

2002年度卒業論文

リアルタイム3DCGにおける
米国漫画調レンダリングに関する研究

指導教員：渡辺 大地

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 99p238

鈴木 隼人

2003年3月

2002年度 卒業論文概要

論文題目

リアルタイム 3DCG における
米国漫画調レンダリングに関する研究

メディア学部

氏

鈴木 隼人

主査

渡辺 大地

学籍番号: 99p238

名

副査

若林 尚樹

キーワード

リアルタイム 3DCG、NPR、セルシェーディング、米国漫画

近年、写実的ではなく、油絵調や鉛筆画調、セル画調等の一般的に人の手によって描かれている画像を3DCGを用いて再現するノンフォトリアリスティックレンダリング(NPR = Non-Photorealistic Rendering)の研究が盛んに行われている。その中でもセル画調の画像を表現するセルシェーディングという技術はよく用いられている。最近ではハードウェアの進化などによりリアルタイム 3DCG によるセルシェーディング処理が可能となり、ゲームなどのリアルタイムでインタラクティブに画像を動かすことが必要とされる分野にも用いられるようになってきている。

本論文では米国漫画（アメリカンコミック、俗に言う「アメコミ」）にセル画との共通点が多い事に着目し、セルシェーディングの技術を応用してリアルタイム 3DCG を用いて米国漫画調の画像を表示する方法を考察し、実現方法を述べる。

目次

第1章	はじめに	1
第2章	米国漫画とは	2
第3章	セル画調と米国漫画の違い	3
3.1	セル画調と米国漫画調の表現方法の違い	4
3.2	各表現手法の適正	4
第4章	米国漫画の特徴	5
4.1	米国漫画の分業制	5
4.2	米国漫画の絵柄の特徴	6
第5章	セルシェーディング	11
5.1	色の2階調化	11
5.2	輪郭線の表示	14
第6章	米国漫画調レンダリング	17
6.1	米国漫画調の斜線の表現方法	19
6.2	MIPMAPによる斜線の太さ調整	21
6.3	材質による陰影表現の区別	22
第7章	評価と現状での問題点	24
第8章	むすび	25
謝辞	25
参考文献	26
画像の転載	27

第1章 はじめに

以前、3DCG は、より写実的でリアルな画像を生み出す事を主眼に置いて研究されてきた。しかし、近年では写実的でリアルな表現という点では、ある程度の成果が得られ、実写映像と比較しても遜色のない画像を生み出せるようになってきた。

写実的な表現がある程度達成されたことにより、それとは別の表現方法を生みだそうという経緯や、ハードウェアの進歩により複雑な処理が出来るようになったという事から、写実的ではない、油絵調や鉛筆画調、セル画調等の一般的に人の手によって描かれている画像を 3DCG を用いて再現しようと言う「ノンフォトリアリスティックレンダリング(NPR = Non-Photorealistic Rendering)」という技術の研究が盛んに行われるようになってきている [1][2][3][4]。3DCG を用いるため、油絵調や鉛筆画調の画像を、あらゆる角度から見られるようになる事や、一度モデルを作ってしまう後はコンピュータが自動で描画してくれる等と言った様々なメリットがあるため、芸術分野や、ゲームやアニメといったエンターテインメントの分野でも需要がある。

その中でも近年、作画作業の簡略化や制作コストの削減、滑らかな動きのアニメーションを制作するために 3DCG を用いてセル画調のグラフィックを再現する「セルシェーディング」又は「トゥーンシェーディング」と言う技術が実際に使用される事が多くなっている。この技術は、普通の 3DCG では実写画像のように滑らかな陰影になるようにシェーディングするところを、陰影をセル画のように 2～3 階調の色の違いで表現するようにシェーディングし、輪郭や素材の境目などに黒い縁取りをして、セル画の絵のように表現する技術である。最近では、ハードウェアの進歩により、リアルタイムでセルシェーディング処理が可能になった。リアルタイムセルシェーディングの研究として [5] [6] 等がある。この様な研究の成果として、セルシェーディングの技術はゲームなどにも用いられるようになってきた。セルシェーディングを用いたゲームの代表的な物に、セガの「ジェットセットラジオ」や、コナミの「ときめきメモリアル3」などがある。これらのゲームでは、プレイヤーの操作によってリアルタイムで動かすことができる 3DCG をセルシェーディング処理することにより、あたかもアニメのキャラクターを自分で動かしているように感じることが出来る。

今まで、3DCG を用いて作られたマンガやアニメのキャラクターを使ったゲームは、デフォルメされたキャラクターにリアルな質感のシェーディングを施した結果、フィギュア

のような見た目になってしまい、違和感を覚えることがあった。しかし、このセルシェーディングという技術をゲームに用いたことにより、実際は3DCGであっても見た目はセル画調で表すことが出来るため、この様な違和感が出る事が無くなりゲームとしての表現の幅も広がった。

セルシェーディングを用いて表現できるのは、基本的にはセル画調のアニメ絵だけである。しかし、この技術を応用してセル画調の画像という目的以外にも使われる場合もある。セルシェーディングは、色を単純化し輪郭線を強調するため、物体の見た目の特徴を掴みやすいという点から、工業製品のテクニカルイラスト [7] などの分野でも使用されることがある。この際、陰影の色の階調を無くして、素材の色単色で塗りつぶすようにすることが多い。タイトーの「ラクガキ王国」では、陰影処理にはセルシェーディングを用いながら、輪郭線を鉛筆画調に加工することにより、手書きのイメージを出すことに成功している[8]。この様に、基本的にはセル画調の絵を表現する技術ではあるが、応用次第で他にも様々な使い道が考えられる。

近年、「X-MEN」や「スパイダーマン」と言った作品の映画化で、日本でも米国漫画が注目され始めている。迫力のあるアクションシーンや、全編フルカラーで描かれているなど、日本の漫画とは違う独特の雰囲気を持っている点も人気の理由となっている。米国漫画とセル画調の絵では様々な相違点があるが、色が単純化されている点や、輪郭線が描かれている点など、共通点も多く存在する。この点に着目し、セルシェーディングの技術を応用し、米国漫画調のグラフィックを表現する手法を開発した。

本論文では、以下第2章では、本論文で扱う米国漫画長とは何かを述べる。第3章では、セルシェーディングを応用して米国漫画調を再現するためにセル画調と米国漫画調の違いについて記し、それぞれの表現手法の向き不向きについて述べる。第4章では、米国漫画調の絵柄の特徴について述べる。第5章では、セルシェーディングの技術解説をする。第6章では、セルシェーディングを応用し米国漫画調を再現する手法と本手法の有用性を述べる。第7章では本手法の評価と現状での問題点を示し、今後の発展を述べる。

第2章 米国漫画とは

この論文で扱う米国漫画調とは何か、はっきりと定義づけるために米国漫画の歴史を簡

単に説明する。米国漫画の歴史をさかのぼると100年以上前の作品に辿り着く。1896年、アメリカのニューヨーク・ワールドという新聞紙で「Yellow Kid」という漫画が掲載された。これが米国漫画の起源といわれている。1938年、「スーパーマン」が誕生し、現在、米国漫画で主流となっているスーパーヒーロー物という概念が生まれた。この1938年から1945年までは米国漫画のゴールデンエイジと呼ばれている。その後、米国漫画は一次衰退し、1956年から1969年に再び訪れた黄金時代をシルバーエイジ、そして現代をモダンエイジと呼んでいる [9][10]。

ゴールデンエイジの頃の米国漫画は1ページに同じ大きさの長方形の12コマという、きっちりとされていて新聞連載漫画の様なコマ割りで描かれていた。迫力のあるアクションシーンであっても、この小さいコマに描かれていたため、こぢんまりとした感がぬぐえなかった。シルバーエイジの頃の作品になると、基本的には1ページあたり12コマではあるが、アクションシーンになると大きなコマを使うなど、変化が見られる。そして現代のモダンエイジの作品では、日本の漫画に影響を受けたアーティストが作品を手がけるようになり、1ページ基本は4～5コマ、大きなコマや見開きのコマなど、自由なコマ割りとなってきていて、より迫力のある絵となってきている[9][10]。

スーパーマンの誕生以降、米国漫画には「バットマン」「キャプテンアメリカ」「スパイダーマン」「X-MEN」「SPAWN」等と言ったスーパーヒーローが沢山誕生してきた。現在でもこういったスーパーヒーロー物以外の作品も残ってはいる物の、一般的に米国漫画というとスーパーヒーローの活躍の話というイメージが強くなってきている。

今回、米国漫画調レンダリングの研究をするに当たって意識したのもこのスーパーヒーロー物の米国漫画である。年代による画調の違いなども考慮し、本論文で言う米国漫画調とはシルバーエイジ以降のスーパーヒーロー作品のような画を調指すことにする。

第3章 セル画調と米国漫画の違い

セルシェーディングを応用して米国漫画調のレンダリングをするには、まずセル画調の絵と米国漫画調の絵柄の違いを理解する必要がある。そこで、それぞれの特徴を調査・比較する。

3.1 セル画調と米国漫画調の表現方法の違い



図 3-1 セル画



図 3-2 米国漫画

セルシェーディング処理で重要になるのは、陰影の表現と輪郭線である。まずセル画調の絵（図 3-1）は、陰影は基本色と陰の部分の色の 2 階調またはハイライトを含めた 3 階調で表現されていて、輪郭線は比較的細くなっている[11]。米国漫画調の絵（図 3-2）は、色はセル画調のように陰の部分やハイライトの部分が違う色になっている場合もあるが、基本的に 1 色でベタ塗りされていて色による陰影の処理はされておらず、陰の部分は斜線やスミベタで表現されており、輪郭線はセル画調の絵に比べると太くなっている[12]。この比較により、セルシェーディングを応用し米国漫画調の絵を再現するためには、大きく分けて 3 つ

- (1) 基本色と陰の色などを分けずに 1 色で塗りつぶす様にする
- (2) 陰影を斜線やスミベタを用いて表現するようになる。
- (3) 輪郭線を太くする

という事が必要になることがわかる。

3.2 各表現手法の適正

セル画調と米国漫画調の表現手法の適正を比較すると、表情の表現と動きの表現に与える効果の違いを見ることができる。セル画調はデフォルメされたキャラクターを表情豊かに表現することに適しているが、力強さやスピード感を表現することには効果はなく、米国漫画調はリアルな頭身で細かく描き込まれたキャラクターを全身の動きを用いて力強

くスピーディーに表現するといった用途に適しているが、その反面、顔の表情を表現することには向いていない。この根拠として次のような点が挙げられる。

セル画調は陰影を2～3の色だけで表現するため平面的に見え、筋肉などの細かい描き込みには向いていないが、余計な線が少ないためデフォルメされたキャラクターを表現する事には向いている。そのためデフォルメされたキャラクターの表情を表現しやすい。

米国漫画調は陰影の強さによって様々な斜線やスミベタを用い輪郭線に強弱がついているため、細かい描き込みにより立体感も得られ、筋肉などの隆起を強調することができ、リアルなキャラクターを用いて力強い動きやスピード感を出すことに向いている。反面、斜線を沢山用いるために簡潔にデフォルメされたキャラクターを描くには線などの情報量が多すぎ、あまり向いているとは言い難い。リアルなキャラクターにはリアルなモーションが合っているのだが、米国漫画調はセル画よりもリアルな描き込みが出来るとは言っても写実的ではないので多少誇張したモーションで動かしてもそれほど違和感を覚えることがないため、力強くスピード感のあるモーションを用いることができる。

このような理由により、セル画調はキャラクターの顔を表情豊かに表現することに効果があり、米国漫画調はキャラクターの動きを力強くスピーディーに見せることに効果があるといえる。

第4章 米国漫画の特徴

米国漫画調レンダリングを実現する上で、セルシェーディングとどのように違うのかと言う点については前章で述べた。この章では米国漫画の特徴を更に詳しく述べる。

4.1 米国漫画の分業制

まず米国漫画の絵柄にも関わってくる点でもあり、米国漫画の最大の特徴といえるのが分業制である。日本の漫画は基本的に漫画家がストーリーを考え、漫画家が絵を描くという風に、アシスタントなどが手がける部分もあるが基本的には漫画家一人で作品を制作している。それに対し、米国漫画は日本の漫画とは違い、漫画家が自分でストーリーを考え、自分で漫画を描くという形式ではなく、シナリオ・下書き・ペン入れ・色塗り等を別の人が行う、分業制が取られていることが多い[13]。分業構成は、以下に述べる構成が一般的

な物である。

エディター：日本で言う編集者

ライター：シナリオを書く人。

ペンシラー：作画担当。ペンシラーという名前が示すとおり、鉛筆での下書きをする。

作品の絵柄はこのペンシラーに因るところが大きい。

インカー：ペンシラーの描いた下絵にペン入れをする人。

カラリスト：色塗り担当。ペン入れの終わった原稿に色を塗っていく。

基本的には手塗りだが、最近ではデジタル彩色も多くなってきている。

レタラー：吹き出しの中の文字を書く人。

米国漫画は日本の漫画と違い吹き出しの文字も手書きである。

ただ、最近ではこの作業もデジタル化が進み、手書き風のフォントをコンピュータを使い打ち込むという形になりつつある。

基本的にはこの様な分業制が取られている。しかし中には日本の漫画家のように作画からペン入れまで一人でこなす場合もあり、そのような作家はアーティストと呼ばれることもある。また、著作権は基本的に出版社が所有しているので、同じ作品でも話によって描く人が変わると言うことが多々ある。このような業界、業種のシステム上、米国漫画作品の絵は非常に似た絵柄で固まっており、日本の漫画ほど作品ごとの絵柄の差は無い。そのため、この論文でも米国漫画調という風に、全てを一括りでまとめられることが可能であると言える。

4.2 米国漫画の絵柄の特徴

次に実際に米国漫画の絵柄の特徴を述べる。前章で米国漫画の特徴として

- (1) 色は基本的に1色で塗られている
- (2) 陰影は斜線やスミベタで表現されている
- (3) 輪郭線が太い

と言う点を上げた。これを1つずつ詳しく検証する。



図4-1 単色塗りの米国漫画

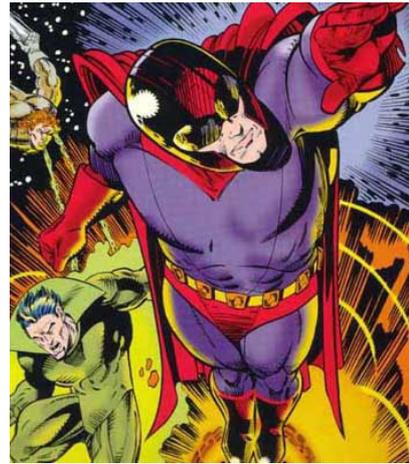


図4-2 グラデーションのかかった米国漫画

まず始めに色についてだが、基本的に一色で塗られていると上に書いた。これは、色による陰影の表現はしていないという事である。図4-1を見てみると、青い部分は青1色、赤い部分は赤1色で塗りつぶされているのが分かる。これは作業の単純化によるコストの削減のためにこの様な形式になったと言う事である。人気作品などの資金を掛けられる作品の場合は色による陰影の処理をする物も以前からあった。

前述の分業化の説明の中で、「最近ではデジタル彩色も多くなってきている」と書いたが、このデジタル彩色の影響で、米国漫画の色についても多少事情が変わってきている。図4-2を見ると光が当たっている部分は黄色くなっており、筋肉などの影になっている部分は濃い色でグラデーションになっているのが見て取れる。デジタル彩色を導入した事により、この様な色の表現も容易に出来るようになったため、最近では、この様に一色で塗りつぶしという形ではなく、明るいところは明るい色で、暗いところは暗い色でと言った、色による陰影の表現をする作品も増えてきている。

色による陰影の表現は、表現の幅を広げる事に大いに役立つのだが、カラリストによっては、無闇に沢山の色を使ってしまい、多少うるさい印象を与える絵になってしまう事もある。この論文では、基本的に昔ながらの1色での塗りつぶしという絵柄の方を再現の対象とする

次に、斜線やスミベタによる陰影の表現である。米国漫画を表現するために一番重要となってくるのがこの部分である。



図 4-3a



図 4-3b



図 4-3c



図 4-3d

図 4-3 a 線画、b スミベタ、c 斜線、d スミベタ+斜線

上の図 4-3a は陰影の表現をしていない線画のみの状態の物である。図 4-3b はスミベタによる陰影処理を施した物である。陰影処理をしていない物に比べて立体感が出ていると共に力強さや迫力などが感じて取れる。図 4-3c は斜線による陰影処理を施した物である。これも陰影処理をしていない物と比べると立体感が出ているし、スミベタによる陰影処理の物と比べると力強さや迫力といった面では劣る物の、人間の柔らかさがうまく表現できている。図 4-3d はスミベタと斜線両方を用いての陰影処理を施した物である。2つの処理を取り入れる事によって、有機物である人間の柔らかさを表現すると共に、筋肉の堅さや力強さ、迫力も表現することに成功している [14]。

この様に、スミベタと斜線による陰影処理を行う事によって米国漫画らしさを出すと共に、立体感や力強さなどを強調できる。



図 4-4 金属の表現

スミベタと斜線という米国漫画において併用されている2つの技法だが、描く物体によって使用方法に違いが見られる。図 4-4 では、キャラクターの肉体部分には斜線がふんだんに使われているが、キャラクターが持っている鉄パイプはスミベタだけが使われている。この様に、スミベタと斜線は併用されてはいる物の、

スミベタ：金属などの無機質で硬い物によく使われる

斜線：人間の肉体や、服など、柔らかい物によく使われる

といった風に、描く物体によってどちらがより効果的かを考え、使い分けている。ただ、完全に金属にはスミベタ、肉体には斜線と決めつけているのではなく、金属でも斜線を使った方が効果的な場面では斜線を使用する場合もあり、肉体でも陰を強調して迫力を出すといった目的から陰の暗い部分にはスミベタを使う場合も多い。



図 4-5 人体構造に基づいた斜線

斜線による陰影の表現で一番重要となるのが、斜線の引かれる方向である。図 4-5 を見ると、斜線は陰の暗い方から明るい方に向けて引かれているのが分かる。しかし、単純に暗い側の辺から垂直に斜線が引かれているわけではない。人間の筋肉の構造や流れに沿ってバランスの良い角度に斜線が引かれているのである[12]。

しかし、人体の構造以外でも斜線の傾きを決める手段が無いわけでもない。脚の部分は足のつけ根の方向に、腕の部分は腕の先の方向に向けて線が傾いている傾向にある。また、胸や腹部などは身体の中心線に向けて引かれる事が多い。多数の米国漫画の絵を見た結果、この様な向きで斜線が引かれている事が多かったが、これは実際には人体の構造を考慮した結果であることが伺える。プログラムの自動で斜線の向きを決めさせる場合、人体の構造を考えるより、この統計的な物から得られた斜線の向きを考慮する方が容易に表現できると考えられる。もちろん光源の位置によって陰の部分も変わるため、その影響で斜線の向きが変わる事もある。

最後に輪郭線が太いという点であるが、線を太くする事によって絵に力強さがでる。また、ただ太いだけではなく、線の太さに強弱を付ける事によりメリハリが生まれている。陰となる部分は他の部分より更に太く見えるが、これはスミベタによる陰の表現と重なる

ためである。これらの点さえ再現できれば、一般的なイメージの米国漫画調の画像を再現することが出来る。

米国漫画の特徴として、他に重要となる点がいくつかあるので書き記しておく。1つは、登場キャラクターは皆、筋肉が発達していて逆三角形の体格をしているという点である。しかし、これは 3D モデルをモデリングする段階で解決できる事であり、今回の研究の中で特に気にしなくても良い点でもある。また、米国漫画では擬音のタイポグラフィを画面いっぱい描くという手法がよく用いられる。この表現も米国漫画には欠かせない物であるが、これも今回の米国漫画調レンダリングという研究と直接関わるものではない。しかし、キャラクターのモデリングの際、逆三角形の体格になるように心がけ、又、特殊効果として擬音のタイポグラフィを画面に表示させるなどすれば、より本物の米国漫画のようになるだろう。

第5章 セルシェーディング

この論文では、米国漫画調レンダリングを実現するために、セルシェーディングを応用する。そのため、まずはセルシェーディングについて説明する。

セルシェーディングとは 3DCG をセル画調にレンダリングする技術であり、当初は、手描きでは困難とされる滑らかに動くセル画調のアニメーションを 3DCG を用いて制作すること、及び、手描きの作画作業の手間を省くといった目的で使用されていた物である。

以前は、普通のレンダリングに比べ処理に時間がかかる事から、そのような目的に利用されていたが、近年ではハードウェアの進歩により、リアルタイムで処理する事が出来るようになり、ゲームなどにも応用されるようになってきている。

セルシェーディングでは主に

- (1) 色の階調をセル画のように 2 色程度にする。
- (2) 輪郭や素材の境目に線を引く

という 2 つの処理を行い、セル画調のグラフィックを表現している。

5.1 色の 2 階調化

まず、色の 2 階調化である。一般的なシェーディングにおいて、平行光源による物体の

明るさの計算には「Lambert の余弦則[15]」が使用される。これは物体の任意の頂点の法線ベクトルと平行光源の逆方向ベクトルを用いて任意の点の明るさを計算する方法である。

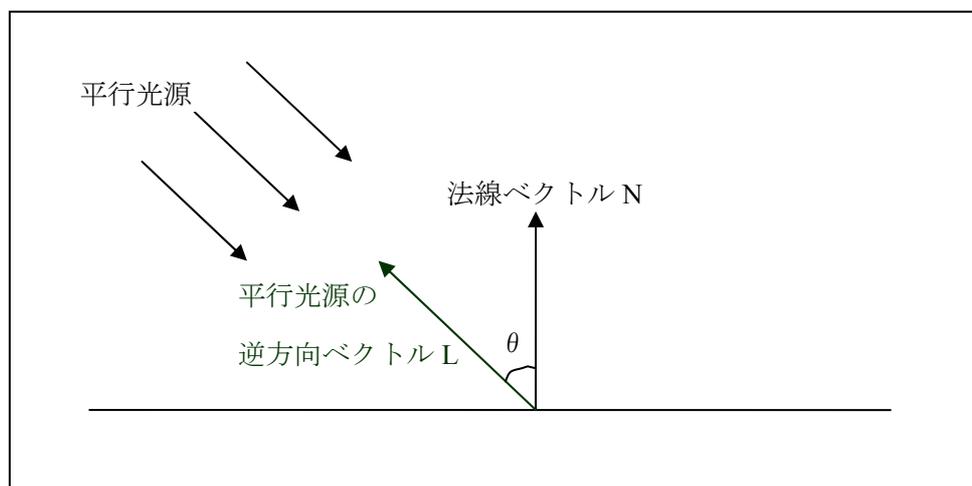


図 5-1 Lambert の余弦側

図 5-1 の様に、任意の点の法線ベクトルを N、平行光源の逆方向ベクトルを L、ライトの入射角を θ 、ライトの強さを I_p とし、その物体の拡散反射係数 k_d を 0.0~1.0 の間の値で適当に決めるとき、表面の輝度 I_d は

$$I_d = k_d * I_p * \cos \theta \cdots \text{【I】}$$

上記の【I】式で求められる。 $\cos \theta$ は単位法線ベクトル N と、平行光源の逆方向ベクトル L の内積で求まるので

$$I_d = k_d * I_p * (L \cdot N) \cdots \text{【II】}$$

上記の【II】式と置き換えられる。この様に、平行光源下での物体の任意の頂点の明るさは、頂点の法線ベクトルと平行光源の方向ベクトルから求める事が出来るのである。内積は2つのベクトルの向きが重なった時に最大となり、正反対の方向を向いた時に最小の値となる。ようするに、この式は平行光源の向きに対して正面を向いている面は明るくなり、反対を向いている面は暗くなるという事を表しているわけである。

この式を用いて物体の明るさを計算した場合、滑らかなグラデーションのかかった陰影

となる。この滑らかな陰影を、明るい部分と暗い部分との2値に分ける事により、セル画調の色調表現を再現する事ができる。この明るい部分と暗い部分をどのようにして分けるかと言う点が、セルシェーディングにおいて重要となってくるわけだが、リアルタイムで処理する場合、一般的に、照度の情報を持たせた一次元テクスチャーを使用する方法をとっている。



図 5-2 照度情報のテクスチャー

図 5-2 が照度の情報を持たせた一次元テクスチャーである。これを用いてセルシェーディングの色調表現を行うには、

- (1) 【II】式を使いセルシェーディングを行うモデルの各頂点の照度を求める。

尚、この際、拡散反射係数 k_d と光の強さ I_p は任意の定数なので1と置くことで計算しなくてよくなる。結果、照度は頂点の法線ベクトルと平行光源の逆方向ベクトルの内積で表せる。

- (2) 求められた照度は内積であるため $-1.0 \sim 1.0$ の範囲で表される。

これを2で割り0.5を加える事によって $0.0 \sim 1.0$ の値に変換する。

この値を頂点のテクスチャー座標のX座標に対応させる。

- (3) このテクスチャー座標を元に一次元テクスチャーを貼り付ける。

という処理をする。この処理により、一次元テクスチャーのもつ照度の情報が任意のモデルに割り当てられる事になる。図 5-2 のテクスチャーは照度が2階調になっているため、セル画のような色調表現が出来る。

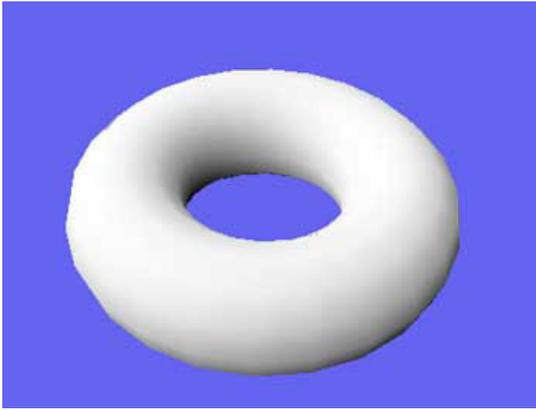


図 5-3a Lambert の余弦則を用いた画像

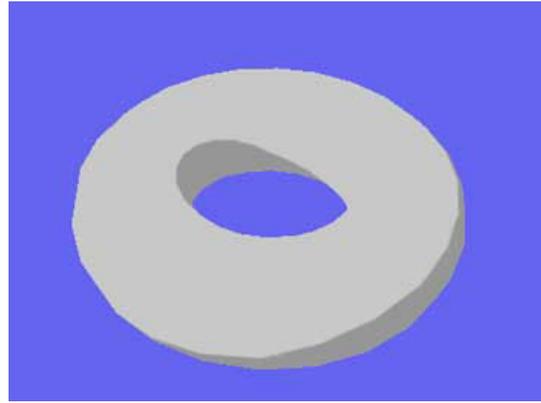


図 5-3b 一次元テクスチャーを用いた画像

図 5-3a は「Lambert の余弦則」を用いて照度を求めレンダリングして物である。陰影が滑らかになっていて立体感のある画像になっている。図 5-3b は図 5-2 の一次元テクスチャーを用いてレンダリングした物である。陰になっている部分とそうでない部分の色が明確に分かれていて、セル画のような表現が出来ている。



図 5-4 3 階調の一次元テクスチャー

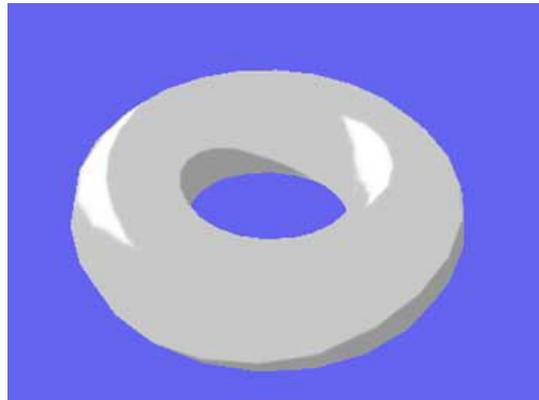


図 5-5 ハイライト表現

一次元テクスチャーで照度を表現するため、図 5-4 のような照度が 3 階調になっているテクスチャーを使用する事により、図 5-5 のような基本色と陰の色にハイライトの色を加えた 3 階調のセル画表現なども簡単に行う事が出来るのが、この方法の特徴である。

5.2 輪郭線の表示

セルシェーディングで重要となるもう一つの処理が輪郭線を引く事である。輪郭線を引くには一般的に

- (1) Zバッファを調べて深度が不連続になっている部分に線を引く方法[16]
- (2) 視線と平行な面に黒く色を付ける方法[17]
- (3) 頂点の法線方向に拡大させたモデルを反転させ表示する方法[18]

というような方法が使われている。この中で一番正確に輪郭線を引けるのは(1)の方法である。しかし、処理が複雑なため、一般のハードウェアでは描画が遅くなってしまう事がある。今回は比較的処理も軽い上に、輪郭線の太さを調節する事が容易である(3)の方法を使用する。

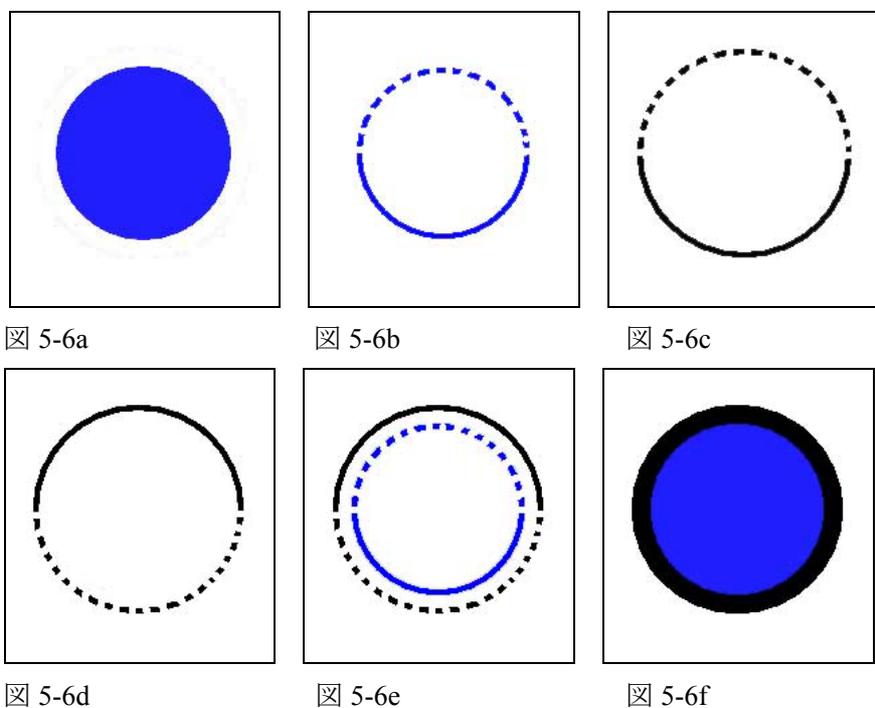


図 5-6 輪郭線描画処理の過程

この方法を図 5-6a のような球体のモデルを用いて説明する。これを視点上空から見下ろし、球を断面図にした物が図 5-6b である。(尚、図 5-6b~e において、視点は図の下側にある物とし、実線部は視点から見て表示されている面、点線部は表示されない面を表す。)

輪郭線を描く処理の行程は

- (1) 元のモデルを頂点の法線方向に拡大し、面の色を黒くする(図 5-6c)。

(2) 拡大したモデルの面の表裏を反転させる。(図 5-6d)。これによってモデルの視点から見て手前の面は表示されず、奥の面が表示されるようになる。

(3) 拡大し、表裏を反転させたモデルに、元々のモデルを重ね合わせる(図 5-6e)。

である。この様な処理をした結果、図 5-6e の様に、拡大したモデルは元モデルより大きくなってはみ出した部分だけが表示される事となり、視点から見ると図 5-6f のように輪郭線を引いたように見える。

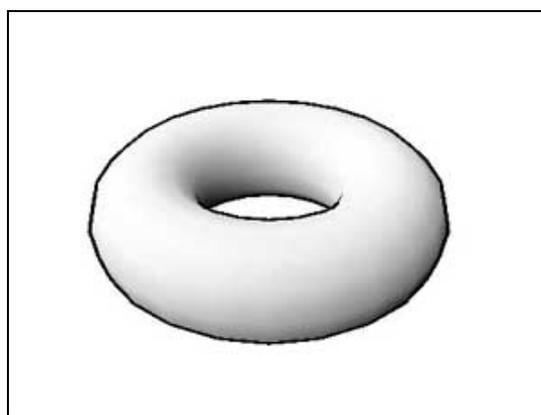


図 5-7 輪郭線

実際にこの方法を用いて輪郭線を引いた物が図 5-7 である。簡単な処理にしては十分な輪郭線が引けているのが分かる。この方法を用いると、表示するモデルと輪郭線のために拡大したモデルが必要となるため、表示ポリゴン数が倍になってしまうという問題があるが、他の方法よりも計算自体が単純であるため、描画速度的には他の方法よりも速い。実際のゲームでも、「ジェットセットラジオ」など多くの作品で、この方法が多く用いられている。

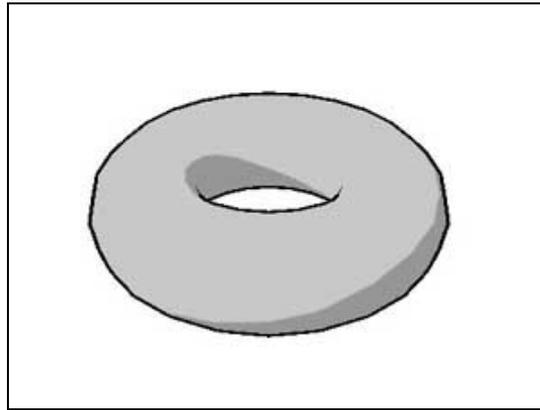


図 5-8 セルシェーディング

図 5-8 は一次元テクスチャによるセル画調の陰影表現と、輪郭線の表示を同時に行った物である。この2つの処理を合わせる事により、図 5-8 のようなセル画調の画像を表現できる。

第6章 米国漫画調レンダリング

前章でセルシェーディングについて説明した。前章までの手法をのみを用いても、ある程度米国漫画調の画像を表現する事が出来る。

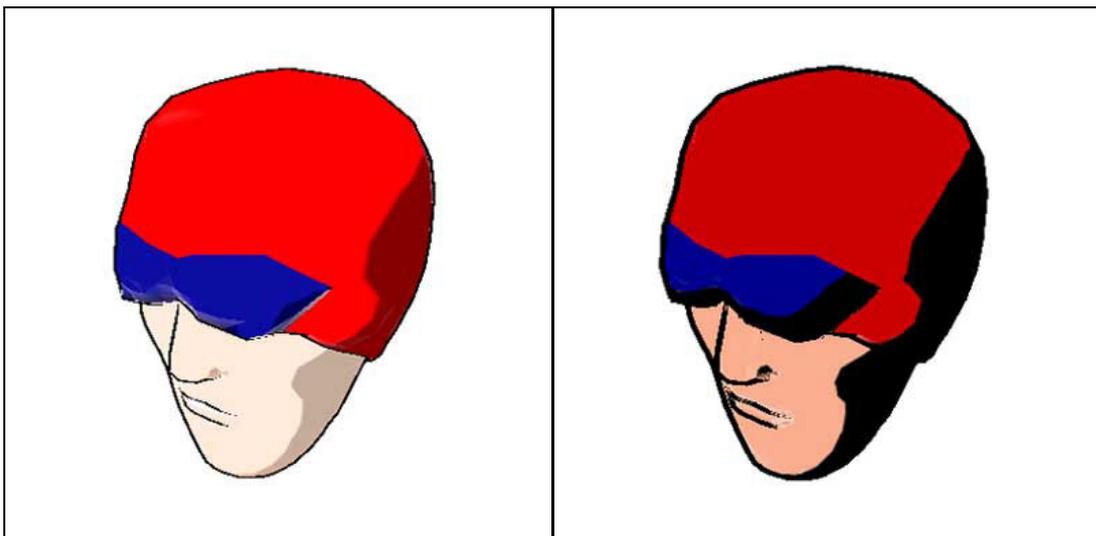


図 6-1a 一般的なセルシェーディング

図 6-1b 簡易的な米国漫画表現

上に示した2つの画像は

- (1) 図 6-1a : 一般的なセルシェーディングを行った物
- (2) 図 6-1b : セルシェーディングの輪郭線を太くし、
一次元テクスチャーで暗い部分を黒くなるように設定した物

となっている。

この2つの画像を比べると、輪郭線が太くなり、陰がスミベタで表現されているために、図 6-1bの方が米国漫画調の様に見える。この様に一般的なセルシェーディングでも線の太さと陰の色の設定を変えるだけで、少し米国漫画のように見える画像を作り出す事が出来る。しかし、4章でも書いたように、米国漫画の特徴には、太い輪郭線とスミベタによる陰影の表現の他に、斜線による陰影の表現という物がある。この斜線による陰影の表現を施さない事には完全な米国漫画調の画像にはならない。

現在、ノンフォトリアリスティックレンダリングの研究の一環で、「Real-Time Hatching」[19]や「Pen-and-Ink 風画像の生成とそのアニメーション化」[20]といった、斜線による陰影を表現するための研究がいくつか行われている。これらの研究は3DCGを用いて鉛筆画風やペン画風の画像を作り出す物である。これらの研究の中にはリアルタイムで処理できる物もあるが、まだまだ複雑な処理のため、ゲームなどのように一画面あたりのポリゴン数の多い物では、今の時点では使用が難しい。

ノンフォトリアリスティックレンダリングの研究として「Non-Photorealistic Virtual Environments」[21]がある。この論文ではリアルタイムでノンフォトリアリスティックレンダリングを実現しているのだが、その手段として、ノンフォトリアリスティックに加工したテクスチャーをあらかじめ用意しておき、それを全ての面に貼り付けてノンフォトリアリスティックに見せるという手法を提案している。

本論文では、この手法を応用し、陰影表現に使用するための斜線を初めからテクスチャーとして描き込んでしまう事により、リアルタイムで行う処理を少なくし、実用に耐える速度を実現する。あらかじめテクスチャーとして斜線を描き込んでしまうため、人体の構造に沿って斜線を引かれているという、米国漫画の斜線の特徴も容易に再現できる。

6.1 米国漫画調の斜線の表現方法

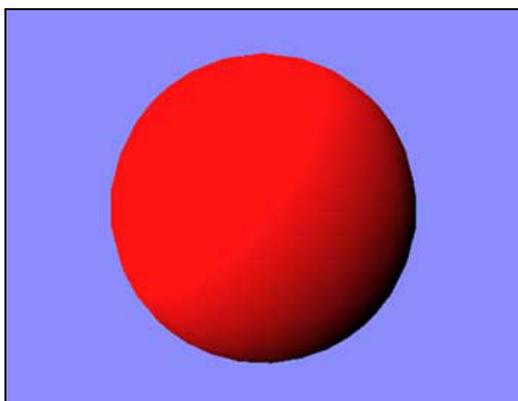


図 6-3 元モデル

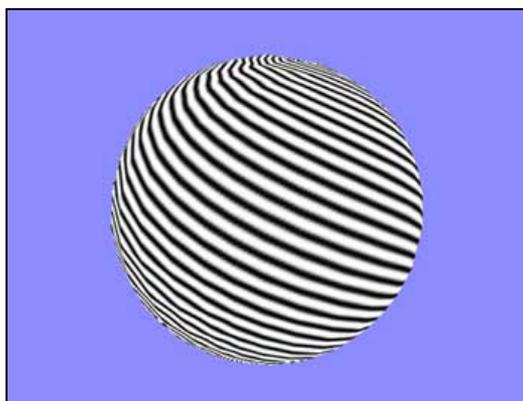


図 6-4 斜線テクスチャーをマッピング

図 6-3 はボールのモデルを普通にレンダリングした画像である。図 6-4 は陰影に用いる斜線をあらかじめ描き込んでおいたテクスチャーをボールのモデルに貼り付けた画像である。斜線のテクスチャーは最終的にモデルの色と乗算するために、白地に黒で斜線を描き込んだものにしておく。斜線のテクスチャーを貼り付けただけでは、この図 6-4 の様に陰ではない部分にも斜線が引かれてしまう。そのために、陰ではない部分には斜線のテクスチャーを表示しないようにする必要がある。

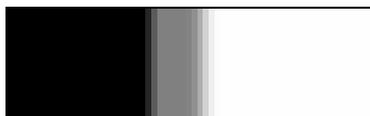


図 6-5 陰影の一次元テクスチャー

陰の部分だけ斜線を表示するためには、セルシェーディングで用いた一次元テクスチャーを利用する。図 6-5 は陰影の情報を持たせた一次元テクスチャーである。この一次元テクスチャーは斜線を表示しない照度の範囲を白、斜線を表示する照度の範囲を灰色、スミベタで塗りつぶす照度の範囲を黒という風にしておく。

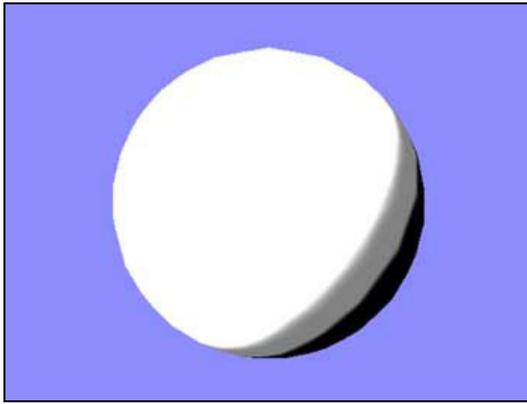


図 6-6 陰影部の描画

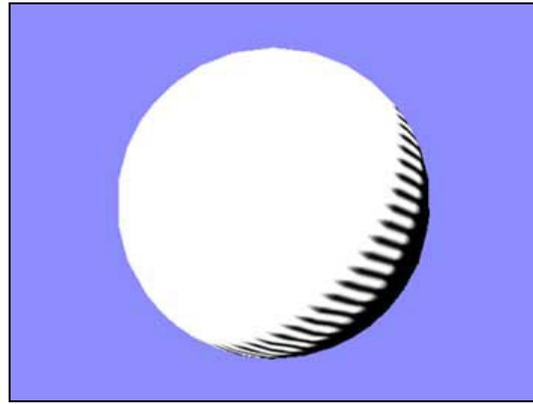


図 6-7 陰影の斜線処理

図 6-6 は図 6-5 のテクスチャーを使用してモデルをレンダリングした画像である。図 6-4 と図 6-6 のテクスチャーを合成する事により、陰の部分だけ斜線を表示するようにする。合成の方法だが、まず照度を 0～1 の範囲で表すことにする。図 6-4 の斜線を描き込んだテクスチャーの照度を S、図 6-6 の陰影情報を持たせたテクスチャーの照度を L、それを合成したテクスチャーの照度を F とする。そして、合成の式は次のようになる

$$F = S + 2(L - 0.5) \quad \dots \quad \text{【III】}$$

【III】式では陰影情報を持たせたテクスチャーの照度を -1. 0～1. 0 の範囲に拡張し、斜線を描き込んだテクスチャーに加算することにより、陰影情報を持たせたテクスチャーで白い部分（照度 1）は照度 1 以上になり白く、黒い部分（照度 0）は照度 0 以下になり黒く、そして灰色の部分（照度 0.5）は斜線が表示される事になる。図 6-7 はこの処理の結果の陰の部分のみ斜線が引かれた画像である。

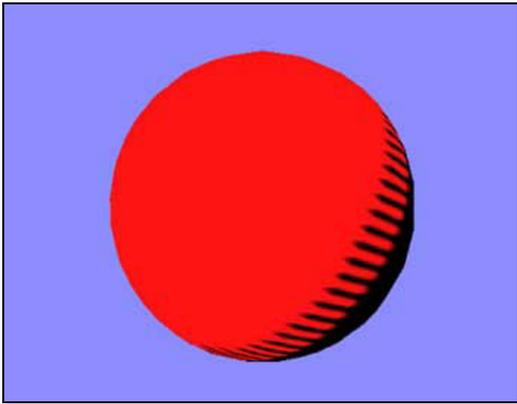


図 6-8 色+斜線

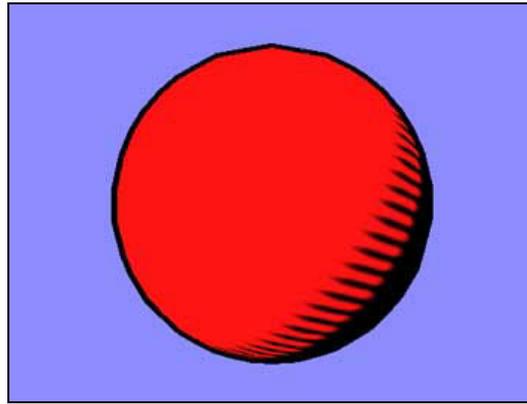


図 6-9 米国漫画調レンダリング

元々のモデルの材質の色と【III】式を用いて計算した物を乗算した物が図 6-8 である。斜線を描き込んだテクスチャ、陰影情報を持たせた一次元テクスチャともにグレースケールであるため、モデルの色と乗算してもモデルの色調を変えてしまうことはない。この処理により、陰の部分斜線で表現する事が実現できる。図 6-9 は図 6-8 の画像に輪郭線を加えて描画した物である。

- (1) 色は基本的に1色で塗られている
- (2) 陰影は斜線やスミベタで表現されている
- (3) 輪郭線が太い

という米国漫画の特徴となる処理を施したため、米国漫画調の画像を再現することに成功している。

6.2 MIPMAP による斜線の太さ調整

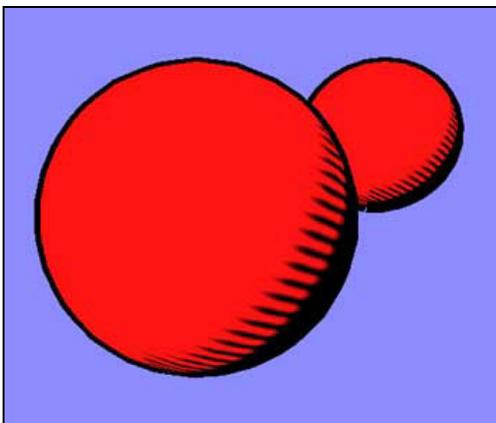


図 6-10a MIP-MAP なし

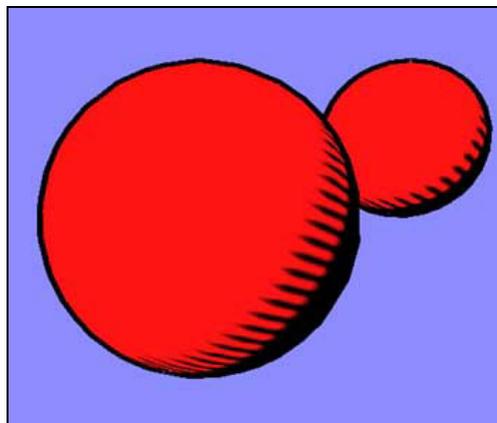


図 6-10b MIP-MAP あり

しかし、このままではまだ問題がある。図 6-10a は同じボールを一方は手前に、もう一方は奥に表示した物である。手前と奥のボールの陰の斜線を見比べると、奥のボールの斜線の方が細くなってしまっている。これは奥にあるボールの方が小さく表示されるため、それと共に斜線も縮小されてしまうためである。

このような症状を回避するためには MIP-MAP という技術を応用する。MIP-MAP はモデルの視点からの距離に合わせてテクスチャーの解像度を変えるという物で、モデルが近くにあり大きく表示される時は解像度の高いテクスチャーを、遠くにあり小さく表示される時は解像度の低いテクスチャーを貼り付けることになる。この技術を応用して、何段階かの太さの斜線を描き込んだテクスチャーを用意しておき、モデルの表示される大きさに合わせて張り替えるようにする事によって、モデルの表示される大きさにかかわらず、ほぼ同じ太さの斜線を引く事が出来る。図 6-10b はこの処理を実際に行った画像である。手前のボールと奥のボールの陰の斜線の太さがしっかりとそろっている。

以上の処理が本論文で提案する米国漫画調レンダリングの内容である。この手法は、陰影の斜線はあらかじめ手描きで用意しておくという手法を用いているため、リアルタイムで処理する内容は比較的単純な物のみで十分であり、現在の一般的な PC であれば実用的な観点からも十分な描画速度を保つ事が出来る。

本論文で提案する米国漫画調レンダリングの手法は、DirectX8 以降に搭載されている頂点シェーダ・ピクセルシェーダという機能を用いる事により、更に高速に処理する事が出来る[22]。

6.3 材質による陰影表現の区別

米国漫画では、金属のような硬くて光沢がある物等の場合、陰を斜線で表現する事よりも、スミベタなどで表現することの方が多。このように、材質により陰影の表現が違。事が多々ある。こういった場合、斜線以外の陰の表現にも簡単に対応できる事が必要となる。

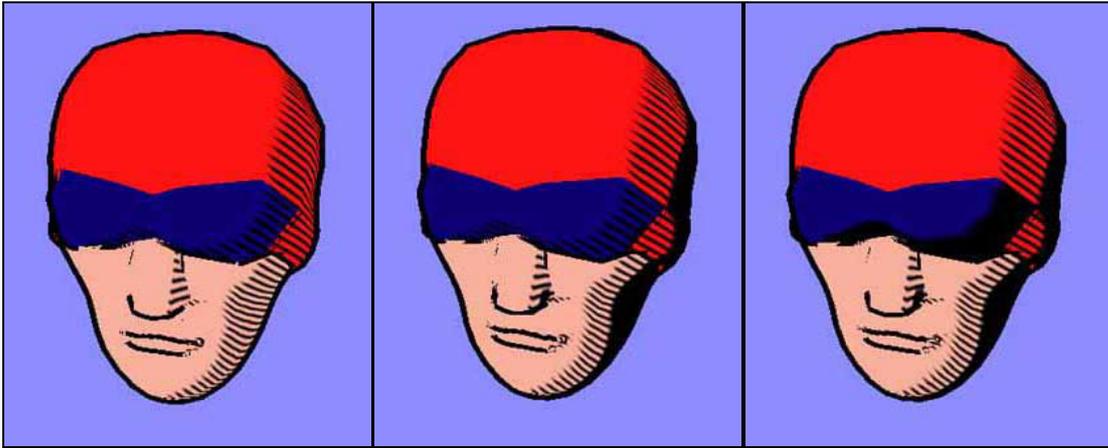


図 6-11a

図 6-11b

図 6-11c

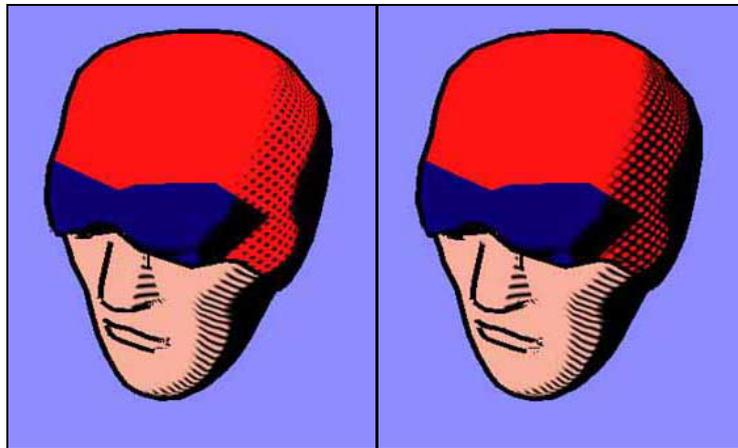


図 6-11d

図 6-11e

図 6-11 a.斜線、b.斜線+スミベタ、c.サングラス-スミベタ、d.ドット、e.網掛け

図 6-11 はそれぞれ

図 6-11a : 斜線のみで陰を表示した物

図 6-11b : 斜線とスミベタを用いて陰を表示した物

図 6-11c : 顔とマスクは斜線とスミベタを用いて陰を表示して、
サングラスの部分はスミベタのみを用いて陰を表示した物

図 6-11d : マスクの部分の陰にドットを用いて表示した物

図 6-11e : マスクの部分の陰に網状の線を用いて表示した物

という表現をした物である。全て同じモデルを用いているのだが、陰の表現方法を変える事によって、モデルの材質が変わったように見え、見た目から受ける印象が変わってくる。この様に、斜線のテクスチャーや陰影の情報を持った一次元テクスチャーを描き変える事

によって、陰の部分を斜線以外の表現方法にする事が出来、材質が変わったように見せる事が出来る。

この、斜線のテクスチャーを描き変え、陰の表現を変える事によって、容易に見た目を変えられるという点も、本論文で提案する米国漫画調レンダリングの手法の大きな特徴であり、メリットである。

第7章 評価と現状での問題点

本論文の手法を用いた場合、色の単純化、斜線やスミベタによる陰影の表現、輪郭線の表示といった、米国漫画調の絵柄の特徴となる点を再現した画像を3DCGを用いてリアルタイムに描画することが可能となる。また、斜線のテクスチャーを書き換えることにより、材質による陰影表現の違いを簡単に出すことが可能である。

本手法を用いることにより、米国漫画作品のキャラクターを用いたインタラクティブなコンテンツを制作することが容易になる。又、米国漫画調の絵はリアルに描き込まれたキャラクターを用いたスピード感のあるアクション物に向いているため、そのようなコンテンツの制作にも適している。

現状の問題点として、あらかじめ斜線のテクスチャーを制作しなければいけないため、事前の準備に大変手間がかかってしまう、輪郭線の太さが一定であるなど、米国漫画における手描きの線の表現が再現できていない、といった点が上げられる。他にも、ある程度は米国漫画を再現できているが、輪郭線の太さに手描きの様な強弱が無く一定の太さである等、再現できていない点がある。また、現状ではあらかじめ設定した平行光源にしか対応していないため、多彩な照明効果を施すゲームなどには、そのまま利用する事は出来ない等、実用するためには改良が必要な点が残されている。

今後の課題として

- ・斜線のテクスチャーを、ある程度自動で描く事が出来るようにするなど、事前の手間が減るようにする。
- ・輪郭線に、実際に手で引いた線のように太さの強弱を付ける等、より米国漫画に近い表現を出来るようにする。
- ・平行光源以外の光源にも対応させるなど、実用性を持たせるために改良する。

といった事が挙げられる。

第8章 むすび

本論文ではセルシェーディングを応用し、色の単色化・斜線やスミベタによる陰影表現・輪郭線の表示の処理をおこない、米国漫画調のレンダリングを行う手法を提案した。また、本論文で示した米国漫画調レンダリングでは、陰の表現に用いる斜線をあらかじめテクスチャーとして用意しておくという方法のため、実際の米国漫画のように筋肉の構造に沿った斜線を表現する事が可能であり、また、モデルの材質に合わせて斜線の表現に変化を持たせることが出来るし、斜線以外の物を描き込んでおく事により、斜線以外の陰影の表現を行う事も容易に出来るなどといった応用例を示し、その有用性を確認した。

本手法を用い、アクションシーンの多く迫力のある米国漫画を3DCGで表現すれば、アクションシーンをあらゆる角度から眺めることが出来てさらに臨場感が増すであろうし、ゲームなどでリアルタイムに米国漫画調のキャラクターを動かせるようになれば、米国漫画作品を用いたインタラクティブなコンテンツ制作に大いに役立つだろう。

今後は、より米国漫画調の再現のクオリティを上げるように改良すると共に、より実用に耐える様な設計になるように研究を進めていきたい。

謝辞

本論文を執筆するにあたり、執筆の指導をして戴いた渡辺大地氏、若林尚樹氏、和田篤氏及び、アニメ作品からの画像の転載を許可して戴いたスタジオジブリ、書籍からの画像の転載を許可して戴いたMPC、グラフィック社に心より感謝を申し上げます。

参考文献

- [1] Takafumi Saito, Tokiichiro Takahashi, "Comprehensible rendering of 3-D shapes", SIGGRAPH '90, Computer Graphics, pp.197-206, 1990.
- [2] Paul Haerberli, "Paint by numbers: abstract image representations", SIGGRAPH 24, pp.207-214, 1990.
- [3] Amy Gooch, Bruce Gooch, Peter Shirley, Elaine Cohen, "A Non-Photorealistic Lighting Model For Automatic Technical Illustration", SIGGRAPH 98, pp 447-452, 1998.
- [4] Adrian Secord, Wolfgang Heidrich, Lisa Streit, "Fast primitive distribution for illustration", Eurographics Workshop on Rendering, 2002.
- [5] Sim Dietrich, "Cartoon Rendering and Advanced Texture Features of the GeForce 256 Texture Matrix, Projective Textures, Cube Maps, Texture Coordinate Generation and DOTPRODUCT3 Texture Blending", NVIDIA Corporation, 2000.
- [6] Johan Claes, Fabian Di Fiore, Gert Vansichem, Frank Van Reeth, "Fast 3D Cartoon Rendering with Improved Quality by Exploiting Graphics Hardware", Image and Vision Computing New Zealand (IVCNZ) 2001, pp.13-18, 2001.
- [7] C.T.I.Tayama, "テクニカルイラストレーターの!!!", <http://www.h5.dion.ne.jp/~cti/>.
- [8] CFC, "CG-Online", <http://www.cg-online.jp/archive/issue-s02.html>.
- [9] Jamie Coville, "The History of Superhero Comic Books", <http://www.geocities.com/Athens/8580/>.
- [10] 坂口哲也, 堺三保, "S F オンライン", http://www.so-net.ne.jp/SF-Online/no6_19970818/index.html.
- [11] スタジオジブリ, "もののけ姫", 1998.
- [12] 草野 雄, "アメリカンコミックイラストレーションテクニック", M P C, 1989.
- [13] 高木亮, "アメコミくえすと", <http://ameque.cool.ne.jp/>
- [14] Christopher Hart, 森屋利夫, 松下 進, "アメコミの描きかた", グラフィック社, p93, p119, 1997.
- [15] "Digital Matrix", <http://www.not-enough.org/abe/manual/index.html>.
- [16] 今給黎 隆, "T-Pot", <http://www.t-pot.com/>.

- [17]マイクロソフト, ”頂点シェーダを使用した DirectX 8 でのトゥーン レンダリング”,
<http://www.asia.microsoft.com/japan/msdn/directx/techart/DXVertex.asp>.
- [18] 新坂秀敏, ”カクカクシカジカ”, http://home.att.ne.jp/yellow/hide_n/profile.html
- [19] Emil Praun, Hugues Hoppe, Matthew Webb, Adam Finkelstein, ”Real-Time Hatching”,
SIGGRAPH2001, pp.579-584, 2001.
- [20] 芳賀俊之, 西田友是, ”Pen-and-Ink風画像の生成とそのアニメーション化”,
CAD/Graphics'2001, 2001.
- [21] Allison W. Klein, Wilmot Li Michael, M. Kazhdan Wagner, T. Correa, Adam Finkelstein,
Thomas A. Funkhouser, ”Non-Photorealistic Virtual Environments”,
SIGGRAPH2000, pp.527-534, 2000.
- [22] Microsoft, ”MSDN Online DirectX Developer Center”,
<http://www.asia.microsoft.com/japan/msdn/directx/>.

画像の転載

図 3-1 スタジオジブリ”もののけ姫”より

図 3-2,4-1,4-4,4-5

MPC”アメリカンコミックイラストレーションテクニック”より

図 4-2,4-3

グラフィック社”アメコミの描きかた”より