

4K 超高精細リアルタイム CG によるバーチャル美術館

林 正樹[‡] 中嶋 正之[‡] スティーブン・バチェルダー[‡]

井口 昭彦[‡] 町田 聡[‡]

[‡]ゴットランド大学ゲームデザイン学科 Cramérgatan 3, 621-57 Visby, スウェーデン

[‡]アストロデザイン (株) 〒145-0066 東京都大田区南雪谷 1-5-2

[‡]アンビエントメディア 東京都目黒区

E-mail: [‡]hayashi.masaki@hgo.se [‡]aiguchi@astrodesign.co.jp [‡]msat_machida@yahoo.co.jp

あらまし 4K/8K 超高精細映像を使ったリアルタイム CG によるバーチャル美術館の研究開発を行っている。今回、4K 映像出力の CG システムを構築し、この上に浮世絵や屏風を展示するバーチャル美術館を構築した。特に、作品を超高精細デジタイズし、さらに 3DCG 空間の提示自体も大画面超高精細としたことで、遠目に作品群を眺めることと、作品の近くに寄って詳細を観察することの、二つの鑑賞行為を同居させ、臨場感と実在感を得ることができた。システムの開発と実験、そして現在進行中のさまざまなプランについて述べる。

キーワード バーチャル美術館、超高精細画像、CG、4K、ウォークスルー

Virtual Museum on 4K Ultra-high Resolution Real-time CG System

Masaki HAYASHI[‡] Masayuki NAKAJIMA[‡] Steven BACHELDER[‡]

Akihiko IGUCHI[‡] Satoshi MACHIDA[‡]

[‡]Game Design Department, Gotland University Cramérgatan 3, 621-57 Visby, Sweden

[‡]Astrodesign Inc. 1-5-2 Minamiyukigaya, Ota-ku, Tokyo, 145-0066, Japan

[‡]Ambient Media Meguro-ku, Tokyo, Japan

E-mail: [‡]hayashi.masaki@hgo.se [‡]aiguchi@astrodesign.co.jp [‡]msat_machida@yahoo.co.jp

Abstract We have researched and developed a 'Virtual Museum' in an extreme high-definition real-time computer graphics system with a resolution of 4K and 8K (Super Hi-Vision). We have first developed a functioning test system, which exhibits Japanese artifacts 'Ukiyoe and pannel' in 4K resolution. In our system, the artifacts have been digitized in ultra high-resolution then positioned in a high-quality modeled exhibition space. A user can walkthrough in the exhibition space enabling to view the artifacts in a distance and also to get closer to observe its detailed surface seamlessly. With this method, we have successfully enhanced both sense of being there and sense of realness. In this paper, we first survey several virtual museums in practical use, then explain the detail of our system and introduce experiment results with discussion in comparison with the existing virtual museums.

Keyword Virtual museum, Ultra high definition image, CG, 4K, Walkthrough

1. はじめに

HDTV の 4 倍の解像度を持つ、通称「4K」、そのさらに 4 倍の解像度を持つスーパーハイビジョン(通称 8K)といった映像システムが次世代の映像メディアとして注目されている。一方、これらはどちらかというハード優先で開発が進められたため、そこに載せるコンテンツの開発が非常に遅れており、ユーザーにとってはこれ以上の高解像度は不要ではないか、という声も聞く。4K/8K を振興するには、従来の方法論にとらわれないさまざまなコンテンツの可能性を開拓する必要

がある。そこで我々は、昨今のリアルタイム・コンピュータグラフィクス(CG)の目覚ましい進歩を背景として、超高精細なリアルタイム CG を使って 4K/8K の新しいコンテンツの形態を開拓するプロジェクト「ウルトラ CG」を提案し、研究開発を進めている[1]。

ウルトラ CG の最初のターゲットの一つとして、4K 環境を使ったバーチャル美術館構築がある。4K ハードウェアに 3DCG ゲームエンジンの Unity を載せ、ここに美術館コンテンツを載せて作成したものである。コンテンツには、美術館の空間を 3DCG でモデリングし、そ

ここに浮世絵と屏風の作品を高精細にデジタル化した画像を用い、額装、キャプション入れなどを加えてバーチャル上で展示したものである。そもそも、このバーチャル美術館はウルトラ CG 振興のための試作コンテンツだったが、各所にて展示したところ評判がよく、これを機にいわゆる「バーチャル美術館」の将来における可能性について、ウルトラ CG 的な観点も含め、また違った角度から考える機会になった。

本稿では、このバーチャル美術館に焦点を当てて論じる。まず、現在の美術館、博物館で行われているバーチャル展示について概観し、そこでの課題を述べる。その後、試作した浮世絵 4K バーチャル美術館の技術的詳細について説明し、いくつかの展示会におけるデモの結果を紹介し、特長や問題点などについて議論する。最後に、まとめと共に、現在計画している次バージョンのバーチャル美術館について簡単に紹介する。

2. バーチャル美術館の現状

ここでは、現在行われているバーチャル展示を、主に展示におけるユーザー鑑賞の視覚効果の観点からいくつか紹介する。バーチャル展示には、実際の美術館の建物に設置して来場者に提供するものと、インターネットを通じて Web 上のサービスで提供するものがあるので、各々について以下に概観する。

2.1. 展示スペースに設置するタイプ

凸版印刷では「トッパン VR」[2]と呼ばれる技術により、美術品などを 3DCG として取り込み、それをバーチャル展示するバーチャル美術展示を行っている。独自のデジタルアーカイブ技術により彫像や絵画、それらが納められていた建物などを、高精細かつ正確な色彩により三次元 CG モデルとしてデジタル化する。これを、3面のカーブした大スクリーン、4K 大型モニター、会場に置かれた PC などでも三次元的に自在に鑑賞することができる。また、大日本印刷では、ルーブル美術館と共同で、ルーブルの持つ美術品をデジタル化し、これをモニター展示、AR 展示などを含めたさまざまなマルチメディア展示手法を使って自社ビルの展示会場で来場者に対して提示する試みを行っている[3]。

一方、実物の美術品を展示している美術館などでは、来場者に対し PC を並べたマルチメディアコーナーを



図 1 クレーブランド美術館の Collection Wall。超大型のマルチタッチスクリーン

用意し、ユーザーはそれら端末で収蔵品を画像で観察したり関連情報を調べたりできることが多い。これをさらに一歩進めた展示手法として、クレーブランド美術館[4]が、大型タッチスクリーンを展示物と同じ空間に多数設置し、実物を見ながらモニター上で自在にバーチャル鑑賞できるようにしている例がある(図 1)。

以上、実際の展示スペースで来場者にバーチャル体験してもらうことはアミューズメント施設と同じで、大型のモニターを使い大勢の来場者にいっせいに体験してもらうか、あるいは個別のタッチスクリーン端末などを設置し、そこでめいめいが操作する、という二本立てになることが多い。

2.2. Web サービスによるもの

世界の美術館、博物館はどこもホームページを持っており、インターネットを通してさまざまな形で作品鑑賞を提供している。世界最大級の美術館であるルーブル美術館では Virtual tour[5]が用意されており、ここでは展示室のフロアプラン上をマウスでクリックし、好みの場所へ視点を移動し、そこでの 360 度パノラマを横スクロールで見回し、展示品をクリックすることで拡大写真を見ることができる。東京国立博物館では e-Museum[6]が用意され、検索した展示品を専用のインターフェースを使って鑑賞できる。二次元写真

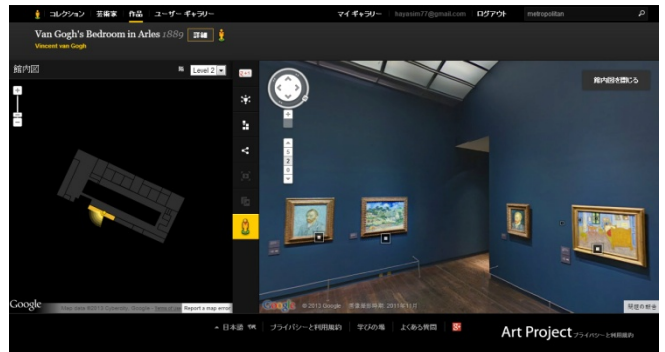


図 2-a Google Art Project のウォークスルーモード (オルセー美術館)

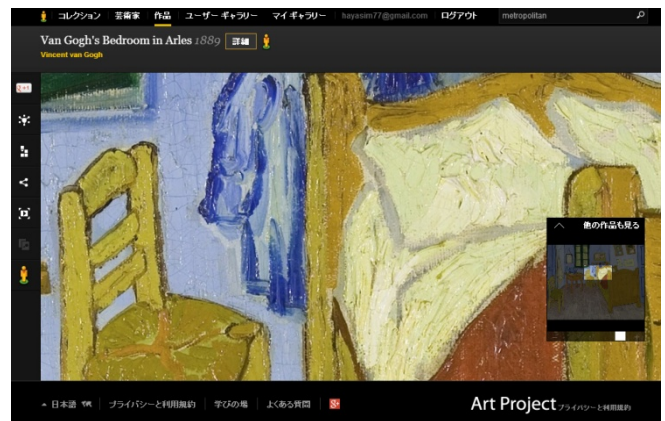


図 2-b Google Art Project の個別作品鑑賞モード (Gigapixel でデジタル化したゴッホの作品)

をマウスにより拡大縮小スクロールなどが可能である。美術館によっては以上の例のようなバーチャル鑑賞を用意してないところも多く、その場合、所蔵品を写真つきでリストアップし、それを検索できるようにしているところが多い。

おそらく、美術品の Web 展示ということで世界最大の規模を持つサービスは Google が提供している Google Art Project[7]であろう (図 2)。Google は世界中の美術館と提携し、所蔵品の情報の提供を受けサイト上でバーチャル展示を行っている。図 2-a に示すように、Google Street View と同様の技術で美術館内をパノラマ撮影し、Street View と同様のユーザーインターフェースで展示室内をウォークスルーして天井も含めた 360 度を自由に見回せるようになっている。ウォークスルーして見たい展示品を決めたらクリックしてモードを替え、デジタイズされた 2 次元画像をマウスで自在に拡大縮小スクロールして見る。特に、いくつかの作品では Gigapixel 級の非常な高解像度で作品をデジタイズしており、表面の細部に渡って観察できる (図 2-b)。美術館によってはホームページから Google Art Project へリンクを張り、そこで鑑賞できるようにしているところもある (国立西洋美術館など)。

一方、それほど大規模でないギャラリーなどにおいて 3DCG を使ったバーチャル美術館がすでに商用として利用されている例も見受けられる。ストックホルムの BEL' ART[8]では GRAPHTWERK[9]というドイツの会社の提供する商用の「Web 3D-Gallery」ツールを使ってバーチャル展示を行っている。マウスで三次元空間をウォークスルーでき、作品を選びボタンを押すことで二次元作品画像の鑑賞に移行し、拡大縮小スクロールして見られる。アプリケーションにはゲームエンジン Unity を使用している。

2.3. まとめと問題点

以上で概観した現状のバーチャル鑑賞については以下の 2 つの機能を切り替え式で提供することが多い。

- 展示スペースの作品を見て回るとき： インターフェースとしては、作品リストのブラウズ/検索、フロアプランのクリック/パノラマ画像提示、Street View による館内のウォークスルーと見回し、完全 3DCG 空間における三次元ウォークスルーと見回し。
- 個別の作品を鑑賞するとき： インターフェースとしては、マウスとアイコンボタンによる、拡大縮小スクロール、彫刻などの立体物については上述に加えボタンによる視点変更。

以上の現状に対し、以下のような問題点があげられる。

- 館内ウォークスルーから個別作品の鑑賞にシームレスに移動できないため、鑑賞行為についての

臨場感に欠ける。

- 個別鑑賞に移行したとたんに作品の実寸感覚が混乱してしまう。
- 個別鑑賞が完全二次元なため、たとえ絵画であっても斜めから見るなどの見方はできない。

これらの問題点は、美術館内を作品も含めて完全に三次元的に高精細にデジタイズして 3DCG に置き換えてしまえばほぼ解決する。ただし、それを行った場合でも、その代わりに以下の問題点が浮上するであろう。

- 館内で歩き回って、作品の前に立ち止まって、近寄って鑑賞する、という動作の自由度が多過ぎ、適切なユーザーインターフェースをバーチャルで設計することが難しい。
- 美術館での鑑賞は非常にリラックスした状態であるべきで機械操作を感じさせないウォークスルー用デバイスを提供する必要がある。
- 一般にデータ量や処理量が増え、重くなり、Web でサービスを提供するのが難しくなる。

これらの相反する問題をすべて一気に解決することは容易ではない。しかし、この現状の分析により、真に快適なバーチャル美術館の構築にはまだまだチャレンジすべき課題がたくさん残っていることも分かる。

3. 浮世絵 4K バーチャル美術館

3.1. 設計指針

ここで、我々が構築した浮世絵 4K バーチャル美術館についての詳細を述べる。そもそも本システムは、前章であげた問題点を解決すべく構築したものではない。むしろ、美術の一愛好家として、自分が思い描いているバーチャル鑑賞になるべく近づけようという意図のもとに設計製作したと言った方が実態に合っている。以降で説明する浮世絵 4K バーチャル美術館のねらいをいくつか下記に整理しておく。

- 4K 大型モニターでの展示とする。
- 美術館スペースと作品を 3DCG で構築しウォークスルーにより鑑賞するが、美術館での鑑賞行為になるべく近くなるように留意する。
- 展示スペース内移動と作品個別鑑賞のモード切替はせずシームレスとする。
- 専用システムとはせず、実際の 4K モニターによる来場者の鑑賞と、インターネットによる Web 鑑賞の両者をカバーできるようにする。

3.2. システムの詳細

以下に項目に分けて詳細を述べる。

(1) 美術品素材

作品として今回は、浮世絵を 7 点、屏風を 1 点用いた。浮世絵については高解像度のデジタルカメラでデジタイズし、最終的に一枚を 4096×4096 画素の JPEG

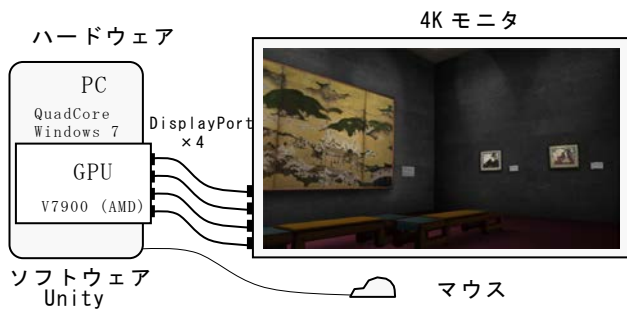


図3 浮世絵 4K バーチャル美術館のシステム構成

画像として蓄積した。屏風については借用したデータが 9270×3938 画素で、これを左右に 4096×4096 の2枚に分割して蓄積した。

(2) 美術館空間

デザイナーによるモデリング (3ds 使用) である。影や天井ライトの投影などについてはテクスチャー焼き込みで表現し、リアリティを重視した。中央の椅子はフリー素材の形状にテクスチャーを貼って作成。作品のキャプションについても紙のテクスチャーを生かし、それぞれ 2048×1024 画素で作成している。作品も合わせて全体のテクスチャー画像は 4096×4096 が20数枚程度の量になった。なお、作品は実寸に近いサイズで展示室内に配置している。

(3) ハードウェア

システム構成を図3に示す。ハードウェアは、Windows7を搭載したQuadCOREの汎用PCに、AMD社製のグラフィックカードV7900を挿し、ボードからの

DisplayPort出力の4本を4本のDVIに変換し、アストロデザイン社製の56インチ業務用4Kモニターに接続して表示した。

(4) ソフトウェア

3DCGゲームエンジンUnityのフリー版を使用した。前述の美術館スペース、椅子、額、キャプションのモデリングデータをUnity Editorにインポートして配置し、点光源をそれぞれの作品の前なども含め合計15個配置した。

(5) ウォークスルー

Unity上でマウスによるウォークスルーを行うプログラムを作成した。図4に示すように、作品の順路に沿って一次的に水平移動する経路を設定し、マウスの横スクロールによってこの順路を歩いて順に見てゆくような動きをする(x軸移動)。視線方向は壁と垂直を保って動く。加えてマウスの縦スクロールで垂直方向(y軸移動)の移動をする。また、マウスのホイールを操作することで作品に近寄ったり、離れたりする(z軸移動)。焦点距離は固定で垂直画角は40度に設定した。また視線方向については、マウスの左ボタンを押しながら操作することで縦横方向に見回せる(x, y軸回転)。ただし、視線移動してしまうと作品と正対する状態に戻しにくくなるため、マウスホイールを押すことで回転軸を0度にリセットして作品正対に戻っている。なお、3D空間内カメラの動きはマウスデータにサーボロックして滑らかに動くようになっている(昨今のタッチパネルによるスクロール操作と同様)。

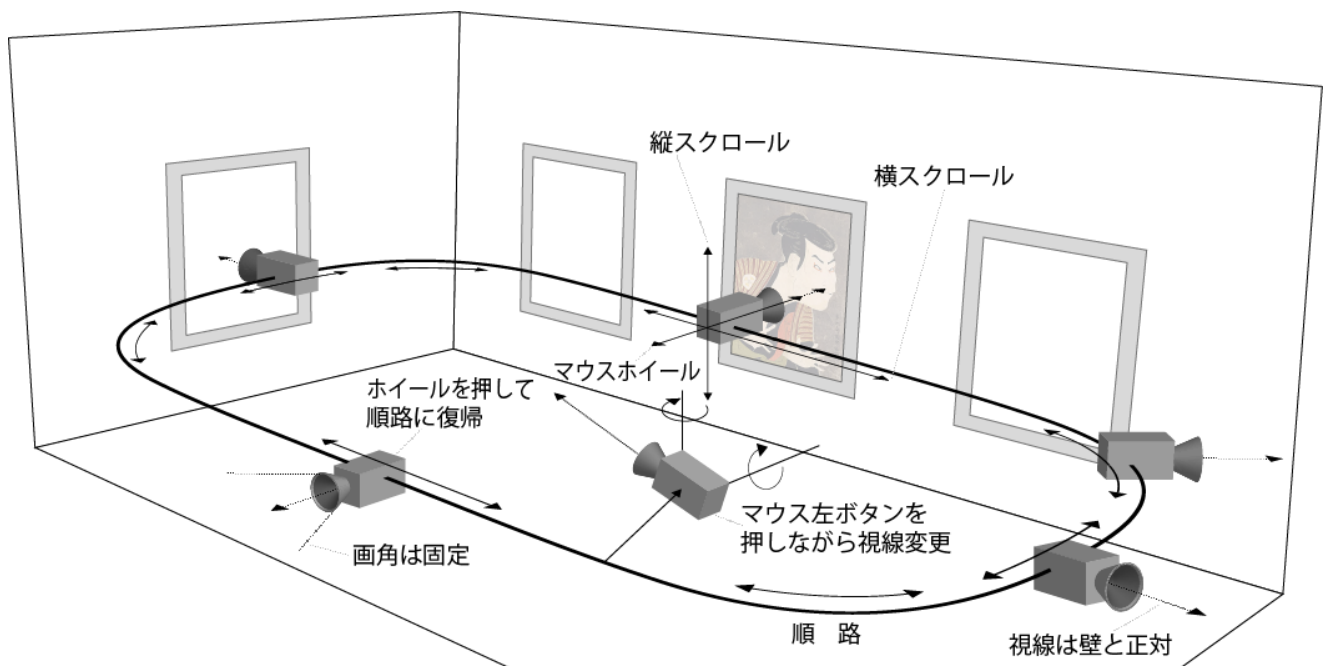


図4 ウォークスルーの設計

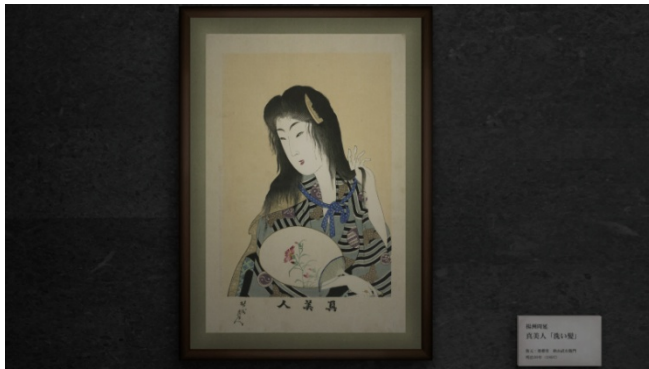


図5 浮世絵 4K バーチャル美術館の出力例

(6) 自動運転

Unity 上のプログラムで、マウスの動きを記録しモーションデータとしてテキストファイルに蓄積し、これを再生できる機能を組み込んだ。自分でマウスを操作して鑑賞するときにはあまり気にならないが、第三者から見るとマウスの動きが唐突で見づらい絵になることが多い。自動運転時は、ちょうどテレビの美術番組でプロのカメラマンが撮影するときのような滑らかさが好ましい。そこで、今回はマウスデータの再生時に次の1次のリカーシブデジタルローパスフィルタをきつめにかけ、動きをスムーズにした。

$$H(z) = (1 - k)/(1 - kz^{-1})$$

カットオフ周波数はカットアンドトライで決定し、現在 $k=0.98$ である。スペースキーを押すことで自動運転し、マウスに触るとその時点で手動に切り替わる。

(7) Web での提供

本バーチャル美術館は Unity 上に構築されているため、Unity がサポートするすべてのプラットフォーム上 (Windows, Mac, Linux, iOS, Android, Xbox など各種ゲームマシン) で稼動する。Unity は Web Player もサポートし、ビルドファイルをサーバー上に置くことで、そのまま Web ブラウザーで起動することができる。現在、大量のテクスチャーのためのデータ量だけが問題で、動的ロードなどの手法が必要である。

3.3. 実験結果

図5に試作したバーチャル美術館の出力を示す。美術館という性質上、ポリゴン数は少なく5000ポリゴンていどだが、前述したように大量のテクスチャーを使用している。出力解像度は 3840×2160 で、アプリケーション起動の際はレンダリング品質に最高 (fantastic) を選択して動かしているが、60fps は余裕で得られておりウォークスルーは非常に滑らかである。一枚の絵の解像度が $4K \times 4K$ サイズを持っているため、特に浮世絵の方は図5に示すように拡大しても鮮明であり、紙の表面の質感や汚れまでもきれいに観察できる。

われわれは本システムを展示会で数回に渡ってデモしたが、コンテンツ不足な $4K$ の有望な使い方として好評であった。以下に実験によって分かった長所と問題点をあげる。

- a) 浮世絵は通常、退色を避けるため薄暗いところでは鑑賞できず、しかもそのものが小さいため細部に渡って観察することもままならない。それが、このバーチャル美術館では、明るく自在に照明を当て、近寄って細部をたっぷり鑑賞できる。
- b) 屏風絵は本用途では 9270×3938 画素の元解像度では不足しており近くに寄ると画質が荒れる。浮世絵と同等の解像度を確保するには単純計算でも50倍以上の解像度が必要になる。

- c) 今回の横方向の順路移動方式に縦と奥行きを移動を組み合わせる方法は完全ではないが比較的快適である。
- d) 一つのマウスだけでウォークスルーと見回しのすべてをカバーするのは難しい。そもそも、大きな 4K 画面をマウスという小さなデバイス一つでコントロールすることに違和感がある。
- e) 56 インチ 4K のモニターは 79ppi で Retina ディスプレイ (200ppi 以上) には及ばないが、モニター面の至近距離でもピクセルは見えにくく、3H 程度で全体を鑑賞する行為と、モニター面に 1H 以下に近寄って鑑賞する行為の両者が、自然にシームレスに行えた。
- f) 今回屏風を額装して壁に掛けてしまったが、これは実際にはあり得ず、屏風は自立させて鑑賞するものである。美術品に対する配慮が欠けていた。

4. 今後の開発方向とまとめ

本稿では、4K 映像システムによる浮世絵を中心に展示したバーチャル美術館について紹介し、これを現在の世の中のバーチャル美術展示と比較し、その長所や短所について議論した。本システムでは、超高精細でデジタル化した作品を高精細な CG 展示スペースに配置し、これを丸ごと 3DCG としてユーザーに提供している。実際の美術館スペースで展示作品群を眺める行動と、個別作品を詳しく鑑賞する行動は、それぞれ臨場感と実在感を担っているとも考えられる。本システムでは、これらシームレスにつなぎ、さらに大型 4K モニターで提示する方法で、臨場感と実在感を同時に与え、美術館における美術品の鑑賞という行為に比較的近い効果を得ることができた。一方、三次元空間のウォークスルーをユーザー操作に任せているところにネックがある。順路設定による移動アルゴリズムを取り入れることで違和感は緩和されているが、ユーザーインターフェースデバイスが小さなマウス一つで弱く、その点ではストレスを与える結果になった。

今回の構築は第 1 バージョンであり、今後、本稿で行った議論を元にさまざまな方向に研究開発を進めていきたい。現時点で以下のような課題を考えている。

- a) ウォークスルーアルゴリズムの改善。順路移動、見回り、近寄り、ぶらぶら歩き、などをユーザーがストレスなく行えるようなウォークスルーアルゴリズムとインターフェースの研究開発。
- b) 自動再生モードにおける優雅で人間らしいカメラ移動の自動生成。
- c) 一つ以上の展示室に対応。
- d) 絵画データベースを用意し、そこからユーザーが絵を選び自在に並べられる仕組み。自動額装、自

動キャプション生成、自動配置機能、正確なライフサイズ展示。

- e) 絵画に加え彫刻などの立体物の展示。
- f) 一方的展示のみではなく、合成音による自動説明読み上げ、動画説明ビデオの埋め込み、光を当てたり、触ったりできるインタラクションの提供。
- g) バーチャル説明員、バーチャル専門家、バーチャル鑑賞客 (バーチャルクラウド) などのキャラ的演出の付与。
- h) バーチャル美術館を使ったバーチャル美術番組の自動生成。

鑑賞者に対してさまざまな新しい鑑賞方法を提供することはバーチャル美術館の一つの方向性だが、我々は、まず「美術館スペースを歩いて、作品を見て、感じる」という美術鑑賞の一番の基本を常に第一に考えてサービス設計とシステム構築をしていきたい。そういう意味では、語義の上で正しく Virtual な経験ができるバーチャル美術館の構築を目指して行くつもりである。

謝 辞

今回、ご所蔵の浮世絵を快くお貸し頂いた新藤茂先生、吉野花見図屏風の撮影データをお貸し頂いた Artefactory 社、細見美術館に感謝致します。

文 献

- [1] M. Hayashi, M. Nakajima, S. Bachelder, A. Iguchi, S. Machida: "Ultra High Resolution 4K/8K Real-time CG System and Its Application", Proceedings of IWAIT2013, Jan. 7-9, (2013)
- [2] トップパン VR・デジタルアーカイブ : <http://www.toppan-vr.jp/bunka/> (May. 2013 visited)
- [3] LOUVRE-DNP Museum Lab : <http://www.museumlab.jp/> (May. 2013 visited)
- [4] The Cleveland Museum of Art: <http://www.clevelandart.org/> (May. 2013 visited)
- [5] ルーブル美術館バーチャルツアー : <http://www.louvre.fr/jp/visites-en-ligne> (May. 2013 visited)
- [6] 東京国立博物館 e-Museum : <http://www.emuseum.jp/> (May. 2013 visited)
- [7] Google Art Project: <http://www.googleartproject.com/> (May. 2013 visited)
- [8] Galerie Bel'Art - Stockholm: <http://www.belart.se/home/> (May. 2013 visited)
- [9] 3D-GALLERY, GRAPHTWERK: <http://3dstellwerk.com/en/> (May. 2013 visited)