

「フォトリアルCG表現技術」を核としたVRの取り組み

Activities of VR Centered on “Photorealistic CG”

関 口 弘 樹

要 約 大日本印刷株式会社（以下、DNP）は、大型ディスプレイやVRヘッドセットを用いた「DNP バーチャルエクスペリエンス VR モデルルーム・VR ショールーム」サービスを展開している。本サービスでは、3次元CGのリアルタイムレンダリングを用いたフォトリアルCG表現（CG画像を実物を撮影した写真に近づける表現）を特徴として持つインタラクティブシステムを開発し、利用している。一般的に、リアルタイムレンダリングを用いたインタラクティブシステムでは、グラフィックス演算負荷が高くなるためフォトリアルCG表現との両立が難しい。この課題に対し、レンダリングを要素分解し、「事前計算」と「擬似的表現」で置き換えることで解決を図った。本稿では、DNPが印刷事業で長年培った画像処理技術を応用し、バーチャルリアリティ（VR）技術と組み合わせることで、本サービスで実現したリアルタイムフォトリアルレンダリング技術について紹介する。

Abstract Dai Nippon Printing Co., Ltd. (hereafter, DNP) is developing a “DNP Virtual Experience VR Model Room / VR Showroom” as interactive system controls a photorealistic 3DCG. User can experience that photorealistic VR space with large screen and VR headsets. Generally, an interactive system needs real-time 3D rendering, however it is difficult to strike a balance between increasing CG quality and reducing computation cost. This problem is solved by the re-arrangement of rendering process with precomputation and pseudo expressing method after analysis the VR space and object data. In this article, I'll report that the real-time photorealistic rendering technology combining VR technology and image processing technology cultivated by the printing business over many years.

1. はじめに

大日本印刷株式会社（以下、DNP）ではこれまでの様々なVR関連の取り組みと印刷会社としてカタログ・パンフレット画像制作で培ったフォトリアルCG表現技術を活用し、大型ディスプレイやVRヘッドセットを用いた「DNP バーチャルエクスペリエンス VR モデルルーム・VR ショールーム」サービスを開発し、提供を開始した。本稿では、本サービスの特徴であるリアルタイムフォトリアルレンダリング技術を中心に述べる。

まず2章においてこれまでDNPが取り組んできたVRとCGについて振り返り、3章で「DNP バーチャルエクスペリエンス VR モデルルーム・VR ショールーム」の概要を説明し、4章で開発環境、5章で基本的な物理ベースレンダリングの仕組み、6章で高品質化のためにDNPで独自拡張したシェーダー、7章にて今後の拡張について述べる。

2. これまでのVRの取り組み

VRはVirtual Realityの略であり、日本語では仮想現実と訳される。一般的にVRヘッドセッ

トやVRゴーグルを用いて仮想空間に没入するものと認識されているが、本稿では、より広義に五感を刺激することで創造された空間を現実であるかのように体験させるテクノロジーの総称をVRと定義する。VRの一般的な技術動向とDNPのこれまでの取り組みを本章で述べる。

2.1 VRの技術動向

VRを取り巻く環境は2010年以降大きな変化を遂げている。PCの高性能化、スマートフォン用ゲームアプリケーションの領域から始まった「Unity」「Unreal Engine 4」に代表される汎用ゲームエンジンの台頭によるVRアプリケーション開発環境の普及、2012年の「Oculus Rift」の登場から始まったVRデバイスの低価格化などにより、VRはかつてない盛り上がりを見せている。エンターテインメント領域でのVR利用に注目が集まっているが、様々な分野での活用メリットがあり、ビジネスでの展開が期待される。

2.2 これまでのDNPのVRの取り組み

DNPでは1990年頃のハイビジョンマルチメディアシステムを始めとして、VRなどの技術を活用したインタラクティブシステムの産業利用に取り組んできた。またコンテンツ制作においても1990年代前半のDTPの普及による印刷の画像・テキストのデジタル化に始まり、顧客の製品CADデータをもとに実写レベルのフォトリアルCGを生成し、カタログ・パンフレットなどの印刷物に使用する画像やWeb用のインタラクティブコンテンツを制作するサービス「CADVIZ REAL」を2006年に開始した。

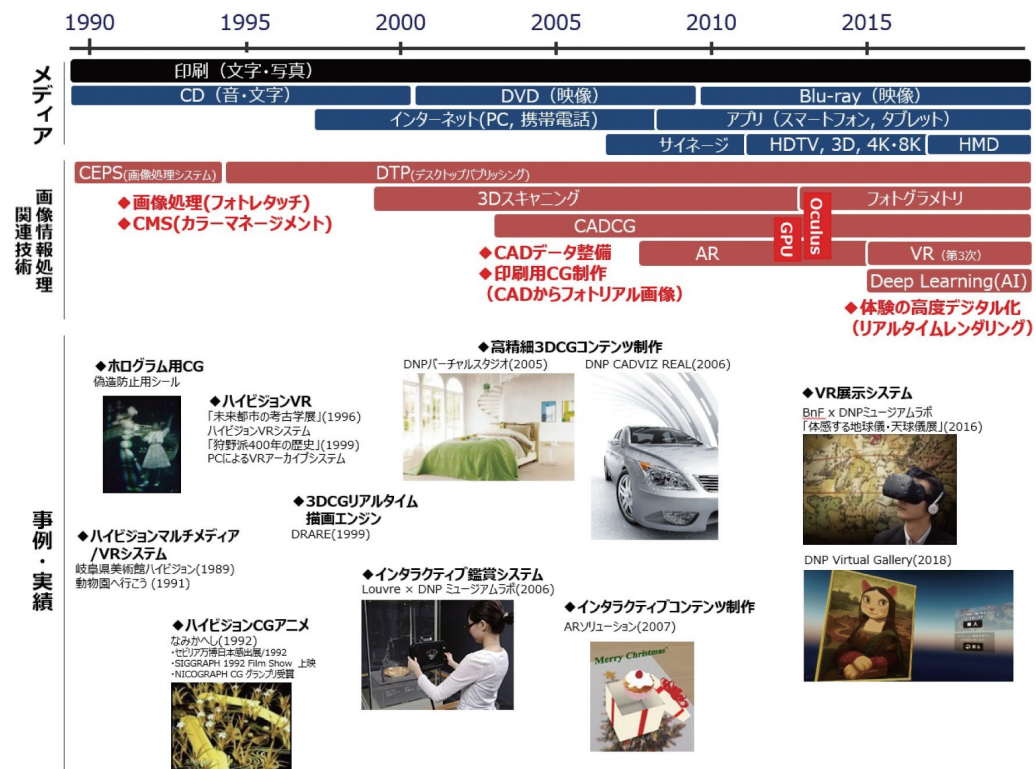


図1 DNPのCAD, CG, VR分野の実績

近年は VR 関連技術の進化を背景に、DNP がこれまでに培ってきたシステム開発技術とフォトリアル CG に代表されるコンテンツ表現技術を組み合わせて VR システムを開発している(図 1)。

3. VR モデルルーム・VR ショールーム

近年国内の小売消費において、労働力減少や過疎化、働き方改革などにより、店舗の統廃合が進んでいる。一方従来のインターネットによる EC 化に加えて、様々な ICT 技術の革新により実店舗のあり方が変化し、結果として店舗運営や消費者のショッピングスタイルも変化した。

DNP では、VR がもたらす実物以上の顧客体験によって、商品の購買判断ができる仮想の「第 3 の店舗」として「VR モデルルーム」、「VR ショールーム」システムを開発した。本システムの特徴は、グラフィックスのフォトリアル CG 表現である。自由度の高いインタラクティブシステムではグラフィックス演算負荷が高くなるため、フォトリアル CG 表現との両立が困難であるが、印刷事業で培った高度な画像処理技術と VR 技術を組み合わせて最適化することでこの両立を成立させた。これらはスタンドアローンのシステムとして提供され、実在のショールームやモデルルームへの設置、駅やショッピングモールなどの公共エリアにキオスク型での設置などを想定している。「VR モデルルーム」は主に住宅業界、「VR ショールーム」は主に自動車業界や住設・家具業界が対象である。本章の各節で解説する。

また制作したフォトリアルな VR コンテンツを静止画や動画として出力することにより、カタログや Web コンテンツなどに 2 次利用することもできる。

3.1 VR モデルルーム

VR モデルルームは、まずは新築マンション販売時の活用をターゲットとしている。新築マンション販売用のモデルルームは実際と同等のスペースが必要なため、都市圏を中心に用地取得が難しい。また複数タイプの間取りを用意することや複数のインテリアコーディネートを見せることも容易ではない。そのためカタログや間取り図による説明になってしまい、顧客は想像で検討せざるを得ない。

VR モデルルームでは、大型ディスプレイや VR ヘッドセットで実際の間取り図から制作したフォトリアル CG により、想像ではない、あたかもその場にいるような体験ができる。またインテリアコーディネートを変更することができるため、顧客の生活イメージに近い体験から購買判断ができる。また VR 空間内に設計上の特徴や住宅設備の商品説明などの訴求ポイントを埋め込むことにより、顧客への適切な商品訴求ができる(図 2)。



図2 VR モデルルームの画面イメージ

3.2 VR ショールーム

自動車ディーラーのショールームは店舗スペースの関係で展示可能な車両数が限られる。そのため店舗に実物がない車種やオプションパーツについては、顧客はカタログや見本で説明を受け、購入を判断していた。

VR ショールームでは、大型ディスプレイやVR ヘッドセットに製品 CAD データから生成したフォトリアルCGを表現することで、あたかもその場に車両があるような体験ができる(図3)。複数の車種とオプションパーツをCGデータとして準備することにより、顧客の望む仕様の車両をその場で可視化することができる。これによって顧客はこれまで以上の体験が得られ、より迅速な購買判断ができる。また内部構造のような展示車両では見られない特徴を表現したり、街中からアウトドアなどの様々な環境や昼夜の時間帯、天候・季節の違いによる車両の姿を確認したりといった特徴訴求もできる(図4)。

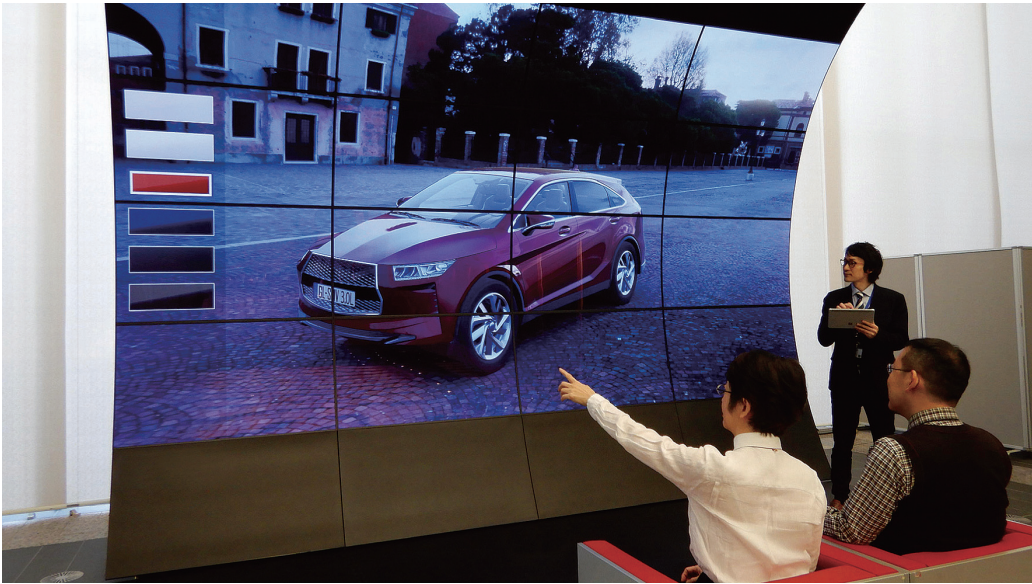


図3 VRショールームの利用イメージ1



図4 VRショールームの画面イメージ2

4. 開発環境

3章で述べたように、「VR モデルルーム」「VR ショールーム」の特徴はVR 技術による3次元(3D)CGのユーザーインタラクションとフォトリアル表現による実物と同等以上の体験の提供である。アプリケーション開発環境として、3次元CGの制御を基本機能として持ち、複雑なインタラクションを効率的に実装できる汎用ゲームエンジンを採用した。本章では、昨今のゲームエンジンの特徴について述べる。

4.1 リアルタイムフォトリアルレンダリング

「VR モデルルーム」「VR ショールーム」はゲームやシミュレータで用いられるレンダリング手法であるリアルタイムレンダリングを行っている。レンダリングとは、コンピュータグラフィックスにおいて、3次元CG空間内に配置された物体に対して、光源によって照らされた光がカメラに入る処理をシミュレートし、1枚の画像を生成することである（VRの場合は両目で立体視できるように、視差の分ずらした2枚の画像を生成することが多い）。リアルタイムレンダリングは画像を即時に生成する手法で、ユーザーがリアルタイムに3DCGモデルを操作することができる。テレビ放送などの一般的な動画のフレームレートである30fps (frames per second) をユーザー操作に合わせて遅延なく画像生成するためには、33msに1枚の画像をレンダリングする。VRヘッドセットを利用したコンテンツの場合は、「VR酔い（目で見ている画面と身体感覚とのずれによって生じる乗り物酔いのようなもの）」を軽減するために、より高速な16msに1枚の画像のレンダリングが求められる。一般的に、3DCGの描画品質を向上させるには詳細な3DCGモデルを使い複雑なライティングを行うが、計算量が大きくなるためレンダリング速度が低下する。これを避けるためにはハイスpek的なGPU (Graphical Processing Unit) を搭載したPCの使用や、より効率的なグラフィックス表現アルゴリズムの開発といった工夫をする。

リアルタイムレンダリングに対して、事前にレンダリングする手法はプリレンダリングと呼ばれ、レンダリング時間に制約がないため作り込み次第で豊かな表現や高品質な画像を生成することができる。1枚のレンダリング時間に数時間、数日要する場合もある。TV・映画・CMの映像コンテンツ制作に主に用いられるレンダリング手法である。

4.2 汎用ゲームエンジン

リアルタイムレンダリング技術はこれまでゲーム業界を中心に発展してきた。ユーザー操作によるインプットに対して即座に反応することが、ゲームの品質として重視されているためである。ゲームエンジンは、ゲームを効率的に作るための開発環境であり、従来は各ゲームメーカーが独自に開発してきた。しかし、ゲーム開発の複雑化・高度化による開発コスト増加が課題とされる中、登場したのが汎用ゲームエンジンである。代表的なものに「Unity」「Unreal Engine 4」がある。その汎用性からゲームに限らず、エンタープライズ向けにも利用されており、「VRモデルルーム」「VRショールーム」でも汎用ゲームエンジンをアプリケーション開発環境として採用した。

汎用ゲームエンジンの特徴には以下のようなものがある。

1) ノンプログラミング

高度な開発にはプログラミングが必要になるが、簡易な開発であれば視覚的なオブジェクトをGUIで操作して組み合わせるビジュアルスクリプティングツールを活用することで、専門知識がなくても開発ができる。

2) マルチプラットフォーム対応

Windows・MacなどのデスクトップPC、iOS・Androidなどのモバイル端末、PlayStation 3/4・Xbox 360・Nintendo Switchなどのコンソールゲーム機といった異なる動作プラッ

トフォームに対し、従来はプラットフォーム毎にアプリケーションを開発していたが、汎用ゲームエンジンでは単一の環境で開発し、出力プラットフォームを切り替えることができるようになっており、開発効率が大幅に向上した。

3) 2D/3D 対応

スマートフォンなどの 2D ゲームからコンソールゲーム機向け 3D ゲームまでの両方の開発ができる。

4) 豊富なミドルウェア

グローバルイルミネーション（光が物体の表面で反射する間接照明効果をシミュレートする技術）を表現するライティング、衝突・摩擦・重力などの力学的法則をシミュレートする物理エンジン、群衆の動きをシミュレートする AI などの高性能ミドルウェアがあらかじめ統合されており、高度な表現が簡単に実現できる。

5) アセットストア

他のユーザーが作成したスクリプト、プラグインのプログラムや、3D モデルやテクスチャなどの素材が公開、販売されており、効率的に開発ができる。

6) 物理ベースレンダリング

物理法則に基づいた光学現象の計算を取り入れてレンダリングする手法。現実世界のパラメーターを使うことでフォトリアルなグラフィックスを実現する。詳細は次章で記述する。

5. 物理ベースレンダリング

前章でも触れたように物理ベースレンダリングとは、物理現象として起きている光の反射、吸収、屈折透過などの光学現象に従ってシミュレートするレンダリング手法である。3DCG におけるレンダリングとは、物体の表面で反射した光がカメラもしくは我々の目に入ることで見えるイメージを画像として生成することである。このように 3DCG は基本的に「光源」と「カメラ」と「物体」の 3 要素で構成され、それぞれが光学現象に基づいた振る舞いをみせることでフォトリアルな画像がレンダリングされる。これらの演算処理は「シェーダー」と呼ばれる描画プログラムに記述され、ランタイムで実行される。

5.1 光源

CG の分野において、光源には主に以下の四つの種類がある。

・平行光源

太陽をシミュレートした光源で、非常に遠くにあるため位置によって光量が減衰せず、一定の光量で平行に照射される特徴を持つ。

・点光源

面積を持たない現実には存在しない光源。光量の減衰や照射範囲をコントロールすること

で電球やスポットライトなどを表現できる。計算が非常に高速だが、ぼけた影やハイライトの表現は擬似的になる。

・面光源

面積を持つ光源。点光源と同様光源から対象物体まで光量を減衰させることができる。影のぼけ具合も算出でき、光源自体を物体に写り込ませることができるなど物理的に正しい演算ができるが、計算コストが高い。

・天空光源

屋外での太陽による直射光を除いた天空のあらゆる方向から届く光源。平行光源と同様減衰せず一定の光量で照射される。屋内でも360度全周撮影されたHDR画像を使用したイメージベースドレンダリングによるライティングを行う場合、この光源が使われる。

5.2 カメラ

一般的にメディアを介してコンテンツを見るとき、そのコンテンツはカメラというフィルタを通して作成された画像を見ていることになる。光源と物体間で反射・吸収・屈折透過された線形の光情報が、レンズを通してカメラに入り画像化されるまでに、レンズや受光部で起こる物理現象や現像処理により、非線形な情報に変換される。物理現象には、レンズで起きるものとしてボケ、ブルーム、光芒、レンズフレア、色収差、歪みなど、受光部で起きるものとしてグレイノイズがある。また現像処理時にフィルムから印画紙に現像する際の発色濃度をシミュレートした特性曲線が適用される。この特性曲線は各カメラメーカーが独自に定義しているものであり、各カメラメーカーの特徴を表す一つとなっている。

これらの現象をCG上でシミュレートすることでフォトリアルな表現に近づけることができるが、これらの効果は演出的な要素も含んでおり、実現したい表現によって取捨選択する。

5.3 物体

物体表面における光の反射・吸収・屈折透過の特性を表すモデルとしてBRDF (Bidirectional Reflectance Distribution Function: 双方向反射率分布関数) がある。特徴として拡散反射、鏡面反射、屈折透過などの成分に分けることができ、それらはエネルギー保存則を満たす。エネルギー保存則は、物体に当たった反射光エネルギーの総和が入射光の総和を超えないことを表している。BRDFはさらに様々な特徴を持つモデルに細分される。

物体の質感を決める上で物体がどのような物質でできているかを考慮することは重要である。特に考慮すべきは、物体が金属(伝導体)であるか非金属(絶縁体)であるか、である。その特徴の違いは大きく二つあり、鏡面反射光の反射率の違いと鏡面反射光に色がつくかどうかである。図5に示すように、金属は全方向に強く反射するのに対して、非金属は視線と物体表面の角度により反射率が変化し、物体表面が正面を向く角度の場合ほとんど反射しない。この角度による反射率の変化曲線はフレネル計算から算出でき、物質によって固有の値を持つ。また金属は、特性上鏡面反射光に物質の色がつくが、非金属は鏡面反射光に物質の色は影響せず、入射光の色のまま反射する。

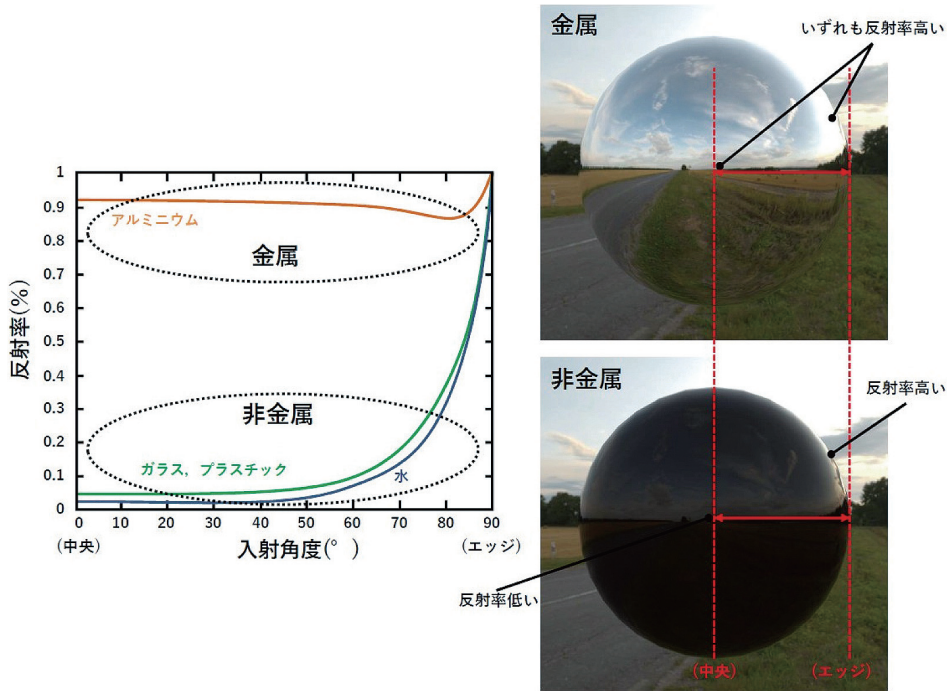


図5 金属と非金属による反射率の違い

6. DNP で独自拡張したシェーダーの開発

汎用ゲームエンジンには物理ベースレンダリングが取り入れられているため、フォトリアル表現に取り組みやすい開発環境であるが、「VR モデルルーム」「VR ショールーム」に最適化し、より品質の高い表現を実現するために、DNP が印刷事業でこれまで培ってきたプリレンダー（プリレンダリングを実行するレンダラー）CG 制作やコンポジット、レタッチなどの知見・ノウハウを活かした DNP 独自の「シェーダー」を開発している。本章で解説する。

6.1 インタラクションとフォトリアル品質とのトレードオフと対策

4章で述べたように物理的に正しい計算をリアルタイムに実行することは現在のハードウェアを用いても困難である。解決する方針として「部分的に高速な擬似的表現に変更する」、「固定計算結果になる部分について事前計算を行い、その結果を利用する」の二つがある。例えば3次元空間内の物体が動かず、光源が固定の場合、そのオブジェクトに当たる光やそのオブジェクトからの反射光は変わらないはずである。これら事前計算ができる部分がどの程度あるかはアプリケーションの仕様次第になる。物体も光源も固定の場合なら大部分が事前計算可能となるが、逆に物体も光源も変化する仕様であれば事前計算できる部分は少なくなる。

このようにインタラクションとフォトリアル品質はトレードオフの関係であるが、アプリケーションの仕様に基づき事前計算できる部分を抽出したり、擬似的表現で置き換えたりすることで、高度なインタラクションを実現しながらフォトリアル品質も保つことができるようになる。

6.2 レンダリング成分

事前計算や擬似的表現で置き換えるにあたって、レンダリングを複数の要素に分解する。基本的な単位は、汎用ゲームエンジンの質感モデルである BRDF の拡散反射、鏡面反射、屈折透過などの成分単位であるが、DNP ではさらに細かいプリレンダーのシェーダーのレンダリング要素単位に分解して考え、事前計算や擬似的表現の要素で置き換えられるようにしている。プリレンダーの場合は、これらのレンダリング要素を後工程であるコンポジット、レタッチで調整して品質を高めていくが、リアルタイムレンダリングではリアルタイムに実施するため、この調整をシェーダー上に実装している。

レンダリング要素の分解例を表1に挙げる。レンダリング要素には物理的に正しいものと擬似的表現を含めて以下のようなものがある。

・直接拡散反射光成分

光が直接物体に当たり、全方向に均一に散乱反射した光成分。

・間接拡散反射光成分

光が物体に一回以上当たった拡散反射光（間接光）が再び物体に当たり、全方向に均一に散乱反射した光成分。光の複数回の反射計算は計算負荷が高く、リアルタイムレンダリングでの計算は困難なため、事前計算する手法が用いられる。

間接光は遮蔽物に囲まれた光が届きにくい場所ほど暗くなる傾向になるため、厳密な光線追跡計算ではなく、遮蔽状況を高速に計算したアンビエントオクルージョンやベントノーマルを用いて擬似的に表現する手法もある。

・鏡面反射光成分

入射角と反射角が反射面に対して等しく反射する光成分。物体表面の若干の凹凸により、ある程度散乱反射する光沢反射も含む。間接拡散反射光成分と同様光の複数回の反射計算は計算負荷が高いため、リアルタイムレンダリングでは事前に計算されたものが使われる。面積を持たない点光源に対して、あたかも大きさがあるように擬似的に表現するスペキュラ反射も含む。

・屈折透過反射光成分

透過する質感を持つ物体に入射する光がその媒体間の境界において直進せず屈折を繰り返して、透過しない質感に到達した際の反射光成分。

・自己発光成分

物体自身の放つ光成分。他の光源の影響は受けない。

・影成分

光源の位置と物体が遮蔽する分布を算出したマスク成分。各種反射光成分に乗算することで影を表現する。

・特殊成分

標準的な BRDF では表現できない質感表現。人肌など若干の光の浸透を表現した SSS (サブサーフェスキャタリング) や光の集光現象を表現したコースティクスなどが存在する。

表1 レンダリング要素分解例

成 分	レンダリング要素	属 性
直接拡散反射光成分	拡散反射率	物質
	直接光	光
	環境光	光
間接拡散反射光成分	間接光	光
鏡面反射光成分	鏡面反射率	物質
	反射光	光
	鏡面 (ハイライト) 反射光	光
	環境反射光	光
屈折透過反射光成分	透過率成分	物質
	透過光	光
	透明度	光
自己発光成分	発光	光
影成分	影	影
	窪み	影
	環境遮蔽	影
	反射遮蔽	影
特殊成分	表面化散乱成分	物質 x 光
	集光模様	光
	面法線情報	物質
	動きベクトル	ベクトル
	頂点位置情報	物質

これらのレンダリング要素から実現したい表現と制約条件であるシステムの仕様を考慮して、最適な組み合わせを選択し、独自の「シェーダー」として実装する。擬似的表現のレンダリング要素の多くは、単純な加算合成では BRDF のエネルギー保存則を満たさないため、違和感を減らすように工夫したり、コンポジット、レタッチで実施しているように時には絵作りのためにエネルギー保存則などの物理的に正しい状態から外れることを許容できたりするよう実装する。

7. 今後の拡張

本章では「DNP バーチャルエクスペリエンス VR モデルルーム・VR ショールーム」サービスの今後の拡張について述べる。

7.1 現在の市場動向/技術動向

2018年GPUメーカーのnVIDIAが、リアルタイムレイトレーシングが可能な演算コアを発表した。リアルタイムレイトレーシングが可能になればより物理的に正しい計算ができ、プリレンダリング品質に近づけることができる。またクラウド上にGPUサーバーを構築しレンダリングを提供するサービスも登場し、今後は5Gによる劇的なネットワーク性能の向上により、手元にハイスペックなPCを揃えなくてもフォトリアルな表現を得られるようになることが考えられる。

7.2 制作ワークフローの改善

実際の制作工程においてデザイナーはリアルタイム性の実現や擬似的表現の利用など見た目以外に考慮しながらパラメーターを調整しているが、複数のデザイナーが指針なく制作すると品質・表現にバラつきが発生する。この問題に対応するため、複数のデザイナーがコンテンツ全体を統一された質感・雰囲気で作成するための視覚的設計とその制作を安定的、効率的に行うためのパイプラインやワークフローの設計・構築を目的とした「ルックデブ」と呼ばれる工程を取り入れている。またデザイナーが触れるインターフェースは、直感的・慣用的に操作ができる「アーティストフレンドリー」な設計思想で実装している。これらを取り入れたことで安定性・効率性の効果は上がっているが、まだワークフロー上の非効率な部分やインターフェース言語の認識の不一致による誤解などが生じており、改善を行うことでより安定的、効率的に制作できる環境が構築できると考えている。

7.3 今後の構想

本稿はグラフィックス（視覚）にフォーカスして執筆したが、「VRモデルルーム」「VRショールーム」はBGMやインタラクションに対する効果音としてステレオ再生をサポートしている。VRとしての体験の向上のためには他の五感に対する刺激、特に聴覚・触覚を重要と捉えている。これらへのフィードバックを組み合わせたマルチモーダルによる体験品質の向上を図っていきたい。

8. おわりに

DNPでは画像処理を従来の印刷事業に必要なCG技術だけに留まらず、VRで活用できるフォトリアル表現技術として発展させた。この技術は様々なサービスのグラフィック技術基盤として活用できる可能性を秘めている。今後も最新の技術を取り入れながら発展させていく。

執筆者紹介 関口 弘樹 (Hiroki Sekiguchi)

2005年大日本印刷株式会社入社。2007～2017年、株式会社DNPメディアクリエイト（現株式会社DNPコミュニケーションデザイン）にて3DCGを中心に制作・開発業務に携わる。現在、ABセンターICT事業開発本部でICT技術を組み合わせた新規ビジネス開発に従事。

