の下に制作を進めなくてはならない。それにアニメ撮影用機材は大きかりな上に習熟にも年月が必要である。

3D法を採用すると、アクションに関してアニメータの個人的な感性に縛られることなく、制作者の思いを直接表現することができるし、物理法則や動態データをアクションに応用できる。又、ビューポイントはほとんどの3Dソフトウェアの標準的な機能であり、アニメ撮影スタンドでできることは、殆どコンピュータ上で実現可能である。

2-3 質的な向上

セルアニメとデジタルインクアンドペイントに共通して発生するのが、塗り残しと塗り違いである。3Dでは、モデルそのものに色やテクスチャの情報を持たせるので、これらの間違いが起こる可能性はない。従来型制作では、絵の具の使用に限界があり、微妙な光線による効果や、物体の反射などを表現することは、よほどの熟練者でない限り不可能に近かった。

3D手法をとることによって少なくとも次の面で質的な向上が期待できる。

リテイク要因の減少

色数、光線など一枚の絵の表現的な向上
使用枚数の増加による滑らかさの向上

但し、3D独特の滑らかなシェーディングや動きを強調しすぎるとセルアニメ本来の雰囲気や質感がなくなることには注意しなければならない。

2-4 再利用

セルアニメの現状では、再利用はほとんど行われていない。セルロイドは一旦撮影にまわされると、強い光線と熱にさらされるため、セルに歪みが発生する。又、静電気によるホコリや汚れの付着、保存場所、保存方法にも問題がある。デジタルインクアンドペイントでは、僅かに再利用が行われているが、2D情報であるため、変更に限界があり、それが再利用のネックとなっている。

3D映像制作手法ではこれらのほとんどを解決することができる。ただしデータベースシステムの構築は不可欠である。

2-5 生産効率の向上

上記の各項を組み合わせ、実際にプロダクション活動を行うことによって相当の生産効率アップが考えられる。これまでのデータでは、同じキャラクターが数多くのシーンに登場するテレビシリーズなどで効果が大きい。この部分は今後の研究課題としたい。

映画、テレビ、ビデオパッケージなどのアニメ制作はすでに赤字体質に陥っており、又ゲーム産業はドット絵制作という原始的な制作方法に頼っている現在、この3D方式によるコストメリットは大きく期待出来るものとなるだろう。

3. 2D化アルゴリズム

2D化アルゴリズムの開発に当たっては下記の2方向から検討を行った。

セルアニメらしさとは何か

3D画像とセルアニメの違いは何か

その結果次のような6種類の処理により、3D映像をセルアニメに近い表現に変えた。

3-1 縁取り線の発生

セルアニメがもっともセルアニメらしく見えるところは、キャラクターやモデルを形作る輪郭線の存在である。3Dモデルに輪郭線を発生させる方法を2種類述べる。

3-1-1 シルエット法

従来型制作では、マット手法とかマスク合成とも言われ、キャラクターやモデルを背景にはめ込むなど、画像Aと画像Bとを合成させるために使われる。又、デジタル画像処理でもシルエットマスク法が発表されている。

本研究では、従来型のシルエット法が、背景部分を黒くつぶしてその上にキャラクターを乗せやすくするという、手続き上の手段として使用されるのに対して、黒くつぶす部分を上に乗せるキャラクターより僅かに大きくすることによって、その大きくなった部分があたかも輪郭線のように見えることを利用した。

キャラクターAのシルエットをA' とすれば

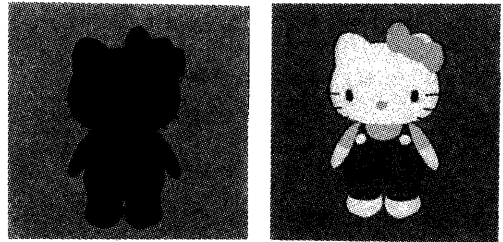
$$A' - A = \text{輪郭線}$$

この手法の特色は、

- 1) シルエットの大きさをえることによって輪郭線の太さを自由に設定できる
- 2) シルエットの色をえることによって輪郭線の色を自由にえることができる。
- 3) ビューポイントに変化を加えることによって輪郭線の太さに手で描いたようなタッチを加えることができるなどである。

ただし、シルエットは一枚一枚指定するため、大量の画像を処理するには適していない。又、キャラクターの内側に輪郭線を必要とする場合にも適さない。

図3は、キャラクターのシルエットとそのシルエットの上にキャラクターを合成し、輪郭線を発生させたものである。



a)キャラクターのシルエット例

b)シルエット法によるうけ発生例

図3 シルエット法による画像例

3-1-2 エッジ検出法

エッジ検出は、画像処理の手法として広く使われているが、本研究ではキャラクターやモデルの縁取り線を発生させるアルゴリズムとして利用した。

キャラクターAが背景Bの上にあるとすれば、両オブジェクトのRGBバリュー差を1以上つける。

キャラクタA RGB=100. 100. 100.
背景B RGB=101. 101. 101.

又、キャラクタのパーツが動いたり、移動する場合、例えば人間が手足を交差させて歩くシーンを、横位置にビューポイントを置いて見る場合、

人間A
胴体b RGB=100. 100. 100.
右脚d 腕c RGB=101. 101. 101.
左脚d' 腕c' RGB= 99. 99. 99.

とする必要がある。

この手法の特色は、キャラクタ、背景、それらの部分などあらゆるオブジェクトで輪郭線の発生ができる。

RGB値を平均値1以上の差に設定することによって、オブジェクトの内側やパーツの交差する部分にも輪郭線が発生できる。

図4、5はエッジ検出法により輪郭線が発生させたものである。

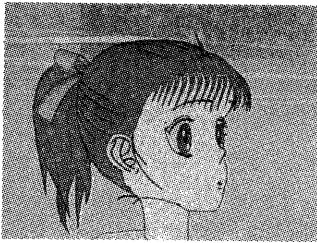


図4 エッジ検出法による輪郭線の発生例



図5 動く人体の輪郭線発生のためのパーツ分割例

なおカラー輪郭線の発生、手描きのような強弱を付けた輪郭線の発生については、次回で詳しく報告する。

3-2 面のセルアニメタッチ化

3D映像は確かにスーパーリアルなタッチに近ずき、「ジラシックパーク」などで大きな効果をあげている。このリアルさを追求すれば、それだけコンピュータに対する負荷がかかり時

間も費用も増大する。本研究は、これとは異なる利用方法を提示するものである。セルアニメタッチ化は、カラーとライティングの両面から検討した。

3-2-1 カラーの発生

キャラクタやモデルがそれ自体複数カラーを持っている場合、従来型セルアニメでは、それらの色をミックスした単色で表現する。通常セルアニメで使われるキャラクタ表現用の色数は千数百色あるリキッドカラーから40ないし60色止まりである。

一方3D制作では最近では24ビットが主流であるから、キャラクタやモデルのカラー決定は比較的容易である。又、カラーの選択においても印刷業界のカラーナンバーがアニメ産業およびCG制作でも共用されはじめた。作業工程は以下の通りである。

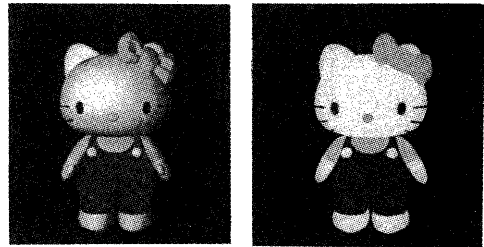
キャラクタ (モデル) 設定

カラー選択

表面属性 (アトリビュート)
明度 (リュミノシティ) を最大値
指定
シェーディングは最小値指定

セルカラー完成

図6は、3Dフルカラーによる画像と、セルアニメタッチのカラーに発生させた画像例を示した。



a)3Dフルカラー画像

b)セルアニメタッチのカラー画像

図6 3Dフルカラー画像とセルアニメタッチの画像例

3-2-2 ライティング

セルアニメ制作では、撮影段階でセルと背景

画を組み合わせ、これに光を当てて撮影するほか、透過光と言われる特殊効果を使用する以外に光源は使用しない。絵はすでに完成しており光の当て方によって、絵の内容を変えることはできない。3D法では、光源の使い方によって絵そのものの雰囲気や見え方に変化を持たせることができるが、同時にこの作業がもっとも計算時間を消費し、CG映像のコストを押し上げている。セルアニメ効果はこれらを必要としないから全ての光源（ライトソース）を最小値あるいはゼロに指定する。

キャラクタ（モデル）設定

光源（ライトソース）設定
ゼロ又は最小値

カラー選択

セルカラー完成

3-3 影の発生

影の発生については、シェーディング（陰影）とシャドウイング（投影）に分けて制作を試みた。

3-3-1 シェーディング

セルアニメ制作においてスムーズシェーディングに近い効果を出すにはエアブラシを使用しなければならない。塗料を圧搾空気でセルに吹き付けるため失敗は許されない。従って通常のセルアニメでシェーディング効果を見るのは極めて稀れである。

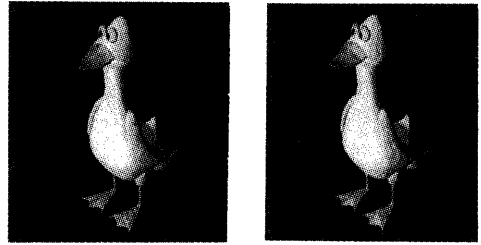
今回の研究段階では、通常のセルアニメの現状常に従い、シェーディングを考えないものとした。又、16ビット階調でシェーディングを行うとシェーディング部分に階段状の色差が生じるが、これはセルアニメ法で、エアブラシを使用しないでシェーディング効果を出す方法に酷似しており、16ないしは8ビット階調をセルアニメのシェーディングに使用することも有効である。

キャラクタ（モデル）設定

シェーディング設定
ゼロ（フラット）又は最小値設定
16ビットないしは8ビット階調指定

セルカラーシェーディングの完成

図7にフルシェーディング画像と16ビットの階調差のある画像例、図8にセルアニメタッチに変換した画像例を示した。



a)フルシェーディング画像

b)16ビットシェーディング画像例

図7 フルシェーディング画像と16ビットシェーディング画像例

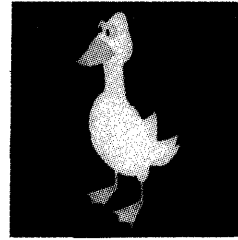


図8 セルカラー画像例

3-3-2 シャドウイング

従来型セルアニメにおいては、キャラクタやモデルの投影は、そのオブジェクトの形状や光線とは全く無関係に作られる場合がほとんどである。又、本研究の3D法では、投影画像作成の必要条件である光源はゼロと設定されている。従ってここではキャラクタやモデルの投影は下記のようにあらかじめ用意されたパターンを使用する。なお、キャラクタがスポットライトを浴びていて、影も正確に表現しなければならない場合は、影そのものをキャラクタと考え、パターンは使用しない。

用意されるパターン

形状
楕円状の平面オブジェクト
四辺形の平面オブジェクト

色
黒
グレー

以下にシャドウ付加の手順を示す。

キャラクタ (モデル) 設定

背景設定

パターン選択

パターン形状の微調整

完成

シーンの状況に応じてシャドーパターンの大きさ、形、色を選択すると共に、ボカシを入れることも考えられる。図9は楕円形のパターンを加えた画像例である。

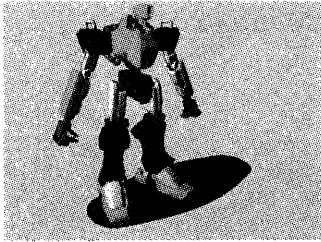


図9 シャドーパターンを加えた画像例

3-4 動きの省略

映像における動きは以下の三つに大別される。

- キャラクタ (モデル) がその構成部分を動かすもの
- キャラクタ (モデル) がその位置を動かすもの
- ピニューポイントを動かすもの (ズーム、パン、ティルト)

3DCG映像の動きは、通常これらの全てを組み合わせ、1秒間に30枚の僅かずつ位置を変えたフレームをスクリーンに投影することに

よって発生させる。又、セルアニメの中心的メディアであるフィルムは1秒間に24枚をスクリーンに投影する。

ところがセルアニメは、最高の動きを演出していることで有名なディズニー作品ですら、1秒間に12枚の動きの異なった画像を制作することで精一杯である。ただしこれはa) およびb)の動きであり、c)の動きは24枚である。画像を固定するメディアがフィルムの場合、1秒は24コマなので、同じ画像はa)、b)の動きの場合12/24、つまり2コマずつ同じ画像がスクリーン上に投影される。これを「2コマうち」(TWO-S)と呼んでいる。アメ

リカのテレビネットワークのアニメ番組は、「3コマうち」を要求される。日本ではこの制限はなく、人件費の高騰につれてひたすら動きは単純化する傾向にある。

本研究では、日本のアニメの質の向上のため、「2コマうち」ないしは「3コマうち」を目標とした。

アクションAの表現に要する秒数をtとすると、その表現に必要な絵の枚数は、「2コマうち」では15t、「3コマうち」は10tとなる。ここからアクションの組み合わせで構成するシーンの作画枚数を算出し、シーンの組み合わせで構成する一つの映像作品の総枚数を決定する。

3-5 動きの誇張

アニメーターが動きを全て作る従来法とデジタルインクアンドペイントでは、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の楽しさを代表する技術も又、アニメーターの感性と技術力に頼らざるをえない。3D法ではモーフィング技法により、キャラクタやモデルの自由な変形が可能になっている。又モデルに中心線を設定しそれを曲げることによって、セルアニメタッチの変形が可能である。

キャラクタ (モデル) 設定

モーフポイントの選択

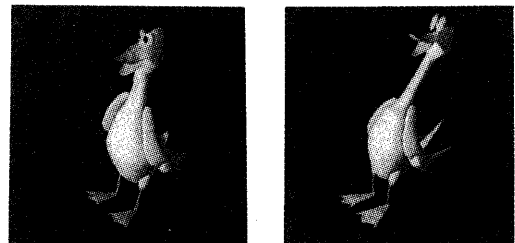
スパイン (中心線) の設定

ポイントの移動

スパインの曲げ設定

変形の完了

図10は、通常のアクションとセルアニメに特徴的なオーバーアクションの例を示した。



a) 通常アクション

b) オーバーアクション

図10 通常アクションとオーバーアクション画像例

3-6 分離と合成

従来法とデジタルインクアンドペイントで絵

の構成部分を分離するには、下記のような理由が考えられる。

- a. 一枚のセル上に描くキャラクタを単純化し、間違いを少なくする。
- b. 動かさなくて良い部分と動かさなければならぬ部分を分けて描くことにより効率化を図る。
- c. 背景アーティストとアニメータの得意技が異なる。
- d. 一つのキャラクタを一人のアニメータに集中する。
- e. 撮影時に異なる撮影処理を可能にさせる。

一方、3D映像制作では

- a. アニメータの得意分野を活かす。
 - b. 同時進行によりスピードアップを図る。
- が考えられる。

本研究では3D映像制作に、従来法での理由eを加え、セルアニメに特有の映像表現である、背景はスムーズに動いていながら、キャラクタは「2コマうち」、「3コマうち」で動き、しかもシーンによって、キャラクタ側の動きのスピードを自由に変えられるようにした。

図11及び図12は、セルアニメタッチに変換した背景画像と、その上にキャラクタを組み合わせた画像例である。

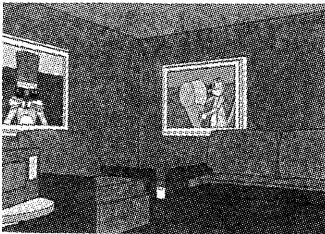


図11)セルアニメタッチの背景

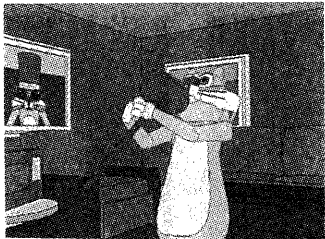


図12)キャラクタを組み合わせた画像

4. 今後の課題

今回の研究段階では、セルアニメタッチと3D映像タッチの差を分離し、3Dソフトウェア

上加える最適なアルゴリズムの開発に重点を置いた。

開発用ハードには、IBM-PC互換機及びコモドールのアミガ4000を使用、ソフトはブレイメーション及びライトウェーブを使用した。いずれもワークステーションより安価な制作体制がとれること考慮したものである。今後は2D化のための一貫したソフトウェアを開発すると共に、すでに存在するPC及びワークステーション上のソフトウェアで作成された映像を、自動的にセルアニメ化する手法も開発してゆきたい。又、実際にテレビ番組や映画の制作を行い、省力化のデータを積み重ねたい。

5. 謝辞

本研究における、メトロライト スタジオのラリー ミッチェル氏 (Mr. Larry Mitchell, Metrolight Studios Orlando) 及び東映動画、サンリオのご協力に感謝致します。

参考文献

- [1] 金子, 宇田川: 「テレビアニメを作る」 画像情報教育振興協会pp.142-146(1990)
- [2] 安居院, 田原, 中嶋 「 計算機を用いた折り紙アニメーション作成システムとその応用 」日本印刷学会VOL.23,NO.5 pp.19-22(1985)
- [3] 金子, HWONG, 宮井 「2Dアニメーションの大規模制作システム」日本コンピュータグラフィックス協会VOL.5, pp.10-18 (1989)
- [4] 中嶋, 斎藤, 金子 「周波数情報を用いた自然画像の油絵風表現の自動生成」 電子情報通信学会論文集7-347(1994)
- [5] 岡田, 武田, 坂井 「等高線によるグラフィック構造の記述」 画像電子学会VOL.22,NO.5 pp.530-537(1993)
- [6] 中嶋, 安居院, 植村, 野口 「シルエットマスク法による滑縁化アルゴリズム」 VOL. J71-D, NO. 3, pp.543-548(1988)