

食品パッケージデザインに特化した3DCGリアルタイムレンダリングソフトウェアの開発

■ 金 尚泰 筑波大学大学院
 □ 黒瀬克也 (株)MDD Creative
 □ 原 智彦 (株)MDD Creative

Development of 3DCG real-time rendering software that specializes in food packaging design

KIM Sangtae : University of Tsukuba
 Kurose Katsuya : MDD Creative.Co., Ltd.
 Hara Tomohiko : MDD Creative.Co., Ltd.

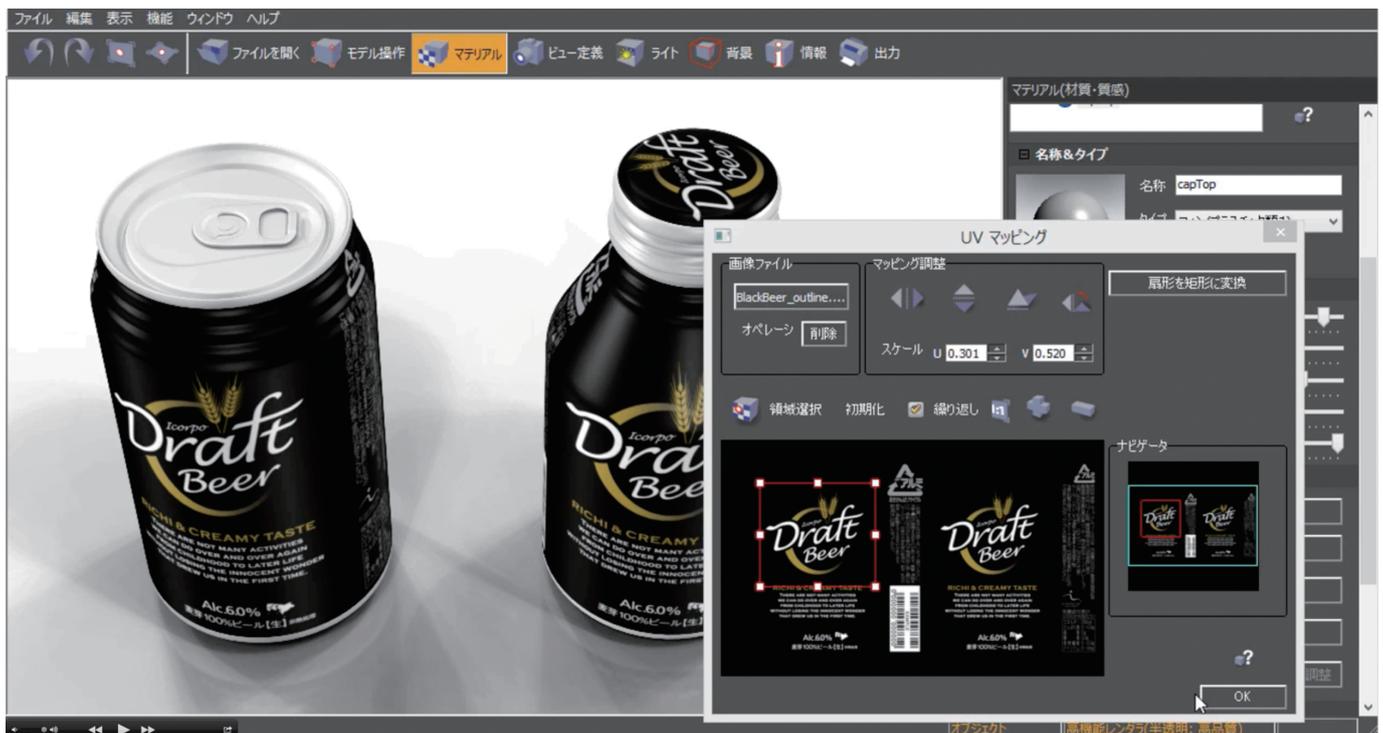


図1. 開発した3DCG商品画像リアルタイム制作ソフトウェア

要旨

工業製品業界での3DCG活用は、CAD・CAMによるデザイン・設計・モデリング・検証・製造までのデータを一貫管理できるメリットから業界標準となっている。その反面、加工食品業界（飲料、菓子、冷凍食品、インスタント食品など）では、パッケージデザイン版下作成にはCGを用いるものの、完成品イメージ画像の作成は、現物もしくはモックアップと呼ばれる模型を用いて写真撮影を行う事が一般的である。食品メーカーは、「企画・生産・販売のサイクル」が短いため、特に広報用画像に力を入れている。新商品をいち早く市場に送り出すためには、パッケージデザイン完成後いかに速やかに目的に応じた商品画像を用意できるかが大きな課題であり、模型制作・写真撮影・背景抜き・画像合成などの作業にかかる手間とコストは、会社にとって大きな負荷となっている。本研究は、このような食品業界の課題に着目し、その工程改善に特化したリアルタイム3DCGソフトの開発を行ったものである。

Summary

The industrial product design and manufacturing, use of 3DCG software based on CAD/CAM is a mandatory tool to realize precise design and accurate production process. On the other hand, since grocery industries are in the middle of severe competition, each maker tries to launch new products as soon as possible. So, how to shorten the cycle time of new product planning, design & manufacturing and marketing & sale, is one of the keys to success for each company. Considering above non-effective operations in the grocery industry, this research finds the problem specialized in this industry and proposes the solution with newly developed software by fully utilizing 3DCG concept and technique.

1. はじめに

3DCGを用いたシミュレーションは、主に軍事産業や大型のプロダクトデザイン分野で適用され、デザイン・設計・モデリング・検証・製造までのデータを一貫管理できるメリットから、現在は飛行機や、自動車、家電製品などのデザインには欠かせない手法となった。近年、3Dプリンターの普及や立体視対応家電の普及に伴い、3DCG活用の方が広がりつつある。工業製品業界での3DCGソフトは、CAD・CAMによる精密なデザイン・加工・生産まで幅広く活用されている。

その反面、加工食品業界（飲料、菓子、冷凍食品、インスタント食品など）では、パッケージデザイン版下のみCGを用いて設計を行うものの、完成品イメージは模型を用いて写真作成を行う場合が多い。一部の容器製作メーカーを除いて、企画段階から3DCGでの制作プロセスを進める例はほとんどない。かつ食品メーカーは、企画・生産・販売のサイクルが短く、現物が出来上がっていない段階から広報用資料を準備しなければならないなど、前倒しで完成品画像の提示を求められる。広報に用いられる印刷物の制作用素材は、写真作成が必須となるため専門のスタジオで一点一点写真の撮影が行われる。版下作業には製品写真以外の背景部分を透明に処理する「背景抜き作業」が必要となるが、その作業は人手に依存するものであるため、現在は海外への外注仕組みが確立されている。このような多数の模型制作、写真作成、背景抜き作業の手間とコストは、会社にとって大きな負荷となる。さらに、製造メーカーが制作した広報用画像は小売りには渡らず、小売りはチラシ制作等のために同じ作業を独自で繰り返し行っている。しかも売れるものかどうかに関わらず、膨大な作業が常に行われているのが現実である。このような食品業界の規模は17兆4千億円で、毎年2.4%の伸び率を記録している（注1）。

2. 研究目的

本研究は、このような非効率的な食品業界における商品画像作成作業に着目し、その工程に特化した3DCGソフトの開発を目的とする（図2参照）。

3DCGの活用により、上で述べた一連の流れにおける作業効率を向上させる事ができると考えた。3DCGで製品モデルを制作しポリゴンオブジェクトとして管理する事によって、オブジェクトと背景を個別に認識させ、背景の取り除き作業を不要にするとともに、状況に合わせた写真撮影の現場再現、照明、撮影角度、カメラアングルなどを容易にコントロールできるようにすることで、One source Multi Useを可能とする。

この取り組みは、コスト削減とともに環境への配慮、食品データベースの自動蓄積にも役立つ。

3. ソフトウェアの対応範囲と商品画像の種類

屋外広告用の巨大な画像からウェブ用の軽量画像まで、全てを3DCGで制作するには、ディテールや色合わせなどの条件を全てクリアしなくてはならないため、本研究で制作する

ソフトウェアの活用範囲を定める。一般的にメーカーが用意する商品画像は、下記の2種類に大きく分ける事が出来る。

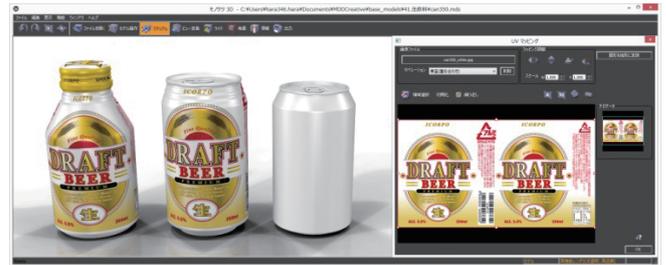


図2. 3DCGモデルのイメージを入れ替えるだけでリアルタイム商品画像を作成

- ①B-C画像：CM映像・画像、大型ポスター等、一般消費者の目に触れる高精彩画像であり、高品質で「しずる感」（泡、水滴、湯気）のある画像が求められる。
- ②B-B画像：小売、卸、メーカー等の業界内部で使われる目的に応じた画像であり、新商品の社内・関連会社への告知用画像等がある。

商品カタログ、チラシなどの紙媒体向け画像、棚割りソフト用画像、ウェブ掲載用画像がB-C画像にあたる。

B-B画像にも品質は求められるが、制作スピードと価格が重要なファクターになり、この点に多くコストがかかっているのが現実である。かつ単品のみではなく大量陳列用画像やキャンペーンなど販促提案用画像の需要も多い。

本ソフトウェアの活用ターゲットは、制作スピードとコストに重点を置いたものであり、特徴としては3DCGモデル形状にデザインラベルを張り替えることを基本とするリアルタイムレンダリングソフトウェアである。B-B画像作成のエリアこそ、3DCGを積極的に活躍できる場であると考えている（表1参照）。

表1. 某食品メーカーの商品画像分類

商品画像	画像要件	メーカー	流通	小売販売	現行	ターゲット
B-C 画像						
大型ポスター	高品質、シズル感	ポスター		店内ポスター	カメラマン・スタジオ	
コマージュ	高品質、シズル感	コマージュ			カメラマン・スタジオ	
B-B 画像						
社内告知	現物無し、スピード、低品質	社内用途			物撮り・CG業者	★
棚割画像	現物無し、スピード、低品質	棚割ソフト ^(※2)		ウェブ掲載	物撮り・CG業者	★
パンフレット	現物無し、スピード、低品質	パンフレット	小売りへの提案	チラシ/ウェブ	物撮り・CG業者	★
大量陳列	POPとの組み合わせ	小売りへの提案	小売りへの提案	店頭陳列	2Dバース専門業者	★
キャンペーン	POPとの組み合わせ	小売りへの提案	小売りへの提案	キャンペーン	2Dバース専門業者	★

4. 食品業界における、リアルタイム3Dシミュレーションの必要性

- ①ライフサイクルが短い：競争が激しく次から次へと新商品

が投入されると言う点で、加工食品業界は他の工業製品とは異なり、定番商品やヒット商品以外のライフサイクルは非常に短い。しかし新製品開発のコストは商品ライフが短くても変わらないため、新製品を出すためにはその都度、膨大な写真作成や模型制作を必要とする。3DCGを用いる事によって写真作成の数と時間を大幅に短縮できる。

- ②開発段階から量販まで、用途に合わせて必要となる写真の種類が非常に多い：新商品発売前から取引先に対し広く商品を告知する為の広報用資料を揃えることが必要で、製品が出来上がっていないでも新商品画像の提示を求められる。デザイン段階ではCGが用いられており、容器デザインでは3DCGによる作業も行われているが、販促や広報用の資料は模型によって作成される事が多く、模型制作の時間と費用そしてその廃棄処分によるコスト比重が高い。もちろん模型による質感や実物の大きさの検証等は必要な場合があったとしても、3DCGを用いる事によって、模型制作回数を極端に減らす事ができる。また、模型によって販促用写真を作成した場合、レイアウトのための背景抜き、色調整作業は非常に手間がかかる作業である。背景抜き作業においては、人件費を抑えるため海外発注するメーカーもある。3DCGは、製品が出来上がっていない段階でも模型撮影のようにレンダリングする事ができ、さらに背景とオブジェクトを別物として認識するため背景抜き作業の手間がかからない。
- ③メーカー、流通、小売りまでのデータ共有：前述したように手間のかかる販促用の写真作成であるが、そのデータは小売りや中間業者には渡らず、同じ作業をそれぞれ繰り返すのが現在の状況である。3DCGは、ポリゴンモデル・デザインラベル・材質・照明・カメラ情報を一元管理するため必要に応じてリアルタイム画像出力が手軽に行われる。
- ④一部の商品以外、商品の容器・包装の形状がシンプルであり、デザインラベルを入れ替えるだけで多くの商品が表現可能な部分は3DCGの得意な分野である：容器の形を分類し、事前に3DCGモデルを用意しておくとともにテクスチャーマッピング（UV）情報もモデルに埋め込む事で、リアルタイムで無数のバリエーションが制作できる。
- ⑤陣列シミュレーション「棚割画像」の体系化：販促用画像以外の陣列棚シミュレーション用画像やDB構築のための画像は一環化されていないため、3DCGデータとして用意する事によって様々な要求に素早く対応できる。

5. 食品業界で3DCGが一般化されない原因

このような状況の中にも関わらず、3DCGの導入が難しく、模型での写真作成に依存する理由を現場で聞くと、いくつかの課題が挙げられた。

- ①頻繁な製品入れ替えと膨大な新製品の数があるため、3DCGで制作すると時間的に間に合わない：製品画像をレンダリングするためには、必ずポリゴンモデルが必要である。レンダリングは、計算機が自動的にパラメータに合わ

せて行うものであるが、モデリングは、人が形状を見ながら制作しなくてはならない。照明や質感等を正確に表現するためには多くの時間を必要とする。

- ②3DCGを扱える人材の確保とハードウェア、ソフトウェアのランニングコスト問題：近年、ハードウェアのコストは大きく押さえられたが、その反面、3DCGソフトウェアは汎用性を持たせるため様々な機能が組み込まれており、その値段はハードウェアのように急落していないのが現実である。それに伴い3DCGシステムを実務で運用できる人材には、専門学校等での2年以上の実習や実務経験が必要となる。3DCGソフトウェアの物理演算による自然表現は飛躍的な発展を見せているが、モデリングやマッピング関係の操作は、未だに直感的ではなく、基本概念をもとに試行錯誤を介したコツが必要である。
- ③3DCGの難解なパラメータ設定と成果物の描画に費やすレンダリング計算時間：近年の3DCGソフトウェアは、映画・テレビコマーシャル・ドラマ・印刷物まで、どのジャンルでも問題なく使えるように発展してきた。それに伴い、パラメータは複雑になり、リアリティーを出すための様々なレンダリング手法が組み込まれた結果、CPUの計算量は膨大に増えている。

6. ソフトウェアの開発

6. 1. 開発ポイント

以上のような条件を踏まえ、効率よく食品画像を作り出す目的を満たすため、下記のような開発ポイントを設定した。

- ①食品パッケージ形態を分類し、基本モデルをライブラリーとして内蔵（約100個）：モデリングには3DCGソフトウェアの操作方法に関する知識とそのスキルが必要であり、かつ感覚的な部分も多く存在するため、効率的なポリゴンの扱いは生産性に直結する。ポリゴンの数はレンダリング時間と比例するため、形の崩れない必要最低限のポリゴンでできたモデルをカテゴリ別に分類し、使用頻度の多いモデルを基本モデルライブラリーとして内蔵する（図3参照）。

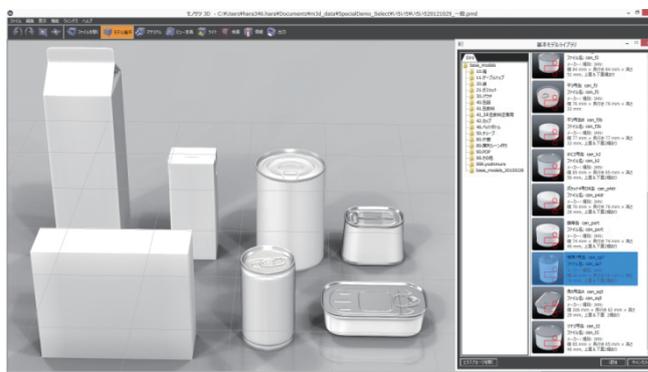


図3. カテゴリ化された製品モデルライブラリー

- ②初心者でも操作可能な単純化されたインターフェース：メニュー構造は左から右へ作業シーケンスに合わせて配置し、工程を選択すると詳細設定が一覧出来るように統一した（図4参照）。



図4. 作業進行の流れに合わせたツール設定

③直感的なデザイン画像の張り付け方「UV Mapping」を実現：UVマップ情報を事前に内部処理してあるので、ユーザはデザイン版下を選び、マッピングしたい領域を矩形で選択・指定するだけで簡単にマッピングが行われる（図5参照）。

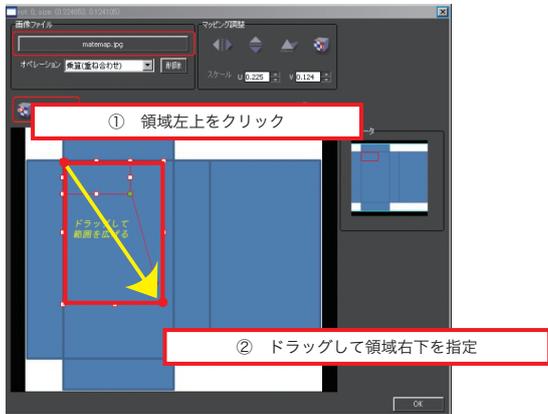


図5. ドラックするだけの簡単なUV設定

④汎用3DCGソフトウェアが持つ高度な計算機能を商品画像制作専用カスタマイズ：高度なレンダリングは、リアリティーのある再現力のために必要不可欠のものであるが、レンダリングする対象によっては、単純な演算でも十分なレベルのイメージを作る事が出来る。食品の場合、高いクオリティーの反射や屈折、物理演算が要求されないので、反射・屈折・陰の部分のマッピングによる疑似表現として内部処理することにした。その他、演算の面ではリアルタイムレンダリング処理を優先し、Direct Xを用いた最適化・軽量化を施した。

⑤パッケージの質感表現に合わせた材質ライブラリー提供：缶・箱・袋・パウチ等で使われる質感をライブラリーとして提供する。ユーザは適用したい材質を選択するだけで、光の反射具合、質感、光沢が適用できる（図6参照）。



図6. 材質ライブラリー選択と出力設定

⑥写真スタジオのシミュレーション：一連の商品撮影にはルールがあり、カメラアングルやレンズの範囲、照明の条件などが厳しく存在する。各々の設定値を簡単に換えられるような環境設定を登録し、必要に応じて呼び出せるように設計した（図7参照）。



図7. 製品モデルライブラリー、写真スタジオシミュレーション設定画面

6. 2. レンダリングスピード

一般的にレンダリング品質を上げるほど計算時間を要するが、既存の3DCGソフトの場合、設定によっては意味のない部分にレンダリング時間を要す場合も多い。3DCGの初心者には仕組みを理解していない事が多いため、10分程度のレンダリング時間で出せるクオリティーに、何時間もかけてしまう場合が多い。現在、3DCGソフトウェア制作会社は、様々な場面、例えば映画の特殊効果やアニメーション表現、製品デザインなどで必要とされる高性能フォートンレンダラーなどを装着し、それぞれ汎用3DCGソフトウェアとして販売している。汎用3DCGソフトウェアは、どのようなシーンも自由自在に制作可能であり汎用性がかなり高いが、逆に食品業界では、目的・用途に合わせて効率よく使うことが難しい。

レンダリングは最もCPUの処理能力を求めるプロセスであり、性能の高いCPUほど短い時間で計算を終了する。ポリゴン表面を求めるレンダリング計算には様々な方式があり、それぞれに特徴がある。

レイトレーシング方式は、フォンシェーディングやスキャンラインなどのシェーディング法と異なり、光源からの光を視点からトレースし、反射・屈折・影を実際の計算で割り出し表現する方法である。近年は、フォトンマップ手法を用いて、反射・屈折の反復回数を指定して現実感溢れる表現を行うレンダリングも一般的になっている。フォトンマップは、ライト光源からフォトンを出し、周囲の物体とフォトンが衝突した地点にマッピングデータを生成する。これが計算上の環境光となり、それを基準として通常のレイトレーシング方式で計算を行う。影のエッジが滑らかなパターンになるという特徴を持ち、実写の映像と比べて違和感のないレンダリング結果を得られる手法である。計算負荷が非常に高いのが問題点として挙げられるが、グローバルイルミネーション効果によるフォトリアルなイメージ制作が可能である。影を計算しないスキャンラインレンダラーでも、シャドウ

マップを用いて影を擬似的に表現するなど、同じ計算方式であってもその拡張性に関しては、様々な工夫が可能である。サーフェス表面の輝度を法線方向から割り出し、シェーディングを行うフォンシェーディングもその一例である。レンダリングで反射を擬似的に見せるために、マッピング画像とライトにマスクを透過することで、擬似的な影や透明度を作り出すといったテクニックを含め、Direct Xによるリアルタイム処理が可能なレンダリング手法で表現している。光源から光の軌跡を計算しないスキャンライン手法は一般的に高速レンダリング方式といえるが、ジオメトリの多いオブジェクトや複雑なオブジェクトが多く配置されたシーンにおいては計算に時間がかかる。近年はCPU性能向上により浮動小数点計算能力が飛躍的に向上したため、レイトレーシング方式の方が計算速度面で速くなるケースも多く、現在市販されている統合型3DCGソフトの多くは、レイトレーシング方式をベースとしたレンダリングエンジンが主流となっている。

本ソフトでは、光源を出発点とする光の軌跡計算を求めないため、反射、屈折、影などの表現は出来ないが、反射や屈折は環境マッピング、影においてはシャドーマッピングといった擬似的な表現で補う。これによりリアルタイムレンダリングが可能となり、見た目のきれいな表現を実現している。

3DCGのネックと言えるレンダリングタイムは、CPUの速さやRAMの容量、表現設定パラメータに依存するため簡単には言えないが、一般的に5,000万ポリゴン、5,000×5,000のテクスチャーを基準とすると、10分以上 (intel Core 2 Duo, RAM4G) かかってしまう。

食品の場合は高クオリティーの反射、屈折、物理計算が必要とされないため、レンダリング処理に必要な無いレイを飛ばす必要が無いことから、リアリティーを損なわずにクオリティーを持たせる事ができる。本ソフトウェアでは、Direct Xを用いた汎用レンダリングエンジンを用いるため、1～2秒以内で陰線の処理まで終わらせる事が可能であり、レンダリングタイムを気にする事の無い操作性が実現できた。

6. 3. 多様な出力と自動化処理

自動化処理は、食品業界に置いては最も重要なキーワードである。例えば、現在販売されている缶ビールは缶の形状は同じであり、ラベルの違いだけで数えきれないほどの製品が流通されている。このように、同一の形状にラベル画像を差し替えながら、大量の商品画像を作成するという繰り返し作業は食品業界ならではの特徴である。その手間を省くことを目的に、撮影角度・画像の大きさ・画像種類などあらかじめプログラミングしたバッチ処理も可能にした。バッチファイルを実行する事により3DCG画像作成の自動化が可能となる。指定フォルダーにラベルデータファイルが追加されるとソフトウェアが自動的に感知・起動し、バッチファイルに記載されたポリゴンモデルを呼び出し、カメラアングル・照明・材質・画像サイズ・出力形式に合わせて計算が行われ、出力フォルダーに3DCG画像が書き出される仕組みである。近年は、クラウドでの作業も多くなり、セキュリティコントロールを追加して運用する場合も

ある。新製品など、セキュリティに敏感な製品の場合は、社内イントラネットでの自動化も簡単に構築出来る (図8参照)。

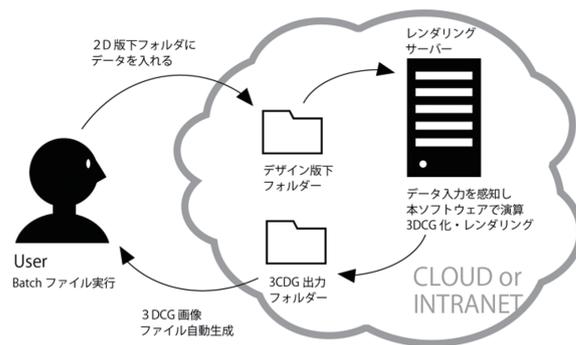


図8. バッチ処理による自動化とDB構築

7. 本ソフトウェアの長所・短所

本ソフトウェアは、「レンダリングスピードの向上」、「製品モデルのライブラリー内蔵」、「UVマッピングの手軽さ」、3DCG熟練者でなくても容易に使える「メニューの単純化・明瞭化」を図ったものであるが、いくつかの問題点も存在する。一つ目は、3DCGの永遠の課題である反射・屈折計算である。カメラ視点から見て、光源から飛ばされた光がオブジェクトにぶつかり、どのように散乱するかを計算するレイトレーシング手法は、レンダリングの基本的な考え方として用いられている。その計算はCPU / GPUに負荷をかけるため、結果的にレンダリングスピードに大きな影響を与える。本ソフトでは、屈折関係の計算機能を最低限に押さえたため、ガラスや水など透明度の高いものに関しては正確な計算が行えない。その反面、プラスチックや紙、アルミ缶などの光の屈折が少ないもののレンダリングには最適化されており、リアルタイムで表示することができる。二つ目は、反射・屈折を計算しないにも関わらずGPU性能が低い計算機では、表現が出来ない材質が存在する。そのため、標準・高機能・レイトレーシングの三つのエンジンを内蔵しユーザーが計算機の性能に合わせて選択出来るように設計した。必要最低限のGPU規格は、プログラマブルシェーダ3.0以上である。(現在プログラマブルシェーダ5.0がPlayStation4にて適用)

8. 本ソフトウェアに関する現場からの意見

本ソフト導入後1年程度経過した時点での効果を調査した結果、大半の会社がコストを削減できたと答えている。作業形態によって異なっているが、広報・販促費用が7分の1から3分の1まで削減でき、コスト面では大きな反響があった。下記は、現場からのコメントである。

「主力商品であるビールは、商品画像という観点から見ると、“350ml、500mlど同じ形状の缶に、様々なブランド毎のパッケージデザイン画像を貼り替えることで、それぞれの商品画像が出来上がる”という本ソフトの特長を最大限に生かせる商品であり、単缶のみならず、6缶パック、カートンなどセットで一括作成することで、効率的な画像作成が実現できた。

これにより、商品画像作成コストの削減とともに、より迅速な商品画像の準備・提供も可能になったことは多いに評価出来る。カメラでの実写と違い、現物が無くてもデザイン画像だけで商品画像が作成できることから、発表直前での急なデザイン変更、パッケージ表示内容の変更にも素早く対応でき、商品単体の画像のみならず、店頭における大量陳列の提案画像まで用意できるのは、素晴らしい。」(大手ビールメーカー)

「当社は主に紙パックやカップのチルド飲料製品を製造販売している。立体デザイン作成の時間短縮・コスト削減、二つの面から本ソフトを活用した。自社で作成することで直前のデザイン変更にもコストを気にすることなく迅速かつ柔軟に対応できるようになった。操作方法も簡単で基本の設定をしておけば、取り込む・貼り付ける・保存する、の3ステップで誰でも素早く作成ができるところが魅力(図9参照)。」(大手飲料メーカー)



図9. 本ソフトを用いて制作したテスト3DCG画像

「今まではカメラで撮影した画像を〇〇〇様へ納品している。幅広いジャンルの新商品が多数登場している中で、商品の形状、形態によってはシワや光の反射などの写り込みが避けられず、生産性と品質の両立が課題となっていた。そこで本ソフトを活用し、一部の商品を「カメラでの実物撮影」から「3Dでの画像製作」に切り替えた。結果、商品実物がなくても実物同様の立体的な画像製作が可能となり、実物撮影時に避けられなかった商品のシワや光の反射なども気にする必要がなくなり、「パッケージデータを貼り替えるだけで別の商品になる」という機能を活かし、作成時間の短縮と成果物の品質を更に向い上させることが可能となった。」(商品写真撮影専門スタジオ)

「毎年、春秋と新商品、リニューアル商品を発売している。以前は立体画像を外部に委託していたが、完成デザインでの発注では予算的に対応できず、途中段階での確認が出来なかった。本ソフトでは、気になった段階で何度も確認することができるので納得のいくまでデザインを作成でき、コストも考えずに対応できた。」(日用雑貨品メーカーデザイン担当)

「デザイン画像を貼り付けた3DCGで、簡単に仕上がりに近いイメージを伝えることができるようになった。特に Smart3D で出力した画像は、画面上でグルグル回せるので評判が良く、Smart3D を使った事前確認の依頼が増えている。クライアントに、より早く、より正確に試作品のイメージを伝えることで手戻りがなくなり、更なる制作時間の短縮を実現している。通常、新しいソフトウェアを導入すると操作を覚えるのにか

りの時間を要したが本ソフトは、3DCGの知識がなくても簡単に操作ができて、当社では導入してから効果を実感するまで時間がかかっていない。」(容器メーカー デザイン担当)

9. 今後の展望

近年では広告のチャンネルが増え、テレビコマーシャル・屋外広告・紙媒体などから、ウェブを基本とした携帯端末が重要な媒体になりつつある。それによって、商品画像に対するユーザの要求も細かくなっている。商品単品画像から、陳列画像や、ダンボールの画像まで様々な画像が必要になっている。また震災以降、ネットでは「裏が主役」になる傾向が強まっている。アレルギー物質、化学物質、カロリー量、製造者、加工者、原産地・国などが消費者にとって重要な情報であるため、マウスやタッチ操作で見たいところを素早く確認出来るリアルタイム3DCGのネット活用は有効であると考えられる。



図10. デジタルサイネージを用いた駅構内の自動販売機

さらに、駅や町中での自動販売機も進化を続け、デジタルサイネージを用いた広告が多くなってきている。模型がディスプレイに変わった事で、商品広告を含め天気情報などを表示できる上、ユーザの性別や年齢をウェブカメラで認識し、おすすめの飲み物を表示する機能を持った自動販売機まで登場した(図10参照)。このような要求の多様化への迅速な対応は、3DCG活用の場として最も有効である。

注および参考文献

- 1) 業界動向サーチ <http://gyokai-search.com/> (2014年8月アクセス)
- 2) 厚生労働省 <http://www.mhlw.go.jp/> (2014年6月アクセス)
- 3) 国税省 <http://www.nta.go.jp/> (2014年6月アクセス)
- 4) Robertson, G., Fernandez, R., Fisher, D., Lee, B., Stasko, J.: Effectiveness of animation in trend visualization, IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics, Volume 14 Issue 6, 2008.
- 5) 金 尚泰: マルチダイナミックドキュメンテーションとパフォーマンスデバイスの提案, 日本感性工学会, 第3回春季大会論文集, pp25-26, 2007.
- 6) Tomas Akenine-Moller, Eric Haines.; Real-Time Rendering Second Edition. Born Digital, Inc. 2006.