

2006年度 卒業論文

ノンフォトリアリスティックレンダリング
における線によるシワ表現の研究

指導教員：渡辺 大地講師

メディア学部 ゲームサイエンスプロジェクト

学籍番号 M0103218

渋谷 一貴

2006年度 卒業論文概要

論文題目

ノンフォトリアリスティックレンダリング
における線によるシワ表現の研究

メディア学部

学籍番号：M0103218

氏名

渋谷 一貴

指導
教員

渡辺 大地講師

キーワード

NPR、シワ線、動画テクスチャ、段影

近年の3DCG作品では写実的な表現を行っているものの他に、絵画的な画像を作り出すノンフォトリアリスティックレンダリング手法を用いた作品も多く見られる。特に手描きアニメの手法を取り入れたトゥーンシェーディングは頻繁に利用されており、手描きと3DCGを違和感なく溶け込ませる手法が求められている。NPRによる輪郭線と数階調の陰影を用いることである程度手描きの質感に近づけることが可能となった。しかしまだまだ違和感のある表現となっている。手描き作品では輪郭線と陰影以外にも特徴的な要素があり、本研究では布のシワ表現において線を用いる点に注目する。既存の3DCG作品によるNPR手法ではモデルの動きに応じて変化するシワ線は見受けられない。そこで本研究では、動画テクスチャとスケルトンを利用することでシワ線の動きを実現している。動画テクスチャの動きを用いてシワの動きを表現し、その時間制御にスケルトンを用いることで、スケルトンの動きに応じてシワ線の動きが変化する様子を実現した。また、シワ線の動きに応じた陰影の変化も扱っており、シワ線テクスチャをボカした動画テクスチャを使用し、トゥーンレンダリングと重ね合わせることで、シワ線付近の陰影のゆがみを実現した。

目次

第1章	はじめに	1
1.1	研究背景・目的	1
1.2	論文構成	2
第2章	漫画・アニメ作品におけるシワ表現	3
2.1	シワ表現の種類	3
第3章	3DCGによる手法	6
3.1	3DCGアニメーションにおける既存手法	6
3.1.1	マッピング	7
3.1.2	スケルトン	8
3.2	3Dアニメーションで用いるセル画調表現	9
3.3	3DCGによる衣服の表現	12
第4章	シワ表現の提案	14
4.1	シワ線の表現	14
4.2	シワ線付近の陰影の表現	18
第5章	検証と課題	23
5.1	手描きのシワ線との差異	23
5.2	課題	25
第6章	まとめ	26
	謝辞	27
	参考文献	28

第 1 章

はじめに

1.1 研究背景・目的

CG を用いた表現として、絵画やイラストなどの表現に近い CG 画像を生成するノンフォトリアリスティックレンダリング (NPR)[1][2][3] というものがある。この NPR の中でも特によく見かける手法としてトゥーンレンダリングがある。これは手描きのアニメに見られる数階調の影を 3DCG で描画する手法であり、この手法と輪郭線の描画を加えることで、手描きアニメに近い質感を得ることができる。この手法を用いた 3DCG 作品 [4][5][6] も増えてきており、手描きと 3DCG を溶け込ませた表現が見受けられる。

しかし、これだけでは手描きの質感にはまだ遠く、ほかの要素も取り入れる必要がある。その要素として、手描きアニメ独特の誇張表現、輪郭線のブレ、衣服のシワの描画、視点による意図的な形状破綻などが考えられる。本研究では特に、衣服のシワ表現に着目した。シワの既存表現として、クロスシミュレーション [7][8][9] があるが、クロスシミュレーションではフォトリアルな布の表現に特化しており、手描きの線を描画することは難しい。また、テクスチャ処理によるシワ線の描画を行う作品 [10][11] などもある。この場合は 1 枚の絵が貼られているだけであるため動きによる変化が乏しいという問題がある。

本研究ではシワ表現の中でも、クロスシミュレーションのような写実的なものではなく、漫画や手描きアニメで見られる、線によるシワ線の描画を主に扱って

いく。この記号的なシワ描画は既存のCG作品ではあまり見かける機会が無く、動的に線が変化する事に関しては皆無である。そのため、この研究では動きに応じてシワ線の描画が変化する手法を提案する。

提案する手法は動画テクスチャの時間とスケルトンの回転角度をリンクさせるものである。シワ線となる動画テクスチャを予め用意しておくことで、線が引かれる様子をテクスチャの動きで表現した。このテクスチャの動きを制御するためにスケルトンを使用し、シワ線が徐々に引かれる様子や明滅する様子を表現している。また、シワ線と同時に陰影の変化も扱っている。シワ線の描画にテクスチャを用いているため、線の周辺で陰影の変化が見られないという問題がある。この問題を解決するためにシワ線テクスチャをボカした動画テクスチャを利用して、トゥーンシェーディングと重ね合わせることでシワ付近の陰影のゆがみを実現した。最後に手描きのシワ表現と、本研究手法によって実現したシワ表現とを比較し、効果を検証した。

1.2 論文構成

本論文では、第2章でシワ線の描かれる条件、第3章で3DCGを用いた各種手法の解説、第4章で、この研究で提案する手法について具体的な手順などを示す。第5章ではこの研究によるシワ線描画手法を用いた場合と用いない場合を比較し、検証を行う。第6章で、この研究のまとめと今後の課題を述べる。

第 2 章

漫画・アニメ作品におけるシワ表現

この章では、手描きアニメや漫画などで用いるシワ表現がどのようなものか、どんな条件で線が描かれるのかに触れ、本研究で追究するものの土台となる部分の解説を行う。

2.1 シワ表現の種類

手描き作品において線を用いる表現としては、まず輪郭線が考えられる。手描きアニメでは線の描画に対してとても気を使うものであり、線の描き方によって、その形状だけでなく質感 [12] をも表現することができる。中でも特徴的な質感の表現方法に布が挙げられる。手描きアニメや漫画では布や服のシワを表す手法として、線をシワに見立てて描画 [13][14][15] する。このシワ表現はリアルな形状を現すのではなく、簡略化された線の集合として描画される。シワ線の描画方法は大体決まっているため、ある程度パターン化することができる。腕を上げたりする場合に布地が引っ張られることでできるシワ、腕を曲げる場合などに肘や脇の下などの布が縮んで重なり合うときのシワ、重力によって布がたるむことでできるシワなどがある。図 2.1 にシワ線の描画パターンを示す。



図 2.1: シワ線の描画パターン

静止画であれば以上のように描かれる傾向にあるが、動画の場合には動きに応じて描き方も変化してくる。具体的に腕を曲げる動画を考えると、曲げる量にしたがってシワ線が移動したり、長さが変化したり、明滅したりする。長さが徐々に変化することでシワの発生している様子、線の量が変わることでシワの複雑さの変化を表している。図 2.2 は腕が曲がる場合を例にシワ線の変化する様子を表したものである。腕を上げた場合なども同様に、線を変化させることでシワの動きを表現できる。

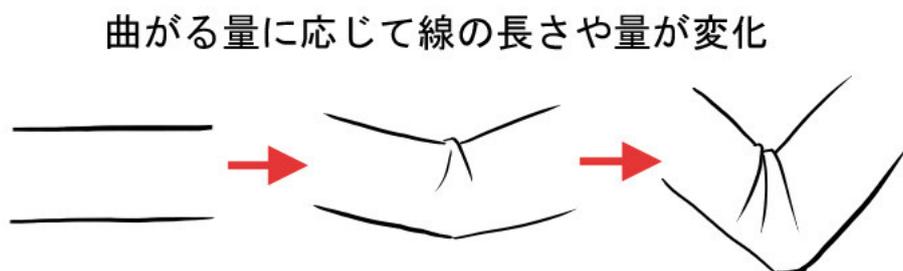


図 2.2: シワ線の変化

また、シワ表現の線以外の要素として、陰のゆがみとシワ線付近の形状の変化

がある。陰はシワ線の動きと連動して描画されており、必ずしも光源を意識したものではない。図 2.3 に陰影をシワ線と一緒に用いた場合の例を示す。線による布のシワ表現に加え、そこに陰影が加わることでさらに形状の把握がしやすくなっている。シワ線付近の形状変化に関しては、布が密集する場合に顕著に現れている。シルエットとして見ると波立つような輪郭が描かれ、シワ線と合わさることで布の隆起が表されている。

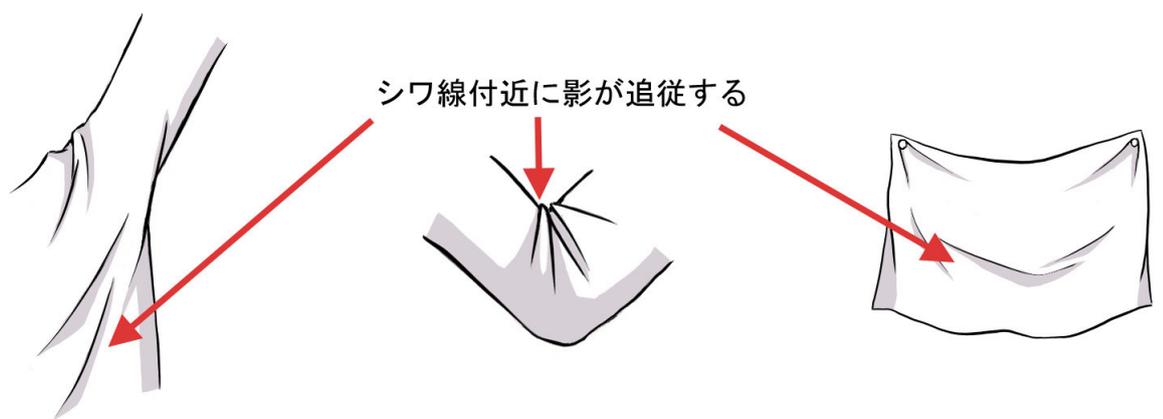


図 2.3: 陰影の描画

第 3 章

3DCG による手法

本研究で扱うシワ線とは、リアルな画像を生成するクロスシミュレーションなどとは異なり、漫画等に見られる簡略化された線の集合である。既存の CG 作品でもテクスチャとして予めシワ線を描きこんだ表現 [10][11] が見受けられるが、動きに応じたシワ線の変化は見受けられない。

この章では、まず 3DCG を用いたアニメーション制作の工程で必要となる手法と、セル画調表現を行うための手法の解説を行う。また、既存の衣服の表現としてクロスシミュレーションなどの解説を行う。

3.1 3DCG アニメーションにおける既存手法

まずは、本研究の提案手法で用いることとなるスケルトンやマッピングなど、基本的な仕組みを解説する。3DCG アニメーションを制作する大まかな手順として

1. モデリング
2. 質感設定
3. リギング
4. アニメーション

という工程を経ることが多い。

モデリングは実際に動かすものを作る工程であるが、本研究手法とは直接関係しないため割愛する。

3.1.1 マッピング

質感設定において、モデリングで作ったモデルに模様などを描きこむために UV マッピングを用いることが多い。本研究でもシワ線の描画に UV マッピングを用いるため、ここで解説を行う。3次元空間の曲面上の点を2つのパラメータ (u, v) によって表すパラメトリック曲面というものがある。パラメータを $0 \leq u, v \leq 1$ の範囲で変化させることで、曲面上の点の座標値を得ることができる。この u, v をテクスチャの座標と対応付けることで画像をパラメトリック曲面上に貼り付けることができる。図 3.1 は UV マッピングによって平面の画像を 3D のモデルに割り当てる様子を示したものである。

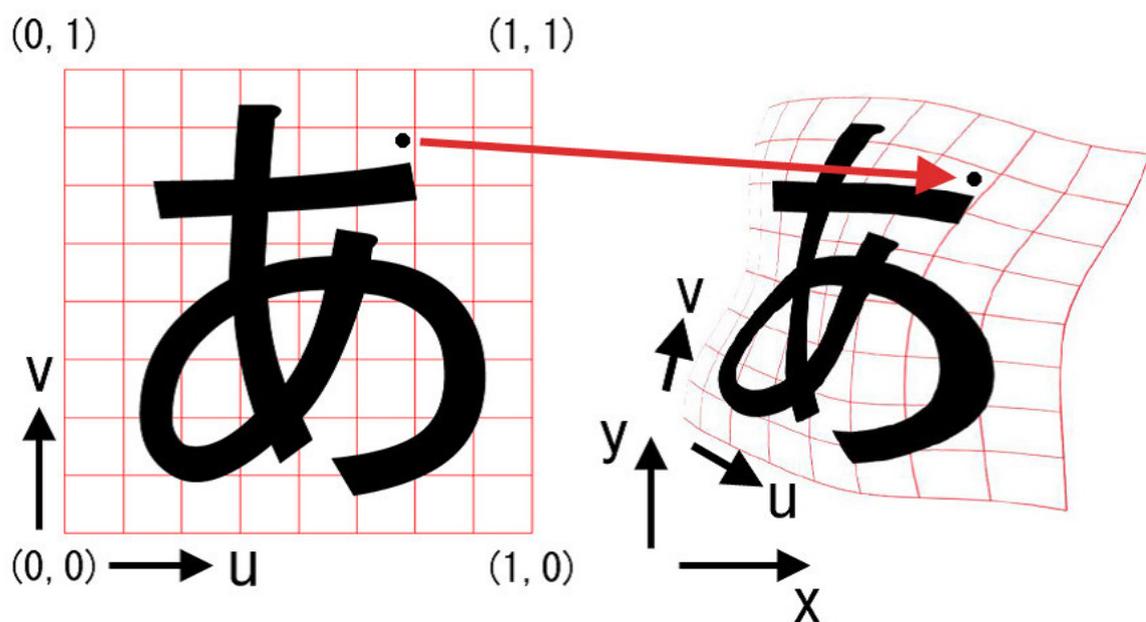


図 3.1: UV マッピング

ポリゴン曲面においても、パラメータ化を行うことで同様の方法でテクスチャマッピングを行える。パラメータ化とは、ポリゴン曲面にパラメトリック曲面にあるような u, v パラメータを割り当てることである。ポリゴン曲面を平面に埋め込むことでパラメータ化を行うことができ、この工程を経てポリゴン曲面に UV マッピングを行うことが可能となる。図 3.2 はマッピングを割り当てる前のモデル、図 3.3 はパラメータ化の様子、図 3.4 は UV マッピングを行った結果を示したものである。

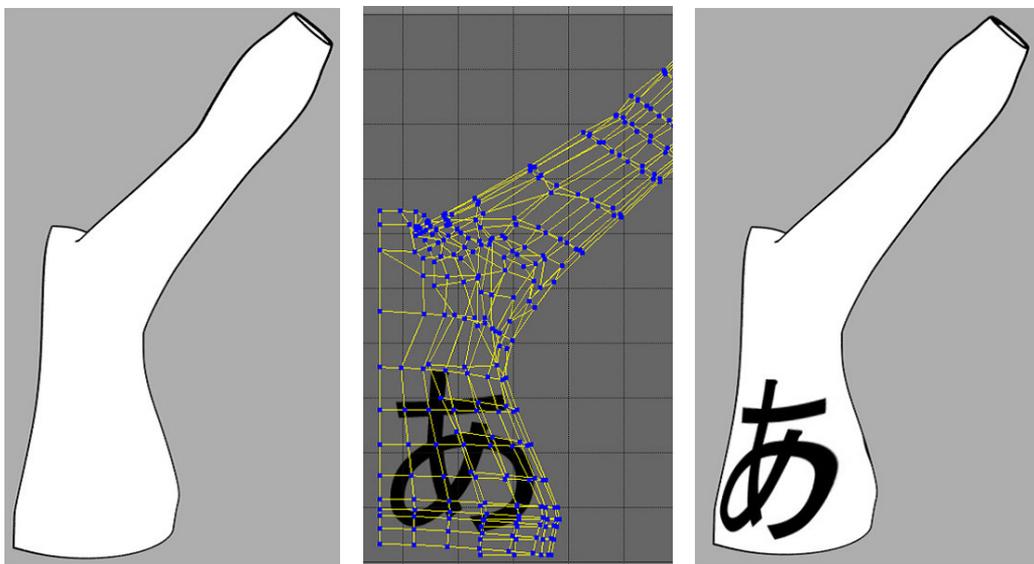


図 3.2: ポリゴン面

図 3.3: パラメータ化

図 3.4: 適用画像

次のセクションのシワ線を貼り付ける工程で、この UV マッピングを行う。その際にパラメータ化を数通り行う方法を用いている。

3.1.2 スケルトン

モデルをアニメーションさせるための仕組みを作る作業にリギングがある。この段階でスケルトンが頻繁に用いられる。人間や動物のアニメーションを制作する場合には、骨格の位置にスケルトンを当てはめ、その動きに合わせて形状を変

化させる。スケルトンを用いることで腕の曲がりなどを表現することが可能である。図 3.5 にスケルトンの例を示す。

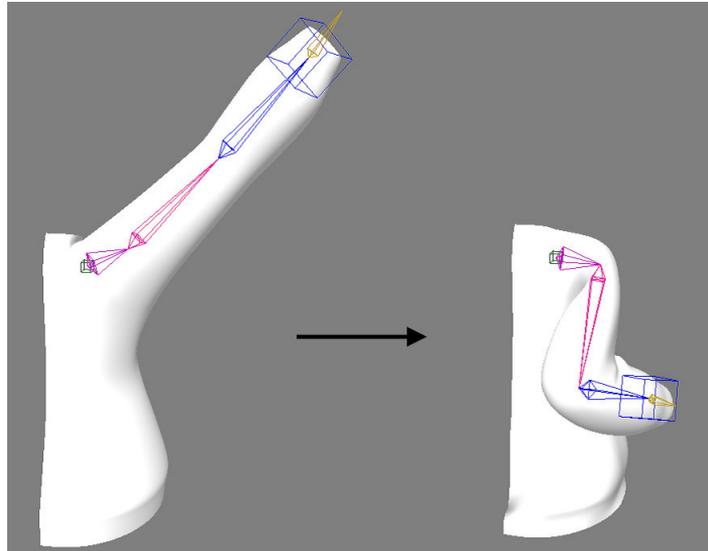


図 3.5: スケルトン

スケルトンの曲がり方の制御方法としてインバースキネマティクスやフォワードキネマティクス [16] などの方法が存在する。

最後にリギングでの仕組みを利用するなどしてアニメーションを制作する。本研究ではアニメーションの段階でスケルトンとテクスチャのリンクを行っているため、次のセクションで詳述する。

3.2 3D アニメーションで用いるセル画調表現

3DCG アニメーションで手描きの質感を表現する場合に頻繁に用いるものとして、輪郭線の描画とトゥーンシェーディングがある。手描き作品で輪郭線と数階調の陰影は確実に用いるものであり、本研究でもシワ線の描画と同時に輪郭線とトゥーンシェーディングによる陰影を用いているため、ここでこれらの解説を行う。

まず輪郭線の描画手法としてよく用いる手法に、法線情報や Z バッファを利用した輪郭線の検出 [17] がある。この方法ではレンダリングするピクセルの隣同士

を比較して、ある一定以上の角度や距離がある場合に輪郭線として描画する。図 3.6 は輪郭の検出条件を示したものである。

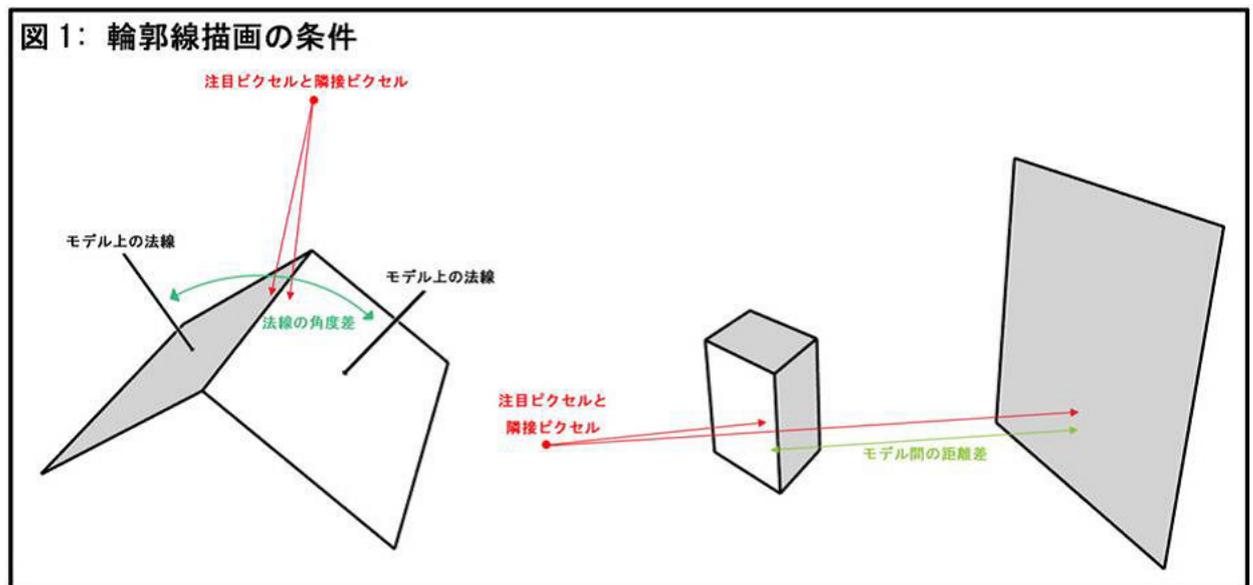


図 3.6: 輪郭の検出条件

また、検出した輪郭を描画する際に線の太さをランダムに変えることで手描きの筆圧が変化している様子を表現できる。本研究ではこの手法を用いて輪郭線の描画を行っている。

ゲームなどでリアルタイムに描画する場合には、モデルを複製したものを外側に押し出し、反転し黒く塗りつぶしたものを利用することで描画する方法 [18] もよく用いる。図 3.7 はモデル押し出しによる輪郭線描画手順である。

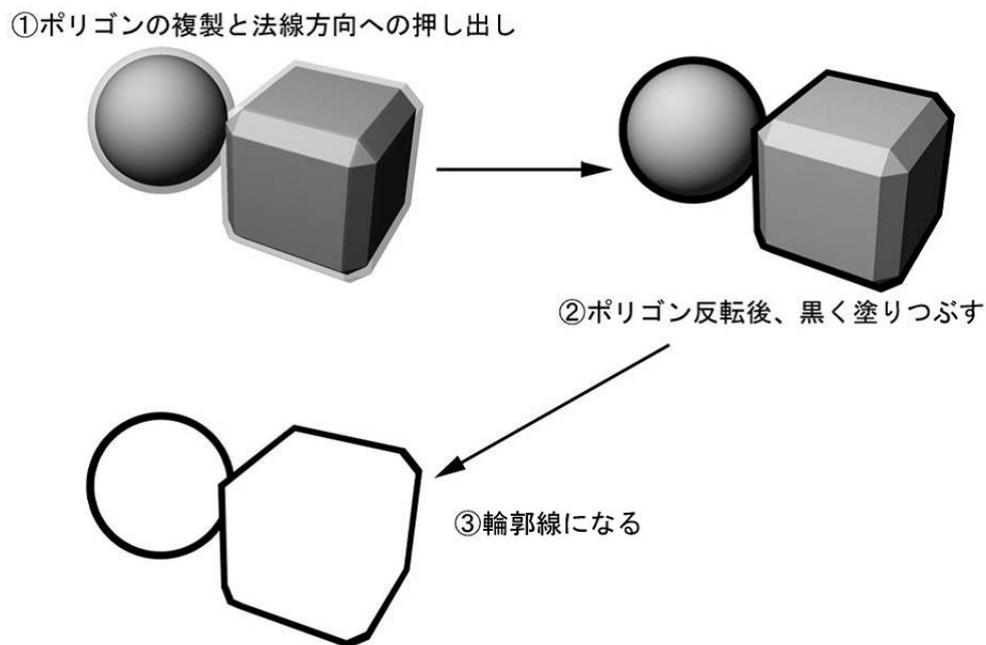


図 3.7: モデル押し出しによる輪郭線

次に、陰影についての解説を行う。写実的な画像を得るために用いる手法に phong シェーディングや lambert シェーディング [19] などがある。これらはモデル上の陰を滑らかなグラデーションで描画することができるが、NPR 特有の数諧調の陰は表現できない。そこで滑らかな陰をある明るさで区切り、その境界で色を切り替える処理を加えることで陰を数階調で表す。この手法のことをトゥーンシェーディング [3][20] と呼び、手描きアニメ特有の陰を表現することができる。図 3.8 にトゥーンシェーディングによる段階的な陰影を示す。

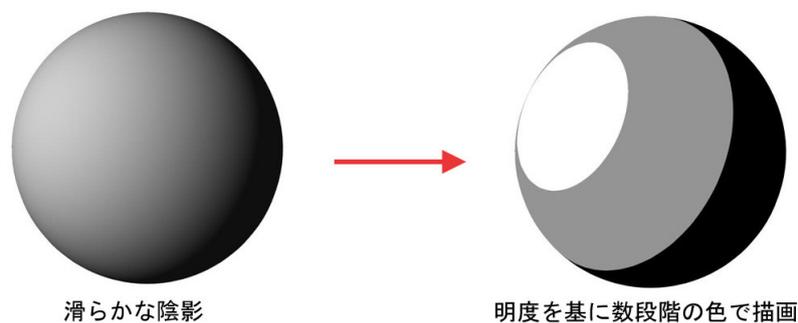


図 3.8: トゥーンシェーディング

3.3 3DCG による衣服の表現

3DCG で衣服を表現する場合に頻繁に用いるものとしてクロスシミュレーション [7] がある。クロスシミュレーションで用いる手法は多岐にわたっており、物体との衝突 [8] や物体にはさまれた場合の処理 [9] などの研究が盛んである。

図 3.9 は腕を曲げるアニメーションにおいてクロスシミュレーションを行ったものである。衣服のたゆみなどが表現できるが、第 2 章で解説したシワ線の表現を行うことが難しく、トゥーンレンダリングと組み合わせても意図したものとは違う結果になってしまうことがある。図 3.10 にクロスシミュレーションとトゥーンレンダリングを組み合わせた表現を示す。



図 3.9: クロスシミュレーションによる衣服の表現

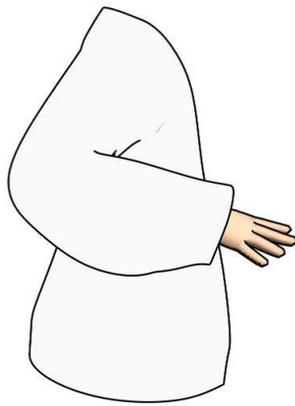


図 3.10: クロスシミュレーションと線の表現

第 4 章

シワ表現の提案

この章では、前章の手法などを用いてシワ線の描画手法の提案を行う。シワ線の描画と陰影の描画に分けて解説を行う。

4.1 シワ線の表現

本研究で提案するシワ線描画の手順は

1. シワ線となる動画テクスチャの用意
2. シワ線の数と同じ数の UV 座標の設定
3. スケルトンの設定
4. 動画テクスチャとスケルトンの角度のリンク
5. 伸び縮み表現のためのリンクの場合分け

となる。

まず、シワ線となる動画テクスチャを用意する。動画テクスチャとは、静止画テクスチャとは違い、時間に応じて動きのあるテクスチャである。図 4.1 は用意する動画テクスチャの動きを示したものである。

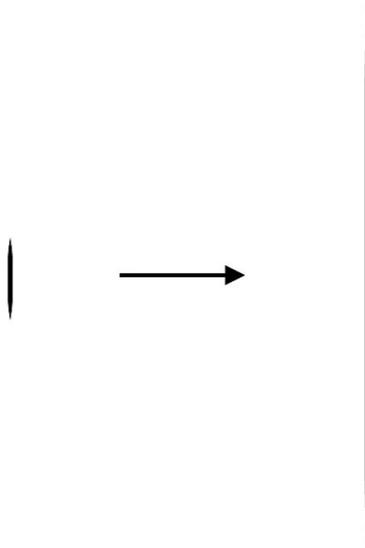


図 4.1: 動画テクスチャ

このテクスチャはただ 1 本の線が引かれるものであり、モデルに適用するとき
に複数の場所に宛がうことになる。この動画テクスチャによってシワ線の長さが
変化する様子を表現する。このテクスチャは直線を引いているだけであるが、後
の UV マッピングによって線の長さや曲がり方などの種類を増やしている。

次にシワ線を描画したいモデルを用意し、UV 座標を割り当てるためのパラメー
タ化を行う。用意した動画テクスチャは 1 種類であるため、描画したい線の数だ
け UV 座標を用意する必要がある。この UV マッピングを行う段階で直線のみ
の動画テクスチャからモデルの形状に応じてシワ線の曲がり具合や太さなどが決まる。
図 4.2 は複数の UV を設定している様子である。この UV マッピングによって、1
つの動画テクスチャから 2 つ以上のシワ線を描画することができる。

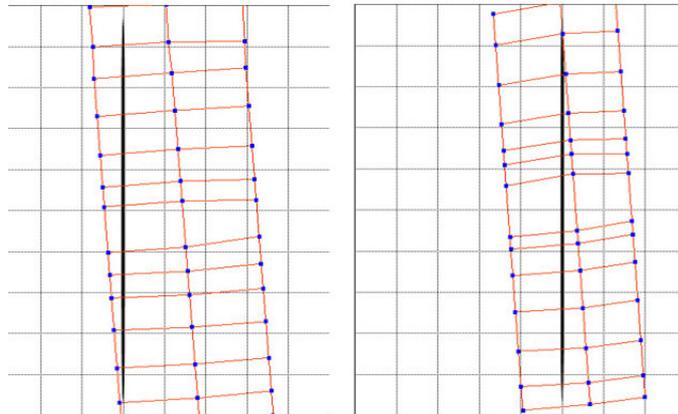


図 4.2: 複数の UV 座標の用意

パラメータ化により用意した各 UV 座標にシワ線となる動画テクスチャを適用する。図 4.3 は UV マッピングを用いて動画テクスチャを適用した状態である。直線だった動画テクスチャから、モデルの形状に応じて線の形状も変化している。

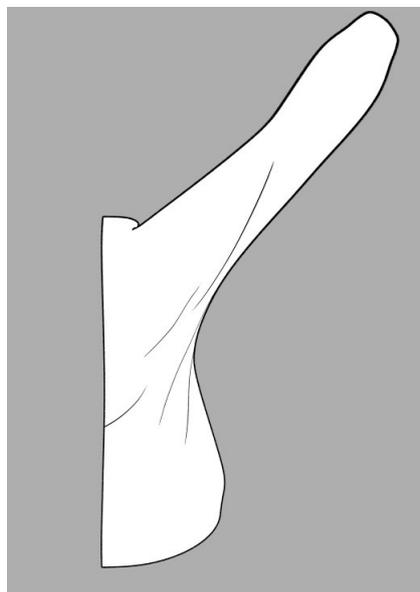


図 4.3: シワ線テクスチャの適用

パラメータ化をするときに、シワ線を出したい部分に気を配りながら設定する必要がある。第2章でシワ線の例をいくつか採り上げたように、シワ線が描画される位置はだいたい決まっている。そのため、極端に動く部分により多く適用したり、モデルの変形による線の移動を考慮したりなどの工夫が必要になってくる。

次にモデルを動かすためのスケルトンを設定する。このスケルトンの回転角度を用いて動画テクスチャの時間を制御する。図4.4は時間ごとの結果画像、スケルトンの状態、動画テクスチャの状態を示したものである。

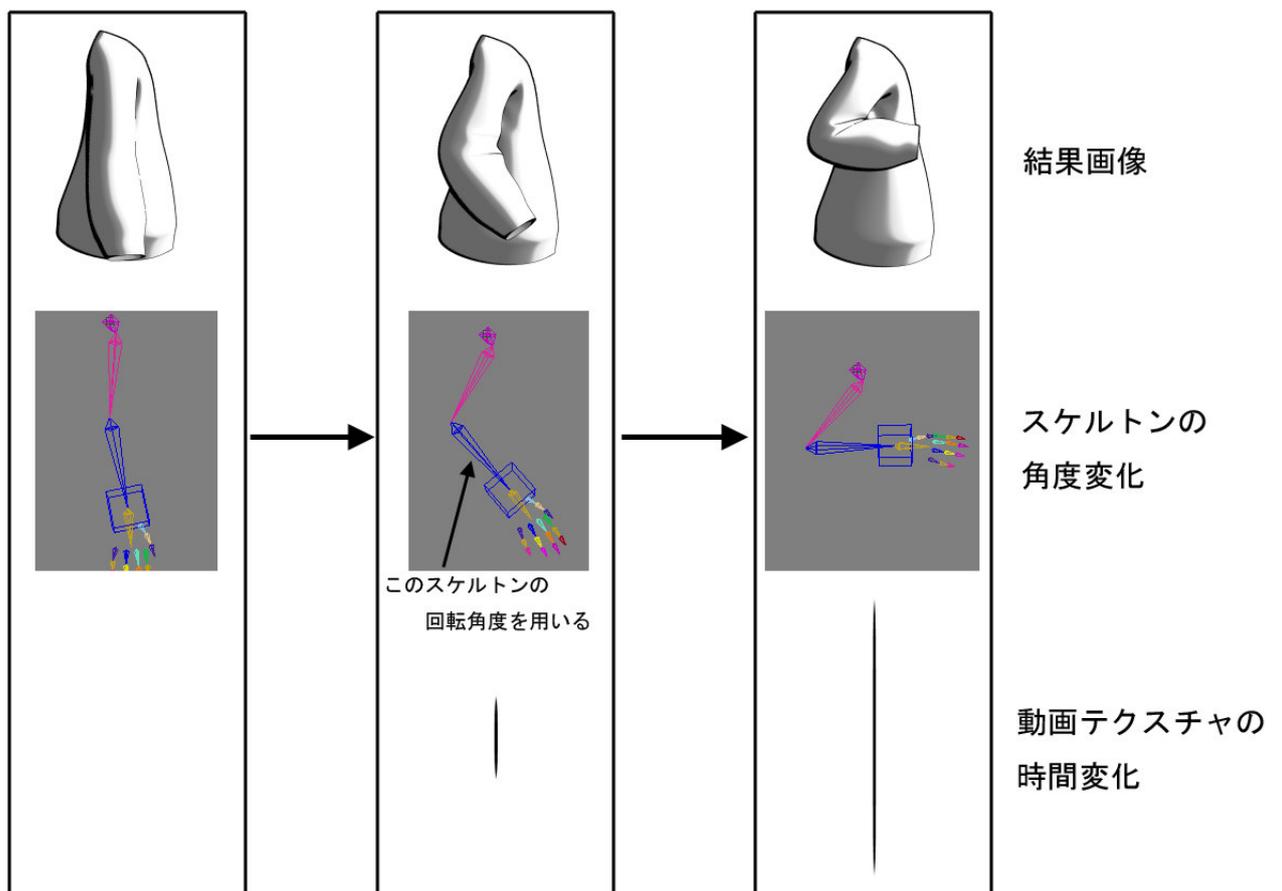


図4.4: スケルトンと動画テクスチャのリンク

今回用いている例では腕の上げ下げと、肘を曲げた時の伸縮が考えられるため、肩から肘にあたるスケルトンで肩周りのテクスチャ、肘から手にかけてのスケルト

ンで肘周りのテクスチャを制御することになる。肘周りのシワの場合を考えると、全く肘を曲げていない時に動画テクスチャで全く線が引かれていない状態、最も曲げた時に動画テクスチャで線が引かれきった状態とを対応づける必要がある。スケルトンの回転角度が0度から30度まで変化する間に、動画テクスチャの時間が0から300まで動くという例を考えると、0度 0、30度 300というようにキーとなる部分を対応づける。その間は相対的に変化させることでスケルトンの回転角度と動画テクスチャの時間をリンクさせることができる。

縮む場合と伸びる場合で描かれるシワ線が変化する場合は、縮む場合と伸びる場合とで少なくとも2つの場合分けをする必要がある。腕が上がった場合には、肩から下の引っ張られることによってできるシワが引かれ、腕が下りた場合には脇の布が密集することでできるシワを引くということが考えられる。この場合には腕が上がったときと下りたときで動画テクスチャの時間を反転させることで実現できる。さらに、シワ線の1本ずつで細かく時間をバラつかせることで、より手描きのシワ線描画に近づけることができる。

4.2 シワ線付近の陰影の表現

本研究の陰影表現では、2章で解説したトゥーンシェーディングを用いている。トゥーンシェーディングのみの陰影では、シワ線がテクスチャで描かれているため形状の隆起が起こらず、シワ線が無視した陰影になってしまう。図 4.5はその様子を示したものである。



図 4.5: シワ線の考慮されていないシェーディング

手描きアニメ等ではシワ線に沿って陰影が変化しており、シワの表現として重要な要素であることが見て取れる。本研究の陰影描画では、予めシワ線の動画テクスチャをボカしたものを用意し、そのボカした範囲をトゥーンシェーディングの陰部分となるように指定する。これにより生成した陰とトゥーンシェーディングのみの陰と重ね合わせることで陰影のゆがみを実現している。動画テクスチャのボカしは、画像処理で頻繁に用いるブラー処理 [17] などを用いて用意している。図 4.6 は基のシワ線とボカしをいれた動画テクスチャである。

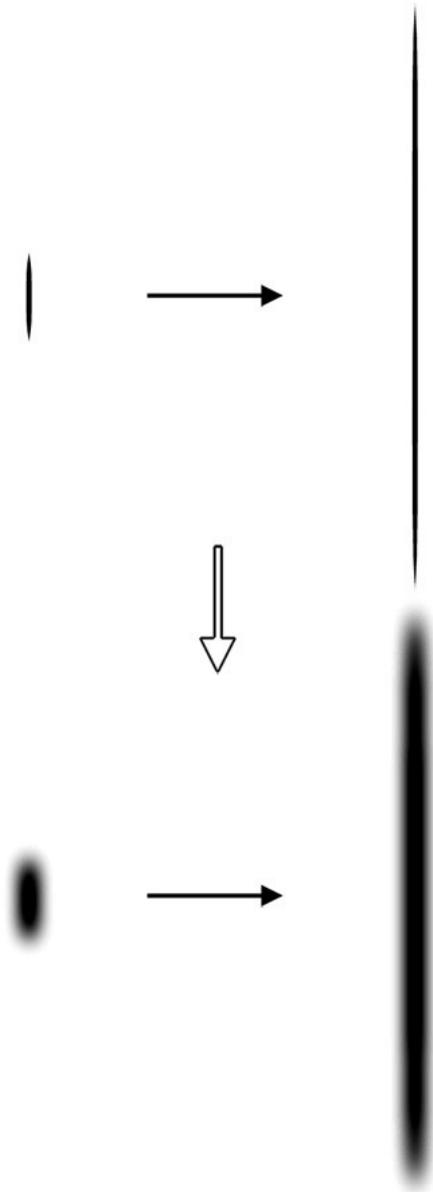


図 4.6: シワ線テクスチャのボカシ

このボカした動画テクスチャをシワ線のテクスチャと同様にモデルに貼り付け、スケルトンの回転角度とのリンクを行う。モデルに適用したものが図 4.7 であり、このボカした範囲と、トゥーンシェーディングのみで得た陰影を重ね合わせる。レイヤーを重ね合わせるようにすることで陰影の合成を行う。図 4.8 にその様子を示す。これによりスケルトンの動きに応じてシワ線と、その近辺の陰影を一緒に

歪ませることができる。図 4.9 にシワ線と陰影を組み合わせた様子を示す。

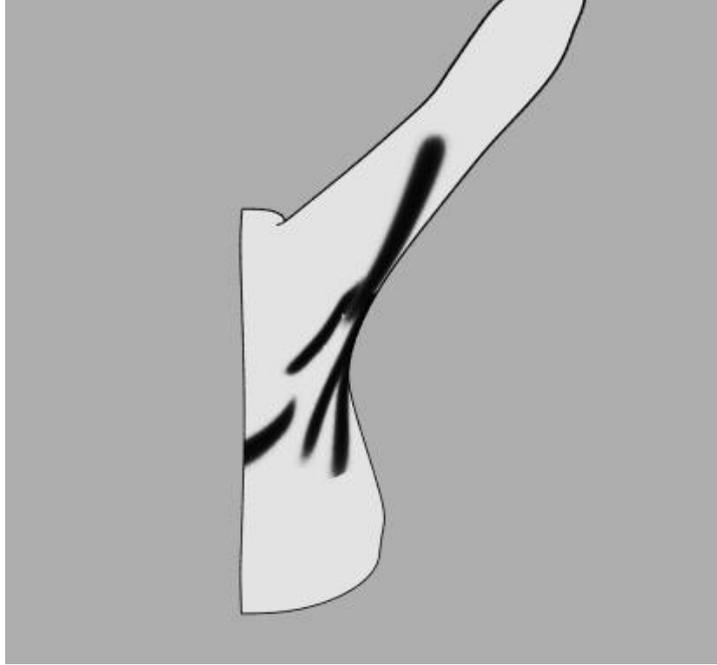


図 4.7: ボカシ動画テクスチャの適用

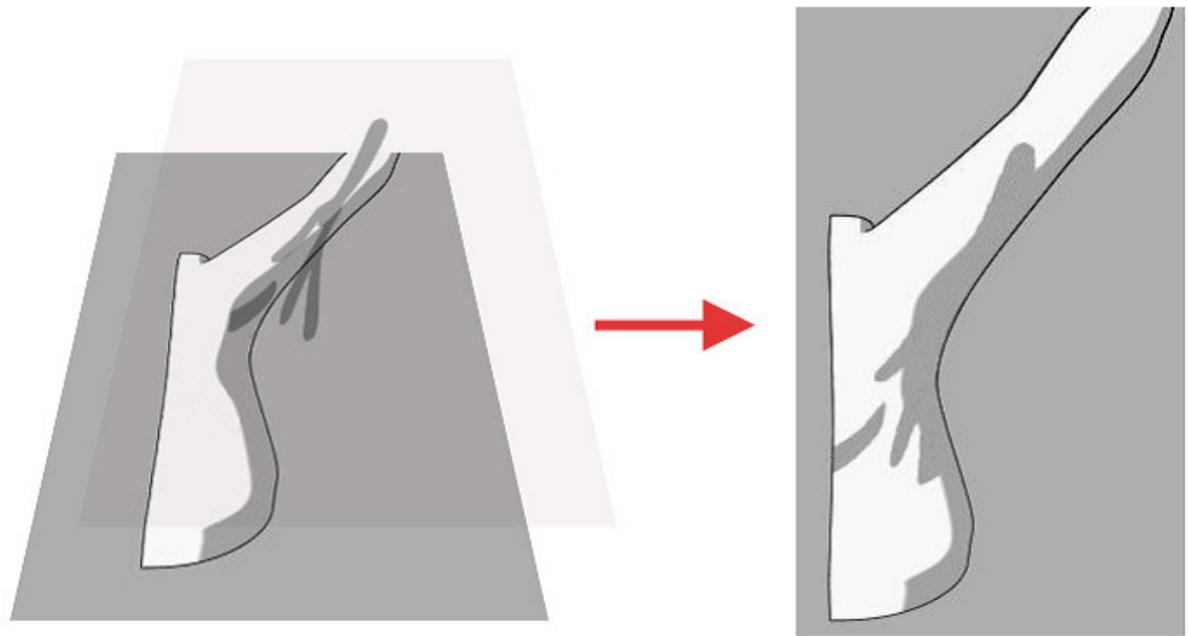


図 4.8: 陰影の重ね合わせ

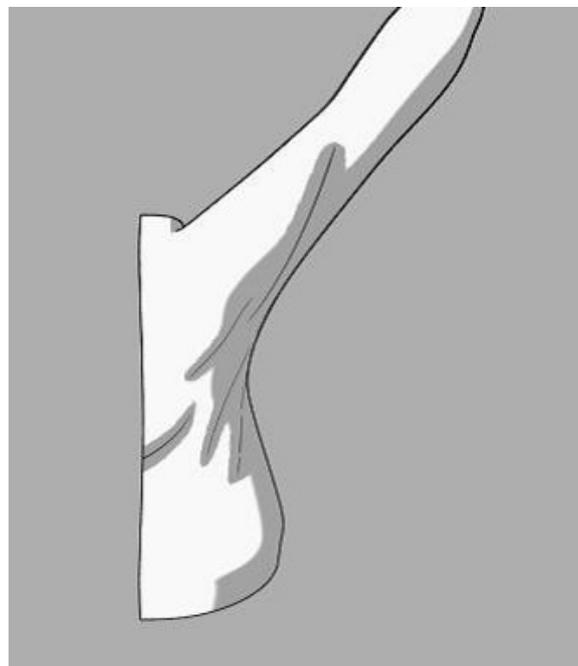


図 4.9: シワ線と陰影の表現

第 5 章

検証と課題

この章では、本研究で提案した手法を用いた場合にどれほど表現力が変化するかを検証する。手描きのシワ線との比較を行うことで、どのような差異があるのか、満足のいく結果が出ている部分、不足している部分の検証を行う。また、本研究で扱いきれなかった部分や、今後解決すべき課題などについて述べる。

5.1 手描きのシワ線との差異

まず、シワ線を動きに応じて変化させることを考えて作成した動画の一部を図 5.1 に提示する。

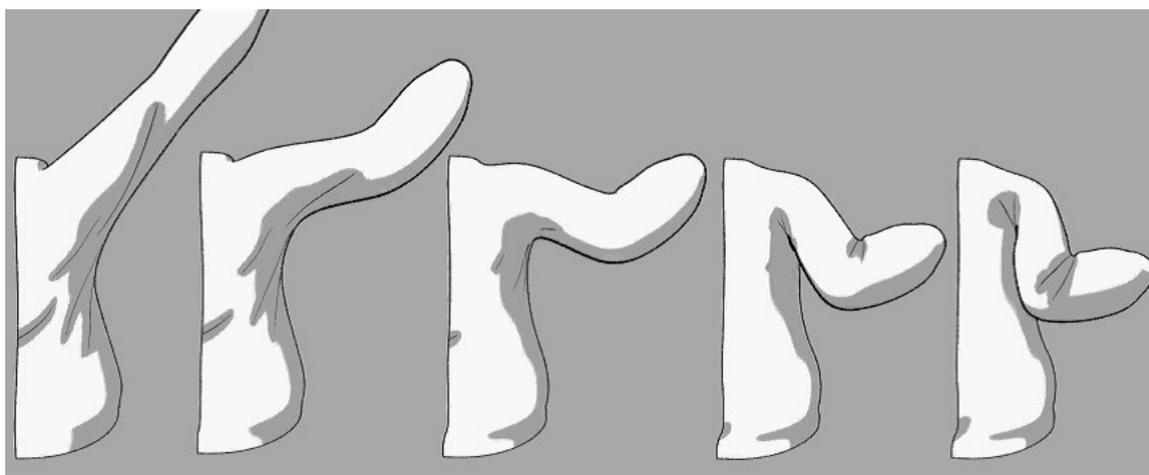


図 5.1: 作成した動画

この例では腕の上げ下げと肘の曲がり表現しており、曲がる量に応じて線の引かれ具合を調整できている。一度シワ線を適用してしまえば、後はシワ線のこととは考えずにアニメーションをつけることができ、レンダリングする際にスケルトンの角度がどのような状態かによってシワ線が自動で変化する。

図 5.2 に、腕が曲がる場合を例に手描きと 3DCG との比較画像を用意した。

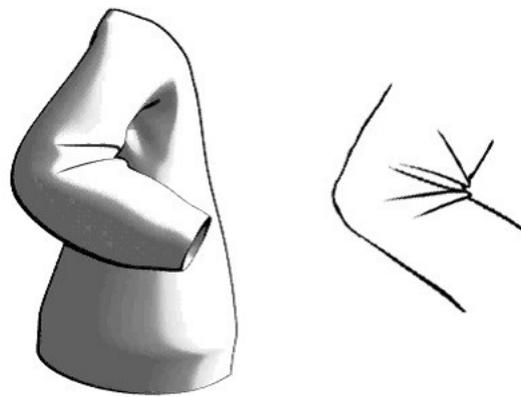


図 5.2: シワ線の比較

比較した結果、シワ線の引かれ方は手描きの線に近づけることができているが、線の数を変化させることが実現できていない。最も目に付く違いはシワ線付近のモデルの隆起である。実験ではモデルの変形にスケルトンのみを用いているため、シワ線付近の変形に乏しく、シワ線が浮いてしまっているようにも見えてしまう。手描きの線では、輪郭線とシワ線の区別のない部分があるが、3DCG では輪郭線の描画とシワ線の描画は別物であるため、モデル形状の変化とかみ合っていない部分が見られる。また、今回作成した動画では、腕の上げ下げで 2 通りの場合わけのみであるため、やや単調な印象を受けてしまう。

陰影についての比較を行った画像を図 5.3 に提示する。

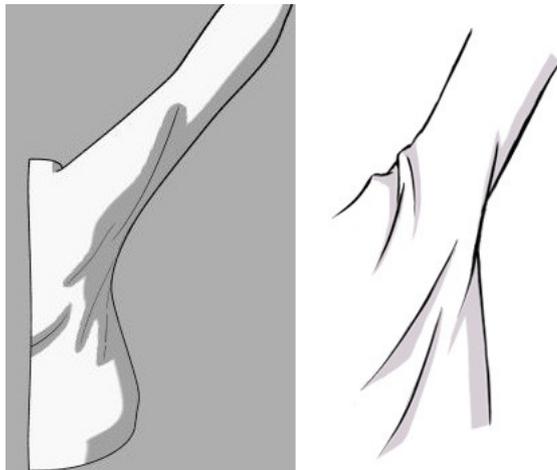


図 5.3: シワ線の比較

手描きアニメのように影の部分がシワ線に追従することが実現できた。問題はシワ線部分の陰にメリハリがなく、陰影とはわかりずらくなっている点である。手描きアニメの陰部分はトゲトゲしく描かれていることが多いが、3DCGで作成したものは丸みを帯びてしまっている。

5.2 課題

検証を行った結果、

1. シワ線の明滅に乏しい
2. シワ線付近のモデルの隆起、変化に乏しい
3. シワ線付近の陰影についてメリハリが感じられない

という問題があった。また、本研究では扱っていないが、実験を進めるにつれてシワ線を自動で描画できる仕組みの必要性を強く感じた。本研究手法ではシワ線を予め用意する必要があり、適用する部分も考えなければならない。しかし、手描き作品でのシワ線の描き方にはパターンがあるため、自動で描画できる仕組みが考えられればより使いやすいものになると考えられる。

第 6 章

まとめ

本研究では、手描き作品の特徴的な表現のひとつであるシワ線の描画法についてを扱った。ノンフォトリアリスティックレンダリングのひとつとして、漫画やアニメ作品に見られるシワ表現を 3DCG 上で実現することができた。

今回は動画テクスチャやスケルトンを用いて線の描画を行っているため、シワの動きを表現することに関しては比較的簡単であったが、シワ線付近のモデルの形状変化や、陰影部分のメリハリなどの課題も多く残ってしまっている。

現段階ではこのシワ表現を作品に取り入れることは難しいが、上記の課題が解決されることによって手描きの表現との差異が少なくなり、実際の作品制作に応用できるのではないかと考えられる。

謝辞

本研究を進めるにあたり、温かいご支援、ご指導をいただきました東京工科大学メディア学部の渡辺大地講師、その他多くの講師の方、院生の方々に心より感謝いたします。また、本研究を進める上で励ましをいただいた研究室のメンバーにも厚く御礼申し上げます。

参考文献

- [1] 佐藤陽悦, 藤本忠博, 村岡一信, 千葉則茂,
“ポリゴンベース幾何モデルの水墨画調レンダリング法”,
情報処理学会 研究報告 グラフィクスとCAD, 2001.
- [2] 星野隆, 土橋宜典, 山本強,
“雲の絵画調アニメーション”,
情報処理学会 研究報告 グラフィクスとCAD, 2004.
- [3] Johan Claes, Fabian Di Fiore, Gert Vansichem, Frank Van Reeth.
“Fast 3D Cartoon Rendering with Improved Quality by Exploiting Graphics
Hard-ware”,
Image and Vision Computing New Zealand (IVCNZ) 2001 , pp. 13-18, 2001.
- [4] YAMATOWORKS, カクレンボ, 2005.
- [5] 士郎正宗/青心社・アップルシードフィルムパートナーズ,
APPLESEED, 2004.
- [6] バンダイビジュアル株式会社,
FREEDOM, 2006

- [7] 株式会社ワークスコーポレーション,
CGWORLD 2005 年 12 月号,
株式会社ワークスコーポレーション, pp.40-43.
- [8] Robert Bridson, Ronald Fedkiw, John Anderson,
“Robust Treatment of Collisions, Contact and Friction for Cloth Animation”,
SIGGRAPH 2002.
- [9] David Baraff, Andrew Witkin, Michael Kass,
“Untangling Cloth”, SIGGRAPH 2003.
- [10] 株式会社バンダイナムコホールディングス,
DRAGON BALL Z Sparking! NEO, 2006.
- [11] 株式会社バンプレスト,
THE BATTLE OF 幽 遊 白書 ~死闘! 暗黒武術会~ 120 %, 2007.
- [12] 株式会社ワークスコーポレーション,
CGWORLD 2006 年 7 月号,
株式会社ワークスコーポレーション, pp.130-133.
- [13] 中村成一, 人を描くのって楽しいね,
<<http://www.asahi-net.or.jp/~zm5s-nkmr/hitoFiles/clothes3.html>>.
- [14] 菅野博士, 唐沢よしこ,
快描教室, 株式会社美術出版社, pp.44-49, 1997.
- [15] 山猫有限会社, ワークスコーポレーション エデュケーション編集部,
マンガのしくみ, 株式会社ワークスコーポレーション, pp.80-81, 2006.

- [16] CG-ARTS 協会, コンピュータグラフィックス,
財団法人 画像情報教育振興協会 (CG-ARTS 協会),
pp.146-151,180-181, 2004.
- [17] 今給黎隆, DirectX9 シェーダプログラミングブック,
毎日コミュニケーションズ, pp.367-369,464-470, 2004.
- [18] 株式会社ワークスコーポレーション,
CGWORLD 2006 年 6 月号,
株式会社ワークスコーポレーション, pp.86-89.
- [19] 小笠原祐治, C++による簡単実習 3次元 CG 入門,
森北出版株式会社, pp.39-45, 1999.
- [20] Ken-ichi Anjyo, Shuhei Wemler, William Baxter,
“Tweakable Light and Shade for Cartoon Animation”,
In the proceedings of NPAR 2006, pp.133-139, 2006.