

触覚メディアを用いたアプリケーションの有効性と方向性

Availability and Directionality of a Distributed Haptic Museum

浅 野 寿 朗*

Toshio ASANO

あらまし

聴覚・視覚メディアに加え触覚メディアを用い、展示オブジェクトに触りながら解説を聞くことが可能となる触る分散仮想博物館を評価する。触覚メディアを用いることによって、展示オブジェクトの形状、硬さ、重さなどを感じることができるので、展示オブジェクトに対する理解の深まりが期待できる。筆者は、説明員（アバタ）によるガイダンスサービスに必要な機能、及び観覧者・説明員・学芸員等の協調作業について検討し、クライアント・サーバモデルに基づくプロトタイプシステムの構築を行った。また、触る分散仮想博物館の有効性や方向性を検証するために、評価用として複数の展示オブジェクトを作成した。そして、博物館・美術館の学芸員・研究者等の展示計画者に対して、触る分散仮想博物館の説明を行い、意見聴取を実施した。また、観覧者としての学生に対して、本システムを説明した後にアンケート調査を行った。本稿では、それらの結果を述べ、触る仮想分散博物館に対する有効性と方向性を示す。

キーワード 触覚メディア、分散仮想環境、コンテンツ、評価

1. まえがき

CG (Computer Graphics) によって構築された分散仮想環境の研究が活発に行われている^{(1),(2)}。そのアプリケーションとして、例えば、遠隔手術シミュレーション、遠隔設計、アバタ（化身）を用いた分散仮想環境、ネットワーク型ゲーム、遠隔教育、及びマルチメディア通信会議等がある^{(3),(4)}。また、博物館・美術館を対象とした検討も進んでいる。例えば、誰にでもオープン、場所と時間にオープン、鑑賞方法にオー

* 経営情報学科－情報通信技術

Department of Business Administration and Information Science – Information and Communication Technology

ブンという三つの考え方からなる「開かれた博物館」という概念に基づく仮想博物館の検討がある⁽⁵⁾。その検討では、視覚・聴覚メディアのみが対象になっている。一方、「The Haptic Museum」の検討⁽⁶⁾では、触覚メディアを用いている。しかし、触覚インタフェース装置が直接サーバに接続された構成になっており。ネットワークを介した検討を行っていない。また、海外の博物館において、目の不自由な人のために美術品の一部を「触る美術館」として公開するところも出現している⁽⁷⁾。将来は、遠隔からのアクセス要望も高まると予想される。

このような状況を踏まえ、本稿では、インターネットを介して、複数の利用者（観覧者、説明者、研究者、学芸員等）がアクセスし、触覚インタフェース装置を用いて展示オブジェクト（CG で作成される）に触りながら、アバタ（化身）の説明員による説明を聞くこと（ガイダンスサービスと呼ぶ）を可能とする『触る仮想分散博物館』の評価を行う。触覚インタフェース装置を用いると、展示オブジェクトの形状、硬さ、及び重さ等を知ることができるので、展示オブジェクトに対する観覧者の理解がより一層深まることが期待される。また、遠隔地に点在する複数の研究者・学芸員同士の研究活動では、臨場感のある仮想空間が構築され、協調作業の効率改善が期待できる。さらに、博物館運営の立場からは、観覧者が本物の展示物に直接触れることがないので、貴重な展示物に対する安全性を確保できるという利点もある。

この触る分散仮想博物館においては、展示オブジェクトやアバタの画像（CG、静止画、ビデオ）、解説のための画像、オーディオ（音声を含む）及びコンピュータデータ（ポインタ、描画、テキスト等）のメディア以外に、触覚メディアを扱う。一般に手による触覚と呼ばれている感覚は、主として運動に関連する力覚と、手触りに関連する触圧覚とに分類される⁽⁸⁾。本稿では、このうちの力覚を触覚として扱う。

触覚インタフェース装置として、糸の張力により力覚を提示する張力方式⁽⁹⁾、グローブの指の曲げを機械的に制御し力覚を提示するグローブ型方式⁽¹⁰⁾、6自由度のマニピュレータを手等で操り各関節軸の反力を制御して力覚を提示するペン型方式⁽¹¹⁾、操作者の身体や所持物に風圧を与えることで操作者に力覚を提示する風圧による方式⁽¹²⁾などが試みられている。本稿では、観覧者が装備するときの負荷や動作の制約が少ないこと、及び利用実績を重視し、触覚インタフェース装置としてペン型でかつ“位置入力力出力”型であるPHANTOM DESKTOP（SensAble Technologies社）⁽¹³⁾を用いる。

分散仮想環境において聴覚・視覚メディアに加え触覚メディアを用いた触る分散仮想博物館は、新たな試みである。従って、この利用者である展示計画者、観覧者による評価が重要である。また、触る分散仮想博物館は、インターネットのようなQoS（Quality of Service）を保証しないネットワークを前提とすることから、QoS制御（メディア同期制御やトラフィック制御等）^(14,15)等も必要となる。本稿では、前者に焦点を合わせ、展示計画者に対しては、個別に訪問し意見聴取を行い、観覧者に対しては

アンケート調査¹⁵⁾を行う。そのため、筆者は、これまでに、クライアント・サーバモデルに基づくプロトタイプシステムを構築し、評価用として複数の展示オブジェクトを作成した。

本稿では、博物館・美術館の学芸員・研究者等の展示計画者に対して説明及び意見聴取を実施した結果と、観覧者としての学生に対してアンケート調査を行った結果を報告する。そして、触る分散仮想博物館は、展示の多様性のためだけでなく、利用者に対して正確かつ的確な知識を与えることが可能な手段として、期待が大きいことを示す。

以下では、第2章で触る分散仮想博物館を説明する。第3章においては、触る分散仮想博物館の構築・実装方法を検討した結果を示し、調査用に作成した複数の展示オブジェクトについて説明する。第4章で展示計画者及び観覧者に対する調査を実施した結果を述べ、触る分散仮想博物館の有効性と方向性を示す。

2. 触る分散仮想博物館

ここでは、まず触る分散仮想博物館の構成要素を説明する。次に、触る仮想分散博物館におけるガイダンスサービスの基本的な機能と協調作業を検討する。

2.1. 触る分散仮想博物館の構成

触る分散仮想博物館のイメージを図1に示す。インターネットに接続されたサーバに展示オブジェクトに関する情報を配置する。各展示オブジェクトの情報ファイルは、触覚、視覚、解説情報を含み、必要に応じてサーバからクライアントに送信される。

オブジェクトとして、移動不可で形状等を感触することが可能なモード（感触モードと呼ぶ）と、移動させることが可能で、かつ重さを知覚することが可能なモード（重さ知覚モード）の2種類を実現する。各オブジェクトは、クライアントからの操作により、視点移動（左回転、右回転、前進、後退、左移動、右移動、上移動、下移動）及び視点の拡大・縮小が行われる。

観覧者は、クライアントに接続された触覚インタフェース装置を介して、展示オブジェクトの形状、硬さ、重さなどを感じることができる。説明員としてのアバター（化身）は、ガイダンスサービスにおいて説明する際には、音声、ビデオ、コンピュータデータ（ポインタ、描画、テキスト等）を用いるだけでなく、身振り手振りで表現する¹⁶⁾。

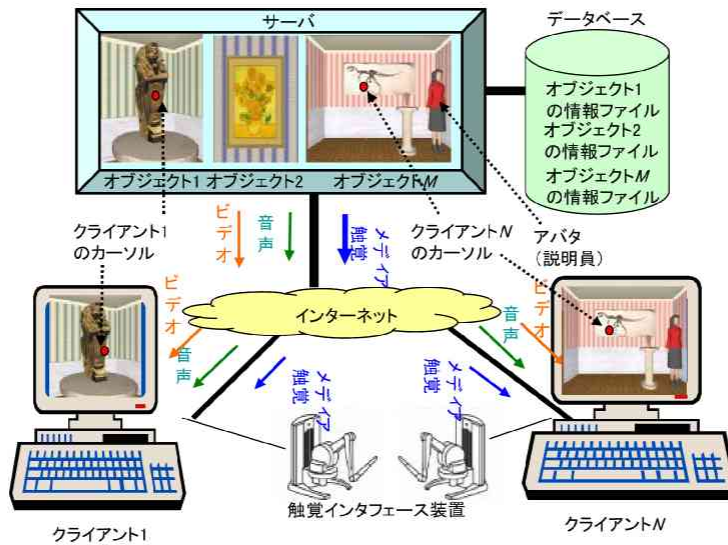


図1. 触る仮想分散博物館の構成

Figure 1: Configuration of the distributed haptic museum.

2.2. ガイダンスサービス

ガイダンスサービスには、説明開始の契機の違いにより、要求型サービスと誘導型サービスの二つがある。誘導型サービスは、オブジェクト毎の重要または特徴的な部分へアバタが観覧者を誘導しながら解説するサービスである。このサービスでは、以下の2パターンが考えられる。

- (i) アバタ（説明員）の解説を聞きながら（見ながら）、観覧者が触覚インタフェース装置を用いて指定された展示オブジェクトのある部分を触る（感触モード）。
- (ii) アバタからの指示を受け、展示オブジェクトを持ち上げたり、所定の位置に移動する。その過程で展示オブジェクトの重みを感じる（重さ知覚モード）。

要求型サービスは、観覧者が展示オブジェクトのある領域をPHANToMで触ることにより、音声、ビデオ、文字等による解説を開始するサービスである。要求型サービスのために、各オブジェクト内に解説開始リング（または球）を設定する。このリング内のオブジェクトに観覧者のPHANToMカーソルが到達した時点で解説を開始する。解説情報は、音声・ビデオの場合、ストリーミング技術¹⁰⁾を用いて提供される。このとき、観覧者に対する応答特性を向上させるために、解説情報ファイルの先読みを行う。そのため、図2に示すように、解説開始リングから一定の距離にストリーミングを開始するリング（ストリーミング開始リングと呼ぶ）を設定する。解説開始リングからストリーミング開始リングまでに達する時間に転送されるデータは、クライアントのバッファに蓄積される。解説ポイントが複数個ある場合は、クライアントの

バッファ量を削減するために、観覧者のPHANToMカーソルの移動方向等からどのストリーミング開始リングを用いるかを決定する。

解説箇所の追加，変更，説明時間，説明内容の深度の変更を行うために，観覧者のPHANToMカーソルのログを収集する。滞在時間の長い箇所では解説時間を長くしたり，滞在時間が短いときは解説箇所を削除したりする。

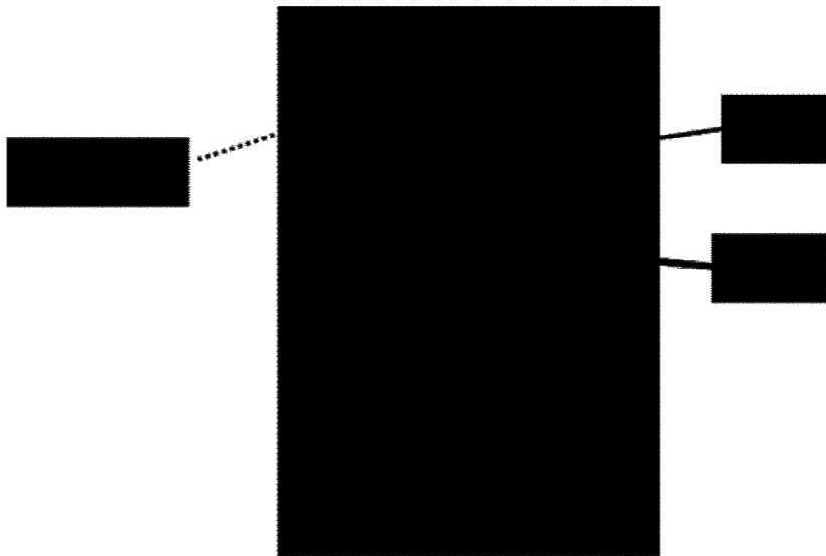


図2. 解説情報ファイルの先読み

Figure 2: Proactive reading of explanatory information files.

2.3. 協調作業

触る分散仮想博物館を活用した研究者・学芸員同士の協調作業として，例えば，以下の例が考えられる。

- (i) 恐竜の骨から，分類学上の分析，骨格上の部位特定，全体の体型の想像，行動する場合の動きの解析等の意見聴取を行う。
- (ii) 遺跡や古墳から出土した歴史的遺物，例えば，陶器の破片の復元，分析，修復等の作業を遠隔地の学芸員同士が協調して仮想空間上で行う。

この協調作業においては，会話しながら作業をするため，触覚，音声，CGといったメディア間の同期制御が重要となる¹⁹⁾。また，複数のクライアントによる協調作業では，クライアント間で仮想空間を構成する情報の一貫性を保つことが重要である¹³⁾。

3. プロトタイプシステムの構築

触る分散仮想博物館を評価するために、クライアント・サーバモデルに基づくプロトタイプシステムの構築を行った。また、ガイダンスサービス及び協調作業で用いる展示オブジェクトとして、形状、大きさ及び重さを実感できる四つの展示オブジェクトを作成した。また、そのうちの一つにはガイダンスサービス用の解説情報を付加した。この解説情報はITU-TG.711 μ -lawで符号化された音声のみから成る。

3.1. クライアント・サーバシステムの構築

触る分散仮想博物館では、多くのコンテンツを扱うため、コンテンツに関する情報をサーバに配備し、サーバからクライアントに送信する。仮想空間を構成する情報は、属性と状態に関するものの2種類に分類できる。触る分散仮想博物館における属性は、作業空間のサイズ、重力・空気抵抗などの物理係数、展示オブジェクトの形状(Spring係数、Damper係数^⑧、動的摩擦係数等)、質量などである。状態とは、観覧者が操作するPHANToMのカーソルの位置、仮想空間内の展示オブジェクトの位置・回転角などであり、観覧者の操作によって更新される。

3.2. 展示オブジェクトファイルの構成

各展示オブジェクトの情報ファイルは、a) オブジェクトの形状、硬さ、及び重さを定義した触覚情報ファイル、b) オブジェクトの色、模様等の視覚情報ファイル、c) オブジェクトの解説情報ファイルから構成される^⑨。触覚情報と視覚情報とでファイルを分離している理由は、Ghostの制約^⑩のためである。

触覚情報ファイルにおける仮想空間上でのオブジェクトの3次元形状は、VRML (Virtual Reality Modeling Language)^⑪で記述される。利用者がPHANToMを通して知覚するオブジェクトの形状、硬さ、及び重さは、Spring-Damper Model^⑫を用いて計算される反力で表現される。このVRMLファイルにより、PHANToMカーソルで指定された部分の触覚体験は可能となる。しかし、さらに臨場感を高めるためには、オブジェクトの色情報と模様情報が必要となる。この情報ファイルが視覚情報ファイルである。ここでは、これらの情報を3DSフォーマット^⑬で表現する。この3DSフォーマットを立体図形の設計用モデリングソフト（ここでは、3DstudioMAXを使用）で読み込み、そのままVRMLファイルにエクスポートすることにより位置情報を保存する。システム上では、GhostのSDKツールが提供するAPI^⑭を用い、VRMLファイル为非表示にする。これにより、3DSファイル、VRMLファイルは仮想空間上で同じ位置に表示され、図3に示すように、3DSファイルは表示、VRMLファイルは非表示状態となる。仮想空間上では、3DSファイルで提供される色と模様を表示し

たオブジェクトをあたかも触っているような体験が可能となる。

解説情報ファイルは、オブジェクト全体の説明の他に、利用者がPHANToMにより触っている部分（例えば、作成したミイラ像では刻印されたヒエログリフ等の古代文字）の意味を説明するためのファイルである。このファイルも利用者の理解を深める上で有用である。本システムでは、前述のように、解説情報ファイルは、音声またはビデオ等のストリーミング技術¹⁰⁾により送信される。

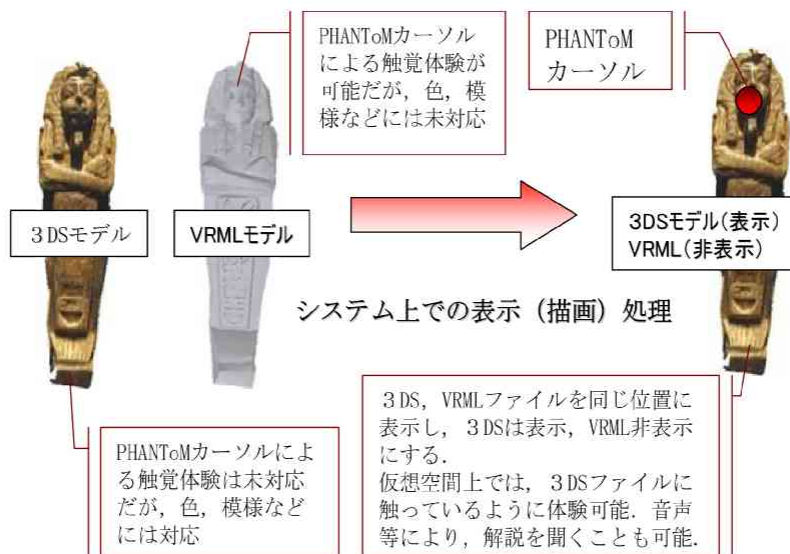


図3. 展示オブジェクトの触覚情報ファイルと視覚情報ファイルの関係

Figure 3: Relationship between the haptic and visual information files for the exhibited object.

3.3. 展示オブジェクトの作成

触る分散仮想博物館を評価するために作成した展示オブジェクトについて説明する。これらは、博物館・美術館で展示されているもので、通常、触ることができないものから選択されている。

i) 恐竜の化石（図4(a)）：仮想博物館の特徴を生かすため、できるだけ大きなものとして選択した。この化石は、土の中に半埋まりの状態にされている。これは、ポリゴン（多面体）数の都合による。また、ここでは、恐竜の牙（図4(b)）を一つだけ取り出し、移動可能としている。これによって、実際の大きさと重さを実感することができる。

ii) エジプトのミイラ像（図4(c)）：移動可能なオブジェクトとして、PHANToMを介して、実物大の大きさと、実物と同じ重さを感じることができるようにしている。また、足の部分にヒエログリフの文字（象形文字）が刻印されており、この文字をなぞるこ

とができる。

iii) ゴッホのひまわり (図4(d)) : 平面的な静止オブジェクトとして、絵画に触ることがどの程度有効であるかを調べるために用いる。美術館を訪れる人が、その厚く塗りこめられた絵の具の感触、筆致、筆遣いを鑑賞したいと思う作品である。

各オブジェクトの主な仕様を表1に示す。ポリゴン数は、オブジェクトの詳細度を示しており、表示の際、CPU処理能力に大きな影響を与える。これらのオブジェクトはすべて剛体である。



図4. 展示オブジェクトの概観

Figure 4: Examples of exhibited objects.

表1. 展示オブジェクトの仕様

Table 1: Specifications of exhibited objects.

	ポリゴン数	サイズ(cm)	ファイル規模(kB)		重さ(kg)
(a)恐竜の骨格標本	10,207	400×22×150	VRML	2,125	—
			3 DS	284	
(b)恐竜の牙	720	9.5×9.5×20	VRML	54	0.2
			3 DS	21	
(c)ミイラ像	6,038	4.8×4×17.5	VRML	1,464	0.1
			3 DS	253	
(d)ゴッホのひまわり	7,436	97×7.5×116	VRML	1,435	—
			3 DS	191	

4. 調査結果

学芸員・研究者等の展示計画者に対する調査のために訪問した博物館・美術館の分類を述べ、訪問先で実施した説明の概要を示す。そして、意見聴取を通して調査した結果を整理する。また、観覧者としての学生に対して実施したアンケート結果を示す。これらの調査を基に、触る仮想分散博物館に対する有効性・方向性に対する考察結果をまとめる。展示計画者の意見の詳細については、文献²⁹⁾を参照されたい。

4.1. 展示計画者に対する調査

東海、関東及び関西地区の博物館等を計15館訪問した²⁸⁾。その内訳を図5に示す。ここで、科学系は科学館・でんきの科学館・科学技術館・科学未来館である。また、美術系は博物館・美術館であり、自然史系は自然史博物館・科学博物館・水族館である。さらに、歴史系は、歴史民俗博物館・貨幣資料館、工芸系は、陶磁資料館を示す。なお、本分類に当たっては、扱う分類の多い大規模な博物館については、対応して頂いた担当者の専門分野で分類した。調査対象とした博物館等は、各博物館等のホームページを参考に、できるだけ広範囲にわたるように選択された。

訪問先では、基本的に1名、多いところで5名の人に対応して頂き、計23名から意見を伺った。対応者の担当業務（企画・研究・広報）の内訳を図6に示す。

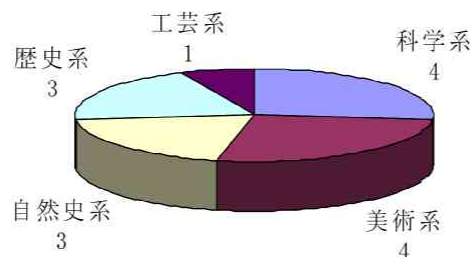


図5. 訪問した博物館等の分類

Figure 5: Classification of the visited museums.

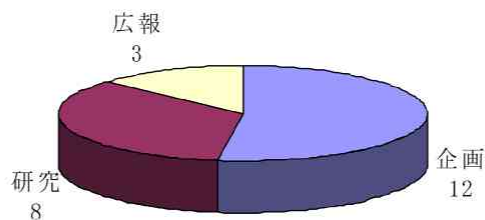


図6. 対応者の担当業務

Figure 6: Business duties of the people we talked with.

4.1.1. 調査方法

調査は、事前準備、説明、及び意見聴取の三つの段階に分けられる。事前準備では、選定した博物館に電話連絡を行い、訪問の趣旨を述べ、概要を紹介し、訪問日時の調整を行った。要求があった場合は、説明資料を事前送付した（5箇所を送付）。説明と意見聴取は、1館当たり約1時間から2時間かけて実施された。説明では、以下の項目についてプレゼンテーションを行った。

- (1) 触る仮想分散博物館の概要
- (2) 触覚インタフェース装置（PHANToM）の特徴
- (3) 作成した四つの展示オブジェクト（コンテンツ）
- (4) ガイダンスサービス
- (5) 想定する利用方法

説明では、PHANToMによる体験希望が多かった。しかし、本装置は精密機械で持ち運びに適さないため、ビデオによりイメージを把握してもらった。但し、1館だけは、大学の研究室に來られたので、PHANToMを用いた体験が可能であった。この1館と他の館との間で、意見の大きな違いは感じられなかった。

触る仮想分散博物館に対する有効性・方向性に対する評価を行うこと、及び今後の検討課題、システム上の改善点を明確化するために、表2の項目に対して調査を行った。これらの項目は、訪問した最初の2館での意見聴取を基に抽出が行われた。以下では、表2の項目に従い、意見聴取の内容を整理する。また、得られた意見を基に定量化を試みる。

表2. 調査内容の分類一覧

Table 2: Surveyed topics.

大項目	小項目	大項目	小項目
全体	コンセプト	用途	ガイダンスサービス
触覚インタフェース装置	ペン型インタフェース装置		博物館内での学習用
	グローブ型インタフェース装置		ネットワークを介した自宅での利用
	耐性		ネットワークを介した研究での利用
触覚メディア	触覚の必要性	コンテンツ	その他の用途
	触る感覚		移動不可の大型作品 (恐竜の化石)
	重さを知覚		移動可能な作品 (エジプトのミイラ像、 恐竜の牙)
	触覚と視覚、聴覚との共用		絵画 (ゴッホのひまわり)
レプリカ	レプリカとの差別化		他のコンテンツ

4.1.2. コンセプトに対する評価

コンセプトに対する定量的な評価結果を図7に示す。これは、肯定的な意見、否定的な意見を述べた人の数を示す。但し、必ずしも全ての人が意見を述べたわけではないので、両者を足しても23名にはならないことに注意されたい（以降の評価でも同様）。全般的に、展示の多様性に繋がること及び利用者に対して正確かつ的確な知識を与えることができる手段としての可能性について、肯定的に評価する意見が多かった。臨場感の向上、遠隔地の博物館との連携でコスト（出張費）の削減にも繋がるとの評価もあった。クイズ・ゲーム形式を利用した見せ方への改善要望も提示された。

一方、鑑賞を重視し本物にこだわる美術系（2名）、日常生活で扱うものを対象とする歴史系（1名）の博物館では、仮想技術そのものを否定する意見もあった。これらの人には、以降の項目に関して意見を聞くことができなかった。

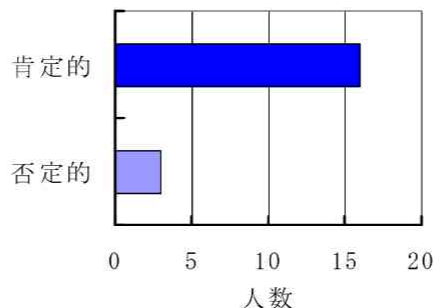


図7. コンセプトに対する定量的な評価

Figure 7: Quantitative evaluation of the concept.

4.1.3. 触覚インタフェース装置に対する評価

触覚インタフェース装置に関して、ペン型とグローブ型²⁵との比較評価（ペン型、グローブ型それぞれを要望する人数）を図8、装置の故障耐性に対する意見の件数を図9に示す。種別としては、手で触るという感覚に近いという理由でペン型よりもグローブ型を希望する意見が多かった。しかし、コンテンツ次第でペン型でも十分であるという意見も多く出た。

故障耐性に関して気にする人がほとんどであった。多数の人が利用すること、及び乱暴な扱いというより予想外の操作による故障を心配している。

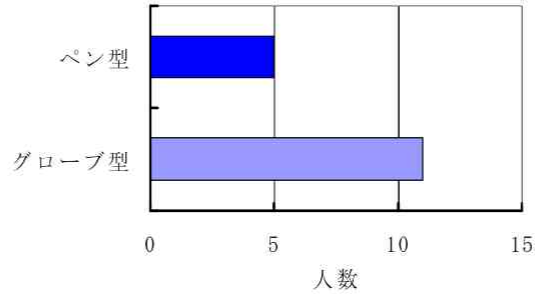


図8. 触覚インタフェース装置の種別に対する評価

Figure 8: Preference for device style.

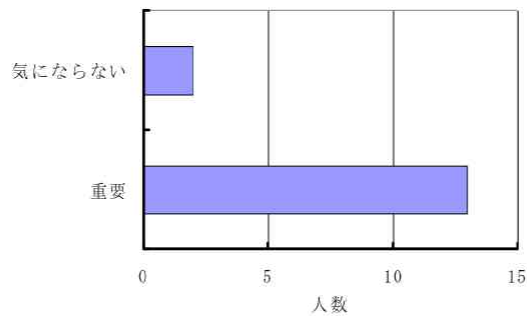


図9. 触覚インタフェース装置の故障耐性に対する評価

Figure 9: Opinion on the failure tolerance of the haptic interface device.

4.1.4. 触覚メディアに対する評価

触覚メディアを用いることにより、新たな展示方法、例えば、体験型・追体験展示への発展性を評価する意見が多かった。温度に対する期待、また、重さ等を数字でも表示するという意見もあった。

4.1.5. 用途に対する評価

用途に対しては、専門家（学芸員、研究者）による利用というよりも、観覧者向けの利用という意見が支配的であった。ネットワークを介した利用よりも、ビジネスの観点及び観覧者の反応を身近で感じたいとの要望から、博物館内での利用に限定し、まずは館内での利用に対する問題解決を優先すべきであるとの意見が多かった。力に関する仕組み、法則を体験できるシステムへの応用を期待する意見もあった。観覧者への解説方法に関しては、現状の説明方法では不親切であるとの指摘が多いということから、ガイダンスサービスに対する需要が高かった。説明員（アバタ）は、その道の大家・専門家がライブで解説・説明できると説得力が高まるとのことであった。

4.1.6. コンテンツに対する評価

コンテンツとして提示した各展示オブジェクトに対する評価結果を図10に示す。恐竜の牙については、その重さ、凹凸・ギザギザ部分の表現・ザラザラしたところ、つるつるしたところ等、正しい知識でリアルに再現することの重要性が指摘された。エジプトのミイラ像に関しては、足の部分に刻印されたヒエログリフの文字（象形文字）をなぞるのは面白いとの意見が出された。

絵画は、現状の技術では限界があるとの意見（絵画で筆のタッチを現実的に再現するのは困難ではないか？ 触感には無理がある）が多かった。一方で、教育的な道具としての利用（単に、でき上がったひまわりの絵だけを見せるのではなく、ひまわりができていくプロセスも見せ、なぜ厚く絵の具が塗り込まれているかを理解させる。画家、作家のペンタッチを体験するのに使えるのではないか。また、絵の描き方を教える道具にもなるという意見）も提案された。

ペン型の触覚インタフェース装置を活かすオブジェクトの提案もあった。例えば、ナノテクの技術として、量子、光子レベルの電氣的な力を体験させることが挙げられる。

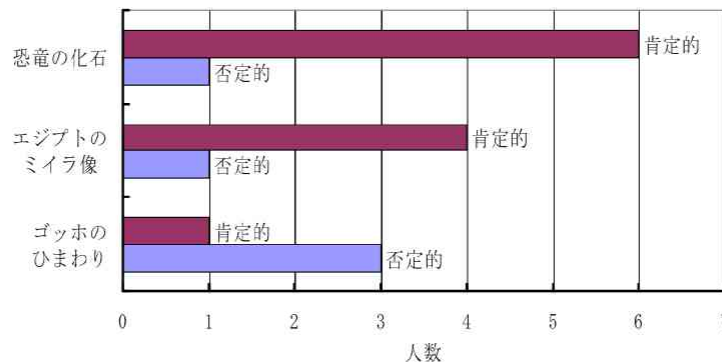


図10. 展示オブジェクトに対する定量的な評価

Figure 10: Quantitative evaluation of the exhibited objects.

4.1.7. レプリカとの比較

レプリカと比較して、大半は差別化・棲み分けは十分可能との意見が多かった。しかし、レプリカで十分との意見もあった。また、触る分散仮想博物館では、コンテンツが壊れることがないこと、遠隔地へのコンテンツ送信の容易性、コンテンツに関するデータ保存の容易性等の利点も指摘された。博物館によっては、実物の損傷を防止することと、実物が無い場合、積極的に、他から借りてレプリカを作成していた。

以上の結果から、触る仮想分散博物館は、展示の多様性のためだけでなく、利用者に対して正確かつ確かな知識を与えることが可能な手段として展示計画者の期待が大きいことがわかった。また、触覚インタフェース装置の特徴を生かした多様なコンテ

ンツ作成を行うことが重要であることも明らかとなった。

4.2. 観覧者に対する調査

4.2.1. 調査方法

アンケート調査は、18歳から21歳（平均年齢18.9歳）までの75名（男68名，女7名）の学生に対して行われた。観覧者には、4.1.1節で述べた内容を10分程度で説明した後、四つの展示オブジェクトに触らせた。ミイラ像と恐竜の牙に対しては、オブジェクトの重さの知覚も体験させた。また、ミイラ像の3箇所音声のガイダンス情報が設けられ、観覧者は一つ以上のガイダンス情報（約8秒から12秒）を聞いた。1人あたりの体験時間は5分程度であった。図11に調査で使われたアンケート内容を示す。アンケート内容は、展示計画者に対する調査結果を参考に決めた。具体的には、設問1，2では、コンセプトに関する展示計画者の意見を参考に選択肢を決めた。設問3，7は、用途に対する意見と比較するために選定された。設問4と6では、触覚メディアに関する意見を参考に選択肢を決めた。設問5と8は、コンテンツに対する評価，提案と比較するために選定された。

触る分散仮想博物館に関するアンケートにご協力をお願い致します。

年齢： 性別： 男性 ・ 女性

●設問1（該当するものを○で囲んで下さい）
博物館または美術館にあれば、利用したいですか？
是非利用したい・利用したい・どちらでもない・あまり利用したくない・利用したくない

●設問2（該当するものを○で囲んで下さい、複数の選択可）
「触る分散仮想博物館」の印象・特徴は何ですか？
・展示品を見ながら触ることができる
・コンピュータを利用して様々な展示品を見ることができる
・コンピュータを利用して様々な角度から展示品を見ることができる
・貴重または危険で通常触ることができない展示品に触ることができる
・離れた人同士で展示品を操作できる
・ガイダンスサービスが利用できる
・その他（ ）

●設問3（該当するものを○で囲んで下さい、複数の選択可）
どんな利用場面でよいですか？
博物館／美術館 ・自宅 ・学校 ・図書館 ・ゲームセンター ・その他（ ）

●設問4（該当するものを○で囲んで下さい）
触ることは重要と思いませんか？
とても重要 ・重要 ・普通 ・あまり重要でない ・重要でない

●設問5（該当するものを○で囲んで下さい）
どのコンテンツ（展示オブジェクト）が一番良いと思いませんか？
ミイラ像 ・恐竜の骨格 ・恐竜の牙 ・ゴッホのひまわり

●設問6（該当するものを○で囲んで下さい、複数の選択可）
触覚ではどんな感覚を感じたいですか？
触った感じ（手触り） ・重さ ・振動 ・温度 ・その他（ ）

●設問7（該当するものを○で囲んで下さい）
ガイダンスサービスについて
とても役立つ ・役立つ ・どちらでもない ・あまり役立たない ・役立たない

●設問8（自由に記述して下さい）
どんな作品コンテンツに触ってみたいですか？（複数可）

●設問9（自由に記述して下さい）
感想・アドバイス・提案・ご意見・その他：

図11. 観覧者に対するアンケート内容

Figure 11: Survey of visitors about the distributed haptic museum.

4.2.2. 観覧者の評価

設問1から7に対する回答結果をそれぞれ図12から18に示す。

図12では、設問1に対しては、65名が利用したい、または是非利用したいと回答している。これは全体の86%である。従って、触る分散仮想博物館に対する需要は高いことが分かる。

図13では、多くの人が 触る分散仮想博物館の特徴として「触る」という特徴を指摘している。従って、触る分散仮想博物館の最大の特徴に対して理解は得られたと考えることができる。

図14において、博物館／美術館で利用したい人が最も多い。しかし、その他の場面で利用したいという意見も多い。このためには、インターネットを介してアクセスすることが要求される。展示計画者が博物館／美術館での利用に限定していたのとは対照的である（4.1.5参照）。

図15では、触ることが重要、またはとても重要と考える人が60名いる（全体の80%）。これから、触りながら利用したい人が多いことがわかる。

図16では、触る以外に重さも体験可能なミイラ像と恐竜の牙の人気の高い。従って、触覚インタフェース装置の特徴を生かした多様な体験が可能なコンテンツが望まれる。人気の順位としては、展示計画者に対する調査（図10）と同様な結果を示している。

図17から、設問6に対する回答として、触った感じ（手触り）という意見が一番多く、次に重さが多いことがわかる。さらに、温度も多いことから、温度も触覚にとって重要であるといえる。展示計画者も温度に対する期待があるので（4.1.4参照）、今後、触覚インタフェース装置の改良が望まれる。

図18 より、75%の人がガイダンスサービスはとても役立つ、または役立つと回答していることがわかる。展示計画者もガイダンスサービスの必要性を指摘している（4.1.5参照）。従って、触る分散仮想博物館におけるガイダンスサービスに対する理解が得られたと考えることができる。

設問8については、イルカやライオンなどの動物（13名）や月や氷山などのように普段触ることができないもの（10名）に触りたいという意見があった。設問9に関しては、リアルな触感が得られた、新感覚でインパクトがあって面白かった、などの感想が得られた（11名）。一方、手全体で触りたいという意見もあった（7名）。展示計画者でも同様に、グローブ型触覚インタフェース装置に対する要望が多かった（4.1.3参照）。以上のことから、触る分散仮想博物館に対する観覧者の需要も高く、また、様々な利用場面を想定したシステム構築が望まれることが分かる。

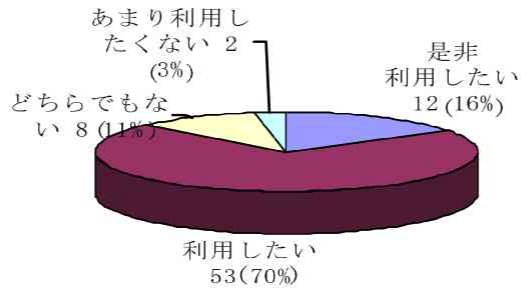


図12. 設問1に対する回答結果

Figure 12: Results for question 1.

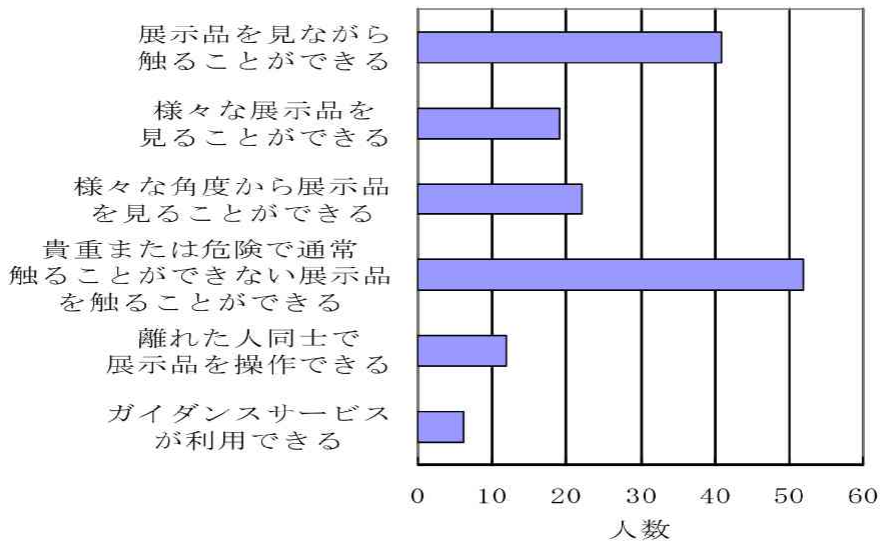


図13. 設問2に対する回答結果

Figure 13: Results for question 2.

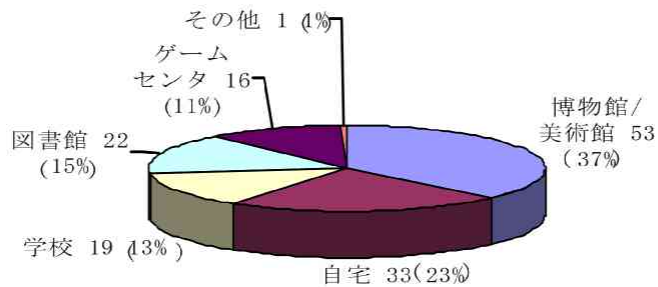


図14. 設問3に対する回答結果

Figure 14: Results for question 3.

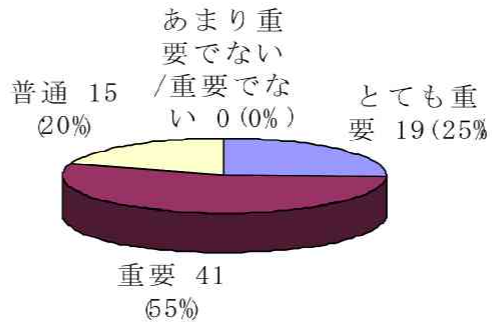


図15. 設問4に対する回答結果

Figure 15: Results for question 4.

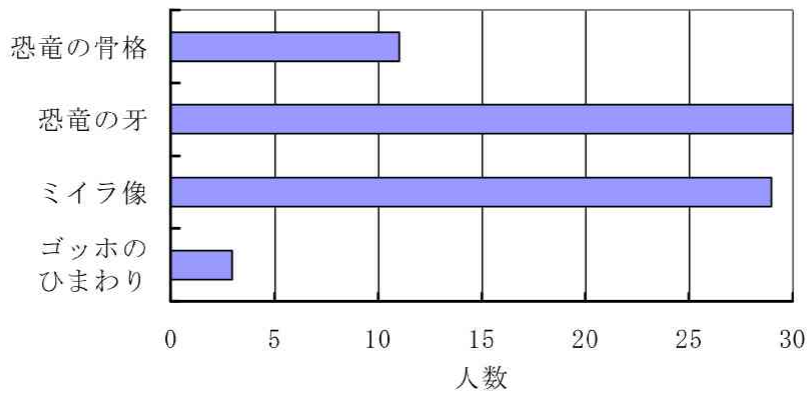


図16. 設問5に対する回答結果

Figure 16: Results for question 5.

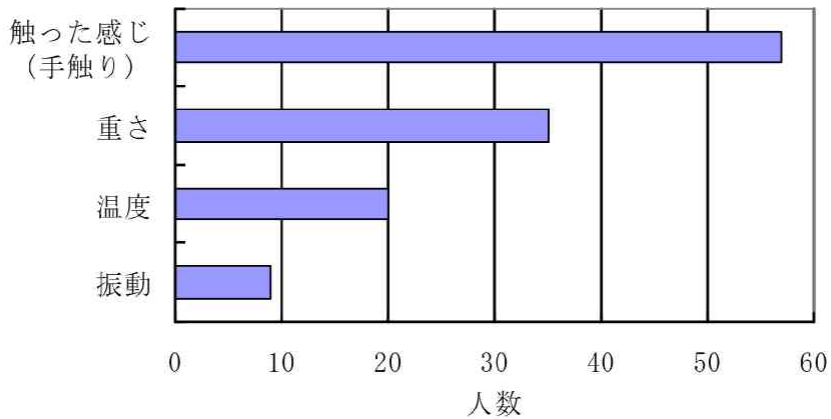


図17. 設問6に対する回答結果

Figure 17: Results for question 6.

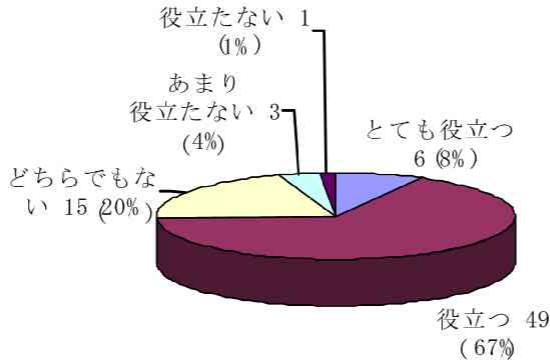


図18. 設問7に対する回答結果

Figure 18: Results for question 7.

5. むすび

本稿では、CGによって構築された分散仮想環境のアプリケーションの一つである、触る分散仮想博物館の評価を行った。クライアント・サーバモデルに基づくプロトタイプシステムを構築し、評価用として四つの展示オブジェクトを作成した。博物館の展示計画者及び博物館を見学する立場の学生の意見を基に、本システムの有効性、方向性について考察した。

その結果、展示の多様性のためだけでなく、利用者に対して正確かつ的確な知識を与えることが可能な手段として期待が大きいことがわかった。また、触覚インタフェース装置の特徴を生かした多様なコンテンツ作成を行い、インターネットを介した博物館内外での利用場面を想定したシステムの構築が必要なことも明らかとなった。

今後は、触覚メディアを用いた他のアプリケーションの評価も行う必要がある。

謝辞

本稿執筆にあたって、名古屋工業大学情報工学科石橋研究室に多大なご協力をいただいたことを記し、心からの謝意を表したい。

参考文献

- (1) G. Suzuki, and K. Shimamura, "A design of communication environment for networked multimedia ecosystem," IEICE Trans. Commun., vol.E78-B, no10, pp.1353-1357, Oct. 1995.
- (2) T. Kouno, S. Honda, Y. Suzuki, and S. Ishibashi, "Immersion-type Shared Communica-

- tion Environment,” in Proc. IEEE PCM 2000, pp.102-105, 2000.
- (3) A. Liu, F. Tendick, K. Cleary, and C. Kanufmann, “A Survey of Surgical Simulation: Applications, Technology, and Education,” Presence, vol.12, no.6, pp.599-614, Dec. 2003.
- (4) J. Han, and B. Smith, “CU-SeeMe VR immersive desktop teleconferencing,” in Proc. ACM Multimedia '96, pp.199-207, Nov. 1996.
- (5) K. Sakamura, “TRON and The Digital Museum,” in Proc. the 13th TRON International Symposium, IEEE Computer Society, 1996.
- (6) M. L. McLaughlin, G. Sukhatme, C. Shahabi, J. Hespanha, A. Ortega, and G. Medioni, “The Haptic Museum,” in Proc. Conference on Electronic Imaging and Visual Arts (EVA 2000), 2000.
- (7) <http://www.vatican.va/museums/>.
- (8) 山本晃生, “触覚ディスプレイの研究動向” 計測と制御, 第43巻, 第2号, pp.122-126, Feb. 2004.
- (9) 佐藤誠, 平田幸広, 河原田弘, “空間インタフェース装置SPIDARの提案” 信学論 (D-II), vol.J74-D-II, no.7, pp.887-894, July 1991.
- (10) 藤田欣也, “グローブ型仮想物体硬さ感覚呈示装置の試作と評価” 信学論 (D-II), vol.J81-D-II, no.10, pp.2394-2400, Oct. 1998.
- (11) J. K. Salisbury and M. A. Srinivasan, “Phantom-Based Haptic Interaction with Virtual Objects” IEEE Computer Graphics and Applications, vol.17, no.5, pp.6-10, Sep./Oct. 1997.
- (12) 鈴木由里子, 小林稔, 石橋聡, “風圧による力覚提示方式における力覚表現の検討” 信学技報, MVE 2001-98, Nov. 2001.
- (13) T. Asano and Y. Ishibashi, “A Haptic Museum in Distributed Virtual Environments,” in Proc. WT C/ISS2004, Sep. 2004.
- (14) T. Asano and Y. Ishibashi, “Adaptive Display Control of Exhibits in a Distributed Haptic Museum” in Proc. IEEE HAVE2004, pp.19-23, Oct. 2004.
- (15) 西村邦裕, 広田光一, 油谷浩幸, 廣瀬通孝, “VR環境を用いたゲノム関連展示とその操作ログの可視化” 信学技報, MVE2004-10, pp.49-52, June 2004.
- (16) Y. Ishibashi, K. Inazumi, S. Tasaka, and T. Asano, “Media Synchronization between Voice and Movement of Avatars in Networked Virtual Environments,” in Proc. ACM SIGCHI ACE2004, pp.134-139, June 2004.
- (17) J. Alvear. Web Developer. com Guide to Streaming Multimedia. John Wiley and Sons, New York, 1998.
- (18) T. Asano and Y. Ishibashi, “Guidance Services for a Haptic Museum in Distributed Virtual Environments,” in Proc. ICAT2004 Workshop on VR and Entertainment Technology, pp. 39-42, Nov./Dec. 2004.
- (19) Y. Ishibashi, T. Kanbara, and S. Tasaka, “Inter-Stream Synchronization between Haptic Media and Voice in Collaborative Virtual Environments,” in Proc. ACM Multimedia' 04, pp. 604-611, Oct. 2004.
- (20) SensAble Technologies, Inc., “GHOST Programmer's Guide,” Version 3.1, 2000.
- (21) <http://www.web3d.org/>.
- (22) <http://cg.cs.msu.su/files/3dsfmt1.html>.
- (23) SensAble Technologies, Inc. “GHOST SDK API Reference Manual,” Version 3.1, 2000.
- (24) 浅野寿朗, 石橋豊, “触る分散仮想博物館の展示計画者に対する調査,” 信学技報, MVE 2004-38, Oct. 2004.
- (25) http://www.immersion.com/3d/products/cyber_grasp.php.