

# 触りたくなる質感を再現する高次元テクスチャ技術

## High-Dimensional Texture Technology for Photorealistic Computer Graphics

関根 真弘      三原 功雄      山内 康晋

■ SEKINE Masahiro      ■ MIHARA Isao      ■ YAMAUCHI Yasunobu

触りたくなるほどの高い質感を持ったコンピュータグラフィックス (CG) が制作できれば、映画やゲームだけでなく、工業製品デザインやeコマースなど幅広い分野におけるCGの応用が期待できる。従来、CGにおけるリアルな質感表現は、複雑なCGモデルの作成及び複雑な輝きや陰影の計算が必要であり、たいへん困難であった。

東芝が開発した高次元テクスチャ技術は、素材を様々な条件で撮影した画像を用いて、従来のような複雑な処理を行うことなくリアルな質感を再現することができる。また、GPU (Graphics Processing Unit) を利用することによって、質感の高いCGをインタラクティブ (対話的) に操作することが可能になった。

If high-quality computer graphics (CG) offering photorealistic surface appearances can be created, they can be applied in a broad range of markets including not only motion pictures and video games but also industrial product design and e-commerce. Complex CG modeling and complex shading calculations have conventionally been necessary for rendering photorealistic CG.

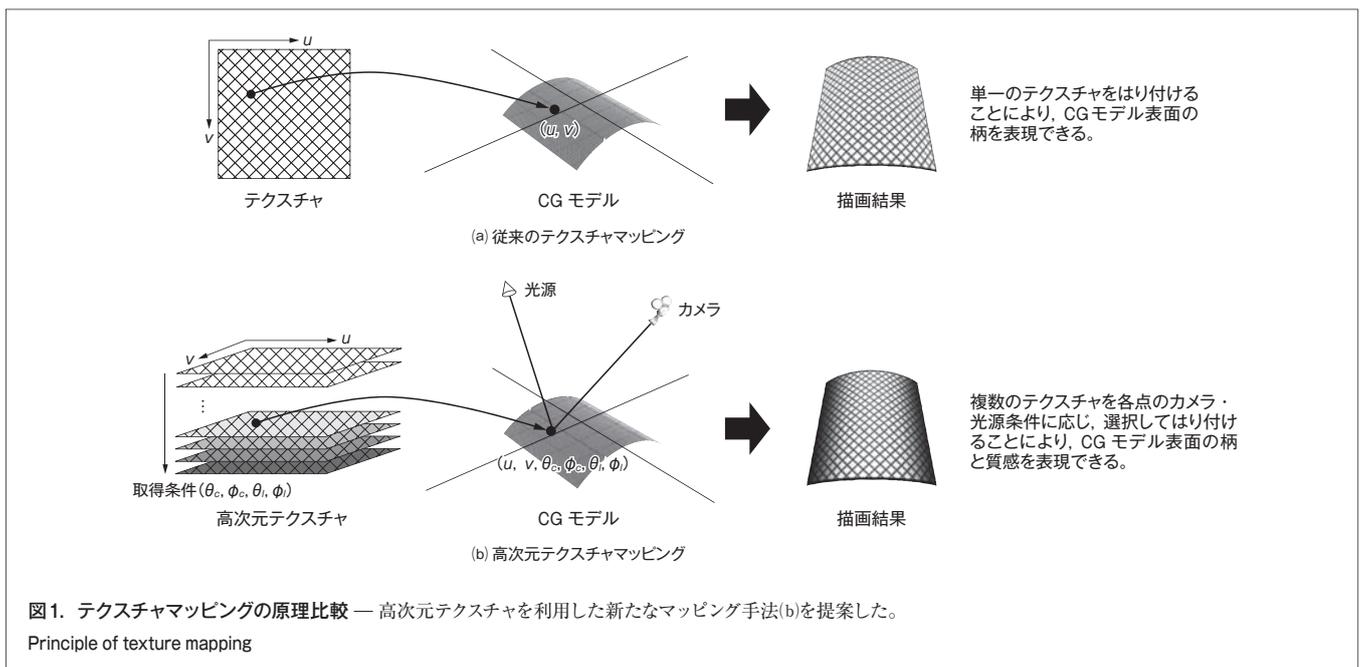
Toshiba has developed a high-dimensional texture technology that can create CG with a photorealistic surface appearance by using images of the material captured under various conditions. In addition, the high-quality CG can be controlled interactively using a graphics processing unit (GPU).

### 1 まえがき

近年、コンピュータグラフィックス (CG) 技術が急速に発展しており、実写と見まがえるほどのCG表現が可能となっている。しかし、布地や毛、皮革のように微細な凹凸を持った素材や、ドレス生地や反射シールのように複雑な反射特性を持った素材の質感をCGでリアルに再現するのはたいへん困難である。

ある。微細な表面形状や反射する光、くぼんだ部分にできる細かい陰などを表現するためには、複雑なCGモデルの作成及び複雑な輝きや陰影の計算が必要となってしまう。したがって質感の高いCGの制作には、プロのCGクリエイターのスキルや長い制作時間が必要となり、膨大なコストを要してしまうのが現状である。

一方、従来のCG技術としてテクスチャマッピングと呼ばれ



る手法が存在する(図1(a))。これは、柄を持った画像(テクスチャ)をCGモデルにはり付けることにより、CGモデル表面の柄を表現する手法である。テクスチャマッピングは、効率よくCGモデル表面の柄を表現できるため、CG制作には必要不可欠な手法となっている。

東芝は、このテクスチャマッピングを拡張することによって、CGモデル表面の柄だけではなく素材の質感も表現できる技術を開発した<sup>(1)</sup>。複数のカメラ・光源条件で撮影した画像を高次元テクスチャと呼んでおり、その高次元テクスチャを利用することによって、見る方向や光の当たる方向に応じたCGモデル表面の見え方の変化をリアルに再現することに成功した。

高次元テクスチャを用いた質感表現を行うためには、下記の技術が必要となる。

- (1) 複数のカメラ・光源条件で素材を撮影するための高次元テクスチャ取得技術
- (2) 取得した高次元テクスチャを有効に利用できるようにするための高次元テクスチャ生成技術
- (3) 高次元テクスチャをCGモデルにはり付けるための高次元テクスチャマッピング技術

ここでは、この三つの技術について述べる。特に高次元テクスチャマッピング技術は、GPU(Graphics Processing Unit)を用いることによって質感の高いCGをリアルタイムに描画できるようになった。また、触りたくなるほどの高い質感を持ったCGを低コストで制作できるようになったことにより、新たな分野での応用が期待される。

## 2 高次元テクスチャ技術による質感表現

### 2.1 高次元テクスチャ取得技術

当社は、図2に示すような高次元テクスチャ取得装置を開発した。この装置は、カメラと光源の付いた二つのアームを持っており、それぞれのアームを傾けたり回転させたりすることによって、様々なカメラ・光源条件で素材を撮影することができる。カメラの極角と方位角を $\theta_c, \phi_c$ 、光源の極角と方位角を $\theta_l, \phi_l$ とすると、 $(\theta_c, \phi_c, \theta_l, \phi_l)$ で決まる様々な取得条件で素材を撮影できる。より多くの取得条件で素材を撮影すれば、それだけ素材の色変化の特性を正確に取得することができるが、その反面データ量が多くなってしまふ。現状ではこのトレードオフを踏まえ、以下のような条件で高次元テクスチャを取得している。

- (1) 極角は、 $0 \sim 70^\circ$ を $10^\circ$ 間隔に変更した8通りの条件
- (2) 方位角は、 $0 \sim 360^\circ$ を $24^\circ$ 間隔に変更した16通りの条件  
つまり、カメラ・光源条件それぞれに対して128( $=8 \times 16$ )通りの撮影を行い、合計16,384( $=128 \times 128$ )枚のテクスチャを取得している。

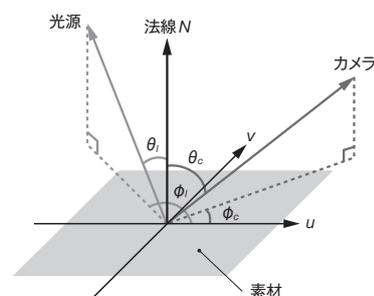
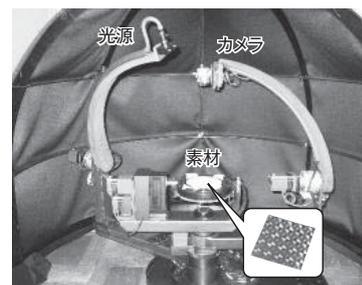


図2. 高次元テクスチャ取得装置 — 様々なカメラ・光源条件で実写データを取得する装置を開発した。

High-dimensional texture capturing system

### 2.2 高次元テクスチャ生成技術

高次元テクスチャ取得技術で取得した高次元テクスチャを、そのままCGモデルにはり付けて質感を表現することが可能である。しかし、取得した高次元テクスチャの1枚1枚の画像サイズが、CGモデルにはり付けるには小さい場合がある。例えば、 $32 \times 32$ ピクセルのサイズで高次元テクスチャを取得したにもかかわらず、CGモデルには $256 \times 256$ ピクセルの高次元テクスチャをはり付けたいような場合である。

当社は、取得した高次元テクスチャをより有効に利用できるようにするために、高次元テクスチャ生成技術を開発した。この技術は、図3に示すように、小さなサイズの高次元テクスチャから任意のサイズのシームレスな高次元テクスチャを生成するものである。近年、単一のテクスチャを同様に生成する技術が盛んに研究されており、様々な手法が存在する。当社は、

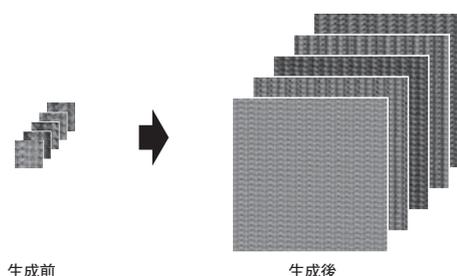


図3. 高次元テクスチャの生成 — 小さなサイズの高次元テクスチャから、任意のサイズのシームレスな高次元テクスチャを生成することができる。

High-dimensional texture synthesis

大小様々な柄を比較的精度よく再現できることで知られている、Nealenらのテクスチャ生成手法<sup>(2)</sup>を高次元テクスチャに応用することによって、任意のサイズの高次元テクスチャを生成することに成功した。

### 2.3 高次元テクスチャマッピング技術

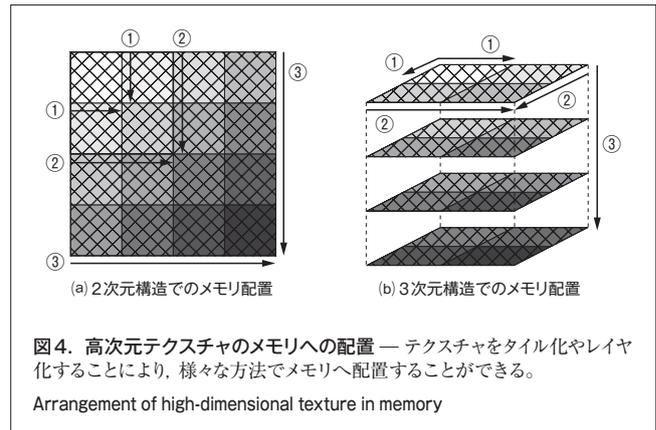
高次元テクスチャをCGモデルにはり付ける高次元テクスチャマッピングは、従来のテクスチャマッピングとは異なり、カメラ・光源条件に応じてテクスチャを選択しながらマッピングする手法である。

高次元テクスチャマッピングの原理を図1(b)に示す。まず、CGモデルのある点に注目し、その点とカメラ及び光源との関係をベクトル計算することによってカメラ・光源条件 ( $\theta_c, \phi_c, \theta_l, \phi_l$ ) を算出する。その結果、マッピングすべきテクスチャつまり取得条件のマッチしたテクスチャを選択することができる。次に、従来のテクスチャマッピングと同様に、CGモデル上で指定されたテクスチャ座標 ( $u, v$ ) に従って、選択したテクスチャの中からピクセルデータを取り出し、CGモデルにはり付ける。CGモデル上のそれぞれの位置に応じてカメラ・光源条件が異なるため、このような処理によってそれぞれ異なったテクスチャが選択され、見る方向や光の当たる方向に応じたCGモデル表面の見え方の変化をリアルに再現することができる。その結果、複雑なCGモデルの作成及び複雑な輝きや陰影の計算を行うことなく、微細な表面形状や反射する光、くぼんだ部分にできる細かい陰などを表現することができ、高い質感を得ることができる。

## 3 GPUを利用したリアルタイム描画

前述した高次元テクスチャマッピングは、通常のテクスチャマッピングに比べて描画処理の負荷が高く、CPUを利用した描画処理では、単純なCGモデルであっても1フレームの描画に数秒を要してしまう。そこで、CG描画処理を得意とするGPUの並列演算を活用した、効率的な高次元テクスチャマッピングの実現を試みた。その結果、高次元テクスチャをどのようにメモリ上に配置するかによって描画性能が大きく変化することがわかった。

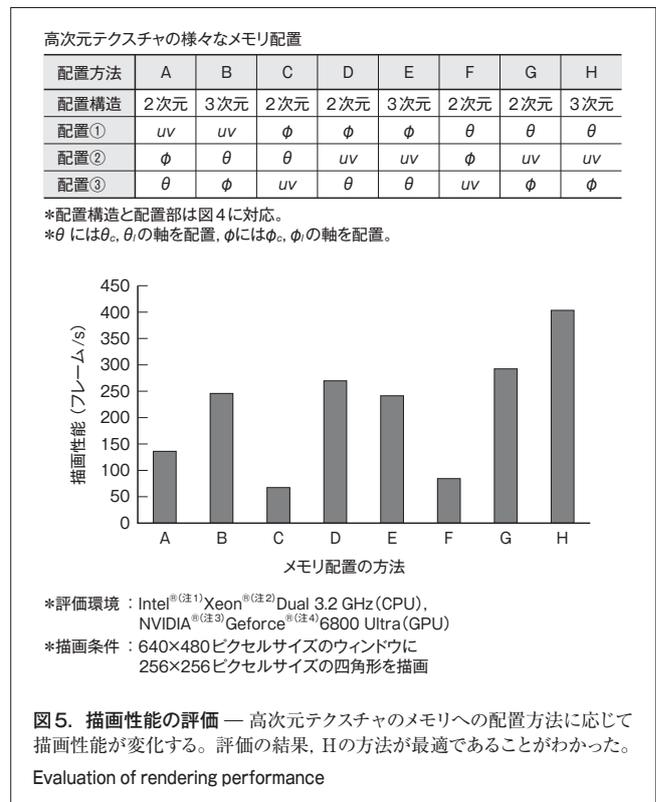
そこで、様々な方法で高次元テクスチャをメモリ上に配置し最適な配置方法を探った(図4)。GPUではテクスチャのメモリ配置方法として、図4(a)に示すような2次元構造でのメモリ配置と(b)に示すような3次元構造のメモリ配置が可能である。高次元テクスチャの場合、複数のテクスチャを配置する必要があるため、それらをタイル化したりレイヤ化したりすることで、メモリ上に配置する方法が考えられる。また、図の①の部分は、 $u, v$ の軸の変化を基準としたいわゆる一般的なテクスチャを配置することも考えられるが、そのほかの $\theta_c, \phi_c, \theta_l, \phi_l$ の軸の変化を基準としたテクスチャを配置することも考えられ



る。更に、図の②及び③の部分に関しても、どの軸の変化を基準にしてタイル化やレイヤ化をするかによって様々な配置方法が考えられる。

様々な方法で高次元テクスチャをメモリ上に配置した際の描画性能の評価結果を図5に示す。各配置方法におけるテクスチャへのアクセス回数やテクスチャにアクセスする際の効率が描画性能の決め手となり、Hのような配置方法が最適であることがわかった。

高次元テクスチャを最適な方法でメモリ上に配置し、GPU



(注1)、(注2) Intel, Xeonは、米国及びその他の国における米国Intel Corporation又は子会社の登録商標又は商標。

(注3)、(注4) NVIDIA, Geforceは、NVIDIA Coporationの商標又は登録商標。

で描画処理を行うことによってリアルタイム描画が可能となった。その結果、質感の高いCGをインタラクティブに操作できるようになった。

#### 4 触りたくなる質感を持ったCGの応用

高次元テクスチャ技術を利用して制作したCGコンテンツの例を図6に示す。



高次元テクスチャによって、図6(a)のようなくまのぬいぐるみのけばだった柔らかい質感や、(b)のような折鶴のきらめいた質感をリアルに再現することができる。このようなCGコンテンツは、映画やテレビ、ゲームなどのエンターテインメントの分野に応用することができる。

また、触りたくなるほどの高い質感を持ったCGを低コストで制作でき、それをインタラクティブに操作できるというこの技術のメリットを生かすことによって、これまでにない新たな分野での応用が期待される。

一つ目の例として、工業製品デザインの分野での応用が考えられる。図6(c)に示すような携帯電話をデザインする際、デザイナーがCADツールを用いてデザインするのが一般的であるが、現状では携帯電話の表面素材の質感までを考慮してデザインすることができない。そこでこの技術を利用することによって、様々な素材をインタラクティブに切り替えて表示し、その質感を画面上で確認しながら、素材を含めたデザインを行うことができる。

二つ目の例として、eコマースの分野での応用が考えられる。Web上で3次元グラフィックスを表示する仕組み(Web 3D)を利用して、図6(d)に示すようなスニーカーを販売する際、現状でもユーザーが好きな色を選択して購入するようなシステムを

構築することは可能である。しかし、スニーカーの質感まで確認できるようなシステムを構築することはできない。そこでこの技術を利用することによって、様々な素材を選択し、見る方向や光を当てる方向を変えながら、ユーザーの好みに合ったスニーカーを見つけられるようなシステムを考えることができる。

#### 5 あとがき

従来のテクスチャマッピングを拡張した高次元テクスチャマッピング技術を開発することによって、CGモデル表面の柄だけではなく、素材の質感も表現できるようになった。また、GPUを利用することによって、質感の高いCGをインタラクティブに操作することが可能になった。この技術を用いて制作したCGコンテンツは、映画やテレビ、ゲームのほか、工業製品デザインやeコマースなど幅広い分野での利用が期待される。

今後もCGにおける質感表現を追究し、人の感性に訴える、より効果的な可視化手法の研究に取り組んでいく。

#### 文 献

- (1) 関根真弘, "GPUを用いたリアルタイム高次元テクスチャマッピング". 情報処理学会研究報告 2005-CG-120. 北陸先端科学技術大学院大学, 石川, 2005-08, 情報処理学会, 2005, p.13-18.
- (2) Nealen A., et al. "Hybrid Texture Synthesis". Proceedings of Eurographics Symposium on Rendering. Granada, Spain, 2003-09, Eurographics Association, 2003, p.97-105.



関根 真弘 SEKINE Masahiro

研究開発センター ヒューマンセントリックラボラトリー。  
コンピュータグラフィックスに関する研究・開発に従事。  
Humancentric Lab.



三原 功雄 MIHARA Isao

研究開発センター ヒューマンセントリックラボラトリー研究主務。  
コンピュータグラフィックス及びヒューマンインタフェースに関する研究・開発に従事。ACM, 電子情報通信学会会員。  
Humancentric Lab.



山内 康晋 YAMAUCHI Yasunobu

研究開発センター ヒューマンセントリックラボラトリー研究主務。  
コンピュータグラフィックス及びヒューマンインタフェースに関する研究・開発に従事。情報処理学会, ACM会員。  
Humancentric Lab.