



バーチャルリアリティと インタラクティブアートの相互作用による発展

4

安藤 真 凸版印刷(株)総合研究所
齊藤友明 凸版印刷(株)総合研究所

デジタルアーカイブと バーチャルリアリティ^{☆1}

デジタルアーカイブの意義

博物館や美術館などのミュージアムでは、貴重な収蔵品について、保存と公開の両立というジレンマを抱えている。ミュージアムの使命として、人類共有の遺産である文化財を適切に保存し未来に受け継いでいく必要がある一方、展示を通じてそれらを広く一般に公開し、人々の文化活動へ貢献するという社会的な要請を受けている。オリジナルの文化財を公開するということは、必然的に劣化や破損のリスクを抱えることになる。デジタルアーカイブはこのジレンマに対する解を与えるだけでなく、デジタルであることの特質を活かし、これまでにない公開手法や研究手段などによって新しいミュージアム像を実現させる力を持っている。たとえばCGや本稿で述べる Virtual Reality (バーチャルリアリティ、以下 VR) の技術を使うと、実写では不可能なアングルでの映像体験や、内部構造、製作過程などの説明が可能になる。また最近では Mixed Reality (ミクストリアリティ) 技術によって実物に解説映像などを重畳表示することも可能になっている。このように、実物展示にデジタル技術を導入することで文化財の持つ意味や背景をもっと豊かに伝えることが可能になるであろう。

凸版印刷(株)は、印刷分野で長年培われてきた技術を元に、ミュージアムでの利用に耐え得る高品質なデジタルアーカイブと、アーカイブされた文化財の

☆1 本稿の著作権は著者に帰属します。

可視化に取り組んでいる。トッパン VR は、高い没入感でバーチャルな空間をインタラクティブに体験できるという VR の特質を活かして、直接触れることができない美術工芸品や失われた遺跡などを、自由な視点から鑑賞できることが特徴である。これを実現するために、インタラクティブで高品質な映像を生成するリアルタイム CG 生成技術や、高い没入感を提示する広視野・高精細表示技術に加え、文化財を高精度にデジタル化するデジタルアーカイブ技術、正確に色を再現するカラーマネジメント技術、そして人々がデジタル文化財を心地良く鑑賞するためのコンテンツ制作や運用ノウハウが活かされている。

本稿では、デジタルアーカイブの実際と、アーカイブした文化財の活用方法の1つとしてのトッパン VR について、導入事例を交えながら紹介する。

デジタルアーカイブの構築

デジタルアーカイブとは、ひと言でいえば有形や無形の文化財をデジタル化して、保存やその他の利活用に供することである。デジタルアーカイブには、絵画や美術工芸品などを写真撮影したものや、伝統舞踊などを記録撮影した映像を、デジタル情報として保存する方法も含まれる。特に近年では、計測技術や情報処理技術の進歩に伴い、保存の対象となる文化財の性質に関して、より多くの情報をデジタル化することが可能になってきた。その結果、デジタル化して記録された文化財のアーカイブデータ

4. デジタルアーカイブとバーチャルリアリティ

は、VRを始めとする先進的な可視化技術によって多様な目的に活用することができるようになってきた。

◆文化財のデジタル化

計測によって文化財の何を記録するかは、得られるアーカイブデータの利用目的と、対象となる文化財の性質によって異なる。たとえば有形の文化財の場合は、形状、色、質感など視覚にかかわる情報を記録するケースが多いが、分析や考古学的検証を目的とした場合は、これらに加えて内部構造や組成に関する情報を記録するケースもある。また芸能や工芸技術など無形の文化財の場合は、モーションキャプチャによって身体動作などを記録するケースもある。VRで再現することを目的として文化財をデジタル化する場合には、少なくとも形状、色、質感など視覚にかかわる情報が重要である。

凸版印刷では、これまで文化財が有する繊細な造形や色彩を正確に伝えるために、再現手段としてのVR技術の開発と併せて、文化財のデジタル化についても多くの検討と技術開発を行ってきた。ここでは2009年に東京国立博物館で開催された「興福寺創建1300年記念 国宝 阿修羅展」にて上映したVRコンテンツの制作にあたり、デジタル化を行った阿修羅像の事例をもとに、具体的なデジタル化手法について紹介する。

◆デジタル化の実際

《プランニング》

文化財の計測において最初のステップとして行われるのがプランニングである。プランニングでは、対象となる文化財の性質や規模、周辺環境、時間、予算、要求精度などを考慮しながら、最適な計測プランを計画する。特に重要なことは、計測に際して十分な安全性を確保することである。言うまでもなく、文化財は唯一無二の貴重な遺産であり、計測機器の選定や計測手順の決定は、計

測精度やコストの観点だけでなく文化財に対する損傷等のリスクを最小化するように行われる。図-1は、実際の計測に先立って、計測現場と同じサイズのセットを組み、実際の計測で用いる機材とスタッフ、計測対象(阿修羅像)を模したマネキンを使って計測のシミュレーションを行っている様子である。このシミュレーションによって、工程の確認や危険の予測と対策を十分に行うことで、実際の計測作業を安全で確実なものにしている。

《三次元形状計測》

立体的な物体の形状を計測する手段としては、一般的に三次元デジタルタイザが用いられる。安易に対象に触れることが許されない文化財の場合は、採用し得る方式としては光を計測媒体とする非接触式三次元デジタルタイザに限定される。この方式の中でも、パターン光を照射する空間コード方式のスカナは計測精度がきわめて高い一方、計測距離の制約が大きくなり、阿修羅像の場合には安全な計測距離を確保することが困難であった。一方、レーザ測距方式のコニカミノルタ社製 VIVID910 は、対象から数 m の距離からでも実用的な精度による計測が可能であることから、阿修羅像の計測においては同装置を用いた。阿修羅像の全身は、手指のディテールも含めて約 260 ショットの点群データとして取得した後、統合処理によっ



図-1 プランニングにおける計測シミュレーション



バーチャルリアリティとインタラクティブアートの相互作用による発展

て単一の高精細三次元形状モデルに変換された。図-2は、実際の計測の様子である。

《テクスチャ撮影》

デジタル化した文化財をVRで再現する際には、形状を表す三次元形状モデルのほかに、物体表面の色や質感を表すテクスチャが必要となる。テクスチャは、スチルカメラによって撮影された画像をもとに作成され、三次元形状モデルにマッピングすることでアーカイブデータを構成する。阿修羅像のVRコンテンツは、ハイビジョンの4倍を超える解像度を持つ4Kプロジェクタでの上映を前提としたため、映像の品質に直接かわるテクスチャにも相応の解像度が求められた。そのため、高解像度デジタルパックを装着した中判カメラを用い、7,200×5,400ピクセルの解像度にて340枚のテクスチャ撮影を行った。

写真による記録を目的としたデジタルアーカイブでは、対象となる文化財のディテールや表情をできるだけ豊富に記録するため、照明やアングルに工夫が凝らされる。しかしテクスチャの撮影においては、三次元形状モデルに正確にマッピングするために、パースを可能な限り排除し、照明が均一に配光されていることが求められる。これは、アングルや陰影の表現は、VRで再現する際にコンピュータによって計算されるため、始めからテクスチャにこれらの情報が含まれていると、正しい再現が困難になってしまうためである。

図-3は、このようにしてデジタル化された阿修羅像を、VRによって再現したシーンである。

◆消失・劣化した文化財の復元

これまで、実際に存在する文化財をデジタル化する手法について述べてきた。しかし文化財の中には災害や破壊などによ



図-2 阿修羅像の計測の様子(興福寺国宝館)

て消失してしまったものや、長い年月を経て破損、劣化してしまったものも多く存在する。VRならではの文化財の表現方法として、すでに存在しない建築物や遺跡の創建当時の様子を再現したり、破損や劣化した美術工芸品をバーチャルに修復して製作当時の様子を復元したりすることなどが考えられる。このようにデジタル化の対象となる文化財が存在しなかったり劣化したりしている場合は、モデリングフォトレタッチ作業を併用してVR用の三次元形状モデルテクスチャを作り出すことになる。しかし、単に想像だけで根拠のない文化財を再現しても、それだけでは過去に思いを馳せるような感動的な体験

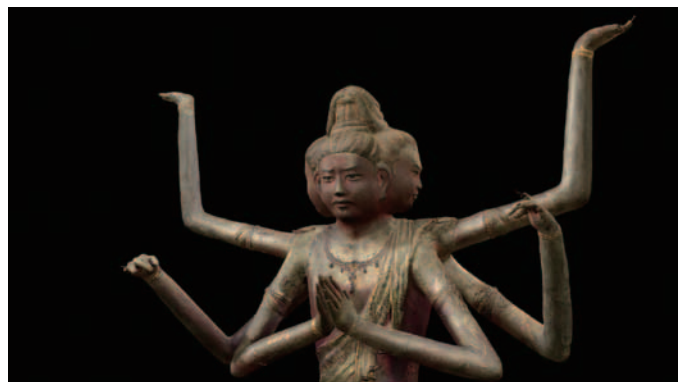


図-3 VRによって再現された阿修羅像

VR作品「阿修羅像」
総監修：法相宗大本山興福寺／監修：金子啓明・鈴木嘉吉
製作・著作：朝日新聞社・凸版印刷(株)

4. デジタルアーカイブとバーチャルリアリティ

を人々に与えることはできない。文化財のかつての姿をできるだけ正確に蘇らせるためには、それに関する資料を十分に精査し、建築図、測量図、古地図、写真、記録画などあらゆる手がかりをもとに三次元形状モデルやテクスチャを作成していくことになる。たとえばテクスチャについては、かつての建築手法や製造方法などに着目して、類似の素材を用いることなどが行われる。

図-4は最新の考古学研究の成果に基づき作成された古代マヤ文明コパン遺跡の1200年前の姿である。発掘された神殿の測量データにより古代都市国家の建造物を再現し、色彩については出土した顔料の分析結果を用いるなど、可能な限り正確なモデル化を行っている。

このような文化財の再現では、専門家の監修が特に重要である。再現結果に学術的な裏付けがあることで、構築されたデジタル文化財に高い価値が生まれることになる。

デジタルアーカイブの可視化

VRによって実現される情報提示手段にはさまざまな形態が考えられるが、凸版印刷はリアルタイムに生成されるCG映像と、高い没入感を与える表示システムによって、文化財を中心とする高品質なコンテンツを心地良く鑑賞する仕組みを持つトッパンVRを開発してきた。ここではトッパンVRの特徴と、トッパンVRを構成するシステムについて紹介する。

◆トッパンVRの特徴

トッパンVRの目的は、デジタル化された文化財を時間や場所、元の文化財が一般公開対象であるか否かを超えて、あたかも実物をその場で鑑賞するかのごとく体験できる仕組みを提供することにある。また対象となる文化財そのものに加えて、その文化財が持つ歴史的背景や作者の意図、さらには研究者の視点での鑑賞ポイントなどもコンテンツとして加えることで、実物を鑑賞するだけでは得ることが難しい

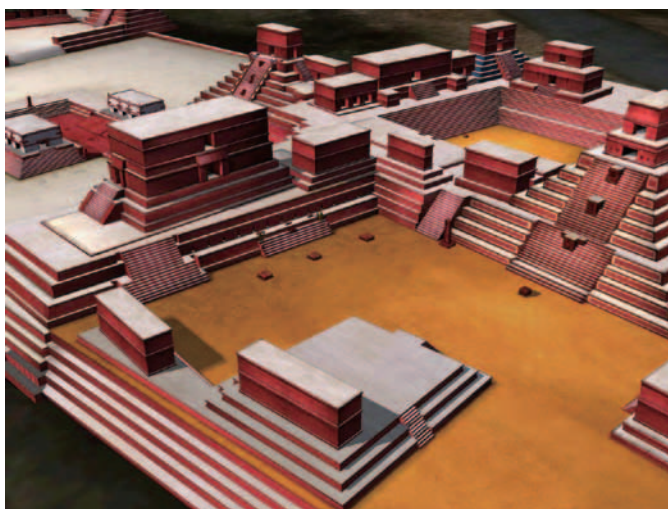


図-4 VRコンテンツ「コパン」
製作・著作：独立行政法人情報通信研究機構
制作：凸版印刷(株)

背景情報や知識を豊かに伝えることも目指している。

デジタル化した文化財を、単純にインタラクティブに体験するシステムやコンテンツはこれまでも多く登場しているが、高品質で臨場感の高い映像と、充実したコンテンツ、そして後述する体験システムによって心地良く鑑賞する仕組みを持つことが、トッパンVRの大きな特徴である。

◆没入型表示システム

映像の中に深く入り込んだような高い没入感を利用者に与えるために、トッパンVRでは利用者の視野をほぼ覆うような、没入型表示システムを採用している。実際のシステムとしては、図-5に示



図-5 没入型表示システム(印刷博物館VRシアター)



バーチャルリアリティとインタラクティブアートの相互作用による発展

すような大型のカーブスクリーンと、複数台のプロジェクタを用いることで、ハイビジョンを超える約3,000×1,000ピクセルの解像度の映像を利用者の視野の120度以上を覆うように提示している。スクリーンに投影された映像が、最も歪みなく理想的に見える視聴ポイントをスイートスポットと呼ぶが、カーブスクリーンの場合にはスイートスポットが狭くなる傾向がある。これを軽減し、多くの利用者が歪みの少ない映像を体験できるようにするため、カーブスクリーンの曲率や座席レイアウト、投影する映像のFOV（映像視野角）を最適化している。

◆4K 超高精細表示システム

デジタルシネマ規格が策定されたことで、ハイビジョンの4倍を超える解像度を持つ4Kプロジェクタが登場し、映画館を中心に4K超高精細表示システムの導入が進んでいる。凸版印刷では、4K超高精細表示システムが文化財の表現に有効であると考え、積極的な導入を行ってきた。4K超高精細表示システムでは、300インチ（高さ約3.7m）のスクリーンに投影した場合でもピクセルサイズがわずか2mm以下であり、一般的な視聴距離であるスクリーン高さの2～2.5倍の距離より近づいて視聴しても十分な映像分解能を得ることができる。これにより、16:9の平面スクリーンでも十分な視野をカバーし、さらに文化財を等身大表示することで実物の大きさ感覚をリアルに伝えるような演出が可能になった。

◆リアルタイムCG生成技術

トッパンVRでは、没入型表示システム、4K超高精細表示システム共に複数のPCからの映像を統合することで高解像度の映像を生成するPCクラスター技術を用いている。独自開発のミドルウェアは、複数のPCを同期させ、完全にシームレスな映像をリアルタイムに生成するための基本的な実行環境を提供するとともに、Graphics Processing Unit（以下GPU）などの最新の機能に素早く対応するためのフレームワークを実現している。

入力インタフェースとしては、利用者に対して特



図-6 ゲームコントローラ

殊なデバイスを装着したり、何らかの訓練を必要としたりせずとも簡単にバーチャル空間を体験できることを重視している。そのため、自己投射性^{☆1}は劣るものの、ほとんどの利用者が直感的に操作可能なゲームコントローラを採用している(図-6)。

◆文化財コンテンツを支える表現技術

PCのグラフィックス性能は急速に進歩しており、文化財のように繊細で高いリアリティを要求する題材においても、十分な表現ができるようになってきた。表面の紋様や色彩の解像感を決定付けるテクスチャのハンドリング可能な容量や、リアルタイムに描画可能なポリゴン数の向上は、すでに一昔前のオフラインでレンダリングされたCGに匹敵するようなディテールを描き出すことが可能になっている。

リアリティの向上に寄与するもう1つの要素はGPUによるプログラマブル・シェーダ^{☆2}の劇的な性能向上である。適切なシェーダを開発することによって、一層リアリティの高い表現が可能になっており、トッパンVRのコンテンツ制作においてもプログラム開発の大部分はリアリティ向上のためのシェーダ開発となっている。図-7は、VR作品「よみがえる興福寺中金堂」における中金堂の復元シーンである。屋根瓦、柱、石畳などにそれぞれの質感を表現するためのシェーダが適用されている。

◆カラーマネジメント技術

デジタル化した文化財をVRで再現する際に、

☆1 VRの三要素(三次元の空間性、実時間の相互作用性、自己投射性)の1つであり、バーチャル空間の中で利用者の感覚間に矛盾がなく、空間とシームレスにつながっていること。

☆2 グラフィックカードにおいて、シェーディング機能(映像生成パイプライン)をユーザが自由にプログラムできる技術。

4. デジタルアーカイブとバーチャルリアリティ



図-7 興福寺中金堂の再現シーン

VR 作品「よみがえる興福寺中金堂」
 総監修：法相宗大本山興福寺／監修：金子啓明・鈴木嘉吉
 製作・著作：朝日新聞社・凸版印刷(株)

表示デバイスが持つ色再現特性の違いにより、スクリーン上の色と実物の色が一致しないという問題がしばしば生じる。記録される色はテクスチャを撮影した際のカメラの特性や光源、観察条件（撮影方向など）によって決定され、スクリーン上の色は表示デバイスの色特性で決まり、さらに視聴者が感じる色は再現環境による知覚特性の違いも影響する。これらをすべて考慮することで、鑑賞時の色を実物の印象に合わせることができる。記録時の条件を正確に残すためには、カラーチャートの撮影と、撮影時の照明の色温度測定を行う。表示デバイスについては、デバイスの色特性を測定することで正確な色管理を実現している。

ミュージアムにおける VR 展示

凸版印刷では、ミュージアムの展示に適した VR 体験環境の提供を目指して、VR シアターの設計、導入、運用を行っている。

◆ミュージアムと VR シアター

訓練用 VR や医療用 VR など専門用途のシステム

と異なり、不特定多数の利用者が訪れるミュージアムに導入するシステムに対しては、次のような点に配慮する必要がある。

- さまざまな層の利用者が受け入れられやすいシステムであるか
- 利用者に対して身体的・生理的負担が大きくないか
- 多くの利用者に対して均等にサービスを提供できるか
- メンテナンスや運用が容易であるか

大型のスクリーンを用いて、多数の利用者が同時にバーチャル空間を体験する VR シアターは、ミュージアムにおける VR 体験環境として最適であると考えられる。2003 年に国立科学博物館で開催された「神秘的王朝—マヤ文明展」（来場者数 20 万人）では、高さ約 4m、半径 9m のカーブスクリーンを備え、最大 170 名が同時に体験できる VR シアターを導入した。これにより、2 カ月間の開催期間中、12 万人が古代マヤ文明の VR コンテンツを体験することができた。常設の VR シアターとしては、東京国立博物館の TNM & TOPPAN ミュージアムシアターが代表的である。240 インチのスクリーンと 4K 超高



バーチャルリアリティと インタラクティブアートの相互作用による発展



図-8 TNM & TOPPAN ミュージアムシアター

精細表示システムを備え、東京国立博物館の収蔵品を中心にデジタルアーカイブされた文化財を体験する環境として、一般向けに公開している(図-8)。

◆ナビゲータによるライブ上映

VRシアターでは、参加者がコントローラを操作する代わりに、ナビゲータがバーチャル空間を案内する「ライブ上映」を行っている。ナビゲータが参加者と対話をしながら、参加者の興味や反応に応じて、視点を変更したり解説を行ったりすることで、対話型のコンテンツを実現している。参加者にとって心地の良いライブ上映を支援するために、任意に呼び出し可能なバーチャル空間の中の視点移動(パス)を複数用意して、それらを組み合わせたシナリオの設定を行っている。ナビゲータによるライブ上映では、ナビゲータが参加者の満足度を把握しやすいため、上映方法の工夫を通じて解説の質が高まっていくという相乗効果が期待できる。

ナビゲータは学芸員や研究者などの専門家であってもよい。専門家がバーチャル空間でガイドを行うことで、美術館におけるギャラリートークや遺跡などにおけるガイドツアーが実現できる。さらに、教育者が教材として用いることで、教育現場への展開も可能である。このように、同じコンテンツであっても場面に応じてさまざまな用途に応用できることがVRをメディアとして用いることの優れた利点であるといえる。

デジタルアーカイブの未来

本稿では、デジタルアーカイブにおける文化財のデジタル化と、デジタル化された文化財を高い臨場感で体験するためのVRシステムについて紹介した。VRによる展示手法は、これまで実物展示を中心としてきたミュージアムにおいて、文化財の「見えない部分」すなわち文化財の持つ広大な背景を分かりやすく伝えることで、文化財そのものの魅力を向上させることができるものとして、期待が大きい。

文化財をデジタル化する際に、どのような内容をどのような精度で記録するか、ということがしばしば問題になる。デジタルアーカイブにおいては、一度デジタル化した文化財をさまざまな用途に展開できることが理想であるが、現実的にはあらゆる用途に対応した万能なデジタル化手法は存在しない。たとえば、VRで用いるテクスチャ用の画像と印刷用の画像では、要求される解像度や撮影方法が異なる。したがって、想定されるデジタルアーカイブの利用目的と、そのために費やすことができる時間やコストを総合的に考慮して、必要なデジタル化手法を決定することが重要である。

一方、対象物からより多くの情報を取得することによって、より正確でリアリティの高い可視化を可能にする研究も進んでいる。たとえば物体の質感は、光源や観察方向によって変化する反射率特性によって決まるものであり、物体表面の構成物質や微細構造が影響する。このような物理的な特性を厳密に取得することで、より高い質感を再現することが可能になる。このような計測は、工業デザイン分野では一部で実用化されているが、文化財をその場で安全に計測する方法は確立されていないため、今後の技術革新に期待がかかる。さらに、デジタルアーカイブの分野では依然として視覚情報が中心であり、触覚などの五感情報は積極的に扱われていない。これは、五感情報を対象物から安全に取得する手法が確立されていないことや、五感情報の記録によって

4. デジタルアーカイブとバーチャルリアリティ



得られるデジタルアーカイブとしての価値が十分に議論されていないことが理由であると考えられる。しかし触れることのできない文化財に触れたり、触れた際の音や臭いなどを体験したりすることは、臨場感を飛躍的に高め、文化財に対する理解を一層高めることにつながるであろう。

このように、デジタルアーカイブのためのデジタル化技術を考える場合は、最新の表現技術によって文化財のどのような表現が可能になっているのかを意識する必要がある。一方でVRなどの表現技術の研究開発では、デジタル化技術によってどのような情報を記録できるのかを意識する必要がある。その意味においてデジタルアーカイブとVRは表裏の関係であり、相乗的な技術革新が、より付加価値の高いデジタル文化財の創出につながっていくのである。

参考文献

- 1) 加茂竜一：デジタルアーカイブとバーチャルリアリティ表現，科学と工業，Vol.76, No.7, pp.344-349(2002)。
- 2) 中山香一郎，山崎千代乃：文化財の計測データ取得と公開，映像情報メディア学会誌，Vol.64, No.6, pp.770-773(2010)。
- 3) 小黒久史：PCによる高リアリティVR，電子情報通信学会技術研究報告，Vol.102, No.433, pp.61-64(2002)。
- 4) 吉野弘一：トッパンVRにおける“本物らしさ”の追求，2009年度画像4学会合同研究会，pp.24-30(2009)。

(平成22年10月8日受付)

安藤 真 makoto.ando@toppan.co.jp

1996年成蹊大学工学部工学研究科博士前期課程修了。同年凸版印刷(株)入社。デジタルアーカイブを中心としたVRコンテンツ製作，大型映像展示システムの技術開発に従事。2001～04年(独)情報通信研究機構特別研究員。2010年現在，凸版印刷(株)総合研究所情報技術研究室。

斉藤友明 tomoaki.saito@toppan.co.jp

1992年電気通信大学電気通信学部卒。同年凸版印刷(株)入社。図形処理システム開発，三次元チャットサービス開発などを経て，デジタルアーカイブを中心としたVRコンテンツ制作，大型映像展示システムの開発に従事。2010年現在，凸版印刷(株)総合研究所情報技術研究室に所属。

