Vol.2016-DCC-13 No.11
2016/5/31

3DCG トゥーンレンダリングにおける 動きに伴う輪郭線ゆがみのプロシージャル表現

王　亦龍[†1]　三上 浩司[†1]　近藤 邦雄[†1]

概要：日本の 3 Dimensional Computer Graphics（3DCG）アニメでもセルアニメのような表現を行うため，近年,多様な輪郭線表現やカートゥーンブラーも数多く研究されている．その中，物体の移動による歪みの効果が，カートゥーンブラーの重要な表現として注目されている．また，近年ではこれらの技術をゲームに応用する事例が増えてきている．しかし，ゲームのリアルタイム表現においては，モーションブラーの技術を用いて歪みの表現は使われているが，セルアニメと全く同じ表現とは言えない．手描き表現では輪郭線が重要な要素の 1 つであり，セルアニメではカートゥーンブラーの歪み表現と輪郭線が併用されている．しかし，3DCG アニメではゆがみ表現と輪郭線の併用はまだ実現できていない．

本研究では，輪郭線のゆがみ表現をゲームの中に再現できるように，プロシージャルかつリアルタイムなアルゴリズムを提案，実装した．提案したアルゴリズムでは，ゆがみを表現するゆがみ 3D モデルを生成し，輪郭線処理を施すことで輪郭線のゆがみ表現を実現している．対象モデルの頂点を基にしたゆがみの本数とゆがみの大きさ，発生条件を制御する速度の閾値，存続時間を基にしたゆがみの長さをパラメータにより調整することでプロシージャルかつリアルタイムに輪郭線のゆがみ表現を実現した．さらにゆがみの形状については，減衰曲線を編集することで制御し，意図的な形状が再現できるようにした．

キーワード：3DCG，カートゥーンブラー，ゆがみ，輪郭線，自動生成

Procedural Representation of Contour Line Distortion in 3DCG Toon rendering

YILONG WANG[†1]　KOJI MIKAMI[†1]
KUNIO KONDO[†1]

Abstract: In Japanese three dimensional computer graphics animation, in order to perform expressions such as cell animation, recently, several researches related to a variety of outline representation and cartoon blur have been conducted. Among those researches, the effect of straing due to movement of the object is getting a lot of attention as an important cartoon blur representation. Also, in recent years, cases of games applying these techniques are increasing. However, for real time representation of games, techniques of motion blur have been used but the same representation of cell animation cannot be used.
In hand-painted representations, the outline is one of the key elements of this technique; in cell animation, the strain representation of cartoon blur and outline are combined, however, in 3DCG animation the combination of strain representation and outline has not been implemented.
In our research, we proposed a procedural algorithm that works in real-time, to be able to reproduce the strain representation of outline in games. The proposed algorithm generates a strain representation in 3D of a distortion representation, applying an outline process; we created distortion of the outline representation. We created a method that adjusts the number of strains based on the vertices of the target model, size of the strains, threshold speed to control the generation conditions, according to the length's strain based on the duration parameter, all of this, procedurally implemented and works in real time.
The magnitude of the number and the distortion of the distortion that is based on the vertices of the object model, the speed of the threshold for controlling the generation conditions, outline the procedural and real-time be adjusted by the length of the distortion that is based on the duration parameters.

Keywords: 3DCG, Cartoon Blur, Distortion, Outline, Procedural Generation

1. はじめに

漫画の中では人物や物体の感情や雰囲気，素早い動きを表現するため，効果線を用いてさまざまな演出を行う．主な効果線は「カケアミ」,「ナワナワ」,「おどろ」,「たれ線」,「点描」,「集中線」と「スピード線」，七種類である．その中の「たれ線」,「点描」,「集中線」と「スピード線」は，セルアニメでもよく利用されている．その中でもスピードを表すスピード線は，背景だけではなくキャラクターの描写にも使われている．このような手法をアニメの中では「カートゥーンブラー」と呼ぶ．その利点は，少ない画像でも滑らかな動きを表現できることや，更なるスピード感を与えられることなどさまざまである．

近年，日本の 3DCG アニメでは主にセルアニメのようなスピード感を出す手描き表現をするため，多様なカートゥーンブラーが数多く研究されている．川岸らはいち早くこの研究に取り組み，図 1 のような 3 種類のカートゥーンブラーを定義した[1][2].

†1 東京工科大学大学院
Tokyo University of Technology Graduate School.

ⓒ2016 Information Processing Society of Japan

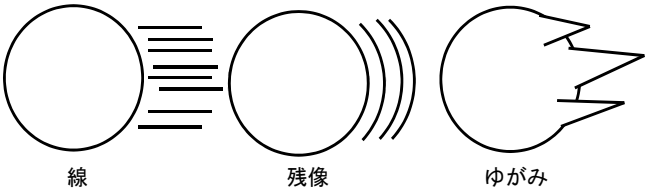


図 1　従来研究でのカートゥーンブラーの分類例

その中で，物体の移動による歪みの効果が，カートゥーンブラーの重要な表現として注目されている．手描きによるゆがみ表現では輪郭線が重要な要素の 1 つであり，セルアニメではカートゥーンブラーの歪み表現と輪郭線が併用されている．現在では，歪みの表現が施した 3DCG アニメも存在するが，3DCG アニメではこの併用は実現できていないため，ポスト処理が必要であり，リアルタイム表現やゲームなどでは利用が困難である．

本研究の目的はリアルタイム 3DCG における物体運動時のカートゥーンブラーと輪郭線の併用をプロシージャルに実現することである．

2. 関連研究

2.1 2D アニメーションにおけるカートゥーンブラー

川岸らは表 1 のように 2D アニメにおける非写実的な動きの効果をカートゥーンブラーとして，線，ゆがみ，残像の 3 つに分類し，そしてそれぞれを 2D アニメの中で実現した[1] [2].

表 1　カートゥーンブラーの表現方法の分類

種類	表現方法
線	軌跡に沿った線
残像	キャラクターのコピー
ゆがみ	ぎざぎざにした輪郭

川岸らのシステムでは，3 種類のカートゥーンブラーを生成する処理を行う前に，軌跡を求める処理，移動の後方向を判断する．各カートゥーンブラーの生成については，線のカートゥーンブラーはカートゥーンブラーを生成する対象となる線分を線分の長さに応じて分割する．残像のカートゥーンブラーは，カートゥーンブラーを生成する対象となる線分の両端点の軌跡を求めて残像を生成する．ゆがみのカートゥーンブラーは最初にカートゥーンブラーを生成する対象となる線分を，線分の長さに応じた数で分割し，その分割点のそれぞれの軌跡を求める．そして，線分の両端点は不動とし，各頂点をそれぞれの軌跡に沿って交互に，ずらす大きさを変えて，ぎざぎざになるように移動させて，ゆがみを生成する．

2.2 3D アニメにおけるカートゥーンブラー

大林らは川岸らの研究に基づいて，線，ゆがみ，残像の 3 つのカートゥーンブラーを統一的に生成し，非写実的な 3D アニメのための動きの効果を実現した[3].

システムでは，まずは入力した 3D アニメの効果を生成する時点での各頂点の移動の方向を計算する．次に，物体の移動の反対方向も計算し，カートゥーンブラーの生成方向を決める．そして線とゆがみの効果を付加する場合には，面の分割と結合の計算を行う．残像の計算を行う場合には，効果生成時点のカメラから見た物体の移動の後方に存在する稜線の計算を行い，この稜線を残像としている．

酒井[4]は川岸らが挙げている 3 種類のカートゥーンブラーの中でも，ゆがみの効果についてアルゴリズムの検討を行った．従来研究では物体の後方面にのみ効果が発生していたが，この研究では，物体全体をゆがませることを目標とした．まず，与えられたアニメデータの各頂点の軌跡を曲線で補完し，各フレームでの速度を求める．その後，頂点群のクラスタリングとメッシュの細分化を行う．移動方向に対する頂点の前後関係を求め，その情報をもとにブレを表す歪んだメッシュを生成する．生成されたメッシュと，元のメッシュやレンダリング画像から最終的な出力画像を生成する．

Schmid らは 3D アニメにおいて，高精度のモーションエフェクトをレンダリングする手法を提案した[5]．Schmid らが提案したモーションエフェクトの構築方法は，サーフェスシェーダの概念を誇張して構築する手法である．サーフェスシェーダは，物体表面の一部情報を利用し，その外観をレンダリングする．加えて，Schmid らの手法は，時間範囲 T 以内で運動物体が通過したピクセル情報を記録し，その上で目標とするモーションエフェクトを生成する．

2.3 リアルタイムのカートゥーンブラーの研究

伯らは従来研究のカートゥーンブラーの中で残像を詳しく分類し，擬似残像カートゥーンブラーのアルゴリズムを提案した[6]．擬似残像カートゥーンブラーの効果の代表として『トムとジェリー』シリーズや『The Adventures of Sonic the Hedgehog』などがある．これは，キャラクターの色を運動軌跡に沿って伸ばし，後ろの離れたところに規律なく混ぜるカートゥーンブラーであり，キャラクター運動の早さを誇張的に表現している．

2.4 先行研究のまとめ

川岸らの研究により，カートゥーンブラーがモデル化され，3DCG でも応用されるようになった．3DCG では酒井，Schmid，伯らが新たな表現の実装を実現したが，従来からある輪郭線とゆがみを併用した事例はない．また，伯らや大林はリアルタイムな 3D カートゥーンブラーを生成しているが，リアルタイムかつプロシージャルに実現している事例はない．表 2 において先行研究の比較を示す．

表 2　カートゥーンブラーの表現方法の分類

	リアルタイム性	輪郭線とゆがみ併用	2D/3D
川岸,2003	○	○	2D
大林,2005	○	×	3D
Schmid,2010	×	×	3D
酒井,2012	×	×	3D
伯,2014	○	×	3D
提案手法	**○**	**○**	**3D**

本研究では, 3D アニメでよりセルアニメに近い輪郭線とゆがみの併用表現を表現をするため，これらを制御する要素を探す. セルアニメの中では, 輪郭線のゆがみ表現には, 速度などの発生条件，本数，長さ，ゆがみの太さ，ゆがみの形状なども関わっている．そのため，本研究では，ゆがみ表現の発生条件，本数，長さ，ゆがみの太さ，ゆがみの形状，輪郭線の太さを，パラメータを用いて制御し，リアルタイムかつプロシージャルにゆがみ表現を実現する．

3. 提案手法

本研究では，アルゴリズムによってゆがみメッシュの生成を行い，ゆがみにも輪郭線を与え，2D の手描きのような輪郭線があるゆがみ表現を提案した．図 2 は提案手法の流れである．

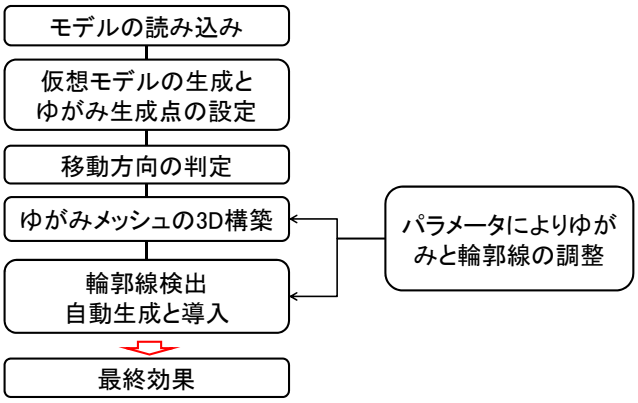


図 2　提案手法の流れ

3.1 ゆがみメッシュのための仮想モデル生成

本システムの中では，最も 2D アニメに近いゆがみメッシュを生成するために，生成させたい任意のパーツをモデルの構造により生成できるようにする．
そのため，システムでは，まず，図 3 のように元モデルの各パーツの中心に同じような仮想モデルを生成し, その後, ユーザーが仮想モデルの頂点数を削減し任意に設定する．ゆがみメッシュは，設定した頂点に基づいて生成することになる．本システムは頂点の調整はすべて仮想モデルに実施し，頂点を減らしても元モデルに影響を起こさない．

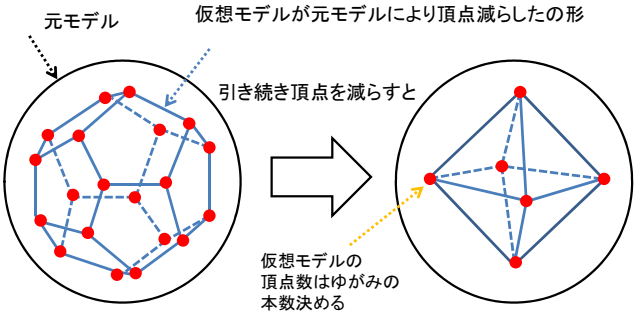


図 3　球体の頂点変化によるゆがみ本数の調整

また, 図 4 に示すように, 仮想モデルの頂点を減らした後, 仮想モデルのサイズも意図的に縮小している．のちに歪みの太さの調整を実現するため，縮小することでゆがみの太さを調整してもはみださないようにしている．仮想モデルの縮小比率は生成するゆがみの太さに応じてユーザーが本システム上で決める．

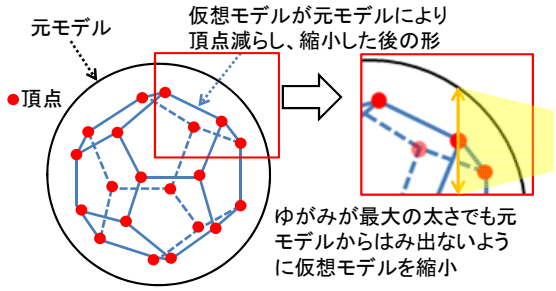


図 4　仮想モデルの縮小

3.2 移動方向の判定

ゆがみは 3.1 で設定した仮想モデルの頂点を基準に生成する．そこで，仮想モデルの面が運動物体の前方か後方かを物体の運動方向のベクトルと仮想モデルの面の法線ベクトルの内積から求める．図 5 に例を示す．

対象となる面 M1 の法線ベクトル F1 と, モデルの運動方向のベクトル V の間の角度を調べることで移動の後方向の判定をする．物体の面 M1 の法線ベクトル F1 と V の間の角度を調べると，90 度より小さいと判断され，物体の面 M1 は前方に向いており，つまりゆがみを生成しない方向だと判断できる．

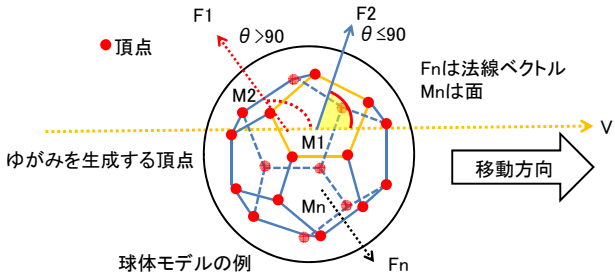


図 5　移動物体の後方向の判定

ⓒ2016 Information Processing Society of Japan

3.3 ゆがみメッシュの 3D 構築

(1) nParticle

nParticle は，Maya® Nucleus™を使用したパーティクル生成システムであり，nCloth シミュレーションを生成するダイナミックシミュレーションフレームワークである．本研究では，ポリゴンメッシュを生成するため，nParticle システム内に実装されている，パーティクルを基準点としてポリゴンメッシュを生成する Output Mesh 機能を利用する．

(2) ゆがみメッシュの 3D 構造の頂点

本研究では，基準点に基づいてメッシュを生成する．基準点は，ゆがみメッシュの 3D 構造の軸となる．ゆがみメッシュの 3D 構造として生成するメッシュの頂点は，基準点の属性に基づいて生成する．基準点がメッシュを生成した後，図 6 のようにメッシュは球体のポリンゴンメッシュの形となる．

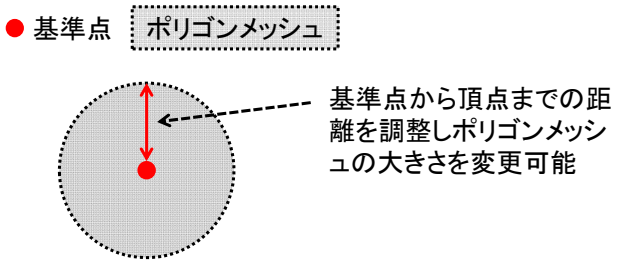


図 6　基準点をもとにしたメッシュの生成

図 6 に示す, 基準点から生成したポリンゴンメッシュは, 体積のある形となり, ゆがみメッシュの 3D 構造の頂点は, 生成したポリゴンメッシュの頂点となる．そして，基準点から頂点までの距離を調整することにより，生成したポリゴンメッシュの大きさを変更できる．

そして，マーチングキューブ法[7]により，球体のポリゴンメッシュは，四面体のポリゴンや立方体のポリゴンなどの形に変換できる．

生成するゆがみメッシュの形状は，ポリンゴンメッシュの数と関係がある．ポリゴンメッシュの数を増やし，メッシュのサイズを小さくすると，ゆがみメッシュの表面の形が滑らかになる．

(3) ゆがみメッシュの生成と消去および運動特徴

物体が移動した軌跡を記録するために，移動の追跡ポイントを生成する．本システムでは，基準点の通過点を追跡ポイントとして定義する．物体が移動するたびにその位置を記録し，フレームごと基準点を生成し，ゆがみメッシュを構築する. 基準点を生成する距離は速度に応じて変化し，速度が速いほど基準点間の距離が長くなる．

基準点は，モデルのグローバル座標の変化に従って生成する．ゆがみメッシュの長さは，生成する基準点の数，基準点の存続時間と物体の移動速度の 3 つのパラメータで制御している．

基準点の数が多く（少なく），他のパラメータが同一の場合，メッシュは長く（短く）なる．また，基準点の存続時間が長く（短く），他のパラメータが同一の場合，メッシュは長く（短く）なる．移動スピード対して，移動速度が速く（遅く），他のパラメータが同一の場合，メッシュは長く（短く）なる．

本システムでは始めに基準点の最大数量を設定する．この最大数は，ゆがみメッシュの最大長さと関係がある．運動モデルから生成する基準点は最大数量に達すると，古いものから消える．これを実現するため，伯ら[6]や Patrick[8]の研究の中でのリングバッファを参考にする．

基準点には，存続時間が設定されており，生成されてからの時間がその時間に達した基準点は消去する. そのため，その基準点のあった場所にゆがみメッシュ 3D 構造の生成が行われなくなる．基準点の存続時間の設定では，短いほどゆがみメッシュが早く消去することになる．

本研究のシステムでは，フレームごとに作用中の基準点の数を計測する．該当フレームで全部の基準点を，存在していた時間順で処理し，ゆがみメッシュ 3D 構造を生成する．フレームごとに，システムは基準点の位置に基づいてゆがみメッシュを生成する．フレームごとにゆがみメッシュを生成した後，ゆがみメッシュの廃棄処理を行う．次のフレームでシステムは作用中の基準点に基づき，改めてゆがみメッシュを構成する．これらを連続処理することで，モデル運動に従って変化するゆがみメッシュを表現する．

(4) ゆがみメッシュの形状

モデルが移動したときに生成される，ポリゴンメッシュの形状は，(3) で示した長さ以外にも基準点をもとに生成するメッシュの大きさ，メッシュサイズ減衰曲線により制御できる．メッシュサイズ減衰曲線とは，各時刻での，作用中のすべての基準点からそれぞれに対応するポリゴンメッシュの形状を制御するために設定する関数曲線である．ユーザーは，サイズ減衰曲線を調整することで希望する効果を実現できる．図 7 に曲線を編集する画面を示す．

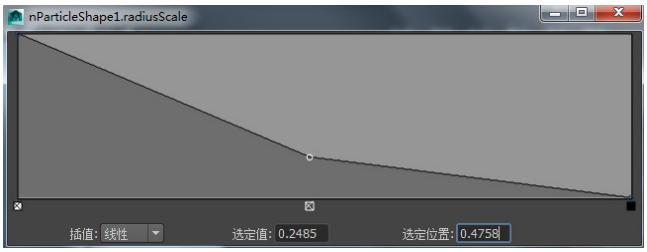


図 7　ゆがみサイズの減衰曲線

ゆがみの形状は，減衰曲線の調整によってゆがみメッシュの縮小割合を設定することで調整する．

ⓒ2016 Information Processing Society of Japan

3.4 3D モデルの輪郭線の検出と自動生成

ポリゴンの面と面の境界線を「輪郭線」と呼ぶ．面も複数の輪郭線で囲まれた領域と考えることができる．たとえば，長方体の場合，12 本の輪郭線を持つ．また，輪郭線の両端点は頂点になる．輪郭線は，可視面と不可視面の共有辺の集合である．可視面は，複数の輪郭線で囲まれる．その輪郭線も可視と判断される．そして，視線の見えない面に囲まれた点線は輪郭線が見えないため，その輪郭線は不可視と判断できる．そのため輪郭線の検出のために面の可視，不可視を判定し，それをもとに輪郭線検出を行う．

対象となる面の法線ベクトルと視線ベクトルが互いになす角度が 90 度以上であれば，可視面であり，そうでなければ不可視面である．判定公式はベクトルの内積を用いる．生成したゆがみメッシュも含めた輪郭を検出し，毎フレームごとに輪郭線生成命令を実行する．移動中のゆがみメッシュでは，毎フレームごとに生成し，次のフレーム廃棄処理も行う．輪郭線の生成もゆがみの生成と廃棄処理に伴って描画する．図 8 にイメージ例を示す．

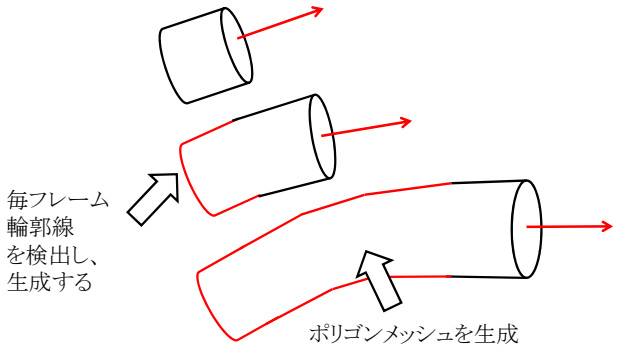


図 8　輪郭線生成処理イメージ例

4. 実装

4.1 インタフェース

本研究ではさまざまなパラメータを調整しやすくするため，設定インタフェースを開発した．これによりユーザーは各パラメータの数字の変換により，輪郭線のゆがみ表現の形を変化させることができる．インタフェースは，図 9 のようになっている．

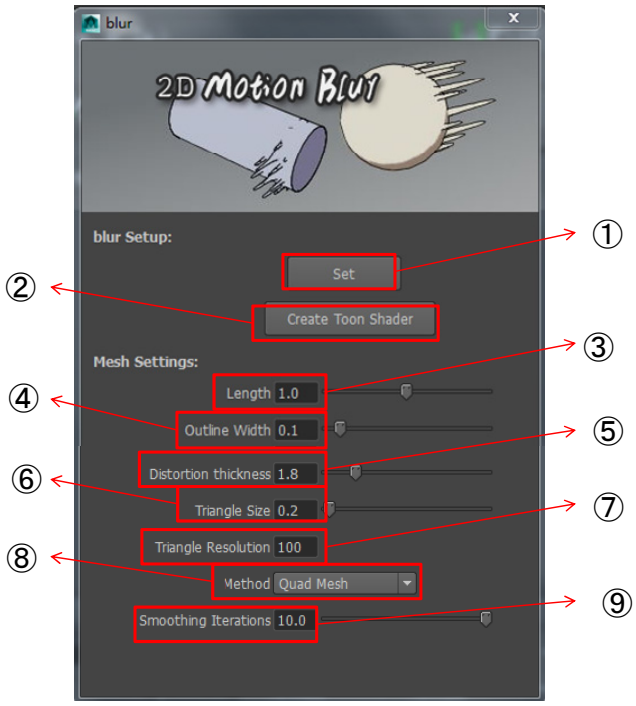


図 9　設定インタフェース画面

(1) ゆがみメッシュ生成の設定

仮想モデルの頂点がゆがみメッシュの生成となる．本研究では，Maya 内 INPUT 機能を利用する．まずは元モデルのコピーにより仮想モデルを生成し，縮小する．次は，仮想モデルの頂点を減らすため，ポリゴン頂点のパラメータを自分が縦軸と横軸の数値を変換するによって頂点数か減らすことができる．

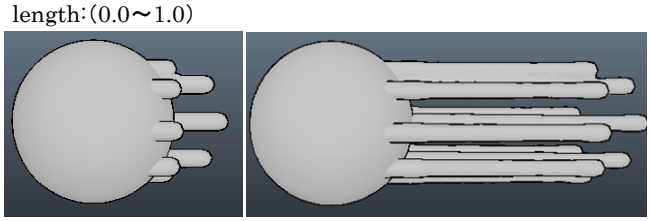
(2) トゥーンレンダリングと輪郭線の実行命令

本研究では，カートゥーンブラーと輪郭線の併用表現をするため，ゆがみメッシュのテクスチャの設定と輪郭線の生成が必要となる．事前に，モデルのテクスチャの色に応じたゆがみメッシュの色を指定しておく．図 9 の②をクリックすると指定した色のゆがみのテクスチャと輪郭線自動生成を実行する．

(3) 基準点の存続時間

ゆがみメッシュを生成または消去するため，基準点の存続時間の指定が必要となる．図 9 の③を調整すると，存続時間を変化させることができる．図 10 は，指定した数字の大きさによって生じる，同じ速度で動いた場合の球体モデルのゆがみの長さの差の比較である．

length:(0.0～1.0)



length:0.1　　length:0.6

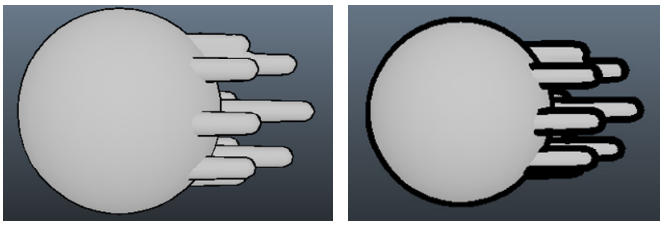
図 10　ゆがみの長さの制御

ⓒ2016 Information Processing Society of Japan

(4) ゆがみの輪郭線の太さ

本システムでは図 9 の④を調整するとゆがみメッシュの輪郭線の太さを変化できる．実際のモデルの輪郭線の太さに合わせて，ゆがみメッシュの輪郭線も意図的に調整することができる. 図 11 にモデルの輪郭線の太さに応じてゆがみメッシュの輪郭線の太さを調整した結果を示す.

Outline：（0.0～1.0）



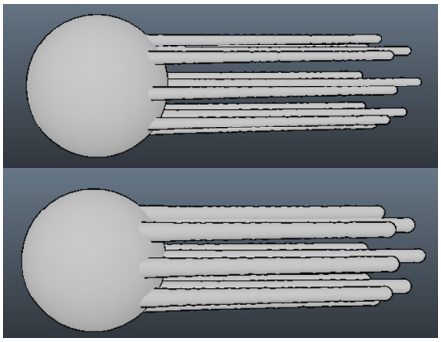
Outline：0.1　　Outline：0.4

図 11　輪郭線の太さの制御

(5) ゆがみのサイズ変化

本研究のゆがみメッシュは，基準点を軸にして生成したポリゴンメッシュが複数つながったものである．基準点から生成したポリゴンメッシュの頂点までの距離がゆがみの大きさ（半径）を決定する．基準点からポリゴンメッシュの頂点までの距離が短いとゆがみは小さくなり，逆に，基準点からポリゴンメッシュの頂点までの距離が長いとゆがみは大きくなる．図 9 の⑤の数値の調整による変化量を図 12 に示す.

サイズ設定値（0.0～10.0）



サイズ設定値：3.7

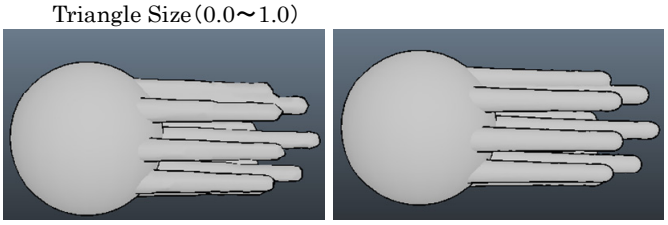
サイズ設定値：5.1

図 12　ゆがみの太さの制御

(6) ポリゴンメッシュの三角形サイズ

ポリゴンメッシュの三角形面のサイズを小さくすると，表面がより滑らかな高解像度の出力メッシュが生成される．しかし，小さいほど，計算にかかる時間も増加する．図 13 はポリゴンメッシュの面のサイズ変化による，生成したゆがみの円滑度の差の比較である.

Triangle Size（0.0～1.0）



Triangle Size：0.4　　Triangle Size：0.1

図 13　ポリゴンの三角形サイズの制御

(7) ポリゴンメッシュの三角形サイズの最大値

ポリゴンメッシュの三角形面のサイズの最大数値を指定する．ポリゴンメッシュの作成に必要な三角形面のサイズが，この最大数値を超える場合，そのポリゴンメッシュは作成されない. 図 9 の⑥の数値を制限するために用いる.

(8) 出力メッシュの転換モード

出力メッシュをアイソサーフェスに生成するとき，変換するポリゴンメッシュのタイプを指定する．本研究では図 9 の⑧既定のメッシュの転換モードを利用し，ポリゴンメッシュを変換する.

・三角メッシュ(Triangle Mesh)

立方体のポリゴンメッシュに変換する.

・四面体(Tetrahedra)

三角形のポリゴンメッシュに変換する.

・鋭角四面体(Acutete Trahedra)

三角形のポリゴンメッシュに変換し，四面体メッシュ方法より少し解像度の高いメッシュを生成する.

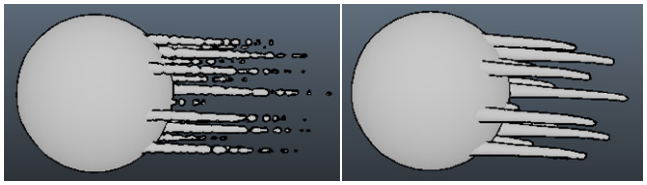
・四角メッシュ(Quad Mesh)

四角ポリゴンメッシュに変換する．ユーザーは，この中から表現したいゆがみにより近いものを選択する.

(9) ポリゴンメッシュのスムーズ量

出力メッシュに適用されるスムーズの量を指定する．メッシュのスムージング反復値を大きくすると出力メッシュの平滑性は増加するが，計算時間も長くなる．図 14 に指定数値の異なるスムーズを実行した例を示す.

Smoothing Iteration：(0.0～10)



Smoothing Iteration：0.6　Smoothing Iteration：5.5

図 14　スムーズ量の制御

なお，図 14 に示す，スムーズの反復三角エッジの値が小さすぎる場合，ポリゴンの相互間のトポロジが均一にならず，ポリゴンがつなぎにくく，輪郭線しか見えなくなるため分離し点のような描画結果となる.

ⓒ2016 Information Processing Society of Japan

4.2 減衰曲線を用いたゆがみ形状の調整

セルアニメでは，末尾円錐形のゆがみ表現が多く見られる．その表現の仕方を実現するため，システムは，図 15 に示したゆがみサイズの減衰曲線を利用することでゆがみメッシュの末尾形状を変化させる．システムでは減衰曲線は線形, スムーズ, スプラインの三つの補間モードがあり，ユーザーはそれらの補間モードを選択することができる．さらに，減衰曲線の選定値と選定位置設定によってゆがみ末尾形状を変化させることができる．図 16，17，18 は各モードによって減衰曲線の選定値と選定位置が統一な場合のゆがみ末尾形状の表示である．

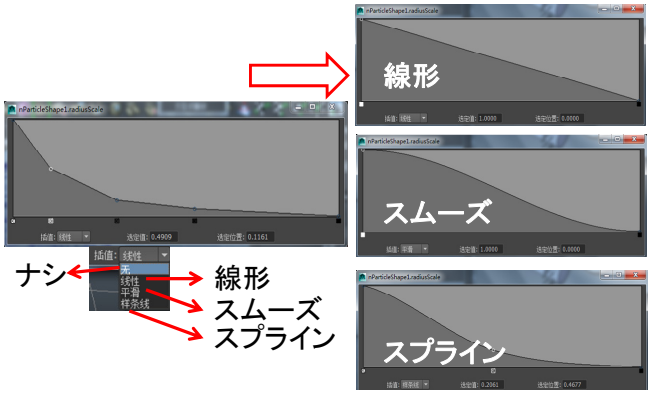


図 15　ゆがみサイズの減衰曲線

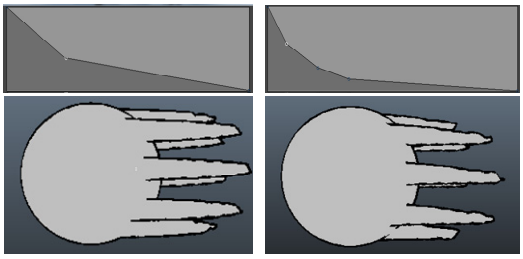


図 16　線形モード

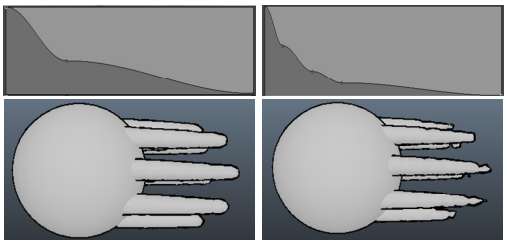


図 17　スムーズモード

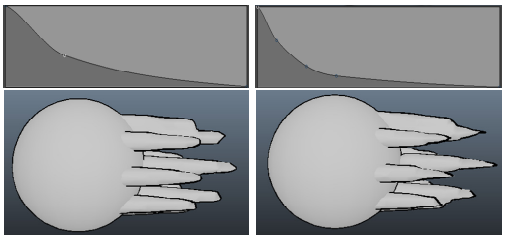


図 18　スプラインモード

5. 実行結果

5.1 モデルに適用した例

提案手法を用いて複数のモデルに実装した結果例を示す. 図 19 は運動中の車の輪郭線のゆがみ表現の結果例を示す. 図 20 は飛行中の飛行機の輪郭線のゆがみ表現の結果例である. 図 21 は指の動きの輪郭線のゆがみ表現の結果例である．

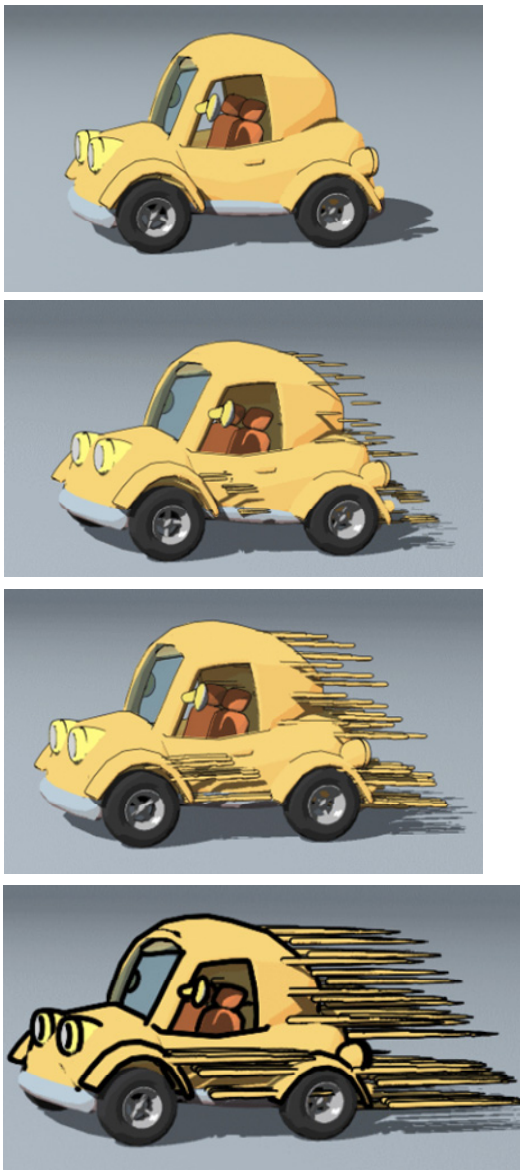


図 19　運動中の車の輪郭線のゆがみ表現の結果例

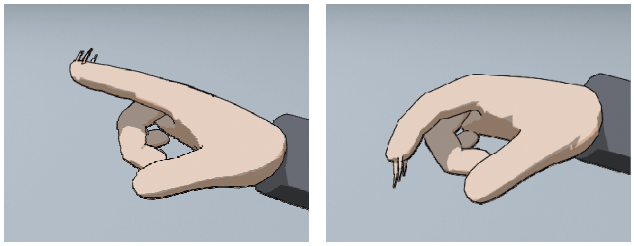


図 20　指の動きの輪郭線のゆがみ表現の結果例

ⓒ2016 Information Processing Society of Japan

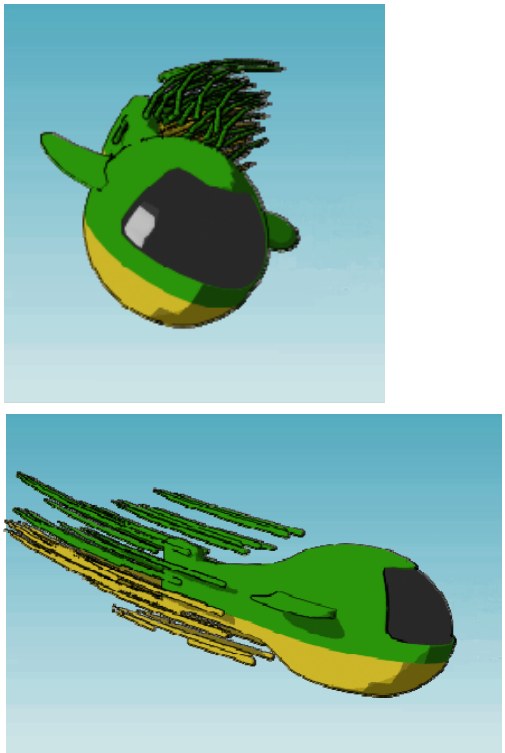


図 21　飛行中の飛行機の輪郭線のゆがみ表現の結果例

5.2 リアルタイム性の検証

本提案手法において，システムの計算量に関連しているパラメータは最大基準点数量である．最大基準点数量を変化させて，フレームレート測定実験を行った．

表 3 は描画速度の測定結果である．

表 3　描画速度の測定結果

最大基準点数	fps
100	553
200	451
500	410
1,200	386
2,000	343
5,000	301
10,000	243
20,000	106
100,000	61

測定の結果，ゆがみを生成する場合，基準点の数が多くなるとき，つまりポリゴン数が多くなるときに計算速度が低下することが確認できた．通常のゲームなどで想定されるリアルタイムのフレームレートである 60fps を考慮した場合，実験では基準点を 100,000 程度まで設定できることがわかった．

6. まとめ

本研究では，リアルタイムで 3DCG におけるゆがみと輪郭線の併用を行うことを目的とする．結果として，本研究の提案手法のアルゴリズムは，ゆがみメッシュと輪郭線をモデルに対して実装し，輪郭線に伴うゆがみの表現を実現した．

また，運動の前方向にゆがみを発生させることは考慮してないため，今後，モデルの各パーツのテクスチャの対応関係，ゆがみの前後両方向のゆがみの発生状況を分析し，システムを改善することで，よりセルアニメに近いゆがみ表現を作り出す．

参考文献

[1]Y. Kawagishi, K. Hatsuyama and K. Kondo, "Cartoonblur: nonphotorealistic motion blur," Computer Graphics International, Proceeding, pp.276-281, 2003.
[2]川岸祐也，初山和秀，近藤邦雄，“カートゥーンブラー：セルアニメのための非写実的モーションブラー”, 情報処理学会研究報告，Vo1.2002，No.33，pp.37-42，情報処理学会，2002.
[3]大林正一，近藤邦雄，今間俊博，“3D アニメーションのためのカトゥーンブラー”，図学研究，Vol.39, No.1 pp.63-68，2005.
[4]酒井 健行，“3DCG 映像のための手描き風モーションブラー”，第 11 回情報科学技術フォーラム，I-040，2012.
[5]SCHMID J., SUMNER R. W., BOWLES H., GROSS M. “ Programmable motion effects”, SIGGRAPH2010, Volume 29 Issue 4, 2010.
[6]伯大成，三上浩司，近藤邦雄，“リアルタイム 3DCG における擬似残像カートゥーンブラーの研究”, 映情学技報，vol.39, no.14, AIT2015-57，pp.75-78，2015.
[7]William E. Lorensen, Harvey E. Cline: Marching Cubes: A high resolution 3D surface construction algorithm. In: Computer Graphics, Vol. 21, Nr. 4, July 1987.
[8]Patrick P. C. Lee , Tian Bu , Girish Chandranmenon, A lock-free, cache-efficient shared ring buffer for multi-core architectures, Proceedings of the 5th ACM/IEEE Symposium on Architectures for Networking and Communications Systems, October 19-20, 2009.

ⓒ2016 Information Processing Society of Japan