

## 研究論文

衣服シワに対するキャラクタイラスト特有の  
陰影形状のリアルタイムレンダリング青木 明優花<sup>1</sup> 阿部 雅樹<sup>2</sup> 渡辺 大地<sup>2,a)</sup>

受付日 2020年7月9日, 採録日 2020年11月26日

**概要:** 近年, コンピュータを用いてイラストを描く人が増加しており, ツールの機能向上と描画手法の発展からクオリティの高いイラストを仕上げることができるようになった. イラストのクオリティを上げる重要なポイントはいくつかあるが, そのポイントの1つに陰影がある. 人物の姿勢や衣服の凹凸をふまえた陰影描写には独特の法則がある. キャラクタの陰影付けでは, 様々なパーツに対して陰影付けを行うが, その中でも衣服は大部分を占め重要である. さらに衣服の陰影付けではシワの影響が大きい. イラストでは, 物理法則に従わない独特の法則を持つ陰影の付け方をするところがある. そこで本研究では, イラストへの陰影付けの作業時間や負荷の軽減を目的とし, イラスト特有の陰影付けのパターンを習得していない初心者への指針を提示することを目的とし, 衣服シワに対してできるキャラクタイラスト画に特有の陰影生成手法を提案する. まず入力したシワの情報から陰影計算で使用する法線マップや距離マップを作成する. そのマップを参照し, 3D モデルを使用してシェーダで陰影となる部分の計算を行う. 陰影計算の工程では, 分類したシワ線の種類によって, アルゴリズムを変更する. これらの手法を実装し, 衣服シワに対するイラスト特有の陰影付けを実現した.

**キーワード:** イラスト, レンダリング, 陰影, シェーダ, シワ

Real-time Rendering of Shadow Shapes Peculiar  
to Character Illustrations for Clothes WrinklesAYUKA AOKI<sup>1</sup> MASAKI ABE<sup>2</sup> TAICHI WATANABE<sup>2,a)</sup>

Received: July 9, 2020, Accepted: November 26, 2020

**Abstract:** In recent years, the number of people who draw illustrations using a computer has increased, and it has become possible to finish high-quality illustrations by improving the functions of tools and developing drawing techniques. There are several important points that increase the quality of the illustration, but one of those points is shaded. The depiction of shadows based on the posture of a person and the unevenness of their clothing has its own unique rules. In shading a character, shading is performed on various parts, and clothes are the most important among them. In addition, wrinkles are significant in shading clothes. In illustration, shading is sometimes done in a way that has the rules specific to animated illustration drawings. In this study, we propose a method for generating illustration-specific shadows that can be applied to clothes wrinkles in order to provide a guideline for beginners who have not mastered the shading patterns specific to illustrations. Shading output depends on the meaning of wrinkles. In this study, wrinkle lines are classified into two types, “edge wrinkles” and “contour wrinkles”. First, input wrinkle information. From there, create a normal map and a distance map. In the shadow calculation, the edge wrinkles are calculated using the normal map, and the contour wrinkles are calculated using the distance map. Finally, the shading is generated by combining the shading information of the calculation result.

**Keywords:** illustration, rendering, shadow, shader, wrinkle

<sup>1</sup> 東京工科大学大学院バイオ・情報メディア研究科  
Graduate School of Bionics, Computer and Media Sciences,  
Tokyo University of Technology, Hachioji, Tokyo 192-0982,  
Japan

<sup>2</sup> 東京工科大学メディア学部  
School of Media Science, Tokyo University of Technology,  
Hachioji, Tokyo 192-0982, Japan

<sup>a)</sup> earth@stf.teu.ac.jp

## 1. はじめに

近年, コンピュータを用いてイラストを描く人が増加しており, ツールの機能向上と描画手法の発展からクオリティの高いイラストを仕上げることができるようになった. イラストのクオリティを上げる重要なポイントはいくつか

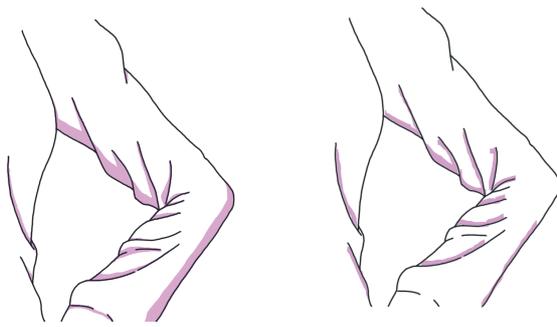


図 1 衣服のイラストに陰影をつけた様子  
Fig. 1 A shaded view of a clothing illustration.

あるが、そのポイントの1つに陰影がある。イラストでは陰影の塗り方によって全体の印象がまったく違うため、イラストにおいて陰影は重要である。

陰影付けの作業には慣れが必要であり、仮に作業に慣れたとしても作業時間や負荷が大きいという問題がある。キャラクターイラスト特有の陰影描写法則に慣れていない初心者には、適切な陰影を描写することは困難である。また、陰影の形状やイラスト全体のバランスによって描き直しを必要とする反復作業も多い。

グラフィックソフトの ClipStudioPaint [1] や PhotoShop [2] には陰影色の自動調整機能や、デッサン人形を表示する補助機能があるが、陰影付けを行う機能はない。そこで、陰影付けを自動で行うことができれば、作業時間や手間を減らすことが期待できる。

キャラクターの陰影付けでは、様々なパーツに対して陰影付けを行うが、そのなかでも衣服はキャラクターの大部分を占めている。衣服の陰影付けでは、シワによって陰影の付く場所が大きく変わる。衣服に対してシワを示す線が描かれているが、その線に対して陰影がついている。このように、衣服に対して陰影を付ける場合には、シワを考慮して陰影付けを行う必要がある。

図 1 は衣服の線画イラストに対し、左側はイラスト習熟者、右側は初心者が見本を見ずに陰影を付加したものである。初心者による陰影は、シワの持つ意味を考慮していないことや、空間的な状況を把握せずに等幅な陰影を付けてしまうことにより、本来のシワ形状を把握しづらくしてしまうという問題が生じていることが分かる。

近年のイラスト画は、キャラクターを3次元形状としてモデリングし、そのモデルにセルシェーディングを適用して作成する方法もしばしば用いられる。しかしながら、アニメ作品を由来とする陰影のスタイル、通称「アニメ塗り」では一般的なCGアルゴリズムでは表現できない場合がある。たとえば、3DCGでは薄くなる影であっても、アニメ塗りでは立体感を表すために、はっきりと陰影を書き入れることがある。

また、シワの形状を分かりやすくするために、3DCGで

は陰影とはならない部分にも陰影を書き入れることがある。さらにシワの形状はイラスト制作者によって異なる。イラストに陰影を付けるときにはこうしたことも考慮する必要がある。

この問題に関する先行研究として、陰影を生成する研究 [3] がある。この研究では線画といくつかの入力から、レリーフ彫刻のようなモデルを作成している。そしてそのモデルを使用して、陰影の計算を行う。しかしこの手法では輪郭を考慮しているため、内部にある衣服のシワに対して陰影をつけるのは難しい。

同じようにモデルを生成するスケッチベースのモデリング手法 [4], [5], [6] があるが、3Dモデルを生成することを目的としているため、シェーディングを行い、陰影を生成するのは難しい。

一方、クロスシミュレーションにおいてシワを表現する手法については Rohmer ら [7] や Wang ら [8] などの多くの研究が提案されている。しかしながら、アニメ調のイラスト画におけるシワはこれらの研究による結果とは異なった性質を持つものであり、本研究の目的に直接適用することは難しい。

他に、イラストの内部にある衣服のシワに注目した研究 [9] がある。この研究では、ユーザが描いたシワがどのような形状を示しているのかを分析し、そこからイラスト風のシェーディングができるモデルを生成している。しかし、この研究ではシワの解析を目的としているため、イラスト特有の陰影や、イラスト作成者が望むような陰影を生成するには、この手法は向いていない。

本研究では、イラスト特有の陰影付けのパターンを習得していない初心者への指針を提示することを目的とし、キャラクターイラストの衣服のシワに対して、イラスト特有の陰影を自動で生成することを目指す。

本研究では、まずイラスト画におけるシワを「稜線シワ」と「輪郭シワ」に分類する。その後、それぞれのシワ線に対しイラスト画特有の陰影形状を生成する手法を述べる。また、光源の位置が違くと陰影の付く位置が変わるため、本研究では光源の位置も考慮して陰影の生成を行う。

## 2. 衣服シワと陰影について

### 2.1 イラストにおける衣服シワ

衣服のシワが発生する原因は、着用時の布の伸張や緩みによって生じるものである。イラストにおいてシワは、見栄え良く見えるように記号化した線で表現している。図 2 はシワを描いたイラストである。図 3 は図 2 に陰影を付けたものである。紫色の部分は光源が上のときに、陰影が付く部分を示している。

このように陰影の付き方が違う理由は、シワが示している意味が違うためである。本研究ではシワが示している意味を大きく2種類に分けた。

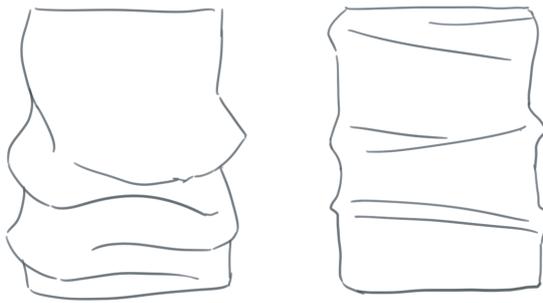


図 2 衣服シワのイラスト

Fig. 2 Example of clothing wrinkle illustration.

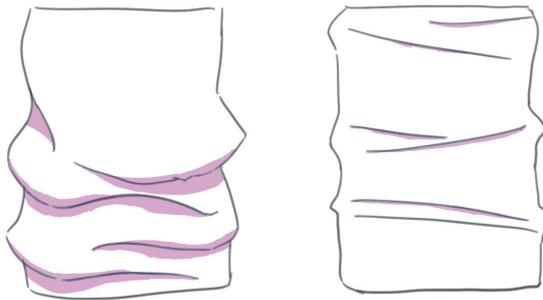


図 3 陰影を付けたイラスト

Fig. 3 Example of illustration with shading.

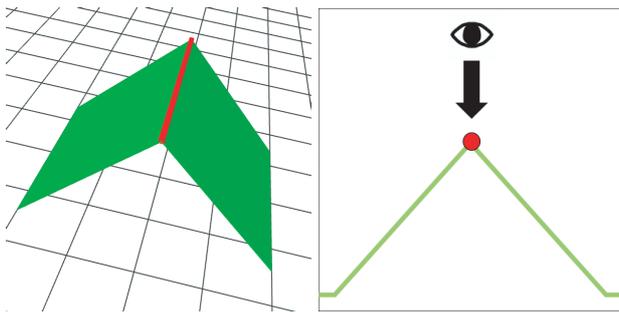


図 4 稜線シワの模式図

Fig. 4 Schematic of edge wrinkles.

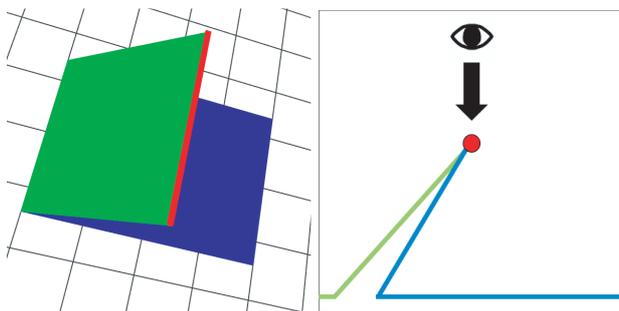


図 5 輪郭シワの模式図

Fig. 5 Schematic of contour wrinkles.

図 4 と図 5 はシワの模式図を表し、それぞれ左側は空間的な状況、右側は横から布の断面を見た状況での視点との位置関係の模式図である。図中の赤い部分がシワの線が描かれている部分を示し、緑や青の部分が布の部分を意味している。

実際にイラストを見るときに見えている部分は赤色の部分となる。図 4 の状況では、シワ線の両側において布と接していることになるが、図 5 の状況ではシワ線は緑の布面の輪郭線であり、青い部分の布とは接していない。このようにシワ線が図 4 のように布と連続しているシワを「稜線シワ」、図 5 のように片側が布と連続でないシワを「輪郭シワ」と本研究では呼称する。

## 2.2 イラストにおけるシワ線に対する陰影

ダテナオトによるキャラクタイラスト初学者向けの著書 [10] には、現状におけるキャラクタイラストの陰影法則は、アニメ作品のスタイルによるところが大きいことが述べられている。アニメの制作は、多くのスタッフによる共同作業であることや、1つの作品を複数のチームがローテーションを組んで制作を行う運用が行われていることから、陰影もアニメ業界全体で共通のスタイルが多く用いられるようになり、愛好者の間では通称「アニメ塗り」と呼ばれている。転じて、アニメ調のイラスト画においてもその「アニメ塗り」のスタイルが踏襲されることが多い。ダテナオトは先述の著書でアニメ塗りの陰影をいくつかのパターンに分類し、それぞれの特徴を初学者向けに示している。本研究における陰影表現は、このダテナオトによるパターンおよび著書中の見本画を目標とするものとした。

一般的な CG レンダリングにおいて、陰影を実現する手法は大きく「陰 (Shade)」と「影 (Shadow)」の 2 種類の原因を元としている。「陰」は、物体上表面の法線ベクトルと光線の角度が垂直に近くなるほど拡散反射の強さが弱くなっていくことによる暗い部分のことである。一方、「影」は物体と光源の間に別の物体が存在し、光線が遮蔽されるために生じる暗い部分のことである。多くの CG レンダリングに関するアルゴリズムではこの両者の処理を統一的に扱うことは困難であり、それぞれ別の処理を行って最終的に合成して輝度算出を行うという手法が一般的である。

しかしながら、筆者らが「アニメ塗り」においてシワ線に付随する陰影表現を分析したところ、その法則性は「陰」と「影」のどちらを起因とするかを明確に区分することは困難であり、従来の CG レンダリング手法のように「陰」と「影」に区分して処理を行うという方法は適していないと考えた。それをふまえて本研究では、イラスト画における陰影を従来手法による「陰」や「影」の区分によらない、両方の特性をあわせ持ちつつ独特の法則によって生成される陰影形状としてとらえるものとした。この陰影形状を本論文では以降「シワ陰影」と呼称するものとする。

シワ陰影の特徴の 1 つとして、実際には光が当たる部分で陰影はできないが、シワの形状を示すために陰影を付けることがある。また、薄い影でもイラストでは立体感を表すために、濃い陰影にすることもある。

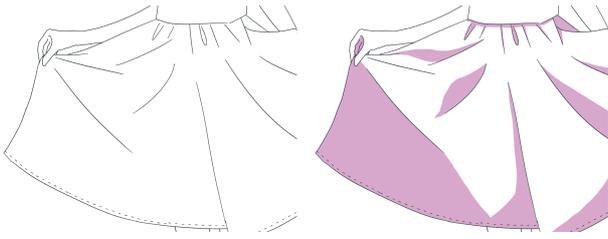


図 6 稜線シワの特徴 1

Fig. 6 Characteristics of edge wrinkles No.1.

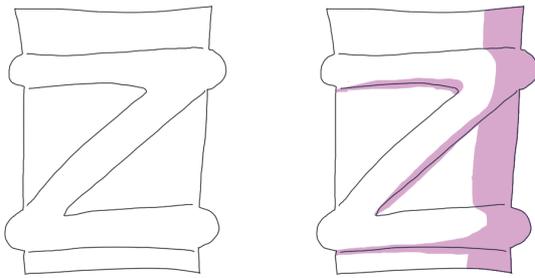


図 7 稜線シワの特徴 2

Fig. 7 Characteristics of edge wrinkles No.2.

### 2.3 衣服シワと陰影の形状

2.1 節では稜線シワと輪郭シワに衣服のシワ線を分類した。本節では、稜線シワと輪郭シワが、イラストではどのようなシワ線の形状をし、どのようなシワ陰影を付けるのかについて、いくつかの特徴を示す。

#### 2.3.1 稜線シワ

稜線シワは、大きく分けて 1 本によるものと 2 本によるものがあり、両者におけるシワ線の形状の意味は若干異なっている。

1 本の場合は、形状としての意味合いは図 4 のような布が山脈型を形成する状況下での稜線部分を意味することが多い。このような稜線シワによるイラストの例を図 6 に示す。この状況でのシワ陰影は、図 6 右側のイラストのように大きな領域全体にシワ陰影が付く特徴がある。

次に 2 本の稜線シワによって表される形状のシワを示す。図 7 は、2 本の稜線シワによって表されるシワの形状とシワ陰影の形状の例である。2 本の稜線シワによってできるシワ線には、図 7 の左のような形状のシワがある。これは 2 本のシワ線の間が山のような形状を意味している。左に光源がある場合は図 7 の右のイラストのようにシワ陰影が付く特徴がある。断面図を図 8 に示す。赤がシワ線で、緑が布である。

次に、図 9 は 2 本の稜線シワによって表されるシワの形状とシワ陰影の形状の例の 2 つ目である。2 本の稜線シワによってできるシワ線には、図 9 の左のような形状のシワがある。これは 2 本のシワ線の間が谷のような形状を意味している。左に光源がある場合は図 9 の右のイラストのようにシワ陰影が付く特徴がある。断面図を図 10 に示す。赤がシワ線で、緑が布である。

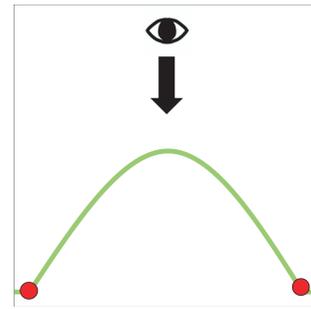


図 8 図 7 の断面図

Fig. 8 Cross-sectional view of Fig. 7.



図 9 稜線シワの特徴 3

Fig. 9 Characteristics of edge wrinkles No.3.

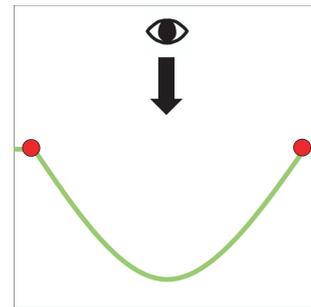


図 10 図 9 の断面図

Fig. 10 Cross-sectional view of Fig. 9.

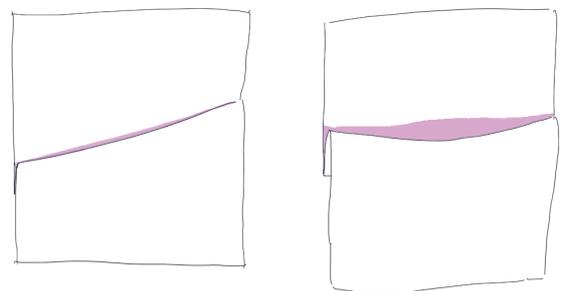


図 11 輪郭シワの特徴 1

Fig. 11 Characteristics of contour wrinkles No.1.

#### 2.3.2 輪郭シワ

輪郭シワでは、線の片側に影が付くという特徴がある。線の両側に影が付くことはあまりない。図 11 の左のイラストのように同じ幅でシワ陰影が付く場合や、図 11 の右のイラストのように真ん中の部分が幅広く影が付く場合もある。

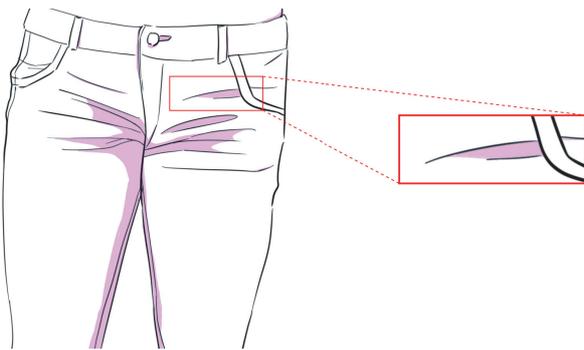


図 12 輪郭シワの特徴 2  
Fig. 12 Characteristics of contour wrinkles No.2.

また、2つの輪郭シワが組み合わさると図 12 のイラストのように、2本の間領域を影として塗りつぶすという描写もしばしば用いられる。

### 3. 提案手法

#### 3.1 手法概要

提案手法は、稜線シワか輪郭シワによって、陰影計算でのアルゴリズムを変更することで、シワ陰影を生成する。まずシワ情報を入力する。そこから法線マップと距離マップを作成する。そして陰影計算では、円柱の 3D モデルを使用し、シェーダで作成したマップを使用して陰影計算を行う。稜線シワは法線マップを使用し、輪郭シワは距離マップを使用して計算を行う。最後に計算結果の陰影の情報を組み合わせてシワ陰影を生成する。

#### 3.2 シワの情報

シワの情報は任意の制御点をデータとして持つ曲線データである。本研究では、イラスト作成者が直感的に入力しやすいように、Catmull-Rom Spline 曲線 [11] のアルゴリズムを使用した。このアルゴリズムは、3点以上の任意の点を入力すると、それらの点を滑らかに接続する曲線となる。本研究では、曲線の通過点はすべて数値座標データとして事前に用意したものを利用したが、タブレットやタッチパネルモニタなどによるストローク入力に対応することも容易である。

なお、イラスト画のシワ線は稜線シワと輪郭シワの区別や、シワの高低などを太さによって表現する場合もあるが、本研究においては現時点ではシワ線の太さは考慮していない。

#### 3.3 曲線上近傍点抽出

法線マップや距離マップの作成には、任意点から曲線に対する最近傍点を求める必要がある。法線マップでは複数のシワの曲線すべてに対しての最近傍点を求め、距離マップではシワの曲線ごとに最近傍点を求める。スプライン曲線に対する最近傍点を抽出する方法は、様々な手法が提案されているが、本研究では高い精度は必要としないことや、

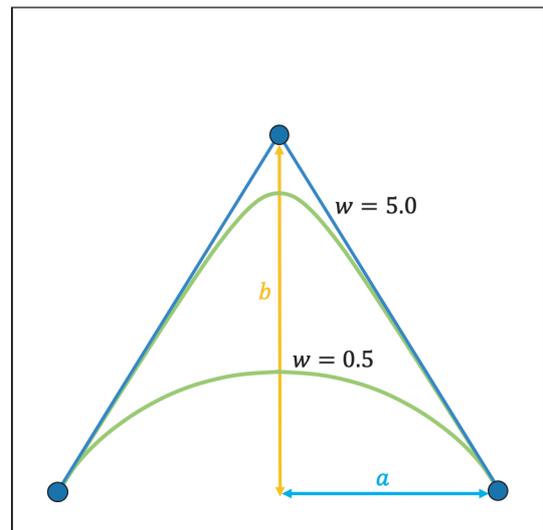


図 13 有理ベジェ曲線による稜線シワ形状  
Fig. 13 Edge wrinkle shape using rational Bézier curve.

マップ生成時における処理速度はそれほど高速でなくとも問題がないことから、適当な分割数によるサンプリング探索によって最近傍点を抽出した。以降、マップ値を算出する対象のピクセルを  $p$ 、 $p$  に対応した曲線上の最近傍点を  $C_p$ 、それぞれの位置ベクトルを  $\mathbf{P}$ 、 $\mathbf{C}_p$  と表記する。

#### 3.4 法線マップ

まず稜線シワのアルゴリズムで使用する法線マップを作成する。法線マップは入力されたシワ情報を元に作成する。法線マップとは面の法線ベクトルを保存したテクスチャ画像のことである。

まず  $p$  に対する  $C_p$  を求めた後、両点間の距離  $d = |\mathbf{P} - \mathbf{C}_p|$  と単位ベクトル  $\mathbf{J} = \frac{\mathbf{P} - \mathbf{C}_p}{d}$  を求める。次に、有理ベジェ曲線 [12] によって入力したシワ線上にできる形状を設定する。有理ベジェ曲線の制御点を  $\mathbf{Q}_i$ 、各制御点の重みを  $w_i$  としたとき、有理ベジェ曲線  $\mathbf{R}(t)$  は式 (1) によって定まる。ここで  $B_i^n(t)$  は Bernstein 基底関数である。

$$\mathbf{R}(t) = \frac{\sum_i^n B_i^n(t) w_i \mathbf{Q}_i}{\sum_i^n B_i^n(t) w_i} \quad (1)$$

本手法では曲線次数を 2 とし、実数  $a, b, w$  により各制御点の位置と重み値を以下のように定めるものとする。

$$\begin{aligned} \mathbf{Q}_0 &= (-a, 0), & \mathbf{Q}_1 &= (0, b), & \mathbf{Q}_2 &= (a, 0), \\ w_0 &= 1, & w_1 &= w, & w_2 &= 1 \end{aligned} \quad (2)$$

これにより、稜線シワ形状は幅、高さ、曲がり具合をそれぞれ  $a, b, w$  の値を変更することにより制御することができる。図 13 に稜線シワ形状の模式図を示す。

稜線シワは、この曲線形状を先述の Catmull-Rom Spline 曲線に沿ってスウィープしたものとして定義する。

次に、稜線シワ上での法線ベクトルの求め方について述べる。法線ベクトルを求めるには、まずピクセル  $p$  の位置にお

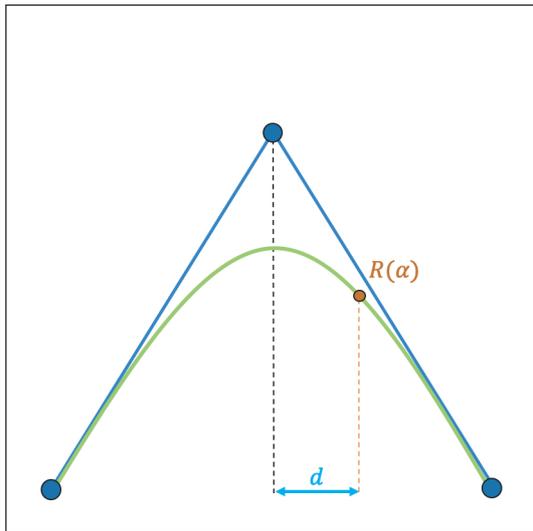


図 14  $d$  と  $\alpha$  の関係

Fig. 14 Relationship between  $d$  and  $\alpha$ .

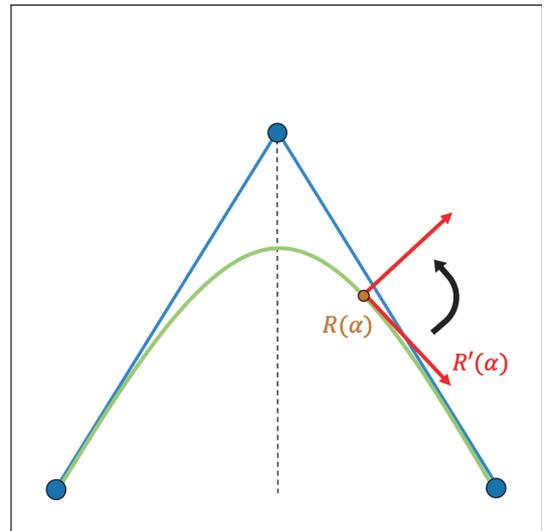


図 15 微分ベクトルと法線ベクトル

Fig. 15 Differential and normal vectors.

ける有理ベジェ曲線上のパラメータ  $t$  を求める必要がある。

$\mathbf{R}(t)$  の  $x$  成分に式 (2) の値を代入しまとめると、以下の式を得ることができる。

$$R_x(t) = \frac{a(2t-1)}{(t^2-t)(2-2w)+1} \quad (3)$$

この値が  $d$  と等しくなる場合の  $t$  を求めればよい。 (3) を  $d$  とおいて式をまとめると、以下のような  $t$  についての 2 次方程式を得ることができる。

$$(2d-2dw)t^2 + (2dw-2d-2a)t + d+a = 0 \quad (4)$$

この式の実数解のうち、 $t$  の値が  $\frac{1}{2}$  から 1 の間にあるものが、求めるパラメータ  $t$  となる。この解を  $\alpha$  とする。 $d$  と  $\alpha$  の関係の模式図を図 14 に示す。

次に、 $\mathbf{R}(t)$  の 1 階微分  $\mathbf{R}'(t)$  より微分ベクトル  $\mathbf{D} = \mathbf{R}'(\alpha)$  を求めておく。これを反時計回りに 90 度回転したベクトル  $(-D_y, D_x)$  が 2 次元平面上の  $\mathbf{R}(\alpha)$  に対する法線ベクトルとなる。 $\mathbf{D}$  に関する模式図を図 15 に示す。

この  $\mathbf{D}$  と  $\mathbf{J}$  を用いて、以下のようにして法線ベクトル  $\mathbf{N}$  を求めることができる。

$$\mathbf{N}' = (-J_x D_y, -J_y D_x, D_x), \quad \mathbf{N} = \frac{\mathbf{N}'}{|\mathbf{N}'|} \quad (5)$$

次に、法線ベクトル  $\mathbf{N}$  をテクスチャデータに格納するための色値構造に変換する。色値  $R, G, B$  を以下のような式で求め、各成分の  $[-1, 1]$  の領域を  $[0, 255]$  に線形写像した。

$$\begin{aligned} R &= \frac{255}{2}(N_x + 1), \\ G &= \frac{255}{2}(N_y + 1), \\ B &= \frac{255}{2}(N_z + 1) \end{aligned} \quad (6)$$

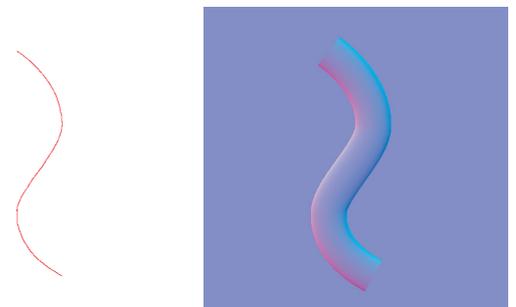


図 16 入力データと生成した法線マップ

Fig. 16 Input data and generated normal map.

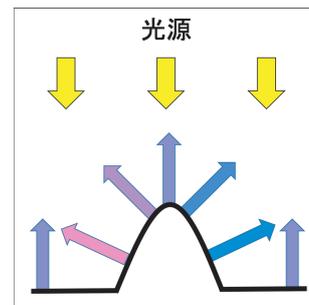


図 17 法線ベクトル

Fig. 17 Normal vectors.

図 16 は法線マップ作成の例である。シワ情報の部分が一番高い山型または一番低い谷型になるように、法線マップを作成する。図 16 は左がシワの情報を示した曲線であり、右が作成した山型の法線マップの例である。

図 17 は山型の場合の法線ベクトルと RGB を示したものである。

### 3.5 距離マップ

次に輪郭シワのアルゴリズムで使用する距離マップを作成する。距離マップとは、入力されたシワ曲線からの距離



図 18 入力データと生成した距離マップ  
Fig. 18 Input data and generated distance map.

を保存したテクスチャ画像である。

まず  $p$  に対する  $C_p$  を求めた後, 两点間の距離  $d = |\mathbf{P} - \mathbf{C}_p|$  を求める. 次に曲線のどちら側に位置しているのかを, 計算する. 単位ベクトル  $\mathbf{J} = \frac{\mathbf{P} - \mathbf{C}_p}{d}$  を求めることで, 曲線の微分ベクトルとの外積によって左右どちら側に位置しているか計算することができる. 距離マップには, 曲線の片側の場合,  $d$  を対応した  $p$  の位置に保存する.

作成の例を図 18 に示す. この距離マップでは, RGB の数値を  $(d, d, 255)$  に設定し作成した.

### 3.6 陰影計算

陰影計算では円柱モデルを使用し, シェーダで計算を行う.

#### 3.6.1 法線マップによる陰影計算

法線マップによる計算では, ランバート反射という反射モデルを使用する. 面の法線ベクトルを  $\mathbf{N}$ , 光源の方向ベクトルの単位ベクトルを  $\mathbf{L}$  とする. レンダリングではそのときの明度  $\mathbf{V}$  を, 面の法線ベクトルと光源の方向ベクトルを反転した単位ベクトルの内積  $-\mathbf{N} \cdot \mathbf{L}$  で求める.

図 19 に図 16 の入力データと法線マップによるフォンシェーディングのレンダリング結果の例を示す. 赤色の線が入力データとなる. 本研究ではアニメ塗りを対象としているため, シワ陰影の出力ではトゥーンレンダリングの結果を使用する. トゥーンレンダリングでは, 階調を数段階程度に落としてレンダリングを行う.

#### 3.6.2 距離マップによる陰影計算

まずシワデータに対して, シワの高さを  $h$  を設定する. そのシワの高さ  $h$  と, 面の法線ベクトルと光源の方向ベクトルの角度を  $\theta$  によって, 曲線からどの距離まで陰影ができるかを計算する. 曲線からの距離は, 距離マップから取得した数値  $d$  を使用する.  $d$  が  $d \leq h \tan \theta$  を満たすとき, シワ陰影を表示するものとした.

#### 3.6.3 2種類の陰影計算の組合せ

複数のシワ線に対して陰影計算を行うとき, 稜線シワと輪郭シワの両方があり, 法線マップと距離マップの両方の陰影計算をする場合がある. このときの陰影計算を図 20 にフローチャートで示す. 対象のピクセルが距離マップによって陰影が付く範囲だった場合, シワ陰影を付ける. そ

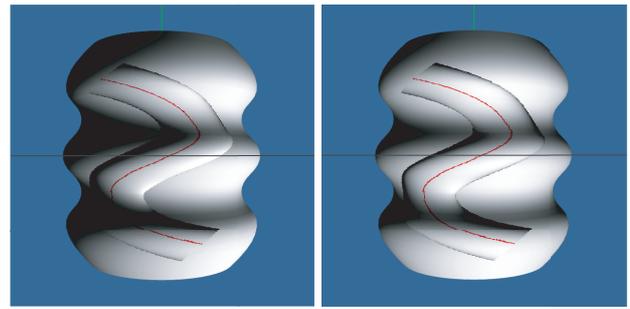


図 19 レンダリング例  
Fig. 19 Rendering example.

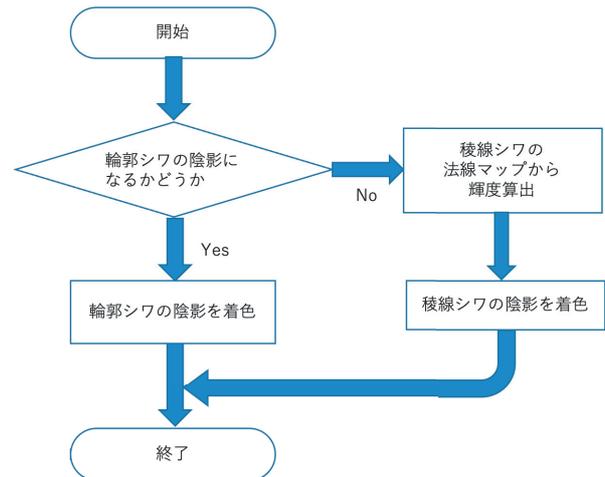


図 20 フローチャート  
Fig. 20 Flowchart.

うでない場合は法線マップによるトゥーンレンダリングの結果を反映する.

## 4. 結果と考察

### 4.1 稜線シワ

稜線シワでは法線マップを作成し, 陰影計算を行う. 本研究ではアニメ塗りを対象としているため, トゥーンレンダリングを行った. 明度が 0.1 以下, 0.3 以下, それ以外で色分けを行った.

#### 4.1.1 1本の稜線シワ

ここでは, 図 6 で示したシワ陰影を想定し, 陰影計算を行った.

図 21 は左図の赤線が入力したシワのデータであり, 右図が生成した山型の法線マップである. 各制御点の位置と重みは,  $a = 200, b = 150, w = 10$  で出力した.

図 22, 図 23 はそれぞれ左図が通常の CG レンダリングによる形状表示, 右図がシワ陰影を描写した様子である. 図 22 は光線を右上側から, 図 23 は左上側から照射しており, 光源によって陰影の様子が変わることが分かる. また, 図 6 にあるような広い領域のシワ陰影にも対応できていることが分かる.

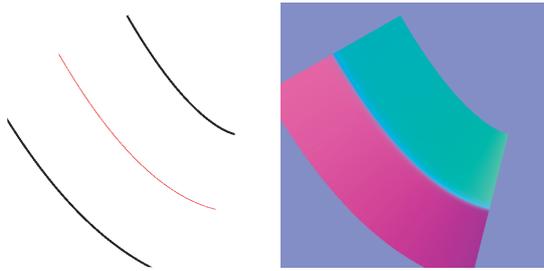


図 21 1本の稜線シワの法線マップの生成

Fig. 21 Generating a normal map for a single edge wrinkle.

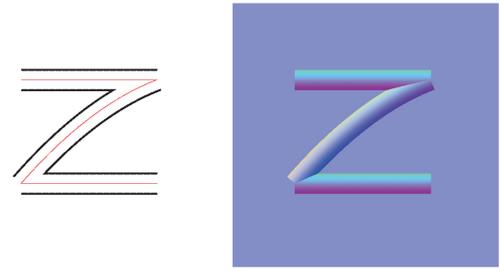


図 24 2本の稜線シワの法線マップの生成

Fig. 24 Generating a normal map for two edges wrinkle.

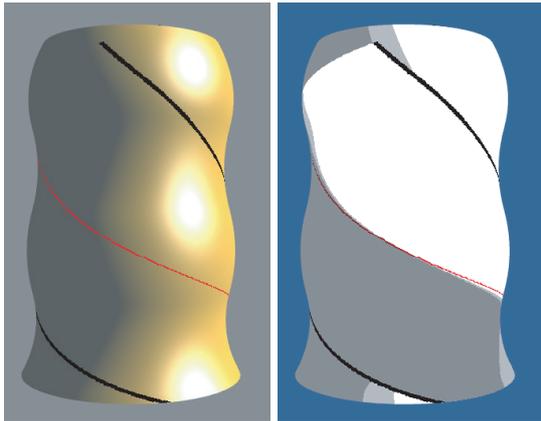


図 22 1本稜線シワのレンダリング結果1

Fig. 22 Rendering result of a single edge wrinkle No.1.

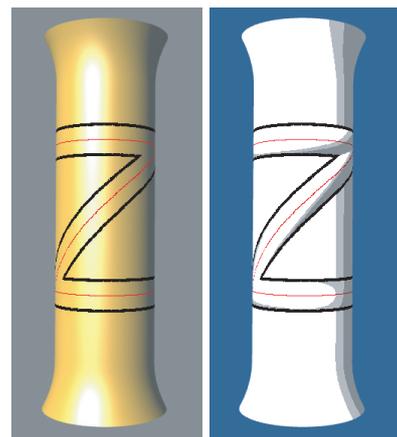


図 25 2本稜線シワのレンダリング結果1

Fig. 25 Rendering result of a two edges wrinkle No.1.

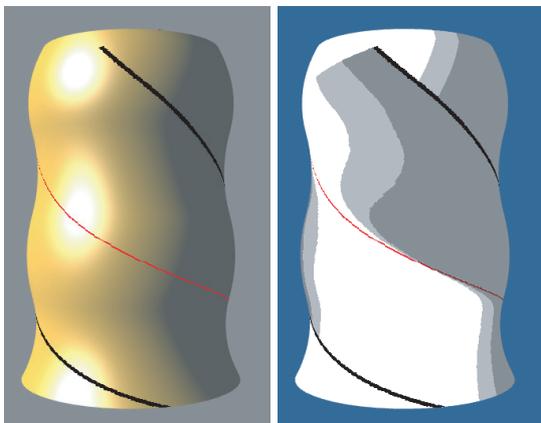


図 23 1本稜線シワのレンダリング結果2

Fig. 23 Rendering result of a single edge wrinkle No.2.

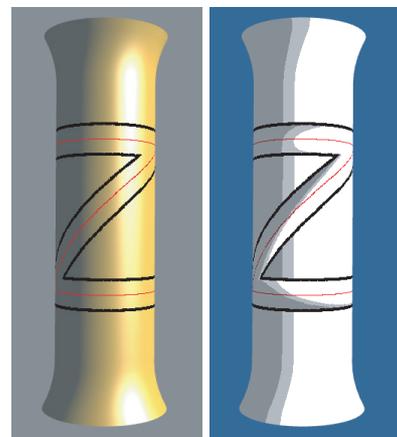


図 26 2本稜線シワのレンダリング結果2

Fig. 26 Rendering result of a two edges wrinkle No.2.

#### 4.1.2 2本の稜線シワ

ここでは、図7で示したシワ陰影を想定し、陰影計算を行った。

図24は左が入力したシワのデータであり、右が生成した2本の稜線シワの法線マップである。そして図25、図26がレンダリング結果となる。それぞれ左図が通常のCGレンダリングによる形状表示、右図がシワ陰影を描写した様子である。図25は光線を左上側から、図26は右上側から照射しており、各制御点の位置と重みは、 $a = 20$ ,  $b = 100$ ,  $w = 0.3$ で出力した。

2本の稜線シワの間が盛り上がっている図7のイラスト

のような、丸みを帯びた陰影を生成することができた。また左上の光源の影響も反映できている。これによって稜線シワの2本の場合の、布が盛り上がっている部分にできる陰影を生成できた。しかし、稜線シワのつなぎ目の部分に、イラストとは違う不自然な陰影ができてしまっている。これは、法線マップの作成でつなぎ目ができる形状を設定しているためである。

#### 4.2 輪郭シワ

ここでは輪郭シワに関する検証を行う。以下の輪郭シワ

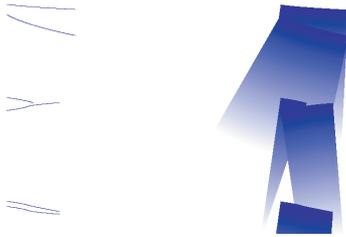


図 27 距離マップの生成  
Fig. 27 Generating a distance map.

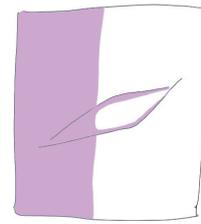


図 30 ひし形の輪郭シワ  
Fig. 30 Diamond-shaped contour wrinkles.

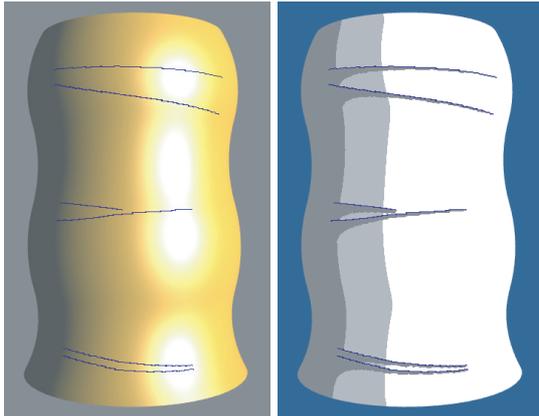


図 28 分散した輪郭シワのレンダリング結果 1  
Fig. 28 Rendering result of distributed contour wrinkles No.1.



図 31 ひし形輪郭シワの距離マップ生成  
Fig. 31 Generating distance map for diamond-shaped contour wrinkles.

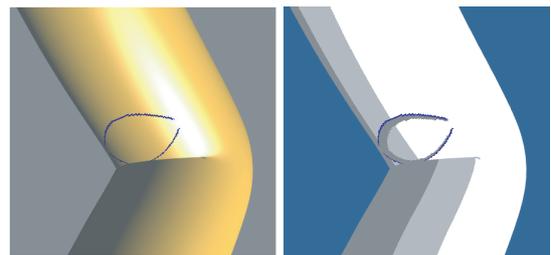


図 32 ひし形輪郭シワのレンダリング結果 1  
Fig. 32 Rendering result of diamond-shaped contour wrinkles No.1.

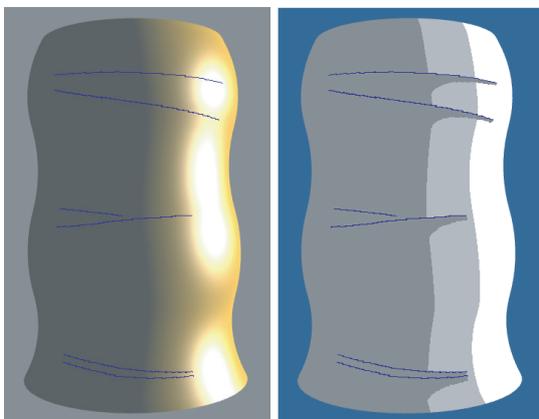


図 29 分散した輪郭シワのレンダリング結果 2  
Fig. 29 Rendering result of distributed contour wrinkles No.2.

の検証において、シワの高さ  $h$  はすべて 0.01 として計算を行った。

#### 4.2.1 分散した輪郭シワ

ここでは、図 3 の右側のイラストのように、輪郭シワが分散した状況による陰影付けの計算を行う。

図 27 は左が入力したシワのデータであり、右が生成した距離マップである。

図 28、図 29 はそれぞれ左図が通常の CG レンダリングによる形状表示、右図がシワ陰影を描写した様子である。図 28 は光線を右奥側から、図 29 は右から照射している。光源によって陰影の様子が変化することが分かる。

結果、図 3 のイラストと同じような陰影を生成することができた。輪郭シワの特徴であるシワ線の片側に対してのみ、陰影の生成ができています。

#### 4.2.2 ひし形輪郭シワによる窪みの表現

次に、2本の輪郭シワがあり、2本の間が折り込まれた結果、図 30 のようなひし形の窪み型を構成するシワ線のイラストを想定し、評価を行った。このようなシワ形状は、肘の内側のように衣服が折り込まれるような箇所にはしばしば用いられる。

図 31 は左が入力したシワのデータであり、右が生成した距離マップである。

図 32、図 33 はそれぞれ左図が通常の CG レンダリングによる形状表示、右図がシワ陰影を描写した様子である。図 32 は光線を手前側から、図 33 は奥から照射している。光源によって陰影の様子が変化することが分かる。

イラストのようにシワ線に隣接している部分は陰影ができ、少し離れている平らになる部分は陰影がついていない。また、シワ線の片側に対してのみ陰影の生成ができています。

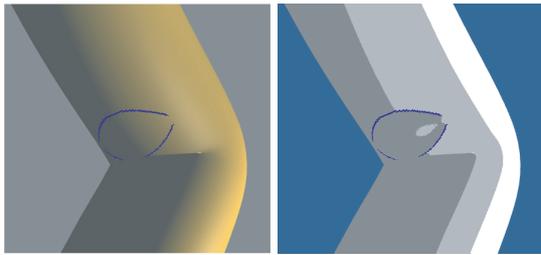


図 33 ひし形輪郭シワのレンダリング結果 2

Fig. 33 Rendering result of diamond-shaped contour wrinkles No.2.

図 30 のイラストのひし形のようなシワ線に対する陰影を生成できた。

## 5. まとめ

本論文では、キャラクタイラストの衣服のシワに対して、イラスト作成者が望む陰影を自動で生成する手法を提案した。シワを分類し、その分類したシワに対してアルゴリズムを変更することで、衣服シワに対するイラスト特有の陰影付けを実現した。しかし、稜線シワの 1 本のシワ線の場合の陰影や、輪郭シワの陰影の付ける幅を変更できないため、表現できない陰影がある。今後は、イラスト作成者の望む陰影生成がより実現できるように、表現できない陰影を作成できるアルゴリズムに拡張する必要がある。また、陰影を付ける幅や、色の段階などを調整できるようにすることでより望むイラストの陰影を生成できるようになると考える。

## 参考文献

- [1] CELSYS, Inc: CLIP STUDIO PAINT, CELSYS, Inc (online), available from (<https://www.clipstudio.net/>) (accessed 2019-02-15).
- [2] Adobe Systems: Adobe Photoshop CC, Adobe Systems (online), available from (<https://www.adobe.com/jp/products/photoshop.html>) (accessed 2019-02-15).
- [3] Sýkora, D., Kavan, L., Čadík, M., Jamriška, O., Jacobson, A., Whited, B., Simmons, M. and Sorkine-Hornung, O.: Ink-and-Ray: Bas-Relief Meshes for Adding Global Illumination Effects to Hand-Drawn Characters, *ACM Trans. Graphics*, Vol.33, No.2, pp.16:1-16:15 (2014).
- [4] Igarashi, T., Matsuoka, S. and Tanaka, H.: Teddy: A Sketching Interface for 3D Freeform Design, *Proc. 26th Annual Conference on Computer Graphics and Interactive Techniques, SIGGRAPH '99*, ACM Press/Addison-Wesley Publishing Co., pp.409-416 (online), DOI: 10.1145/311535.311602 (1999).
- [5] Nealen, A., Igarashi, T., Sorkine, O. and Alexa, M.: FiberMesh: Designing Freeform Surfaces with 3D Curves, *ACM Trans. Graph.*, Vol.26, No.3 (online), DOI: 10.1145/1276377.1276429 (2007).
- [6] Gingold, Y., Igarashi, T. and Zorin, D.: Structured Annotations for 2D-to-3D Modeling, *ACM Trans. Graph.*, Vol.28, No.5, pp.148:1-148:9 (online), DOI: 10.1145/1618452.1618494 (2009).
- [7] Rohmer, D., Popa, T., Cani, M.-P., Hahmann, S.

and Sheffer, A.: Animation Wrinkling: Augmenting Coarse Cloth Simulations with Realistic-Looking Wrinkles, *ACM Trans. Graph.*, Vol.29, No.6 (2010).

- [8] Wang, H., Hecht, F., Ramamoorthi, R. and O'Brien, J.F.: Example-Based Wrinkle Synthesis for Clothing Animation, *ACM Trans. Graph.*, Vol.29, No.4 (2010).
- [9] Jayaraman, P.K., Fu, C.-W., Zheng, J., Liu, X. and Tien-Tsin: Wong Globally Consistent Wrinkle-Aware Shading of Line Drawings, *IEEE Trans. Visualization and Computer Graphics*, Vol.24, No.7, pp.2103-2117 (2018).
- [10] ダテナオト：デジタルツールで描く！服のシワと影の描き方，マイナビ出版 (2018).
- [11] Barry, P.J. and Goldman, R.N.: Recursive evaluation algorithm for a class of Catmull-Rom splines, *ACM SIGGRAPH Computer Graphics* (1998).
- [12] ジェラルド E. ファーリン：NURBS—射影幾何学から実務まで，第 2 版，共立出版 (2001).



青木 明優花 (正会員)

2018 年東京工科大学メディア学部卒業。2020 年同大学大学院修士課程バイオ・情報メディア研究科メディアサイエンス専攻修了。



阿部 雅樹

2008 年東京工科大学メディア学部卒業。2010 年同大学大学院修士課程バイオ・情報メディア研究科メディアサイエンス専攻修了。2016 年より同大学メディア学部実験助手，現在に至る。コンピュータグラフィックスやゲーム制作に関する研究に従事。芸術科学会会員。



渡辺 大地 (正会員)

1994 年慶應義塾大学環境情報学部卒業。1996 年慶應義塾大学政策・メディア研究科修士課程修了。2016 年岩手大学工学研究科デザイン・メディア工学専攻博士後期課程修了。博士(工学)。1999 年東京工科大学メディア学部講師。2017 年同准教授，2020 年より同教授，現在に至る。コンピュータグラフィックスやゲーム制作に関する研究に従事。芸術科学会，画像電子学会，人工知能学会会員。