

# 木材の質感を伝達する製品提案手法の開発と家具製品への応用（第2報） 3Dスキャンとリバースエンジニアリングによる 実製品の3DCG作成の事例研究

山口穂高\*, 藤巻吾朗\*

Development of Communication Method Presenting Wooden Visual Textures  
and Application for Furniture (II)  
Case Study for Creating 3DCGs from Actual Products via 3D Scanning and Reverse Engineering

YAMAGUCHI Hodaka\*, FUJIMAKI Goroh\*

近年は家具製品のオンライン販売が盛んになっており、製品の質感を適切に伝達する手法の開発が望まれている。ここでは、製品の形状を分かりやすく伝える手段として、木製ダイニングチェアの3Dスキャンとリバースエンジニアリングから3DCGを得る工程を検討した。3Dモデルは、フレーム部に実際の木目模様を貼り付けたモデルとフレーム部を木材の繊維方向ごとに分割したモデルの2種類を作成し、クッション部の色違い品と木部の樹種違い品を仮想した3DCGを描画した。また、全天球カメラによって撮影した風景画像を光源とした写実的な3DCGとより見栄えを意識してイメージスタイルを適用した3DCGの作例を確認した。

## 1. 緒言

近年は木製家具製品分野においてもインターネット販売に代表されるECへの対応が必須であるが、その販売プロセスにおいては実製品を直接確認することがないので、製品の「イメージ」を消費者に適切に伝達することが求められる。その「イメージ」をデジタル情報で伝達する手段は、旧来は文字、写真、動画が用いられてきたが、近年は製品の3Dモデルを活用した三次元コンピューターグラフィックス（3DCG）が用いられる機会も増えている。3DCGを用いるメリットの一つは、実物が存在しなくてもその見た目を仮想できる点である。これにより、例えば、実際には試作していない色違い品を仮想する、仮想室内に自由に家具を配置してそのコーディネートを確認する、細部や内部を見せる等の視覚的な訴求資料を作成することが可能となる。また、本研究で着目している木製品の質感伝達においても、製品の形状を分かりやすく伝えるという面で、3DCGの活用は有効だと考えられる。

このような3DCGのメリットを享受するためには、その元となる3Dモデルが必要であり、通常は3DCADソフトやモデリングソフトを用いて作成しなければならない。しかし、木製家具の形状には職人が直接手で削り出した有機的な形状が含まれていることが多く、このような形状を忠実にモデリングするには相当なスキルが求められる。

そこで本研究では、実物形状を三次元座標データとして測定する3Dスキャナとそのスキャンデータから汎用3Dモデルを得るリバースエンジニアリングの技術を活用して、実際の木製家具製品から3DCG用のモデルを取得して、その3DCGを描画する工程を検討したので報告する。

## 2. ワークフローの概要

本研究では、木部とクッション部からなる肘付きダイニングチェア（株式会社シラカワ、Raptアームチェア、W590×D560×H890mm、布張地）をサンプルとした。まず、この製品の3Dスキャンとリバースエンジニアリングを行い、できるだけ実物の形状を維持したまま、必要な修正を加えた3Dモデルを

\* 試験研究部

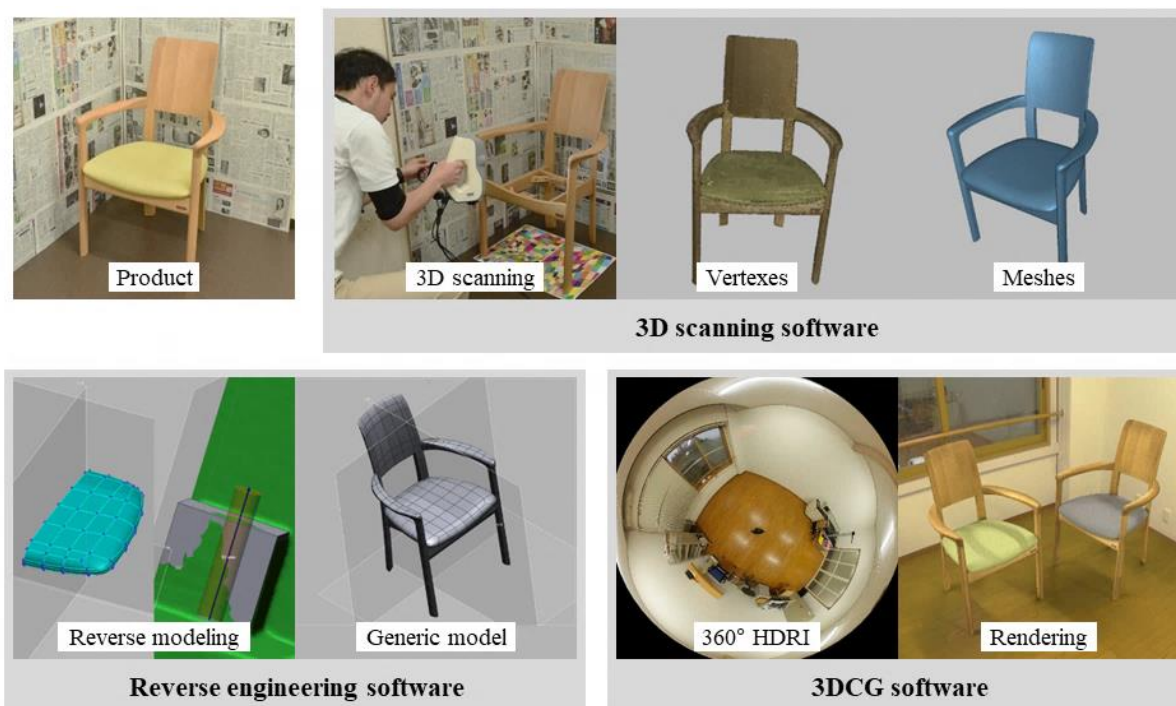


図1 ワークフローの概要

作成した。その後、3DCGソフト内で得られたモデルと光源を設定することで3DCGを描画した。その際、実室内環境を仮想できるように全天球カメラによって撮影したハイダイナミックレンジ画像 (HDRI) を用いたImage Based Lighting (IBL) を行った<sup>1)</sup>。本研究のワークフローの概要を図1に、用いた機材とその主な仕様を表1に示す。

本研究ではリバースエンジニアリングによって以下2種類のモデルを得た。一つは、クッション部とフレーム部を分割し、フレーム部には実物の木目模様のテクスチャを適用したモデル (以下、re-Meshモデル) である。このモデルでは、クッション部の色違い品の確認とIBLおよびスタイル調整を適用した3DCGの見栄えの確認を行った。もう一方は、フレーム部が木材の繊維方向ごとに分割されたモデル (以下、re-CADモデル) である。Re-CADモデルでは、実際の木目のテクスチャは適用せず、3DCGソフト上で異なるマテリアルを適用することで、樹種違い品の仮想を確認した。

表1 使用機材と主な仕様

	Equipment	Spec.
3Dscanner	Artec Eva	3D resolution: 0.2mm
Modeler	Geomagic Design X 2020	Reverse modeling software
Renderer	Keyshot 10	Photon mapping method
360 camera	Ricoh Theta Z1	Resolution: 6720×3360
Image editor	Adobe Photoshop CC	HDR rendering

### 3. 3Dモデルの作成

#### 3.1 3Dスキャンの方法

ハンディタイプのカメラ式3Dスキャナによって、フルカラーテクスチャイメージとともに三次元座標を取得した。スキャンはデータの欠損を抑えるために表裏四方から数回に分けて行った。その後、対象物とともに写り込んだ壁や床などの不要な点を削除し、複数のスキャンデータ同士を統合して単一のメッシュ形状を得た。得られたメッシュデータにはスムージングとメッシュの間引きを施し、テクスチャイメージを貼り付けたOBJ形式 (以下、scan-Meshモデル) に変換した。scan-Meshモデルのポリゴン数は約60万個、ポリゴンの平均辺長は1.97mmであった。また、テクスチャイメージはJPGファイル形式で8,192×8,192 pxの解像度を有した。

#### 3.2 リバースエンジニアリングの方法

3Dスキャンによって得られたメッシュデータは対象物を一塊として表現するモデルである。したがって、フレーム部、クッション部といった部材の判別情報は保持しておらず、スキャン後のメッシュデータそのままでは部材ごとに異なるマテリアルを適用することはできない。また、カメラ式の3Dスキャナの特長上、構成要素の影になる部分は撮影できず、メッシュデータに欠損が生じたままと

なる。加えて、直線、真円、平面などといった幾何情報も保持していない。そこで、以下の方針に従ってリバースエンジニアリングを行い、より汎用性の高いモデルの構築を試みた。

- (1) メッシュデータを読み込み、座標を定める
- (2) 中心面で左右に分割する（基準：左半身）
- (3) フレーム部とクッション部など、モデルを部材ごとに分割する
- (4) 幾何的な部材は数値制御によってソリッドデータとしてモデリングする
- (5) 有機的な部材はメッシュデータの形状を自由曲面要素にフィットさせてソリッドデータとしてモデリングする
- (6) 中心面でミラーリングを行う
  - フレーム部を繊維方向ごとに分割し、IGES形式で書き出す（re-CADモデル）
- (7) フレーム部一式とクッション部をそれぞれメッシュデータへ変換する
- (8) フレーム部に元メッシュデータのテクスチャイメージを貼り付ける
  - OBJ形式で書き出す（re-Meshモデル）

上記により、椅子を構成する各部材が分離され、左右対称な3Dモデルが作成された。re-Meshモデルにおけるフレーム部のポリゴン数は約24万個、平均辺長は3.20mmとなり、クッション部のポリゴン数は約20万個、平均辺長は2.51mmとなった。

### 3.3 形状再現度の確認

形状の再現度は2つの3Dモデルの偏差によって評価することができる。図2にscan-Meshモデルとre-CADモデルの法線方向の偏差を示す。偏差の全体的な程度を表すRMSの値は0.619mmであった。以下に局所的な曲面形状と大局的な形態に分けて形状再現度を確認する。

まず、椅子の左半身に着目して局所的な曲面の形状再現度を考察する。図2の左半身の背もたれおよびアームにおいては、偏差は0.2mmほど（水色～黄色の範囲内）であり、本研究で作成したモデルは各部材の有機的な曲面を忠実に表現できていると言える。これは、メッシュデータの形状に自由曲面をフィットさせる手法（3.2手順(5)）を多用したためであり、実物に忠実な曲面を本手法によって簡易に得ることが可能であることが示された。

一方で、大局的な形態の形状再現度に着目すると、図2のモデルの右半身において、脚やアームの先端、背もたれの先端などの位置において偏差が大きいことが確認される。この偏差は、3.2手順(6)のミラーリングによって生じたと考えられ、初期

座標の定義の精度に依存すると言える。この偏差を抑えるためには、3.2手順(1)の座標の定義をより厳密に行うことが有効であるが、リバースエンジニアリングにおける座標の定義は、製品に含まれる幾何的な形状要素を推測しながら進めるため、製品の形状が有機的になるほど困難となる。そのため、形状の対称性を求めない場合にはミラーリングや周期的な複製によるモデリングを行わない方がより原形に忠実なモデルが得られることが示唆される。その一方で、クッション表面の曲線や木製椅子の脚先端は多少の外力や温湿度などの環境的要因で変形する可能性があり、設計時に幾何形状が意図されている形状であっても、実際には歪んだ状態でスキャンされてしまうことも想定される。このような場合は、ミラーリングなどの数値的および幾何的なモデリング手法を用いる方が本来意図した形状に近いモデルを作ることができる。

以上より、形状再現度は対象物の形状の特徴とモデリングの手法の組み合わせによって異なることが示唆された。まず、幾何形状要素を本来意図した形状で再現するにはミラーリングなどの数値的なモデリング手法を活用する方がよい。反対に有機的な形状要素の場合には、自由曲面をフィットさせる手法が簡易かつ有効である。ただし、自由曲面を豊富に含むモデルは容量が大きくなるというデメリットも存在する。したがって、モデリングの際には、対称形状の特徴とモデルの使用目的に応じて求める形状再現度を柔軟に見直し、適切な手

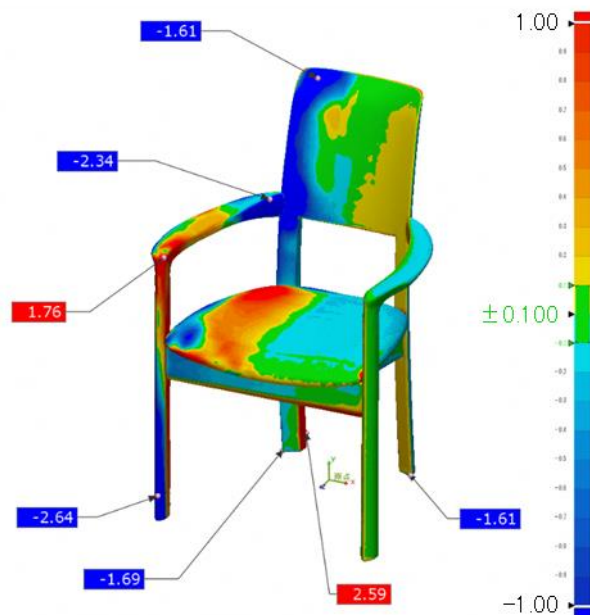


図2 scan-Meshモデルとre-CADモデルの形状比較（法線方向の偏差(mm)をカラーマップで表示）

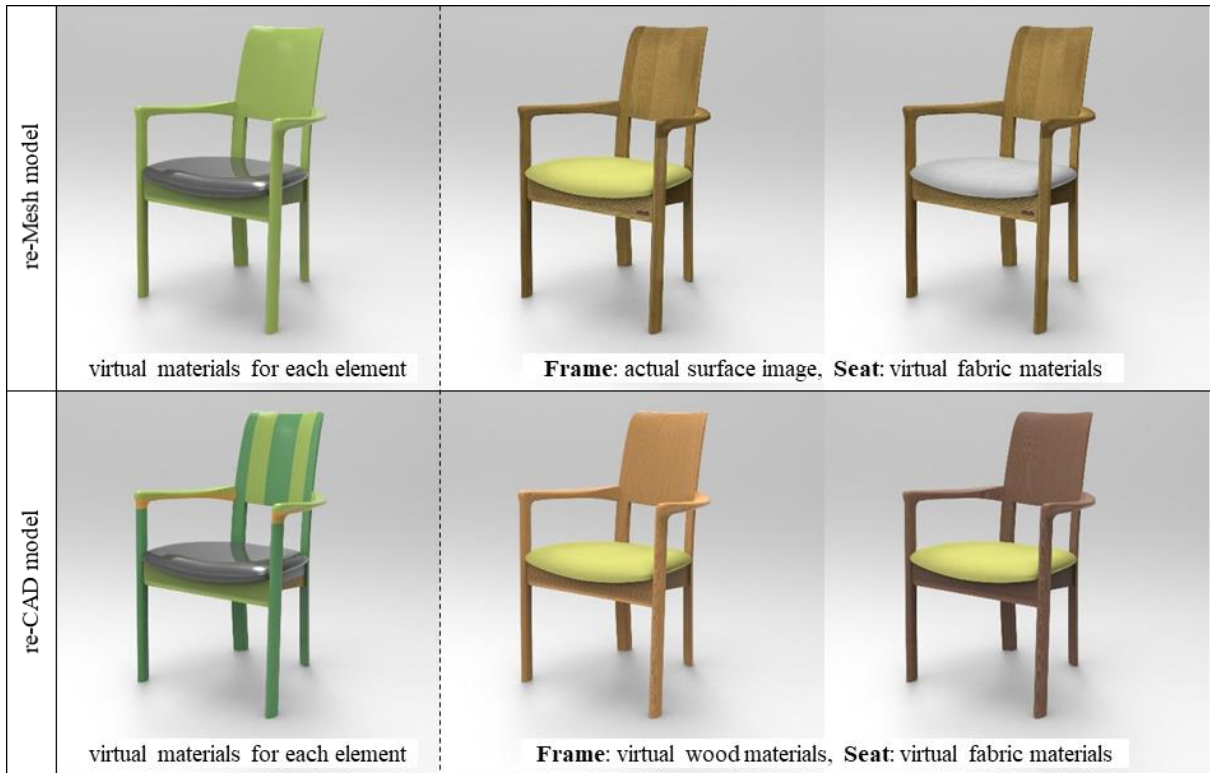


図3 汎用照明環境で出力された3DCG  
 (上：実際の木目パターンを適用したre-Meshモデル、下：木材マテリアルを仮想したre-CADモデル)



図4 IBLを用いた3DCG  
 (3Dモデルは図3におけるre-Meshモデル)

法を選択する必要があると言える。本研究では、形状の対称性を重視してミラーリングを行ったモデルを後の3DCGの描画に用いた。

#### 4. ライティング環境用HDRIの撮影

近年の3DCGソフトでは、実環境の写真をCG上のライティングとして使用することができるIBLの機能が備わっている。この機能により、3Dモデルの表面に周辺環境が写り込んだCGが描画されるように、より現実世界に近いライティングが可能となる。なお、その際はより広いダイナミックレンジを持つHDRIが用いられることが一般的である。

本研究では、全天球カメラのブラケット撮影機能を用いて実環境の撮影をし、得られた露出の異なる複数枚の画像を画像編集ソフトにてHDR合成を行うことで、IBL用のHDRIを得た<sup>2)</sup>。

### 5. 3DCGの描画

#### 5.1 色違い品および樹種違い品の描画

3DCGソフト内の汎用照明環境に得られた2種類のモデルを読み込み、それぞれにマテリアルを適用することでクッション部の色違い品や樹種違い品の見た目を確認した。図3に出力された3DCGを示す。色違い品の描画にはre-Meshモデルを用い、フレーム部には3Dスキャンで得られた実際の木目のテクスチャイメージ、クッション部には3DCGソフト内の織物マテリアル<sup>3)</sup>をそれぞれ適用した。樹種違い品の描画にはre-CADモデルを用い、3DCGソフト内の木材マテリアル<sup>3)</sup>を各部材に適用した。この際、仮想される木目の繊維方向が実際の各部材の繊維方向と合うように方向を調整した。以上一連の処理により、図3の通り、色違い品と樹種違い品の描画は可能であることが確認された。

ここで、木製家具の見た目の質感においては木目模様の表現が重要であるために、得られた3DCGの木目模様の妥当性について述べる。実物よりスキャンされたテクスチャを用いる場合（図3上段）では、その木目模様は現実のものであるが、画像の精細さが3DCGの仕上がりに直接影響する。また、樹種違い品を描画することはできない。一方で、仮想の木材マテリアルを適用する場合（図3下段）はその色や模様を自由に設定できるというメリットがある。しかし、木目模様を仮想する技術<sup>4-6)</sup>においては、その表現力は使用する手法と3DCGソフトに依存する。また、図3のフレーム部は、木取りの方向は部材ごとに調整したにもかかわらず、色味は

全ての部材で同値を用いてしまったために、全体に単色な見た目に仕上がっている。よりリアルな3DCGを得るには、部材ごとの色柄のバラつきまでを考慮する必要があると言える。以上より、実際の木目画像を流用する場合と木材マテリアルを仮想する場合とではそれぞれ長所短所があることが示唆され、これらの適切な選択が求められる。

なお、得られた3DCGの見た目が観察者に対してどの程度のリアルさや妥当な感じを与えるのはここでは検討できていないため、今後の課題である。

#### 5.2 実周辺環境の仮想

より写実的な画像の仕上がりを確認するために、4.で作成したIBL用のHDRIを読み込み、配置を適宜調整したうえで、レンダリングを行った。得られた3DCGを図4に示す。比較として、HDRIの撮影に用いた同じカメラで実写した実物の写真と同様のアングルで作成した3DCGを示す。

これらの比較より、ライティング環境の違いによって製品の見え方が異なる現象をある程度再現できていることが確認される。一方で、実写とCGの比較から、特に室内環境において床面への影の落ち方に差異が見られた。これを改善するためには、IBLを適用するHDRIと製品のサイズ関係やパース関係を厳密に調整する必要があり、今後の検討課題である。

#### 5.3 カタログ写真の仮想

カタログなどのプロモーション用途への活用を見据え、より見栄えを意識した3DCGの仕上がりを確認した。椅子のフォトリアルなCG作成法<sup>7)</sup>を参考にライティングやイメージスタイルを適宜調整し



図5 イメージスタイルを調整した3DCGの作例

た画像の作例を図5に示す。なお、モデルは図3におけるre-Meshモデルを用いた。

## 6. まとめ

本研究では、木製ダイニングチェアの3Dスキャンから3DCGを作成するワークフローの事例研究を行い、以下を確認した。

- (1) 実物の3Dスキャンとリバースエンジニアリングをおこない、フレーム部の各部材とクッション部を分離した3Dモデルを得た。
- (2) モデルの形状再現度の結果から、有機的な曲面の再現は容易な一方で、座標の定義とデータ容量の削減には課題があることが分かった。
- (3) 得られた3Dモデルからクッション部の色違いとフレーム部の樹種違いを仮想した3DCGの描画が可能であることを確認した。
- (4) 実際の木目模様をそのまま3DCGに用いる場合には樹種違いの仮想が、木目模様を仮想する場合には個々の木材の色柄のバラつきがそれぞれ課題となることが分かった。
- (5) 実際の環境を撮影した全天球を光源に用いた写実的な3DCGを描画し、その見た目の違いを仮想した。
- (6) より見栄えを意識してライティングやイメージスタイルを調整した3DCGを描画した。

## 参考文献

- 1) 豊田敏裕：照明シミュレーションのための屋外光環境データ化技術（第1報），静岡県工業技術研究所研究報告，12，pp. 43-44，2019.
- 2) CGWORLD.jp: コスパ最高！ RICOH THETA Z1 を利用した ACES 対応 HDRI 制作フロー<1>撮影編，<https://cgworld.jp/feature/202006-cgw262t1-tips01.html>，2021年12月参照
- 3) Keyshot 10 Manual: Textures，<https://manual.keyshot.com/manual/textures/>，2021年12月参照
- 4) 桃井貞美，高寺政行：CG ソリッドテクスチャリングへの年輪形状ゆらぎ発生モデル導入によるリアリティの改善効果，日本感性工学会論文誌，14 (3)，pp. 351-359，2015.
- 5) 河合直樹：樹木内部の繊維配向性モデルと木目テクスチャ生成における質感表現，情報処理学会論文誌，41 (3)，pp. 586-593，2000.
- 6) 柴崎慧：デジタルスタイルデザインに関する研究，精密工学会誌，76 (11)，pp. 1293-1298，2010.
- 7) Sam Does Design: Keyshot Interior Realistic HDRI Lighting Tutorial，<https://www.youtube.com/watch?v=B7VCDH6Fpmc>，2021年12月参照